คำนำ

วิชาไฟฟ้าอากาศยานเป็นหนึ่งในวิชาที่เจ้าหน้าที่ทุกคนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับอากาศยานจำเป็นต้องศึกษา โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เข้าใจหลักการทางไฟฟ้าเบื้องต้น ซึ่งประกอบไปด้วย คำนิยามทางไฟฟ้า หลักการเบื้องต้น ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ คุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ตัวต้านทาน (Resistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตัวเหนี่ยวนำ (Indicator) ตลอดจนหลักการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ (Generator and Alternator) มอเตอร์ไฟฟ้าทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ (DC Motor and AC Motor) การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น

อีกทั้งในปัจจุบัน การทำงานที่เกี่ยวข้องกับ ระบบไฟฟ้าอากาศยาน เจ้าหน้าที่เทคนิค โดยเฉพาะช่างไฟฟ้า นอกจากต้องมีความรู้พื้นฐานหลักการทางไฟฟ้าเบื้องต้นแล้ว ยังมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงหลักการทำงานของระบบต่าง ๆ ของอากาศยาน รวมทั้งติดตามความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีและทฤษฎีทางไฟฟ้าใหม่ ๆ อยู่เสมอ เพื่อที่จะสามารถนำมาประยุกต์และวิเคราะห์แก้ไขข้อขัดข้องของระบบไฟฟ้าอากาศยานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ตลอดจนสามารถให้คำแนะนำกับบุคคลอื่นได้ เพราะการปฏิบัติงานโดยไม่เข้าใจหลักการทำงานของระบบอย่างแท้จริง การแก้ไขผิดเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดผลเสียหายต่ออากาศยานได้อย่างมากมาย มหาศาล เนื่องจากไฟฟ้านั้นเป็นพลังงานที่มองไม่เห็น ที่มีทั้งประโยชน์แต่ก็สามารถให้โทษถึงขั้นสร้างความเสียหาย บาดเจ็บและเสียชีวิตได้ ถ้าใช้งานอย่างไม่ถูกต้องหรือไม่ระมัดระวัง

เพื่อเป็นตำราการเรียนการสอน และพัฒนาความรู้ทางด้านวิชาไฟฟ้าอากาศยานให้กับบุคลากรตลอดจนผู้ที่สนใจ ผู้เรียบเรียง จึงได้จัดทำตำราเล่มนี้ขึ้น โดยเนื้อหาของตำรา ประกอบไปด้วยทฤษฎีทางวิชาไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งปรับปรุงเนื้อหาให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ ได้เพิ่มเติมเนื้อหาที่สามารถค้นคว้าและรวบรวมจาก ตำราทางไฟฟ้าอื่นๆ Technical Order (T.O.) ของอากาศยานที่มีใช้ราชการในกองทัพอากาศ และอากาศยานต่างประเทศ ตลอดจนทฤษฎีทางไฟฟ้าใหม่ ๆ ที่น่าสนใจ ซึ่งผู้เรียบเรียงเห็นว่าจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาติดตามความก้าวหน้า ด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าอากาศยานที่มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา ได้อย่างต่อเนื่อง

ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ตำราวิชาไฟฟ้าอากาศยานเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่ ที่ปฏิบัติงานกับอากาศยานทุกท่าน อย่างไรก็ดีหากมีข้อผิดพลาดหรือบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงมีความยินดี ที่ตำราจะได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมให้ทันสมัยและแก้ไขข้อผิดพลาดจากผู้รู้ในโอกาสต่อไป

น.ต. สมมิตร ศรีประเสริฐ

สารบัญ

เรื่อง		หน้า
บทที่ 1	ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current = DC)	1
บทที่ 2	เครื่องวัดทางไฟฟ้า	23
บทที่ 3	แบตเตอรี่อากาศยาน	47
บทที่ 4	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและระบบควบคุม	135
บทที่ 5	มอเตอร์กระแสตรง	147
บทที่ 6	กระแสไฟสลับ	159
บทที่ 7	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	178
บทที่ 8	มอเตอร์กระแสสลับ	187
บทที่ 9	อินเวิร์ตเตอร์อากาศยาน	193
บทที่ 10	ระบบเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องจับเค้าอัคคีภัย	199
	เอกสารอ้างอิง	212

<<<<<◇>>>>>

บทที่ 1

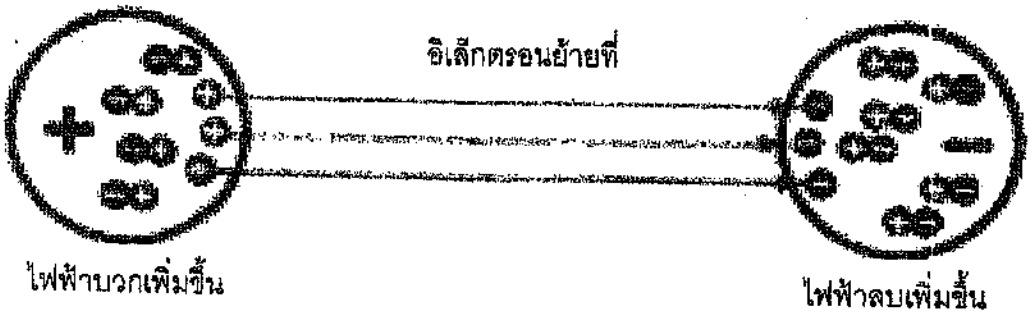
ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current = DC)

1. **กล่าวทั่วไป (Introduction.)** ในฐานะที่ท่านเป็นทหารเหล่าช่างอากาศ ซึ่งจะต้องเผชิญกับปัญหาต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าอากาศยาน การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ การซ่อมบำรุงและการแก้ไขข้อขัดข้องอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่มีใช้ในอากาศยานรวมทั้งการดัดแปลง ฉะนั้นท่านจำเป็นจะต้องทราบตั้งแต่หลักการของไฟฟ้าเบื้องต้น ศัพท์เทคนิคทางไฟฟ้าตลอดจนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้บนอากาศยาน เพื่อให้ท่านสามารถพิจารณาแก้ไข ให้คำแนะนำ และประสานกับผู้เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง

ไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเกี่ยวกับการแยกตัว หรือการเคลื่อนที่ของ วิเล็กตรอน หรือโปรตอน หรืออนุภาคอื่นที่มีคุณสมบัติในการแสดงอำนาจคล้ายคลึงกับ อิเล็กตรอนหรือโปรตอน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดพลังงานรูปแบบอื่น เช่น พลังงานความร้อน พลังงานแสงสว่าง เป็นต้น

2. **ชนิดของไฟฟ้า (Kind of Electricity.)**

2.1 **ไฟฟ้าสถิต** (Static Electricity , Electrostatic) คือประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอน (Electron) หรือ โปรตอน (proton) ที่ปรากฏเป็นอิสระอยู่บนวัตถุ และไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งอาจเกิดจากการขัดสีของวัตถุต่างชนิดกัน จากการค้นพบ วัตถุชนิดแรกที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตขึ้น คือ แท่ง Amber ซึ่งตรงกับภาษากรีกว่า "Electron" และคำว่า "Electricity" นั้น ก็มาจากคำว่า Electron



รูปที่ 1 การเกิดไฟฟ้าสถิต

ประจุที่อยู่กับที่ เกิดขึ้นจากการแทนที่ของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นผลจากการเสียดสีกันของวัตถุต่างชนิด ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากวัตถุชนิดหนึ่ง ไปยังอีกชนิดหนึ่ง ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้น ถ้าเกิดประจุไฟฟ้ามาก และเกิดการถ่ายเทประจุไปยังวัตถุที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเราอาจจะเห็นประกายไฟฟ้าหรือถ้าเราไปสัมผัสกับวัตถุนั้นจะมีความรู้สึกถูกดูด แม้ว่าไฟฟ้าสถิตจะไม่ใช้ประโยชน์ในด้านเป็นกำลังไฟในอากาศยาน แต่ก็จำเป็นต้องทราบธรรมชาติของมันไว้เพื่อความปลอดภัย ประจุไฟฟ้าสถิตที่มีค่าสูง ๆ ซึ่งจะผ่านจากอากาศยานไปยังบรรยากาศรอบ ๆ นั้น จำเป็นต้องใช้สายชนิดอ่อนตัวได้ต่อระหว่างหน่วยอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อป้องกันอันตรายจากการเกิดประกายไฟฟ้า และจะต้องต่อสายดิน ระหว่างอากาศยานกับพื้นเพื่อถ่ายประจุของไฟฟ้าสถิตที่อยู่บนอากาศยานลงพื้น

2.2 <u>ไฟฟ้ากระแส</u> (Electric Current , Electricity , Electrodynamics) คือไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของ อิเล็กตรอน (Electron) หรือ โปรตอน (Proton) ที่ปรากฏเป็นอิสระอยู่บนวัตถุ และการเคลื่อนที่นั้นเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นพลังงานป้อนให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ทำงาน แหล่งผลิตไฟฟ้าที่เรารู้จักกันมากที่สุดได้แก่ เจนเนอเรเตอร์ (Generator) และแบตเตอรี่ (Battery)

ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current = DC) คือไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนไปในทิศทางเดียวตลอด ไฟฟ้าชนิดนี้จะมีขั้ว "บวก" และ "ลบ" เช่นไฟฟ้าที่ได้จาก ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ เป็นต้น

3. <u>ผลจากกระแสไฟฟ้า</u>

3.1 <u>ผลทางด้านสนามแม่เหล็ก</u> (Magnetic Field.) เมื่อพิจารณาถึงระบบต่าง ๆ ของอากาศยานแล้ว จะเห็นได้ว่าผลของกระแสไฟฟ้าเข้าไปเกี่ยวข้องมากกว่าคำจำกัดความที่กล่าวมาแล้ว ขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่นั้น จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆอุปกรณ์และสายไฟที่ใช้นำกระแส ผลอันนี้บางทีเราก็ต้องการ บางทีเราก็ไม่ต้องการ แต่สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นแน่นอนและเสมอไป ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ รีเลย์ เป็นต้น ซึ่งในสภาพที่ให้ทำงานได้อย่างปกติ จะต้องมีสนามแม่เหล็กเข้ามาเกี่ยวข้องเสมอใน บางโอกาสสนามแม่เหล็กที่ไม่พึงประสงค์นี้ จะทำให้การอ่านค่าผิดพลาดขึ้นในระบบที่ต้องการความไวมากๆ นอกจากนี้อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุในการปฏิบัติงานได้ ฉะนั้น จะเห็นได้ว่าบางกรณีจะมีคำสั่งเทคนิคออกมาให้ปฏิบัติเป็นครั้งคราว เกี่ยวกับการดัดแปลงแก้ไขระบบการเดินสายไฟใหม่ เพื่อมิให้เกิดการทำงานผิดพลาดขึ้น

3.2 <u>ผลทางด้านความร้อน</u> (Heating.) ผลของกระแสไฟฟ้าอาจทำให้เกิดความร้อน ตราบใดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานย่อมทำให้เกิดความร้อนขึ้นทั้งที่ตัวอุปกรณ์เองและที่สายไฟที่นำกระแสไฟ ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ก็เหมือนกับสนามแม่เหล็กคือ บางทีก็ต้องการและบางทีก็ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ความร้อนที่ต้องการให้เกิดขึ้น เช่น ระบบละลายน้ำแข็งของกระจกและปีกเป็นต้น ในทางตรงข้ามถ้ามอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ทำงานได้โดยไม่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นแล้ว จะทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกมาก

3.3 <u>ผลทางปฏิกิริยาเคมี</u> ผลของกระแสไฟฟ้าอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การกะไหล่ไฟฟ้า การประจุแบตเตอรี่ย่อมเป็นตัวอย่างที่มองเห็นได้ง่าย และเป็นสิ่งพึงประสงค์ที่ต้องการให้เกิด

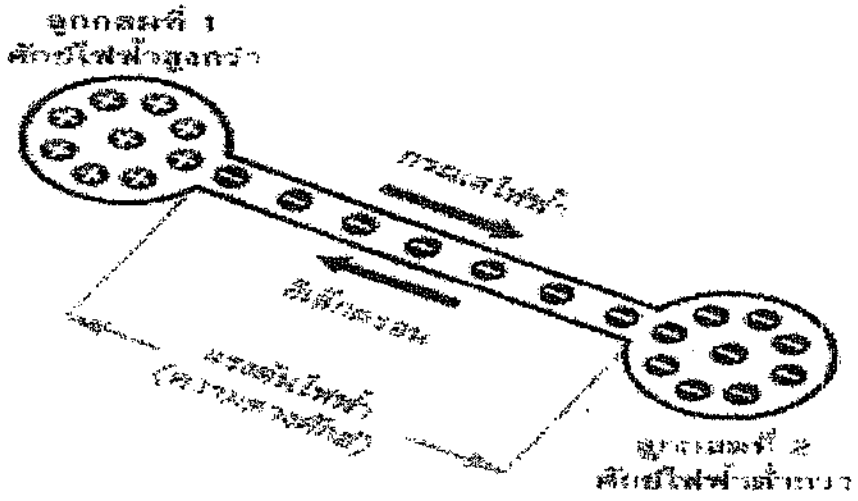
การเปลี่ยนแปลงทางเคมี สิ่งที่ไม่พึงประสงค์ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ที่ข้อต่อโลหะต่างชนิดกันเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วทำให้เกิดสนิม เป็นต้น

3.4 <u>ผลทางด้านกายภาพ</u> ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อมนุษย์ก็คือ ทำให้เกิดอาการช็อก แต่ละบุคคลย่อมทนต่ออาการช็อกได้ไม่เท่ากัน ซึ่งย่อมขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง แต่จงจำไว้เสมอว่า เกือบทุกระบบในอากาศยานจะมีแรงดันไฟฟ้าซึ่งสูงพอที่จะเป็นอันตรายได้

4. <u>เทอมที่สำคัญและความสัมพันธ์</u>

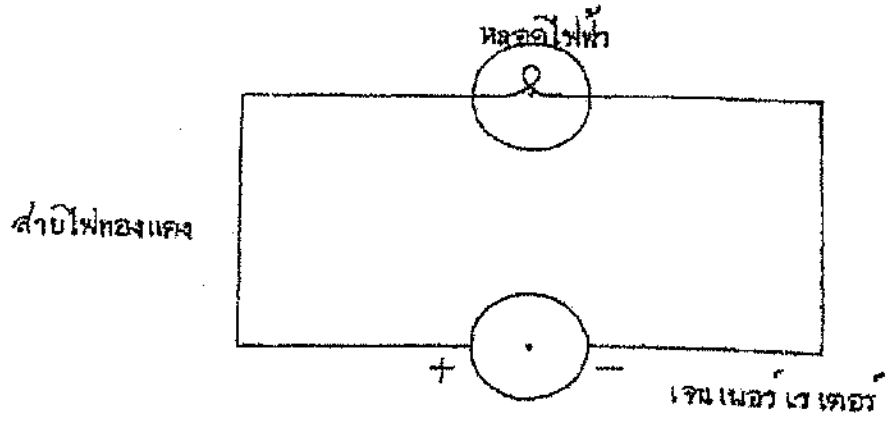
4.1 <u>แรงเคลื่อนไฟฟ้า</u> (Electro Motive Force = EMF) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในทิศทางที่เราต้องการย่อมเป็นการเกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งการที่จะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นได้นั้นอิเล็กตรอนที่จุด ๆ หนึ่งต้องมีมากกว่าอีกจุดหนึ่ง การไม่สมดุลของอิเล็กตรอนของจุดสองจุดย่อมจะทำให้เกิดความต่างศักดิ์ระหว่างจุดทั้งสองขึ้น การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปได้นี้แสดงว่าต้องมีแรงอย่างหนึ่งมากระทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไป ซึ่งแรงชนิดนี้เรียกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า Electro Motive Force ซึ่งใช้อักษร EMF แทน และเขียนย่อ ๆ ว่า E หรือแรงดันไฟฟ้า (Voltage) เขียนย่อว่า V หน่วยที่ใช้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้านี้คือ โวลต์ (Volt)

4.2 <u>กระแสไฟฟ้า</u> (Current) ในสภาพปกติหรือสถานะสมดุล อะตอมของสสารจะประกอบด้วยจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับโปรตอน และให้ถือว่าโปรตอนเป็นบวกและอิเล็กตรอนเป็นลบ จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างลูกกลมลูกที่ 1 ซึ่งมีโปรตอนมาก และลูกที่ 2 ซึ่งมีอิเล็กตรอนมาก อันทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าขึ้น



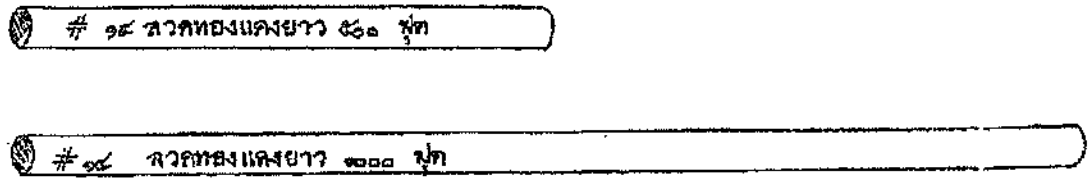
<u>รูปที่ 2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า</u>

ในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเจนเนเรเตอร์ต่ออยู่กับหลอดไฟฟ้าและถ้าเจนเนอเรเตอร์ยังไม่ทำงาน ก็จะไม่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมอื่น ๆ อะตอมต่าง ๆ ที่อยู่ขดลวด เจนเนอเรเตอร์ ในสายไฟและในไส้หลอดไฟฟ้า ยังอยู่ในสภาพสมดุล อย่างไรก็ตาม เมื่อเจนเนอเรเตอร์หมุนจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ผลักอิเล็กตรอน ออกจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ผลจากการไม่สมดุลนี้จะเป็นสาเหตุให้อิเล็กตรอนไหลจากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่งตลอดความยาวของสายไฟผ่านหลอดไฟ และกลับเข้าเจนเนอเรเตอร์ การไหลของอิเล็กตรอน ก็คือการไหลของกระแสไฟฟ้านั่นเอง ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวกในวงจรภายนอก แต่ในภายในเจนเนเรเตอร์แล้วอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ กล่าวกันว่ากระแสที่ไหลในวงจรจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ทั้งนี้มิได้หมายความว่าอิเล็กตรอนแต่ละตัวไหลผ่านสายไฟด้วยความเร็วแสง แต่ให้เข้าใจว่าความแตกต่างของเวลาที่อิเล็กตรอนไหลจากปลายสายไฟข้างหนึ่งไปยังปลายสายไฟอีกข้างหนึ่งจะเท่ากับความเร็วแสงเดินทางในระยะเท่ากัน อักษรย่อมาตรฐานที่ใช้แทนกระแส คือ I และมีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์ (Ampere) การไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟสามารถเปรียบเทียบได้กับการไหลของน้ำในท่อ สิ่งที่เหมือนกันสิ่งแรก คือตัวประกอบซึ่งจะกำหนดอัตราการไหล อัตราการไหลของน้ำ กำหนดได้ด้วยแรงดันของสูบ ขนาดของท่อ สิ่งกีดขวางต่าง ๆ เป็นต้น จำนวนแอมแปร์ หรือกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นอยู่กับแรงดันของเครื่องกำเนิด และสิ่งกีดขวางต่อการเคลื่อนที่ ซึ่งอิเล็กตรอนต้องเผชิญ เช่นในสายไฟหรือในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่นหลอดไฟ ถ้ากระแสไฟไหลอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียวตลอดเวลา เราเรียกว่าไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) เขียนย่อ ๆ ว่า DC และถ้ากระแสไฟไหลไปในทิศทางหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง และไหลกลับในทิศทางตรงกันข้ามในช่วงเวลาถัดมา เราเรียกว่าไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) เขียนย่อๆว่า AC

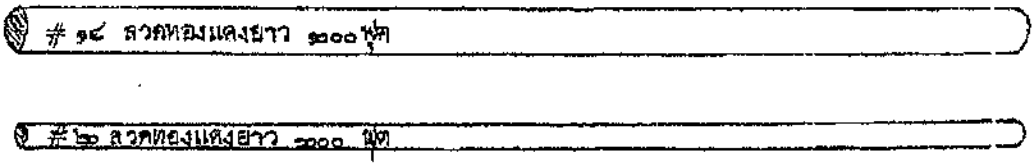


รูปที่ 3 วงจรไฟฟ้าแบบง่าย ๆ

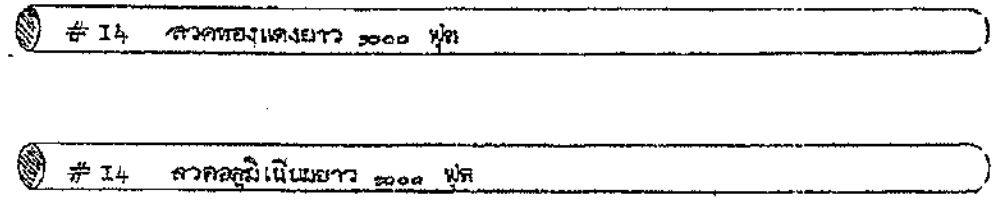
4.3 <u>ความต้านทาน</u> (Resistance) เมื่องานถูกกระทำ แรงที่ใช้ไปจะเปลี่ยนเป็นระยะทาง เช่นเดียวกันแรงดันไฟฟ้าพยายามจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปในขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังทำงาน แต่อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระสมบูรณ์ สิ่งกีดขวางทางฟิสิกส์ซึ่งมีประจำอยู่ในวัสดุทุกชนิดย่อมต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า และเรียกสิ่งต่อต้านนี้ว่า ความต้านทาน อักษรย่อที่ใช้แทนความต้านทาน คือ R หน่วยที่ใช้ในการวัด เป็นโอห์ม (Ohm) คำว่า โอห์ม นี้ให้สัญลักษณ์เป็นอักษรกรีก โอเมก้า (Ω) แทน ความต้านทานของสายไฟมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความยาว ขนาด และอุณหภูมิ ความร้อนซึ่งย่อมเกิดขึ้นเสมอ ทั้งนี้เพราะวัสดุทุกชนิดย่อมมีความต้านทานเมื่ออิเล็กตรอนไหลผ่านความต้านทานย่อมทำให้เกิดความร้อนขึ้น อุณหภูมิสูงไม่ได้ทำให้ความต้านทานสูงขึ้นด้วยเสมอไป แต่วัสดุส่วนมากเกือบทุกชนิด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความต้านทานสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ผลของการเปลี่ยนแปลงความยาว และขนาดของสายไฟ ย่อมทำให้ความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 4



ก. ผลเมื่อความยาวเปลี่ยนแปลง



ข. ผลเมื่อขนาดเปลี่ยนแปลง



ค. ผลเมื่อวัสดุเปลี่ยนแปลง

<u>รูปที่ 4 แสดงตัวประกอบทางฟิสิกส์ที่เป็นตัวกำหนดความต้านทาน</u>

4.4 <u>กฎของโอห์ม</u> (Ohm's Law.) ในวงจรไฟฟ้านั้น กระแสไฟฟ้า (I) จะไหลได้ก็ต่อเมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E) ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย กระแสไฟฟ้าจะต้องเผชิญกับความต้านทาน (R) ด้วยเสมอ การเพิ่มความต้านทานจะเป็นสาเหตุทำให้กระแสไฟลดลง

ความสัมพันธ์ดังกล่าวนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ จอร์จ ไซมอน โอห์ม (Geo'g Simon Ohm) เป็นผู้คิดค้นขึ้นในปี ค.ศ.1827 โดยได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าว และตั้งเป็น **กฎของโอห์ม** (Ohm's Law) ซึ่งได้กล่าวถึงความสัมพันธ์นี้ไว้ว่า "กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ จะแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมปลายทั้งสองของตัวนำ และแปรผกผันกับความต้านทานของตัวนำนั้น" ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้ $E = IR$, $I = \frac{E}{R}$ และ $R = \frac{E}{I}$ เมื่อ

E = แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้า (บางครั้งแทนด้วย V) มีหน่วยเป็น โวลท์ (Volt = V)

I = กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมป์ (Amp = A)

R = ความต้านทานทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ohm = Ω)

4.5 <u>กำลังไฟฟ้า</u> (Electrical Power) คือผลคูณของ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าก็เหมือนกับกำลังทางกล คือหมายถึงอัตราการทำงาน กำลังไฟฟ้าใช้อักษรย่อ P และมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ (Watt = W) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $P = E \times I$ จากกฎของโอห์ม จะได้ $P = I^2R$ หรือ $P = \frac{E^2}{R}$

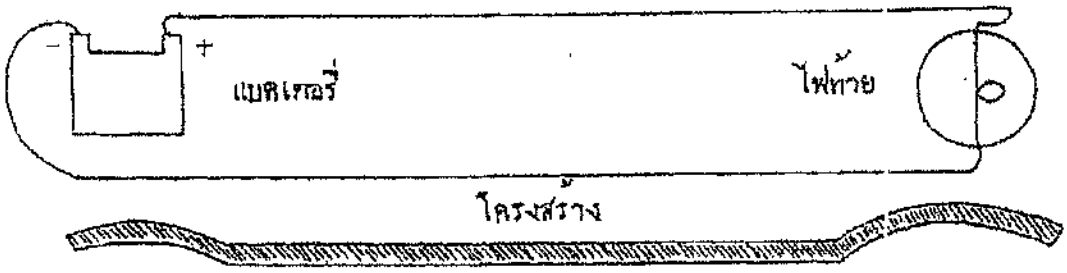
4.6 <u>ตัวนำไฟฟ้า</u> (Conductor) วัสดุที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ง่ายเรียกว่าตัวนำไฟฟ้า เช่น เงิน ทองแดง ทอง อลูมิเนียม เป็นต้น เงินเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีกว่าทองแดงเล็กน้อย แต่สายไฟฟ้าอากาศยานส่วนมากทำด้วยทองแดงทั้งนี้เกี่ยวด้วยราคา เงินมีราคาแพงกว่าทองแดง ส่วนอลูมิเนียมเป็นตัวนำที่ดีไม่เท่ากับทองแดง ฉะนั้นถ้าใช้สายไฟฟ้าที่ทำด้วยอลูมิเนียมโดยให้มีความจุกระแสเท่ากับทองแดง จะต้องใช้สายอลูมิเนียมใหญ่กว่าจึงจะไม่ทำให้เกิดความร้อน แต่อย่างไรก็ตามสายอลูมิเนียมก็ยังมีน้ำหนักเบากว่าและราคาถูกกว่าทองแดง ได้มีการพิสูจน์ให้เห็นกันมาก่อนแล้วว่า การใช้สายอลูมิเนียมเดินในอากาศยานไม่เหมาะสมด้วยประการทั้งปวง ทั้งนี้เพราะสายอลูมิเนียมเมื่อติดตั้งไว้นานจะเปราะและเกิดสนิมที่ข้อต่อ

4.7 <u>ฉนวน</u> (Insulator) วัสดุที่มีความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าสูงหรือไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้เลย เรียกว่า ฉนวน หรือบางทีเรียกว่าวัสดุประเภทมิใช่ตัวนำ แต่ในทางเทคนิคแล้วถือว่าไม่มีวัสดุใด ๆ ที่มิใช่ตัวนำ เพียงแต่ว่าเป็นตัวนำที่ไม่สมบูรณ์เท่านั้น เช่น ยาง เซรามิค, ไฟเบอร์กลาส , พลาสติก เป็นต้น ซึ่งจะไม่ยอมให้กระแสผ่านที่แรงดันไฟฟ้าปกติ

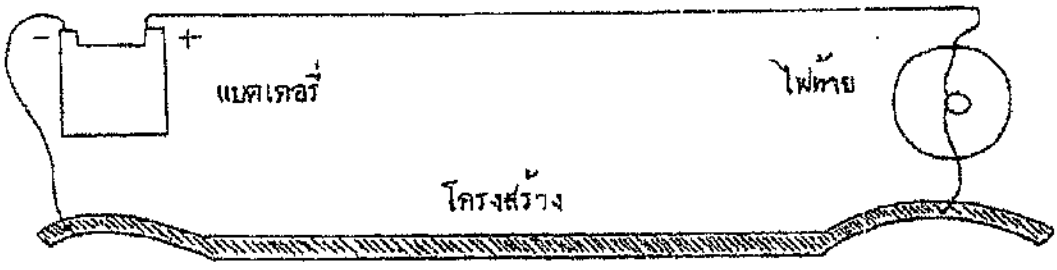
4.8 <u>ตัวต้านทาน</u> (Resistor) วัสดุบางอย่างมีความเหมาะสมที่จะใช้ทำสายไฟฟ้าเพราะมีค่าความต้านทานน้อยมาก และบางชนิดเหมาะสำหรับทำฉนวนหุ้มสายเพราะมีค่าความต้านทานสูงมาก ยังมีวัสดุอีกชนิดหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นวัสดุประเภทที่สามที่สามารถกำหนดค่าความต้านทานตามต้องการได้เราเรียกวัสดุประเภทนี้ว่า ตัวต้านทาน ตัวอย่างง่าย ๆ เช่นเราใช้ตัวต้านทานต่อในวงจรไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อนรี่แสงไฟ

ซึ่งการกระทำเช่นนี้มิใช่เป็นการป้องกันกระแสไฟมิให้ไหลในวงจร แต่เป็นการลดกระแสไฟให้ไหลในวงจรน้อยลง วัสดุที่ใช้ทำตัวต้านทานได้แก่ นิกเกิล นิโครม คาร์บอน เป็นต้น

4.9 <u>สายดินร่วม</u> (Ground) คือการใช้ตัวนำชนิดอื่นแทนสายไฟฟ้าจากรูปที่ 5 ภาพ ก. แสดงให้เห็นถึงการต่อแบตเตอรี่รถยนต์และไฟท้าย ซึ่งมีสายไฟต่ออยู่สองสาย เนื่องจากโครงสร้างรถยนต์ทำด้วยวัสดุตัวนำจึงสามารถลดจำนวนสายไฟฟ้าลงได้จำนวนหนึ่งสายต่อหนึ่งวงจร และใช้โครงสร้างเป็นตัวนำให้กระแสไหลไปยังหลอดไฟ และไหลกลับเข้าแบตเตอรี่ตามสายไฟฟ้าที่เหลือ โครงสร้างจึงกลายเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ตามรูปที่ 5 ภาพ ข. และเรียกว่า สายดินร่วม การลดจำนวนสายไฟฟ้าได้จำนวนหนึ่งสายต่อหนึ่งวงจร ย่อมเป็นการลดราคาและน้ำหนักลงได้มาก เราใช้โครงสร้างอากาศยานเป็นสายดินร่วม อุปกรณ์ทุกหน่วยจะมีสิ่งควบคุมในตัวเองและทำงานโดยไม่เกี่ยวข้องกัน สัญลักษณ์มาตรฐานที่ใช้แทนสายดินร่วมดูได้จากภาพ ค.

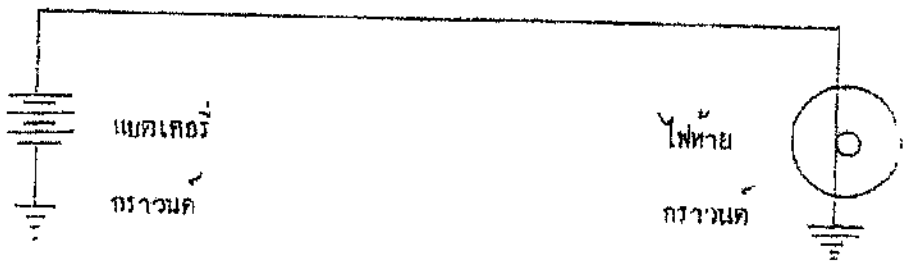


ภาพ ก. แสดงสายไฟและตัวถัง



ภาพ ข. แสดงการใช้ตัวถังแทนสายไฟ

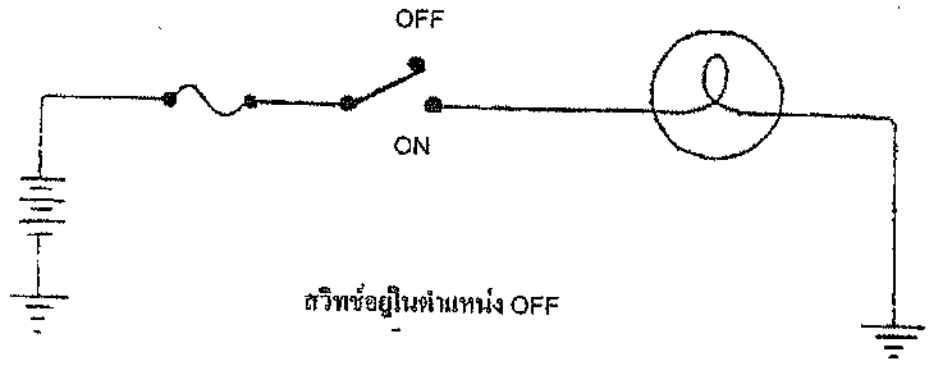
<u>รูปที่ 5 สายดินร่วม</u>

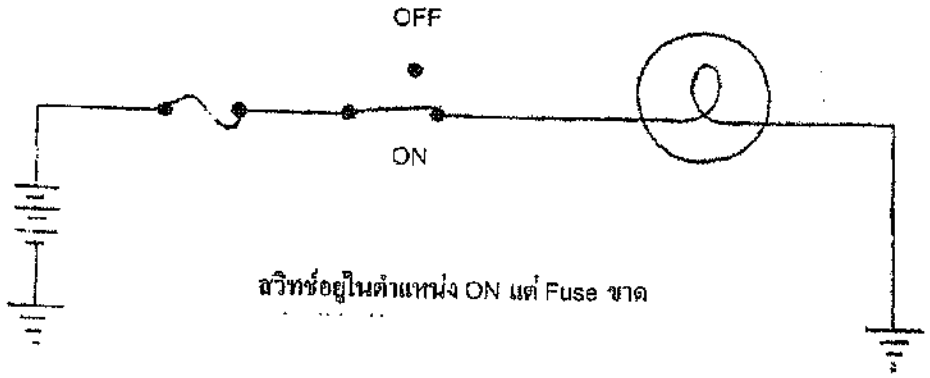


ภาพ ค. ใช้สัญลักษณ์แทนสายดินร่วม

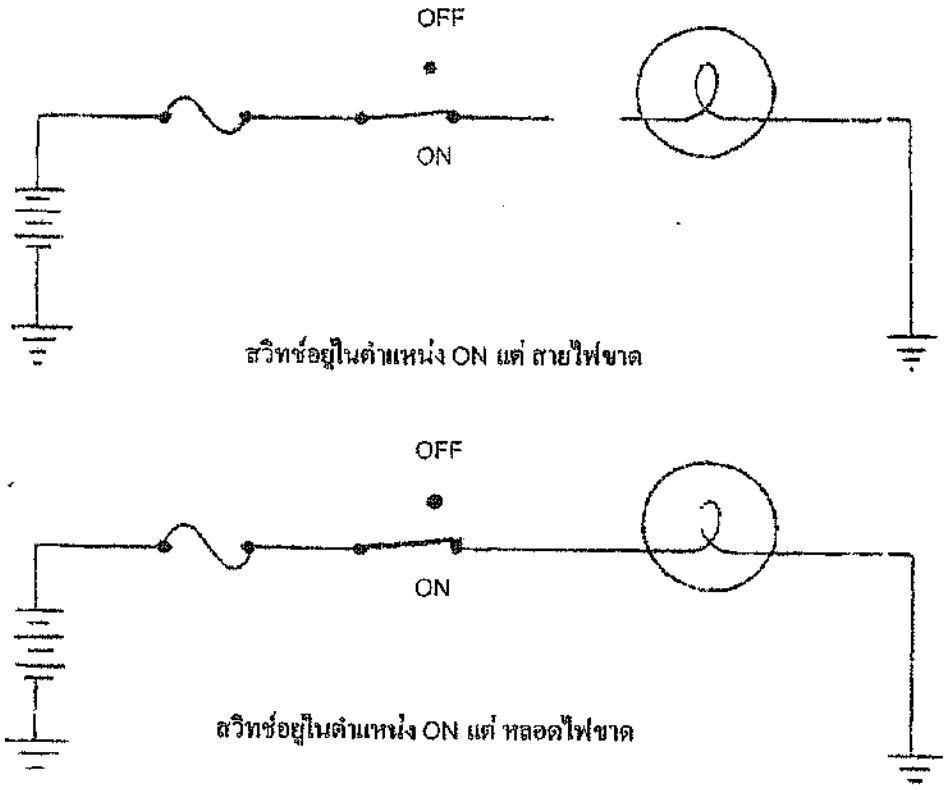
รูปที่ 5 สายดินร่วม (สัญลักษณ์)

4.10 วงจรเปิด (Open Circuit.) หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่ถูกตัดขาด มิให้กระแสไฟฟ้าเดินครบวงจร ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งตั้งใจและไม่ตั้งใจทำให้เกิดเช่นนั้นขึ้น เช่นในขณะที่สวิทช์อยู่ในตำแหน่ง OFF ฟิวส์ขาด สายไฟขาด และหลอดไฟขาด ตามวงจรที่แสดงในรูปที่ 6





รูปที่ 6 แสดงวงจรเปิด (Open Circuit)



รูปที่ 6 แสดงวงจรเปิด (Open Circuit)

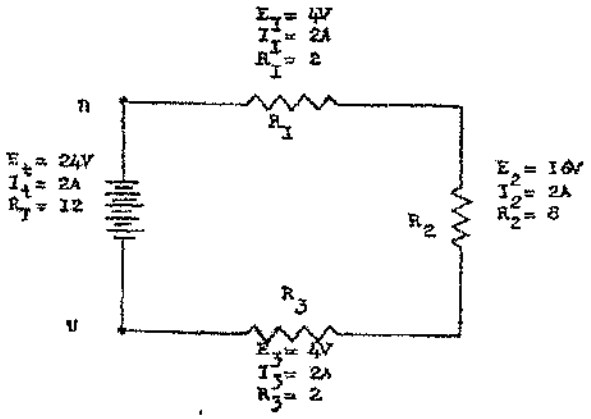
4.11 วงจรปิด (Close Circuit.) หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่ต่อสมบูรณ์ มีกระแสไฟฟ้าเดินครบวงจร อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในวงจรทำงานปกติ นั่นคือวงจรที่สวิทช์อยู่ในตำแหน่ง ON ฟิวส์ สาย ไฟ และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆอยู่ในสภาพสมบูรณ์

4.12 ลัดวงจร (Short Circuit.) หมายถึงทางเดินของกระแสไฟฟ้าซึ่งไม่เดินในทางวงจรปกติ การลัดวงจรอาจจะเกิดขึ้นได้หลายกรณีเช่น ลัดวงจรระหว่างสายไฟสองสาย หรือระหว่างสายไฟกับสายดิน การลัดวงจรทำให้เกิดกระแสไหลมากเกินกำหนด อันจะเป็นผลให้ระบบควบคุมทำงาน เช่น ฟิวส์ขาด หากระบบควบคุมขัดข้องอาจทำให้เกิดไฟไหม้ขึ้นได้ สาเหตุที่ทำให้เกิดลัดวงจรนี้อาจมีสาเหตุจากฉนวนหุ้มสายไฟชำรุด หรืออุบัติเหตุอื่นที่ทำให้กระแสไฟฟ้าเดินผิดทาง

5. ชนิดของวงจร

5.1 **วงจรธรรมดา** (Common Circuit.) คือวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าเดี่ยว แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า สายไฟใช้ต่อให้ครบวงจร คำว่า "วงจร" หมายความว่า จะต้องทำให้กระแสไหล จากแหล่งจ่ายแรงดันไปยังอุปกรณ์ผ่านอุปกรณ์แล้วไหลกลับมายังแหล่งจ่ายแรงดัน ตามรูปที่ 3

5.2 **วงจรอนุกรม** (Series Circuit.) คือวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้ามากกว่า หนึ่งหน่วย ซึ่งเมื่อต่อครบวงจรแล้ว ทำให้กระแสไฟเดินได้ทางเดียว ตามรูปที่ 7 แสดงวงจรที่มีความต้าน 3 ตัว ต่อกันเป็นแบบอนุกรม



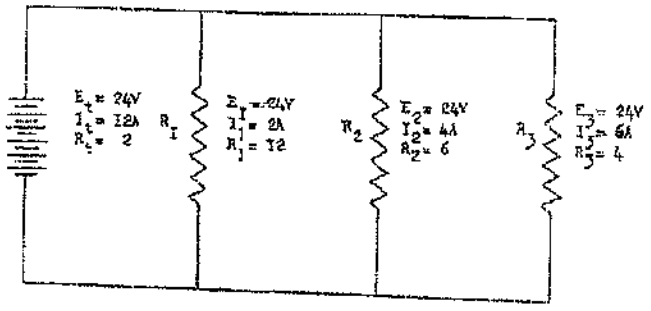
รูปที่ 7 วงจรอนุกรม (Series Circuit)

5.2.1 **แรงดันไฟฟ้าในวงจรอนุกรม** จากรูปที่ 7 กำหนดให้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟ (Source) ถ้านำเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า วัดที่จุด ก. และ ข. จะต้องอ่านค่าได้เท่ากับแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ ซึ่งอ่านได้ 24 โวลต์ ที่จุด ก. และ ข. เป็นปลายสุดของวงจร ซึ่งมีตัวต้านทาน 3 ตัว ต่อแบบอนุกรมอยู่ ฉะนั้น ความต่างศักดิ์ระหว่างจุดปลายทั้งสองของวงจรจึงมีค่า 24 โวลต์ แสดงว่าแรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านทานทั้งสามตัวเท่ากับ 24 โวลต์ จากกฎของโอห์มเมื่อหาค่าแรงดันตกคร่อมที่ค่าความต้านทานแต่ละตัว จะได้ 4, 16 และ 4 โวลต์ ตามลำดับ ผลจากการคำนวณนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ความต้านทานที่มีค่าเท่ากันย่อมทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมเท่ากัน และความต้านทานไม่เท่ากัน แรงดันตกคร่อมจะเป็นสัดส่วนกับความต้านทานนั้น ในวงจรธรรมดาค่าความต้านทานของสายไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้ามาก แรงดันตกคร่อมในสายจึงตัดทิ้ง แรงดันในวงจรอนุกรม $E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \text{---} + E_N$

5.2.2 **กระแสในวงจรอนุกรม** จำนวนกระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายไฟ จะมีค่าเท่ากับจำนวนกระแสที่กลับมายังแหล่งจ่ายไฟนั้น แต่จากคำจำกัดความของวงจรอนุกรม ที่ว่ากระแสไฟในวงจรอนุกรมจะเดินทางเดียว ฉะนั้นกระแสทุกจุดในวงจรอนุกรมจึงมีค่าเดียวกัน จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านค่าความต้านทานทุกตัวจะมีค่าเดียวกันแม้ว่า ค่าของความต้านทานและแรงดันไฟตกคร่อมจะต่างกัน แต่ถ้าแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟ หรือค่าความต้านทานในวงจรเปลี่ยนแปลงไป จำนวนกระแสทุกจุดในวงจรก็จะเปลี่ยนไปด้วย แต่จะยังคงมีค่าเดียวกัน ดังนั้นกระแสในวงจรอนุกรม $I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \text{------} = I_N$

5.2.3 **ความต้านทานในวงจรอนุกรม** จากรูปที่ 4 สายที่ยาวย่อมมีความต้านทานมากกว่าสายสั้น ดังนั้นค่าความต้านทาน 2 ตัวซึ่งต่อกันแบบอนุกรมย่อมมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานตัวเดียว การต่อค่าความต้านทานเป็นอนุกรมกันย่อมเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานนั้นให้มากขึ้น การรวมค่าความต้านทานที่มากกว่า 1 ตัวขึ้นไปอย่างอนุกรม สามารถกระทำได้ง่าย ๆ โดยนำค่าความต้านทานแต่ละตัวนั้นมาบวกกัน เช่น ความต้านทานในรูปที่ 7 ซึ่งมีค่า 2, 8 และ 2 Ω ตามลำดับ เมื่อรวมกันจะมีค่า 12 Ω จงจำไว้เสมอว่าค่าความต้านทานนั้นเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ฉะนั้นการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าในวงจรจะเป็นแต่เพียงทำให้กระแสในวงจรเปลี่ยนแปลงเท่านั้น แต่ค่าความต้านทานรวมในวงจรจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าความต้านทานรวมในวงจรอนุกรม $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \text{----------} + R_N$

5.3 **วงจรขนาน** (Parallel Circuit.) คือวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้ามากกว่าหนึ่งหน่วย โดยปลายของอุปกรณ์เหล่านั้นต่อถึงกันและนำไปต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ทำให้อุปกรณ์แต่ละหน่วยทำงานเป็นอิสระ ไม่ต้องอาศัยกัน จากรูปที่ 8 แสดงความต้านทาน 3 ตัวต่อกันอย่างขนาน



รูปที่ 8 วงจรขนาน (Parallel Circuit)

5.3.1 **แรงดันไฟฟ้าในวงจรขนาน** เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อกันอย่างขนาน จะทำงานได้โดยอิสระไม่ต้องอาศัยซึ่งกันและกัน และอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง เนื่องจากแรงดันตกในสายไฟสามารถตัดทิ้งได้ ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่าแรงดันจากแหล่งจ่าย จะมีค่าเท่ากับแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวในวงจรขนาน ให้สังเกตว่าในรูปที่ 8 นั้น แรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน และเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟ แรงดันไฟฟ้าในวงจรขนาน $E_T = E_1 = E_2 = E_3 = \text{-----} = E_N$

5.3.2 <u>กระแสไฟฟ้าในวงจรขนาน</u> กระแสไฟฟ้าในวงจรขนานจะมีหลายค่าตามจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ แต่กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟจะจ่ายผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวและกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นถ้านำกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวมารวมกันจะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายและกลับมายังแหล่งจ่ายไฟฟ้า จากรูปที่ 8 กระแสไฟทั้งหมด 12 แอมแปร์ได้มาจากผลบวกของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_1 , R_2 และ R_3 ผลรวมของกระแสไฟฟ้าในวงจรขนานจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และถ้านำอุปกรณ์อย่างใดอย่างหนึ่งในวงจรออก ก็ไม่มีผลกระทบกระเทือนกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่เหลือ ดังนั้นสูตรการหากระแสทั้งหมดในวงจรขนาน $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \text{----------} + I_N$

5.3.3 <u>ความต้านทานในวงจรขนาน</u> จากสูตรการหากระแสไฟฟ้าในวงจรขนานตามข้อ 5.3.2 จะเห็นได้ว่ากระแสทั้งหมดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอุปกรณ์ แต่การรวมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรขนานจะไม่ทำให้แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนแปลง เมื่อนำข้อเท็จจริงต่าง ๆ ดังกล่าวมานี้มาประยุกต์กับกฎของโอห์ม $\left(R_T = \frac{E_T}{I_T} \right)$ จะเห็นได้ว่าถ้า E_T ยังมีค่าคงที่ แต่ I_T มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น R_T จะต้องมีค่าลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่า ถ้านำอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ มาต่อกันอย่างขนานแล้วจะทำให้ความต้านทานรวมของวงจรลดลง การทำความเข้าใจเกี่ยวกับผลการรวมค่าความต้านทานในวงจรขนานนี้ ยังมองได้ไม่ชัดเหมือนกับการรวมความต้านทานในวงจรอนุกรมในเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนอุปกรณ์ในวงจร ฉะนั้นถ้าจะอธิบายในทางฟิสิกส์แล้ว จะเห็นได้ว่าทำไมตัวต้านทาน 2 ตัวที่ต่อกันอย่างขนาน จึงมีค่าความต้านทานน้อยกว่าค่าความต้านทานของตัวต้านทานเพียงตัวเดียว ถ้าพิจารณาดูรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าสายไฟขนาดเล็กจะมีความต้านทานมากกว่าสายไฟขนาดใหญ่ ดังนั้นถ้านำสายไฟ 2 สายมาวางเคียงกันย่อมมีความต้านทานน้อยกว่าสายไฟเส้นเดียวที่มีขนาดเท่ากัน ทั้งนี้เพราะการรวมพื้นที่หน้าตัดของสาย 2 เส้น นั้นย่อมมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่กว่า ด้วยเหตุผลเดียวกันนี้ จะเห็นได้ว่าตัวต้านทาน 2 ตัว วางเคียงกัน (ต่อขนานกัน) ย่อมมีค่าความต้านทานน้อยกว่า ตัวต้านทานตัวเดียว สรุปได้ว่า ค่าความต้านทานรวมในวงจรขนาน จะมีค่าเท่ากับผลรวมส่วนกลับของค่าความต้านทานในวงจรขนานทุกตัวรวมกัน สามารถวิเคราะห์สูตรที่ใช้สำหรับหาความต้านทานรวมในวงจรขนานได้จากสูตรการหากระแสไฟฟ้าในวงจรขนานคือ

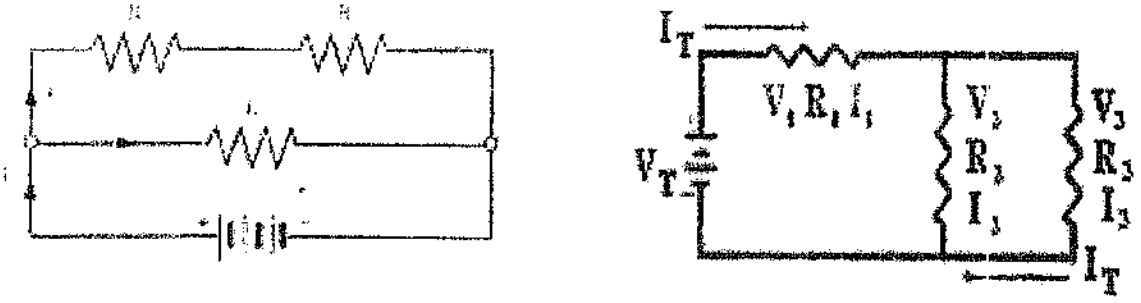
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \text{----------} + I_N$$

จากกฎของโอห์ม $I_T = \frac{E_T}{R_T}$ ดังนั้น $\frac{E_T}{R_T} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}$

แต่ในวงจรขนาน $E_T = E_1 = E_2 = E_3$ ดังนั้นถ้าให้ค่า $E = 1$

ฉะนั้นจะได้ $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \text{---}$

5.3.4 <u>วงจรผสม (วงจรอนุกรมขนาน)</u> คือวงจรที่ประกอบด้วยวงจรที่มีกระแสไฟเดินได้ทางเดียววงจรหนึ่ง และอีกวงจรหนึ่งที่มีกระแสเดินได้หลายทาง ต่ออยู่ในวงจรเดียวกัน ในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ให้ปฏิบัติตามวงจรอนุกรมและวงจรขนาน คือส่วนของวงจรที่เป็นอนุกรมให้ปฏิบัติตามสูตรของวงจรอนุกรม และส่วนที่วงจรขนานให้ปฏิบัติตามสูตรของวงจรขนาน มีการต่อ 2 ลักษณะ ตามรูปที่ 9



<u>รูปที่ 9 วงจรผสม (วงจรอนุกรมขนาน)</u>

6. <u>แม่เหล็ก (Magnet)</u>

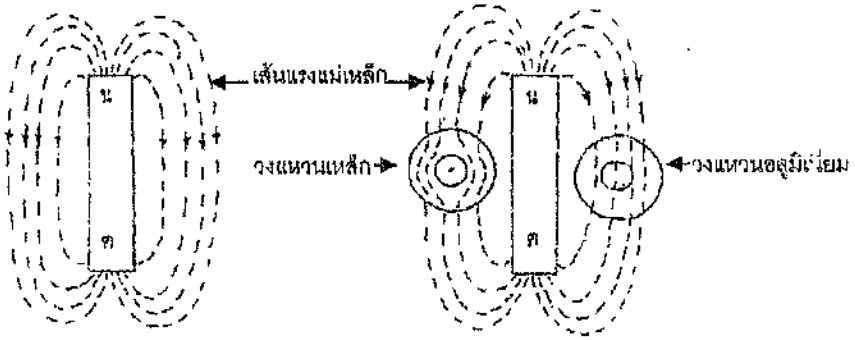
6.1 <u>ทั่วไป</u> ตามปกติสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลย่อมเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กนี้จึงทำให้ สนามแม่เหล็กเป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาวิชาไฟฟ้าเบื้องต้น อุปกรณ์ไฟฟ้าอากาศยานเป็นจำนวนมากทำงานอย่างปกติโดยอาศัยสนามแม่เหล็กนี้ ในทางตรงข้ามบางทีเราไม่ต้องการสนามแม่เหล็ก ที่จะรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น เครื่องวัด เพราะสนามแม่เหล็กจะทำให้การทำงานของเครื่องวัดบางชนิดผิดพลาด ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

6.2 <u>คำจำกัดความเกี่ยวกับแม่เหล็ก</u>

6.2.1 <u>แม่เหล็กถาวร</u> (Permanent Magnet.) คือโลหะที่มีอำนาจแม่เหล็กตกค้างอยู่ตลอดกาล ส่วนมากมักจะพบในแม่เหล็กรูปเกือกม้า แต่อย่างไรก็ตามอำนาจแม่เหล็กที่ตกค้างอยู่มิได้ขึ้นอยู่กับรูปร่างแต่จะขึ้นอยู่กับวัสดุมากกว่า

<u>รูปที่ 10 แม่เหล็กถาวร</u>

6.2.2 <u>สนามแม่เหล็ก</u> (Magnetic Field.) คือสนามของแรงที่เกิดขึ้นรอบ ๆ โลหะที่เป็นแม่เหล็ก เรียกว่า Magnetic Field หรือ Flux Field ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถทดสอบได้โดยการใช้ผงตะไบเหล็กโรยบนกระดาษที่วางทับไว้บนแม่เหล็กถาวรแล้วค่อย ๆ เคาะแผ่นกระดาษจะทำให้ผงตะไบเหล็กค่อย ๆ เรียงตัวเป็นรูป ดังในภาพที่ 11 ก. ความจริงการที่ผงตะไบเหล็กเรียงตัวเองดังในรูปที่เห็นนี้จะประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมาก เส้นแรงแม่เหล็กเหล่านี้จะพุ่งออกจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่ง



ก. ข.

<u>รูปที่ 11 สนามแม่เหล็ก</u>

6.2.3 <u>ขั้วแม่เหล็ก</u> (Magnetic Pole.) ถ้าเราแขวนแท่งแม่เหล็กในแนวระดับ โดยให้เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระแล้ว แท่งแม่เหล็กจะปรับตัวเองให้อยู่ในแนวทิศทาง เหนือ – ใต้ ปลายที่ชี้ไปทางขั้วเหนือแม่เหล็กของโลกเรียกว่าขั้วเหนือของแม่เหล็ก และอีกปลายหนึ่งจะเป็นขั้วใต้ และจากการทดลองตามรูปที่ 11 จะพบว่าผงตะไบเหล็กจะมีมากที่บริเวณขั้วแม่เหล็ก

6.2.4 <u>แรงดูดและแรงผลัก</u> ถ้านำขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่งวางใกล้ขั้วใต้ของอีกแท่งหนึ่ง จะเห็นได้ว่าแท่งแม่เหล็กทั้ง 2 นั้น พยายามจะเคลื่อนเข้าหากัน แรงที่พยายามจะดึงแม่เหล็กทั้ง 2 ขั้วเข้าหากันนี้ แรงนี้เรียกว่าแรงดูด และถ้านำขั้วที่เหมือนกันวางไว้ใกล้กัน จะมีแรงที่พยายามแยกแม่เหล็กทั้งสองนั้นให้ห่างออกจากกัน แรงนั้นเรียกว่าแรงผลัก

6.2.5 <u>ความนำแม่เหล็ก (Permeability)</u> คือคุณสมบัติของวัสดุที่ทำให้สนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในวัสดุนั้นมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ในเมื่อนำวัสดุนั้นวางไว้ในสนามแม่เหล็ก เช่น ถ้านำวงแหวนแหล็กวางไว้ในสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 11 ข. จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กในวงแหวนมีมากกว่าบริเวณรอบ ๆ นั้น วัสดุใดที่สามารถทำให้เกิดความเข้มได้มากกว่าแสดงว่า วัสดุนั้นมี Permeability สูง

6.2.6 <u>ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance)</u> คือความต้านทานของวัสดุต่อสนามแม่เหล็ก ในรูปที่ 11 ข. ถ้านำวงแหวนอลูมิเนียม วางไว้ในสนามแม่เหล็ก ความเข้มสนามแม่เหล็กในวงแหวนอลูมิเนียมจะน้อยกว่าความเข้มในวงแหวนเหล็ก แสดงว่าวงแหวนเหล็กมี Permeability สูงกว่าวงแหวนอลูมิเนียม และวงแหวนอลูมิเนียมมี Reluctance สูงกว่าวงแหวนเหล็ก

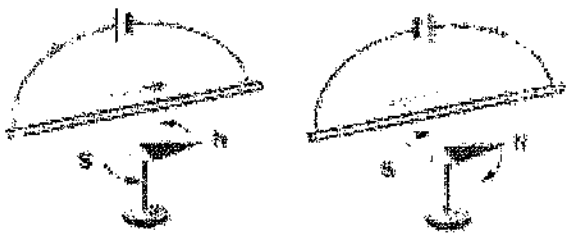
6.2.7 <u>Retentivity</u> คือความสามารถของวัสดุที่สามารถรักษาอำนาจแม่เหล็กไว้ได้ เช่น ถ้านำตะปูตัวหนึ่งให้แม่เหล็กดูด จะทำให้ตะปูตัวนั้นมีอำนาจแม่เหล็กชั่วคราว และสามารถจะดูดตะปูตัวอื่น ๆ ได้ แต่ถ้านำแท่งแม่เหล็กออก จะทำให้ตะปูมีความเข้มของแม่เหล็กอ่อนลงมากและไม่สามารถดูดตะปูตัวอื่น ๆ ได้อีกต่อไป แต่ยังสามารถดูดคลิปหนีบกระดาษหรือเข็มหมุดเล็ก ๆ ได้ ความสามารถที่ตะปูรักษาอำนาจแม่เหล็กไว้ได้นี้เรียกว่า Retentivity

6.2.8 <u>แม่เหล็กตกค้าง (Residual Magnetism)</u> คืออำนาจแม่เหล็กที่ตกค้างอยู่ในวัสดุหลังจากนำแรงแม่เหล็กออกไปแล้ว เช่น ตะปูที่ยังสามารถดูดเข็มหมุดได้นั้น ก็เพราะมี Residual Magnetism

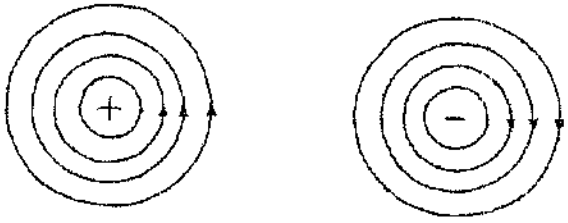
6.2.9 <u>Hysteresis</u> เมื่อชักนำเหล็กอ่อนให้เป็นแม่เหล็กจะต้องใช้พลังงานไปทำให้โมเลกุลในเหล็กอ่อนเรียงตัวกัน เหล็กอ่อนนั้นจึงจะมีอำนาจเป็นแม่เหล็กได้ และเมื่อนำแรงชักนำออกจนถึงศูนย์ แท่งเหล็กอ่อนนั้นก็ยังมีอำนาจแม่เหล็กตกค้างอยู่ การจะทำให้อำนาจแม่เหล็กตกค้างนี้หมดไป จะต้องใช้แรงชักนำในทิศทางตรงข้ามกับครั้งแรกมาชักนำเหล็กอ่อนนั้น แรงที่มากระทำให้อำนาจแม่เหล็กที่ตกค้างหมดไปนี้เรียกว่า Core cave Force การล้าหลังของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันชักแม่เหล็กนี้เรียกว่า Hysteresis ในกรณีของอำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ามีทิศทางกลับอย่างรวดเร็วในวงจร จะทำให้แกนเหล็กอ่อนเกิดความร้อนขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของเหล็กอ่อนปรับตัวไม่ทัน และพลังงานที่ทำให้เกิดความร้อนนี้จะเป็นพลังงานสูญเปล่าและเรียกว่า Hysteresis Loss.

6.2.10 <u>แม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnet)</u> ตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำนั้น เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะเป็นรูปวงกลมรอบ ๆ ตัวนำ และไม่ตัดซึ่งกันและกันแต่จะมีค่าน้อยลงเมื่อระยะห่างจากตัวนำออกไป เช่น ถ้านำเข็มทิศมาวางใกล้ ๆ สายไฟที่มีกระแสไฟไหลจะทำให้เข็มทิศกระดิกไป แสดงว่ามีอำนาจแม่เหล็กเกิดขึ้นใกล้ ๆ สายไฟฟ้านั้นขณะที่มีกระแสไฟไหลอยู่

ทิศทางของวงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ในลวดตัวนำขึ้นอยู่กับทิศทางของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในเส้นลวดนั้น



(1) (2)



ก. ข.

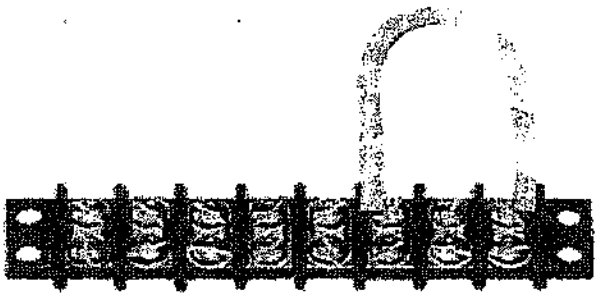
รูปที่ 12 เส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ

ตามรูปที่ 12 ก. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้ากระดาษ ทิศทางของวงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนรูป 12 ข. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากกระดาษ ทิศทางของวงเส้นแรงที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ทิศทางของวงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นหาได้โดยใช้ **"กฎมือซ้าย"** กล่าวคือถ้าใช้มือซ้ายกำเส้นลวดตัวนำ โดยให้นิ้วหัวแม่มือชี้ไปทางทิศที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ นิ้วทั้งสี่ที่กำเส้นลวดจะแสดงทิศทางของวงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ถ้านำสายไฟหรือลวดตัวนำมาขดให้เป็นวงชิด ๆ กัน ซึ่งเราเรียกว่าขดลวด (Coil) หรือ Solenoid สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ทุกวงขดลวดจะมีทิศทางเดียวกันหมดจึงเสริมกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมาก และหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กได้โดยใช้กฎมือซ้ายเช่นเดียวกันคือ ใช้มือซ้ายกำขดลวด โดยให้นิ้วทั้งสี่ ชี้ตามทิศทางของอิเล็กตรอนที่ไหลผ่านขดลวด นิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปทางทิศเหนือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบขดลวดและจำนวนกระแสที่ไหลผ่านขดลวด ถ้านำเหล็กอ่อนใส่เข้าไปตรงกลางขดลวดเป็นแกนจะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กยิ่งมีมากขึ้น ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นนี้มิใช่เกิดจากการเพิ่มความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก แต่เกิดขึ้นจากการที่เหล็กอ่อนนั้นมีสภาพความนำแม่เหล็กที่ดี แกนของแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนมากทำด้วยแผ่นเหล็กอ่อนบาง ๆ รูปร่างของขดลวดเป็นปัจจัยที่จะทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กมีมากหรือน้อย อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในอากาศยานซึ่งต้องใช้แม่เหล็กไฟฟ้าไปอำนวยการทำงานได้แก่ การเคลื่อนไหวของเข็มเครื่องวัด มอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ เป็นต้น

7. เครื่องป้องกันวงจรและเครื่องมือควบคุม

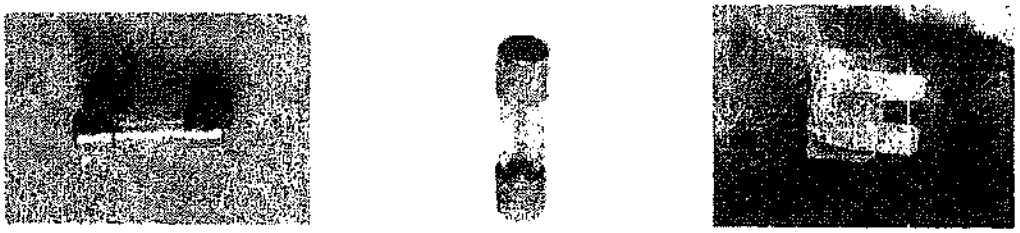
7.1 Terminal Strip , Terminal Broad คือ แผ่นข้อต่อฉนวนซึ่งประกอบด้วยหูข้อต่อจำนวนมาก เพื่อใช้ต่อกับวงจรตั้งแต่หนึ่งวงจรในระบบไฟฟ้าอากาศยานขึ้นไป นอกจากนี้แผ่นข้อต่อฉนวนยังใช้สำหรับให้ช่างไฟฟ้าตรวจสอบข้อขัดข้องวงจรต่าง ๆ ให้สะดวกขึ้น



รูปที่ 13 Terminal Strip

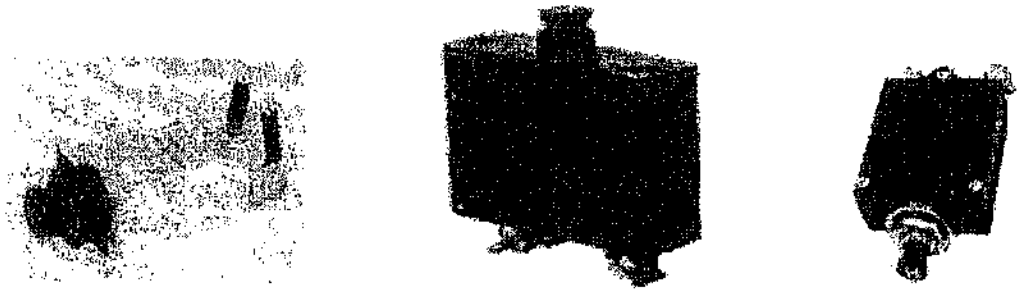
7.2 Junction Box คือ กล่องชุมทางที่ใช้บรรจุแผ่นข้อต่อฉนวน (Terminal Strip) ตั้งแต่หนึ่งแผ่นขึ้นไป พร้อมทั้งติดตั้งวงจรความต้านทานและฟิวส์ไว้ตามความจำเป็น กล่องชุมทางนี้มีประโยชน์สำหรับใช้ตรวจสอบข้อขัดข้องวงจรไฟฟ้าเป็นตำบล ๆ

7.3 ฟิวส์ คือแผ่นโลหะซึ่งจะหลอมละลาย เมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินข้อกำหนดกระแสของฟิวส์ ฟิวส์จะต้องติดตั้งไว้ในวงจร เพื่อให้กระแสที่ไหลในวงจรนั้น ๆ ทั้งหมดผ่าน และจะต้องหลอมละลายตัดวงจรขณะมีกระแสเกินอัตรากำหนดผ่านฟิวส์ ฟิวส์มีขนาดและรูปร่างต่างๆกัน



รูปที่ 14 ฟิวส์ชนิดต่าง ๆ

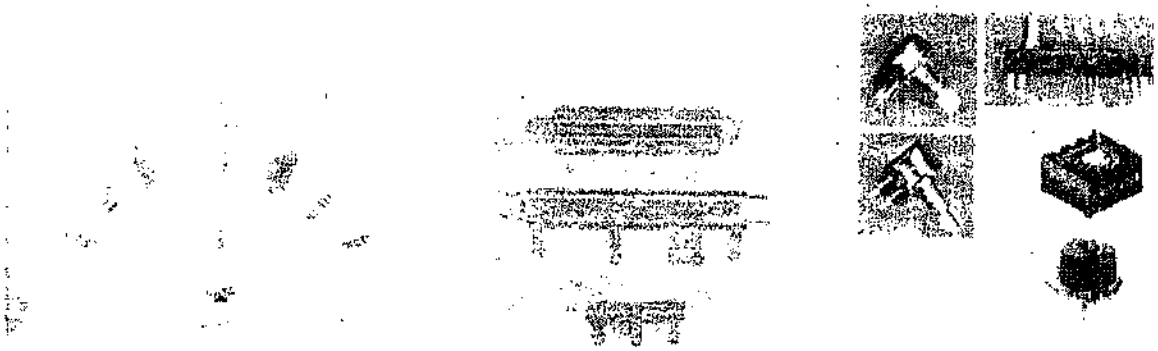
7.4 Circuit Breaker คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตัดวงจรไฟฟ้ามิให้กระแสไหล ในเมื่อกระแสไหลเกินค่าที่ตั้งไว้ Circuit Breaker สามารถใช้แทนฟิวส์ได้ และในบางโอกาสไม่ต้องใช้สวิทช์ Circuit Breaker แตกต่างจากฟิวส์ คือเมื่อ Circuit Breaker ตัดวงจรแล้ว เราสามารถ ตั้งหรือปรับให้ใช้ได้อีก (Reset) แต่ฟิวส์นั้นเมื่อหลอมละลายแล้วจะต้องเปลี่ยนฟิวส์ใหม่เท่านั้น



รูปที่ 15 Circuit Breaker ชนิดต่าง ๆ

7.5 **ตัวต้านทานค่าคงที่** (Constant Resistor) คืออุปกรณ์ตัวต้านทานที่สร้างขึ้นโดย กำหนดค่าไว้ค่าใดค่าหนึ่ง และติดตั้งไว้ในวงจรเพื่อกำหนดกระแสไฟฟ้าในวงจรนั้น ๆ ความต้านทานบางตัวใช้สำหรับลดแรงดันไฟฟ้า เช่นในวงจรหรี่ไฟแสงสว่าง ตัวต้านทานบางตัวต่อไว้เพื่อทำให้เกิดความร้อน เช่น Heater ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นต้น

7.6 **ตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าได้** (Variable Resistor) คือตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ได้ สามารถลดค่าหรือเพิ่มค่าความต้านทานเพื่อกำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรตามต้องการได้ เช่น Volume ต่างๆ

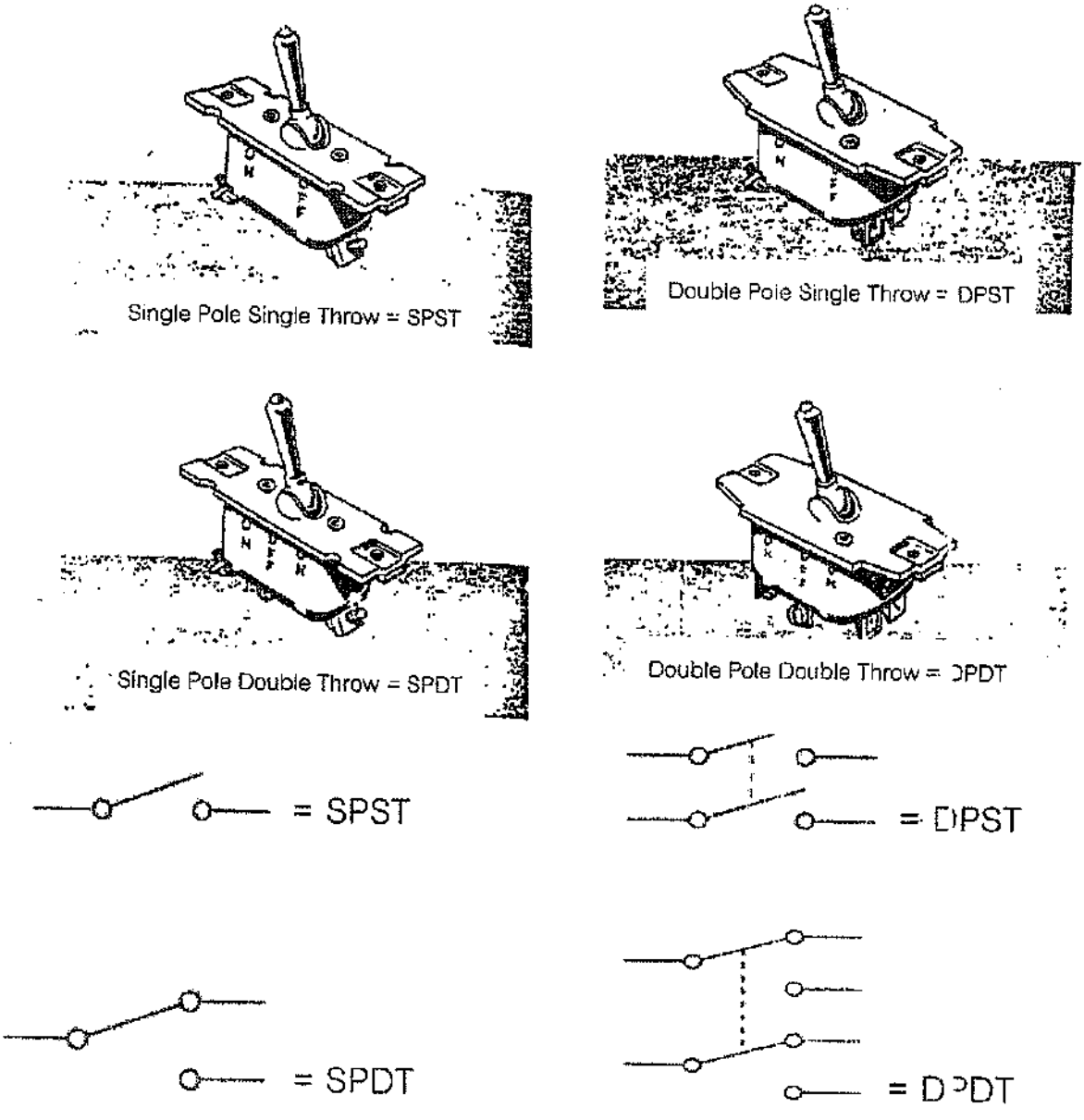


ก. ตัวต้านทานค่าคงที่ ข. ตัวต้านทานเลือกค่าได้ ค. ตัวต้านทานปรับค่าได้

รูปที่ 16 ตัวต้านทานชนิดต่าง ๆ

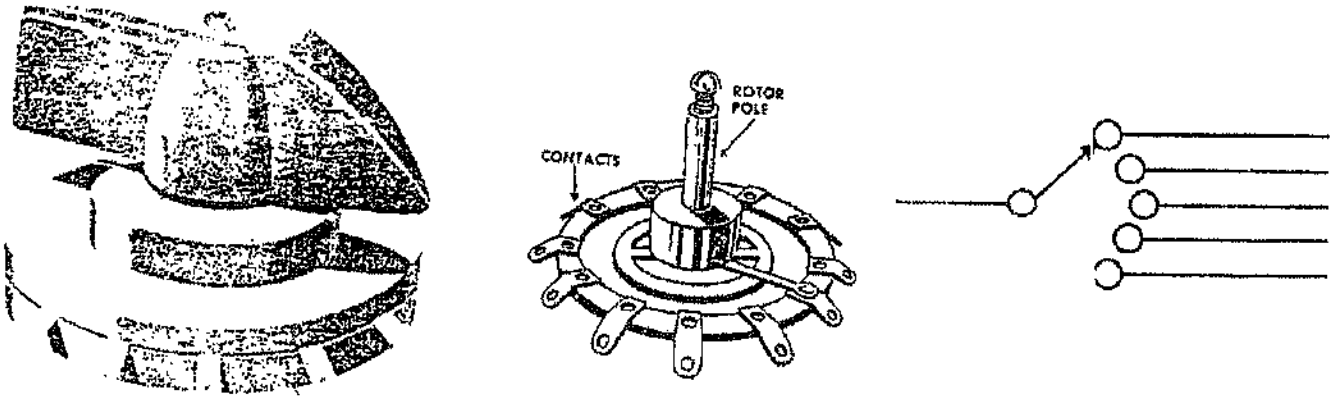
7.7 <u>สวิทช์ (Switches)</u> คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรต่าง ๆ เช่น ใช้ในการกำหนดให้ทำงาน (ON) หรือหยุดการทำงาน (OFF) หรือเปลี่ยนทิศทางของกระแสไฟฟ้า สวิทช์ที่ใช้ติดตั้งในวงจรไฟฟ้าทุกวงจรจะต้องสามารถรับกระแสในสภาพปกติของวงจร และมีคุณสมบัติเป็นฉนวนตลอดเวลาในขณะที่มีแรงดันในวงจรเกิดขึ้น สวิทช์ที่ใช้ในอากาศยานมีหลายแบบ เช่น

7.7.1 <u>Toggle Switch.</u> คือ สวิทช์ที่ต้องใช้มือผลักให้ทำงานประกอบด้วย ข้อต่อทิศทางและตำแหน่งดังรูปที่ 17



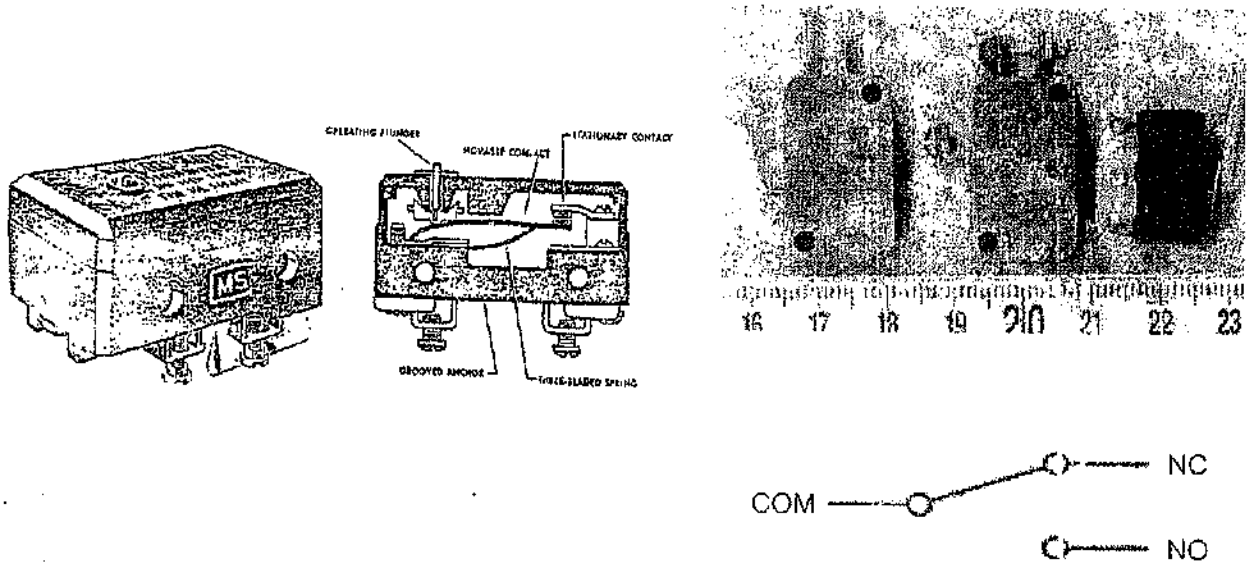
<u>รูปที่ 17 Toggle Switches ชนิดต่าง ๆ และสัญลักษณ์</u>

7.7.2 <u>สวิทช์เลือกทางแบบหมุน (Rotary Selector Switch)</u> คือสวิทช์ที่ต้องใช้มือหมุนให้ทำงาน ทำหน้าที่เป็นสวิทช์หลาย ๆ ทางในสวิทช์เดียวกัน เมื่อทำการหมุนปุ่มสวิทช์ จะทำให้วงจรหนึ่งเปิดและจะปิดอีกวงจรหนึ่ง เช่น สวิทช์ของระบบจุดระเบิด , สวิทช์ของมัลติมิเตอร์เป็นต้น



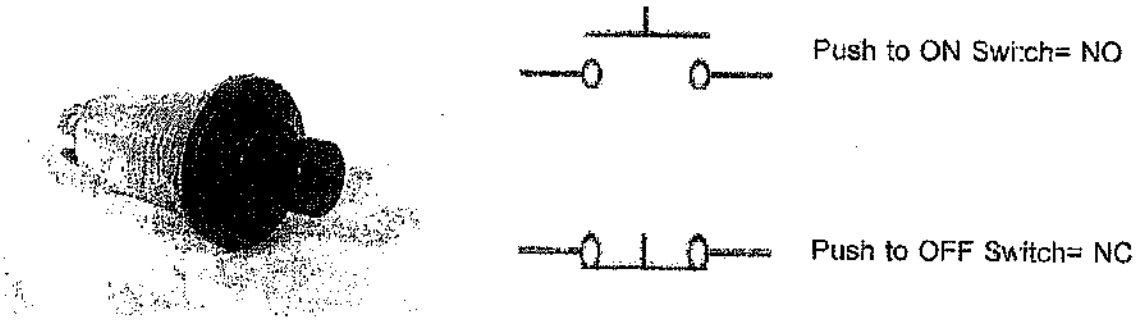
<u>รูปที่ 18 สวิทช์เลือกทางแบบหมุน Rotary Selector Switch และสัญลักษณ์</u>

7.7.3 <u>ไมโครสวิทช์ (Micro Switch)</u> คือสวิทช์ที่อำนวยการทำงานโดยทางกล สวิทช์แบบนี้จะปิดหรือเปิดวงจรได้โดยเพียงแต่ใช้เครื่องช่วยดันให้เคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งโดยปกติมักจะเป็นแบบปุ่มกด (Push Button) ประโยชน์ที่พบใช้งานบ่อย ๆ คือใช้เป็น Limit Switch เพื่อควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ให้ทำงาน หรือหยุดการทำงานอย่างอัตโนมัติ



<u>รูปที่ 19 ไมโครสวิทช์ และสัญลักษณ์</u>

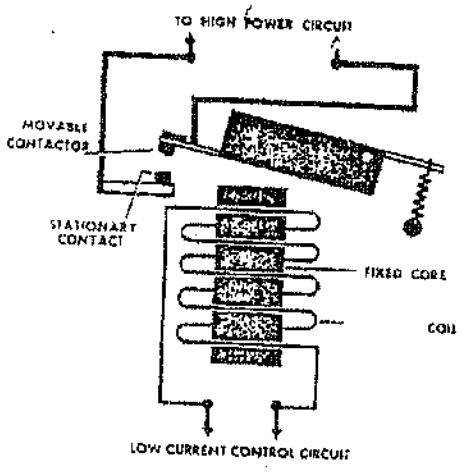
7.7.4 <u>สวิทช์กด (Push Switch)</u> เป็นสวิทช์อีกแบบหนึ่งที่มีใช้งานอยู่ในวงจรไฟฟ้าทั่วๆไป และบนอากาศยาน ที่ใช้งานทั่วๆไป มี 2 ชนิด คือ ชนิดกดแล้วปิดวงจร (Normal Open = NO) กับชนิดกดแล้วเปิดวงจร (Normal Close = NC)



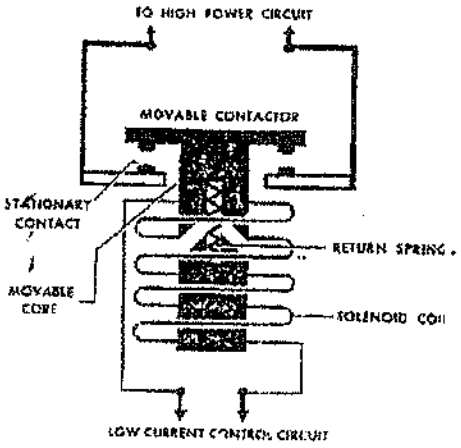
<u>รูปที่ 20 สวิทช์กด (Push Switch) และสัญลักษณ์</u>

7.7.4 <u>รีเลย์ (Relay)</u> เป็นสวิทช์อีกแบบหนึ่ง ซึ่งติดตั้งในวงจรเพื่อใช้ควบคุมการทำงานในระยะไกล ตัวรีเลย์ประกอบด้วยขดลวดพันไว้กับแกนเหล็กอ่อน มีหน้าสัมผัสแตกต่างกันตามชนิดของรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ จะใช้กระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยให้ไหลผ่านขดลวด ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อสวิทช์ควบคุมอยู่ในตำแหน่ง ON (Close Circuit) แกนเหล็กจะถูกชักนำให้เป็นแม่เหล็กและจะดูดแผ่นอเมเจอร์ ซึ่งเป็นเหล็กอ่อนเช่นเดียวกันเข้าหาทำให้หน้าสัมผัสเชื่อม ถ้าสวิทช์ควบคุมอยู่ในตำแหน่ง OFF (Open Circuit) สนามแม่เหล็กจะหุบหายไป ทำให้สปริงดึงแผ่นอเมเจอร์กลับที่เดิมเป็นเหตุให้หน้าสัมผัสเปิด ดังแสดงตามรูปที่ 21

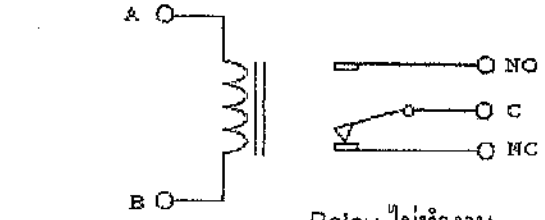
หน้าสัมผัสของรีเลย์บางชนิดเป็นแบบใช้สปริงในการดึงให้หน้าสัมผัสเปิด และบางชนิดใช้สปริงดึงให้หน้าสัมผัสเชื่อม รีเลย์แบบ Solenoid Action คือหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่นั้นจะเคลื่อนที่อยู่ภายในขดลวด ขดลวดสปริงจะยึดส่วนที่เคลื่อนที่ของแกนเหล็กอ่อนให้ห่างจากแกนเหล็กอ่อนส่วนที่อยู่กับที่เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ขดลวดถูกชักนำสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะพยายามดูดส่วนที่เคลื่อนที่ได้ภายในขดลวดนั้น แรงดูดนี้จะมีค่ามากกว่าแรงดึงของสปริง ทำให้สามารถดึงหน้าสัมผัสลงมาเชื่อมให้ครบวงจรได้ เป็นที่น่าสังเกตว่าหน้าสัมผัสนั้นไม่ติดต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับแกนเหล็กอ่อน เมื่อสวิทช์ควบคุมอยู่ในตำแหน่ง OFF จะทำให้สนามแม่เหล็กหุบหายไป สปริงจะดึงแกนเหล็กอ่อนที่เคลื่อนที่ได้ให้กลับขึ้นไปอยู่ตำแหน่งเดิม ทำให้วงจรเปิด



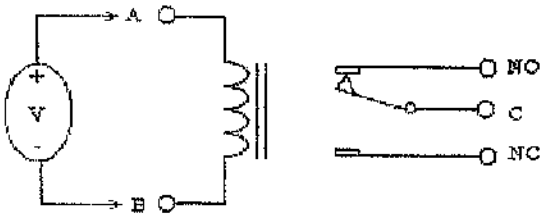
Single Contact Relay



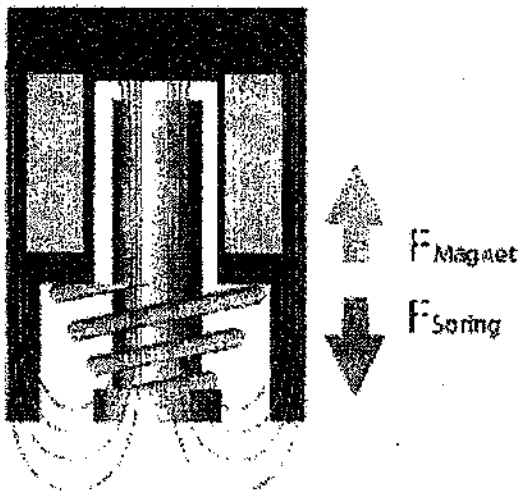
Dual Contact Relay



Relay ไม่ทำงาน



Relay ทำงาน



<u>รูปที่ 21 รีเลย์ (Relay & Solenoid)</u>

??????????????????

บทที่ 2

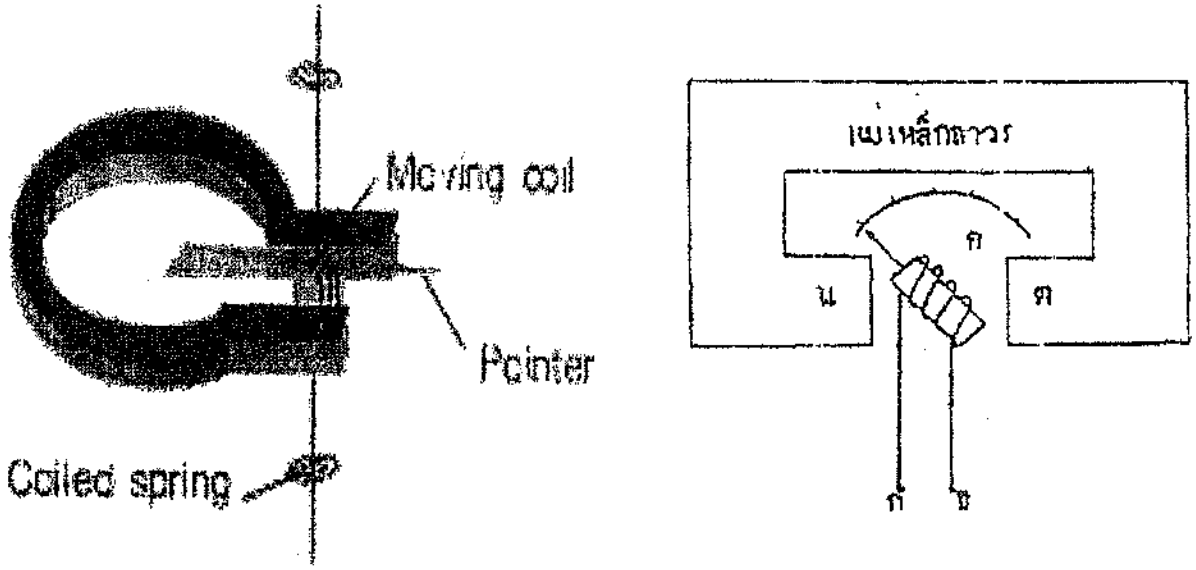
เครื่องวัดทางไฟฟ้า

1. เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Electrical Indicating Meter.)

เครื่องวัดที่ใช้กันทั่วไปเกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสตรง ได้แก่ แอมมิเตอร์ (Amp Meter) , โหลดมิเตอร์ (Load Meter) , โวลต์มิเตอร์ (Volt Meter) และโอห์มมิเตอร์ (Ohm Meter) เครื่องวัดเหร านี้บางอย่าง จะพบที่หน้าแผงเครื่องวัดอากาศยาน และบางอย่างใช้สำหรับตรวจหรือแก้ไขข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ ช่างไฟฟ้าหรือผู้ควบคุมจะต้องแน่ใจว่าเจ้าหน้าที่ที่ทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้าบนอากาศยาน มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องวัดทั้งบนแผงเครื่องวัด และที่ใช้ตรวจสอบแก้ไขข้อขัดข้องเป็นอย่างดี เพื่อให้ชั่วโมงการซ่อมบำรุงอากาศยานน้อยที่สุด

1.1 เครื่องวัดขั้นมูลฐาน (D'Asonval Meter.)

