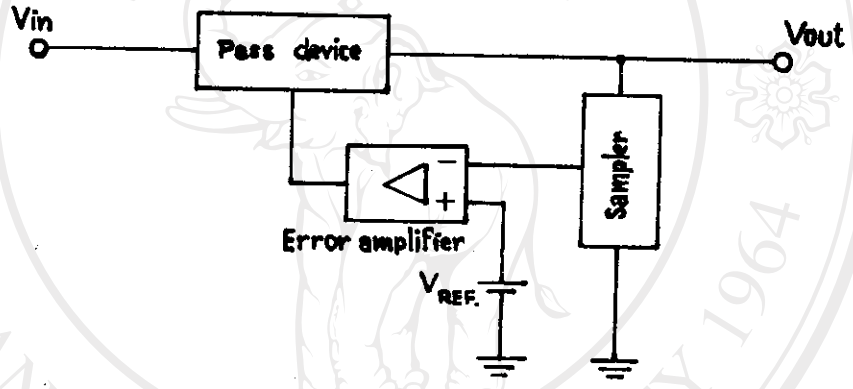
บทที่ 3
การสร้างวงจรทดลอง และอุปกรณ์การทดลอง

ในการศึกษาเสถียรภาพในเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง จากวงจรโครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟชนิดคงค่าแรงดัน ซึ่งมี Block diagram ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดง Block diagram ของวงจรคงค่าแรงดัน

ซึ่งรายละเอียดการทดลองประกอบด้วย

3.1 การศึกษาโครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟชนิด Closed loop regulator โดยแสดงให้เห็นส่วนประกอบคือ

V_{in}	เป็นแรงดันเข้าชนิดกระแสตรงยังไม่ผ่านการทำให้แรงดันคงที่
Pass device	เป็นทรานซิสเตอร์ควบคุมให้แรงดันออกคงที่
error amplifier	เป็นส่วนขยายความคลาดเคลื่อนที่สุ่มจับมาจากแรงดันออกมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง
sampler	เป็นวงจรสุ่มตัวอย่างแรงดันออกมา อาจมีความต้านทานปรับค่าได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

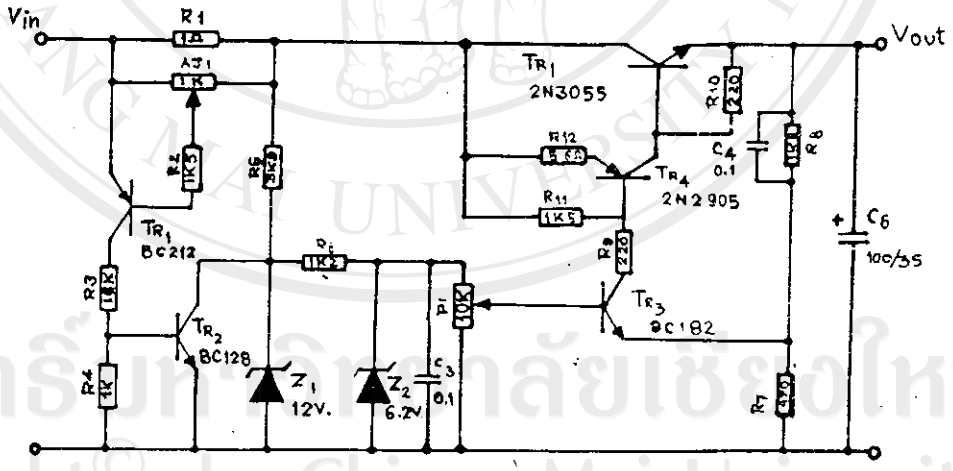
V_{out} เป็นแรงดันออกของวงจรคงค่าแรงดัน

V_{REF} เป็นแรงดันอ้างอิงที่มีอิทธิพลมากต่อเสถียรภาพของเครื่องจ่ายไฟ

ในการศึกษาว่าแรงดันออกจะเปลี่ยนไปอย่างไร กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เป็นการศึกษาด้านเสถียรภาพของแหล่งจ่ายไฟตรงชนิดคงค่าแรงดัน

3.2 การทดลองสร้างวงจรคงค่าแรงดันชนิดใช้ทรานซิสเตอร์โดยใช้อุปกรณ์คุณภาพทางการค้าเพื่อศึกษาสมบัติทั่วไปของแรงดันออกเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของแหล่งจ่ายไฟ

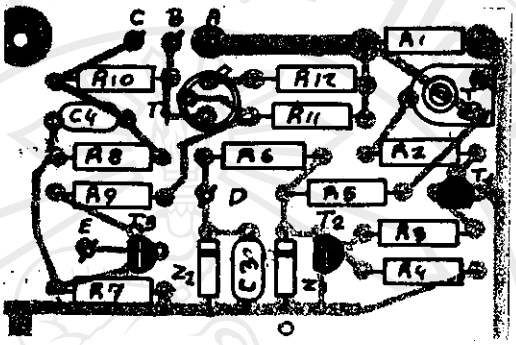
ใช้การสร้างวงจรคงค่าแรงดันแบบทรานซิสเตอร์หาคุณสมบัติด้านอุณหภูมิที่มีผลต่อหน่วยต่าง ๆ ของวงจร ดังรูปที่ 3.2



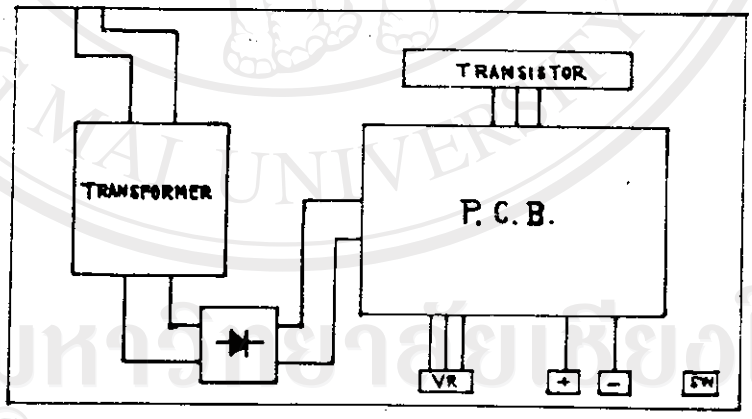
รูปที่ 3.2 วงจรสร้างแรงดันคงที่ชนิดประกอบด้วยทรานซิสเตอร์วงจรหนึ่งที่สร้างเพื่อสำรวจหาสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของแรงดันออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปอุปกรณ์วงจรคงค่าแรงดันที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.3 รูปแบบการวางอุปกรณ์ของอุปกรณ์สร้างแรงดันคงที่ชนิดใช้ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ศึกษา สำรวจ สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของแรงดันออก

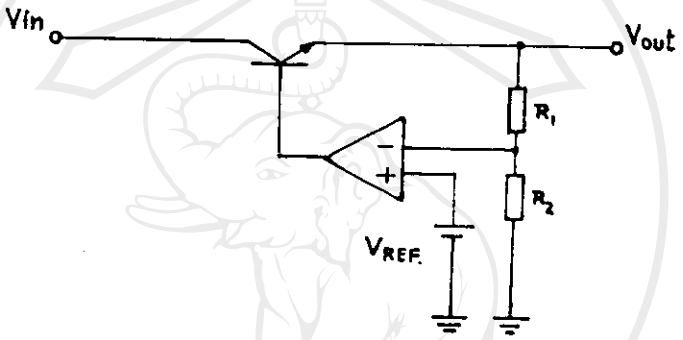


รูปที่ 3.4 รูปแบบการวางอุปกรณ์ในกล่องของวงจรสร้างแรงดันคงที่ชนิดใช้ทรานซิสเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การสร้าง ออกแบบและการทดลองเกี่ยวกับแรงดันอ้างอิง (Reference voltage)

