

## บทที่ 2

### หลักการเบื้องต้น

บทนี้ประกอบด้วยหลักการพื้นฐานที่สำคัญของอุปกรณ์แต่ละส่วน ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าแต่ละส่วนมีการทำงานและเกี่ยวข้องกันได้อย่างไร องค์ประกอบของโครงการที่สำคัญได้แก่

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์
2. แบตเตอรี่
3. วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC
4. หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด

#### 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ อุปกรณ์ที่แปลงพลังงานทางกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าทำได้จากการเคลื่อนที่ระหว่างขดลวดและสนามแม่เหล็กที่สัมพันธ์กัน ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าหลักการนี้เป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไป

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นกระแสไฟสลับในขั้นตอนแรก ก่อนทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงหรือไม่ทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงเพื่อนำไปใช้งานต่อไปดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างกว้างๆ คือ

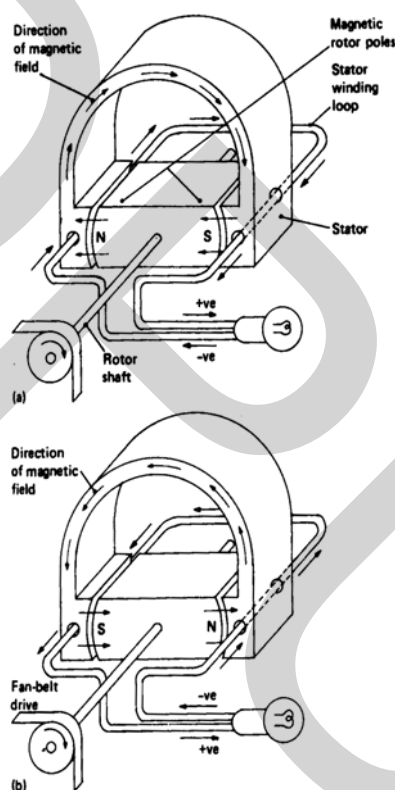
1. ไดนาโม (Dynamo) ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงโดยใช้สวิตช์ทางกลที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายว่า คอมมิวเตเตอร์ (commutator)
2. อัลเตอเนเตอร์ (Alternator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าต้องการทำการแปลงเป็นกระแสไฟตรงสามารถทำได้โดยใช้ไดโอด

หมายเหตุ เนื่องจากในโครงการนี้ใช้เฉพาะอัลเตอเนเตอร์จึงขอลำดับถึงเฉพาะอัลเตอเนเตอร์

##### 2.1.1 หลักการทำงานพื้นฐานของอัลเตอเนเตอร์

พิจารณาหลักการทำงานอย่างง่ายของอัลเตอเนเตอร์จากรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยลวดตัวนำที่วางผ่านทะลุโครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า และต่อกับหลอดไฟภายนอกเป็นลูปเดียว แม่เหล็กถาวรที่

หมุนอยู่ระหว่างโครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้าจะทำการสร้างสนามแม่เหล็กรอบๆ โครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า (แสดงด้วยเส้นลูกศรของฟลักซ์) เมื่อมีแรงขับและทำให้แม่เหล็กถาวรหมุนรอบแกนสนามแม่เหล็กในโครงเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า จะเปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับตำแหน่งของขั้วของแม่เหล็กถาวรและทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในลูปของลวดตัวนำเนื่องจากเกิดแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้า (induced electromotive force, e.m.f) ขึ้นที่ลวดตัวนำ ในรูปที่ 2.1 a) และ 2.1 b) แสดงทิศทางการไหลของกระแสเมื่อขั้วของแม่เหล็กถาวรอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน สำหรับการทำความเข้าใจเกี่ยวกับรูปร่างของสัญญาณที่อัลเตอเนเตอร์สร้างขึ้น จะพิจารณาได้จากรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงแรงดันที่เหนี่ยวนำขึ้นในหนึ่งคาบเวลาของอัลเตอเนเตอร์ (ที่มีโรเตอร์สองขั้ว) สอดคล้องกับตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กถาวร

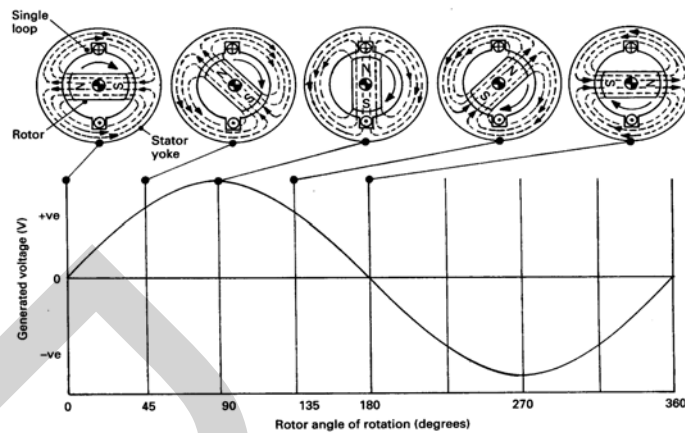


รูปที่ 2.1 หลักการทำงานอย่างง่ายของอัลเตอเนเตอร์ [3]

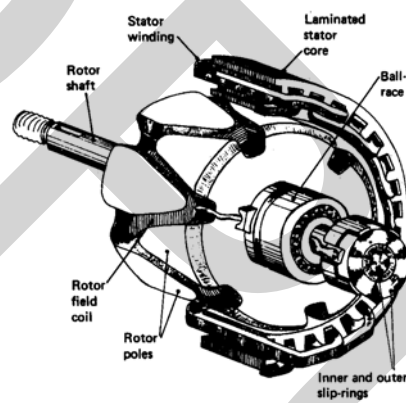
### 2.1.2 โครงสร้างทางกายภาพของอัลเตอเนเตอร์