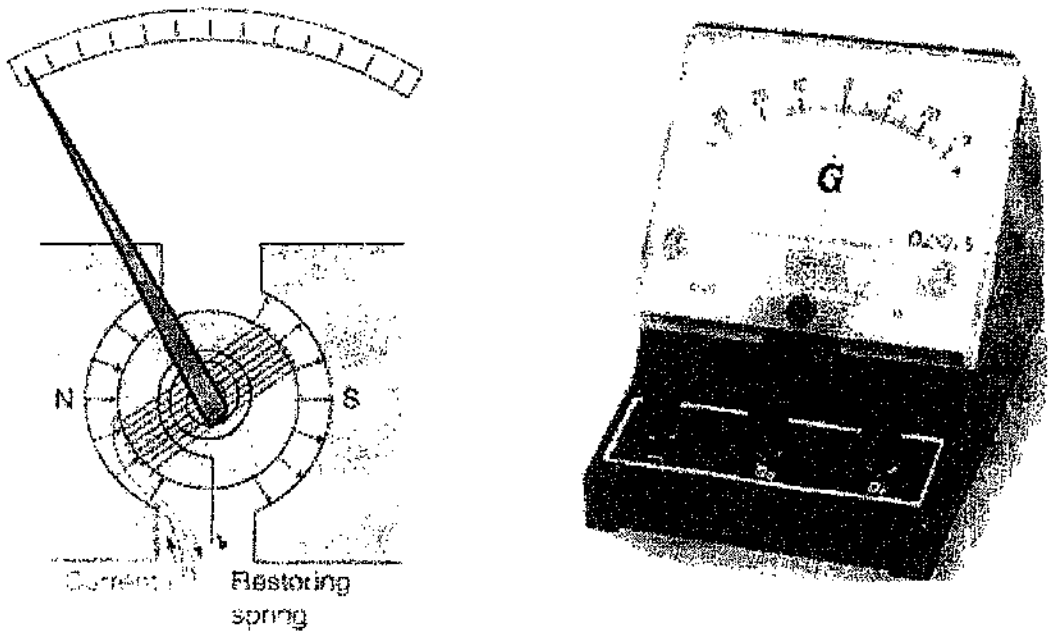
เข็มของเครื่องวัดทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวมาแล้ว สามารถกระดิก ขึ้น - ลง ได้โดยใช้หลักของ D'Asonval ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญได้แก่ แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) , เข็มชี้ (Pointer) และขดสปริง (Coiled Spring)



รูปที่ 1 หลักการ D'Asonval

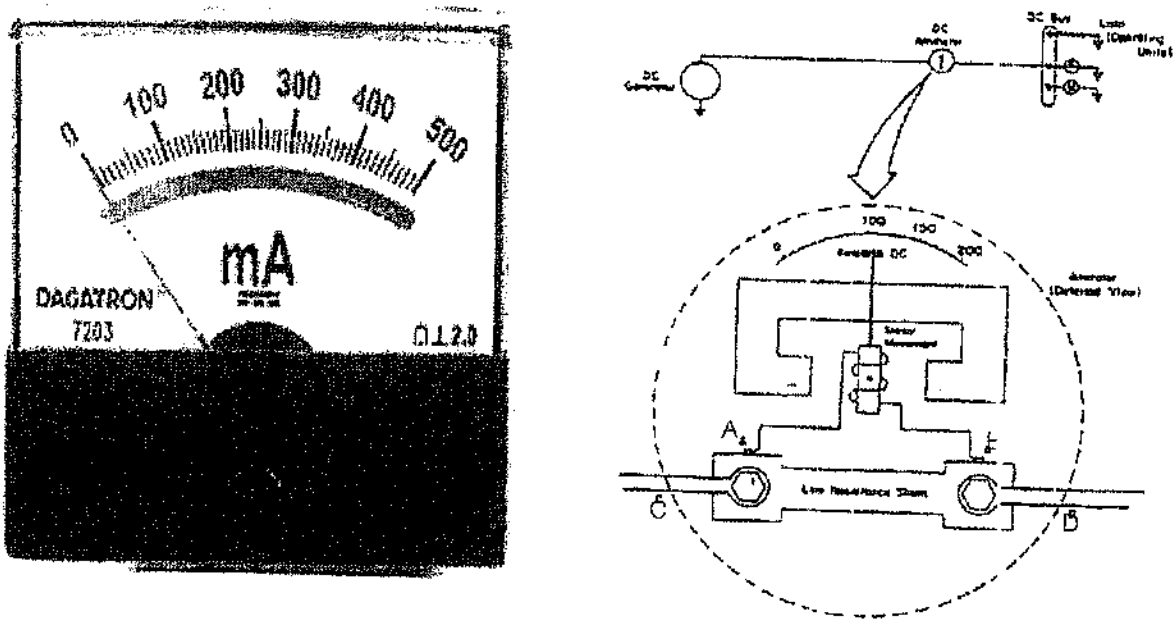
จากรูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของเข็มของเครื่องวัดขั้นมูลฐาน แม่เหล็กถาวรจะอยู่กับที่ และขดลวดเคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่โดยมีจุดหมุนอยู่ที่แกนทั้งสองข้าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้เกิดเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ถ้าอิเล็กตรอนไหลเข้าทางจุด ก. และออกทางจุด ข. จะทำให้ปลายบนสุดของแท่งเหล็กอ่อนกลายเป็นขั้วเหนือและปลายล่างสุดเป็นขั้วใต้ เป็นเหตุให้เกิดแรงผลักขึ้นระหว่างขดลวดและแม่เหล็กถาวร จึงทำให้ขดลวดเคลื่อนที่หมุนขึ้นไปตามเข็มนาฬิกา เข็มจะกระดิกขึ้นไปทางขวา ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลเข้าในทิศทางตรงข้าม ขดลวดเคลื่อนที่จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เข็มจะกระดิกไปทางซ้ายแต่ในเครื่องวัดหลายๆชนิดจะออกแบบให้เข็มชี้สุดทางด้านซ้าย จึงทำให้เข็มเคลื่อนที่ได้เพียงเล็กน้อย อุปกรณ์ที่ใช้จำกัดการเคลื่อนที่ให้เข็มกระดิกได้มากหรือน้อย และให้เข็มกลับสู่ที่เดิมเมื่อกระแสหยุดไหล คือ สปริงขนาดเล็กมากเรียกว่า Hair Spring หรือ Spring Coil ซึ่งติดตั้งไว้ที่แกนของขดลวดเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของเข็มจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ไหลเข้าขดลวด ในเมื่อกระแสไหลเข้าถูกทิศทาง การเคลื่อนที่ของเข็มนี้สามารถดัดแปลงให้เป็นการเคลื่อนที่ของเข็มบนหน้าปัด และจากการคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดเคลื่อนที่ ที่ทำให้เข็มชี้สุดหน้าปัดพอดี สามารถนำมาแบ่งสเกล (Scale) บนหน้าปัดของเครื่องวัดแต่ละชนิดได้ เครื่องวัดที่ได้จากการจัดทำเบื้องต้นนี้เรียกว่า กัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) ซึ่งสามารถนำไปใช้วัดวงจรที่มีกระแสต่ำ ๆ ได้ เนื่องจากจำนวนกระแสที่ไหลเข้าขดลวดเคลื่อนที่ ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 2 กัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer)

1.2 <u>เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter.)</u> คือเครื่องวัดที่ใช้สำหรับวัดค่า ระแสไฟฟ้าในวงจรเป็นมิลลิแอมแปร์ หรือแอมแปร์ โดยต่อเป็นอนุกรมกับภารกรรม (Load) ดังรูปที่ 3



<u>รูปที่ 3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter.)</u>

ภายในตัวเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าจะประกอบด้วยตัวต้านทานที่มีค่าต่ำ ต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของกัลวานอมิเตอร์เพื่อทำหน้าที่แบ่งกระแสไฟฟ้า เพื่อให้มีกระแสไฟผ่านขดลวดเคลื่อนที่สูงสุดเมื่อเข็มของเครื่องวัดชี้สุดสเกลเท่านั้น เรียกว่า Shunt Resister

Shunt Resister จะมีค่าต่ำและต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน Shunt Resister และขดลวดเคลื่อนที่ เป็นสัดส่วนกัน กระแสไฟส่วนใหญ่จะไหลผ่าน Shunt Resister ส่วนกระแสที่ไหลผ่านขดลวดจะเป็นเปอร์เซ็นต์เพียงเล็กน้อย จึงทำให้เข็มกระดิกขึ้นไปเป็นสัดส่วนกับจำนวนกระแสที่ไหลทั้งหมด สเกลเครื่องวัดคำนวณไว้เป็นแอมแปร์แม้ว่ากระแสจะไหลผ่านขดลวดเพียงเล็กน้อยแต่เครื่องวัดจะแสดงค่าเป็นแอมแปร์ของจำนวนกระแสทั้งหมดที่ต้องการวัด

ในอากาศยาน Shunt Resister มิได้ต่ออยู่ในเครื่องวัด ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ

1.2.1 กระแสไฟฟ้าเป็นจำนวนมากไหลผ่าน Shunt Resister ย่อมทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง ถ้าอยู่ใกล้เครื่องวัดซึ่งทำงานด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า ย่อมมีผลทำให้การอ่านเครื่องวัดผิดพลาดได้

1.2.2 เนื่องจากกระแสไฟฟ้าจ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในอากาศยานส่วนมากมีค่าสูง เช่น 200 แอมแปร์ จำเป็นต้องใช้สายไฟเบอร์ 00 ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1/2" จึงจะสามารถนำกระแส 200 แอมแปร์ได้ ฉะนั้นการเดินสายไฟขนาดใหญ่ ไปยังบัสบาร์ (Bus Bar) ย่อมเป็นการลดน้ำหนักสายได้มากกว่าที่จะเดินสายไปยังแผงเครื่องวัด ถ้าติดตั้ง Shunt Resister ไว้ในเครื่องวัด

ข้อสังเกต

คำว่า "เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า" ให้หมายความรวมทั้งตัวเครื่องวัดและ Shunt Resister ด้วย โดยมิต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่ติดตั้งของ Shunt Resister ว่าจะติดตั้งที่ใด และให้ถือว่าเครื่องวัดยังต่อเป็นอนุกรมกับ Load เสมอ แม้ว่าจะติดตั้ง Shunt Resister ไว้ภายนอกเครื่องวัดก็ตาม

ส่วนมากเราจะพบเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าติดตั้งไว้ที่ แผงเครื่องวัดของอากาศยานเพื่อไว้แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออก นอกจากนี้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้ายังใช้ในการตรวจสอบการใช้กระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ด้วย

ข้อควรระวังในการใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

1. ให้สังเกตการต่อขั้วแอมมิเตอร์ ให้ถูกต้องขณะใช้งาน มิฉะนั้นจะทำให้เข็มเครื่องวัดจะชี้กลับทาง ตัวเข็มเครื่องวัดมีขดลวดสปริงที่มีแรงควบคุมให้ชี้ศูนย์อยู่ตลอดเวลาถ้าต่อกลับขั้ว จะทำให้เข็มชี้กลับทางเป็นระยะนิดหน่อยทางซ้ายมือแล้วจึงหยุดอยู่กับที่ เมื่อเป็นเช่นนี้ย่อมทำให้เกิดความแตกต่างขึ้นระหว่างกระแสเป็นศูนย์ และกระแสที่ไหลกลับทาง นอกจากนี้ การที่เข็มเครื่องวัดชี้กลับทางยังมีสาเหตุเนื่องมาจากการต่อ Shunt Resister ผิดทิศทางอีกด้วยคือที่ขั้ว C และ D ในรูปที่ 3 จะต้องต่อกับ Load และสายเล็ก คือขั้ว A และ B จะต้องต่อเข้าขดลวดของเครื่องวัด

2. ตัว Shunt Resister และตัวขดลวดเคลื่อนที่ในตัวเรือนเครื่องวัดจะต้องสัมพันธ์กัน เพราะถ้า Shunt Resister มีความต้านทานสูงเกินไป จะทำให้กระแสไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่มาก อันจะเป็นเหตุให้เข็มชี้สเกลกระดิกมากเกินกว่ากระแสที่ไหลจริงๆในวงจร และเป็นสาเหตุให้ขดลวดในเครื่องวัดชำรุด แต่ถ้า Shunt Resister มีความต้านทานน้อยกว่ากำหนด ย่อมทำให้กระแสไหลผ่าน Shunt Resister มากและผ่านขดลวดน้อย เป็นเหตุให้เครื่องวัดชี้ค่าน้อยกว่าที่เป็นจริง โรงงานผู้ผลิตจะเป็นผู้ประทับตัวเลขต่าง ๆ ที่ตัว Shunt Resister ให้ทราบถึงจำนวนกระแสสูงสุดและแรงดันตกคร่อมเป็นมิลลิโวลต์ที่ Shunt Resister สามารถรับได้ ในการเปลี่ยน Shunt Resister ทุกครั้งจะต้องใช้ Shunt Resister ที่มีค่าและข้อกำหนดอย่างเดียวกับของเดิมเสมอ ถ้าการออกแบบแอมมิเตอร์ และ Shunt Resister ที่ใช้ในระบบต้องติดตั้งอยู่คนละที่ ผู้ผลิตจะเป็นผู้บอกค่าของ Shunt Resister ไว้ที่ตัวเครื่องวัดว่าจะต้องใช้ Shunt Resister ขนาดเท่าใดจึงจะเหมาะสม ฉะนั้นถ้าจะมีการเปลี่ยนตัวเรือนเครื่องวัดด้วยเหตุผลใดก็ตามจะต้องใช้ตัวเรือนเครื่องวัดที่มีขนาดและข้อกำหนดเหมือนเดิม ถ้า Shunt Resister และตัวเครื่องวัดเข้ากันไม่ได้ (หมายถึงค่าความต้านทานและข้อกำหนดไม่สัมพันธ์กัน) ย่อมมีผลทำให้เครื่องวัดอ่านค่าต่ำเกินไปหรือสูงเกินไปหรืออาจจะทำให้ขดลวดชำรุดได้ ทำไมจึงต้องต่อเครื่องวัดแอมมิเตอร์เป็นอนุกรมกับ Load จะต่อขนานกับ Load ไม่ได้

หรือ ขออธิบายว่าเนื่องจากค่าความต้านทานภายในของเครื่องวัดมีค่าน้อยมาก เพียงเป็นเศษส่วนของหนึ่งโอห์ม ดังนั้นถ้านำไปต่อคร่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ต่อขนาน) ก็มีผลเหมือนกับนำไขควงไปวางระหว่างขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าย่อมทำให้กระแสเดินลัดวงจร กระแสย่อมไหลผ่านเครื่องวัดสูงมากเป็นผลให้ทั้งเครื่องวัดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชำรุด นอกจากสายไฟจะละลายขาดก่อน เท่านั้น

1.3 <u>เครื่องวัดภารกรรม (Load Meter.)</u>

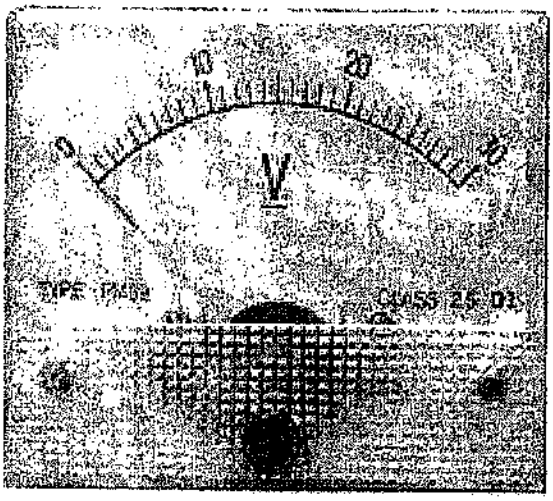
Load Meter และแอมมิเตอร์ทำหน้าที่ขั้นมูลฐานเหมือนกัน อากาศยานที่ติดตั้ง Load Meter จะไม่ติดตั้งแอมมิเตอร์ Load Meter จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนกระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังจ่ายใช้งาน และจำนวนกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตได้ติดต่อกันโดยไม่เกิดความร้อน จึงได้คำนวณเสกลบนหน้าปัดเครื่องวัดให้มีตัวเลขตั้งแต่ 0 – 1.25 เช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 200 แอมป์ และกำลังจ่ายกระแสส่งออกเพียง 100 แอมป์ เครื่องวัด Load Meter จะแสดงค่า 0,5 และถ้าจ่ายกระแสส่งออก 200 แอมป์ เครื่องวัดจะชี้ค่า 1.0 ในกรณีที่เครื่องวัดชี้ค่า มากกว่า 1.0 แสดงว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกระแสมากเกินเกณฑ์ (Over Load)

Load Meter และแอมมิเตอร์แตกต่างกันอย่างเดียวเท่านั้น คือ การคำนวณหน้าปัดของเครื่องวัดทั้งสองต่างกัน นอกจากนี้แล้วเหมือนกัน เช่น การต่อใช้งานก็ต้องเป็นอนุกรมกับระบบไฟฟ้าของอากาศยาน และการใช้ Shunt Resister ก็ต้องให้เข้ากันได้

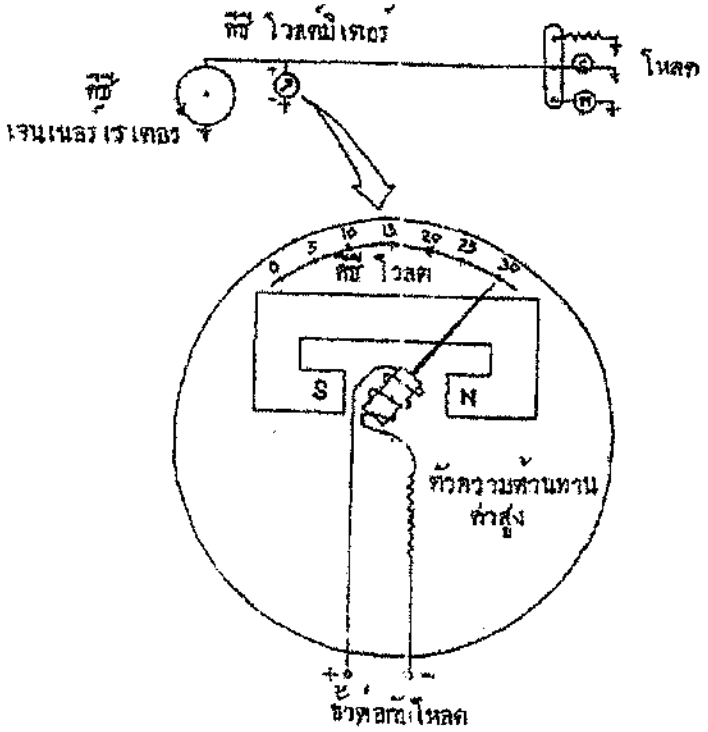
1.4 <u>เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)</u>

วัตถุประสงค์ในการติดตั้งเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า บนแผงเครื่องวัดอากาศยาน เพื่อแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้ยังใช้สำหรับตรวจสอบข้อขัดข้องของแรงดันไฟฟ้า เมื่อต่อเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า เครื่องวัดจะแสดงค่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดที่เครื่องวัดนั้นต่ออยู่ ตามปกติเครื่องวัดแรงดันจะต้องต่อคร่อม (ต่อขนาน) กับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดหรืออาจกล่าวได้ว่าเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จะแสดงค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ที่เราวัดนั้น

จากรูปที่ 4 แสดงรูปร่างของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltmeter) และการต่อโวลต์มิเตอร์ใช้งานในอากาศยาน ให้สังเกตว่าโวลต์มิเตอร์ต่อขนานกับ Load ฉะนั้นค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดจึงแสดงถึงแรงดันของเจเนอเรเตอร์ การที่ขดลวดเคลื่อนที่ได้ภายในเครื่องวัดไม่ไหม้ เนื่องจากมีตัวต้านทานซึ่งมีค่าความต้านทานสูงต่อเป็นอนุกรมไว้กับขดลวด ค่าความต้านทานของตัวต้านทานนี้ ผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดและติดตั้งไว้ภายในตัวเรือนเครื่องวัดแต่ละตัว ตามย่านการวัดของเครื่องวัดนั้น ๆ



DC Voltmeter



รูปที่ 4 โวลต์มิเตอร์และการต่อใช้งาน

ข้อควรระวังในการใช้โวลต์มิเตอร์

1. เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง อาจจะชี้กลับทางได้ถ้ามีการต่อกลับขั้วขณะทำการวัด และเข็มเครื่องวัดมีขดลวดสปริงคอยควบคุมให้เข็มชี้ที่ศูนย์ แต่ถ้าต่อขั้วกลับกันขณะต่อใช้งานเข็มจะชี้ไปทางซ้ายนิดหน่อยก่อนจะถึงจุดหยุด

2. การต่อใช้งานจะต้องต่อขนานกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด หรือแหล่งจ่ายพลังไฟฟ้า ถ้านำเครื่องวัดไปต่อเป็นอนุกรมกับอุปกรณ์ เครื่องวัดจะไม่ชำรุด เพราะมีความต้านทานภายในสูงมาก แต่ตัวความต้านทานสูงจะเป็นตัวจำกัดกระแสไฟฟ้าไว้ซึ่ง จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ทำงาน

3. เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าทุกเรือนจะออกแบบให้วัดได้ที่ค่าแรงดันสูงสุด ค่าใดค่าหนึ่งอย่างแน่นอนและค่าความต้านทานสูงภายในซึ่งสามารถทำให้อ่านค่าแรงดันสูงสุดของเครื่องวัดได้ ย่อมทำให้กระแสผ่านขดลวดเคลื่อนที่ได้เพียงพอที่จะทำให้เข็มชี้สุดสเกล ถ้าแรงดันที่ต้องการวัดมีค่าสูงเกินสเกลที่ตั้งไว้ เครื่องวัดไม่เพียงแต่ไม่สามารถชี้ค่าแรงดันที่แท้จริงเท่านั้น แต่ยังทำให้ขดลวดเคลื่อนที่ชำรุดได้อีกด้วย

4. เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแบบนำไปใช้งานตามที่ต่าง ๆ ได้มักจะทำสเกลให้สามารถอ่านค่าแรงดันได้แตกต่างกันหลายช่วงเช่น 0 - .5, 0 – 2.5, 0 - 10, 0 - 50, 0 - 250, 0 - 500 และ 0 – 1000 เป็นต้น ผู้ใช้สามารถจะเลือกใช้ช่วงแรงดันที่ต้องการวัดได้โดยหมุนสวิทช์เปลี่ยนทาง การหมุนสวิทช์จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานที่ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่มีค่าเปลี่ยนไป ถ้าเลือกค่าความต้านทานต่ำเกินไป เครื่องวัดอาจชำรุดได้ และถ้าเลือกค่าความต้านทานสูงเกินไปเข็มจะชี้

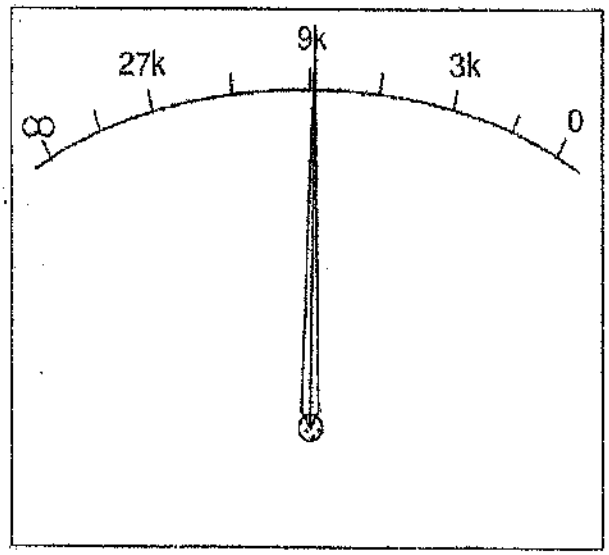
ค่าไม่ละเอียดพอ ฉะนั้นก่อนจะวัดแรงดันไฟฟ้าซึ่งยังไม่ทราบค่าโดยประมาณแล้ว ให้ช่างไฟฟ้าหมุนสวิทช์เปลี่ยนทางเลือกค่าความต้านทานสูงสุดไว้ก่อนเสมอ เมื่อทราบค่าโดยประมาณแล้วจึงค่อย ๆ ลดค่าความต้านทานลงมาจนกระทั่งอ่านค่าได้ละเอียดเพียงพอ ฉะนั้นเครื่องวัดแรงดันที่วัดได้ค่าหลาย ๆ ช่วงแรงดันไฟฟ้า จึงไม่ควรหมุนสวิทช์เปลี่ยนทางไว้ที่ตำแหน่งความต้านทานต่ำสุด (ช่วงที่วัดค่าต่ำสุด)

5. ช่างไฟฟ้าไม่ควรถือสายที่ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งติดอยู่ที่ตัวเรือนเครื่องวัดในลักษณะที่นิ้วสัมผัสส่วนที่เป็นโลหะของสายวัด แม้ว่าบุคคลส่วนมากจะไม่ได้รับอันตรายจากการสัมผัสระบบไฟฟ้า 28 โวลต์ก็ตาม แต่ถ้าความเสียหายนี้ เผอิญไปวัดแรงดันที่มีค่าสูงย่อมจะเป็นอันตรายได้

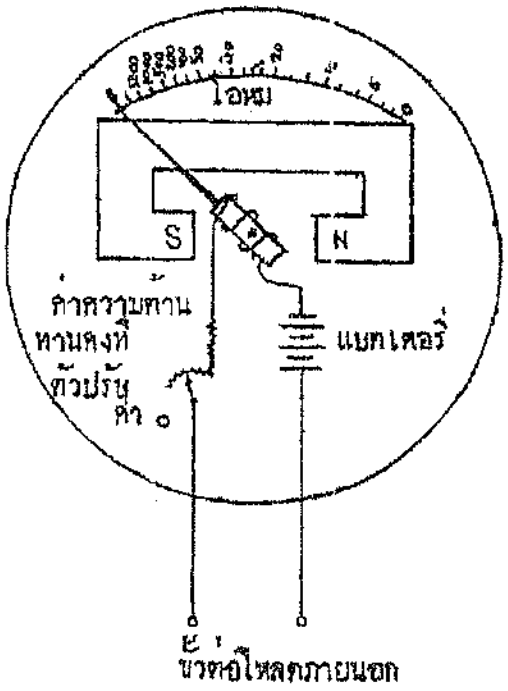
1.5 <u>เครื่องวัดความต้านทาน (Ohmmeter)</u>

โอห์มมิเตอร์ คือ เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต้านทานของ ตัวต้านทาน และอุปกรณ์ไฟฟ้าตรวจสอบข้อขัดข้องของวงจรไฟฟ้า ตรวจสอบความต่อเนื่องของวงจรไฟฟ้า เครื่องวัดชนิดนี้ จะไม่ปรากฏบนแผงเครื่องวัดอากาศยาน โดยปกติเครื่องวัดค่าความต้านทานนั้นค่า 0 โอห์ม จะอยู่ทางขวา และทางด้านซ้ายของเครื่องวัด จะเป็นค่าความต้านทานสูงสุด คือ ∞ (Infinity) ซึ่งหมายถึงวงจรเปิด

ค่าของความต้านทานเราสามารถหาได้จากกฎของโอห์ม ในเมื่อทราบค่าของแรงดัน และกระแส จากเครื่องวัดแรงดัน และเครื่องวัดกระแส ฉะนั้นจึงใช้หลักการนี้นำไปสร้างเครื่องวัดความต้านทาน



การแบ่ง Scale ของเครื่องวัดความต้านทาน



<u>รูปที่ 5 เครื่องวัดความต้านทาน (Ohmmeter)</u>

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงการแบ่งสเกลหน้าปัด และโครงสร้างเครื่องวัดความต้านทานขั้นมูลฐานรวมทั้งการต่อแบตเตอรี่ที่ใช้ภายในตัวเรือนเครื่องวัด ตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงที่ ตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าความต้านทานได้ และขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งส่วนประกอบทั้งหมดดังกล่าวมาแล้วต่อกันเป็นวงจรอนุกรม เมื่อนำปลายภายนอกทั้งสองสัมผัสกันย่อมทำให้ครบวงจร มีกระแสไหลผ่านขดลวด เข็มจะกระดิกไปทางขวา ถ้าแรงดันแบตเตอรี่ และความต้านทานภายในมีค่าสัมพันธ์กันเข็มจะชี้ที่ 0 โอห์ม วัตถุประสงค์ในการที่ต้องมีตัวความต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ ก็เพื่อต้องการลดหรือเพิ่มค่าความต้านทานเพียงเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อนำปลายสายภายนอกของเครื่องวัดสัมผัสกันแล้ว เข็มเครื่องวัดจะต้องชี้ค่า 0 โอห์ม ตัวต้านทานที่ปรับค่าความต้านทานได้นี้คือ ตัวปรับค่า 0 (Set Zero) หลังจากปรับ 0 โอห์มได้แล้ว จึงจะนำเครื่องวัดไปวัดค่าความต้านทานอื่น ๆ ได้ เนื่องจากค่าความต้านทานที่ต้องการวัดนี้ต่อเป็นอนุกรมกับความต้านทานภายในทั้งหมด ฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่านในวงจรทั้งหมดขณะนี้จะมีค่าน้อยกว่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรในขณะที่ปรับเครื่องวัดให้ชี้ค่า 0 กระแสที่ลดค่าลงนี้จะมีผลทำให้เข็มเครื่องวัดกระดิกน้อยลง ซึ่งหมายถึงชี้ค่าความต้านทานที่ต้องการวัด ถ้านำเครื่องวัดไปวัดค่าความต้านทานของวงจรเปิด (Open Circuit) ย่อมไม่มีกระแสไหล และเข็มเครื่องวัดจะไม่เคลื่อนที่ซึ่งหมายถึง ค่าความต้านทานมากเป็น ∞ (Infinity)

<u>ข้อควรระวังในการใช้เครื่องวัดโอห์มมิเตอร์</u>

เครื่องวัดโอห์มมิเตอร์มักจะชำรุดเสมอเนื่องจากการใช้งานไม่ถูกต้อง การใช้งานที่ไม่ถูกต้องหรือการปรับเครื่องวัดอย่างเลินเล่อ ย่อมเป็นสาเหตุให้การชี้ค่าความต้านทานไม่ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องระมัดระวังการใช้งาน ดังนี้

1. ก่อนใช้เครื่องวัด ให้ทำการปรับศูนย์ก่อนเสมอ เพราะแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเล็กน้อย เมื่อทดลองนำปลายสายทดสอบทั้งสองสัมผัสกัน เข็มเครื่องวัดจะแสดงค่า 1 โอห์มแทนที่จะแสดงค่า ๐ โอห์ม แสดงให้เห็นว่าเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น และเราไม่สามารถทราบได้ว่าคลาดเคลื่อนไปมากน้อยเท่าใด เช่น นำค่าความต้านทาน 100 โอห์ม มาวัด เข็มจะชี้ค่าผิดมาทางซ้ายของเลข 100 โอห์ม ซึ่งถ้าอ่านค่าดูแล้วอาจจะได้ประมาณ 150 โอห์ม แทนที่จะชี้ที่ 100 โอห์ม ทำให้การอ่านค่าต่าง ๆ ไม่ถูกต้อง

2. ถ้าเครื่องวัดมีหลายสเกล เช่น X 1 Ω , X 10 Ω , X 100 Ω , X 1000 Ω , X 10,000 Ω จะต้องเลือกใช้สเกลให้เหมาะสมกับค่าความต้านทานที่ต้องการวัด ในรูปที่ 5 นั้น เครื่องวัดมีเพียงสเกลเดียว เราสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ซึ่งจะตรงกับสเกล X 1 Ω ของเครื่องวัดหลายสเกล สเกล X 1 Ω นี้สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 100 โอห์มเท่านั้น ถ้าต้องการวัดค่าความต้านทานถึง 1000 โอห์มบนสเกลนี้ เข็มเครื่องวัดจะแสดงค่าอยู่ระหว่าง 500 และ ∞ (Infinity) ซึ่งเราไม่สามารถอ่านค่า 1000 โอห์มออกมาได้ถูกต้อง โดยการเปรียบเทียบกัน เราจะต้องตั้งสเกลไว้ที่ X 100 Ω เข็มเครื่องวัดก็จะชี้ค่าที่ 10 โอห์ม เราจะได้ค่าของความต้านทาน 100 x 10 = 1000 โอห์ม ดังนั้นถ้าเราสามารถเลือกสเกลในการวัดได้ถูกต้อง

เข็มเครื่องวัดจะชี้ค่าอยู่ที่บริเวณใกล้กึ่งกลางสเกล การอ่านค่าความต้านทานระหว่าง 0 - กึ่งกลางสเกลย่อมง่ายกว่าการอ่านค่าระหว่างกึ่งกลางสเกลถึง ∞ (Infinity) การแบ่งสเกลของเครื่องวัดความต้านทานในลักษณะนี้เป็นการแบ่งสเกลแบบสเกลไม่คงที่ (Nonlinearity)

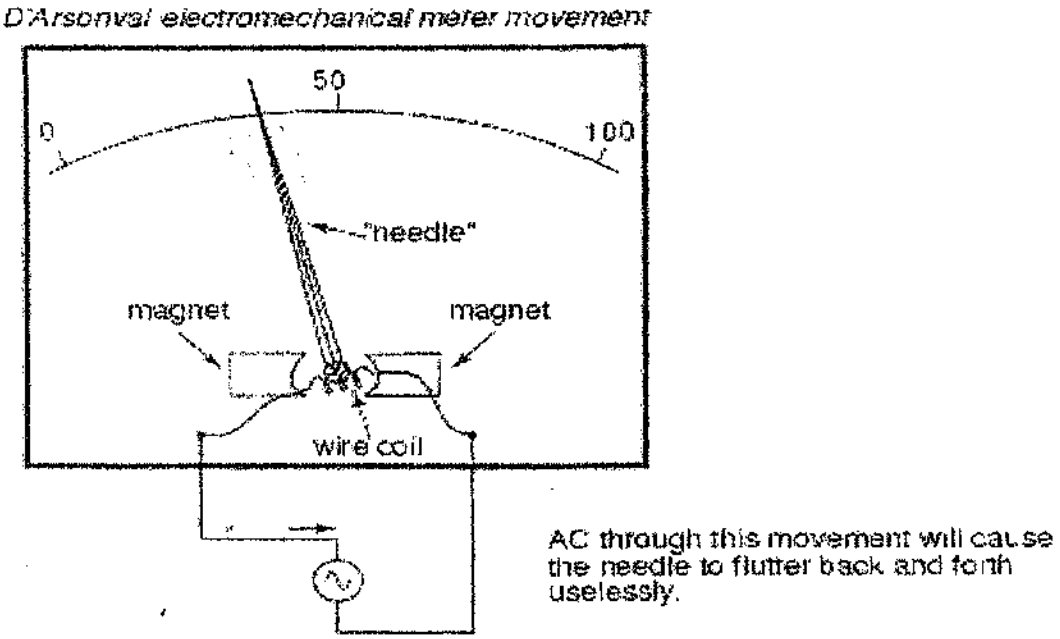
3. ถ้าต้องการวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือวงจรไฟฟ้าใด ๆ โดยเฉพาะ จะต้องระวัง โดยต้องแยกอุปกรณ์หรือวงจรที่ต้องการวัดนั้น ๆ อย่าให้สัมผัสกับอุปกรณ์หรือวงจรอื่น ๆ มิฉะนั้นอาจจะทำให้ค่าความต้านทานที่อ่านค่าได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง ในบางโอกาสมีความจำเป็นต้องตรวจสอบ ค่าความต้านทานโดยการค้นหาจากแผนทางไฟ ในการนี้บางทีต้องตัดข้อต่อ เพื่อวัดค่าความต้านทานที่แท้จริง ฉะนั้นจำเป็นจะต้องไม่ให้นิ้วของเราไปสัมผัสกับปลายสายเครื่องวัดซึ่งเป็นโลหะ ถ้าผู้วัดความต้านทานใช้นิ้วสัมผัสกับปลายเครื่องวัดทั้งสองข้าง จะมีค่าเท่ากับนำความต้านทานของตัวเราไปต่อขนานกับเครื่องวัดด้วย ฉะนั้นการหาค่าความต้านทานที่วัดได้จึงเป็นค่าความต้านทานของตัวผู้วัด รวมกับค่าความต้านทานที่ต้องการวัดซึ่งต่อกันอย่างขนาน ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานต่ำกว่าความเป็นจริง

4. แม้ว่าแรงดันแบตเตอรี่ ในโอห์มมิเตอร์จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงดันแบตเตอรี่ หรือแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ของอากาศยาน แต่ก็เป็นการเพียงพอที่จะอำนวยวงจรบางวงจรให้ทำงาน และทำความชำรุดให้แก่ชิ้นส่วนบางชิ้นได้ฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานในด้านนี้จะต้องปฏิบัติตามคำสั่งเทคนิคอย่างเคร่งครัด

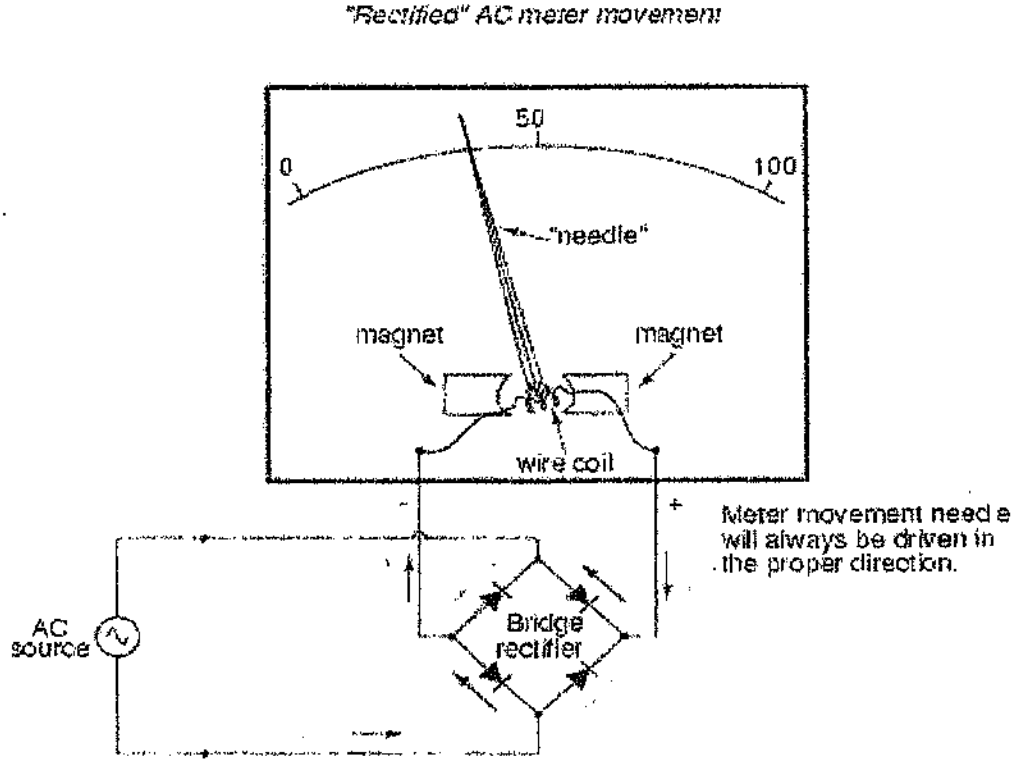
5. อย่าใช้เครื่องวัดโอห์มมิเตอร์ วัดค่าความต้านทานในวงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก เพราะจะทำให้แรงดันไฟฟ้าในวงจรที่มีอยู่นั้นไปเพิ่มแรงดันให้กับขดลวดเคลื่อนที่ ภายใน.ของตัวเครื่องวัด อันจะเป็นเหตุทำให้เครื่องวัดชำรุด แม้ว่าแรงดันภายนอกนั้นจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันแบตเตอรี่ของเครื่องวัดก็ตาม ก็จะทำให้เครื่องวัดชี้ค่าไม่ถูกต้องได้

2. <u>เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Electrical Indicating Meter.)</u>

การวัดไฟฟ้ากระแสสลับในวงจรไฟฟ้าและในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งการวัดค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (AC Voltmeter) วัดกระแสไฟฟ้า (AC Amp Meter) เครื่องวัดที่ใช้ส่วนมากใช้หลักการ D'Arsonval ซึ่งเป็นเครื่องวัดแบบกระแสไฟตรงชนิดขดลวดเคลื่อนที่ได้ แต่ถ้านำไปวัดไฟกระแสสลับโดยตรงเข็มของเครื่องวัดจะสั่นตลอดเวลาไม่สามารถอ่านค่าได้ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Rectified) ก่อนที่จะป้อนให้กับขดลวดเคลื่อนที่ของเครื่องวัด ดังแสดงในรูปที่ 6



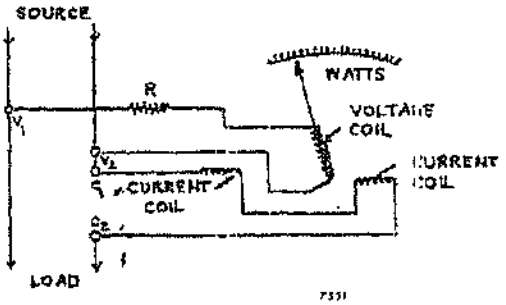
รูปที่ 6 ก. เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าขดลวดเคลื่อนที่โดยตรง

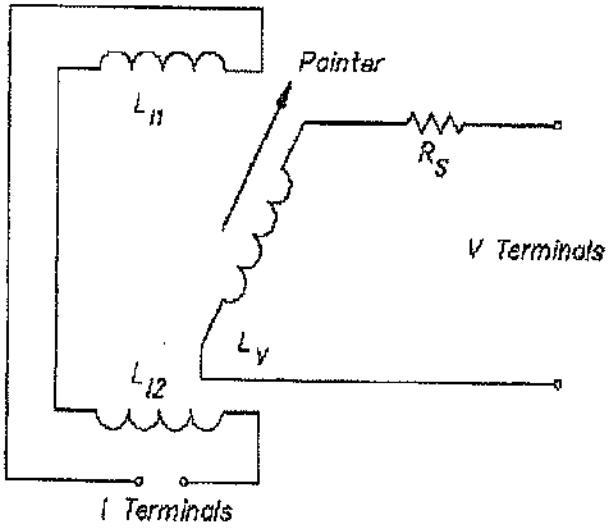


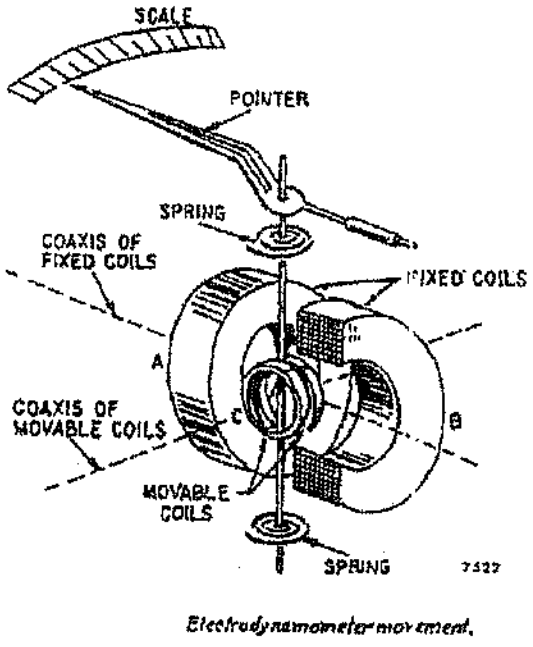
รูปที่ 6 ข. เมื่อใช้วงจร Rectified ก่อนป้อนเข้าขดลวดเคลื่อนที่

2.1 <u>เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า</u> (Watt Meter.)

วัตต์มิเตอร์ คือ อุปกรณ์สำหรับวัดกำลังไฟฟ้า เครื่องวัดชนิดนี้เป็นแบบ Electrodynamometer ซึ่งประกอบด้วยขดลวดที่อยู่กับที่1 คู่ เรียกว่า Current Coil และขดลวดที่เคลื่อนที่ได้เรียกว่า Voltage Coil ดังรูปที่ 7







<u>รูปที่ 7 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบ Electrodynamometer</u>

ขดลวดที่อยู่กับที่พันด้วยลวดเส้นโตเพียง 2 - 3 รอบคือ Current Coil ส่วน Voltage Coil พันด้วยลวดเส้นเล็กหลายรอบติดตั้งไว้ที่แกนที่มีรองลื่นเพลารองรับอยู่และหมุนอยู่ภายในระหว่างขดลวดที่อยู่กับที่ ขดลวดที่เคลื่อนที่ติดกับเข็มชี้ของเครื่องวัด และมีสปริงขดลวดสำหรับยึดเข็มให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์

ขดลวดที่อยู่กับที่ทั้งสองขดต่อกันแบบอนุกรมกับภารกรรม (Series with Load) และขดลวดที่เคลื่อนที่ต่อขนานกับภารกรรม (Parallel with Load) เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดที่อยู่กับที่ของวัตต์มิเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ขดลวด ความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ใช้งาน ตามปกติจะมีค่าความต้านทาน (R) ต่ออนุกรมไว้กับขดลวดเคลื่อนที่ ทั้งนี้เพื่อต้องการให้วงจรของขดลวดเคลื่อนที่ มีค่าความต้านทานเพื่อควบคุมแรงดันที่จะป้อนให้ขดลวดเคลื่อนที่

แรงที่กระทำต่อวัตต์มิเตอร์ ได้มาจากปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่อยู่กับที่ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่เคลื่อนที่ แรงที่กระทำต่อขดลวดที่เคลื่อนที่ ณ ขณะใด ขณะหนึ่งเป็นสัดส่วนกับผลคูณระหว่างกระแสและแรงดัน ซึ่งมาจากสูตร P = IV ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับค่าที่ได้นี้คือกำลังไฟฟ้าจริง (True Power = P_T)

วัตต์มิเตอร์ประกอบด้วยวงจร 2 วงจร ทั้ง 2 วงจรนี้ถ้ามีกระแสผ่านมากเกินไปจะชำรุด ทั้งนี้เพราะเหตุว่าขณะที่กำลังวัดอยู่นั้นเครื่องวัดมิได้บอกให้ผู้ใช้ทราบว่า ขดลวดนั้นกำลังเกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์ ถ้าแอมมิเตอร์หรือโวลต์มิเตอร์ได้รับภารกรรมเกินเกณฑ์ เข็มชี้จะชี้เกินค่าขีดจำกัดสูงสุดของสเกล สำหรับวัตต์มิเตอร์นั้นวงจรทั้งของกระแสและแรงดัน อาจจะได้รับภารกรรมเกินเกณฑ์ซึ่งจะทำให้ฉนวนไหม้ และเข็มชี้อาจจะเป็นหนทางหนึ่งที่ชี้ให้ทราบบนสเกล เพราะว่าตำแหน่งที่เข็มชี้ชี้นไปนี้ขึ้นอยู่กับ Power Factor ของวงจรเท่า ๆ กับ แรงดันและกระแส นั่นก็คือถ้า Power Factor ของวงจรมีค่าน้อย จะทำให้เครื่องวัดอ่านค่าได้น้อยกว่ากำลังไฟฟ้าจริง ดังนั้นขดลวดกระแสและแรงดันอาจได้รับภารกรรมเกินขีดจำกัดความปลอดภัยของเครื่องวัด ซึ่งโดยปกติจะกำหนดไว้ข้างหน้าเครื่องวัด และมิได้กำหนดไว้เป็นวัตต์ แต่จะกำหนดไว้เป็นโวลต์ และแอมแปร์

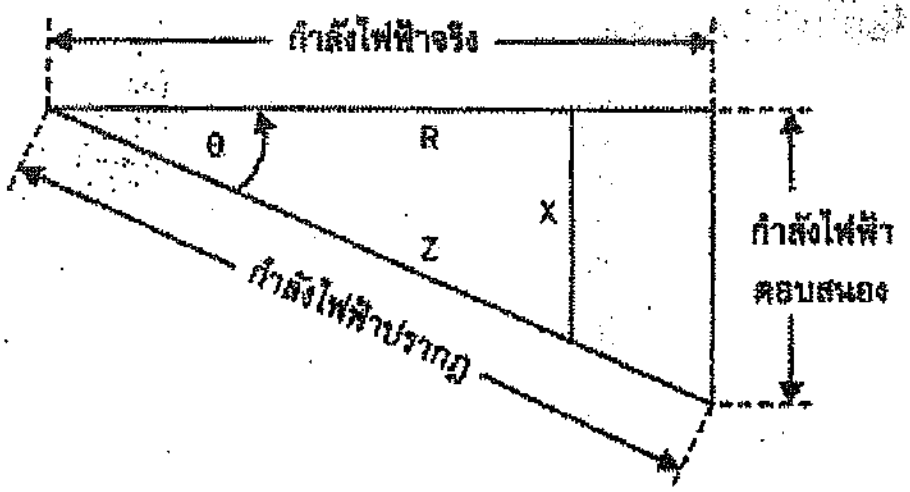
2.2 <u>วัตต์ – วาร์ มิเตอร์ (Watt – Varmeter)</u>

กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ

ก. กำลังไฟฟ้าจริง (True Power = P_T) คือกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์จำพวกตัวต้านทานบริสุทธิ์ (Pure Resistor = R) คือวงจรที่มีค่า Power Factor = 1 หน่วยของกำลังไฟฟ้าจริงนี้เป็น วัตต์ (Watt = W) วัดค่าได้ด้วย **วัตต์มิเตอร์** (Wattmeter)

ข. กำลังไฟฟ้าตอบสนอง (Reactive Power = P_R) คือกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำ (Inductor = X_L) และตัวเก็บประจุ (Capacitor = Xc) คือวงจรที่มีค่า Power Factor ต่ำกว่า 1 หน่วยของกำลังไฟฟ้าตอบสนองนี้เป็น วาร์ (Var) ถ้าวัดด้วยวัตต์มิเตอร์จะได้ค่าไม่ถูกต้อง จึงต้องใช้ **วาร์มิเตอร์** (Varmeter) ทำการวัดค่าแทน

ค. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power = P_A) คือกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายจำพวกทั้ง R , L และ C ซึ่งวงจรมีค่า Power Factor ไม่แน่นอน หน่วยของกำลังไฟฟ้าปรากฏนี้เป็น โวลต์ - แอมป์ (Volt - Amp) วัดค่าได้ด้วย AC Voltmeter และ AC Amp Meter แล้วนำผลที่ได้มาคูณกันโดยตรง



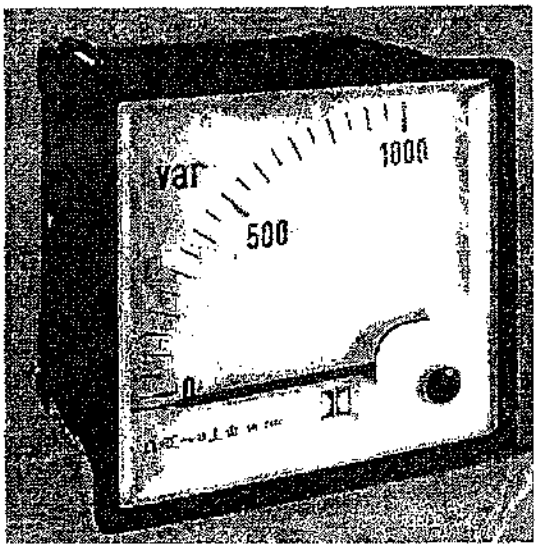
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ลักษณะ ในรูปของเวคเตอร์

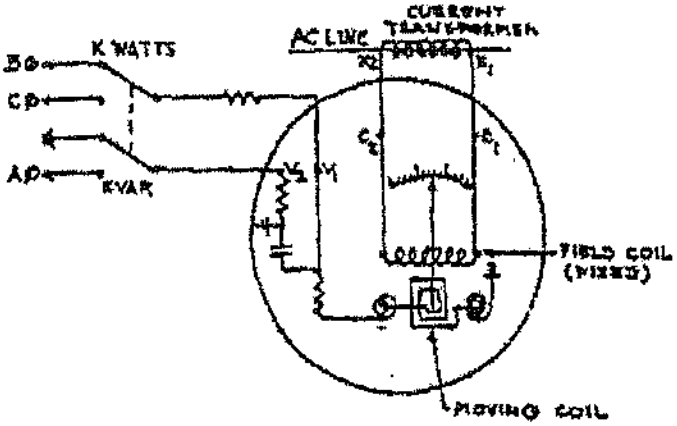
ในกรณีที่ต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมากกว่า 1 เครื่องเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้า สิ่งที่สำคัญก็คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องจะต้องแบ่งกันจ่ายภารกรรมซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าจริง (True Power) และกำลังไฟฟ้าตอบสนอง (Reactive Power) ในระบบกำลังงานของไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องวัด วัตต์ – วาร์ มิเตอร์ ใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ Electrodynamometer ในวงจรเครื่องวัดมีสวิทช์สำหรับให้เครื่องวัด วัดค่าของ กำลังไฟฟ้าจริง (True Power) หรือกำลังไฟฟ้าตอบสนอง (Reactive Power) ในการที่เครื่องวัดจะอ่านค่า True Power ในวงจรจำเป็นจะต้องใช้ขดลวดฟิลด์ของเครื่องวัดมีกระแสผ่านและขดลวดเคลื่อนที่ต่อคร่อมวงจรเพื่อแสดงค่าของแรงดัน การที่ต้องต่อวงจรเช่นนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขดลวดฟิลด์ขึ้นอยู่กับกระแสในช่วงขณะนั้น และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่เคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับแรงดัน ดังนั้นแรงที่ทำให้เข็มชี้ขึ้นไปได้ก็เนื่องจากแรงบิดซึ่งเกิดจากกระแสและแรงดัน ถ้ากระแสและแรงดัน In Phase กัน ผลคูณของกระแสและแรงดันที่ช่วงขณะนั้นจะมีค่ามากที่สุด และเข็มจะชี้ค่าสูงสุดด้วย

ถ้ากระแสและแรงดัน Out of Phase ผลคูณของกระแสและแรงดันจะต่ำ ทำให้เข็มชี้น้อยลงอย่างเป็นสัดส่วนกัน ถ้าการคำนวณหน้าปัดเครื่องวัดเหมาะสม จะได้ค่า True Power ของวงจร

เมื่อใช้เครื่องวัดตัวเดียวกันนี้วัด Reactive Power จะต้องเปลี่ยนสวิทช์เพื่อให้ Condenser ให้ต่ออนุกรมกับขดลวดที่เคลื่อนที่ เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยน Phase ทำให้แรงดันที่ขดลวดเคลื่อนที่ได้รับจะเปลี่ยนไปอยู่ใน Phase ที่ได้รับกระแสมากที่สุด การกระทำเช่นนี้จะไม่มีการสนองตอบต่อส่วนของกระแสและแรงดันที่ In Phase กันในไฟทางเข้า (AC Line) ที่ต่ออยู่ในวงจรแต่จะสนองตอบต่อส่วนของกระแสใน Line ซึ่ง Out of Phase กับแรงดันใน Line การคำนวณการแบ่งค่าบนสเกลของเครื่องวัด จะแสดงเป็น Reactive Power ของวงจร



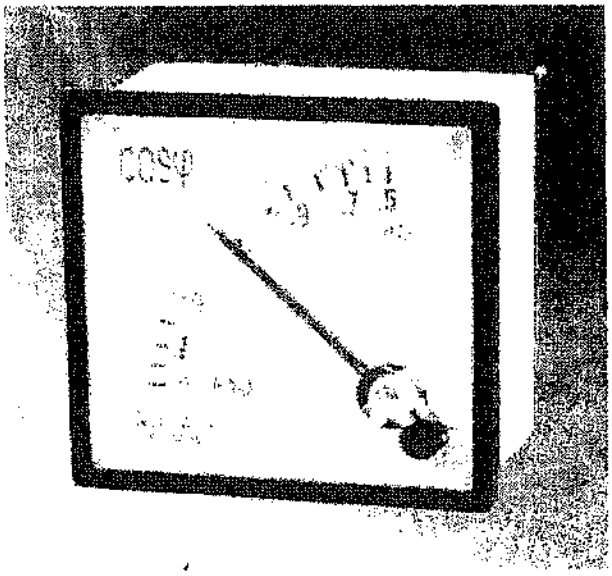


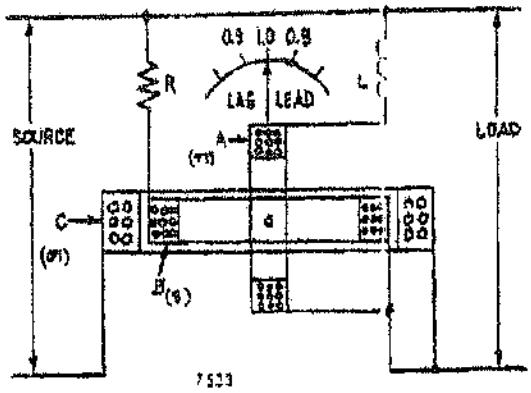
รูปที่ 9 วาร์มิเตอร์ และลักษณะการต่อ วัตต์ – วาร์มิเตอร์

2.3 เครื่องวัด Power Factor

คำจำกัดความอย่างหนึ่งของ Power Factor ของวงจรก็คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง (True Power) กับ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ซึ่งมิใช่แต่เพียงคำจำกัดความเท่านั้น แต่ยังมีค่าเท่ากับ Cosine ของมุม ระหว่างกระแสและแรงดันในวงจรด้วย ถ้าวงจรมีแต่ความต้านทานอย่างเดียว (Pure Resistor) จะมีค่าของ Power Factor เท่ากับ 1 (กระแสและแรงดัน In phase กัน) กำลังไฟฟ้าจริง (True Power) จะมีค่าเท่ากับ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ถ้าในวงจรที่มีแต่ค่าเหนี่ยวนำ (Inductance = XL) อย่างเดียวจะมีค่า Power Factor เท่ากับศูนย์ กระแสตามหลังแรงดันเป็นมุม 90° (I Lag E = 90◊) และถ้าวงจรมีแต่ค่าประจุ (Capacitance = XC) อย่างเดียวจะมี Power Factor เท่ากับศูนย์เช่นกันแต่ กระแสนำหน้าแรงดันเป็นมุม 90° (I Lead E = 90◊)

เราอาจจะหา Power Factor ของวงจรได้โดยใช้วัตต์มิเตอร์, โวลต์มิเตอร์ และแอมมิเตอร์ หมายความว่า Power Factor อาจจะหาได้จากผลหารระหว่างค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์กับผลคูณของกระแสและแรงดันที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่สะดวกจึงได้คิดสร้างเครื่องวัด Power Factor ขึ้น นอกจากอ่านค่า Power Factor ได้แล้วเครื่องวัดนี้ยังสามารถบอกให้ทราบได้อีกว่าวงจรที่กำลังวัดนี้ กระแสนำหน้าหรือตามหลังแรงดัน เครื่องวัดนี้ขอเรียกว่า เครื่องวัด Power Factor เครื่องวัดนี้ประกอบด้วยขดลวดแรงดันที่เคลื่อนที่ได้คือขดลวด ก. และขดลวดซึ่งเป็นขดลวดที่อยู่กับที่ ขดลวดทั้งสองติดตั้งไว้ตั้งฉากซึ่งกันและกันดังรูปที่ 10 ขดลวดกระแส ค. อีกขดหนึ่งซึ่งอยู่กับที่เช่นกัน





Simplified diagram of closed-coil power factor meter.

รูปที่ 10 เครื่องวัด Power Factot

ขดลวด ก. และ ข. หมุนได้และมีเข็มประกอบติดอยู่ เข็มนี้หมุนได้อย่างอิสระเป็นมุมประกอบ 90° ขดลวด ก. ต่อเป็นอนุกรมกับ Inductor L. แล้วต่อคร่อมวงจรอีกต่อหนึ่งขดลวด ข. ต่อเป็นอนุกรมกับความต้านทาน R และต่อคร่อมวงจรเช่นกัน

การต่อเนื่องของวงจรในการนำกระแสเข้าขดลวดนั้นกระทำโดย ให้ผ่านใยขดลวดสปริง 3 ขด (มิได้แสดงในรูป) ซึ่งไม่มีผลในการยึดขดลวดแต่อย่างใด เพราะฉะนั้น เมื่อไม่มีกระแสไหลในขดลวดเข็มเครื่องวัดซึ่งติดตั้งไว้ที่ขดลวด ก. อาจจะหยุดนิ่งชี้สเกลตรงตำแหน่งใดก็ได้ ขดลวด ค. ซึ่งต่อเป็นอนุกรมกับวงจร กระแสในขดลวด ข. In phase กับ Line Voltage และกระแสในขดลวด ก. ตามหลัง Line Voltage เป็นมุม 90° เมื่อ Line Current In phase กับ Line Voltage กระแสในขดลวด ข. และ ค. จะ n phase กัน แรงบิดที่กระทำระหว่างขดลวดทั้งสองทำให้แกน อยู่ในแนวนอนเดียวกันจึงทำให้เข็มชี้ค่าของ Power Factor เป็น 1 ค่าแรงบิดเฉลี่ยของขดลวด ก. และ ค. มีค่าเป็นศูนย์เพราะกระแส Out of Phase กันเป็นมุม 90° ในเมื่อ Power Factor มีค่าเท่ากับ 1

เมื่อกระแสในขดลวด ค. ตามหลัง Line Voltage เช่นเป็นมุม 45° กระแสในขดลวด ก. และ ข. ทั้งคู่จะ Out of Phase กับกระแสในขดลวด ค. กระแสในขดลวด ก. ตามหลังกระแสในขดลวด ค. เป็นมุม 45° และกระแสในขดลวด ข. จะนำหน้ากระแสในขดลวด ค. เป็นมุม 45° และกระแสในขดลวด ข. จะนำหน้ากระแสในขดลวด ค. เป็นมุม 45° และกระแสในขดลวด ข. จะนำหน้ากระแสในขดลวด ค.เป็น 45°

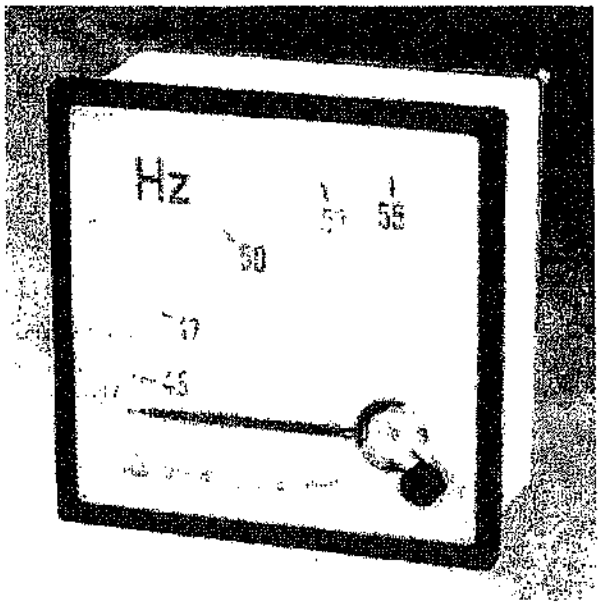
สนามแม่เหล็กรอบขดลวด ค. จะทำปฏิกิริยากับผลรวมของสนามแม่เหล็กรอบขดลวด ก. และ ข. ซึ่ง In Phase กับกระแสในขดลวด ค. และเข็มชี้จะเคลื่อนที่มาอยู่ตรงกลาง(45°) ระหว่าง Power Factor 0 และ 1 ในเครื่องวัด Power Factor

2.4 <u>เครื่องวัดความถี่ (Frequency Meter.)</u>

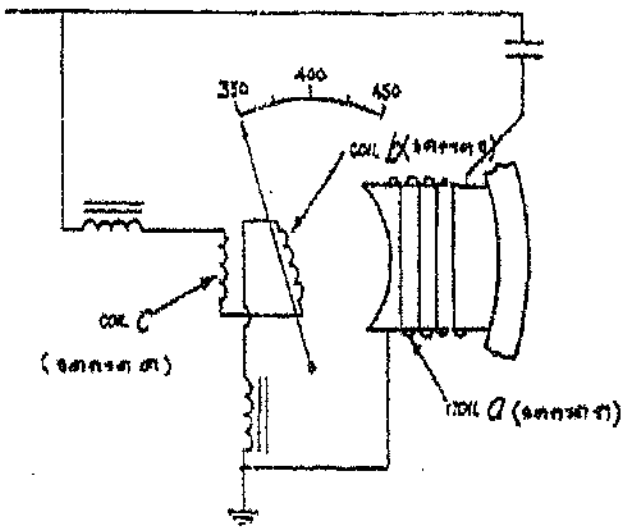
ในไฟฟ้ากระแสสลับบางระบบจำเป็นจะต้องทราบความถี่ของแหล่งจ่ายแรงดันจึงจำเป็นต้องมีเครื่องวัดความถี่ ซึ่งมีแบบที่ใช้กันทั่วไป 2 แบบ คือ แบบที่มีเข็มชี้เป็นแบบ Dynamometer ซึ่งใช้หลักของ Electrodynamometer และอีกแบบหนึ่งคือ Vibrating Reed – Type ซึ่งใช้หลักของกลไกทางไฟฟ้า

2.4.1 <u>เครื่องวัดความถี่แบบ Dynamometer</u>

เครื่องวัดแบบนี้มีหน้าปัดและเข็มชี้แสดงค่าให้ทราบความถี่ที่กำลังวัด เครื่องวัดที่ใช้กันทั่วไปประกอบด้วยวงจรของ Dynamometer เป็นมูลฐานดังรูป 11 ข. เมื่อไม่มีแรงดันเข้าเครื่องวัด เข็มชี้จะหยุดที่อยู่ด้านซ้ายของสเกล (350 Hz)



รูป ก. วัดความถี่ไฟบ้าน 50 Hz



รูป ข. วัดความถี่ไฟอากาศยาน 400 Hz

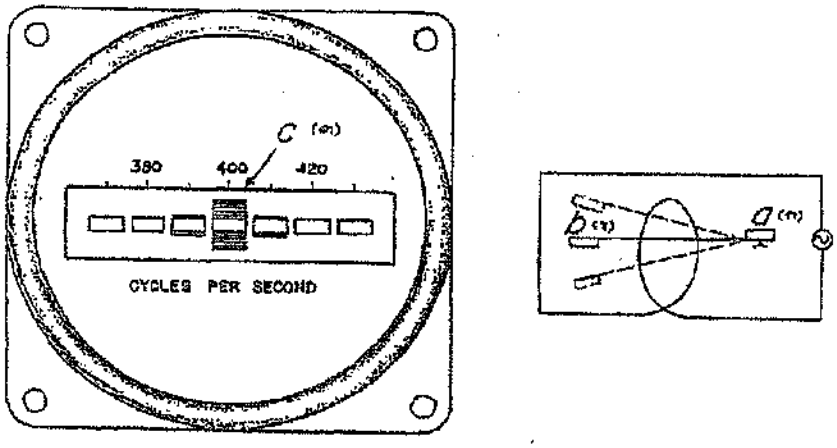
<u>รูปที่ 11 เครื่องวัดความถี่ชนิด Dynamometer</u>

ในรูปที่ 11 ข. ขดลวดเคลื่อนที่ ข. หมุนเคลื่อนที่ได้ และมีแรงดึงของสปริงควบคุมไว้ ตำแหน่งของขดลวดเคลื่อนที่นั้นขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาของขดลวด ก. และ ค. ขดลวด ก. พันไว้กับแกนและต่อเป็นอนุกรมกับ Capacitor ใน Line ในช่วงขณะใดขณะหนึ่งขดลวด ก. จะมีขั้วโน้มเอียงที่จะทำให้ขดลวดเคลื่อนที่หมุนไปทางขวา ขดลวด ค. ไม่มีแกนและต่อเป็นอนุกรมกับทั้งขดลวดเคลื่อนที่ และมีตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นตัวจำกัดกระแสทั้งสองซึ่งประกอบไว้ทั้งสองด้านของขดลวดที่เคลื่อนที่ เพื่อขจัดสนามแม่เหล็กจากภายนอก สนามแม่เหล็กภายนอกจึงไม่มีผลรบกวนขดลวดเคลื่อนที่

ขณะที่ความถี่จากแหล่งจ่ายแรงดันมีค่าสูงขึ้น กระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำจำกัดกระแสจะลดลง ดังนั้นกระแสในขดลวด ค. และในขดลวดเคลื่อนที่จะลดลง เนื่องจากค่า Inductance ของ Inductor จำกัดกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะว่าขดลวดและคอนเดนเซอร์นี้จะมีค่า ใกล้เป็นวงจร Series Resonance ที่ความถี่หนึ่งซึ่งสูงกว่า 450 ไซเคิล กระแสที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้ขดลวดมีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงพอที่จะทำให้เข็มชี้ไปทางขวา ระยะที่เข็มกระดิกไปนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มของกระแสที่ผ่านขดลวด ซึ่งมีแกนภายใน การเพิ่มของกระแสขึ้นอยู่กับการเพิ่มความถี่จากแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นเครื่องวัดจึงสามารถคำนวณให้อ่านความถี่ได้อย่างถูกต้องโดยตรงเพิ่มขึ้นรวดเร็วเมื่อวงจรใกล้จะถึง Resonance เพราะฉะนั้นเครื่องวัดความถี่แบบนี้สามารถใช้วัดได้ในช่วงแคบๆเท่านั้น

2.4.2 <u>เครื่องวัดความถี่แบบ Vibrating Reed – Type.</u>

เครื่องวัดแบบนี้ประกอบด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าติดตั้งไว้ใกล้ ๆ กับแผ่นโลหะ เมื่อแม่เหล็กได้รับกระแสไฟฟ้าสลับจะทำให้เกิดอาการสั่น เป็นช่วง ๆ ตามการกลับทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าสลับในขดลวด อาการสั่นนี้จะถ่ายทอดไปยังแผ่นโลหะซึ่งมีแผ่นโลหะบาง ๆ ประกอบอยู่ จากรูป แผ่นโลหะ ก. และแผ่นโลหะบาง ๆ ข. ที่สั่นได้ แผ่นโลหะบาง ๆ นี้จะสั่นมากที่ความถี่หนึ่งโดยเฉพาะ ถ้าแผ่นโลหะบางสั่นมากกว่า 1 แผ่น แผ่นที่สั่นมากที่สุดจะแสดงค่าความถี่ ความถี่ที่ถูกต้องอย่างใกล้เคียงที่สุด บนหน้าปัด ค.



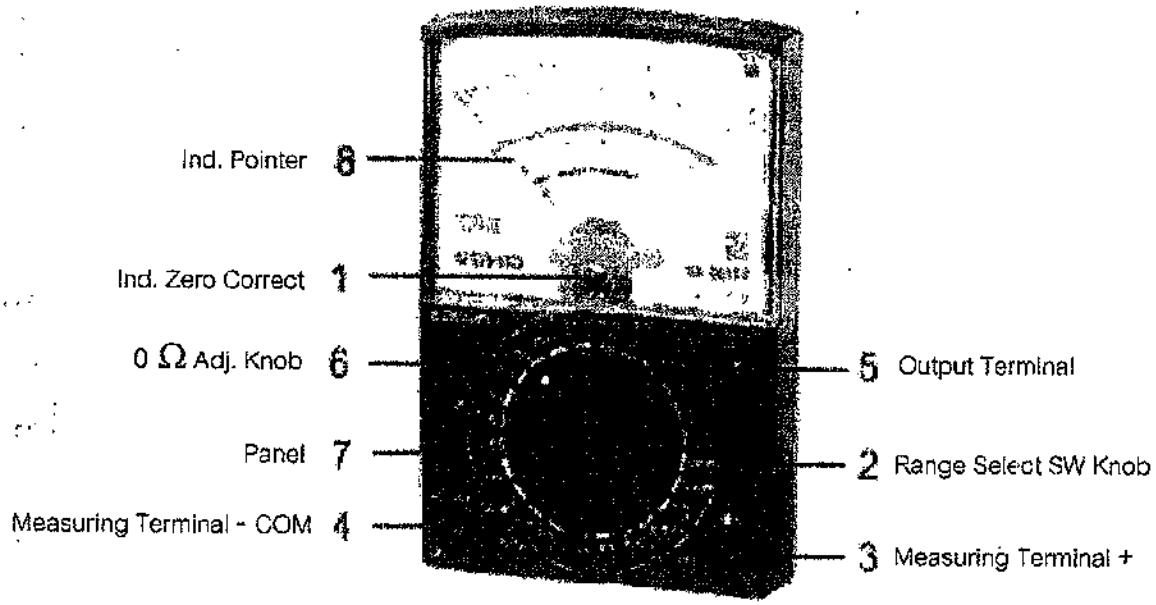
<u>รูปที่ 12 เครื่องวัดความถี่แบบ Vibrating reed - type</u>

3. เครื่องวัดอเนกประสงค์ (Multi Meter.)

เครื่องวัดอเนกประสงค์ หรือ เครื่องวัดมัลติมิเตอร์ คือเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่มีหลาย ๆ ชนิด อยู่ในเครื่องเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อความคล่องตัวและสะดวกสบายในการใช้งาน โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว มัลติมิเตอร์จะสามารถใช้วัดได้ทั้ง ไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ เครื่องวัดมัลติมิเตอร์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมี 2 แบบ คือ มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multi Meter) และมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multi Meter) ซึ่งมัลติมิเตอร์แต่ละแบบมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันไป

3.1 มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multi Meter = AMM)

มัลติมิเตอร์แบบเข็ม ทั่วๆไป สามารถวัด ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage) , ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage) , ปริมาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) , ความต้านทานทางไฟฟ้า (Electrical Resistance) เป็นอย่างน้อย อย่างไรก็ตาม มัลติมิเตอร์บางแบบสามารถวัดได้มากกว่านี้ เช่น กำลังออกของสัญญาณความถี่เสียง (AF Output) , กระแสรั่วของทรานซิสเตอร์ (Leakage Current , I_{CEO}) เป็นต้น มัลติมิเตอร์แบบเข็มมีลักษณะดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multi Meter = AMM)

ส่วนประกอบที่สำคัญของมัลติมิเตอร์แบบเข็มที่ควรทราบ ได้แก่ (ตามรูปที่ 13 และ 14)

1. ที่ปรับการชี้ศูนย์ของเข็ม (Indicator Zero Corrector) มีไว้สำหรับปรับเข็มเครื่องวัดให้ชี้ศูนย์ ขณะที่ยังไม่ได้ใช้ทำการวัด

2. สวิทช์เลือกปริมาณที่จะวัด ทั้งระดับและขนาด (Range Selector Switch Knob) มีไว้สำหรับให้ผู้ใช้เลือกว่าจะวัดอะไร ใช้ช่วงการวัดเท่าใด ประกอบด้วย ACV , DCV , DCA และ Ω

3. ช่องเสียบสายวัดขั้วบวก (Measuring Terminal +) ใช้สำหรับเสียบสายวัดเส้นบวก (สีแดง)

4. ช่องเสียบสายวัดขั้วลบ (Measuring Terminal - COM) ใช้สำหรับเสียบสายวัดเส้นลบ (สีดำ)

5. ช่องเสียบสายวัดขั้วบวกกรณีวัดกำลังออกของสัญญาณความถี่เสียง (Output Terminal) ใช้สำหรับเสียบสายวัดเส้นบวก ที่จะวัดสัญญาณ Output

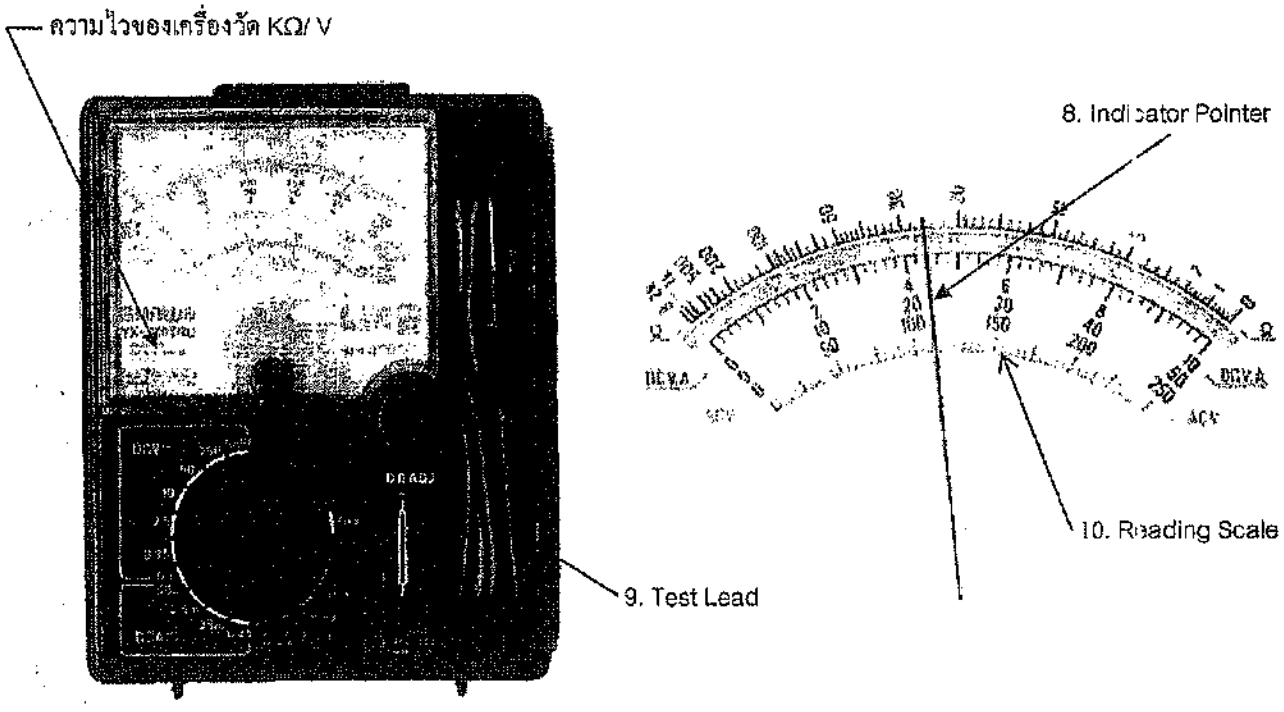
6. ปุ่มปรับตั้งศูนย์โอห์ม (Zero Ohm Adjust Knob) ใช้สำหรับปรับให้เข็มเครื่องวัดชี้ศูนย์โอห์ม เมื่อนำปลายสายวัดทั้งคู่มาแตะกัน ก่อนทำการวัดค่าความต้านทานในแต่ละช่วงการวัด

7. แผงหน้าปัด (Panel)

8. เข็มชี้ (Indicator Pointer) สำหรับชี้แสดงค่าต่าง ๆ (รูปที่ 13 และ 14)

9. สายวัด (Test Lead) ประกอบด้วยสาย 2 เส้น สีแดงสำหรับขั้ว บวก และสีดำสำหรับขั้ว ลบ (รูปที่ 14)

10. สเกลการอ่าน (Reading Scale) ประกอบด้วยสเกลค่าต่าง ๆ DCV , DCA , ACV จะแสดงค่า 0 อยู่ทางด้านซ้าย ยกเว้นสเกล Ω จะแสดงค่า 0 อยู่ทางด้านขวา (รูปที่ 13 และ 14)



รูปที่ 14 เครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multi Meter) และสเกลการวัด (Reading Scale)

<u>ความไวของเครื่องวัด (Sensitivity of Meter.)</u>

เครื่องวัดโดยทั่วไปจะระบุความไวของเครื่องวัดไว้ที่ตอนล่างของสเกลการวัด เพื่อบอกให้ทราบค่าของกระแสที่ผ่านเครื่องวัด สำหรับการอ่านค่าสเกลการวัดหนึ่ง ๆ โดยจะบอกไว้เป็น โอห์มต่อโวลต์ (Ohm per Volt) เครื่องวัดที่มีความไวสูง จะมีค่าโอห์มต่อโวลต์สูง เช่น ระบุว่า

DC 20 KΩ / V หมายความว่า ขณะที่ใช้เครื่องวัดทำการวัดในสเกล DCV เมื่ออ่านค่าได้ 1 VDC ค่าความต้านทานภายในของเครื่องวัดจะมีค่า 20 KΩ ดังนั้นกระแสที่ผ่านเครื่องวัดจะเป็นไปตาม กฎของโอห์ม คือ $I = \frac{E}{R} = \frac{1VDC}{20K\Omega} = 50 \times 10^{-6} A = 50\ \mu A$

AC 8 KΩ / V หมายความว่า ขณะที่ใช้เครื่องวัดทำการวัดในสเกล ACV เมื่ออ่านค่าได้ 1 VAC ค่าความต้านทานภายในของเครื่องวัดจะมีค่า 8 KΩ ดังนั้นกระแสที่ผ่านเครื่องวัดจะเป็นไปตาม กฎของโอห์ม คือ $I = \frac{E}{R} = \frac{1VAC}{8K\Omega} = 120 \times 10^{-6} A = 120\ \mu A$

มัลติมิเตอร์แบบเข็มเหมาะสำหรับใช้ในการเฝ้าดูการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างต่อเนื่อง การอ่านค่าไม่ต้องการความละเอียดมากนัก เพราะการเคลื่อนที่ของเข็มสามารถมองเห็นได้โดยไม่ต้องละสายตาจากวงจรที่กำลังทำการวัด ซึ่งมัลติมิเตอร์แบบตัวเลขจะไม่สามารถอ่านค่าได้

<u>ข้อควรระวังในการใช้มัลติมิเตอร์แบบเข็ม</u>

1. เมื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูง (50 โวลต์ ขึ้นไป) ต้องระมัดระวังอย่าให้นิ้วมือ หรือส่วนใดของร่างกายสัมผัสส่วนที่เป็นโลหะของสายวัด เพราะอาจเป็นอันตรายได้

2. ก่อนทำการวัดต้องแน่ใจว่า ตั้งสวิทช์เลือกปริมาณที่จะวัด ไว้ถูกต้องแล้ว เพราะถ้าตั้งผิดเครื่องวัดอาจชำรุด ได้

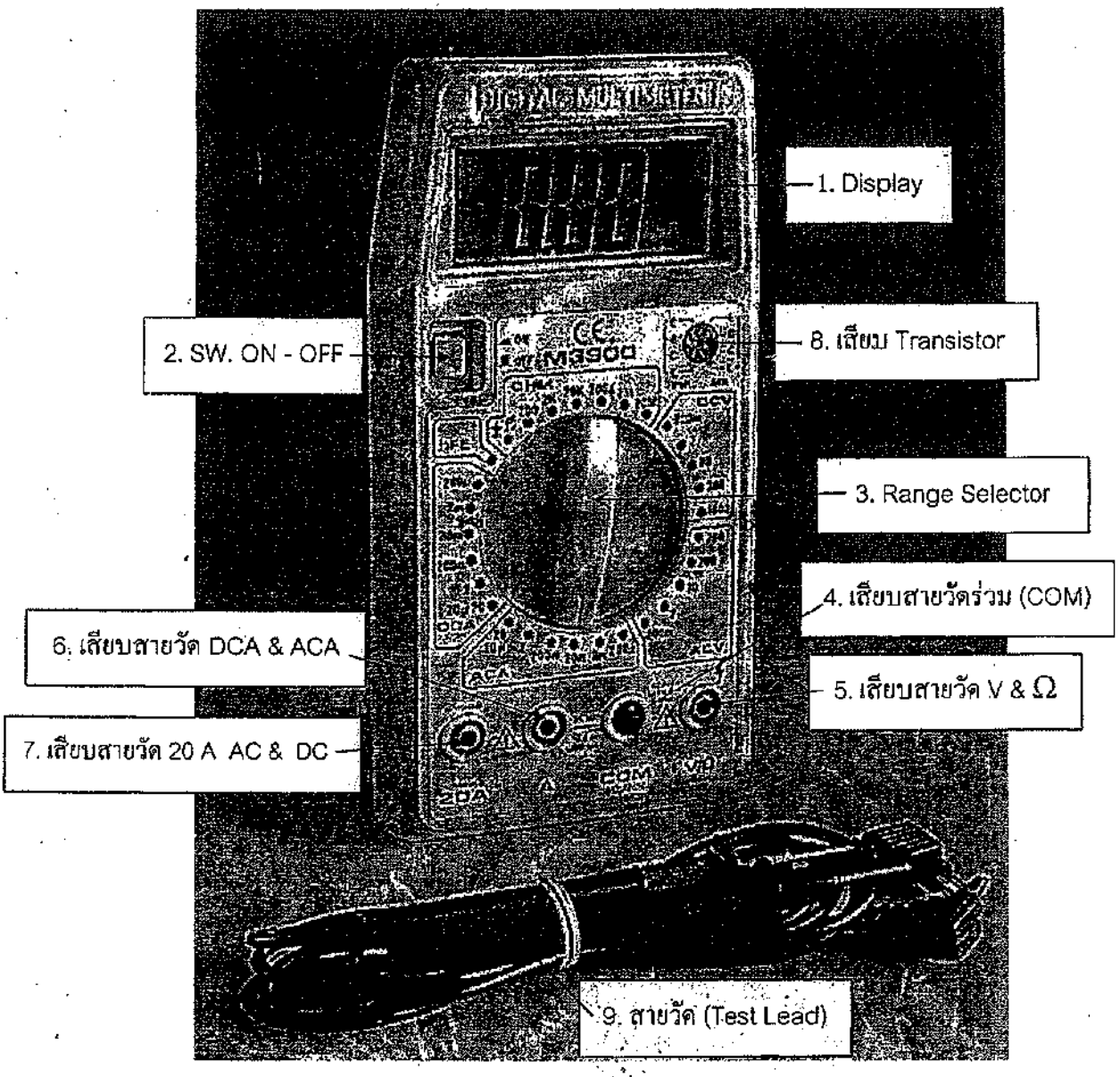
3. ต้องแน่ใจว่าตั้งสวิทช์เลือกปริมาณที่จะวัด ไว้ในช่วงที่สูงกว่าค่าที่จะทำการวัด ถ้าไม่ทราบขนาดที่ต้องการวัดควรตั้งไว้ที่ช่วงการวัดสูงสุดก่อน แล้วจึงค่อยลดระดับช่วงการวัดลงมาภายหลัง

4. ในการวัด DCV และ DCA ถ้าเข็มไม่ชี้ขึ้นไปทางขวา แต่พยายามชี้กลับมาทางซ้าย แสดงว่าการวัดสลับขั้ว ให้สลับขั้วสายวัดใหม่

5. เมื่อเลิกใช้มัลติมิเตอร์ทุกครั้ง ต้องตั้งสวิทช์เลือกปริมาณที่จะวัดไว้ที่ ตำแหน่ง OFF หากมัลติมิเตอร์นั้น ไม่มีตำแหน่ง OFF ให้ตั้งไว้ที่ตำแหน่ง ACV สูงสุด เพื่อป้องกันการพลั้งเผลอในการนำ มัลติมิเตอร์ ไปใช้งานในครั้งต่อไป

3.2 <u>มัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multi Meter = DMM)</u>

มัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multi Meter = DMM) สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้หลายประเภทเช่นเดียวกับ มัลติมิเตอร์แบบเข็ม และยังสามารถวัดปริมาณกระแสสลับ และอื่น ๆ ได้ตามแบบ และราคาของมัลติมิเตอร์นั้น ๆ ด้วย



รูปที่ 15 เครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multi Meter)

ส่วนประกอบที่สำคัญของมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (ตามรูปที่ 15)

ลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบที่สำคัญบางประการของเครื่องวัด

1. จอแสดงผล (Display) มัลติมิเตอร์แบบตัวเลขทั่ว ๆ ไป จอแสดงผลจะแสดงด้วยตัวเลข $3\frac{1}{2}$ หลัก ($3\frac{1}{2}$ digit) ดังนั้นค่าสูงสุดที่สามารถอ่านได้ คือ 1999 ตัวเลขหลัก หน่วย , สิบ และหลักร้อย จะสามารถแปรค่าได้ 0 ถึง 9 เรียกว่า Full digit ส่วนตัวเลขหลักพัน จะแสดงได้เฉพาะเลข 1 เท่านั้น เรียกว่า Half digit (ในมัลติมิเตอร์แบบตัวเลขรุ่นใหม่ ๆ จอแสดงผลสามารถแสดงตัวเลขได้มากกว่า 4 หลัก และสามารถแสดงละเอียด เป็นจุดทศนิยมได้ด้วย ตามรูปที่ 16)

2. สภาพขั้ว (Polarity) มัลติมิเตอร์แบบเข็ม เมื่อใช้วัดไฟฟ้ากระแสตรง DCV และ DCA

ถ้าต่อสายวัดผิดขั้ว เข็มของเครื่องวัดจะตีกลับไปในทิศทางตรงข้าม แต่สำหรับมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข ถ้าต่อสายวัดผิดขั้ว จะปรากฏเครื่องหมาย – ขึ้น บนจอแสดงผล

3. การตั้งช่วงการวัด (Range Selector) มัลติมิเตอร์แบบตัวเลขตามรูปที่ 15 หากตั้งช่วงการวัดต่ำกว่าค่าที่จะวัด จอแสดงผลจะแสดงตัวเลข 1 หรือ -1 เช่น ต้องการวัดค่าความต้านทาน 10 KΩ แต่ตั้งช่วงการวัดไว้ที่ 2 KΩ เมื่อทำการวัด จอแสดงผล จะปากฏเลข 1 แสดงว่าค่าที่ทำการวัดสูงกว่าช่วงการวัดที่ตั้งไว้ สำหรับมัลติมิเตอร์แบบตัวเลขรุ่นใหม่ ๆ รูปที่ 16 สามารถตั้งช่วงการวัดให้ทำงานอัตโนมัติ (AUTO) ได้ ดังนั้น หากตั้งการวัดไว้ที่ AUTO เครื่องวัดจะสามารถแสดงผลการวัดได้ไม่เกินช่วงการวัดสูงสุดของเครื่องวัด นั้น ๆ

4. มัลติมิเตอร์แบบตัวเลขมีแหล่งจ่ายกำลังไฟในตัวเครื่องวัด เป็น ถ่าน (Dry Cell) หรือ แบตเตอรี่ (Battery) ถ้าหากแหล่งจ่ายไฟอ่อนกำลังจะมีอักษร หรือสัญลักษณ์ ปรากฏบนจอแสดงผล เป็นการเตือนให้เปลี่ยนแหล่งจ่ายกำลังไฟใหม่

ความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องวัด

ค่าต่าง ๆ ที่อ่านได้จากเครื่องวัดจะเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแม่นยำของเครื่องวัด ซึ่งเครื่องวัดแต่ละเครื่องจะมีความแม่นยำแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของเครื่องวัดเครื่องนั้น ซึ่งจะมีระบุไว้ในคู่มือการใช้ของเครื่องวัดแต่ละเครื่อง ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไป

ข้อควรระวังในการใช้มัลติมิเตอร์แบบตัวเลข

1. ก่อนทำการวัดค่าใด ๆ ต้องแน่ใจว่าได้ตั้ง สวิทช์เลือกการวัดไว้ถูกต้อง และถูกช่วงการวัดแล้ว เพราะการตั้งที่ผิดพลาดอาจทำให้เครื่องวัดทำงานผิดพลาด หรือทำให้เครื่องวัดชำรุด ได้

2. ต้องแน่ใจว่าเสียบสายวัด (สีแดง) ไว้ถูกต้องแล้ว เนื่องจากมัลติมิเตอร์แบบตัวเลขบางเครื่องมีช่องเสียบสายวัดหลายช่อง เช่น V & Ω , mA , A , 10 A , 20 A เป็นต้น

3. เมื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูง (50 โวลต์ ขึ้นไป) ต้องระมัดระวังอย่าให้นิ้วมือหรือส่วนใดของร่างกายสัมผัสส่วนที่เป็นโลหะของสายวัด เพราะอาจเป็นอันตรายได้

4. การวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าสูง เช่น 10 A หรือ 20 A ควรใช้ช่วงเวลาในการวัดให้สั้นที่สุด ไม่ควรใช้เวลาเกิน 30 วินาที เพราะอาจทำให้เครื่องวัดชำรุดได้

5. เมื่อใช้งานเสร็จแล้ว ต้องปรับสวิทช์ ON / OFF มาไว้ที่ตำแหน่ง OFF และในกรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องวัดเป็นเวลานาน ควรถอด ถ่าน หรือ แบตเตอรี่ ออกด้วย

@@@@@@@@@@

บทที่ 3

แบตเตอรี่อากาศยาน

(Aircraft Storage Batteries)

ก. แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม (Nickel–Cadmium Storage Batteries.)

1. กล่าวทั่วไป (Introduction.)

1.1 เพื่อให้ทราบหลักการทำงาน, การบริการ ข้อขัดข้องและการแก้ไขข้อขัดข้อง , การตรวจและการซ่อมแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ที่ใช้กับอากาศยาน (Aircraft) และบริภัณฑ์ภาคพื้น (Aerospace Ground Equipment = AGE) ในกองทัพอากาศ ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับใช้ในการตรวจสอบ และสำหรับงานซ่อมบำรุงด้วย

1.2 ข้อกำหนดต่างๆของแบตเตอรี่ที่บ่งไว้เป็นข้อกำหนดที่ใช้ในทางทหาร ซึ่งกำหนดด้วย P/N ดังแสดงในตารางที่ 3 – 2 Battery Data Summarization Chart เป็นตารางแบตเตอรี่ที่จัดกลุ่มไว้ตามแรงดันไฟฟ้าและอัตราความจุที่เท่ากันซึ่งจัดอยู่ในพวกเดียวกัน การบริการต่าง ๆ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้ให้ถือแนวปฏิบัติตามคู่มือนี้ได้

2. โครงสร้าง (Construction.)

2.1 แบตเตอรี่อากาศยานชนิดนิเกิล–แคดเมี่ยมประกอบด้วย เซลล์เป็นส่วนประกอบมูลฐาน เซลล์เหล่านี้คือแผ่นธาตุของนิเกิล–แคดเมี่ยม เซลล์เป็นแบบมีรูระเหย แบตเตอรี่สามารถนำมาประจุใหม่ได้ด้วยกระแสไฟตรง และใช้เป็นกำลังไฟฟ้าฉุกเฉินสำหรับอากาศยาน

2.2 แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ขนาด 24 โวลต์ ประกอบด้วยเซลล์ทั้งหมด 19 เซลล์ ขนาด 26 โวลต์ ประกอบด้วย 20 เซลล์ และขนาด 30 โวลต์ ประกอบด้วย 24 เซลล์ เซลล์ทั้งหมดจะต่อกันเป็นแบบอนุกรม ส่วนแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์เมื่อวงจรเปิดจะมีค่า 1.25 โวลต์

3. ลักษณะทั่วไปของแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม (Description.)

แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ตั้งชื่อตามธาตุที่ใช้ประกอบเป็นเซลล์ของแบตเตอรี่ คือแผ่นธาตุบวกประกอบด้วยนิเกิลออกไซด์ และแผ่นธาตุลบประกอบด้วยโลหะแคดเมี่ยม แบตเตอรี่แบบนี้มีข้อดีกว่าแบตเตอรี่แบบอื่นทั่วไปหลายประการ ดังนี้

3.1 สามารถจ่ายกระแสไฟใช้งานด้วยอัตราสูงได้โดยแรงดันของแบตเตอรี่จะคงที่เสมอ

3.2 สามารถทำการประจุ และคลายประจุ ด้วยอัตราที่สูงได้ โดยแบตเตอรี่จะไม่ชำรุด

3.3 สามารถเก็บไว้ได้นาน ในทุกสภาพการประจุ โดยไม่ชำรุด

3.4 สามารถต้านทานต่ออุณหภูมิที่เย็นจัดได้ โดยไม่ชำรุด

3.5 ทนทานต่อการสั่นสะเทือน และการกระแทกที่รุนแรง

3.6 ไม่เป็นสนิมจากการรั่วซึมของไอน้ำยา

3.7 สามารถถอดเซลล์เปลี่ยนได้

3.8 มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

4. <u>ส่วนประกอบที่สำคัญ (Principle Parts.)</u>

แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมี่ยม มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

4.1 <u>โครงสร้างของแผ่นธาตุ (Plate Structure.)</u> แผ่นธาตุของแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมจัดทำด้วยกระบวนการโลหะผง โดยใช้ผงของนิเกิลคาร์บอนนีลอัดลงในแบบและเผาในเตาที่อุณหภูมิ 1600 องศาฟาเรนไฮต์ กระบวนการนี้จะทำให้ เกรน (grains) ของนิเกิลหลอมละลายถึงจุดซึ่งจะทำให้เป็นแผ่นทึบและพรุน โดยมีความพรุนประมาณ 80% และมีนิเกิลแข็งประมาณ 20% เมื่อนำแผ่นทึบนี้มาจุ่มลงในวัสดุที่เป็นตัวทำปฏิกิริยาซึ่งเป็นน้ำยาของเกลือนิเกิลเพื่อทำเป็นแผ่นธาตุบวก หรือจุ่มลงในน้ำยาของเกลือแคดเมี่ยมเพื่อทำเป็นแผ่นธาตุลบ การจุ่มแผ่นธาตุนี้จะต้องกระทำซ้ำหลาย ๆ ครั้งจนกว่าวัสดุที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะติดแผ่นธาตุจนได้ความจุตามต้องการ หลังจากนี้จะนำแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบแช่ในน้ำยาที่ใช้เติมในเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อให้เกิดกระแสไฟเดินถึงกันระหว่างเกลือของนิเกิลและแคดเมี่ยม ซึ่งเป็นขั้นสุดท้ายของการทำแผ่นธาตุ แล้วจึงนำแผ่นธาตุนี้ไปล้างทำให้แห้งและตัดทำเป็นแผ่นธาตุ ในการประกอบเซลล์จะต้องเชื่อมแผ่นนิเกิลที่มุมแผ่นธาตุทุกแผ่นเพื่อใช้เป็นจุดต่อไฟ

4.2 <u>แผ่นคั่นแผ่นธาตุ (Separator.)</u> แผ่นคั่นแผ่นธาตุมีลักษณะเป็นแผ่นไนลอนบางหรือแผ่นเซลโลเฟน ทำหน้าที่คั่นระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ มิให้ลัดวงจรถึงกัน ในการสร้างเซลล์จะต้องใส่แผ่นคั่นธาตุไว้ระหว่างแผ่นธาตุบวกและลบและยึดติดกับแกนของเซลล์

4.3 <u>เซลล์ (Cell.)</u> เซลล์ คือกล่องพลาสติกที่ใช้บรรจุส่วนประกอบของแผ่นธาตุบวก , แผ่นธาตุลบ และแผ่นคั่นธาตุ โดยเชื่อมต่อแผ่นธาตุลบไปยังขั้วต่อสายไฟด้านหนึ่ง และเชื่อมต่อแผ่นธาตุบวกไปยังขั้วต่อสายไฟอีกด้าน เซลล์ที่สมบูรณ์จะถูกผนึกแน่นมีขั้วของเซลล์ ทั้งบวกและลบอยู่ด้านบนของกล่อง มีฝาจุกและช่องระบายก๊าซ สำหรับระบายก๊าซที่เกิดขึ้นภายในเซลล์

4.4 <u>ช่องระบายของเซลล์ (Cell Vent.)</u> เซลล์แต่ละเซลล์มีจุกใช้สำหรับบรรจุน้ำยา และที่จุกจะมีช่องระบายใช้สำหรับระบายก๊าซ ซึ่งสามารถถอดออกทำความสะอาดหรือทำการปรับระดับน้ำยาได้ ช่องระบายใช้สำหรับระบายก๊าซซึ่งเกิดขึ้นภายในเซลล์ในระหว่างทำการประจุ ช่องระบายจะปล่อยความดันก๊าซออกมา โดยช่องจะปิดอยู่จนกระทั่งมีความดันขึ้นถึง 6 ±4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และจะเปิดงอกเมื่อมีความดันถึง 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ช่องนี้เมื่อไม่ใช้ระบายก๊าซมันก็จะปิดเพื่อป้องกันมิให้น้ำยาไหลออกมาและป้องกันมิให้วัสดุแปลกปลอมหลุดเข้าไปในเซลล์ เพื่อป้องกันมิให้น้ำยาสกปรก

4.5 <u>น้ำยา (Electrolyte.)</u> น้ำยาที่ใช้ในแบตเตอรี่นิเกิลแคดเมี่ยม เป็นโปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ (KOH) 30% โดยน้ำหนัก ผสมกับน้ำกลั่น น้ำยานี้จะเป็นตัวนำกระแส ซึ่งไหลผ่านระหว่างแผ่นธาตุบวกกับแผ่นธาตุลบ ตัวน้ำยานี้มิใช่เป็นตัวทำปฏิกิริยาเคมีแต่จะทำหน้าที่เป็นตัวนำไอออน ความถ่วงจำเพาะของ

น้ำยาของแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมจะมีค่าคงที่เท่ากับ 1.300 ไม่ว่าขณะทำการประจุหรือขณะจ่ายไฟ จึงไม่อาจนำค่าของความถ่วงจำเพาะมาใช้ เป็นตัวกำหนดสภาพการประจุของแบตเตอรี่ได้

5. คำจำกัดความ (Definitions.)

คำจำกัดความของคำศัพท์ที่เกี่ยวกับไฟฟ้าต่อไปนี้ ใช้กับแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม

5.1 อัลคะไลน์ เซลล์ (Alkaline Cell.)

เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งใช้อัลคาไลน์เป็นน้ำยาปกติใช้ โปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ (KOH)

5.2 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere – Hour.)

เป็นหน่วยวัดค่าความจุของแบตเตอรี่ หรือของเซลล์แบตเตอรี่ ได้มาจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลคิดเป็นแอมแปร์ คูณด้วยระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลคิดเป็นชั่วโมง

5.3 ความจุของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere – Hour Capacity.)

คือจำนวนแอมแปร์ที่ไหลจากเซลล์หรือแบตเตอรี่ ในขณะจ่ายไฟตามอุณหภูมิที่กำหนด จนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดของแรงดันไฟฟ้าตามข้อกำหนด คูณด้วยระยะเวลาคิดเป็นชั่วโมง ที่ เซลล์หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟออกมา

5.4 อะโนด (Anode.)

คือ ขั้วไฟฟ้าบวก

5.5 แบตเตอรี่ (Battery.)

เป็นชุดของเซลล์ จำนวนหนึ่งเซลล์หรือมากกว่า รวมเข้าด้วยกัน ทำหน้าที่จ่ายพลังงานจำนวนเซลล์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับ ข้อกำหนดของแรงดันไฟฟ้าและกระแส การต่อเซลล์อาจต่อเป็นแบบอนุกรม, แบบขนาน หรือแบบผสมตามแต่ข้อกำหนดที่ต้องการ (แบตเตอรี่ของอากาศยานต่อแบบอนุกรม)

5.6 แคโธด (Cathode)

คือ ขั้วไฟฟ้าลบ

5.7 เซลล์ (Cell.)

คือ ส่วนประกอบมูลฐานของการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และในกรรมวิธีกลับกันเมื่อทำการประจุเซลล์ใหม่

5.8 การทำเซลล์ให้สมดุล (Cell Equalization.)

คือ กรรมวิธีที่ใช้เป็นหลักในการปรับเซลล์ทุกเซลล์ให้มีระดับความจุเท่ากัน ปกติทำได้โดยทำให้เซลล์ทั้งหมดแต่ละเซลล์มีแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์

5.9 สภาพการประจุ (State of Charge.)

คือ สภาพของเซลล์หรือแบตเตอรี่ ที่ยังคงสภาพการมีความจุอยู่

5.10 ประสิทธิภาพในการประจุ (Charging Efficiency.)

คือ อัตราส่วนระหว่างความจุที่สามารถจ่ายไฟได้ ในสภาวะการจ่ายไฟหลังจากประจุเต็มที่แล้วต่อความจุที่ต้องการในการประจุเต็มที่ ของเซลล์หรือแบตเตอรี่

5.11 <u>ความหนาแน่นของกระแส (Current Density.)</u>

หมายถึง จำนวนแอมแปร์ของกระแสไฟที่ไหล ต่อหน่วยของเนื้อที่แผ่นธาตุของเซลล์ ในขณะประจุไฟ หรือขณะจ่ายประจุไฟ

5.12 <u>แรงดันไฟฟ้าตัดกระแส (Cutoff Voltage.)</u>

ดู End – Point Voltage.

