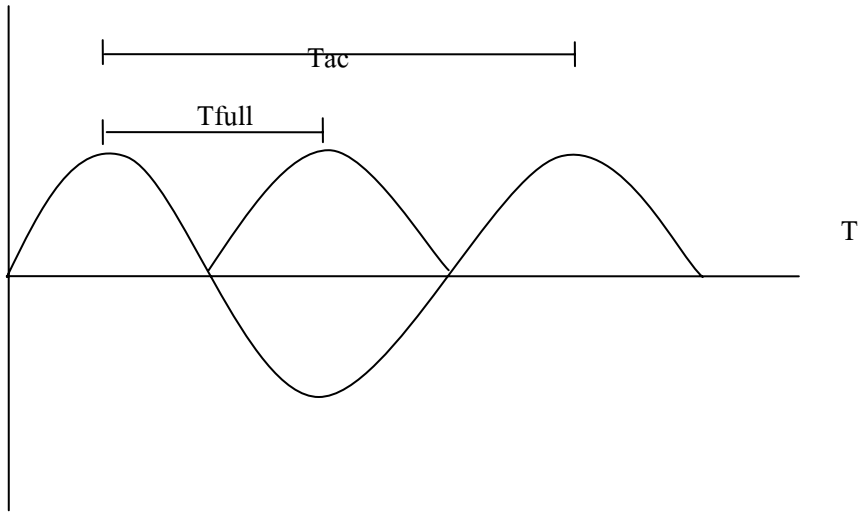
ทฤษฎีวงจร POWER SUPPLY

วงจร POWER SUPPLY นี้ประกอบด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เป็นแบบไดโอดบริดจ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟสลับให้เป็นกระแสตรง ซึ่งใช้หลักการของไดโอด ที่ยอมให้กระแสผ่านได้ทิศทางเดียว โดยการนำไดโอด 4 ตัวมาต่อกันแบบบริดจ์ แล้วป้อนไฟกระแสสลับเข้าวงจรบริดจ์ กระแสที่ไหลออกจากวงจรบริดจ์จะไหลในทิศทางเดียว เอาว์ที่ออกมานี้เรียกว่า ฟูลเวฟ ซึ่งค่าความถี่จะเป็นสองเท่าของไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อบให้กับวงจรบริดจ์



$$Tac = \frac{1}{fac} \qquad (1)$$

$$fac = \frac{1}{Tac} \qquad (2)$$

$$Tfull = \frac{Tac}{2} \qquad (3)$$

$$Tfull = \frac{1}{f_{full}} \qquad (4)$$

สมการที่ (1),(4) แทนลงในสมการที่ (3)

$$\frac{1}{f_{full}} = \frac{\frac{1}{fac}}{2}$$

$$\frac{1}{f_{full}} = \frac{1}{2\,fac}$$

$$f_{full} = 2\,fac \qquad (5)$$

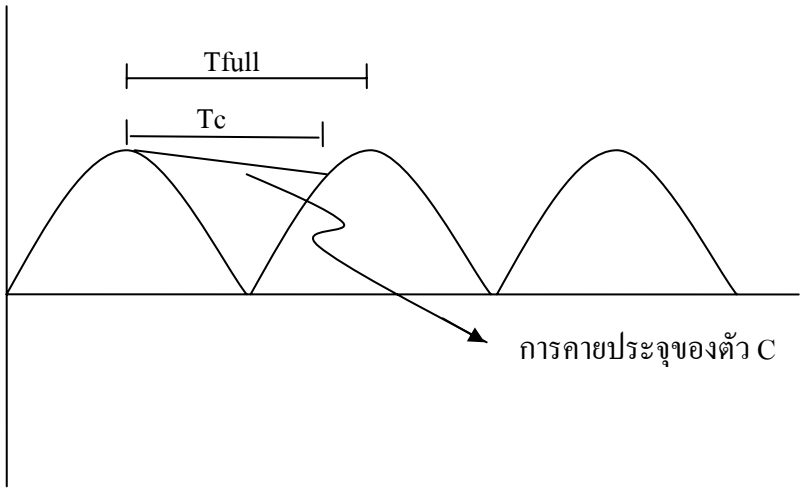
เมื่อ full คือ ความถี่เอาว์พุทที่ออกจากวงจรบริดจ์ไดโอด