โครงสร้างทางกายภาพของอัลเตอเนเตอร์ประกอบด้วยขดลวดตัวนำพันอยู่บนโครงที่เป็นเหล็กสเตเตอร์ (stator) ซึ่งอยู่ที่ (ไม่เคลื่อนที่ตอนทำงาน) เพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดัน โรเตอร์ (ซึ่งเคลื่อนที่ตอนทำงาน) จึงสร้างโดยแบ่งเป็นสองครึ่ง แต่ละครึ่งมีหลายส่วนคล้ายขั้ว เมื่อประกอบทั้งสองครึ่งเข้าด้วยกันจะมีลักษณะคล้ายวงแหวนรอบอัลเตอเนเตอร์ (ที่มีขั้วเหนือและขั้วใต้) วง

แหวนสลิบ (slip rings) เป็นทางผ่านของกระแส (มาจากเบตเตอร์) ที่ไหลเข้าและออกจากขดลวดสนามเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก รูปที่ 2.3 ประกอบ



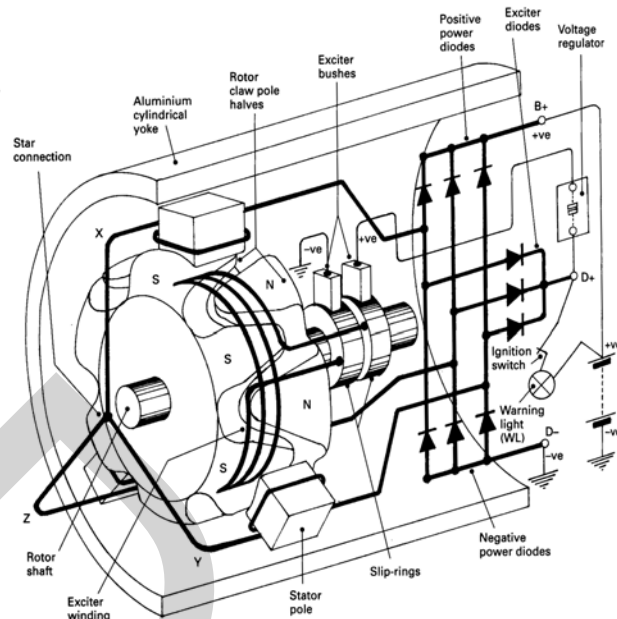
รูปที่ 2.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำขึ้นในหนึ่งคาบเวลาของอัลเตอเนเตอร์ (ที่มีโรเตอร์สองขั้ว) [3]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางกายภาพของอัลเตอเนเตอร์ [3]

### 2.1.3 วงจรแปลงผันกระแสตรง

แรงดันไฟสลับที่ได้จากอัลเตอเนเตอร์ไม่เหมาะสมต่อการอัดประจุแบตเตอรี่ไฟตรง จึงต้องทำการแปลงผันกระแสตรงโดยใช้ไดโอด เนื่องจากวิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่น (full-wave rectification) มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการแปลงผันแบบครึ่งวงคลื่น (half-wave rectification) ดังนั้นวิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่นจึงได้รับความนิยมมากกว่า นอกจากนี้อัลเตอเนเตอร์แบบสามเฟส จะสามารถแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการกระเพื่อมของแรงดันที่เกิดจากอัลเตอเนเตอร์แบบหนึ่งเฟสได้ อีกทั้งอัลเตอเนเตอร์แบบสามเฟสจะให้กำลังที่มากกว่าอัลเตอเนเตอร์แบบหนึ่งเฟสด้วย ตัวอย่างอัลเตอเนเตอร์แบบสามเฟสที่ใช้วิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อัลเทอเนเตอร์แบบสามเฟสที่ใช้วิธีการแปลงผันแบบเต็มวงคลื่น [3]

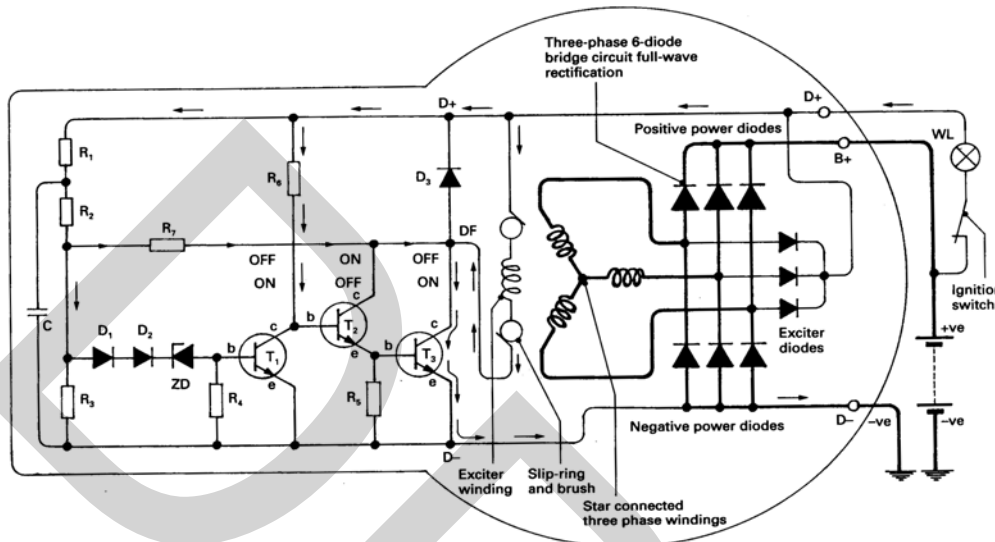
#### 2.1.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator)