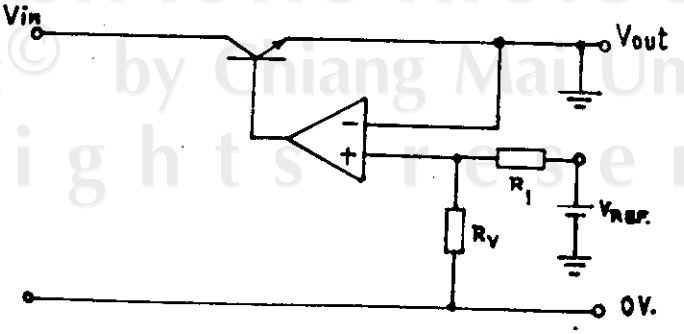
ในการศึกษาเสถียรภาพของแหล่งจ่ายไฟต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ต้นเหตุสำคัญอยู่ที่หน่วยวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง ถ้าวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปกับอุณหภูมิมาก แรงดันออกย่อมไม่เสถียรภาพ ไม่ว่าจะเป็นวงจร



รูปที่ 3.5 วงจรคงค่าแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันออกที่วงจรสุ่มตัวอย่างแรงดัน

ซึ่ง $$V_o = V_{REF} \times (1 + \frac{R_1}{R_2})$$

หรือเป็นวงจร



รูปที่ 3.6 วงจรคงค่าแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันออกที่ความต้านทานที่ต่อจากแรงดันอ้างอิง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

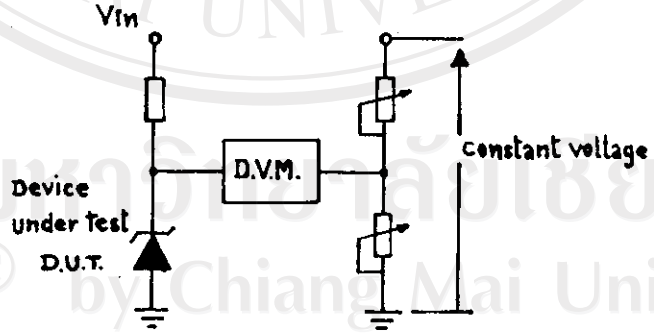
ซึ่ง $$V_o = V_{REF} \times \frac{R_v}{R_1}$$

ฉะนั้นการออกแบบ การสร้าง และการทดลองให้ได้แรงดันอ้างอิงที่มีค่าคงที่ตลอดในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก (ambient temperature) คือทำให้ได้แรงดันอ้างอิงมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำที่สุด

การศึกษาวงจรแรงดันอ้างอิง ได้ศึกษาและทดลองสร้างและวัดคุณสมบัติมาดังต่อไปนี้

3.3.1 ซีเนอร์ไดโอด

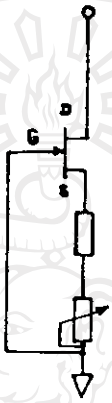
ซีเนอร์ไดโอด มีคุณสมบัติอย่างไรกับอุณหภูมิ สัมประสิทธิ์เป็นบวกหรือลบ, การเปลี่ยนแปลงกระแสในไดโอด การใช้กระแสคงที่ (constant current) จ่ายให้ซีเนอร์ไดโอดทำงาน การวัดเทียบกับแรงดันที่คงที่ โดยใช้อุปกรณ์ซีเนอร์ไดโอดไปอบในตู้อบที่สร้างขึ้นมีอุณหภูมิแปรไปถึงค่าประมาณ 70°ซ



รูปที่ 3.7 รูปการวัดคุณสมบัติด้านอุณหภูมิของซีเนอร์ไดโอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

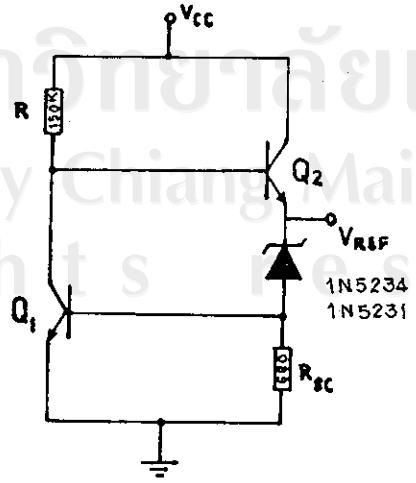
การใช้วงจรจ่ายกระแสคงที่ (constant current) จากวงจร



รูปที่ 3.8 การใช้ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์เป็นตัวจ่ายกระแสคงที่

3.3.2 วงจรแรงดันอ้างอิงแบบใช้ซีเนอร์ไดโอดชนิดชดเชยอุณหภูมิด้วยกระแสคงที่ (TC. zener)(1)

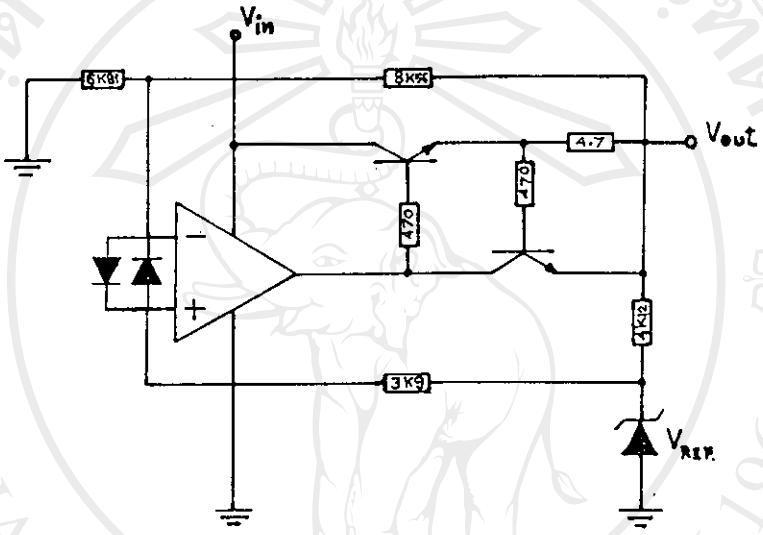
จากวงจรที่น่าสนใจและทดลองได้ผลดีคือ วงจร Zener diode ชนิดชดเชยอุณหภูมิ ซึ่งอาจต่อร่วมกับวงจรค่ากระแสคงที่



รูปที่ 3.9 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงจากซีเนอร์ไดโอดที่จ่ายกระแสคงที่ด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บางครั้งต้องมีการขยายกระแสจากแรงดันอ้างอิงที่สร้างขึ้นด้วยการบัฟเฟอร์หรือทั้งขยายกระแสและเพิ่มสเกลของแรงดันอ้างอิง[6] เช่นวงจร