5.13 <u>วัฏจักร (Cycle.)</u>

หมายถึง ช่วงหนึ่งของการประจุและการจ่ายประจุ การจ่ายประจุในวัฏจักรสูง(Deep Cycling) เซลล์หรือแบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานออกไปจนหมดในการจ่ายไฟแต่ละครั้ง ส่วนการจ่ายประจุในวัฏจักรต่ำ (Shallow Cycling) เซลล์หรือแบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานออกไปเพียงบางส่วน ไม่เกิน 50 %

5.14 <u>อายุวัฏจักร (Cycle Life.)</u>

หมายถึง จำนวนวงรอบของการประจุและการจ่ายประจุของเซลล์หรือแบตเตอรี่ตลอดอายุการใช้งานเท่าที่สามารถทำการประจุใหม่ได้ ก่อนที่แบตเตอรี่จะสิ้นสภาพการใช้งาน

5.15 <u>ปริมาณการจ่ายไฟ (Depth of Discharge.)</u>

หมายถึง สัดส่วนความจุของกระแสที่จ่ายออกจากเซลล์หรือแบตเตอรี่ ในระหว่างการจ่ายไฟในแต่ละวัฏจักรคิดเปอร์เซ็นต์ ถ้าจ่ายไฟออกต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง (น้อยกว่า 50 %) ของความจุเรียกว่า การจ่ายไฟน้อย (Shallow Discharge) ถ้าจ่ายไฟออกเกินกว่าครึ่งหนึ่ง (มากกว่า 50 %) ของความจุ เรียกว่าการจ่ายไฟมาก (Deep Discharge)

5.16 <u>Diffusion.</u>

หมายถึง การเคลื่อนที่ไปมาของอนุภาคที่ละลายในน้ำยา และไม่กระทบกระเทือนต่อสนามไฟฟ้า (Electric Field)

5.17 <u>อัตราการจ่ายประจุ (Discharge Rate.)</u>

คือ ความต้องการการไหลของกระแสไฟในการจ่ายประจุของเซลล์หรือแบตเตอรี่ จนถึงจุดแรงดันไฟฟ้าตัดกระแสภายในระยะเวลาตามข้อกำหนด ปกติก็คืออัตราส่วนของความจุธรรมดาหารด้วยเวลาที่ใช้กำหนดในการจ่ายประจุเป็นชั่วโมง และได้ค่า 1 แอมแปร์ (ความจุแอมแปร์-ชั่วโมง ÷ เวลาชั่วโมง = 1 แอมแปร์)

5.18 <u>Drain Discharge.</u>

คือ การดึงประจุไฟฟ้าทั้งหมดออกจากเซลล์หรือแบตเตอรี่ ในขณะที่อัตรากระแสลดลงหลังจากเซลล์หรือแบตเตอรี่ จ่ายไฟออกไปบางส่วนด้วยอัตรากระแสสูงกว่ากำหนด

5.19 <u>น้ำยา (Electrolyte.)</u>

คือ น้ำยาเคมีเป็นส่วนผสมของโปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์กับน้ำกลั่น ซึ่งเป็นตัวนำไอออนระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบ

5.20 <u>แรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่ไม่อาจอำนวยอุปกรณ์ได้ (End – Point Voltage.)</u>

คือ แรงดันไฟฟ้าของเซลล์หรือแบตเตอรี่ ณ จุดที่แบตเตอรี่ถูกจ่ายประจุออกมาจนหมดตามข้อกำหนดของความจุ คำนี้ยังหมายถึงแรงดันไฟฟ้าของเซลล์หรือแบตเตอรี่ ที่ต่ำจนไม่อาจขับเคลื่อนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ได้ แรงดันไฟฟ้าชนิดนี้บางทีก็เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าตัดกระแส (Cutoff Voltage)

5.21 <u>พลังงาน (Energy.)</u>

คือ ความสามารถในการจ่ายประจุของเซลล์หรือแบตเตอรี่ หาได้จากค่าความจุ คูณด้วยแรงดันไฟฟ้า หรือ วัตต์ – ชั่วโมง (Watt– Hours = W-hr)

5.22 <u>การเปลี่ยนพลังงาน (Energy Conversion.)</u>

คือ การเปลี่ยนพลังงานเคมี เป็นพลังงานไฟฟ้าภายในเซลล์ หรือการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานเคมี

5.23 <u>ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density.)</u>

คือ อัตราส่วนของพลังงานของเซลล์หรือแบตเตอรี่ ต่อน้ำหนักหรือ ต่อปริมาตร (วัตต์ – ชั่วโมงต่อปอนด์ (W-hr per lb) หรือวัตต์ – ชั่วโมง ต่อลูกบาศก์นิ้ว (W-hr per cu in)

5.24 <u>การจ่ายประจุด้วยอัตราสูง (High – Rate Discharge.)</u>

คือ การจ่ายกระแสไฟจำนวนมากในระยะเวลาสั้น ๆ จากเซลล์หรือแบตเตอรี่ ปกติเป็นอัตราการจ่ายประจุจนหมดเซลล์หรือแบตเตอรี่ ภายในเวลาน้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง

5.25 <u>ความต้านทานภายใน (Internal Resistance.)</u>

คือ ตัวขัดขวางการไหลของกระแสไฟ ภายในเซลล์หรือแบตเตอรี่ เกิดจากน้ำยา ขั้วไฟฟ้า และวัสดุที่ใช้ทำแผ่นคั่นแผ่นธาตุ (ค่าความต้านทานเป็นโอห์ม (Ohmic Resistance)

5.26 <u>ไออ้อน (Ion.)</u>

คือ ประจุไฟฟ้าที่เกิดจากอะตอมหรือกลุ่มของอะตอม เกิดขึ้นเมื่ออะตอมที่เป็นกลางหรือเกิดการสูญเสียอะตอม หรือได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น การสูญเสียอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดไออ้อนบวก การได้รับอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดไออ้อนลบ การสูญเสียหรือได้รับอิเล็กตรอนนี้เกิดขึ้นระหว่างมีปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกส่งผ่านจากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง

5.27 <u>การจ่ายไฟด้วยอัตราต่ำ (Low – Rate Discharge.)</u>

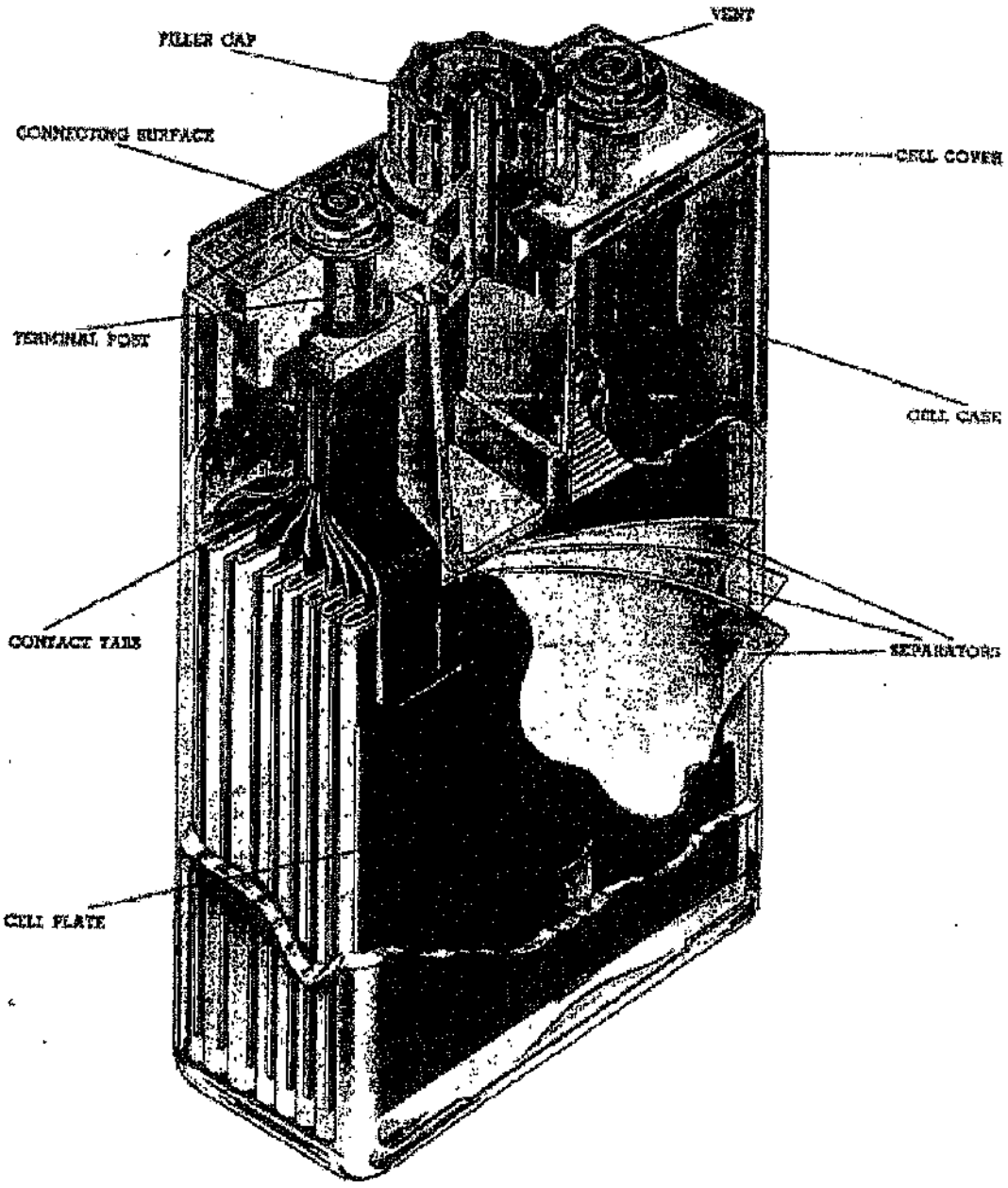
คือ การจ่ายกระแสไฟฟ้าจำนวนเล็กน้อยเป็นระยะเวลานาน จากเซลล์หรือแบตเตอรี่ ปกติเป็นการจ่ายในระยะเวลาที่นานกว่าหนึ่งชั่วโมง

5.28 <u>การเคลื่อนย้าย (Migration.)</u>

คือ การเคลื่อนที่ทางตรง ของไออ้อนของน้ำยา ภายในอำนาจของสนามไฟฟ้า

5.29 <u>เซลล์ นิเกิล – แคดเมี่ยม (Nickel – Cadmium Cell.)</u>

คือ เซลล์ทุติยภูมิ ใช้นิเกิลออกไซด์กับโลหะแคดเมี่ยม เป็นแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ในน้ำยาโปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ มีส่วนประกอบภายในตามแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบภายในเซลล์ นิเกิล – แคดเมี่ยม

5.30 แรงดันไฟฟ้าปกติ (Nominal Voltage.)

คือ แรงดันไฟฟ้าของเซลล์หรือแบตเตอรี่ที่ประจุไว้เต็ม ขณะเมื่อถ่ายความจุออกมา ณ อัตราการจ่ายตามข้อกำหนดจำเพาะของเซลล์หรือแบตเตอรี่นั้น (เซลล์ปกติเมื่อมีภารกรรมมีแรงดัน 1.2 โวลต์)

5.31 แผ่นธาตุ (Plate.)

คือ แผ่นแบบที่ทำเป็นตารางสำหรับยึดวัสดุที่ใช้ทำปฏิกิริยาภายในเซลล์

5.32 ประสิทธิภาพทางกำลัง (Power Efficiency.)

คือ อัตราส่วนที่เป็นร้อยละของพลังงานที่เก็บสะสมไว้ หาได้จากกำลังงานที่จ่ายออกไป (Output Power) หารด้วยกำลังงานที่ได้รับเข้ามา (Input Power)

5.33 อัตราของความจุ (Rated Capacity.)

หมายถึง อัตราความจุต่ำสุดเป็นแอมแปร์ชั่วโมงของแบตเตอรี่ที่ประจุเต็ม ซึ่งคิดว่าจะจ่ายไฟออกมาตามอัตราปกติ ความจุของแบตเตอรี่หรือจำนวนพลังงานทั้งหมดที่เซลล์จ่ายออกมานี้อยู่กับจำนวนของวัสดุที่ทำปฏิกิริยา (Active Material) ที่อยู่ในเซลล์นั้น ๆ การเพิ่มความจุให้แก่แบตเตอรี่ ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนแผ่นธาตุ หรือเพิ่มขนาด หรือความหนาของแผ่นธาตุขึ้น

5.34 เซลล์หรือแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิที่สามารถนำมาประจุใหม่ได้
(Rechargeable Secondary Cell or Battery.)

คือ เซลล์หรือแบตเตอรี่ซึ่งหลังจากจ่ายประจุไปแล้ว สามารถนำมาประจุใหม่ได้ โดยไม่ทำให้ค่าความจุลดลง

5.35 Recyclability.

คือ คุณสมบัติในการประจุ และการจ่ายประจุของระบบแบตเตอรี่

5.36 ระบบทุติยภูมิ (Secondary System.)

คือ เซลล์หรือแบตเตอรี่ชนิดที่สามารถประจุใหม่ได้ หลังจากจ่ายประจุไปแล้ว

5.37 แผ่นคั่นแผ่นธาตุ (Separator.)

คือ วัสดุพรุนใช้เป็นฉนวนคั่นแผ่นธาตุบวก กับแผ่นธาตุลบ แต่ยอมให้ไอออนเคลื่อนผ่านไปได้ในน้ำยาระหว่างแผ่นธาตุ

5.38 Sintered Plate.

คือ แผ่นเซลล์ที่เตรียมได้จากการฉาบวัสดุซึ่งใช้ทำปฏิกิริยาที่เป็นผงลงในแผ่นโลหะ แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนผงเหล่านี้ละลายเข้าด้วยกันทำให้เกิดโครงสร้างวัสดุที่เป็นรูพรุน และมีการดูดซึม มีผิวหน้ากว้างขึ้นเกิดอัตราการจ่ายไฟสูงขึ้น มีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ปกติใช้กับแบตเตอรี่นิเกิล – แคดเมี่ยม หรือแบตเตอรี่เงิน - สังกะสี

5.39 พลังงานจำเพาะ (Specific Energy.)

คือ พลังงานที่มีอยู่ในแบตเตอรี่ คิดตามน้ำหนักเป็น วัตต์ – ชั่วโมงต่อปอนด์ หรือบางครั้งคิดตามปริมาณ เป็นวัตต์ – ชั่วโมงต่อลูกบาศก์ฟุต

5.40 Stand – By Service.

หมายถึง แบตเตอรี่ซึ่งพร้อมที่จะจ่ายกระแสไฟได้ ในเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชำรุด

5.41 เซลล์เปียก (Wet.)

คือ คำที่ใช้เรียกแบตเตอรี่เพื่อแสดงว่าน้ำยาในเซลล์หรือแบตเตอรี่เป็นของเหลวและไหลได้โดยอิสระ

5.42 อายุการใช้งาน (Wet Shelf Life.)

คือ ระยะเวลาที่เซลล์หรือแบตเตอรี่อยู่ในสภาพที่จ่ายไฟได้ ก่อนที่จะหมดสภาพไปโดยไม่อาจทำการประจุใหม่ได้อีก

6. หลักการทำงาน (Principles of Operation.)

6.1 ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Action.)

ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ในระหว่างการประจุและการจ่ายไฟ มักจะทำให้เกิดปัญหาขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาที่เกี่ยวกับสภาพที่ทำให้ความจุลดลง และสภาพที่เกิดออกไซด์ของวัสดุที่ทำปฏิกิริยา

6.2 การประจุ (Charge.)

เมื่อทำการประจุไฟฟ้าให้กับเซลล์ของแบตเตอรี่ นิเกิล–แคดเมี่ยม วัสดุแคดเมี่ยมออกไซด์ ของแผ่นธาตุลบจะค่อย ๆ สูญเสียออกซิเจนไป และกลายเป็นโลหะแคดเมี่ยม วัสดุนิเกิลออกไซด์ซึ่งเป็นตัวทำปฏิกิริยาของแผ่นธาตุบวกจะมีออกซิเจนสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันในแผ่นธาตุทั้งคู่ตราบที่ยังมีการประจุกระแสให้เซลล์ หรือจนกว่าวัสดุที่ใช้ทำปฏิกิริยาของแผ่นธาตุจะเปลี่ยนกลับไปจนหมด เซลล์จะปล่อยก๊าซออกมาตลอดเวลาที่เกิดปฏิกิริยานี้ ทั้งนี้เพราะน้ำยาจะแยกองค์ประกอบของน้ำออกเป็นไฮโดรเจนที่แผ่นธาตุลบ และออกซิเจนที่แผ่นธาตุบวก น้ำยาจะเป็นตัวนำกระแสระหว่างแผ่นธาตุที่มีขั้วต่างกัน และการทำปฏิกิริยาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าโดยไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการวัดความถ่วงจำเพาะของน้ำยาจึงไม่ทำให้ทราบสภาพการประจุของเซลล์นิเกิล–แคดเมี่ยม

6.3 การจ่ายประจุ (Discharge.)

ระหว่างจ่ายไฟจะเกิดการแปลงกลับทางปฏิกิริยาทางเคมี แผ่นธาตุบวกจะค่อย ๆ มีออกซิเจนน้อยลง ในขณะที่แผ่นธาตุลบได้รับออกซิเจนที่สูญเสียไปกลับคืนมา ในระหว่างการจ่ายประจุ พลังงานทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้าให้กับภารกรรม อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานทางเคมีกำหนดได้จากความต้านทานของภารกรรมที่มีต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ภารกรรมที่มีค่าความต้านทานต่ำมาก จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูง ซึ่งอาจทำให้เซลล์เกิดการชำรุดเสียหายได้

7. ตัวประกอบที่เกี่ยวข้องกับความจุ (Factors Affecting Capacity.)

7.1 อัตราการจ่ายประจุ (Discharge Rate.)

เซลล์นิเกิล–แคดเมี่ยมแบบ Sintered–Plate มีคุณสมบัติที่ดีในการจ่ายไฟระแสสูงและมีสมรรถนะดีในอุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามการจ่ายกระแสไฟสูงที่อุณหภูมิต่ำอาจมีผลไม่ดีต่อสมรรถนะของเซลล์ เพราะความจุของเซลล์จะลดลงเมื่อต้องจ่ายกระแสสูงมาก และที่อุณหภูมิสูง

7.2 อุณหภูมิ (Temperature.)

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเซลล์นิเกิล–แคดเมี่ยม อยู่ในช่วง 80°F ถึง 90°F การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิ ให้ต่างไปจากนี้ จะมีผลทำให้ความจุของเซลล์ลดลง

7.3 การประจุด้วยแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging.)

การประจุโดยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ , ความจุของแบตเตอรี่ และความจุของเครื่องประจุ แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยมที่จ่ายประจุหมดแล้วจะสามารถรับกระแสเท่าที่เครื่องประจุสามารถจ่ายออกมาได้ เว้นแต่จะมีค่าความต้านทานเป็นตัวจำกัดอยู่ในวงจรการประจุ เมื่อระยะเวลาของการประจุนานขึ้น กระแสการประจุจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น แบตเตอรี่จะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายกระแสไฟได้เท่ากับหรือมากกว่าค่าของความจุที่ออกแบบไว้ หากพิจารณาจากตัวประกอบดังกล่าว พบว่าความจุที่ได้จะไม่สามารถจ่ายออกมาได้สมบูรณ์ ถ้าประจุด้วยแรงดันคงที่

7.4 การประจุด้วยกระแสคงที่ (Constant Current Charging.)

การประจุด้วยวิธีนี้ กำลังที่ส่งเข้าแบตเตอรี่ มิได้ถูกจำกัดด้วยแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามในการประจุด้วยกระแสคงที่นี้ มีวิธีปฏิบัติโดยการใช้วงจรควบคุม ในการประจุกระแสคงที่จะทำให้ แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยมได้ความจุเต็มสมบูรณ์ตามที่ถูกออกแบบไว้ แบตเตอรี่สามารถทำการประจุด้วยกระแสคงที่ได้อย่างไม่จำกัด โดยสามารถประจุได้หลาย ๆ รอบ/ ปี

7.5 ระดับน้ำยา (Electrolyte Level.)

คุณสมบัติของเซลล์นิเกิล–แคดเมี่ยม คือ เมื่อเซลล์จ่ายประจุไปแล้วบางส่วน ระดับน้ำยาจะลดลง ทั้งนี้เพราะว่าในสภาพจ่ายประจุน้ำยาจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแผ่นธาตุภายในเซลล์ ในสภาพเช่นนี้จะมองไม่เห็นน้ำยาจากทางด้านบนของเซลล์ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุใหม่อีก ระดับน้ำยาจะเพิ่มขึ้น และเมื่อประจุเต็มที่ระดับน้ำยาจะขึ้นถึงจุดสูงสุด การปรับระดับน้ำยาควรทำเฉพาะภายในห้องบริการแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม และทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง แต่ต้องไม่เกิน 3 ชั่วโมง ก่อนที่ระดับน้ำยาจะปรับตัวเอง

(ห้ามปรับระดับน้ำยาของแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม ภายในอากาศยาน หรือในเวลาใดก็ตามที่ไม่ทราบสภาพของการประจุ ของแบตเตอรี่ นั้น)

7.6 อันตรายจากการปรับน้ำยาไม่ว่าเวลาใดที่ไม่ใช่เวลาที่แบตเตอรี่มีประจุเต็มที่แล้ว คือถ้ามีการเติมน้ำให้กับเซลล์ที่มีการจ่ายประจุมาแล้ว ถ้าเซลล์นั้นถูกนำไปประจุ น้ำยาในแผ่นธาตุจะกลายเป็นน้ำยาทำละลาย (Solution) ระดับน้ำยาจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้น้ำยาหกออกทางช่องระบายของเซลล์ น้ำยาอิสระที่หกลงในหม้อแบตเตอรี่จะทำให้ฉนวนแบตเตอรี่ชำรุดได้ (ในยามฉุกเฉินถ้าเกิดความเสียหายร้ายแรงต่อฉนวนเช่นนี้ขึ้น จะเป็นการทำลายตัวแบตเตอรี่เองให้ชำรุด) ถ้าการเอ่อตัวของน้ำยาที่ช่องระบายของเซลล์มีมาก ขั้วของเซลล์แต่ละขั้วจะเกิดการลัดวงจรกับเปลือกหม้อ ทำให้ประจุไหลลงสู่ดิน ความร้อนจะเกิดขึ้นหม้อแบตเตอรี่จะชำรุด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเครื่องประจุแบตเตอรี่จะได้รับภาระกรรมเกินเกณฑ์ เป็นผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือเครื่องประจุแบตเตอรี่ถูกตัดออก

7.7 การปรับระดับน้ำยาทำได้โดยการเติมน้ำลงไปในเซลล์แต่ละเซลล์ หรือโดยการถ่ายน้ำยา (โปแตสเซี่ยม ไฮดรอกไซด์) ที่มีมากเกินไปออกเสียบ้าง

8. <u>คุณลักษณะในการประจุและการจ่ายประจุ (Charging and Discharging Characteristics.)</u>

8.1 <u>คุณลักษณะในการประจุ (Charging Characteristics.)</u>

แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม สามารถทำการประจุด้วยอัตราสูงเป็นหลายเท่าของความจุของแบตเตอรี่ได้โดยใช้เวลาเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ขนาด 34 แอมแปร์-ชั่วโมงสามารถทำการประจุได้ถึง 170 แอมแปร์ (คือ 5 x 34) ภายในห้านาทีที่อุณหภูมิ 80° F เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หรือต่ำกว่า 80° F คุณสมบัติในการประจุจะเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ณ ที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำการประจุและประสิทธิภาพในการประจุจะลดลงอย่างมาก จึงไม่สมควรที่จะทำการเริ่มประจุ ณ อุณหภูมิที่เกินกว่า 100° F

<u>แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมประจุได้เต็มที่สมบูรณ์ด้วยกระแสคงที่เท่านั้น</u> การประจุด้วยแรงดันคงที่ ที่ใช้ทำการประจุในอากาศยาน มิใช่เป็นการประจุเต็มสมบูรณ์ให้แก่แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม

8.2 <u>คุณลักษณะในการจ่ายไฟ (Discharging Characteristics.)</u>

แบตเตอรี่ที่ประจุเต็มสมบูรณ์จากการซ่อมบำรุงอย่างถูกต้องและได้รับการตรวจความจุตามข้อกำหนด จะสามารถจ่ายประจุได้ด้วยอัตราสูงมาก และในย่านอุณหภูมิที่กว้าง เมื่อเทียบแบตเตอรี่ นิเกิล- แคดเมี่ยม กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่มีน้ำหนักและปริมาตรเท่ากันแล้ว แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมจะสามารถจ่ายประจุได้มากกว่าถึงสองเท่า

9. <u>Thermal Runaway.</u>

Thermal Runaway คือสภาพที่เกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่ที่ประจุมีความเคยชิน กับการเพิ่มอุณหภูมิซึ่งเกิดขึ้นจากตัวประกอบต่าง ๆ ปกติการประจุแบตเตอรี่ในขณะที่ติดตั้งอยู่ในอากาศยาน ซึ่งแบตเตอรี่จะได้รับประจุด้วยแรงดันคงที่ ขณะที่ทำการประจุแบตเตอรี่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นทำให้แรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่ต่ำลง และขณะที่แรงดันย้อนกลับลดลง แบตเตอรี่จะดึงเอากระแสเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งแบตเตอรี่ชำรุด

10. <u>การสูญเสียความจุชั่วคราว (Temporary Loss of Capacity.)</u>

10.1 เมื่อเกิดการสูญเสียความจุไปชั่วคราว แบตเตอรี่จะไม่สามารถจ่ายไฟได้ตามข้อกำหนดความจุของแบตเตอรี่ การสูญเสียความจุนี้เกิดจากการจ่ายไฟน้อย ซึ่งอาจเกี่ยวกับการใช้อากาศยานและการประจุใหม่โดยวิธีใช้แรงดันคงที่ แบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ในอากาศยานเป็นเวลานานโดยมิได้ใช้งาน จะทำให้เกิดการสูญเสียความจุขึ้นได้

10.2 การสูญเสียความจุในสภาพนี้ เกิดขึ้นจากการที่มีแผ่นฟิล์มบางๆ เกิดขึ้นบนผิวของแผ่นธาตุภายในเซลล์ อัตราการเกิดแผ่นฟิล์มในเซลล์แต่ละเซลล์จะลดพื้นที่ของแผ่นธาตุที่ใช้ทำปฏิกิริยาให้น้อยลง ทำให้กระแสมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นความจุของแบตเตอรี่จึงลดลง ในขณะเดียวกันก็จะเกิดความไม่สมดุลของเซลล์อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอัตราการเกิดแผ่นฟิล์มนี้ ประสิทธิภาพของการประจุจึงแตกต่างกัน และเกิดการจ่ายประจุภายในตัวเองขึ้น

10.3 การแก้ไขที่ถูกต้อง ที่ใช้แก้ไขอาการนี้คือ การประจุด้วยกระแสคงที่ในห้องบริการแบตเตอรี่ การซ่อมบำรุงที่ถูกต้องจะช่วยแก้ไขการไม่สมดุล และการสูญเสียความจุของแบตเตอรี่ได้

10.4 ผลที่เกิดจากการสูญเสียความจุชั่วคราวนี้ไม่ควรถือเป็นเรื่องเล็กน้อย ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่จะแสดงสมรรถนะเป็นที่น่าพอใจก็ตาม เพราะในยามฉุกเฉินมันอาจจะจ่ายอัตราความจุออกมาเพียงบางส่วนเท่านั้น ตัวอย่างเช่น การทดลองกับ แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม จำนวน 30 หม้อ ที่มีขนาดความจุ 34 แอมแปร์-ชั่วโมง ที่ถอดออกมาจากอากาศยาน และทำการทดสอบความจุ ถ้าผลการทดสอบปรากฏว่าค่าความจุเฉลี่ยของแบตเตอรี่ ทั้ง 30 หม้อต่ำกว่า 15 แอมแปร์-ชั่วโมง หรือน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความจุของแบตเตอรี่ตามข้อกำหนด และพบว่ามีแบตเตอรี่ 2 หม้อ มีความจุเพียงหม้อละ 2 แอมแปร์-ชั่วโมง เท่านั้น พอสรุปได้ว่า แม้ว่าแบตเตอรี่นั้นเมื่อติดตั้งอยู่กับอากาศยาน จะมีแรงดันไฟฟ้าของอากาศยานประจุให้อยู่ก็ตาม แต่จะไม่สามารถมั่นใจได้ว่า ในสภาวะฉุกเฉินแบตเตอรี่จะอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้สมบูรณ์

10.5 เพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียความจุ ควรยกแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม ออกจากอากาศยาน ตามระยะเวลาที่กำหนด และนำมาประจุใหม่ด้วยวิธีกระแสคงที่

11. <u>ขั้นตอนของการเก็บ (Storage Condition.)</u>

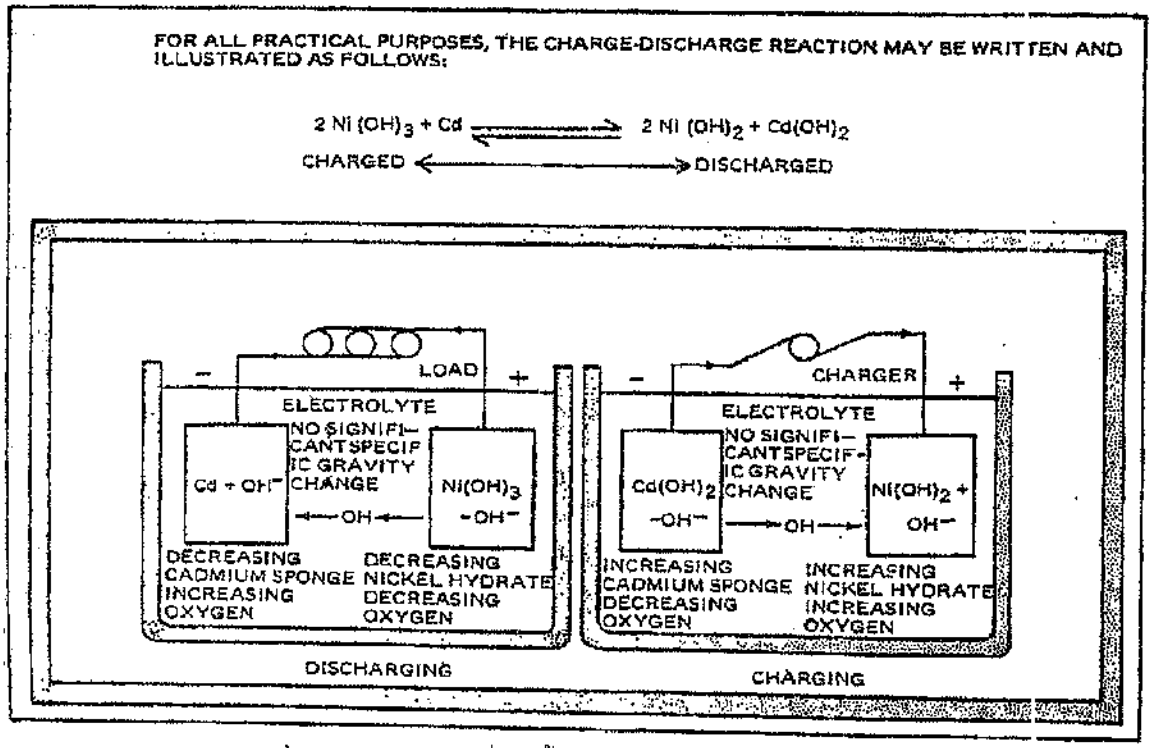
11.1 แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมที่จะนำไปเก็บ จะต้องทำการคลายประจุให้หมด ตามกรรมวิธีในการบริการแบตเตอรี่ และต้องทำการลัดวงจรด้วยอุปกรณ์ลัดวงจรที่ขั้วทั้ง 2 ของแบตเตอรี่ สำหรับแบตเตอรี่ที่จะทำการขนส่งก็ให้ใช้กรรมวิธีการปฏิบัติอย่างเดียวกับที่กล่าวนี้ ส่วนกรณีที่แบตเตอรี่ที่มีข้อกำหนดให้ขนส่งในสภาพการประจุต้องใช้ความระมัดระวัง โดยขั้วทั้ง 2 จะต้องหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการลัดวงจร สำหรับแบตเตอรี่ที่ลัดวงจรด้วยอุปกรณ์ลัดวงจรเรียบร้อยแล้ว สามารถเก็บในอุณหภูมิ – 65° F ถึง + 165° F โดยไม่ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่น เมื่อจะนำแบตเตอรี่ออกไปใช้งาน ต้องทำการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสคงที่ ตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในการบริการแบตเตอรี่ ก่อน

11.2 สำหรับแบตเตอรี่ที่อยู่กับหน่วยบริการ ในสภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งจะนำไปใช้งานใน 1 สัปดาห์ ต้องได้รับการดูแลให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาพประจุเต็มสมบูรณ์ และหากยังไม่ได้ส่งไปใช้งานจะต้องทำการคลายประจุจนหมดและลัดวงจรไว้ อัตราการสูญเสียประจุของแบตเตอรี่ที่ประจุสมบูรณ์แล้วอยู่ที่ประมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์ต่อวันในการเก็บรักษา ณ ระดับอุณหภูมิปกติ ในอัตรานี้แบตเตอรี่จะสูญเสียประจุถึง 85 % ภายในสองสัปดาห์หลังจากประจุเต็มสมบูรณ์ อัตราการจ่ายประจุเองอาจจะสูงถึง 10 % ต่อวัน ณ อุณหภูมิ 120°F และถ้าเก็บแบตเตอรี่ไว้ในอุณหภูมิเกือบจะถึง 0°F ก็จะมีความสูญเสียประจุเพียง 1.5 % ต่อเดือนเท่านั้น อัตราการสูญเสียประจุเองนี้ยังขึ้นอยู่กับการรั่วของกระแสไฟระหว่าง เซลล์กับตัวโอ่งภายในแบตเตอรี่ด้วย โดยทั่วไปแบตเตอรี่ที่เก็บไว้ในที่เก็บ จะอยู่ใน 2 สถานะ คือ พร้อมใช้งาน หรือพร้อมทำการประจุ

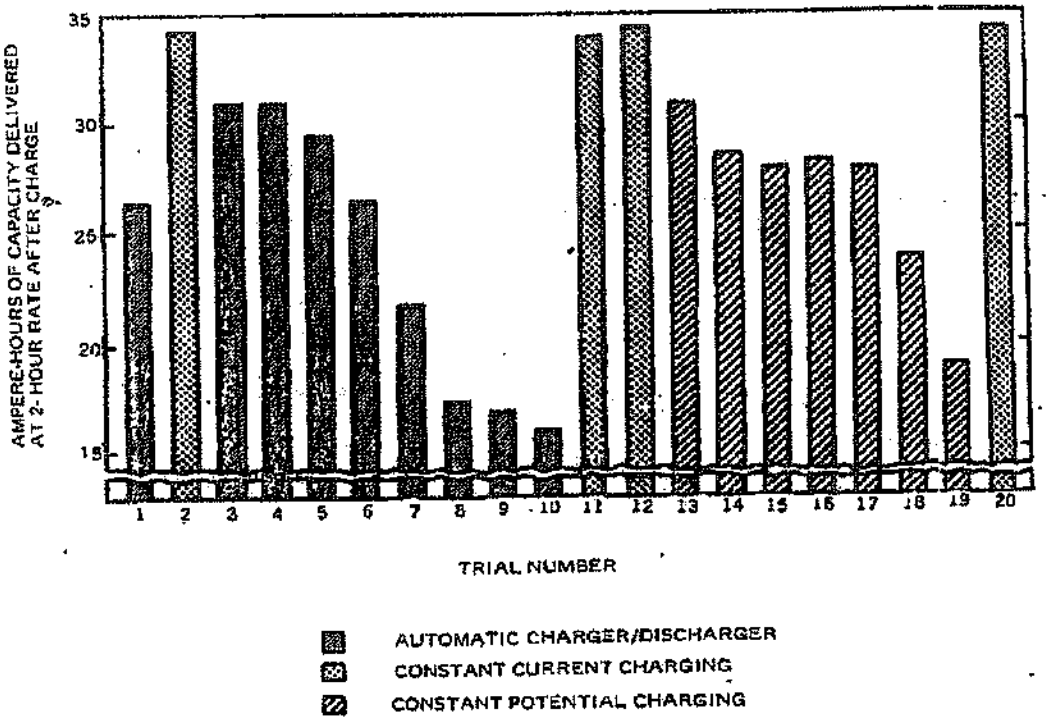
11.3 แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมที่ต้องเก็บไว้นานเกิน 7 วัน ต้องทำการทดสอบความจุให้เรียบร้อย คลายประจุจนหมดและลัดวงจรขั้วทั้ง 2 แล้วจึงเก็บ และต้องจัดทำตารางควบคุมเพื่อนำมาทำการทดสอบความจุทุกๆ 60 วัน สำหรับแบตเตอรี่ที่เก็บที่คลังฐานบิน ต้องปฏิบัติเช่นเดียวกัน

12. <u>ทฤษฎีของการประจุ (Charging Theory.)</u>

12.1 วิธีเบื้องต้นในการประจุแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมี่ยมที่ติดตั้งอยู่ในอากาศยาน ได้แก่วิธีใช้แรงดันคงที่ และเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดการสูญเสียความจุชั่วคราว เกิดความไม่สมดุลของเซลล์ขึ้นตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การทดลองเพื่อกำหนดผลของวิธีประจุมีโดยย่อ มีดังต่อไปนี้



<u>รูปที่ 2 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นใน แบตเตอรี่นิเกิล – แคดเมี่ยม</u>



<u>รูปที่ 3 เปรียบเทียบการประจุแบตเตอรี่ 3 วิธี โดยใช้แบตเตอรี่นิเกิล – แคดเมี่ยม ความจุ 34 แอมป์แปร์ – ชั่วโมง 19 เซลล์</u>

12.2 <u>ผลที่ได้จากวิธีการประจุสามวิธี (Effectiveness of Three Charging Methods)</u>

ความสูงของแถบ ในรูปที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการประจุสามวิธี ในการรักษาประจุไว้ได้ของแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม 19 เซลล์ สำหรับแต่ละวัฏจักรของการประจุและจ่ายไฟ 20 วัฏจักร อัตราความจุของแบตเตอรี่เท่ากับ 34 แอมแปร์-ชั่วโมง การทดสอบทำในระยะเวลาสามเดือน กรรมวิธีในการประจุทั้งสามวิธีมีดังต่อไปนี้

12.2.1 <u>วิธีใช้แรงดันคงที่ (Constant Potential Method)</u>

เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟจนกระทั่งแรงดันเกือบเป็นศูนย์ และนำมาประจุใหม่ด้วยแรงดัน 28.5 โวลต์ จนกระทั่งกระแสประจุตกลงต่ำกว่าสามแอมแปร์ ใช้เวลาประมาณหนึ่งชั่วโมงเพื่อให้กระแสลดลงจนเหลือน้อยกว่าสามแอมแปร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ประจุด้วยแรงดันคงที่ ต้องสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 250 แอมแปร์ ค่าความจุที่จ่ายออกมาเมื่อทำการประจุด้วยวิธีนี้แสดงไว้ด้วยหมายเลขแถบการทดลองที่ 13 ถึง 19

12.2.2 วิธีใช้กระแสคงที่ (Constant Current Method)

ถ้าแบตเตอรี่จ่ายไฟจนถึงศูนย์โวลต์ และประจุใหม่ด้วยกระแส 10 แอมแปร์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วประจุด้วยกระแส 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (49 ampere-hour input) ค่าความจุที่จ่ายออกมาเมื่อทำการประจุด้วยวิธีนี้ แสดงไว้ด้วยแถบหมายเลขการทดลองที่ 2, 11, 12, และ 20

12.2.3 วิธีใช้เครื่องทดสอบและเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ (Method Using Automatic Battery Charger and Tester.)

เครื่องประจุอัตโนมัติจะประจุด้วยแรงดันคงที่ จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ประจุขึ้นถึง 28.5 โวลต์ และกระแสประจุลดลงต่ำกว่า 3 แอมแปร์ ต่อจากนั้นแบตเตอรี่จะจ่ายไฟโดยอัตโนมัติถึง 19 โวลต์ และทำการประจุใหม่อีกครั้งหนึ่ง เครื่องประจุนี้มีกระแสประจุสูงสุด 25 ถึง 30 แอมแปร์ (ซึ่งไม่สมบูรณ์สำหรับแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมที่มีอัตราความจุสูง) หลังจากประจุด้วยวิธีนี้ ค่าความจุที่จ่ายออกมาแสดงไว้โดยแถบหมายเลขทดลองที่ 1 และ 3 ถึง 10

12.3 ในแถบหมายเลขทดลองที่1 แบตเตอรี่จ่ายไฟถึงศูนย์โวลต์ก่อนที่จะประจุ ประจุที่เหลืออยู่เมื่อทำด้วยวิธีนี้จะทำภายหลังที่แบตเตอรี่จ่ายไฟไปแล้วบางส่วน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจ่ายไฟไปบางส่วนจนถึงแรงดันไฟฟ้าตัดกระแส ในทุก ๆ กรณี อัตราจ่ายไฟสองชั่วโมงนี้ใช้กำหนดผลของวิธีประจุทั้งสามวิธีในการสร้างความจุขึ้นใหม่

12.4 ตามรูปที่ 3 ความจุจะถูกจ่ายออกมาในทุกกรณีที่ทำการประจุด้วยกระแสคงที่ ไม่ว่าจะประจุด้วยเครื่องประจุกระแสคงที่ หรือประจุด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ หรือด้วยวิธีแรงดันคงที่ ความจุที่เหลืออยู่จะมีแนวโน้มไปในทางลดลงด้วย วัฏจักรการประจุ-จ่ายไฟที่ต่อเนื่องกันในแต่ละรอบ ส่วนสองวิธีหลังชี้ให้เห็นว่ามีอะไรเกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่เมื่อนำไปติดตั้งใช้งานกับใช้กับอากาศยาน และประจุด้วยแรงดันคงที่จาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในอากาศยาน

12.5 จากเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว เราจะเห็นได้ชัดถึงความจำเป็นในการประจุแบตเตอรี่ นิเกิล – แคดเมี่ยม ที่ถอดมาจากอากาศยานจะต้องทำการประจุด้วยวิธีกระแสคงที่ และยังชี้ให้เห็นว่ากระแสต่ำๆ ที่แบตเตอรี่ จะได้รับตอนสุดท้ายของการประจุด้วยแรงดันคงที่ มิได้เป็นหลักประกันว่าแบตเตอรี่นั้นถูกประจุให้เต็มสมบูรณ์ (จะจ่ายประจุออกมาตามอัตราค่าความจุของมัน) และนำสังเกตไว้ด้วยว่า เครื่องประจุและเครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ (ที่สามารถให้กระแสต่ำ) มิได้มีความแตกต่างมากนักจากกรณีที่ใช้วิธีแรงดันคงที่ ที่มีความสามารถในการจ่ายกระแสสูง การประจุทั้งสองวิธีนี้หากมีการปฏิบัติต่อเนื่องหลายๆครั้งย่อมมีผลทำให้ค่าความจุของแบตเตอรี่ลดลง

12.5.1 Pulse Charging เป็นการเรียกตามลักษณะการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในแต่ละวงรอบการประจุ การประจุลักษณะนี้เครื่องประจุจะทำการประจุด้วยแรงดันคงที่ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจึงจะค่อนข้างสูง และเมื่อแบตเตอรี่ประจุใกล้เต็ม กระแสที่ใช้ในการประจุจะลดลงเนื่องจากเหตุผล 2 ประการคือ ประการแรกเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่สูงขึ้นจนใกล้จุดสูงสุดกระแสที่ใช้ประจุจะลดลง

ตามลำดับ ประการที่สอง เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นวงจรควบคุมเวลาในการประจุของเครื่องประจุจะทำงาน กระแสที่ใช้ในการประจุจะคิดเป็นร้อยละของระยะเวลาที่ใช้ในการประจุ ซึ่งเวลานี้ขึ้นกับการตั้งแรงดันแบตเตอรี่ขั้นสุดท้าย

12.5.2 ReFlex Charging เป็นวิธีการประจุแบตเตอรี่อีกวิธีหนึ่งซึ่งแตกต่างไปจากการประจุแบบ Pulse Charging คือจะประจุด้วยกำลังสูง แต่จะคลายประจุด้วยกำลังต่ำ โดยการคลายประจุเป็นช่วงๆ และเพิ่มช่วงการคลายประจุขึ้นโดยอัตโนมัติจนมากพอที่จะสามารถทำให้แบตเตอรี่กลับชั้วได้ก่อนที่จะทำการประจุ การประจุด้วยวิธีนี้จะลดเวลาที่ใช้ในการประจุลงโดยที่ไม่ทำให้เกิดความร้อน สำหรับแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมจะลดการสูญเสียความจุ ทั้งระหว่างทำการประจุและการเก็บแบตเตอรี่ไว้ในสภาพประจุด้วย ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่สามารถรักษาสถานภาพการจ่ายประจุไว้ได้ในสภาพประจุเต็ม

12.5.2.1 ตลอดการประจุด้วยวิธีนี้จะปรับตั้งกระแสที่ใช้ในการประจุเพียงหนเดียว แต่กระแสที่ประจุให้กับแบตเตอรี่จะปรับลดเองโดยอัตโนมัติจนกว่าแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มและวงจรการประจุจะหยุดทำงานเนื่องจากได้รับพัลส์การคลายประจุสูงขึ้นและช่วงเวลานาน

12.5.2.2 การควบคุมแรงดันที่ใช้ในการประจุของเครื่องประจุ เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเครื่องประจุจะรับรู้ว่าแบตเตอรี่ใกล้ประจุเต็ม พัลส์ในการคลายประจุจะเพิ่มตามไปด้วย และจะเป็นไปตามเวลาที่ตั้งประจุไว้

13. สถานะภาพของประจุ (State of Charge.)

13.1 แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมจะอยู่ในสถานะภาพของประจุเป็นศูนย์ เมื่อได้จ่ายไฟจนถึงศูนย์โวลต์ และจะมีประจุเต็มที่เมื่อได้ประจุด้วยกระแสคงที่ สถานะภาพของประจุไม่สามารถกำหนดได้ไม่ว่าเวลาใดยกเว้นต่อเมื่อจ่ายไฟและทำการวัดกระแสจากการจ่ายไฟจนลดลงถึงแรงดันไฟฟ้าตัดกระแส และไม่อาจจะใช้ความถ่วงจำเพาะของน้ำยาเป็นเครื่องกำหนดได้ เพราะว่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยา ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในระหว่างที่แบตเตอรี่ประจุ หรือจ่ายไฟ

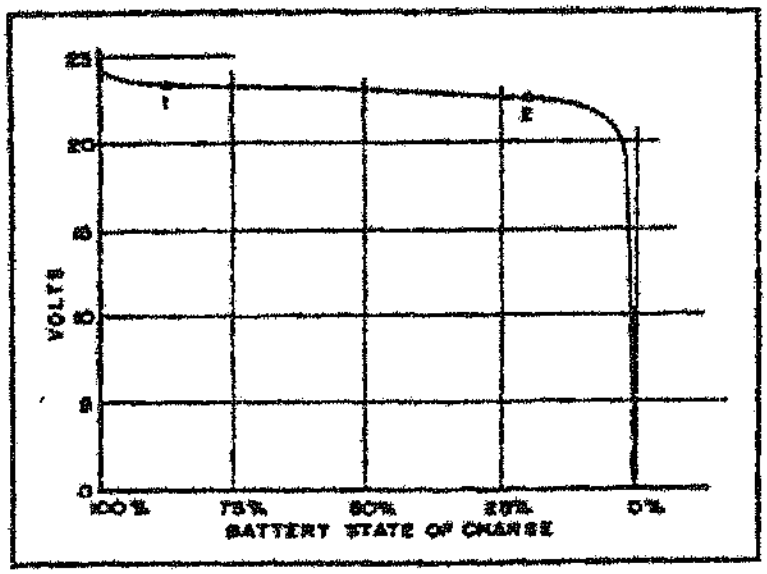
13.2 ในภาพ 4 แสดงเส้นโค้งของแรงดันไฟฟ้าภายใต้การจ่ายไฟแบบมาตรฐานในภารกรรมปานกลาง และแสดงจุดที่แรงดันไฟฟ้า (ระหว่างจุด 1 กับจุด 2) ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาส่วนใหญ่ในการจ่ายไฟ ดังนั้นการวัดแรงดันไฟฟ้าจึงไม่ชี้ให้เห็นสภาพของประจุของแบตเตอรี่

13.3 แบตเตอรี่ที่ประจุเต็มที่ คือ แบตเตอรี่ซึ่งปฏิบัติตามกรรมวิธีการบริการแบตเตอรี่ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 11 Battery Servicing Flow Chart

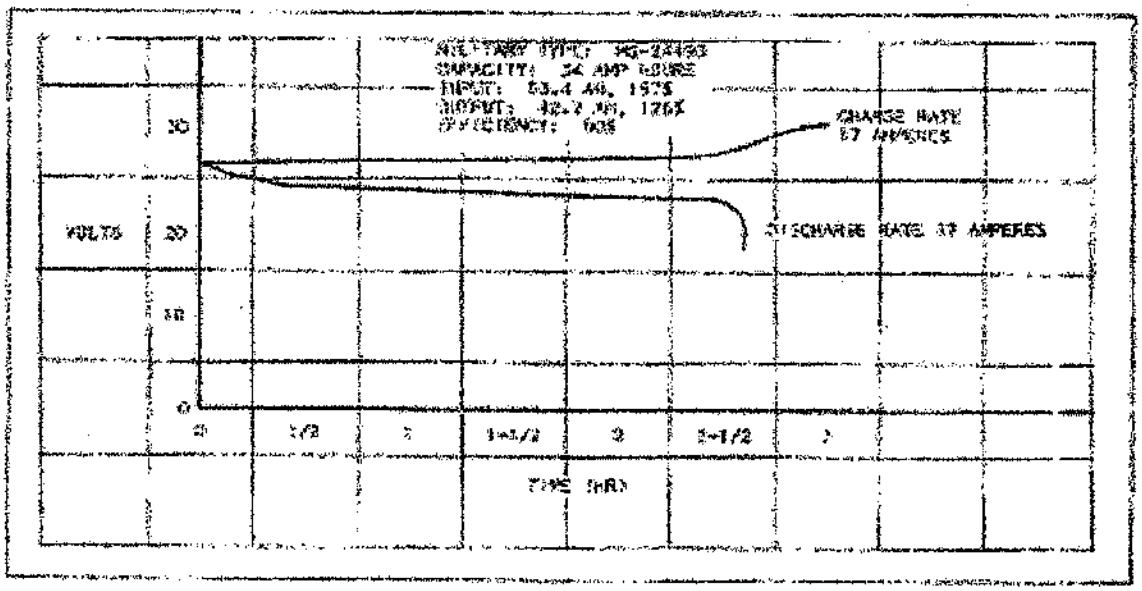
14. ตัวอย่างเส้นโค้งแรงดันไฟฟ้า (Typical Voltage Curves.)

14.1 รูปที่ 5 ถึงรูปที่ 9 แสดงเส้นโค้งมาตรฐาน ของแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ชนิดต่าง ๆ พร้อมทั้ง Input และ Output ของแบตเตอรี่คิดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง, ประสิทธิภาพ, และความจุจากเส้นโค้งเหล่านี้จะเห็นได้ว่าในระหว่างจ่ายไฟระดับแรงดันไฟฟ้าของ แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยมจะตกในระยะแรก และจะอยู่

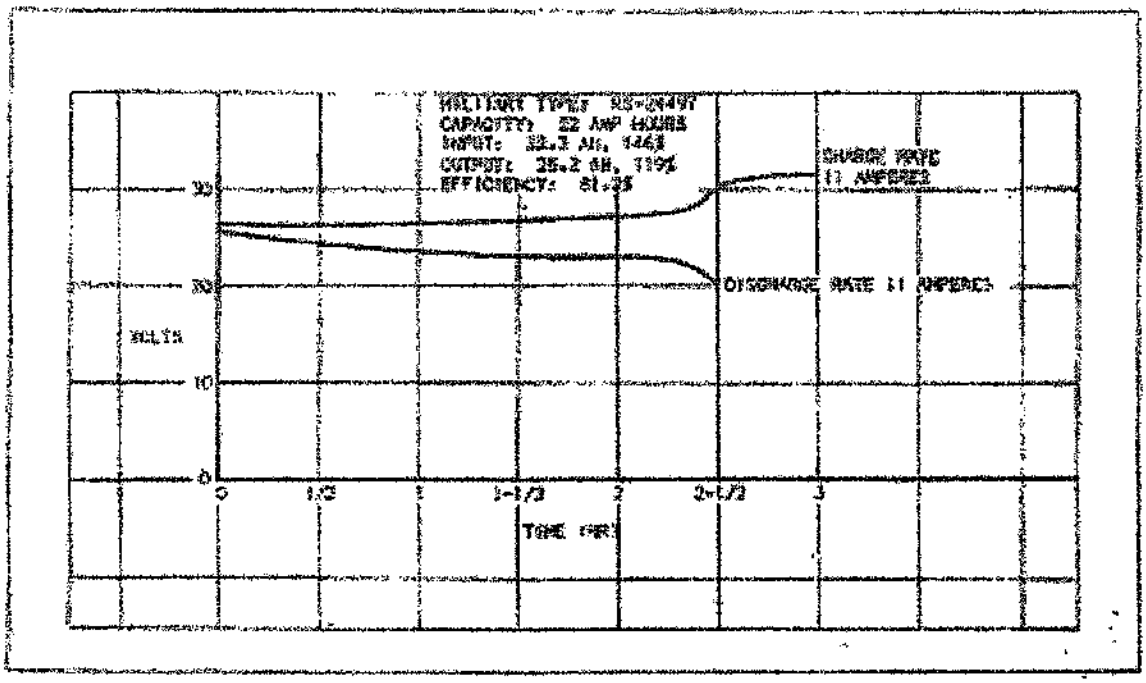
คงที่ในระดับหนึ่งจนกระทั่งแบตเตอรี่จ่ายความจุออกไปประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ให้สังเกตด้วยว่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างไรในตอนหลังของการประจุ ซึ่งแสดงว่าแบตเตอรี่ใกล้จะมีสภาพประจุเต็มที่แล้ว



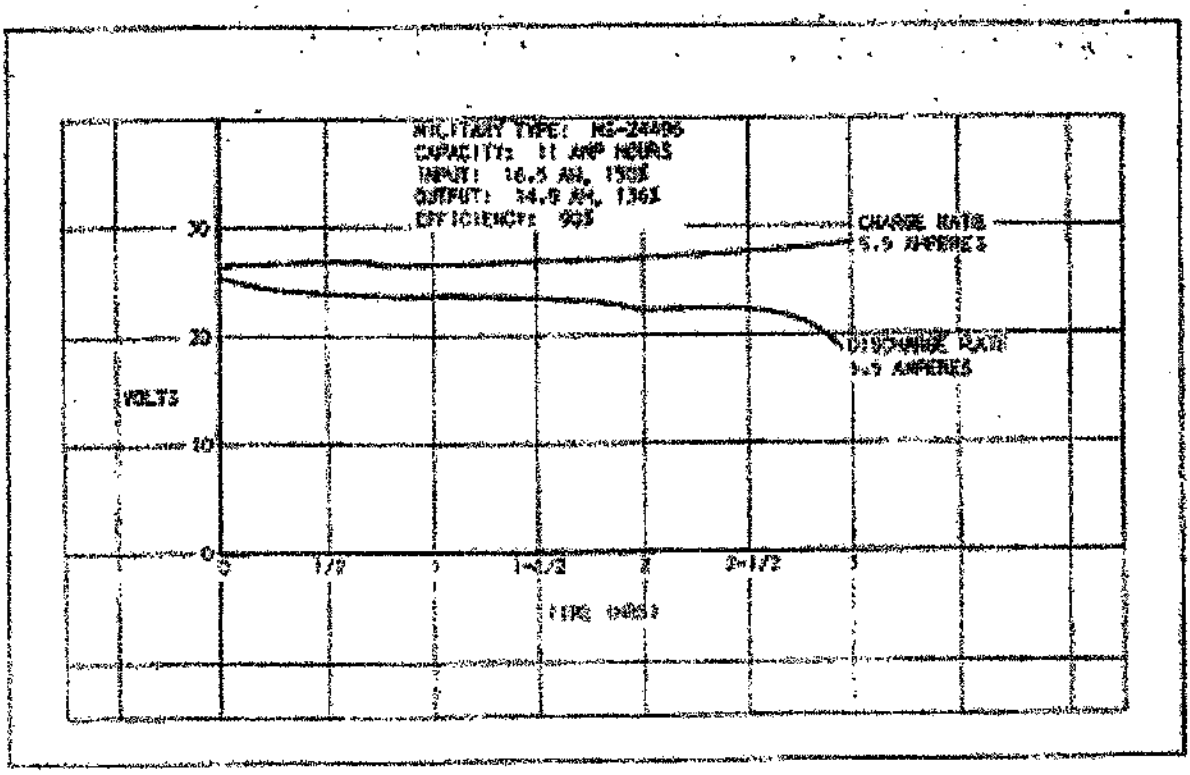
รูปที่ 4 Typical Discharge Voltage Curve Under Moderate Load



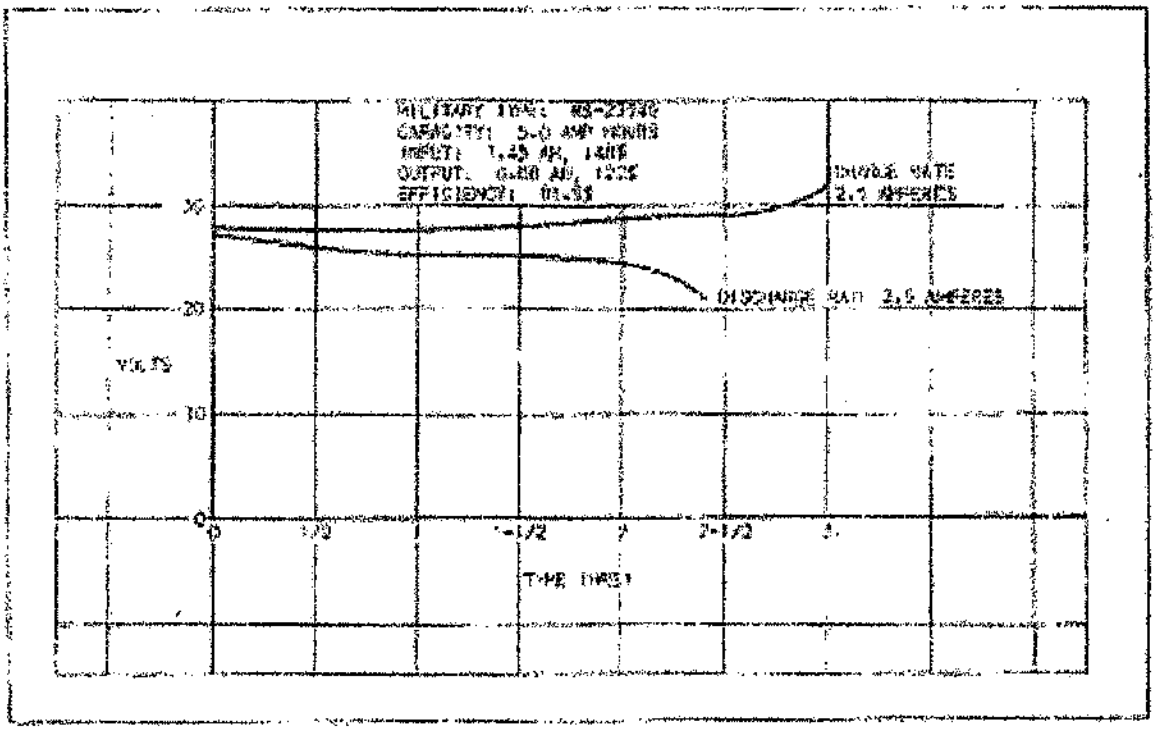
รูปที่ 5 Typical Voltage Curves for Battery MS – 24498



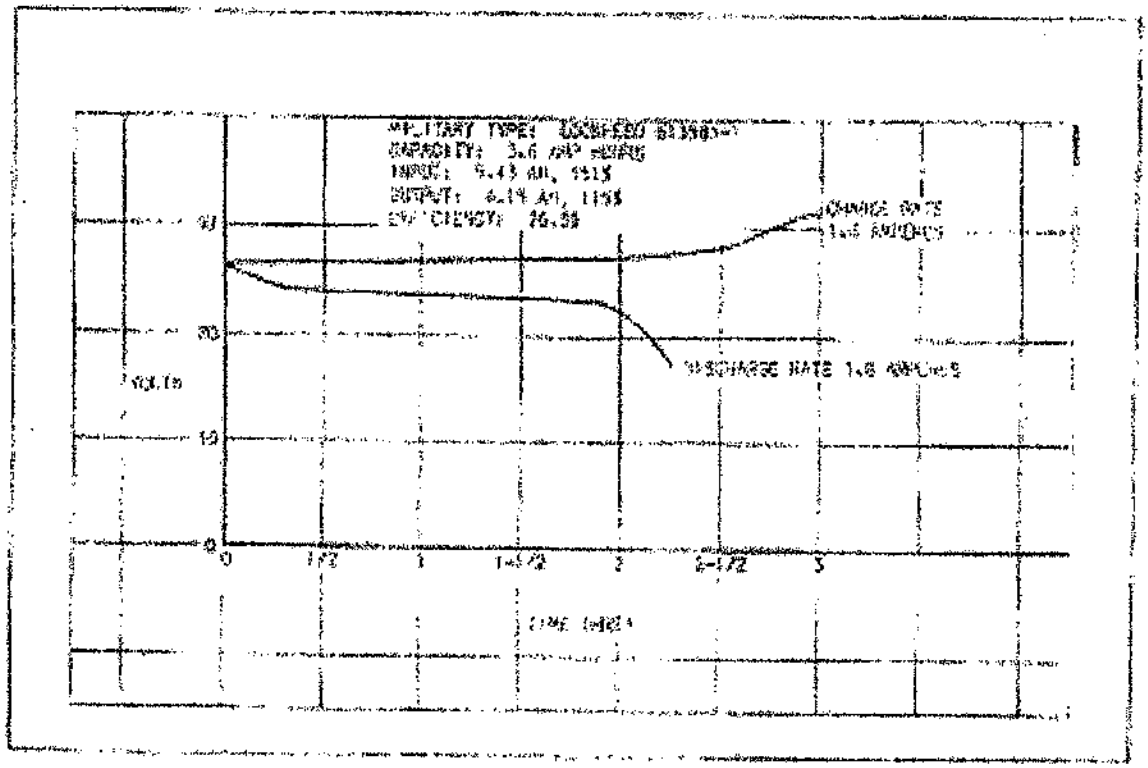
รูปที่ 6 Typical Voltage Curves for Battery MS – 24497



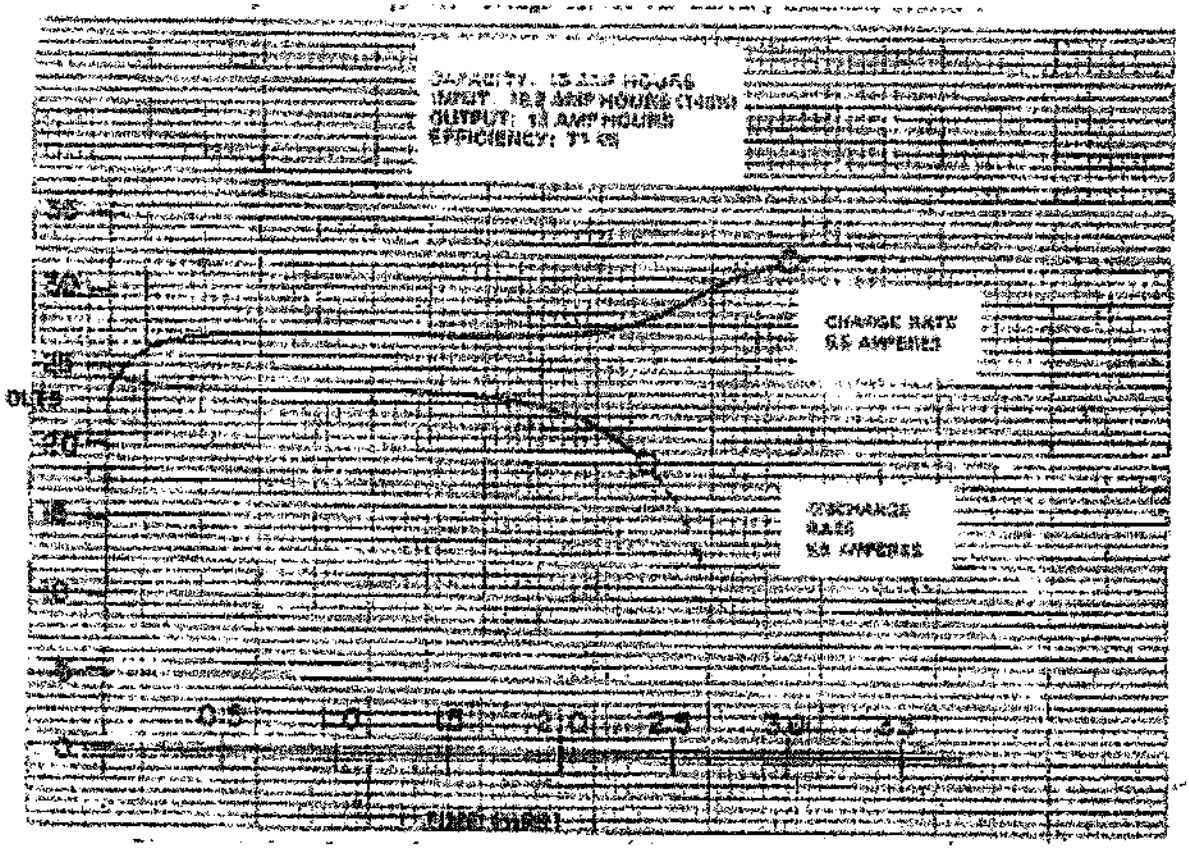
รูปที่ 7 Typical Voltage Curves for Battery MS – 24496



รูปที่ 8 Typical Voltage Curves for Battery MS – 27546



รูปที่ 9 Typical Voltage Curves for Battery Lockheed 613583 – 1



รูปที่ 10 Typical Voltage Curves for Battery MARATHON 30030

15. การตรวจแบตเตอรี่ของอากาศยาน (Aircraft Battery Inspection.)

15.1 กล่าวโดยทั่วไป (General.)

การตรวจแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม ควรทำการตรวจตามตารางการตรวจของอากาศยาน หรือตารางการตรวจระบบไฟฟ้าของบริภัณฑ์ภาคพื้น ที่แบตเตอรี่นั้นติดตั้งอยู่ การตรวจนี้ไม่รวมการตรวจระดับน้ำยาและไม่ควรทำการปรับระดับน้ำยา หรือทำการประจุ แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยมขณะติดตั้งอยู่บนอากาศยาน หรือบริภัณฑ์ภาคพื้น การทำการซ่อมบำรุงหรือบริการแบตเตอรี่ ต้องถอดไปดำเนินการที่ห้องบริการแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ในกรณีที่มีแบตเตอรี่ติดตั้งใช้งานอยู่ในวงจรเดียวกันมากกว่า 1 หม้อ การบริการหรือการซ่อมบำรุงควรดำเนินการพร้อมกัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันเกิดการไม่สมดุลระหว่างแบตเตอรี่

ข้อควรระวัง

ก่อนที่จะนำแบตเตอรี่ไปติดตั้งกับอากาศยานควรถอดจุกปิดเพื่อตรวจสภาพของอุปกรณ์ป้องกันการรั่วซึม (Seal) และรอยแตกร้าวต่างๆ แล้วจึงปิดให้พอแน่น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรั่วซึมของก๊าซไฮโดรเจน ที่จะเกิดขึ้นขณะทำการประจุในขั้นตอนสุดท้าย เพราะก๊าซนี้อาจทำให้เกิดการผุกร่อน หรือการลัดวงจรของสายไฟในบริเวณห้องที่ติดตั้งแบตเตอรี่ได้

15.2 การตรวจหลังบิน (Post Flight Inspection (Recommended).

การตรวจหลังบินแต่ละครั้งแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม และระบบของอากาศยาน จะต้องทำการตรวจ ดังต่อไปนี้

ก. ตรวจดูความร้อนของแบตเตอรี่ว่าสูงเกินไปหรือไม่ (สัมผัสไม่ได้) หรือหลักฐานในการเกิดความร้อนเกินเกณฑ์

ข. ตรวจสายไฟของอากาศยานที่ต่อกับขั้วต่อของแบตเตอรี่ เพื่อดูหลักฐานว่ามีการเกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์หรือไม่

ค. ตรวจหม้อแบตเตอรี่และฝาครอบ ดูการบิดเบี้ยว หรือการชำรุดต่าง ๆ

ง. ตรวจท่อทางระบายที่ต่อมายังแบตเตอรี่ และที่ต่อออกจากแบตเตอรี่ ดูการอุดตัน การเปลี่ยนสี และการผุกร่อน

จ. ตรวจสลักยึดแบตเตอรี่ ดูความปลอดภัย เพราะถ้าแน่นเกินไปอาจทำให้หม้อหรือฝาครอบแบตเตอรี่เสียรูปได้

ฉ. ตรวจแบตเตอรี่ ดูการรั่วของกระแสไฟโดยใช้เครื่องวัด โดยปฏิบัติตามขั้นตอนของการบริการแบตเตอรี่ ในหัวข้อการรั่วของกระแส (Current Leakage)

หมายเหตุ

สำหรับอากาศยานที่ทำการบินมากกว่าหนึ่งเที่ยวบินในหนึ่งวัน การตรวจการรั่วของกระแสไฟ ควรทำหลังจากบินเที่ยวสุดท้ายของวันนั้น

15.3 การตรวจหลังบินตามชั่วโมงบินและตามระยะเวลา (Hourly Post Flight and Periodic Inspection (Recommened).

ระหว่างการตรวจหลังบินตามชั่วโมงบินและการตรวจตามระยะเวลาตามปกติ จะต้องทำการตรวจดังต่อไปนี้

ก. ตรวจเช่นเดียวกับการตรวจหลังบิน (ตามข้อ 15.2) ทุกข้อ

ข. การตรวจหม้อแบตเตอรี่ ขวดรองน้ำยา และท่อทางระบายตามคำสั่งเทคนิค ที่เกี่ยวข้องของอากาศยาน แต่ละแบบ

ค. ตรวจการปรับเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่รอบการหมุนของเครื่องยนต์ให้ถูกต้องตามที่บ่งไว้ในคำสั่งเทคนิคที่เกี่ยวข้อง

15.4 การตรวจพิเศษ (Special Inspection.)

15.4.1 การตรวจพิเศษของแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน ควรทำทุก ๆ 60 วัน หลังจากวันที่ทำการทดสอบประจุ และทำการประจุครั้งสุดท้าย การตรวจแบบนี้ต้องถอดแบตเตอรี่ออกจากอากาศยาน และควรทำการตรวจสอบความจุด้วย

15.4.2 สำหรับอากาศยานที่ใช้ระบบการตรวจตามระยะเวลา และการตรวจภาค การตรวจแบตเตอรี่ทุก 60 วันจะถูกเปลี่ยนตามไปด้วย ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องกระทำ แต่ให้ปฏิบัติตามคำสั่งเทคนิคของการตรวจตามระยะเวลา และการตรวจภาค ของ บ. แต่ละแบบนั้น

15.4.3 สำหรับแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน และใช้เป็นอุปกรณ์หลัก ในการติดเครื่องยนต์ ให้ทำการถอดออกและส่งตรวจทุก ๆ 30 วัน หรือตามกำหนดอัตราอนุมัติชั่วโมงบิน ต่อเครื่องต่อเดือน ของอากาศยานนั้น ๆ

15.4.4 แบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ที่ติดตั้งใช้งานกับบริภัณฑ์ภาคพื้น จะต้องถอดเพื่อส่งเข้ารับการบริการทุกๆ 180 วัน การทำการซ่อมบำรุงแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับบริภัณฑ์ภาคพื้นนี้ ต้องแยกตากหาก เพื่อป้องกันการนำเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับบริภัณฑ์ภาคพื้น ไปติดตั้งให้กับแบตเตอรี่ที่ใช้งานบนอากาศยาน ในระหว่างการซ่อมบำรุง

16. <u>คำเตือนและข้อห้ามต่าง ๆ (Warning and Don'ts – Cautions.)</u>

16.1 <u>กล่าวโดยทั่วไป (General.)</u>

คำเตือนและข้อห้ามต่างๆดังต่อไปนี้ มีไว้เพื่อให้ห้องบริการแบตเตอรี่ มีความปลอดภัย ปราศจากอุบัติเหตุ และสามารถปฏิบัติต่อผู้ประสบอุบัติเหตุได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน AFOSH = Air Force Occupation Safety and Health.

<u>หมายเหตุ</u>

น้ำยาของแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม จะเป็นกลางเมื่อล้างด้วย น้ำส้ม , น้ำมะนาวหรือกรดบรอริค 5 % แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดมากๆ

16.2 <u>ความปลอดภัยส่วนบุคคล (Personnel Safety.)</u>

16.2.1 น้ำยาของแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม เป็นน้ำยาโปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ซึ่งมีสภาพเป็นด่าง มีคุณสมบัติในการกัดกร่อน เมื่อส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายสัมผัสอาจจะเกิดเป็นรอยไหม้ จึงต้องใส่ถุงมือยาง หรือถุงมือกันกรด ; ผ้ากันเปื้อนและหน้ากากป้องกันหน้าทุกครั้งที่ถือน้ำยา

16.2.2 ถ้าผิวหนังถูกน้ำยาให้ล้างผิวหนังส่วนนั้นด้วยน้ำจำนวนมากๆ ทันที แล้วรีบปรึกษาแพทย์ เพราะอาจเกิดอาการคัน หรือผิวหนังไหม้ได้

16.2.3 ถ้าน้ำยาเข้าตาให้รีบล้างด้วยน้ำมากๆทันที แล้วรีบไปพบแพทย์ทันที

16.2.4 ถ้าน้ำยาเข้าปากให้รีบดื่มน้ำตามมากๆทันที พร้อมทั้งดื่มน้ำมะนาว น้ำส้ม แล้วรีบไปพบแพทย์

16.2.5 ควรศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อทราบสถานที่ติดตั้งหรือเก็บอุปกรณ์ช่วยที่จำเป็น เช่น ที่เก็บยาล้างตา หรือที่ติดตั้งน้ำสะอาดที่ใช้สำหรับล้างและดื่ม

16.2.6 ระหว่างที่ทำการถอดหรือประกอบเซลล์แบตเตอรี่ต้องสวมเครื่องป้องกันใบหน้าตลอดเวลา เพื่อป้องกันมิให้ตาถูกน้ำยาซึ่งอาจพุ่งฉีดมาโดนได้ ในขณะที่ยกเซลล์หรือขณะเซลล์ ถูกอัดเข้าที่

16.2.7 ต้องใช้ความระมัดระวังให้มากที่สุด เมื่อทำงานอยู่ทางด้านบนเหนือแบตเตอรี่ อย่าปล่อยให้เครื่องมือที่ไม่มีฉนวนหุ้ม ตกลงไปถูกด้านบนของแบตเตอรี่ เพราะจะทำให้เกิดประกายไฟ ทำให้มีอันตรายแก่บุคคลและทำให้เครื่องมือ , เครื่องบริภัณฑ์ และแบตเตอรี่ชำรุดเสียหาย เครื่องมือที่ใช้ปฏิบัติงานกับแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม ควรมีฉนวนหุ้ม และขณะปฏิบัติงานกับแบตเตอรี่ห้ามสวมแหวน เพราะแหวนอาจทำให้เกิดการลัดวงจรกับข้อต่อระหว่างเซลล์แล้วอาจจะทำให้สูญเสียนิ้วได้

16.2.8 ไม่ว่าอยู่ในสภาพใด ห้ามใช้แปรงลวดทำความสะอาดเป็นอันขาด และตรวจดูให้แน่ใจว่าช่องระบายของเซลล์ปิดหมดแล้ว ก่อนที่จะทำความสะอาด

16.3. <u>ข้อควรระวังในสถานที่บริการแบตเตอรี่</u> (Battery Shop Precautions.)

16.3.1 เนื่องจากน้ำยาที่ใช้กับแบตเตอรี่ตะกั่ว–กรด ทำจากส่วนผสมของกรดซัลฟูริคเข้มข้นและน้ำกลั่น ดังนั้นจำเป็นต้องแยกสถานที่ที่ใช้บริการต่างหากกับแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการบริการ เช่น ไขควง ประแจ หลอดดูดน้ำยา ไฮโดรมิเตอร์สำหรับวัดวัดความถ่วงจำเพาะ ถุงมือ เป็นต้น ต้องไม่นำมาใช้ร่วมกัน และต้องไม่นำแบตเตอรี่ตะกั่ว–กรด และแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม มาบริการในห้องเดียวกันเป็นอันขาด

16.3.2 ห้องที่ใช้สำหรับบริการแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม จะต้องมีระบบถ่ายเทอากาศที่ดี และจะต้องถ่ายเทอากาศได้อย่างน้อย 3 ใน 4 ออกไปทุกชั่วโมง เพื่อถ่ายก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากการประจุแบตเตอรี่ออกไป ห้ามสูบบุหรี่ หรือสิ่งใดที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นได้ โรงแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในความดูแลของเจ้าหน้าที่นิรภัยภาคพื้น , หน่วยป้องกันไฟ และเจ้าหน้าที่การแพทย์

16.3.3 ถ้าจำเป็นต้องใช้เครื่องมือ ร่วมกับแบตเตอรี่ตะกั่ว–กรด ให้ทำความสะอาดเครื่องมือให้เรียบร้อย และทำให้เป็นกลางก่อนที่จะนำไปใช้กับแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม

16.3.4 เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม เป็นก๊าซที่ระเบิดได้ ก๊าซที่เกิดขึ้นจำนวนมาก อาจระเบิดขึ้นได้จากเปลวไฟ ประกายไฟหรือข้อต่อไฟฟ้าที่เสียดสี

16.4 <u>การระวังรักษาแบตเตอรี่</u> (Battery Care.)

16.4.1 การปรับระดับน้ำยาของแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ไม่ควรทำการปรับในขณะที่แบตเตอรี่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน เพราะอาจทำให้น้ำยาของแบตเตอรี่มากเกินเกณฑ์เป็นเหตุให้น้ำยาล้นในขณะทำการประจุ และอาจทำให้เกิดความชำรุดเสียหายขึ้นกับแบตเตอรี่ได้

16.4.2 โปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์อาจทำให้กระจกผุกร่อนได้ดังนั้น ภาชนะที่ใช้บรรจุไฮโดรมิเตอร์สำหรับวัดค่าความถ่วงจำเพาะ หรืออุปกรณ์อื่นที่ทำจากแก้ว ต้องทำการล้างทุกครั้ง หลังจากนำไปใช้งานกับโปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์แล้ว

16.4.3 ถ้าผลการตรวจสอบแบตเตอรี่พบว่าข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นเกิดจาก เซลล์ชำรุด จากการรั่วซึมของน้ำยา หรือขั้วต่อไฟหลวมคลอน ห้ามทำการทดสอบความจุ จนกว่าจะทำการซ่อมด้วยวิธีที่ถูกต้องและทำการประจุเรียบร้อยแล้ว

16.4.4 ตรวจสอบอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตลอดเวลาที่ทำการประจุ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์กำหนด (สูงกว่าอุณหภูมิของห้องที่ประจุมากกว่า 15°F หรือสูงถึง 115°F แล้วแต่ว่าอย่างใดถึงก่อน) จะต้องเติมน้ำให้กับเซลล์ที่ร้อนเกิน หรือต้องหยุดทำการประจุจนกว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่จะเย็นลง การเติมน้ำจะกระทำเฉพาะเซลล์เท่านั้น โดยการใช้หลอดสำหรับเติมน้ำให้กับเซลล์แบตเตอรี่ และควรเติมให้สูงกว่าแผ่นธาตุพอสังเกตเห็นเท่านั้น เพราะเมื่อทำการประจุระดับของน้ำยาแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอาจจะสูงเกินเกณฑ์จนต้องปรับออก และการเติมน้ำจะเป็นผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาแบตเตอรี่ลดลงด้วย

16.4.5 โดยปกติการปรับระดับน้ำยาของเซลล์แบตเตอรี่จะไม่กระทำ จนกว่าแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มแล้ว และทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง จึงจะทำการตรวจสอบระดับน้ำยา

16.4.6 ในการทำความสะอาดแบตเตอรี่ด้วยการใช้น้ำล้างต้องระวังอย่าให้น้ำเข้าไปในเซลล์ เพราะน้ำจะทำให้น้ำยาของแบตเตอรี่เจือจาง ซึ่งอาจจะต้องทำการเปลี่ยนน้ำยาใหม่ นอกจากนี้ยังอาจทำให้เซลล์เดือดเมื่อนำแบตเตอรี่ไปประจุใหม่ด้วย

16.4.7 อย่าเติมน้ำให้กับแบตเตอรี่นิเกิล–แคดเมี่ยม ในขณะที่ยังไม่ทราบสภาพการประจุของแบตเตอรี่นั้น เพราะจะทำให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรงได้ ถ้าเติมมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดการล้นของน้ำยาเมื่อมีการประจุขณะทำการบิน เกิดการผุกร่อนบริเวณที่ติดตั้งแบตเตอรี่ ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ที่เป็นโลหะผุกร่อน และเรือนเซลล์แตกหักถ้าเกิดการอุดตันที่ช่องระบาย

16.4.8 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเกิดก๊าซ และโอกาสที่น้ำยาท่วมจะมีมากขึ้น ทำให้ก๊าซและน้ำยาที่พุ่งขึ้นมาเปรอะเปื้อน ทำให้พวกโลหะของแบตเตอรี่ เกิดการผุกร่อน และทำให้สูญเสียน้ำยา ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่สูญเสียสมรรถนะ และอาจทำให้ช่องระบายของเซลล์อุดตัน ทำให้เซลล์แตกหักหรือเกิดความเสียหายอย่างอื่นขึ้นได้ การสูญเสียน้ำยาทำให้เซลล์แห้ง เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นและชำรุด ความขัดข้องของแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมในการจ่ายความจุที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำก็เกิดผลเช่นเดียวกัน

16.4.9 การทำการประจุด้วยอัตราที่ต่ำเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ต่ำตามไปด้วย ส่วนการประจุด้วยอัตราที่สูงเกินไปและความร้อนสูงจะทำให้เกิดก๊าซและทำให้น้ำยาเดือดซึ่งจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลงเช่นเดียวกัน และยังอาจทำให้เกิดการชำรุดขึ้นกับแบตเตอรี่ด้วย

16.4.10 ทางออกของช่องระบายที่อยู่แต่ละด้านของตัวเรือน และท่อทางของช่องระบายที่ติดอยู่จะต้องมิให้อยู่ในสภาพอุดตันเป็นอันขาด มิฉะนั้นก๊าซที่เกิดขึ้นภายในเรือนแบตเตอรี่จะระเบิด นอกจากนี้รูเปิดของช่องระบายที่อยู่ทางด้านในของเรือนแบตเตอรี่ จะต้องตรวจให้แน่ใจว่าไม่มีการอุดตันเช่นเดียวกัน บางครั้งสายยางจะปิดรูเหล่านี้ ทำให้เกิดการระเบิด หรือรอยบวมอันเนื่องมาจากเกิดความดันขึ้นภายในแบตเตอรี่

16.4.11 เพื่อความปลอดภัย เพราะว่าเซลล์ที่จะใช้เปลี่ยนอาจส่งมาในสถานะภาพประจุไฟ ดังนั้นต้องให้แบตเตอรี่จ่ายไฟเสียหมดเสียก่อน ที่จะนำไปเปลี่ยนเซลล์ที่ชำรุด

16.4.12 ขั้วต่อของแบตเตอรี่จะต้องมีฉนวน เช่นฝาครอบพลาสติก เป็นต้น ปิดอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็ม ไม่ว่าระหว่างการเคลื่อนย้าย หรือระหว่างการเก็บ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดการลัดวงจรจากอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น

17. <u>การบริการและการซ่อมบำรุง (Servicing and Maintenance.)</u>

17.1 <u>กล่าวโดยทั่วไป (General.)</u>

แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมที่เก็บไว้ในคลังพัสดุ ในสภาวะที่ได้ทำการคลายประจุแล้ว แบตเตอรี่เหล่านี้ เป็นแบตเตอรี่เปียกซึ่งบรรจุน้ำยาไว้จำนวนหนึ่ง เมื่อจะนำไปใช้งานจำเป็นต้องประจุใหม่ด้วยวิธีกระแสคงที่เสียก่อน ไม่ว่าจะได้รับแบตเตอรี่ใหม่ หรือแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วหรือแบตเตอรี่ที่ถอดออกจากอากาศยาน หรือจากบริภัณฑ์ภาคพื้น จะต้องนำมาทำการทดสอบประจุเสียก่อน ก่อนที่จะนำไปใช้ต่อไป จุดมุ่งหมายในการทดสอบเช่นนี้ เพื่อให้มั่นใจว่าแบตเตอรี่ทุกหม้อมีข้อกำหนดทางไฟฟ้าที่ถูกต้องตามข้อกำหนด ซึ่งกำหนดไว้โดยบริษัทผู้ผลิต ทั้งนี้เพื่อให้การบินของอากาศยานอยู่ในขั้นปลอดภัยที่สุด

<u>คำเตือน</u>

ในขณะที่บริการแบตเตอรี่ ต้องระมัดระวังน้ำยาอย่าให้ถูกผิวหนัง หรือเข้าตา ดังนั้นควรสวมชุดป้องกัน ได้แก่ หน้ากาก(แว่นตา) ถุงมือที่ทำด้วยยางหรือวัสดุกันกรด ชุดกันเปื้อน ตลอดเวลาระหว่างบริการแบตเตอรี่

17.2 <u>ลำดับขั้นการบริการแบตเตอรี่ (Battery Servicing Sequence.)</u>

17.2.1 ลำดับขั้นการบริการแบตเตอรี่แสดงไว้ในรูปที่ 11 "Battery Servicing Flow Chart" แบตเตอรี่ที่จะต้องปฏิบัติตามแผนภูมินี้ต้องปฏิบัติ

17.2.2 ลำดับขั้นกรรมวิธีปฏิบัติต่อแบตเตอรี่ มีดังนี้

17.2.2.1 ตรวจสอบและทำความสะอาด ปฏิบัติตามข้อ 17.3

17.2.2.2 ทดสอบความจุ ปฏิบัติตามข้อ 17.4

17.2.2.3 ทำเซลล์ให้สมดุล ปฏิบัติตามข้อ 17.5

17.2.2.4 ถอดชิ้นส่วนประกอบ ทำความสะอาดและซ่อม ปฏิบัติตามข้อ 17.6

17.2.2.5 ประกอบชิ้นส่วนเข้าที่เดิม ปฏิบัติตามข้อ 18.6

17.2.2.6 ประจุด้วยกระแสคงที่ ปฏิบัติตามข้อ 17.7

17.2.2.7 ตรวจและปรับน้ำยา ปฏิบัติตามข้อ 17.8

17.2.2.8 ตรวจการรั่วไหลของกระแส ปฏิบัติตามข้อ 17.9

17.2.2.9 ทดสอบความจุขั้นสุดท้าย ปฏิบัติตามข้อ 17.4

17.2.3 ถ้าการทดสอบความจุ (ข้อ 17.2.2.2) ได้ผลเรียบร้อย ให้ทำจากข้อ 17.2.2.3 ถึง 17.2.2.8 แล้วนำแบตเตอรี่ไปใช้งานได้

17.2.4 ถ้าการทดสอบความจุ (ข้อ 17.2.2.2) ไม่ได้ตามข้อกำหนด ให้ปฏิบัติตามข้อ 17.2.2.3 ถึง16.2.2.9 จากนั้นปฏิบัติซ้ำกับข้อ 17.2.2.3 และจากข้อ 17.2.2.6 ถึง 17.2.2.9 อย่างน้อยสามครั้ง ในบางครั้งอาจไม่ต้องทำในข้อ 17.2.2.9 ถ้าได้ผลเรียบร้อย ให้ทำในข้อ 17.2.2.3 และจากข้อ 17.2.2.5 ถึง 17.2.2.8 แล้วนำแบตเตอรี่ไปใช้งานได้

17.2.5 ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะภาพที่มีประจุปานกลาง ในการเก็บรักษาให้ปฏิบัติตามข้อ 17.2.2.3 แล้วเก็บไว้โดยต่อเครื่องลัดวงจรระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่

17.3 <u>การตรวจและการทำความสะอาด (Inspect and Clean.)</u>

17.3.1 เมื่อแบตเตอรี่ส่งมาถึงโรงบริการแบตเตอรี่เพื่อทำการบริการ ขั้นแรกจะต้องทำการตรวจตามข้อต่อไปนี้เสียก่อน

17.3.1.1 ตรวจเรือนแบตเตอรี่และฝาครอบดูรอยบิดเบี้ยว และรอยไหม้ หรือร่องรอยการเกิดความร้อนสูง เกินกำหนด

17.3.1.2 ถอดฝาครอบแบตเตอรี่ ตรวจสภาพการโค้งงอของฝาปิด และสภาพของแผ่นฉนวนรองด้านในของฝาแบตเตอรี่

17.3.1.3 ตรวจด้านบนของแบตเตอรี่ดูหลักฐานการเกิดความร้อนเกินเกณฑ์ ข้อต่อไฟฟ้า หรือฝาปิดช่องระบายหลวม และตรวจด้านบนของเซลล์ดูรอยร้าว

17.3.1.4 เพื่อความปลอดภัย ตรวจขั้วต่อไฟของแบตเตอรี่ ดูรอยชำรุดและรอยไหม้ หรือร่องรอยการเกิดความร้อนเกินเกณฑ์

17.3.1.5 บันทึกการชำรุดที่เกิดจากการปฏิบัติของเจ้าหน้าที่ไม่ถูกต้อง เช่นการชำรุดของแบตเตอรี่ซึ่งแสดงว่าเกิดจากการติดตั้งไม่ถูกต้อง หรือการปรับแรงดันไฟที่ใช้ทำการการประจุในอากาศยานไม่ได้ตามเกณฑ์ เพื่อแจ้งให้เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับอากาศยานนั้นทราบด้วย

17.3.2 หลังจากตรวจสอบตามหัวข้อดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำความสะอาดด้านบนของแบตเตอรี่ ถ้ามีน้ำยาเปรอะเปื้อนเกิดขึ้นตามช่องระเหยของเซลล์ จะเกิดสารสีขาวทางด้านบนของเซลล์และกับโลหะที่เป็นข้อต่อภายใน สารที่เกิดขึ้นนี้ได้แก่ โปแตสเซี่ยมคาร์บอเนต ซึ่งไม่มีอันตรายแต่อย่างใด สามารถกำจัดออกได้โดยการใช้แปรงที่แห้งและมีขนแข็งถู การทำความสะอาดให้ปฏิบัติดังนี้

17.3.2.1 ปิดและขันฝาครอบช่องระเหยของเซลล์ทุกเซลล์ และข้อต่อภายในเซลล์ทั้งหมดให้แน่น

17.3.2.2 ใช้แปรงถูด้านบนของแบตเตอรี่ เพื่อขจัดโปแตสเซี่ยมคาร์บอเนตที่จับอยู่ให้หมดไป ห้ามใช้แปรงลวดโดยเด็ดขาด

<u>คำเตือน</u>

ให้ใช้อุปกรณ์ป้องกันหน้าเพื่อป้องกันมิให้เศษเล็กเศษน้อยของสิ่งสกปรกเข้าตา อย่าใช้แปรงลวด เพราะจะทำให้เกิดประกายไฟอย่างรุนแรงขึ้นได้

17.3.2.3 ทำความสะอาด ฝุ่นผงสิ่งสกปรกที่เกาะจับอยู่บนแบตเตอรี่ให้หมด

17.3.2.4 ใช้ผ้าชื้นที่สะอาดเช็ดแบตเตอรี่ทุกส่วนให้สะอาด

17.3.2.5 ถอดฝาปิดช่องระเหยแล้วล้างด้วยน้ำอุ่น อย่าให้ช่องระเหยมีโปแตสเซี่ยมคาร์บอเนตจับอยู่เป็นอันขาด

17.3.2.6 เช็ดช่องระเหยให้แห้งแล้วประกอบฝาจุกเข้าที่

17.3.2.7 เพื่อป้องกันการเกิดสนิมควรใช้ไขกันสนิม (Corrosion Preventive Compound (CPC) MIL-C81309 ทาที่ขั้วต่อของแบตเตอรี่ทั้งหมด

17.4 <u>การทดสอบความจุ (Capacity Test..)</u>

ทุกครั้งที่หน่วยบริการแบตเตอรี่ได้รับแบตเตอรี่นิเกิล – แคดเมี่ยม จะต้องทำการทดสอบความจุเสมอ โดยปฏิบัติดังต่อไปนี้

17.4.1 ใช้เครื่องวิเคราะห์ – เครื่องประจุแบตเตอรี่ (Battery charger - analyzer) ดูตารางที่ 1 Authorized Equipment. ทำการทดสอบความจุแบตเตอรี่โดยการตั้งอัตราการจ่ายไฟ, ต่อแบตเตอรี่และเชื่อมสวิทช์ ให้เครื่องวิเคราะห์ -- เครื่องประจุแบตเตอรี่ทำงาน ตามที่กล่าวไว้ในคู่มือที่เกี่ยวข้อง

17.4.2 บันทึกกระแสและเวลา เทียบค่าที่ได้นี้ กับค่าที่ให้ไว้ใน ตารางที่ 2 Battery Data Summarization Chart. สำหรับแบตเตอรี่ที่ได้รับการตรวจสอบ

17.4.3 หลังจากชั่วโมงแรกผ่านไป วัดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แต่ละเซลล์ทุกระยะ 15 นาที ให้ทำเครื่องหมาย เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้า 0.95 โวลต์ หรือต่ำกว่านี้

<u>หมายเหตุ</u>

เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้า 0.5 โวลต์หรือน้อยกว่านี้ จะต้องทำการลัดวงจรให้เซลล์นั้นก่อน เพื่อป้องกันการกลับขั้วของเซลล์

17.4.4 การตรวจสอบแบตเตอรี่ว่าใช้ได้หรือไม่ ให้กำหนดด้วยข้อพิจารณาต่อไปนี้

ก. แบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แต่ละเซลล์สูงกว่า 0.95 โวลต์ ตลอดระยะการจ่ายไฟสองชั่วโมง เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ได้ และแสดงว่าการทดสอบประจุผ่าน

ข. แบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าของเซลล์หนึ่งเซลล์ หรือมากกว่านั้นต่ำกว่า 0.95 โวลต์ ในระยะการจ่ายไฟ แสดงว่ายังไม่ผ่านการทดสอบประจุ ยังใช้ไม่ได้ ให้ถอดออกและทำเครื่องหมายเซลล์เหล่านี้ไว้ เพื่อใช้ในการอ้างอิงต่อไป

หมายเหตุ

ถ้าเซลล์ที่ทำเครื่องหมายไว้ หรือเซลล์ที่ตรวจความจุไม่ได้ผลสามครั้ง ให้ทำเซลล์สมดุล, ถอดเซลล์ดังกล่าวออกและเปลี่ยนเซลล์

17.5 การทำเซลล์ให้สมดุล (Cell Equalization.)

17.5.1 แบตเตอรี่ทุกหม้อจะต้องทำเซลล์สมดุลอย่างน้อยหนึ่งครั้งในระหว่างที่แบตเตอรี่ถึงวาระการซ่อมบำรุงในโรงงานแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ผ่านขั้นตอนการทำเซลล์สมดุลแล้ว ต้องผ่านทดสอบความจุ และทำการประจุตามลำดับ

17.5.2 ถ้าต้องการทำเซลล์สมดุล ให้ทำการปรับเครื่อง charger-analyzer ใหม่ และทำการจ่ายประจุแบตเตอรี่ต่อไป หลังจากถึงแรงดันไฟฟ้าตัดกระแส ให้ทำการสมดุลแบตเตอรี่โดยการใช้ภาระกรรมทดลอง (dummy load) ที่กำหนดสำหรับแบตเตอรี่ ดังนี้

17.5.2.1 ให้แบตเตอรี่จ่ายไฟด้วยอัตราหนึ่งหรือสองชั่วโมง โดยใช้ภาระกรรมที่มีความต้านทานต่ำ

17.5.2.2 ตรวจแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แต่ละเซลล์ทุก ๆ 15 นาที และทำการลัดวงจรเซลล์ที่แรงดันไฟฟ้าตกลงถึง 0.5 โวลต์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนกลับขั้วของเซลล์

หมายเหตุ

อาจทำแผ่นโลหะเล็ก ๆ โค้งงอเป็นรูปตัว "U" เพื่อใช้ทำการลัดวงจรที่เซลล์

17.5.2.3 จ่ายไฟแบตเตอรี่ต่อไปจนกว่าจะทำการลัดวงจรได้หมดทุกเซลล์

17.5.3 ปล่อยให้ภาระกรรมทดลอง (dummy load) หรืออุปกรณ์ที่ใช้ลัดวงจรติดตั้งอยู่อย่างน้อยแปดชั่วโมง และถอดออก ก่อนที่จะทำการประจุแบตเตอรี่ใหม่

หมายเหตุ

อุปกรณ์ที่ใช้ลัดวงจรของเซลล์จะยังคงติดตั้งอยู่ตลอดเวลาทั้งเมื่อถอด และประกอบเซลล์

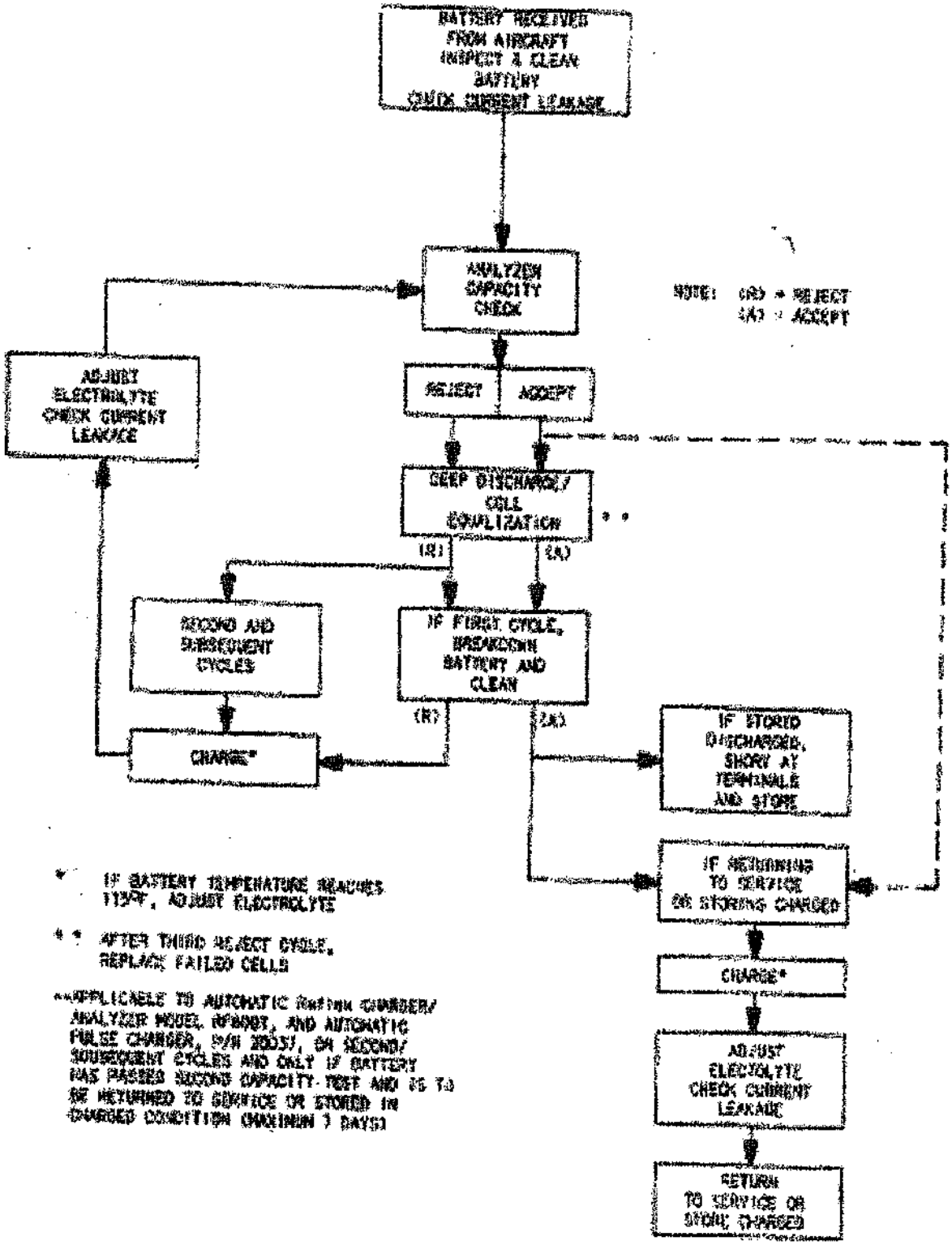
17.6 การถอดชิ้นส่วน, การทำความสะอาดและการซ่อม (Disassemble , Clean and Repair.)

17.6.1 แบตเตอรี่ทุกหม้อหลังจากทำการสมดุลครั้งแรกแล้ว ต้องถอดชิ้นส่วนของแบตเตอรี่ออก ถ้าแบตเตอรี่ได้ผ่านการถอดชิ้นส่วน ทำความสะอาดมาแล้ว และไม่ทราบสถานะภาพการซ่อม ให้ส่งแบตเตอรี่ทำการประจุตามข้อ 17.7

17.6.2 การถอดชิ้นส่วนแบตเตอรี่ให้ปฏิบัติตามข้อ 17.2

ข้อควรระวัง

อย่าให้น้ำเข้าไปในเซลล์ เพราะจะทำให้น้ำยาเจือจาง ซึ่งจะต้องเปลี่ยนน้ำยาใหม่ และน้ำจะทำให้เซลล์เดือด เมื่อประจุแบตเตอรี่ใหม่



รูปที่ 11 Battery Servicing Flow Chart

เซลล์ (Cell.)

17.6.3 หลังจากถอดเซลล์ออกจากแบตเตอรี่แล้ว ให้ทำความสะอาดเซลล์ดังต่อไปนี้

17.6.3.1 ใช้น้ำฉีดล้างด้านข้างและด้านล่างของเซลล์

17.6.3.2 ขจัดตะกอนโปแตสเซี่ยมคาร์บอเนตที่จับอยู่โดยใช้แปรงขนแข็งที่ทำด้วยวัสดุที่มิใช่โลหะ

17.6.3.3 ล้างเซลล์แบตเตอรี่ โดยใช้น้ำฉีดเพื่อขจัดโปแตสเซี่ยมคาร์บอเนต

17.6.3.4 เช็ดเรือนเซลล์ให้แห้งด้วยผ้านุ่มที่สะอาดหลังจากล้างเรียบร้อยแล้ว

17.6.3.5 ตรวจเซลล์อย่างอย่างละเอียด เพื่อดูการรั่วซึมของน้ำยา รอยต่อต่างๆ การแตกร้าวหรือการชำรุดอื่น

หมายเหตุ

การตรวจพบวัตถุชิ้นเล็กๆที่หลุดออกมาอยู่ระหว่างช่องระบายของเซลล์และแผ่นธาตุเพียงเล็กน้อย ไม่ใช่เหตุที่ทำให้ต้องเปลี่ยนเซลล์

ตัวเรือนแบตเตอรี่ (Battery Case.)

