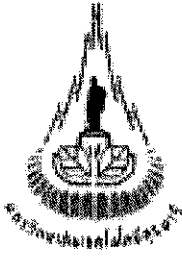


CONTRIBUTION



การออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังงานให้กับเครื่อง ขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz

โดย

นาย สุริยะ ดวงศรี รหัสประจำตัว B4610779

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2549

หัวข้อโครงการ	การออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังงานให้กับเครื่องขยายกำลังงาน สัญญาณความถี่ 2-40 GHz
จัดทำโดย	นายสุริยะ ดวงศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	3/ 2549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีขนาดของแรงดันและกระแสเหมาะสมกับเครื่องขยายสัญญาณความถี่ 2-40 GHz เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้ เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสองแบบคือ ไฟบวกขนาดแรงดัน 12 โวลต์และไฟลบขนาดแรงดัน -5 โวลต์เพื่อจ่ายให้กับเครื่องขยายสัญญาณความถี่ 2-40 GHz จำนวน 3 เครื่อง พร้อมออกแบบระบบสวิตซ์ตัดต่อเพื่อเลือกใช้งานเครื่องขยายสัญญาณความถี่ 2-40 GHz นอกจากนี้ยังได้ออกแบบอุปกรณ์ประกอบเช่นข้อต่อชนิด SMA เพื่อเชื่อมต่อเครื่องขยายสัญญาณดังกล่าวให้สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ภายนอก และใช้ในห้องปฏิบัติการได้สะดวกยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้ ไคร่ขอขอบคุณบุคคลหลายฝ่ายหลายท่านต่างๆ เหล่านี้ ที่อนุเคราะห์และช่วยเหลือจนโครงการปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เริ่มจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อ.ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยให้ความให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาทุกๆ ด้านแก่ผู้จัดทำมาตลอด ขอขอบคุณคุณประพล จาระตะคุณ วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ที่ช่วยเป็นธุระติดต่อการเบิกจ่ายค่าอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงการประสานงานการขอใช้เครื่องมือด้วย เจ้าหน้าที่ประจำเครื่องมือ 1 ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ แก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ท่านทั้งสองให้การดูแลเอาใจใส่เลี้ยงดู และคอยเป็นกำลังใจเคียงข้างมาโดยตลอด ทำให้โครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นายสุริยะ ดวงศรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	ณ
สารบัญตาราง	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2

บทที่ 2 การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

2.1 หลักการของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า	3
2.2 ข้อจำกัดในการเลือกใช้หม้อแปลง	3
2.3 วงจรเรียงกระแส	4
2.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบแท็บกลาง	5
2.3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	6
2.4 วงจรกรองกระแส	7
2.5 รักษาระดับแรงดัน	9
2.5.1 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม	10
2.5.2 ลักษณะทั่วไปของวงจรรักษาระดับแรงดัน	11
2.5.3 การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจร	13
2.5.4 บล็อกไดโอดแกรมของวงจรรักษาระดับแรงดัน	14
2.5.5 ไอซีรักษาระดับแรงดัน	
2.6 ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สามขา	18
2.7 ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สี่ขา	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การประยุกต์ใช้งานไอซี	22
2.8.1 ประยุกต์เป็นแหล่งจ่ายกระแส	22
2.8.2 ปรับกระแสเอาต์พุตให้มีค่าเพิ่มขึ้น	23
2.9 ข้อควรปฏิบัติในการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า	25
2.10 ตารางแสดงคุณลักษณะของไอซีรักษาระดับแรงดัน	26
2.11 สรุป	32
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าในการใช้งานจริง	33
3.1 การออกแบบวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันคู่	33
3.2 การออกแบบวงจรกรองกระแส	33
3.3 การเลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดัน	34
3.4 วงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้า 12V และ -5V	36
3.5 การออกแบบลายวงจรลงแผ่นปริ้นท์	38
3.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	38
3.7 สรุปผลการออกแบบ	38
บทที่ 4 การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า	39
4.1 การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า +12V และ -5V	39
4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันบวก	39
4.1.2 การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันลบ	40
4.2 การทดสอบกระแสเอาต์พุต	40
4.2.1 การทดสอบกระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณ ความถี่ 2-40 GHz	41
4.2.2 สรุปผลการวัดค่ากระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังงาน สัญญาณความถี่	43
4.2.3 การทดสอบกระแสเอาต์พุตที่แรงดันไฟลบ	44
4.3 การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเข้ากับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2.40 GHz	45
4.4 สรุปผลการทดสอบ	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	44
5.1 ส่วนประกอบหลักของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า	44
5.2 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน	44
5.3 ข้อจำกัดของโครงการ	44
5.4 ผลที่ได้จากโครงการ	45

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ประวัติผู้เขียน

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 แสดงกระบวนการการแพร่กระจายคลื่น	1
รูปที่ 2-1 หลักการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า	3
รูปที่ 2-2 แสดงโครงร่างภายนอกวงจรเรียงกระแสแบบแท็บกลาง	5
รูปที่ 2-3 แสดงโครงร่างภายนอกวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	6
รูปที่ 2-4 แสดงโครงร่างวงจรเรียงกระแสในกรณีที่ต้องการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันคู่	7
รูปที่ 2-5 วงจรกรองกระแส	7
รูปที่ 2-6 แสดงพารามิเตอร์ของวงจรกรองกระแส	8
รูปที่ 2-7 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม	10
รูปที่ 2-8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม	10
รูปที่ 2-9 การแก้ไขกระแสผ่านโหลดมากเกินไป	12
รูปที่ 2-10 วงจรในส่วนของการป้องกันแบบ SOA	13
รูปที่ 2-11 บล็อกไดอะแกรมของโครงสร้างของไอซีรักษาระดับแรงดัน	14
รูปที่ 2-12 แสดงรูปร่างของไอซีชนิดรักษาระดับแรงดันลบแบบคงที่	15
รูปที่ 2-13 แสดงโครงสร้างภายในของไอซีชนิดรักษาระดับแรงดันบวกแบบคงที่	15
รูปที่ 2-14 แสดงวงจรตัวอย่างของการต่อ C2 ลงในวงจร	18
รูปที่ 2-15 บล็อกไดอะแกรมแสดงถึงโครงสร้างภายในไอซีเบอร์ LM317	19
รูปที่ 2-16 ลักษณะการต่อใช้งานของไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สี่ขา	21
รูปที่ 2-17 แสดงวงจรสี่สายตรวจสอบระยะไกล	22
รูปที่ 2-18 แสดงการประยุกต์วงจรเป็นแหล่งจ่ายกระแส	22
รูปที่ 2-19 แสดงวงจรการเพิ่มกระแสจากการเพิ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าไป	23
รูปที่ 2-20 การเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมสำหรับวงจรไอซีสามขา	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่2-21 แสดงการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่ผู้ออกแบบควรพิจารณา	25
รูปที่3-1 แสดงลักษณะของวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันคู่	33
รูปที่3-2 แสดงการออกแบบวงจรกรองกระแส	33
รูปที่3-3 แสดงโครงสร้างไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM317 และ LM337	34
รูปที่3-4 แสดงวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้า +12V และ -5V	36
รูปที่3-5 การออกแบบลายวงจรของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า	37
รูปที่3-6 การออกแบบลายวงจรลงบนแผ่นปริ้นท์	37
รูปที่3-7 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	38
รูปที่4-1 แสดงการทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันบวก	39
รูปที่4-2 แสดงการทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันลบ	40
รูปที่4-3 แสดงการทดสอบกระแสเอาต์พุต	41
รูปที่4-4 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 18-26.5 GHz	41
รูปที่4-5 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 26-40 GHz	42
รูปที่4-6 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 26-40 GHz, 18-26.5 GHz	42
รูปที่4-7 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-20 GHz (แรงดันบวก)	43
รูปที่4-8 แสดงกระแสเอาต์พุตเมื่อจ่ายแรงดันไฟลบ	44
รูปที่ 4-9 แสดงกระแสเอาต์พุตเมื่อจ่ายแรงดันไฟบวก	44
รูปที่ 4-10 แสดงบล็อกลโคอะแกรมในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่	46
รูปที่ 4-11 แสดงการวัดอัตราขยายของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz	46

สารบัญตาราง

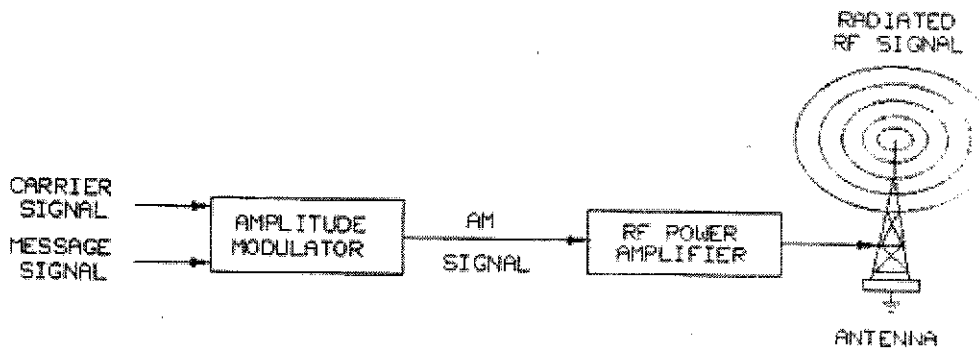
ตาราง 2-1 แสดงตัวอย่างคุณลักษณะทางไฟฟ้าของไอซีเบอร์ 7805	16
ตาราง 2-2 วงจรรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันคงที่ (เรียงตามกระแสเอาต์พุต)	26
ตาราง 2-3 ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันได้ (เรียงตามแรงดันเอาต์พุต)	30
ตาราง 4-1 ผลการวัดค่ากระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่	43
ตาราง 4-2 สรุปผลการทดลองการทดสอบกระแสเอาต์พุตที่แรงดันไฟลบ	45
ตาราง 4-3 หมายเลขเครื่อง: NB00441 (2-20 GHz)	47
ตาราง 4-4 หมายเลขเครื่อง: NB00454 (18-26.5 GHz)	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

การสื่อสารในโลกปัจจุบันใช้คลื่นวิทยุ (Radio Wave) เป็นช่องทางในการสื่อสารแทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารผ่านดาวเทียม การสื่อสารผ่านคลื่นไมโครเวฟ การส่งสัญญาณในระบบเรดาร์ เป็นต้น การสื่อสารเหล่านี้จำเป็นต้องมีเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ (Power Amplifier) เข้ามาเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น เครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุนี้ จะทำหน้าที่ขยายกำลังงาน (Power) ให้มีสัญญาณมีกำลังงานมากเพียงพอที่จะส่งไปยังปลายทางได้



รูปที่ 1-1 แสดงกระบวนการการแพร่กระจายคลื่น

จากรูปที่ 1-1 ภาควิทยุกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ คือภาคสุดท้ายก่อนที่ส่งไปยังสายอากาศ (Antenna) ทำหน้าที่ขยายกำลังเพื่อส่งต่อให้สายอากาศก่อนที่จะแพร่กระจายสัญญาณความถี่วิทยุออกไป

จะเห็นได้ว่าเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุมีความสำคัญในระบบสื่อสารเป็นอย่างมาก และในขณะนี้ทางด้านสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้จัดซื้อเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz แต่ยังไม่พร้อมใช้งาน เนื่องจากขาดแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ และอยู่ในสภาพที่เสี่ยงต่อการชำรุดเสียหายจากการใช้งาน

โครงการนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายกำลังงานไฟฟ้าขนาด +12V และ -5V ขึ้นมาเพื่อจ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุลงในกล่องอะลูมิเนียมขนาดพิเศษพร้อมเชื่อมต่อตัวเครื่องเข้ากับอะแดปเตอร์ (Adaptor) ข้อต่อชนิด SMA เพื่อความสะดวกในการใช้งานและปลอดภัยยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ลดความเสี่ยงที่จะเกิดกับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz อันเนื่องมาจากการใช้งานของผู้ใช้ ซึ่งอาจจะจากเกิดความประมาทหรือความไม่ชำนาญในการใช้งานอุปกรณ์

1.2.2 เพิ่มความสะดวกและยืดอายุในการใช้งานให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz

1.2.3 ทำให้เครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz นี้พร้อมใช้งาน โดยการออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังงานให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ

1.3 ขอบเขตของการทำงาน

1.3.1 ออกแบบวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังงานให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz

1.3.2 สร้างชุดอุปกรณ์เครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz นี้ให้พร้อมใช้งาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ออกแบบวงจรจ่ายกำลังงานเพื่อจ่ายกำลังงานให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz ที่แรงดัน +12 V และ -5 V

1.4.2 สร้างเครื่องจ่ายกำลังงานไฟฟ้านี้หลังจากที่ได้ออกแบบวงจรไว้แล้ว

1.4.3 นำเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz ทั้ง 3 ตัว ประกอบเข้ากับกล่องอลูมิเนียมขนาดพิเศษ พร้อมเชื่อมต่ออะแดปเตอร์ข้อต่อชนิด SMA เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน

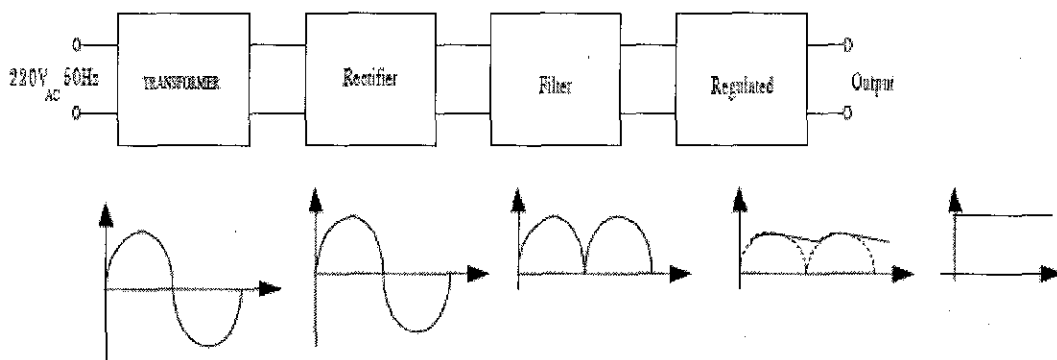
1.4.4 ติดตั้งเครื่องจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเข้ากับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่วิทยุ 2-40 GHz แล้วทดสอบการใช้งาน

บทที่ 2

การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกวงจรเกือบ 100% จะต้องมีแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับวงจร และแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่หาได้ง่ายที่สุดก็คือขนาดแรงดันไฟ 220 V 50Hz ที่มีอยู่ตามอาคาร บ้านเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจะมาศึกษาถึงการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากไฟฟ้า 220V 50Hz ให้ตรงกับความต้องการในการใช้งานจริง

2.1 หลักการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า [1]



รูปที่ 2-1 หลักการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2-1 สัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ขนาด 220 V_{AC} ความถี่ 50Hz จะถูกเหนี่ยวนำให้มีขนาดเล็กลงด้วยหม้อแปลง (Transformer) สัญญาณที่ได้จากหม้อแปลง จะเป็นไฟสลับอยู่จึงต้องผ่านวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อทำให้เป็นไฟตรงก่อน จากนั้นจะผ่าน วงจรกรองกระแส (Filter) เพื่อทำให้ไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสมีความเรียบขึ้น ในที่สุดก็จะ เป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator) เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟตรงให้คงที่ และตรง ตามความต้องการ

2.2 ข้อจำกัดในการเลือกใช้หม้อแปลง [1]

ในการเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้ามีหลักการคือ จะต้องเลือกหม้อแปลงที่สามารถจ่ายแรงดัน และกระแสได้เพียงพอกับการใช้งานจริง แต่ก็ไม่ควรที่จะเลือกหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นในการเลือกหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีขนาดพอเหมาะ กับงานที่ต้องการก็จะพิจารณาขนาดของแรงดันไฟตรง (V_o) และกระแสไฟตรงสูงสุด (I_o) ที่สามารถ

จ่ายให้โหลดได้ แล้วนำมากำหนดขนาดของแรงดันขดทุติยภูมิ (Secondary) และกระแสใช้งานที่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลง โดยพิจารณาได้จากสมการ

$$V_{rms} = 1.1 \frac{V_o + V_{do} + V_{rect} + V_r}{\sqrt{2}} \frac{V_{line(nom)}}{V_{line(low)}} \quad (2.1)$$

V_{rms} = แรงดันที่ขดทุติยภูมิ (V)

V_o = แรงดันเอาต์พุต (Output) ที่ต้องการ (V)

V_{do} = แรงดันครอปเอาต์ (Dropout) (V)

$V_{rect} = 1$ (แรงดันของวงจรเรียงกระแสแบบแท็บกลาง (Center-tapped Rectifier))

$= 2$ (แรงดันของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier))

จากสมการที่ 2.1 จะทำให้รู้ขนาดของแรงดันขดทุติยภูมิของหม้อแปลง ส่วนกระแสขดทุติยภูมิ (I_{rms}) สามารถหาได้จากสมการ

$$I_{rms} \approx 1.2I_o$$

และ

$$I_{rms} \approx 1.8I_o$$

ต่อมาจะทำให้เราทราบถึงขนาดของหม้อแปลงที่ขดทุติยภูมิ (Power Rating of Secondary) ซึ่งมีค่า

$$\text{Power Rating of Secondary} = V_{rms} \cdot I_{rms} \text{ (VA)} \quad (2.2)$$

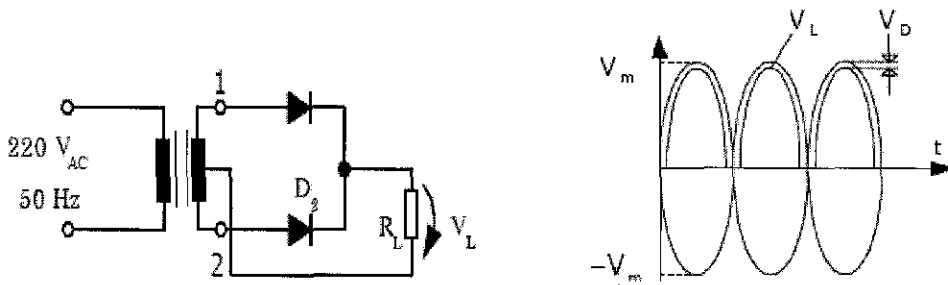
2.3 วงจรเรียงกระแส [1]

วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนกระแสไฟสลับที่มาจากหม้อแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรเรียงกระแสที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติจริงๆ จะมีอยู่ 2 ชนิด

1. วงจรเรียงกระแสแบบแท็บกลาง
2. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

นอกจากนี้ยังมีวงจรเรียงกระแสอีกชนิดหนึ่งคือวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier) แต่ไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน ถึงแม้อัตราการดิ่งกำลังและค่าใช้จ่ายจะต่ำกว่า เพราะวงจรรักษาระดับแรงดันแบบครึ่งคลื่นให้ประสิทธิภาพที่ต่ำมาก