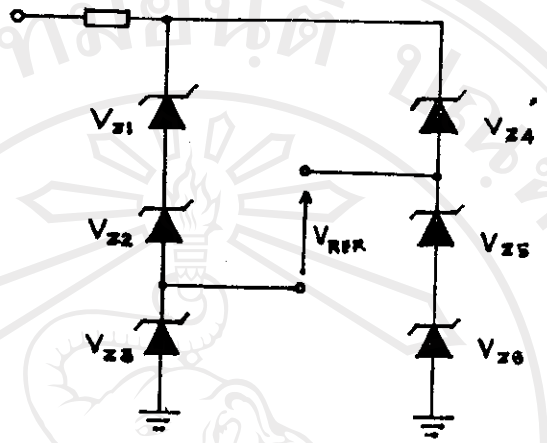


รูปที่ 3.10 การเพิ่มสเกลของแรงดันอ้างอิงด้วยออพแอมป์โดยการใช้การแบ่งกระแสจากแรงดันออก

3.3.3 การทดลอง Stack zener

โดยการนำซีเนอร์มาต่ออนุกรม แล้วใช้ผลต่างของแรงดันของ 2 แถวของซีเนอร์ไดโอดที่ต่ออนุกรมกันไว้ ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

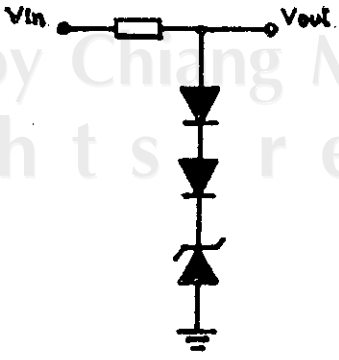


รูปที่ 3.11 การต่อวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงแบบซีเนอร์ไดโอดมาต่อขนานแบบ Stack โดย $V_{REF} = (V_{Z5}+V_{Z6})-V_{Z3}$

3.3.4 การสร้างและทดลองเกี่ยวกับซีเนอร์ไดโอดแบบชดเชยอุณหภูมิแบบต่าง ๆ (TC. Zener) หรือ Temperature compensated zener[10]

นำวงจรที่มีการชดเชยค่านอุณหภูมิแบบต่าง ๆ ให้แก่ซีเนอร์ไดโอดไปอบในตู้อบแล้ววัดว่ามีแรงดันออกเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ตัวอย่างวงจรที่ทดลอง

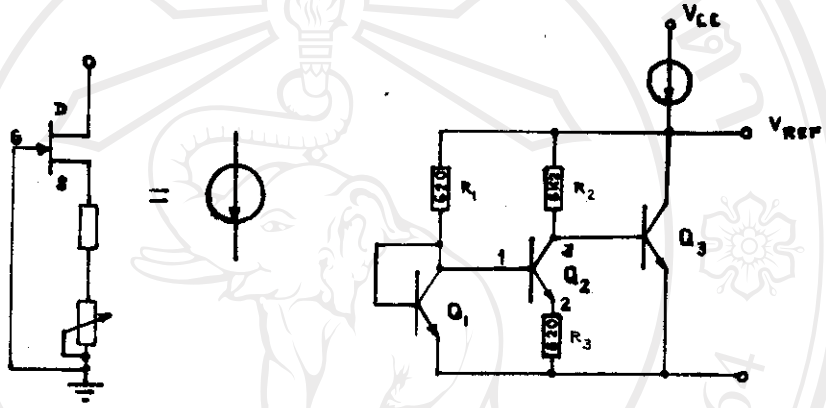


รูปที่ 3.12 รูปแบบการสร้างซีเนอร์ไดโอดที่มีการชดเชยอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.5 การสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดแบนด์แกพ (Band gap reference)[11]

เนื่องจากไม่สามารถสร้างทรานซิสเตอร์ได้เอง จึงจำเป็นต้องเลือกทรานซิสเตอร์ที่มีเบอร์ และลักษณะคล้ายกัน มาต่อร่วมกับวงจรจ่ายกระแสคงที่ ที่ใช้ MPF 102 เป็นตัวจ่ายกระแส ดังวงจรในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การใช้กระแสคงที่กับแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ

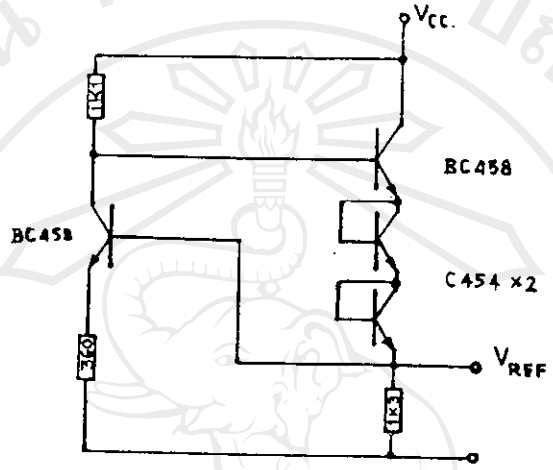
3.3.6 การสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดอื่น

3.3.6.1 การสร้างวงจรแรงดันอ้างอิงชนิดของ D. HAMPEL[4]

ด้วยการหาทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC 454 จำนวน 2 ตัวเป็น diode pair ต่อร่วมกันกับทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 458 โดยอัตราส่วนของ $\frac{1}{4}$ V_{cc} ไฟเลี้ยงวงจรที่ 11.08 โวลต์ ให้แรงดันออก 2.74 โวลต์ แบบนี้ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่ต่ำและน่าสนใจจากวงจร

ในบางกรณีก็ต่อเปรียบเทียบกับ LM 336 ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงที่สร้างขึ้นอีกชนิดหนึ่ง และมีการใช้วงจรของ D. HAMPEL เป็นแรงดันอ้างอิง ให้กับวงจรที่มีออพแอมป์เป็นส่วนขยายสัญญาณความแตกต่างป้อนสู่ทรานซิสเตอร์ที่จ่ายกระแสได้มาก ซึ่งเป็นวงจรหนึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

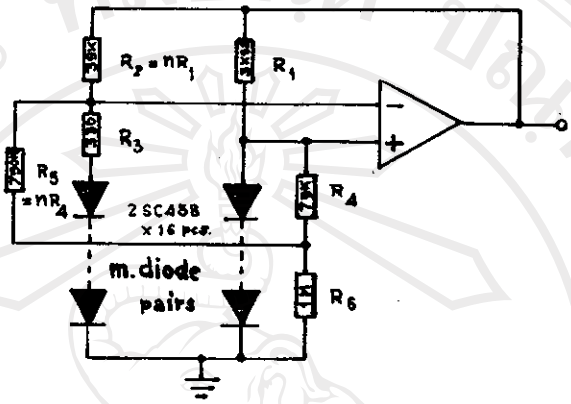


รูปที่ 3.14 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงของ D. HAMPEL

3.3.6.2 การสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดของ KAREL E. KUIJK[7]

นำไดโอดมาต่อแบบอนุกรมให้ได้ $n\Delta V_{BE}$ ของ diode pair แล้วขยายด้วยออพแอมป์เปรียบเทียบ op-amps อีก 2 เบอร์ คือ 741,308 แต่ไดโอดไม่สามารถสร้างจากเทคโนโลยีสร้างวงจรรวมได้ จึงใช้ทรานซิสเตอร์ 2SC 458 รุ่นเดียวกันมาต่อดังวงจรในรูปที่ 3.15 แล้วหาสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของแรงดันออกของหน่วยสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดนี้ โดยใช้ n = 10 และจำนวนไดโอดข้างละ 8 ตัว