17.6.4 เรือนแบตเตอรี่จะต้องทำความสะอาดหลังจากถอดชิ้นส่วนแล้ว ไม่จำเป็นต้องถอดแผ่นรองออกถ้ายังอยู่ในสภาพดี เรือนแบตเตอรี่จะต้องทำความสะอาดให้ปราศจากน้ำยา และสิ่งสกปรกอื่น ๆ โดยปฏิบัติดังนี้

คำเตือน

การใช้ลมเป่าทำความสะอาดตัวเรือนแบตเตอรี่เพื่อขจัดเศษวัตถุต่างๆที่ติดอยู่อาจเป็นสาเหตุให้มีเศษวัสดุเข้าตา หรือทำให้เกิดการบาดเจ็บขึ้นได้ ดังนั้นแรงลมที่ใช้ทำความสะอาดไม่ควรสูงเกิน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ควรใส่แว่นตา และถุงมือป้องกันด้วย

17.6.4.1 ล้างเรือนแบตเตอรี่โดยใช้น้ำฉีด

17.6.4.2 ใช้แปรงขนแข็งขัดตะกอนโปแตสเซี่ยมคาร์บอเนตออก

17.6.4.3 หลังจากทำความสะอาดเสร็จเรียบร้อยแล้ว เช็ดเรือนแบตเตอรี่ให้แห้งด้วยผ้าอ่อนนุ่ม

17.6.4.4 ใช้ลมเป่าเรือนแบตเตอรี่และทิ้งให้แห้ง อย่างน้อย 8 ชั่วโมง ถ้ามีเตาก็ให้ใช้เตาอบให้แห้งโดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 120 ° F ถึง 130 ° F

17.6.5 ซ่อมและประกอบแบตเตอรี่ใหม่ ตามวิธีปฏิบัติที่กล่าวในข้อ 18 ว่าด้วย กรรมวิธีการซ่อม

17.7 <u>การประจุด้วยกระแสคงที่ , พัลส์ชาร์จ , และรีเฟลกชาร์จ (Charging – Constant Current , Pulse Charging , and Reflex Charging.)</u>

<u>คำเตือน</u>

ขณะทำการประจุแบตเตอรี่ ควรคลายฝาปิดเซลล์ออกเพื่อป้องกันแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้นใน แบตเตอรี่

17.7.1 ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมจะสามารถทำงานได้ในทุกท่าทางบิน แต่เวลาประจุจะต้องตั้งให้อยู่ในตำแหน่งตั้งตรง (Up Right) เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำยา ฝาปิดเซลล์ ควรให้หลวมและอยู่เข้าที่ การประจุแบตเตอรี่จะต้องประจุด้วยวิธีกระแสคงที่ หรือ Pulse Charging เท่านั้นและห้ามทำการประจุเมื่อแบตเตอรี่ต่อขนานกันอยู่

<u>ข้อควรระมัดระวัง</u>

ต้องถอดอุปกรณ์ที่ใช้ลัดวงจรทั้งหมด ออกจากแบตเตอรี่และเซลล์แบตเตอรี่ ก่อนที่จะต่อสายเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ชำรุด สำหรับเครื่องชาร์จ Type A/E24-U-10 ให้ทำการประจุด้วยอัตราต่ำสุดจนกว่าแรงดันแบตเตอรี่จะได้ 19 โวลต์ จึงเริ่มตั้งเวลาประจุ หมุนปุ่มตั้งเวลากลับมาศูนย์ก่อนแล้วจึงตั้งอัตราการประจุ

17.7.2 ต่อแบตเตอรี่ที่ต้องการประจุ กับเครื่องประจุแบตเตอรี่ (ดูตารางที่ 1)

17.7.3 การประจุแบตเตอรี่ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำ ในเรื่องการประจุแบตเตอรี่สำหรับเครื่องประจุที่ใช้ทำการประจุนั้น

<u>คำเตือน</u>

ระหว่างการปฏิบัติงานกับแบตเตอรี่ ต้องระวังอย่าให้น้ำยาเข้าตาหรือสัมผัสผิวหนัง ดังนั้นควรสวมชุดกันเปื้อน , ถุงมือและแว่นตาตลอดเวลา

17.7.4 ตรวจอุณหภูมิของแบตเตอรี่บ่อย ๆ ในระหว่างประจุ ถ้าเรือนแบตเตอรี่เริ่มร้อนเกินไป (สูงกว่าอุณหภูมิห้องเกิน 15° F หรือสูงกว่า 115° F แล้วแต่อย่างใดถึงก่อน) ก็จำเป็นต้องเติมน้ำในเซลล์ที่ร้อนนั้น หรือหยุดทำการประจุจนกว่าแบตเตอรี่จะเย็นลง การเติมน้ำทำได้โดยการเติมน้ำลงในแต่ละเซลล์ โดยใช้หลอดบีบเติมน้ำจนกระทั่ง มองเห็นน้ำยาท่วมแผ่นธาตุ ในขณะทำการประจุจำเป็นต้องเอาน้ำยาที่มากเกินไปออกเสียบ้างในขณะที่ระดับเพิ่มขึ้น

17.7.5 เซลล์แบตเตอรี่จะต้องได้รับการตรวจสอบอย่างน้อยสามครั้ง ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการประจุ โดยชั่วโมงแรกให้ตรวจหลังประจุได้ 15 นาที และ 45 นาที ครั้งสุดท้ายก่อนการประจุเรียบร้อย 15 นาที เพื่อทราบแนวทางการดำเนินการต่างๆดังนี้

17.7.5.1 แรงดันต่ำกว่า 1.3 โวลต์ ให้ยกเลิกการประจุ ทำการจ่ายประจุ เปลี่ยนเซลล์ ทำเซลล์สมดุล ก่อนทำการประจุต่อไปใหม่

17.7.5.2 แรงดันสูงเกิน 1.75 โวลต์ ให้ตรวจสอบอุณหภูมิของเซลล์ ถ้าสามารถสัมผัสได้ให้เติมน้ำเล็กน้อยแล้วตรวจอุณหภูมิ และทำการประจุต่อไป

17.7.5.3 เซลล์ลัดวงจร เกิดควัน มีกลิ่นไหม้ของพลาสติกหรือไนลอน ให้หยุดทำการประจุ ทำการคลายประจุ เปลี่ยนเซลล์ ทำเซลล์สมดุล ก่อนทำการประจุต่อไปใหม่

17.7.5.4 น้ำยาล้น ให้ถ่ายน้ำยาออก

17.7.5.5 แรงดันสูงหรือต่ำกว่าแรงดันเฉลี่ยของเซลล์ทั้งหมด เกินกว่า 0.05 โวลต์ แสดงว่าเกิดการไม่สมดุล หรือการทำงานไม่สมบูรณ์ของเซลล์ ต้องทำการตรวจซ่อมใหม่ก่อน แล้วจึงทำการประจุต่อไป

17.8 <u>การปรับระดับน้ำยา (Adjusting Electrolyte Level.)</u>

17.8.1 จะต้องปรับระดับน้ำยาเฉพาะเมื่อต้องการเท่านั้น และต้องกระทำภายหลังจากแบตเตอรี่ได้ทำการประจุโดยสมบูรณ์แล้ว และปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อยสองชั่วโมง จะต้องทำการตรวจระดับน้ำยาดังต่อไปนี้

<u>หมายเหตุ</u>

น้ำยาบริสุทธิ์ ความถ่วงจำเพาะ 1.300 ใช้เฉพาะเมื่อน้ำยาเติมหก

<u>คำเตือน</u>

โปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในน้ำยาในแบตเตอรี่ มีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ถ้าหกใส่ผิวหนัง หรือเสื้อผ้า จะต้องชะล้างด้วยน้ำในทันทีทันใด ถ้าเข้าตาให้ล้างด้วยน้ำมาก ๆ หรือน้ำยาล้างตาทันที แล้วรีบไปปรึกษาแพทย์ การปฏิบัติงานกับโปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ จะต้องมีถุงมือยาง ผ้ากันเปื้อน และกระบังหน้าเสมอ

17.8.1.1 ถอดฝาปิดเซลล์ทุกเซลล์ แล้วสอดหลอดพลาสติกใสหรือหลอดแก้ว เข้าไปในเซลล์ในแนวดิ่ง

17.8.1.2 ใช้นิ้วปิดปลายหลอด แล้วชักหลอดออกมาจนกระทั่งเห็นปลายหลอด โดยมีน้ำยาติดอยู่ข้างในปลายหลอด 1/8 นิ้ว

17.8.1.3 ถ้าระดับน้ำยาต่ำให้เติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์จำนวนเล็กน้อยเท่าที่จำเป็น ถ่ายน้ำยาที่มากเกินไปเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

<u>หมายเหตุ</u>

อาจใช้ขวดล้างโปลีเอทซีลีนที่มีหลอดพลาสติกติดอยู่ ในการเติมน้ำ หรือถ่ายน้ำยาออกตามที่ต้องการ

17.8.1.4 ปิดฝาเซลล์ภายหลังการปรับระดับน้ำยาเรียบร้อยแล้ว

NOMENCLATURE	PART NUMBER	TECHNICAL ORDER
Automatic Reflex Charger-Analyzer	RF80GT	35C3-2-79-1
Automatic Reflex Charger-Analyzer	RF80K	35C3-2-79-11
Charger-Analyzer	AN/USM-432	35C3-2-88-1
Charger-Analyzer	AN/USM-462	35C3-2-91-1
Battery Charger-Analyzer (Master Item)	A/E24U-10	
Battery Charger-Test Set (Type A/E24U-10, P/N 68E39076-1)	170-001-000-0	35C3-2-57-1
Battery Charger-Analyzer	505-50-1M	35C3-2-29-22 35C3-2-29-24
Battery Charger (Part of P/N 68E39076-1)[1]	68E39076-1	35C3-2-57-1 35C3-2-57-4
Dummy Load, electrical (Part of P/N 68E39076-1; use with battery MS24497)[2]	68F39056-1	35C3-2-57-1 35C3-2-57-4
Dummy Load, electrical (Part of P/N 68E39076-1; use with battery MS24497)[2]	68F39056-1	35C3-2-57-1 35C3-2-57-4
Dummy Load, electrical (Part of P/N 68E39076-1; use with battery MS24495)[2]	68F39057-1	35C3-2-57-1 35C3-2-57-4
Dummy Load, electrical (Part of P/N 68E39076-1; use with battery MA500H and MA510H)[2]	68F39071-1	35C3-2-57-1 35C3-2-57-4
Dummy Load, electrical (Part of P/N 68E39076-1; use with battery MA300H)[2]	68F39070-1	35C3-2-57-1 35C3-2-57-4
Multimeter	AN/PSM-6 (or equivalent)	
Battery Charger-Analyzer	2000237	35C3-2-88-1

[1]This charger is to be ordered only when a battery shop needs an additional charger but does not need additional equipment for capacity testing batteries.

[2]Additional dummy loads may be ordered as required to facilitate shop operation.

ตารางที่ 1 Authorized Equipment

Item Stock	Common Designations	Military Type	Nominal Voltage	Minimum Acceptable Capacity (2 hr rate)	Capacity Test: Two Hour Discharge	Rate	One Hour Discharge	Rate	Minimum End Voltage	Charging Rate: Constant Current		Cell Terminal Torque Values: Type Connection	Inch Pounds
	(See Note)			Ampere	Amps	Hrs	Amps	Hrs		Amps	Time-Hrs		
938-8043 952-2231	MA-2,MA-2*, GA-60	MIL-B-26220	24	60	30* 12	2* 4	55	1	18	24* 12	4* 6	1/4-28 Screws	90-100
570-1525	MA-5,GA-40 4360348B17	MIL-B-26220 MS-24458	24	24	12	2	30	1	18	24* 12	2* 5	10-32 Bolt	34-38
578-2524 809-3862 891-3885 912-8935 953-9054 987-3362 495-0657	MA-4,MA-8,MA-9, MA-11,A40-1923, GB-24,GB-29 4360228B15 4360228B12 1079-3500A24-1 20030	MIL-B-26220 MS-24457	24	22	11	2	20	1	18	22* 11	3* 5	10-32 Bolt	34-38
			24	18	8.8	2	18	1	15	2.6 5.2	7 to 20 min 3 to 20 min	4-32 Screw	20-25
260-1729	MA-7,GB-15 4360148B07	MIL-B-26220 MS-24496	24	11	5.5	2	9.5	1	18	11* 5.5	3* 5	6-32 Screw or Bolt	16-22
883-3784 344-4398	MA-500H,GB-70 MA-510H	MIL-B-26220 MS27946	24	5	2.8* 2.5	2* 2	5	1	19	5.5* 2.5	2* 5	10-32 Nut	20-25
617-3004	MA-300H,GB-30	Lockheed 6F3583-1	24	3.0	1.8	2	3	1	18	3.0 1.8	2* 3	10-32 Nut	19-18

*For P/N 495-58-16

NOTE: The specific batteries listed in this column by manufacturer's part number are grouped according to voltage and capacity in order to facilitate servicing. They are not necessarily interchangeable. Any other sintered-plate nickel-cadmium battery with the same voltage and capacity rating as shown for one of the groups listed above may be serviced by this manual and the equipment listed herein.

17.9 <u>การรั่วของกระแส (Current Leakage.)</u>

หลังจากการปรับระดับน้ำยาแล้ว ให้ทำการตรวจการรั่วของกระแสไฟ ที่รั่วจากเซลล์ไปสู่เรือนของแบตเตอรี่ การรั่วของกระแสถ้ามากกว่า 50 มิลลิแอมแปร์ ระหว่างเรือนแบตเตอรี่กับขั้วลบหรือขั้วบวกของเซลล์แบตเตอรี่ เป็นการรั่วที่มากเกินไป จะต้องทำการแยกเซลล์ที่รั่วออกต่างหากและปฏิบัติดังนี้.

17.9.1 ใช้เครื่องวัดแรงดัน ที่มีความไว 1000 โอหม์ต่อโวลต์ และต่อสายข้างหนึ่งของเครื่องวัดกับขั้วลบ หรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ เอาสายต่ออีกข้างหนึ่งต่อกับผิวที่มิได้ทาสีบนเรือนแบตเตอรี่แล้วอ่านค่าของเครื่องวัด

17.9.2 ถ้าเข็มเครื่องวัดชี้ทางซ้ายของศูนย์ให้กลับสายวัดใหม่

17.9.3 ปล่อยสายข้างหนึ่งไว้ที่เรือนแบตเตอรี่ และย้ายสายอีกข้างหนึ่งจากขั้วของเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์อื่น ๆ ให้ทำการบันทึกค่าของโวลต์ที่อ่านได้ ค่าของโวลต์ที่อ่านได้จะลดลง และในที่สุดจะมีค่าเป็นลบซึ่งจะแสดงให้เห็นตำแหน่งที่เซลล์รั่วติดตั้งอยู่

17.9.4 ทำเครื่องหมายไว้ บนเซลล์ที่รั่ว

17.9.5 คลายประจุ ถอดชิ้นส่วน ทำความสะอาด เปลี่ยนเซลล์ที่เสื่อม, แล้วทำการประจุ และทดสอบความจุ

17.10 <u>อุปกรณ์ เครื่องมือ และวัสดุที่ใช้ (Equipment , Tools , and Materials.)</u>

17.10.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประจุ และทดสอบความจุของแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม ที่เกี่ยวข้อง มีรายการแสดงอยู่ใน ตารางที่ 1 Authorized Equipment เครื่องประจุ–วิเคราะห์แบตเตอรี่เครื่องหนึ่งๆ จะสามารถทำการประจุ และทดสอบความจุแบตเตอรี่ได้ประมาณ 25 หม้อต่อเดือน ภายในการปฏิบัติการครั้งหนึ่ง

17.10.2 ห้องบริการแบตเตอรี่ จะต้องมีเอกสารเทคนิคเกี่ยวกับเครื่องประจุ-วิเคราะห์แบตเตอรี่พร้อมที่จะใช้งานได้อยู่เสมอ คำแนะนำการปฏิบัติและการบริการสำหรับเครื่องอุปกรณ์จะต้องมีพร้อม เพราะถ้าปฏิบัติผิดพลาดจะทำให้แบตเตอรี่และเครื่องประจุเกิดความเสียหายที่ไม่อาจซ่อมได้ ฉะนั้นก่อนปฏิบัติงานจะต้องทำความเข้าใจให้ถ่องแท้เสียก่อน

17.10.3 นอกจากเครื่องมือธรรมดาที่ใช้แล้ว ช่างบริการแบตเตอรี่จะต้องมีเครื่องมือพิเศษที่ใช้สำหรับแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยมอีก คือ

17.10.3.1 แปรง (ขนไนลอน)

17.10.3.2 ที่ยกเซลล์ (ดูลักษณะชุดสำหรับยกเซลล์ ในรูปที่ 13 และ 14)

17.10.3.3 ไฟฉาย (กระบอกทำจากวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ)

17.10.3.4 กระบังหน้า (แว่นตา)

17.10.3.5 ไฮโดรมีเตอร์ (สำหรับใช้กับโปแตสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ เท่านั้น)

17.10.3.6 หลอดโปลีเอธีลีน (ขนาดตามต้องการ)

17.10.3.7 ขวดล้างโปลีเอธีลีน (FSN 6640 – 00 – 314 – 02097)

17.10.3.8 ถุงมือยางหรือถุงมือป้องกันกรด และผ้ากันเปื้อนยาง

17.10.3.9 เทอร์โมมิเตอร์

17.10.3.10 ประแจ (ประแจหกเหลี่ยม, หัวกระบอก, ฝาจุกอุดเซลล์, ประแจรู้แรงบิด)

17.10.4 ในการบริการและซ่อมแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม จะต้องใช้วัสดุตามรายการในตารางที่ 3 Material. เป็นประจำ ดังนั้นจะต้องตรวจสิ่งของดังกล่าวให้พร้อมเสมอที่จะใช้งานได้

ITEM	NSN	SIZE
Adhesive [illegible]	8040-00-273-8216	1/2 pint
Compound, Potting MIL-C-26876	8030-00-935-1083	3-pound can
Cloth (lint-free)		
Distilled or de-ionized water (in glass or polyethylene containers)		
Electrolyte	6810-00-543-4041	Pallet
Kit, Epoxy Paint (PN 8151 MFG Code 04347)	8040-00-061-8303	
Paint, alkaline resistant:		
MILPI9950 (primer)	8010-00-684-0018	1 pint
MILEI9038 (gray)	8010-00-242-9525	1 qal.
MILP23377	8010-00-382-1450	1 qal.
MILC83286	8010-00-402-5670	2 qal. (KT)
Polyethylene sheet:		
LP535	9330-00-292-1632	20x20x0.01 in.
MILP22035	9330-00-954-0715	5ax20x0.02 in.
AM8365A	9330-00-983-0770	21x24x0.02 in.
MILP2224A	9330-00-786-2243	2x12x0.031 in.
Rubber sheet:		
MILR6855	9320-00-241-9740	36x36x0.031 in.
MILR6855	9320-00-241-9742	36x36x0.062 in.
MILR6855	9320-00-241-9744	36x36x0.093 in.
MILR6855	9320-00-241-9746	36x36x0.125 in.
MILR6855	9320-00-804-3791	36x36x0.156 in.
MILR6855	9320-00-241-9748	72x36x0.188 in.
Spare battery parts	(See TO 00Z-5-4)	
Varnish, alkaline resistant (Spec TT-V-119)	8010-00-664-5410	1 pint

ตารางที่ 3 Materials

17.11 ข้อขัดข้องและการแก้ไข (Troubleshooting)

ตามตารางที่ 4 คือตารางที่ใช้ในการแก้ไขข้อขัดข้องของ แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม ในโรงซ่อมแบตเตอรี่ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ยุ่งยาก ในระหว่างการให้บริการ หรือการซ่อมแบตเตอรี่

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
การผุกร่อนมากเกินไป	ระดับน้ำยาสูงเกินเกณฑ์	ทำความสะอาด , ประจุ , และ ปรับระดับน้ำยา
	ฝาปิดช่องระบายหลวม หรือแตก	เปลี่ยนฝาปิดใหม่ หรือขันให้แน่น ทำความสะอาด และประจุใหม่และตรวจระดับน้ำยา
	เรือนของเซลล์ร้าว	เปลี่ยนเซลล์ที่ชำรุด ทำความสะอาด และประจุใหม่ และตรวจระดับน้ำยา
เซลล์, เรือนแบตเตอรี่ หรือฝาครอบบิดเบี้ยว	การติดตั้งในอากาศยานไม่ถูกต้อง	ถ่ายประจุ,ถอดชิ้นส่วน,เปลี่ยนชิ้นส่วนชำรุด และปฏิบัติตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง
	แรงดันประจุของอากาศยานสูงเกินไป	ถ่ายประจุ,ถอดชิ้นส่วน,เปลี่ยนชิ้นส่วนชำรุด และปฏิบัติตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง
	ช่องระบายอุดตัน, แตกเล็กน้อย	ถ่ายประจุ,ถอดชิ้นส่วน,ทำความสะอาดช่องระบาย และเปลี่ยนชิ้นสวนที่ชำรุด
	แบตเตอรี่มีความร้อนเกินเกณฑ์	ถ่ายประจุ,ถอดชิ้นส่วน,เปลี่ยนชิ้นส่วนชำรุด
	การระบายความร้อนไม่ถูกต้อง	และปฏิบัติตามขั้นการซ่อมบำรุง
ไม่มีแรงดันไฟทางออก	ขั้วต่อไฟหักหรือหลุด	ซ่อมหรือเปลี่ยนขั้วต่อไฟใหม่
	วงจรไฟฟ้าเปิดภายในเซลล์	เปลี่ยนเซลล์ที่ชำรุด
แรงดันไฟทางออก ต่ำกว่าปกติ	สวิทช์แบตเตอรี่ของอากาศยาน ค้างอยู่ตำแหน่ง "ON"	ประจุใหม่ แล้วทดสอบความจุ
	ปรับเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า บนอากาศยานใหม่	ทดสอบความจุของการประจุใหม่ และตรวจสายไฟ และค้นหาข้อบกพร่อง
	ข้อต่อภายในหลวม	ใช้แรงบิดให้ถูกต้อง ประจุใหม่แล้วทดสอบความจุ
	ข้อต่อภายนอกมีรอยไหม้ หรือเป็นหลุมบ่อ	ทำความสะอาดหรือเปลี่ยนขั้วต่อไฟใหม่, ประจุใหม่แล้วทดสอบความจุ
	เซลล์ชำรุดหรือเซลล์กลับขั้ว	เปลี่ยนเซลล์,ประจุใหม่แล้วทดลอบความจุ
	เรือนเซลล์มีการรั่วของกระแส	จ่ายไฟ,ถอดชิ้นส่วนและทำความสะอาด แล้วเปลี่ยนเซลล์ที่ชำรุด ประจุแล้วทดสอบความจุ

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
สูญเสียความจุ	ระดับน้ำยาต่ำเกินไป อัตราการประจุในอากาศยานต่ำเกินไป ใช้งานน้อยเกินไปหรือจ่ายไฟน้อย	ประจุ,ปรับระดับน้ำยาและทดสอบความจุ ประจุ และทดสอบความจุ ถ่ายประจุ,ทำเซลล์สมดุล,ประจุ และทดสอบความจุ
แผ่นรองฝาครอบ หรือแผ่นรองเรือนหม้อแบตเตอรี่แตกหรือฉีกขาด	ฉาบสารยึดแน่นไม่ถูกต้องหรือจับถือไม่ระมัดระวัง	ถ่ายประจุ,ถอดชิ้นส่วนเท่าที่จำเป็น,ฉาบสารยึดแน่น หรือเปลี่ยนแผ่นรองใหม่
ขั้วไฟไหม้ หรือมีรอยเกิดประกายไฟ	มีวัสดุโลหะแปลกปลอมในแบตเตอรี่ มีเครื่องมือตกลงไปถูกแบตเตอรี่ที่เปิดอยู่	ตรวจหา และขจัดวัสดุแปลกปลอม แล้วเปลี่ยนส่วนที่ชำรุด (ปิดฝาครอบเมื่อนแบตเตอรี่ไว้เสมอ)
ขั้วไฟมีรอยไหม้ หรือเป็นรอยหลุมบ่อ	ประกอบขั้วเสียบไฟจาก บ. เข้าแบตเตอรี่ไม่แน่น	ทำความสะอาด,ซ่อมหรือเปลี่ยนข้อต่อ (ตัวผู้) ของแบตเตอรี่ และตรวจขั้วเสียบไฟตัวเมียของอากาศยาน
ใช้น้ำมากเกินไปในเซลล์หนึ่งหรือสองเซลล์	เซลล์ที่รั่วหรือชำรุด	ตรวจหารอยรั่วของน้ำยา และถอดเปลี่ยนเซลล์ที่ชำรุด
ขั้วต่อเปลี่ยนสี หรือไหม้	สลักเกลียวของขั้วต่อไฟหลวม	ทำความสะอาด หรือเปลี่ยนสะพานไฟ และตรวจแรงบิดสลักเกลียวที่ขั้วทั้งหมด

ตารางที่ 4 ข้อขัดข้องและการแก้ไขสำหรับแบตเตอรี่นิเกิล – แคดเมี่ยม

(Chart for Trouble – Shooting Nickel – Cadmium Batteries)

17.12 ขั้นตอนการตรวจสอบขดลวดความร้อนและสวิทช์ควบคุม (Heater and Thermo switch Checkout Procedure.)

17.12.1 ใช้เครื่องมือตรวจสอบ AC-DC insulation tester (P/N 1106904/60B4-1-A) ต่อสายวัดเส้นหนึ่งกับขั้วของขดลวดความร้อน ขั้ว A , B และ C โดยต่อทั้ง 3 ขั้วเข้าด้วยกัน และต่อสายวัดเส้นที่เหลือกับขั้วลบและตัวเรือนแบตเตอรี่ โดยต่อขั้วลบและตัวเรือนแบตเตอรี่เข้าด้วยกัน ป้อนไฟ 1000 VRMS ความถี่ไฟบ้าน (50 หรือ 60 Hz) เป็นเวลา 10 วินาที ต้องไม่มีการรั่วหรือชำรุดตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ

17.12.2 สำหรับแบตเตอรี่ที่อยู่ในอุณหภูมิห้องปกติ เมื่อทำการตรวจสอบความต่อเนื่องของวงจรระหว่างขั้ว A กับขั้ว B และระหว่างขั้ว B กับขั้ว C จะอยู่ในสภาพวงจรเปิด (Open Circuit)

17.12.3 ลดอุณหภูมิของสวิทช์ควบคุม (Thermo – Switches) ลงให้ต่ำกว่า 30° F สวิทช์ควบคุมจะทำงาน ปิดวงจร (Close Circuit) เมื่อวัดที่ขั้วบวกและขั้วลบ เครื่องวัดจะแสดงค่าความต้านทานของขดลวดความร้อนซึ่งต้องมีค่าความต้านทานไม่ต่ำกว่า 31 โอห์ม และต้องไม่สูงกว่า 100 โอห์ม เมื่อปล่อยให้อุณหภูมิของสวิทช์ควบคุมสูงขึ้นถึงประมาณ 55° F สวิทช์ควบคุมจะเปิดวงจร (Open Circuit)

18. <u>กรรมวิธีการซ่อม (Repair Procedures.)</u>

18.1 <u>กล่าวโดยทั่วไป (General.)</u>

กรรมวิธีการซ่อม เบื้องต้นประกอบด้วย การเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ชำรุดและกาะประกอบแผ่นปิดและแผ่นรองหม้อแบตเตอรี่ให้มั่นคง ฝาครอบและตัวเรือนไม่ต้องเปลี่ยนใหม่ถ้าชำรุดให้ซ่อม แบตเตอรี่ที่ใช้งานไม่ได้ ก่อนจำหน่ายต้องถอดชิ้นส่วนที่ยังใช้ได้ เพื่อใช้งานต่อไป

18.2 <u>การถอดชิ้นส่วน (Disassembly.)</u>

18.2.1 ในการถอดชิ้นส่วนจำเพาะชิ้นหนึ่ง ๆ เริ่มแรกต้องถ่ายประจุไฟแบตเตอรี่ออกก่อนแล้วจึงทำการถอดชิ้นส่วน

18.2.2 กรรมวิธีที่จะกล่าวในข้อ 18.2.3 ถึง 18.2.8 เป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปในการถอดชิ้นส่วนแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมี่ยม ที่ใช้ในอากาศยาน

18.2.3 <u>ข้อต่อระหว่างเซลล์ (Intercell Connectors.)</u>

ข้อต่อระหว่างเซลล์ทำหน้าที่เชื่อมต่อเซลล์ โดยใช้สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม หรือสลักเกลียวและแป้นเกลียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและชนิดของเซลล์ การถอดข้อต่อระหว่างเซลล์ ถอดได้โดยถอดสลักเกลียว หรือแป้นเกลียวและแหวนรองที่เกี่ยวข้อง

18.2.4 <u>เซลล์ (Cells.)</u>

การถอดเซลล์ให้ปฏิบัติดังนี้

18.2.4.1 คลายจุกช่องระบายของเซลล์ที่จะยกออกรวมทั้งจุกของเซลล์ใกล้เคียงด้วย เพื่อปล่อยความดันก๊าซที่อยู่ภายในออก

18.2.4.2 ขันฝาครอบช่องระบายให้แน่น แล้วใช้เครื่องมือสำหรับยกเซลล์ ค่อยๆดึงเซลล์ออก

<u>หมายเหตุ</u>

ควรเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ดึงเซลล์ให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการชำรุดของเซลล์ในขณะถอดและประกอบ สำหรับขั้นตอนในการประกอบเซลล์ให้ปฏิบัติตามข้อ 18.6

ควรถอด key cells ออกจากแบตเตอรี่แบบ MIL – B – 26026 ก่อนถอดเซลล์ที่ชำรุดออก

18.2.4.3 ถอดเซลล์ออกจากแบตเตอรี่อย่างระมัดระวัง

หมายเหตุ

เครื่องดึงเซลล์อาจทำขึ้นโดยใช้ข้อต่อระหว่างเซลล์สองเซลล์โค้งเป็นมุมฉากกับเชือกหรือเอ็นแบน ๆ ที่เหนียว เครื่องดึงเซลล์อาจทำขึ้นตามรายละเอียดที่แสดงในรูป 13 และ 14

18.2.5 แผ่นคั่นเซลล์ (Cell Separators.)

เมื่อถอดเซลล์แล้วให้ถอดแผ่นคั่นเซลล์ออก

18.2.6 ข้อต่อแบตเตอรี่และชุดขั้วไฟ (Battery Connector and Terminal Assembly)

การถอดข้อต่อแบตเตอรี่และชุดขั้วไฟให้ปฏิบัติดังนี้

18.2.6.1 ถอดสลักเกลียวที่ยึดฉนวนของขั้วภายนอกที่หุ้มข้อต่อออก

18.2.6.2 ถอดสลักเกลียวที่อยู่ภายในออกจากด้านปลายแต่ละด้านของข้อต่อและชุดขั้วไฟของแบตเตอรี่ด้วยประแจหกเหลี่ยม หรือเครื่องมืออื่นที่เหมาะสม

18.2.6.3 ถอดแหวนรองออกจากข้อต่อและชุดขั้วไฟ เสร็จแล้วให้ถอดข้อต่อและชุดขั้วไฟ

18.2.7 แผ่นรองเรือนแบตเตอรี่ (Battery Case Liners.)

ถ้ามีแผ่นรองเรือนแบตเตอรี่ ให้ถอดหลังจากถอดเซลล์ทั้งหมดและแผ่นคั่นเซลล์ออกแล้ว โดยปฏิบัติดังนี้

18.2.7.1 ถอดแผ่นรองที่ชำรุดโดยขูดออกหรือแกะออก ตามที่ต้องการ

18.2.7.2 ทำความสะอาดผิวของเรือนแบตเตอรี่ตรงที่ถอดแผ่นรองโดยใช้น้ำกับสบู่เท่านั้น ถ้าจำเป็นอาจใช้กระดาษทรายละเอียดหรือฝอยเหล็กขัดก็ได้

18.2.8 แผ่นรองฝาครอบแบตเตอรี่ (Battery Cover Gasket.)

การถอดแผ่นรองของฝาครอบมีวิธีปฏิบัติคล้ายกับการถอดแผ่นรองเรือนแบตเตอรี่ (ตามขั้นตอนในข้อ 18.2.7)

18.3 ฝาครอบและเรือนแบตเตอรี่ (Battery Cover and Cases)

18.3.1 การซ่อมเรือนและฝาครอบแบตเตอรี่ ปฏิบัติดังนี้

18.3.1.1 เรือนแบตเตอรี่ต้องไม่บิดเบี้ยวและโป่งพอง เรือนแบตเตอรี่ถ้ามีแผ่นกันความร้อน ต้องตรวจดูให้แน่ใจว่าแผ่นกัน ความร้อนไม่ชำรุด หรือลัดวงจรกับตัวเรือนหลังจากซ่อมแล้ว

หมายเหตุ

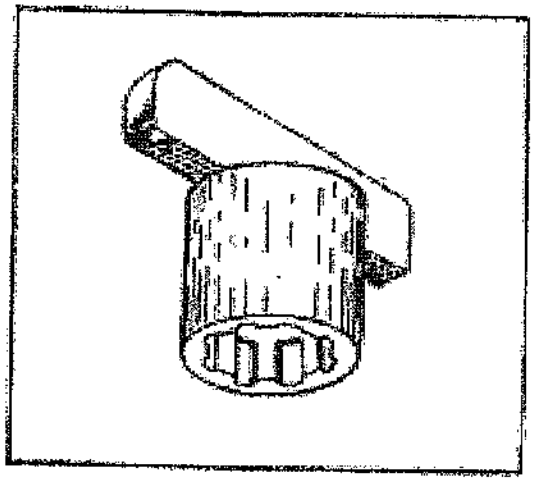
การซ่อมรอยแตกหรือรอยร้าวของเรือนแบตเตอรี่ ถ้าสะดวกสามารถซ่อมด้วยวิธีการเชื่อมได้ ส่วนประกอบอื่น เช่น ช่องระบาย และที่ยึดฝาสามารถทำการซ่อมด้วยวิธีเดียวกัน

18.3.1.2 กำจัดสนิม และรอยผุกร่อนต่าง ๆ ทาด้วยสีทนต่าง (SPEC-TT-V-199), สารผสมออกไซด์หรือสีเดิม ในบางครั้งการซ่อมตัวเรือนและฝาครอบแบตเตอรี่ อาจใช้ Epoxy ทำการซ่อม ในการใช้วัสดุเหล่านี้ในการซ่อมให้ดูตามตารางที่ 3

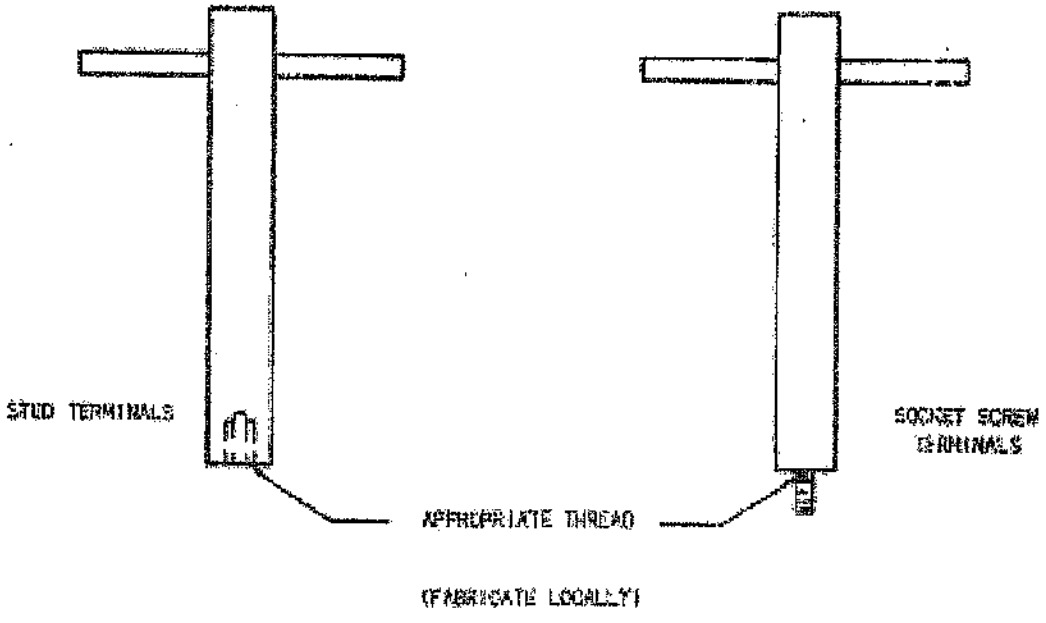
18.3.1.3 ตรวจให้แน่ใจว่าขั้วแบตเตอรี่สะอาดและมีเครื่องหมายต่าง ๆ อยู่สมบูรณ์ ป้ายคำเตือน ป้ายกำกับแบตเตอรี่อื่น ๆ อยู่ในสภาพชัดเจน (ตามรูปที่ 15)

<u>หมายเหตุ</u>

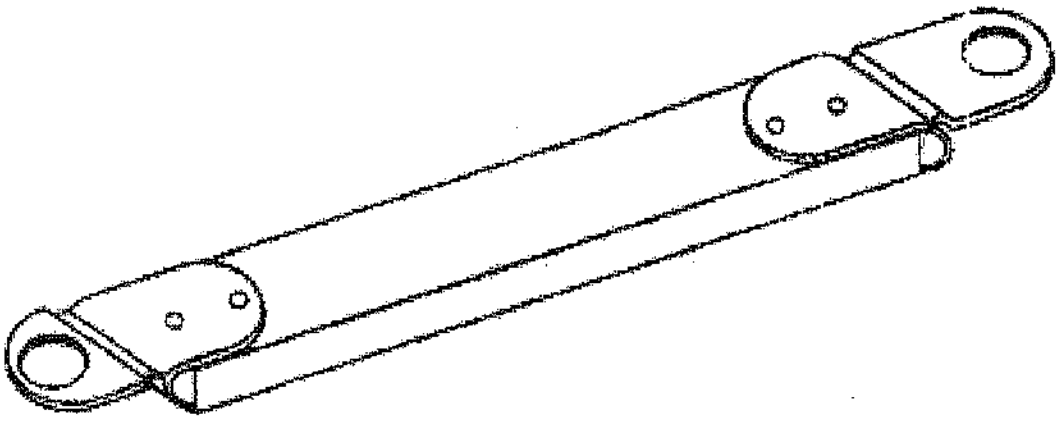
ตัวเรือนแบตเตอรี่ที่ทำมาจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ไม่ต้องทำการพ่นสี



<u>รูปที่ 12 Vent Cap Wrench</u>



<u>รูปที่ 13 Small Size Cell Puller</u>



THIS CELL PULLER ASSEMBLY CAN BE LOCALLY FABRICATED FROM A HAND STORAGE-BATTERY CARRIER. THE CARRIER IS DESCRIBED IN MIL-C-19482B. USE EITHER FSN 5120-223-8455 OR FSN 5120-529-4124. ADAPTERS CAN BE ATTACHED TO EACH END IN ORDER TO ALLOW FOR CELL SIZE DIFFERENTIALS. CELL TERMINAL SCREWS OR NUTS TOGETHER WITH SUITABLE SIZE WASHERS MAY BE USED AS ADAPTERES.

รูปที่ 14 Cell Puller Recommended for Large Size Cells

18.3.2 ถ้าไม่มีแผ่นรองฝาครอบและแผ่นรองเรือนแบตเตอรี่ก็อาจสร้างขึ้นได้โดย ใช้แผ่นยาง (ดูตาราง 4 - 2) ใช้แผ่นรองฝาครอบ หรือแผ่นรองเรือนอันเดิมเป็นแบบ หรือใช้ชิ้นใดชิ้นหนึ่งที่อยู่ในชนิดเดียวกันกับฝาครอบ หรือเรือนนั้น แผ่นยางที่ใช้จะต้องมีความหนาที่ถูกต้อง การที่จะทำให้แผ่นรองของฝาครอบแต่ละอันมีความหนาตามต้องการ บางครั้งอาจต้องใช้แผ่นยางซ้อนกัน

ข้อควรระวัง

ชิ้นยางที่ที่นำมาซ้อนกันเพื่อเพิ่มความหนาของแผ่นรองฝาครอบนี้ จะต้องไม่ปิด ช่องระบายของเซลล์ทั้งหมด เพื่อให้ช่องระบายปล่อยความดันออกมาเล็กน้อยทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้เซลล์เคลื่อนที่หลังจากติดตั้งแล้ว ถ้าต้องให้สารยึดแน่นยึดแผ่นรองต้องใช้เวลาอย่างน้อยสองชั่วโมงเพื่อให้สารยึดแน่นแห้งก่อนที่จะประกอบแบตเตอรี่ต่อไป

18.4 ขดลวดความร้อนและสวิทช์ควบคุมอุณหภูมิ (Heaters and Thermo switches)

ถ้าจำเป็นต้องเปลี่ยนขดลวดความร้อน หรือสวิทช์ควบคุมอุณหภูมิ ต้องใช้ที่เป็นชนิดเดียวกับของเดิม การติดตั้งขั้วต่อไฟและอุปกรณ์ประกอบทุกส่วนต้องยึดและ Seal ให้อยู่ในตำแหน่งเดิม

18.5 <u>เซลล์ (Cells)</u>

<u>คำเตือน (Warning)</u>

การปฏิบัติที่ผิดขั้นตอน ต่อไปนี้ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการชำรุด และอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บได้

18.5.1 แบตเตอรี่ที่มีคุณภาพดีที่สุดนั้น ต้องประกอบขึ้นจากเซลล์ที่มีคุณสมบัติที่ดีและเหมาะสมกันทุกประการ เซลล์ที่เหมาะสมกัน ต้องเป็นเซลล์ชนิดเดียวกัน ผลิตขึ้นที่เดียวกัน มี P/N , NSN เดียวกัน และมีหมายเลขทางการทหาร (MS number) เดียวกัน ดังนั้นในการประกอบแบตเตอรี่จะต้องแน่ใจว่าเซลล์ที่นำมาประกอบด้วยกันนั้น มีความเหมาะสมกัน ในการเปลี่ยนเซลล์ ไม่ว่าจะเพียงเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ ก็เช่นเดียวกัน ต้องหาเซลล์ที่เหมาะสม หรือใกล้เคียงมากที่สุด สิ่งต่าง ๆ เช่นกล่าวมานี้จะสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิได้อย่างมาก ถ้าเป็นไปได้ควรใช้เซลล์ที่มีอายุเท่ากัน ด้วย

18.5.2 แบตเตอรี่ที่ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่เหมาะสมกัน อนุญาตให้กระทำได้ในกรณีที่ไม่สามารถหาเซลล์ที่ผลิตขึ้นจากบริษัทเดียวกันได้ และต้องทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ และให้แยกออกไว้ต่างหาก

18.6 <u>การประกอบแบตเตอรี่ (Reassembly of Battery)</u>

18.6.1 กรรมวิธีการประกอบชิ้นส่วนแบตเตอรี่เป็นไปตามขั้นตอนการบริการแบตเตอรี่ และขั้นตอนต่อไปนี้

18.6.2 <u>แผ่นรองฝาครอบ (Cover Gasket.)</u>

การติดตั้งแผ่นรองฝาครอบ ให้ปฏิบัติดังนี้

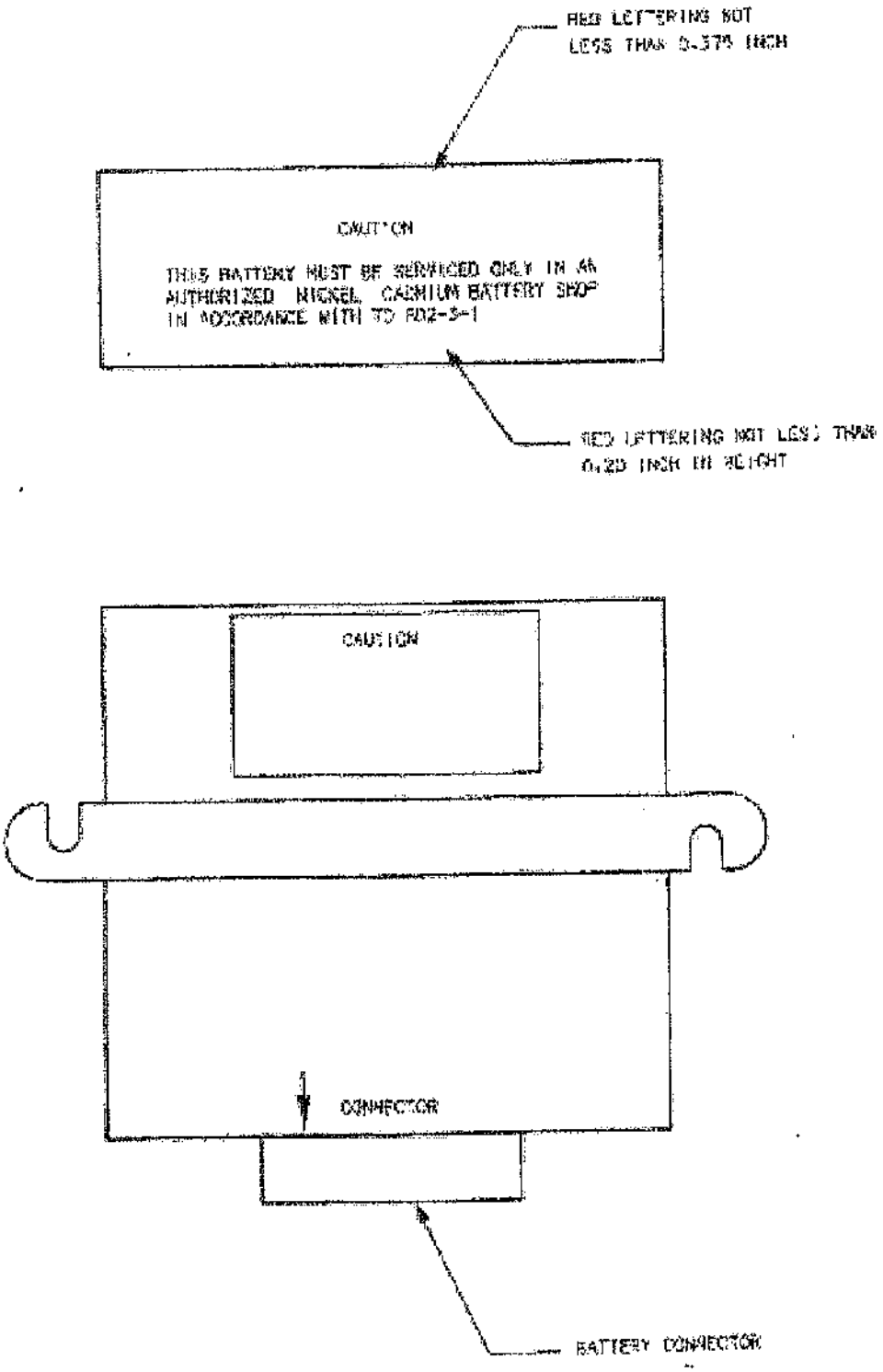
18.6.2.1 ทำความสะอาดฝาครอบแบตเตอรี่ ฝาแบตเตอรี่จะต้องสะอาดปราศจากรอยเปื้อนน้ำยา และเศษของแผ่นรองเก่า ๆ และสารยึดแน่นของแผ่นเดิม ต้องตรวจให้แน่ใจว่า แผ่นรองอันใหม่สะอาดและแห้ง และมีขนาดพอดีทั้งสี่ด้าน

18.6.2.2 ทางด้านหนึ่งของแผ่นรองให้ทาด้วยสารยึดแน่นสำหรับผนึกยางกับโลหะแล้วค่อย ๆผนึกเข้ากับด้านในของฝาแบตเตอรี่

18.6.2.3 ใช้มือกดแผ่นรองให้เข้าที่ แล้วทิ้งไว้อย่างน้อยสองชั่วโมงให้สารยึดแน่นแห้ง ก่อนที่จะใช้ปิดครอบแบตเตอรี่

<u>คำเตือน</u>

ต้องให้แน่ใจที่สุดว่าไม่ปิดรูของช่องระบายภายนอกที่อยู่ทางด้านข้างของแบตเตอรี่ทั้งสองรูเมื่อเปลี่ยนแผ่นรอง ถ้ารูของช่องระบายอุดตัน จะเกิดความดันภายในตัวเรือนซึ่งอาจทำให้เกิดระเบิดขึ้นระหว่างการปฏิบัติงานได้



รูปที่ 15 (Caution Note Layout)

18.6.3 **เรือนและแผ่นรองเรือนแบตเตอรี่** (Battery Case and Battery Case Liners.)

การติดตั้งแผ่นรองเรือนแบตเตอรี่นั้น ติดตั้งด้วยวิธีเดียวกับแผ่นรองฝาครอบ อย่างไรก็ตามควรทดลองติดแผ่นรองเรือนทางด้านที่ไม่มีสารยึดแน่นกับเรือนแบตเตอรี่ดูก่อน หลังจากเปลี่ยนแผ่นรองทั้งหมดแล้วให้ใช้เวลาอย่างน้อยสองชั่วโมงเพื่อให้สารยึดแน่นแห้งก่อนจะประกอบเซลล์

หมายเหตุ

ถ้าแผ่นรองเรือนแบตเตอรี่เป็น พลาสติก หรือโพลีเอทธีลีน ไม่จำเป็นต้องใช้สารยึดแน่น

18.6.4 **แผ่นรองข้อต่อและข้อต่อ** (Connector Gasket and Connector.)

การติดตั้งแผ่นรองข้อต่อและข้อต่อให้ปฏิบัติดังนี้

18.6.4.1 ติดตั้งแผ่นรองข้อต่อไว้บนข้อต่อ

18.6.4.2 สอดข้อต่อผ่านรูยึดให้ขั้วของข้อต่อที่อยู่ข้างในสองขั้วยื่นโผล่ขึ้นข้างบนสำหรับไว้ต่อกับสะพานไฟที่มาจากด้านปลายทั้งสองเซลล์

18.6.4.3 เปลี่ยนฐานสลักข้อต่อแล้วขันให้แน่น

18.6.5 **การเปลี่ยนเซลล์ใหม่ทั้งหมด** (Cells , Complete Replacement.)

คำเตือน

การเปลี่ยนเซลล์ต้องใช้กระบังหน้าเพื่อป้องกันมิให้ตาถูกน้ำยาซึ่งอาจพุ่งขึ้นมาได้เมื่ออัดเซลล์เข้าที่

ข้อควรระวัง

เมื่อทำการติดตั้งเซลล์ต้องแน่ใจว่าเป็นเซลล์กลุ่มเดียวกัน ตามที่กำหนดไว้ในคู่มือของแบตเตอรี่ และวางเซลล์ในตำแหน่งที่ขั้วของเซลล์ถูกต้อง

18.6.6 ติดตั้งเซลล์ด้วยความระมัดระวัง อย่าให้เกิดการชำรุดกับแผ่นรองเรือนแบตเตอรี่ หรือขดลวดความร้อน ถ้าใส่เซลล์ยากให้ทาด้านข้างของเซลล์ด้วยวาสลินหรือน้ำยา Dow Corning Compound เล็กน้อยแล้วค่อย ๆ กดให้เข้าที่

18.6.7 **การเปลี่ยนเซลล์เฉพาะบางเซลล์** (Cells , Partial Replacement.)

อาจเปลี่ยนเซลล์ที่ชำรุดโดยมิต้องถอดชิ้นส่วนทั้งหมดของแบตเตอรี่ก็ได้

คำเตือน

เพื่อความปลอดภัยและเนื่องจากเซลล์ที่ส่งมานั้นอาจอยู่ในสภาพพร้อมที่จะจ่ายไฟ จึงจำเป็นที่ต้องให้แบตเตอรี่จ่ายประจุออกเสียก่อน ก่อนที่จะเปลี่ยนเซลล์ที่ชำรุด (ทำการคลายประจุออกตามรรมวิธีที่กล่าวมาแล้ว)

18.6.8 ถ้าแบตเตอรี่มิได้จ่ายไฟออกก่อน กระแสไฟจากการคลายประจุ (เมื่อมีการต่อภารกรรมเข้ากับแบตเตอรี่) เซลล์ที่เปลี่ยนจะได้รับการประจุในทิศทางที่กลับกัน เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งหมดลดลงและสมรรถนะก็ลดลงด้วย

18.6.9 เพื่อให้การประกอบเซลล์ง่ายขึ้น ให้คลายจุกฝาครอบช่องระบายเซลล์ ของเซลล์ที่เปลี่ยนและเซลล์อื่น ๆ ที่อยู่ในเรือนแบตเตอรี่และอยู่ในแถวเดียวกับเซลล์ที่ถูกเปลี่ยน ทาด้านข้างของเซลล์ด้วยวาสลิน หรือน้ำยา Dow Corning Compound เล็กน้อย ถ้าต้องการเพื่อให้สอดใส่เซลล์ได้ง่ายขึ้น

หมายเหตุ

เรือนเซลล์ที่ทำด้วยไนลอนหรือพลาสติกปกติมักจะบวมหรือนูนออก แต่รอยนูนนี้ไม่มีความสำคัญแต่อย่างใด เพราะหน้าเซลล์นั้นเกือบแบนราบอยู่แล้วเมื่อใส่เข้าไปในเรือนแบตเตอรี่ ในกรณีที่ใช้เซลล์ต่างกันตามข้อ 18.5.2 กรณีที่เซลล์หลวม หรือต่ำให้ใช้แผ่นพลาสติกอัด หรือเสริมเข้าไป

18.6.10 **การเคลือบขั้วต่อไฟของเซลล์และขั้วต่อระหว่างเซลล์** (Protecting Exposed Cell Terminals and Intercell Connectors.) หลังจากทำความสะอาดแล้วให้ใช้ ไขป้องกันสนิม (CPC) MIL-C-16173 ทาบางๆที่ขั้วต่อของเซลล์ และขั้วต่อระหว่างเซลล์ ที่ด้านบนขั้วต่อของเซลล์และจุดที่ข้อต่อระหว่างเซลล์ต้องสัมผัสจะต้องไม่มีไขทาอยู่

18.6.11 **ข้อต่อระหว่างเซลล์** (Inter cell Connectors.)

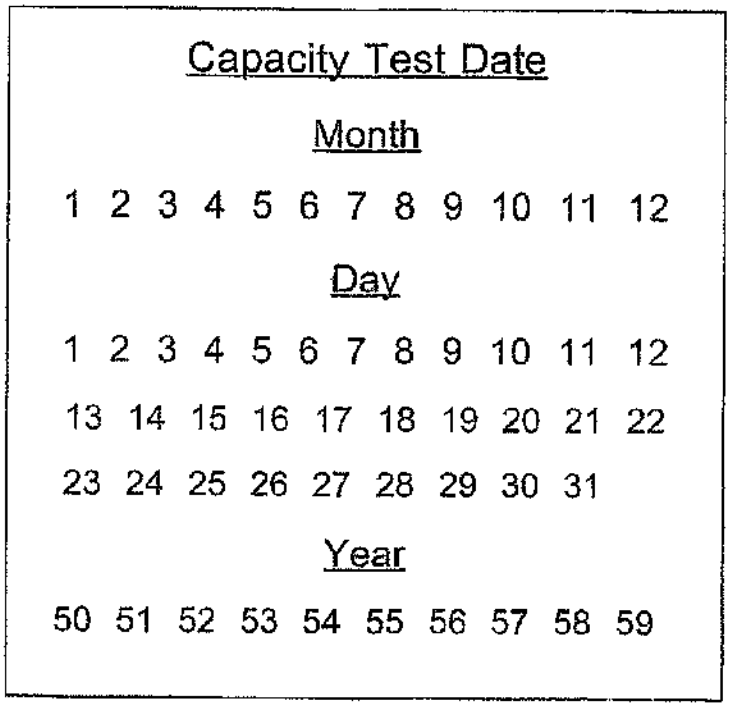
ติดตั้งข้อต่อระหว่างเซลล์แหวนรองและสลักเกลียวหรือแป้นเกลียวขันให้แน่นและใช้แรงบิดตามข้อกำหนดของแบตเตอรี่แต่ละชนิด (ดูตาราง 2) เปลี่ยนข้อต่อระหว่างเซลล์บางอันที่มีรอยไหม้ , รอยขีดข่วน หรือรอยผุกร่อนมากเกินไป เสียใหม่ Sooket head cap screws ในแบตเตอรี่แบบ MS 24497 และ MS 24498 ต้องเปลี่ยนโดยใช้สลักหัวหกเหลี่ยมแทน

ข้อควรระวัง

ต้องแน่ใจว่าข้อต่อระหว่างเซลล์ทั้งหมดในแบตเตอรี่หลังจากทำการยึดด้วย Bolt / Screw ด้วยแรงบิดตามข้อกำหนดแล้วจะแน่นสนิทสมบูรณ์ ไม่เกิดประกายไฟทางไฟฟ้า (Arcing) ขึ้น เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว จำเป็นต้องเลือก Bolt / Screw ให้มีความยาวที่เหมาะสม

18.6.12 **การบันทึกวันที่ที่ทดสอบประจุ** (Capacity Test Date.)

ควรจัดทำแผ่นบันทึก วัน เดือน ปี ตามตัวอย่างในรูปที่ 16 ติดไว้ที่ด้านนอกของเรือนแบตเตอรี่ทุกลูก ภายหลังจากได้ทำการประจุครั้งสุดท้ายและทดสอบประจุเรียบร้อยแล้ว ให้ทำเครื่องหมายวงรอบ วัน เดือน ปี ที่ทำการทดสอบให้ชัดเจน



รูปที่ 16 การบันทึกวันที่ทดสอบประจุ (Capacity Test Date.)

ข. แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด (Lead – Acid Storage Battery.)

1. กล่าวทั่วไป (General Information.)

แบตเตอรี่ที่ติดตั้งบนอากาศยานเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงสำรองของอากาศยาน และเป็นกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่เตรียมไว้ใช้ในกรณีฉุกเฉิน ในอากาศยานในอดีตที่ผ่านมา แบตเตอรี่ส่วนใหญ่ เป็นชนิดตะกั่ว – กรด แบบที่มีช่องระบาย (Vented Lead – Acid Batteries = VLAB) ปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด ได้รับการพัฒนาเป็นแบบที่ไม่มีช่องระบาย (Sealed Lead – Acid Batteries = SLAB) และได้ติดตั้งใช้งานในอากาศยานรุ่นใหม่แล้ว ซึ่ง SLAB จะช่วยลดขั้นตอนการบริการต่าง ๆ เป็นอย่างมาก ต่างจาก VLAB ที่ใช้งานอยู่แต่เดิม

ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องทราบวิธีการบริการและการซ่อมบำรุง แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด ที่ใช้งานอยู่บนอากาศยาน และบริภัณฑ์ภาคพื้น (Aircraft Ground Equipment = AGE) ทั้งแบบ VLAB และ SLAB

2. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว – กรดแบบที่มีช่องระบาย (Vented Lead – Acid Storage Batteries.)

2.1. กล่าวทั่วไป (Introduction.)

ถ้านำแท่งตะกั่ว 2 แท่งจุ่มในน้ำยากรดซัลฟูริกอย่างเจือจาง แล้วจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปที่แท่งตะกั่วทั้งสองนั้น ผิวของแท่งตะกั่วที่ต่อกับขั้วบวกจะเปลี่ยนเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์ และที่ผิวของตะกั่วที่ต่อกับขั้วลบจะเปลี่ยนเป็นตะกั่วคล้าย ๆ ฟองน้ำ หลังจากการประจุนานพอควร จะทำให้เซลล์ไฟฟ้านี้ มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 2 โวลต์เศษ และสามารถจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรภายนอกได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนกระแสไฟที่นำไปใช้งาน ผลจากปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ตะกั่วเปอร์ออกไซด์สูญเสียอิเล็กตรอนไปและกลายเป็นขั้วบวก ส่วนตะกั่วฟองน้ำจะได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นกลายเป็นขั้วลบ ในขณะที่เซลล์ไฟฟ้าจ่ายประจุไปยังวงจรภายนอก ปฏิกิริยาเคมีจะค่อย ๆ เกิดขึ้นที่แผ่นตะกั่วทั้งสองให้กลายเป็นซัลเฟต และน้ำยาจะกลายเป็นกรดอย่างเจือจางยิ่งขึ้น และถ้าการจ่ายประจุยังดำเนินต่อไป จำนวนซัลเฟตจะเกาะที่แผ่นธาตุหนาขึ้นจนกระทั่งน้ำยาไม่สามารถทำปฏิกิริยากับวัสดุที่เป็นตัวทำปฏิกิริยาในแผ่นธาตุได้ เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้น ย่อมจะทำให้เกิดการต่อต้านปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ความสามารถในการถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าลดลง ในทางปฏิบัติจริง ๆ จะทำให้เซลล์ไม่สามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพราะซัลเฟตที่ฉาบอยู่หนา ซึ่งจะไม่ละลายออกจากการนำไปประจุใหม่ ซัลเฟตที่ฉาบผิวแผ่นธาตุจะทำให้เกิดความต้านทานภายในสูง ดังนั้นเมื่อนำไปต่อใช้กับวงจรภายนอก จึงทำให้กระแสไหลผ่านวงจรได้น้อย

ในการนำเซลล์ไฟฟ้าไปรับการประจุใหม่ โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากภายนอก ดันกระแสเข้าไปในทิศทางตรงข้ามกับขั้วที่เซลล์จ่ายกระแสออก ระหว่างการประจุพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานทางเคมีเก็บไว้ในเซลล์ ระหว่างการจ่ายประจุพลังงานทางเคมีจะเปลี่ยนเป็นพลังงานทางไฟฟ้า

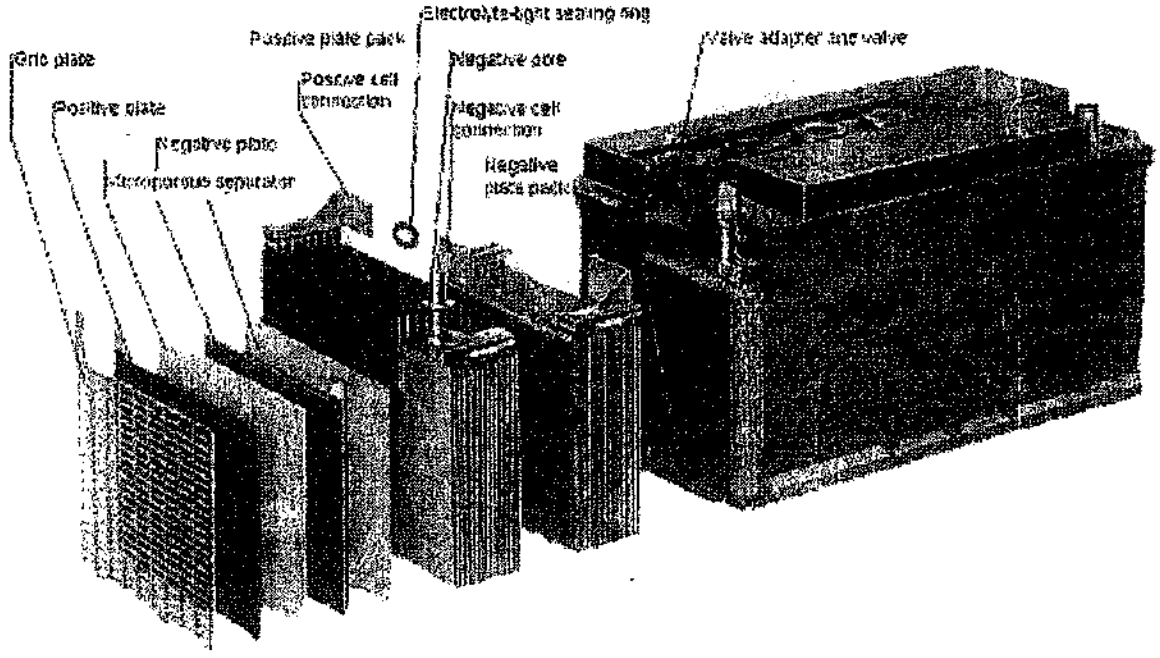
แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าชนิดตะกั่ว – กรด เมื่อวงจรเปิดมีค่าประมาณ 2.2 โวลต์ (ไม่ต่อภารกรรม) และจะมีค่าคงที่ตลอดไปจนกว่าเซลล์จะตาย และแรงดันเมื่อวงจรปิดในขณะจ่ายกระแสให้วงจรภายนอกจะเหลือประมาณ 2 โวลต์ และจะค่อย ๆ ลดลงขณะที่เซลล์จ่ายประจุ การที่แรงดันค่อย ๆ ลดลงนี้ เนื่องจากความต้านทานภายในเซลล์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากการเกิดซัลเฟตบนแผ่นธาตุ และในที่สุดเมื่อเซลล์จ่ายประจุหมดแล้ว ความต้านทานภายในจะเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่า ของความต้านทานในขณะที่แบตเตอรี่ประจุเต็ม

การที่จะทำให้แบตเตอรี่จ่ายประจุได้มากและมีแรงดันสูง ขณะมีภารกรรมต่ออยู่ เซลล์จะต้องมีความต้านทานภายในต่ำ วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ เพิ่มพื้นที่แผ่นธาตุทั้งหมด พื้นที่แผ่นธาตุทั้งหมดขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของแผ่นธาตุ ดังนั้นในการลดความต้านทานภายในจึงจำเป็นต้องเพิ่มแผ่นธาตุหลาย ๆ ชุดในเซลล์ ๆ หนึ่ง แผ่นธาตุบวกทั้งหมดจะต่อกับแผ่นธาตุบวก เช่นเดียวกับแผ่นธาตุลบต่อกับแผ่นธาตุลบ แผ่นธาตุนี้จะต้องกระจายไปทั่วเซลล์แล้วนำมาต่อกันอย่างขนานเพื่อลดความต้านทานของเซลล์ แผ่นธาตุแต่ละแผ่นจะไม่สัมผัสกันโดยใช้แผ่นคั่นแผ่นธาตุใส่คั่นไว้ ดังนั้นจะดูคล้ายกับว่าแผ่นธาตุอยู่ในซองคั่นแผ่นธาตุ แผ่นคั่นแผ่นธาตุนี้จะมีรูพรุนเพื่อให้น้ำยาไหลผ่านได้

ต่อไปนี้จะได้กล่าวถึง ลักษณะของโครงสร้าง การบริการ การตรวจ และการซ่อม VLAB ที่ใช้กับอากาศยาน และบริภัณฑ์ภาคพื้น (AGE)

<u>คำเตือน</u>

ก่อนที่ดำเนินการใด ๆ เกี่ยวกับแบตเตอรี่ ควรศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติ วิธีการปฏิบัติ ให้เข้าใจโดยละเอียดก่อน เพื่อป้องกันการผิดพลาด ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการบาดเจ็บ หรือแบตเตอรี่ชำรุด ได้

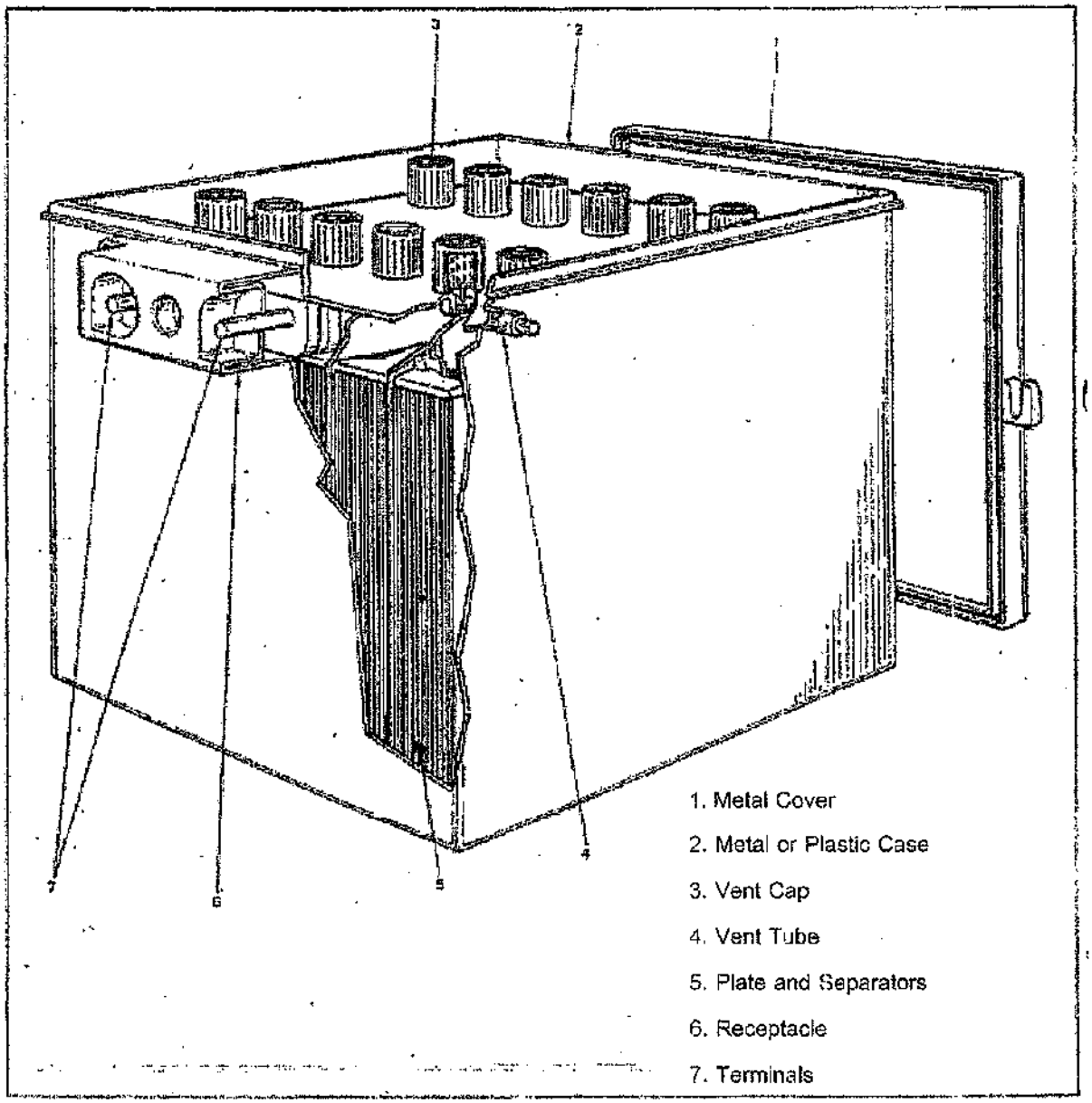


<u>รูปที่ 1 แสดง รูปร่าง และส่วนประกอบของ Vented Lead – Acid Storage Batte ies</u>

2.2 <u>การออกแบบและรูปร่าง (Design / Construction.)</u>

รูปร่างลักษณะ ส่วนประกอบ วัสดุที่ใช้สร้าง ตลอดจนการทำปฏิกิริยาทางเคมี ของ VLAB ที่ใช้งานกับยานยนต์ อากาศยาน และบริภัณฑ์ภาคพื้น ส่วนใหญ่จะเหมือนกันทั้งหมด จะมีเพียงรูปร่างเท่านั้นที่อาจจะออกแบบแตกต่างกันไปบ้างเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2

ส่วนประกอบที่สำคัญของ VLAB จะประกอบด้วย แผ่นธาตุลบ (Negative Plates) ทำจาก ตะกั่ว (Lead) , แผ่นธาตุบวก (Positive Plates) ทำจาก ตะกั่วไดออกไซด์ (Lead Dioxice) และน้ำยา (Electrolyte) ได้มาจาก กรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) ผสมกับน้ำกลั่น (Distilled Water)



<u>รูปที่ 2</u> <u>Typical Aircraft Vented Lead – Acid Storage Battery.</u>

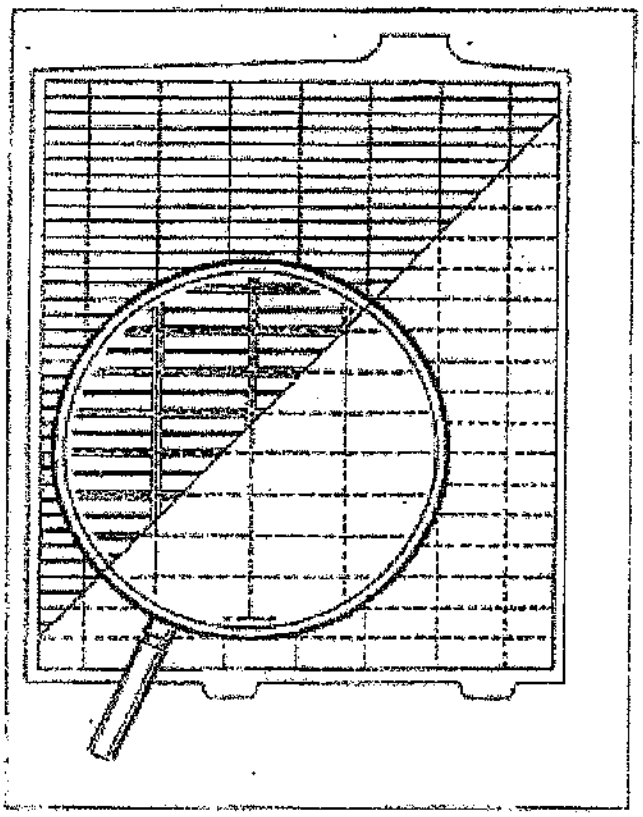
2.3 <u>ชิ้นส่วนหลักและวัสดุ (Principle Parts and Materials.)</u>

VLAB ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.3.1 <u>กริด (Grid.)</u>

2.3.1.1 กริดนับเป็นโครงสร้างส่วนที่สำคัญของแผ่นธาตุ ซึ่งจะต้องรับ น้ำหนักทั้งหมดของแผ่นธาตุ โดยทั่วไปแล้ว กริดทำด้วยตะกั่ว หรือตะกั่วอัลลอย เนื่องจากตะกั่วเป็นวัสดุที่อ่อนมากและมีความแข็งแรงเพียงเล็กน้อยจึงต้องหาวิธีที่จะทำให้แข็งแรงขึ้นโดยการเพิ่ม แอนติโมนีเล็กน้อย , แคดเซี่ยม หรือดีบุก ลงไป

2.3.1.2 กริดถูกออกแบบให้กรอบทั้งสี่ด้านแข็งแรง และมีตารางยึดทั้งแนวนอนและแนวตั้ง กรอบและตารางนี้นอกจากทำหน้าที่ยึดสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟในขณะที่ทำการประจุ และจ่ายประจุด้วย ในแบตเตอรี่ที่ใช้งานหนัก (Stationary Battery) และแบตเตอรี่พิเศษชนิดที่ไม่มีการบริการ (Maintenance – Free Batteries หรือ Valve – Regulated Batteries หรือ Seal Lead – Acid Batteries = SLAB) กริดของแผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ จะสร้างจาก Lead – Calcium (Pb-Ca) หรือ Lead – Antimony (Pb-Sb) โดยจะได้รับการออกแบบให้สามารถทนทาน ไม่ผุกร่อนง่ายและผ่านกรรมวิธีให้มีอายุการเก็บรักษาได้นาน , มีการสูญเสียน้ำในอัตราต่ำ และทนทานต่ออุณหภูมิที่เย็นจัด ลักษณะของกริด แสดงในรูปที่ 3



<u>รูปที่ 3 Grid</u>

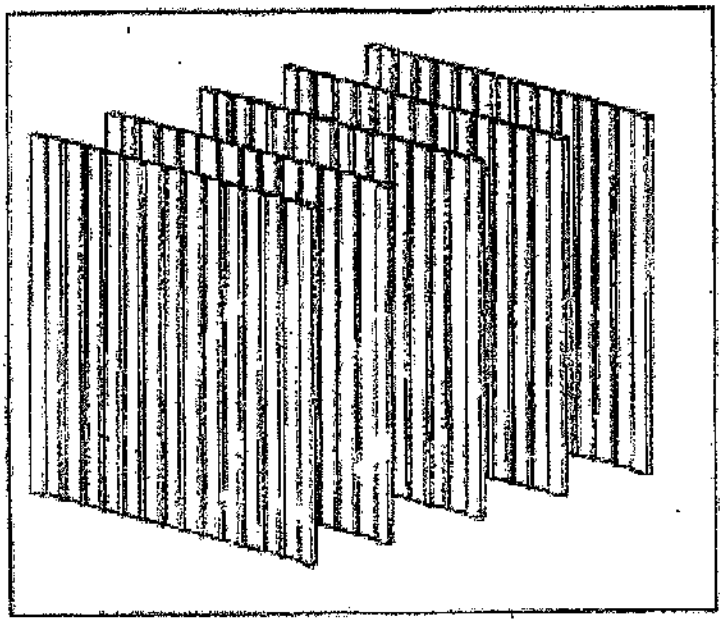
2.3.2 <u>แผ่นธาตุ (Plates.)</u>

2.3.2.1 แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ ตะกั่ว – กรด ประกอบไปด้วย กริดที่ฉาบไว้ด้วยวัสดุที่จะมีหน้าที่ทำปฏิกิริยาทางเคมี ปกติทำโครงสร้างเป็น 2 แบบ คือ Flat – Pasted Plates และ Tubular Plates โดยแผ่นธาตุลบทั้งหมดจะเป็นแบบ Flat – Pasted Plates ส่วนแผ่นธาตุบวกอาจเป็นแบบ Flat – Pasted Plates หรือ Tubular Plate แต่เดิม Flat – Pasted Plates ใช้ตะกั่วออกไซด์ฉาบไว้บนกริด ในการสร้างเป็นแผ่นธาตุ และจากการพัฒนาต่อมาแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจาก ตะกั่วพรุน (Pb) ส่วน Tubular Plate จะมีการสร้างสำหรับใช้ในแบตเตอรี่ที่ต้องรับภารกรรมสูง ๆ

2.3.2.2 แผ่นธาตุบวกทุกแผ่นจะต่อเข้าด้วยกันเป็น 1 ชุด และต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ ส่วนแผ่นธาตุลบจะต่อด้วยกันอีก 1 ชุด และต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ แผ่นธาตุทั้ง 2 ชุด แช่อยู่ในถังกรดกำมะถันเจือจาง จากกรรมวิธีนี้จะมีผลทำให้ แผ่นธาตุบวกเกิดเป็น ตะกั่วไดออกไซด์และตะกั่วซัลเฟต ส่วนแผ่นธาตุลบเป็นตะกั่วพรุน และตะกั่วซัลเฟต ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสภาพประจุเต็ม ซัลเฟตที่แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ จะน้อยมาก

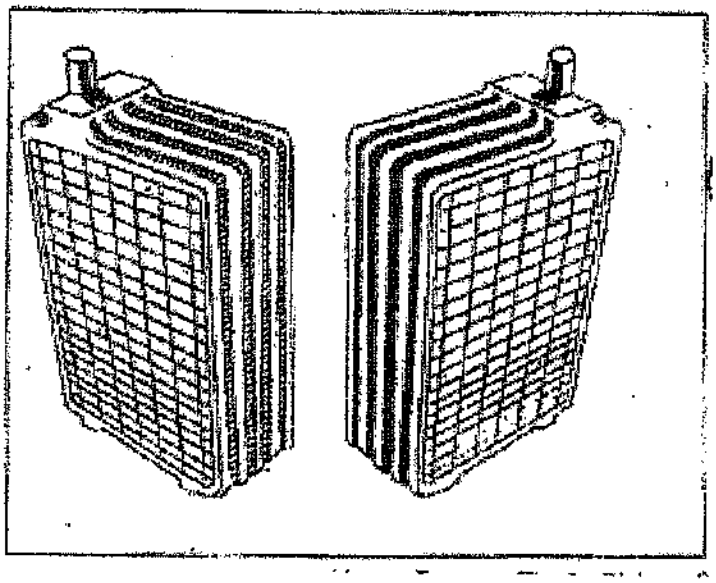
2.3.3 <u>แผ่นคั่นแผ่นธาตุ (Separators.)</u>

2.3.3.1 แผ่นคั่นแผ่นธาตุ มีหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าป้องกันมิให้แผ่นธาตุบวกและลบสัดวงจรถึงกัน แผ่นคั่นแผ่นธาตุจะอยู่ระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ทั่ว ๆ ไปทำด้วย โพลีเอธีลีนที่เจาะเป็นรูเล็ก ๆ (Microporous Polyethylene) หรือวัสดุอื่น เช่น PVC (Poly Vinyl Chloride) หรือ เรซิน แสดงไว้ตามรูปที่ 4



<u>รูปที่ 4 แผ่นคั่นธาตุ (Plates Separators.)</u>

2.3.3.2 ชุดของแผ่นธาตุ (Plate Groups) ในแต่ละเซลล์ที่บรรจุในแบตเตอรี่จะประกอบ ด้วยทั้งแผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ ซึ่งขนาดและจำนวนของแผ่นธาตุที่ประกอบอยู่ในแต่ละเซลล์นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของพลังงานที่จะเก็บไว้แต่ละเซลล์ จำนวนของแผ่นธาตุลบจะมากกว่าแผ่นธาตุบวกหนึ่งแผ่น โดยแผ่นธาตุที่อยู่ด้านนอกทั้งสองด้านจะเป็นแผ่นธาตุลบ เพราะว่าแผ่นธาตุบวกจะใช้พื้นที่ของแผ่นธาตุทั้งสองด้านทุกแผ่น และจะเป็นตัวกำหนดค่าความจุของเซลล์ ตามรูปที่ 5



<u>รูปที่ 5 ชุดของแผ่นธาตุบวก (ด้านซ้ายของรูป) และชุดของแผ่นธาตุลบ (ด้านขวาของรูป)</u>

<u>Positive Plate Group (Left Side of Figure) and Negative Plate Group (Right Side of Figure)</u>

แผ่นธาตุบวกทั้งหมดจะเชื่อมติดกันในลักษณะต่อขนานเป็นหนึ่งชุดและมีขั้วสำหรับต่อสายไฟ ส่วนแผ่นธาตุลบจะเชื่อมติดกันในลักษณะต่อขนานแยกต่างหากเป็นอีกหนึ่งชุด พร้อมทั้งมีขั้วสำหรับต่อสายไฟเช่นกัน

2.3.4 <u>เซลล์ (Cell.)</u>

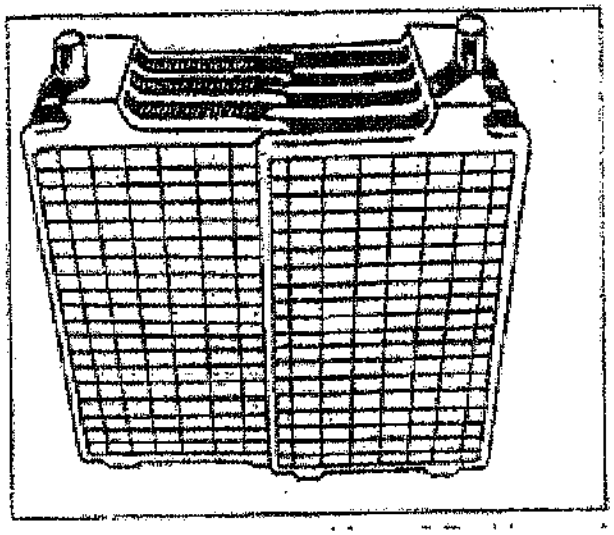
2.3.4.1 เซลล์ประกอบด้วย แผ่นธาตุบวก แผ่นคั่นธาตุและแผ่นธาตุลบ แช่อยู่ในน้ำยาซึ่งเป็นส่วนผสมของกรดซัลฟูลิก และน้ำกลั่น

2.3.4.2 ปกติเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจะมีแรงดันประมาณ 2.1 โวลต์ ซึ่งแรงดันนี้ไม่ขึ้นกับขนาดและจำนวนของแผ่นธาตุ แต่ขนาดและจำนวนของแผ่นธาตุจะเป็นตัวกำหนดค่าของความจุของเซลล์

2.3.4.3 ภาชนะสำหรับบรรจุเซลล์ (Cell Container.) ภาชนะที่ใช้บรรจุเซลล์ส่วนใหญ่ทำจากโพลีพรอบพีลีน (Polypropylene) เพราะทนความร้อนได้ดีและราคาถูก ด้านบนของแต่ละเซลล์จะ

ทำช่องไว้สำหรับเติมน้ำยา ตรวจสอบระดับน้ำยา ตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยา และเติมน้ำเมื่อต้องการ

2.3.4.4 ด้านล่างของภาชนะจะทำเป็นฐานหรือโครงยกสูงขึ้น สำหรับรองรับแผ่นธาตุหรือเซลล์ เพื่อให้ตะกอนต่างๆที่อาจมีขึ้นตกลงไปอยู่ใต้แผ่นธาตุ เป็นการป้องกันแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบลัดวงจรถึงกันจากตะกอนเหล่านั้น



รูปที่ 6 Inter-Meshing of Positive and Negative Plate Group to Form Cell Core.

2.3.4.5 ในแบตเตอรี่จะประกอบด้วยเซลล์หลายๆเซลล์ต่อกันอย่างอนุกรม ในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จะประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์ และแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ จะประกอบด้วยเซลล์ 12 เซลล์

2.3.4.6 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ใช้กับอากาศยานจะทำช่องระบายไว้ทั้งสองด้าน เพื่อใช้สำหรับระบายก๊าซที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการประจุและจ่ายประจุ จากท่อระบายทั้งสองด้านจะถูกต่อระบายออกไปนอกลำตัวอากาศยาน

2.3.4.7 โดยทั่วไปท่อระบายของแบตเตอรี่ภายนอกลำตัวของอากาศยาน ด้านหนึ่งจะหันไปทางด้านหน้าเพื่อรับกระแสอากาศสำหรับช่วยระบายก๊าซ ภายในแบตเตอรี่ออกให้หมด แต่เนื่องจากก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นไอของกรด มีคุณสมบัติทำลายพื้นผิวของอากาศยานได้ ดังนั้นก่อนที่จะปล่อยระบายออกนอกอากาศยานจึงให้ผ่าน ขวดพัก (Sump Jar) ซึ่งภายในขวดจะบรรจุแผ่นสักหลาดชุบสารละลายจำพวกโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicabornate or Baking Soda) และน้ำ ไว้หมาดๆ เพื่อทำหน้าที่ปรับสภาพของกรดซึ่งอาจมีบางส่วนหลุดออกมาให้เป็นกลาง แล้วจึงปล่อยออกนอกลำตัวอากาศยานทางท่อระบายซึ่งจะหันไปทางด้านท้ายอากาศยาน

หมายเหตุ

SLAB จะต่อท่อระบายออกสู่ผิวของอากาศยานโดยตรง และถ้าหากในห้องที่ติดตั้งแบตเตอรี่ สามารถถ่ายเทอากาศได้ดี ท่อทางสำหรับระบายก็ไม่มีความจำเป็นต้องใช้

2.3.5 น้ำยา (Electrolyte.)

2.3.5.1 น้ำยาของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดเป็นส่วนผสมของ กรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) และน้ำกลั่น มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อประจุเต็มอยู่ระหว่าง 1.200 ถึง 1.300 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการบริการ สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับอากาศยานค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อประจุเต็มเมื่อปรับแก้ตามอุณหภูมิแล้วจะอยู่ที่ 1.285 ± 0.010 และสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้กับยวดยานจะอยู่ที่ 1.265 ± 0.005 อย่างไรก็ตามสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้กับ บริภัณฑ์ภาคพื้น และยวดยานหนัก อาจปรับแก้ตามอุณหภูมิอยู่ที่ 1.285 ± 0.010 ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต

2.3.5.2 สำหรับแบตเตอรี่ที่ต้องการให้มีอายุยาว จะต้องใช้น้ำยาที่มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาเฉพาะ (Local Action) ปฏิกิริยาเฉพาะเกิดจากปฏิกิริยาเคมี ไฟฟ้าย้อนกลับที่เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุ น้ำยาที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงจะเป็นการเพิ่มความจุและทำให้การรักษาแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะจ่ายไฟดีขึ้น สามารถจ่ายไฟได้ในอัตราที่สูง สภาพภูมิอากาศในบางครั้งก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาด้วย อากาศที่ร้อนจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาลดลง ดังนั้นในสภาพอากาศที่เย็นจะใช้น้ำยาที่มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ค่อนข้างสูง

คำเตือน

กรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) ถ้าถูกมือหรือผิวหนังจะทำให้เกิดรอยไหม้ และอาจทำลายเสื้อผ้าได้ ดังนั้น การปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับน้ำยาต้องใส่ชุดกันกรด แว่นตา ถุงมือยาง ตลอดเวลา

2.3.5.3 การป้องกัน (Precautions.) น้ำยาใน VLAB เป็นส่วนผสมของกรดซัลฟูริค ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.835 สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้กับอากาศยาน ค่าความถ่วงจำเพาะจะอยู่ระหว่าง 1.275 ถึง 1.295 ส่วนที่ใช้งานกับยวดยานปกติจะอยู่ระหว่าง 1.260 ถึง 1.270

คำเตือน

อย่าใส่น้ำลงในกรดเพราะจะเกิดความร้อนอย่างรวดเร็วเกิดการเดือดและกระเด็นออกมาจากภาชนะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บขึ้นได้ ถ้ากรดหรือน้ำยาสัมผัสผิวหนังให้ล้างด้วยน้ำจำนวนมากๆ ถ้าเข้าตาให้ล้างด้วยน้ำมากๆแล้วรีบไปพบแพทย์ การผสมน้ำยาให้เทกรดลงน้ำอย่างช้าๆ

2.3.5.4 การผสมน้ำยาของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เมื่อกรดกรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) และน้ำผสมกันจะมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

2.3.5.5 ตามตารางด้านล่างใช้สำหรับเป็นแนวทางในการผสมน้ำยาด้วยส่วนผสมระหว่างน้ำและกรดให้ได้ค่าความถ่วงจำเพาะตามต้องการ

คำเตือน

การผสมกรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) ต้องใช้ภาชนะที่เป็นยางหรือพลาสติกที่ทนความร้อน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการผสมอาจทำให้แก้วหรือภาชนะที่ใช้แตก เป็นอันตรายต่อบุคคลได้

2.3.5.6 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาจะกระทำต่อเมื่อน้ำยาเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิของห้องแล้ว การปรับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอาจกระทำโดยการเติมน้ำหรือกรดเพียงเล็กน้อยได้ตามความจำเป็น และต้องปรับแก้ค่าความถ่วงจำเพาะนั้นตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปด้วย ไม่ควรเติมน้ำยาที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.295 ให้กับแบตเตอรี่

When Mixing by Volume Using 1.835 Acid		Specific Gravity Desired	When Mixing by Volume Using 1.400 Acid	
Parts Water Required	to Part Acid Required		Parts Water Required	to Part Acid Required
2.52	1	1.300	.38	1
2.65	1	1.290	.43	1
2.70	1	1.285	.46	1
2.79	1	1.280	.49	1
2.84	1	1.275	.53	1
2.92	1	1.270	.56	1
3.10	1	1.260	.63	1

ตารางผสมน้ำยาของแบตเตอรี่ (Sulfuric Acid Mixing Chart.)

2.3.6.7 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วยไฮโดรมิเตอร์ ไฮโดรมิเตอร์ทั่วๆไปที่ใช้วัดค่าความถ่วงจำเพาะ จะเป็นหลอดแก้วเล็กๆลอยอยู่ในหลอดแก้วใหญ่ มีน้ำหนักถ่วงด้านหนึ่งเพื่อให้ลอยถูกด้าน แบ่งเสกลไว้ สำหรับอ่านค่าความถ่วงจำเพาะ

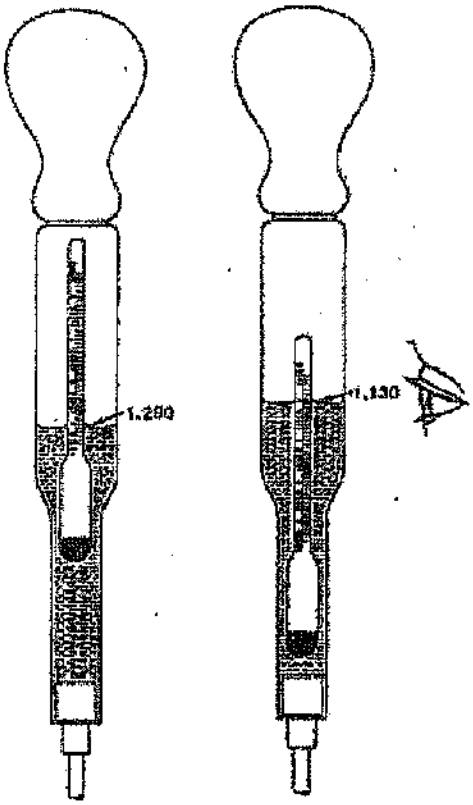
หมายเหตุ

ค่าความถ่วงจำเพาะที่อ่านได้จะบอกสถานะภาพการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด น้ำยาของแบตเตอรี่บางครั้งขุ่นมัวหรือดำ ลักษณะเช่นนั้นไม่ใช่เครื่องชี้วัดข้อบกพร่องของแบตเตอรี่หรือน้ำยา ปกติเกิดขึ้นเพราะออกไซด์ที่หลุดออกมาระหว่างการขนส่งหรือการทำปฏิกิริยาทางเคมี

2.3.5.8 การอ่านไฮโดรมิเตอร์ (Reading the Hydrometer.) ใช้ไฮโดรมิเตอร์ดูดน้ำยาจากแบตเตอรี่จนลูกลอยภายในลอยได้อย่างอิสระไม่สัมผัสด้านใดด้านหนึ่ง แล้วอ่านค่าบนเสกลของลูกลอยเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ต้องให้เสกลที่จะทำการอ่านอยู่ในระดับสายตา ตามรูปที่ 7

<u>คำเตือน</u>

ในการอ่านไฮโดรมิเตอร์ทุกครั้ง ต้องสวมแว่นตาป้องกันเสมอ



<u>รูปที่ 7 การอ่านไฮโดรมิเตอร์ (Reading a Hydrometer)</u>

2.3.5.9 ค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการอ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์จะไม่ถูกต้องจนกว่าจะมีการปรับแก้ตามอุณหภูมิแล้วเท่านั้น โดยใช้ค่า บวก และลบตามอุณหภูมิดังแสดงใน ตารางแก้ไขความคลาดเคลื่อน ด้านล่าง

2.3.5.10 สาเหตุที่ต้องปรับแก้ตามอุณหภูมิเพราะ กรดจะขยายตัวเมื่ออากาศร้อน และหดตัวเมื่ออากาศเย็น แต่ไฮโดรมิเตอร์จะได้รับการปรับมาตรฐานให้สามารถอ่านค่าได้ถูกต้องที่อุณหภูมิ 80° F เท่านั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์จะต่ำลง และอ่านได้สูงเมื่อเย็นลง การปรับแก้ค่าที่อ่านได้ตามอุณหภูมิจะบวกหรือลบ 0.004 จากค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ ต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือต่ำลงของน้ำยาจาก 80° F ทุกๆ 10° F

<u>ตัวอย่าง</u>

อ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากไฮโดรมิเตอร์ได้ 1.250 ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำยา = 20° F ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะที่ถูกต้อง คือ 1.250 – 0.020 = 1.230

อ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากไฮโดรมิเตอร์ได้ 1.235 ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำยา = 104° F ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะที่ถูกต้อง คือ 1.235 + 0.008 = 1.243

อุณหภูมิน้ำยา ° F	ความคลาดเคลื่อน	การปฏิบัติ
146	+ 0.022	บวกกับค่าที่อ่านได้จาก
140	+ 0.020	ไฮโดรมิเตอร์
134	+ 0.018	
128	+ 0.016	
122	+ 0.014	
116	+ 0.012	
110	+ 0.010	
104	+ 0.008	
98	+ 0.006	
92	+ 0.004	
86	+ 0.002	
80	0	
74	- 0.002	ลบกับค่าที่อ่านได้จาก
68	- 0.004	ไฮโดรมิเตอร์
62	- 0.006	
56	- 0.008	
50	- 0.010	
44	- 0.012	
38	- 0.014	
32	- 0.016	
26	- 0.018	
20	- 0.020	

ตารางแก้ไขความคลาดเคลื่อน (Temperature Correction Table)

หมายเหตุ

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเมื่อประจุเต็ม จะอยู่ระหว่าง 1.275 ถึง 1.295 และจะไม่สูงเกินกว่า 1.300

2.3.5.11 แม้ว่าน้ำยาของแบตเตอรี่จะมีการสูญหายเนื่องจากการล้นหรือรั่วซึม แต่จะไม่มีการเติมน้ำยาระหว่างอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จะมีการเติมแต่เพียงน้ำเท่าที่จำเป็นเท่านั้น การเติมน้ำยาจะกระทำเฉพาะเมื่อรู้จำนวนของน้ำยาที่ล้นออกแน่นอนเท่านั้น

คำเตือน

น้ำยาของแบตเตอรี่จะต้องเก็บไว้ในที่เย็นแต่ต้องไม่เย็นจนแข็ง ต้องใส่ในภาชนะที่ไม่แตกง่าย และต้องเก็บไว้ในที่ปลอดภัยห่างจากบุคคลเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ

ข้อควรระวัง

ไม่ควรเติมน้ำมากเกินความจำเป็น เพราะการเติมน้ำมากอาจเกิดการเดือดและล้นของน้ำยาในขณะใช้งาน ซึ่งจะเป็นผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพและเกิดการชำรุดในบริเวณที่ติดตั้งแบตเตอรี่ได้

2.4 การเตรียมให้บริการแบตเตอรี่ใหม่

(Preparation of New (Non-Activated) Battery for Service.)