2.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบแท็บกลาง



รูปที่ 2-2 แสดงโครงร่างภายนอกวงจรเรียงกระแสแบบแท็บกลาง

จากรูปที่ 2-2 วงจร D_1 และ D_2 จะผลัดกันทำงานในแต่ละช่วงครึ่งคลื่นและจากแรงดันเอาต์พุต (V_L) ที่ได้จะเห็นว่ามีความน้อยกว่าแรงดันอินพุต โดยขนาดของ V_L สูงสุด ($V_{L(peak)}$) สามารถหาได้จากสมการนี้

$$V_{L(peak)} = V_m - V_{D(on)} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) $V_{D(on)}$ คือแรงดันตกคร่อมไดโอด D_1 หรือ D_2 ขณะได้รับไบแอสไปหน้า (Forward bias) ซึ่งปกติจะมีค่าประมาณ 0.6V-1V เนื่องจากไดโอดที่นำมาใช้ในวงจรเรียงกระแสส่วนใหญ่จะเป็นไดโอดชนิดซิลิกอน (Silicon diode) ในการเลือกใช้ไดโอดในวงจรเรียงกระแสมีข้อควรคำนึง 2 ข้อคือ

1. อัตราทนกระแสขณะได้รับไบแอสไปหน้า ($I_{F(max)}$) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$I_{F(max)} = \frac{V_{L(peak)}}{R_{L(min)}} \quad (2.4)$$

เมื่อ $R_{L(min)}$ คือค่าความต้านทานต่ำสุดของภาระซึ่งจะทำให้วงจรเรียงกระแสจะต้องจ่ายกระแสออกมาสูงสุดตามที่ต้องการนั่นเอง

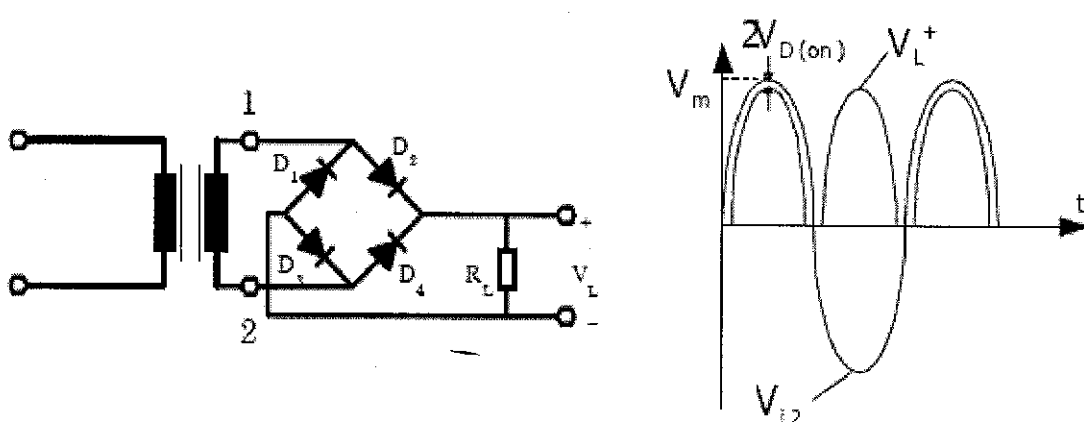
2. อัตราทนแรงดันสูงขณะได้รับไบแอสไปหน้า (Peak Inverse Voltage, PIV) สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบแท็บกลางนี้สามารถหาค่า PIV ได้จากสมการ

$$PIV = 2V_{m(max)} - V_{D(on)} \quad (2.5)$$

ค่าพิคคของไดโอดทั้ง 2 ค่านี้ในการออกแบบจริงควรเลือกใช้ให้มากกว่าค่าที่คำนวณได้ อย่างน้อย 50% ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายของไดโอดอันเนื่องมาจากแรงดันสไปค์ (Spike)

2.3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามารถให้แรงดันไฟตรงออกมาในลักษณะเต็มตูกคลื่นได้โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลงที่มีแท็บกลาง ดังวงจรข้างล่าง

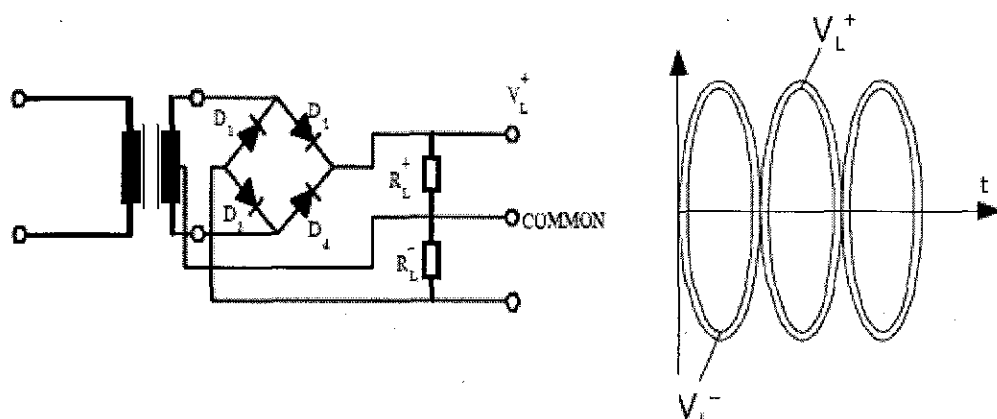


รูปที่ 2-3 แสดงโครงร่างภายนอกวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

จากวงจรรูปที่ 2-3 ช่วงคลื่นครึ่งวงรอบบวก กระแสจะไหลผ่าน D_2 , R_L และ D_3 แล้วกลับเข้าขา 2 ของหม้อแปลง ทำให้ได้รูปคลื่นครึ่งวงรอบมาตกคร่อมที่ R_L ในช่วงคลื่นครึ่งวงรอบลบ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขา 2 ผ่าน D_4 , R_L และ D_1 กลับเข้าขา 1 ของหม้อแปลง ทำให้ได้รูปคลื่นอีกครึ่งวงรอบมาตกคร่อมที่ R_L สำหรับขนาดของแรงดันเอาต์พุต (V_L) สามารถหาได้จากสมการ

$$V_{L(peak)} = V_m - 2V_{D(on)} \quad (2.6)$$

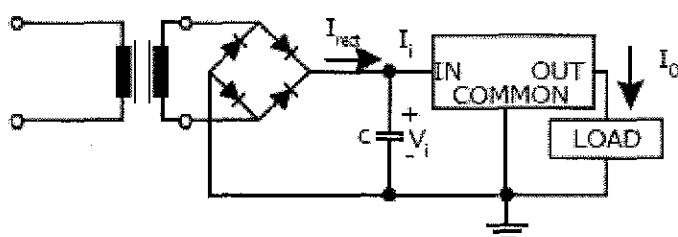
ในกรณีที่ต้องการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันคู่ (Dual Power Supply) ก็สามารถใช้วงจรเรียงกระแสดังวงจรรูปที่ 2-4 ได้ ส่วนค่า PIV ของไดโอดแต่ละตัวของวงจรนี้สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (2.5)



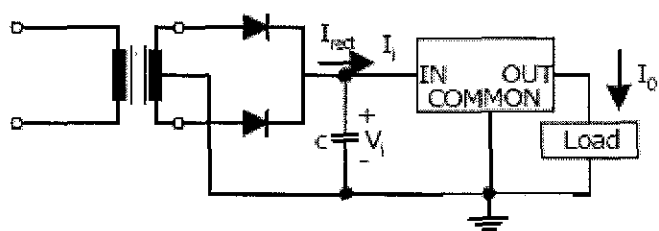
รูปที่ 2-4 แสดงโครงร่างวงจรเรียงกระแสในกรณีที่ต้องการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันคู่

2.4 วงจรกรองกระแส [1]

วงจรกรองกระแสที่นิยมและได้ผลดีก็จะเป็นวงจรเรียงกระแสที่ใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) วงจรกรองกระแสนี้จะต่ออยู่ระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรรักษาระดับแรงดันดังแสดงในวงจรรูปที่ 2-5



(a)

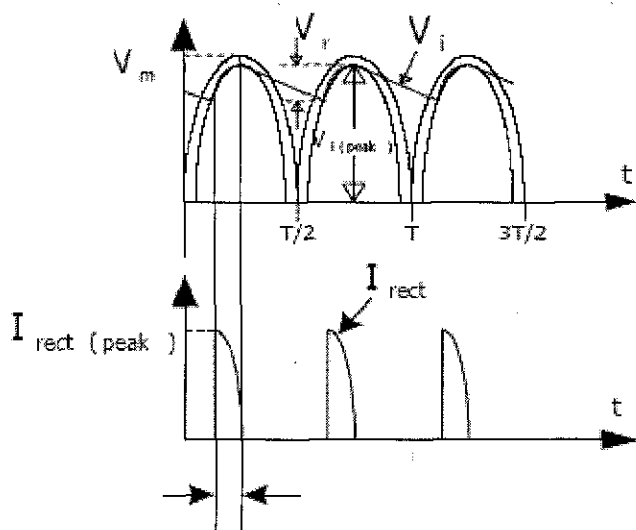


(b)

รูปที่ 2-5 วงจรกรองกระแส

จากวงจรทั้ง (a) และ (b) ในการเลือกค่า C จะต้องผ่านค่า C ที่สามารถเก็บประจุถึงแรงดัน $V_{i(\text{peak})}$ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$V_{i(\text{peak})} = V_m - V_{\text{rect}} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2-6 แสดงพารามิเตอร์ของวงจรกรงกระแส

จากภาพ V_m = แรงดันสูงสุดที่ขั้วขั้วขั้วของหม้อแปลง

V_{rect} = 1 หรือ 2 (แปรตามชนิดของวงจรเรียงกระแส)

V_r = แรงดันกระเพื่อม

เราสามารถหาขนาดของ V_r นี้ได้จากสมการพื้นฐาน คือ

$$V = \frac{1}{c} \int i_c dt$$

$$dv = \frac{i_c}{c} . dt$$

เมื่อ $dv = V_r$ = แรงดันกระเพื่อม

$$i_c = I = I_I = I_o + I_Q \approx I_o$$

และ dt = ช่วงเวลาเก็บประจุ

จากกราฟจะเห็นได้ว่า $dt \approx T/2$ เมื่อ $T = \frac{1}{f}$ ดังนั้น

$$V_r \approx \frac{I_o}{2f_c} \quad (2.8)$$

จากสมการที่(2.8) V_r = แรงดันกระเพื่อม

I_o = กระแสเอาต์พุต

f = 50 Hz (ในประเทศไทย)

วงจรเรียงกระแสจะจ่ายกระแส (I_{rect}) ในช่วงเวลานำกระแส (T_{cond}) เท่านั้นซึ่งค่าเวลา T_{cond} สามารถหาได้จากสมการ

$$T_{cond} = \frac{\theta}{360^\circ} \cdot T \quad (2.9)$$

เมื่อ θ คือ มุมนำกระแส (Conduction Angle, Degree) หาได้จากสมการ

$$\theta = \cos^{-1} \frac{V_{i(peak)} - V_r}{V_{i(peak)}} \quad (2.10)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$I_{rect(peak)} \approx \frac{360^\circ}{\theta} I_o$$

จากสมการที่ได้มาทั้งหมดเหล่านี้ทำให้เราสามารถกำหนดค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมได้จากสมการ

$$C \approx \frac{I_o}{V_r} \left(\frac{T}{2} - T_{cond} \right) \quad (2.11)$$

สำหรับค่าอัตราภาระทนแรงดันของตัวเก็บประจุ ควรใช้ระดับแรงดันในวงจรกรองกระแส ($V_{i(peak)}$) ไม่เกิน 75% ของอัตราทนแรงดันที่ระบุไว้บนตัวเก็บประจุนั้น

2.5 วงจรรักษาระดับแรงดัน [2]

วงจรรักษาระดับแรงดันมีหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้โหลด มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพโหลด โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม (Series Regulator) และวงจรรักษาระดับแรงดันแบบสับเปลี่ยน (Switching Regulator) (ในที่นี้จะสนใจเฉพาะวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมเท่านั้น)

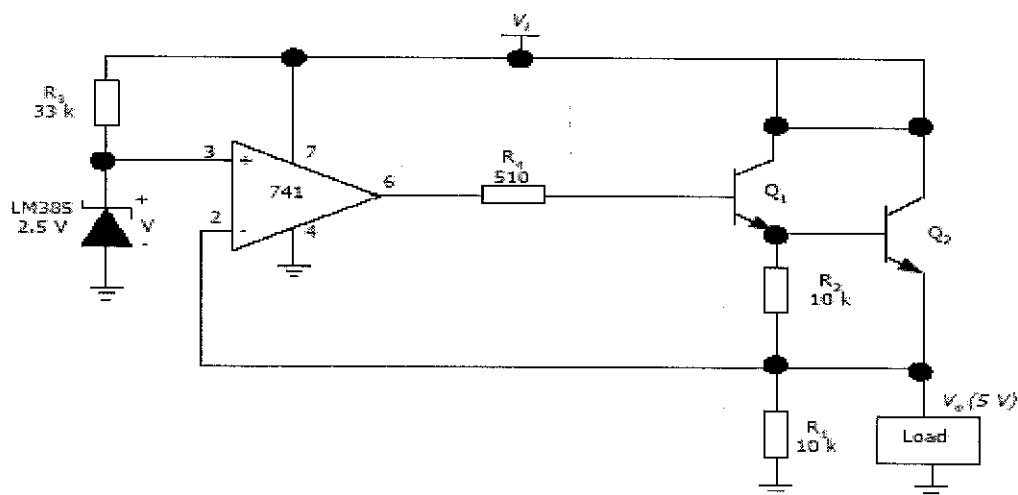
วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมจะควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ได้โดยใช้ตัวเปรียบเทียบแรงดันกับแรงดันเอาต์พุตที่ย้อนกลับมา ส่วนวงจรรักษาระดับแรงดันแบบสับเปลี่ยน

นั้นจะทำงานในลักษณะเปิด-ปิด จะผ่านวงจรกรองแอสแบบ LC (LC Filter) เพื่อกรองกระแสให้เรียบเป็นไฟตรง ส่วนการควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ทำได้โดยการปรับค่าเวลาในการเปิด (t_{on})

2.5.1 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

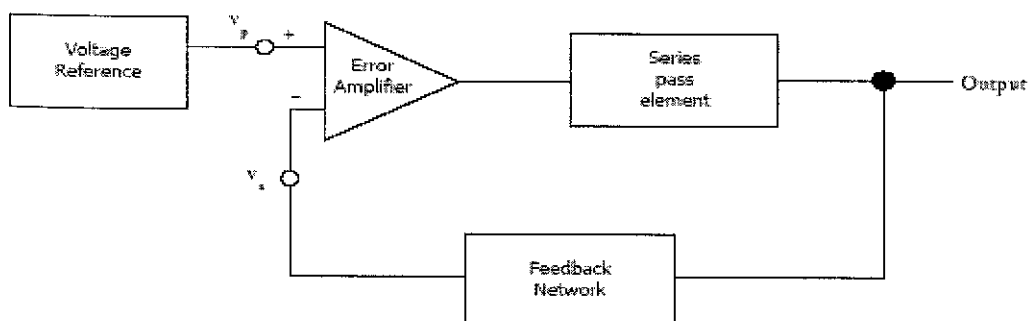
วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมเป็นหลักการรักษาระดับแรงดันของวงจรรวม (Integrated Circuit (IC)) ที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดัน โดยทั่วไปในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นไอซีตระกูล 78XX (ไอซีสามขารักษาระดับแรงดันบวกคงที่) หรือ 79XX (ไอซีสามขารักษาระดับแรงดันลบคงที่) ตลอดจนไอซีแบบปรับค่าแรงดันได้

2.5.2 ลักษณะทั่วไปของวงจรรักษาระดับแรงดัน



รูปที่ 2-7 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

จากวงจรรูปที่ 2-7 ด้านบนเป็นวงจรเบื้องต้นของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม เพื่อให้เข้าใจในการทำควมเข้าใจเราสามารถจำลองออกมาเป็นบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 2-8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

1. แรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) เป็นจุดเริ่มต้นซึ่งเป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิงขึ้นมาเพื่อใช้เปรียบเทียบกับแรงดันเอาต์พุตที่ป้อนกลับเข้ามายังตัวตรวจสอบความผิดพลาด (Error Amplifier) ซึ่งวงจรนี้ก็คือส่วนของ R_3 และ LM385 จะให้แรงดันอ้างอิงออกมา 2.5V และเป็นอิสระต่ออุณหภูมิ

2. ตัวตรวจสอบความผิดพลาดทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดัน V_p คือ V_{ref} และ V_n คือแรงดันที่ผ่านมาจากตัวป้อนกลับ (Feedback Network) ซึ่งได้รับมาจาก V_o โดยที่ V_o หาได้จากสมการ

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_{ref} \quad (2.12)$$

ส่วนเอาต์พุตของตัวตรวจสอบความผิดพลาดคือ $V_d = V_p - V_n$

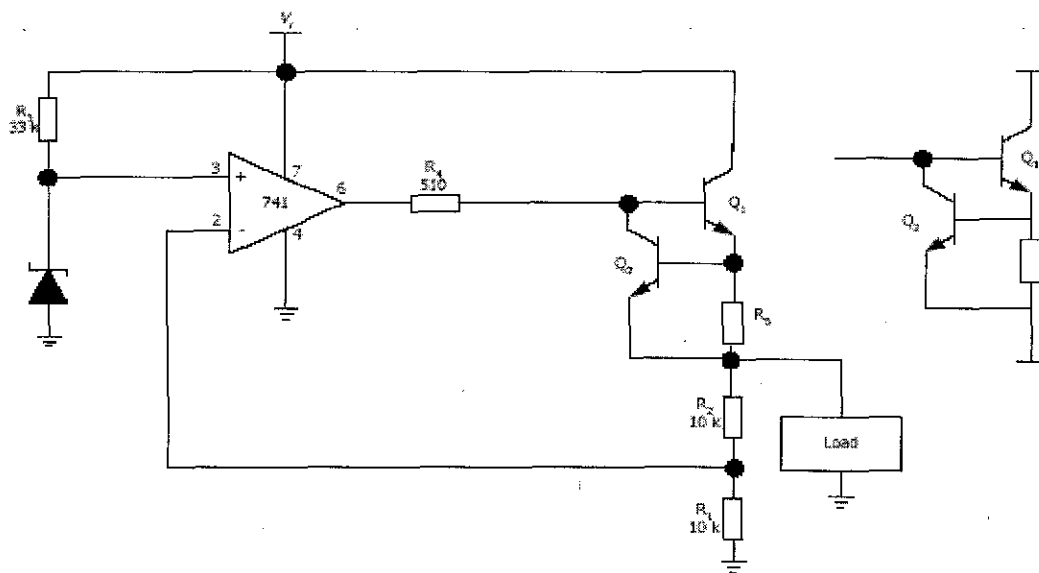
3. ตัวตรวจสอบความผิดพลาดส่วนนี้คือวงจรแบ่งแรงดัน R_1 และ R_2 จาก V_o ทำหน้าที่แบ่งแรงดันให้เหมาะสมในการเปรียบเทียบกับ V_{ref} โดยตัวตรวจสอบความผิดพลาด