อัลเทอเนเตอร์อย่างง่ายจะใช้โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งแรงดันที่สร้างขึ้นจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงต่อความเร็วของการหมุนของโรเตอร์ ทั้งนี้เพราะขนาดของแรงดันที่เหนี่ยวนำในขดลวดสเตเตอร์จะเป็นสัดส่วนต่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก และอัตราที่เส้นฟลักซ์แม่เหล็กตัดขดลวดตัวนำ ดังนั้นอัลเทอเนเตอร์อย่างง่ายนี้จะไม่มีการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่สร้างขึ้น ถ้าความเร็วของโรเตอร์เพิ่มขึ้น อาจเกิดความเสียหายที่ขดลวดจากการไหม้ได้ นอกจากนี้แบตเตอรี่และอุปกรณ์ภายในรถยนต์อาจได้รับความเสียหาย

เอาต์พุตของอัลเทอเนเตอร์สามารถควบคุมได้ โดยการแทนโรเตอร์ที่เป็นสนามแม่เหล็กถาวรด้วยโรเตอร์เหล็กอ่อนและขดลวดสนาม (field winding) ที่พันรอบแกนของโรเตอร์ ซึ่งบางครั้งเรียกว่าขดลวดกระตุ้น (excitation winding) ขดลวดนี้ได้รับกระแสตอนเริ่มต้นจากแบตเตอรี่และกระแสตอนทำงานจากไดโอดกระตุ้น (กระแสจากขดลวดสเตเตอร์) ผ่านวงแหวนสลิปและแปรงถ่าน เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดสนาม ฟลักซ์สนามแม่เหล็กไม่ถูกสร้างขึ้น ทำให้ไม่มีการสร้างแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นขณะโรเตอร์หมุน ถ้ามีการจ่ายกระแสเข้าไปในขดลวดสนาม ฟลักซ์สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้น (โรเตอร์จะมีขั้วแม่เหล็กคล้ายแม่เหล็กถาวร) และมีการสร้างแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นขณะโรเตอร์หมุน ถ้าจ่ายกระแสเข้าไปในขดลวดสนามมากขึ้น แรงดันที่เหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้น ในทำนองกลับกันแรงดันที่เหนี่ยวนำจะลดลง เมื่อจ่ายกระแสเข้าไปในขดลวดสนามลดลง ดังนั้นการควบคุม

กระแส ในขดลวดสนามจึงเป็นการควบคุมสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ และความหนาแน่นของทางเดิน ฟลักซ์รอบขดลวดสเตเตอร์

ในทางปฏิบัติกระแสสนามจะควบคุมได้จากตัวจอร์ และต่อวงจรของวงจรสนาม (ให้กระแสไหลหรือไม่ไหล) โดยใช้อุปกรณ์สวิตช์ เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง ตัวอย่างวงจรควบคุมระดับแรงดันแสดงดังรูปที่ 2.5



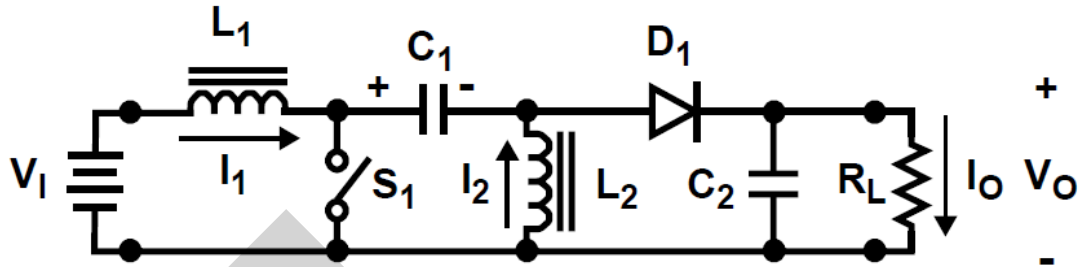
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรรักษาระดับแรงดัน [3]

## 2.2 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC [4]

คำว่า SEPIC ย่อมาจาก Single-Ended Primary Inductance Converter วงจรนี้พัฒนาขึ้นครั้งแรกที่ AT&T Bell Laboratories ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1970 [4] โดยมีเป้าหมายที่จะสร้างวงจรแปลงผันกระแสตรงรูปแบบใหม่ ที่มีความสามารถในการเพิ่มหรือลดทอนแรงดันที่เอาต์พุตโดยไม่กลับขั้ว และแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเป็นฟังก์ชันของแรงดันอินพุตและวัฏจักรงาน (Duty Cycle, D) ของสัญญาณขับสวิตช์ นอกจากนี้ด้วยลักษณะรูปแบบของวงจรที่อุปกรณ์สวิตช์มีศักย์ไฟฟ้าเทียบกับกราวด์ (non-isolated) ทำให้ไม่ต้องใช้หม้อแปลงในการควบคุมการขับสวิตช์

วงจร SEPIC โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.6 ในวงจรจะมีอุปกรณ์รับส่งพลังงานอยู่ 3 ตัวคือ  $L_1$ ,  $L_2$  และ  $C_1$  พฤติกรรมของวงจรที่ทำงานในโหมดสวิตช์ใดๆ ขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของการนำกระแสของตัวเหนี่ยวนำและแรงดันของตัวเก็บประจุ ดังนั้นจำนวนของโหมดการทำงานที่แตกต่างกันที่เป็นไปได้ จึงขึ้นอยู่กับกระแสของตัวเหนี่ยวนำและแรงดันของตัวเก็บประจุที่มีความต่อเนื่องหรือไม่ อย่างไรก็ตาม โหมดการทำงานโดยปกติที่เกิดขึ้นคือที่แรงดันของตัวเก็บประจุจะมีความต่อเนื่อง และกระแสของตัวเหนี่ยวนำทั้งสองตัว ( $L_1$  และ  $L_2$ ) มีความต่อเนื่อง (หรือไม่ต่อเนื่อง) เพื่อ

ความสะดวกในการอ้างอิงจึงกำหนดให้ Continuous Current Mode, CCM และ Discontinuous Current Mode, DCM แทนโหมดการทำงานของกระแสของตัวเหนี่ยวนำที่มีความต่อเนื่อง และ โหมดการทำงานของกระแสของตัวเหนี่ยวนำที่ไม่ต่อเนื่องตามลำดับ