2.4.1 VLAB ที่เป็นแบตเตอรี่ใหม่ ทั้งที่จัดหาใหม่ หรือนำออกมาจากชั้นเก็บแบตเตอรี่ที่ยังอยู่ในสภาพประจุแห้ง (Dry – Charged) เมื่อจะให้บริการ ต้องเติมน้ำยาก่อน ขั้นตอนต่อไปนี้เป็นขั้นตอนในการเตรียมให้บริการแบตเตอรี่ประจุแห้ง

2.4.2 การเตรียมเพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ ในการนำ VLAB ใหม่ มาทำการประจุจะต้องปฏิบัติตามขั้นตอน ต่อไปนี้

ข้อควรระวัง

แบตเตอรี่ใหม่ต้องมีระบบป้องกันไม่ให้มีอุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็ง เพราะเมื่อทำการเติมน้ำยาให้กับแบตเตอรี่ ผลของการประจุครั้งแรก (Initial Charge) จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการชำรุดได้

2.4.2.1 นำแบตเตอรี่ออกจากหีบห่อ เปิดฝาปิดเซลล์ทั้งหมดเพื่อทำการเติมน้ำยา น้ำยาของแบตเตอรี่ที่ใช้กับอากาศยาน จะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.275 ถึง 1.295 ส่วนน้ำยาของแบตเตอรี่ที่ใช้กับยวดยาน จะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.260 ถึง 1.270 หรือตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ น้ำยาที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำอาจถูกนำมาใช้กับแบตเตอรี่ที่ใช้งานอยู่ในพื้นที่เขตร้อน เพื่อวัตถุประสงค์ในการยืดอายุของแบตเตอรี่ที่ใช้ในเขตนั้น ๆ แต่การปฏิบัติเช่นนั้นจะไม่นำมาใช้กับแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับอากาศยาน เพราะแบตเตอรี่จะเย็นลงเมื่อ อากาศยานอาจบินขึ้นไปอยู่ในที่สูง หรือเปลี่ยนไปอยู่ในที่อากาศเย็น การเติมน้ำยาให้เติมให้สูงกว่าแผ่นคั่นธาตุ $\frac{3}{8}$ นิ้ว หรือตามที่บริษัทผู้ผลิต

กำหนดไว้ สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต อย่าใช้น้ำยาที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 90 ° F เติมให้กับเซลล์แบตเตอรี่ และให้บันทึกวันที่ ที่ปฏิบัติไว้ที่เรือนแบตเตอรี่ด้วย

2.4.2.2 เมื่อทำการเติมน้ำยาให้กับแบตเตอรี่เรียบร้อยแล้วให้ทิ้งแบตเตอรี่ไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจระดับของน้ำยา ถ้าน้ำยาลดลงให้เติมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม แล้วปิดฝาเซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมด ทำความสะอาดน้ำยาที่ล้นเปรอะเปลื้อนอยู่ภายนอกด้วยผ้าที่ชุบน้ำยาที่จะทำให้กรดกลายเป็นกลาง ได้แก่โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 6 ออนซ์ ผสมกับน้ำ 1 แกลลอน

<u>หมายเหตุ</u>

การทำการประจุแบตเตอรี่ครั้งแรกภายหลังเติมน้ำยาต้องประจุด้วยวิธีกระแสคงที่ เพราะการประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่ อาจทำให้การผสมของน้ำยาภายในแบตเตอรี่ไม่สมบูรณ์

ช่างที่ทำการบริการแบตเตอรี่อยู่ประจำ อาจกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาไว้เป็นมาตรฐาน (เช่น 1.285) เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการบริการแบตเตอรี่ครั้งต่อ ๆ ไป

ในระหว่างทำการประจุภายหลังเติมน้ำยาครั้งแรก กรดที่มีอยู่ในแผ่นธาตุจากการประจุจากโรงงานผู้ผลิตจะถูกละลายออกจากแผ่นธาตุ ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาเพิ่มขึ้น

2.4.2.3 การประจุครั้งแรกภายหลังการเติมน้ำยา แบตเตอรี่จะทำการประจุครั้งแรกภายหลังการเติมน้ำยาตามอัตราและวิธีการตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด แต่ถ้าบริษัทผู้ผลิตมิได้กำหนดไว้ให้ปฏิบัติตาม T.O. 8D2-1-31 ระยะเวลาที่ใช้ในการประจุจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เก็บแบตเตอรี่ไว้ในชั้นเก็บอุณหภูมิภายในห้องที่ใช้เป็นที่เก็บ และองค์ประกอบอื่น ๆ ในขณะที่ทำการประจุถ้าอุณหภูมิของน้ำยาขึ้นสูงถึง 115 ° F ให้ปรับอัตราการประจุและระยะเวลาที่ใช้ประจุตามความเหมาะสม ช่างจะสามารถทราบว่าแบตเตอรี่ประจุเต็มหรือยัง ได้จากค่าแรงดันของแบตเตอรี่ซึ่งจะคงที่หรือลดลงเล็กน้อย หรือทราบจากการอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยา ซึ่งจะคงที่จากการอ่าน 3 ครั้งใน 30 นาที ผลที่ได้จากการประจุครั้งแรกนี้ต้องบันทึกไว้เพื่อนำบางจุดไปใช้ในการบริการแบตเตอรี่นั้นครั้งต่อ ๆ ไป

2.4.2.4 ข้อแนะนำการปฏิบัติกับช่องระบายของตัวเรือนแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ส่งมาจะถูกผนึกสนิท และมียางรองฝาครอบ สำหรับแบตเตอรี่อากาศยานที่ตัวเรือนเป็นพลาสติก หรือโลหะ ท่อระบายภายนอกจะถูกอุดปลายไว้ ดังนั้นก่อนดำเนินการใด ๆ ต้องเอาวัสดุที่อุด หรือเปิดปลายรูระบายที่ตันอยู่ เพื่อให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาพความดันบรรยากาศปกติ

2.4.2.5 เมื่อท่อระบายที่อยู่กับแบตเตอรี่ใช้เป็นส่วนของแบตเตอรี่ในการระบายให้ใช้วิธีตัดปลาย หรือเอาวัสดุที่ปิดออก โดยไม่ต้องถอดท่อระบายออก

2.4.2.6 เมื่อท่อระบายที่อยู่กับแบตเตอรี่ไม่ได้ใช้เป็นส่วนของแบตเตอรี่ในการระบายให้ใช้วิธีถอดท่อระบายออกได้เลย

2.4.2.7 เมื่อแบตเตอรี่อยู่ในสภาพประจุสมบูรณ์ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาจะอยู่ระหว่าง 1.275 และ 1.295 ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาต่ำกว่า 1.275 ให้ถ่ายน้ำยาเดิมออกเล็กน้อย แล้วเติมด้วยน้ำยาที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่า ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาสูงกว่าเกณฑ์กำหนด ให้ถ่ายน้ำยาเดิมออกบางส่วนแล้วเติมด้วยน้ำที่ใช้เติมแบตเตอรี่หรือน้ำกลั่น แล้วทำการประจุต่ออีก 1 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำยาผสมกันสมบูรณ์

2.4.2.8 การคลายประจุและการทดสอบความจุ หลังจากที่แบตเตอรี่ได้รับการประจุครั้งแรกแล้ว จะต้องทำการทดสอบความจุตามขั้นตอนทดสอบความจุ ในข้อ 2.13 แล้วทำการประจุใหม่ แบตเตอรี่จึงพร้อมที่จะใช้งาน

2.5 <u>การทดสอบการรั่วทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์และตัวเรือนแบตเตอรี่</u>

<u>(Cell / Case Electrical Leakage Tests)</u>

2.5.1 การทดสอบการรั่วทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์และตัวเรือนแบตเตอรี่ บางครั้งหมายถึงการรั่วซึมของกระแสจำนวนเล็กน้อยผ่านฉนวน จนเกิดเป็นทางเดินไฟฟ้าขึ้น เป็นผลให้วัสดุที่ใช้ทำเป็นฉนวนในแบตเตอรี่เกิดการชำรุด หรือเสื่อมสภาพ การรั่วของกระแสไฟฟ้านี้อาจเกิดขึ้นระหว่าง เซลล์กับเซลล์ หรือเซลล์กับตัวเรือนที่อยู่รอบ ๆ ก็ได้ สาเหตุที่ทำให้เกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้านี้ ส่วนใหญ่เนื่องมาจาก น้ำยาแบตเตอรี่ที่หกอยู่ภายในแบตเตอรี่ หรือรอยแตกร้าวของเรือนเซลล์

<u>คำเตือน</u>

การรั่วของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างเซลล์และตัวเรือนแบตเตอรี่นั้น ถ้าเป็นการรั่วที่มีกระแสไฟฟ้าสูงมากพออาจเป็นผลด้านความปลอดภัยของอากาศยาน ณ บริเวณที่ติดตั้งแบตเตอรี่ได้ เช่น ในแบตเตอรี่อากาศยานที่มีเซลล์จำนวน 12 เซลล์ต่อนุกรมกันอยู่ ถ้าเกิดมีการลัดวงจรขึ้นกับเซลล์ที่อยู่กลาง ๆ กับตัวเรือนแบตเตอรี่ จะมีผลทำให้ ชุดเซลล์ที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟของอากาศยานเกิดการประจุเกิน ส่วนอีกด้านที่เหลือเกิดการจ่ายประจุสูง เนื่องจากปกติขั้วลบของแบตเตอรี่จะต่อกับลำตัวของอากาศยานอยู่แล้ว เป็นผลให้น้ำยาเดือด ความร้อนสูง เกิดก๊าซขึ้นจำนวนมาก จากสาเหตุนี้อาจทำให้เกิดการชำรุดขึ้นกับอุปกรณ์ หรือเกิดการบาดเจ็บขึ้นได้

2.5.2 การทดสอบการรั่วทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ระหว่างเซลล์และตัวเรือน สามารถทำการตรวจสอบได้ตามขั้นตอนดังนี้

2.5.2.1 ก่อนทำการทดสอบต้องแน่ใจก่อนว่าแบตเตอรี่ที่จะทำการทดสอบนั้นมีประจุเต็มสมบูรณ์ และถอดออกจากเครื่องประจุแบตเตอรี่เรียบร้อยแล้ว

2.5.2.2 ใช้แปรงทำความสะอาดขั้วต่อไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และทำความสะอาดบริเวณรอบ ๆด้วยผ้าชุบน้ำมาด ๆ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งสนิท

2.5.2.3 ใช้แอมป์มิเตอร์ ที่มีความไวไม่สูงมากนัก (Low Impedance) หรือมัลติมิเตอร์ชนิดเข็มตั้งย่านการวัดไว้ที่วัดกระแสไฟต่ำสุด อ่านค่าได้ 10 มิลลิแอมแปร์เต็มสเกล ต่อสายวัดขั้วบวกกับตัว

เรือนของแบตเตอรี่โดยใช้ปลายแหลมแทงให้ทะลุสีหรือฉนวนที่เคลือบอยู่ ใช้ปลายสายวัดเส้นลบวัดที่ขั้วแบตเตอรี่ บวก และลบ เครื่องวัดแบบตัวเลขที่มีความไวสูง (High Impedance) จะไม่สามารถอ่านค่าที่แน่นอนได้ เพราะตัวเลขจะเปลี่ยนไปมาตลอดเวลา

2.5.2.4 ใช้สายวัดขั้วลบต่อกับตัวเรือนของแบตเตอรี่และปฏิบัติเช่นเดียวกัน

2.5.2.5 แบตเตอรี่ที่อยู่ในสภาพปกติจะต้องมีกระแสไฟฟ้ารั่วระหว่างขั้วใดขั้วหนึ่งของแบตเตอรี่กับตัวเรือนไม่เกิน 1 มิลลิแอมแปร์

2.5.2.6 ถ้ามีกระแสไฟฟ้ารั่วเกิน 1 มิลลิแอมแปร์ ให้ตรวจสอบฝาปิดเซลล์ทุกเซลล์ว่าปิดแน่นหรือไม่ แล้วทำความสะอาดด้านบนของแบตเตอรี่ด้วยผ้าที่ชุบน้ำยาที่จะทำให้กรดกลายเป็นกลาง ได้แก่โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 6 ออนซ์ ผสมกับน้ำ 1 แกลลอน เมื่อทิ้งให้แห้งสนิทแล้วทำการตรวจสอบใหม่ ถ้ายังมีกระแสไฟฟ้ารั่วสูงเกินอยู่เช่นเดิมแสดงว่าแบตเตอรี่นั้น ไม่อยู่ในสภาพที่จะใช้งานต่อไป

2.6 หลักการทำงานที่สำคัญ (Principles of Operation.)

2.6.1 หลักการทำงานที่สำคัญของแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับอากาศยาน หลัก ๆ จะประกอบไปด้วย การทำปฏิกิริยาทางเคมี ความจุของแบตเตอรี่ องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความจุของแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ ประสิทธิภาพในการจ่ายประจุและการรับประจุ ส่วนแบตเตอรี่ที่ใช้ในยวดยาน บริภัณฑ์อากาศยาน และรถลาก จะมีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกัน

2.6.2 การทำปฏิกิริยาทางเคมี แบตเตอรี่เมื่อมีประจุเต็ม แผ่นธาตุบวกจะเป็นตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบจะเป็น ตะกั่วพรุน (Pb) น้ำยาจะเป็นส่วนผสมระหว่างน้ำและกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ความเข้มข้นของน้ำยาจะกำหนดด้วยค่าความถ่วงจำเพาะ

หมายเหตุ

ค่าความถ่วงจำเพาะจะเป็นตัวกำหนดอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำยา เมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ น้ำบริสุทธิ์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.000

2.6.2.1 น้ำยาของแบตเตอรี่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็ม อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของน้ำยาจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของแบตเตอรี่ นั้น ๆ

2.6.2.2 ดังได้กล่าวมาแล้ว แบตเตอรี่เมื่อมีประจุเต็ม แผ่นธาตุบวกจะเป็นตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบจะเป็น ตะกั่วพรุน (Pb) แต่เมื่อแบตเตอรี่จ่ายประจุน้ำยา (H_2SO_4) จะแตกตัวเป็นไฮโดรเจน (H_2) และซัลเฟต (SO_4) ไฮโดรเจนจะไปรวมตัวกับออกซิเจนบางส่วนที่แผ่นธาตุบวกกลายเป็นน้ำ (H_2O) เป็นผลให้ความเข้มข้นของกรดในน้ำยาลดลง ส่วนซัลเฟตจะไปรวมตัวกับตะกั่วที่แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ เกิดเป็นตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ตราบใดที่ยังมีการจ่ายประจุอยู่เรื่อย ๆ ความเข้มข้นของกรดในน้ำยาก็จะลดลงเรื่อย ๆ และซัลเฟตกับน้ำจะเกิดเพิ่มขึ้นแทน

2.6.2.3 ในระหว่างการจ่ายประจุ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาจะลดลงเรื่อย ๆ เพราะกรดลดลงแต่น้ำเพิ่มขึ้น และทั้งแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะกลายเป็นซัลเฟตเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจ่ายประจุจะหยุดเมื่อใด ดังนั้นสภาพและความต่างศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างแผ่นธาตุจะเป็นตัวชี้วัด สถานภาพของแบตเตอรี่

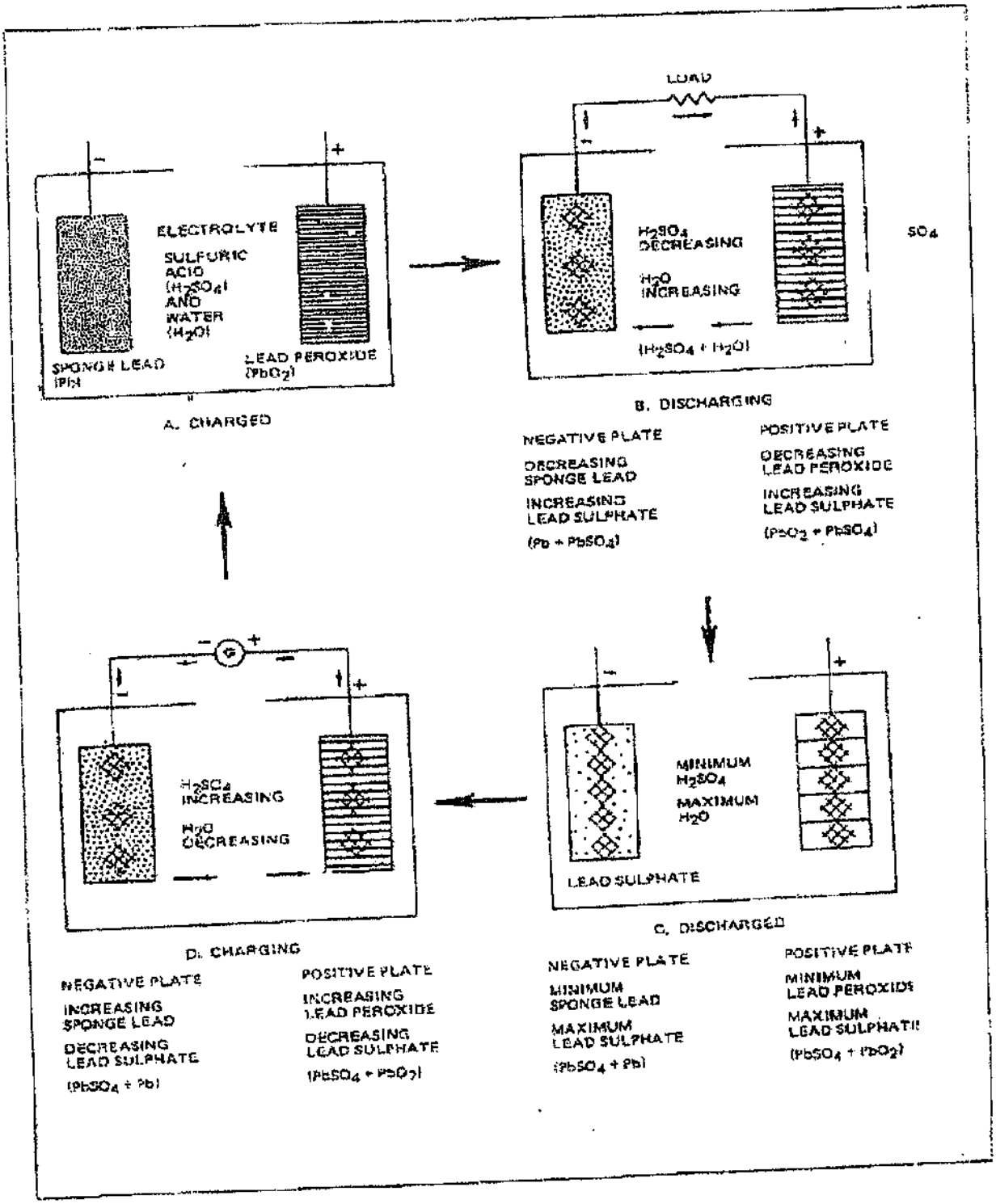
2.6.2.4 เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุ ซัลเฟตที่แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะเริ่มสลายตัวจากตะกั่วไปรวมกับน้ำยา เมื่อแบตเตอรี่ได้รับประจุเต็ม แผ่นธาตุบวกจะกลับเป็นตะกั่วไดออกไซด์ และแผ่นธาตุลบจะเป็นตะกั่วพรุน ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาจะสูงสุดอีกครั้ง เพราะซัลเฟตที่สลายตัวจากแผ่นธาตุจะรวมตัวกับไฮโดรเจนในน้ำ กลายเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4)

2.6.2.5 การทำปฏิกิริยาเคมี ระหว่างการประจุ และจ่ายประจุของแบตเตอรี่ ตะกั่ว – กรด จะกลับไปกลับมาเช่นนี้ตลอด ดังสมการด้านล่าง

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \underset{\text{Charge}}{\overset{\text{Discharge}}{=}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

<u>สมการเคมีแสดงการประจุ และจ่ายประจุของ VLAB</u>

สมการทางด้านซ้ายแสดงสถานภาพของแบตเตอรี่ขณะประจุเต็ม ส่วนสมการด้านขวาแสดงสถานภาพการจ่ายประจุ หลักการทำปฏิกิริยาเคมี ของ VLAB แสดงตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 Principle of Chemical Action in Lead – Acid Battery

2.6.2.6 ในขณะที่ทำการประจุ ซัลเฟตจากแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะละลายผสมลงในน้ำยาทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาสูงขึ้น และเกิดการแตกตัวของน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน จากการแตกตัวนี้ทำให้มีบางส่วนสูญหายไปในรูปของก๊าซ เป็นเหตุที่ต้องเติมน้ำให้กับแบตเตอรี่

2.6.3 ความจุ (Capacity.) ค่าความจุของแบตเตอรี่วัดจากอัตราการจ่ายประจุเป็นแอมแปร์ต่อระยะเวลาที่แรงดันถึงแรงดันตัดกระแส (Cutoff Voltage) ปกติจะกระทำที่อุณหภูมิ 80° F แรงดันตัดกระแสของแบตเตอรี่จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการจ่ายประจุ เช่น แรงดันตัดกระแสของแบตเตอรี่ 12 เซลล์ จะอยู่ที่ 18 โวลต์ (1.5 โวลต์ต่อเซลล์) สำหรับอัตราการจ่ายประจุ 1 ชั่วโมง

2.6.4 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hours.) แอมแปร์-ชั่วโมงเป็นผลคูณของ การจ่ายกระแส (เป็นแอมแปร์) กับระยะเวลาที่จ่ายกระแส เช่น แบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์ ได้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ 5 x 4 = 20 แอมแปร์-ชั่วโมง

2.6.5 แรงดันตัดกระแส (Cutoff Voltage) แรงดันตัดกระแสคือจุดสิ้นสุดแรงดันของแบตเตอรี่ที่แบตเตอรี่หรือเซลล์สามารถจ่ายประจุได้ ถ้าปล่อยให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสต่อไปจะทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง หรือเกิดการชำรุดได้

2.6.6 อัตราความจุ (Capacity Rate) อัตราความจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้งานกับอากาศยาน โดยคิดจากฐานในการจ่ายประจุในเวลา 1 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 80° F ± 9.0° F แรงดันสิ้นสุด (Terminal Voltage drops.) คือ 18 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์ (9 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์) เช่นแบตเตอรี่ความจุ 31 แอมแปร์-ชั่วโมง จะต้องสามารถจ่ายกระแส 31 แอมแปร์ ได้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ก่อนที่แรงดันจะตกถึง 18 โวลต์ ตัวประกอบที่มีผลกระทบต่ออัตราความจุ ได้แก่ จำนวนของแผ่นธาตุ , อุณหภูมิ , ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยา , อัตราการจ่ายประจุ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.7 <u>องค์ประกอบที่มีผลกับอายุการใช้งาน (Factors Affecting Service Life.)</u>

2.7.1 ประสิทธิภาพ , เกณฑ์ความปลอดภัย และอายุของแบตเตอรี่ จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ในการซ่อมบำรุง , ขั้นตอนในการใช้งาน ,ขั้นตอนในการเก็บรักษา และตัวประกอบอื่นๆดังต่อไปนี้

2.7.1.1 การประจุเกิน (Overcharging.) ถ้าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้รับการประจุเกินจะมีผลทำให้เกิดการเสียหายขึ้นได้

2.7.1.2 การเกิดก๊าซ (Gassing.) การแตกตัวของน้ำเป็น ไฮโดรเจน และออกซิเจนในขณะที่ทำการประจุแบตเตอรี่จะมีผลทำให้เกิดก๊าซขึ้น ยิ่งมีการประจุด้วยอัตราที่สูงจะทำให้เกิดก๊าซมากขึ้น ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นนี้จะแพร่กระจายและหลุดออกจากแบตเตอรี่ การเกิดก๊าซนี้ถ้าเกิดขึ้นจำนวนมากอาจทำให้แบตเตอรี่ชำรุดได้

2.7.1.3 ความเข้มข้นของกรด (Acid Concentration.) การเกิดก๊าซขึ้นในแบตเตอรี่จำนวนมากเท่าใด จะทำให้ความเข้มข้นของกรดมากขึ้นเท่านั้น ความเข้มข้นของกรดสูงจะทำให้แผ่นคั่น

ธาตุชำรุด และจะทำให้สารที่แผ่นธาตุหลุดล่วง ดังนั้นเพื่อป้องกันจะต้องระวังอย่าให้ระดับน้ำในแบตเตอรี่ต่ำเป็นช่วงเวลาที่นาน

2.7.1.4 ความร้อนสูงเกิน (Overheating.) การประจุเกินจะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นในแบตเตอรี่ มีผลให้แผ่นธาตุบวก แผ่นธาตุลบ และแผ่นคั่นธาตุชำรุด หรืออาจทำให้ตัวเรือนแบตเตอรี่ชำรุดได้

2.7.1.5 การเสียรูปทรงของแผ่นธาตุบวก (Warping and Buckling of Positive Plates.) การประจุเกิน หรือแบตเตอรี่ที่ผ่านการประจุต่ำมา จะมีผลต่อการเสียรูปทรงของแผ่นธาตุบวก รวมไปถึงแผ่นคั่นธาตุด้วย

2.7.1.6 การสูญเสียน้ำยา (Electrolyte Expulsion.) การประจุแบตเตอรี่มากเกินจะทำให้น้ำยาล้นออกจากเซลล์ได้ ซึ่งจะทำให้ตัวเรือนแบตเตอรี่เกิดสนิมหรือชำรุด รวมถึงอุปกรณ์ที่อยู่ข้างเคียงด้วย

หมายเหตุ

ถ้าน้ำยาล้นสัมผัสอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงจะทำให้เกิดการชำรุดขึ้นได้

2.7.1.7 การเกิดการสะสมของตะกอน (Sediment Accumulation.) การประจุเกินหรือการประจุด้วยอัตราสูง จะเป็นเหตุให้เกิดตะกอนสะสมขึ้นที่ก้นหม้อแบตเตอรี่ อันมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ตะกอนเหล่านี้หากมีการสะสมมากจนขึ้นมาถึงแผ่นธาตุอาจทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างแผ่นธาตุขึ้นได้

2.7.1.8 การประจุต่ำ (Undercharge.) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดถ้าได้รับการประจุไม่เพียงพอเป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้แผ่นธาตุแข็ง ซัลเฟตที่เกาะบนแผ่นธาตุไม่ละลายกลับคืนสภาพอีก และเมื่อนำแบตเตอรี่ไปทำการประจุสูง จะเป็นผลให้แผ่นธาตุ และแผ่นคั่นธาตุเสียรูปทรงเกิดการลัดวงจรขึ้นภายในแบตเตอรี่นั้นได้

2.8 การติดตั้งกับอากาศยาน (Installation in Aircraft.)

ข้อควรระวัง

ก่อนทำการติดตั้งหรือถอดแบตเตอรี่ออกจากอากาศยานต้องแน่ใจว่า อากาศยานอยู่ในสภาพที่มีความปลอดภัย และสวิทช์ของแบตเตอรี่อยู่ในตำแหน่ง OFF

หมายเหตุ

การติดตั้ง , การถอด ,การตรวจ และการบริการแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีกำหนดไว้ในคู่มือการซ่อมบำรุงอากาศยาน

2.8.1 แบตเตอรี่ที่จะนำไปติดตั้งกับอากาศยานจะต้องได้รับการบริการและทำการประจุตามขั้นตอนที่ถูกต้องแล้วเท่านั้น

2.8.2 ในการนำแบตเตอรี่ติดตั้งกับอากาศยานจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.8.3 การระบาย (Venting.)

<u>คำเตือน</u>

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ขณะทำงานจะเกิดก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ดังนั้นถ้าระบบการระบายไม่สมบูรณ์อาจทำให้เกิดอันตรายได้

เซลล์ของแบตเตอรี่จะมีช่องให้ก๊าซระบายขึ้นมาด้านบนได้ ก๊าซเหล่านี้จะต้องได้รับการระบายออกไปภายนอกลำตัวของอากาศยาน ดังนั้นก่อนทำการติดตั้งแบตเตอรี่ต้องแน่ใจว่าท่อทางสำหรับระบายอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์

2.8.4 ห้องแบตเตอรี่และอุณหภูมิ (Battery Compartment and Temperature.)

<u>ข้อควรระวัง</u>

ห้องแบตเตอรี่ไม่ควรอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดความร้อน เพราะความร้อนจะทำให้แบตเตอรี่เกิดก๊าซขึ้นภายในเซลล์และสิ้นเปลืองน้ำมาก เป็นผลให้ระดับน้ำยาลดลง ทำให้แบตเตอรี่เกิดการชำรุดได้

ห้องแบตเตอรี่ต้องระบายอากาศได้ดี , แห้ง และสะอาด ควรอยู่ในบริเวณที่สามารถทำการตรวจ , เติมน้ำ และถอดเปลี่ยนได้ง่าย

สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดให้อุณหภูมิในห้องแบตเตอรี่สูงได้ไม่เกิน 110° F

2.9 <u>การถอดออกจากอากาศยาน (Removal from Aircraft.)</u>

2.9.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะถอดออกจากอากาศยานเพื่อรับการบริการ และเปลี่ยนด้วยแบตเตอรี่ที่ประจุเต็มสมบูรณ์ใหม่ ด้วยกรณีดังต่อไปนี้

2.9.1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาภายหลังการปรับแก้ตามตารางอุณหภูมิแล้วต่ำกว่า 1.240

2.9.1.2 มีน้ำยารั่วซึม หรือมีน้ำยาล้นขึ้นมาด้านบนเหนือเซลล์จำนวนมาก

2.9.1.3 ขั้วไฟของแบตเตอรี่ หรือส่วนที่เป็นโลหะภายใน มีการผุกร่อน

2.9.1.4 น้ำยาของแบตเตอรี่แข็งตัว

2.9.1.5 แบตเตอรี่ครบวงรอบการบริการ (ตัวอย่าง เช่น ทุก 60 วัน หรืออากาศยานเข้าทำการตรวจซ่อมใหญ่)

2.9.2 อากาศยานจอดอยู่เฉยๆ 1 สัปดาห์ หรือมากกว่า ต้องส่งแบตเตอรี่ไปรับการบริการและรักษาสถานภาพการประจุ

2.10 <u>การตรวจและการบริการบนอากาศยาน (Inspection and Servicing in Aircraft.)</u>

2.10.1 ขั้นตอนในการตรวจและการบริการที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ดีและเพิ่มอายุการใช้งานได้นานขึ้น ขั้นตอนในการตรวจและบริการมีดังต่อไปนี้

2.10.2 ตารางการตรวจและการบริการ (Inspection Schedule and Servicing) การตรวจแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะต้องดำเนินการเป็นปกติสัปดาห์ละครั้ง โดยตรวจตามรายการตรวจในตารางการตรวจด้านล่าง

Items to Check	At Installation & Preflight	Every Week	Approximately Every 120 Days
Check specific gravity. Correct for temperature and replace battery if below 1.240 or above 1.300.	X*	X	
Add water, if necessary. Fill to 3/8-inch above protector plates or as required by battery manufacturer.		X	
Check terminals. Keep clean and tight.	X	X	
Inspect sump (if used). Resaturate pad if dry.	X*	X	
Check mounting. Tighten if it is loose.	X	X	
Inspect for leakage. Replace battery if leakage is indicated. Inspect vent tubes and vent caps. Clean out if they are clogged.		X	
Inspect battery lid gasket for proper condition.	X	X	
Inspect battery lid for condition and proper fit.	X	X	
Test capacity. Reject from active service if below standard. This action will be taken by battery shop.	X	X	X
*Not necessary for preflight inspection.			

ตารางที่ใช้เป็นแนวทางในการตรวจแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

(Suggested Inspection Schedule for Lead-Acid Batteries.)

2.10.3 การตรวจความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Check.) ทำการตรวจค่าความถ่วงจำเพาะน้ำยาของแต่ละเซลล์ แล้วทำการปรับแก้อุณหภูมิตามตารางที่กำหนด

2.10.3.1 เมื่อใช้ไฮโดรมิเตอร์ดูดน้ำยาขึ้นมาอ่านค่าความถ่วงจำเพาะแล้ว ต้องนำน้ำยากลับเข้าเซลล์ที่ดูดออกมาดังเดิม ถ้าพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาเซลล์ใดเซลล์หนึ่งหรือมากกว่ามีค่าต่ำกว่า 1.240 หรือมีค่าแตกต่างกันระหว่างเซลล์มากกว่า 0.020 ให้ทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่

2.10.3.2 การเติมน้ำให้กับแบตเตอรี่ (Battery Water Addition.) โดยทั่วไประดับของน้ำยาของแบตเตอรี่ในแต่ละเซลล์จะสูงกว่าแผ่นธาตุ 3/8 นิ้ว แต่อาจเปลี่ยนแปลงตามการกำหนดของบริษัทผู้ผลิต อย่างไรก็ตามต้องแน่ใจว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสม เพราะการเติมน้ำมากเกินอาจเกิดการล้นของน้ำยาในขณะใช้งานได้

ข้อควรระวัง

อย่าเติมน้ำให้กับแบตเตอรี่ที่เย็นจัดจนน้ำยาใกล้จุดเยือกแข็ง เว้นแต่แบตเตอรี่จะได้รับการประจุโดยทันทีทันใด

2.10.3.3 ถ้าเติมน้ำแล้วแบตเตอรี่ไม่ได้ทำการประจุน้ำจะแข็งตัวอยู่ด้านบนไม่ผสมกับน้ำยา เพราะการประจุจะทำให้น้ำและน้ำยาผสมกัน

2.10.4 ตรวจสภาพของสายไฟและการต่อ (Leads and Connections.) ตรวจสอบสภาพฉนวนของสายไฟและการขันแน่นตามขั้วต่อของสายแบตเตอรี่ ถ้าพบว่าขั้วต่อของแบตเตอรี่เป็นสนิมให้ปฏิบัติดังนี้

2.10.4.1 ทำความสะอาดสนิมของขั้วแบตเตอรี่ด้วยแปลงที่มีขนแข็ง (ต้องไม่ใช่แปลงที่ทำจากโลหะ)

2.10.4.2 ล้างขั้วแบตเตอรี่ด้วยน้ำยาทำความสะอาดที่จะทำให้กรดมีสภาพเป็นกลาง ส่วนมากได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำ

2.10.4.3 ปล่อยให้ขั้วแบตเตอรี่แห้ง ใช้ไขกันสนิมทาส่วนที่เป็นโลหะบางๆ ให้ทั่ว

2.10.5 ตรวจการรั่วของกระแสไฟ (Leakage.) การรั่วของกระแสไฟอาจมีผลให้ตัวเรือนแบตเตอรี่ชำรุดได้ ดังนั้นหากพบว่ามีการรั่วของกระแสไฟต้องทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ อย่างไรก็ตามการถอดแบตเตอรี่ออกมาทำการกำจัดสนิมจากตัวเรือนของแบตเตอรี่อาจแก้ไขปัญหาการรั่วของไฟฟ้าได้

2.10.6 ตรวจขวดพักระหว่างทางระบาย (Battery Sump.) ถ้ามีการใช้ให้ตรวจแผ่นสักหลาดภายในขวด ถ้าพบว่าแห้งให้เติม น้ำยาที่ทำให้กรดมีสภาพเป็นกลางได้แก่ส่วนผสม โซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำ

2.10.7 ตรวจการติดตั้ง (Mounting Hardware.)

ข้อควรระวัง

การติดตั้งแบตเตอรี่ถ้าขันสลักยึดแน่นเกินไป อาจทำให้ฝาปิดแบตเตอรี่แตกหรือโค้งงอ ก๊าซที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่หลุดออกมาภายนอก เกิดการกัดกร่อนบริเวณใกล้เคียงในอากาศยานได้

2.10.7.1 ตรวจสลักยึดแบตเตอรี่ต้องขันแน่นพอดีที่จะยึดแบตเตอรี่ให้อยู่กับที่อย่างปลอดภัย ไม่แน่นเกินไปหรือหลวมเกินไป

2.10.7.2 ฝาปิดแบตเตอรี่ (Battery Lid.) ตรวจแผ่นรองฝาแบตเตอรี่(Gasket) ว่าอยู่ในสภาพสมบูรณ์ แน่ใจว่าก๊าซที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ไม่สามารถหลุดออกมาได้

2.10.8 ตรวจท่อทางระบาย (Vent Tube.) ท่อทางระบายของแบตเตอรี่ต้องแน่ใจว่าไม่มีการอุดตัน ปราศจากสิ่งแปลกปลอม โดยใช้ลมเป่าท่อทางให้สะอาด ช่องระบายของเรือนแบตเตอรี่ต้องไม่อุดตัน

คำเตือน

ใช้ลมจากเครื่องปั๊มลมเป่าท่อทาง อย่าใช้ปากเป่าเพราะอาจถูกกรดกัดปากได้ ลมที่ใช้เป่าไม่ควรสูงเกิน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ควรใส่ชุดป้องกันตลอดเวลาปฏิบัติงาน

2.10.9 แบตเตอรี่ที่ไม่ใช้งาน (Idle Battery.) ถ้าอากาศยานต้องจอดอยู่เฉยๆเป็นเวลาเกิน 1 สัปดาห์ ต้องถอดแบตเตอรี่ออก ส่งรับการบริการและเก็บ

2.11 <u>การปฏิบัติกับอากาศยาน (Operation in Aircraft.)</u> แนวทางที่เหมาะสมในการปฏิบัติเกี่ยวกับแบตเตอรี่บนอากาศยานมีดังต่อไปนี้

2.11.1 สวิทช์ (Switches.) ในขณะที่อากาศยานมีการซ่อมบำรุง สวิทช์ของแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในตำแหน่ง OFF ตลอดเวลา

2.11.2 การติดเครื่องยนต์ (Engine Starting.)

หมายเหตุ

ถ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองจะไม่ใช้แบตเตอรี่ในการติดเครื่องยนต์อากาศยาน การใช้แบตเตอรี่ในการติดเครื่องยนต์จะใช้ในกรณีที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง หรือกรณีฉุกเฉินเท่านั้น และจะไม่ใช้แบตเตอรี่ติดเครื่องยนต์ติดต่อกัน การติดเครื่องยนต์แต่ละครั้งควรเว้นระยะห่างกันอย่างน้อย 2 - 3 นาที

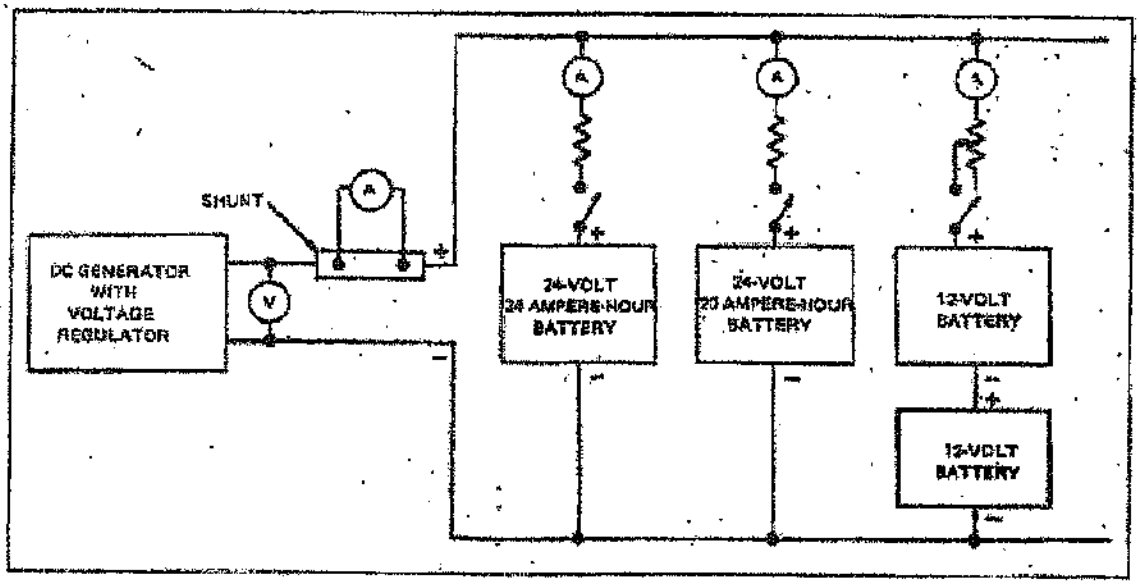
ข้อควรระวัง

เพื่อรักษาสถานะภาพของแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพประจุเต็มตลอดเวลา ไม่ควรใช้แบตเตอรี่ในการทดสอบระบบไฟฟ้าต่างๆ โดยไม่จำเป็น

2.12 <u>วิธีการประจุและจ่ายประจุ (Charge and Discharge Methods.)</u> ในสถานที่บริการแบตเตอรี่ การประจุแบตเตอรี่ที่ใช้มี 3 วิธี คือ วิธีแรงดันคงที่ (Constant Potential Method) , วิธีแรงดันคงที่แบบเปลี่ยนแรงดัน (Modifies Constant Potential Method) และ วิธีกระแสคงที่ (Constant Current Method)

2.12.1 การประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่ (Constant Potential Method) การประจุโดยวิธีใช้กระแสไฟฟ้าซึ่งได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ มอเตอร์ซิงเจนเนอเรเตอร์ เป็นแหล่งพลังจ่ายกระแส คุณสมบัติของกระแสที่ได้จากเจนเนอเรเตอร์ สามารถปรับได้ถูกต้องแน่นอนและสามารถควบคุมแรงดันได้คงที่ตามที่ต้องการ สายต่อจากเจนเนอเรเตอร์ มายังแท่นประจุต้องทนกระแสได้สูง ดังนั้นต้องมีเครื่องวัดแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ ที่สามารถแสดงค่าได้อย่างถูกต้อง สำหรับแสดงกระแส และแรงดันที่แท่นประจุแบตเตอรี่ที่จะทำการประจุจะนำมาต่อประจุในลักษณะขนานกัน ดังนั้นกระแสประจุจะสูงขึ้นแรงดันจะต่ำลง ทำให้เกิดการจ่ายประจุระหว่างแบตเตอรี่ที่กำลังประจุอยู่ และหากแรงดันเพิ่มสูงขึ้นเกินเกณฑ์จะทำให้เกิดการประจุเกินได้ (Overcharge)

2.12.1.1 การประจุด้วยแรงดันคงที่ของ VLAB แรงดันที่แท่นประจุจะต้องคงที่อยู่ที่ 28.5 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์ และมีตัวต้านทาน 1 โอห์ม 250 วัตต์ สำหรับจำกัดกระแสต่ออยู่ระหว่างแบตเตอรี่กับแท่นประจุ ดังแสดงตามรูปที่ 9 ถ้าแรงดันที่แท่นประจุสูงกว่า 28.5 โวลต์ ตัวต้านทานจะทำหน้าที่จำกัดกระแสโดยใช้ค่าความแตกต่างระหว่าง แรงดันย้อนกลับ (counter-electromotive force) ของแบตเตอรี่และแรงดันย้อนกลับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ควรมีสวิทช์และแอมมิเตอร์ต่อไว้ในวงจรประจุแต่ละวงจรด้วยตามรูปที่ 9 และเพื่อความสะดวกในการประจุแบตเตอรี่ วงจรประจุแต่ละวงจรจะใส่ขั้วไฟให้สามารถถอดประกอบได้รวดเร็วย่อมกระทำได้

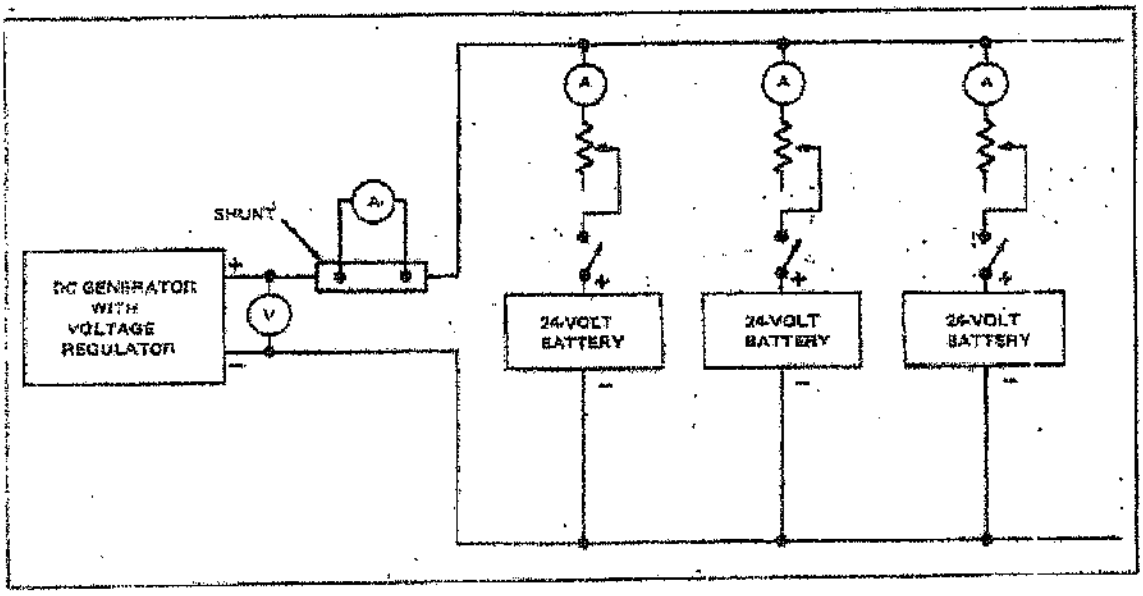


รูปที่ 9 Circuit for Constant Potential Charging of Batteries.

2.12.1.2 แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ที่มีค่าความจุเท่ากันและมีการจ่ายประจุใกล้เคียงกันอาจนำมาต่อกันแบบอนุกรมและทำการประจุด้วยแรงดันคงที่ 28.5 โวลต์ได้ โดยต่อตามรูปที่ 9 อย่างไรก็ตามการประจุในลักษณะนี้ ถ้าสภาพการประจุของแบตเตอรี่ทั้งสองแตกต่างกัน แบตเตอรี่ที่ยังมีประจุสูงอาจเกิดประจุเกินก่อนการประจุจะสมบูรณ์ได้

2.12.2 การประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่แบบเปลี่ยนแรงดันได้ (Modifies Constant Potential Charging Method) กระทำได้โดยใส่ตัวต้านทานปรับค่าได้ ต่ออนุกรมกับเครื่องวัดแอมมิเตอร์ไว้ในวงจรประจุแต่ละวงจร ตามรูปที่ 10

การประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่แบบเปลี่ยนแรงดันได้นี้ สามารถปรับตัวต้านทานปรับค่าให้ได้กระแสในการประจุเริ่มแรกที่เหมาะสม ซึ่งในช่วงเริ่มประจุจะใช้กระแสสูงจึงใช้ตัวต้านทานจำกัดกระแสประจุครั้นเมื่อประจุใกล้เต็ม จะปรับตัวต้านทานให้เป็น 0 โอห์ม เพื่อให้แรงดัน 28.5 โวลต์ ประจุแบตเตอรี่โดยตรง ซึ่งจะทำให้การประจุสมบูรณ์ขึ้น



รูปที่ 10 Circuit for Modified Constant Potential Charging of Batteries.

2.12.3 การประจุด้วยวิธีกระแสคงที่ (Constant Current Charging Method.) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะต้องทำการประจุด้วยวิธีกระแสคงที่ การประจุด้วยวิธีนี้แบตเตอรี่ทุกลูกจะต่อกันอยู่แบบอนุกรม ดังนั้นทุกลูกจะได้รับกระแสประจุเท่ากันทั้งหมด แหล่งจ่ายไฟส่วนใหญ่เป็นเครื่องแปลงไฟไฟฟ้าที่สามารถปรับกระแสการประจุได้และมีแอมมิเตอร์สำหรับแสดงกระแสในการประจุด้วย

2.12.3.1 เมื่อนำแบตเตอรี่ที่มีความจุแตกต่างกันมาประจุด้วยกัน แบตเตอรี่ที่มีค่าความจุน้อยกว่าและมีค่าความจุเท่ากันและแรงดันเท่ากัน จะนำมาต่อกันแบบขนาน ก่อนต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ที่มีค่าความจุสูงและต่อกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ ตามรูปที่ 11

2.12.3.2 แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากัน สามารถนำมาต่อกันแบบอนุกรมและต่อเข้ากันเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยตรงได้ ตามรูปที่ 12

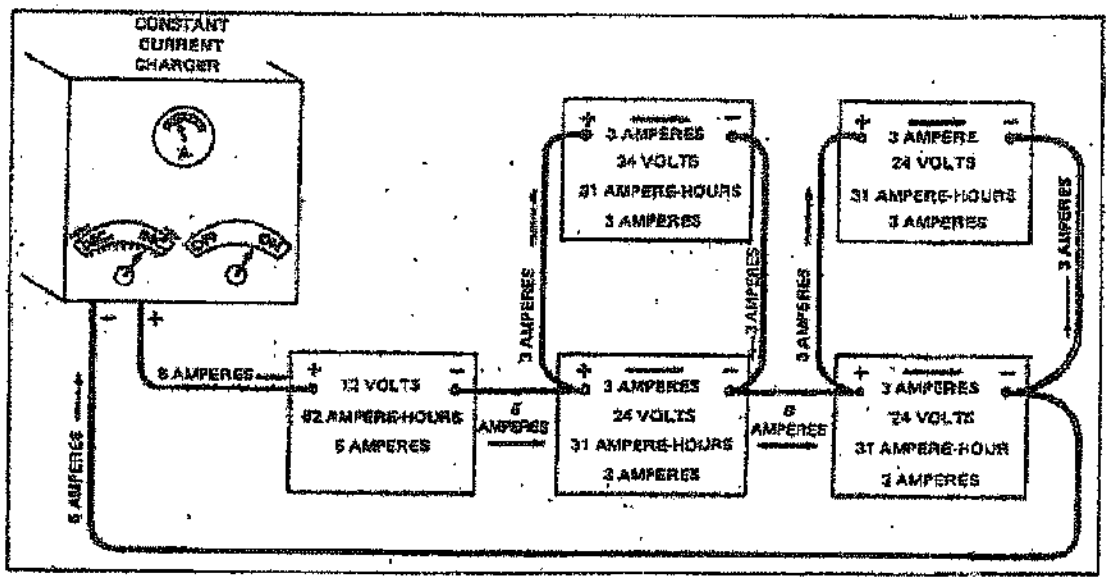
<u>หมายเหตุ</u>

แบตเตอรี่ที่ใช้งานกับอากาศยาน ห้ามนำมาทำการประจุในลักษณะต่อขนานกัน เพราะถ้านำแบตเตอรี่ที่มีซัลเฟตมาก มาต่อกับแบตเตอรี่ที่มีสภาพดี แบตเตอรี่ที่มีสภาพดีจะเกิดการประจุกิน ทำให้แบตเตอรี่นั้นชำรุดได้

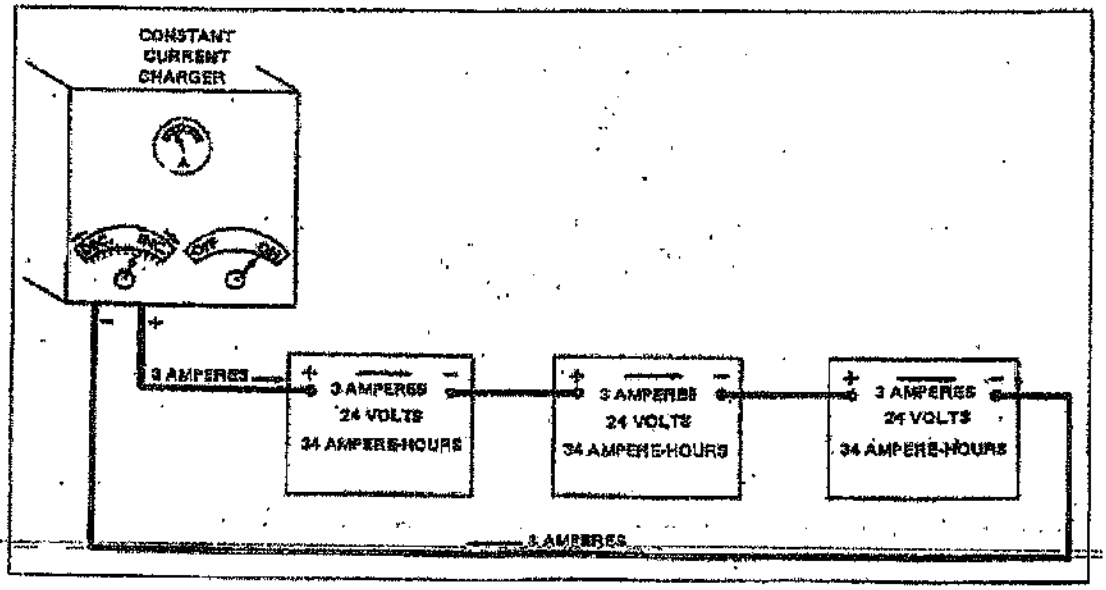
2.12.3.3 จำนวนแบตเตอรี่ที่จะทำการประจุในแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องประจุกระแสคงที่ ที่ใช้ โดยทั่วไปจะประจุครั้งละ 1 – 2 วงจรประจุ ตามรูปที่ 11 และ 12 จะประจุได้ถึง 36 เซลล์ต่อครั้ง ที่อัตราการประจุ 6 แอมแปร์

<u>ข้อควรระวัง</u>

การประจุด้วยอัตราการประจุที่สูงกว่า C/10 จะทำให้เกิดก๊าซมาก และเกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์ ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดอย่างถาวรได้



รูปที่ 11 Circuit for Constant Current Charging Two Sizes of Batteries.



รูปที่ 12 Circuit for Constant Current Charging Similar Rated Sizes of Batteries.

2.12.4 สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด การประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่จะมีข้อได้เปรียบกว่าการประจุด้วยวิธีกระแสคงที่อยู่หลายประการ ดังต่อไปนี้

2.12.4.1 ทำการประจุแบตเตอรี่พร้อมกันได้ครั้งละจำนวนมาก

2.12.4.2 สามารถทำการประจุในเวลาที่สั้นๆได้

2.12.4.3 อันตรายจากการละเหยของก๊าซมีน้อยกว่า

2.12.4.4 แบตเตอรี่ที่มีแรงดันเท่ากันแม้จะมีค่าความจุแตกต่างกัน สามารถทำการต่อขนานเข้ากับเครื่องประจุได้โดยตรง เพื่อทำการประจุพร้อมกันได้

2.12.4.5 ขณะทำการประจุแบตเตอรี่สามารถเอาบางลูกออกและต่อบางลูกเพิ่มเข้าได้

สำหรับการประจุด้วยวิธีกระแสคงที่มีข้อดีคือ สามารถกำหนดกระแส และเวลาในการประจุแบตเตอรี่ตามจำนวนแอมแปร์-ชั่วโมงของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้องตามที่คู่มือกำหนด การประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดด้วยวิธีกระแสคงที่นี้ เป็นวิธีเดียวที่จะสามารถอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาได้อย่างถูกต้องแน่นอน

2.12.5 เครื่องประจุแบตเตอรี่ (Charge Equipment.) เครื่องประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีอยู่มากแต่จัดเป็นแบบใหญ่ได้ 3 แบบได้แก่

2.12.5.1 เครื่องประจุแรงดันคงที่แบบมอเตอร์ เจนเนอเรเตอร์ (Motor generator sets for constant potential charging.)

2.12.5.2 เครื่องประจุกระแสคงที่ (constant current chargers.)

2.12.5.3 เครื่องประจุแบบอัตโนมัติและไม่อัตโนมัติและชุดจ่ายประจุ (Automatic and nonautomatic chargers and discharge unit.)

2.12.6 เครื่องประจุแบบไม่อัตโนมัติและชุดจ่ายประจุ (Nonautomatic Charger / Discharge Equipment.) ได้ถูกออกแบบให้ทำการประจุ และจ่ายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดโดยใช้เจ้าหน้าที่ควบคุม จำนวนครั้งในการจ่ายประจุจะขึ้นอยู่กับการทดสอบประจุของแบตเตอรี่ภายหลังการประจุ

2.12.7 เครื่องทดสอบประจุ (Capacity Testing Equipment.) เครื่องทดสอบประจุอย่างง่ายจะประกอบด้วย เครื่องวัดแอมมิเตอร์ , เครื่องวัดโวลต์มิเตอร์ , ตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อใช้เป็นภาระกรรม และสวิทช์สำหรับควบคุม นำอุปกรณ์ดังกล่าวมาต่อตามวงจรในรูปที่ 14 ก็จะสามารถใช้ทดสอบประจุของแบตเตอรี่ได้ เมื่อนำแบตเตอรี่มาต่อแล้วต้องตั้งตัวต้านทานให้ได้ค่าที่เหมาะสม เพราะการทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบใช้เจ้าหน้าที่ควบคุม ดังนั้นจึงต้องคอยตรวจสอบแรงดัน และกระแสของแบตเตอรี่ จากเครื่องวัดโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ตลอดเวลา

2.12.8 เครื่องทดสอบประจุอัตโนมัติ (Automatic Capacity Tester.) ในชุดสำหรับการจ่ายประจุจะสามารถทำการทดสอบประจุโดยอัตโนมัติให้กับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ ด้วยอัตราการจ่ายประจุได้สูงถึง 60 แอมแปร์

2.12.9 ขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charge Procedures.) ขั้นตอนในการประจุ VLAB จะได้กล่าวถึงต่อไป สำหรับแบตเตอรี่ใหม่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 2.4

2.12.9.1 ตามสถานะภาพการประจุ (Determining State-of-charge.) วิธีที่ดีที่สุดที่ใช้ประจุตามสถานะภาพการประจุของ VLAB คือการวัดค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์แล้วปรับแก้ตามตารางแก้ไขความคลาดเคลื่อน อย่างไรก็ตามการอ่านค่าความถ่วงจำเพาะนี้อาจมีการผิดพลาดได้ ดังนั้นหากพบว่าบางเซลล์ของแบตเตอรี่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1.240 ต้องทำการประจุแบตเตอรี่ใหม่

2.12.9.2 สถานะภาพการประจุของแบตเตอรี่ ที่ได้จากการอ่านค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์แล้วปรับแก้ตามตารางแก้ไขความคลาดเคลื่อน จะเป็นไปตามตารางที่แสดงด้านล่าง

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	สถานะภาพการประจุ (Charge Remaining)
1.275 ถึง 1.300	100.0 %
1.240	66.0 %
1.200	33.0 %
1.150	0.0 %

ตาราง แสดงสถานะภาพการประจุ ตามค่าความถ่วงจำเพาะ

2.12.10 การเตรียมแบตเตอรี่ที่จะทำการประจุ (Preparing Battery for Charging.) แบตเตอรี่ที่เข้ารับการบริการก่อนทำการประจุจะต้องตระเตรียม ดังนี้

2.12.10.1 เมื่อปิดฝาปิดเซลล์เรียบร้อยแล้ว ให้ทำความสะอาดด้านนอก , ด้านบนและขั้วต่อไฟของแบตเตอรี่ให้สะอาด

2.12.10.2 เปิดฝาปิดเซลล์ตรวจสภาพภายในของแบตเตอรี่ ถ้าน้ำยาของเซลล์ใดต่ำให้เติมน้ำกลั่นให้ได้ตามข้อกำหนดของแบตเตอรี่ หรือถ้าไม่ระบุให้สูงจากแผ่นธาตุ 3/8 นิ้ว

2.12.10.3 ถ้าต้องมีการปรับระดับน้ำยาต้องตรวจแรงดันของแบตเตอรี่ในสภาพวงจรเปิดก่อน ถ้าวัดได้สูงกว่า 22 โวลต์ แต่ระดับน้ำยาต่ำให้ปรับระดับน้ำยา แต่ถ้าวัดได้ต่ำกว่า 22 โวลต์ และระดับน้ำยาต่ำ อย่าเติมน้ำจนกว่าจะทำการประจุแล้ว

2.12.10.4 ขณะทำการประจุให้เปิดฝาปิดเซลล์แล้ววางปิดไว้ เพื่อป้องกันการเดือดของน้ำยา และป้องกันสิ่งแปลกปลอมตกลงในน้ำยา

คำเตือน

เจ้าหน้าที่ต้องใช้ความระมัดระวังป้องกันการเกิดประกายไฟในระหว่างการต่อหรือการถอดสายไฟของเครื่องประจุแบตเตอรี่กับแบตเตอรี่ ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขณะทำการประจุอาจจุดระเบิดได้ ดังนั้นทั้งก่อนต่อและถอดสายต้องปิดเครื่องประจุให้เรียบร้อยก่อนทุกครั้ง

2.12.10.5 นำแบตเตอรี่ขึ้นตั้งในตำแหน่งพร้อมทำการประจุ เตรียมตารางที่ใช้ในการบันทึกขณะทำการประจุ หรือขณะทดสอบประจุ

2.12.11 ขั้นตอนการประจุด้วยกระแสคงที่ (Constant Current Charging Procedure.) การตั้งอัตราการประจุในช่วงเริ่มทำการประจุและก่อนประจุเต็มสมบูรณ์ให้ถือตามคู่มือของแบตเตอรี่ที่ทำการประจุ อัตราการประจุเริ่มต้นจะใช้ตั้งแต่เริ่มทำการประจุจนกว่าจะไม่มีก๊าซเกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงจะใช้อัตราสิ้นสุด

การประจุ ในการประจุด้วยกระแสคงที่นี้บางครั้งอาจทำการประจุด้วยอัตราต่ำแต่ใช้เวลาในการประจุที่นานขึ้น

2.12.11.1 เวลาที่ใช้ในการประจุ (Time Required for Charging.)

ข้อควรระวัง

เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายอันอาจเกิดขึ้นในในขณะทำการประจุ เมื่อมีแนวโน้มว่าจะเกิดความร้อนเกิน สำหรับ VLAB อุณหภูมิของน้ำยาต้องไม่สูงเกิน 115° F และ SLAB อุณหภูมิภายนอกแบตเตอรี่ต้องไม่สูงเกิน 105° F อุณหภูมิที่สูงเกินเกณฑ์จะทำให้แบตเตอรี่ชำรุด

หมายเหตุ

ระยะเวลาที่ใช้ในการประจุจนกว่าแบตเตอรี่เต็มขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่จำนวนของแบตเตอรี่ที่ทำการประจุตั้งแต่เริ่ม , อัตราการประจุ และอุณหภูมิ เนื่องจากประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะไม่ถึง 100 % ดังนั้นแบตเตอรี่ที่ทำการจ่ายประจุจนหมดแล้วจะทำการประจุ 125 % ของความจุของแบตเตอรี่

2.12.11.2 สำหรับแบตเตอรี่ความจุ 31.0 แอมแปร์-ชั่วโมง แบตเตอรี่อยู่ในสภาพจ่ายประจุหมด (ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยา 1.130) ขั้นตอนการประจุจะทำการประจุด้วยอัตราเริ่มต้น 6.2 แอมแปร์ และอัตราสิ้นสุดการประจุ 3.1 แอมแปร์ แบตเตอรี่จะปราศจากก๊าซในเวลา 5 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนอัตราการประจุเป็น 3.1 แอมแปร์ประจุต่ออีก 2.5 ชั่วโมงจะได้กำลังงานที่ประจุ 38.75 แอมแปร์-ชั่วโมงหรือ 125 % ของค่าความจุ

2.12.11.3 การประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสคงที่จะต้องเริ่มตั้งแต่ทำการบันทึกข้อมูลต่างๆดังต่อไปนี้

ก. อุณหภูมิของน้ำยาสำหรับ VLAB และอุณหภูมิภายนอกเรือนแบตเตอรี่สำหรับ SLAB

ข. แรงดันของแบตเตอรี่ในขณะวงจรเปิด

ค. ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาในแต่ละเซลล์ ถ้าระดับน้ำยาสูงพอที่จะทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะได้

2.12.11.4 สำหรับ VLAB เมื่อบันทึกทุกอย่างเรียบร้อยให้ทำการปรับระดับของน้ำยาโดยการเติมน้ำกลั่น

2.12.11.4 ตรวจสอบการต่อแบตเตอรี่กับเครื่องประจุกระแสคงที่ ตามรูปที่ 12

หมายเหตุ

ขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกแรกจะต่ออยู่กับขั้วบวกของเครื่องประจุ และขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกสุดท้ายจะต่ออยู่กับขั้วลบของเครื่องประจุ แบตเตอรี่ทุกลูกจะต่อกันอยู่อย่างอนุกรม

2.12.11.5 ON สวิทช์เพื่อปิดวงจรและตั้งอัตราการประจุที่อัตราเริ่มต้น ถ้ามีแบตเตอรี่ต่างขนาดกัน ต้องตั้งอัตราการประจุที่จะไม่ทำให้แบตเตอรี่ที่เล็กสุดเกิดการประจุเกิน

ข้อควรระวัง

ควรระมัดระวังอย่าให้แบตเตอรี่ร้อนเกินเกณฑ์เพราะจะทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง

2.12.11.6 อ่านและบันทึกเวลาที่ประจุ , แรงดันของแบตเตอรี่ , ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาของเซลล์ที่อยู่ติดกับขั้วบวก (เซลล์หมายเลข 1) และอุณหภูมิของน้ำยาในเซลล์ถัดไป (เซลล์หมายเลข 2) บันทึกกระแสที่ใช้ประจุต้องแน่ใจว่ายังอยู่ที่อัตราเริ่มต้น เซลล์หมายเลข 1 และ 2 จะแสดงผลการประจุและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

2.12.11.7 อุณหภูมิน้ำยาของแบตเตอรี่ต้องไม่สูงเกิน 115 ° F การจะรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ต่ำกว่า 115° F ทำได้โดยลดอัตราการประจุ หรือหยุดทำการประจุชั่วขณะ ถ้าจำเป็น

2.12.11.8 ลดอัตราการประจุจากอัตราเริ่มต้นเป็นอัตราสิ้นสุดเมื่อแบตเตอรี่มีการระเหยของก๊าซน้อยลง (เว้นแต่ได้มีการลดอัตราการประจุเนื่องจากความร้อนสูงเกินเกณฑ์มาก่อน)

2.12.11.9 อ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาทุกเซลล์และแรงดันของแบตเตอรี่ แล้วทำการประจุต่อจนกว่าจะอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาจากเซลล์ที่อยู่ติดกัน 3 เซลล์ เท่ากันตลอดระยะเวลา 30 นาที แสดงว่าแบตเตอรี่มีประจุเต็ม ให้ถือเซลล์ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุดเป็นเซลล์นำ

2.12.12 การประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่ (Constant Potential Charging.) แรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ 24 โวลต์ คือ 28.5 โวลต์ หรือใช้เครื่องประจุแรงดันคงที่อัตโนมัติซึ่งเครื่องจะตั้งแรงดันประจุเองกระแสประจุจะสูงเมื่อเริ่มทำการประจุและจะลดลงจนถึง 1 – 2 แอมแปร์ ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 24 โวลต์ , 31 แอมแปร์-ชั่วโมง แบตเตอรี่จะต้องได้รับการประจุจนกว่ากระแสประจุลดต่ำลงเหลือ 1 แอมแปร์ หรือเมื่อค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาของเซลล์ 3 เซลล์ที่อยู่ติดกัน มีค่าเท่ากันตลอด 30 นาที แสดงว่าการประจุเต็ม

หมายเหตุ

ต้องแน่ใจว่าตั้งเครื่องประจุอัตโนมัติไว้ที่ 28.5 โวลต์ การประจุด้วยแรงดันคงที่บางครั้งจะช่วยทำให้น้ำยาผสมกันได้ดีขึ้น

2.13 ขั้นตอนการตรวจสอบความจุแบตเตอรี่ (Battery Capacity – test Procedure.)

2.13.1 การทำการตรวจสอบความจุแบตเตอรี่เป็นขั้นตอนที่จะทำให้ทราบสภาพของแบตเตอรี่นั้นว่ามีค่าความจุได้ตามที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดหรือไม่

หมายเหตุ

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาของแบตเตอรี่ ไม่สามารถบอกได้ว่าแบตเตอรี่นั้นมีความจุได้ตามที่กำหนดไว้หรือไม่ เพราะองค์ประกอบอื่น ๆ เช่นอายุของแบตเตอรี่ จะมีผลทำให้การเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ลดลง

2.13.2 ความถี่ของการตรวจสอบความจุ (Frequency of Capacity Tests.) แบตเตอรี่ที่ใช้งานกับอากาศยานนั้น แบตเตอรี่ใหม่หลังทำการประจุครั้งแรกแล้วจะต้องทำการตรวจสอบความจุ การตรวจสอบความจุครั้งต่อไปสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานบนอากาศยาน จะพิจารณาจากความปลอดภัยในการบิน

เป็นสำคัญ ซึ่งการตรวจสอบความจุจะถูกกำหนดไว้ตารางการบริการของแบตเตอรี่แต่ละแบบ นอกจากนี้จะต้องทำการตรวจสอบความจุเมื่อแบตเตอรี่มีลักษณะ ดังต่อไปนี้

2.13.2.1 แบตเตอรี่ไม่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ภายใต้ภารกรรมต่าง ๆ ได้

2.13.2.2 แบตเตอรี่สูญเสียน้ำมากเกินเกณฑ์

2.13.2.3 แบตเตอรี่ร้อนเกินเกณฑ์

2.13.2.4 แบตเตอรี่ที่จะต้องนำไปเก็บ

2.13.3 การตรวจสอบความจุ VLAB (Vented Lead-Acid Battery Capacity Tests.) แบตเตอรี่อากาศยานที่ใช้งานกับบริภัณฑ์ภาคพื้น จะทำการตรวจสอบความจุภายหลังการประจุครั้งแรกเช่นเดียวกับแบตเตอรี่ที่ใช้กับอากาศยาน ส่วนแบตเตอรี่ของยวดยานที่ถ้านำมาใช้งานกับบริภัณฑ์ภาคพื้น (AGE) นอกจากจะต้องทำการตรวจสอบความจุแล้ว จะต้องทำการทดสอบการจ่ายประจุด้วยอัตราสูง (High – Rate Discharge Test) ด้วย แม้ว่าแบตเตอรี่ที่ใช้กับบริภัณฑ์ภาคพื้นจะไม่กำหนดให้มีการตรวจสอบความจุตามระยะเวลา แต่หากภารกิจลดลงแบตเตอรี่ไม่ค่อยได้ใช้งาน อาจเกิดการชำรุดได้ ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดตารางการตรวจสอบความจุตามความจำเป็น ดังนั้นสรุปได้ว่าแบตเตอรี่ที่ใช้งานทั้งหมดจะต้องทำการทดสอบความจุ

2.13.3.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ไม่ได้ใช้งานแต่อยู่ระหว่างการให้การบริการ และต้องเก็บไว้เกินกว่า 30 วัน จะต้องทำการทดสอบความจุเพื่อยืนยันสภาพของแบตเตอรี่ ถ้าการทดสอบประจุผ่านตามข้อกำหนด แบตเตอรี่ต้องทำการประจุเต็มสมบูรณ์ แล้วจึงนำเข้าเก็บในชั้นสำหรับเก็บ ปกติแบตเตอรี่ตะกั่ว–กรดที่เก็บอยู่ในชั้นเก็บจะต้องทำการตรวจทุกๆเดือน และต้องรับการประจุใหม่เท่าที่จำเป็น

2.13.3.2 การกำหนดอัตราแอมแปร์-ชั่วโมง ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้กับอากาศยานแบบใหม่จะกำหนดจากอัตราพื้นฐานของการจ่ายประจุในหนึ่งชั่วโมง เช่น การทดสอบประจุของแบตเตอรี่ขนาด 31 แอมแปร์-ชั่วโมง จะให้แบตเตอรี่จ่ายประจุจำนวน 31 แอมแปร์ จนกว่าแรงดันจะตกลงถึงแรงดันสิ้นสุด (Terminal Voltage drops.) คือ 18 โวลต์ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการจ่ายประจุจนถึงจุดสิ้นสุดนี้ไม่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง จึงจะเป็นการแสดงว่าแบตเตอรี่นั้นมีความจุ 31 แอมแปร์-ชั่วโมง ส่วนแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้กับยวดยานต่างๆจะกำหนดด้วยอัตรา CCA (Cold Cranking Amperes) CCA คืออัตราต่อชั่วโมง (Hour rate) (เช่น แบตเตอรี่ 30 A/H 10 Hour rate การทดสอบประจุจะกระทำโดยให้แบตเตอรี่จ่ายประจุจำนวน 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยแรงดันต้องไม่ต่ำกว่า 18 โวลต์) ซึ่งการทดสอบประจุในอัตรานี้ไม่นิยมใช้ในหน่วยสนาม

2.13.3.3 เกณฑ์ที่ใช้กำหนดว่าการทดสอบประจุผ่าน (Criteria for Passing Capacity Test) จุดสิ้นสุดแรงดันของแบตเตอรี่ 24 โวลต์ที่ทำการจ่ายประจุในเวลา 1 ชั่วโมงต้องไม่ต่ำกว่า 18 โวลต์ (แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ไม่ต่ำกว่า 9 โวลต์) ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่ตกลงต่ำกว่านี้ก่อนที่การจ่ายประจุจะถึง 1 ชั่วโมง แสดงว่าค่าความจุของแบตเตอรี่นั้นไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด การทดสอบความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้

กับยวดยาน โดยให้แบตเตอรี่จ่ายประจุด้วยอัตราสูง (High-rate Discharge) จะเริ่มกระทำที่อุณหภูมิ 70° F หรือ สูงกว่า ½ CCR (Cold Cranking Rate) เป็นเวลา 15 วินาที แรงดันของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ต้องไม่ต่ำกว่า 9.6 โวลต์ (แบตเตอรี่ 6 โวลต์ ต้องไม่ต่ำกว่า 4.8 โวลต์) สำหรับแบตเตอรี่ที่จะนำไปใช้งาน

2.13.3.4 ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ SLABs ที่ใช้ข้อกำหนดทางการทหารจะได้รับการยกเว้นถ้าแบตเตอรี่สามารถจ่ายประจุได้ถึง 90 % ของค่าความจุที่กำหนดไว้ให้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานกับอากาศยานได้ 90 % ของค่าความจุคือสามารถทำการจ่ายประจุที่อัตรา 1 ชั่วโมงได้ถึง 54 นาที หมายถึงแรงดันของแบตเตอรี่ต้องไม่ตกถึงแรงดันสิ้นสุดคือไม่ต่ำกว่า 18 โวลท์ (สำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์) ก่อนการจ่ายประจุจะถึง 54 นาที

2.13.3.5 การทดสอบประจุ หรือการทดสอบด้วยการจ่ายประจุด้วยอัตราสูง สามารถดำเนินการได้ในห้องที่มีอุณหภูมิระหว่าง 70° F ถึง 85° F

2.13.4 ขั้นตอนการทดสอบประจุด้วยเครื่องทดสอบธรรมดา (Nonautomatic Capacity Testing Equipment Procedure.) การทดสอบประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยเครื่องทดสอบที่ต้องควบคุมการทำงานเองนั้นมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

2.13.4.1 ทำการประจุ VLAB จนถึง 125 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่นั้น ตัวอย่างเช่น สำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์ 31 แอมแปร์-ชั่วโมง ซึ่งจ่ายประจุหมดแล้ว ให้ทำการประจุด้วยกระแสคงที่ แบตเตอรี่ที่จะทำการทดสอบประจุได้ต้องประจุด้วยกระแสคงที่ 6.2 แอมแปร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วประจุด้วยกระแส 3.1 แอมแปร์อีก 2.5 ชั่วโมง การประจุเช่นนี้จะได้ความจุ 38.75 แอมแปร์-ชั่วโมง หรือประมาณ 125 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่นั้น

2.13.4.2 ตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาแต่ละเซลล์ภายหลังทำการประจุแล้ว ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาจะอยู่ระหว่าง 1.275 ถึง 1.295 และในแต่ละเซลล์จะต่างกัน ± 0.010 ถ้าต้องเติมน้ำให้สามารถกระทำได้

<u>หมายเหตุ</u>

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาในแบตเตอรี่จะไม่มีการปรับเปลี่ยน จะมีแต่เพียงการสูญเสียน้ำในขณะทำการประจุเท่านั้น

2.13.4.3 ปล่อยแบตเตอรี่ให้เย็นลงประมาณ 2 ถึง 3 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ข้ามคืน

2.13.4.4 ทำการบันทึกอุณหภูมิของน้ำยา , แรงดันของแบตเตอรี่ขณะวงจรเปิด , ค่าความต่างของความถ่วงจำเพาะของน้ำยาแต่ละเซลล์ และทำการบันทึกในแบบฟอร์มที่จัดทำในลักษณะแบบฟอร์มตัวอย่างในรูป 13 Battery Test Form Recommended for Recording Charging and Capacity Test Data.

LEAD-ACID BATTERY TEST RECORD - DATE _____

LAST DATE BATTERY SERVICED_____
BASE_____SQUADRON OR ACTIVITY BATTERY FROM_____
AIRCRAFT BUNO. _____MFG OF BATTERY_____ TYPE_____SER NO._____

GENERAL CHECKLIST:
1. EXTERNALLY OPEN AND CORROSION FREE _____ 4. ELECTROLYTE LEVELS OK_____
2. CONDITION OF OUTPUT CONNECTOR OK_____ 5. LEAKAGE TEST OK AFTER CHARGE_____
3. CONDITION OF VENT CAPS OK_____

CHARGING RECORD

1. PRECHARGE OPEN-CIRCUIT VOLTAGE _____ _____(SECOND CHARGE)*
2. PRECHARGE TEMPERATURE (CELL No. 2) _____ °F _____(SECOND CHARGE)*
3. PRECHARGE SPECIFIC GRAVITY OF CELLS FROM POSITIVE END OF BATTERY:

CELL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sp Gr.												

Sp. Gr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

4. CHARGING VOLTAGE_____ (CONSTANT POTENTIAL METHOD);
END OF CHARGE CURRENT (AMPERES)_____
5. CHARGING CURRENT (CONSTANT CURRENT METHOD); START_____AMPERES;
FINISH_____AMPERES
6. CHARGING TIME: START RATE, FROM_____AMPS TO_____VOLTS;
FINISH RATE, FROM_____AMPS TO_____VOLTS.
7. TOTAL AMPERE-HOUR INPUT (IF CONSTANT CURRENT METHOD USED)_____
8. RECORD FOR CHARGE MONITORING:

TIME OF READING	CURRENT (AMPS)	BATTERY VOLTAGE	Sp. Gr. CELL # 1	TEMP CELL # 2	PILOT CELL CELL #	Sp. Gr.

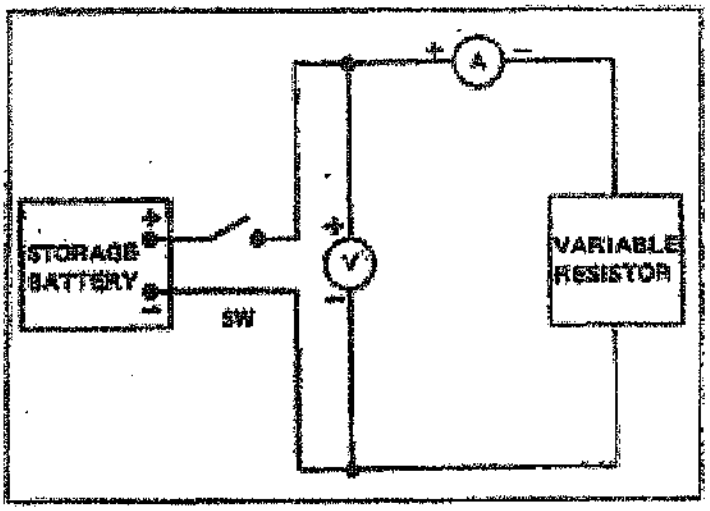
CAPACITY TEST RECORD

1. DISCHARGE RATE IN AMPERES_____; CUTOFF POTENTIAL _____VOLTS AT END OF ____HRS.
2. PASSED CAPACITY TEST: YES_____; NO_____
3. CAPACITY DISCHARGED AT END OF CUTOFF TIME IN AMPERE-HOURS _____

REMARKS:_____
* FOR USE WHEN RECHARGING AFTER CAPACITY TEST

รูปที่ 13 Battery Test Form Recommended for Recording Charging and Capacity Test Data.

2.13.4.5 ต่อแบตเตอรี่กับเครื่องที่ใช้คลายประจุ หรือกับวงจรที่ประกอบด้วย ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้และมีความเหมาะสมในการทำงาน , เครื่องวัดแอมป์มิเตอร์ , เครื่องวัดโวลต์มิเตอร์ และสวิทช์ควบคุม ตามรูป 14 ให้สวิทช์อยู่ในตำแหน่งเปิดวงจร (OFF)



รูปที่ 14 Circuit Connection for Capacity Test.

2.13.4.6 ตั้งตัวต้านทานไว้ในตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานสูงสุด และตั้ง โวลต์มิเตอร์ และแอมป์มิเตอร์ไว้ในย่านการวัดที่เหมาะสม

2.13.4.7 ON สวิทช์เพื่อปิดวงจรคลายประจุ และปรับค่าความต้านทานให้ได้กระแสจ่ายที่อัตราการจ่ายประจุ 1 ชั่วโมง และปล่อยให้แบตเตอรี่จ่ายประจุด้วยอัตรานี้

2.13.4.8 สังเกตกระแสที่แอมป์มิเตอร์ ,แรงดันสิ้นสุดที่โวลต์มิเตอร์ และอุณหภูมิของน้ำยาทุกๆ 15 นาที ในช่วง 1 ชั่วโมงแรก และทุก 5 หรือ 10 นาที ในช่วงต่อจากนั้น

2.13.4.9 บันทึกเวลาที่ถึงแรงดันตัดกระแส 18 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์ , 9 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และ 4.5 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 6 โวลต์ และพิจารณาว่าแบตเตอรี่ผ่านการทดสอบประจุ หรือต้องการการทดสอบประจุซ้ำ ตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้ว

ถ้าแบตเตอรี่ไม่ผ่านตามเกณฑ์การทดสอบประจุที่กำหนดไว้ จะต้องทำการประจุและทำการทดสอบประจุใหม่ เพราะมีบอยครั้งสำหรับแบตเตอรี่ที่มีซัลเฟตเกาะอยู่ภายในจะไม่ผ่านการทดสอบประจุในครั้งแรก แต่จะผ่านในการทดสอบประจุในครั้งต่อมา

2.13.4.10 ป้ายสำหรับแสดงวัดทดสอบประจุบนเรือนแบตเตอรี่ (Labeling Date of Capacity Test on Battery.) วันที่ทำการทดสอบประจุ (สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับอากาศยาน) หรือวันที่ทำการจ่ายประจุด้วยอัตราสูง(สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับยวดยาน) จะต้องถูกจดไว้บนแบตเตอรี่ และการทดสอบประจุในครั้งต่อๆมาจะถูกบันทึกไว้ในบรรทัดถัดมาตามลำดับ

3. <u>แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว – กรดแบบผนึก (Seal Lead – Acid Battery. = SLAB)</u>

3.1. <u>กล่าวทั่วไป (Introduction.)</u>

SLAB ที่ใช้งานกับอากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้น (AGE) เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ได้รับการพัฒนาให้มีความคงทน และสะดวกกับการบริการ มีลักษณะการออกแบบ และการซ่อมบำรุง ดังนี้

3.2 <u>การออกแบบ/รูปร่าง (Design / Construction.)</u>

SLAB เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ได้รับการพัฒนาในช่วงไม่นานมานี้ SLABประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แบบไม่มีช่องระบาย ซึ่งถูกออกแบบเป็นแบบท่อกลมหรือท่อสามเหลี่ยม มีจำนวน 12 เซลล์ต่อไว้แบบอนุกรม สำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์ แต่ละเซลล์จะถูกผนึกแน่นเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำกรด , ไอระเหยของกรด หรือ น้ำ แต่ละเซลล์มีลิ้นความดัน สำหรับควบคุมความดันของแต่ละเซลล์ให้อยู่ระหว่าง 2 ถึง 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สำหรับช่วยในการรวมตัวของ O_2 ภายในเซลล์ SLAB ได้ถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานโดยไม่ต้องการการซ่อมบำรุง คือ ไม่ต้องเติมน้ำยา หรือการซ่อมอื่น อย่างไรก็ตาม SLAB ยังคงต้องการการประจุ และการตรวจสอบความจุตามระยะเวลาที่เหมาะสม แต่ในการซ่อมบำรุงโดยการถอดประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ไม่สามารถทำได้

3.3 <u>เคมี (Chemistry.)</u>

แม้ว่า SLAB จะถูกออกแบบและสร้างให้แตกต่างออกไปก็ตาม แต่ปฏิกิริยาทางเคมียังคงทำงานเช่นเดียวกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดทั่วไป หลักการทำงานยังเป็นลักษณะเดียวกัน

3.4 <u>ไฟฟ้า (Electrical.)</u>

<u>ข้อควรระวัง</u>

อย่าทำการประจุเกิน(Overcharge) ยกเว้นจะมีข้อกำหนดระบุไว้ในคู่มือเฉพาะแบบ เพราะการประจุเกินอาจทำให้ความร้อนสูงเกินเกณฑ์กำหนด เป็นเหตุให้ SLAB ชำรุดได้

3.4.1 SLABs ใหม่จากโรงงานผลิตอาจอยู่ในสภาพประจุต่ำ (Undercharged) เก้าหากปล่อยแบตเตอรี่ในสภาพนี้มีการจ่ายประจุนานเกินกว่า 24 ชั่วโมง อาจมีผลทำให้แบตเตอรี่นั้นเกิดการชำรุดอย่างถาวรได้ (เป็นเหตุผลที่เมื่อรับแบตเตอรี่ใหม่แม้จะมีแรงดันสูงตามเกณฑ์กำหนด แต่จะต้องทำการประจุตามที่ระบุไว้ในคู่มือก่อนที่จะนำไปใช้งาน) แบตเตอรี่ที่มีสภาพดี แรงดันไฟฟ้าขณะวงจรเปิด (Open Circuit) ต้องไม่ต่ำกว่า 25 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ที่ถอดจากอากาศยาน หรือภายหลังการทดสอบความจุ มีแรงดันไฟฟ้าขณะวงจรเปิด (Open Circuit) ต่ำกว่า 24 โวลต์ แบตเตอรี่นั้นจะต้องได้รับการประจุโดยทันที

<u>หมายเหตุ</u>

การประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในสภาพนี้หากคู่มือเฉพาะแบบมิได้ระบุเป็นอย่างอื่นให้ใช้อัตราเท่าความจุของแบตเตอรี่นั้น (C Rate) อย่างไรก็ตามจำเป็นจะต้องคำนึงถึงแรงดัน และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในขณะที่ทำการประจุนั้นด้วย

3.4.2 การประจุด้วยแรงดันคงที่ (Constant Potential Charging.) ถึงแม้ว่า SLAB จะได้รับการประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่ ด้วยแรงดัน 28.25 โวลต์ นาน 4 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งกระแสในการประจุต่ำกว่า C / 100 มิลลิแอมแปร์แล้วก็ตาม แต่แบตเตอรี่นั้นยังคงต้องการการประจุด้วยวิธีกระแสคงที่ (Constant Current Charging.) ดังนั้นการประจุแบตเตอรี่ที่โรงบริการแบตเตอรี่จึงถูกกำหนดให้ใช้วิธีกระแสคงที่ และเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็มแล้วจะต้องทำการประจุต่อเนื่อง (Float Charge) ต่อไปอีก ซึ่งเป็นการประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่ ด้วยแรงดัน 28.25 โวลต์ จนกระทั่งกระแสในการประจุจะต่ำกว่า C / 100 มิลลิแอมแปร์

3.4.3 การทดสอบความจุ (Capacity Test.) SLAB ภายหลังจากที่ทำการประจุครั้งแรกแล้วจะต้องทำการทดสอบความจุและทำการบันทึกไว้ และให้ทำการทดสอบความจุและบันทึกไว้ทุกครั้งหลังจากนำแบตเตอรี่นั้นไปใช้งานบนอากาศยานแล้ว มีข้อขัดข้องจนต้องส่งเข้ารับการบริการในโรงบริการแบตเตอรี่

3.4.4 การตรวจสอบวงจรทำความร้อน (ถ้ามี) (Test the Heater Bracket Circuit.) ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าสวิทช์ทำงานตามอุณหภูมิ (Thermo switches) ไม่ติดอยู่ในตำแหน่งวงจรปิด ถ้าแบตเตอรี่มีระบบทำความร้อนใช้งานอยู่จะมีแผงทางไฟ (Wiring Diagram) แสดงอยู่ที่ด้านข้างของแบตเตอรี่นั้น การทดสอบให้กระทำโดยใช้ไฟ 115 VAC 400 Hz ต่อผ่าน แอมมิเตอร์ เข้ากับวงจรระบบทำความร้อน ถ้าระบบปกติ สวิทช์ควบคุมจะทำงานตัดต่อตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยสังเกตการณ์ทำงานจากแอมมิเตอร์ที่จะแสดงกระแสไหลในวงจรเมื่อวงจรปิด และจะหยุดไหลเมื่อวงจรเปิด

3.4.5 SLABs ชนิดที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานในกิจการทางทหาร (Military Type) จะสามารถจ่ายประจุได้ 100 % ของค่าความจุที่แสดงไว้ จึงเป็นที่ยอมรับให้ติดตั้งใช้งานบนอากาศยาน ส่วนชนิดที่ออกแบบมาใช้งานกับบริภัณฑ์ภาคพื้นนั้นจะจ่ายประจุได้เพียง 90 % ของค่าความจุที่แสดงไว้เท่านั้น ดังนั้นในการจัดหาแบตเตอรี่เพื่อใช้งานจึงต้องคำนึงถึงด้วยว่านำไปใช้งานอะไร

3.5 <u>การเก็บรักษา (Storage.)</u>

3.5.1 SLABs สามารถเก็บไว้ตามสภาพได้เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดทั่วๆไป

<u>หมายเหตุ</u>

SLABs ไม่อนุญาตให้อยู่ในสภาพการขนส่งโดยไม่ได้รับการบริการเป็นเวลานานเกินกว่า 1 ปี

3.5.2 หลังจากได้รับ SLABs แล้วให้ตรวจสภาพทั่วๆไปของแบตเตอรี่ โดยตรวจสภาพการชำรุด รอยแตกร้าว และสถานะภาพการประจุ (State of Charge) แต่เนื่องจากไม่สามารถตรวจจากค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาได้ จึงจำเป็นต้องใช้วัดแรงดันของแบตเตอรี่ในสภาพวงจรเปิดแทน การวัดต้องใช้เครื่องวัดที่มีความไวสูง (High – Input Impedance) ได้แก่เครื่องวัดดิจิตอล (Digital Multi- meter) แรงดันของ SLAB ในขณะวงจรเปิด (Open Circuit Voltage = OCV) ต้องไม่ต่ำกว่า 25 โวลต์ หากพบว่า SLAB มีแรงดันต่ำกว่า 25 โวลต์ จะต้องทำการประจุ และทำการทดสอบความจุก่อน ถ้าผ่านเกณฑ์จึงทำ

การประจุ แล้วจึงนำไปติดตั้งกับอากาศยาน หรือนำไปเก็บ แบตเตอรี่ที่เก็บรักษาจะต้องตรวจวัดแรงดันอยู่เสมอ ถ้าวัดแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 25 โวลต์ แสดงว่าแบตเตอรี่นั้นยังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน หากพบว่าแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ระหว่าง 24 – 25 โวลต์ จะต้องนำแบตเตอรี่นั้นไปทำ Trickle Charge หรือ Boost Charge ตามขั้นตอนดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าพบว่าแบตเตอรี่มีแรงดันต่ำกว่า 24 โวลต์ จะต้องนำแบตเตอรี่ไปทำการประจุ / ทดสอบความจุ / และทำการประจุ ตามลำดับ

3.5.3 อายุของ SLAB จะเริ่มนับจากวันที่บันทึกไว้บนเรือนแบตเตอรี่จากโรงงานผู้ผลิต ส่วนอายุการใช้งาน (Service Life) ของ SLAB ที่ใช้งานกับอากาศยานจะมีอายุ 3 ปี อายุการใช้งานนี้อาจเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่เก็บแบตเตอรี่นั้นไว้บนชั้นเก็บก่อนนำมาใช้งาน ดังนั้นจำเป็นต้องมีการบันทึกข้อมูลต่างๆในตารางบันทึกข้อมูลของแบตเตอรี่แต่ละลูกให้ถูกต้อง เพราะอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการผิดพลาดขึ้นได้

3.6 <u>การซ่อมบำรุงอย่างย่อ (Summary of Maintenance Procedures.)</u>

3.6.1 แม้ว่า SLAB จะได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องมีการซ่อมเป็นรุง นอกเสียจากแรงดันของแบตเตอรี่จะต่ำกว่า 25 โวลต์ ก็ตาม แต่ในบางครั้งถ้าแบตเตอรี่ถูกปล่อยให้อยู่ในสภาพการจ่ายประจุเกินกว่า 24 ชั่วโมงอาจทำให้แบตเตอรี่นั้นชำรุดอย่างถาวรได้ ดังนั้นทางที่ดีควรตรวจสอบแรงดันของ SLAB บ่อยๆ หากตรวจพบว่าแรงดันขณะวงจรเปิดต่ำกว่า 25 โวลต์ ต้องดำเนินการประจุทันที

3.6.2 การซ่อมบำรุง SLAB ที่สามารถทำได้ มีดังนี้

3.6.2.1 ทำความสะอาดผิวภายนอกตัวเรือนแบตเตอรี่

3.6.2.2 ทำความสะอาดขั้วต่อสายไฟ

3.6.2.3 ตรวจสอบขั้วต่อของแบตเตอรี่ หรือ Bayonet Pin ต้องมีสภาพที่สมบูรณ์และยึดแน่น

3.6.2.4 ตรวจสอบวงจรทำความร้อน (ถ้ามี)

3.6.2.5 ทำการประจุ

3.6.2.6 ทำการทดสอบความจุ

3.6.3 อัตราการจ่ายไฟ (Discharge Rate) อัตราความจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ใช้กับอากาศยาน จะคิดจากอัตราการจ่ายประจุใน 1 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 80 ± 9° F และจุดต่ำสุดของแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์ อยู่ที่ 18 โวลต์ เช่น แบตเตอรี่ 24 โวลต์ 30 แอมแปร์-ชั่วโมง จะต้องสามารถจ่ายกระแส 30 แอมแปร์ ได้เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ก่อนที่แรงดันของแบตเตอรี่จะตกลงถึง 18 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันตัดกระแส (Cutoff Voltage)

<u>ข้อควรระวัง</u>

SLAB จะไม่ทำการประจุด้วยวิธี Reflex Charge เพราะสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่ชำรุด คือการประจุด้วย Reflex Pulse Current.

3.6.4 การประจุ (Charging.) แบตเตอรี่จะต้องได้รับการประจุถ้าแรงดันของแบตเตอรี่ขณะวงจรเปิดต่ำกว่า 25 โวลต์ การประจุอาจทำการประจุด้วยวิธี กระแสคงที่ , แรงดันคงที่ หรือ วิธีอื่น (Modified Charge) แต่จะต้องมีการประจุด้วยกระแสคงที่ แล้วประจุด้วยแรงดันคงที่ในขั้น Float / Standby Mode

3.6.5 การประจุด้วยแรงดันคงที่ (ใช้อัตราการประจุตามที่แสดงไว้ของเครื่องประจุ) แบตเตอรี่จะทำการประจุด้วยแรงดัน 28.25 ± 0.5 VDC เป็นเวลา 4 ± 0.1 ชั่วโมง หรือจนกว่ากระแสประจุจะตกลงมาต่ำกว่า C/100 การประจุด้วยแรงดันคงที่นี้เมื่อเริ่มทำการประจุกระแสประจุจะสูง และจะค่อยๆลดลง การประจุจะไม่ใช้แรงดันสูงถึง 28.8 โวลต์ เพราะจะทำให้ความร้อนสูงเกินเกณฑ์ เกิดก๊าซภายในเซลล์ ทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง หรือเกิดการชำรุดภายในได้

3.6.6 การประจุด้วยเครื่องประจุ Christie Charger. SLAB จะไม่ทำการประจุด้วยวิธี Reflex Charge เพราะสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่ชำรุด คือการประจุด้วย Reflex Pulse Current.

3.6.7 การประจุด้วยกระแสคงที่ด้วยอัตราประจุ C/10 (C = 1 Hour capacity of the battery) ถ้า 1C ของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 30 แอมแปร์-ชั่วโมง ดังนั้นอัตรา C/10 จะมีค่าเท่ากับ 3 แอมแปร์ การทำการประจุด้วยอัตรา C/10 นี้จะทำการประจุจนกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นถึง 30.5 โวลต์ หรือเป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วแต่อย่างใดถึงก่อน ขณะทำการประจุต้องระวังอย่าให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงเกินเกณฑ์ (แบตเตอรี่ชนิดมีช่องระบาย (VLAB) น้ำยาต้องไม่ร้อนกว่า 115 ° F หรือร้อนจนจับไม่ได้ ส่วน SLAB อุณหภูมิภายนอกต้องไม่สูงถึง 105° F)

3.6.8 ระยะเวลาที่ทำการประจุ (Time required for Charging.) เวลาที่ใช้ในการประจุ SLAB ให้เต็มสมบูรณ์นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น สภาพการประจุของแบตเตอรี่ในขณะเริ่มทำการประจุ , อัตราการประจุและอุณหภูมิ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะไม่ถึง 100 % ดังนั้นการประจุแบตเตอรี่จะต้องใช้กำลังงานประจุที่สูงกว่าที่แบตเตอรี่จะรับ การประจุที่จะทำให้แบตเตอรี่สามารถจ่ายประจุได้สมบูรณ์ที่สุดจะอยู่ที่ประมาณ 125 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่หรือ 105 % ของค่าความจุจริง

3.6.9 การทดสอบประจุ (Capacity Testing.) การทดสอบประจุจะเป็นการตรวจสภาพของแบตเตอรี่ และความสามารถในการจ่ายประจุของแบตเตอรี่เป็น แอมแปร์-ชั่วโมง

3.6.10 การทดสอบประจุจะกระทำเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุครั้งแรก และทุกๆครั้งที่แบตเตอรี่ถูกส่งเข้ามารับการบริการที่โรงบริการแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าภายหลังการบริการแล้วแบตเตอรี่จำเป็นต้องเก็บไว้เกิน 30 วัน แบตเตอรี่จะต้องผ่านการทดสอบประจุเพื่อรักษาสภาพอายุการใช้งาน และถ้าผลการทดสอบประจุได้ตามเกณฑ์ จึงนำไปเก็บในที่เก็บได้ การทดสอบประจุแบตเตอรี่ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่อไปนี้

3.6.10.1 ก่อนทดสอบประจุต้องแน่ใจว่าแบตเตอรี่ได้รับการประจุสมบูรณ์แล้ว

3.6.10.2 ต้องควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้อยู่ที่ 77 ± 7° F

3.6.10.3 ให้แบตเตอรี่จ่ายประจุที่อัตรา 1C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ปฏิบัติตามคู่มือของเครื่องประจุ / จ่ายประจุแบตเตอรี่ที่ใช้)

3.6.10.4 ภายหลังจ่ายประจุครบ 1 ชั่วโมงแรงดันสิ้นสุดของแบตเตอรี่ต้องไม่ต่ำกว่า 18 โวลต์ ถ้าแรงดันสิ้นสุดต่ำกว่า 18 โวลต์ ให้ปฏิบัติตามลำดับขั้นการประจุในข้อ 3.6.11 แล้วจึงทำการทดสอบประจุอีกครั้ง

3.6.10.5 ภายหลังการทดสอบความจุผ่านแล้วจะต้องนำแบตเตอรี่ไปทำการประจุก่อนแล้วจึงส่งแบตเตอรี่นั้นไปใช้งาน

หมายเหตุ

การประจุด้วยกระแสคงที่ เป็นวิธีที่ใช้ทำการประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นครั้งสุดท้ายก่อนนำแบตเตอรี่นั้นไปใช้งาน

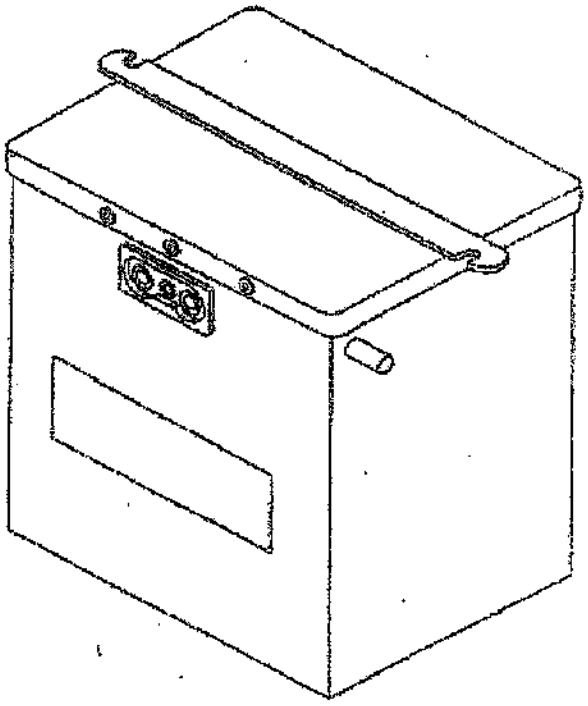
3.6.11 ขั้นตอนการประจุ (Condition Charge.) ขั้นตอนการประจุจะเริ่มจากให้แบตเตอรี่จ่ายประจุแล้วทำการประจุด้วยวิธีกระแสคงที่ ด้วยอัตราประจุ C/10 เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ขณะทำการประจุถ้าแบตเตอรี่ร้อนเกินเกณฑ์ ให้หยุดทำการประจุและทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วจึงทำการประจุต่อด้วยอัตราเดิมตามเวลาที่เหลือ เมื่อสิ้นสุดการประจุแล้วให้ทิ้งแบตเตอรี่ไว้ 1 ชั่วโมง แล้วจึงทำการทดสอบประจุอีกครั้ง ถ้าการทดสอบประจุในครั้งที่สอง ยังไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด ให้ดำเนินการตามขั้นตอนแต่ต้นอีกรอบ ถ้าแบตเตอรี่นั้นยังคงทดสอบประจุไม่ผ่าน ให้จำหน่ายแบตเตอรี่นั้นได้

3.6.12 คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องประจุ (Suggested Chargers.) สำหรับการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีแรงดันคงที่หรือ Modified charge method เครื่องประจุแบตเตอรี่ต้องสามารถปรับหรือกำหนดแรงดันทางออกที่ใช้ในการประจุในย่านที่ต้องการได้ เนื่องจากการประจุด้วยแรงดันที่ต่ำจะไม่สามารถประจุแบตเตอรี่ให้เต็มได้และการประจุด้วยแรงดันที่สูงเกินไป (สูงกว่าข้อกำหนดที่ใช้ในการประจุของแบตเตอรี่นั้น) จะทำให้อายุของแบตเตอรี่นั้นสั้นลง หรือเกิดการชำรุดอย่างถาวรขึ้นภายในแบตเตอรี่นั้นได้ ดังนั้นเครื่องประจุที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ (Automatic charger) เช่น Christie RF80K หรือเครื่องประจุที่สามารถทำงานได้ในลักษณะเดียวกัน จึงสามารถนำมาใช้ได้

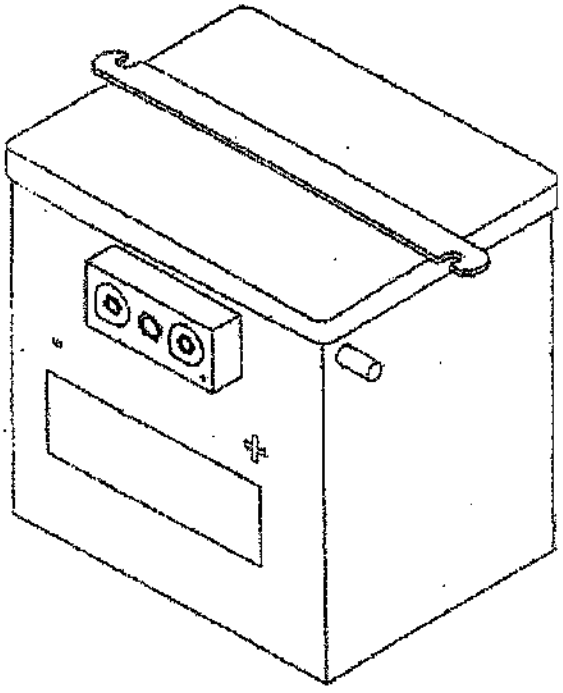
หมายเหตุ

การใช้ Christie Charger. ทำการประจุ SLABs ด้วยวิธีกระแสคงที่ จะไม่ใช้ Reflex Mode เพราะจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดอย่างถาวร

3.6.13 SLAB ที่ใช้กับอากาศยานมีขั้วต่อไฟเป็น 2 แบบ คือ Elcon และ Cannon ตามที่แสดงในรูป (แบตเตอรี่ที่ใช้ในกองทัพอากาศไทยส่วนใหญ่เป็นแบบ Elcon)



รูป A แสดง SLAB (D8565/5-1) Elcon Receptacle.