4. ส่วนประกอบการส่งผ่านแบบอนุกรม (Series Pass Element) ส่วนนี้คือทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ดาร์ลิงตัน (Darlington) หลังภาคส่วนประกอบการส่งผ่านแบบขนานทำหน้าที่ขยายกระแสให้เพียงพอที่จ่ายให้โหลดได้ตามต้องการ

2.5.3 การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจร

วงจรรักษาระดับแรงดันเมื่อนำมาใช้งานจะต้องมีการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจรเองและโหลดที่นำมาต่อการป้องกันที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 วิธีดังนี้

2.5.3.1 การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับโหลด (Overload Protection) จุดประสงค์ของการป้องกันในส่วนนี้ ก็เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสไหลผ่านโหลดซึ่งต้องผ่านวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมมากเกินไป ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



รูปที่ 2-9 การแก้ไขกระแสผ่านโหลดมากเกินไป

วงจรนี้สามารถที่จะลัดวงจรฝั่งเอาต์พุตได้โดยที่วงจรไม่เสียหาย เนื่องจากในขณะลัดวงจรจะมีกระแส $I_{out(max)}$ ไหล ซึ่งเรากำหนดได้โดย R_{sc}

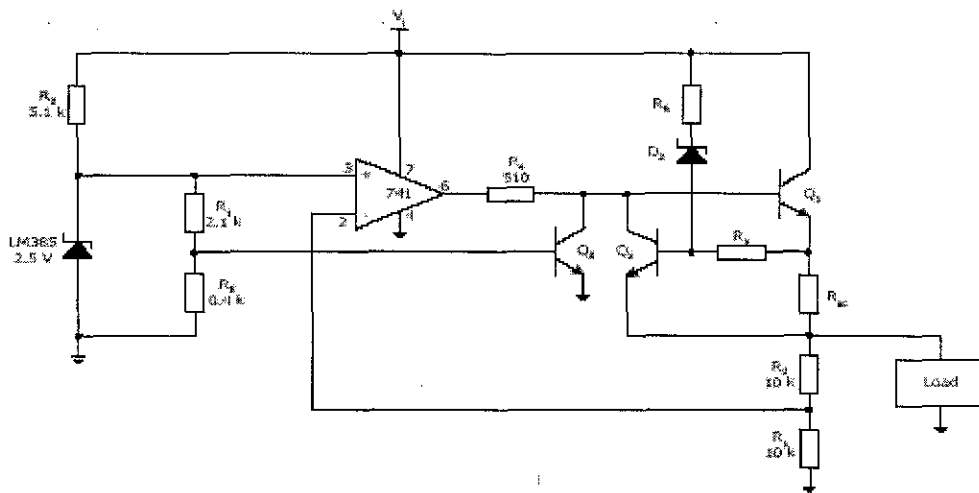
$$I_{out(max)} = \frac{V_{BE2(on)}}{R_{sc}} \quad (2.13)$$

ค่า $V_{BE2(on)}$ คือแรงดันที่ตกคร่อมขาเบสกับอีมิสเตอร์ในขณะทำงาน ซึ่งจะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0.6V–1V ตามเอกสารข้อมูลของทรานซิสเตอร์เบอร์นั้นระบุไว้ ดังนั้นจากวงจรดังกล่าวเราสามารถจำกัดกระแสวงจรรักษาระดับแรงดันโดยกำหนดกระแสที่ต้องการจะจำกัดได้โดยการเลือกค่า R_{sc}

2.5.3.2 การป้องกันแบบ SOA (SOA protection) SOA คือ Safe Operating Area หมายถึง บริเวณทำงานที่ปลอดภัยของการกระจายตัวของกำลังงาน (Power Dissipation) ในแหล่งจ่ายกำลังงานของทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้จ่ายกระแสในวงจรรักษาระดับแรงดัน

$$\text{Power Dissipation, } P_D = I_c V_{ce} \quad (2.14)$$

โดยทั่วไปค่า P_D จะระบุมาในเอกสารข้อมูลของทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์ด้วย ในขณะที่ใช้งานผลคูณระหว่าง I_c และ V_{ce} จะต้องไม่เกิน $P_{D(max)}$ อย่างเด็ดขาดเพราะทรานซิสเตอร์จะร้อนและเกิดความเสียหายได้



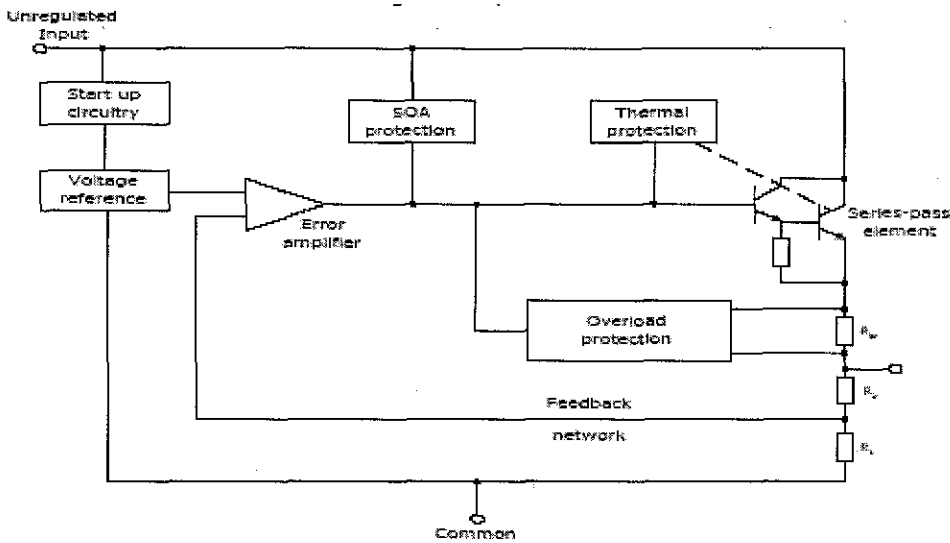
รูปที่ 2-10 วงจรในส่วนของการป้องกันแบบ SOA

จากวงจรรูปที่ 2-10 ส่วนที่ทำหน้าที่การป้องกันแบบ SOA คือ D_2 , R_5 และ R_6 เมื่อ V_1 ยังมีค่าปกติซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) D_2 ไม่สามารถที่จะทำงานได้ ดังนั้นวงจรในส่วนการป้องกันแบบ SOA จึงไม่มีผลต่อวงจรโดยรวม แต่เมื่อ V_1 มีค่าสูงมาก (V_{CEQ1} ก็จะมีค่าสูงขึ้นตาม) ซีเนอร์ไดโอด D_2 จะทำงาน ซึ่งส่งผลทำให้ Q_2 ทำงานด้วย จากนั้นชุดจำกัดกระแสจึงจะเริ่มทำงาน เพื่อลดกระแสลงเป็นการป้องกันไม่ให้ Q_1 เสียหาย

2.5.3.3 การปิดวงจรอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Thermal Shutdown) ในวงจรรักษาระดับแรงดันที่มีกำลังงานสูงจะเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้อุปกรณ์เสียหายได้ ดังนั้นจึงอาศัยหลักการคือลดการกระจายตัวของกำลังงานลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อลดการกระจายตัวของกำลังงานลงได้ อุณหภูมิก็จะลดลงเอง ในวงจรส่วนการปิดวงจรอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็คือ Q_3 , R_7 และ R_8 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 175°C Q_3 จะดึงกระแส I_B มาจาก Q_1 ทำให้การกระจายตัวของกำลังงานของ Q_1 ลดลง (เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น I_C ของ Q_3 จะสูงขึ้นตาม) ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ตัว Q_1 ลดลงตามไปด้วย

2.5.4 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรักษาระดับแรงดัน

เราสามารถสรุปโครงสร้างของวงจรรักษาระดับแรงดันได้ตามบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2-11 ข้างล่างนี้ ซึ่งเป็นโครงสร้างของไอซีรักษาระดับแรงดัน (IC Voltage Regulator) ที่มีอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2-11 บล็อกไดอะแกรมของโครงสร้างของไอซีรักษาระดับแรงดัน

2.5.5 ไอซีรักษาระดับแรงดัน

ไอซีรักษาระดับแรงดันเป็นที่นิยมนำมาใช้กันมาก เนื่องจากใช้งานง่ายและมีราคาไม่แพงมาก อีกทั้งยังมีวงจรป้องกันภายในตัวไอซี นอกจากนี้ยังมีหลายประเภทไว้ให้เลือกเพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน

2.5.5.1 ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบคงที่ชนิดสามขา (Three- terminal fixed voltage

Regulators)

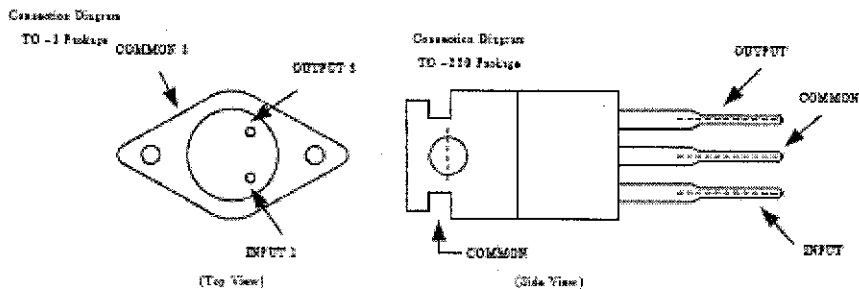
เป็นไอซีที่ให้แรงดันออกมากคงที่ (ตามเบอร์ไอซี) โดยประกอบด้วย 3 ขาคือ ขาอินพุต, ขาเอาต์พุตและขากาวด์ (Ground) ไอซีชนิดนี้สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

1. ไอซีรักษาระดับแรงดันบวกแบบคงที่ (Positive fixed Voltage Regulators) จะขึ้นต้นด้วย 78XX โดยที่ XX นี้ หมายถึงแรงดันไฟตรงที่ผ่านการรักษาระดับแรงดันแล้วเช่น 7805 ทำให้แรงดันไฟตรงออกมากที่ 5V

2. ไอซีรักษาระดับแรงดันลบแบบคงที่ (Negative fixed Voltage Regulators) จะขึ้นต้นด้วย 79XX โดยที่ XX นี้มีความหมาย คือ เป็นแรงดันไฟลบที่ผ่านการรักษาระดับแรงดันแล้วเช่นกัน

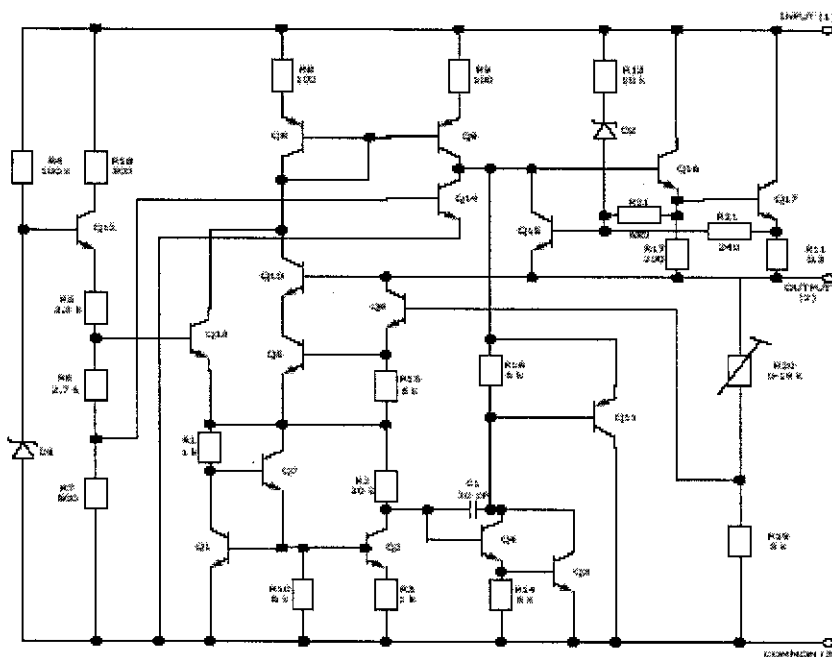
สำหรับรูปร่างของไอซีชนิดนี้จะมียู่ 2 แบบ ถ้าเป็นไอซีที่จ่ายกระแสได้ประมาณ 1A ตัวไอซีจะเป็นที่โอ-220 แพคเกจ (To -220 Package) แต่ถ้าจ่ายกระแสได้สูงกว่านั้น ตัวไอซีจะมีรูปร่างเป็นที่โอ-3 แพคเกจ (To-3 Package) ทั้ง 2 แบบนี้ ต้องคิดเผ้นระบายความร้อนให้กับตัวไอซีด้วย

ถ้าไอซีที่จ่ายกระแสได้ต่ำกว่า 1A ก็จะมีรูปร่างเล็กลงไปด้วย ซึ่งผู้ผลิตจะไม่มีเตรียมสำหรับยึดตัวไอซีเข้ากับแผ่นระบายความร้อน (Heat Sink) เนื่องจากเกิดความร้อนขึ้นไม่มากแต่ก็ไม่ค่อยนำมาใช้มากนักเนื่องจากจ่ายกระแสได้ต่ำ



รูปที่ 2-12 แสดงรูปร่างของไอซีชนิดรักษาระดับแรงดันลบแบบคงที่

2.5.5.2 โครงสร้างภายในของไอซี



รูปที่ 2-13 แสดงโครงสร้างภายในของไอซีชนิดรักษาระดับแรงดันลบแบบคงที่

โครงสร้างภายในตัวไอซีข้างต้นเป็นไอซีรักษาระดับแรงดันที่ให้อุปกรณ์ ซึ่งเป็นตระกูล 78XX (จ่ายกระแสได้ประมาณ 1A) ซึ่งจากโครงสร้างสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น ส่วน ๆ ดังนี้

1. ทรานซิสเตอร์ Q_1 ถึง Q_{11} ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบอ้างอิงสำหรับกรณีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสภาวะปกติ (แรงดันที่ขาของ Q_6 จะมีค่า 5V

2. R_{19} และ R_{20} เป็นตัวป้อนกลับ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต (V_o) สามารถหาได้จากสมการ

$$V_o = \left(1 + \frac{R_{20}}{R_{19}}\right) \times 5V \quad (2.15)$$

ดังนั้นในการผลิต ผู้ผลิตสามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้ โดยการเลือกค่า R_{20} ยกตัวอย่าง ถ้า R_{20} เท่ากับ 0 ไอซีตัวนี้ก็คือเบอร์ 7805 ถ้า $R_{20} = 10k\Omega$ ก็เป็นเบอร์ 7815

3. Q_{16} และ Q_{17} ทำหน้าที่ช่องทางการส่งผ่านแบบอนุกรม

4. R_{11} และ Q_{15} ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับโหลด

5. D_2 และ R_{12} ทำหน้าที่ป้องกันแบบ SOA

6. Q_{14} จะตรวจสอบอุณหภูมิเพื่อทำหน้าที่ปิดวงจรอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 150°C

7. R_4 และ D_1 ทำหน้าที่เป็นแรงดันอ้างอิงให้กับวงจร

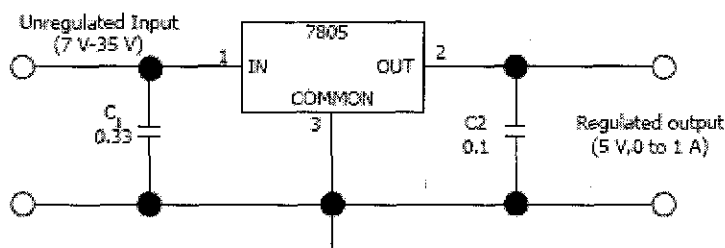
2.5.5.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของไอซี

ตาราง 2-1 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไอซีเบอร์ 7805

ค่าสูงสุดของไอซีเบอร์ 7805	
แรงดันอินพุต (5 V ถึง 18 V) 35 V	
(24 V)	40 V
การกระจายกำลังงานภายใน	ข้อจำกัด
ช่วงของอุณหภูมิ	- 65°C to + 150°C
การเชื่อมต่อการใช้งาน	
ช่วงของอุณหภูมิ	
$\mu A7800$	-55°C to + 150°C
$\mu A7800C$	0°C to + 125°C
C A7805C	
คุณลักษณะลักษณะทางไฟฟ้า	
$V_{2V} = 10V, I_{out} = 500mA, 0^\circ\text{C} \geq T, \leq 125^\circ\text{C}, C_{in} = 0.33\mu F, C_{out} = 0.1\mu F$	

คุณลักษณะ		เงื่อนไข		น้อย สุด	มาตรฐาน	มาก สุด	หน่วย
แรงดันเอาต์พุต		T _J =25°C		4.8	5.0	5.2	V
การปรับระดับฝั่ง อินพุท	T _J =25°C	7V ≤ V _{IN} ≤ 25V			3	100	mV
		8V ≤ V _{IN} ≤ 12V			1		mV
การปรับระดับฝั่งเอา เอาต์พุท		5mA ≤ I _{out} ≤ 1.5A			15		mV
		250mA ≤ I _{out} ≤ 750mA			5		mV
แรงดันเอาต์พุต		7V ≤ V _{IN} ≤ 20V 5mA ≤ I _{out} ≤ 1.0A P ≤ 25W		4.75		5.25	V
กระแสนิ่ง		T _J =25°C			4.2	8.0	mV
กระแส นิ่งที่ เปลี่ยนไป	อินพุท	7V ≤ V _{IN} ≤ 25V					mV
	เอาต์พุต	5mA ≤ I _{out} ≤ 1.0A					mV
สัญญาณรบกวนฝั่ง เอาต์พุต		T _J =25°C , 10Hz ≤ f ≤ 100Hz				40	μV
ระดับกระเพื่อมที่ ยอมรับได้		F=120Hz, 8V ≤ V _m ≤ 18V				78	dB
แรงดันครอปเอาต์		I _{OUT} = 1.0A , T _J =25°C				2.0	V
ค่าความต้านทาน เอาต์พุต		F=1kHz				17	mΩ
กระแสลัดวงจร		T _J =25°C, V _{IN} =35V				750	mA
กระแสสูงสุด		T _J =25°C				2.2	A
อุณหภูมิเฉลี่ยของ ประสิทธิภาพ แรงดันเอาต์พุต		I _{OUT} = 5mA, 0° ≤ T, ≤ 125°C				1.1	mV/°C

จากตารางคุณลักษณะทางไฟฟ้าของไอซี 7805 จะเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตออกมาคงที่ที่ 5V เราจะต้องจ่ายแรงดันอินพุตให้มากกว่า 5V แต่ก็มากกว่าได้ระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งดูจากตารางข้างบนแล้วไอซีเบอร์ 7805 จะจ่ายแรงดันอินพุตได้ไม่เกิน 35V และต้องจ่ายแรงดันอินพุตไม่ต่ำกว่า $V_{out} + V_{Dropout}$ ซึ่งจะได้ $5V + 2V = 7V$ ในเอกสารข้อมูลจะระบุให้เราต่อ C_2 ตัวกรองตรงอินพุตและเอาต์พุตด้วย