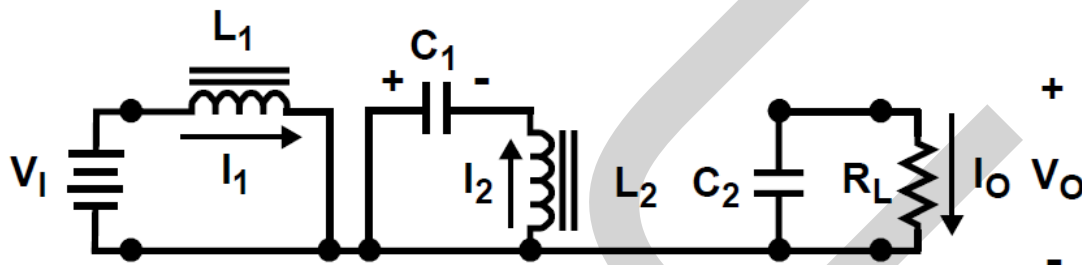


รูปที่ 2.6 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC [4]

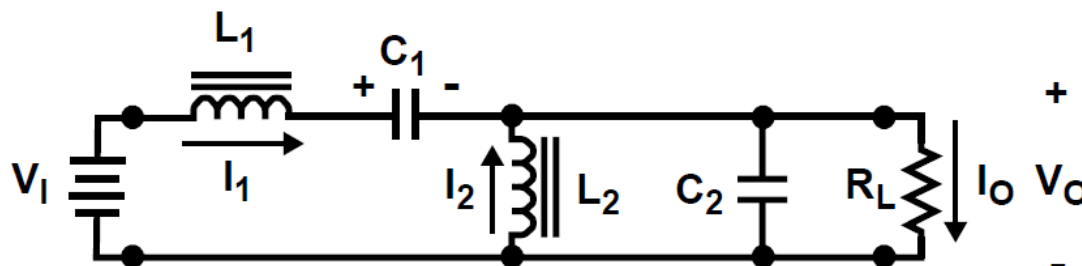
### 2.2.1 การทำงานในโหมด CCM

สำหรับการวิเคราะห์นี้ จะสมมติให้ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวคือ  $C_1$  และ  $C_2$  มีขนาดที่ใหญ่เพียงพอที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อมที่ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีค่าต่ำ จากการวนลูปไฟตรง (กำหนดให้แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับศูนย์) โดยเริ่มต้นจาก  $V_1$  ผ่าน  $L_1$ ,  $C_1$ ,  $L_2$  ซึ่งจะได้  $V_{C1} = V_1$

วงจร SEPIC สามารถแบ่งออกได้เป็นสองวงจรตามการทำงานของสวิตช์คือ วงจรดังรูปที่ 2.7 เมื่อ  $S_1$  ทำงานและ  $D_1$  ไม่ทำงาน และ วงจรดังรูปที่ 2.8 เมื่อ  $S_1$  ไม่ทำงานและ  $D_1$  ทำงาน



รูปที่ 2.7 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เมื่อ  $S_1$  ทำงานและ  $D_1$  ไม่ทำงาน [4]



รูปที่ 2.8 วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เมื่อ  $S_1$  ไม่ทำงานและ  $D_1$  ทำงาน [4]

เมื่อสวิตช์  $S_1$  ปิด  $L_1$  ต่อขนานกับ  $V_I$  และแหล่งจ่ายจะจ่ายกระแส  $I_1$  เพิ่มขึ้นทำให้พลังงานเก็บอยู่ที่ตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  ขณะที่  $C_1$  ต่อขนานกับ  $L_2$  ทำให้กระแส  $I_2$  เพิ่มขึ้นและทำให้พลังงานใน  $C_1$  ถ่ายโอนไปเก็บที่ตัวเหนี่ยวนำ  $L_2$  ส่วนตัวเก็บประจุ  $C_2$  จะรักษาให้กระแส  $I_O$  คงที่

เมื่อสวิตช์  $S_1$  เปิด พลังงานใน  $L_1$  จะถ่ายโอนไปให้ตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  และพลังงานใน  $L_2$  จะถ่ายโอนไปให้ตัวเก็บประจุ  $C_2$

สำหรับโหมด CCM พลังงานยังคงค้างอยู่ในตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  และ  $L_2$  ( $I_1, I_2 \neq 0$ ) ที่ท้ายสุดของคาบเวลาการทำงานสวิตช์ สวิตช์  $S_1$  จะปิดอีกครั้งและวัฏจักรจะดำเนินต่อไป

เมื่อนิยามให้อัตราส่วนแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุตดังสมการ(2-1)

$$M = \frac{V_O}{V_I} \quad (2-1)$$

และวัฏจักรงานดังสมการ(2-2)

$$D = \frac{t_{ON}}{T} \quad (2-2)$$

เมื่อ  $t_{ON}$  คือเวลาที่สวิตช์  $S_1$  ทำงาน (ปิด) และ  $T = 1/f_s$  คือคาบเวลาการสวิตช์ โดย  $f_s$  คือความถี่ของการสวิตช์

จาก [4] ได้แสดงสมการที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวแปรที่จำเป็นเพื่อใช้สร้างวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้และเพื่อความเข้าใจต่อไปจึงขอยกสมการบางส่วนมาแสดงดังตารางที่ 2.1 โดยสมมุติว่าตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  และ  $L_2$  มีค่าสูงเพียงพอที่ทำให้กระแสกระเพื่อมเพียงเล็กน้อย จากตารางที่ 2.1 จะได้ว่าแรงดันและกระแสใดๆ ในวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC เป็น ฟังก์ชันของตัวแปร  $M$ ,  $V_O$  และ  $I_O$