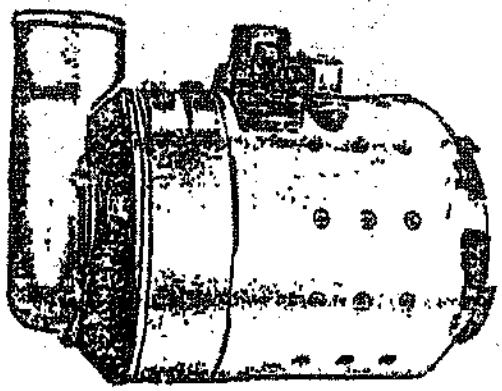


รูป B แสดง SLAB (D8565/5-2) Cannon Receptacle.

****

บทที่ 4
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสไฟตรงและระบบควบคุม
(DC Generator and Regulator.)

1. **ทั่วไป** ในอากาศยานมีความต้องการกำลังไฟฟ้ามาก ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์ต่าง ๆ ส่วนมากทำงานด้วยไฟฟ้า อุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ส่วนมากทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งไฟฟ้ากระแสตรงบนอากาศยานจะได้จาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบนี้คล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้ในรถยนต์ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้ขึ้นอยู่กับความต้องการกำลังไฟฟ้าและขนาดของอากาศยาน

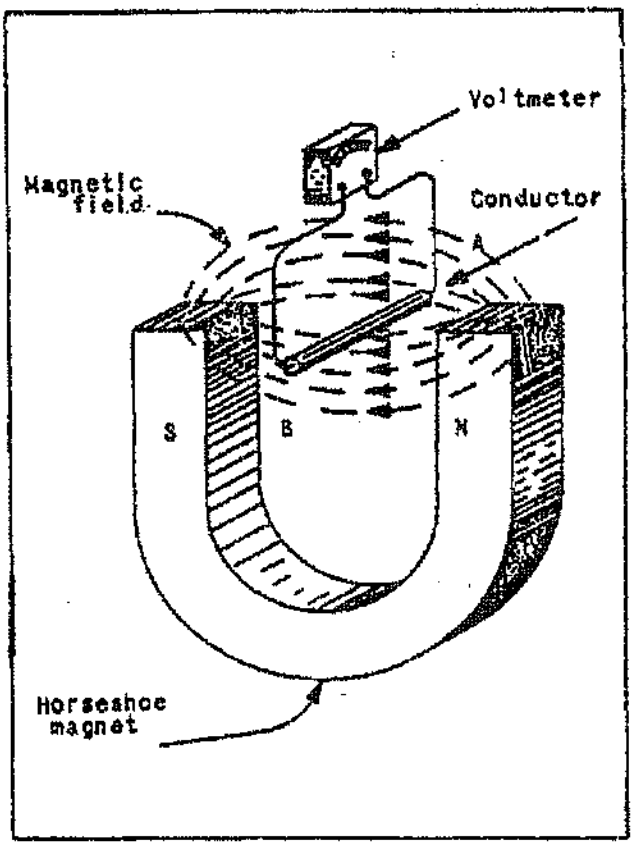
2. **หลักการทำงานขั้นมูลฐาน**

ถ้าลวดตัวนำในรูปที่ 2 ข้างล่างนี้ เคลื่อนที่ขึ้นลงระหว่างขั้วแม่เหล็กเกือกม้า ลวดตัวนำจะตัดเส้นแรงของสนามแม่เหล็กซึ่งแผ่กระจายออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ การตัดระหว่างลวดตัวนำกับเส้นแรงแม่เหล็กจะชักนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในเส้นลวด ซึ่งทราบได้จากการใช้เครื่องวัดแรงดันที่มีความไวสูงต่อคร่อมที่ปลายของลวดทั้งสอง และจะเกิดผลเช่นเดียวกันถ้าให้เส้นลวดอยู่กับที่ และให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ขึ้นลงตัด อย่างไรก็ตาม ถ้าให้เส้นลวดเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กทางด้านข้างแทนที่จะเคลื่อนที่ขึ้นลง ผลก็คือไม่เกิดการชักนำแรงดันไฟฟ้าในเส้นลวด ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนที่ของเส้นลวดทางด้านข้างย่อมไม่ตัดเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูป ถ้าลวดตัวนำเคลื่อนที่ลง แรงดันชักนำที่เกิดขึ้นจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จาก A ไป B และเมื่อเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในทางตรงข้าม คือจาก B ไป A

แรงดันชักนำที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก และความเร็วของการเคลื่อนที่ของตัวนำที่ตัดสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าถ้าอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ

คงที่แต่ความเข้มสนามของแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง แรงดันชักนำที่เกิดขึ้นก็เปลี่ยนแปลง ในทำนองเดียวกันถ้าสนามแม่เหล็กคงที่และอัตราการเคลื่อนที่ของตัวนำเปลี่ยนแปลง แรงดันจะเปลี่ยนแปลง



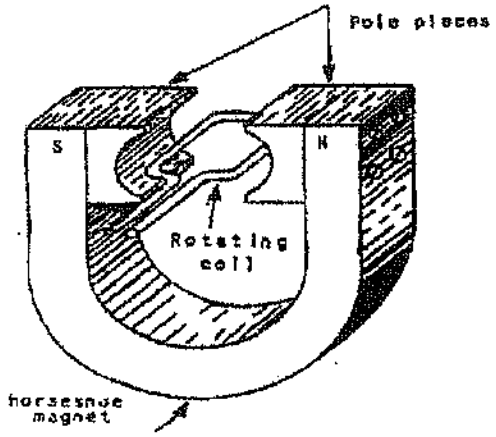
รูปที่ 2 การชักนำให้เกิดแรงดันในเส้นลวด

การเพิ่มแรงดันชักนำอีกวิธีหนึ่ง กระทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบตัวนำให้เป็นอนุกรมกัน ตามรูปที่ 3 คือเปลี่ยนจากเส้นลวดเดี่ยวเป็นขดลวดเดี่ยว ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นตัวนำ 2 ท่อนแทนที่จะเป็นท่อนเดียวดังรูปที่ 2 ก็จะทำให้เกิดแรงดันชักนำเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า การเพิ่มแรงดันชักนำขึ้นนี้เนื่องมาจากความจริงที่ว่า ขณะที่ขดลวดเคลื่อนที่ไปหนึ่งในสี่รอบ จะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กได้เป็น 2 เท่า ฉะนั้นขณะที่ขดลวดด้านหนึ่งเคลื่อนที่ขึ้นและอีกด้านหนึ่งจะต้องเคลื่อนที่ลง ซึ่งมองคล้าย ๆ กับว่ามีขดลวดทั้งสองด้านนั้นเป็นตัวนำที่อยู่แยกกัน

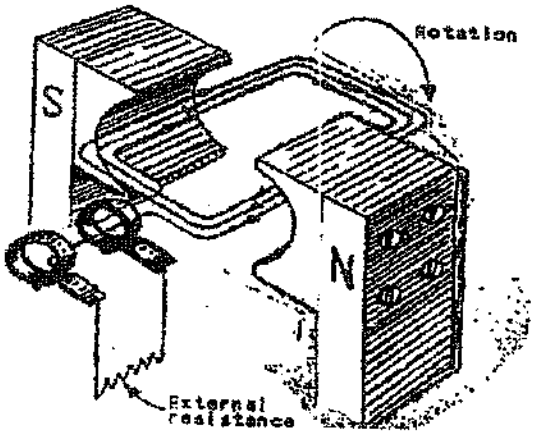
ถ้าเราเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดขึ้นเป็น 3 ขด ดังรูปที่ 4 จะทำให้ได้แรงดันชักนำเป็น 3 เท่าของรูปที่ 3 หรือเป็น 6 เท่า ของรูปที่ 2

ถ้าเรานำลวดตัวนำมาขดแล้วฝังไว้ในช่องที่เป็นรูปกลอง ดังรูปที่ 5 และให้หมุนไปตามเข็มนาฬิกาในระหว่างขั้วแม่เหล็ก แรงดันที่เกิดขึ้นในลวดตัวนำสามารถจะนำมาสร้าง Curve ได้ตามตำแหน่งที่ลวดตัวนำหมุนไปจากจุด A, B, C, D ฯลฯ จากเส้นโค้งดังกล่าวนี้ เราสามารถทราบค่าของแรงดันชักนำที่

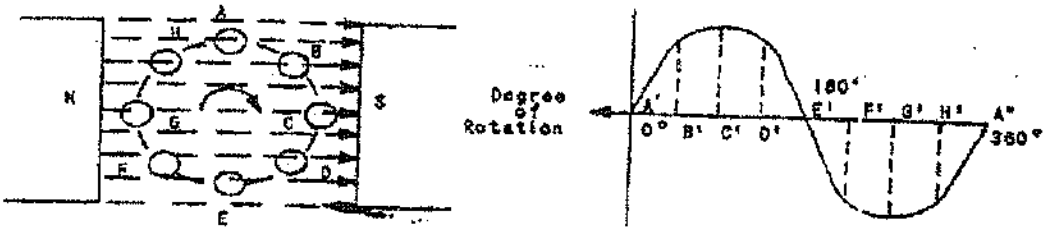
ตำแหน่งต่าง ๆ ของตัวนำ ที่หมุนอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้นได้ กราฟที่แสดงเส้นโค้งดังภาพที่ 5 เรียกว่า AC Sine Wave ที่ตำแหน่ง A ตัวนำกำลังเคลื่อนที่ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก จึงไม่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 3 ขดลวดเดี่ยว



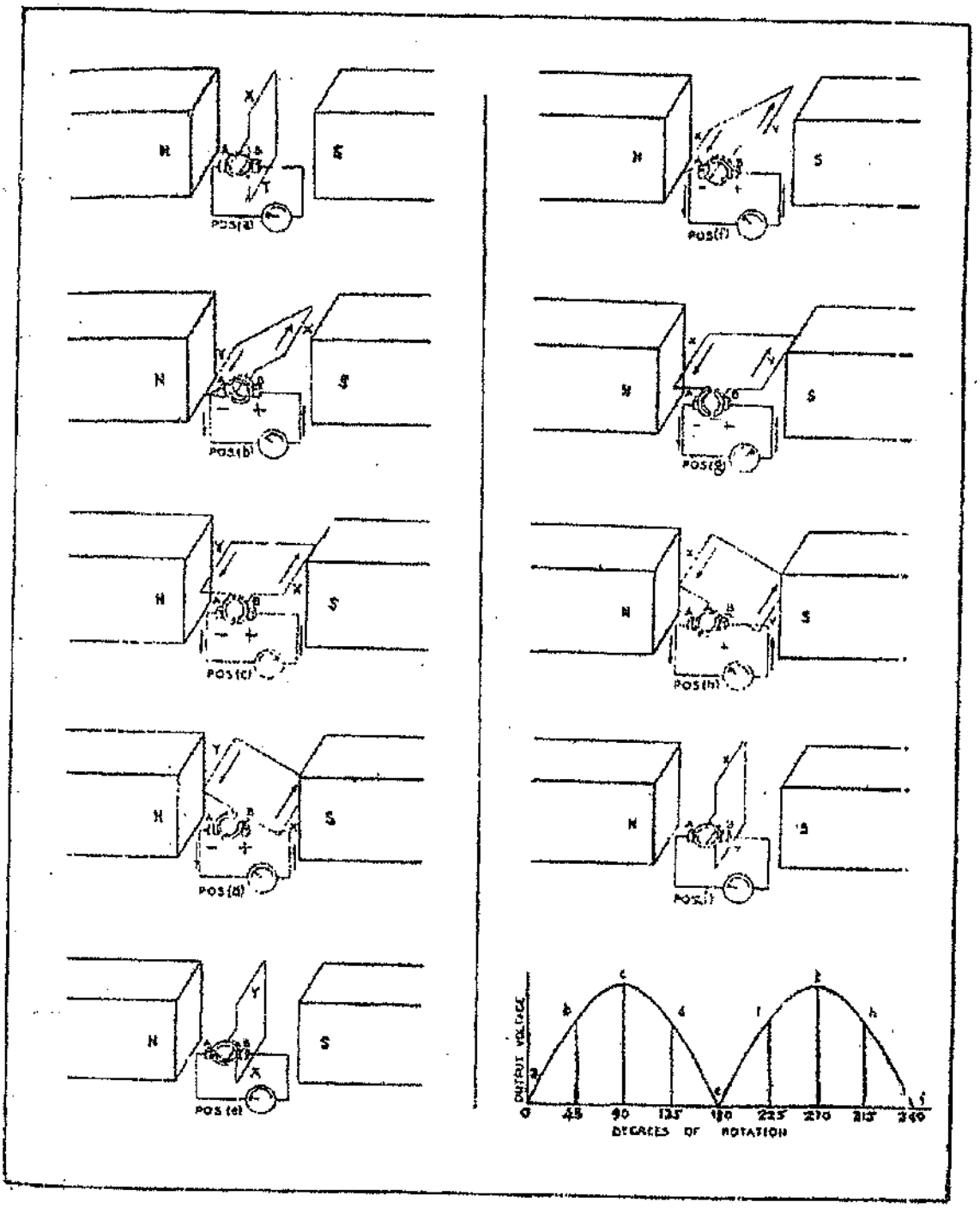
รูปที่ 4 ขดลวดสามขด



รูปที่ 5 ขดลวดหมุนในสนามแม่เหล็กและขนาดของแรงดันชักนำที่เกิดขึ้น

ฉะนั้นแรงดันชักนำที่ตำแหน่งนี้จึงเป็นศูนย์และเมื่อหมุนมาอยู่ที่ตำแหน่ง B ตัวนำจะเริ่มตัดเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นแรงดันชักนำจะค่อย ๆ เกิดเพิ่มขึ้นด้วย จนกระทั่งตัวนำหมุนมาอยู่ตำแหน่ง C ตัวนำจะเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงในลักษณะตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก จึงตัดเส้นแรงแม่เหล็กได้มากที่สุดและได้แรงดันชักนำสูงสุด หลังจากตำแหน่ง C ผ่านไปจนถึงตำแหน่ง E ตัวนำจะตัดเส้นแรงได้น้อยลง จนกระทั่งไม่ตัดเลยเพราะตัวนำขนานกับเส้นแรงที่ตำแหน่ง E ณ ตำแหน่งนี้ จะเห็นได้ว่าตัวนำหมุนไปได้ครึ่งรอบและทำให้เกิดกระแสไหลในตัวนำเข้าหากระดาษหลังจากตำแหน่ง E นี้ ตัวนำจะหมุนขึ้นข้างบน จึงทำให้เกิดกระแสไหลในตัวนำมีทิศทางตรงข้ามกับครึ่งแรก ดังจะเห็นได้ในภาพ แรงดันชักนำจะอยู่ทางด้านลบ

ฉะนั้นจึงกล่าวสรุปได้ว่า ถ้าตัวนำหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็กเพียง 2 ข้างครบ 1 รอบทางกล (360°) จะทำให้เกิดเส้นโค้ง Sine สองส่วน คือ ทางบวกและทางลบ



รูปที่ 6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขั้นมูลฐาน

3. **<u>เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขั้นมูลฐาน</u>** ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขดลวดที่หมุนได้นี้ ต่ออยู่กับวงจรภายนอกด้วยอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง เรียกว่า คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากขดลวดที่หมุนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งไหลในทิศทางเดียว ผ่านไปยังวงจรภายนอก คอมมิวเตเตอร์ ประกอบด้วยวงแหวนโลหะ (ปกติทำด้วยทองแดง) ซึ่งแบ่งเป็นช่วง ๆ ขั้นไว้ด้วยฉนวนไม่ติดต่อถึงกันทางไฟฟ้า และไม่ติดต่อกับเพลาซึ่งขดลวดนั้นติดตั้งอยู่ด้วย ในรูปที่ 6 คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยวงแหวนผ่าซีกกั้นด้วยอากาศ แต่ละซีกครึ่งวงแหวนต่ออยู่กับปลายขดลวดแต่ละข้าง แปรงถ่าน 2 แปรงติดตั้งอยู่ตรงกันข้ามและเป็นด้านข้างผิวบนของคอมมิวเตเตอร์ จึงทำให้ขดลวดและวงจรภายนอกติดต่อกันทางไฟฟ้า

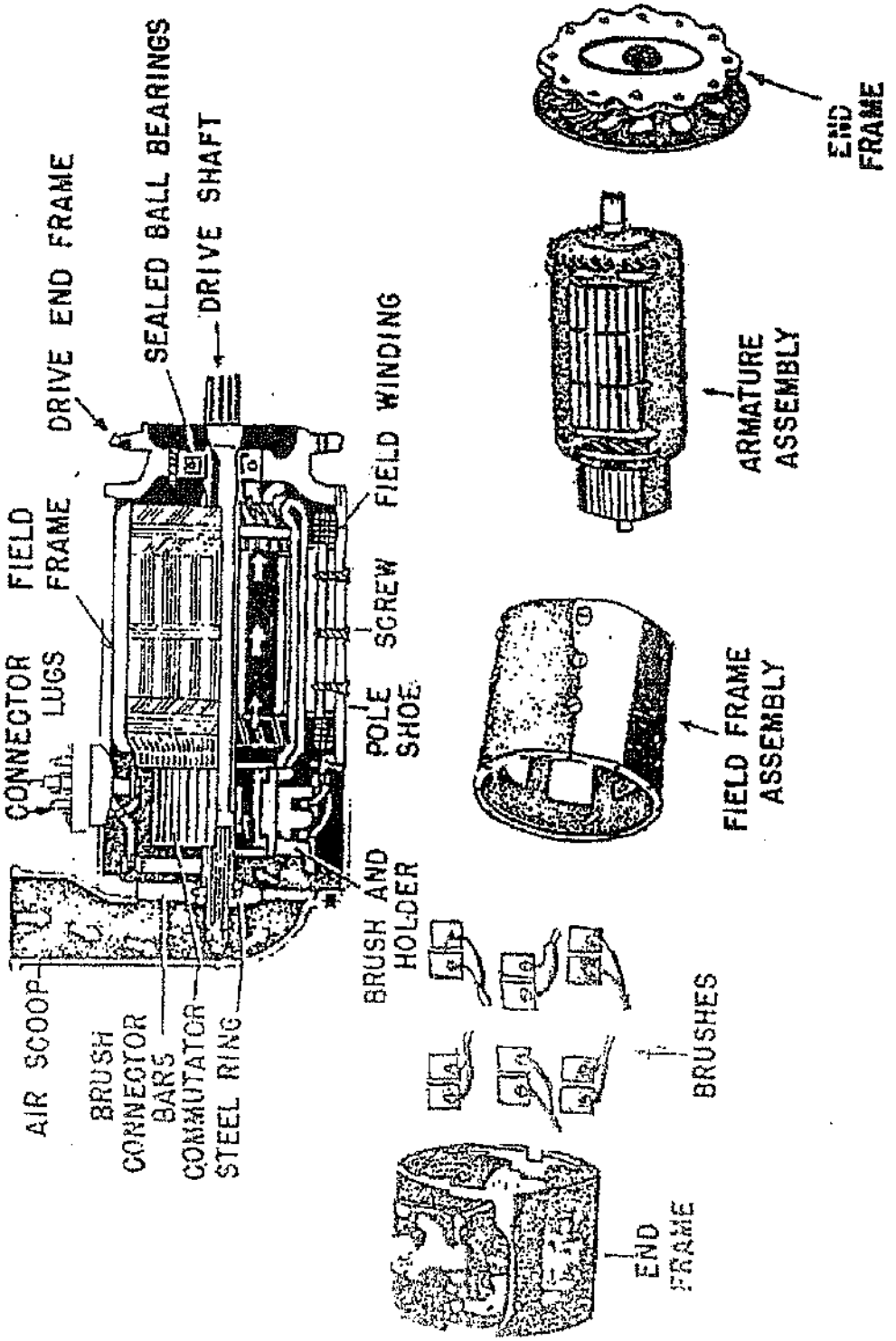
เราสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานคอมมิวเตเตอร์ได้โดยดูรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของคอมมิวเตเตอร์ที่ขดลวดหมุนไปครบ 1 รอบจากตำแหน่ง A ถึง E กระแสที่ไหลในขดลวดไหลในทิศทางซึ่งแสดงตามลูกศรนั้น มีค่าเปลี่ยนขนาดตลอดเวลา (ดูได้จาก Curve) ที่จุด E ขดลวดหมุนครบครึ่งรอบพอดีและที่จุด E นี้แรงดันชักนำมีค่าเป็นศูนย์ ในระหว่างขดลวดหมุนต่อไปในครึ่งรอบหลังขดลวดหมุนตัดเส้นแรงในทิศทางตรงข้าม ฉะนั้นกระแสจะไหลกลับทางกับครึ่งรอบแรก ในขณะที่กระแสในขดลวดไหลเปลี่ยนแปลงทิศทาง จะทำให้คอมมิวเตเตอร์เปลี่ยนแปรงถ่านที่สัมผัสอยู่เป็นแปรงถ่านอีกแปรงหนึ่ง จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่านไปยังวงจรภายนอกมีทิศทางเดียวกันตลอดทั้งครึ่งรอบแรกและครึ่งรอบหลัง

4. **<u>ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง</u>** ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยชุดอเมเจอร์ (Armature) ชุดฟิลด์ (Field) และชุดประกอบท้าย

4.1 **<u>ชุดอเมเจอร์ (Armature)</u>** ประกอบด้วยเพลาเหล็กซึ่งเป็นที่ติดตั้ง แกนเหล็กอ่อน ขดลวดอเมเจอร์ และคอมมิวเตเตอร์ แกนเหล็กอ่อนรูปทรงกระบอก ประกอบขึ้นด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ ทำหน้าที่เหมือนกับเป็นวงจรแม่เหล็กและเป็นที่ยึดของขดลวดอเมเจอร์ซึ่งประกอบอยู่ในร่องฉนวนตลอดความยาวข้างแกน

4.1.1 ขดลวดอเมเจอร์ (Armature Coil.) คือ ลวดทองแดงจำนวนมากอาบด้วยฉนวน เป็นตัวนำที่ชักนำให้เกิดแรงดันขึ้นในลวดทองแดงนี้ ปลายสายขดลวดทองแดงทั้ง 2 ปลายต่ออยู่กับคอมมิวเตเตอร์ ที่ร่องขดลวดนี้พันอยู่ จะมีชิ้นปิดร่องกันมิให้ขดลวดเหวี่ยงตัวกระจายออกจากร่อง ในขณะที่อเมเจอร์หมุนด้วยความเร็วสูง

4.1.2 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) วัตถุประสงค์ของคอมมิวเตเตอร์คือ ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอเมเจอร์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยซีกทองแดงคั่นด้วยฉนวนทำเป็นรูปวงแหวนและคั่นด้วยสารที่ไม่เป็นตัวนำระหว่างเพลา สารที่ใช้คั่นนี้ส่วนมาก ได้แก่ ไมก้าโดยยึดไว้ด้วยกันที่ปลายวงแหวน ขดลวดอเมเจอร์ขดหนึ่ง ๆ จะใช้คอมมิวเตเตอร์สองซีก ปลายขดลวดแต่ละปลายจะเชื่อมไว้ในร่องของแต่ละซีก



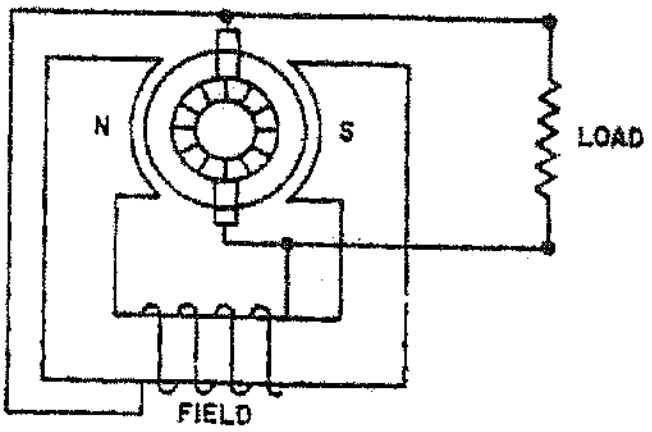
รูปที่ 7 ส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

4.2 <u>ชุดประกอบฟิลด์</u> โครงสร้างของฟิลด์เป็นทรงกระบอก ทำด้วยเหล็กกล้าหรือเหล็กอ่อน ขดลวดฟิลด์พันไว้ที่ขั้วแม่เหล็ก โดยพันไว้ในลักษณะที่มีกระแสไหลผ่านจะมีอำนาจเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไป เส้นแรงแม่เหล็กจะแผ่จากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ผ่านโครงสร้างซึ่งทำหน้าที่เป็นทางเดินของวงจรแม่เหล็ก

4.3 <u>ชุดประกอบท้าย</u> ที่หัวและท้ายของโครงสร้างฟิลด์จะประกอบด้วยฝาครอบและชิ้นยึด ซึ่งเรียกว่าชุดประกอบท้าย และมีแบริ่งรองรับเพลาติดตั้งอยู่ด้วย ที่ปลายสุดคอมมิวเตเตอร์ซึ่งมีฝาครอบเป็นชิ้นยึดอยู่ด้วยนั้น ฝาครอบจะทำหน้าที่ยึดแปรงไว้ด้วยวัสดุที่ใช้ทำแปรงส่วนมากทำด้วยถ่านอัด แปรงถ่านนี้มีสปริงกดให้แนบกับคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหน้าแปลนที่ยึดท้าย ทำหน้าที่ยึดตัวเจนเนอเรเตอร์ให้ติดกับเครื่องยนต์

5. **<u>เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบนอากาศยาน</u>** เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมี 3 แบบตามการต่อของขดลวดฟิลด์ คือ แบบอนุกรม แบบชั้นต์ และแบบผสม แบบที่ใช้มากที่สุดในอากาศยาน คือ แบบชั้นต์

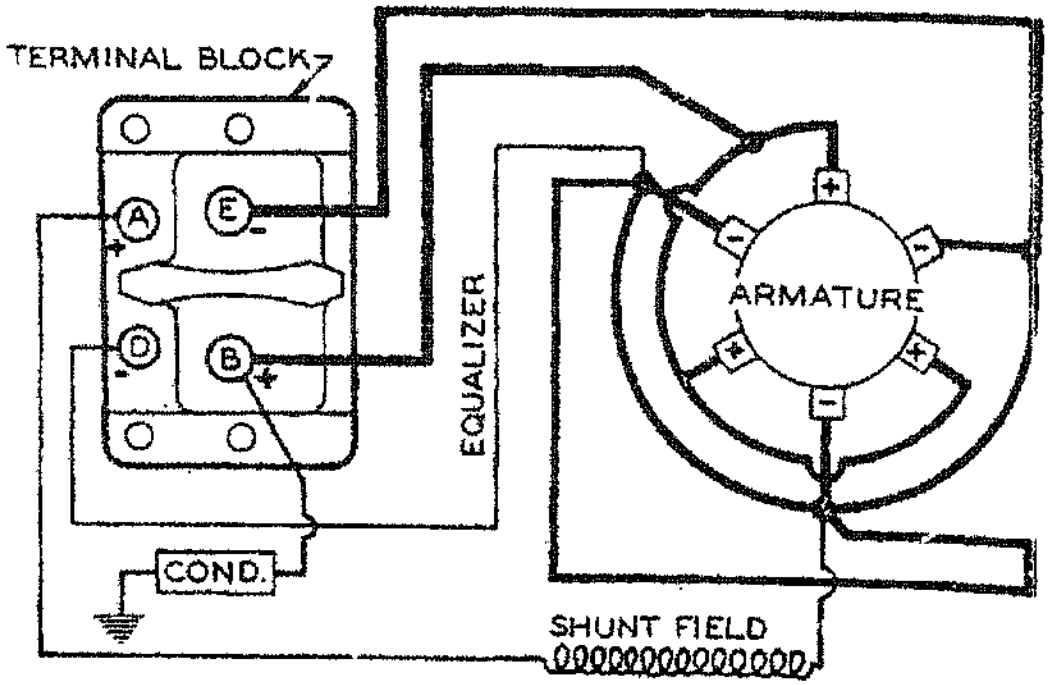
5.1 <u>ชั้นต์เจนเนอเรเตอร์</u> (Shunt Generator.) เจนเนอเรเตอร์แบบนี้ ขดลวดฟิลด์ต่อขนานกับขดลวดอเมเจอร์ ดังรูปที่ 8 ความเข้มสนามแม่เหล็กได้จากขดลวดฟิลด์ ซึ่งพันด้วยลวดขนาดเล็กแต่มากรอบ จึงทำให้กระแสผ่านได้น้อย สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอากาศยานซึ่งเป็นแบบชั้นต์ ได้กระแสมาเลี้ยงฟิลด์จากตัวเจนเนอเรเตอร์เอง เรียกว่า Self – Excitation แม้ว่าในตอนแรกจะยังไม่มีกระแสผ่านฟิลด์เลย



<u>รูปที่ 8 ชั้นต์เจนเนอเรเตอร์ (Shunt Generator.)</u>

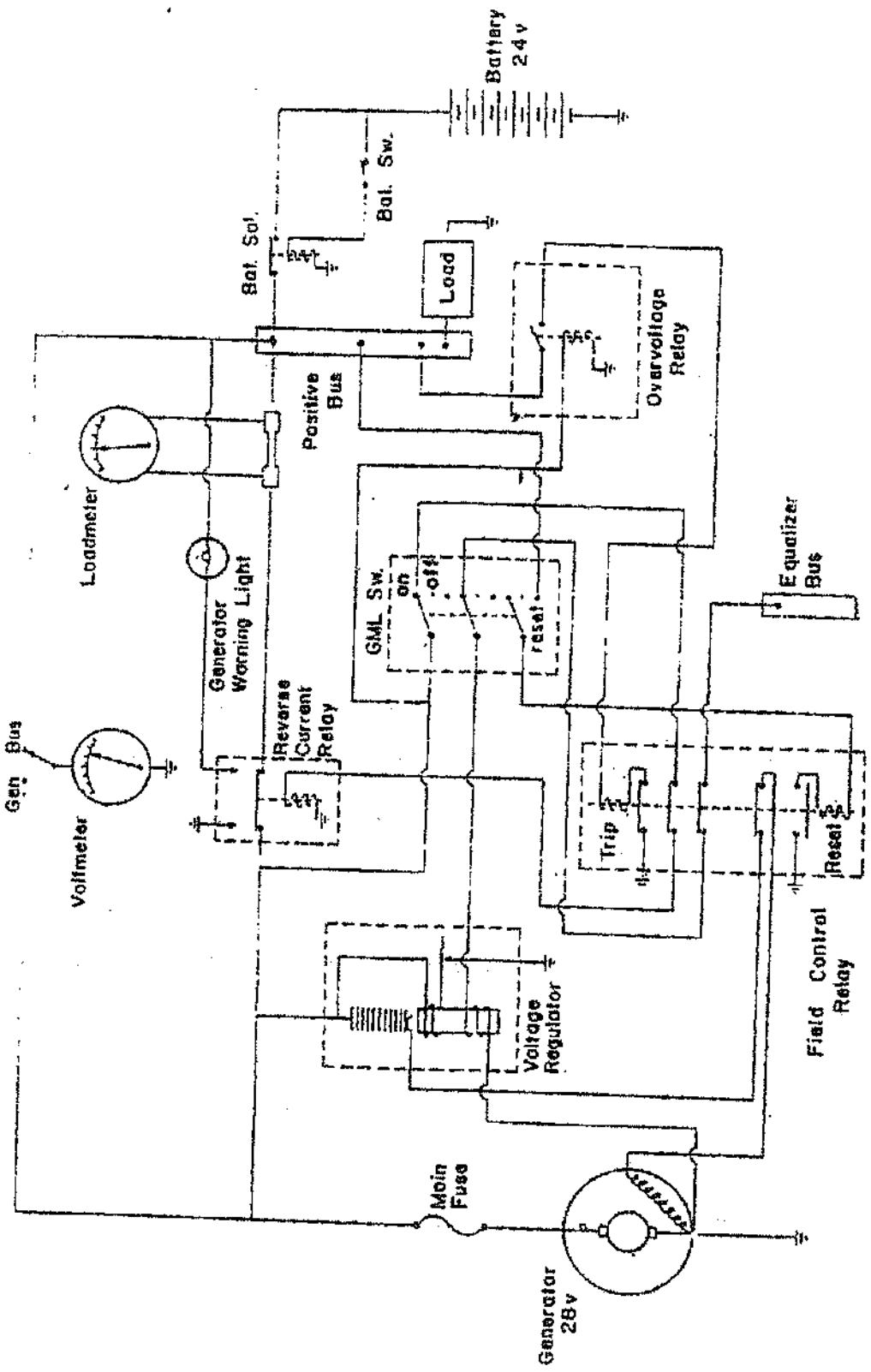
แต่การทำงานของเจนเนอเรเตอร์ก็สามารถผลิตกระแสได้ โดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กเพียงเล็กน้อยที่ตกค้างอยู่ เรียกว่า Residual Magnetism ฉะนั้นในขณะที่อเมเจอร์เริ่มหมุนในตอนแรกจะทำให้ขดลวดอเมเจอร์ไปตัดกับสนามแม่เหล็กตกค้าง ทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นเล็กน้อยในขดลวดอเมเจอร์ แรงดันชักนำที่เกิดขึ้นเล็กน้อยนี้ จะส่งไปเลี้ยงฟิลด์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มมากขึ้น เป็นผลให้เกิดแรงดันชักนำในขดลวดอเมเจอร์สูงขึ้น และกระแสก็เพิ่มขึ้นตามกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งเจนเนอเรเตอร์จ่ายแรงดันส่งออกได้สูงตามต้องการ

จากรูปที่ 9 ซึ่งแสดงการเดินสายไฟภายใน ของเจนเนอเรเตอร์ เข้ากล่องข้อต่อเจนเนอเรเตอร์ ประกอบด้วยขั้ว 4 ขั้ว คือ A, B, D และ E



<u>รูปที่ 9 วงจรภายในเจนเนอเรเตอร์</u>

เครื่องหมายที่แสดงขั้วต่างๆเหล่านี้ มีประโยชน์เพื่อช่วยในการแก้ไขข้อขัดข้อง และการติดตั้งเจนเนอเรเตอร์ ช่างไฟฟ้าสามารถตรวจสอบที่ขั้วเจนเนอเรเตอร์ตามวงจรดังกล่าวซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าขั้วใดควรจะต่อกับขั้วใด ตามวงจรดังกล่าวขั้ว A จะต่อกับชั้นต์ฟิลด์ ขั้ว B ต่อกับแปรงบวก และเป็นทางให้อิเล็กตรอนเดินกลับมายังเจนเนอเรเตอร์ ขั้ว D ต่อกับวงจรลบใช้สำหรับต่อขนานกับเจนเนอเรเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง ส่วนขั้ว E ต่อกับแปรงลบและเป็นทางเดินของอิเล็กตรอนที่ส่งออกจากเจนเนอเรเตอร์



รูปที่ 10 ระบบควบคุมแรงดันของเจนเนอเรเตอร์อากาศยานขั้นพื้นฐาน

6. **วงจรแบตเตอรี่** (Battery Circuit.) แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงยามฉุกเฉิน แต่เนื่องจาก แบตเตอรี่ต้องจ่ายกระแสไฟสูงมาก อาจจะต้องจ่ายกระแสให้ Load ถึง 200 แอมแปร์หรือมากกว่า ฉะนั้นจำเป็นต้องใช้สายไฟที่มีขนาดใหญ่ แต่การเดินสายไฟเข้าไปยังห้องนักบินทำได้ยาก และไม่สามารถหาสวิทช์ที่ทนกระแสสูงขนาดนั้นได้ จึงจำเป็นต้องใช้รีเลย์ที่ทนกระแสได้สูง (Power Relay) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ไปยัง แบตเตอรีบัสบาร์ (Battery Bus-Bar) โดยมีสวิทช์แบตเตอรี่อยู่ที่แผงเครื่องวัดเป็นตัวควบคุมการทำงานของ แบตเตอรีรีเลย์ เพราะขดลวดของรีเลย์จะใช้กระแสไฟเพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็สามารถทำงานได้

ตามปกติขั้วลบของแบตเตอรี่จะต่อลงโครงสร้างของอากาศยาน เช่นเดียวกับของเจนเนอเรเตอร์ ในระหว่างการทำงานปกติ เจนเนอเรเตอร์จะผลิตแรงดันไฟฟ้า 28 โวลต์ และแบตเตอรี่ 24 โวลต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความต่างศักดิ์ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันทั้งสองถึง 4 โวลต์ ทั้งนี้เพื่อต้องประจุแบตเตอรี่

7. **โวลเตจเรกูเลเตอร์** (Voltage Regulator.) วัตถุประสงค์ที่ต้องมีโวลเตจเรกูเลเตอร์ก็เพื่อรักษาแรงดันทางออกของเจนเนอเรเตอร์ให้คงที่แม้ว่ารอบเครื่องยนต์และ Load จะเปลี่ยนแปลงก็ตามภายในเรกูเลเตอร์ จะประกอบด้วย แผ่นคาร์บอนต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดฟิลด์ของเจนเนอเรเตอร์ และทำหน้าที่เป็นตัวความต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ ตัวสปริงทำหน้าที่เป็นตัวนำภายในแผ่นคาร์บอนมีหน้าที่กดแผ่นคาร์บอน เพื่อลดความต้านทานต่อจากแผ่นคาร์บอนจะเป็นขดลวดและแกนเหล็กอ่อน แรงดันส่งออกจากเจนเนอเรเตอร์จะผ่านขดลวดนี้ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ถ้าแรงดันส่งออกเพิ่มขึ้น สนามแม่เหล็กจะเข้มขึ้นทำให้เกิดการต่อต้านที่แรงกดของสปริงที่ดันผ่านคาร์บอนอยู่ และถ้าแรงดันส่งออกของเจนเนอเรเตอร์สูงจนกระทั่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสูงพอ จะทำให้สปริงถูกอำนาจแม่เหล็กดูดออกมาทางแท่งแม่เหล็กไฟฟ้านั้น. ซึ่งจะเป็นผลให้แรงดันที่กดแผ่นคาร์บอนลดลง ฉะนั้นความต้านทานของแผ่นคาร์บอนก็เพิ่มขึ้น การที่ความต้านทานของแผ่นคาร์บอนเพิ่มขึ้นย่อมทำให้กระแสในวงจรลดลง ผลที่สุดจะทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กของขดลวดฟิลด์ลดลงด้วย การที่ความเข้มสนามแม่เหล็กลดลงนี้จะเป็นเหตุให้แรงดันชักนำที่อเมเจอร์ลดลงตาม ซึ่งจะส่งผลสะท้อนไปยังขดลวดที่โวลเตจเรกูเลเตอร์ ทำให้แรงดูดที่ขดลวดสปริงลดลง ขดลวดสปริงจึงจะมีแรงดันกดแผ่นคาร์บอนเพิ่มขึ้น ความต้านทานที่แผ่นคาร์บอนก็ลดลงอีก ในวิถีทางเช่นนี้ ความเข้มสนามแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์ก็เพิ่มขึ้นอีก เป็นผลให้แรงดันชักนำที่ขดลวดอเมเจอร์เพิ่มขึ้น กระบวนการที่เกิดขึ้นในตัวของมันเองเช่นนี้จะเกิดขึ้นวินาทีละหลายครั้ง

8. **รีเวิร์สเคอเร้นท์รีเลย์** (Reverse Current Relay.= RCR.) วัตถุประสงค์ของ RCR. เพื่อเชื่อมและตัดวงจรระหว่างเจนเนอเรเตอร์และบัส RCR. เป็นตัวป้องกันมิให้กระแสจากแบตเตอรี่ไหลกลับเข้าเจนเนอเรเตอร์ ในเมื่อแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ต่ำกว่าของแบตเตอรี่ วงจรของเจนเนอเรเตอร์จะเป็นตัวอำนวยให้ขดลวด RCR. ทำงาน หน้าสัมผัสของ RCR. จะเปิดด้วยแรงของสปริงและจะเชื่อมวงจรด้วยการอำนวยของสนามแม่เหล็ก โดยจะเชื่อมวงจรเมื่อแรงดันเจนเนอเรเตอร์สูงกว่าแบตเตอรี่ และจะตัดวงจรเมื่อแรงดันของ

เจนเนอเรเตอร์ต่ำกว่าแบตเตอรี่ 1 หรือ 2 โวลต์ ทั้งนี้เพราะความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดใน RCR ขึ้นอยู่กับแรงดันของเจนเนอเรเตอร์

9. <u>โอเวอร์โวลเตจรีเลย์ (Over Voltage Relay.= OVR)</u> วัตถุประสงค์ของโอเวอร์โวลเตจรีเลย์เพื่อแสดงสภาพแรงดันสูงเกินเกณฑ์ของเจนเนอเรเตอร์ให้ทราบ ทั้งนี้เพราะที่ขดลวดของโอเวอร์โวลเตจรีเลย์ จะมีกระแสจากเจนเนอเรเตอร์มาอำนวยอยู่ตลอดเวลา ในสภาพปกติแล้วหน้าสัมผัสจะอยู่ในตำแหน่งเปิดด้วยแรงของสปริง ต่อเมื่อเกิดแรงดันของเจนเนอเรเตอร์สูงเกินเกณฑ์ขึ้น สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดจะมีมากพอที่จะดึงหน้าสัมผัสของรีเลย์ให้เชื่อม ทำให้กระแสผ่านรีเลย์นี้ไปยังทริปคอย (Trip Coil.) ของฟิลด์คอนโทรลรีเลย์

10. <u>ฟิลด์คอนโทรลรีเลย์ (Field Control Relay.= FCR.)</u>

วัตถุประสงค์ของฟิลด์คอนโทรลรีเลย์เพื่อเปิด หรือเชื่อมวงจรขดลวดฟิลด์ของเจนเนอเรเตอร์, วงจรของรีเวิร์สเคอเร้นท์รีเลย์ และวงจรของอีควอร์ไลเซอร์ (Equalizer) ขณะที่เกิดแรงดันสูงเกินเกณฑ์ขึ้น จะทำให้หน้าสัมผัสของโอเวอร์โวลเตจรีเลย์เชื่อม และมีกระแสผ่านไปยังทริปคอยของฟิลด์คอนโทรลรีเลย์ครบวงจรที่กราวด์ ทำให้หน้าสัมผัสเปิดหมดยกเว้น Reset coil จะเชื่อม การที่หน้าสัมผัสของฟิลด์คอนโทรลรีเลย์เปิดนี้ ย่อมทำให้วงจรของขดลวดฟิลด์ในเจนเนอเรเตอร์เปิด สนามแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์จึงลดลงเหลือเพียง Residual Magnetism เท่านั้น ฉะนั้นเจนเนอเรเตอร์จะทำแรงดันส่งออกเหลือเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ในทำนองเดียวกันจะไม่มีกระแสไปเลี้ยงที่ขดลวดในรีเวิร์สเคอเร้นท์รีเลย์ด้วย จึงทำให้หน้าสัมผัสเปิดออกด้วยแรงสปริง และกระแสจากแบตเตอรี่จะไม่ไหลเข้าเจนเนอเรเตอร์ ในการปรับให้เจนเนอเรเตอร์ทำงานใหม่หลังจากแก้ไขข้อขัดข้องแล้ว จำเป็นต้องผลักสวิทช์เจนเนอเรเตอร์ไปไว้ตำแหน่ง Reset เพื่อให้กระแสจากแบตเตอรี่ผ่านสวิทช์ไปอำนวยให้ Reset Coil ของฟิลด์คอนโทรลรีเลย์ทำงาน ซึ่งจะดึงหน้าสัมผัสต่าง ๆ ซึ่งเปิดอยู่ขณะที่เกิดแรงดันสูงเกินเกณฑ์ให้เชื่อมเหมือนเดิม

11. <u>วงจรไฟเตือน (Warning Light)</u>

เครื่องวัดแรงดัน โหลดมิเตอร์ และไฟเตือนเจนเนอเรเตอร์ ติดตั้งไว้ที่แผงเครื่องวัดในห้องนักบิน สำหรับเครื่องวัดแรงดันอาจจะต่อไว้ในวงจรเจนเนอเรเตอร์หรือแบตเตอรี่ก็ได้ ในกรณีที่ติดตั้งไว้ในวงจรของบัสบาร์ เครื่องวัดจะอ่านค่าแรงดันทั้งของเจนเนอเรเตอร์หรือแบตเตอรี่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแบตเตอรี่หรือเจนเนอเรเตอร์เป็นตัวจ่ายกระแสไปยังบัสบาร์ แต่ถ้าผลักสวิทช์ของโวลต์มิเตอร์ไปตำแหน่งเจนเนอเรเตอร์ เครื่องวัดจะชี้ค่าแต่เพียงแรงดันทางออกของเจนเนอเรเตอร์เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบแรงดันทางออกของเจนเนอเรเตอร์ก่อนที่จะผลักสวิทช์เจนเนอเรเตอร์ไปไว้ตำแหน่ง "ON"

โหลดมิเตอร์ต่อเป็นอนุกรมกับวงจรของเจนเนอเรเตอร์ เพื่อชี้ค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระแสที่จ่ายออกไปใช้งานติดต่อกันไปในสภาพปกติ และแรงดันส่งออกของเจนเนอเรเตอร์จะต้องสูงพอให้รีเวิร์สเคอเร้นท์รีเลย์ทำงานได้ก่อน โหลดมิเตอร์จึงจะชี้ค่าได้

สำหรับไฟเตือนของเจนเนอเรเตอร์นั้นจะแสดงให้ทราบถึงการทำงานผิดปกติของเจนเนอเรเตอร์ เช่น ถ้าเจนเนอเรเตอร์จ่ายแรงดันทางออกต่ำกว่าเกณฑ์ วงจรของรีเวิร์สเคอเร้นท์รีเลย์จะเปิดวงจรและจะไปทำให้วงจรของระบบไฟเตือนของเจนเนอเรเตอร์ครบวงจรขึ้น ดังรูปที่ 10

12. วงจรอีควอลไลเซอร์ (Equalizer Circuit.)

วัตถุประสงค์ของวงจรอีควอลไลเซอร์ เพื่อทำแรงดันของเจนเนอเรเตอร์สองเรือนหรือมากกว่า ซึ่งต่อขนานกันให้เท่ากัน ทั้งนี้เพื่อให้เจนเนอเรเตอร์เหล่านั้นจ่ายกระแสไปยัง Load ได้เท่ากัน โวลเตจเรกูเลเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์เป็นตัวต่อวงจรผ่านไปยังบัสของอีควอลไลเซอร์ ถ้าแรงดันของเจนเนอเรเตอร์เรือนหนึ่งสูงกว่าอีกเรือนหนึ่ง ย่อมทำให้เจนเนอเรเตอร์เรือนที่มีแรงดันสูงจ่ายกระแสไปยัง Load มากกว่าเรือนที่มีแรงดันต่ำกว่า ซึ่งอาจจะเป็นเหตุให้เจนเนอเรเตอร์เกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์ได้ วงจรอีควอลไลเซอร์จะเป็นตัวป้องกันมิให้เรื่องเช่นนี้เกิดขึ้น ถ้าเจนเนอเรเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งไม่ทำงาน วงจรจะถูกตัดจากอีควอลไลเซอร์บัสผ่านรีเวิร์สเคอเร้นท์รีเลย์

13. บัสบาร์ (Bus-Bar)

วิธีการนำกระแสจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงออกไปใช้งานตามระบบต่าง ๆ ในอากาศยานย่อมเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดและแบบหรือรุ่นของอากาศยาน แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่ว ๆ ไปแล้วถือว่าเหมือนกัน ทั้งนี้รวมทั้งการรับกำลังไฟฟ้าจากเครื่องช่วยกำลังภายนอกระหว่างทำงานที่พื้น, การรับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตกระแสหลัก เพื่อนำไปใช้ในระบบไฟฟ้าทั้งหมดในระหว่างบินตามปกติ และการรับกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ หรือการใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพื่อปฏิบัติการทางภาคพื้นในเวลาจำกัดหรือระหว่างบินในขณะอุบัติเหตุ จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าเจนเนอเรเตอร์มิได้ต่อโดยตรงกับ Load แต่จะต่อไปยังแหล่งกระจายส่วนกลางซึ่งเรียกว่า บัสบาร์ สายไฟฟ้าทั้งหมดในระบบจะลดลงได้เป็นจำนวนมากโดยการใช้สายขนาดใหญ่เพียงเส้นเดียวจากเจนเนอเรเตอร์ไปยังบัสบาร์ วงจรต่าง ๆ จำนวนมากจะต่อจากบัสบาร์ ซึ่งทำด้วยแท่งหรือแผ่นทองแดง

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงหลักได้จากเจนเนอเรเตอร์ซึ่งขับด้วยเครื่องยนต์ และได้จากอุปกรณ์ทรานสฟอร์เมอร์เรคติฟายเออร์ (Transformer – Rectifier Unit.) อุปกรณ์แบบนี้ได้รับกระแสไฟสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับของอากาศยานซึ่งมีแรงดันสูง ตัวทรานสฟอร์เมอร์จะทำหน้าที่ลดแรงดันลงให้เหลือประมาณ 28 โวลต์ และตัวเรคติฟายเออร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 5
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor.)

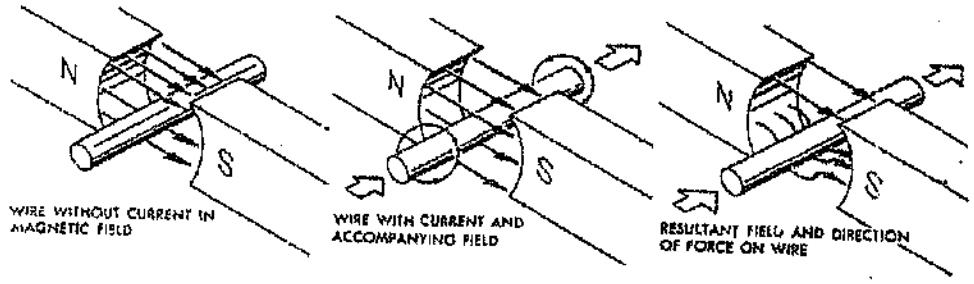
1. ทั่วไป

มอเตอร์ที่ติดตั้งในอากาศยาน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักบินสามารถอำนวยการทำงานของอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งในที่ต่าง ๆของอากาศยาน ได้ง่ายขึ้น เช่น แฟลป, ระบบฐาน ฯลฯ ดังนั้นท่านจะต้องทราบว่ามอเตอร์ทำงานได้อย่างไร ขั้นแรกนี้จะกล่าวถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก่อน มอร์เตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้กับอากาศยานมีสามชนิด คือ ซีรีส์มอเตอร์(Series Motor.), ชั้นต์มอเตอร์ (Shunt Motor.) และคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor.)

มอเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานทางกล ประกอบด้วยส่วนมูลฐาน 2 ส่วน คือ ชุด ฟิลด์ (Field) และ ชุด อเมเจอร์ (Armature) อเมเจอร์ คือ ส่วนที่หมุนได้ และฟิลด์เป็นส่วนที่อยู่กับที่

2. หลักการทำงานของมอเตอร์

เมื่อนำเส้นลวดที่มีกระแสไฟกำลังไหลผ่านมาวางไว้ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงสองแรงกระทำปฏิกิริยากันระหว่างสนามแม่เหล็ก 2 สนาม คือแรงที่เกิดจากขดลวดที่มีกระแสไฟกำลังไหลและแรงจากสนามแม่เหล็กภายนอก ทำให้เกิดผลรับของแรงขึ้นแรงหนึ่งซึ่งไม่ใช่ทั้งแรงดูดหรือแรงผลักโดยตรง แต่จะมีทิศทางตั้งฉากกับเส้นลวดและตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กด้วยดังรูปที่ 1

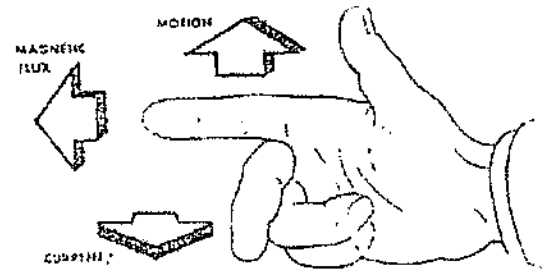


รูปที่ 1 แรงที่เกิดขึ้นจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟไหล

เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ ในขณะที่ยังไม่มีกระแสไฟไหลผ่านย่อมไม่มีแรงมากระทำที่เส้นลวด ต่อเมื่อมีกระแสไฟไหลในเส้นลวด ย่อมทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบเส้นลวดนั้น ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ไหลในเส้นลวด ทำให้สนามแม่เหล็กทั้งสองทำปฏิกิริยากัน ถ้ากระแสไหลเข้าเส้นลวดดังในภาพ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อพิจารณาดูการรวมกันของสนามแม่เหล็กทั้งสองนี้แล้ว จะเห็นได้ว่าส่วนล่างของเส้นลวดจะมีสนามแม่เหล็กเข้มข้นขึ้น เพราะทิศทางของสนามแม่เหล็กที่รวมกันนั้นมีทิศทางไปทางเดียวกัน ส่วนด้านบน

ของเส้นลวดสนามแม่เหล็กจะเจือจางลงหรือเกือบไม่มีเลยทั้งนี้เพราะทิศทางของสนามแม่เหล็กทั้งสองตรงข้ามกัน จึงทำให้เส้นลวดถูกผลักขึ้นข้างบนและถ้าสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กเข้มข้นมาก จะทำให้เส้นลวดถูกผลักออกทางด้านข้างในทำนองเดียวกัน ถ้าทิศทางของกระแสไหลกลับทิศทาง จะทำให้เส้นลวดถูกดันลงด้านล่าง ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นลวดนี้หาได้โดยใช้กฎมือขวา ดังรูปที่ 2

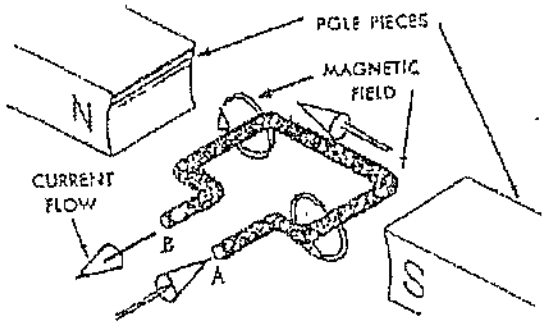
ถ้าใช้ขดลวดแทนเส้นลวดดังรูปที่ 3 จะทำให้ขดลวดหมุนในระหว่างแท่งแม่เหล็กนั้น ตามกระแสไหลเข้าทางด้าน A และออกทาง B สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นทางด้าน B จะหมุนตามเข็มนาฬิกาและทางด้าน A หมุนทวนเข็มนาฬิกา



Right Hand Motor Rule

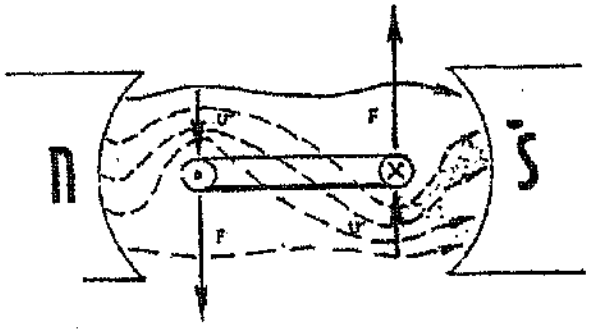
<u>รูปที่ 2 กฎมือขวาของมอเตอร์</u>

ถ้าใช้ขดลวดแทนเส้นลวดดังรูปที่ 3 จะทำให้ขดลวดหมุนในระหว่างแท่งแม่เหล็ก ตามกระแสไหลเข้าทางด้าน A และออกทาง B สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นทางด้าน B จะหมุนตามเข็มนาฬิกาและทางด้าน A หมุนทวนเข็มนาฬิกา



<u>รูปที่ 3 แรงที่เกิดกับขดลวดที่มีกระแสไฟไหล</u>

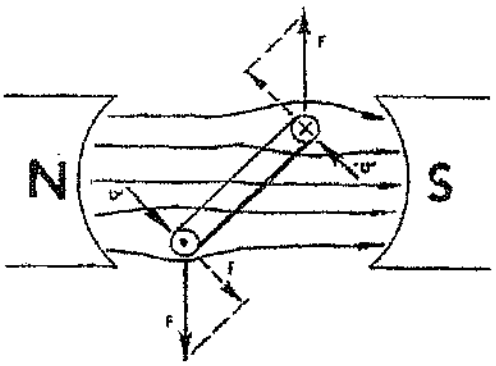
ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่า เส้นลวดที่มีกระแสไหลเข้า จะทำให้เกิดแรงผลักด้าน B ลง ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กรอบขดลวด A ซึ่งมีกระแสไหลเข้าจะมีความเข้มมากขึ้นทางด้านล่างและเจือจางทางด้านบนขดลวดทางด้าน A ฉะนั้นจะพิสูจน์ได้ตามกฎมือขวา คือ ขดลวดด้าน A จะเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน จึงทำให้ขดลวด A – B หมุนไปจนกระทั่งระนาบของขดลวดตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก ระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ของแท่นแม่เหล็ก แรงที่พยายามทำให้ขดลวดหมุนนี้เรียกว่า " แรงบิด (Torque) " เมื่อท่านจะหมุนพวงมาลัยรถยนต์ท่านจะต้องให้แรงบิดแก่พวงมาลัย เครื่องยนต์ของอากาศยานจะให้แรงบิดแก่ใบพัด แรงบิดจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ขดลวดที่มีกระแสไฟไหล ตามที่ได้อธิบายมาแล้วและเป็นแรงบิดที่ทำให้ขดลวดหมุน แรงบิดที่เกิดขึ้นนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง เช่น ความเข้มสนามแม่เหล็กทั้งสองสนามที่ทำให้ปฏิกิริยาและตำแหน่งของขดลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก แม่เหล็กทำด้วยเหล็กพิเศษที่สามารถให้ความเข้มสนามแม่เหล็กได้สูง ฉะนั้นจะมีแรงบิดกระทำปฏิกิริยาที่ขดลวดทุกรอบ ถ้ารอบขดลวดยิ่งมากรอบยิ่งทำให้เกิดแรงบิดมาก ขดลวดที่มีกระแสไหลผ่านคงที่ และอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มไม่เปลี่ยนแปลง แรงบิดที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งการหมุนของขดลวด และถ้าระนาบของขดลวดอยู่ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงบิดสูงที่สุด แต่ถ้าระนาบของขดลวดตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กแรงบิดจะเกิดขึ้นจะน้อยที่สุด ถ้าเป็นตำแหน่งกึ่งกลาง แรงบิดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงระหว่างศูนย์ถึงมากที่สุด



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งที่เกิดแรงบิดสูงสุด

ทางด้านขวามือของขดลวดในรูปที่ 4 มีกระแสไหลเข้าขดลวด เมื่อทดสอบกฎมือขวาของมอเตอร์แล้วปรากฏว่าจะมีแรงผลักขดลวดขึ้นข้างบน แรงผลักนี้มีทิศทางขนานกับการเคลื่อนที่ของตัวนำ (ในตำแหน่งนี้) ฉะนั้นแรงทั้งหมดนี้จึงพยายามจะทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ ในทำนองเดียวกันตัวนำอีกด้านหนึ่งจะมีแรงผลักให้ตัวนำลงด้านล่างและแรงผลักนี้ก็ขนานกับการเคลื่อนที่ของตัวนำเช่นกัน แรงทั้งหมด จึงทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งดังกล่าว แรงบิดที่ขดลวดจะเกิดขึ้นมากที่สุดจากรูปที่ 4 F แสดงถึงแรง V แสดงการเคลื่อนที่ของตัวนำตามลูกศร แรงทั้งสองนี้กระทำปฏิกิริยาที่ขดลวดทั้งสองมีค่าและทิศทางเหมือนเดิม (คงที่) ถ้าสนามแม่เหล็กและกระแสที่ไหลผ่านขดลวดคงที่ ผลของแรงที่เกิดขึ้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของ

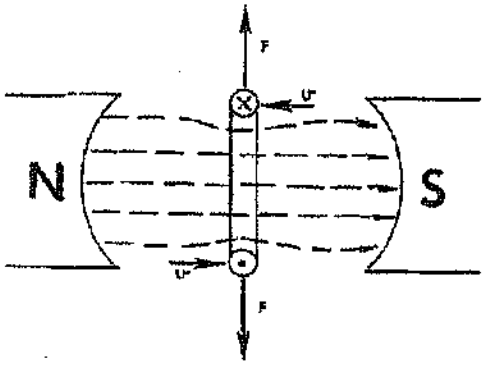
ขดลวดที่เคลื่อนที่ไป เพราะการเคลื่อนที่ของขดลวดจะทำให้แรงและทิศทางการเคลื่อนที่ไม่ขนาน·ก้น



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งที่เกิดแรงบิดประมาณ 70 %

ในรูปที่ 5 นี้แสดงให้เห็นว่าขดลวดหมุนไปแล้ว 45° แรงทั้งสองที่เกิดขึ้นซึ่งเมื่อดราวที่แล้วมีทิศทางขนานกับการเคลื่อนที่ของขดลวด แต่ในตำแหน่งใหม่นี้มีทิศทางของการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีแรงบางส่วนเท่านั้นที่ใช้ทำให้ขดลวดเคลื่อนที่ได้ ส่วนแรงที่เหลือจะเป็นแรงที่พยายามดึงขดลวดไปอีกทางหนึ่ง แรงที่ทำให้ขดลวดเคลื่อนที่ได้นี้มีเพียง 70 % เท่านั้น ซึ่งแสดงไว้ในรูปตามลูกศร f

ถ้าขดลวดยังหมุนต่อไปอีก แรงจะเกิดขึ้นลดลง เหตุผลก็คือ เมื่อขดลวดหมุนต่อไปจนถึง 90° จากจุดเริ่มต้นในรูปที่ 4 แรงที่กระทำปฏิกิริยาต่อตัวนำยังมีค่าเท่าเดิมและทิศทางก็ยังผลักตัวนำขึ้นข้างบน ดังรูปที่ 6 ส่วนตัวนำทางด้านล่างก็มีแรงผลักลง ซึ่งตรงข้ามกับแรงที่กระทำต่อตัวนำด้านบนดังนั้นที่ตำแหน่งนี้



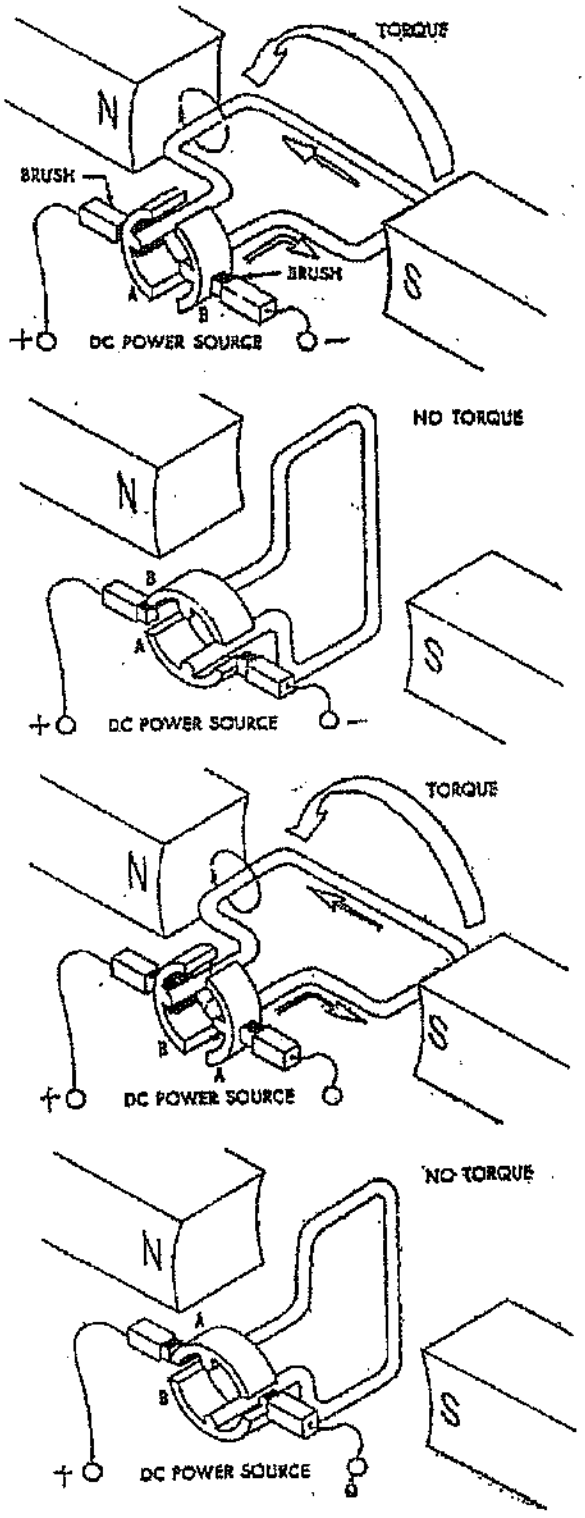
รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งที่เกิดแรงบิดน้อยสุด

จึงไม่มีแรงใด ๆ ที่มีทิศทางขนานกับการเคลื่อนที่ของตัวนำ ฉะนั้นจึงไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นแทนที่แรงทั้งสองนี้จะดึงขดลวดไปในทิศทางตรงข้ามซึ่งดูคล้าย ๆ กับดึงขดลวดให้แยกจากกันในตำแหน่งที่ขดลวดจะผ่านจุดที่ไม่มีแรงบิดไปโดยไม่มีแรงดันคอยต้านไว้ แต่แรงก็ยังทำปฏิกิริยาในทิศทางเดิม ซึ่งจะทำให้ขดลวดหยุดเคลื่อนที่และส่งเสริมให้อยู่ตำแหน่งเดิมนี้แต่เราสามารถหาวิธีป้องกันได้ คือ อาจจะกลับทิศทางของ

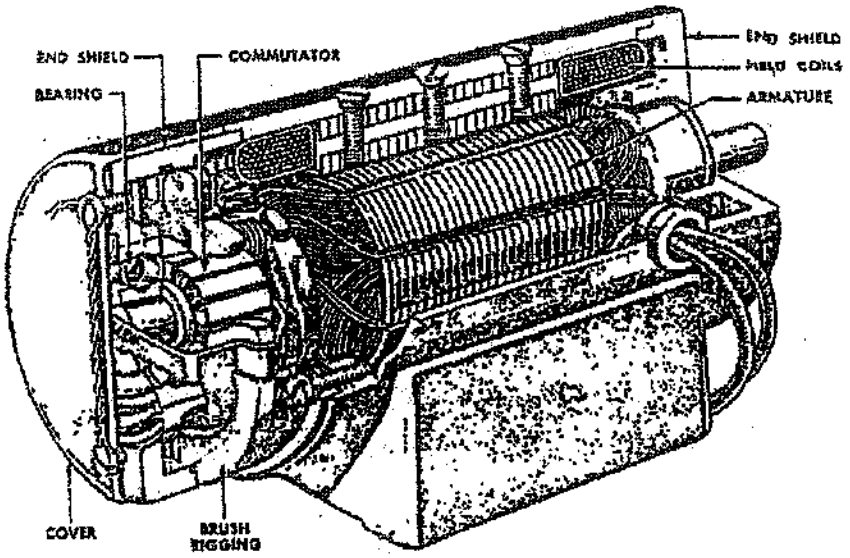
สนามแม่เหล็กหรือกลับทิศทางของกระแสที่ไหลเข้าขดลวดวิธีใดวิธีหนึ่งแต่วิธีกลับทิศทางของกระแสเป็นวิธีที่ง่ายกว่าและสามารถกระทำได้โดยตัดวงจรของกระแสที่ส่วนของคอมมิวเตเตอร์ ณ ตำแหน่งที่ไม่มีแรงบิดนี้เสีย ทิศทางของกระแสนี้จะกลับทิศทางที่ปลายของขดลวดแต่ละด้านตรงข้อต่อของแปรงถ่าน ปกติแล้วขดลวดจะหมุนผ่านตำแหน่งนี้ไปได้ด้วยแรงเฉื่อย

ในรูปที่ 7 A และ B เป็นขั้วของขดลวด ขณะที่ขดลวดหมุนขั้วของขดลวดจะหมุนตาม พร้อมทั้งสัมผัสไปตามและผ่านขั้วที่อยู่กับที่หรือแปรงถ่าน ด้วยการจัดเช่นนี้จะทำให้กระแสที่ไหลทางด้านขดลวดที่เข้าหาขั้วเหนือแม่เหล็กมีทิศทางเข้าหาตัวเรา จึงทำให้แรงที่เกิดขึ้นที่ปลายขดลวดด้านนี้เคลื่อนที่ลงด้านล่าง ชิ้นส่วนที่เป็นตัวถ่ายกระแสจากแปรงถ่านไปยังปลายขดลวดเรียกว่า คอมมิวเตเตอร์ และส่วนตัดของคอมมิวเตเตอร์ (ดือที่ A และ B) ซึ่งปลายขดลวดต่ออยู่เรียกว่า ซีกของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อขดลวดอยู่ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 7 กระแสจะไหลจากขั้วลบจากแหล่งจ่ายพลังงานกระแสตรงไปยังแปรงถ่านด้านลบไปยังซีกคอมมิวเตเตอร์ B ผ่านขดลวดไปยังซีกคอมมิวเตเตอร์ A และผ่านแปรงถ่านบวกกลับไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้กฎมือขวาของมอเตอร์ทดสอบดู จะเห็นได้ว่าขดลวดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ณ ตำแหน่งนี้แรงบิดจะเกิดขึ้นมากที่สุดเพราะขดลวดหมุนผ่านเส้นแรงแม่เหล็กที่เข้มข้นที่สุด และเมื่อขดลวดหมุนต่อไปอีก 90° ในตำแหน่งที่ 2 ซีกคอมมิวเตเตอร์ A และ B จะไม่สัมผัสกับแปรงถ่านเลย จึงทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวด ฉะนั้น ณ ตำแหน่งนี้แรงบิดจะเกิดขึ้นน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามแรงเฉื่อยของขดลวดจะทำให้ขดลวดหมุนเลยตำแหน่งนี้ไปได้จนกระทั่งคอมมิวเตเตอร์สัมผัสกับแปรงถ่านและได้รับกระแสจากวงจรต่อไป แต่ในตำแหน่งนี้กระแสจะไหลเข้าซีก A และออกซีก B ฉะนั้นตำแหน่งของซีก A และ B จึงกลับกัน ผลของกระแสจึงทำให้ขดลวดหมุนทวนเข็มนาฬิกาเหมือนตอนแรก จนกระทั่งมาอยู่ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 7 จะเกิดแรงบิดสูงสุดอีกครั้งหนึ่ง และหมุนต่อไปจนถึงตำแหน่งที่ 4 ซึ่งเกิดแรงบิดน้อยที่สุด ณ ตำแหน่งนี้ขดลวดจะไม่ได้รับกระแสเลย แต่ขดลวดยังหมุนต่อไปด้วยแรงเฉื่อยจึงถึงจุดเริ่มต้นและครบหนึ่งรอบ ทุก ๆ หนึ่งรอบที่ขดลวดหมุนไปนั้น ขั้วขดลวดจะเคลื่อนที่จากแปรงถ่านหนึ่งไปยังอีกแปรงถ่านหนึ่ง 2 ครั้ง

แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ซึ่งมีขดลวดเพียงขดเดียวดังกล่าวมาแล้ว มีแรงบิดเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่องและไม่มีประสิทธิภาพ เพราะมีตำแหน่งที่ไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นถึง 2 ตำแหน่ง ฉะนั้นในทางปฏิบัติมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงใช้ขดลวดจำนวนมากพันไว้ที่อเมเจอร์ ขดลวดเหล่านี้จะจัดพันอเมเจอร์ไว้ทุกตำแหน่ง จึงมีขดลวดอยู่ใกล้ขั้วแม่เหล็กตลอดเวลาซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดเพิ่มมากขึ้นและคงที่ ในทำนองเดียวกัน คอมมิวเตเตอร์ก็แบ่งเป็นซีก ๆ จำนวนมากแทนที่จะมี 2 ซีกในทางปฏิบัติอเมเจอร์ก็มิได้อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กถาวรแต่จะอยู่ในระหว่างแม่เหล็กไฟฟ้า จึงทำให้ยิ่งมีสนามแม่เหล็กเข้มขึ้น แกนของแม่เหล็กไฟฟ้าทำด้วยวัสดุประเภทซึ่งสามารถทำให้เกิดสนามแม่เหล็กได้เข้มข้นขึ้นโดยการชักนำซึ่งปกติทำด้วยเหล็กกล้าอบอ่อน กระแสที่นำไปชักนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้ได้มาจากแหล่งจ่ายกระแสเดียวกันกับที่จ่ายให้อเมเจอร์



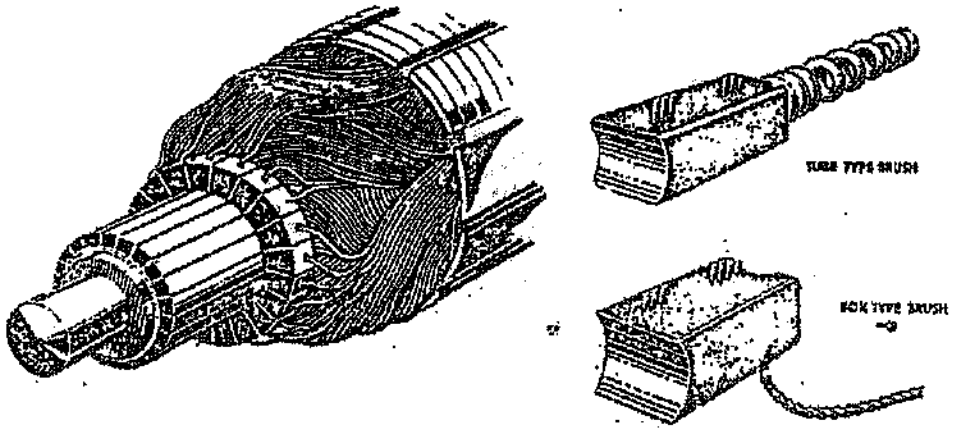
รูปที่ 7 การทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 8 แสดงภาพตัดของมอเตอร์กระแสตรง

ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยชุดอเมเจอร์, ชุดขดลวดฟิลด์, ชุดแปรงถ่าน และโครงสร้างยึดเรือนท้าย ดังรูปที่ 8

ชุดอเมเจอร์ประกอบด้วยแกนเหล็กอ่อนเป็นแผ่นบาง ๆ , ขดลวดและคอมมิวเตเตอร์ ทั้งหมดนี้ติดตั้งไว้ที่เพลาเหล็กกล้าตัน รูปที่ 9



รูปที่ 9 คอมมิวเตเตอร์และชนิดของแปรงถ่าน

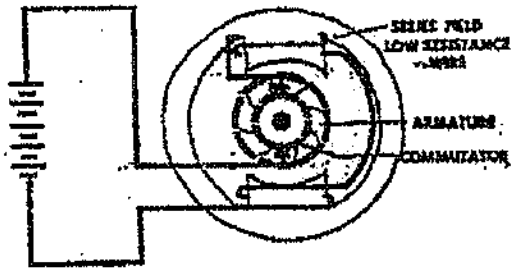
แผ่นเหล็กอ่อนบางๆซึ่งประกอบกันเป็นอเมเจอร์นั้น แต่ละแผ่นจะใช้ฉนวนกั้นไว้ การที่ไม่ใช้เหล็กแข็งขึ้นรูปทำเป็นแกนอเมเจอร์ เนื่องจากจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนเวียนอยู่ในเนื้อเหล็กเกิดกระแสไหลอลวน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูงในเนื้อเหล็ก และเป็นพลังงานสูญเปล่าขดลวดอเมเจอร์ประกอบด้วยลวดทองแดงมีฉนวนหุ้ม พันไว้ในร่องที่มีฉนวนป้องกันอีกชั้นหนึ่ง โดยมีชิ้นปิดช่องไว้อีกต่อหนึ่ง เพื่อป้องกันมิให้ขดลวดหลุดออกจากช่องในขณะที่อเมเจอร์หมุนด้วยความเร็วสูง ปลายขดลวดแต่ละปลายต่อไว้กับซีกคอมมิวเตเตอร์ซึ่งทำด้วยแผ่นทองแดงประกอบกันเป็นรูปวงกลม ระหว่างซีกคอมมิวเตเตอร์มีฉนวนกั้นเพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างขดลวด ในทำนองเดียวกันระหว่างคอมมิวเตเตอร์กับเพลาก็มีฉนวนกั้นเพื่อป้องกันการลัดวงจรจากขดลวดไปยังเพลาฉนวนที่ใช้กั้นส่วนมากทำด้วยไมกา (Mica)

ชุดขดลวดฟิลด์ ประกอบด้วยโครงสร้างฟิลด์ขั้วแม่เหล็กและขดลวดฟิลด์ โครงสร้างฟิลด์ติดตั้งไว้ที่ผนังด้านในของตัวเรือน โครงสร้างนี้ประกอบด้วยแผ่นเหล็กอ่อนอัดเป็นรูปขั้วแม่เหล็กซึ่งจะใช้ขดลวดฟิลด์พันไว้ที่ขั้วแม่เหล็กนี้ ตัวขดลวดประกอบด้วยเส้นลวดหุ้มฉนวนพันไว้ที่ขั้วแม่เหล็ก และเรียกว่าขั้วฟิลด์

ชุดแปรงถ่านประกอบด้วยแปรงถ่านและที่ยึด ตัวแปรงถ่านโดยปกติมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมทำด้วยถ่านอัด ฉะนั้นจึงมีอายุใช้งานได้นานโดยมีการสึกหรอน้อยที่สุดเมื่อสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ที่ยึดแปรงถ่านจะทำให้แท่งแปรงถ่านยืดหยุ่นแหน่งได้เล็กน้อย ฉะนั้นแปรงถ่านจึงสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ซึ่งมีรูปร่างโค้งได้อย่างสนิทตลอดเวลา และสปริงจะยึดแปรงถ่านให้แนบแน่นกับคอมมิวเตเตอร์ไว้

ชุดประกอบยึดเรือนท้ายของมอเตอร์อยู่ตรงข้ามกับด้านที่มีคอมมิวเตเตอร์ ชุดประกอบยึดเรือนท้ายนี้โดยปกติจะออกแบบไว้ให้ขบได้กับเฟืองของหน่วยขับ โดยมีแบริ่งติดตั้งไว้ปลายสุด ในบางโอกาสชิ้นยึดเรือนท้ายจะออกแบบไว้ให้ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของหน่วยขับด้วย

3. <u>ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor.)</u> คือ มอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์ต่อนข้างเส้นโต และพันขั้วแม่เหล็กไว้มีจำนวนน้อยรอบ ต่ออนุกรมกับขดลวดอเมเจอร์ ดังรูปที่ 10

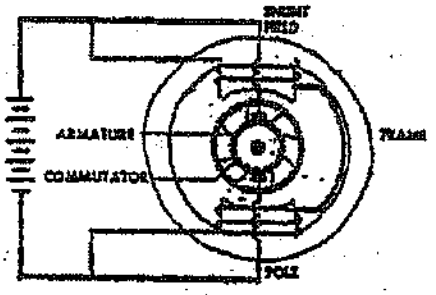


<u>รูปที่ 10 ซีรี่ย์มอเตอร์ (Series Motor.)</u>

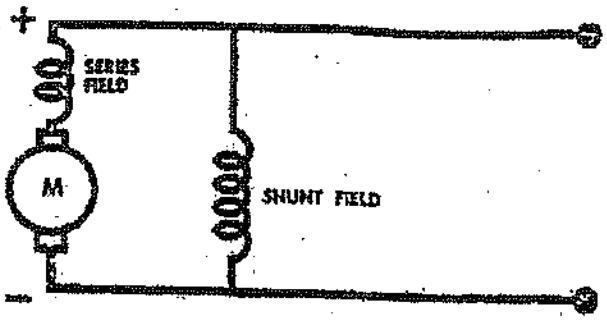
เนื่องจากขดลวดมีความต้านทานต่ำ ฉะนั้นในขณะเริ่มต้นหมุน (Start) จะกินกระแสไฟสูงมาก กระแสที่ใช้ขณะเริ่มต้นหมุนจะไหลผ่านทั้งขดลวดฟิลด์และขดลวดอเมเจอร์ เพื่อทำให้เกิดแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของซีรีส์มอเตอร์

ความเร็วของซีรีส์มอเตอร์ขึ้นอยู่กับภารกรรมของมอเตอร์ ถ้าภารกรรมเปลี่ยนแปลง จะทำให้ความเร็วเปลี่ยนแปลงด้วย ซีรีส์มอเตอร์จะหมุนที่รอบสูงถ้าภารกรรมน้อย และหมุนรอบต่ำถ้าภารกรรมมาก ถ้าปลดภารกรรมออกทั้งหมด จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วมากจนถึงกับอเมเจอร์หลุดกระเด็นออกมาได้

4. <u>ชั้นต์มอเตอร์</u> (Shunt Motor.) คือมอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์ต่อขนานกับขดลวดอเมเจอร์ดังรูปที่ 11



<u>รูปที่ 11 ชั้นต์มอเตอร์</u> (Shunt Motor.)



<u>รูปที่ 12 คอมปาวด์มอเตอร์</u> (Compound Motor.)

ความต้านทานขดลวดฟิลด์ของชั้นต์มอเตอร์มีค่าสูง และต่อคร่อมไว้โดยตรงกับวงจรแหล่งจ่ายพลังไฟฟ้าภายนอก กระแสที่ไหลผ่านขดลวดฟิลด์มีค่าคงที่ กระแสจะไม่เปลี่ยนแปลงตามรอบการหมุนของมอเตอร์เหมือนกับกระแสที่ไหลผ่านฟิลด์ของซีรีส์มอเตอร์ ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าแรงบิดของชั้นต์มอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสที่ไหลผ่านขดลวดอเมเจอร์เท่านั้น ในมอเตอร์ขนาดเดียวกันแรงบิดเริ่มหมุนของชั้นต์มอเตอร์จะเกิดขึ้นน้อยกว่าซีรีส์มอเตอร์

รอบของชั้นต์มอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยขณะภารกรรมเปลี่ยนแปลง และเมื่อนำภารกรรมออกหมด มอเตอร์จะมีรอบสูงกว่าขณะที่มีภารกรรมเพียงเล็กน้อย ฉะนั้นชั้นต์มอเตอร์จึงเหมาะสำหรับใช้กับภารกรรมที่ไม่ต้องการแรงบิดเริ่มแรกสูงและต้องการรอบคงที่ มอเตอร์แบบนี้ถ้าให้ทำงานที่รอบต่ำเกินไปอาจจะทำให้มอเตอร์ชำรุดได้

5. <u>คอมปาวด์มอเตอร์</u> (Compound Motor.) คือ มอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์ 2 ชุด ชุดหนึ่งต่อเป็นอนุกรมและอีกชุดหนึ่งต่อขนานกับขดลวดอเมเจอร์ ดังรูปที่ 12

ขดลวดชั้นต์ฟิลด์ซึ่งต่อขนาน เป็นลวดขนาดเล็กพันไว้จำนวนมากรอบ ส่วนขดลวดซีรีส์ฟิลด์ซึ่งต่ออนุกรมกับขดลวดอเมเจอร์เป็นลวดขนาดใหญ่พันไว้น้อยรอบ

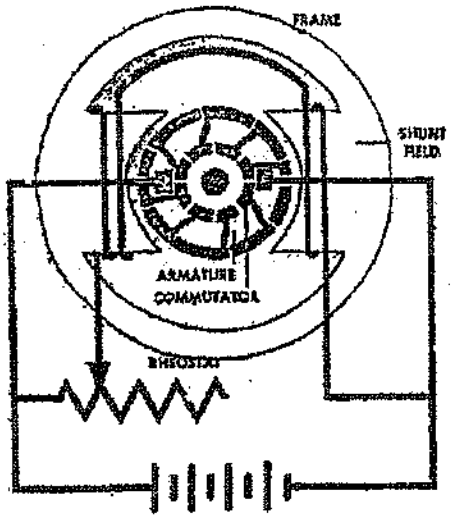
แรงบิดเริ่มหมุนของคอมปาวด์มอเตอร์มีมากกว่าชั้นต์มอเตอร์แต่น้อยกว่าซีรีส์มอเตอร์การเปลี่ยนแปลงรอบของมอเตอร์ขณะมีภารกรรมเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าซีรี่ย์มอเตอร์ จึงเหมาะสำหรับใช้กับงานที่ต้องการทั้งคุณสมบัติของซีรีส์มอเตอร์และชั้นมอเตอร์

6. <u>แรงดันย้อนกลับ (Back E.M.F.)</u> ขณะที่อเมเจอร์ของมอเตอร์หมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นในขดลวด แรงดันชักนำนี้เรียกว่า "แรงดันกลับทางหรือแรงดันย้อนกลับ" (Back or counter E.M.F.) ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์จากวงจรภายนอก แรงดันย้อนกลับจะต่อต้านกระแสซึ่งทำให้อเมเจอร์หมุน ฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่านอเมเจอร์จะลดลงขณะที่แรงดันย้อนกลับเพิ่มขึ้น ยิ่งอเมเจอร์หมุนเร็วขึ้นเท่าไรจะทำให้แรงดันย้อนกลับมีค่าสูงขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวมานี้จึงเห็นได้ว่าขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน มอเตอร์จะกินกระแสไฟสูงมาก และขณะที่มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นแรงดันย้อนกลับจะมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้กระแสไหลเข้าขดลวดอเมเจอร์ได้น้อยลง ที่รอบทำงานของมอเตอร์แรงดันย้อนกลับจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่จ่ายให้จากภายนอกเพียง 2 - 3 โวลต์เท่านั้น ดังนั้นถ้าภารกรรมของมอเตอร์เพิ่มขึ้น จึงทำให้รอบของมอเตอร์ลดลงและแรงดันย้อนกลับก็ลดลงตามรอบของมอเตอร์ เมื่อแรงดันย้อนกลับลดลงกระแสจากแหล่งจ่ายจะไหลเข้าขดลวดอเมเจอร์เพิ่มขึ้น

สำหรับชั้นต์มอเตอร์นั้น ผลจากแรงดันย้อนกลับจะกระทบกระเทือนแต่เพียงกระแสในขดลวดอเมเจอร์เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากขดลวดฟิลด์ต่อขนานกับแหล่งจ่ายกระแส คือขณะที่มอเตอร์หมุนช้าลงและแรงดันย้อนกลับจะต่ำลงตาม ทำให้กระแสไหลเข้าได้มากขึ้น แต่สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดฟิลด์ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนซีรีส์มอเตอร์นั้น ขณะที่รอบลดลงและแรงดันย้อนกลับจะลดลงตาม ทำให้กระแสไหลผ่านขดลวดฟิลด์ได้มากขึ้นเหมือนกับที่ไหลผ่านขดลวดอเมเจอร์ (เพราะต่อกันเป็นอนุกรม) จึงทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กของฟิลด์เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้รอบของซีรีส์มอเตอร์จึงไม่คงที่เหมือนชั้นต์มอเตอร์

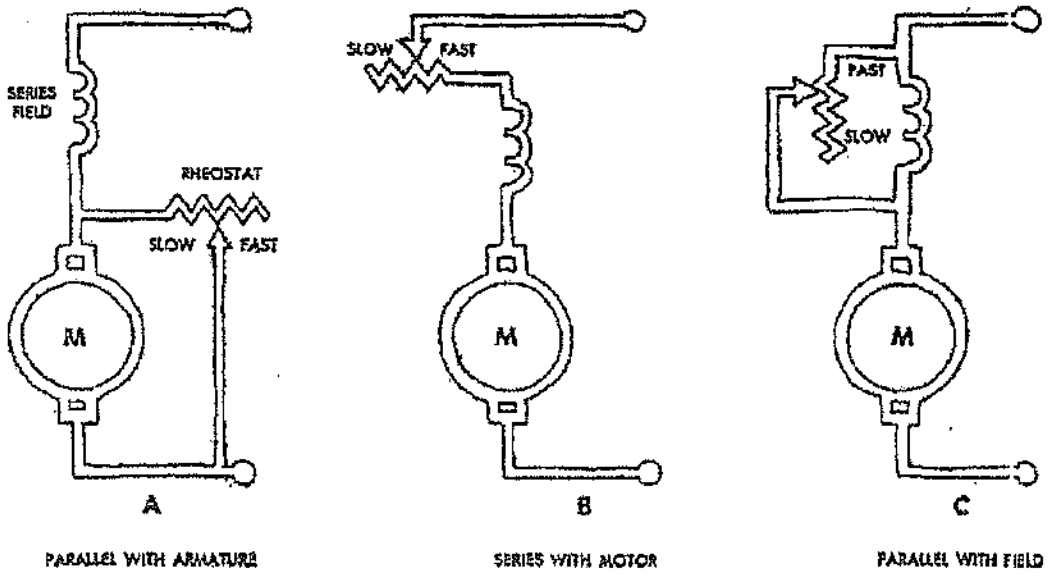
7. <u>รอบของมอเตอร์</u> ชั้นต์มอเตอร์สามารถควบคุมรอบได้โดยการเพิ่มหรือลดกระแสที่ไหลเข้าขดลวดฟิลด์ ดังรูปที่ 13 ขณะที่กระแสไหลเข้าขดลวดฟิลด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นแต่รอบของมอเตอร์จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดแรงดันย้อนกลับในขดลวดอเมเจอร์เพิ่มมากขึ้น และถ้ากระแสไหลเข้าขดลวดฟิลด์ลดลง จะทำให้รอบมอเตอร์สูงขึ้น เพราะแรงดันย้อนกลับในขดลวดอเมเจอร์ลดลง มอเตอร์ที่สามารถควบคุมรอบได้นี้เรียกว่า "Variable Speed Motor" สำหรับชั้นต์มอเตอร์นั้นสามารถควบคุมรอบได้โดยใช้ตัวต้านทานเปลี่ยนค่า (Rheostat) ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดฟิลด์ รอบของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานไปยังขดลวดฟิลด์ ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นจะต้องเพิ่มค่าความต้านทานที่ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าซึ่งจะทำให้กระแสไหลเข้าฟิลด์ลดลง เป็นผลให้ความเข้มสนามแม่เหล็กลดลงและแรงดันย้อนกลับก็ลดลงด้วย กระบวนการเช่นนี้จะทำให้กระแสในอเมเจอร์ และแรงบิดเพิ่มขึ้นชั่วขณะหนึ่ง จึงทำให้รอบมอเตอร์สูงขึ้นอย่างอัตโนมัติ จนกระทั่งแรงดันย้อนกลับเพิ่มขึ้น และเป็นสาเหตุให้

กระแสในอเมเจอร์ลดลงถึงค่าเดิม และเมื่อเป็นเช่นนี้ย่อมจะทำให้รอบมอเตอร์คงที่ที่รอบสูงกว่าเดิม



รูปที่ 13 การควบคุมรอบการหมุนของชั้นต์มอเตอร์

การลดรอบมอเตอร์จำเป็นต้องลดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่า ยิ่งมีกระแสไหลผ่านขดลวดฟิลด์มากขึ้นย่อมเป็นการเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กมากขึ้น การที่แรงดันย้อนกลับลดลงชั่วคราวย่อมเป็นการลดกระแสในอเมเจอร์ และเป็นผลให้แรงบิดลดลงเป็นเหตุให้มอเตอร์มีรอบลดลงจนกระทั่งแรงดันย้อนกลับลดลงถึงค่าเดิมจึงทำให้มอเตอร์มีรอบคงที่ที่ต่ำกว่าเดิม



รูปที่ 14 การควบคุมรอบการหมุนของซีรีส์มอเตอร์

การควบคุมรอบการหมุนของซีรีส์มอเตอร์ สามารถควบคุมได้โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ต่อด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งใน 3 วิธี คือ

ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อขนานกับขดลวดอเมเจอร์ ดังรูป A ของรูปที่ 14

ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดฟิลด์ ดังรูป B ของรูปที่ 14

ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อขนานกับขดลวดฟิลด์ดังรูป C ของรูปที่ 14

ในรูป A ถ้าเพิ่มความต้านทานของตัวต้านทานจะทำให้กระแสไหลเข้าขดลวดอเมเจอร์ได้มากขึ้น ฉะนั้นรอบมอเตอร์จะสูงขึ้น

ในรูป B ถ้าเพิ่มความต้านทานของตัวต้านทานจะทำให้กระแสไหลเข้าทั้งขดลวดฟิลด์และขดลวดอเมเจอร์ลดลง ฉะนั้นรอบของมอเตอร์จะลดลง

ในรูป C ถ้าเพิ่มความต้านทานของตัวต้านทานจะทำให้กระแสในอเมเจอร์ลดลง ฉะนั้นรอบของมอเตอร์จะลดลง

บทที่ 6
ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current.)

1. เปรียบเทียบไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง

1.1 กล่าวนำ ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแหล่งจ่ายไฟไปตามวงจรและไหลกลับมายังแหล่งจ่ายโดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทางการไหล แต่ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับอิเล็กตรอนจะไม่เคลื่อนที่ผ่านวงจรในทิศทางเดียว แต่ในครั้งแรกจะเคลื่อนที่ในทิศทางหนึ่งและแล้วเปลี่ยนในอีกทิศทางหนึ่ง ฉะนั้นจึงเรียกกระแสที่ไหลเปลี่ยนทิศทางนี้ว่าไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current) ดังนั้นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจึงเป็นไปเช่นนี้ตลอดเวลาในขณะที่วงจรปิด (ครบวงจร) กระแสที่ไหลผ่านความเข้านทานจะมีผลเช่นเดียวกันไม่ว่าจะเป็นกระแสตรงหรือกระแสสลับ แต่ส่วนใหญ่เราใช้กระแสสลับมากกว่าทั้งในระบบไฟฟ้ากำลังในทางการค้า และระบบไฟฟ้าในอากาศยาน

1.2 ไฟฟ้ากระแสสลับดีกว่าไฟฟ้ากระแสตรงอย่างไร

1.2.1 แรงดันของไฟฟ้ากระแสสลับสามารถเปลี่ยนให้มีค่าสูงขึ้น หรือต่ำลงได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในระบบไฟฟ้ากระแสตรงสามารถลดแรงดันได้โดยใช้ความต้านทานแต่ก็ทำให้เกิดความร้อนขึ้นตลอดเวลา อีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ลดหรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ก็คือใช้กำลังไฟฟ้าไปหมุนมอเตอร์ แล้วนำมอเตอร์ไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกต่อหนึ่ง เพื่อให้ได้แรงดันตามที่ต้องการ กระบวนการเช่นนี้เราสามารถเปลี่ยนแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้ แต่ก็จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์การหมุนถึงสองเครื่อง ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น การซ่อมบำรุงมากขึ้น สูญเสียกำลังมากขึ้นอีกทำให้ต้นทุนสูงขึ้นด้วย ส่วนในระบบไฟฟ้ากระแสสลับนั้น สามารถเปลี่ยนแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้โดยใช้ทรานส์ฟอร์เมอร์ (Transformer) ซึ่งมีน้ำหนักเบา ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูง และไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่เลย

1.2.2 ในทางปฏิบัติแล้ว การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงทำได้ง่ายกว่าการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับวิธีทั่วๆ ไปที่ใช้ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ คือใช้มอเตอร์กระแสตรงไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนกรรมวิธีอย่างอื่นในการเปลี่ยนเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ คือการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบเป็นห้วงของกระแสไฟตรง (Pulse DC) แล้วให้ไหลผ่านขดลวดไพรมารี่ของทรานส์ฟอร์เมอร์ จะได้กระแสไฟทางออกจากขดลวดเซคันดารี่เป็นกระแสไฟสลับ การกระทำด้วยวิธีเช่นนี้ในทางปฏิบัติแล้วจะทำก็ต่อเมื่อต้องการกระแสจำนวนน้อยๆเท่านั้น เพราะว่าการที่จะทำให้หน้าสัมผัสปิดเปิดตลอดเวลาเพื่อให้ได้ห้วงกระแสไฟตรงนั้น ถ้ามีกระแสไฟที่มีค่าสูงผ่านจะทำให้หน้าสัมผัสไหม้เร็วขึ้น เนื่องจากการเกิดประกายไฟฟ้า ปัจจุบันการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถทำได้โดยการใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนการ

เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั้น สามารถเปลี่ยนได้ง่ายกว่าโดยใช้เรคติฟายเออร์ (Rectifier) ซึ่งราคาไม่แพงและสามารถสร้างได้ง่าย

1.2.3 ถ้าระบบไฟฟ้าหลักของอากาศยานเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้ว จะทำให้ระบบไฟฟ้าของอากาศยานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ด้วยเหตุผลดังนี้

1.2.3.1 การซ่อมบำรุงสำหรับ มอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟสลับน้อยกว่าของไฟฟ้ากระแสตรง

1.2.3.2 สามารถเพิ่มหรือลดแรงดันได้ง่ายกว่า อุปกรณ์ที่ใช้มีขนาดเล็กกว่าและใช้สายไฟที่มีขนาดเล็กกว่า (ทำให้มีน้ำหนักเบา)

1.2.3.3 การใช้ชิลด์ (Shield) ป้องกันเครื่องวัด ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับมีปัญหาน้อยกว่าระบบไฟฟ้ากระแสตรง เพราะเมื่อมีกระแสไหลที่ใดย่อมทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นทุกครั้ง และทางของสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนทุกครั้งเมื่อกระแสกลับทิศทาง การเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กบ่อย ๆ จากการที่กระแสสลับกลับทิศทาง ย่อมเป็นการลดความโน้มเอียงที่จะทำให้อุปกรณ์หรือส่วนของอากาศยานกลายเป็นแม่เหล็กถาวรลงได้ ซึ่งจะมีผลทำให้เครื่องวัดอ่านค่าได้แน่นอนยิ่งขึ้น

1.2.3.4 ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่า ไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับยังทำงานได้แน่นอนกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง และอุปกรณ์บางชนิดจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด

1.3 ข้อเสียของไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อเทียบกับไฟฟ้ากระแสตรง

1.3.1 ไฟฟ้ากระแสสลับนั้น แม้ว่าจะมีข้อดีในเรื่องที่ทำให้น้ำหนักเบาก็จริง แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ไม่สามารถเก็บประจุไว้ได้เช่นในแบตเตอรี่ ด้วยเหตุผลนี้แม้ว่าอากาศยานจะมีระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นหลักก็ตาม ก็ยังต้องมีแบตเตอรี่เป็นกำลังไฟสำรอง

1.3.2 เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับมีแรงดันสูง ฉะนั้นไฟฟ้ากระแสสลับจึงมีอันตรายมากกว่าไฟฟ้ากระแสตรง เพราะเมื่อแรงดันสูงขึ้นกระแสในวงจรนั้นจะสูงขึ้นด้วย ตามกฎของโอห์ม ถ้าร่างกายของเราเป็นส่วนหนึ่งในวงจรปิด ร่างกายจะช็อก หรืออาจจะถึงตายอันเนื่องจากกระแสไฟฟ้ามากกว่าแรงดัน แต่อย่างไรก็ตามในวงจรที่มีแรงดันสูงย่อมหมายถึงมีกระแสสูงด้วย

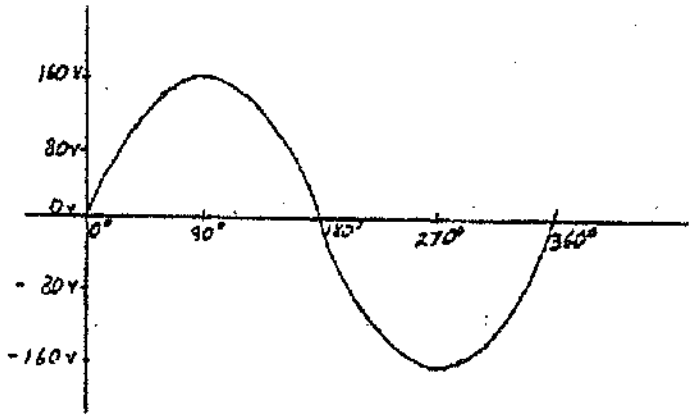
1.3.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในวงจรที่สลับซับซ้อนย่อมเป็นผลให้มีข้อขัดข้องเกิดขึ้น

2. <u>คำจำกัดความที่สำคัญ</u> โดยปกติแล้วการทำความเข้าใจไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ไม่ยากไปกว่าไฟฟ้ากระแสตรง เพียงแต่มีศัพท์เฉพาะ สูตร และสัญลักษณ์เพิ่มขึ้นเท่านั้น ฉะนั้นถ้าสามารถทำความเข้าใจกับสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วได้ จะทำให้เข้าใจไฟฟ้ากระแสสลับได้ง่ายขึ้น

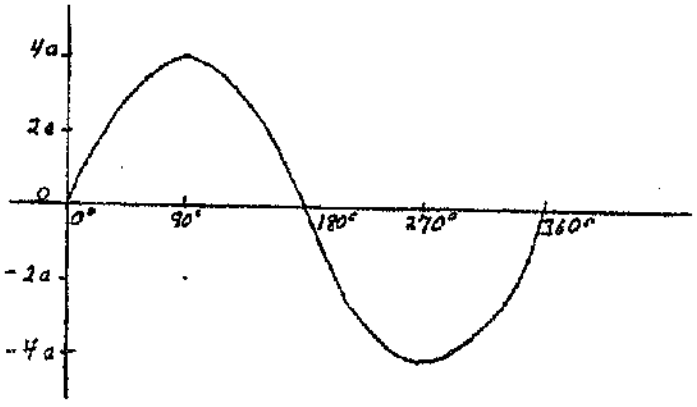
2.1 Alternating Current = AC หมายถึง กระแสไฟซึ่งกำลังเปลี่ยนแปลงค่า อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งมีทิศทางกลับไปมาตามช่วงระยะเวลา การเปลี่ยนแปลงค่าและกลับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้เป็นผลสะท้อนมาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่คล้ายกัน

2.2 Sine Wave เส้นโค้งไซน์ก็คือ เส้นกราฟหรือภาพที่ใช้แทนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Voltage) หรือกระแสไฟสลับ (Current) เส้นโค้งไซน์จะแสดงให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของทิศทาง ขนาดและระยะเวลา จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงเส้นโค้งไซน์ 2 เส้นแทนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสไฟสลับ

2.3 Cycle โดยทั่วไปแล้วคำว่า วัฏจักร (Cycle) หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นครบหนึ่งรอบและเป็นไปตามกฎเกณฑ์ที่แน่นอน เหตุการณ์ดังกล่าวนี้ ในรูปที่ 1 ซึ่งมีทั้งเส้นโค้งของแรงดันและกระแส เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นครบ 1 ไซเคิล เส้นโค้งกระแสดังตัวอย่างนั้นแสดงถึงกระแสเริ่มต้นจากศูนย์ถึงยอดโค้งในทิศทางหนึ่งแล้วลดลงจนถึงศูนย์ต่อจากนั้นจะกลับทิศทาง และเริ่มมีค่าสูงขึ้นจนถึงยอดโค้งในทิศทางตรงข้ามและกลับลงมาถึงศูนย์อีกครั้ง เส้นโค้งนี้จะเกิดขึ้นต่อไปอีก ซึ่งจะมีลักษณะซ้ำกับเส้นโค้งเดิม ถ้านำครึ่งไซเคิลทั้งสองมาเปรียบเทียบให้เป็นวงกลมย่อมจะมองเห็นได้ง่ายขึ้นกว่า จำนวนหนึ่งไซเคิลนั้นสามารถจำกัดลงได้เป็น 360 องศาทางไฟฟ้า ปัจจุบันเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "เฮิร์ด (Hertz = Hz)



VOLTAGE CURVE



CURRENT CURVE

รูปที่ 1 Voltage and Current Curve.