รูปที่ 2-14 แสดงวงจรตัวอย่างของการต่อ C_2 ลงในวงจร

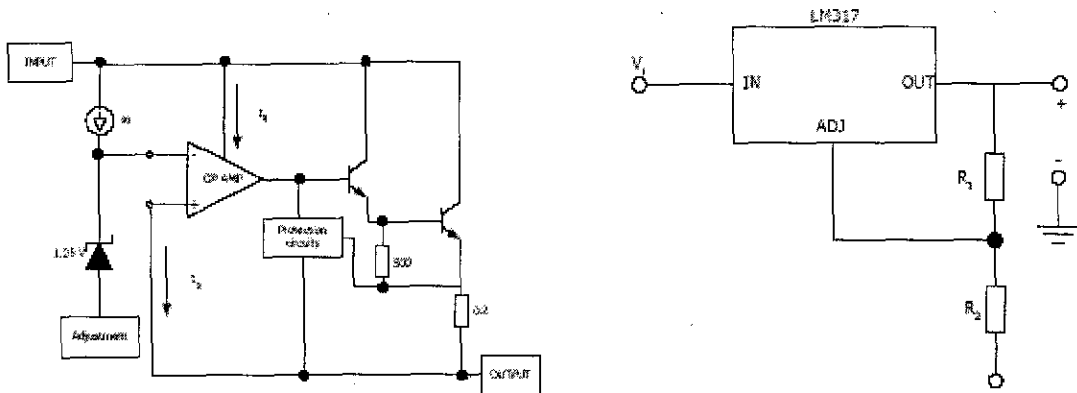
จากรูปที่ 2-14 C_1 จะทำหน้าที่ลดผลของการเหนี่ยวนำเบี่ยงเบนที่เกิดจากสายไฟ ซึ่งจะมีผลอย่างมาก ในกรณีที่วงจรรักษาระดับแรงดันอยู่ห่างจากวงจรเรียงกระแสมาก ส่วน C_2 ช่วยในการป้องกันการตอบสนองสัญญาณ (transient Response) ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบทันทีทันใด

2.6 ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สามขา (Three-terminal Adjustable Regulators)

[2]

ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สามขาจะมีจุดที่เตรียมไว้สำหรับต่อความต้านทานภายนอกเพื่อปรับแรงดันเอาต์พุต ซึ่งแรงดันเอาต์พุตนี้มีทั้งไอซีที่ให้ไฟบวก (Positive) และไอซีที่ให้ไฟลบ (Negative)

ตัวอย่างของไอซีประเภทนี้ที่เป็นไฟบวกคือไอซีเบอร์ LM317 ส่วนที่เป็นไฟลบคือไอซีเบอร์ LM337 ซึ่งทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดประมาณ 1.5A โดยโครงสร้างของไอซีเบอร์ LM317 แสดงในรูปข้างล่างจะมีลักษณะเหมือนกับไอซีเบอร์ LM337



รูปที่ 2-15 บล็อกไดอะแกรมแสดงถึงโครงสร้างภายในไอซีเบอร์ LM317

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2-15 แสดงถึงโครงสร้างภายในไอซีเบอร์ LM317 จะเห็นว่า ช่องว่างอ้างอิงมีค่า 1.5V และมีกระแสไหลผ่านขณะทำงาน 50A ซึ่งมาจากแหล่งจ่ายกระแสตรง ในส่วนนี้จะทำงานเป็นอิสระต่ออุณหภูมิ นอกจากนี้ไอซีเบอร์ LM317 ยังมีการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจรเช่นเดียวกับไอซีทั่วไป ซึ่งสามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุตได้จากบล็อกไดอะแกรมดังนี้

KVL; $V_o = V_{Adj} + 1.25V$ (เนื่องจาก $V_n = V_p$) และ

$V_o = V_{R1} + V_{R2}$ (เนื่องจาก $V_{Adj} = V_{R2}$) และ

$V_{R1} = 1.25V$ ดังนั้น

$$V_o = 1.25V + R_2 \left(50\mu A + \frac{1.25V}{R_1} \right) \quad (2.16)$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left(1 + \frac{50\mu A}{(1.25V)(R_1 \parallel R_2)} \right) 1.25V \quad (2.17)$$

จากสมการจะพบว่า V_o ขึ้นอยู่กับค่าของ R_1 และ R_2 แต่ในทางปฏิบัติเราสามารถลดรูปสมการให้สั้นลงได้ เนื่องจากเอกสารข้อมูลไอซีเบอร์ LM317 ผู้ผลิตบอกว่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่าน R_1 ควรอยู่ในค่าประมาณ 5 mA ดังนั้นค่าของ R_1 คือ

$$R_1 = \frac{1.25V}{5mA} = 250\Omega \quad (2.18)$$

ซึ่งจะให้ $\frac{50\mu A}{(1.25V)(R_1 // R_2)} = 1$ ดังนั้นจากสมการที่ (2.17) จะได้

$$V_o = (1 + \frac{R_2}{R_1})1.25V \quad (2.19)$$

ในการใช้งานจริงจะใช้ค่า R_1 เป็นความต้านทานที่มีค่าคงซึ่งมีค่าประมาณ 250Ω และ R_2 เป็นแรงดันปรับค่าได้ต่อไว้เพื่อปรับแรงดันเอาต์พุตสามารถปรับได้อยู่ในช่วง $1.25 \leq V_o \leq 35V$ โดยปกติแล้วนิยมใช้ค่า R_2 ประมาณ $5k\Omega$

ข้อควรระวัง

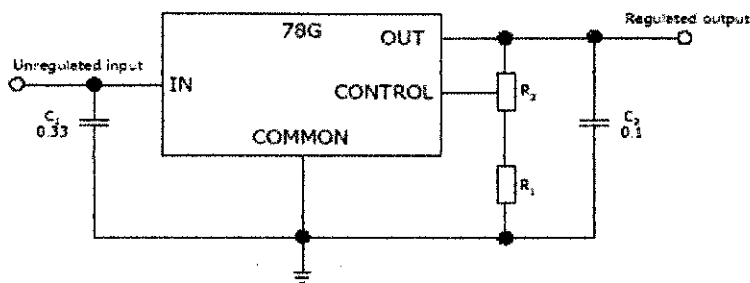
การจ่ายแรงดันอินพุตสำหรับไอซีเบอร์ LM317 และ ไอซีเบอร์ LM337 จะต้องจ่ายแรงดันอินพุตไม่มากกว่าแรงดันเอาต์พุต 40V เพราะจะทำให้ไอซีพังได้ดังแสดงในสมการที่ (2.20)

$$V_i \leq V_o + 40V \quad (2.20)$$

ไอซีเบอร์ LM317 สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1.5A ถ้าหากว่าเราต้องการกระแสที่สูงกว่านี้ก็อาจหันมาใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าเบอร์ LM338 ซึ่งสามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ถึง 5A หรือ LT1038 และ LM396 ซึ่งจ่ายกระแสได้สูงสุดถึง 10A แต่ในการออกแบบเพื่อใช้งานควรศึกษาถึงเอกสารข้อมูลของไอซีตัวนั้นก่อน ซึ่งก็จะมีหลักการที่คล้ายกันกับไอซีที่ได้กล่าวไปแล้ว

2.7 ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สี่ขา (Four-terminal Adjustable Regulators) [2]

ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สี่ขามีขาที่เพิ่มขึ้นมาคือขาควบคุม (Control) และมีลักษณะการต่อใช้งานดังวงจรรูปที่ 2-16 ซึ่งเป็นการยกตัวอย่างไอซีเบอร์ 780 (ไฟบวก) และ 790 (ไฟลบ)



รูปที่ 2-16 ลักษณะการต่อใช้งานของไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้สี่ขา

จากวงจรรูปที่ 2-16 V_{control} ของไอซีเบอร์ 780 มีค่า 5V และ ไอซีเบอร์ 790 มีค่า -2.23V ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิง ดังนั้นเราสามารถหาแรงดันเอาต์พุตได้จาก

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) 5V \quad (2.21)$$

และ

$$V_o = -\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) 2.23V \quad (2.22)$$

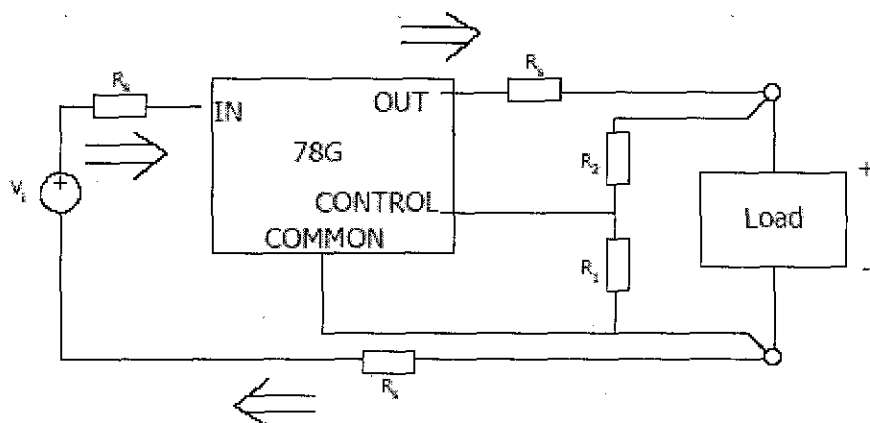
เพื่อจะลดผลกระทบของกระแสไบแอสทางด้านอินพุตที่ขาดควบคุมของไอซี จากเอกสารข้อมูลผู้ผลิตได้แนะนำว่าควรจะมีกระแสไหลในวงจรป้อนกลับประมาณ 1 mA ดังนั้นค่าของความต้านทานสามารถหาได้ดังนี้

$$R_1 = \frac{5V}{1mA} = 5k\Omega$$

$$R_1 = \frac{2.23V}{1mA} = 2.23k\Omega \approx 2.2k\Omega$$

แรงดันเอาต์พุตสามารถปรับได้โดยการปรับค่า R_2 ถ้าเป็นไอซีเบอร์ 780 สามารถปรับค่า V_o ได้ในช่วง $5V \leq V_o \leq 30V$ และถ้าเป็นเบอร์ 790 ก็จะปรับค่าได้ในช่วง $-2.3V \geq V_o - 30$

ในกรณีที่จำเป็นต้องวางวงจรรักษาระดับแรงดันกับโหลดไว้ห่างกันมากจะต้องเดินสายไฟยาวมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดแรงดันครอปเอาต์ในสายเนื่องมาจากค่าความต้านทานเบี่ยงเบนสามารถกำจัดผลของแรงดันครอปเอาต์ในสายได้โดยใช้วงจรสี่สายตรวจสอบระยะไกล ตามวงจรด้านล่างได้

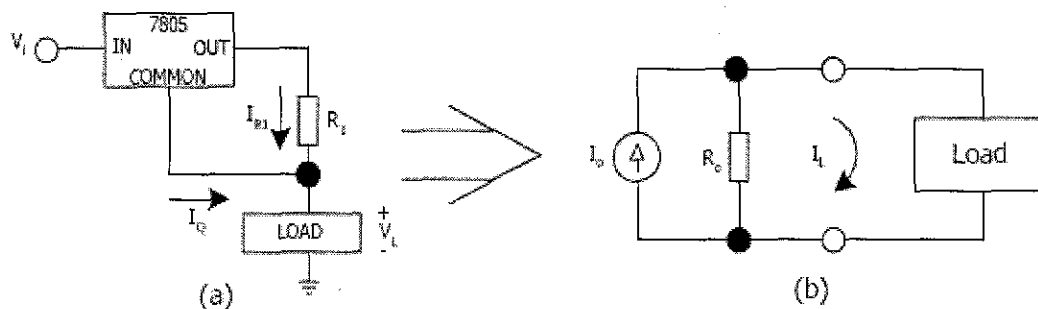


รูปที่ 2-17 แสดงวงจรที่สายตรวจสอบระยะไกล

2.8 การประยุกต์ใช้งานไอซี [2]

นอกจากเราจะใช้ไอซีในการรักษาระดับแรงดันแล้ว ยังมีเทคนิคในการประยุกต์ใช้งานไอซีได้อีกดังนี้

2.8.1 ประยุกต์เป็นแหล่งจ่ายกระแส



รูปที่ 2-18 แสดงการประยุกต์วงจรเป็นแหล่งจ่ายกระแส

การต่อไอซีรักษาระดับแรงดันตามวงจรรูปที่ 2-18 ก็จะได้แหล่งจ่ายกระแสมีขนาด

$$I_o = \frac{5V}{R_1} + I_Q \quad (2.23)$$

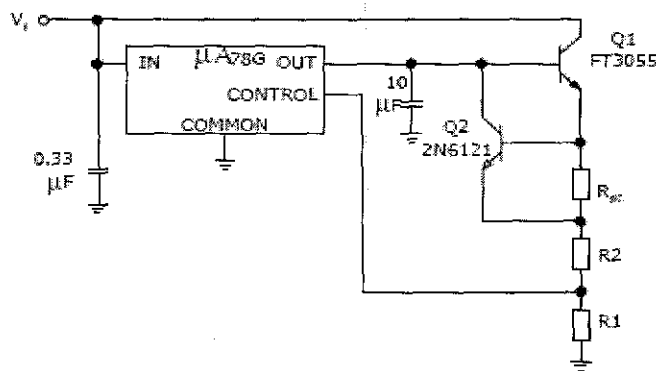
เมื่อ R_1 = ตัวต้านทานติดตั้งกระแส

I_Q = กระแสนิ่ง

ค่าของ I_Q สามารถดูได้จากเอกสารข้อมูลซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับไอซีเบอร์ 7805 มีค่า $I_Q = 4.2mA$

2.8.2 ปรับกระแสเอาต์พุตให้มีค่าเพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าจะมีไอซีที่สามารถจ่ายกระแสแก่โหลดได้สูงเช่น 10A ก็ตาม แต่ก็มีขีดจำกัดที่เกิดจากราคาและขนาดของตัวระบายความร้อน (Heat Sink) ในขณะเดียวกันก็สามารถที่จะเพิ่มขนาดการจ่ายกระแสให้เพียงพอกับความต้องการจากตัวควบคุมที่จ่ายกระแสต่างๆได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าไปในวงจร



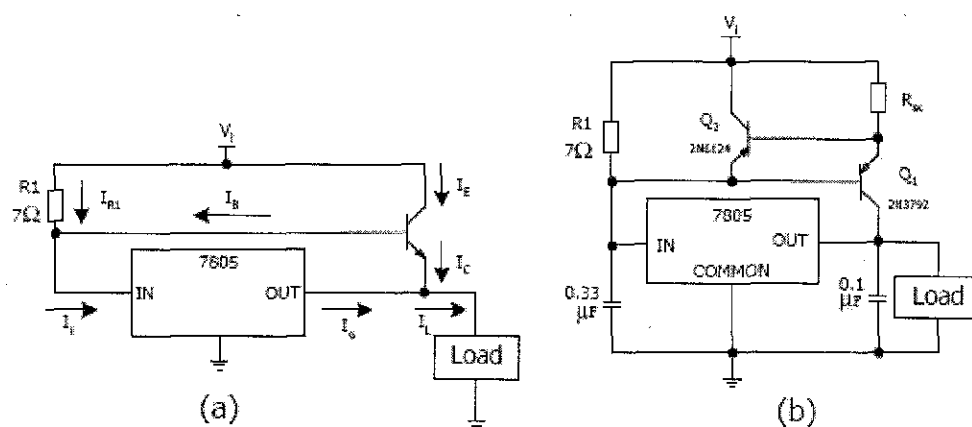
รูปที่ 2-19 แสดงวงจรการเพิ่มกระแสจากการเพิ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าไป

จากวงจรเป็นการบูท (Boost) หรือเพิ่มกระแสจากการเพิ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าไป วงจรนี้มีชุดการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับโหลดด้วยโดยที่กระแสสูงสุดของวงจรนี้จะหาได้จากสมการ

$$I_{E1(max)} = \frac{V_{be2(on)}}{R_{SC}} \quad (2.24)$$

วงจรนี้จะมีแรงดันครอปเอาต์อีกคือ $V_{BE1(on)} + V_{RSC}$ เนื่องจากมีไอซีเบอร์ 7805 ดังนั้นจึงมีแรงดันครอปเอาต์สูงสุดอยู่ 2.5V และสำหรับกรณีที่แย่ที่สุดสำหรับแรงดันครอปเอาต์คือ

$$2.5V + V_{BE1(on)} + V_{BE2(on)} = 2.5V + 1V + 0.8V = 4.3V$$



รูปที่ 2-20 การเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมสำหรับวงจรไอซีสามขา

สำหรับวงจรด้านบน (a) เป็นการเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมสำหรับวงจรไอซีที่ขาดจากวงจรจะได้

$$I_o + I_d = I_L, I_C = \beta I_B \text{ และ } I_B = I_i - I_{R1} \quad I_o = \frac{V_{EB(on)}}{R_1}; (I_i, I_D)$$

ดังนั้น

$$I_o + \beta(I_o - \frac{V_{EB(on)}}{R_1}) = I_L$$

$$I_L = (\beta + 1)I_o - \beta \frac{V_{EB1(on)}}{R_1}$$

ดังนั้น

$$I_{C1} \approx \frac{R_2}{R_1} \times I_o \quad (2.25)$$

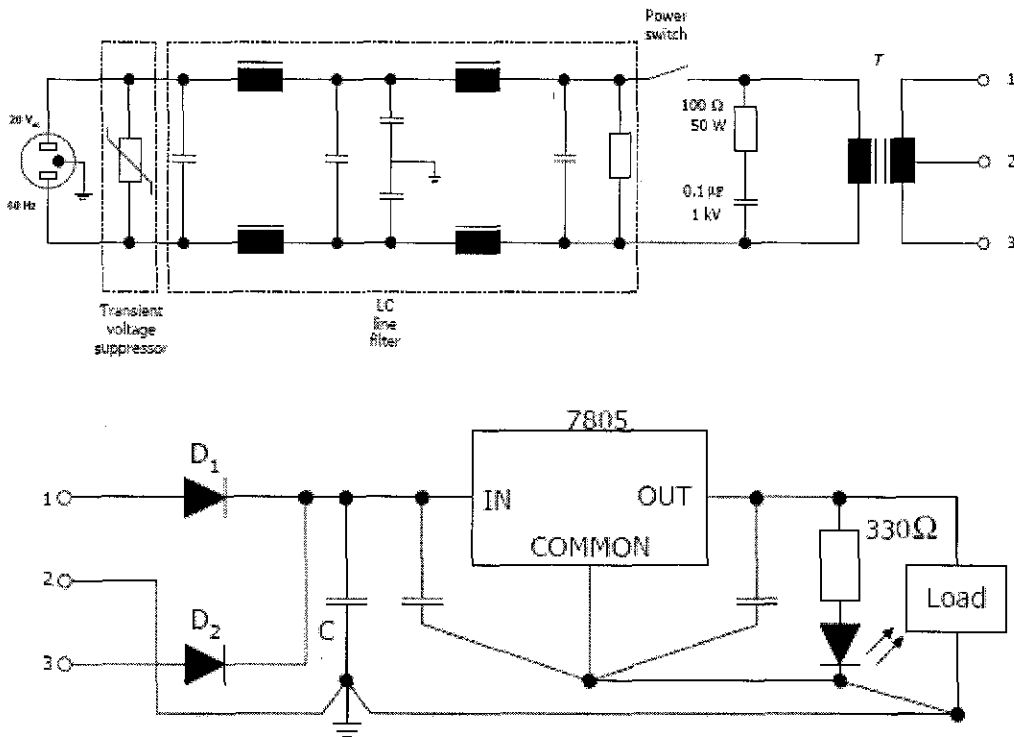
ถ้าดูจากวงจร $I_{C1} \approx 4I_o$ นั้นหมายความว่าถ้ามีกระแสไหลผ่านโหลด 1A จะเกิดกระแสไหลมาจากทรานซิสเตอร์ (I_{C1}) 0.8A และมีกระแสไหลมาจากไอซีเบอร์ 7805 (I_o) อีก 0.2A ดังนั้น ไอซีเบอร์ 7805 มี $I_{O(max)} = 1A$ ดังนั้นวงจรนี้สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 5A [$I_{C1(max)} = 4A$] และเพื่อเสถียรภาพในการทำงานควรติดตั้งตัวระบายความร้อนของทรานซิสเตอร์ให้มีขนาดใหญ่กว่าถึง 4 เท่าด้วย ในส่วนของ D_1 ก็ควรติดตั้งอยู่บนตัวระบายความร้อนเดียวกันกับทรานซิสเตอร์ ส่วน R_3 ต่อไว้เพื่อเป็นทางผ่านในการปล่อยกระแสในขาเบสของ Q_1 ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด

จากสถานะโหลดเต็ม (Full load) มาเป็นสถานะมีโหลดเล็กน้อย (Little Load) หรือสถานะไม่มีโหลด (No load) ในทันทีทันใด

สำหรับที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นตัวอย่างและการประยุกต์ใช้งานของไอซีซึ่งได้ยกตัวอย่างเป็นบางตัวเท่านั้น แต่ไอซีนอกเหนือจากนี้หรือที่ผลิตขึ้นมาใหม่ก็มีหลักการทำงานและการใช้งานเช่นเดียวกันนี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบใช้งานควรศึกษาถึงเอกสารข้อมูลของไอซีเบอร์นั้นเสียก่อน

2.9 ข้อควรปฏิบัติในการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า [3]

ต่อไปนี้เป็นกฎง่าย ๆ ในการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่ผู้ออกแบบควรพิจารณา



รูปที่ 2-21 แสดงการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่ผู้ออกแบบควรพิจารณา

1. ควรต่อฟิวส์ (Fuse) ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเพื่อป้องกันการลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ฟิวส์ที่ใช้ควรเป็นฟิวส์ชนิด Slow-blow เพื่อให้มีความต้านทานต่อกระแสจำนวนมากในกรณีที่เกิดการกระชากของไฟขณะเปิดแหล่งจ่าย ดังนั้นอัตราการทนกระแสของฟิวส์ที่นำมาใช้ควรมีค่าสูงกว่า 50% ของกระแส RMS รวมในด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

2. ใช้สายไฟชนิด Three-Wire พร้อมทั้งต่อสายกลางลงตัวถังของเครื่องเพื่อป้องกันกระแสรั่วไหล

3. ขณะที่ปิดสวิตช์ (switch) พลังงานที่สะสมอยู่ทางด้านปฏุมภูมิ สามารถทำให้เกิดการปล่อยพลังงานออกมา การต่อตัวลวดการสั้นสะท้อนตามวงจรด้านบนจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้
4. ควรใช้วงจรกรองกระแส LC เพื่อลดการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ ที่จะเกิดขึ้นจากกระแสสไปค์ในวงจรเรียงกระแส
5. ในแรงดันอินพุทอาจจะเกิดการสไปค์ของแรงดันสูงอันเนื่องมาจากการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆเช่นมอเตอร์ (motor) ได้ ดังนั้นจึงควรต่ออุปกรณ์ป้องกันแรงดันชั่วคราวตัวนี้เข้าไปด้วยซึ่งจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ โครงสร้างภายในจะเป็นซีเนอไรโดไดโอด 2 ตัว ต่อโดยหันขั้วไฟฟ้ามาชนกัน กระแสสไปค์จะไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้แทน

2.10 ตารางแสดงคุณลักษณะของไอซีรักษาระดับแรงดัน [3]

ตาราง2-2 วงจรรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันคงที่ (เรียงตามกระแสเอาต์พุต)

อุปกรณ์	แรงดันเอาต์พุต(V)	อุณหภูมิ	แรงดันอินพุท (มากสุด)(mV)	แรงดันเอาต์พุต (มากสุด)(mV)	แรงดัน กระแส ฟีดแบค(mV)	กระแส นิ่ง (mA)	ช่วงแรงดันอินพุท (V)	แรงดันดรอป ฟังก์เอาต์พุต(V))
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันบวกคงที่กระแส 100 mA								
78L26	2.6	C	100	50	43	5.5	4.8 to 35	2.2
78L05	5.0	C	150	60	41	5.5	7.2 to 35	2.2
78L62	6.2	C	175	80	40	5.5	8.4 to 35	2.2
78L82	8.2	C	175	80	39	5.5	10.4 to 35	2.2
78L09	9.0	C	188	90	38	5.5	11.2 to 35	2.2
78L12	12	C	250	100	37	6.0	14.2 to 35	2.2
78L15	15	C	300	150	34	6.0	17.2 to 35	2.2
78L18	18	C	300	170	33	6.0	20.2 to 40	2.2
78L24	24	C	300	200	31	6.0	26.2 to 40	2.2
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันบวกคงที่กระแส 500 mA								
78M05	5.0	M	50	50	62	6.0	8.0 to 35	2.5

78M05	5.0	C	100	100	62	6.0	7.5 to 35	2.5
78M06	6.0	M	60	60	59	6.0	9.0 to 35	2.5
78M06	6.0	C	100	120	59	6.0	8.5 to 35	2.5
78M08	8.0	M	60	80	56	6.0	11 to 35	2.5
78M08	8.0	C	100	160	56	6.0	10.5 to 35	2.5
78M12	12.0	M	60	120	55	6.0	15 to 35	2.5
78M15	15.0	M	60	150	54	6.0	18 to 35	2.5
78M15	15.0	C	100	300	54	6.0	17.5 to 35	2.5
78M20	20.0	M	60	200	53	6.0	23 to 40	2.5
78M20	20.0	C	100	400	53	6.0	22.5 to 40	2.5
78M24	24.0	M	60	240	50	6.0	27 to 40	2.5
78M24	24.0	C	100	480	50	6.0	26.5 to 40	2.5

ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันลบคงที่กระแส 500 mA

79M05	-5.0	M	50	100	54	2.0	-7.5 to -35	2.5
79M05	-5.0	C	50	100	54	2.0	-7.3 to -35	2.3
79M06	-6.0	M	60	120	54	2.0	-8.5 to -35	2.5
79M06	-6.0	C	60	120	54	2.0	-8.3 to -35	2.3
79M08	-8.0	M	80	160	54	2.0	-10.5 to -35	2.5
79M08	-8.0	C	80	160	54	2.0	-10.3 to -35	2.3
79M12	-12.0	M	80	240	54	3.0	-14.5 to -35	2.5
79M12	-12.0	C	80	240	54	3.0	-14.3 to -35	2.3
79M15	-15.0	M	80	240	54	3.0	-17.5 to -35	2.5
79M15	-15.0	C	80	240	54	3.0	-17.3 to -35	2.3
79M20	-20.0	M	80	300	54	3.5	-22.5 to -35	2.5
79M20	-20.0	C	80	300	54	3.5	-22.3 to -35	2.3
79M24	-24.0	M	80	300	54	3.5	-26.5 to -35	2.5
79M24	-24.0	C	80	300	54	3.5	-26.3 to -35	2.3

ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันลบคงที่กระแส 3.0 A

LM145	-5.0	M	15	75	66	2.0	-20	2.8
-------	------	---	----	----	----	-----	-----	-----

LM345	-5.0	C	25	100	66	3.0	-20	2.8
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันบวกคงที่กระแส 1.0 A								
7805	5.0	M	50	50	68	6.0	8.0 to 35	3.0
7805	5.0	C	100	100	62	8.0	7.5 to 35	2.5
LM309	5.0	C	50	100	-	10	7.0 to 35	2.0
LM309	5.0	M	50	100	-	10	7.0 to 35	2.0
7806	6.0	M	60	60	65	6.0	9.0 to 35	3.0
7806	6.0	C	120	120	59	8.0	8.5 to 35	2.5
7808	8.0	M	80	80	62	6.0	11 to 35	3.0
7808	8.0	C	160	160	56	8.0	10.5 to 35	2.5
7885	8.5	M	85	85	60	6.0	11.5 to 35	3.0
7885	8.5	C	170	170	64	8.0	11 to 35	2.5
7812	12	M	120	120	61	6.0	15 to 35	3.0
7812	12	C	240	240	55	8.0	14.5 to 35	2.5
7815	15	M	150	150	60	6.0	18 to 35	3.0
7815	15	C	300	300	54	8.0	17.5 to 35	2.5
7818	18	M	180	180	59	6.0	21 to 35	3.0
7818	18	C	360	360	53	8.0	20.5 to 35	2.5
7824	24	M	240	240	56	6.0	27 to 40	3.0
7824	24	C	480	480	50	8.0	26.5 to 40	2.5
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันลบคงที่กระแส 1.0 A								
7905	-5.0	M	50	50	54	2.0	-7.8 to 35	2.8
7905	-5.0	C	100	100	54	2.0	-7.3 to 35	2.3
7906	-6.0	M	60	60	54	2.0	-8.8 to 35	2.8
7906	-6.0	C	120	120	54	2.0	-8.3 to 35	2.3
7908	-8.0	M	80	80	54	2.0	-10.8 to 35	2.8
7908	-8.0	C	160	160	54	2.0	-10.2 to 35	2.3
7912	-12	M	120	120	54	3.0	-14.8 to 35	2.8
7912	-12	C	240	240	54	3.0	-14.3 to 35	2.3

7915	-15	M	150	150	-	3.0	-17.8 to 35	2.8
7915	-15	C	300	300	54	3.0	-17.3 to 35	2.3
7918	-18	M	180	180	54	3.0	-20.8 to 35	2.8
7918	-18	C	360	360	54	3.0	-20.3 to 35	2.3
7924	-24	M	240	240	54	3.0	-26.8 to 35	2.8
7924	-24	C	480	480	54	3.0	-26.3 to 35	2.3
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันบวกคงที่กระแส 2.0 A								
UA78C B	13.8	C	150	150	50	8.0	17 to 35	2.5
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันบวกคงที่กระแส 3.0 A								
LM123	5.0	M	25	100	-	20	7.5 to 20	2.5
LM233	5.0	M	25	100	-	20	7.5 to 20	2.5
LM323	5.0	C	25	100	-	20	7.5 to 20	2.5
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดจ่ายแรงดันบวกคงที่กระแส 5.0 A								
78H05	5.0	C, M	12	50	60	10	8.5 to 25	3.5
78H05 A	5.0	C, M	25	50	60	10	7.8 to 25	2.3
78H12	12	C	-	120	60	10	15.5 to 25	3.5
78H15	15	C	30	30	60	10	18.5 to 25	-

ตารางที่ 2-3 ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันได้ (เรียงตามแรงดันเอาต์พุต)

อุปกรณ์	กระแส เอาต์ พุต (mA)	ช่วง แรงดัน เอาต์ พุต(V)	อุณหภูมิ	แรง ดัน อิน พุต (%V)	แรงดัน เอาต์ พุต (%V)	แรงดัน กระแส เพื่ อม (dB)	กระแส นิ่ง (mA)	ช่วงแรง ดันอิน พุต (V)	แรง ดันคร อป เอาต์ (V)
ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันบวก									
LM105	12	4.5 to 30	M	0.06	1.0	1.0	2.0	8.5 to 50	3.0
LM305	12	4.5 to 30	C	0.06	1.0	1.0	2.0	8.5 to 40	3.0
LM376	25	5.0 to 37	C	0.1	0.1	1.0	2.5	9.0 to 40	3.0
LM305	45	4.5 to 40	C	0.06	0.4	-	2.0	8.5 to 50	3.0
A									
LM723	150	2.0 to 37	M	0.3	0.15	58	3.5	9.5 to 50	3.0
LM723	150	2.0 to 37	C	0.5	0.2	58	4.0	9.5 to 40	3.0
78MG	500	5.0 to 30	M	1.0	1.0		4.0	7.5 to 40	3.0
78MG	500	5.0 to 30	C	1.0	1.0	62	5.0	7.5 to 40	2.5
78G	1000	5.0 to 30	M	1.0	1.0	62	5.0	7.5 to 40	2.5
78G	1000	5.0 to 30	C	1.0	1.0	68	5.0	7.5 to 40	3.0
LM117	1500	1.2 to	M	0.01	0.1	62	10.0	3 to 40	1.5

		37							
LM317	1500	1.2 to 37	C	0.01	0.1	66	10.0	3 to 40	1.5
LM150	3000	1.2 to 33	M	0.01	0.3	66	5.0	35	2.2
LM350	3000	1.2 to 33	C	0.03	0.5	66	10.0	35	2.2
LM138	5000	1.2 to 32	M	0.01	0.3	60	5.0	35	2.6
LM338	5000	1.2 to 32	C	0.03	0.5	60	10.0	35	2.6
78HG	5000	5.2 to 24	C	1.0	1.0	60	10.0	8.5 to 25	3.5
LM196	10000	1.25 to 15	M	0.01	1.0	60	10.0	20	3.5
LM396	10000	1.25 to 15	C	0.02	1.0	60	10.0	20	2.75

ไอซีรักษาระดับแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันลบ

LM104	25	-0.15 to -40	M	0.1	5 mV	1.0	5.0	-8.0 to - 50	2.0
LM304	25	-0.035 to -30	C	0.1	5 mV	1.0	5.0	-8.0 to - 40	2.0
79MG	500	-2.25 to -30	M	1.0	1.0	50	2.5	-7.0 to - 30	2.5
79MG	500	-2.23 to -30	C	1.0	1.0	50	2.5	-7.0 to - 30	2.3
79G	1000	-2.23 to -30	M	1.0	2.0	50	2.0	-7.0 to - 40	2.8
79G	1000	-2.23 to -30	C	1.0	2.0	50	2.0	-7.0 to - 40	2.3

LM137	1500	-1.2 to -37	M	0.02	0.02	66	3.0	-40	1.8
LM137	1500	-1.2 to -37	C	0.04	0.04	66	6.0	-40	1.8
79GH	5000	-2.25 to -24	M, C	1.0	1.0	66	5.0	-7.0 to - 40	2.0

*ช่วงของอุณหภูมิในการใช้งาน:

C = ช่วงอุณหภูมิไอซีในท้องตลาด 0°C to $+125^{\circ}\text{C}$

M = ช่วงอุณหภูมิไอซีที่ขยายออกไปในทางทหาร -55°C to $+150^{\circ}\text{C}$

2.11 สรุป

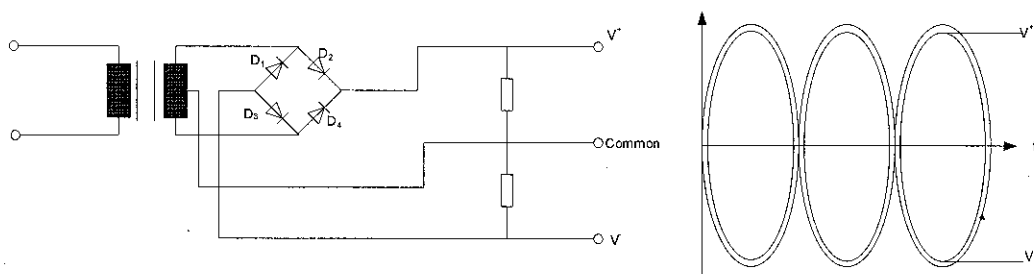
วงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้ามีองค์ประกอบที่สำคัญคือหม้อแปลง, วงจรเรียงกระแส, วงจรกรองกระแสและวงจรรักษาระดับแรงดัน โดยวงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากหม้อแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจะผ่านวงจรกรองกระแสเพื่อให้ไฟตรงมีความเรียบขึ้น ในที่สุดก็จะเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันเพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่และตรงตามความต้องการ

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าในการใช้งานจริง

3.1 การออกแบบวงจรเรียงกระแสแบบจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันคู่

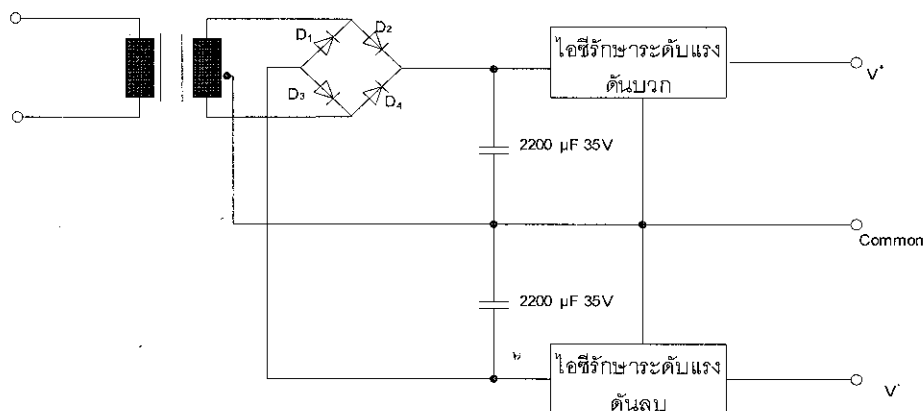
ในการออกแบบวงจรเรียงกระแสแบบจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันคู่จะใช้หม้อแปลงแรงดันขนาด 24V สำหรับวงจรที่ต้องการแรงดันเอาต์พุต 12V และหม้อแปลงแรงดันขนาด 6V สำหรับวงจรที่ต้องการแรงดันเอาต์พุต -5V โดยใช้วงจรเรียงกระแสชนิดวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่สามารถให้แรงดันไฟตรงออกมาในลักษณะเต็มลูกคลื่นดังรูปที่ 3-1



รูปที่3-1 แสดงลักษณะของวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันคู่