fac คือ ความถี่ของไฟกระแสสลับอินพุทของวงจรบริดจ์

Tfull คือ คาบเวลาของเอาว์พุทจากวงจรบริดจ์ไดโอด

Tac คือ คาบเวลาของไฟกระแสสลับอินพุทของวงจรบริดจ์

ส่วนที่สองของวงจร power supply คือวงจรฟิลเตอร์ เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรเรกติไฟเออร์มีลักษณะเป็นลูกคลื่นที่มีลักษณะไม่ราบเรียบจึงต้องใช้วงจรฟิลเตอร์ทำให้สัญญาณมีความราบเรียบ power supply ที่ทำการออกแบบนี้ใช้วงจรฟิลเตอร์เป็นแบบตัว C ซึ่งต้องต่อแบบขนานกับไดโอด โดยอาศัยหลักการของตัวเก็บประจุเมื่อสัญญาณอินพุทเข้ามา ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นสูง ทำให้ค่าสูงสุดนี้มีผลทำให้ตัวเก็บประจุเกิดการเก็บสะสมประจุไฟฟ้า เมื่อค่าแรงดันถึงค่าสูงสุดแล้วจะค่อยๆ ลดลงสู่ค่าเริ่มต้น ในช่วงนี้เองตัวเก็บประจุจะคายประจุที่เก็บสะสมไว้ออกมา ทำให้ยังมีค่ากระแสไฟฟ้าไหลให้กับโหลดอยู่



เมื่อ Tc คือคาบเวลาการคายประจุ

จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณยังไม่มีความราบเรียบซึ่งเรียกว่าการเกิดริปเปิล หากเราต้องการสัญญาณที่เรียบจะได้ว่า Tc = Tfull ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่าความจุของตัวเก็บประจุ ประจุที่จะนำมาใช้ในวงจร POWER SUPPLY ของเราได้

$$C = \frac{Q}{Vc} \qquad (6)$$

$$i = \frac{Q}{T} \qquad (7)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าคือ ปริมาณประจุต่อเวลา ในที่นี้เราต้องการหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุจะคายออกมา จึงเป็นค่าปริมาณประจุต่อเวลา Tc และเมื่อ Tc =Tfull

จะได้ว่า $$i = \frac{Q}{Tfull} \qquad (8)$$

$$Q = i * Tfull \qquad (9)$$

แทนค่าสมการ (9) ลงในสมการ (6)

$$C = \frac{i * Tfull}{Vc} \qquad (10)$$

แทนค่าสมการ (4) ลงในสมการ (10)

$$C = \frac{i}{Vc * f_{full}} \qquad (11)$$

แทนค่าสมการ (5) ลงในสมการ (11)

$$C = \frac{i}{2V * cfac} \qquad (12)$$

ส่วนที่สามของวงจร POWER SUPPLY เป็นวงจรเรกูเลเตอร์ ซงเป็นวงจรที่ทำให้เอาว์พุทมีค่าหนึ่งและเรียบเพื่อจ่ายให้กับโหลด ใน POWER SUPPLY ที่ออกแบบนี้ใช้ IC เรกูเลเตอร์สำเร็จรูปที่ขายในท้องตลาด ซึ่งมีทั้งเป็นแบบกำหนดค่าตายตัวและแบบที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ เพื่อ POWER SUPPLY สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