ขอบการทำงานระหว่าง CCM และ DCM ของวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ตัวต้านทานโหลด ( $R_L = V_O/I_O$ ),  $f_s$  และ  $M$  สำหรับค่าความเหนี่ยวนำวิกฤติของ  $L_1$  และ  $L_2$  คือ

$$L_{1C} = \left[ \frac{1}{2f_s(M^2 + M)} \right] R_L \quad (2-3)$$

$$L_{2C} = \left[ \frac{1}{2f_s(M + 1)} \right] R_L \quad (2-4)$$

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูงกว่าค่าความเหนี่ยวนำวิกฤติ ทำให้วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทำงานในโหมด CCM แต่ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าต่ำกว่าค่าความเหนี่ยวนำวิกฤติ ทำให้วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทำงานในโหมด DCM

ตารางที่ 2.1 สมการแสดงแรงดันและกระแสของวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC [4]

M	$V_O/V_I$
D	$\frac{M}{M+1}$
M	$\frac{D}{1-D}$
$(I_1)_{RMS}$	$MI_O$
$V_{L1}$	$V_O, M \geq 1$ and $V_O/M, M \leq 1$
$V_{S1}$	$\left[\frac{M+1}{M}\right]V_O = V_O + V_I$
$(I_{S1})_{AVG}$	$MI_O$
$(I_{S1})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M^2+M}$
$V_{C1}$	$V_O/M = V_I$
$(I_{C1})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M}$
$V_{L2}$	$V_O, M \geq 1$ and $V_O/M = V_I, M \leq 1$
$(I_2)_{RMS}$	$I_O$
$V_{D1}$	$\left[\frac{M+1}{M}\right]V_O = V_O + V_I$
$(I_{D1})_{AVG}$	$I_O$
$(I_{D1})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M+1}$
$V_{C2}$	$V_O$
$(I_{C2})_{RMS}$	$I_O\sqrt{M}$

### 2.2.2 การทำงานในโหมด DCM

เมื่อสมมติให้  $L_2/L_1 = M$  และตัวเหนี่ยวนำทั้งสองหุ้ดนำกระแสพร้อมกัน การทำงานในโหมด DCM แสดงได้ดังรูปที่ 2.9, 2.10 และ 2.11 จากรูปที่ 2.9 ที่เวลา  $t=0$  คือจุดที่สวิตช์  $S_1$  ปิด ขณะที่เวลาก่อนหน้า ( $I_1 = 0$ ) และ ( $I_2 = 0$ ) ดังนั้นกระแสในตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสวิตช์  $S_1$  เปิดดังรูปที่ 2.10 ที่จุดนี้พลังงานในตัวเหนี่ยวนำจะส่งไปยังเอาต์พุต เมื่อกระแสในตัวเหนี่ยวนำตกเข้าสู่ศูนย์ ไดโอด  $D_1$  หุ้ดนำกระแส ไม่มีกระแสไหลในตัวเหนี่ยวนำเพราะแรงดันที่ตัวเก็บประจุหักล้างกับแรงดัน  $V_I$

จะได้สมการสำหรับ D และ M คือ



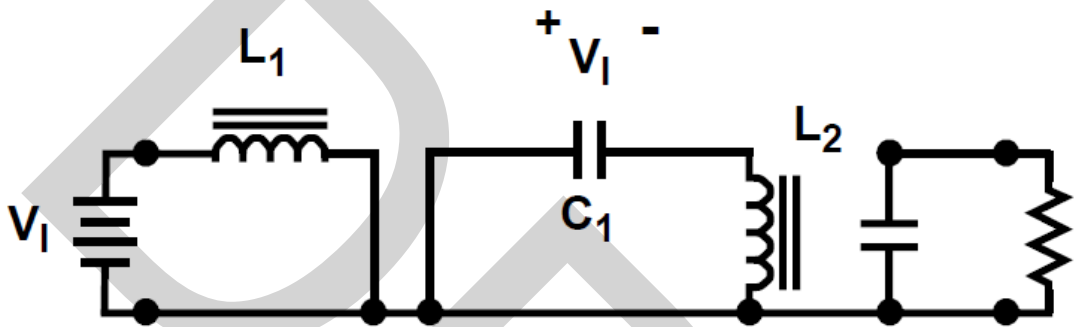
$$D = \sqrt{2\tau_L \left( \frac{M^3}{M+1} \right)} \quad (2-5)$$

เมื่อ  $\tau_L = \frac{fsL_1}{R_L}$  (2-6)

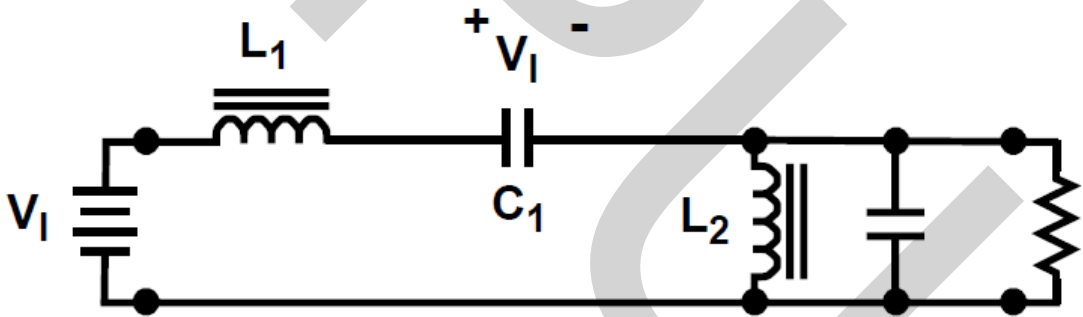
สมการ (2-5) จะถูกต้องเมื่อ  $D < 1$  เท่านั้น จากเงื่อนไขนี้ทำให้กำหนดค่าขอบสูงสุดของ  $\tau_L$  ได้