3.2 การออกแบบวงจรกรองกระแส

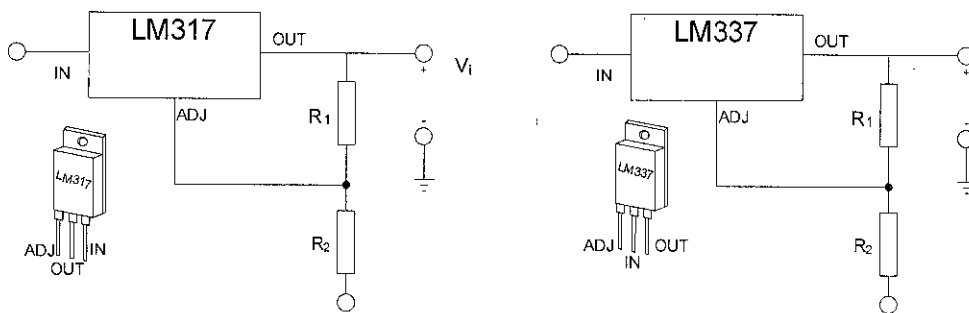
วงจรกรองกระแสจะทำหน้าที่ทำให้ไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสมีความเรียบขึ้น ซึ่งจะต่ออยู่ระหว่างวงจรเรียงกระแสและไอซีรักษาระดับแรงดัน โดยวงจรกรองกระแสที่นิยมและได้ผลดีจะเป็นวงจรกรองกระแสที่ใช้ตัวเก็บประจุ สำหรับค่าอัตราความถี่ของตัวเก็บประจุ ควรใช้ระดับแรงดันไม่เกิน 75% ของอัตราความถี่ที่ระบุไว้บนตัวเก็บประจุ นั้น ในวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันคู่นี้จะใช้ค่าตัวเก็บประจุมาตรฐานที่ $2200 \mu F$ 35V ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่3-2 แสดงการออกแบบวงจรกรองกระแส

3.3 การเลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดัน

ในการเลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันนอกจากจะคำนึงถึงแรงดันที่ต้องการ ยังต้องคำนึงกระแสที่จะจ่ายให้กับโหลดว่าเพียงพอกับความต้องการหรือไม่ ในวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่จะจ่ายให้เครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz ต้องการกระแสที่จะจ่ายให้กับโหลดอย่างน้อย 1A และต้องการแรงดันเอาต์พุต 12V และ -5V ดังนั้นจึงเลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้เบอร์ LM317 สำหรับแรงดันไฟบวกที่สามารถจ่ายแรงดันอยู่ระหว่าง $1.25 \leq V_o \leq 35V$ และไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้เบอร์ LM337 สำหรับแรงดันไฟลบที่สามารถจ่ายแรงดันอยู่ระหว่าง $-1.25 \leq V_o \leq -35V$ ซึ่งไอซีทั้งสองตัวสามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1.5A



รูปที่3-3 แสดงโครงสร้างไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM317 และ LM337

ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (R_2) โดยปกติแล้วนิยมใช้ค่าความต้านทาน $5k\Omega$ ส่วนตัวต้านทาน R_1 แล้วแต่ผู้ออกแบบจะเลือกใช้ สำหรับการออกแบบครั้งนี้จะเลือกใช้ค่าความต้านทาน 120Ω โดยต้องการแรงดันเอาต์พุต 12V

ตัวอย่างการวิเคราะห์การเลือกความต้านทาน

$$\text{จากสมการที่ 2.19} \quad V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) 1.25$$

เลือกค่าแรงดันที่ต้องการคือ 12V และค่าความต้านทานคงที่ $R_1 = 120\Omega$ จะได้

$$12 = \left(1 + \frac{R_2}{120}\right) 1.25$$

$$12 = \frac{150 + 1.25R_2}{120}$$

$$1440 = 150 + 1.25R_2$$

$$\underline{\underline{R_2 = 1032\Omega}}$$

จากการวิเคราะห์จะเห็นว่าตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้ (R_2) มีค่าความต้านทานอยู่ที่ 1032Ω สำหรับการออกแบบได้เลือกใช้ค่าความต้านทานแบบปรับค่าได้สูงสุดถึง $5k\Omega$ ซึ่งเพียงพอ กับความต้องการ สำหรับค่าแรงดัน $-5V$ มีหลักการพิจารณาเช่นเดียวกันดังนี้

$$\text{จากสมการที่ 2.19} \quad V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)1.25$$

เลือกค่าแรงดันที่ต้องคือ $-5V$ และค่าความต้านทานคงที่ $R_1 = 120\Omega$ จะได้

$$5 = \left(1 + \frac{R_2}{120}\right)1.25$$

$$5 = \left(\frac{120 + R_2}{120}\right)1.25$$

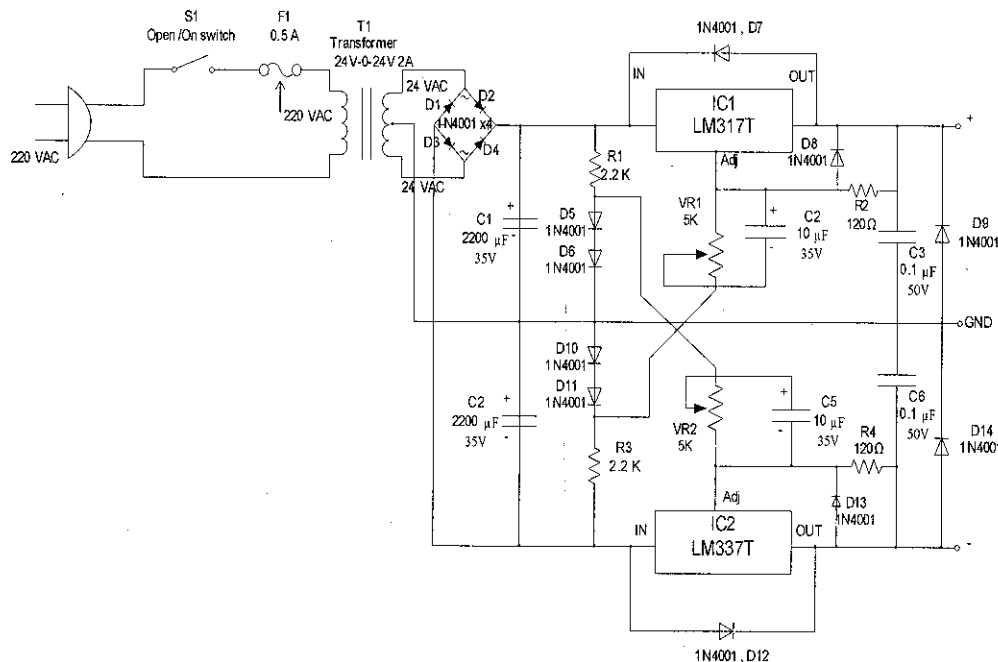
$$600 = 150 + 1.25R_2$$

$$\underline{\underline{R_2 = 360\Omega}}$$

ข้อควรระวังในการจ่ายแรงดันอินพุตสำหรับไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้เบอร์ LM317 และ LM337 จะต้องจ่ายแรงดันอินพุตไม่มากกว่าแรงดันเอาต์พุต $40V$

3.4 วงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้า 12V และ -5V

หลังจากออกแบบวงจรหลักของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเสร็จแล้ว รูปที่ 3-3 จะแสดงวงจรสมบูรณ์ของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า 12V และ -5V

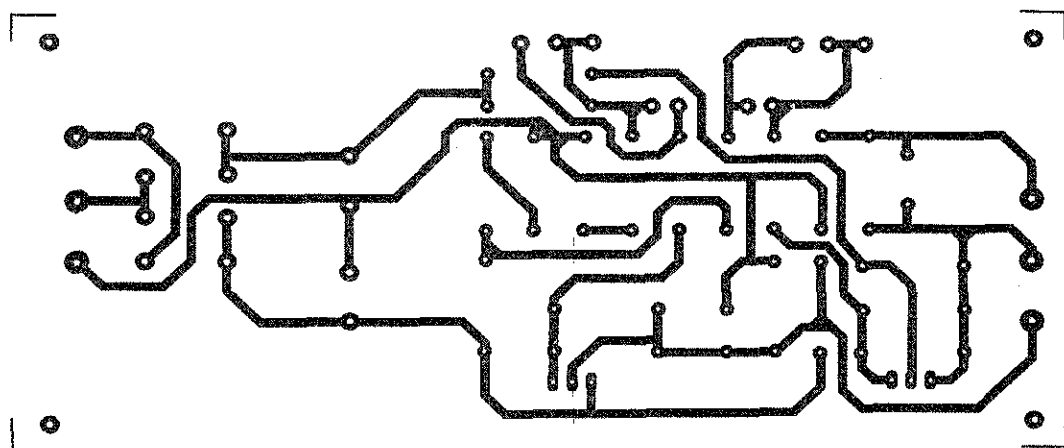


รูปที่3-4 แสดงวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้า +12V และ -5V

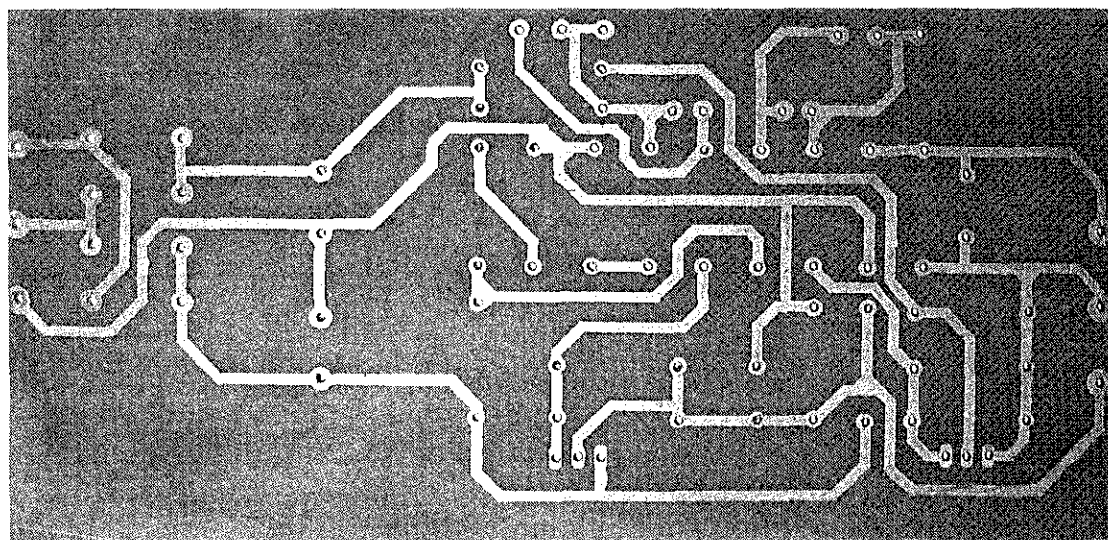
จากวงจรในรูปเป็นวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าปรับค่าได้ได้ตั้งแต่ $\pm 0-30$ โวลต์ ซึ่งในที่นี้ต้องการ +12 โวลต์และ -5 โวลต์ โดยไดโอด D_1-D_4 ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟสลับ 24V จากหม้อแปลงให้เป็นไฟตรงขนาด 33V ทั้งไฟบวกและไฟลบ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_4 ทำหน้าที่กรองไฟที่ผ่านจากไดโอดบริดจ์ให้เรียบ R_1 , D_5 และ D_6 ทำหน้าที่สร้างแรงดันอ้างอิงขนาด +1.25 โวลต์ ให้กับไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM337T เพื่อปรับให้ได้ถึง 0 โวลต์ ส่วน R_3 , D_{10} และ D_{11} ทำหน้าที่สร้างแรงดันอ้างอิงขนาด -1.25 โวลต์ให้กับไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM317T เพื่อให้สามารถปรับได้ถึง 0 โวลต์เช่นกัน ไดโอด D_7 , D_8 , D_{12} และ D_{13} ป้อนกันแรงดันย้อนกลับจากเอาต์พุตซึ่งอาจทำให้ไอซีรักษาระดับแรงดันเสียหายได้ ส่วน C_2 และ C_5 ต่อไว้เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการปรับค่าแรงดัน $VR1$ และ $VR2$ (ในที่นี้จะปรับเพื่อให้ได้แรงดันที่ต้องการครั้งเดียว) นอกจากนั้นยังทำให้แรงดันที่เอาต์พุตเรียบขึ้นด้วย

3.5 การออกแบบลายวงจรลงแผ่นปริ๊นท์

เมื่อได้วงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการออกแบบลายวงจรเพื่อให้ได้ลายวงจรที่เป็นแผ่นลายทองแดงซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้ดังรูปที่ 3-5 และรูปที่ 3-6



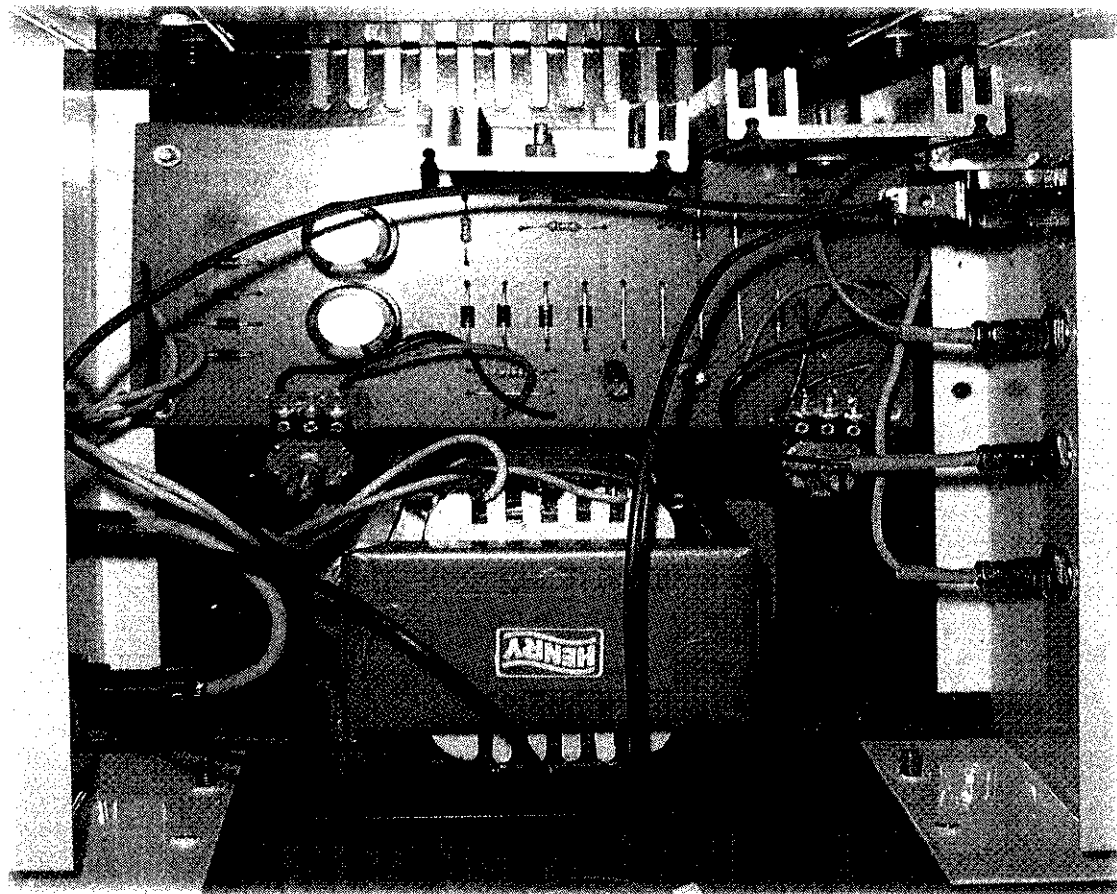
รูปที่3-5 การออกแบบลายวงจรของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า



รูปที่3-6 การออกแบบลายวงจรลงบนแผ่นปริ๊นท์

3.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบไว้มาประกอบลงบนแผ่นปริ้นท์แล้วเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกัน



รูปที่3-7 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3.7 สรุปผลการออกแบบ

การออกแบบวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าขนาด 12V และ -5V ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือหม้อแปลง, วงจรเรียงกระแส, วงจรกรองกระแส, ไอซีรักษาระดับแรงดัน นอกจากนี้จะคำนึงถึงขนาดแรงดันที่ต้องการ ยังต้องคำนึงถึงกระแสเอาต์พุตที่ต้องจ่ายให้กับโหลด ดังนั้นจึงต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะของวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้า และศึกษาคุณสมบัติของไอซีรักษาระดับแรงดันที่ต้องการใช้งานในการออกแบบ

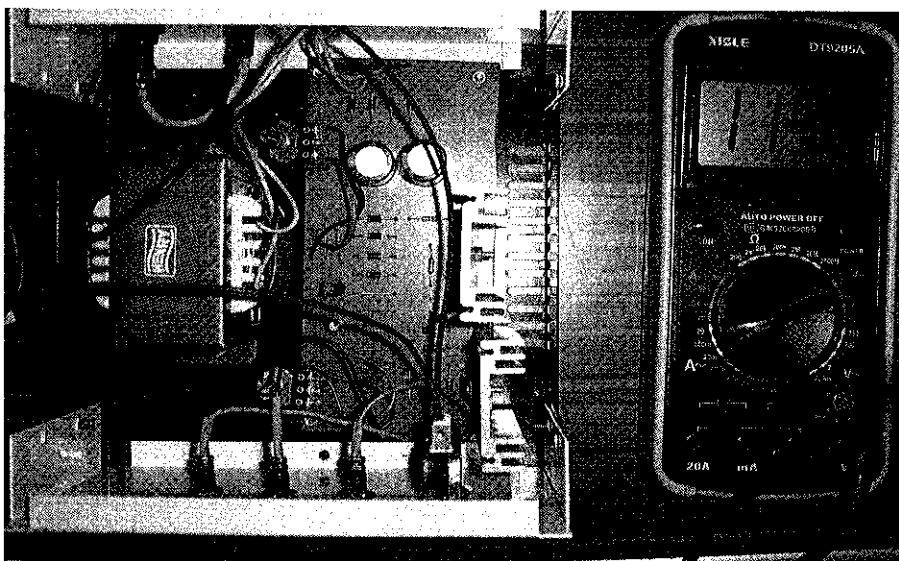
บทที่ 4

การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

4.1 การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า +12V และ -5V

เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตามที่ได้ออกแบบไว้ ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz เพื่อตรวจสอบสอบแรงดันเอาต์พุตทั้งแรงดันไฟบวกและแรงดันไฟลบและกระแสเอาต์พุตทั้งไฟบวกและไฟลบให้ตรงตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

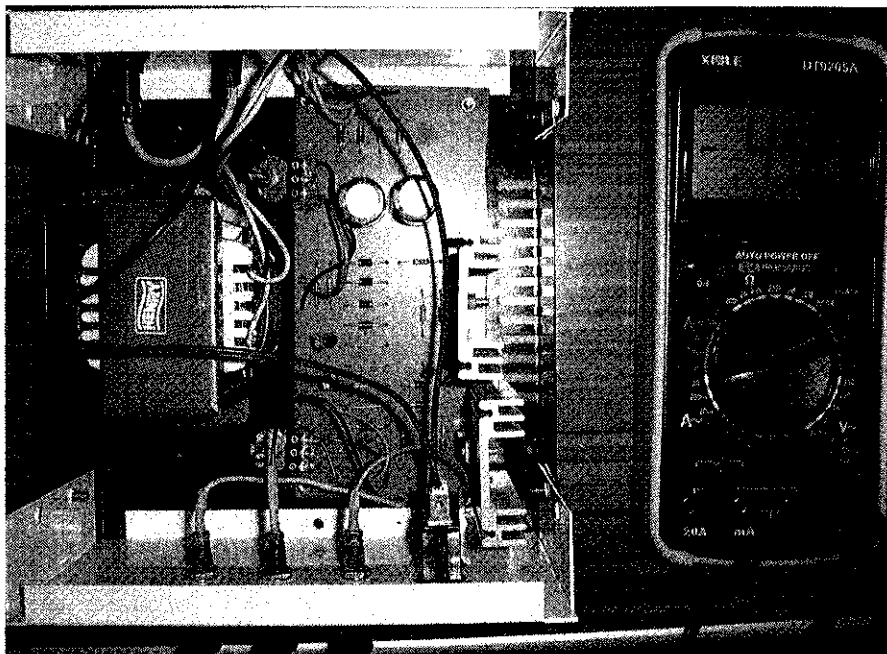
4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันบวก



รูปที่ 4-1 แสดงการทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันบวก

จากรูปที่ 4-1 แสดงถึงการทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันบวก จากค่าที่สามารถวัดได้จาก DMM สามารถวัดค่าแรงดันได้ 11.99V ซึ่งเพียงพอสำหรับแรงดันบวกที่ต้องจ่ายให้เครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz ที่ต้องการ 12V

4.1.2 การทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันลบ



รูปที่ 4-2 แสดงการทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันลบ

จากรูปที่ 4-2 แสดงถึงการทดสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันลบ จากค่าที่สามารถวัดได้จาก DMM สามารถวัดค่าแรงดันได้ $-4.95V$ ซึ่งเพียงพอสำหรับแรงดันบวกที่ต้องจ่ายให้เครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz ที่ต้องการ $-5V$

4.2 การทดสอบกระแสเอาต์พุต

สิ่งสำคัญในการเลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันอีกประการหนึ่งก็คือกระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับโหลดว่าเพียงพอหรือไม่ สำหรับไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM317 และไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM337 ที่เลือกใช้สามารถให้กระแสเอาต์พุตที่จะจ่ายให้กับโหลดสูงสุดได้ 1.5 A



รูปที่4-3 แสดงการทดสอบกระแสเอาต์พุต

จากรูปที่ 4-3 เมื่อนำความต้านทานขนาด 4Ω มาต่อเข้ากับวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด จากค่าที่วัดได้จาก DMM สามารถวัดกระแสเอาต์พุตได้ 1.16A ทั้งแรงดันบวกและแรงดันลบ แสดงให้เห็นว่ากระแสสูงสุดที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าสามารถจ่ายให้กับโหลดในทางปฏิบัติได้คือ 1.16A

4.2.1 การทดสอบกระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz

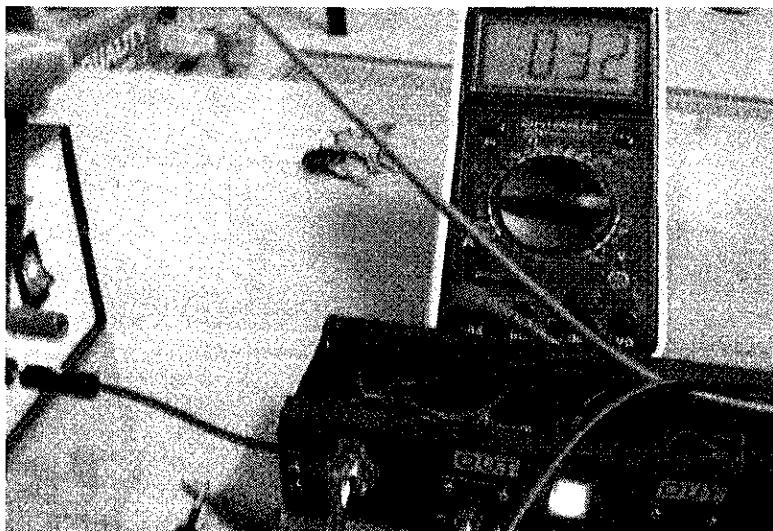
เมื่อทำการวัดกระแสเอาต์พุตมากที่สุดที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจะสามารถจ่ายให้กับโหลดได้ จึงทำการวัดกระแสเอาต์พุตที่ออกจากเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz โดยผลการทดสอบที่ได้มีผลดังนี้

Model Number: NB00454 (18-26.5 GHz)



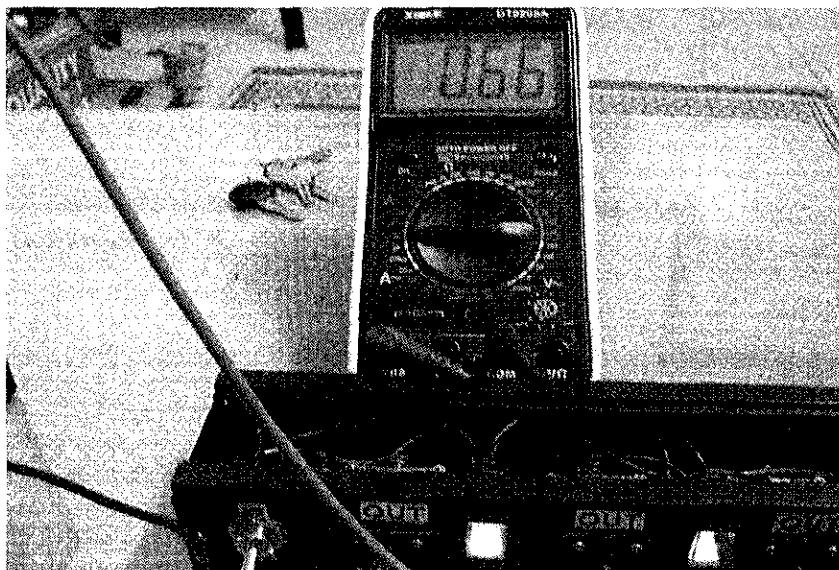
รูปที่4-4 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 18-26.5 GHz

Model Number: NB00457 (26-40 GHz)



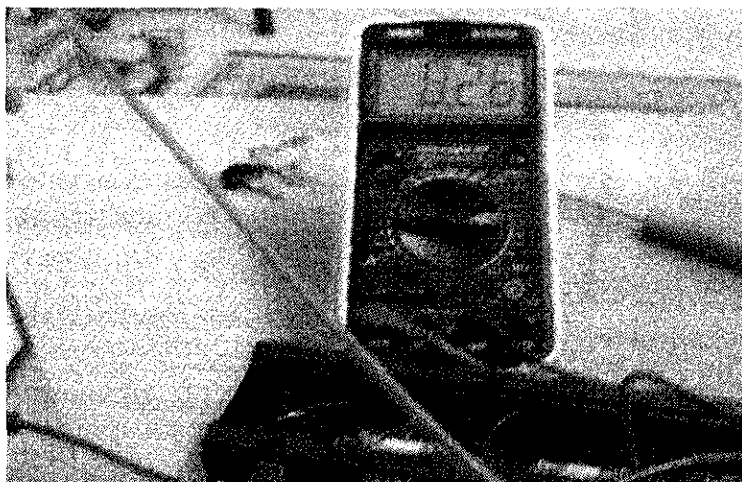
รูปที่4-5 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 26-40 GHz

**Model Number: NB00454 (18-26.5 GHz) และ Model Number: NB00457 (26-40 GHz) ตั้ง
กระแสพร้อมกัน**



รูปที่4-6 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 26-40 GHz, 18-26.5 GHz

Model Number: NB00441 (2-20 GHz)



รูปที่4-7 แสดงกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-20 GHz (แรงดันบวก)

4.2.2 สรุปผลการวัดค่ากระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่

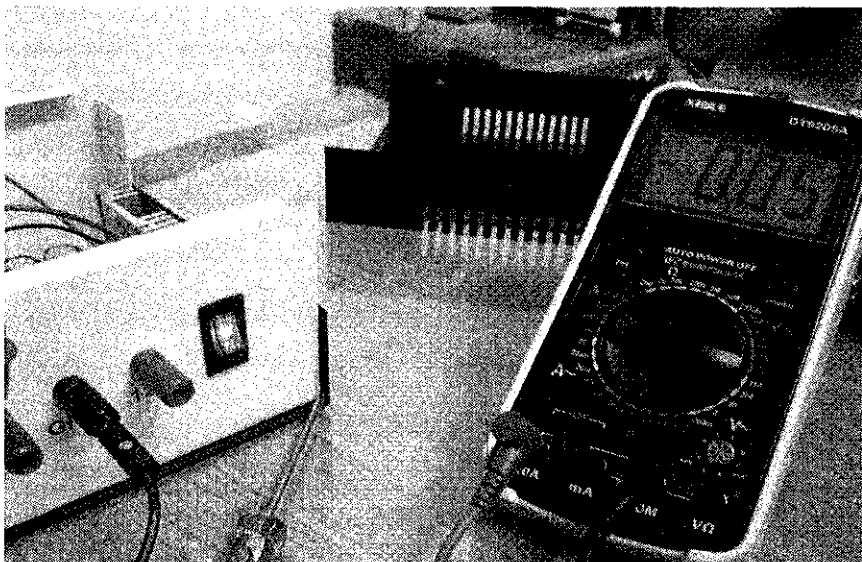
ตาราง4-1 ผลการวัดค่ากระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่

ความถี่	18-26.8 GHz	26-40 GHz	2-20 GHz
กระแสเอาต์พุต(บวก)	340 mA	320 mA	260 mA
กระแสเอาต์พุต(ลบ)	-	-	ไม่มี
เอกสารข้อมูล			
กระแสเอาต์พุต(บวก)	304 mA	290 mA	262 mA
กระแสเอาต์พุต(ลบ)	-	-	6 mA

เมื่อทำการทดสอบกระแสเอาต์พุตของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 18-26.5 GHz, 26-40 GHz สามารถวัดกระแสเอาต์พุตได้ใกล้เคียงกับเอกสารข้อมูล แต่สำหรับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-20 GHz นั้นสามารถวัดได้เพียงกระแสเอาต์พุตที่แรงดันบวก สำหรับแรงดันลบเมื่อทำการวัดไม่มีการดึงกระแสจากโหลด ดังนั้นจึงทำการวัดกระแสเอาต์พุตที่แรงดันลบเพื่อตรวจสอบว่ามีกระแสออกมาจากแหล่งจ่ายไฟลบจริงหรือไม่ โดยนำตัวต้านทานขนาด 100Ω มาทำการทดสอบ

4.2.3 การทดสอบกระแสเอาต์พุตที่แรงดันไฟลบ

ทำการนำตัวต้านทานขนาด 100Ω มาเป็นโหลดสมมุติเพื่อวัดกระแสเอาต์พุตที่ออกจากแรงดันลบแล้วเปรียบเทียบกับแรงดันบวกได้ผลดังนี้



รูปที่ 4-8 แสดงกระแสเอาต์พุตเมื่อจ่ายแรงดันไฟลบ



รูปที่ 4-9 แสดงกระแสเอาต์พุตเมื่อจ่ายแรงดันไฟบวก

ตาราง 4-2 สรุปผลการทดลองการทดสอบกระแสเอาต์พุตที่แรงดันไฟลบ

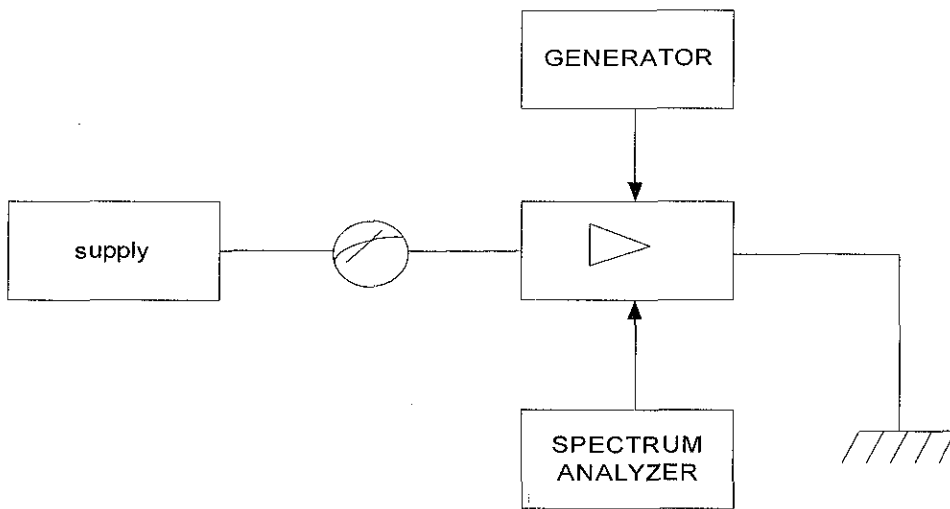
ค่าแรงดัน (V)	กระแสเอาต์พุต(A)
-5	-0.05
+12	0.12

จากตารางสรุปผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดันขนาด -5V แล้วทำการวัดกระแสเอาต์พุตจะได้ขนาดของกระแสเอาต์พุตเท่ากับ -0.05A หลังจากนั้นจึงป้อนแรงดันขนาด +12V วัดกระแสเอาต์พุตได้ขนาดของกระแสเท่ากับ 0.12A

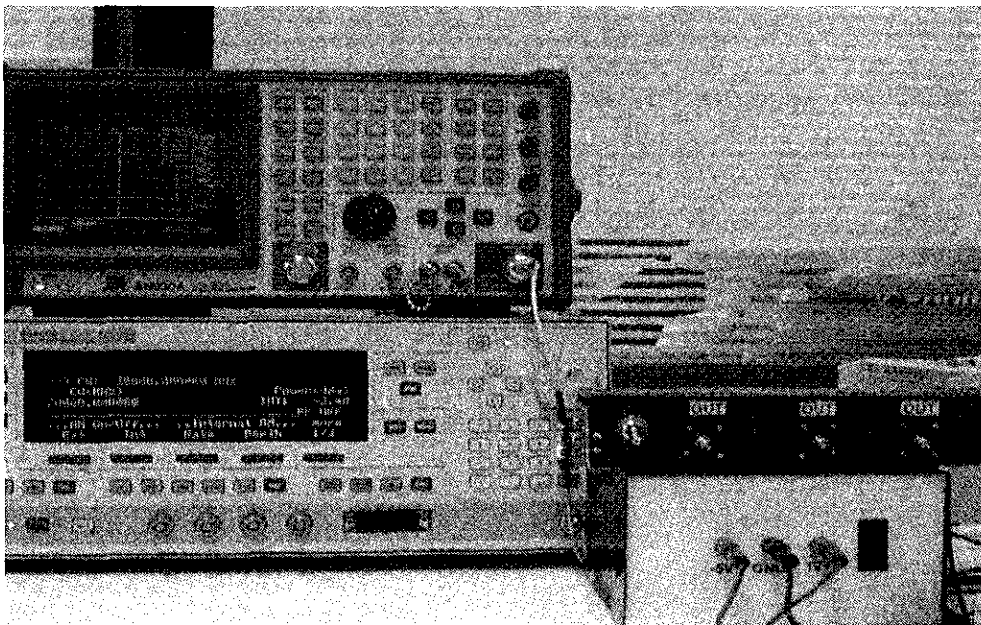
จากกฎของโอห์ม ($V=IR$) จะเห็นได้ว่าเมื่อจ่ายแรงดันขนาด 12V ต้องได้กระแสขนาด 0.12A และเมื่อจ่ายแรงดันขนาด -5V ต้องได้กระแสขนาด -0.05A ซึ่งก็เป็นจริงตามทฤษฎี ดังนั้นการที่ไม่สามารถวัดกระแสของไฟแรงดันที่ป้อนให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-20 GHz นั้นน่าจะเป็นเพราะตัวเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-20 GHz ได้รับความเสียหายขณะประกอบในกล่องอะลูมิเนียม

4.3 การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเข้ากับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2.40 GHz

เมื่อสร้างชุดอุปกรณ์แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าและเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz โดยจ่ายแรงดันให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ทั้งสามตัว แล้วต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้าที่ช่องอินพุทของเครื่องขยายสัญญาณความถี่ ส่วนทางด้านช่องเอาต์พุตจะต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณความถี่ (Network Analyzer)



รูปที่ 4-10 แสดงบล็อกไดอะแกรมในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่



รูปที่ 4-11 แสดงการวัดอัตราขยายของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-40 GHz

จากรูปที่ 4-11 เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่เข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณและเครื่องวิเคราะห์สัญญาณความถี่แล้วทำการวัดประสิทธิภาพที่ได้ จะได้ผลที่ได้ดังตารางข้างล่างนี้ ซึ่งเนื่องจากเครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถทำงานได้ถึงความถี่ 20 GHz เท่านั้นทำให้สามารถวัดประสิทธิภาพของเครื่องขยายสัญญาณความถี่ได้ไม่ครบทั้งสามตัว

กำหนดกำลังของอินพุต 1 dBm

ตาราง 4-3 หมายเลขเครื่อง: NB00441 (2-20 GHz)

ความถี่ (GHz)	2	5	10	15	20
กำลัง (dBm)	-3.5	-0.3	9.8	10.5	13

กำหนดกำลังของอินพุต -15 dBm

ตาราง 4-4 หมายเลขเครื่อง: NB00454 (18-26.5 GHz)

ความถี่ (GHz)	18	20
กำลัง (dBm)	5.4	4.6

4.4 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ทั้งสามตัว จะเห็นได้ว่าแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าสามารถจ่ายแรงดันให้กับเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ทั้งสามตัวได้ตามต้องการ ในส่วนของกระแสเอาต์พุตที่มาจากการป้อนไฟแรงดันบวกสามารถวัดขนาดของกระแสได้ใกล้เคียงกับเอกสารข้อมูล แต่ในส่วนของกระแสเอาต์พุตที่มาจากการป้อนแรงดันไฟลบของเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-20 GHz นั้นไม่สามารถวัดค่ากระแสได้ น่าจะเป็นเพราะตัวเครื่องขยายกำลังงานสัญญาณความถี่ 2-20 GHz ได้รับความเสียหายขณะประกอบในกล่องอะลูมิเนียม

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานโดยรวมทั้งหมด โดยอธิบายส่วนประกอบของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า และผลการทำงานโดยรวม รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อจำกัดในการทดลอง

5.1 ส่วนประกอบหลักของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

- 5.1.1 หม้อแปลง
- 5.1.2 วงจรเรียงกระแส
- 5.1.3 วงจรกรองกระแส
- 5.1.4 ไอซีรักษาระดับแรงดัน

5.2 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน

- 5.2.1 โครงการนี้เป็นโครงการแรกจึงขาดประสบการณ์การทำงาน ซึ่งทำให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างล่าช้า
- 5.2.2 เนื่องจากไอซีรักษาระดับแรงดันมีขนาดเล็กมาก อีกทั้งผู้ปฏิบัติการขาดความชำนาญในการบัดกรี จึงอาจทำให้ไอซีรักษาระดับแรงดันบางตัวเสียหาย
- 5.2.3 ขาดความเข้าใจในคุณสมบัติ และการนำไปใช้งานของอุปกรณ์บางตัว

5.3 ข้อจำกัดของโครงการ

- 5.3.1 ไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในการบัดกรีอุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้ไอซีขนาดเล็กเสียหายบ่อยซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองและเสียเวลา
- 5.3.2 ไอซีวงจรรักษาระดับแรงดันเป็นชนิดปรับค่าได้ ในการเคลื่อนย้ายอาจทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงได้ จึงควรวัดแรงดันเอาต์พุตก่อนใช้งานทุกครั้ง

5.4 ผลที่ได้จากโครงการ

- 5.4.1 ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของวงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้
- 5.4.2 ได้เรียนรู้วิธีการออกแบบลายวงจร และขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์
- 5.4.3 มีความเข้าใจหลักการทำงาน และวิธีการออกแบบจากการศึกษาข้อมูลของไอซีรักษา
ระดับแรงดันแต่ละตัว

บรรณานุกรม

- [1] <http://www.teched.kmitnb.ac.th/~msn>
- [2] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. , “เอกสารประกอบการสอนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์”
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [3] บทความและรายงานที่เคยตีพิมพ์ในวารสาร. , “โครงการอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 7”
SE-EDUCATION Public Company Limited: 1994

ภาคผนวก (ก)

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

This certifies that the below product(s) has (have) been processed, tested, and inspected in compliance of Nextec Microwave & RF quality, performance standards and specifications, and in accordance to the requirements as stated in the purchase order.