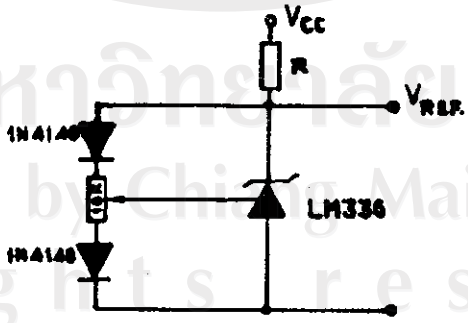
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.15 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงของ KAREL E. KUIJK

3.3.7 สร้างวงจรแรงดันอ้างอิงจากวงจรรวมเบอร์ LM 336[11]

LM 336 เป็นวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง เมื่อมีการปรับสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ คือ รูปที่ 3.16



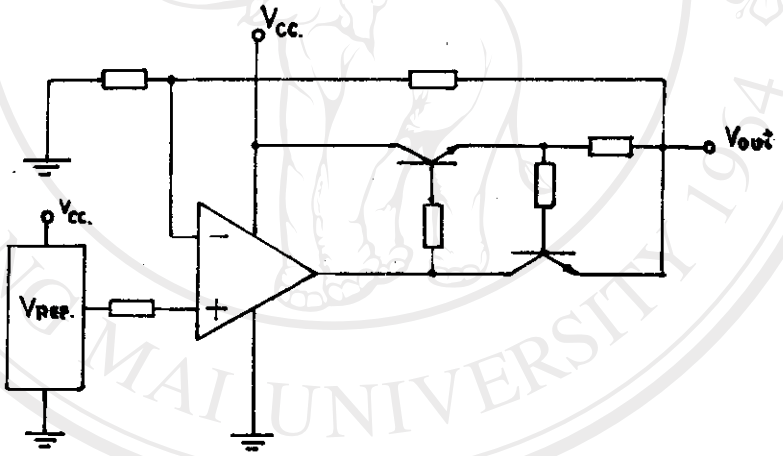
รูปที่ 3.16 การปรับสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของวงจรรวมเบอร์ LM 336 -2.5 V.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากวงจรให้แรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์ และใช้เป็นตัวเปรียบเทียบเช่น เปรียบเทียบกับของ D. HAMPEL หรือของ TC. zener หรือกับวงจรรวมคงค่าแรงดัน ตระกูล 5 โวลต์ เหมือนกัน เช่น 7805 เป็นต้น

3.3.8 การขยายความสามารถของแรงดันอ้างอิงให้จ่ายกระแสได้สูงขึ้น(7)

ทำโดยการทดลองหาออพแอมป์ มาต่อแบบวงจรคงค่าแรงดันแล้วขับทรานซิสเตอร์วัดสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ และพิจารณาเลือกวงจรรวมที่มีดริฟท์น้อย เช่น LM 308 เปรียบเทียบกับวงจรรวมอื่น ดังวงจรในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรแสดงการเพิ่มความสามารถจ่ายกระแสจากวงจรแรงดันอ้างอิงแบบต่าง ๆ โดยใช้ออพแอมป์และทรานซิสเตอร์ต่อแบบวงจรคงค่าแรงดัน

3.4 อิทธิพลของอุปกรณ์อื่นต่อวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น

การป้องกันความร้อนจากสิ่งรอบข้าง ออกแบบสร้างแรงดันอ้างอิงที่ปิดล่อนข้างมิดชิดไม่ให้อากาศถ่ายเทแปรผันไป คือพยายามทำให้อุณหภูมิล่อนข้างคงที่มาก ๆ จะช่วยด้านเสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิได้ ถ้าให้ดีหลังจากทดลองจนเป็นที่พอใจแล้วควรเทหับปิดด้วยพลาสติกเรซิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่มีความเป็นฉนวนความร้อน โดยเททับปิดอุปกรณ์ในวงจร สร้างแรงดันอ้างอิงทั้งหมด

การเลือกใช้ความต้านทานในวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง ควรใช้ความต้านทานที่มีสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิต่ำ เช่น แบบไวร์วาวด์ แต่ถ้าแบบไวร์วาวด์หาค่าที่ต้องการได้ยาก ก็ใช้แบบเมตัลฟิล์มซึ่งก็มีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิต่ำเหมือนกัน

การเลือกใช้วงจรที่มีค่า $V_o = V_{REF}(1+ \frac{R_1}{R_2})$

และจากวงจรคงค่าแรงดัน $V_o = V_{REF}(\frac{R_v}{R_1})$

เนื่องจากความต้านทานในวงจรสุ่มตัวอย่างแรงดันจะมีความต้านทานตัวหนึ่งปรับค่าแรงดันออกได้ ซึ่งเป็นพวกความต้านทานแปรค่าได้ เช่น 10 kΩB ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิต่ำหนึ่ง ถ้าทำให้ความต้านอีกตัวหนึ่งร้อนขึ้นเท่ากัน แต่เป็นความต้านทานคนละชนิด จะทำให้สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของความต้านทานอีกตัวหนึ่งต่างกัน จะเกิดความคลาดเคลื่อนได้

วิธีแก้ไขและออกแบบกรณีความต้านทานของวงจรสุ่มตัวอย่างแรงดัน ทำได้โดยใช้ความต้านทานเกือกม้าแบบปรับค่าได้ เป็นชนิดเดียวกับ V_R ปรับค่าได้ คือ R_1 กับ R_v เป็นความต้านทานชนิดเดียวกันวางไว้ใกล้กัน เมื่อร้อนขึ้น สัมประสิทธิ์เท่ากัน จะมีค่าความต้านทานแปรไปดังนี้

ถ้าให้แรงดันอ้างอิงคงที่ สมมติสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของความต้านทาน = 20 %

ตอนอุณหภูมิต่ำ $V_o = V_{REF} \times \frac{R_v}{R_1}$

เมื่ออุณหภูมิสูง $V_o = V_{REF} \times \frac{1.2R_v}{1.2R_1}$

$= V_{REF} \times \frac{R_v}{R_1}$

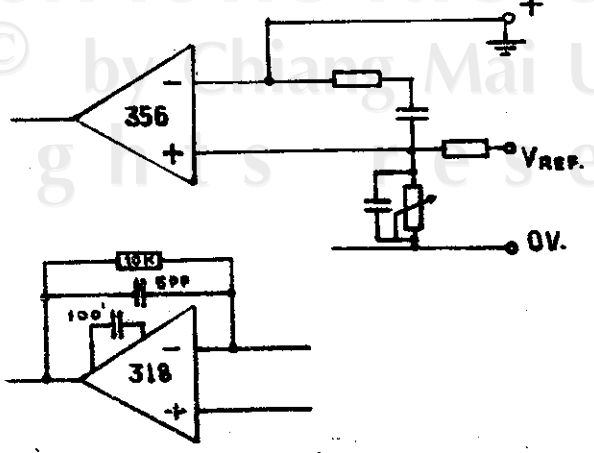
จะเห็นว่าแรงดันออกจะมีค่าเท่าเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 การสร้างและทดลองออกแบบเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของวงจรควบคุมแรงดัน

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Response time หาว่าออพแอมป์ชนิดใดให้ผลด้าน Transient response ได้ดี ตัวอย่างออพแอมป์ที่มาเปรียบเทียบได้แก่ 741, 356, 357 308 และ 318 ทดลองใช้ออพแอมป์เบอร์ต่าง ๆ เหล่านี้มาทดสอบหา Settling time โดยให้โหลดแปรเปลี่ยนแบบขั้น (Step Voltage) ด้วยการต่อเข้ากับสวิตช์ชิ่งโหลด (Switching load) การทดลองหาและเปรียบเทียบระหว่างทรานซิสเตอร์เบอร์ต่าง ๆ ที่เราทราบค่าเฉพาะมาหาและเปรียบเทียบว่ามีผลอย่างไรต่อ transient response โดยทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ชับ 2N3055