ลักษณะ POWER SUPPLY ที่ออกแบบคือ

1.output $\pm 5V$ 1A

2.output $\pm 15V$ 1.5A

3.adjust ± 1.25 V-± 26.75 V 1.5A

4.adjust $+1.25$ V-$+26.75$ V 5A

จากการทำการทดลองทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และดิจิตอลจะเห็นว่า POWER SUPPLY จะต้องมี ± 5 V สำหรับใช้ในการทดลองกับ IC ตระกูล TTL และสำหรับIC ตระกูล CMOS จะใช้ไฟ ± 15 V อย่างเช่น IC OpAmp และในการทดลองทางด้านอิเล็กทรอนิกส์บางการทดลองต้องใช้ POWER SUPPLY ที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ สำหรับ POWER SUPPLY ที่ออกแบบนี้สามารถปรับค่าแรงดันได้ทั้งบวกและลบ และสามารถที่จะปรับค่าแรงดันได้โดยให้กระแสสูงสุด 5A โดยเป็นแรงดันไฟบวก

ในการใช้ POWER SUPPLY ที่ออกแบบนี้สามารถให้ Output พร้อมกันคือ $\pm 5V$ 1A $\pm 15V$ 1.5A และ adjust ± 1.25 V-± 22.75 V 1.5A และหากต้องการใช้Output adjust +1.25V - +26.75V 5A จะไม่สามารถใช้ Output อื่น ๆ ได้ในเวลาเดียวกัน ในการใช้งานต้องเลือกให้ถูกต้อง และกราวด์ของ POWER SUPPLY ทุกๆ Output ได้ออกแบบให้เป็นแบบกราวด์เดียวกันทั้งหมดเพื่อง่ายต่อการใช้งาน

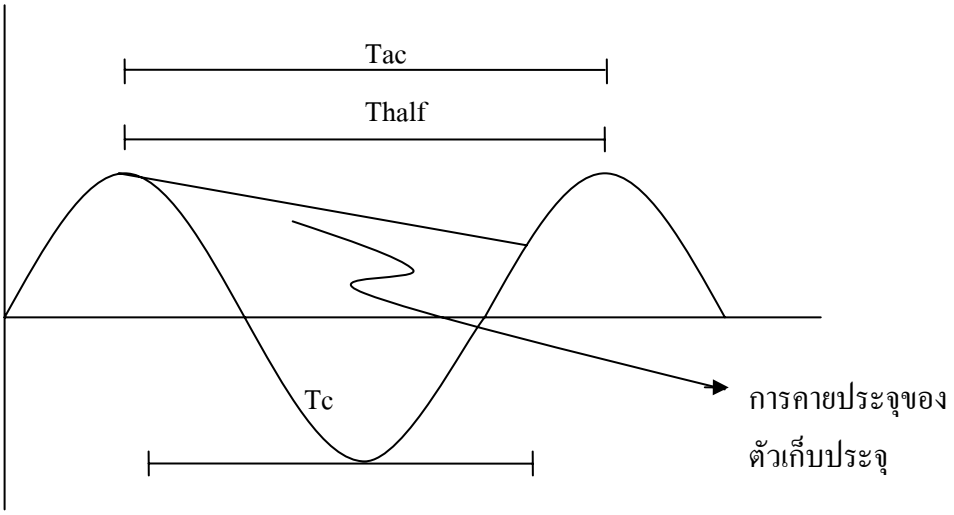
หม้อแปลงที่ใช้สำหรับ POWER SUPPLY

หม้อแปลงที่ใช้งานนี้ให้ Output 24V 5A ซึ่งหม้อแปลงจะต้องให้แรงดันสูงกว่าค่า Output ของ IC เรกูเลเตอร์ หรือพูดง่าย ๆ ว่าขา Input ของ IC ต้องมีค่าแรงดันสูงกว่าขา Output ซึ่งควรต่างกันไม่ต่ำกว่า 2V ขึ้นไป เพื่อให้ตัว IC ให้ Output ออกมาได้ถูกต้อง สำหรับหม้อแปลงนี้มีค่าแรงดันสูงสุด $V_{\max} = \sqrt{2}V_{rms}$ นั่นคือมีค่าแรงดันสูงสุด 34 V