$$\tau_L|_{MAX} = \frac{M+1}{2M^3} \quad (2-7)$$

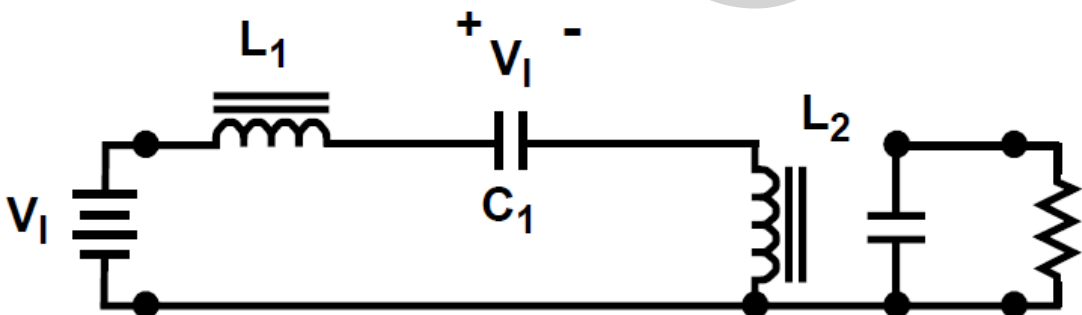
ค่าของ  $\tau_L$  ที่มากกว่าค่าขอบนี้หมายความว่าวงจรแปลงผันกระแสตรงแบบ SEPIC ทำงานในโหมด CCM



รูปที่ 2.9 สวิตช์  $S_1$  ปิด และไดโอด  $D_1$  หยุดนำกระแส [4]



รูปที่ 2.10 สวิตช์  $S_1$  เปิด และไดโอด  $D_1$  นำกระแส [4]



รูปที่ 2.11 สวิตช์  $S_1$  เปิด, ไดโอด  $D_1$  หยุดนำกระแส และ  $(I_1 = 0)$  และ  $(I_2 = 0)$  [4]

## 2.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่มีหน้าที่เก็บพลังงาน(charging) ซึ่งอยู่ในรูปแบบทางเคมี ที่เมื่อถ้าต้องการพลังงาน แบตเตอรี่สามารถแปลงพลังงานที่เก็บไว้ไปเป็นพลังงานทางไฟฟ้าได้ (ในกระบวนการคายประจุ (discharging))

พลังงานไฟฟ้าสร้างขึ้นได้ เมื่อนำเอาสารทางไฟฟ้าเคมีสองชนิดที่แตกต่างกันจุ่มลงในของเหลว ตัวนำที่รู้จักกันคืออิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) จำลองเป็นเซลล์ไฟฟ้าซึ่งจะกำเนิดกระแสไฟตรงได้ เมื่อต่อครบวงจร

เซลล์แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดปฐมภูมิและชนิดทุติยภูมิ โดยเซลล์ชนิดปฐมภูมิไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือไม่สามารถอัดประจุ (charging) ใหม่ได้

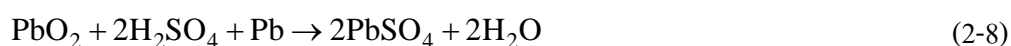
ชนิดของสารที่ทำเป็นเซลล์แบตเตอรี่ในทางการค้ามีแตกต่างกันหลายชนิด ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะแต่ชนิดตะกั่วกรดเท่านั้น เพราะเป็นชนิดที่ใช้ในโรงงานนี้

### 2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (lead-acid battery)

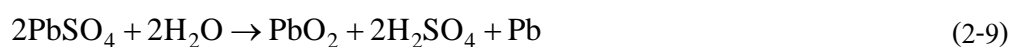
แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งประกอบด้วยแผ่นตะกั่วสองแผ่นที่มีขั้วต่ออยู่ และแช่อยู่ในภาชนะที่บรรจุสารละลายกรดซัลฟิวริก (sulphuric acid) เมื่อต่อขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่ เข้ากับแหล่งจ่ายไฟตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแผ่นตะกั่วด้านหนึ่ง ไปสู่แผ่นตะกั่วอีกด้านหนึ่ง หลังจากเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง แผ่นตะกั่วขั้วบวกที่เรียกว่าขั้วแอนโอดจะมีสีน้ำตาลเข้ม (ตะกั่วเปอร์ออกไซด์,  $PbO_2$ ) บนผิวหน้าของแผ่น แต่แผ่นตะกั่วขั้วลบที่เรียกว่าขั้วแคโทดยังคงมีสีเทา (Pb) การทำงานในลักษณะนี้เรียกว่าการอัดประจุ

ถ้านำเอาแบตเตอรี่ไปจ่ายกระแสให้กับวงจรหลอดไฟ (ในกระบวนการคายประจุ, discharging) กระแสจะไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ หรือกระแสไหลกลับทางกับกระบวนการอัดประจุ หลังจากเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งเมื่อกระบวนการทางเคมีเปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์ แผ่นตะกั่วจะเปลี่ยนกลับมาเป็นตะกั่วเหมือนเดิม (ไม่มีพลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้ในรูปแบบทางเคมี)

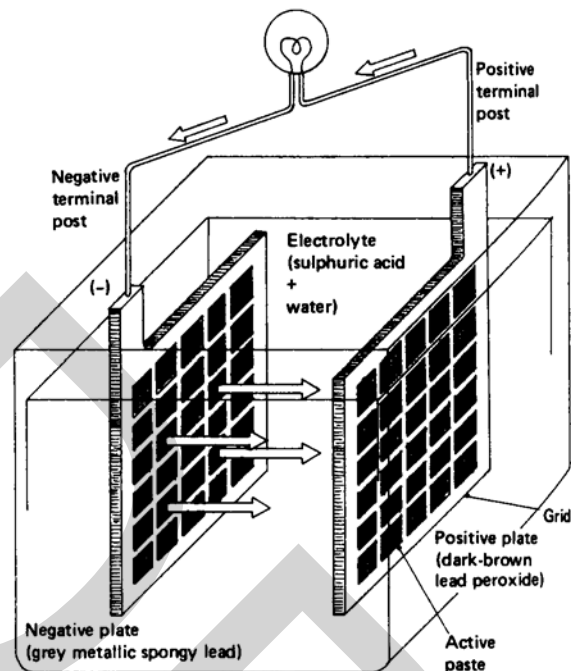
กระบวนการคายประจุ เริ่มจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้แผ่นขั้วบวกและลบกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ ) และน้ำกรดเจือจางก็กลายเป็นน้ำ ( $H_2O$ ) สมการทางเคมีที่ใช้อธิบายกระบวนการคายประจุแสดงดังสมการ (2-8)