2.4 Alternation หมายถึง เส้นโค้งครึ่งไซเคิลหรือ 180 องศาทางไฟฟ้า ส่วนบนของเส้นอุปมา เรียกว่า ออลเทอร์เนชั่นบวก และส่วนที่อยู่ด้านล่างของเส้นอุปมา เรียกว่า ออลเทอร์เนชั่นลบ

2.5 Frequency ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ คือ จำนวนไซเคิลที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที สำหรับระบบไฟฟ้าของประเทศไทย ไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนต่าง ๆ นั้นมีความถี่ 50 ไซเคิลต่อวินาที ฉะนั้นใน 1 วินาที จะเกิดออลเทอร์เนชั่นขึ้น 100 ออลเทอร์เนชั่น สำหรับระบบไฟฟ้าที่ใช้กับอากาศยานจะมีความถี่ 400 ไซเคิล สูตรที่ใช้สำหรับหาความถี่ส่งออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคือ

$$\text{ความถี่} = \frac{\text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก} \times \text{รอบต่อนาที}}{120}$$

2.6 AC Voltage Values. ค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับบนเส้นโค้งไซน์ คือค่าความต่างศักย์ ณ จุดใดจุดหนึ่งที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เนื่องจากแรงดันจะเปลี่ยนแปลงค่าอย่างสม่ำเสมอและกลับทิศทางตามระยะเวลา ฉะนั้นค่าของแรงดันที่จุดใดจุดหนึ่งก็คือค่าของแรงดันจากศูนย์ถึงค่ามากที่สุดไม่ว่าเส้นโค้งไซน์จะอยู่ด้านใดของเส้นอุปมา และเรียกค่าต่าง ๆ นี้ว่า Instantaneous Value

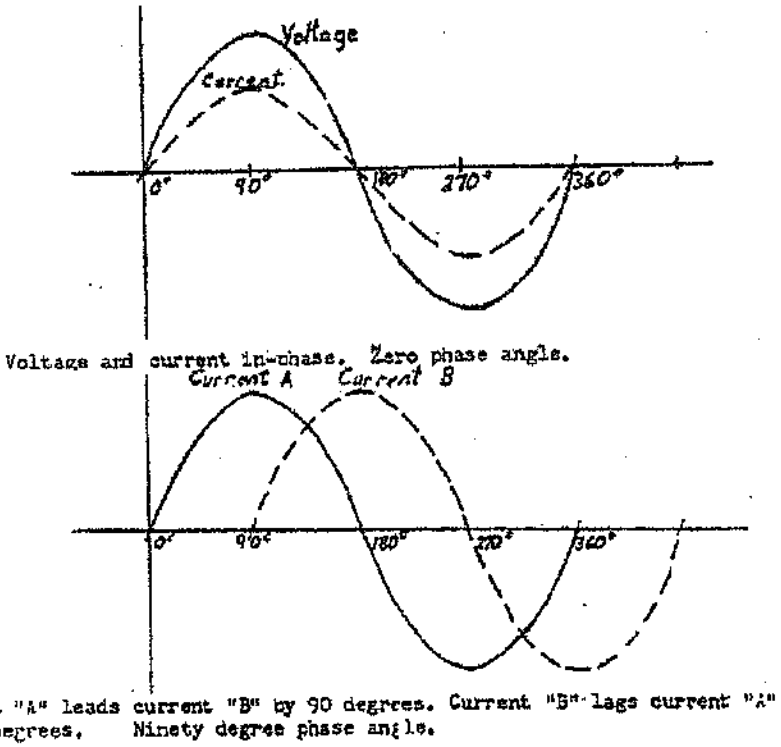
2.6.1 Peak Voltage คือค่าสูงสุดของ Instantaneous Voltage ฉะนั้นเมื่อดูจากเส้นโค้งไซน์จะเห็นได้ว่าค่าสูงสุดมีสองค่าและจะแตกต่างกันเฉพาะทิศทางของแรงดันเท่านั้น แม้ว่าค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่บอกถึงค่าแรงดันสูงสุด แต่ก็จำเป็นที่เราจะต้องทราบค่านี้ เป็นต้นว่าฉนวนหุ้มสายสามารถรับแรงดันได้สูงสุด 400 โวลต์ แรงดันกระแสสลับ ณ จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นโค้งไซน์จะต้องมีค่าไม่เกิน 400 โวลต์ แม้จะเพียงเกิดขึ้นชั่วขณะใดขณะหนึ่งก็ตาม จึงจะทำให้ปลอดภัย

2.6.2 Effective Voltage คือ ค่าของแรงดันกระแสสลับที่ปรากฏบนเครื่องวัดโวลต์มิเตอร์ ซึ่งจะไม่วัดค่าของแรงดันสูงสุดของเส้นโค้งไซน์ เพราะค่าแรงดันสูงสุดนั้นเกิดขึ้นเพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆ เมื่อพ้นระยะนี้แล้วค่าของแรงดันจะลดลง ในทำนองเดียวกันแม้ว่าจะมีชั่วระยะหนึ่งที่ค่าของแรงดันเป็นศูนย์ เครื่องวัดก็ไม่แสดงค่าศูนย์นี้ เพราะว่าค่าของแรงดันส่วนมากจะอยู่ในช่วงระยะเวลาที่มากกว่า ดังนั้นเครื่องวัดโวลต์มิเตอร์จะไม่แสดงปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วเพียงพอ ในการติดตามการเปลี่ยนค่าแรงดันตามเส้นโค้งไซน์ แต่เครื่องวัดจะแสดงค่าใดค่าหนึ่งระหว่างศูนย์ถึงค่าสูงสุดเครื่องวัดที่ชี้ค่าแรงดันกระแสสลับ 120 โวลต์ จะให้ความสว่างเท่ากับใช้ไฟกระแสตรง 120 โวลต์ ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสจะมีค่าสูงกว่าปกติในช่วงที่เกิดแรงดันสูงสุดในเมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสตรง 120 โวลต์ ซึ่งทำให้เพิ่มแสงสว่างมากกว่าเดิม หรืออีกนัยหนึ่งในช่วงระยะที่แรงดันมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งแสงสว่างที่ได้ควรจะหายไป (ไฟดับ) ณ ความถี่ปกติ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดขึ้นเร็วมากจนสายตาของเราไม่สามารถจับภาพได้ และผลของความร้อนที่เกิดขึ้นก็เท่าเดิม ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่า ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ให้ไฟฟ้ากระแสสลับทำงาน จะเท่ากับผลที่เกิดขึ้นจากการที่ให้ไฟฟ้ากระแสตรงทำงาน ด้วยเหตุนี้เราจะสามารถทราบค่าแรงดันใช้งานของไฟฟ้ากระแสสลับได้ ในเมื่อเราทราบค่าแรงดันสูงสุดนั้นโดยใช้สูตร

$$\text{แรงดันใช้งาน} = \frac{\text{แรงดันสูงสุด}}{\sqrt{2}}$$

หมายเหตุ สำหรับค่าของกระแสไฟสลับนั้น ก็มีชื่อเรียกค่าต่าง ๆ ของกระแสเช่นเดียวกับแรงดันคือมีค่า Instantaneous, Peak และ Effective Value.

2.7 Phase Angles เส้นโค้งไซน์ แสดงให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของขนาดและทิศทางเทียบกับเวลา ถ้านำค่าของกระแสไฟสลับมาเปรียบเทียบบนแกนอุปมาร่วมกัน ดังรูปที่ 2 จะทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นถ้าเราเปรียบเทียบในเทอมขององศาทางไฟฟ้าแทนที่จะใช้เป็นเศษส่วนของวินาที



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของเฟส

Phase angle ก็คือจำนวนองศาทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างจุดสองจุด ณ ตำแหน่งเดียวกันบนเส้นโค้งไซน์ 2 เส้น ถ้าตำแหน่งบนเส้นโค้งไซน์ทั้ง 2 นั้นเกิดขึ้นพร้อมกันเราเรียกว่า In phase กัน(รูปที่ 2 บน) ถ้าเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน เรียกว่า Out of Phase (รูปที่ 2 ล่าง)

3. <u>ความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ</u> ความต้านทานก็คือคุณสมบัติทางฟิสิกส์ซึ่งต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า การต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้านี้ขึ้นอยู่กับขนาด, วัสดุและอุณหภูมิ การเพิ่มค่าความต้านทานในวงจรจะทำให้กระแสไหลได้น้อยลง และทำให้เกิดแรงดันตกที่ความต้านทานนั้นสูงขึ้น ถ้านำกระแสไฟฟ้าจำนวนเดียวกันนี้มาแบ่งให้ไหลผ่านค่าความต้านทาน ซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน 2 ตัว แรงดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นที่ค่าความต้านทานทั้งสอง จะเป็นสัดส่วนกับค่าของความต้านทานนั้น ถ้าวงจรนั้นมีเพียง

ความต้านทานอย่างเดียว กระแสและแรงดันจะ In phase กันเสมอ และการที่กระแสไหลผ่านค่าความต้านทานย่อมจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย

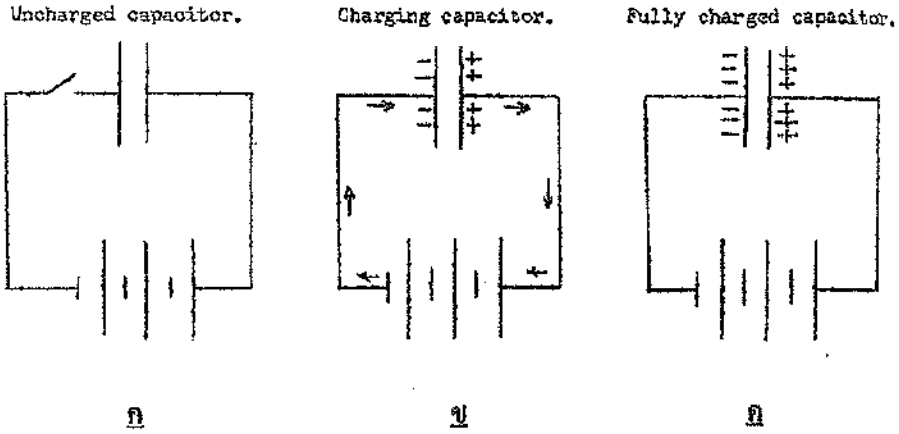
3.1 ผลจากความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม และทำให้กระแสไหลเข้าได้น้อยลงเช่นเดียวกับวงจรไฟฟ้ากระแสตรง การหากระแสไฟทั้งหมด และค่าความต้านทานทั้งหมดในวงจรก็คงใช้สูตรเดียวกัน โดยใช้กฎของโอห์ม ถ้าวงจรมีแต่ความต้านทานอย่างเดียวแล้ว กระแสและแรงดันจะ In Phase กันเสมอ การเพิ่มหรือลดค่าความต้านทานในวงจร จะทำให้แรงดันเพิ่มหรือลดลงเท่านั้น

3.2 การใช้ความต้านทานในอากาศยาน การใช้ความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับของอากาศยาน มีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับการใช้ค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนมากใช้ทำให้เกิดความร้อน หรือทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม (ลดแรงดัน)

4. <u>ตัวเก็บประจุ (Capacitors or Condensers)</u> คำว่า แคปาซิเตอร์ และคอนเดนเซอร์สามารถใช้เรียกแทนกันได้ โดยคำจำกัดความแล้ว แคปาซิเตอร์ คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บประจุไฟฟ้า จำนวนพลังงานที่เก็บไว้นี้มีค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ฉะนั้นประจุไฟฟ้าที่เก็บไว้โดยแคปาซิเตอร์จึงไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้ การนำแคปาซิเตอร์มาใช้งานนั้นเราได้รับประโยชน์จากผล มากกว่าที่ใช้ความสามารถในการเก็บประจุ แคปาซิเตอร์แบบง่ายที่สุดประกอบด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่นแยกจากกันโดยใช้ฉนวนกั้นไว้ วัสดุฉนวนนี้เรียกว่า Dielectric และแผ่นตัวนำเรียกว่า Plate โดยไม่จำกัดว่าแผ่นตัวนำจะมีรูปร่างอย่างไร

4.1 Capacitance แคปาซิแตนซ์ คือ ความสามารถในทางฟิสิกส์ที่จะรักษาประจุไว้ได้ของ แคปาซิเตอร์ และใช้สัญลักษณ์ย่อว่า C ค่าแคปาซิแตนซ์นั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นตัวนำ ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ และชนิดของฉนวนที่ใช้กั้นแผ่นตัวนำ

ในรูปที่ 3 (ก) ขณะที่สวิทช์ยังไม่เชื่อม ย่อมไม่มีกระแสไหลในวงจร เมื่อเชื่อมสวิทช์ตามในรูป 3 (ข) จะมีอิเล็กตรอนบางส่วนเคลื่อนที่ทั้ง ๆ ที่ตัวแคปาซิเตอร์เองเป็นตัวเปิดวงจรมีฉนวนกั้นระหว่างแผ่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้มีทางเป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะระยะระหว่างแผ่นตัวนำชิดกันมาก อีกทั้งพื้นที่แผ่นตัวนำเมื่อเทียบกับระยะระหว่างแผ่นตัวนำแล้วจะใหญ่กว่ามาก แบตเตอรี่พยายามจะผลักอิเล็กตรอนให้ออกจากขั้วลบไปยังแผ่นตัวนำซึ่งต่ออยู่กับแบตเตอรี่ อิเล็กตรอนจำนวนนี้จะผลักอิเล็กตรอนที่อยู่อีกแผ่นหนึ่งซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติของอิเล็กตรอนซึ่งจะผลักซึ่งกันและกัน เหมือนกับขั้วแม่เหล็กที่เหมือนกันย่อมผลักกัน ระหว่างที่มีอิเล็กตรอนไหลไปยังแผ่นหนึ่ง จะมีอิเล็กตรอนจำนวนเท่ากันไหลจากอีกแผ่นหนึ่งแต่มิใช่ไหลผ่านฉนวนในรูป 3 (ค) จะไม่มีกระแสไหล ทั้งนี้เพราะแรงดันของแบตเตอรี่จะดันให้อิเล็กตรอนไหลได้เพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้น และแผ่นตัวนำนั้นจะมีประจุเป็นลบส่วนแผ่นที่อิเล็กตรอนถูกผลักออกไปจะเหลือเป็นประจุบวก



รูปที่ 3 Capacitor

การรักษาจำนวนอิเล็กตรอนไว้ได้ด้วยแรงดันแบตเตอรี่ขณะนี้จะเพิ่มขึ้นได้ ถ้าลดระยะระหว่างแผ่นตัวนำลงซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนจากแผ่นหนึ่งมีผลมากขึ้นต่ออิเล็กตรอนอีกแผ่นหนึ่ง และถ้าขยายพื้นที่แผ่นตัวนำให้ใหญ่ขึ้น ย่อมทำให้แผ่นตัวนำเก็บอิเล็กตรอนได้เพิ่มขึ้นและจะผลักอิเล็กตรอนจากอีกแผ่นหนึ่งได้มากขึ้นด้วย หรือโดยการเปลี่ยนฉนวนที่กั้นแผ่นตัวนำให้มีวัสดุที่แตกต่างออกไปจากเดิม ย่อมจะทำให้ผลการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้ดีขึ้น ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ย่อมแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าแคปาซิแตนซ์ของแคปาซิเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ 3 อย่างดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้น แม้ว่าการเพิ่มแรงดันจะทำให้แคปาซิเตอร์เก็บประจุได้มากขึ้นก็ตาม แต่วิธีนี้จะไม่มีผลต่อค่าแคปาซิแตนซ์อันเป็นความสามารถในการเก็บประจุ ค่าแคปาซิแตนซ์ของแคปาซิเตอร์ก็เหมือนกับปริมาตรของถังที่สำหรับเก็บอากาศอัดนั่นเอง โมเลกุลของอากาศจำนวนมากถูกอัดให้อยู่ในถังได้ ก็โดยการเพิ่มความดันให้ แต่ปริมาตรของถังจะสามารถเพิ่มขึ้นได้ก็โดยการเปลี่ยนแปลงในทางฟิสิกส์เท่านั้น

หน่วยวัดมาตรฐานของแคปาซิเตอร์วัดเป็นฟาหรัด (Farad) ถ้าแคปาซิเตอร์ตัวหนึ่งใช้แรงดัน 1 โวลต์ แล้วแคปาซิเตอร์นั้นสามารถเก็บอิเล็กตรอนเพื่อผลิตกระแสได้ 1 แอมแปร์ในเวลา 1 วินาที แล้ว เราเรียกว่าแคปาซิเตอร์นั้นว่ามีค่าแคปาซิแตนซ์ 1 ฟาหรัด แคปาซิเตอร์ที่มีแคปาซิแตนซ์ 1 ฟาหรัด แผ่นตัวนำจะต้องมีพื้นที่ประมาณ 10 x 10 ฟุต แต่เนื่องจากแคปาซิเตอร์ที่มีขนาดดังกล่าวใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก เพราะมีขนาดใหญ่เกินไป แคปาซิเตอร์ส่วนมากจึงมีค่าเป็นไมโครฟาหรัด (Micro Farad) หรือพิกโกฟาหรัด (Pico Farad) 1 ไมโครฟาหรัดมีค่าเพียง 1 ในล้านของฟาหรัด ฉะนั้นแคปาซิแตนซ์ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์นั้น ทางโรงงานผู้ผลิตจะเป็น ผู้กำหนดขึ้นและโดยปกติจะประทับติดไว้ที่ตัวแคปาซิเตอร์

4.2 Capacitive Reactance = Xc จากการทดลองแบบง่ายๆ โดยการนำแคปาซิเตอร์ขนาด 10 ไมโครฟาหรัด มาต่ออนุกรมกับหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ ในวงจรที่มีความถี่ 50 ไซเคิล และแรงดัน 220 โวลต์ จะเห็นได้ว่าหลอดไฟจะมีแสงสว่างเพียงแสงริบหรี่ ไม่สว่างจ้าเท่าที่ควรจะเป็น แต่ถ้าใช้สายไฟคร่อมตัวแคปาซิเตอร์เสียจะทำให้หลอดไฟมีแสงสว่างอย่างหลอดไฟธรรมดา การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าตัวแคปาซิเตอร์นั้น ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวต่อต้านการไหลของกระแส การต่อต้านนี้เรียกว่า Capacitive Reactance และมีหน่วยวัดเป็นโอห์ม แม้ว่า Reactance จะมีหน่วยวัดเป็นโอห์มเหมือนกับความต้านทานก็ตาม แต่มิใช่ความต้านทานและไม่ควรจะสับสนกับความต้านทาน เพราะความต้านทานเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ซึ่งสามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องวัดโอห์ม ส่วน Reactance สามารถคำนวณได้ แต่ไม่สามารถวัดค่าได้ ตัวย่อที่ใช้สำหรับ Capacitive Reactance คือ Xc ตัว X หมายถึงค่า Reactance ส่วนตัว C แสดงถึงผลของ Capacitance

แม้ว่าเครื่องวัดโอห์มจะชี้ค่าแสดงว่าแคปาซิเตอร์เปิดวงจร และไม่มีอิเล็กตรอนไหลผ่านน้ำยาก็ตาม การเกิดอิเล็กตรอนที่แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากันตลอดวงจร เมื่อใช้หลอดไฟต่อเป็นอนุกรมกับแคปาซิเตอร์ จะมีอิเล็กตรอนไหลผ่านหลอดไฟทุกครั้งที่มีแรงดันจ่ายให้ และตัวแคปาซิเตอร์จะถูกประจุ ถ้าใช้แคปาซิเตอร์ และหลอดไฟต่อในวงจรกระแสสลับเป็นอนุกรมกัน จะทำให้อิเล็กตรอนไหลในทิศทางหนึ่งขณะที่มีแรงดันจ่ายให้ตามออลเทอร์เนชั่นนั้น และอิเล็กตรอนจะไหลกลับมาตำแหน่งเดิมทุกครั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ การเกิดห้วงของกระแสเหล่านี้ตลอดเวลาและไหลไปยังหลอดไฟ ย่อมทำให้หลอดไฟมีแสงริบหรี่ได้แม้ว่าจะลองใช้เครื่องวัดโอห์มวัดความต้านทานของวงจรดู ซึ่งจะได้ค่าของความต้านทานเป็น Infinity ก็ตาม ถ้าใช้หลอดไฟและแคปาซิเตอร์ต่อกันเป็นอนุกรมในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้หลอดไฟสว่างได้ชั่วห้วงเดียว คือในขณะแรกที่กระแสไหลไปประจุตัวแคปาซิเตอร์เท่านั้น ระยะเวลาห้วงที่กระแสไปประจุแคปาซิเตอร์นี้จะไม่ทำให้หลอดไฟมีแสงได้แม้ชั่วพริบเดียวก็ตาม นอกจากว่าแคปาซิเตอร์นั้นมีขนาดใหญ่ผิดปกติ โดยปกติแล้วแสงสว่างจะไม่จุดติดต่อกันตลอดไป ด้วยเหตุผลนี้จึงกล่าวได้ว่า แคปาซิเตอร์ยอมให้ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านได้ แต่กั้นไฟฟ้ากระแสตรง

การหาค่าแคปาซิตีปรีแอ็คแตนซ์ของแคปาซิเตอร์อาจจะหาได้โดยใช้สูตร $X_C = \frac{1}{2\pi fc}$ จากสูตรนี้จะเห็นได้ว่า ค่าแคปาซิตีปรีแอ็คแตนซ์นั้น กำหนดขึ้นได้ด้วยความถี่ในวงจร และค่าแคปาซิแตนซ์ของแคปาซิเตอร์นั้น ๆ

4.2.1 ความถี่ (Frequency) เนื่องจากแรงดันทุกออลเทอร์เนชั่นจากแหล่งจ่ายทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ตามกำหนดที่แน่นอน คือ ถ้าความถี่ต่ำจำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านจุดกำหนดในระยะเวลาจำกัดก็ผ่านได้จำนวนน้อยและถ้าความถี่สูงขึ้น อิเล็กตรอนก็เคลื่อนที่ได้สูงขึ้นจากการทดลองปรากฏว่าหลอดไฟจะสว่างมากขึ้นถ้าใช้ความถี่ 400 ไซเคิล แทน 50 ไซเคิล ทั้ง ๆ ที่แรงดันเท่าเดิมแสดงว่าการที่หลอดไฟสว่าง มากขึ้นจะต้องมีกระแสผ่านมากขึ้น จากหลักความจริงที่ว่าการที่กระแสผ่านได้มากขึ้นแสดงถึงว่าการต้านกระแสในวงจรลดลงอันเป็นผลเนื่องมาจากความถี่เพิ่มขึ้น ความต้านทานเป็นคุณสมบัติ

ทางฟิสิกส์จะต้องเป็นความจริงที่ว่าแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ลดลง (เพราะมี Xc เพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่ต่อต้านในวงจร) การเพิ่มความถี่ย่อมเป็นสาเหตุให้แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ลดลง และการลดความถี่ย่อมเป็นสาเหตุให้แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์เพิ่มขึ้นเสมอ ฉะนั้นการเปลี่ยนรีแอ็คแตนซ์ย่อมเป็นสาเหตุให้กระแสในวงจรที่เป็นแคปาซิตีปเปลี่ยนแปลงเสมอ ดังนั้นจึงเป็นต้องรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับในอากาศยานให้คงที่ตลอดเวลา

4.2.2 แคปาซิแตนซ์ ทุกครั้งที่จ่ายแรงดันให้แคปาซิเตอร์ ๆ จะได้รับการประจุอิเล็กตรอนไว้ได้จำนวนหนึ่งซึ่งเป็นจำนวนจำกัด และที่ความถี่ตามกำหนดนี้ อิเล็กตรอนจำนวนจำกัดจะเคลื่อนที่ผ่านจุดกำหนดตามระยะเวลาที่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่จะทำให้แคปาซิเตอร์สามารถรับประจุได้เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับออลเทอร์เนชั่นของกระแสไฟฟ้าในวงจรเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรักษาอิเล็กตรอนไว้ได้คือแคปาซิแตนซ์นั้น จำเป็นจะต้องเพิ่มพื้นที่แผ่นตัวนำที่ประกอบกันเป็นแคปาซิเตอร์, ลดระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำหรือใช้ฉนวนกั้นระหว่างแผ่นตัวนำที่มีคุณสมบัติดีขึ้น จึงจะเป็นการทำให้กระแสไหลได้เพิ่มขึ้น การที่กระแสเพิ่มขึ้นได้ ย่อมเป็นการพิสูจน์ให้เห็นได้ว่าแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ลดลง การเพิ่มแคปาซิแตนซ์ย่อมเป็นสาเหตุให้แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ลดลงเสมอและการลดแคปาซิแตนซ์ย่อมเป็นสาเหตุให้แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์เพิ่มขึ้นเสมอ

4.2.3 สิ่งสำคัญซึ่งมีผลต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์มี 3 ประการคือ

4.2.3.1 แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ ทำหน้าที่เสมือนต่อต้านการไหลของกระแสในวงจร

4.2.3.2 แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ เป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันตกซึ่งสามารถใช้เครื่องวัดวัดค่าแรงดัน หรืออาจใช้กฎของโอห์มคำนวณหาค่าได้

4.2.3.3 แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ มีแนวโน้มให้กระแสในวงจรนำหน้าแรงดันเป็นมุม 90 องศาทางไฟฟ้า (I Lead E = 90°) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เช่น ตัวอย่าง มอเตอร์แบบ Split Phase ถ้าไม่ทำให้กระแสในขดลวดหนึ่ง Out of Phase กับกระแสในอีกขดลวดหนึ่งแล้ว มอเตอร์นั้นจะไม่สามารถหมุนได้ และการที่จะกระทำดังกล่าวได้ก็ต้องใช้ Capacitor

4.3 ชนิดของแคปาซิเตอร์ การแบ่งชนิดของแคปาซิเตอร์นั้นอาจจะแบ่งได้ตามชนิดของ Dielectric ที่ใช้ ชนิดที่ใช้กันมากทั่ว ๆ ไปได้แก่อากาศ, กระดาษ, หล่อลื่น, พลาสติกและออกไซด์ สำหรับ แคปาซิเตอร์แบบออกไซด์และ Electrolytic นั้น ส่วนมากใช้ในวงจรกระแสตรง เพราะจะทำให้สามารถรับแรงดันได้สูงกว่าในทิศทางหนึ่ง ด้วยเหตุผลนี้ทางโรงงานผู้ผลิตจึงมักทำเครื่องหมาย + ไว้ที่ปลายสุดด้านหนึ่งของแคปาซิเตอร์ และเนื่องจากการทำเครื่องหมายขั้วของแคปาซิเตอร์แบบ Electrolytic นี้ จึงเรียกชื่อแคปาซิเตอร์แบบนี้ว่า "Polarize Capacitor" ทางโรงงานจะเป็นผู้กำหนดแรงดันปลอดภัย และอัตราค่า "C" ไว้ที่ตัวแคปาซิเตอร์ทุกชนิด ส่วนค่าแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์นั้นทางโรงงานจะไม่กำหนดค่าไว้ เพราะว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตามความถี่

4.4 ประโยชน์ของแคปาซิเตอร์ที่ใช้ในอากาศยาน ในระบบเครื่องวัดปริมาณเชื้อเพลิงใช้ แคปาซิเตอร์ เป็นเสมือนเครื่องช่วยถ่ายทอดปริมาณเชื้อเพลิง แคปาซิเตอร์เหล่านี้ติดตั้งในแนวยืนในถังเชื้อเพลิง เมื่อมีเชื้อเพลิงเต็มถัง เชื้อเพลิงจะแทนที่อากาศระหว่างแผ่นตัวนำ ขณะที่เชื้อเพลิงมีระดับลดลงอากาศซึ่งเป็น Dielectric จะเข้าแทนที่จำนวนเชื้อเพลิงที่ลดลงนั้น การเปลี่ยนแปลง Dielectric ย่อมทำให้ค่าแคปาซิแตนซ์เปลี่ยนแปลงและเป็นผลให้ แคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์เปลี่ยนแปลงด้วย เมื่อมีกระแสไฟสลับจ่ายให้แคปาซิเตอร์ การเปลี่ยนแปลงรีแอ็คแตนซ์จะเป็นสาเหตุให้กระแสเปลี่ยนแปลงและการที่กระแสเปลี่ยนแปลง จะเป็นสาเหตุให้เครื่องวัดปริมาณเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลง ส่วนมากระบบจุดระเบิดที่ใช้ชุด Breaker Point ซึ่งปิดเปิดอย่างรวดเร็ว ตัวแคปาซิตเตอร์ซึ่งต่อคร่อม Breaker Point ใช้เพื่อป้องกันการเปิดประกายไฟฟ้าอย่างรุนแรง อันจะทำให้อายุใช้งานของหน้าสัมผัสที่ Breaker Point สั้น หลักการทำงานในระบบนี้ง่ายมากแต่มีประสิทธิภาพสูง คือ ครั้งแรกเมื่อหน้าสัมผัสเปิด กระแสซึ่งควรจะกระโดดข้ามช่องแคบอันจะเป็นเหตุให้หน้าสัมผัสเป็นหน้าข้าวตัง แต่กระแสจะเปลี่ยนทิศทางไปประจุแคปาซิเตอร์ จนกระทั่งแคปาซิเตอร์ได้รับการประจุเต็มที่และจะไม่มีกระแสกระโดดข้ามหน้าสัมผัสอีก

ตัวอย่างอีกอย่างหนึ่งในระบบจุดระเบิดของเครื่องยนต์เจ็ต คือเราใช้แคปาซิเตอร์สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยใช้กระแสตรงที่เป็นห้วงเล็กน้อยประจุเข้าแคปาซิเตอร์ เมื่อแคปาซิเตอร์ได้รับการประจุเพียงพอ จนสามารถจะคลายประจุข้าม Igniter Plug ได้จะทำให้เกิดประกายไฟฟ้าที่มีความร้อนสูงกว่าการใช้กระแสไฟตรงผ่านโดยตรงไปยัง Igniter Plug มาก

ตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งใช้แคปาซิเตอร์กันทั่วไปคือในเครื่องกรองเสียงวิทยุ Tuning Capacitor และ Phase – shift Capacitor

5. <u>ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)</u> โดยคำจำกัดความแล้ว อินดัคเตอร์ หมายถึง ส่วนใด ๆ ของวงจรที่กระทำกิริยากับส่วนอื่น ๆ โดยการเหนี่ยวนำ (Induction) การเหนี่ยวนำส่วนมากเกิดจากขดลวด (Coil) ฉะนั้นคำว่าอินดัคเตอร์ และคอล์ยจึงมีความหมายอย่างเดียวกันและใช้สัญลักษณ์แทนอย่างเดียวกัน ในบางโอกาสเราใช้ขดลวดเพียงอย่างเดียวเพื่อผลในการทำให้วงจรเป็น Inductive แต่ส่วนมากเราใช้ผลจากอำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเสมือนหนึ่งเป็นส่วนของอุปกรณ์อื่น ๆ อยู่ด้วย

5.1 Inductance = L อินดัคแตนซ์ของขดลวด หมายถึง ความสามารถในการทำกิริยาของอำนาจแม่เหล็ก โดยใช้ L เป็นสัญลักษณ์ย่อ ขณะที่กระแสไหลในสายไฟจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบ ๆ สายไฟนั้นและถ้ากระแสไฟเพิ่มขึ้น สนามแม่เหล็กจะแผ่ขยายออกมากขึ้น และถ้ากระแสลดลงสนามแม่เหล็กจะหดตัวลงจากคำจำกัดความของกระแสสลับซึ่งเป็นกระแสที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ฉะนั้นสายไฟที่มีกระแสสลับไหลผ่าน จะเกิดสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงได้รอบ ๆ สายไฟเส้นนั้น เมื่อนำสายไฟมาขดเป็นขดลวด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้นี้จะเคลื่อนที่ตัดวงจรขดลวดถัด ๆ ไป ทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นในขดลวดนั้น และเมื่อใช้กฎมือซ้ายหาทิศทางของแรงดันชักนำที่เกิดขึ้นนี้ จะเห็นได้ว่ามีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของแรงดันที่จ่ายให้ขดลวดครั้งแรกด้วยเหตุผลนี้แรงดันที่เกิดขึ้นใหม่จึงถูกชักนำด้วยตัวขดลวดของ

ตัวเองและเรียกกันทั่ว ๆ ไปว่าแรงดันย้อนกลับหรือเรียกย่อ ๆ ว่า Back EMF หรือ Counter EMF ฉะนั้น ความสามารถในการกระทำกิริยาของอำนาจแม่เหล็ก ที่กล่าวไว้ในคำจำกัดความตอนต้นของอินดัคแตนซ์ ก็คือความสามารถในการทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับนี้ไม่จำเป็นต้องมีทิศทางเดียวเสมอไป ทั้งนี้เพราะขณะที่แรงดันแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น กระแสเพิ่มขึ้น แต่ผลลัพธ์ของแรงดันย้อนกลับจะต่อต้านการเพิ่มขึ้น และเมื่อแรงดันแหล่งจ่ายลดลง กระแสก็ลดลงตาม แต่ผลลัพธ์ของแรงดันย้อนกลับจะต่อต้านการลดนั้นไว้ อินดัคแตนซ์ของขดลวดจะเป็นสาเหตุให้เกิดการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของกระแส

ตัวประกอบต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดค่าของอินดัคแตนซ์ของขดลวด คือ จำนวนรอบขดลวด, วัสดุที่ใช้ทำแกนขดลวด , ขนาดของขดลวดและขนาดแกนของขดลวดนั้น

5.1.1 จำนวนรอบของขดลวด สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ สายไฟที่มีกระแสไฟเดินนั้น กล่าวได้ว่าเกิดขึ้นที่แกนสายไฟแล้วแผ่ขยายเป็นวงกว้างออกมา ฉะนั้นส่วนที่อยู่รอบนอกของสายไฟจะถูกเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ได้ตัด แสดงว่าสายไฟที่เป็นเส้นตรงก็มีอินดัคแตนซ์เกิดขึ้นบ้าง แต่เนื่องจากสายไฟเป็นเส้นยาว ผลที่เกิดขึ้นมีเพียงเล็กน้อยจึงตัดทิ้งได้ อย่างไรก็ตามถ้านำสายไฟมาขดเป็นวง ๆ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากวงขดลวดวงหนึ่งไปตัดกับขดลวดที่อยู่ถัดไป สนามแม่เหล็กที่แผ่ขยายออกจากจุดหนึ่งจะตัดขดลวดวงอื่น ๆ ฉะนั้นวงสายไฟหรือขดลวดจะมีอินดัคแตนซ์มากกว่าสายไฟที่เป็นเส้นตรงที่มีความยาวเท่ากัน ถ้านำมาพันเป็นวงซ้อนกัน การแผ่ขยายของสนามแม่เหล็กวงหนึ่งจะตัดวงอื่น ๆ ที่ซ้อนกัน ทำให้อินดัคแตนซ์มีค่าสูงขึ้น เพราะฉะนั้นอินดัคแตนซ์ของขดลวดจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด

5.1.2 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกน แกนของขดลวดขดหนึ่งทำด้วยวัสดุที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้สะดวก เช่นเหล็กอ่อนจะมีอินดัคแตนซ์มากกว่าขดลวดชนิดเดียวกันแต่มีแกนที่ทำด้วยวัสดุที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้ยาก ฉะนั้นขดลวดที่มีแกนเป็นเหล็กอ่อนจะมีอำนาจแม่เหล็กเข้มกว่าขดลวดที่มีอากาศเป็นแกนถ้าให้กระแสสลับไหลผ่านขดลวด จะทำให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวดขึ้นและทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับในขดลวดและถ้าใช้เหล็กอ่อนเป็นแกนขดลวด ย่อมทำให้เพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กขึ้นโดยจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำมากขึ้นอย่างอัตโนมัติ ถ้าการเพิ่มแกนเหล็กอ่อนเข้าไปในขดลวด เป็นการทำให้เพิ่มการเหนี่ยวนำ (กระทำกิริยาทางแม่เหล็ก) ของขดลวด ก็จะทำให้เห็นได้ชัดว่าอินดัคแตนซ์ของขดลวดเพิ่มขึ้น

5.1.3 รูปร่าง การเพิ่มจำนวนรอบขดลวด ทำให้อินดัคแตนซ์เพิ่มขึ้น การทำให้วงขดลวดชิดกันมากขึ้นก็เป็นการทำให้อินดัคแตนซ์เพิ่มขึ้นด้วย และถ้าเพิ่มแกนเหล็กอ่อนเข้าในขดลวดค่าอินดัคแตนซ์ยิ่งเพิ่มขึ้น การใช้แกนเหล็กอ่อนที่มีขนาดโตขึ้นก็ยังเป็นการเพิ่มอินดัคแตนซ์อยู่นั่นเอง จึงเห็นได้ว่าการเปลี่ยนระยะต่อระหว่างวงขดลวดและการเปลี่ยนขนาดของแกนขดลวด ย่อมทำให้รูปร่างของขดลวดเปลี่ยนแปลงจึงเป็นข้อสังเกตได้ว่าตัวประกอบทั้งหมดที่เป็นตัวกำหนดค่าอินดัคแตนซ์ของขดลวดนั้นเป็นไปในทางฟิสิกส์ทั้งสิ้น

อินดัคแตนซ์มีหน่วยวัดเป็นเฮนรี่ (Henry) อินดัคแตนซ์ 1 เฮนรี่ หมายถึง การที่กระแส 1 แอมแปร์เปลี่ยนแปลงในเวลา 1 วินาที ทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับได้ 1 โวลต์ แม้ว่าอินดัคแตนซ์จะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางโรงงานสามารถคำนวณได้ แต่โดยปกติจะไม่ทำเครื่องหมายแสดงไว้ที่ขดลวดเหมือนแคปาซิแตนซ์ที่ทำเครื่องหมายแสดงค่าไว้ที่แคปาซิเตอร์

5.2 Inductive Reactance = X_L จากการทดลองง่าย ๆ โดยนำขดลวดมาวัดความต้านทานดูสมมุติว่ามีค่า 1 โอห์ม ตามกฎของโอห์ม ถ้าให้กระแสตรง 100 โวลต์จ่ายให้ขดลวดนี้ จะต้องมีกระแส 100 แอมป์ไหลผ่านขดลวดนี้ อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้กระแสสลับ 60 ไซเคิล 100 โวลต์จ่ายให้ขดลวดเดียวกันนี้ จะมีกระแสไหลผ่านเพียง 2.5 แอมป์เท่านั้น การที่กระแสไหลผ่านเพียง 2.5 แอมป์ ทั้ง ๆ ที่แรงดันจากแหล่งจ่าย 100 โวลต์ ค่าความต้านทานของวงจรจะต้องมีค่า 40 โอห์ม แต่เนื่องจากความต้านทานของขดลวดเท่าที่วัดได้มีเพียง 1 โอห์ม เท่านั้น จึงเห็นได้อย่างชัดว่าจะต้องมีบางสิ่งบางอย่างนอกเหนือจากความต้านทานนั้นมาต่อต้านการไหลของกระแส การต่อต้านนี้มีผลมาจากแรงดันย้อนกลับซึ่งเรียกว่า Inductive Reactance มีหน่วยวัดเป็นโอห์มและใช้ X_L เป็นอักษรย่อแทน

ตัวประกอบซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าอินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์ของขดลวดคือความถี่และอินดัคแตนซ์ และมีสูตรว่า $X_L = 2 \pi fL$ จากสูตรนี้แสดงให้เห็นว่าอินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความถี่และอินดัคแตนซ์ อินดัคแตนซ์ หมายถึง ความสามารถในการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงกระแส ส่วนความถี่คือจำนวนไซเคิลต่อวินาทีการเพิ่มความถี่หรืออินดัคแตนซ์ จะทำให้อินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์เพิ่มขึ้นและเป็นสาเหตุให้กระแสลดลง ผลจากความถี่หรืออินดัคแตนซ์เปลี่ยนแปลงสามารถจะทดลองให้ทราบได้โดยใช้ขดลวดและจ่ายแรงดันให้ 100 โวลต์ตามที่อธิบายมาข้างต้นนั้น เราจะได้กระแสผ่านเครื่องวัดแอมป์เพียง 2.5 แอมป์ถ้าใส่แกนเหล็กอ่อนเข้าไปในขดลวด จะเห็นได้ชัดว่ากระแสลดลงซึ่งเป็นการพิสูจน์ให้เห็นได้ว่ามีอินดัคแตนซ์เพิ่มขึ้นการที่อินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากอินดัคแตนซ์เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันการเพิ่มความถี่ของแรงดันจากแหล่งจ่ายจะเป็นเหตุให้กระแสลดลง ซึ่งเป็นการพิสูจน์ได้ว่าอินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์เพิ่มขึ้น ฉะนั้นจึงยืนยันได้อย่างแน่นอนว่าการลดอินดัคแตนซ์หรือความถี่จะเป็นสาเหตุให้อินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์ลดลง ให้สังเกตว่า การที่ความถี่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่ออินดัคตีบรีแอ็นแตนซ์ อย่างไรก็ตาม การควบคุมความถี่ในวงจรที่มีขดลวด มีความสำคัญเท่ากับวงจรที่มีแคปาซิเตอร์ เพราะไม่ว่าจะเป็นวงจรชนิดใด ถ้าความถี่เปลี่ยนแปลง จะเป็นเหตุให้กระแสเปลี่ยนแปลงทั้งสิ้น

ผลจากอินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์ เหมือนกับผลที่เกิดจากแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ ซึ่งสมควรจะนำมากล่าว 2 อย่างคือ อินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงกระแส ฉะนั้นในวงจร กระแสสลับใด ๆ ก็ตามอินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์จะกระทำกิริยาเหมือนกับต่อต้านการไหลของกระแสซึ่งเป็นเรื่องจริง เพราะกระแสสลับย่อมเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่ อินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์เหมือนแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์อีกอย่างหนึ่งคือ ทำให้เกิดแรงดันตกเสมอ เราสามารถพิสูจน์ได้โดยใช้เครื่องวัดแรงดันต่อคร่อมขดลวด เครื่องวัดจะชี้ค่าแรงดันตกคร่อมซึ่งเกิดจากรีแอ็คแตนซ์เหมือนกับใช้เครื่องวัดแรงดันต่อคร่อมความต้านทาน เครื่องวัดก็ชี้ค่า

แรงดันตกคร่อมที่ความต้านทานเช่นเดียวกัน ผลประการที่สามในวงจรที่มีขดลวดก็คือทำให้กระแสตามหลังแรงดันเป็น 90 องศาทางไฟฟ้า (I Lag E = 90°) และตรงข้ามกับผลที่เกิดจากวงจรที่มีแคปาซิเตอร์ ซึ่งกระแสนำหน้าแรงดัน 90 องศาทางไฟฟ้า (I Lead E = 90°) การเกิดผลตรงกันข้ามนี้จะทำให้ผลที่เกิดจากขดลวดและผลที่เกิดจากแคปาซิเตอร์ขจัดซึ่งกันและกัน (บวกลบกันในทางพีชคณิต) ในวงจรเดียวกัน

5.3 ประโยชน์ของขดลวดที่ใช้ในอากาศยาน

5.3.1 ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) ใช้ขดลวดเพียงอย่างเดียว ซึ่งส่วนมากมี 2 ขดลวด ขดลวดหนึ่งทำหน้าที่เป็นขด Primary และอีกขดหนึ่งทำหน้าที่เป็นขด Secondary เมื่อจ่ายกระแสสลับให้ขดลวด Primary ผลจากอำนาจแม่เหล็กที่เคลื่อนที่จะไปเหนี่ยวนำขดลวด Secondary ทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้น ซึ่งอาจจะมีค่าน้อยกว่าหรือมากแรงดันจากแหล่งจ่ายก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบของโครงสร้าง

5.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับก็เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงคือใช้ขดลวดเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับส่วนมากใช้สนามแม่เหล็กหมุนไปตัดขดลวดที่อยู่กับที่จึงทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้น

5.3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับก็เช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือใช้ขดลวดเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

5.3.4 การใช้ขดลวดทั่ว ๆ ไปใช้ในรีเลย์, โซลินอยด์ Choke filter และ radio tuning circuit

6. <u>Impedance = Z</u> อิมพีแดนซ์ คือ สิ่งทั้งหมดที่ต่อต้านกระแสไฟในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ สิ่งที่ต่อต้านนี้อาจจะเกิดจากความต้านทาน (Resistance = R) , แคปาซิตีปรีแอ็คแตนซ์ (Capacitive Reactance = Xc), อินดัคตีปรีแอ็คแตนซ์ (Inductive Reactance = X_L) หรือทั้งสามอย่างรวมกัน อิมพีแดนซ์ใช้ Z เป็นสัญลักษณ์แทนและมีหน่วยวัดเป็นโอห์ม

6.1 อิมพีแดนซ์ในวงจรอนุกรม

กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่อกันอย่างอนุกรมย่อมเป็นกระแสจำนวนเดียวกัน โดยมิต้องคำนึงถึงชนิดหรือจำนวนอุปกรณ์ในวงจรนั้น การเปลี่ยนแปลงแรงดันจะไม่มีผลกระทบกระเทือนค่าของความต้านทาน, แคปาซิตีปรีแอ็คแตนซ์ หรืออินดัคตีปรีแอ็คแตนซ์ ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงแรงดันจะไม่มีผลทำให้อิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลง ตามกฎของโอห์ม การเพิ่มแรงดันในวงจร จะเป็นเหตุให้กระแสในวงจรอนุกรมเพิ่มขึ้น และการลดแรงดันในวงจรจะเป็นเหตุให้กระแสในวงจรอนุกรมลดลง

ในวงจรอนุกรม ถ้าเพิ่มความต้านทานในวงจร จะทำให้กระแสลดลง และการลดความต้านทานในวงจรจะทำให้กระแสเพิ่มขึ้น และเนื่องจากผลของแคปาซิตีปรีแอ็คแตนซ์ และอินดัคตีปรีแอ็คแตนซ์ จะขจัดซึ่งกันและกัน จึงทำให้ผลของรีแอ็คแตนซ์ของในวงจรเปลี่ยนแปลง ค่าอิมพีแดนซ์จึงขึ้นอยู่กับค่าและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงนั้น อีกทั้งค่าและชนิดของสิ่งต่อต้านอื่น ๆ ในวงจรนั้น

ผลของการที่ความถี่เปลี่ยนแปลงในวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ ขึ้นอยู่กับทิศทางและค่าที่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งชนิดและค่าของรีแอ็คแตนซ์ในวงจร การเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่มีผลต่อวงจรที่มีแต่ความต้านทานอย่างเดียว

6.2 อิมพีแดนซ์ในวงจรขนาน

กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์แต่ละอย่างในวงจรขนาน สามารถหาได้จากค่าความต้านทานหรือรีแอ็คแตนซ์ของอุปกรณ์แต่ละอย่าง ส่วนแรงดันได้รับจากแหล่งจ่ายเท่ากัน ฉะนั้นอุปกรณ์แต่ละอย่างที่มีสิ่งที่ต่อต้านต่างกันย่อมมีกระแสไหลผ่านต่างกันด้วย การเปลี่ยนแรงดันในวงจรขนาน ย่อมไม่ทำให้การต่อต้านของอุปกรณ์แต่ละอย่างเปลี่ยนแปลงไป ไม่ว่าจะเป็นความต้านทานหรือรีแอ็คแตนซ์ ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงแรงดันจึงไม่มีผลที่จะทำให้อิมพีแดนซ์ในวงจรขนานเปลี่ยนแปลง ตามกฎของโอห์ม การเพิ่มแรงดันในวงจรจะทำให้กระแสทั้งหมดเพิ่มขึ้น และการลดแรงดันในวงจรก็จะทำให้กระแสทั้งหมดลดลง

จากข้อเท็จจริงเกี่ยวกับวงจรขนานในไฟฟ้ากระแสตรง การเพิ่มความต้านทานในวงจรขนานจะทำให้กระแสไฟทั้งหมดเพิ่มขึ้น แสดงว่าอิมพีแดนซ์ของวงจรลดลง ในทางกลับกันถ้านำความต้านทานในวงจรขนานออก จะทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น การเพิ่มหรือลดอุปกรณ์อื่น ๆ จะไม่มีผลต่อกระแสไฟที่ไหลในอุปกรณ์แต่ละอย่างแต่อย่างใด

จากข้อเท็จจริงที่เกี่ยวกับวงจรอนุกรม การเปลี่ยนแปลงชนิดของรีแอ็คแตนซ์ อาจจะทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงรวมทั้งค่าของรีแอ็คแตนซ์ และชนิดของรีแอ็คแตนซ์ที่นำมาเพิ่มหรือลดให้กับวงจรนั้น

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นเหตุให้ค่าของรีแอ็คแตนซ์ทั้งสองอย่างเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงความถี่จึงมีผลต่ออิมพีแดนซ์ด้วย ขึ้นอยู่กับจำนวนและทิศทางของการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งค่ารีแอ็คแตนซ์ในวงจร ถ้าวงจรมีแต่เพียงความต้านทานเพียงอย่างเดียว การเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่ทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรเปลี่ยนแปลง

6.3 สรุปผลในทางปฏิบัติ

6.3.1 ในวงจรใด ๆ หรืออุปกรณ์ใด ๆ ก็ตาม ถ้าแรงดันในวงจรนั้นเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสไหลผ่านอุปกรณ์เพิ่มขึ้นและถ้าแรงดันลดลง กระแสก็ไหลผ่านอุปกรณ์ลดลง ฉะนั้นในระบบไฟฟ้ากระแสสลับบนอากาศยานจึงจำเป็นต้องควบคุมแรงดันให้คงที่

6.3.2 ถ้าความถี่เพิ่มขึ้น ย่อมเป็นเหตุให้อินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์เพิ่มขึ้น และแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ลดลงเสมอ และในทางตรงข้ามการลดความถี่ลง ย่อมเป็นเหตุให้อินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์ลดลง และแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์เพิ่มขึ้นเสมอ ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับบนอากาศยานซึ่งมีอุปกรณ์ที่เป็นรีแอ็คแตนซ์ต้องทำงานร่วมกัน ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมความถี่ให้คงที่ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ามิให้มากเกินเกณฑ์

6.3.3 การเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในระบบไฟฟ้ากระแสสลับอากาศยานซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้ความต้านทานอย่างเดียว จึงไม่จำเป็นต้องควบคุมความถี่อย่างใกล้ชิดนัก

7. <u>กำลังไฟฟ้ากระแสไฟสลับ</u> ในคำสั่งเทคนิคเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับอากาศยาน เราจะพบเทอมต่าง ๆ เป็นจำนวนมากซึ่งไม่เหมือนกับระบบไฟฟ้ากระแสตรง เทอมต่างๆที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

7.1 กำลังไฟฟ้าจริง (True Power.) กำลังไฟฟ้าจริง คือ กำลังงานที่ใช้ไปจริง ๆ ในวงจรและใช้ P_T เป็นตัวย่อ มีหน่วยวัดเป็นวัตต์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทาน พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน กำลังงานที่แท้จริงสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร $P_T = I^2R$ ซึ่งเหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้วในไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น ให้สังเกตว่ากำลังงานที่แท้จริงจะเกี่ยวข้องเฉพาะความต้านทานเท่านั้น และจะไม่มีรีแอ็คแตนซ์เกี่ยวข้องด้วย

7.2 กำลังไฟฟ้าตอบสนอง (Reactive Power.) คือ กำลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้ประจุแคปาซิเตอร์หรือทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและใช้ P_R เป็นตัวย่อ โดยใช้หน่วยวัดเป็นวาร์ (Vars) ถ้านำแคปาซิเตอร์มาต่อในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้แคปาซิเตอร์ได้รับการประจุและคลายประจุสลับกันไป พลังงานที่ต้องการใช้สำหรับประจุแคปาซิเตอร์ แต่ขณะที่แคปาซิเตอร์คลายประจุ พลังงานจะใช้ไปในวงจร ในทำนองเดียวกัน ถ้าให้กระแสสลับไหลผ่านขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นสลับกันไปพร้อมทั้งหุบเข้าออกตัดขดลวดนั้น พลังงานที่ต้องการจะใช้ไปในการทำให้เกิดสนามแม่เหล็กแต่ทุกครั้งที่สนามแม่เหล็กหุบตัวพลังงานที่สะสมไว้จะถูกนำไปใช้ในวงจรโดยการเหนี่ยวนำ จะไม่มีความร้อนเกิดขึ้นจากรีแอ็คแตนซ์ไม่ว่าจะเป็นขดลวดหรือแคปาซิเตอร์ ฉะนั้นการคำนวณกำลังงานสำหรับอุปกรณ์ที่เป็นรีแอ็คแตนซ์ จึงไม่มีหน่วยเป็นวัตต์ สูตรที่ใช้คำนวณหากำลังงานตอบสนองจึงใช้ $P_R = I^2X$ ไม่ว่าอุปกรณ์นั้นจะเป็นอินดัคตีบรีแอ็คแตนซ์ หรือแคปาซิตีบรีแอ็คแตนซ์ก็ใช้สูตรเดียวกัน

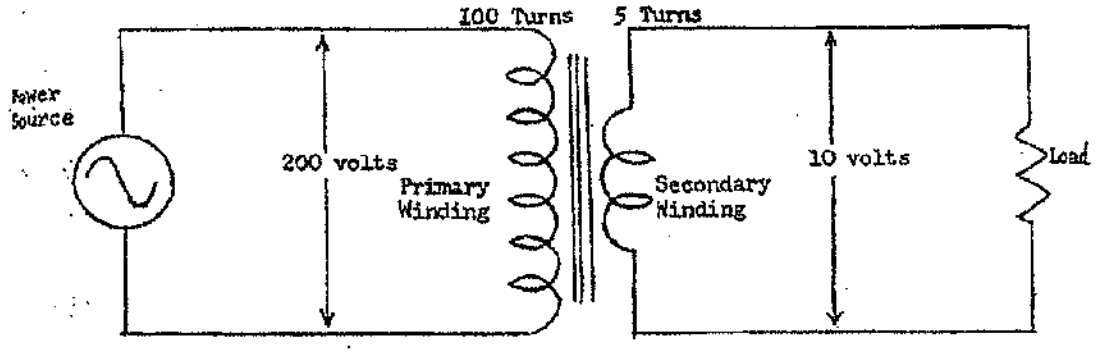
7.3 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power.) คือ ผลคูณของแรงดันทั้งหมดและกระแสทั้งหมด ใช้ตัวย่อแทนว่า P_A โดยมีหน่วยวัดเป็น โวลต์ – แอมป์ สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร $P_A = E_TI_T$ หรือ $P_A = I^2Z$ ให้สังเกตว่ากำลังงานที่ปรากฏ (Apparent Power) นี้เป็นกำลังทั้งคู่ของกำลังไฟฟ้าจริง (True Power) และกำลังไฟฟ้าตอบสนอง (Reactive Power.) และได้มาจากภารกรรมของแหล่งจ่ายกำลังกระแสสลับทั้งหมด

7.4 อัตรากำลังงานกระแสสลับของแหล่งจ่ายไฟ (AC Power Supply Ratings) กำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่าย เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และทรานสฟอร์เมอร์ จะบอกอัตราการจ่ายกำลังงานที่ปรากฏซึ่งสามารถจะผลิตได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์ ข้อความที่ปรากฏบนแผ่นป้ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยปกติจะบอกค่าของแรงดันและกระแสส่งออกสูงสุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สมมุติว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับออกแบบให้อยู่ในเกณฑ์แรงดัน 200 โวลต์ และผลิตกระแสได้สูงสุด 200 แอมแปร์ ทางโรงงานควรจะบอกไว้ที่แผ่นป้ายบอกชื่อ 40 KVA อัตรา

การจ่ายกำลังงานกระแสสลับจะไม่คิดเป็นวัตต์ เพราะว่ากำลังงานรีแอ็คตีบ การส่งกระแสออกมากเกินเกณฑ์ จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือทรานสฟอร์เมอร์เกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์

7.5 เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับบนอากาศยาน เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับบนแผงเครื่องวัดกำลังงานกระแสสลับของอากาศยาน ซึ่งรวมทั้ง โวลต์มิเตอร์, โหลดมิเตอร์, แอมมิเตอร์, วัตต์มิเตอร์ และ VAR มิเตอร์ แอมมิเตอร์และโหลดมิเตอร์ทำหน้าที่เพื่อวัตถุประสงค์อย่างเดียวกันทั้งระบบกระแสสลับและระบบกระแสตรง ในระบบกระแสสลับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานเป็นอิสระซึ่งกันและกัน โวลต์มิเตอร์และโหลดมิเตอร์หรือแอมมิเตอร์จะแสดงค่าต่าง ๆ ตามที่นักบินต้องการทราบ ถ้าแรงดันปกติและกระแสไฟฟ้าไม่มากเกินเกณฑ์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่โอเวอร์โหลด กระแสไฟฟ้าทั้งหมดจะแบ่งการจ่ายกระแสให้ภารกรรม ที่เป็นความต้านทานและรีแอ็คตีบได้อย่างไรนั้นไม่เกี่ยวข้องกัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับบนอากาศยาน ซึ่งทำงานขนานกันอาจจะติดตั้งเครื่องวัด วัตต์ – วาร์ รวมอยู่ในเรือนเดียวกันแทนที่จะใช้โหลดมิเตอร์หรือแอมมิเตอร์ เครื่องวัดวัตต์ – วาร์ จะแสดงค่าอย่างใดอย่างหนึ่งของกำลังงานที่แท้จริงหรือกำลังงานรีแอ็คตีบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สวิทช์เปลี่ยนทาง

8. Transformer คือ อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับบนอากาศยานผลิตแรงดันคงที่ และส่วนมากอุปกรณ์ไฟฟ้าก็ออกแบบให้ทำงานที่แรงดันนี้ ฉะนั้น ทรานส์ฟอร์เมอร์ จึงทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งต้องการแรงดันพิเศษ



รูปที่ 4 ทรานสฟอร์มอร์ชนิดลดแรงดันแบบง่าย ๆ

8.1 โครงสร้าง ในรูปที่ 4 แสดงให้ทราบขั้นส่วนเบื้องต้นของทรานสฟอร์เมอร์ ซึ่งประกอบด้วยขดลวดที่หนึ่ง (Primary Winding.) , ขดลวดที่สอง (Secondary Winding.) และแกนขดลวด (Core) ขดลวดที่หนึ่งและขดลวดที่สองไม่ติดต่อถึงกันทางไฟฟ้าแต่พันไว้ที่แกนร่วมกันซึ่งปกติทำด้วยแผ่นเหล็กอ่อน แรงดันจากแหล่งจ่ายจะจ่ายแรงดันให้ขดลวดที่หนึ่ง ส่วนโหลดนั้นต่อไว้ทางด้านขดลวดที่สอง แรงดันที่ได้รับทางขดลวดที่สองอาจจะสูงขึ้นหรือต่ำกว่าแรงดันทางขดลวดที่หนึ่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างถ้าไม่

คิดถึงการสูญเสียเล็กน้อยภายในแล้ว แรงดันจากแหล่งจ่ายต่อแรงดันที่โหลดได้รับ จะเป็นอัตราส่วนกับจำนวนรอบของขดลวดที่หนึ่ง ต่อจำนวนของขดลวดที่สอง

8.2 หลักการทำงาน ขณะที่มีกระแสไฟไหลในขดลวดที่หนึ่ง จะเกิดสนามแม่เหล็กหุบเข้าหุบออกขึ้นรอบ ๆ ตามขนาดและการเปลี่ยนทิศทางของกระแสสลับ และเนื่องจากขดลวดที่สองพันไว้ที่แกนเดียวกับขดลวดที่หนึ่ง จึงทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งเคลื่อนที่ได้ ตัดขดลวดที่สอง และทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้น ขณะที่สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่ขยายตัวออก แรงดันที่ถูกชักนำขึ้นในขดลวดที่สองจะมีทิศทางหนึ่งและขณะที่สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่หนึ่งหุบตัวลง แรงดันที่ถูกชักนำขึ้นในขดลวดที่สองจะมีทิศทางตรงข้ามกับครั้งแรก ความถี่ของแรงดันในขดลวดที่สองจะเท่ากับความถี่แรงดันของขดลวดที่หนึ่ง

8.3 Transformer Rating. ทรานสฟอร์เมอร์ทุกตัวจะออกแบบให้ทำงานได้ที่แรงดันหนึ่ง แผ่นข้อมูลของทรานสฟอร์เมอร์ในรูปที่ 4 ควรจะเขียนไว้ว่า 200/10 เพื่อแสดงว่า สามารถลดแรงดันจาก 200 โวลต์ลงเหลือ 10 โวลต์ หรือเพิ่มจาก 10 โวลต์ขึ้นเป็น 200 โวลต์ ถ้าแรงดันปกติมีค่าเกินจะทำให้เป็นอันตรายจากฉนวนหุ้มสายชำรุดขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหล ทรานส์ฟอร์เมอร์สามารถรับภารกรรมได้ตามจำนวนที่ทางโรงงานผู้ผลิตจะเป็นผู้ออกแบบไว้เป็นโวลต์ – แอมป์ และจะเขียนบอกไว้ที่แผ่นข้อมูล อัตราโวลต์ – แอมป์ คือ ผลคูณของแรงดันปกติและกระแสสูงสุดของแต่ละขดลวด ตามรูปที่ 4 สมมติว่าขดลวดที่สองสามารถให้กระแสผ่านได้มากที่สุด 200 แอมป์ ทรานส์ฟอร์เมอร์จะมีอัตรา 200 โวลต์ – แอมป์ เนื่องจากการตัดซึ่งกันและกันของสนามแม่เหล็กจากขดลวดที่หนึ่งและขดลวดที่สอง กระแสในขดลวดที่หนึ่งจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามภารกรรมที่ขดลวดที่สองได้รับ ถ้าขดลวดที่สองมีกระแสไหล 20 แอมป์ จะทำให้กระแสในขดลวดที่หนึ่งไหลเพียง 1 แอมป์ กำลังงานที่จ่ายให้จะขึ้นอยู่กับกำลังงานส่งออก ถ้าภารกรรมลดลง เช่น ขดลวดที่สองเหลือกระแสไหลเพียง 10 แอมป์ จากการที่สนามแม่เหล็กกระทำกิริยาร่วมกันนี้จะทำให้กระแสไหลในขดลวดที่หนึ่งเพียง 0.5 แอมป์ เท่านั้น กำลังงานที่จ่ายให้จะเท่ากับกำลังงานที่ส่งออก ถ้าไม่คิดการสูญเสียภายในทรานส์ฟอร์เมอร์ ซึ่งส่วนมากจะมีเพียง 2 % ถ้าทรานส์ฟอร์เมอร์ได้รับภารกรรมมากเกินเกณฑ์ จะทำให้กระแสไหลมากเกินไปในขดลวดทั้งสอง

ข้อความสุดท้าย ซึ่งจะปรากฏที่แผ่นข้อมูลของทรานส์ฟอร์เมอร์ คือ ความถี่ เนื่องจากทรานส์-ฟอร์เมอร์เป็นอุปกรณ์ที่เป็นขดลวด ฉะนั้นกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายขณะมีภารกรรมต่ออยู่จึงเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคกลับกับความถี่ ถ้าความถี่ต่ำเกินไป ในขดลวดที่หนึ่งจะมีกระแสไหลมากเกินเกณฑ์และถ้าความถี่สูงเกินไป กระแสจะไหลน้อยจนกระทั่งทรานส์ฟอร์เมอร์ไม่สามารถทำงานได้ตามอัตราส่งออกที่ขดลวดที่สอง

8.4 ประโยชน์ของทรานส์ฟอร์เมอร์ที่ใช้ในอากาศยาน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับของอากาศยานส่วนมากผลิตแรงดันไม่ 115 โวลต์ ก็ 200 โวลต์ เครื่องวัดอากาศยานส่วนมากทำงานที่ 26 โวลต์ ฉะนั้นจึงต้องใช้ทรานส์ฟอร์เมอร์ลดแรงดันให้ต่ำลงในกรณีที่อากาศยานมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเพียงอย่างเดียว แต่อากาศยานจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์

บางอย่างซึ่งใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ฉะนั้นทรานส์ฟอร์เมอร์จึงทำหน้าลดแรงดันจนถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงใช้เรคติฟายเออร์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงอีกต่อหนึ่ง

ทรานส์ฟอร์เมอร์ใช้ในระบบจุดระเบิดทั้งเครื่องยนต์ลูกสูบและเครื่องยนต์เจ็ต บางระบบจำเป็นต้องเพิ่มแรงดันจาก 28 โวลต์ขึ้นไปถึง 20,000 โวลต์ โดยใช้ทรานส์ฟอร์เมอร์ นอกจากนี้ยังใช้ทรานส์-ฟอร์เมอร์ในระบบควบคุมและระบบการเตือนภัยต่าง ๆ ในระบบอิเล็คทรอนิกส์และเป็นชิ้นส่วนของระบบเครื่องวัด ทรานส์ฟอร์เมอร์เครื่องหนึ่งอาจให้แรงดันได้หลายค่าต่าง ๆ กัน โดยใช้ Multiple taps.

9. Rectifier คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นห้วงไฟฟ้ากระแสไฟตรง โดยอาศัยคุณสมบัติของไดโอด ซึ่งยอมให้กระแสไหลได้ในทิศทางเดียว แต่ในทิศทางหนึ่งกระแสไหลผ่านไม่ได้เพราะมีความต้านทานสูงมาก

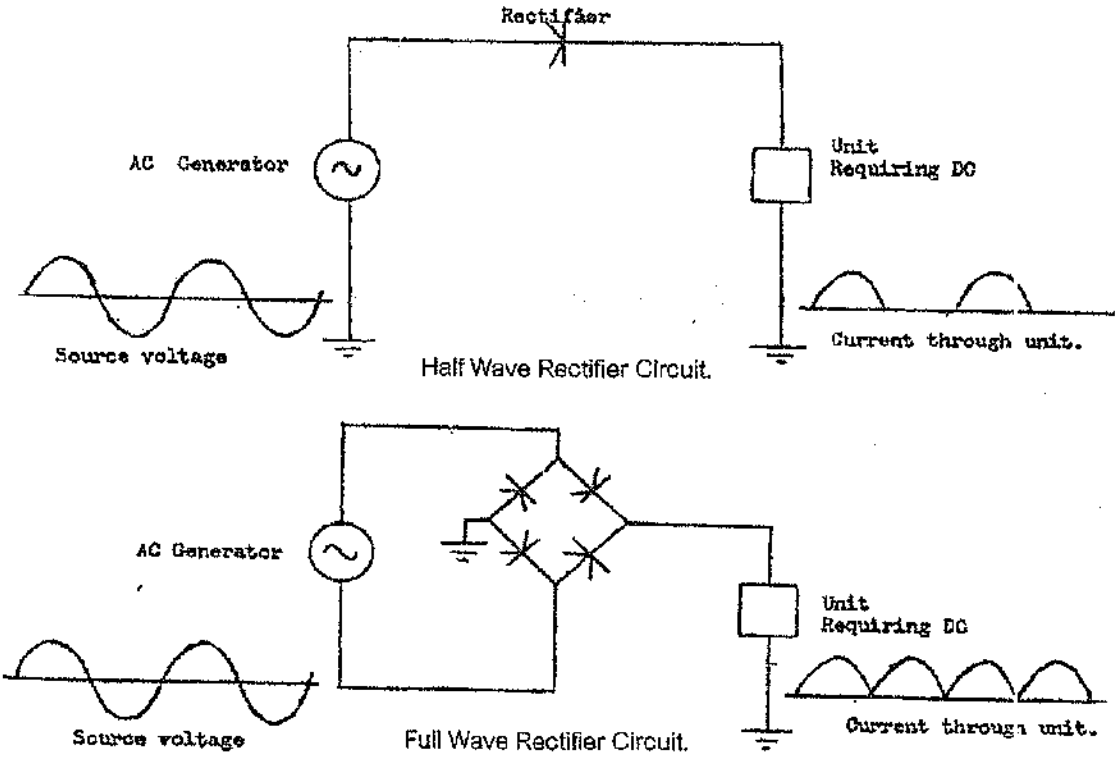
9.1 ชนิดของเรคติฟายเออร์

9.1.1 แบบแผ่น (Dry Disc) ประกอบด้วยแผ่นทองแดงและแผ่นทองแดงออกไซด์นำมาประกอบให้ติดกัน โดยใช้ความอัด ก็จะได้เรคติฟายเออร์ชนิดแผ่นแบบง่าย ๆ กระแสจะไหลจากด้านที่เป็นแผ่นทองแดงไปยังแผ่นทองแดงออกไซด์ซึ่งมีความต้านทานมากเป็น 50 เท่าของแผ่นทองแดง สำหรับในทางปฏิบัติแล้วถือได้ว่า กระแสผ่านได้ทางเดียว ส่วนอีกด้านหนึ่งนั้นกระแสผ่านไม่ได้ เรคติฟายเออร์แบบนี้ส่วนมากใช้ ซีลีเนียมและเหล็กเป็นส่วนประกอบ

9.1.2 แบบหลอด (Tube) โดยใช้หลอดสุญญากาศชนิดหลอดไดโอด หลอดชนิดนี้จะยอมให้กระแสผ่านได้ทิศทางเดียว ส่วนอีกทิศทางหนึ่งนั้นกระแสผ่านไม่ได้ยกเว้นแรงดันสูงกว่าปกติ

9.1.3 แบบใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์เป็นจำนวนมากใช้สารกึ่งตัวนำแทนหลอดสุญญากาศ ทั้งนี้เพราะสารกึ่งตัวนำมีขนาดเล็กกว่าหลอดสุญญากาศมากและยังมีอายุการใช้งานนานกว่า แต่สารกึ่งตัวนำก็มีข้อเสีย คือให้กำลังส่งออกต่ำ

9.2 ชนิดของวงจรเรคติฟายเออร์ วงจรเรคติฟายเออร์ชนิดพื้นฐานมี 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดครึ่งคลื่น (Half Wave) และเต็มคลื่น (Full Wave) ชนิดครึ่งคลื่นนั้นยอมให้กระแสสลับผ่านได้เพียงออลเทอร์เนชั่นเดียวในหนึ่งไซเคิล ส่วนอีกออลเทอร์เนชั่นหนึ่งนั้นไม่ยอมให้ผ่าน ส่วนชนิดเต็มคลื่นนั้นยอมให้ผ่านได้ทั้งสองออลเทอร์เนชั่น ตามรูปที่ 5



<u>รูปที่ 5 วงจรเรคติฟายเออร์</u>

9.3 ประโยชน์ของเรคติฟายเออร์ที่ใช้ในอากาศยาน อากาศยานที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเพียงอย่างเดียวจะใช้เรคติฟายเออร์ร่วมกับทรานส์ฟอร์เมอร์เป็นอุปกรณ์หลักสำหรับจ่ายกระแสไฟตรง และเรียกอุปกรณ์นี้ว่า Transformer – Rectifier pack (T – R) นอกจากนี้ยังใช้เรคติฟายเออร์เป็นอุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสตรงให้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ต่าง ๆ ส่วนที่ใช้ทั่ว ๆ ไปได้แก่ ใช้ Voltage Regulator ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และอินเวิร์ตเตอร์, ระบบจุดระเบิดและอุปกรณ์ของเครื่องวัดบางชนิด

บทที่ 7

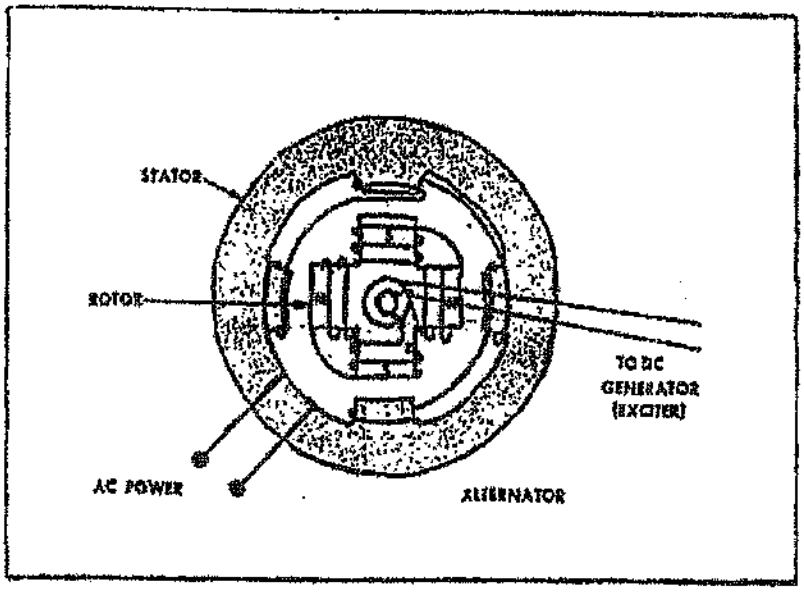
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

1. <u>ทั่วไป</u> แต่เดิมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขับด้วยเครื่องยนต์อากาศยาน มีเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ฉะนั้นคำว่า "Generator" จึงเข้าใจว่าหมายถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ต่อมาได้มีการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้มาใช้แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น และเรียกชื่อเฉพาะว่า "Alternator"

อากาศยานจำนวนมากติดตั้งเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น และอาศัยได้กระแสไฟตรงจาก T – R (Transformer Rectifier) ในกรณีเช่นนี้คำว่าเจนเนอเรเตอร์ จึงหมายถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับด้วย ฉะนั้นเพื่อลดความสับสนในเรื่องนี้ คำสั่งเทคนิคส่วนมากจึงหลีกเลี่ยงไม่ใช้คำว่า "Alternator" และคำว่าเจนเนอเรเตอร์ก็ให้หมายความถึงอย่างใดอย่างหนึ่ง คือ ไม่กระแสสลับก็กระแสตรง อย่างไรก็ดี คำว่า ออลเทอร์เนเตอร์ ก็ยังมีปรากฏในคำสั่งเทคนิคและส่วนมากยังเป็นเทอมที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป

2. <u>หลักการทำงาน</u> จากการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เราทราบแล้วว่าแรงดันกระแสสลับได้ถูกชักนำขึ้นในขดลวดอเมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโดยการใช้คอมมิวเตเตอร์และชุดประกอบแปรงถ่าน จึงทำให้สามารถเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรงได้ อย่างไรก็ตามจากประสบการณ์ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าแปรงถ่านสึก, ทำให้เกิดประกายไฟ เป็นหลุมบ่อและทำให้เกิดการสูญเสียกำลังเมื่อ บ. บินในระยะสูง รวมทั้งปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงานและการซ่อมบำรุง แต่ในการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ก็มีปัญหาในเรื่องเกี่ยวกับกรรมวิธีถ่ายทอดกำลังงานไฟฟ้าไปยังวงจรภายนอกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีภารกรรมที่ต้องการกระแสสูง ๆ จะเห็นได้ชัด การแก้ปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องทบทวนหลักการของการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันได้ชักนำขึ้นในขดลวด พร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างขดลวดและสนามแม่เหล็ก การที่จะให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่หรือจะให้ขดลวดเคลื่อนที่ทำให้เกิดผลต่างขึ้นอาศัยทฤษฎีนี้ วิศวกรผู้ออกแบบจึงสามารถสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับโดยให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่และขดลวดซึ่งจะผลิตกระแสไฟสลับอยู่กับที่และเรียกขดลวดนี้ว่า Stator ตามรูปที่ 1 จึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายกระแสสูงให้กับวงจรภายนอกได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้เพราะการจ่ายกระแสผ่านข้อต่อที่อยู่กับที่ ทำให้ไม่ต้องใช้แปรงถ่านเป็นตัวเชื่อมเพื่อส่งกระแสไปยังวงจรภายนอก อย่างไรก็ตามยังมีความจำเป็นต้องใช้แปรงถ่านและวงแหวน เพื่อส่งกระแสเล็กน้อยจากวงจรภายนอกไปเลี้ยงฟิลด์ การใช้แปรงถ่านและวงแหวนในวงจรเหล่านี้จะทำให้ลดประกายไฟฟ้าเหลือน้อยที่สุด และการสูญเสียกำลังงานที่ระยะสูงก็น้อยด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในปัจจุบันสามารถแก้ปัญหานี้ได้แล้ว สเตเตอร์เป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งมีขดลวดฟิลด์หรือขดลวดตัวนำพันอยู่ แรงดันชักนำจะเกิดขึ้นในขดลวดนี้ โรเตอร์เป็นส่วนที่หมุนได้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับส่วนมากใช้ขดลวดกระแสไฟตรงเป็นขดลวดฟิลด์ที่หมุนได้ และขดลวดที่อยู่กับที่เป็นตัวผลิตแรงดันชักนำตามแรงดันที่ต้องการ แรงดันกระแสตรงที่ส่งไปเลี้ยงฟิลด์มีค่าต่ำ ด้วยวิธีดังกล่าวนี้

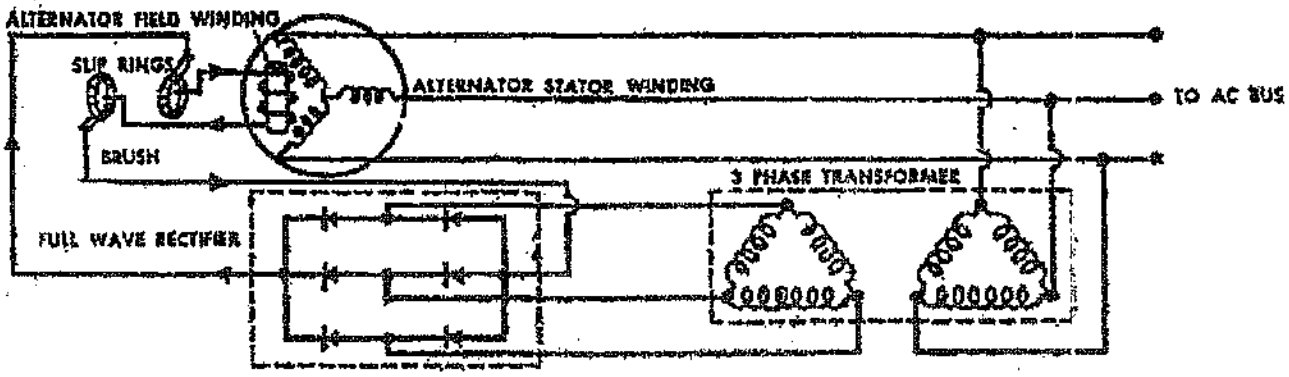
จึงสามารถส่งกระแสสลับจากขดลวดสเตเตอร์สู่วงจรภายนอกได้โดยตรงและไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ซึ่งจะทำให้ลดการเกิดประกายไฟฟ้าระหว่างแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ลงได้



รูปที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับพร้อมทั้งชุดที่ส่งกระแสมาเลี้ยงฟิลด์จากภายนอก

3. **วิธีจ่ายกระแสไปเลี้ยงขดลวดฟิลด์** การจ่ายกระแสไปเลี้ยงขดลวดฟิลด์ ซึ่งหมุนได้ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งใช้ทั่วไปมี 3 วิธี คือ

3.1 Self – Excited Method

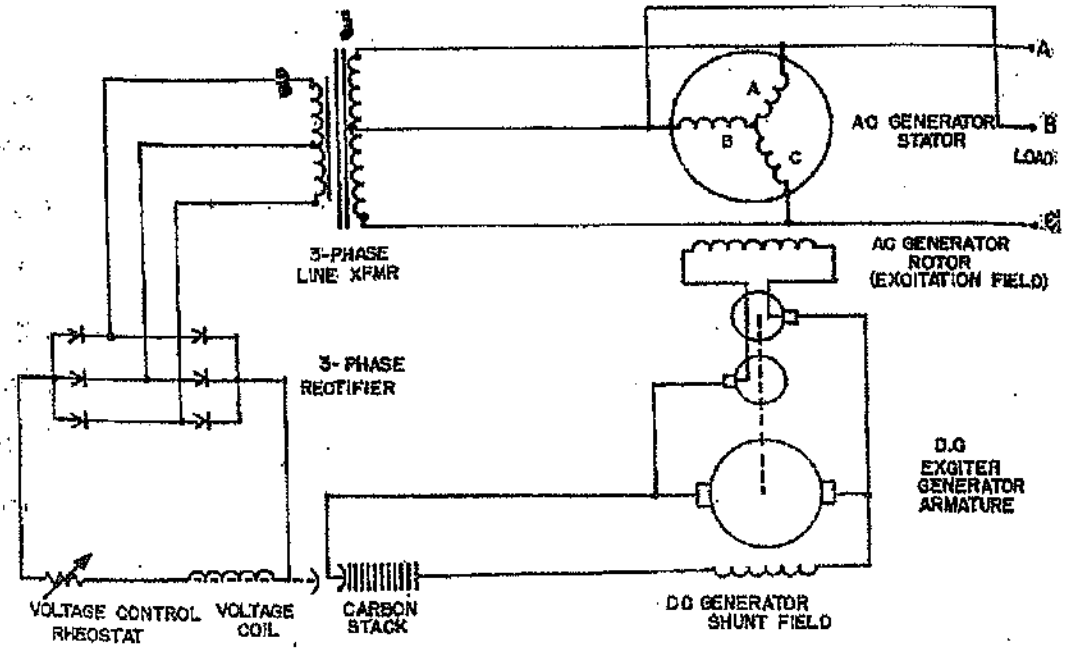


รูปที่ 2 Self – Excited Method of Generator Excitation

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเป็นชนิด 3 เฟสต่อกันแบบวาย (Y) และแรงดันที่จ่ายไปเลี้ยงขดลวดฟิลด์นี้ได้มาจากแรงดันทางออกของตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเอง โดยให้ไหลผ่านทรานส์ฟอร์เมอร์เพื่อลดแรงดันลงเหลือประมาณ 30 โวลต์ และเมื่อกระแสผ่านออกจากทรานส์ฟอร์เมอร์แล้ว เรคติฟายเออร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนให้เป็นห้วงกระแสตรงเพื่อส่งไปเลี้ยงฟิลด์ที่โรเตอร์ การเลี้ยงฟิลด์ขณะเริ่มแรกอาจต้องการกระแสตรงจากแหล่งกำเนิดภายนอก

3.2 Exciter – Generator Method

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับอากาศยานส่วนมาก ได้รับกระแสที่จ่ายไปเลี้ยงฟิลด์ของโรเตอร์จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอีกเครื่องหนึ่ง แยกต่างหากจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแต่ติดตั้งไว้ที่เพลาเดียวกัน แรงดันที่จ่ายไปเลี้ยงฟิลด์นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งนี้เพราะเราใช้แรงดันทางออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับส่งเข้าทรานส์ฟอร์เมอร์และเรคติฟายเออร์เพื่อให้ได้กระแสตรงไปเลี้ยง Voltage Coil ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทำได้แรงดันสูงหรือมีแรงดันเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ Voltage Coil สูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นเหตุให้ความต้านทานของขั้นต์ฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้นผลก็คือทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กของขั้นต์ฟิลด์ลดลง ทำให้แรงดันที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะส่งไปเลี้ยงฟิลด์ของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับลดลง ในที่สุดแรงดันส่งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับก็ลดลงตามรูปที่ 3



Basic Diagram of Separately Excited AC Generator with Voltage Control Circuit.

รูปที่ 3 Exciter – Generator Method

3.3 The Permanent – Magnet Method

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้หลักการส่งกระแสไปเลี้ยงฟิลด์แบบนี้ โดยทั่ว ๆ ไป แล้วเรียกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้ว่า "Brushless Generator"

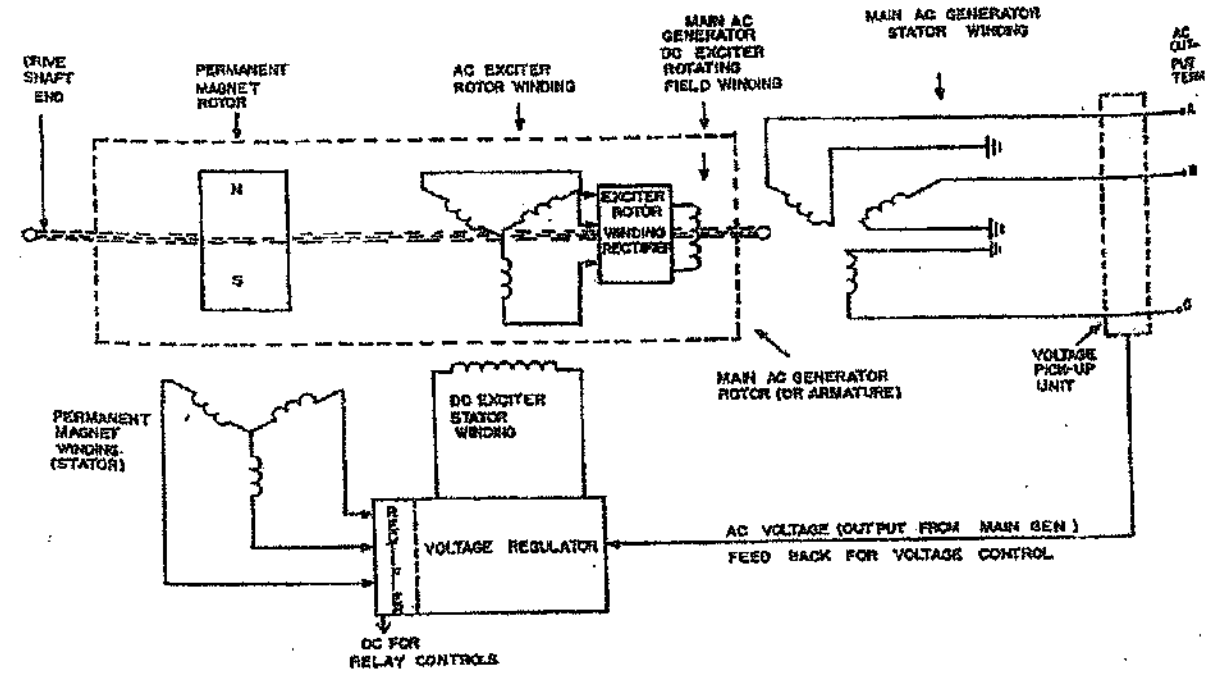


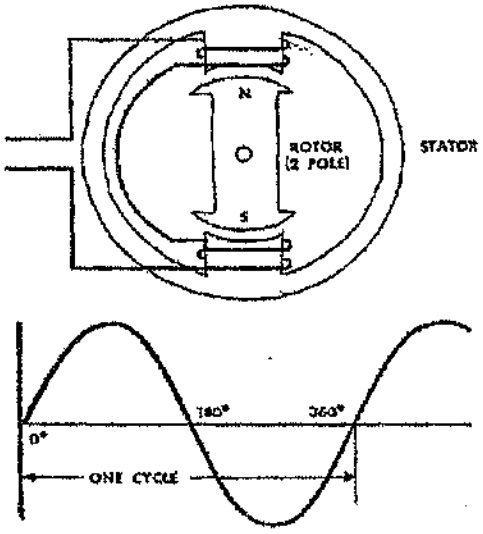
Figure 4. Basic Diagram of AC Generator with PM Exciter Generator System.

รูปที่ 4 Permanent – Magnet Method

หลักการทำงานของวิธีนี้ คือ ใช้แม่เหล็กถาวรติดตั้งไว้กับเพลาขับ เมื่อเพลาหมุนแม่เหล็กถาวรจะหมุนตาม ทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรหมุนไปตัดกับขดลวดสเตเตอร์ของชุดแม่เหล็กถาวร จึงทำให้เกิดแรงดันชักนำกระแสสลับขึ้นในขดลวดชุดนี้ (Permanent Magnet Winding) กระแสที่เกิดขึ้นจะผ่านเรคติฟายเออร์ เพื่อเปลี่ยนเป็นห้วงกระแสไฟตรงและส่งไปเลี้ยงขดลวดที่อยู่กับที่อีกชุดหนึ่ง (DC. Exciter stator Winding) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวด สนามแม่เหล็กที่อยู่กับที่นี้จะมี AC. Exciter Rotor Winding อีกชุดหนึ่งซึ่งติดตั้งอยู่ที่เพลาขับหมุนมาตัด ทำให้เกิดแรงดันกระแสสลับใน AC. Exciter Rotor Winding กระแสที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านเรคติฟายเออร์และส่งไปเลี้ยงฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกต่อหนึ่ง ซึ่งรอบ ๆ สนามแม่เหล็กที่หมุนได้นี้จะมีขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับติดตั้งอยู่ 3 ขด จึงทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นเป็นแบบ 3 เฟส ส่วนโวลเตจเรกูเลเตอร์นั้นจะเป็นตัวที่ควบคุม DC. Exciter Stator Winding ให้เพิ่มหรือลดการเหนี่ยวนำในขดลวด AC. Exciter Rotor การเพิ่มหรือลดการเหนี่ยวนำในขดลวด AC. Exciter Rotor จะเป็นเหตุให้เกิดการเพิ่มหรือลดความเข้มสนามแม่เหล็กที่หมุนได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้แรงดันส่งออกเพิ่มหรือลดตาม

4. ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

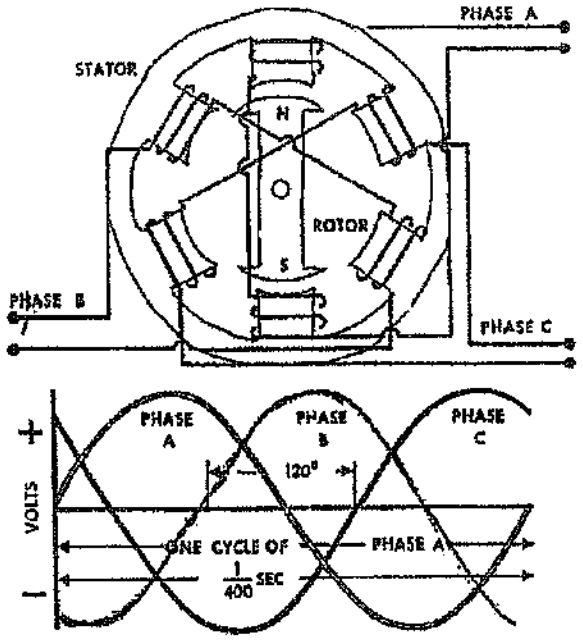
4.1 ชนิดเฟสเดียว (Single - Phase Alternator.) หมายถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตแรงดันกระแสสลับได้เพียงชุดเดียว หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ดูได้จากรูปที่ 5 ซึ่งมีขั้วแม่เหล็กถาวร 2 ขั้ว หมุนอยู่ระหว่างขดลวดสเตเตอร์ ขณะที่แม่เหล็กถาวรหมุน จะทำให้สนามแม่เหล็กไปตัดขดลวดสเตเตอร์ได้แรงดันชักนำออกมา ถ้าแม่เหล็กถาวรหมุนครบ 1 รอบ จะทำให้เกิดแรงดักชักนำที่ขดลวดสเตเตอร์เป็นออลเทอร์เนชั่นบวกและออลเทอร์เนชั่นลบอย่างละ 1 ออลเทอร์เนชั่น



Single-Phase Alternator and Voltage Curve.

รูปที่ 5 Single – Phase Alternator

4.2 ชนิด 3 เฟส (Three – Phase Alternator.) หมายถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเฟสเดียว 3 ชุด อยู่ในเรือนเดียวกันและมีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเฟสเดียว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ประกอบด้วยชุดขดลวดสเตเตอร์ 3 ชุด ติดตั้งไว้ห่างกัน 120 องศา ดังรูปที่ 6 ขณะที่สนามแม่เหล็กซึ่งเคลื่อนที่ได้หมุนไปตัดขดลวดทั้ง 3 ชุด ดังกล่าวซึ่งอยู่กับที่ จะทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นที่ขดลวดทั้ง 3 ชุด แรงดันที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ชุดดังกล่าวจะมีเฟสต่างกันเป็นมุม 120 องศาทางไฟฟ้าซึ่งกันและกัน



รูปที่ 6 Three – Phase Alternator and Voltage Curves.

ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบ 400 ไซเคิล จะทำแรงดันได้ 1 ไซเคิล ในเวลา 1/400 วินาที แรงดันสูงสุดของแต่ละเฟสจะเกิดห่างกัน 120 องศาหรือ 1/3 ของ 1/400 วินาทีซึ่งเท่ากับ 1/1200 วินาที

โดยทั่วไปแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีสนามแม่เหล็กหมุนได้เกิดจากขั้วแม่เหล็กหลายชุดและชุดขดลวดสเตเตอร์ก็มีหลายชุด ขดลวดซึ่งอยู่เป็นระยะจะต้องพันไว้ให้ทำแรงดันได้ห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า โดยมิต้องคำนึงถึงจำนวนขั้วแม่เหล็ก และถ้าขั้วแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ความถี่จะเพิ่มขึ้นถ้าโรเตอร์หมุนเร็วเท่าเดิม การคำนวณหาความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟสโดยใช้สมการ

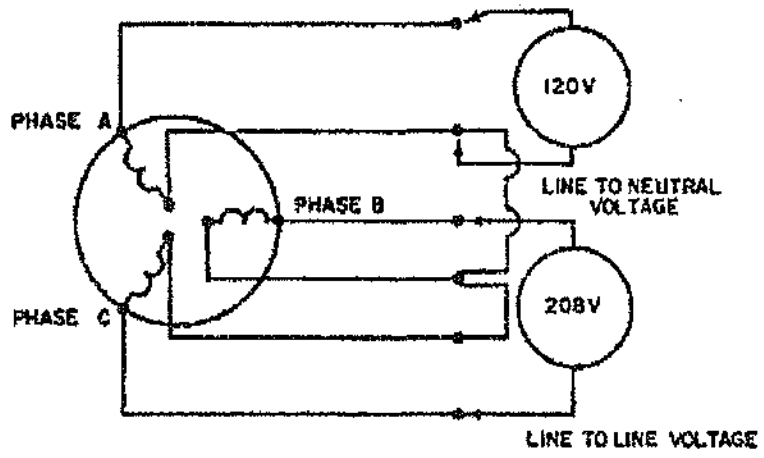
$$F = \frac{\text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก} \times \text{รอบต่อนาที}}{120}$$

จำนวนขั้วแม่เหล็กที่นำมาคิดในสมการนั้น คิดจากขดลวดชุดเดียว ขดลวดฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟส อาจจะต่อกันแบบเดลตา (Δ) หรือต่อแบบวาย (Y) ก็ได้

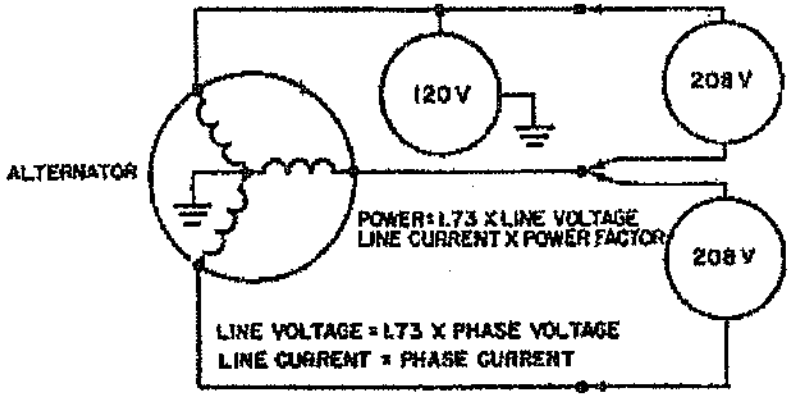
5. การต่อขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

5.1 ต่อแบบวาย (Wye – Connected.) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อแบบวาย จะทำให้แรงดันระหว่างเฟส (Line to Line) มีค่าเป็น 1.73 เท่าของแรงดันแต่ละเฟส (Line to Neutral) คือถ้าแรงดันแต่ละเฟสมีค่า 120 โวลต์ แรงดันระหว่างเฟสจะมีค่า 208 โวลต์ เฟสทั้งสามอาจจะนำมาต่อรวมกันภายนอกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ได้ หรืออาจจะต่อกันภายในร่วมกับสายดิน ดังรูปที่ 8 ก็ได้ ถ้าภาระภรรมของแต่ละเฟสเท่ากันแล้วจะไม่มีกระแสไหลในสายดินเลย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในอากาศยานขนาด 40 KVA ต่อกันแบบวาย 208 โวลต์ 400 ไซเคิล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะมีแรงดัน 2 ค่า ๆ หนึ่งเป็นแรงดัน 208 โวลต์ (3 เฟส Line to Line) และ 120 โวลต์ (เฟสเดียว Line to Neutral) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ จึงเรียกว่าระบบ 208/120 โวลต์

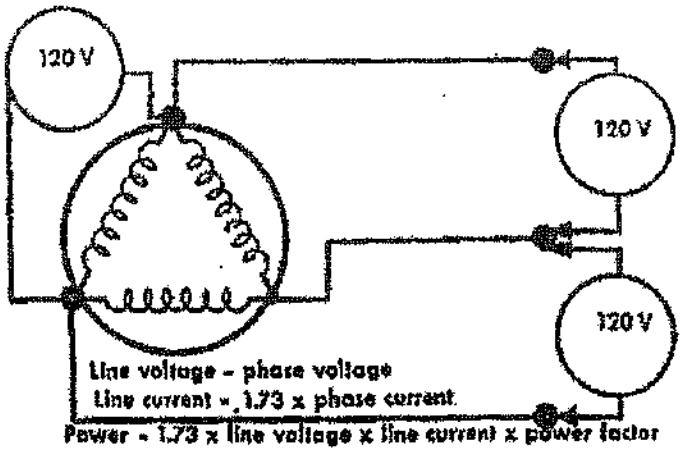


รูปที่ 7 Wye – Connected Alternator Stator.