คำนวณหาค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

ตัวเก็บประจุ C1

เนื่องจาก POWER SUPPLY ที่ออกแบบนี้ เมื่อให้กระแสไหลผ่าย C1 เข้า IC LM338 วงจรปรับบริดจ์ทำหน้าที่เปรียบเสมือนไดโอดตัวเดียว เนื่องจากไฟลบทั้งวงจรบริดจ์จะถูกปล่อยลอยไว้ไม่ได้ต่อเข้าวงจร จึงเป็นวงจร Rectifier แบบครึ่งคลื่น และInput ของ IC LM338 มีค่าเป็น 24V เทียบกับ CT ของหม้อแปลงซึ่งต่อเป็นกราวด์ของวงจร หรือค่าแรงดัน 34 V ซึ่งเป็นค่าแรงดันสูงสุด



เมื่อ Tc คือ คาบเวลาการคายประจุ

Thalf คือคาบเวลาของเอาว์พุทของวงจรบริดจ์ที่ทำหน้าที่เสมือนไดโอดตัวเดียว

Tac คือคาบเวลาของไฟกระแสสลับอินพุทของงวจรบริดจ์

จากรูปจะได้ว่า Tac = Thalf และเมื่อให้ค่าริปเปิลมีค่าเป็นศูนย์จะได้ว่า Tc = Tac

จากสมการ(1) $Tac = \frac{1}{f_{AC}}$

$$Thalf = \frac{1}{fhalf} \qquad (13)$$

$$Tac = T_{half} \qquad (14)$$

แทนค่าสมการที่ (1) และสมการที่ (14)

$$\frac{1}{f_{AC}} = \frac{1}{f_{half}} \qquad (15)$$

$$f_{AC} = f_{half} \qquad (16)$$

จากสมการที่ (7) $i = \frac{Q}{T}$ ในกรณีนี้เวลาการคายประจุคือ Thalf

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า $i = \frac{Q}{Thalf}$ (17)

$$Q = i * T_{half} \qquad (18)$$

แทนค่าสมการที่ (18) ในสมการที่ (6) จะได้ว่า

$$C = \frac{i * Thalf}{V_C} \qquad (19)$$

แทนค่าสมการที่ (13) ในสมการที่ (19) จะได้ว่า

$$C = \frac{i}{V_C * f_{half}} \qquad (20)$$

แทนค่าสมการที่ (16) ในสมการที่ (20) จะได้ว่า

$$C = \frac{i}{V_C * f_{AC}} \qquad (21)$$

เมื่อ f_{half} คือความถี่เอาว์พุทที่ออกจากวงจรบริดจ์ที่ทำหน้าที่เสมือนไดโอดตัวเดียว

ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน IC LM338 = 5A

ค่าแรงดันสูงสุดตกคร่อม C1 = 34 V

ค่าความถี่ไฟสลับ $f_{AC} = 50Hz$

จากสมการที่ (21)

$$C_1 = \frac{5A}{34V \cdot 50Hz}$$

= 2941 uF

ตัวเก็บประจุ C3

ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน IC LM317 = 1.5A

ค่าแรงดันสูงสุดตกคร่อม C3 = 34 V

ค่าความถี่ไฟสลับ $f_{AC} = 50Hz$

จากสมการที่ (12)

$$C_3 = \frac{1.5A}{34V \cdot 50Hz}$$

= 441 uF

ตัวเก็บประจุ C5

ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน IC LM7818 = 1A

ค่าแรงดันสูงสุดตกคร่อม C5 = 34 V

ค่าความถี่ไฟสลับ $f_{AC} = 50Hz$

จากสมการที่ (12)

$$C_5 = \frac{1A}{34V \cdot 2(50Hz)}$$

= 294 uF

ตัวเก็บประจุ C7

ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน IC LM7918 = 1A

ค่าแรงดันสูงสุดตกคร่อม C7 = 34 V

ค่าความถี่ไฟสลับ $f_{AC} = 50Hz$

จากสมการที่ (12)

$$C_7 = \frac{1.5A}{34V \cdot 50Hz}$$

$$= 294 \text{ uF}$$

ตัวเก็บประจุ C9

ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน IC LM337 = 1.5A

ค่าแรงดันสูงสุดตกคร่อม C9 = 34 V

ค่าความถี่ไฟสลับ $f_{AC} = 50Hz$

จากสมการที่ (12)

$$C_9 = \frac{1.5A}{34V \cdot 2(50Hz)}$$

$$= 441 \text{ uF}$$

วงจร POWER SUPPLY นี้ได้ออกแบบป้องกันสัญญาณรบกวน และการเกิดริปเปิลทางด้าน output โดยแต่ละจุดใส่ตัวเก็บประจุขนาด 10 uF คือ C2,C4,C6,C8 และC10