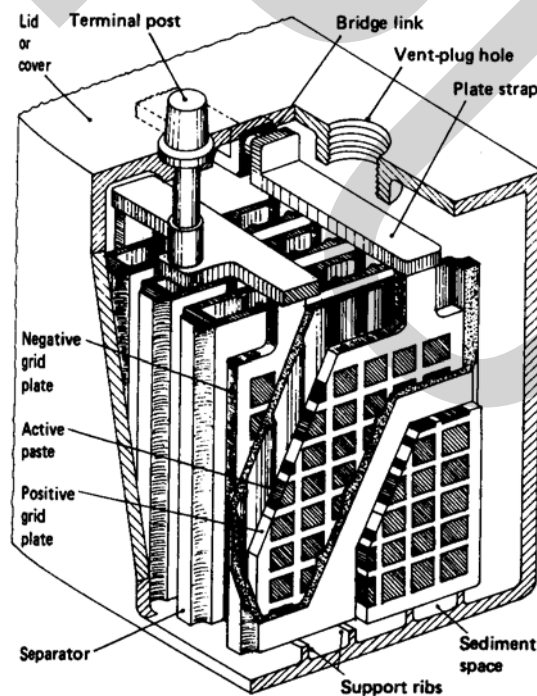
เมื่อนำเอาแบตเตอรี่ที่ไม่มีไฟแล้ว มาอัดประจุใหม่ อนุภาคซัลเฟตที่จับอยู่ที่ขั้วบวกและลบจะหลุดมาละลายในน้ำกรด กระบวนการอัดประจุแสดงดังสมการ (2-9)



โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 2.12 และแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีการผลิตขายกันแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดอย่างง่าย [3]



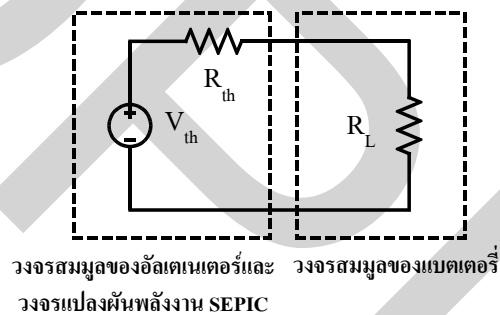
รูปที่ 2.13 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีการผลิตขายกัน [3]

### 2.3.2 สถานะของการอัดประจุแบตเตอรี่

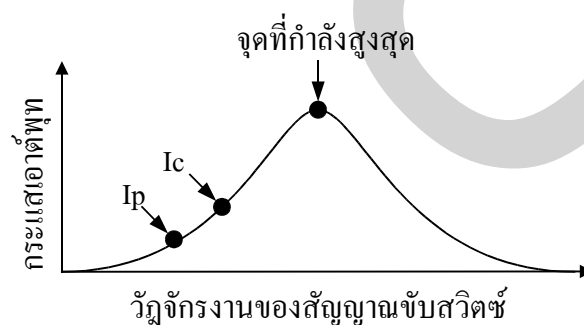
สถานะของการอัดประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปมี 3 สถานะคือ สถานะการประจุแบตเตอรี่ใหม่ (bulk charge) ในสถานะนี้จะทำการอัดประจุด้วยกระแสสูงสุด จนกระทั่งแรงดันที่แบตเตอรี่ใกล้เคียงเต็ม แรงดันที่ใช้ประมาณ 14.2 ถึง 14.7 V ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ถัดมาสถานะการประจุแบตเตอรี่แบบดูดกลืน (absorption charge) คือสถานะที่แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ยังคงมีค่าคงที่ แต่กระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าลดลง ในสถานะการประจุแบตเตอรี่แบบทรงตัวซึ่งเป็นสถานะสุดท้ายของการอัดประจุเกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เคียงเต็มแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่จะลดลง

### 2.4 หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด

จากทฤษฎีถ่ายโอนกำลังสูงสุด (กระแสตรง) ใน [5] สรุปได้ว่า กำลังที่โหลดตัวต้านทานจะมีค่าสูงสุดต่อเมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานภายในสมมูลของวงจร SEPIC ร่วมกับอัลเทอร์เนเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลอย่างง่ายของอัลเทอร์เนเตอร์ วงจรแปลงผันพลังงาน SEPIC และแบตเตอรี่



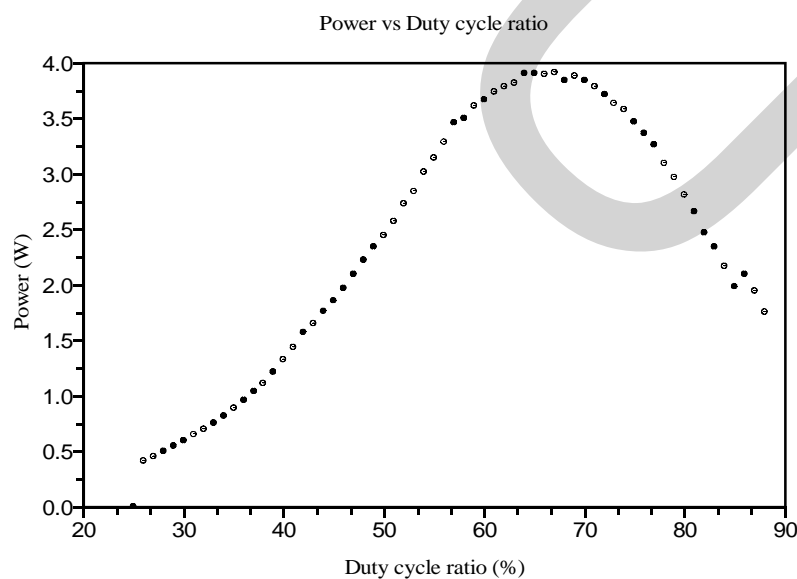
รูปที่ 2.15 จุดจ่ายกำลังสูงสุดตามทฤษฎีถ่ายโอนกำลังสูงสุดของวงจร SEPIC