จากการใช้ออพแอมป์ที่มีค่า Settling time น้อย ๆ โดยเลือกจากออพแอมป์ที่มีค่า Slew Rate สูง ๆ และเพิ่มการชดเชยด้านความถี่ให้มีประสิทธิภาพด้าน Settling time น้อย ๆ โดยใช้ capacitor compensate ต่อตามที่แนะนำมาในแผ่นข้อมูล แล้วเปรียบเทียบกับไม่ต่อ capacitor compensate กรณีวงจรควบคุมแรงดันนั้นแนะนำการชดเชยด้าน Settling time ด้วยการต่อความต้านทานและตัวเก็บประจุที่ขาอินพุทของออพแอมป์และใช้ตัวเก็บประจุต่อที่ความต้านทานปรับแรงดันออก สำหรับ LM 318 ใช้การชดเชยความถี่ให้ได้ Settling time น้อย ๆ ด้วยการใช้ตัวเก็บประจุ ค่า 100 พิโคฟารัดจากขา 5 ไปยังขา 7 (V_{cc}) และจากแรงดันออกไปยังขา 2 ด้วยค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์มกับตัวเก็บประจุ 5 พิโคฟารัด ดังรูปที่ 3.18

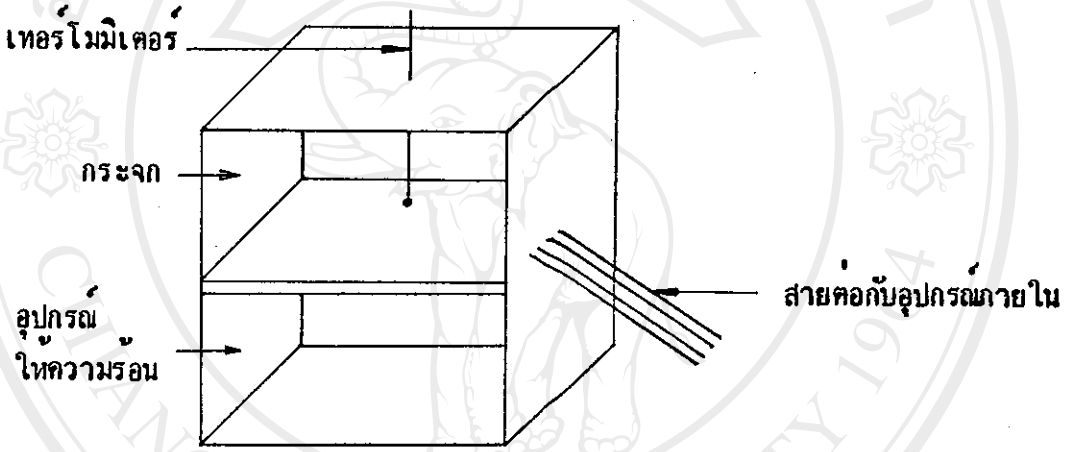


รูปที่ 3.18 การชดเชยด้าน settling time

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

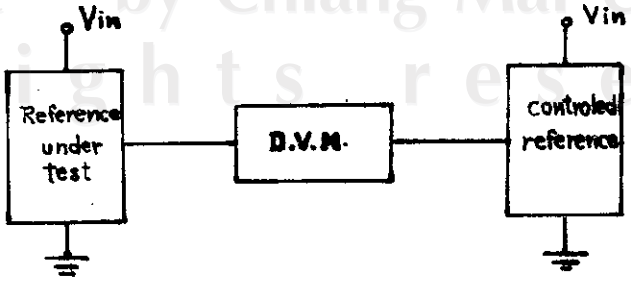
3.6 การสร้างตู้อบ

สร้างตู้อบให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ จุดไส้หลอดไฟให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับวางอุปกรณ์ที่จะวัดด้านเสถียรภาพทางอุณหภูมิมีเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ มีสายต่อภายนอกเพื่อวัดเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่อยู่นอกตู้อบ



รูปที่ 3.19 แสดงตู้อบ

3.7 การวัดเปรียบเทียบระหว่างแรงดันอ้างอิงที่ควบคุมที่อยู่ภายนอกกับแรงดันอ้างอิงที่สร้างขึ้นจะวัดดังรูปที่ 3.20



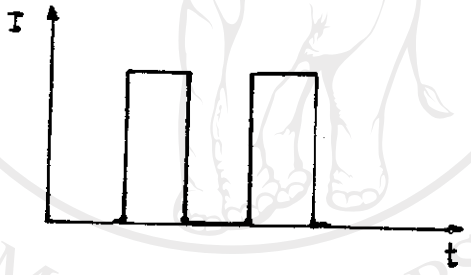
รูปที่ 3.20 การวัดเปรียบเทียบหาแรงดันที่เปลี่ยนไปด้วยดิจิตอลโวลต์มิเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.8 การสร้างสวิตชิ่งโหลด (Switching load)

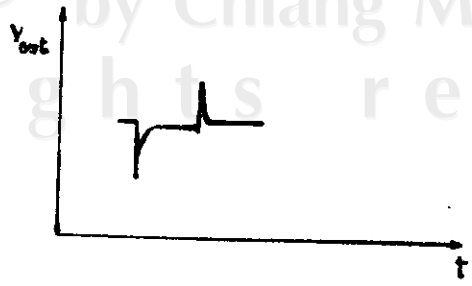
ในการวัดการตอบสนองชั่วครู่ (transient response) ที่ไม่ใช่เรกกูเลชั่น นั้นใช้การวัดว่าเมื่อโหลดเปลี่ยนไปอย่างกระทันหัน วงจรคงค่าแรงดันจะตอบสนองได้ทันเวลามากน้อยแค่ไหนและใช้เวลาเท่าใด ในการศึกษาและทดลองวัดการตอบสนองนี้ จำเป็นต้องใช้สวิตชิ่งโหลด (Switching load) ที่ปิดเปิดวงจรโดยทำหน้าที่เป็นโหลดของเครื่องจ่ายไฟนั้น

หลักการของสวิตชิ่งโหลด (Switching load) เมื่อสภาพของกระแสที่ออกมาเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 กระแสที่เปลี่ยนไปของโหลดของแหล่งจ่ายไฟ

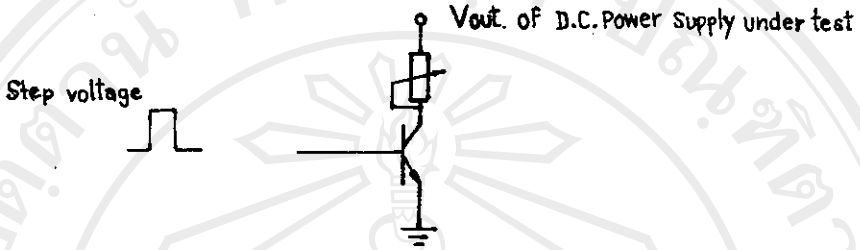
เราต้องการทราบค่าแรงดันออก จากที่ไม่มีโหลดถึงค่าโหลดเต็มที่และจากโหลดสูงสุดถึงไม่มีโหลด