คำนวณหาค่าตัวต้านทาน R8 และR10

จากรูปเป็นวงจรที่อยู่ใน POWER SUPPLY ซึ่งสองรูปนี้เหมือนกันเพียงแต่เขียนคนละแบบกันและ R8 = R9 ซึ่งสามารถคำนาณได้ดังสมการ

$$V_{CC} = V_R + V_{LED} \qquad (22)$$

$$V_R = IR \qquad (23)$$

แทนค่าสมการที่ (23) ลงในสมการที่ (22) จะได้ว่า

$$V_{CC} = IR + V_{LED} \qquad (24)$$

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I} \qquad (25)$$

เมื่อกำหนด $V_{CC} = 5V$ จากวงจร

I = 10 mA เป็นค่างานสำหรับ LED

$V_{LED} = 1.7V$ เป็นค่าใช้งานสำหรับ LED

จากสมการ (25)

$$R = \frac{5V - 1.7V}{10mA}$$

$$= 330\Omega$$

ดังนั้นค่าความต้านทาน R8 = R9 $= 330\Omega$

คำนวณหาค่ากำลังตกคร่อมตัวต้านทาน R8 และR9

$$P = IV_R \qquad (26)$$

เมื่อ P คือกำลังงาน

I คือกระแสไฟฟ้า

V_R คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน

ค่ากระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R8 และ R9 = 10 mA

แทนค่าสมการที่ (28) ลงในสมการ (26) จะได้ว่า

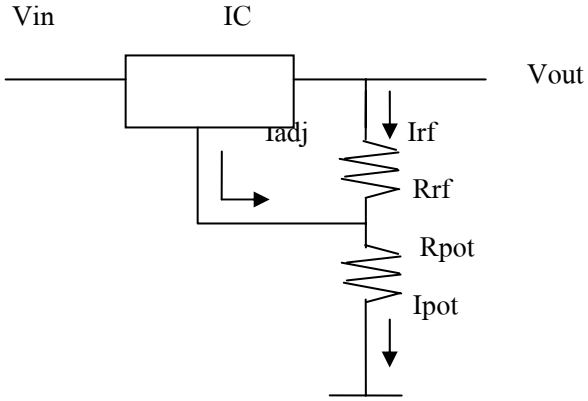
$$P = I^2 R \qquad (27)$$

จากสมการที่ (27)

$$P_{R8,R9} = (10mA)^2 (330\Omega)$$

= 33 mW

คำนวณหาค่าความต้านทาน R1,R2,R3,R4.R5,R6,R7,R10,R11,R12,R13,R14



$$Vout = V_{rf} + V_{pot} \qquad (28)$$

$$I_{rf} = \frac{V_{rf}}{R_{rf}} \qquad (29)$$

$$I_{pot} = I_{rf} + I_{adj} \qquad (30)$$

แทนค่าสมการที่ (30) และ (29) ลงในสมการที่ (28)

$$V_{out} = V_{rf} + \left(I_{rf} + I_{adj}\right) \cdot R_{pot}$$

$$V_{out} = V_{rf} + \left(\frac{V_{rf}}{Rrf} + I_{adj}\right) \cdot R_{pot}$$

$$V_{out} = \left(V_{rf} + V_{rf} \cdot \frac{R_{pot}}{R_{rf}}\right) + I_{adj} \cdot R_{pot}$$

$$V_{out} = V_{rf}\left(1 + \frac{R_{pot}}{R_{rf}}\right) + I_{adj} \cdot R_{pot} \qquad (31)$$