รูปที่ 8 Wye – Connected Stator with Neutrals Connected Together.

5.2 ต่อแบบเดลตา (Delta Connected.) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกันแบบเดลตาไม่นำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังหลักของอากาศยาน เพราะในทางปฏิบัติแล้ว การต่อแบบวายมีประโยชน์มากกว่าส่วนมากการต่อแบบ เดลตาส่วนมากใช้ในทางการค้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้มีแรงดันระหว่างเฟสเท่ากับแรงดันของแต่ละเฟส แต่กระแสระหว่างเฟสจะมีค่าเป็น 1.73 เท่าของกระแสแต่ละเฟสอย่างไรก็ตาม ถ้ากล่าวถึงกำลังงานส่งออกแล้วไม่ว่าจะต่อแบบใดก็มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 9 Delta Connected Alternator Stator.

6. การควบคุมและป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่ ถ้าเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าที่เป็นอันตรายขึ้น สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ จะต้องตัดแหล่งจ่ายพลังออกจากวงจร โดยติดตั้งเครื่องตัดวงจรซึ่งจะต้องตัดวงจรทันทีอย่างอัตโนมัติ มิฉะนั้นจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์หรือทั้งสองอย่างชำรุดได้ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือการเกิดแรงดันสูงเกินเกณฑ์, แรงดันต่ำกว่าเกณฑ์, ภารกรรมในวงจรมากเกินเกณฑ์, ความถี่สูงเกินเกณฑ์, ความถี่ต่ำกว่าเกณฑ์ และการเกิดข้อบกพร่องภายในตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเองเป็นต้น

6.1 การเกิดแรงดันสูงเกินเกณฑ์ จะเป็นสาเหตุให้กระแสในวงจรมากเกินเกณฑ์

6.2 การเกิดแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ จะเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ทำงานไม่ถูกต้อง

6.3 ภารกรรมมากเกินเกณฑ์ จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดความร้อนสูงมาก

6.4 การเกิดความถี่สูงเกินเกณฑ์ จะทำให้วงจรที่มีอุปกรณ์ประเภทคอนเดนเซอร์ต่ออยู่เกิดความร้อนสูงเกินไป และทำให้กระแสที่ไหลในวงจรที่เป็นอินดัคตีปน้อยเกินไป เป็นเหตุให้อุปกรณ์เหล่านั้นทำงานไม่ถูกต้อง

6.5 การเกิดความถี่ต่ำกว่าเกณฑ์ จะทำให้วงจรที่มีอุปกรณ์ประเภทอินดัคตีปเกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์ และทำให้กระแสไหลผ่านอุปกรณ์ประเภทแคปาซิตีปน้อยเกินเกณฑ์ เป็นเหตุให้อุปกรณ์เหล่านั้นทำงานไม่ถูกต้อง

6.6 การเกิดข้อบกพร่องภายใน มี 2 ประการ คือ

6.6.1 วงจรขดลวดสเตเตอร์ไม่ครบวงจร สาเหตุจากความร้อนสูงเกินเกณฑ์สืบเนื่อง มาจากกระแสสูงเกินเกณฑ์ในขดลวดสเตเตอร์ที่เหลือ

6.6.2 ขดลวดสเตเตอร์ลงดินหรือเกิดลัดวงจร ทำให้กระแสไหลมากเกินเกณฑ์เป็นผลให้เกิดสภาพความร้อนสูงมาก

6.7 ข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในการซ่อมบำรุง เรียกว่า "Be verse Sequence" ความผิดพลาดนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟสเท่านั้น ถ้าออลเทอร์เนเตอร์ทำงานตามลำดับเฟส A, B และ C จะทำให้การจ่ายกระแสไปยังอินดัคชันมอเตอร์หรือซินโครนัสมอเตอร์เป็นไปตามเฟสที่ถูกต้อง มอเตอร์จะหมุนในทิศทางที่ถูกต้อง แต่ถ้าการต่อมอเตอร์และออลเทอร์เนเตอร์สลับเฟสกันจะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทาง และถ้าออลเทอร์เนเตอร์ทำงานสลับเฟสกัน เราจะไม่สามารถทำการพาราเรลล์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

7. แผงกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

7.1 เครื่องวัดแรงดัน แสดงค่าแรงดันทางออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือแรงดันของ AC Bus

7.2 Load Meter แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของภารกรรมที่กำลังใช้งานอยู่

7.3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า แสดงค่าของกระแสเป็นแอมแปร์

7.4 Watt – VAR Meter แสดงค่าของกำลังงานที่แท้จริง (True Power) หรือกำลังงานตอบสนอง (Reactive Power)

7.5 Frequency Rheostat ใช้สำหรับปรับรอบของออลเทอร์เนเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยผ่านหน่วยขับรอบคงที่เพื่อควบคุมความถี่ และช่วยการทำออลเทอร์เนเตอร์ให้พาราเรลล์กัน

7.6 Synchronizing Light ใช้สำหรับแสดงให้ทราบว่า ออลเทอร์เนเตอร์พาราเรลล์กันหรือไม่ ถ้ามีแสงไฟปรากฏขึ้น จึงจะต่อวงจรออลเทอร์เนเตอร์ไปยังบัสได้

8. แหล่งกำลังงานกระแสไฟสลับสำรอง

อากาศยานส่วนมากมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหลักซึ่งขับด้วยเครื่องยนต์ หรือหน่วยขับรอบคงที่ ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหลักไม่ทำงานอากาศยานจะได้รับกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

8.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสตรงในอากาศยาน เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

8.2 Auxiliary Power Unit. เครื่องยนต์ทำไฟแบบ Gas Turbine อาจจะใช้จ่ายกำลังกระแสสลับไปยังบัสได้ในระหว่างทำการบินหรือทำการตรวจสอบการทำงานที่พื้น

8.3 อากาศยานบางแบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้ขับด้วยลม และบางอย่างอาจจะใช้ไฮดรอลิคขับมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์ขับออลเทอร์เนเตอร์อีกต่อหนึ่ง

8.4 ออลเทอร์เนเตอร์สำรอง อากาศยานส่วนมาก จะมีออลเทอร์เนเตอร์หลักมากกว่า 1 เรือน เพื่อไว้จ่ายกระแสให้บัสต่าง ๆ

บทที่ 8
มอเตอร์กระแสไฟสลับ

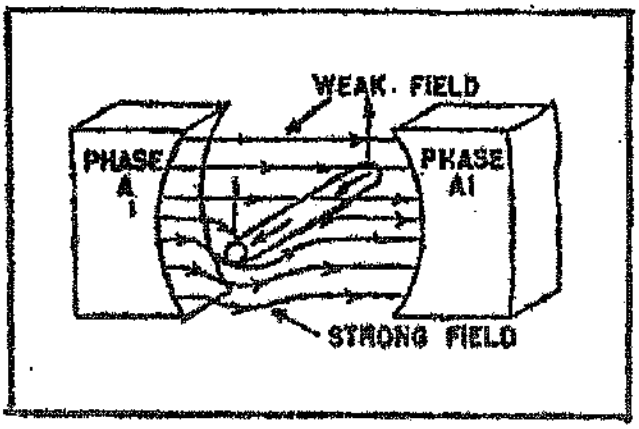
1. ทั่วไป

มอเตอร์กระแสสลับที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปในอากาศมี 2 ชนิด คือ อินดัคชั่นมอเตอร์และซินโครนัสมอเตอร์ มอเตอร์กระแสสลับชนิด อินดัคชั่นใช้สำหรับอุปกรณ์ประเภทสูบต่าง ๆ เช่น สูบไฮดรอลิค, Booster Pump นอกจากนี้ยังใช้ใน Gyro Scope และ Servomechanism ต่าง ๆ ส่วนซินโครนัสมอเตอร์ใช้ใน Tachometer indicator และระบบ Propeller Synchronizing.

2. อินดัคชั่นมอเตอร์

ในจำพวกมอเตอร์กระแสสลับด้วยกันแล้ว อินดัคชั่นมอเตอร์เป็นชนิดที่ใช้กันมากที่สุด เพราะออกแบบง่ายโครงสร้างกะทัดรัด ไม่ต้องใช้คอมมิวเตเตอร์ ข้อขัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในมอเตอร์กระแสตรงจะไม่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ชนิดนี้ ซึ่งเป็นผลดีต่อการปฏิบัติงานมาก

อินดัคชั่นมอเตอร์สามารถสร้างได้ทั้งชนิดเฟสเดียว และหลายเฟสโดยมีหลักการทำงาน เหมือนกัน ยกเว้นเฟสเดียวจำเป็นต้องติดตั้งขดลวดพิเศษ หรือมีเครื่องช่วยในการที่จะให้มอเตอร์หมุนในตอนแรก โครงสร้างของโรเตอร์ประกอบด้วยแกนแผ่นเหล็กอ่อนเจาะเป็นช่อง ๆ เพื่อบรรจุแท่งทองแดงโดยการเชื่อมติดต่อกันที่ปลายทั้งสองข้างของโรเตอร์คล้าย ๆ วงแหวน ที่ตัวโรเตอร์นี้จะไม่มีการต่อถึงกันทางไฟฟ้าออกมายังวงจรภายนอกเลย เมื่อนำส่วนประกอบของแท่งทองแดงออกจากโรเตอร์ จะมองเห็นโรเตอร์เป็นร่องคล้ายกรงนก จึงเรียกชื่อโรเตอร์แบบนี้เป็นมาตรฐานเดียวกันหมดว่า "Squirrel Cage Rotor" เพื่อที่จะให้เข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้นได้ดีขึ้น ขอให้พิจารณาผลของสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำดังรูปที่ 1

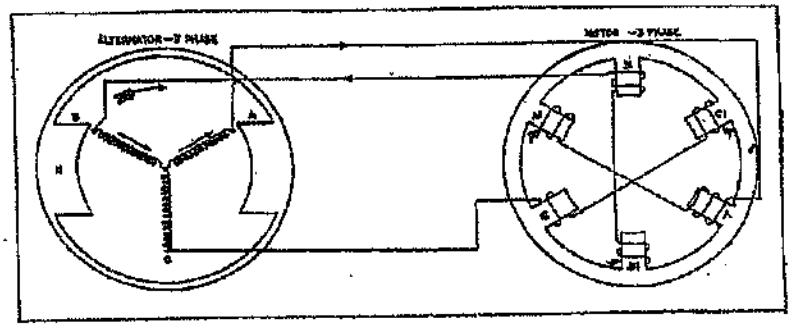


รูปที่ 1 Effect of Magnetic Field on a Conductor.

ถ้าสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้ โดยหมุนตามเข็มนาฬิกา สนามแม่เหล็กจะตัดกับตัวนำทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นในตัวนำ แรงดันนี้จะทำให้กระแสไหลผ่านตัวนำ ผลจากการที่กระแสไหลนี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ตัวนำ โดยมีความเข้มอยู่ที่ส่วนล่างของตัวนำ ส่วนด้านบนตัวนำมีความเข้มน้อยกว่า เมื่อสนามแม่เหล็กทั้งสองรวมกันจึงทำให้ตัวนำถูกผลักเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หมุนไปอยู่ตำแหน่งใหม่ และย่อมเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกันนี้ขึ้นอีก ในเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ไปอยู่ในอิทธิพลของขั้วแม่เหล็กอื่น ๆ และเมื่อมีลวดตัวนำจำนวนมากกระทำกิริยากับสนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ได้ ย่อมเป็นผลให้เกิดแรง ซึ่งมากพอที่จะทำให้โรเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

3. อินดัคชั่นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส

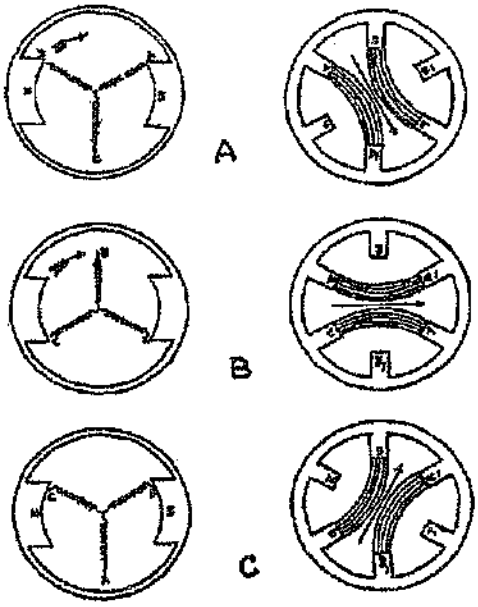
อินดัคชั่นมอเตอร์กระแสสลับชนิด 3 เฟส สเตเตอร์ ประกอบด้วยขดลวดซึ่งอาจจะต่อแบบวายหรือเดลต้า ส่วนโรเตอร์เป็นแบบ Squirrel Cage การที่จะให้มอเตอร์ทำงานจะต้องจ่ายแรงดันกระแสสลับ 3 เฟสให้ขดลวดสเตเตอร์ สำหรับโรเตอร์นั้นไม่มีการต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับแรงดันกระแสสลับภายนอกเลย ฉะนั้นจึงไม่ต้องใช้แปรงถ่านซึ่งเป็นข้อดีของมอเตอร์กระแสสลับ



Alternator 3 Phase Induction Motor 3 Phase

รูปที่ 2 อินดัคชั่นมอเตอร์ 3 เฟส กับออลเทอร์เนเตอร์

3.1 หลักการทำงาน เมื่อพิจารณาดูรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กมิได้ตัดขดลวดของเฟส C เลย จึงไม่มีแรงดันชักนำเกิดขึ้นที่เฟสนี้ ส่วนเฟส A กำลังจะถูกตัดจากสนามแม่เหล็กของขั้วใต้และเฟส B กำลังถูกเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วเหนือตัดด้วยอัตราเช่นเดียวกับเฟส A ฉะนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ถูกชักนำขึ้นในเฟส A และเฟส B จึงมีค่าเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม จากรูปที่ 2 จึงเห็นได้ว่ากระแสจากเฟส A จะไหลผ่านขั้ว A และ A_1 กระแสจากเฟส B จะไหลผ่านขั้ว B_1 และ B แล้วจึงไหลกลับออลเทอร์เนเตอร์ ผลของสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากกระแสไหลนี้ดูได้จาก รูปที่ 3



รูปที่ 3 หลักการทำงานของอินดัคชั่นมอเตอร์

ถ้าโรเตอร์ของออลเทอร์เนเตอร์หมุนต่อไปอีก 60 องศา เฟส B จะไม่ถูกเส้นแรงแม่เหล็กตัด ส่วนเฟส A จะหมุนมาอยู่ในตำแหน่งที่ถูกเส้นแรงแม่เหล็กตัดมากที่สุด สำหรับเฟส C จะมาอยู่ในตำแหน่งใหม่ซึ่งกำลังจะตัดกับสนามแม่เหล็กเหมือนกับเฟส A จึงทำให้กระแสไหลจากเฟส A ไปยังขดลวด A และ A_1 และจาก เฟส C ไปยังขดลวด C_1 และ C กลับแหล่งจ่ายผลจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้ดูได้จากรูป 3 B

สำหรับรูปที่ 3C นั้น โรเตอร์หมุนจากรูปที่ 3B ต่อไปอีก 60 องศา จึงทำให้เฟส C และ B ตัดกับขั้วเหนือและขั้วใต้ตามลำดับ โดยที่เฟส A ซึ่งขณะนี้จะไม่ตัดกับสนามแม่เหล็กเลย จึงทำให้กระแสไหลจากเฟส B ไปยังขั้ว B และ B_1 และจากเฟส C ไปยัง C_1 และ C แล้วจึงไหลกลับไปยังออลเทอร์เนเตอร์จึงทำให้เกิดผลของสนามแม่เหล็กขึ้นดังรูป 3C

จากรูปที่ 3 ที่ได้อธิบายมาแล้ว จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดนั้น จะทำให้เกิดการหมุนขึ้นได้โดยมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและมีอัตราการหมุนเท่ากับออลเทอร์เนเตอร์ การที่โรเตอร์ของมอเตอร์แบบนี้หมุนได้นั้น เนื่องจากการเกิด Mutual Induction ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ การเกิดกิริยาเช่นนี้ก็เหมือนกับทรานส์ฟอร์เมอร์ คือสเตเตอร์เป็นขดลวดที่หนึ่งและโรเตอร์เป็นขดลวดที่สองของทรานส์ฟอร์เมอร์ สนามแม่เหล็กที่หมุนได้จากสเตเตอร์จะไปตัดกับตัวนำที่ Squirrel Cage Rotor จึงทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นที่ตัวนำของโรเตอร์และมีกระแสไหล กระแสจำนวนนี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบตัวนำที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กนี้จะทำกิริยากับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสเตเตอร์ทำให้เกิดแรงหมุนที่โรเตอร์จึงทำให้ Squirrel Cage Rotor หมุนไป

3.2 ลักษณะจำเพาะ ลักษณะจำเพาะที่สำคัญของอินดัคชั่นมอเตอร์ ชนิด 3 เฟสมีดังนี้

3.2.1 สามารถหมุนได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องช่วยในระยะเริ่มหมุน

3.2.2 การหมุนของสนามแม่เหล็กเป็นไปตามความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

3.2.3 แรงบิดสูง (เมื่อเทียบกับเฟสเดี่ยว)

3.2.4 มอเตอร์หมุนกลับทิศทางได้ง่ายโดยการสลับสายจ่ายไฟเข้าเพียง 2 สาย

4. อินดัคชั่นมอเตอร์ชนิดเฟสเดียว

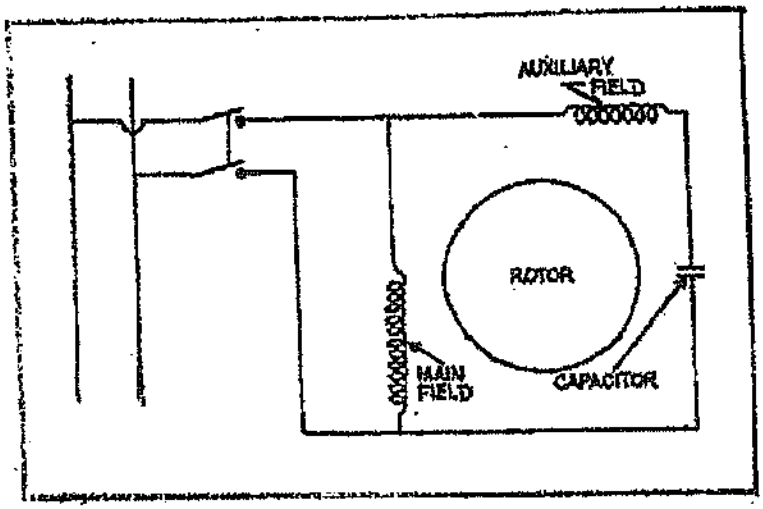
มอเตอร์ชนิดนี้มีปัญหาซึ่งมอเตอร์ชนิด 3 เฟสไม่มี คือสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ชนิด 3 เฟสหมุนได้ ส่วนของเฟสเดี่ยวหมุนไม่ได้ นอกจากนี้สนามแม่เหล็กยังเปลี่ยนทิศทางตลอดเวลาตามความถี่ของกระแสสลับ จึงไม่ทำให้เกิดแรงบิดที่โรเตอร์ อย่างไรก็ตามถ้ามีวิธีที่จะทำให้โรเตอร์หมุนได้ในตอนแรกเสียก่อนแล้ว จะทำให้มอเตอร์หมุนต่อไปได้ วิธีที่จะทำให้โรเตอร์หมุนได้ขณะเริ่มแรกนั้น มีหลายวิธีแต่วิธีที่ใช้กับมอเตอร์ในอากาศยาน เป็นแบบ Capacitor Start โดยใช้แคปาซิเตอร์ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดช่วย (Auxiliary Field) เพื่อทำให้กระแสสลับที่จ่ายให้มอเตอร์เกิดสภาพ Out of Phase กัน แคปาซิเตอร์จะทำให้กระแสที่ไหลในขดลวดช่วยนำกระแสที่ไหลผ่านขดลวดประธาน (Main Field) ดังรูปที่ 4

4.1 ลักษณะจำเพาะ ลักษณะจำเพาะของอินดัคชั่นมอเตอร์ชนิดเฟสเดี่ยว ที่สำคัญ คือ

4.1.1 สนามแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา แต่ไม่สามารถหมุนได้

4.1.2 ต้องใช้เครื่องช่วยในการหมุนเริ่มแรก

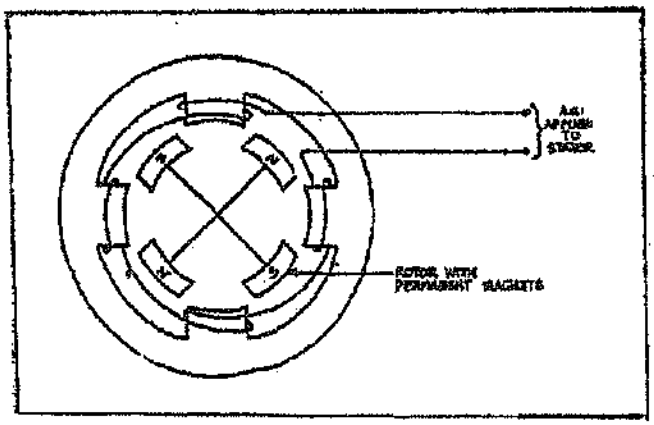
4.1.3 มีแรงบิดต่ำเมื่อเทียบกับชนิด 3 เฟส



รูปที่ 4 แสดงการใช้แคปาซิเตอร์ต่อในวงจร เพื่อทำให้มอเตอร์หมุน

5. ซินโครนัสมอเตอร์

ซินโครนัสมอเตอร์แตกต่างกับอินดัคชั่นมอเตอร์ คือ โรเตอร์ของซินโครนัสมอเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างของซินโครนัสมอเตอร์

5.1 หลักการทำงาน เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้ขดลวดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่หมุนได้และจะทำกิริยากับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากโรเตอร์ ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรทำให้โรเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสเตเตอร์หรือต่ำกว่าเล็กน้อย ความเร็วในการหมุนของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลในขดลวดสเตเตอร์เรียกว่า Synchronous Speed ถ้าความถี่ของกระแสสลับเพิ่มขึ้น สนามแม่เหล็กจะหมุนเร็วขึ้น และถ้าจำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็กเพิ่มขึ้น สนามแม่เหล็กจะหมุนช้าลงหรือ Synchronous Speed = $\frac{120F}{P}$

ขณะที่โรเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่กำลังหมุน ย่อมเกิดความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ขึ้น ถ้าโรเตอร์หมุนเร็วเท่าสนามแม่เหล็กหมุน ย่อมไม่เกิดความสัมพันธ์ขึ้น ความแตกต่างระหว่างความเร็วของโรเตอร์และความเร็วของสนามแม่เหล็กเรียกว่า Slip โดยธรรมชาติแล้ว สนามแม่เหล็ก 2 สนามที่หมุนไปด้วยกันนี้จะ Lock กันไปตลอด จึงทำให้ โรเตอร์หมุนไปพร้อมกับการหมุนของสนามแม่เหล็ก จึงเรียกว่าซินโครนัสมอเตอร์

เนื่องจากซินโครนัสมอเตอร์ไม่มีแรงบิดเริ่มหมุน ฉะนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องช่วยให้โรเตอร์หมุนจนถึงความเร็วของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ก่อน โดยใช้ Hysteresis Disc ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทั่ว ๆ ไป เพื่อทำให้เกิดแรงบิดเริ่มหมุน กระแสจะถูกชักนำขึ้นในแผ่น Hysteresis Disc จากนั้นจะทำให้มอเตอร์แบบนี้ทำหน้าที่เหมือนกับอินดัคชั่นมอเตอร์ ด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดแรงบิดเริ่มหมุนขึ้นจนกระทั่งโรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรมีรอบสูงพอที่จะทำให้แรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น Lock ไปกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสเตเตอร์

ถ้าซินโครนัสมอเตอร์ได้รับภารกรรมมากเกินเกณฑ์ จนกระทั่งทำให้โรเตอร์ไม่ Lock ไปกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสเตเตอร์ จะทำให้มอเตอร์เกิดความร้อนสูงเกินเกณฑ์และอาจจะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนได้

5.2 ลักษณะจำเพาะ ลักษณะจำเพาะของซินโครนัสมอเตอร์ที่สำคัญคือ

5.2.1 ต้องใช้เครื่องช่วยในการหมุนเริ่มแรก

5.2.2 ระหว่างการทำงานมีแรงบิดต่ำ

5.2.3 ทำงานที่รอบคงที่โดยเป็นสัดส่วนกับความถี่ของแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายแรงดันให้

บทที่ 9

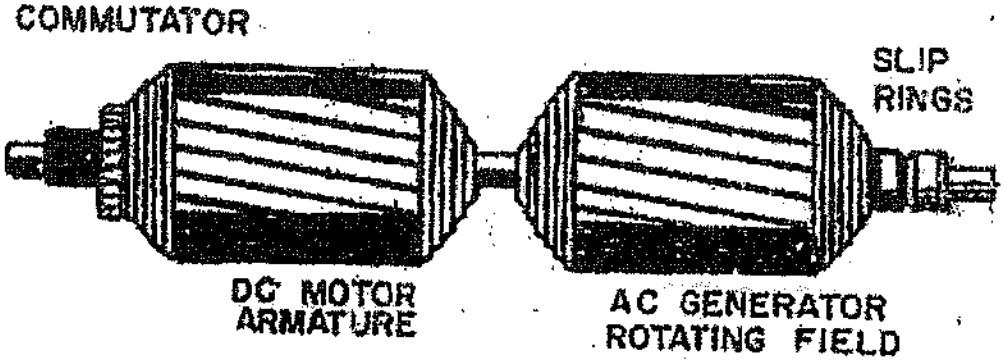
อินเวอร์เตอร์อากาศยาน (Aircraft Inverter.)

1. ทั่วไป

โดยคำจำกัดความแล้ว อินเวอร์เตอร์ คืออุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีหลักการทำงานแตกต่างกัน อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในอากาศยาน มี 2 ชนิด คือ มอเตอร์-เจนเนอเรเตอร์ อินเวอร์เตอร์ และ สแตติกอินเวอร์เตอร์

2. มอเตอร์-เจนเนอเรเตอร์ อินเวอร์เตอร์ (Motor-Generator Inverter.)

หลักการทำงานใช้มอเตอร์กระแสตรงขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยส่วนประกอบของมอเตอร์, เจนเนอเรเตอร์ และชุดควบคุมต่าง ๆ จะรวมกันเป็นหน่วยเดียว สำหรับมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ใช้เพลาหมุนเพลาเดียวกัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดประกอบของอเมเจอร์ – โรเตอร์

อากาศยานส่วนมากมีออลเทอเนเตอร์ ขับด้วยเครื่องยนต์ ซึ่งทำการซ่อมบำรุงน้อยกว่ามอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีปัญหาว่า ทำไมจึงต้องใช้อินเวอร์เตอร์ ถ้าอากาศยานใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก อินเวอร์เตอร์ จะใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบต่าง ๆ ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์เหล่านี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ อากาศยานบางชนิดมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีความถี่ไม่คงที่เป็นหลัก ในกรณีเช่นนี้อาจจะต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กไว้จ่ายกำลังกระแสสลับให้วงจรที่ต้องการความถี่คงที่ วัตถุประสงค์อื่นที่ต้องใช้อินเวอร์เตอร์คือ ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับฉุกเฉินในกรณีที่ระบบไฟฟ้าหลักไม่ทำงาน สำหรับแบตเตอรี่นั้นใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงฉุกเฉินให้กับวงจรที่สำคัญ ๆ เท่านั้น ฉะนั้นอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นกำลังสำรองยามฉุกเฉิน จะต้องมีขนาดเล็กที่สุด

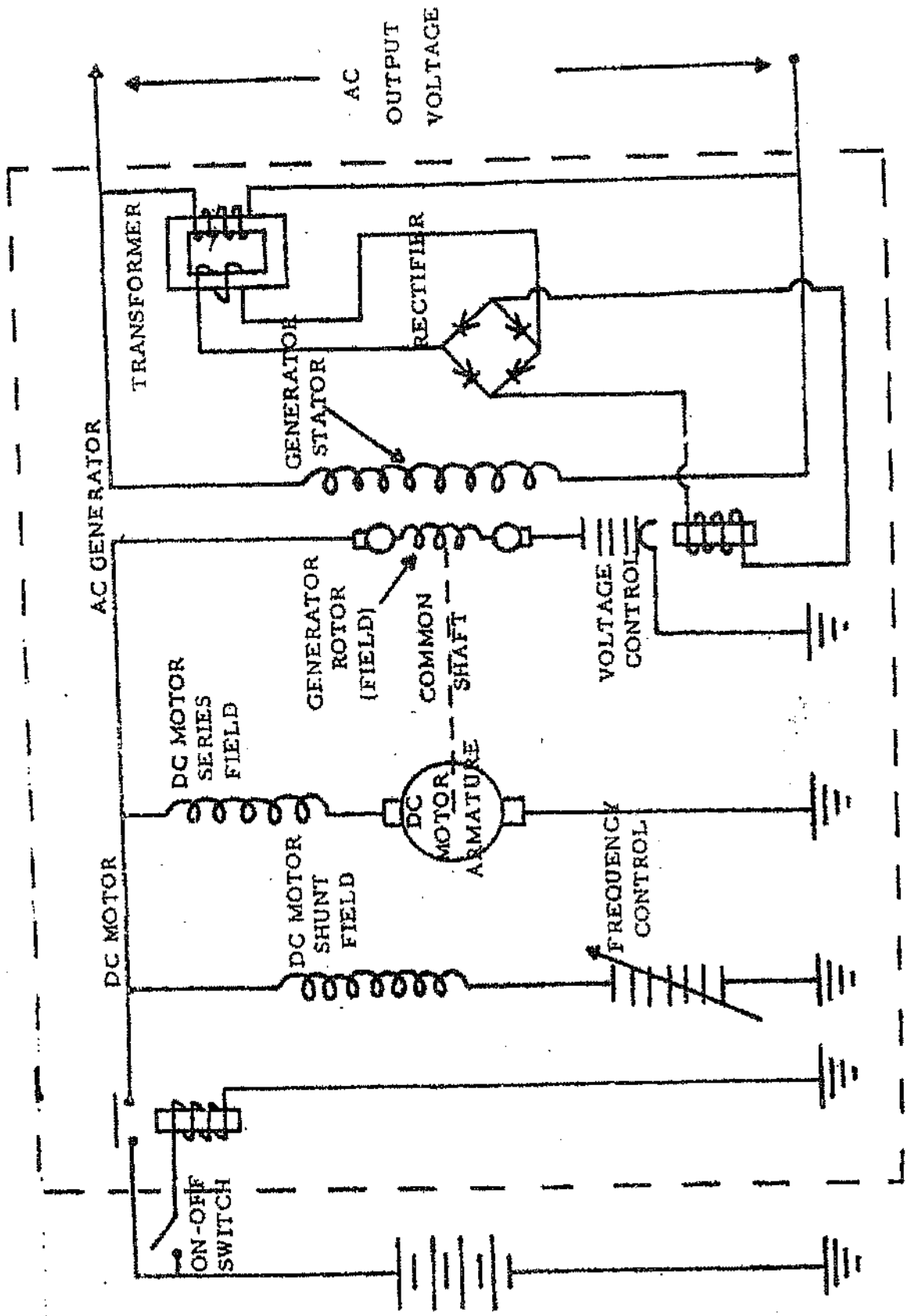


Figure 8. Inverter.

รูปที่ 2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.1 มอเตอร์กระแสตรง มีเหตุผลอยู่ 2 ประการที่มอเตอร์กระแสตรงในอินเวอร์เตอร์ต้องมีรอบสูง คือ มอเตอร์รอบสูงจะได้กำลังม้าสูงกว่ามอเตอร์รอบต่ำเมื่อเทียบกับน้ำหนัก และออลเทอเนเตอร์รอบสูงสามารถทำความถี่ตามกำหนดได้โดยใช้ขั้วแม่น้อยกว่าเจนเนอเรเตอร์รอบต่ำ เพราะ

$$F = \frac{\text{จำนวนขั้ว X รอบต่อนาที}}{120}$$

ยิ่งกว่านั้นเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ขั้วแม่เหล็กน้อยยังมีขนาดเล็กกว่าน้ำหนักเบากว่า เจนเนอเรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กมาก มอเตอร์กระแสตรงและออลเทอเนเตอร์ใช้เพลาร่วมกัน การใช้มอเตอร์รอบสูงย่อมทำให้มีน้ำหนักเบาและไม่เปลืองที่ นอกจากนี้การที่มอเตอร์หมุนรอบสูงยังทำให้รอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงได้น้อยย่อมเป็นการรักษารอบของออลเทอเนเตอร์ เพื่อให้ได้ความถี่อยู่ในขีดจำกัดเฉพาะ แม้ว่าภารกรรมจะเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด

การที่จะให้มอเตอร์มีรอบทำงานสูงและได้แรงบิดมากขณะภารกรรมเปลี่ยนแปลง จำเป็นต้องใช้ซีรีส์มอเตอร์ และความสามารถในการรักษารอบของมอเตอร์ให้คงที่ได้ โดยปราศจากการหมุนเร็วเกินเกณฑ์ในขณะนำภารกรรมออกเป็นลักษณะจำเพาะของชั้นต์มอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์ในอินเวอร์เตอร์ต้องการคุณลักษณะดังกล่าวมาแล้วทั้งหมด จึงจำเป็นต้องใช้คอมปาวด์มอเตอร์

2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในอินเวอร์เตอร์ เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ขับด้วยเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากวงจรทุกวงจรที่ได้รับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ต้องใช้ความถี่คงที่ ฉะนั้นรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ติดตั้งในอินเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องหมุนที่รอบคงที่เสมอ ส่วนกระแสที่ไหลผ่านวงจรต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันที่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นแรงดันส่งออกจากเจนเนอเรเตอร์จะต้องคงที่ด้วย อัตราการส่งออกของเจนเนอเรเตอร์ซึ่งมีหน่วยเป็น VA หรือ KVA จึงกำเนิดขึ้นโดยอาศัยความต้องการของภารกรรม ความต้องการภารกรรมนี้จะเป็นตัวกำหนดว่า จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฟสเดียว หรือ 3 เฟส

2.3 การควบคุมความถี่ การควบคุมรอบมอเตอร์และความถี่ของกระแสสลับกระทำได้โดยการลดหรือเพิ่มกระแสที่ผ่านขดลวดขั้นต์ฟิลด์ของมอเตอร์ ซีรีส์มอเตอร์มีรอบสูงกว่าชั้นต์มอเตอร์ การเพิ่มกระแสในขั้นต์ฟิลด์จะทำให้รอบมอเตอร์ลดลงการใช้หลักการทั้งสองนี้จะทำให้สามารถควบคุมความถี่ได้ ถ้าความถี่มีแนวโน้มที่จะลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ อันเนื่องจากภารกรรมเพิ่มขึ้นกระแสที่ไหลผ่านขั้นต์ฟิลด์ของมอเตอร์จะลดลง ดังรูปที่ 2

การลดกระแสจะมีแนวโน้มให้รอบมอเตอร์สูงขึ้น ซึ่งเป็นการแสดงออกทางคุณลักษณะของซีรีส์มอเตอร์มากขึ้น ความถี่มีแนวโน้มเพิ่มสูงกว่าเกณฑ์เนื่องจากการลดภารกรรมกระแสจะไหลผ่านขั้นต์ฟิลด์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้มอเตอร์แสดงออกทางคุณลักษณะของชั้นต์มอเตอร์ คือรอบลดลง

การควบคุมกระแสในขั้นต์ฟิลด์ของมอเตอร์อาจจะกระทำได้ในทางกล, ทางไฟฟ้า หรืออิเล็คทรอนิกส์ การควบคุมทางอิเล็คทรอนิกส์ จะสามารถควบคุมความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ตามความต้องการ

ได้อย่างดี โดยมีเกณฑ์คลาดเคลื่อนน้อยมาก ส่วนการควบคุมทางกลและทางไฟฟ้านั้นก็สามารถควบคุมได้เพียงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้มากหลายอย่างเช่นกัน

2.4 <u>การควบคุมแรงดัน</u> แรงดันส่งออกของเจนเนอเรเตอร์ขึ้นอยู่กับตัวประกอบ 3 อย่าง คือขดลวดอัตราการเคลื่อนที่ และความเข้มของสนามแม่เหล็ก จำนวนขดลวดที่ประกอบอยู่ที่เจนเนอเรเตอร์ของอินเวอร์เตอร์นั้นคงที่จากการสร้าง อัตราการเคลื่อนที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ จึงเห็นได้ว่าเหลือเพียงสิ่งเดียวเท่านั้นในการควบคุมแรงดันให้คงที่ได้ การเปลี่ยนกระแสที่ไหลผ่านขั้นต์ฟิลด์ให้เพิ่มหรือลดลง จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า กระแสที่ไหลผ่านขั้นต์ฟิลด์ของเจนเนอเรเตอร์ ได้มาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จึงจำเป็นต้องใช้ความต้านทานจากแผ่นคาร์บอนของโวลเตจเรกูเลเตอร์ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดฟิลด์นี้ ถ้าแรงดันกระแสสลับมีแนวโน้มที่จะเกินค่าปกติ อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันจะทำให้ความต้านทานในวงจรขดลวดฟิลด์เพิ่มขึ้น เพื่อลดความเข้มสนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ได้ของเจนเนอเรเตอร์ และย่อมเป็นผลให้แรงดันขักนำในขดลวดสเตเตอร์ลดลงและจะเกิดผลตรงข้ามในกรณีที่แรงดันส่งออกต่ำกว่าค่าปกติ การควบคุมแรงดันก็เหมือนกับการควบคุมความถี่ คือ อาจจะควบคุมทางไฟฟ้าหรือทางอิเล็คทรอนิกส์ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ความต้องการให้เปลี่ยนแปลงได้เท่าไร

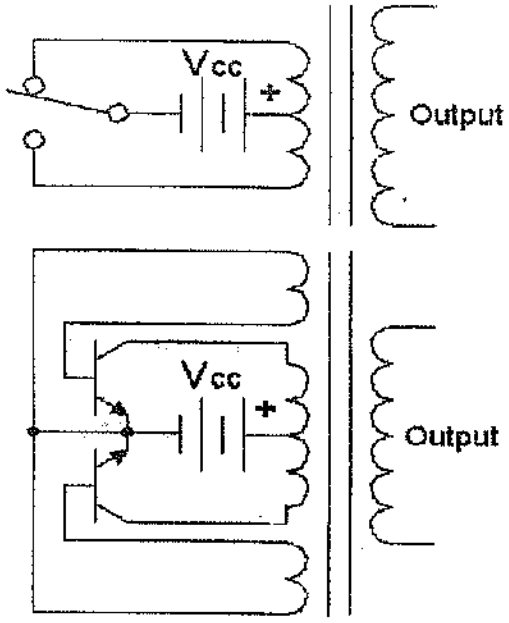
2.5 <u>รีเลย์</u> มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต้องการกระแสสูงมาก ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องให้ผ่านรีเลย์ และในทำนองเดียวกันกระแสส่งออกของออลเทอเนเตอร์ ก็ต้องผ่านรีเลย์ ซึ่งอาจจะควบคุมโดยใช้มือกดปุ่มหรือผลักสวิทช์ ON – OFF ดังรูปที่ 2 ในกรณีที่ใช้อินเวิร์ตเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลังสำรองยามฉุกเฉิน มักจะติดตั้ง Automatic Changeover Relay ไว้เสมอ ซึ่งจะทำให้กระแสจากแหล่งจ่ายกำลังปกติไปอำนวยขดลวด เพื่อทำให้รีเลย์อยู่ในตำแหน่งเปิดวงจรอยู่ตลอดเวลา ถ้าแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติชำรุดหรือไม่ทำงาน แรงดึงสปริงของรีเลย์จะดึงรีเลย์ให้เชื่อมวงจร เป็นผลให้อินเวอร์เตอร์สำรองทำงาน

3. <u>**สแตติกอินเวอร์เตอร์ (Static Inverter)**</u> เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

3.1 <u>หลักการทำงานของสแตติกอินเวอร์เตอร์</u> การทำงานของสแตติกอินเวอร์เตอร์สามารถอธิบายการทำงานได้จากหลักการทำงานของทรานสฟอร์มเมอร์ โดยการต่อวงจรง่ายๆ ดังแสดงในรูปที่ 3

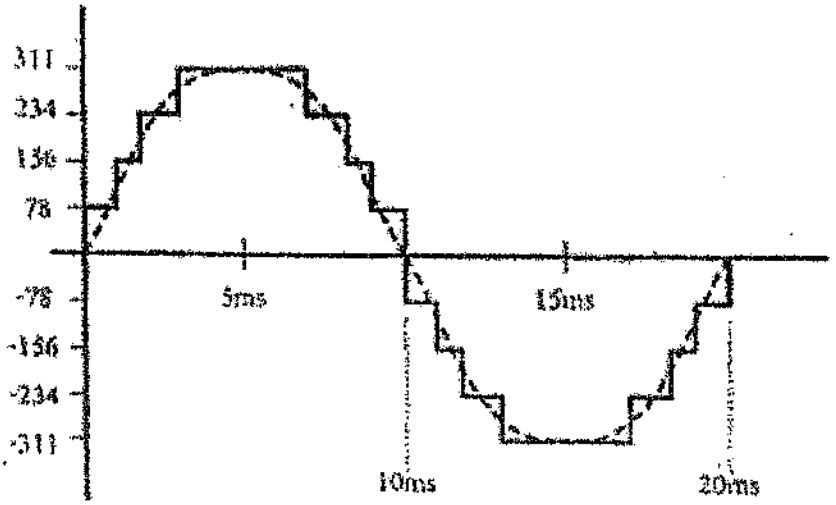
ถ้าต่อไฟฟ้ากระแสตรงให้กับจุดต่อกลาง (Center Tap) ทางขด Primary ของทรานสฟอร์มเมอร์ แล้วสับสวิทช์ให้กระแสป้อนให้ขดลวดด้านบนและล่างอย่างเร็วๆ จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นทางขดลวด Secondary ของทรานสฟอร์มเมอร์นั้น ดังแสดงในรูปที่ 3 รูปบน

ถ้าใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ มาทำหน้าที่แทนสวิทช์ โดยอาศัยหลักการทำงานของวงจรมาทำหน้าที่แทนสวิทช์ในการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด Primary ซึ่งเรียกวงจรชนิดนี้ว่า วงจรสวิทชิ่ง (Switching Circuit) ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมความเร็วในการป้อนกระแสได้ ซึ่งเป็นการควบคุมความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับทางขด Secondary ของทรานสฟอร์มเมอร์นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3 รูปล่าง



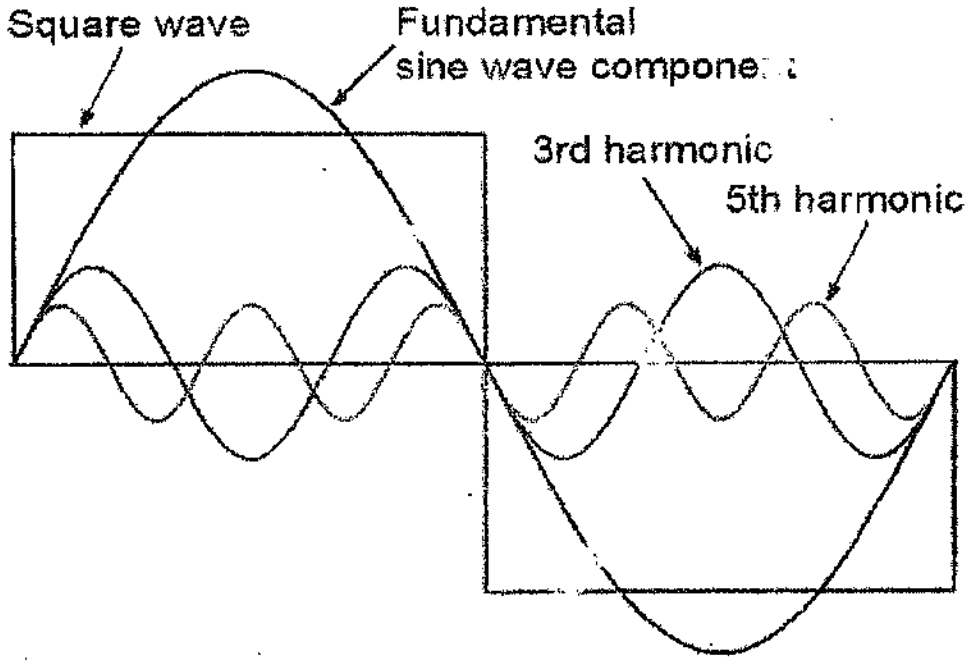
รูปที่ 3 หลักการทำงานเบื้องต้นของ Static Inverter

3.2 รูปคลื่นของแรงดันทางออกของอินเวอร์เตอร์ (Inverter Output Waveforms) รูปคลื่นของแรงดันทางออกของสแตติกอินเวอร์เตอร์จะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์จริงๆ เพราะลักษณะการทำงานของสแตติกอินเวอร์เตอร์เป็นการปิดและเปิดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นรูปคลื่นที่ได้จริงจะเป็นรูปคลื่นไซน์เทียม คือรูปคลื่นที่ได้เป็นรูปคลื่นไซน์ที่ไม่เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปคลื่นไซน์ของแรงดันทางออกของ Static Inverter

แรงดันทางออกของสแตติกอินเวอร์เตอร์จะประกอบด้วยรูปคลื่นไซน์โมความถี่ต่างๆเกิดขึ้นพร้อมๆกัน โดยรูปคลื่นที่มีความถี่ตามที่กำหนดให้ จรสร้างขึ้นเราเรียกว่า รูปคลื่นมูลฐาน (Fundamental Sine Wave) ส่วนรูปคลื่นที่มีความถี่ต่างไปจากคลื่นมูลฐาน เรียกว่า ฮาร์โมนิค (Harmonic) ฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าเท่ากับผลคูณของคลื่นมูลฐาน เช่น ฮาร์โมนิคที่ 3 จะมีค่าความถี่เป็น 3 เท่าของคลื่นมูลฐาน , ฮาร์โมนิคที่ 5 จะมีค่าความถี่เป็น 5 เท่าของคลื่นมูลฐาน ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นต้น



<u>รูปที่ 5 รูปคลื่น มูลฐาน และ ฮาร์โมนิค ที่ 3 และที่ 5</u>

<u>(Square waveform with Fundamental Sine wave component , 3rd Harmonic and 5th Harmonic)</u>

จากเหตุผลดังได้กล่าวมาแล้วว่า รูปคลื่นของแรงดันทางออกของสแตติกอินเวอร์เตอร์จะเป็นรูปคลื่นไซน์เทียม แลยังมีฮาร์โมนิคต่างๆออกมาด้วย ดังนั้น ในวงจรของสแตติกอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานจริงจึงต้องใช้อุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อใช้ในการกรองรูปคลื่นในลักษณะของวงจรกรองต่างๆ เช่น Low-pass Filter , Resonant Filter นำมาประกอบไว้ทั้งทางด้าน Primary และ Secondary ของทรานสฟอร์มเมอร์ เพื่อกรองรูปคลื่นไซน์ และกำหนดความถี่ทางออกที่ต้องการเพียงความถี่เดียว

บทที่ 10
ระบบเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องจับเค้าอัคคีภัย

1. ทั่วไป

ช่างจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับอุณหภูมิของเครื่องยนต์ ของไหลที่ใช้ในเครื่องยนต์ และอุณหภูมิบรรยากาศโดยรอบ จึงจะสามารถแก้ไขข้อขัดข้องได้โดยไม่เสียเวลาและถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมีระบบเครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยข้อขัดข้องต่างๆ เครื่องวัดอุณหภูมิมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ สารที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เครื่องวัดจะทำการวัดและแสดงค่าหรือเตือนให้เราทราบถึงอุณหภูมิวิกฤติที่จะเกิดขึ้น คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สามารถนำมาใช้ให้แสดงว่าค่าของอุณหภูมิในระบบได้ คือ ความดันไอของก๊าซ การขยายตัวของโลหะเมื่อถูกความร้อน ศักย์ไฟฟ้าของโลหะและความแตกต่างของความต้านทานของโลหะต่างชนิดกัน

2. ระบบเครื่องวัดอุณหภูมิ

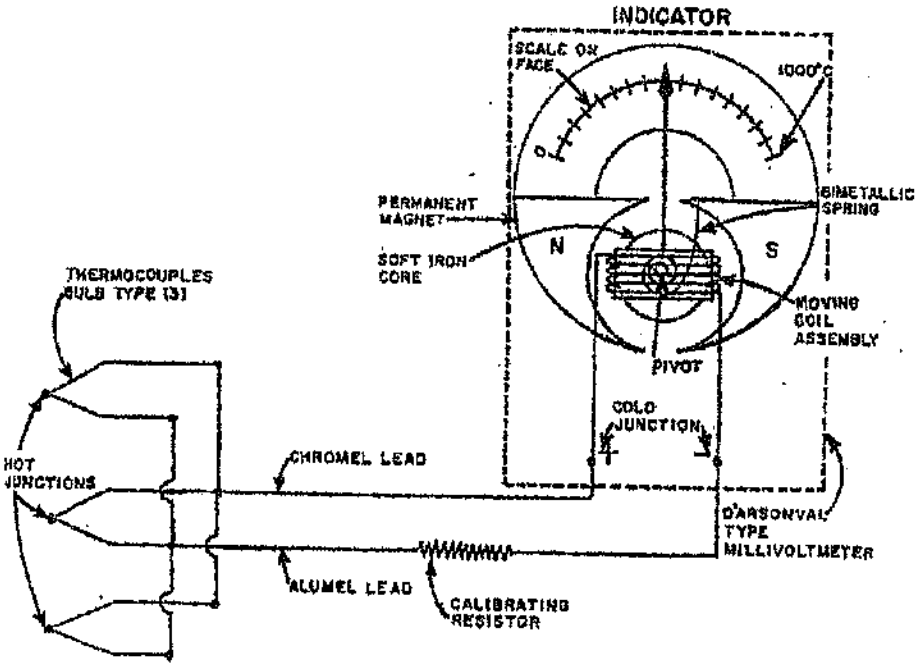
2.1 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้หลักความดันไอ ระบบนี้ประกอบด้วยแผ่นไดอะแฟรม และกะเปาะโดยมีท่อยาวขนาดเล็กต่อถึงกัน ในกะเปาะบรรจุของเหลว เช่น เมธิลคลอไรด์ ซึ่งจะกลายเป็นไอหรือรวมตัวเป็นหยดน้ำถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ไอของของเหลวจะขยายตัวผ่านไปตามท่อเป็นเหตุให้ไดอะแฟรมขยายตัว และถ้าอุณหภูมิลดลง บางส่วนของไอของของเหลวจะรวมตัวเป็นหยดน้ำทำให้ไดอะแฟรมหดตัว ระบบเครื่องวัดที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ True airspeed เพื่อใช้สำหรับชดเชยการเปลี่ยนอุณหภูมิบรรยากาศ

2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบแผ่นโลหะต่างชนิดกัน เครื่องวัดแบบนี้ใช้หลักการขยายตัวของโลหะต่างชนิดกัน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงโลหะย่อมขยายตัวต่างกัน โดยการใช้แผ่นโลหะบาง ๆ ต่างชนิดกันเชื่อมให้ติดกันที่หัวท้าย เมื่อมีความร้อนเกิดขึ้นแผ่นโลหะชนิดหนึ่งจะขยายตัวยืดออกมากกว่าอีกชนิดหนึ่ง ทำให้แผ่นโลหะที่ขยายตัวมากกว่าโค้งออก หลักการนี้ใช้สำหรับชดเชยอุณหภูมิในเครื่องวัดต่าง ๆ ของอากาศยานในรูปของแผ่นโลหะบาง ๆ รูปวงกลม, แผ่นยาว ๆ หรือเป็นแบบขดลวดสปริง

2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบนี้ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง ๆ เช่น อุณหภูมิหัวกระบอกสูบของเครื่องยนต์ลูกสูบ และอุณหภูมิท่อท้ายของเครื่องยนต์เจ็ต หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบเครื่องวัดอุณหภูมิแบบนี้ประกอบด้วยเครื่องวัดมิลลิโวลต์มิเตอร์แบบดีอาร์สันวาล (D'Asonval) , สายเทอร์โมคอปเปิล, ความต้านทานที่ปรับค่าได้ และตัวเทอร์โมคอปเปิล เทอร์โมคอปเปิลและสายที่ใช้กับเครื่องยนต์ลูกสูบทำด้วยเหล็กและคอนสแตนแตน ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศาเซนติเกรด ส่วนของเครื่องยนต์เจ็ตทำด้วยโลหะอลูเมล (Alumel) และโครเมล (Chromel) ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 องศาเซนติเกรด เทอร์โมคอปเปิลชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ เช่น ชนิดวงแหวนรองหัวเทียน ชนิด bayonet ซึ่งติดตั้งที่หัวกระบอกสูบ โดยการใช้แผ่นรองพิเศษและชนิด

กะเปาะซึ่งส่วนมากใช้ตั้งแต่ 3 กะเปาะถึง 1 กะเปาะเพื่อติดตั้งรอบ ๆ กรวยท้ายท่อไอเสียของเครื่องยนต์เจ็ต โดยนำมาต่อกันอย่างขนาน ส่วนสายเทอร์โมคอปเปิลนั้นสั้นยาวตามความเหมาะสม ตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้มีไว้เพื่อใช้ปรับค่าความต้านทานในระบบทั้งหมดให้มีค่าคงที่ตามกำหนดของตัวเครื่องวัด เช่น เครื่องวัดบางชนิดกำหนดค่าความต้านทานของสายไว้ 2 โอห์ม บางชนิด 8 โอห์ม และบางชนิด 22 โอห์ม เป็นต้น

2.3.1 หลักการทำงาน เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคอปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้โดยการวัดความต่างศักย์ระหว่างจุดร่วมของเทอร์โมคอปเปิล โดยให้จุดร่วมของเทอร์โมคอปเปิลจุดหนึ่งติดตั้งไว้ที่เครื่องยนต์และเรียกว่าจุดร่วมร้อน (Hot Junction) ส่วนอีกปลายหนึ่งเรียกว่า จุดร่วมเย็น (Cold Junction) ติดตั้งไว้ที่ตัวเครื่องวัด แรงดันไฟฟ้าจะเกิดขึ้นที่จุดร่วมทั้งสองนั้น แรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะรวมกันอย่างอนุกรม แต่มีทิศทางตรงข้ามกันระหว่างแรงดันที่จุดร่วมร้อนและจุดร่วมเย็น ฉะนั้น ถ้าอุณหภูมิที่จุดร่วมร้อนและจุดร่วมเย็นมีความร้อนเท่ากัน แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดทั้งสองจะเท่ากันจึงไม่มีกระแสไฟเดินในระบบ



รูปที่ 1 ระบบเครื่องวัดเทอร์โมคอปเปิลเบื้องต้น (Basic Thermocouple Thermometer System)

อย่างไรก็ตามถ้าจุดร่วมร้อนของเทอร์โมคอปเปิลได้รับความร้อน แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดร่วมร้อนจะมีค่ามากกว่าที่จุดร่วมเย็น ความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสองจุดนี้จะทำให้มีกระแสไหลไปอำนวยขดลวดที่เคลื่อนที่ได้ในตัวเรือนเครื่องวัดมิลลิโวลต์มิเตอร์ ถ้าอุณหภูมิที่จุดร่วมเย็นคงที่เสมอ ความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่จุดร่วมร้อน อุณหภูมิที่จุดร่วมเย็นซึ่งอยู่ที่ตัวเรือนเครื่องวัดจะเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่ออุณหภูมิบรรยากาศรอบ ๆ บริเวณนั้นเปลี่ยนแปลง ผลอันนี้จะทำให้

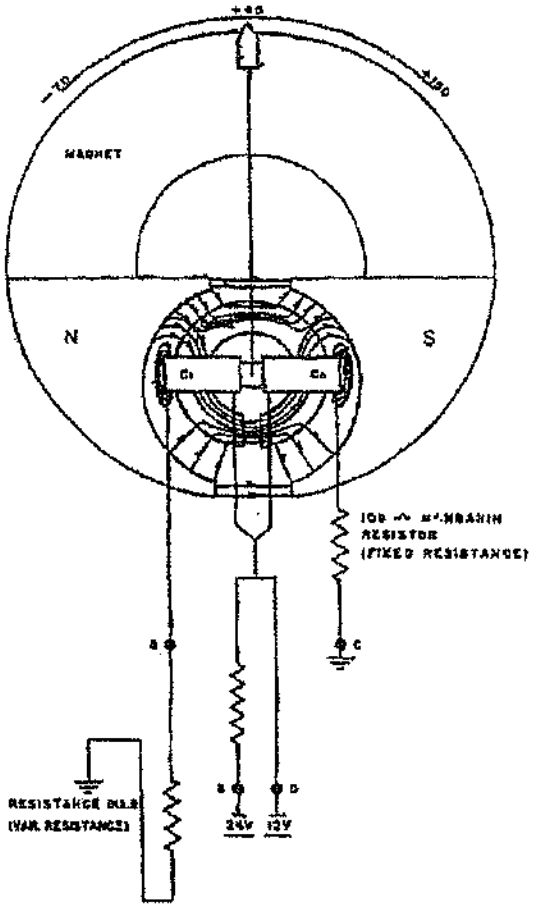
แรงดันที่จุดร่วมเย็นเปลี่ยนแปลงซึ่งจะมีผลต่อความต่างศักย์และจะเป็นเหตุให้เข็มเครื่องวัดชี้ค่าสูงหรือต่ำเกินไป เพื่อที่จะชดเชยผลอันเกิดจากการที่อุณหภูมิจุดร่วมเย็นเปลี่ยนแปลง และกระทำได้โดยใช้ขดลวดสปริงแบบแผ่นโลหะต่างชนิดกัน ซึ่งจะขยายตัวและหดตัวให้เข็มเครื่องวัดเคลื่อนที่เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เช่น สมมุติว่า อุณหภูมิไอเสียสูง 400 องศาเซนติเกรด และอุณหภูมิบรรยากาศรอบ ๆ ที่มีผลต่อเครื่องวัดสูง 40 องศาเซนติเกรด ขดลวดสปริงแบบแผ่นโลหะคู่จะเป็นผู้ส่งสัญญาณเกี่ยวกับอุณหภูมิแวดล้อม 40 องศาเซนติเกรด ให้เข็มชี้ค่าของเครื่องวัด แสดงค่า 40 องศาเซนติเกรด ส่วนอุณหภูมิ 400 องศาที่จุดร่วมร้อนจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิเพียง 360 องศา จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเพียงพอที่จะเคลื่อนเข็มเครื่องวัดเพิ่มขึ้น 360 องศา ฉะนั้นบนหน้าปัดเครื่องวัด เข็มจะแสดงค่าอุณหภูมิ 400 องศา

2.3.2 การซ่อมบำรุง การซ่อมบำรุงส่วนใหญ่ประกอบด้วยการป้องกัน, การแก้ไขข้อขัดข้อง และการถอดเปลี่ยนส่วนประกอบของระบบที่ชำรุด เครื่องมือตรวจสอบพิเศษ เช่น เครื่องตรวจสอบอุณหภูมิ Type N-3, Wheatstone bridge, Jet cal Tester เครื่องมือตรวจสอบเหล่านี้ใช้สำหรับป้องกันและแก้ไขข้อขัดข้อง สำหรับเครื่องตรวจสอบ Type N-3 ใช้สำหรับตรวจสอบและปรับตัวเครื่องวัด นอกจากนี้ยังใช้สำหรับตรวจสอบหัวกระบอกสูบและอุณหภูมิของระบบรองลื่นด้วย ส่วน Wheatstone bridge ใช้สำหรับตรวจสอบและปรับสายความต้านทาน และ Jet cal Tester ใช้ตรวจสอบการทำงานของระบบอุณหภูมิไอเสียของเครื่องบินเจ็ต

2.4 <u>เครื่องวัดอุณหภูมิแบบความต้านทาน</u> เครื่องวัดอุณหภูมิแบบความต้านทานออกแบบไว้เพื่อความมุ่งหมายต่าง ๆ เช่น ใช้วัดอุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิภายในห้องโดยสาร อุณหภูมิอากาศเข้าคาร์บิวเรเตอร์ และอุณหภูมิหล่อลื่น เป็นต้น ซึ่งใช้หลักการทำงานเบื้องต้นเหมือนกัน หลักการทำงานที่สำคัญประกอบด้วยกะเปาะความต้านทานและตัวเครื่องวัด ชิ้นส่วนที่เป็นตัวส่งสัญญาณของระบบคือ ขดลวดนิเกิลซึ่งบรรจุไว้ในกะเปาะ และความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิรอบ ๆ กะเปาะนั้น กะเปาะนี้จะติดตั้งไว้ในบริเวณที่ต้องการวัดอุณหภูมิ กลไกตัวเครื่องวัดเป็นกัลวานอมิเตอร์แบบเรโชซึ่งจะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานในกะเปาะ หน้าปัดเครื่องวัดแสดงหน่วยวัดอุณหภูมิเป็นองศาเซนติเกรด ตัวระบบจะต้องอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 28 โวลต์ และจะมีค่าคงที่ตลอดเวลา แม้ว่าแรงดันจากแหล่งจ่ายจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

2.4.1 หลักการทำงาน หลักการทำงานของระบบนี้ขึ้นอยู่กับหลักที่ว่าความต้านทานของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เช่น โดยทั่วไปแล้วความต้านทานทางไฟฟ้าของโลหะจะเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การทำงานของกลไกประกอบด้วยสิ่งที่สำคัญคือ กะเปาะความต้านทาน 2 ข้าง ข้างหนึ่งประกอบด้วยกะเปาะความต้านทานและขดลวด C_1 ซึ่งเคลื่อนที่ได้และอีกด้านหนึ่งประกอบด้วยความต้านทานค่าคงที่และขดลวด C_2 ซึ่งเคลื่อนที่ได้เช่นเดียวกัน ตามรูปที่ 2 ขดลวดทั้งสองนี้พันไว้ในทางตรงข้ามกันจึงทำให้เกิดแรงบิดตรงข้ามกันและติดตั้งไว้ให้หมุนได้รอบแกนแม่เหล็กรูปเกือกม้า ปฏิกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดพร้อมทั้งสนามแม่เหล็กถาวร อันเป็นผลทำให้เกิดแรงดึงลงส่วนล่างซึ่ง

กระทำต่อขดลวดทั้งสองนั้น เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวดทางด้านขวามีค่าคงที่ ฉะนั้นเข็มเครื่องวัดจึงเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านขดลวดด้านซ้ายของวงจร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในขณะที่อุณหภูมิบริเวณกะเปาะเปลี่ยนแปลง ชุดขดลวดจะเคลื่อนที่จนกระทั่งถึงจุดที่ตำแหน่งนั้นมีแรงมากระทำที่ขดลวดเท่า ๆ กัน ชุดประกอบของขดลวดจึงจะหยุดการเคลื่อนที่ ซึ่งขณะนี้เข็มเครื่องวัดบนหน้าปัดจะชี้ค่าอุณหภูมิซึ่งได้รับสัญญาณจากกะเปาะเพราะฉะนั้นตำแหน่งของเข็มชี้อุณหภูมิบนหน้าปัดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่กะเปาะ



รูปที่ 2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบความต้านทาน (Basic Ratiometer Thermometer System.)

2.4.2 การซ่อมบำรุง การซ่อมบำรุงส่วนใหญ่ประกอบด้วยการซ่อมบำรุงชนิด การป้องกัน การแก้ไขข้อขัดข้อง การถอดเปลี่ยนส่วนประกอบที่ชำรุดและซ่อมสายไฟ การตรวจสอบแรงดันและตรวจสอบความต้านทานอาจกระทำได้โดยใช้เครื่องวัดโวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์ การตรวจสอบเครื่องวัดอาจจะใช้เครื่องตรวจสอบเครื่องวัดอุณหภูมิแบบ 81TT9 หรือ Type N-3

3. ระบบเตือนอัคคีภัยและความร้อนสูง

เครื่องจับเค้าอัคคีภัยและความร้อนสูงนี้ จะเป็นตัวส่งสภาพของอุณหภูมิวิกฤตที่สูงเกินเกณฑ์หรือบริเวณที่เกิดอัคคีภัยรอบอากาศยาน และจะให้สัญญาณเตือนแก่นักบินหรือเจ้าหน้าที่อากาศยาน ส่วนมากจะติดตั้งระบบจับเค้าอัคคีภัยและความร้อนสูงนี้ไว้ในบริเวณที่มักจะเกิดอัคคีภัยและความร้อนสูงได้ง่าย เช่น บริเวณเครื่องยนต์และคอมเปรสเซอร์ เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว ระบบอุปกรณ์จับเค้าอัคคีภัยและความร้อนสูงประกอบด้วยวงจรซึ่งทำหน้าที่ต่างกันอย่างน้อย 3 วงจร คือ วงจรจับเค้า วงจรเตือน และวงจรตรวจสอบ

วัตถุประสงค์ของวงจรจับเค้าก็เพื่อต้องการค้นหาสภาพการเกิดอัคคีภัยและความร้อนสูงเกินเกณฑ์ในบริเวณที่ติดตั้งเครื่องจับเค้าไว้ เมื่อวงจรเครื่องจับเค้าสืบหาได้ว่าเกิดอัคคีภัยหรือเกิดสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์ขึ้น ณ บริเวณนั้น ก็จะส่งสัญญาณไปยังวงจรเตือน เมื่อวงจรเตือนได้รับสัญญาณจากเครื่องจับเค้าก็จะแปลงสัญญาณนั้นให้มีเสียงดังหรือให้เจ้าหน้าที่สามารถได้ยินเสียงเตือน

ในระบบเครื่องจับเค้าอัคคีภัยและความร้อนสูงเกินเกณฑ์นี้จะต้องมีวงจรไว้ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบว่าทำงานถูกต้องหรือไม่ บางระบบวงจรทดสอบนี้ใช้ทดสอบในวงจรเตือน

โดยทั่วไปแล้ว สามารถแบ่งระบบเครื่องจับเค้าอัคคีภัยและสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์ได้ดังนี้

3.1 ระบบเครื่องจับเค้าแบบเฟ็นวอล (Fenwall)

เครื่องจับเค้าแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งใน บ.เจ็ต และ บ.ใบพัด โดยใช้สวิทช์แบบเทอร์มอลเป็นตัวจับเค้า ที่หน้าสัมผัสของสวิทช์ตามปกติจะเปิดวงจรตลอดเวลา นอกจากอุณหภูมิระบบ ๆ บริเวณนั้นร้อนถึงเกณฑ์ซึ่งได้คำนวณไว้ก่อน สวิทช์จึงจะเชื่อมวงจรระบบเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนเครื่องจับเค้าที่ใช้ในระบบ

จำนวนของเครื่องจับเค้าอัคคีภัยและสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์นี้ จะติดตั้งไว้เป็นหมู่ในบริเวณที่เกิดอัคคีภัยและสภาพความร้อนสูงได้ง่าย ส่วนตัวเครื่องจับเค้านั้นจะต่อกันแบบขนานซึ่งกันและกัน และทั้งหมู่นี้จะต่อเป็นอนุกรมกับระบบสัญญาณเตือน เฉพาะบริเวณพื้นที่หนึ่ง ๆ ตัวเครื่องจับเค้าทุกตัวจะทำงาน (เชื่อมวงจร) เมื่ออุณหภูมิสูงถึงเกณฑ์ซึ่งคำนวณและปรับไว้ล่วงหน้าก่อน และส่วนมากจะคำนวณมาจากโรงงานเรียบร้อยแล้ว จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมาปรับหรือคำนวณอีก เมื่อเกิดอัคคีภัยหรือความร้อนสูงถึงเกณฑ์ในบริเวณที่ติดตั้งเครื่องจับเค้า หน้าสัมผัสของสวิทช์จะเชื่อม เนื่องจากผลต่างของสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของโลหะต่างชนิดกัน ทำให้วงจรระบบการเตือนครบวงจร กระแสไฟก็จะไหลผ่านหลอดไฟเตือนเพื่อบอกให้ทราบว่าเกิดอัคคีภัยหรือสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์ขึ้น

3.2 ระบบเครื่องจับเค้าแบบคิดดี้ (Kidde)

ระบบเครื่องจับเค้าแบบนี้ใช้วิธีการสืบหาต่าง ๆ กัน วงจรเครื่องจับเค้าประกอบด้วยส่วนของสายเคเบิลเป็นตัวเครื่องจับเค้า ทุก ๆ ส่วน (Segment) ของสายเคเบิลเรียกว่า "เส้วถ่ายทอด" ประกอบด้วยลวดสองเส้นฝังอยู่ภายในโดยมีซีรามิคกั้นกลาง เส้นลวดและแกนซีรามิคนี้จะหุ้มไว้ด้วยท่อ

บางๆ ซึ่งทำด้วยไอโคเนล สายเคเบิลนี้มีความยาวต่าง ๆ กัน ซึ่งอาจจะยาวถึง 189 นิ้ว สารซีรามิคซึ่งกั้นระหว่างเส้นลวดทั้งสองของตัวถ่ายทอดนี้ ตามธรรมชาติแล้ว เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นความต้านทานของมันจะกลับลดลง หรือความต้านทานเป็นปฏิภาคกลับกับอุณหภูมิ เพราะฉะนั้นขณะที่อุณหภูมิส่วนใดส่วนหนึ่งที่ตัวถ่ายทอดสูงขึ้น ความต้านทานของซีรามิคที่กั้นลวดทั้งสองซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนนั้นจะลดลง ทำให้กระแสไฟไหลผ่านระหว่างเส้นลวดทั้งสองได้โดยผ่านซีรามิคอีกต่อหนึ่ง เคเบิลจับเค้านี้มีความไวต่ออุณหภูมิมาก เมื่อความต้านทานของตัวถ่ายทอดในวงจรจับเค้าลดลงถึงจุดซึ่งเพียงพอที่จะทำให้เกิดการถ่ายทอดกำลังงานขึ้น ตัวหลอดอีเลคตรอนซึ่งทำหน้าที่เป็นอิเล็คทรอนิกส์สวิทช์คอยควบคุมจะถูกจำนวยให้ทำงาน โดยส่งกำลังงานไปยังสวิทช์แบบโซลีนอยด์อีกต่อหนึ่ง ทำให้สวิทช์แบบโซลีนอยด์เชื่อมให้กระแสไปจุดหลอดไฟเตือนให้ทราบถึงการเกิดอัคคีภัยหรือสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์

สำหรับวงจรทดสอบมีไว้เพื่อตรวจสอบการต่อเนื่องของตัวถ่ายทอดในวงจรเครื่องจับเค้า และวงจรการเตือน เครื่องมือที่ใช้ตรวจฉนวนของความต้านทานของเคเบิลเครื่องจับเค้านี้ใช้เครื่องเม็กเกอร์ขนาด 500 โวลต์ ค่าของความต้านทานนี้จะหาดูได้จากคำสั่งเทคนิคเฉพาะของ บ. แต่ละแบบซึ่งใช้เครื่องจับเค้าแบบนี้

3.3 <u>ระบบเครื่องจับเค้าของเอดิสันแบบเคเบิล</u>

เครื่องจับเค้าแบบนี้ใช้เคเบิลแบบโคแอ๊กเซียล (Coaxial) เป็นวงจรเครื่องจับเค้า สายสื่อไฟฟ้าภายในเคเบิลนั้นใช้วัสดุประเภทที่ถูกความร้อนแล้วความต้านทานลดลงเป็นฉนวนกั้นระหว่างปลอกแอลลอยของเคเบิล เมื่อเกิดอัคคีภัยหรือสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์บริเวณที่เคเบิลติดตั้งไว้ ความต้านทานของฉนวนที่กั้นระหว่างสายสื่อและปลอกเคเบิลจะลดลงถึงจุดที่ทำให้กำลังไฟฟ้าผ่านไปอำนวย Sensitive Relay ได้ ทำให้ Sensitive Relay เชื่อมให้ Slave Relay ทำงานเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไปจุดหลอดไฟเตือน และแสดงถึงการเกิดอัคคีภัยหรือสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์

สวิทช์ทดสอบมีไว้เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบเท่านั้น ถ้าระบบไม่ทำงานจะต้องใช้เครื่องวัดโอห์มมิเตอร์วัดความต้านทานทุก ๆ ส่วนของวงจรเคเบิล หรือใช้เครื่องทดสอบเครื่องจับเค้าแบบ SE 0997

3.4 <u>เครื่องจับเค้าของเอดิสันแบบเทอร์โมคอปเปิล</u>

ระบบเครื่องจับเค้าของเอดิสันแบบเทอร์โมคอปเปิลนี้ก็เหมือนกับเครื่องจับเค้าของเอดิสันแบบเคเบิล เพียงแต่ผิดกันที่ตัวเครื่องจับเค้าของวงจรเท่านั้นที่เป็นเทอร์โมคอปเปิล ตัวเทอร์โมคอปเปิลประกอบด้วยโลหะสองชนิด แล้วนำเทอร์โมคอปเปิลแต่ละตัวมาต่อกันเป็นอนุกรมกัน ก็จะได้วงจรเครื่องจับเค้า เมื่อตัวเครื่องจับเค้าได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ไปอำนวย Sensitive Relay และ Sensitive Relay จะเป็นสะพานเชื่อมให้ Slave Relay ทำงาน เพื่อให้กระแสผ่านไปจุดหลอดเตือนอัคคีภัยอีกต่อหนึ่ง

สวิทช์ทดสอบของระบบมีไว้เพื่อตรวจสอบต่อเนื่องของวงจรเครื่องจับเค้าทั้งระบบ เมื่อกดสวิทช์ทดสอบ ตัวเทอร์โมคอปเปิลจะได้รับความร้อน อุณหภูมิจะสูงขึ้นทันทีทันใดทำให้ระบบทำงาน สำหรับการถอดเปลี่ยนตัวเทอร์โมคอปเปิลนั้น จะต้องระมัดระวังการต่อเป็นพิเศษ เพราะถ้าต่อแล้วขั้วกลับกันจะทำให้เครื่องจับเค้าไม่ทำงานเมื่อเกิดอัคคีภัยหรือความร้อนสูงเกินเกณฑ์

สัญญาณเตือนของระบบเครื่องจับเค้าโดยมากใช้หลอดไฟซึ่งมีกลไกไฟกระพริบติดตั้งไว้ด้วย เพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถสังเกตได้ง่ายขึ้น ไฟเตือนของระบบอัคคีภัยและของสภาพความร้อนสูงเกินเกณฑ์นั้นต่างกันตรงที่กลไกไฟกระพริบอย่างเดียวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งสองระบบมักจะถูกชุดควบคุมให้หลอดไฟเตือนนี้สว่างหรือหรี่ได้

ข้อขัดข้องของระบบเครื่องจับเค้าส่วนมาก ได้แก่ ชุดควบคุมชำรุด วงจรเปิดหรือกราวนด์ และขาดกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบการส่งสัญญาณเตือนภัยนั้นส่วนมากใช้หลอดไฟตั้งแต่ 2 หลอดขึ้นไปต่อกันอย่างขนานความชื้นที่ข้อต่อในระบบเครื่องจับเค้าแบบเคเบิลจะเป็นตัวทำให้การส่งสัญญาณเตือนภัยไม่ถูกต้อง ระหว่างที่ทำการเปลี่ยนเครื่องยนต์จะต้องระมัดระวังเคเบิลเหล่านี้เป็นพิเศษ เพราะในระหว่างถอดเครื่องยนต์ลงและติดตั้งเครื่องยนต์นั้นจะทำให้เคเบิลชำรุดได้ง่ายที่สุด

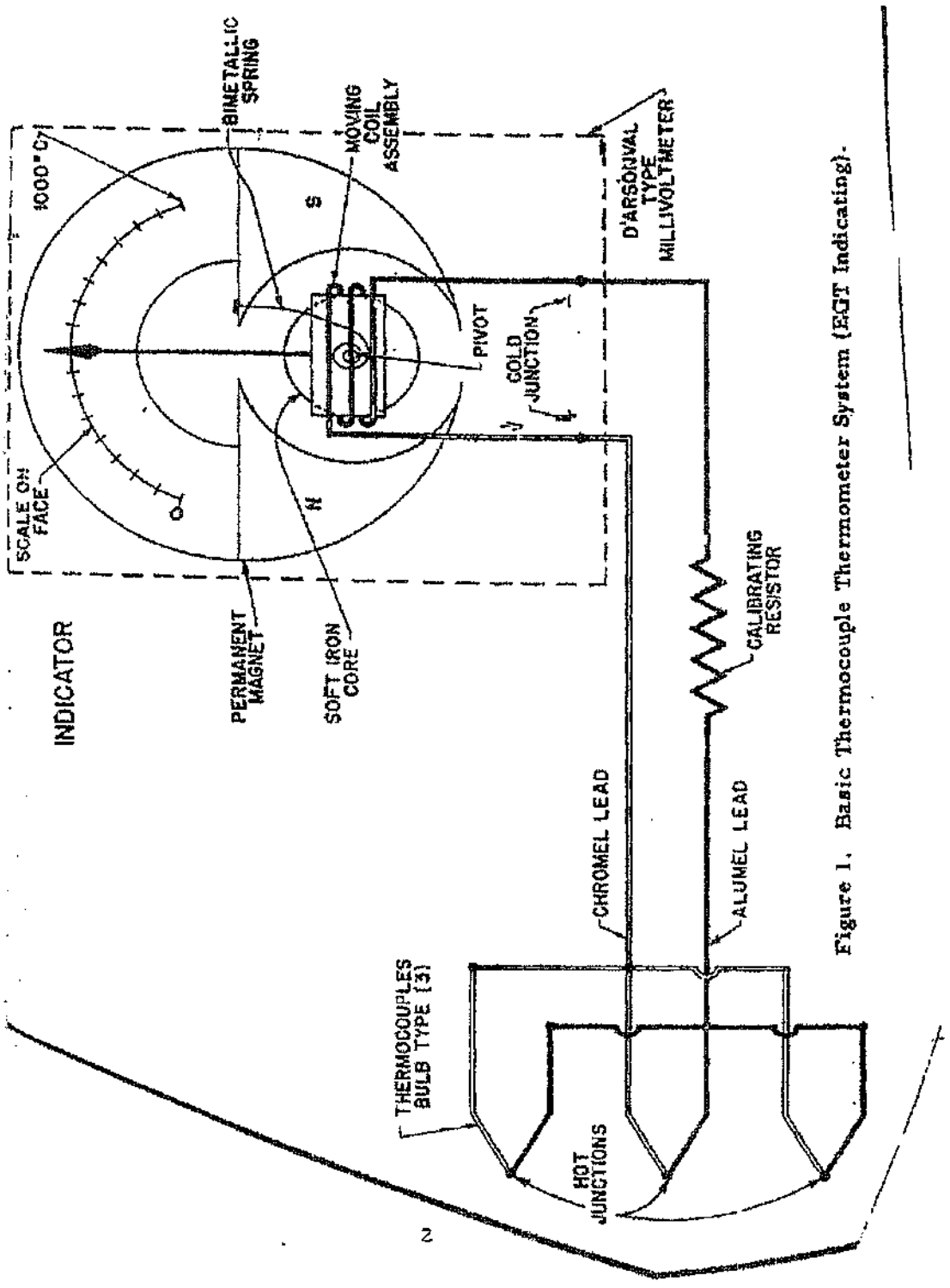


Figure 1. Basic Thermocouple Thermometer System (EGT Indicating).

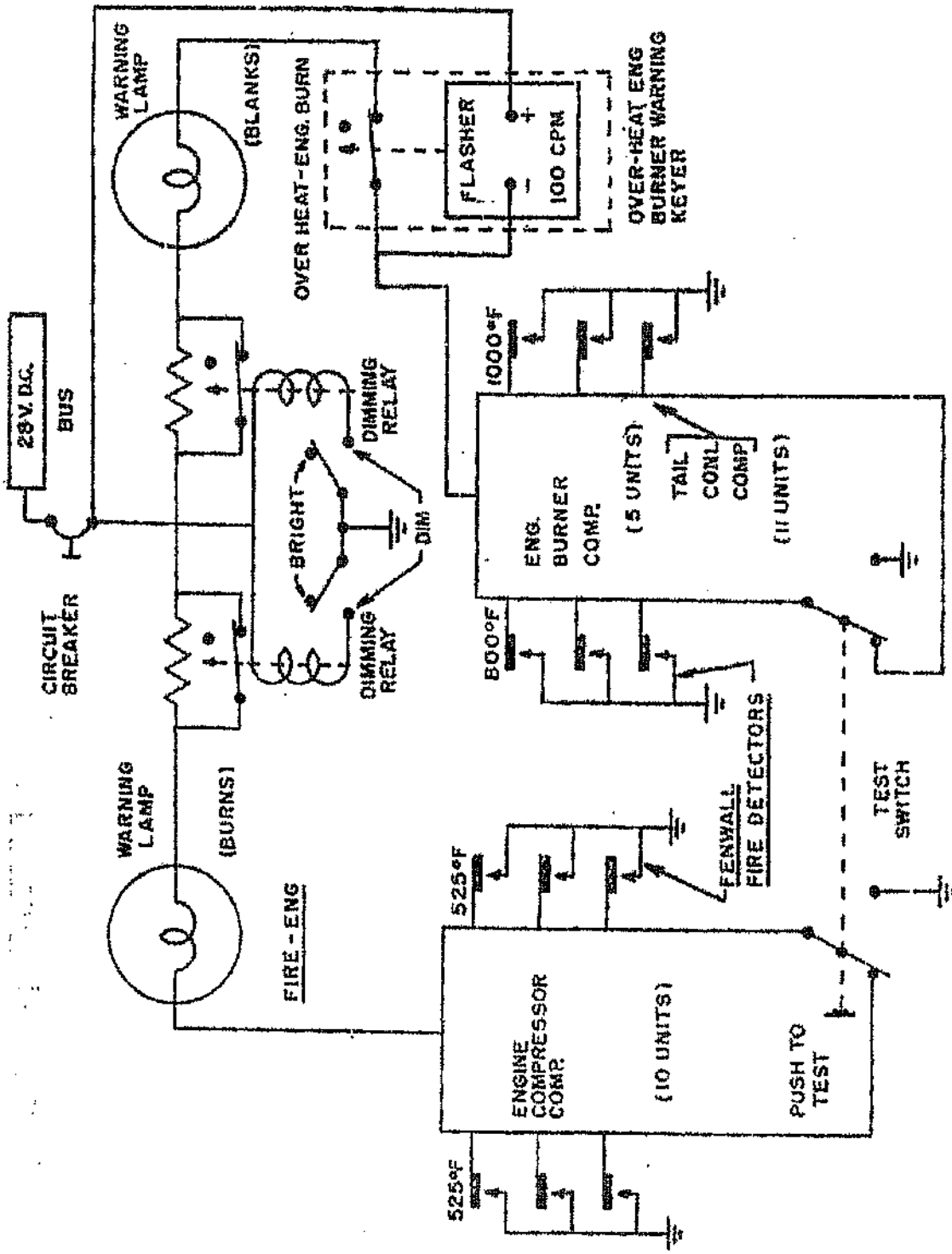


Figure 2. Fenwall Fire and Overheat Detector System.

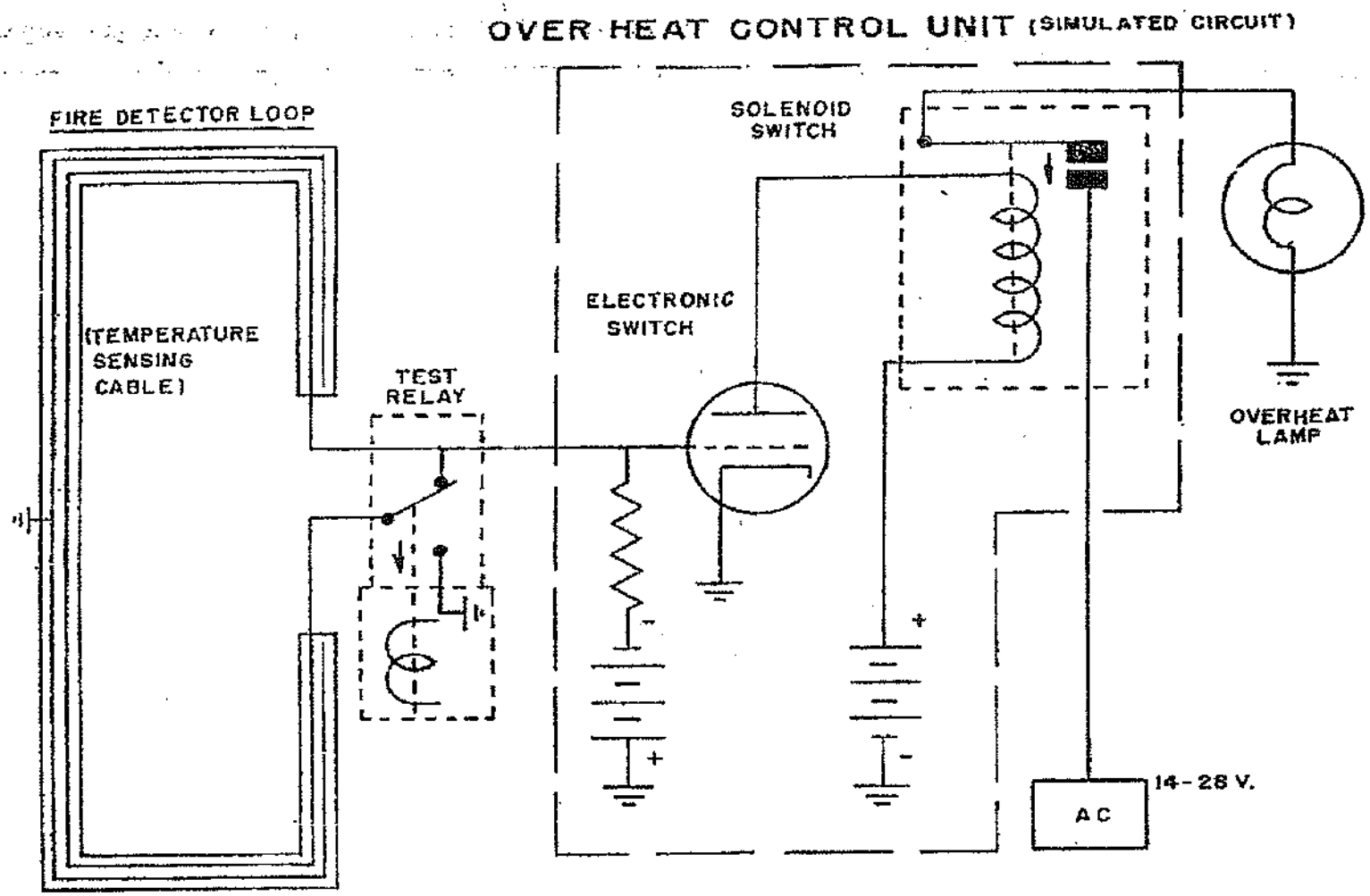


Figure 3. Kidde Fire Detector System.

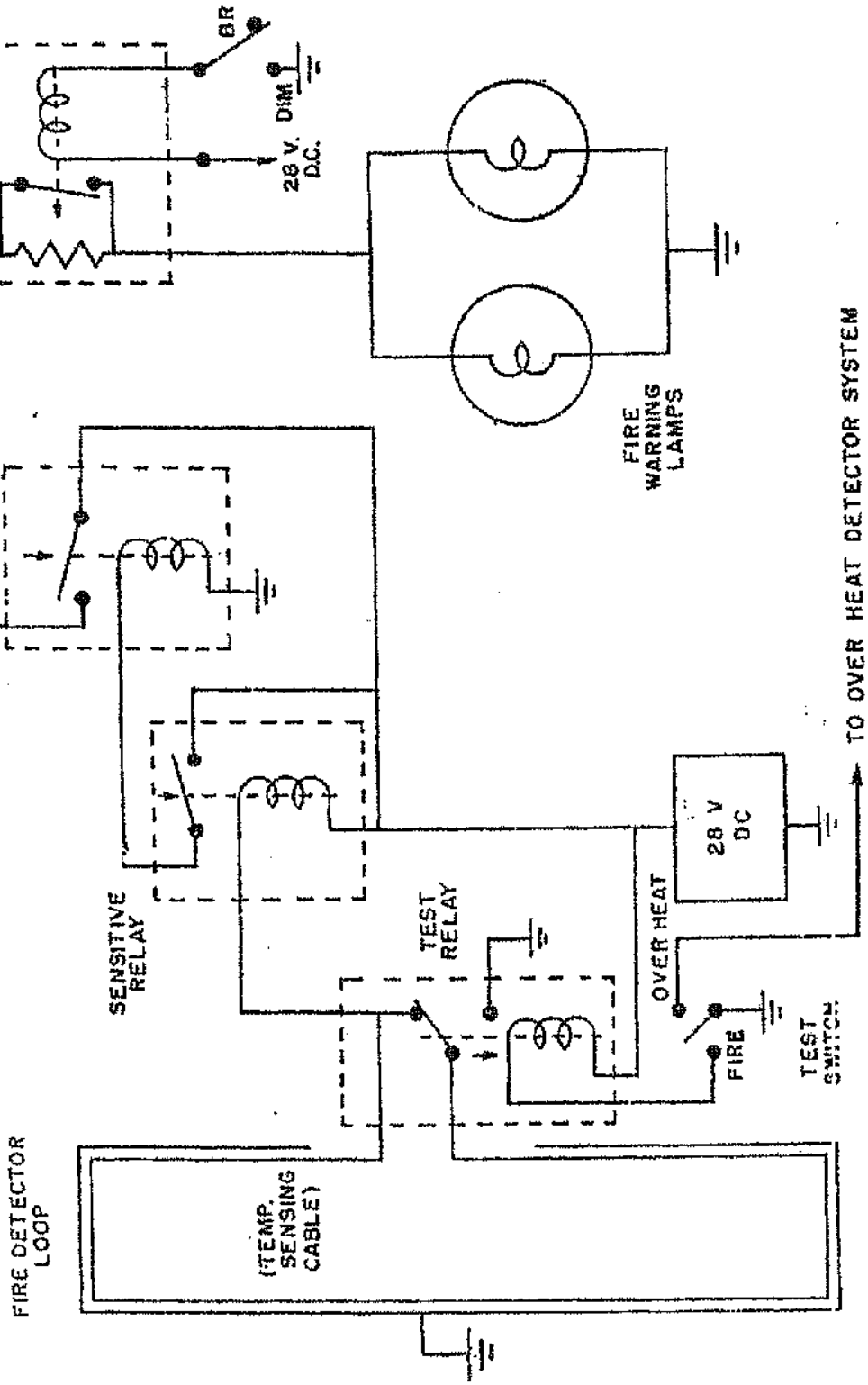


Figure 4. Edison Fire Detector System.

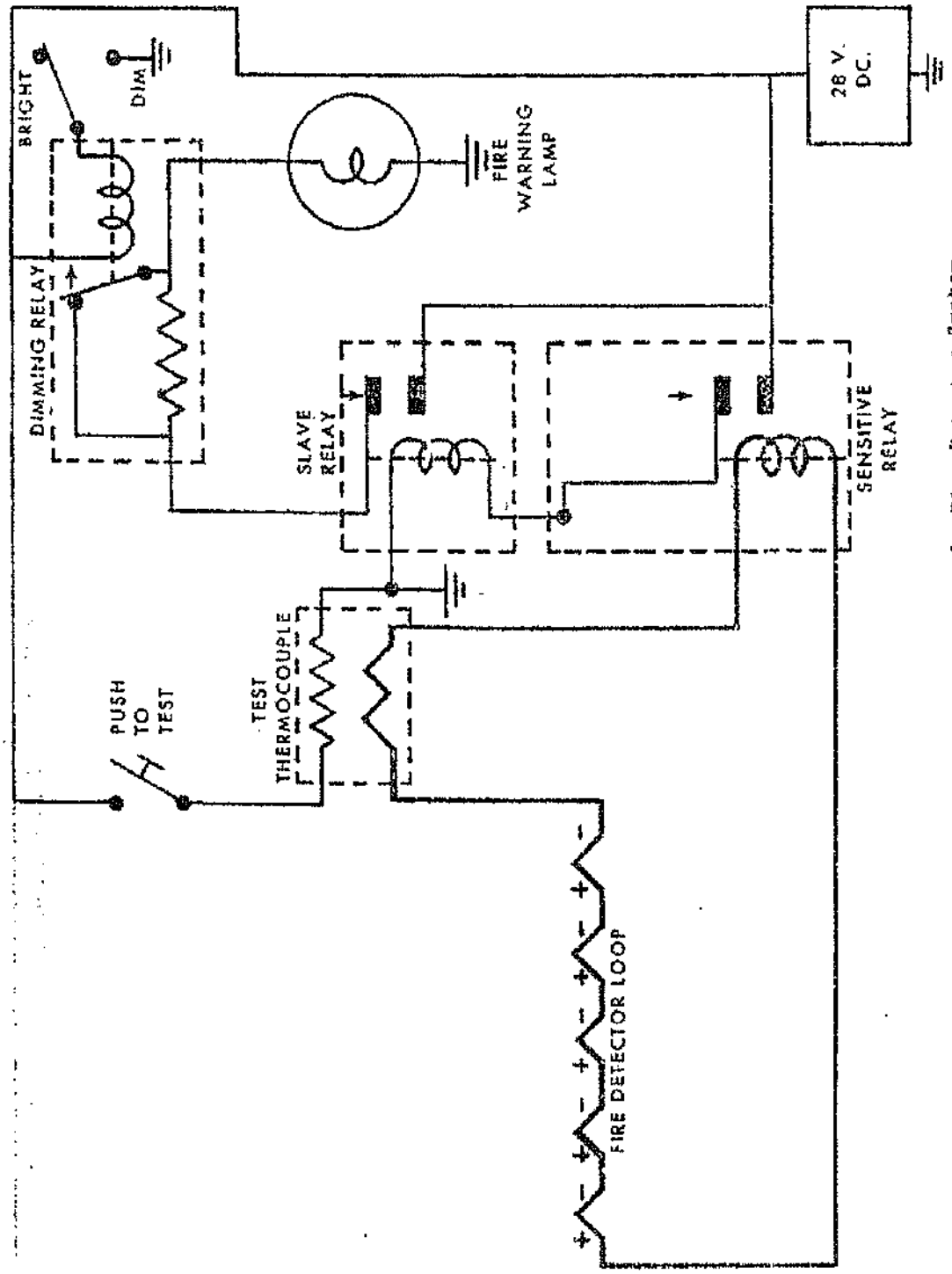


Figure 5. Edison Thermocuple Fire Detector System.

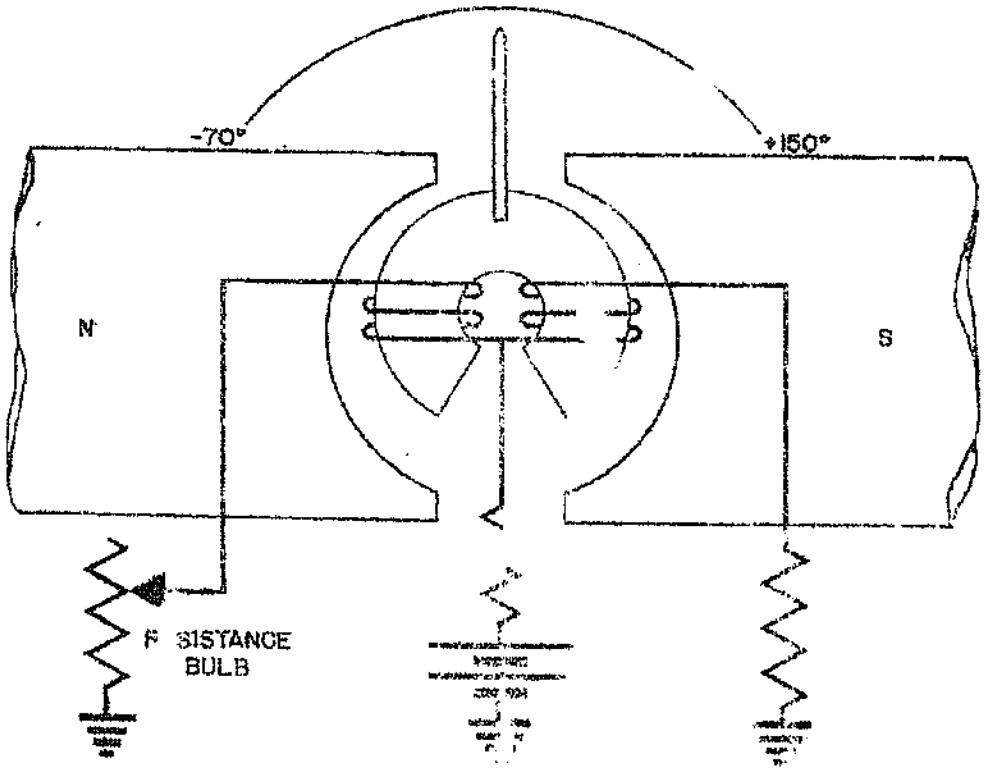


Figure 6. Basic Ratiometer Thermometer.

เอกสารอ้างอิง

- เอกสารประกอบการบรรยาย วิชาไฟฟ้าอากาศยาน ร.ร.เหล่าทหารช่างอากาศ
- ELECTRICAL LEONICS CO., Ltd.
- T.O. 8D2-3-1 (1 MAY 2004)
- T.O. 8D2-1-31 (1 MARCH 1999)
- TADIRAN ELECTRONICS INDUSTRIES Ltd.