รูปที่ 3.22 แสดงทรานเซียนท์และการตอบสนองของแรงดันออก

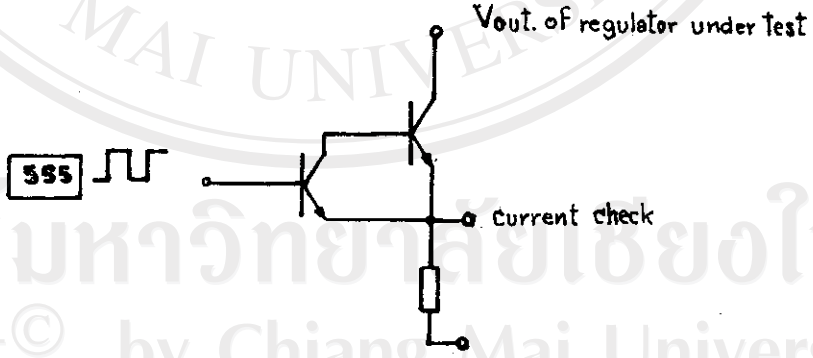
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วงจรหลักการของสวิตชิ่งโหลด



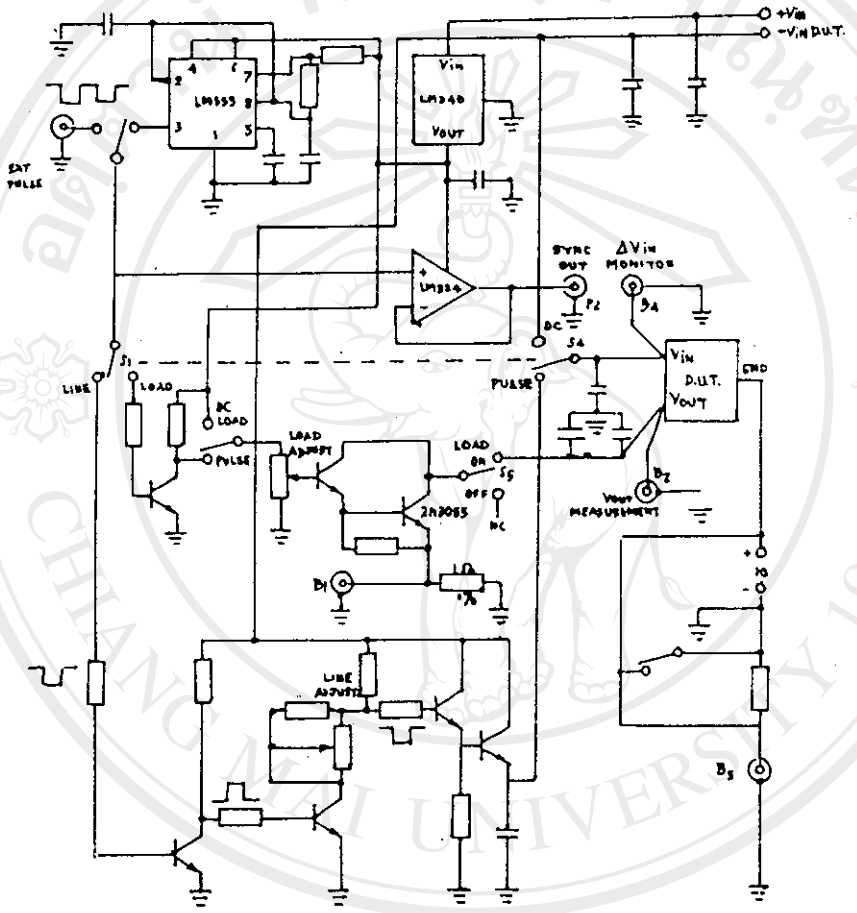
รูปที่ 3.23 หลักการสวิตชิ่งโหลด

การทดลองนี้ใช้วงจรรวมเบอร์ 555 สร้างแรงดันแบบขั้น (Step voltage) แล้วป้อนสู่ทรานซิสเตอร์ที่มีความไว (Hispeed transistor) แล้วไปขับให้ทรานซิสเตอร์ภาคกำลังนำกระแส แล้วจึงวัดแรงดันออกที่เปลี่ยนแปลงออกมาด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.24 การใช้วงจรรวม 555 สร้างคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนเข้าสู่ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่สวิตชิ่งโหลด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.25 วงจรสวิตชิ่งโหลด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

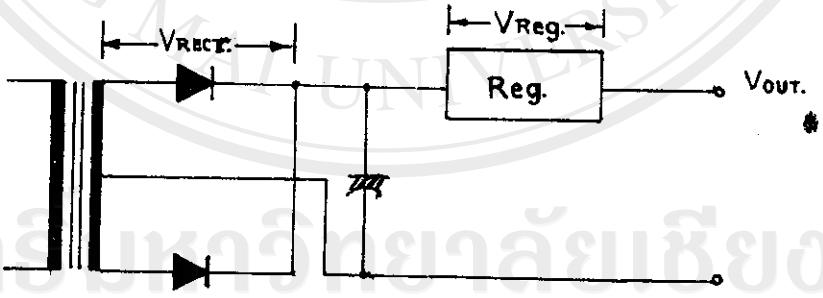
ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของสวิตช์ที่หน้ากล่องสวิตช์ซึ่งโหลด

TEST	SWITCH POSITIONS					Measurement at Connector
	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	
Load Regulation (pulsed mode)	LOAD	PULSE	DC	ON	CLOSED	B_2
Line Regulation (DC load ON)	LINE	DC	PULSE	ON	CLOSED	B_2
Quiescent current, I_Q	LOAD	DC	DC	ON	OPEN	B_5
I_Q change: 1) with load	LOAD	PULSE	DC	ON	OPEN	B_5
2) with line	LINE	DC	PULSE	ON	OPEN	B_5
Output Voltage	LOAD	DC	DC	ON	CLOSED	B_2

3.9 การทดลองสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟตรง 2.5 A. D.C. 40 โวลต์

3.9.1 การคำนวณหาขนาดหม้อแปลงที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟ

ใช้หม้อแปลงแบบเต็มคลื่นแบบมี tapped



รูปที่ 3.26 แสดงวงจรเรคติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นมี center tapped

V_{REG} ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 3 โวลต์

V_{RECT} ประมาณ 1.26 โวลต์

V_{ripple} ประมาณ 10 % $V_{DC\ peak}$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หาแรงดันทางขดทุติยภูมิ

$$V_{AC} = \left(\frac{V_{out}+V_{REG}+V_{RECT}+V_{ripple}}{0.92}\right)\times\frac{V_{NOM}}{V_{Low\ Line}} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

0.92 = ประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์

$\frac{V_{NOM}}{V_{Low\ Line}}$ = อัตราส่วนของ line

$$V_{AC} = \frac{40\ V. + 3\ V. + 1.25+0.5}{0.92} \times \frac{220}{198} \times \frac{1}{1.414}$$

$$= \frac{44.75}{0.92} \times \frac{220}{198} \times \frac{1}{1.414}$$

$$\simeq 40\ V.$$

ต้องการกระแส 2.5 แอมแปร์ กระแสที่ต้องการจากหม้อแปลง

สำหรับ FWCT = 1.2x2.5 แอมแปร์

= 3 แอมแปร์

ฉะนั้นหม้อแปลงที่ต้องการมีค่า 80 V. x 3 A = 240 VA.

ใช้ 80 V.CT.

@ 3A.RMS = 240 VA.