เมื่อ Irf คือกระแสอ้างอิง

Ipot คือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้

Iadj คือ กระแส adjustment

Vout คือแรงดันเอาว์พุท

Vrf คือแรงดันอ้างอิง

Vpot คือแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้

จาก Datasheet กำหนดค่า Vrf = 1.25V

เมื่อกำหนดให้ Irf = 5 mA

สามารถหาค่า Rrf ได้จากยมการที่ (29) โดยจัดรูปสมการใหม่ คือ

$$R_{rf} = \frac{V_{rf}}{I_{rf}}$$

$$= \frac{1.25V}{5mA}$$

= 250 โอมห์

จากสมการที่ (27) หาค่ากำลังงานตกคร่อม Rrf ได้ดังนี้

$$P_{Rrt} = (5mA)^2 \cdot 250\Omega$$

= 6.25 mW

ในวงจร POWER SUPPLY ที่ออกแบบนี้ IC แบบ adjustment จำนวน 3 ตัว ซึ่งจาก Datdsheet ทั้งสามนี้มีค่า Vrf = 1.25 V และได้กำหนดค่า Irf = 5 mA ดังนั้น R1 = R2 = R11 = 250 โอมห์

POWER SUPPLY นี้ได้ออกแบบให้มสามารถเลือกค่า Output เป็นแบบ Fixed Ragu lator โดยที่ IC adjustment regulator โดยหลักการกำหนดค่า Rpot ค่าหนึ่งที่ให้ Output 15V พอดี และสามารถกลับไปใช้แบบ Adjustment ได้โดยใช้สวิตช์เลือกการทำงาน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า Rpot ได้ดังนี้

กำหนด Fixed Regulator 15 V และ Iadj = 100 uA (Datasheet)

จากสมการที่ (31)

$$V_{out} = V_{rf}\left(1+\frac{R_{pot}}{R_{rf}}\right) + Iadj * R_{pot}$$

$$\frac{Vout}{Vrf} - \frac{Iadj * Rpot}{Vrf} = 1 + \frac{Rpot}{Rrf}$$

$$\frac{Vout}{Vrf} - 1 = \frac{Rpot}{Rrf} + \frac{Iadj * Rpot}{Vrf}$$

$$\frac{Vout}{Vrf} - 1 = \frac{Rpot}{Rrf} + \frac{Iadj * Rpot}{Vrf}$$

$$\frac{Vout}{Vrf} - 1 = \frac{Rpot * Vrf + Iadj * Rpot * Rrf}{Rrf * Vrf}$$

$$\frac{Vout}{Vrf} * Rrf * Vrf - Rrf * Vrf = Rpot * Vrf + Iadj * Rpot * Rrf$$

$$Vout * Rrf - Rrf * Vrf = Rpot(Vrf + Iadj * Rrf)$$

$$Rpot = \frac{(Vout * Rrf) - (Rrf * Vrf)}{Vrf + (Iadj * Rrf)} \qquad (32)$$

จากสมการที่ (32)

$$Rpot = \frac{(15V)(250\Omega) - (250\Omega)(1.25V)}{1.25 + (100uA)(250\Omega)}$$

$$= 2696 \text{ โอมห์}$$

สำหรับวงจรที่ออกแบบจริงได้แบ่งค่า Rpot นี้ออกเป็นสามค่า คือแบ่งเป็น R3,R5,R7 ซึ่งค่าความต้านทานรวม R3+R5+R7 = 2696 โอมห์ ที่ออกแบบเช่นนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อตัวต้านทานได้ เพราะบางค่าร้านขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อาจจะไม่มีค่า 2696 โอมห์ หรืออาจจะหาซื้อได้ยาก จึงแบ่งออกเป็นสามค่าเพื่อง่ายต่อการซื้อหา และควรใช้ตัวต้านทานที่มีค่าผิดพลาดน้อยท่สุด สำหรับ power supply นี้ใช้ความผิดพลาดตัว $R \pm 1\%$