Customer Name: IRC Technologies Limited

Customer PO No: 01160

Nextec Work Order No: 438, 439, 440

Line Item	Part No.	Serial No. (Lot No.)	Customer Part No.	Quantity
1	NB00441	0206		1
2	NB00454	0204		1
3	NB00457	0202		1

Issued Date: 7/21/05

QA Manager (or Delegate):

P. L.

Model Number: NB00441 Serial Number: 0206

Page 1

Model Number: NB00441

Tested By: Yi Fu

Customer Part Number: NA

Date: June9, 2005

Page 1: Characteristics at 25 °C

Page 2: Small Signal Gain/Gain Flatness/Input Return Loss/Output Return Loss

CHARACTERISTICS AT 25 °C

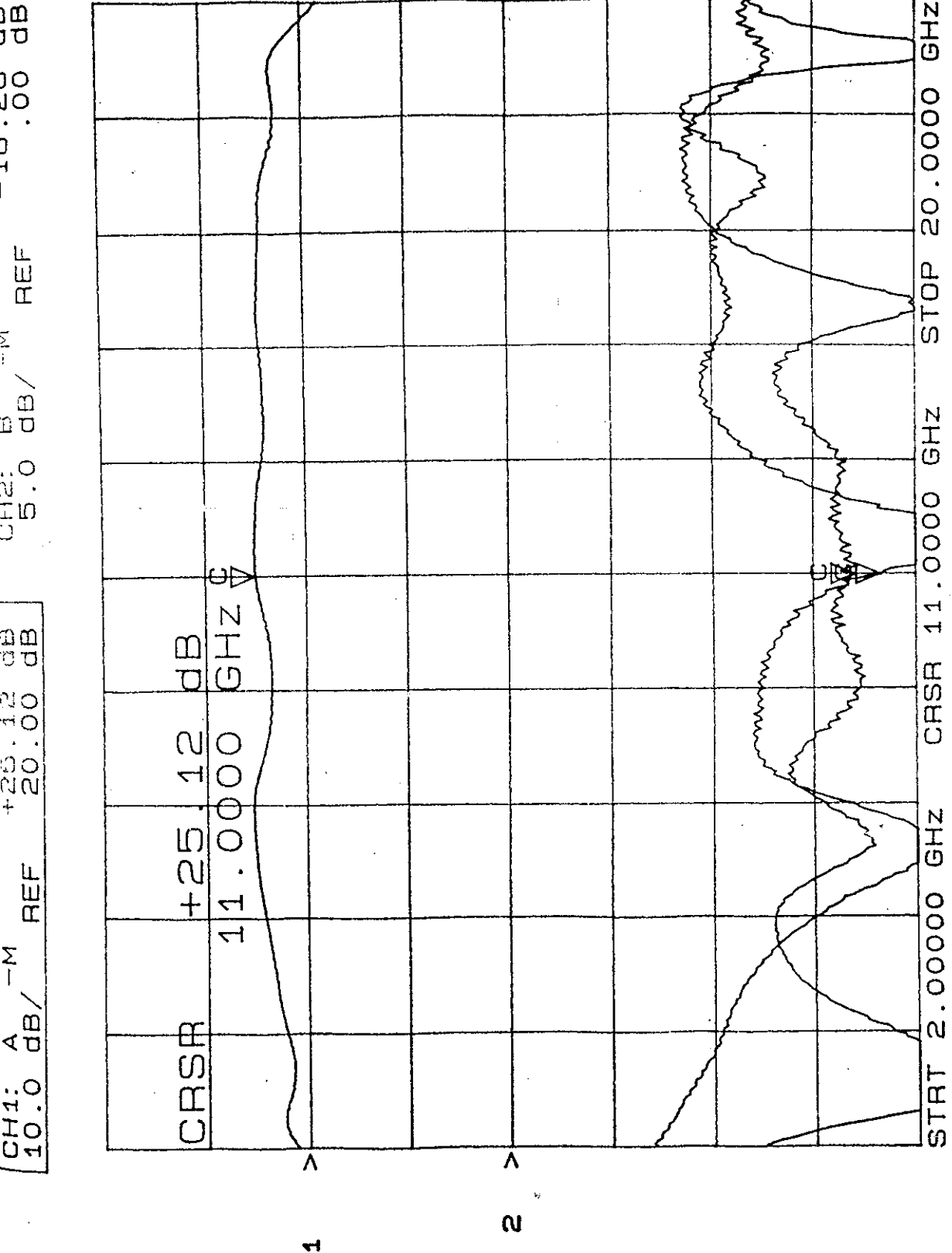
PARAMETER	FREQUENCY			UNITS
	2 GHz	11 GHz	20 GHz	
Small Signal Gain / Gain Flatness (17dB min) ¹	See p. 2			dB
Input Return Loss (-7.7dB max) ¹	See p. 2			dB
Output Return Loss (-7.7dB max) ¹	See p. 3			dB
Output Power at 1 dB Gain Compression (16dBm min)	21.2	20.5	17.1	dBm
Positive Supply Current (290mA max) ¹	262			mA
Negative Supply Current (8mA max) ¹	6			mA

Note 1: $V_P = +12\text{ V}$, $V_N = -5\text{ V}$, $P_{in} = -17\text{ dBm}$

Serial Number: 0206

SMALL SIGNAL GAIN, INPUT RETURN LOSS
OUTPUT RETURN LOSS

Page 2



Model Number: NB00454

Tested By: Yi Fu

Customer Part Number: NA

Date: June9, 2005

Page 1: Characteristics at 25 °C

Page 2: Small Signal Gain/Gain Flatness/Input Return Loss/Output Return Loss

CHARACTERISTICS AT 25 °C

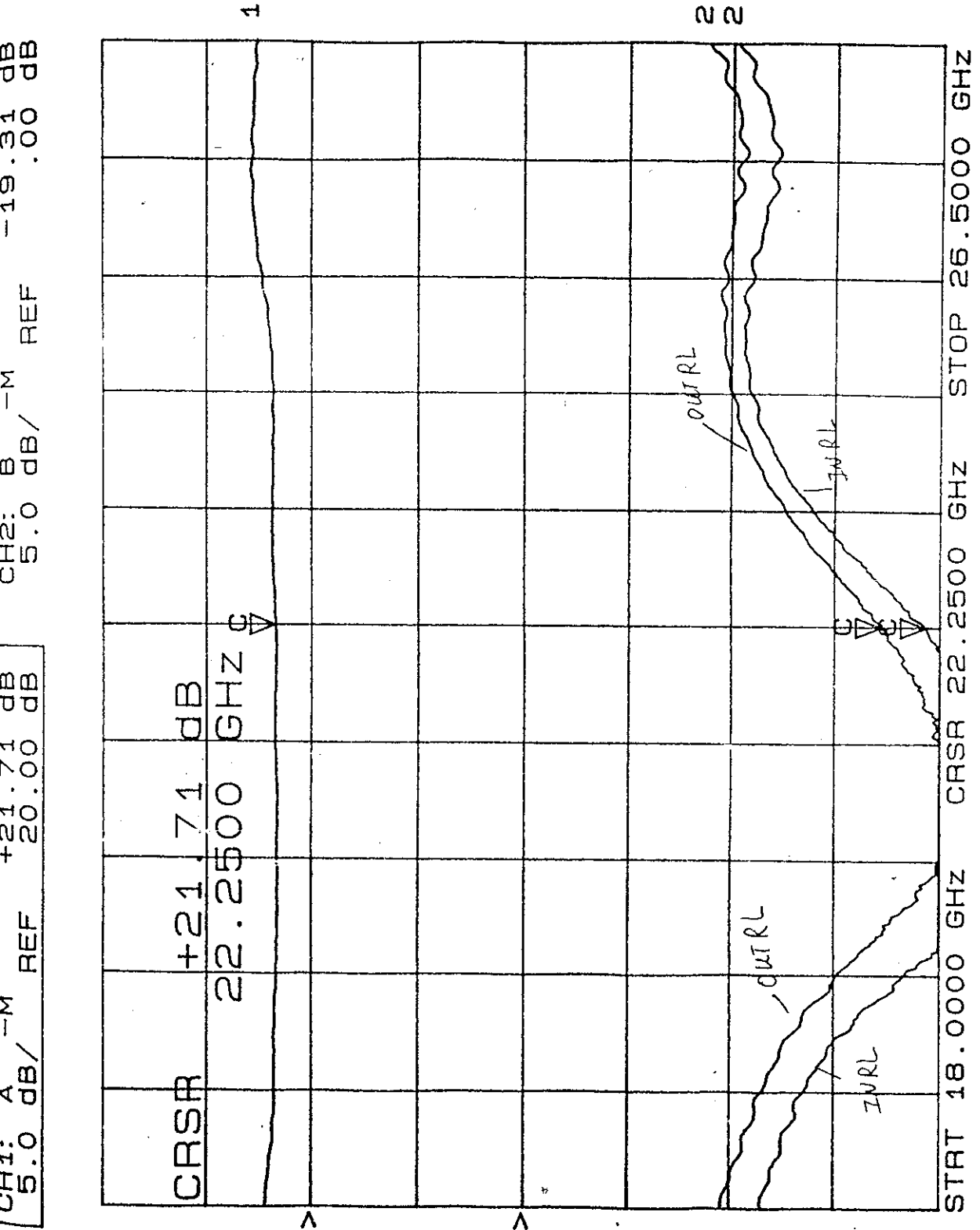
PARAMETER	FREQUENCY			UNITS
	18 GHz	22 GHz	26.5 GHz	
Small Signal Gain (18dBmin) ¹	See p. 2			dB
Gain Flatness (±2.5dB max) ¹	See p. 2			dB
Input Return Loss (-7.7dB max) ¹	See p. 2			dB
Output Return Loss (-7.7dB max) ¹	See p.2			dB
Output Power at 1 dB Gain Compression (16.5dBmin)	18.9	18.5	16.8	dBm
Positive Supply Current (350mA max) ¹	304			mA

Note12: Vdc = +12 V, P_{in} = -17 dBm

0454 Serial Number: 0204

SMALL SIGNAL GAIN, INPUT RETURN LOSS
OUTPUT RETURN LOSS

Page 2



Model Number: NB00457

Tested By: Yi Fu

Customer Part Number: NA

Date: July19, 2005

Page 1: Characteristics at 25 °C

Page 2: Small Signal Gain/Gain Flatness/Input Return Loss/ Output Return Loss

CHARACTERISTICS AT 25 °C

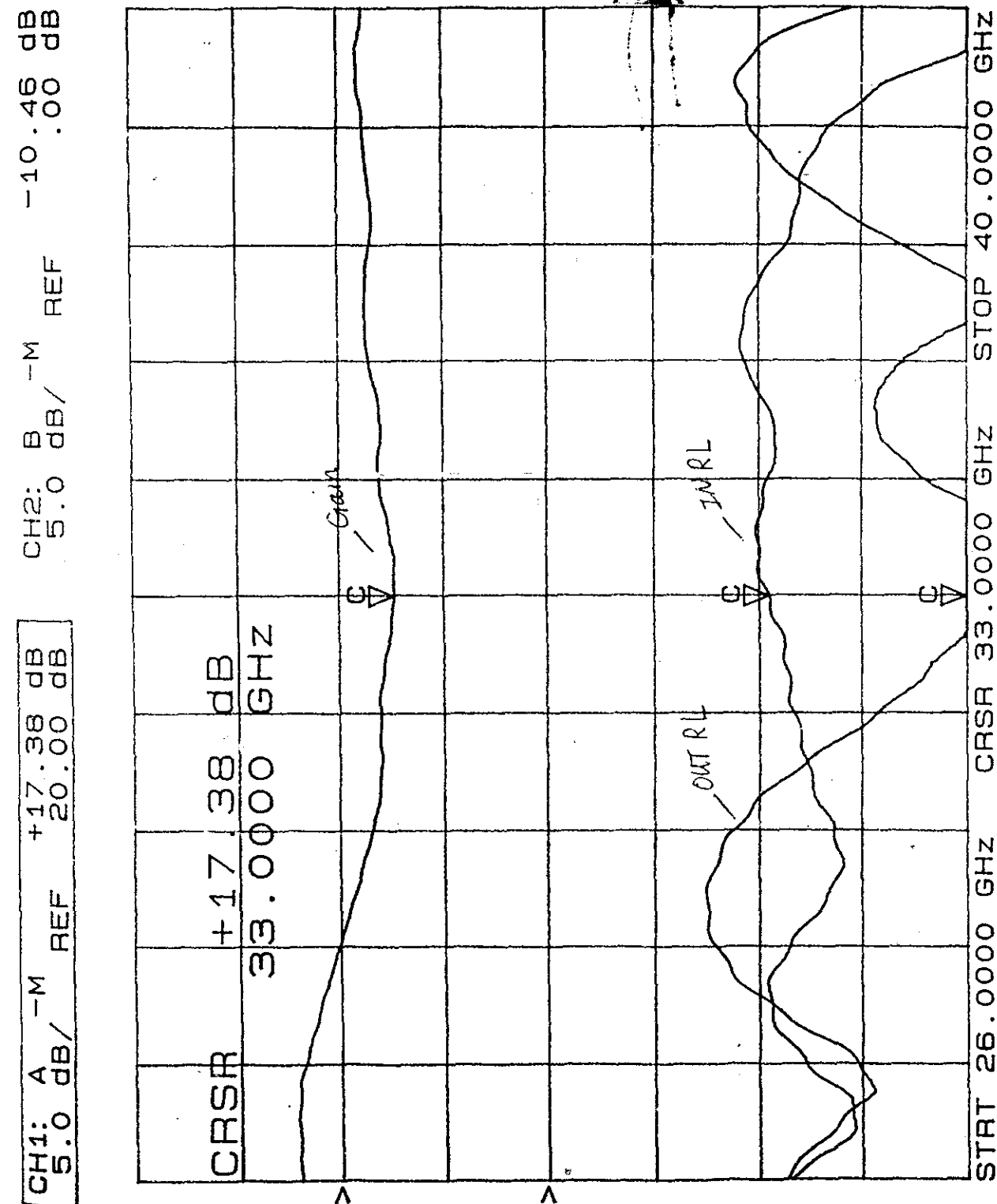
PARAMETER	FREQUENCY			UNITS
	26 GHz	33 GHz	40 GHz	
Small Signal Gain / Gain Flatness(16.5dBmin/±3dBmax) ¹	See p. 2			dB
Input Return Loss (7.4dB min) ¹	See p. 2			dB
Output Return Loss (7.4dB min) ¹	See p. 2			dB
Output Power at 1 dB Gain Compression (15.5dBm min)	21.0	21.6	20.0	dBm
DC Supply Current (350mA max) ¹	290			mA

Note 1: $V_p = +12\text{ V}$, $P_{in} = -17\text{ dBm}$

300457 Serial Number: 0202

SMALL SIGNAL GAIN, INPUT RETURN LOSS
OUTPUT RETURN LOSS

Page 2

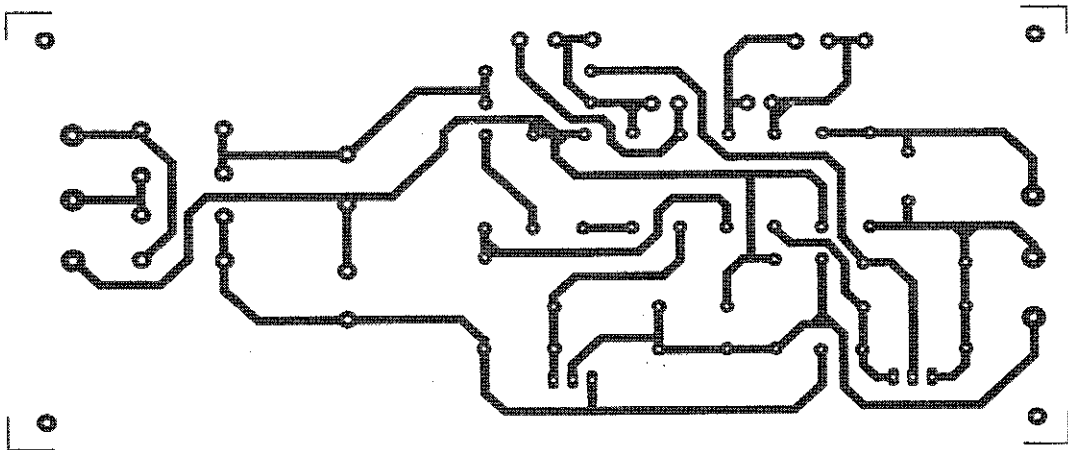


ภาคผนวก (ข)

อุปกรณ์ที่ใช้ และการลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นท์

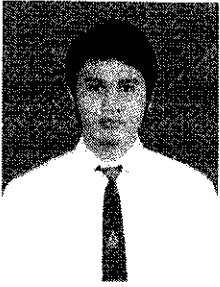
วงจรจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

- | | | | | | |
|------------------------------|--------|------------------|-----|----|-----|
| 1. ตัวเก็บประจุ | 2200 | μF | 35V | 2 | ตัว |
| 2. ตัวเก็บประจุ | 10 | μF | 35V | 2 | ตัว |
| 3. ตัวเก็บประจุ | 0.1 | μF | 50V | 2 | ตัว |
| 4. ไดโอดเบอร์ | 1N4001 | | | 14 | ตัว |
| 5. ตัวต้านทานปรับค่าได้ | 5 | $\text{k}\Omega$ | | 2 | ตัว |
| 6. ตัวต้านทาน | 2.2 | $\text{k}\Omega$ | | 2 | ตัว |
| 7. ตัวต้านทาน | 120 | Ω | | 2 | ตัว |
| 8. ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ | LM317 | | | 1 | ตัว |
| 9. ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ | LM337 | | | 1 | ตัว |
| 10. ฟิวส์ขนาด | 0.5 | A | | 1 | ตัว |



รูปลายวงจรของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

ประวัติผู้จัดทำ



นายสุริยะ ดวงศรี เกิดเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลด่าน อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนโพธิ์สามพันพิทยาคาร อำเภอหนองปรือ จังหวัดชลบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนัก วิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