ใช้ตัวเก็บประจุ 10,000 ไมโครฟารัด 63 โวลต์ เป็นตัวเก็บประจุใช้กรองแรงดันกระเพื่อม

3.9.2 การคำนวณหากำลังของทรานซิสเตอร์ภาคขยายกระแส (Pass device) หรือหน่วยควบคุม (control element)

$V_{CE1(min)} = V_{in(min)} - V_o$ = 56 - 40 = 16 โวลต์

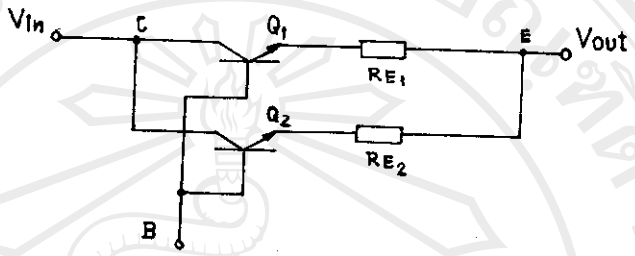
$V_{CE1(MAX)} = V_{in(max)} - V_{o(min)}$ = 60 - 0 = 60 โวลต์

$I_{E1(max)} = I_{out}$ = 2.5

$P_{C1(max)} = V_{CE1(max)} \cdot I_{E1}$ = 60 โวลต์ x 2.5 แอมแปร์ = 150 วัตต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการทดลองใช้ทรานซิสเตอร์ 2N3055 จำนวน 2 ตัว ขนานกันเพื่อให้ทนกระแสได้มาก



รูปที่ 3.27 การต่อทรานซิสเตอร์ขนานกัน 2 ตัว

$$RE = \frac{0.5 \text{ ถึง } 10 \text{ โวลต์}}{I_C/2} = \frac{0.5}{1.25} = 0.4\ \Omega$$

ใช้ค่า 0.2 โอห์ม โดยการใช้แรงดันตกคร่อม RE เท่ากับครึ่งหนึ่งของ 0.5 โวลต์ คือประมาณ 0.25 โวลต์ คำนวณหาวัตต์ ได้เท่ากับให้แรงดันตกคร่อม 1 โวลต์

จาก $P = IE$

$= 2.5 \times 1 = 2.5$ วัตต์

แต่ใช้ค่า 0.5 โอห์ม 5 วัตต์ เพื่อความปลอดภัย

การคำนวณหากระแสขับเบสของทรานซิสเตอร์ภาคไดรฟ์

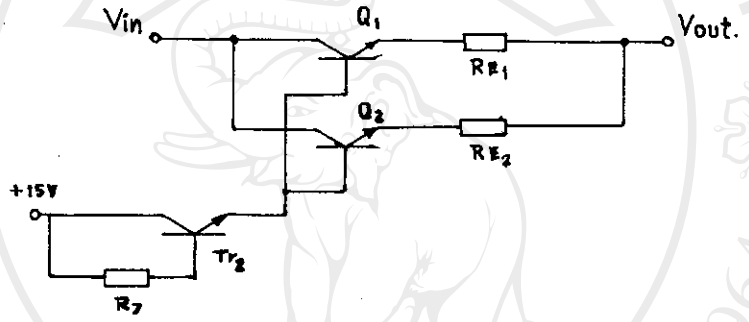
$$I_B = \frac{I_E}{h_{FE}}$$

h_{FE} ของ 2N3055=20, $I_B = \frac{2.5}{20} = 125$ มิลลิแอมแปร์

3.9.3 การใช้ทรานซิสเตอร์ตัวที่ T_{r2} จะต้องมีคุณสมบัติด้าน High speed มี $I_{C\ max}$ มากกว่า 125 มิลลิแอมแปร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หา I_{B2} ของ $T_{r2} = \frac{125}{h_{FETR2}} = \frac{125}{30} = 4.02$ มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 3.28 การหาค่าความต้านทานไบอัสทรานซิสเตอร์ภาคขับ ทรานซิสเตอร์ 2N3055

คำนวณหา R_7 จากวงจร

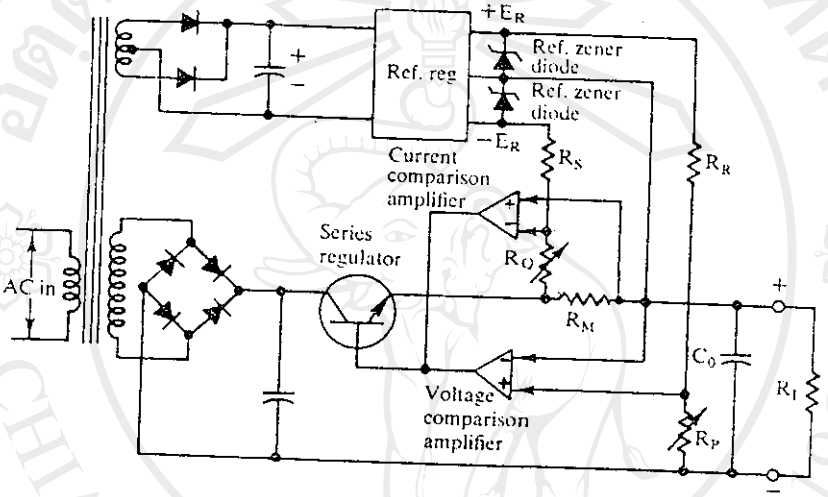
$$R_7 = \frac{15\ V.-R_B I_M-2V_{BE}\ V.}{\frac{125}{h_{FETR2}} \times 10^{-3}\ A.}$$

ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC 1226 A มี h_{FE} 30/220

$R_7 \simeq 2.7$ กิโลโอห์ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.10 การสร้างแหล่งจ่ายไฟชนิดแรงดันและกระแสคงที่



รูปที่ 3.29 วงจรแหล่งจ่ายไฟชนิดคงค่าแรงดันและกระแส

คำนวณหากระแสผ่าน R_1 คือ

$$I_1 = \frac{V_{REF}}{R_1}, (R_1 = R_R), (R_V = R_P)$$

ก่อนคำนวณเราหาค่าแรงดันอ้างอิงที่ใช้ประมาณ 5.00 โวลต์
กระแสที่ทำให้แรงดันอ้างอิงไม่ตกลง 1 มิลลิแอมป์ โดยใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$$R_1 = 10\ K \quad \therefore \quad I_1 = \frac{5\ V}{10\ K\Omega} = 0.5 \text{ มิลลิแอมแปร์}$$

อัตราส่วนขยายของแรงดันของวงจรหาจาก

$$V_o = V_{REF} \times \frac{R_v}{R_1}$$

โดยคิดว่าแรงดันที่ขา + ของออพแอมป์มีค่าเท่ากับแรงดันออก แต่ต้องการแรงดันออกประมาณ 50 โวลต์

$$R_v = 10\ R_1$$
$$= 100 \text{ กิโลโอห์ม ปรับแบบลิเนียร์}$$

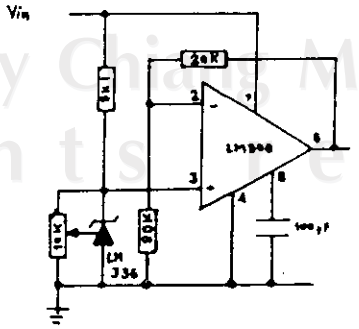
สำหรับกระแสที่คงที่ก็ใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกัน โดยใช้แรงดันอ้างอิง = -15 โวลต์

$$P_I = 1\ k\Omega$$

$$R_3 = \frac{15\ V}{1V/1K\Omega} = 15 \text{ กิโลโอห์ม}$$

3.11 การออกแบบวงจรสมบูรณ์

3.11.1 การออกแบบวงจรแรงดันอ้างอิงใช้วงจรรวม LM 336 ดังแบบวงจร



รูปที่ 3.30 วงจรสมบูรณ์ของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงจาก LM 336 กับ LM 308H