จากสมการที่(27) หาค่ากำลังงานตกคร่อม Rpot

$$Ppot = Ipot^2 Rpot \qquad (38)$$

แทนค่าสมการที่(30) ลงในสมการที่(33) จะได้ดังนี้

$$Ppot = (Irf + Iadj)^2 Rpot \qquad (34)$$

เมื่อกำหนด Irf = 5 mA และจาก datasheet Iadj = 100 uA

$$Ppot = (5mA + 100uA)^2 2696\Omega$$

$$= 10 \text{ mW}$$

แต่ในการใช้งานจริงได้แบ่งค่า Rpot = 2696 โอมห์ ออกเป็นสามค่า ซึ่งค่ากำลังงงานที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวก็จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ดังนี้ แต่ค่าที่คำนวณได้นี้ถือว่ามีค่าน้อย

มาก จึงไม่ต้องคำนึงถึงกำลังงานที่ตัวต้านทานทนได้ เพราะตัวต้านทานทั่วไปที่ขายตามท้องตลาดสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีปัญหา

วงจร POWER SUPPLY ออกแบบให้ R3 = R10, R5 = R12, R7 = R14 เนื่องจากให้ค่า output เท่านั้น ต่างกันตรงที่ R10+R12+R14 จะให้ output ออกมาเป็นไฟลบเท่านั้นเอง

สำหรับการใช้งาน IC Adjustment Regulator ให้ทำงานแบบปรับค่าได้เราสามารถคำนวณหาค่า Rpot ที่เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยกำหนดค่า output สูงสุด

POWER SUPPLY ที่ออกแบบนี้ให้ Output Adjustment สูงสุด 26.75 V ซึ่งคำนวณหาค่า Rpot จากสมการที่ (32)

$$Rpot = \frac{(26.75V)(250\Omega) - (250\Omega)(1.25V)}{1.25V + (100uA)(250\Omega)}$$

= 5000 โอมห์

จากสมการที่ (32) คำนวณหาค่ากำลังงานที่ตกคร่อม Rpot

$$Rpot = (5mA + 100uA)^2 \cdot 5000\Omega$$

= 130 mA

เนื่องจาก IC Adjustment Regulator ทั้งสามในวงจร POWER SUPPLY นี้ให้ค่า Output สูงสุด 26.75V เท่ากันทั้งสมาตัว ดังนั้นค่าตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ R4 = R6 = R13 มีค่า 5000 โอมห์เท่ากัน

การใช้งาน POWER SUPPLY

1.เปิดสวิตซ์ด้านหลังตัว POWER SUPPLY

2.ใช้ SW1 (ดังรูปวงจร) ในการเลือกการทำงานโดยเมื่อสับสวิตซ์ให้ Input แก่ขาLM338 POWER SUPPLY จะจ่าย Output +1.25-26.75V 5A เท่านั้น หากสับ SW1 ไปอีกด้านหนึ่ง POWER SUPPLY จะจ่าย Output +1.25-26.75V 1.5A ,-1.25-26.75V 1.5A , +5V 1A ,-5V 1A

3.สวิตซ์ SW2และ SW3 ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานจ่าย Output เป็น +15 V 1.5A และ -15V 1.5A หรือทำงานแบบปรับค่าแรงัน Output ได้

รายการอุปกรณ์ POWER SUPPLY

รายการ	**จำนวน**
1.แผ่น PCB พร้อมอุปกรณ์	1
2.หม้อแปลง 220/24V 5A CT	1
3.สวิตซ์ 220V แบบมีไฟแสดงสถานะเปิด	1
4.สวิตซ์แบบ SPDT	2
5.สวิตซ์แบบ DPDT	1
6.POT แบบ B	3
7.LED	2
8.มิเตอร์วัดแรงดันแบบอนาลอก 30V	2
9.คอนเนกเตอร์ Output - สีดำ	2
- สีแดง	4
10.คอนเนกเตอร์ AC 220V แบบมีกราวด์	1
11.กระบอกฟิวส์พร้อมฟิวส์	1
12.กล่องอเนกประสงค์	1
13.สายไฟ AWG 14 AWG 18 AWG 24	
14.ลูกปิดจับหมุน POT	