ในกรณีนี้ (การอัดประจุแบตเตอรี่) แรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าคงที่ ดังนั้นถ้ากระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่าสูงสุด ก็จะทำให้กำลังที่โหลดหรือแบตเตอรี่มีค่าสูงสุดด้วย จาก [2] ได้แสดงแนวคิด

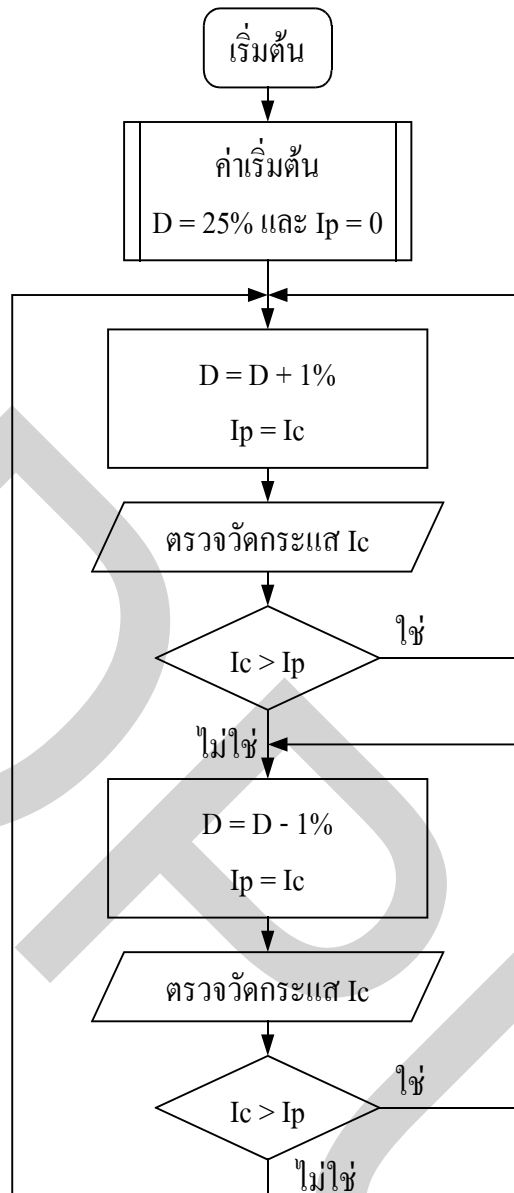
ของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเอาต์พุตกับวัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์ของวงจร SEPIC ซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.15 และจากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าวัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์ที่เหมาะสมจะทำให้ได้กระแสเอาต์พุตสูงที่สุดหรือจุดจ่ายกำลังสูงสุดตามทฤษฎีถ่ายโอนกำลังสูงสุด จากหลักการดังกล่าวนี้ แบตเตอรี่สามารถที่จะดึงพลังงานจากอัลเตเนเตอร์เข้าสู่แบตเตอรี่ที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดมาใช้งานได้

สำหรับการควบคุมเพื่อให้ได้กระแสสูงสุด ทำได้โดยการควบคุมค่าวัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์เป็นลำดับขั้นตอนดังนี้ จากการเปรียบเทียบกระแสเอาต์พุตที่ตรวจวัดในคาบเวลาการทำงานปัจจุบัน ( $I_C$ ) และกระแสเอาต์พุตที่ตรวจวัดในคาบเวลาการทำงานก่อนหน้า ( $I_P$ ) ถ้าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นบวก ( $I_C - I_P > 0$ ) ตัวควบคุม (ซึ่งในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรม LabVIEW) ก็จะสั่งให้วัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์มีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การทำงานจะวนซ้ำเป็นวงไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบว่าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบ ( $I_C - I_P < 0$ ) ตัวควบคุมก็จะสั่งให้วัฏจักรงานของสัญญาณขับสวิตช์มีค่าลดลงทีละ 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การทำงานจะวนซ้ำเป็นวงเช่นเดียวกัน (ถ้ายังพบว่าค่ากระแสเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้น ( $I_C > I_P$ )) จนกระทั่งพบว่าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบ ( $I_C < I_P$ ) เงื่อนไขของการควบคุมก็จะกลับไปอยู่ที่ขั้นตอนแรก (คือถ้าผลของการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นบวก ( $I_C - I_P > 0$ ) ใหม่ และการทำงานจะเป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.17

จากผลการทดสอบ โดยปรับวัฏจักรงาน (25% ถึง 88%) กับโหลดตัวต้านทานเท่ากับ 33  $\Omega$  แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ผลลัพธ์เป็นที่ยืนยันได้ว่าหลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด สามารถหาได้โดยการปรับวัฏจักรงาน (เมื่อกำลังสูงสุดที่โหลดคือ 3.91 W ซึ่งเกิดจากการปรับวัฏจักรงานเท่ากับ 67%)



รูปที่ 2.16 จุดจ่ายกำลังสูงสุดเมื่อโหลดตัวต้านทานเท่ากับ 33  $\Omega$



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เมื่อ D คือค่าวัฏจักรงาน,  $I_C$  คือกระแสในคาบเวลาการทำงานปัจจุบัน และ  $I_p$  คือกระแสในคาบเวลาการทำงานก่อนหน้า