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ด้วยการใช้ LM 308H ซึ่งมีดริฟท์น้อย
- ความต้านทานในวงจรใช้เมทัลฟิล์ม 1 % มีสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิต่ำ
- การวางไดโอด 1N 4148 ให้ใกล้ชิด LM 336 มาก ป้องกันการแตกต่างกันของอุณหภูมิ
- มีการปรับความต้านทาน 10 KΩได้เพื่อให้ผลของสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิต่ำ
- แรงดันขาเข้าใช้แรงดันที่ผ่านการคงค่าด้วย 7812 จึงมีค่าของแรงดันเข้าคงที่
- การบรรจุใส่ในกล่องอลูมิเนียม ขนาด 5x8x4 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกอีกครั้งหนึ่งด้วยการปิดให้มิดชิด

3.11.2 การออกแบบวงจรด้านการตอบสนอง

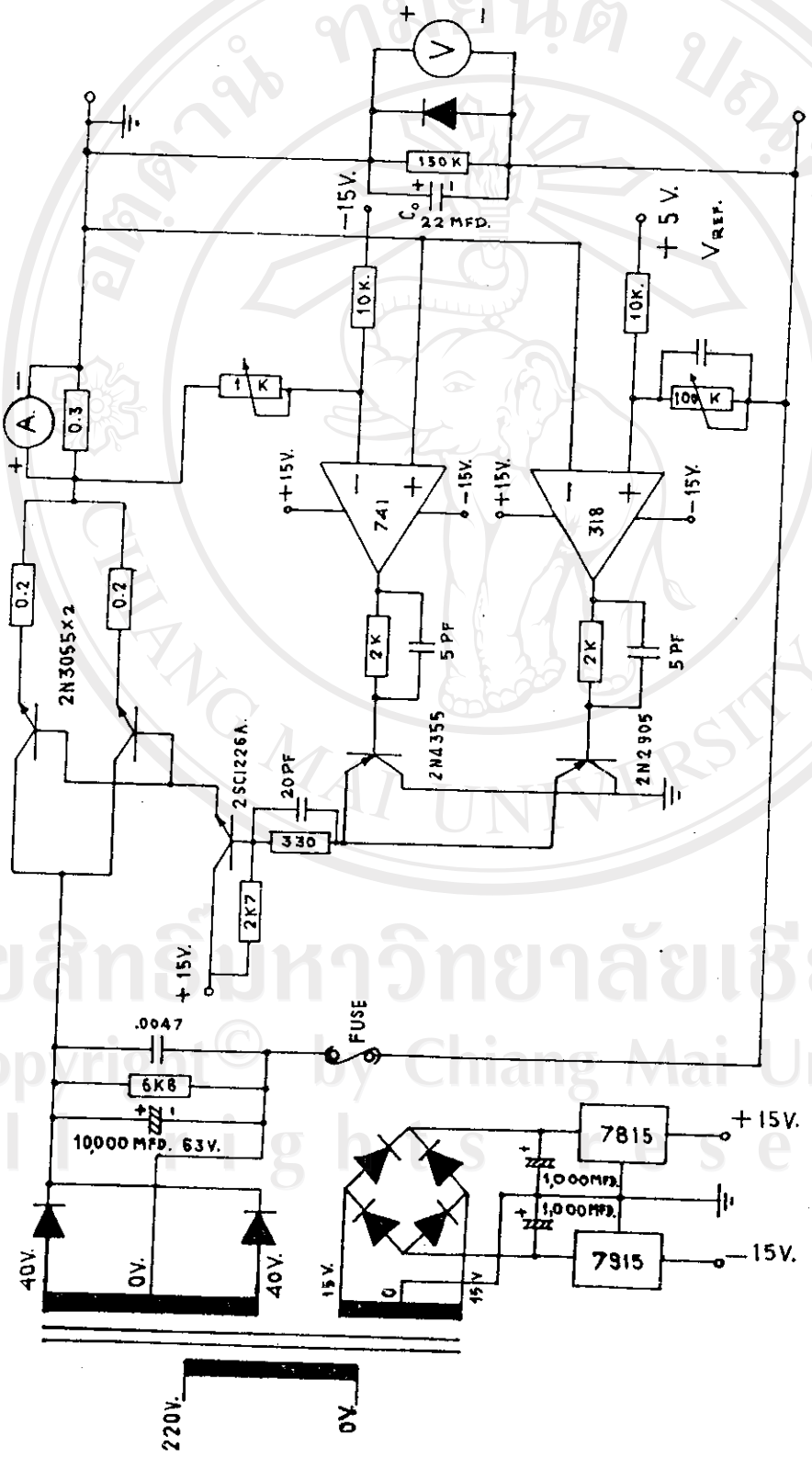
ใช้ IC. socket เสียบไว้เพื่อให้เลือกใช้กับออพแอมป์ที่มี High speed หรือมีค่า Settling time น้อย มีการชดเชยด้าน Settling time อีกด้วย

- ใช้ทรานซิสเตอร์ที่มี f_T สูง ๆ ใช้ในย่านความถี่วิทยุมีความต้านทานและตัวเก็บประจุชนิดเพิ่มอัตราเร็ว (RC. Speed up)

3.11.3 การสร้างแหล่งจ่ายกำลังชนิดคงค่ากระแสและแรงดัน

วงจรและรูปแบบการสร้างมีดังต่อไปนี้

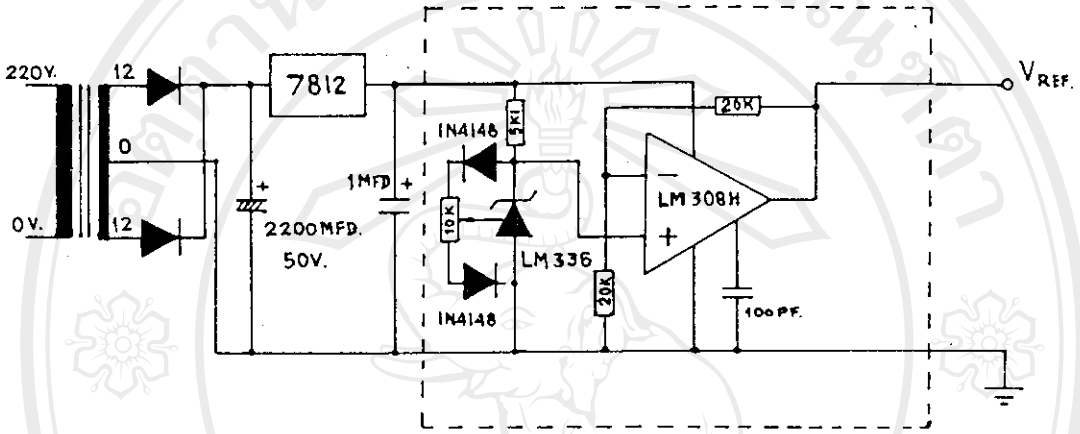
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.31 วงจรส่วนของแหล่งจ่ายไฟชนิดควบคุมกระแสและแรงดันสร้างขึ้น (cc/cv power supply)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วงจรแรงดันอ้างอิง 5 โวลต์



รูปที่ 3.32 วงจรแรงดันอ้างอิงในกล่อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved