วิเคราะห์การทำงานวงจรเครื่องขยายเสียง 50 วัตต์ โอซีแอล (OCL) โดยใช้โปรแกรมพีซิม (PSIM)

OPERATION ANALYZE AMPLIFIER 50 WATT BY USING PROGRAM PSIM

นายใจภักดี ท้าวขว้าง รหัส 47380283

นางสาวอัจฉราภรณ์ อุ่นสกุล รหัส 47380344

5 เม.ย. 2553

1499341x

ปร.

99390

2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2550

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	วิเคราะห์การทำงานเครื่องขยายเสียง 50 วัตต์ โอซีแอล(OCL) โดยใช้โปรแกรมพีซิม (PSIM)		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายใจภักดี	ท้าวขว้าง	รหัส 47380283
	นางสาวอัจฉราภรณ์	อุ่นสกุล	รหัส 47380344
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อัครพันธ์	วงศ์กังแห	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชัยรัตน์	พินทอง	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ	แย้มเม่น	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2550		

....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

....ประธานกรรมการ
(ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

....กรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น)

หัวข้อโครงงาน	วิเคราะห์การทำงานเครื่องขยายเสียง 50 วัตต์ โอซีแอล(OCL) โดยใช้โปรแกรมพีซิม (PSIM)
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายใจภักดี ท้าวขว้าง รหัส 47380283
	นางสาวอัจฉราภรณ์ อุ่นสกุล รหัส 47380344
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชัยรัตน์ พินทอง
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างและวิเคราะห์การทำงานเครื่องขยายเสียง 50 วัตต์ แบบโอซีแอว (OCL) มาจากคำว่า “Output Capacitor Less” หลักการคือนำแรงดันไฟฟ้าบวกและแรงดันไฟฟ้าลบมาหักล้างกันเพื่อทำให้แรงดันดีซีที่ตกคร่อมลำโพงมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นวงจรขยายที่ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 2 ชุด ประกอบด้วยไฟบวก ไฟลบ และกราวด์ ทำการวิเคราะห์หลักการทำงาน ทิศทางกระแส และสัญญาณเอาต์พุต โดยใช้โปรแกรมพีซิม เวอร์ชั่น 6.0 (PSIM version 6.0) โดยแบ่งวิเคราะห์เป็น 5 ภาค ได้แก่ วงจรทางด้านเอาต์พุต (Power Output Stage) วงจรดิฟเฟอเรนเชียลทรานซิสเตอร์ (Differential Transistor) วงจรแอมพลิไฟเออร์ไดโอด (Diode Amplifier) วงจรโวลเตจแอมพลิไฟเออร์สเตจ (Voltage Amplifier Stage) และวงจรป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต (S/C Protection)

Project Title	Operation Analyze Amplifier 50 watt OCL by Using Program PSIM
Name	Mr. Jaipukdee Tawkwang ID. 47380283
	Miss Autharapron Ounsakoon ID. 47380344
Project Advisor	Akaraphunt Vongkunghae
Co-Project Advisor	Chairat Pinthong
	Suchart Yammen
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic Year	2007

ABSTRACT

Thai project is an analysis of an OCL-50 watt amplifier, It is circuit are derided in 4 majors of sub functional circuits to an analyze separately, which are output power amplifier, diode amplifier, common emitter amplifier, and input differential amplifier. PSIM 6.0 is used in this project to simulate the circuit behaviors.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือและความกรุณาจากหลายๆ ท่านด้วยกัน ผู้จัดทำขอถือโอกาสนี้ กราบขอบพระคุณ

ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ชัยรัตน์ พินทอง ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบโครงงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบโครงงาน

ขอบกราบขอบพระคุณทั้ง 3 ท่านเป็นอย่างสูงและบุคคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและข้อคิดต่างๆ ในการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำโครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าชั้นปีที่ 4 ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือเสมอมา

ท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน คอยสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ แก่ผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำโครงงาน

นายใจภักดี ท้าวขว้าง

นางสาวอัจฉราภรณ์ อุ่นสกุล

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงาน ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน 1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 1

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน 2

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.7 งบประมาณที่ใช้ 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานของเครื่องขยายเสียงแบบ OCL

2.1 ประเภทวงจรขยายกำลัง 5

2.1.1 หลักการทำงานของเพาเวอร์แอมป์OCL 5

2.1.2 หลักการทำงานของเพาเวอร์แอมป์OTL 5

2.2 วงจรภาคจ่ายไฟพื้นฐานของระบบเสียง 6

2.2.1 หลักการทำงานของวงจรจ่ายไฟ 2 ชุด 6

2.2.2 วงจรกรองแรงดัน 8

2.3 ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายสัญญาณ 9

2.3.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรขยายสัญญาณ 9

2.4 วงจรขยายแบ่งตามลักษณะในการจัดวงจรไบอัส 14

2.4.1 วงจรขยายคลาสเอ 15

2.4.2 วงจรขยายคลาสบี 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 วงจรขยายคลาส เอบี 19

2.4.4 วงจรขยายคลาสซี 23

บทที่ 3 การประกอบวงจร

3.1 อุปกรณ์ 26

3.2 การประกอบวงจร 27

3.3 การทดสอบและการตรวจซ่อม 28

บทที่ 4 การวิเคราะห์วงจร

4.1 วงจรด้านเอาต์พุต 30

4.1.1 ลักษณะการประกอบวงจร 30

4.1.2 ทดสอบสัญญาณเอาต์พุต 31

4.1.3 หาค่า Rin 32

4.1.4 หาค่า Rout 32

4.1.2 หลักการทำงาน 33

4.2 วงจรภาคปรับแรงดัน 34

4.2.1 พิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ TR4 34

4.2.2 หาอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ TR3 36

4.2.3 วิเคราะห์วงจรลดความเพี้ยน 37

4.2.4 องค์ประกอบของภาคปรับแรงดัน 39

4.3 วงจรดิฟเฟอเรนเชียลทรานซิสเตอร์ (Differential Transistor) 40

4.3.1 หาอัตราการขยายของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลทรานซิสเตอร์ 40

4.3.2 อัตราการขยายของทั้งวงจร 41

4.3.3 หลักการทำงาน 41

4.4 วงจรป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต (S/C Protection) 42

4.6 ลำดับการทำงานของวงจร 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 การทำงานของเครื่องขยายเสียง 46

บรรณานุกรม 47

ภาคผนวก 48

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 81

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องขยายเสียง	4
2.2	แสดงวงจรเพาเวอร์แอมป์ OCL พื้นฐาน	5
2.3	แสดงวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL พื้นฐาน	6
2.4	แสดงวงจรภาคจ่ายไฟให้กับเพาเวอร์แอมป์ระบบ OCL	7
2.5	วงจรฟิลเตอร์	8
2.6	แสดงทรานซิสเตอร์ 1 และ 3 นำกระแสได้เป็นชุดแรก	9
2.7	แสดงทรานซิสเตอร์ 2 และ 4 นำกระแสทำให้ไฟเซ็นเตอร์เป็นศูนย์	10
2.8	ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุต	11
2.9	การต่อไบแอสทรานซิสเตอร์ทำให้ได้รูปคลื่นเอาท์พุตที่สมบูรณ์	12
2.10	เมื่อต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับสัญญาณเอาท์พุตทำให้ได้สัญญาณสวิงในช่วงบวกลบ	12
2.11	ตัวอย่างการคำนวณหาค่า RB และ RC เพื่อหาจุดไบแอสที่เหมาะสม	13
2.12	รูป ก. เป็นตัวอย่างวงจรขยายของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	14
	รูป ข. แสดงสัญญาณเอาท์พุตที่สวิงได้สูงสุดโดยไม่เพี้ยน	14
	รูป ค. แสดงการผิดเพี้ยนเมื่อสัญญาณสวิงสูงเกินไป	14
2.13	วงจรขยายแบบคลาสเอ ซีรี่ฟีด	15
2.14	วงจรทรานฟอร์เมอร์คับเปิลออดิโอเพาเวอร์แอมป์	16
2.15	การทำงานของวงจรขยายคลาสบี	17
2.16	วงจรขยายแบบพุชพูล	17
2.17	กราฟแสดงการทำงานของวงจรพุชพูล	18
2.18	รูปคลื่นต่างๆ ของวงจรขยายคลาสบี	19
2.19	(ก) แรงดันมากกว่าแรงดันขวางกั้น	19
	(ข) การผิดเพี้ยนครอสโอเวอร์	19
	(ค) การไบอัสตรงด้วยค่าต่ำ	19
2.20	แสดงจุด Q-POINT ของวงจรขยายคลาส เอ-บี	20
2.21	วิธีแก้ความเพี้ยนที่ช่วงต่อ	21
2.22	แสดงวงจรพุช-พูลแบบด้านเดียว	21
2.23	การดัดแปลงให้ใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว	22
2.24	แสดงวงจรพุช พูลด้านเดียวแบบดาร์ลิงตัน	22

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

2.25 แสดงวงจรพุช พูลด้านเดียวแบบคอมพลีเมนท์ตารี่ 23
2.26 การนำทรานซิสเตอร์สองตัวมาประกอบกัน 23
2.27 การทำงานของวงจรคลาสซี 24
2.28 การทำงานของวงจรขยายคลาสซี 24
3.1 แสดงการใส่อุปกรณ์ต่างๆ 27
3.2 แสดงการต่อใช้งาน 28
3.3 แสดงการต่อ MJ2955 และ 2N3055 เข้ากับแผงวงจร 28
4.1 วงจรเพาเวอร์แอมป์ OCL 50 วัตต์ ระบบโมโน 30
4.2 วงจรทางด้านเอาต์พุต 31
4.3 แสดงให้เห็นว่า Vout เกิดช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์ทำงานสลับกัน ณ จุดเดียวกัน........ 31
4.4 แสดงการหา Rin 32
4.5 แสดงการวัดหาค่า Iout หรือ Isp และ Vout หรือ Vsp........ 32
4.6 แสดงการหา Rout........ 33
4.7 พิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ TR4........ 34
4.8 ป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน Vin 1 โวลต์........ 35
4.9 ป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน Vin 10 โวลต์........ 35
4.10 แสดงการหาอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ TR3........ 36
4.11 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอินพุต........ 37
4.12 หาค่า Rout ของทรานซิสเตอร์ TR3 37
4.13 แสดงวงจรภาคปรับแรงดันต่อกับวงจรภาคOUTPUT........ 38
4.14 แสดงผล Vsp เมื่อกำหนดให้ Rheostat เป็น 0.2 38
4.15 แสดงผล Vsp เมื่อกำหนดให้ Rheostat เป็น 0.9........ 39
4.16 แสดงการวัดหาแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุต 41
4.17 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุต 41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากเครื่องขยายเสียงถือได้ว่ามีบทบาทที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งแก่มวลมนุษยชาติช่วยในการเผยแพร่ข้อมูล ข่าวสาร เสียงเพลง และความบันเทิงทุกรูปแบบไม่ว่าจะเป็นงานระบบเสียงที่ใช้ในบ้าน รถยนต์ กลางแจ้ง ห้องประชุมหรืองานอื่นๆ

จึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาและวิเคราะห์การทำงานภายในวงจรอาทิการทำงานของไดโอต คาปาซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ ทิศทางการไหลของกระแส ปริมาณกระแสและแรงดันตกคร่อมต่างๆ พร้อมสร้างเครื่องขยายเสียงที่มีคุณภาพเสียงจริงเหมือนธรรมชาติมากที่สุดเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันใกล้เคียงกับเครื่องขยายเสียงที่มีขายตามท้องตลาดซึ่งรูปแบบที่สร้างนี้ราคาถูกและง่ายแก่การสร้าง ในวงจรนี้ใช้แหล่งไฟเลี้ยง 35 โวลต์ ทั้งนี้เพราะคาพาซิเตอร์ที่ทนแรงดัน 35โวลต์ จะมีราคาถูกและหาง่ายในทำนองเดียวกัน เราใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีแรงดันเบรกดาวน์ต่ำ เช่น 2N3055 ก็นับว่ามีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นวงจรขยายชุดนี้จึงนับว่ามีราคาถูกและง่ายแก่การสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.3.1 เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องขยายเสียง

1.3.2 สร้างเครื่องขยายเสียงที่มีคุณภาพเสียงจริงเหมือนธรรมชาติและราคาถูกเหมาะสมกับการใช้งาน

1.3.3 วิเคราะห์การทำงานของเครื่องขยายเสียง

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.2.1 เข้าใจถึงความรู้พื้นฐานและหลักการการทำงานของเครื่องขยายเสียง

1.2.2 สร้างเครื่องขยายเสียงทรานซิสเตอร์ 50 วัตต์

1.2.3 วิเคราะห์การทำงานของวงจรเครื่องขยายเสียง 50 วัตต์ โดยใช้โปรแกรม PSIM

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1.4.1 ศึกษาหาข้อมูล และคุณลักษณะของเครื่องขยายเสียง

1.4.1.1 ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานและเครื่องมือวัด

1.4.1.2 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในวงจร

1.4.1.3 ความรู้พื้นฐานของเครื่องขยายเสียง

1.4.2 สร้างครื่องขยายเสียงทรานซิสเตอร์

1.4.3 ตรวจสอบ ปรับแต่ง พร้อมทดลองใช้งานเครื่องขยายเสียง

1.4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ปัญหา

1.4.5 จัดทำรูปเล่มรายงาน

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2549				ปี 2550				ปี 2551			
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาหาข้อมูล และคุณลักษณะของเครื่อง	→	→	→	→								
2.สร้างครื่องขยายเสียงทรานซิสเตอร์					→	→	→					
3.สร้างวงจรภาคจ่ายไฟ						→	→					
4.ตรวจสอบ ปรับแต่ง พร้อมทดลองใช้งาน							→					
5.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ปัญหา								→	→	→	→	
6.จัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน												→

* หมายเหตุ แผนการทำงานโดยประมาณ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสร้างเครื่องขยายเสียงทรานซิสเตอร์ 50 วัตต์ที่มีคุณภาพเสียงจริงเหมือนธรรมชาติได้

1.6.2 เข้าใจการทำงานของวงจรการขยายเสียงอย่างแท้จริง

1.6.3 เป็นเอกสารในการอ้างอิงเพื่อใช้ในการศึกษาและค้นคว้าต่อไปได้

1.6.4 ฝึกการทำงานเป็นกลุ่มและการกำหนดระยะเวลาการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.7 งบประมาณที่ต้องใช้

ค่าอุปกรณ์		1500 บาท
ค่ารูปเล่มรายงาน		500 บาท
	รวมเป็นเงิน	2,000 บาท

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานของเครื่องขยายเสียงแบบ OCL

องค์ประกอบเครื่องขยายเสียงที่สำคัญคือ ต้องให้คุณภาพเสียงจริงเหมือนธรรมชาติมากที่สุดที่เรียกว่า Hi-Fidelity เรียกสั้นๆว่าระบบเสียงไฮไฟ ประการที่สอง จะตอบสนองต่อความถี่เสียง 20 Hz ถึง 20 kHz ได้เป็นอย่างดีและจะต้องมีความผิดเพี้ยนต่ำที่สุด จึงจะถึงได้ว่าการขยายเสียงเกิดความสมบูรณ์บล็อกไดอะแกรมของเครื่องขยายเสียงไฮ-ไฟ (Hi-fidelity)

รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องขยายเสียง

วงจรก่อนการขยาย (Pre amplifier) เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งเข้ามาจากภาคสัญญาณเข้ามีความแตกต่างกันมากบ้างน้อยบ้าง เช่น ไมโครโฟน เครื่องบันทึกเสียง เครื่องเล่นคอมแพกดิสก์ เป็นต้น ดังนั้นภาคก่อนการขยายจะช่วยในการปรับแต่งเสียงให้มีสัญญาณมากน้อยพอๆ กัน ก่อนจะส่งไปวงจรขยายกำลัง เครื่องขยายเสียง นิยมแบ่งชนิดตามกำลังของการขยายเสียง คือ การแบ่งตามความดังของภาคขยาย เช่นเครื่องขยายเสียงที่นิยมใช้กัน มีกำลังตั้งแต่ 10 วัตต์ ไปจนถึง หลายร้อยวัตต์เลยทีเดียว กำลังวัตต์ของเครื่องขยายเสียงจะบอกถึงความดังที่ออกทางลำโพงกล่าวคือ เครื่องขยายเสียงที่มีกำลัง 200 วัตต์ จะดังกว่า เครื่องขยายเสียงที่มีกำลัง 150 วัตต์นั่นเอง

วงจรควบคุมเสียง เป็นวงจรปรับแต่งเสียงทุ้ม-แหลม บางครั้งเรียกสั้นๆว่า **วงจรพรีโทน** (Pretone) โดยความถี่ในการปรับเสียงทุ้มอยู่ในช่วงระหว่าง 20 Hz ถึง 1 kHz ส่วนความถี่ในการปรับแสงแหลมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-5 kHz วงจรควบคุมมีสองแบบคือ พาสซีฟโทน (Passive Tone) และแอกทีฟโทน (Active Tone) วงจรควบคุมเสียงแบบพาสซีสใช้อุปกรณ์ R-C เน็ตเวิร์ก เป็นอุปกรณ์แบบแยกความถี่ จะไม่ใช้แรงดันไฟเลี้ยงวงจรแต่อย่างใด ส่วนอุปกรณ์วงจรควบคุมเสียงแบบแอกทีฟใช้อุปกรณ์ทรายซิสเตอร์และไอซี โดยมีไฟเลี้ยงให้กับอุปการณ์ดังกล่าวด้วย วงจรควบคุมเสียงแบบนี้นิยมใช้มากในปัจจุบัน

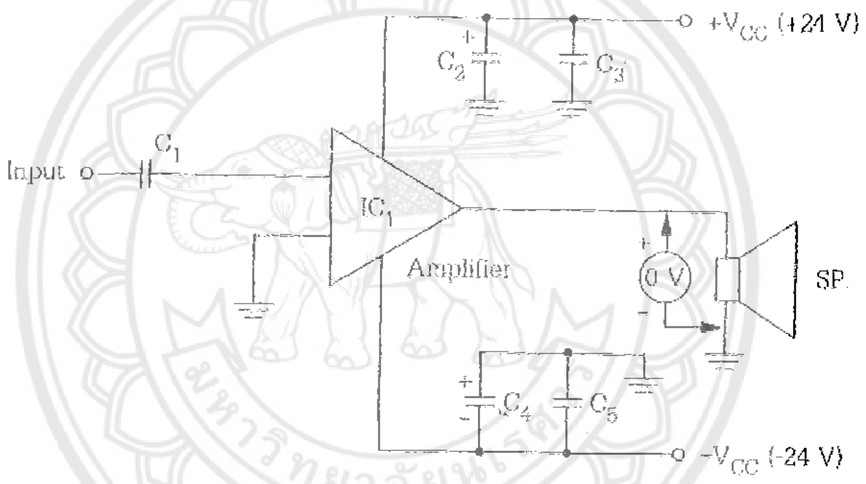
วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรก่อนขยาย (Pre Amplifier) เข้ามาเพื่อทำการขยายให้มีกำลังแรงเพิ่มขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ก็ได้แก่ เครื่องขยายเสียง (Amplifier) นั่นเอง

2.1 ประเภทวงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

ถ้าแบ่งประเภทตามวิธีออกแบบในการถ่ายทอดสัญญาณในภาคขยายสุดท้าย ก็จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ภาคขยายชนิด OCL (OUT PUT CONDENSER LESS) ภาคขยายแบบ OTL (OUTPUT TRNAS FOMER LESS) เป็นหลัก ส่วนวิธีการในแบบวงจรอื่น ๆ ดูจะไม่เป็นที่นิยมกัน เช่นแบบ OPT ของหลอดสุญญากาศ

2.1.1 หลักการทำงานของเพาเวอร์แอมป์ OCL

วงจรขยายกำลังระบบ OCL (Output Capacitor Less) ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 2 ชุด ประกอบด้วยแรงดันไฟบวก ไฟลบ และกราวด์ หลักการคือ นำแรงดันไฟ +Vcc และแรงดันไฟลบ –Vcc มาหักล้างกันเพื่อทำให้แรงดันดีซีที่ตกคร่อมลำโพงมีค่าเป็นศูนย์



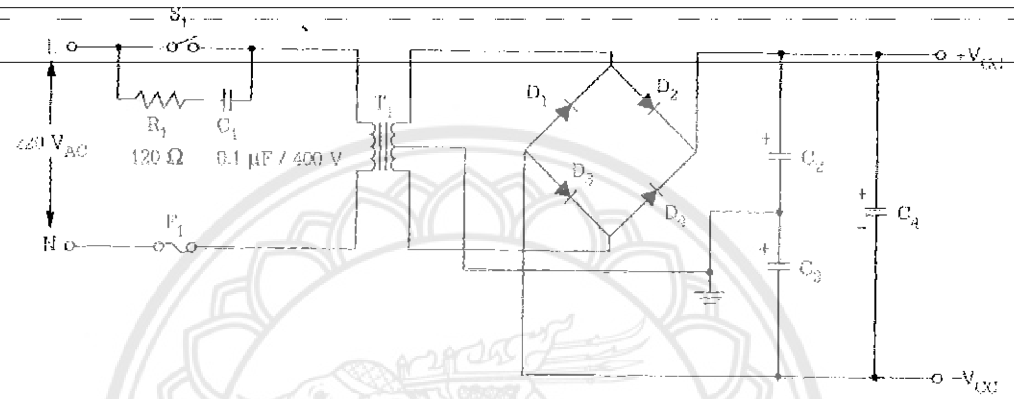
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรเพาเวอร์แอมป์ OCL พื้นฐาน

คาปาซิเตอร์ C2, C3, C4 และ C5 ทำหน้าที่สำรองแรงดันไฟบวกและลบให้ระบบ ค่าความจุของ C2 ต้องมีค่าเท่ากับ C4 ส่วน C3 มีค่าความจุเท่ากับ C5 ถ้าหากว่าแรงดันดีซีที่ตกคร่อมลำโพงเกิดมีแรงดันไฟบวกหรือลบเกินกว่า 0.2 โวลต์ ระบบขยายชุดนี้จะต้องเสียหายอย่างแน่นอน และนั่นหมายความว่า แหล่งจ่ายไฟจะมีค่ากี่โวลต์กี่ตาม ระบบขยาย OCL จะต้องรักษาไฟที่ตกคร่อมลำโพงให้มีค่าเป็นศูนย์โวลต์อยู่สู่ตลอดเวลา จึงจะถือได้ว่าวงจรมีความสมบูรณ์และลงตัว

2.1.2 หลักการทำงานของเพาเวอร์แอมป์ OTL

วงจรขยายกำลังระบบ OTL (Output Transformer Less) วงจรดังกล่าวอาจใช้ไอซีเพาเวอร์แอมป์ หรือทานซิสเตอร์ล้วนก็ได้ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ลำโพงจะต้องต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก เรียกว่า คาปาซิเตอร์คัปปลิงเอาต์พุต (Capacitor Coupling Output) เอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงชนิดนี้จะต้องมีแรงดันดีซีเอาต์พุตเท่ากับครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย (แรงดันไฟที่

4. C2 ทำหน้าที่จ่ายไฟ +Vcc และ C3 ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟ –Vcc ให้แก่เครื่องขยายเสียงระบบ OCL พึงสังเกตว่า C2 กับ C3 ถูกต่อกันอย่างอันดับ เหตุผลนี้ย่อมทำให้ค่าความจุโดยรวมมีค่าลดลงคุณภาพของการจ่ายไฟไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จึงมีการนำคาปาซิเตอร์ C4 มาต่อขนานกับแรงดันชุด +Vcc และ –Vcc ช่วยให้ค่าประจุโดยรวมสูงขึ้น อำนาจของการจ่ายไฟสามารถสำรองกระแสได้มากขึ้น คุณภาพเสียงของวงจรขายมีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งอัตราทนแรงดันของ C4 ควรมีค่าอย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันชุด +Vcc จึงจะถือได้ว่าวงจรจ่ายไฟมีความสมบูรณ์มากที่สุด



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟให้กับเพาเวอร์แอมป์ระบบ OCL

5. หม้อแปลง T1 จะจ่ายแรงดันและกระแสเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับเครื่องขยายเป็นสำคัญ ตัวอย่างเช่น ถ้าเพาเวอร์แอมป์ 50 W ใช้ไฟเลี้ยงวงจร 30 V แรงดันขดทุติยภูมิของ T1 มีค่า 30/1.414 มีค่าเท่ากับ 21 V (เลือกใช้ 21 V กับ 0 V)

กระแสหม้อแปลงที่จะต้องจ่ายได้จริง $I = 0.45\sqrt{P/R}$

โดยที่ R คือ อิมพีแดนซ์ของลำโพง เลือกใช้ 8 โอห์ม

นั่นคือ $I = 0.45\sqrt{50/8} = 1.125$ แอมป์

เพราะฉะนั้น กระแสและแรงดันของหม้อแปลง T1 คือ 1.125 แอมป์ 21 โวลต์ ใช้สำหรับเพาเวอร์แอมป์ 50 วัตต์ ที่เป็นวงจรขยายข้างเดียว หากเป็นระบบสเตอริโอควรเลือกกระแสเป็น 2 เท่า

- ในส่วนของบริดจ์ไดโอด ควรเลือกใช้อัตราทนกระแส 3-5 เท่าของกระแสหม้อแปลงที่จ่ายได้จริง นั่นคือ เลือกบริดจ์ไดโอด 3-5 แอมป์

- ค่าความจุของ C ฟิลเตอร์ $\geq \frac{I}{20V} \times 10^6 \mu F$

โดยที่ I เลือกกระแสของหม้อแปลง (1.125 แอมป์)

ส่วน V คือ แหล่งจ่ายไฟ 30 โวลต์ (เพาเวอร์แอมป์ 50 วัตต์)

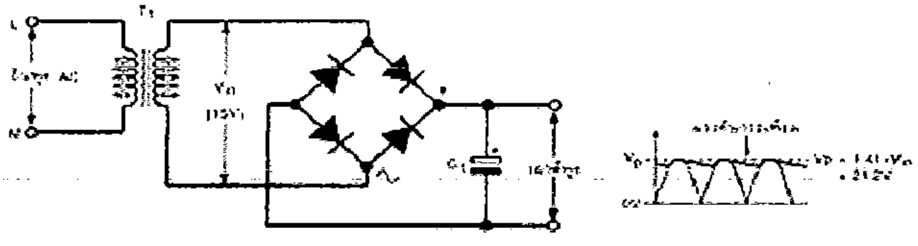
ดังนั้น $C \geq \frac{1.125A}{20 \times 30V} \times 10^6 \mu F$

$C \geq 1875 \mu F$

เลือกใช้ C ฟิลเตอร์ ค่า 2200 μF / 35 V

2.2.2 วงจรกรองแรงดัน

วงจรกรองแรงดันหรือวงจรฟิลเตอร์ ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสทั้งแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น ซึ่งจะมีการเพิ่มให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบมากขึ้นวงจรกรองแรงดันโดยใช้ตัวเก็บประจุ โดยเมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในครึ่งคลื่นบวกจะทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะ ON และตัวเก็บประจุก็จะเริ่มเก็บประจุ ซึ่งช่วงเวลาของการเก็บประจุของตัวเก็บประจุนั้นจะสั้น ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีค่าความต้านทานในเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในระหว่างการชาร์จประจุนี้มีเพียงแต่ค่าความต้านทานภายในสายไฟที่ใช้ต่อในวงจรเท่านั้น ซึ่งในกรณีช่วงเวลาของการคายประจุจะนานกว่าช่วงเวลาของเก็บประจุ ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าความต้านทานของโหลดต่ออยู่ในวงจรนั่นเอง การลดลงของความชันของรูปคลื่นสัญญาณเป็นการลดลงของแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏคร่อมตัวเก็บประจุและจากการที่มีโหลดต่อขนานอยู่กับตัวเก็บประจุ ดังนั้น แรงดันเอาท์พุตที่ปรากฏคร่อมโหลดก็จะมีขนาดลดลงด้วย ซึ่งการลดลงของแรงดันเอาท์พุตนี้เกิดจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ แต่เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและวงรอบของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ได้ค่าที่เรียบจนเกือบจะคงที่ นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเพียงเล็กน้อยหรือที่เรียกว่าริปเปิ้ล นั่นเอง



รูปที่ 2.5 วงจรฟิลเตอร์

2.3 ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายสัญญาณ

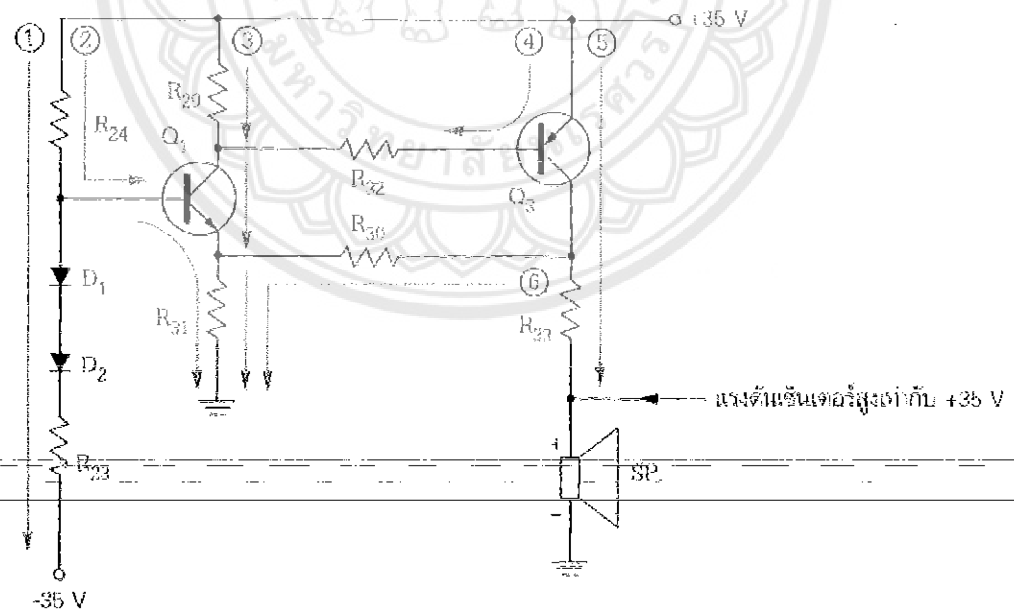
2.3.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรขยายสัญญาณ

วงจรขยายกำลังขนาด 50 W แบบ OCL ในระบบโมโน ดังรูป อธิบายหลักการทำงานของวงจรได้ดังนี้

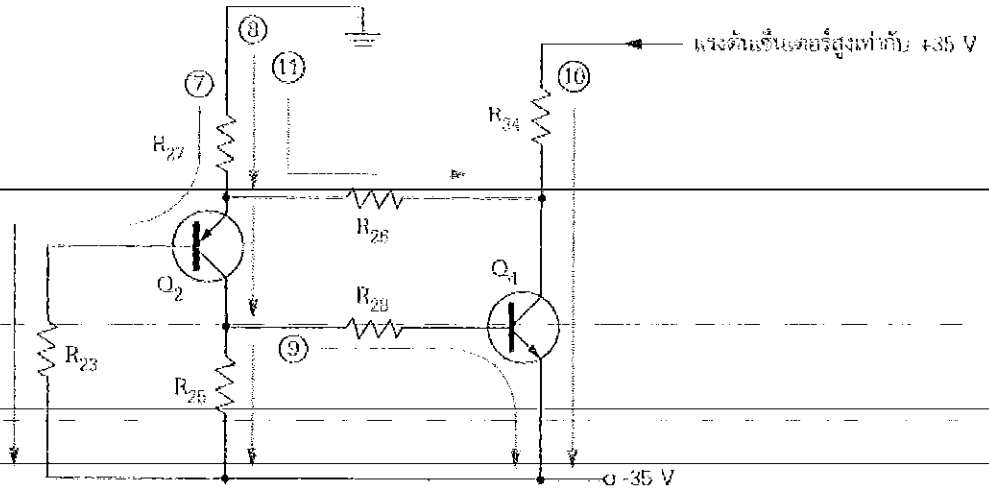
1. ทรานซิสเตอร์ Q3กับ Q4ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตให้เบอร์คู่แมตซ์ (Match pair) คือเบอร์ 2N3055 กับ MJ2955 มีตัวต้านทาน R33 กับ R34 (0.5โอห์ม) ทำหน้าที่จำกัดกระแสคอลเล็กเตอร์เอาต์พุตให้กับทรานซิสเตอร์ทั้งสอง ตัวต้านทาน R28 กับ R32 กำหนดกระแสเบสอินพุตให้กับทรานซิสเตอร์เอาต์พุตทั้งสองดังกล่าว

2. ทรานซิสเตอร์ Q1 กับ Q2 ทำหน้าที่เป็นวงจรไดเวอร์ (Driver) Q1ขับกระแสให้กับ Q3 และทรานซิสเตอร์ Q2 ขับกระแสให้กับ Q4 ซึ่งตัวต้านทาน R24 ทำหน้าที่จำกัดกระแสเบสอินพุตให้กับQ1 โดยมีR29กับR31จำกัดจำกัดกระแสเอาต์พุตให้กับQ1 พิจารณาที่ทรานซิสเตอร์ Q2พบตัวต้านทานR23กำหนดกระแสอินพุตให้กับ Q2โดยมี R27กับR25ทำหน้าที่จำกัดการไหลของกระแสเอาต์พุตให้กับทรานซิสเตอร์ดังกล่าว

3. ไดโอด D1กับD2ทำหน้าที่กำหนดกระแสไบแอส ให้กับทรานซิสเตอร์ไดเวอร์ โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ทำหน้าที่ปรับแรงดันระหว่างเบสของQ1เทียบกับQ2ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2-1.3 โวลท์



รูปที่ 2.6 แสดงทรานซิสเตอร์ 1 และ 3 นำกระแสได้เป็นชุดแรก



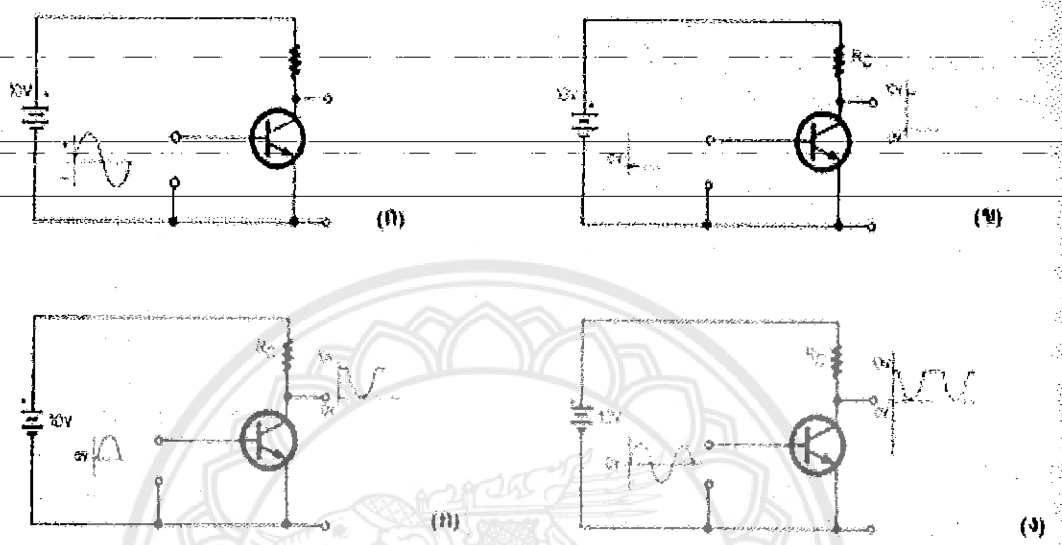
รูปที่ 2.7 แสดงทรานซิสเตอร์ 2 และ 4 นำกระแสทำให้ไฟเซ็นเตอร์เป็นศูนย์

พิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวเมื่อจ่ายแรงกันไฟ +35 v และ -35v ย่อมเกิดเส้นทางการไหลของกระแสต่างๆ เมื่อกระแสได้ไหลครบทุกเส้นทางแล้ว แรงดันไฟdcที่ตกคร่อมลำโพงย่อมมีค่าเท่ากับ 0 v มีรายละเอียดดังนี้

1. ทรานซิสเตอร์ 1ต้องทำงานให้ได้ก่อนเป็นอันดับแรก เมื่อทรานซิสเตอร์ 1ทำงานนำกระแสไฟได้ย่อมส่งผลต่อทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสไฟได้ในเวลาต่อมา ดังรูป ลักษณะเช่นนี้ย่อมทำให้รงดันไฟ +35 v ไหลผ่าน R24,D1,D2,R23 ไปครบวงจรกับแรงดันไฟ -35 v กระแสเบสอินพุตของทรานซิสเตอร์ Q1 ไหลได้เป็นกระแสหมายเลข 2 โดยไหลผ่าน R24 เข้าเบสออกไปที่อิมิตเตอร์ของ Q1 ส่งผ่าน R31 ไปครบวงจรกับกราวด์ลักษณะเช่นนี้ย่อมทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์ของ Q1 ลดลง กระแสเอาต์พุตของ Q1 จึงไหลได้เป็นเส้นทางกระแสหมายเลข 3 ส่งผลให้Q 3 ทำงานได้ และ Q3 จะไปลดการทำงานของ Q1 โดยผ่าน R30 เพื่อกันการออสซิลเลตให้กับวงจรขยายเฟสบวก ทำให้เกิดเส้นทางการไหลของกระแสหมายเลข 1 ถึงหมายเลข 6 ตามลำดับ

2. เมื่อทรานซิสเตอร์ Q1 กับ Q3 ทำงานนำกระแสไฟได้ แรงดันเซ็นเตอร์มีค่าสูงเท่ากับแรงดัน +35 v ลักษณะเช่นนี้ย่อมทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ต้องนำกระแสได้ในเวลาต่อมา ดังรูป โดยกระแสเบสอินพุตของ Q2 ไหลผ่าน R27 ส่งขาอิมิตเตอร์ออกไปที่ขาเบสของ Q2 ไหลผ่าน R23 ไปครบวงจรกับแรงดันไฟ -35 v กระแสคอลเล็กเตอร์เอาต์พุตของ Q2 จึงได้เป็นกระแสหมายเลข 8 ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R25 อยู่ส่วนหนึ่ง แรงดันที่ตกคร่อม R25 จึงไปไบแอสอินพุตที่เบสของ Q4 เป็นกระแสหมายเลข 9 ดังนั้นกระแสเอาต์พุตของ Q4 จึงเป็นกระแสหมายเลข 10 ตอนนี้ Q4 จะไปดึงการทำงานของ Q2 ให้มีการทำงานที่ลดลงโดยผ่าน R26 เพื่อป้องกันปัญหาในเรื่องของสัญญาฯรบกวน ส่งผลให้แรงดันไฟที่จุดเซ็นเตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์

ด้วยคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่มีการขยายกระแสด้วยค่า เบต้า ทำให้เราสามารถนำทรานซิสเตอร์มาต่อเป็น วงจรขยายสัญญาณได้ ลองดูการต่อวงจรง่าย ๆ ดังรูป ก. และป้อนสัญญาณอินพุททางขา B เราจะมาดูสัญญาณเอาท์พุททางขา C ว่า เป็นอย่างไร โดยที่ VS มีค่า 10 โวลท์ และป้อนสัญญาณเป็นคลื่นรูปซายน์



รูปที่ 2.8 ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตที่ได้

เมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าเป็นศูนย์โวลท์ ดังรูปที่ 2.8 ข. จะไม่เกิดกระแส IB ผลก็คือ IC ไม่เกิดด้วย ดังนั้น แรงดันที่ RCจึง มีค่าเป็นศูนย์โวลท์ ทำให้แรงดัน VCE เท่ากับ VS คือ 10 โวลท์ และทำนองเดียวกัน เมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าน้อยกว่า 0.65 โวลท์ สัญญาณเอาท์พุทจะมีค่าเป็น 10 โวลท์เช่นกัน

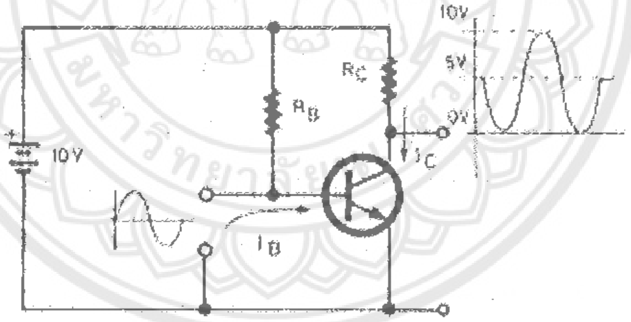
เมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะครึ่งรูปคลื่นซายน์ในช่วงบวก (ไซเคิ้ลบวก) ดังรูปที่ 2.8 ค. ในช่วงนี้จะเกิด IB ตามคลื่นรูปซายน์ด้วยจึงทำให้ IC เกิดตามไปด้วย เมื่อ IB มากขึ้น IC จะมากด้วย ผลทำให้เกิดแรงดันที่ RC มากขึ้น แรงดัน VCE จึงเริ่มลดลง เมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าสูงสุดจะทำให้แรงดัน VCEมีค่าลดลงมากสุดจนถึง 0 โวลท์และเมื่อสัญญาณอินพุทเริ่มลดลงแรงดันเอาท์พุทจะเริ่มเพิ่มขึ้น เป็นที่สังเกตว่าในช่วงนี้สัญญาณเอาท์พุทจะกลับเฟส (ตรงข้ามกัน) กับสัญญาณอินพุท คือ เมื่อ สัญญาณอินพุทมีแรงดันมากขึ้น สัญญาณเอาท์พุทจะมีแรงดันลดลง

ในช่วงสัญญาณอินพุทเป็นครึ่งซายน์ในช่วงลบ (ไซเคิ้ลลบ) ดังรูปที่ 2.8 ง. ในช่วงนี้ขา B,E ของทรานซิสเตอร์ จะได้รับ ไบแอสกลับ ทำให้ไม่มี IB จึงไม่เกิด IC ด้วย เหมือนกับรูปที่ 2.8 ข. ผล

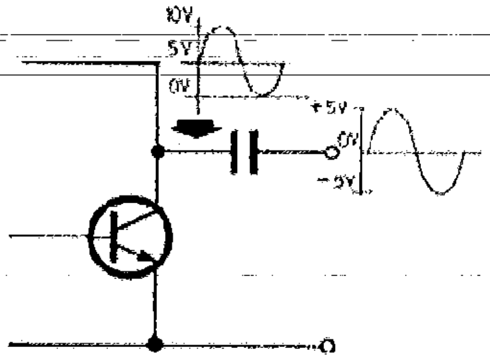
ก็คือ ได้แรงดันVCE เป็น 10 โวลท์ และเมื่อสัญญาณ อินพุท มีค่าเป็นไซเคิ้ลบวกอีก ก็จะได้แรงดัน VCE ลดลงเป็นคลื่นรูปซายน์ครึ่งคลื่นเช่นกัน

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าเมื่อต่อวงจรดังรูปจะได้สัญญาณเอาท์พุทที่ผิดเพี้ยน คือมีการขยายเพียงครึ่งไซเคิ้ล เท่านั้น อีกครึ่งไซเคิ้ล (ลบ) ถูกตัดทิ้งไป จึงต้องหาวิธีแก้ไขด้วยการให้ไบแอส แก่ทรานซิสเตอร์ทางขา B ก่อน ดัง ตัวอย่างง่าย ๆ ตามรูปที่ 2.9 ด้วยการใช้ตัวต้านทาน RB ต่อเข้ากับขา B และ VS วิธีนี้ทำให้ขณะปกติไม่มีสัญญาณเข้าหรือสัญญาณเข้า มีค่า เป็น 0 โวลต์ ตัว RB จะทำให้มี IB ค่าหนึ่งซึ่งทำให้เกิด IC ที่ทำให้มีแรงดันที่ RC มีค่าประมาณ 1/2 ของ VS ในที่นี้คือ 5 โวลต์ (เรียกสภาวะนี้ว่าจุดสงบ) เมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าเป็นครึ่งไซเคิ้ลบวก IB จะเพิ่มขึ้นทำให้ VCE ลดลงต่ำสุดมาเหลือ 0 โวลต์ พอดี และเมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าเป็นครึ่งไซเคิ้ลลบ IB จะลดลง ทำให้ VCE มีค่าเพิ่มขึ้น

ด้วยวิธีการให้ไบแอสตามรูปที่ 2.9 จะทำให้เกิดการขยายสัญญาณเต็มรูปคลื่น คือสัญญาณเอาท์พุทจะสวิงหรือแกว่ง ระหว่าง 0 โวลต์ กับ VS โดยมีจุดสงบที่ 1/2 ของVS เพื่อให้ได้สัญญาณเอาท์พุทสวิงได้มากที่สุด และสัญญาณดังกล่าว เมื่อไปคับปลิ้งผ่าน C ดังรูปที่ 2.12 ก็จะได้สัญญาณเป็นไฟสลับในช่วงบวกลบได้

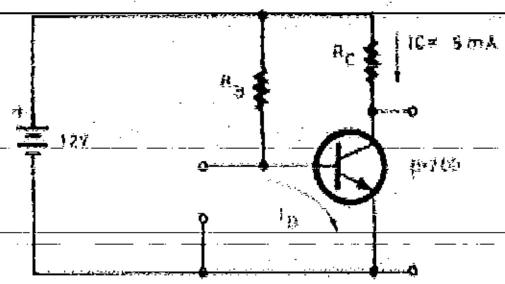


รูปที่ 2.9 การต่อไบแอสทรานซิสเตอร์ทำให้ได้รูปคลื่นเอาท์พุตที่สมบูรณ์



รูปที่ 2.10 เมื่อต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับสัญญาณเอาท์พุตทำให้ได้สัญญาณสวิงในช่วงบวกลบ

ตัวอย่างต้องการออกแบบวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ซึ่งมีค่า เบต้า เท่ากับ 200 ใช้ แรงดันขนาด 12 โวลท์ และให้มี IC ในสภาวะสงบเป็น 5 mA จงหาค่า RB และ RC ในรูปที่ 11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการคำนวณหาค่า RB และ RC เพื่อหาจุดไบแอสที่เหมาะสม

วิธีการคำนวณทำได้ง่าย โดยคิดจากสภาวะสงบหรือไม่มีสัญญาณเข้า ซึ่งจะได้แรงดันที่ RC เท่ากับ 1/2 ของ 12 โวลท์คือ

$$V_{R_C} = \frac{12}{2} = 6$$

และที่สภาวะสงบนี้มี I_C เป็น 5 mA ดังนั้นหาค่า R_C ได้

$$R_C = \frac{V_{R_C}}{I_C} = \frac{6}{5\times10^{-3}}$$

$$R_C = 1.2\ k\Omega$$

จากนั้นทำการหา R_B ได้ โดยเริ่มจากหา I_B ก่อน

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5\times10^{-3}}{200}$$

$$I_B = 25\ \mu A$$

$$V_{R_B} = 12 - 0.65 = 11.35\ V.$$

$$R_B = \frac{V_{R_B}}{I_B} = \frac{11.35}{25\times10^{-6}}$$

R_B = 454 kΩ หรือ 470 kΩ

อีกตัวอย่างของวงจรซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ดังรูปที่ 12 ก. โดยที่ เบต้า มีค่า 150 เท่า และพิจารณาที่จุดสงบ หรือไม่มีสัญญาณป้อนเข้า เริ่มต้นหาค่า IB โดยหาค่าแรงดันที่ RB ซึ่งจะมีค่า

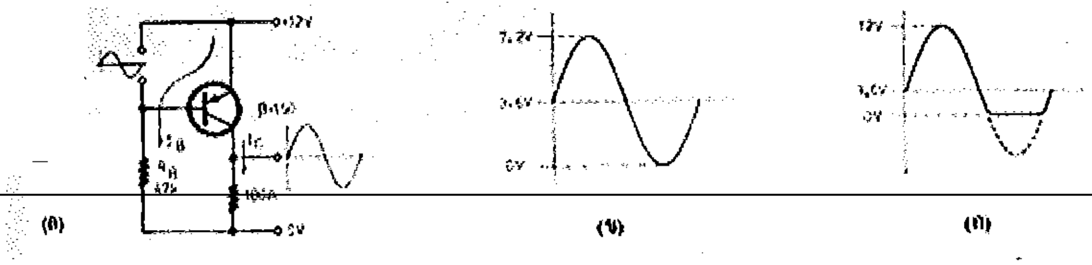
$$V_{R_B} = 12 - 0.65 = 11.35\ V$$

$$I_B = \frac{11.35}{47\times10^{-3}} = 0.24\ mA$$

$$I_C = 150\times0.24\times10^{-3} = 36\ mA$$

$$V_{R_C} = 36\times10^{-3}\times100 = 3.6\ V$$

$$V_{CE} = 12 - 3.6 = 8.4\ V$$



รูปที่ 2.12 รูป ก. เป็นตัวอย่างวงจรขยายของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูป ข. แสดงสัญญาณเอาท์พุตที่สวิงได้สูงสุดโดยไม่เพี้ยน

รูป ค. แสดงการผิดเพี้ยนเมื่อสัญญาณสวิงสูงเกินไป

จากตัวอย่างแรงดันที่จุดสงบอยู่ที่ 3.6 V และกระแสมีค่ามากถึง 36 mA เมื่อพิจารณาให้ดีจะพบว่า แรงดันเอาท์พุทควร จะสวิง ไปสูงสุดเพียง 7.2 V และต่ำสุด 0 V ดังรูปที่ 12 ข. จึงจะได้สัญญาณเอาท์พุทที่ไม่ผิดเพี้ยน แต่ถ้ายอมให้แรงดัน เอาท์พุทสวิง ขึ้นไปสูงสุดถึง 12 V (โดยป้อนสัญญาณอินพุทเข้ามาแรง ๆ) สัญญาณเอาท์พุท จะเกิดการผิดเพี้ยนดังรูปที่ 12 ค. ทั้งนี้เพราะว่า ในครึ่งไซเคิ้ลหลังแรงดันจะลดลงต่ำสุดเพียง 0 โวลท์ ในช่วงนี้สัญญาณจึงถูกขลิบหรือตัดยอดทิ้งไป

การไบแอสที่จุดสงบที่ค่าแรงดันต่าง ๆ จึงทำให้เกิดผลของการขยายสัญญาณในครึ่งไซเคิ้ลบวกและลบในคลาสต่าง ๆ เช่นใน รูปที่ 9ไบแอสอยู่ที่ 1/2 ของ VS เรียกว่า คลาส A แต่ในรูปที่ 12 ทรานซิสเตอร์ขยายในไซเคิ้ลบวกได้สูง ส่วนไซเคิ้ล ลบ ไม่ดี เรียกว่า คลาส AB และมีวิธีการต่อให้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ขยายร่วมกันโดยไบแอสให้ตัวแรกขยายในไซเคิ้ลบวกอย่าง เดียวและตัวที่สองขยายในไซเคิ้ลลบอย่างเดียวแล้วนำเอาเอาท์พุทของทั้งสองตัวมารวมกันก็จะได้ สัญญาณเอาท์พุทสวิงได้สูงขึ้น วิธีนี้จัดอยู่ในคลาส B ซึ่งคลาสต่าง ๆ เหล่านี้ถูกนำไปใช้ในวงจรขยายเสียงต่าง ๆ

ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเพียงพื้นฐานเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์ในวงจรสัญญาณ ซึ่งถูกนำไปใช้ในเครื่องเสียงทั้งหลาย ซึ่ง อาจมีรายละเอียดและเทคนิคของวงจรแตกต่างกันไปบ้างแต่ก็อาศัยหลักการขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ ทั้งสิ้นดังที่กล่าวมา การได้เข้าใจพื้นฐานเบื้องต้นนี้นับเป็นบันไดขั้นสำคัญที่จะทำความเข้าใจวงจรขยายเสียงต่าง ๆ ได้ดี

2.4 วงจรขยาย (Amplifier Circuit) แบ่งตามลักษณะในการจัดวงจรไบอัส

วงจรขยายเพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์ เป็นวงจรที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณเอซี ที่มีขนาดสูงๆ โดยสัญญาณอินพุตจะมีขนาดโต และทางภาคเอาต์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์นี้ จะต้องมีโวลต์ และ วัตต์สูงๆ เพื่อที่จะนำไปขับลำโพง โดยองค์ประกอบที่สำคัญของวงจรขยายวัตต์สูงๆ ก็

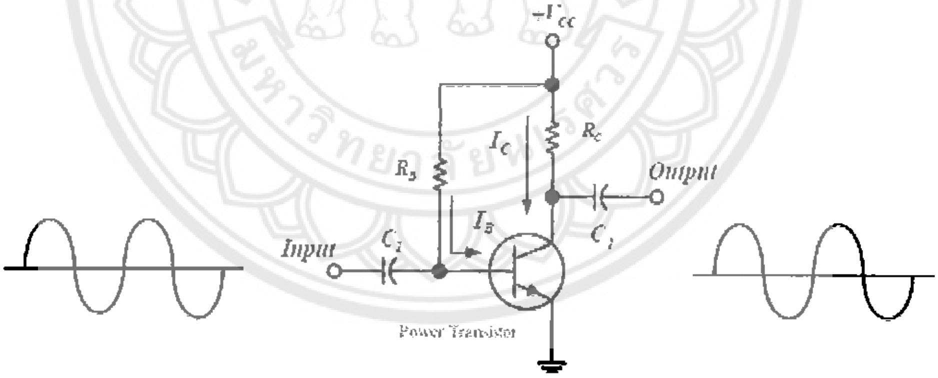
คือประสิทธิภาพของวงจรและกำลังวัตต์สูงสุดที่วงจรภาคเอาต์พุต แต่ละภาคหรือเอาต์พุตภาคสุดท้าย เช่น ลำโพง ซึ่งจำเป็นจะต้องมีค่าที่เหมาะสมกัน วงจรขยายกำลังมีอยู่หลายชนิด สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของจุดทำงานไฟตรง (Quiescent point, Q-point) ซึ่งจะแบ่งวงจรขยายออกได้เป็น 4 แบบ ใหญ่คือ

1. วงจรขยายคลาส เอ (Class A Power Amplifier Circuit)
2. วงจรขยายคลาส บี (Class B Power Amplifier Circuit)
3. วงจรขยายคลาส เอบี (Class AB Power Amplifier Circuit)
4. วงจรขยายคลาส ซี (Class C Power Amplifier Circuit)

2.4.1 วงจรขยายแบบคลาสเอ (Class A Power Amplifier Circuit)

2.4.1.1 วงจรขยายแบบคลาสเอ ซีรี่ฟีด (Class A series-feed Circuit)

วงจรเริ่มต้นเป็นวงจรแบบง่ายที่สุดและเป็นแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ ชนิดของการไบอัสหรือการให้จุดทำงานเป็นแบบฟิกซ์ไบอัส (Fixed Bias) วงจรขยายแบบกำลังสูงต่างจากวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal Amplifier) คือทรานซิสเตอร์เป็นภาคเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้เพราะสัญญาณอินพุตที่ขาเบสจะมีขนาดเป็นโวลต์ โดยความสามารถของวงจรนี้มีค่าสูงเป็นสองหรือสามวัตต์



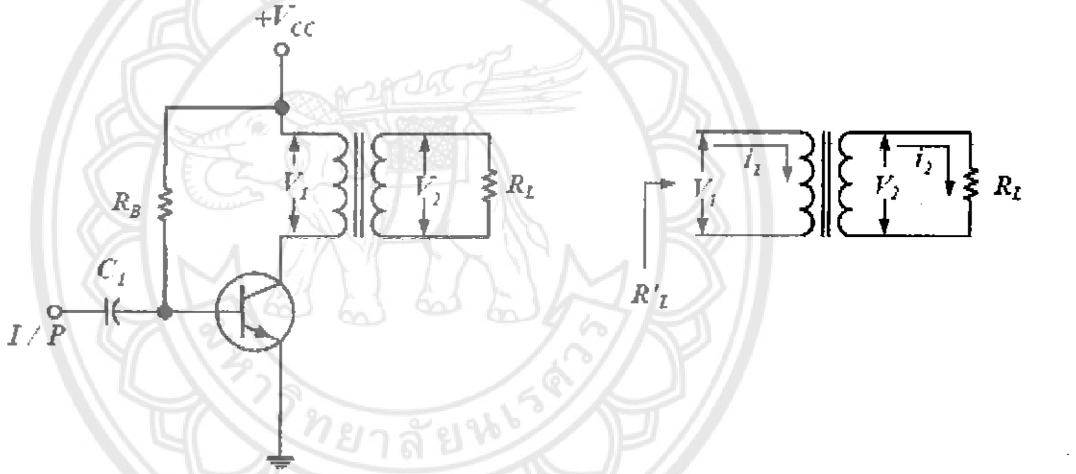
รูปที่ 2.13 วงจรขยายแบบคลาสเอ ซีรี่ฟีด

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก จะไม่สนใจเรื่องวัตต์และประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพราะกำลังวัตต์ต่ำมากนั่นเอง แต่ในวงจรขยายวัตต์สูง ซึ่งจะต้องคำนึงถึงแหล่งจ่ายไฟตรง หรือ Vcc จากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน โดยจะต้องคำนึงถึงว่ากำลังวัตต์ที่เครื่องขยายดึงจากแบตเตอรี่ทั้งหมด Pi (dc) ซึ่งจะสูญเสียไปเป็นความร้อนในโหลด ซึ่งเป็นความต้านทานในตัวทรานซิสเตอร์เท่าไรและเช่นกัน เอาต์พุตทางเอซีซึ่งมีขนาดโตและมีรูปร่างของสัญญาณเหมือนกับสัญญาณอิน (Vi) พุตจะส่งไปให้ลำโพงหรือโหลด

2.4.1.2 ทรานฟอร์เมอร์คับเปิลออดิโอเพาว์เวอร์แอมป์ (Transformer Coupled Audio Amplifier)

ทรานฟอร์เมอร์คับเปิลออดิโอเพาว์เวอร์แอมป์จะให้ประสิทธิภาพของการทำงานสูงกว่าคลาสเอซีรี่ฟีดมาก โดยข้อดีของการใช้ทรานฟอร์เมอร์ก็คือ สามารถเปลี่ยนความต้านทานทางเอซีของโหลด (R_L) ซึ่งเป็นลำโพงที่มีค่าต่ำให้เหมาะสมกับความต้านทานทางเอซีของเอาต์พุตซึ่งมีค่าสูงผลคือภาคเอาต์พุตแมทซ์ (Match) หรือเหมาะสมกับโหลดลำโพง ได้ประสิทธิภาพการส่งจ่ายกำลังวัตต์สูงสุด

หน้าที่ของทรานฟอร์เมอร์นอกจากจะทำให้เอาต์พุตของภาคทรานซิสเตอร์ตัวสุดท้ายแมทซ์กับภาคโหลดแล้วยังเป็นตัวกั้นไฟตรงมิให้ออกจากภาคเอาต์พุตเข้าไปทำอันตรายกับโหลดหรือลำโพงได้ วงจรทรานฟอร์เมอร์คับเปิลแสดงไว้ในรูปที่ 2.14 (ก) และรูปที่ 2.14 (ข) เมื่อพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติและการทำงานของทรานฟอร์เมอร์

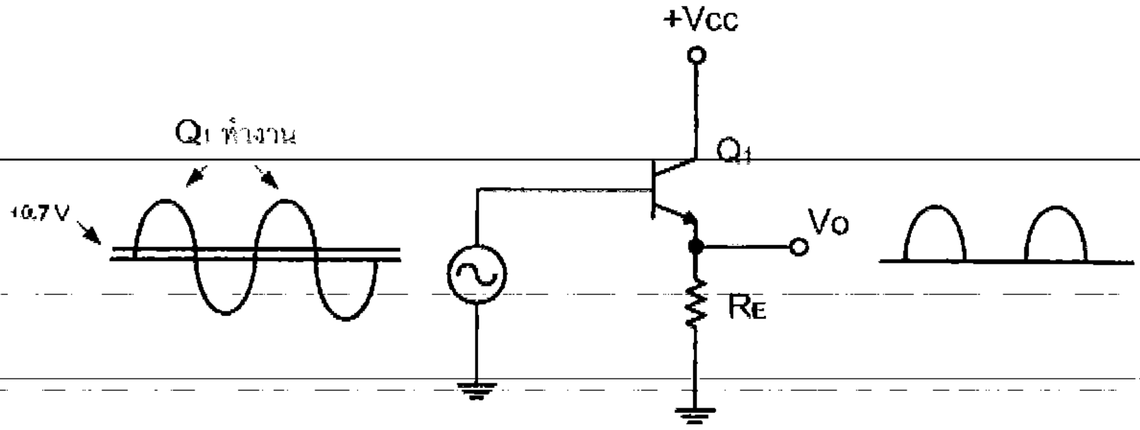


(ก) วงจร (ข) พิจารณาเฉพาะทรานฟอร์เมอร์

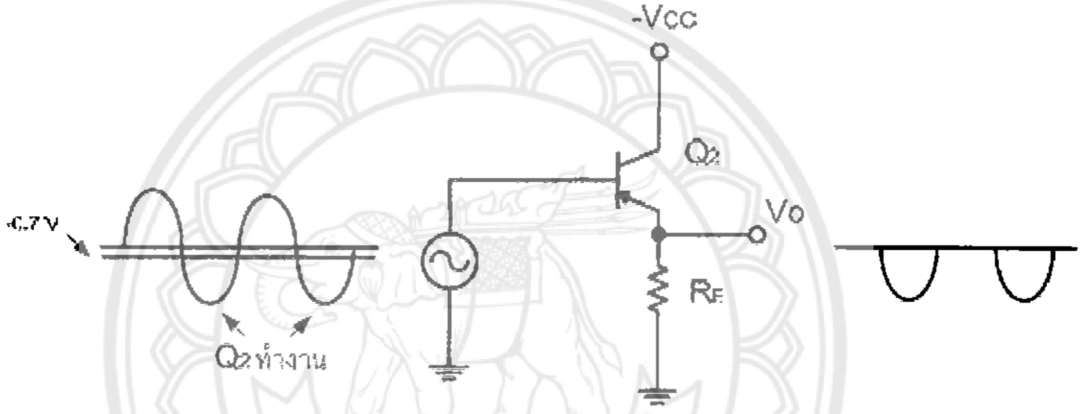
รูปที่ 2.14 วงจรทรานฟอร์เมอร์คับเปิลออดิโอเพาเวอร์แอมป์

2.4.2 วงจรขยายคลาสบี (Class B Power Amplifier Circuit)

ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายคลาสบี จะนำกระแสเพียงครึ่งคาบเท่านั้น



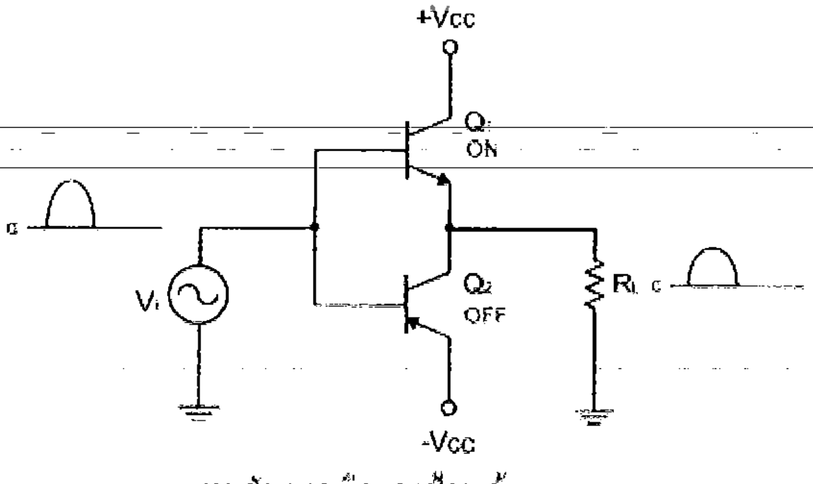
(ก) ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานช่วงบวก



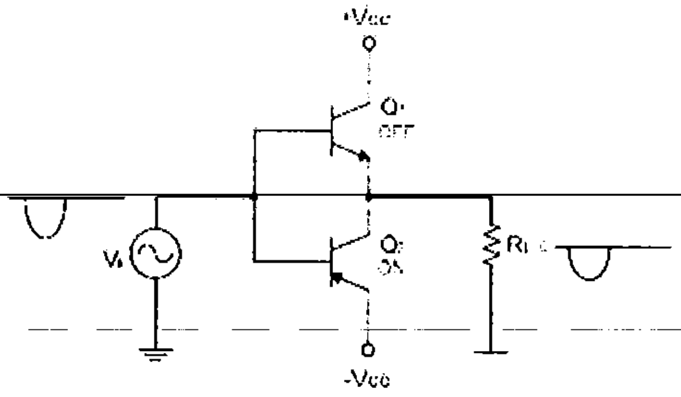
(ข) ทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำงานช่วงลบ

รูปที่ 2.15 การทำงานของวงจรขยายคลาสบี

ดังนั้นเพื่อที่จะให้สัญญาณออกไม่มีความเพี้ยน จึงจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ให้นำกระแสตัวละครึ่งคาบสลับกัน วงจรชนิดนี้เรียกว่า วงจรพุช พูล (Push Pull Circuit)



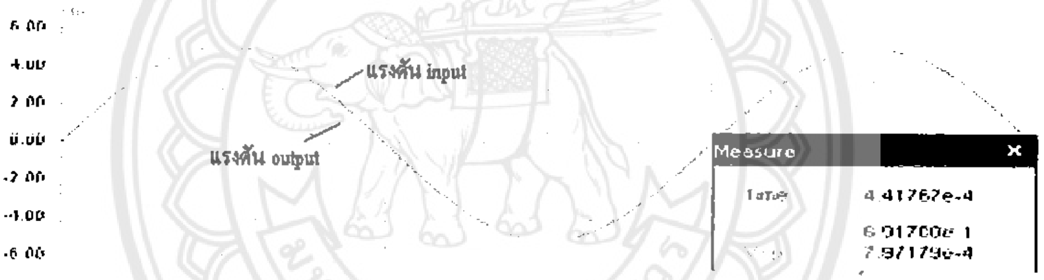
(ก) สัญญาณซีกบวกป้อนเข้า



(ข) สัญญาณช่วงขั้วลบเข้า

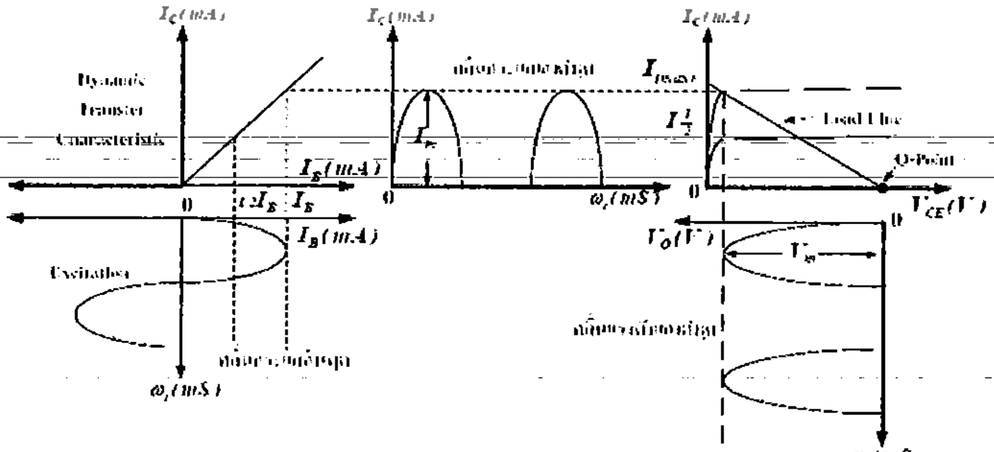
รูปที่ 2.16 วงจรขยายแบบพุชพูล

วงจรขยายแบบ Push Pull ในรูปที่ 2.16 ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกัน 2 ตัว แต่ละตัวจะส่งสัญญาณออกทางคอลเลคเตอร์ผ่านหม้อแปลงเข้าสู่โหลดหม้อแปลงทางด้านเข้าจะขับ



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงการทำงานของวงจรพุชพูล

ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวสลับกัน ทำให้ทรานซิสเตอร์Q1 และQ2 ผลัดกันนำกระแสตัวละ 180° กระแสที่ไหลในโหลดซึ่งเป็นผลรวมของกระแสของทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะไหลตลอดคาบได้ดัง รูป 2.17

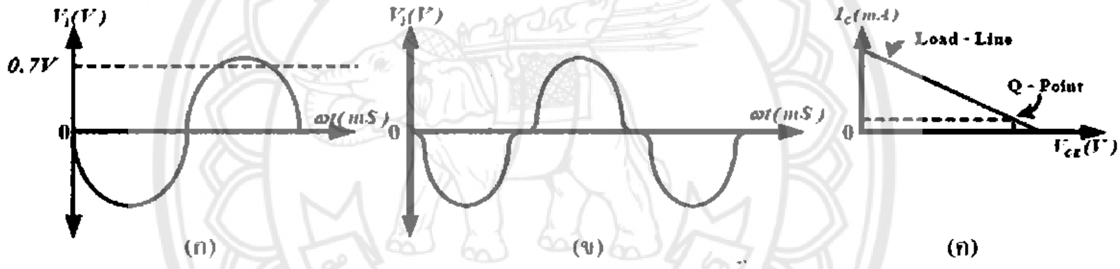


รูปที่ 2.18 รูปคลื่นต่างๆ ของวงจรขยายคลาสบี

พิจารณารูปที่ 2.18 จุดทำงาน (จุดQ) ของทรานซิสเตอร์คือที่ $V_{CE} = V_{CC}$ เมื่อมีสัญญาณเข้าเป็นคลื่นรูปไซน์ จะมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลเพียงครึ่งคาบเท่านั้น การทำงานจะเคลื่อนไปบนเส้นโหลด กระแสสลับ อันมีความชันเท่ากับ $-\frac{1}{R_L}$

การผิดเพี้ยนครอสโอเวอร์ (Crossover Distortion)

ในขณะที่ไม่มีสัญญาณไฟสลับจะต้องมีกระแส น้อยๆ ค่าหนึ่ง ไม่เช่นนั้นแล้วโอกาสที่จะเกิดการผิดเพี้ยน ครอสโอเวอร์ มีสูงมาก สมมติว่าไม่มีการไบอัสที่อิมิตเตอร์ไดโอดเลย เมื่อมีสัญญาณไฟสลับเข้ามา ระดับสัญญาณจำเป็นต้องเพิ่มขึ้น 0.7V ก่อน จึงจะมีกระแสแรงดันมากกว่าศักย์ไฟฟ้าขวางกั้น ดังรูปที่ 2.19 (ก) จึงทำให้ไม่มีกระแส cIcI เมื่อสัญญาณมีขนาดน้อยกว่า 0.7V และจะเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้เช่นกันในซีกหนึ่งของรอบสัญญาณในทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่ง (แรงดัน –0.7V) ดังนั้น ถ้าไม่มีการไบอัสแก่อิมิตเตอร์ไดโอดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายคลาสบีพุชพูลจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.19 (ข)

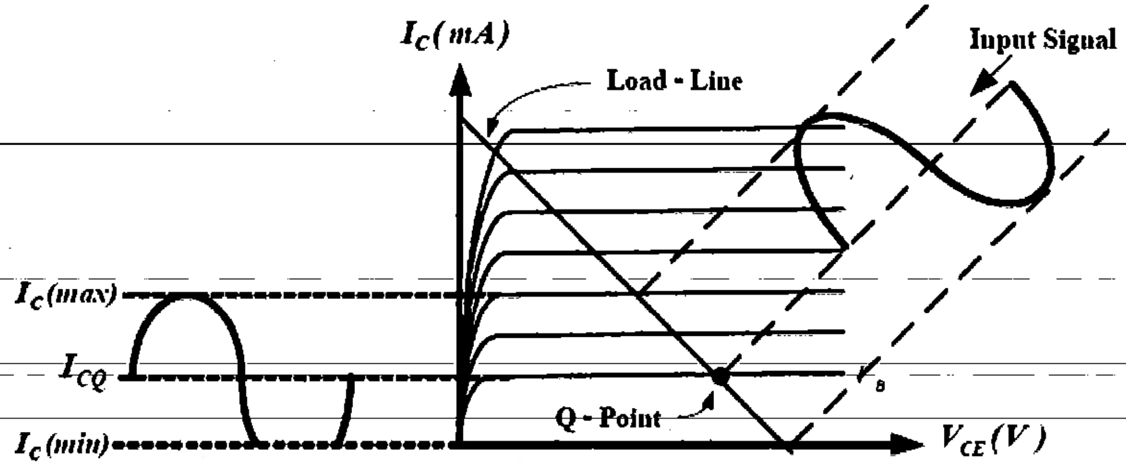


รูปที่ 2.19 (ก) แรงดันมากกว่าแรงดันขวางกั้น
(ข) การผิดเพี้ยนครอสโอเวอร์
(ค) การไบอัสตรงด้วยค่าต่ำ

สัญญาณเอาต์พุตที่ผิดเพี้ยนไป ทำให้ไม่เป็นรูปซายน์ เนื่องจากถูกขลิบหายไป ในช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งกำลังหยุดทำงาน (Off) และทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งกำลังจะทำงาน (On) เรียกว่าการผิดเพี้ยน ครอสโอเวอร์

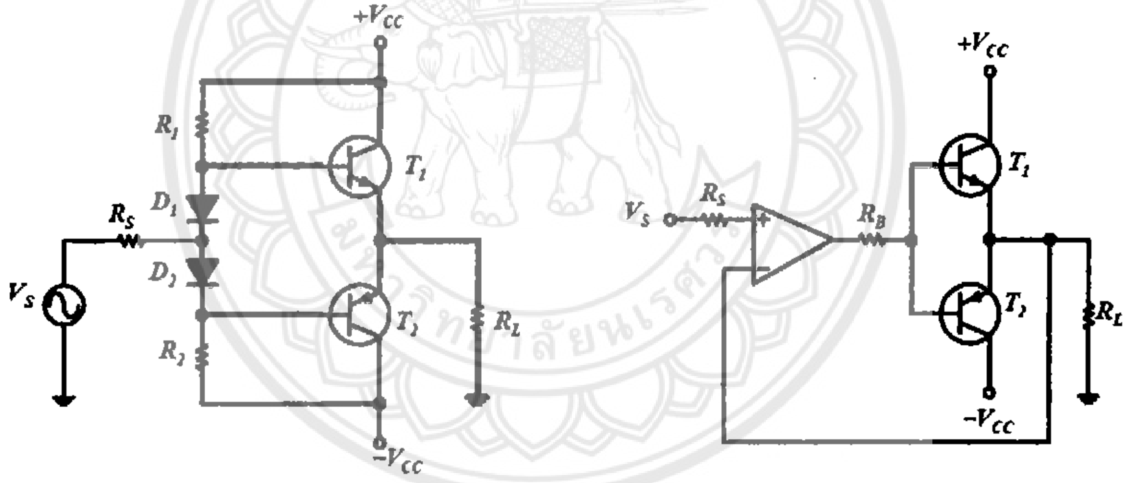
2.4.3 วงจรขยายคลาส เอบี (Class AB Power Amplifier Circuit)

คลาสบีมีความเพี้ยนที่ช่วงรอยต่อเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์จะก่อให้เกิดความรำคาญให้กับผู้ฟังได้เพราะความเพี้ยนมีค่าเปอร์เซ็นต์สูงขณะที่เสียงเบาวิธีแก้อย่างหนึ่งคือการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนำกระแสเพียงเล็กน้อยเมื่อไม่มีสัญญาณเข้าดังรูปที่ 2.19 ทำให้สัญญาณออกจะไม่มีความเพี้ยน แต่ประสิทธิภาพจะลดลงและกำลังสูญเสียเมื่อไม่มีสัญญาณจะสูงขึ้นเรียกวงจรขยายชนิดนี้ว่าคลาสเอบี (Class AB) เพราะมีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์มากกว่า 180°



รูปที่ 2.20 แสดงจุด Q-POINT ของวงจรขยายคลาส เอ-บี

การกำจัดการผิดเพี้ยนครอสโอเวอร์ จะต้องไบอัสตรงด้วยค่าน้อย ๆ ค่าหนึ่งที่อิมิตเตอร์ไดโอดแต่ละตัวนั่นคือจุด Q จะอยู่เหนือจุด คัทออฟไปบนเส้นโหลดไฟสลับเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.20



ก) โดยการเพิ่มไบอัส ข) โดยการป้อนกลับแบบลบ

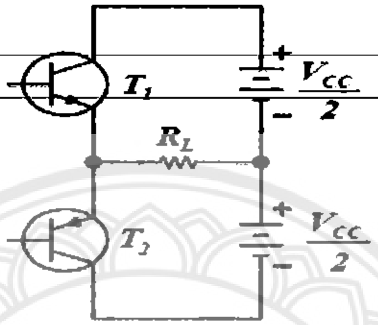
รูปที่ 2.21 วิธีแก้ความเพี้ยนที่ช่วงต่อ

วงจรในรูปที่ 2.21 (ก) เป็นวงจรแบบสมมาตรเชิงคู่ประกอบ มีการไบอัสโดยใช้แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด 2 ตัว ไบอัสระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ของ T_1 และ T_2 ให้นำกระแสเล็กน้อยขณะไม่มีสัญญาณเข้าดังนั้นสัญญาณจาก V_S จะทำให้ T_1 และ T_2 นำกระแสได้ทันทีดังแสดงในรูปที่ 2.19 วงจรในรูปที่ 2.21(ข) อาศัยอัตราขยายของออปแอมป์ ซึ่งมีค่าสูงมากและการป้อนกลับแบบลบ ดังนั้นเมื่อ V_S เริ่มแปรจากค่าศูนย์ ออปแอมป์จะให้แรงดันด้านออกขนาดใหญ่มากเท่ากับ Avs โดยที่ A คืออัตราขยาย วงรอบเปิด (Open Loop) ของออปแอมป์เนื่องจากว่าออปแอมป์ทำงานในสภาพ

วงรอบเปิดแรงดันด้านออกจาก ออปแอมป์จะเพียงพอที่จะขับ T_1 และ T_2 นำกระแสโดยทันทีได้ เมื่อทรานซิสเตอร์ นำกระแสแล้ว แรงดันด้านออกจะถูกป้อนกลับเข้ามายังขาเข้าด้านกลับของออปแอมป์ซึ่งเป็นการป้อนกลับแบบลบลด แรงดันด้านออกลงให้อัตราขยายวงรอบปิดมีค่าเท่ากับหนึ่ง

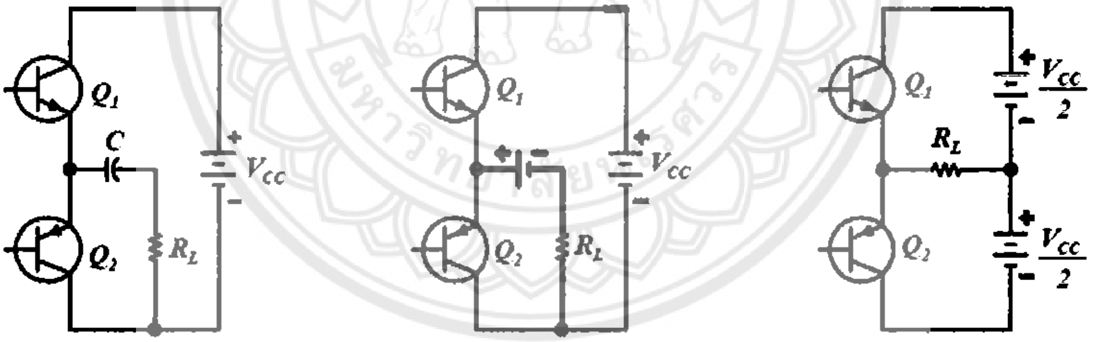
2.4.3.1 วงจรพุช พูล แบบด้านเดียว (Single Ended Push Pull)

ตามรูปที่ 2.22 วงจรพุช พูล แบบด้านเดียวจะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์สองตัวต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรและต่อขนานกับโหลด



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรพุช-พูลแบบด้านเดียว

จากรูปที่ 2.21 เป็นการใช้แหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด แต่ละชุดมีค่าเป็น Vcc/2 โดยทำการดัดแปลงเพื่อใช้กับ



(ก) ใส่ตัวเก็บประจุ (ข) วงจรเสมือนของรูป (ก) (ค) ลักษณะการทำงาน

แหล่งจ่ายไฟชุดเดียวจะได้ดังรูปที่ 2.23

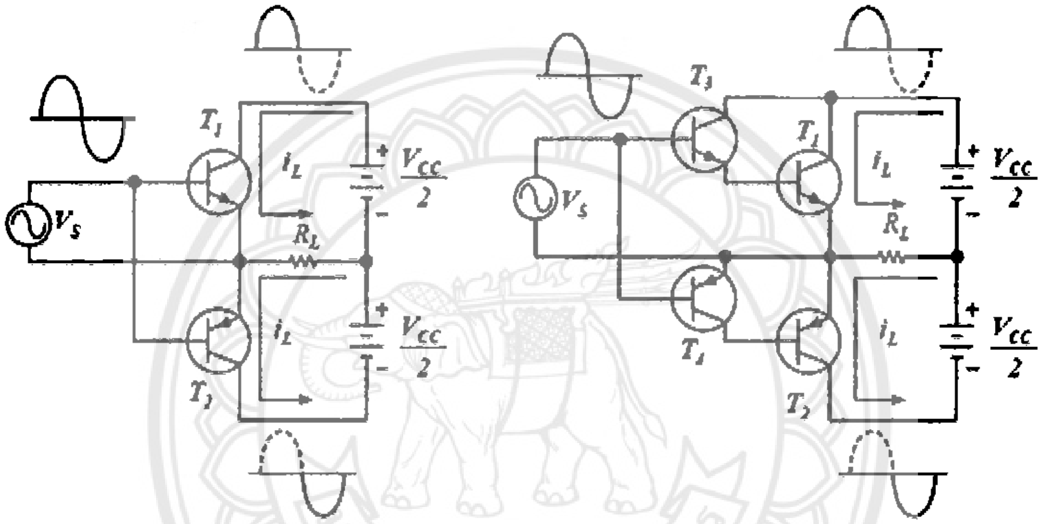
รูปที่ 2.23 การดัดแปลงให้ใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว

รูปที่ 2.23 (ก) เป็นการใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียวโดยใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุมากๆใส่ไว้ตัว C จะทำตัวเสมือนแบตเตอรี่ขนาด Vcc/2โวลต์ ซึ่งเขียนวงจรเสมือนได้ดังรูปที่ 2.23 (ข)ซึ่งมีการทำงานดังรูปที่ 2.23(ค) แต่เนื่องจากการใช้ตัวเก็บประจุ C จะมีผลไปจำกัดทางด้านความถี่ต่ำ และทำให้เกิด

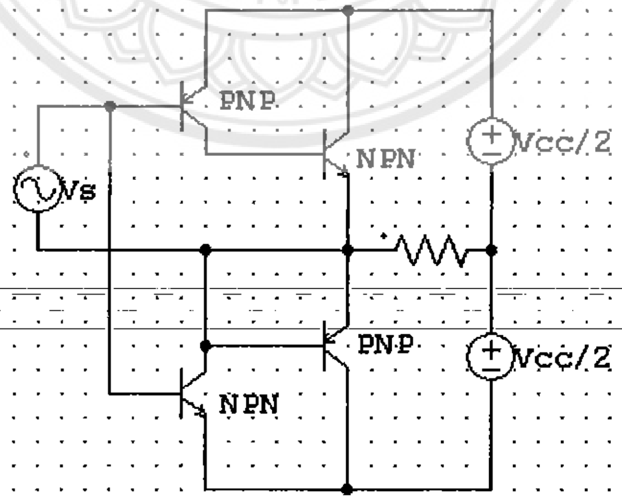
การกระชากขึ้นของแรงดันเมื่อเปิดไฟจ่ายให้กับวงจร ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้วมักจะ ไม่ใช้ตัวเก็บประจุ C ซึ่งวงจรนี้เรียกว่าวงจรที่ไม่ใช้ตัวเก็บประจุด้านสัญญาณออกหรือ OCL

2.4.3.2 วงจรพุช พูล ด้านเดียว

วงจรพุช พูลเท่าที่ได้อธิบายมาจำเป็นต้องใช้สัญญาณป้อนเข้าที่จุดสัญญาณเข้าสองสัญญาณ โดยมีเฟสตรงข้ามกัน แต่โดยการใช้ทรานซิสเตอร์สองตัวแบบ PNP และ NPN มาประกอบกัน โดยเลือกให้ คุณสมบัติต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์นี้สัมพันธ์กันทุกประการแล้ว วงจรพุช พูลที่ได้ จากการใช้วิธีนี้จะใช้สัญญาณป้อนเข้าที่จุดสัญญาณเข้าเพียงสัญญาณเดียว ดังรูปที่ 2.24

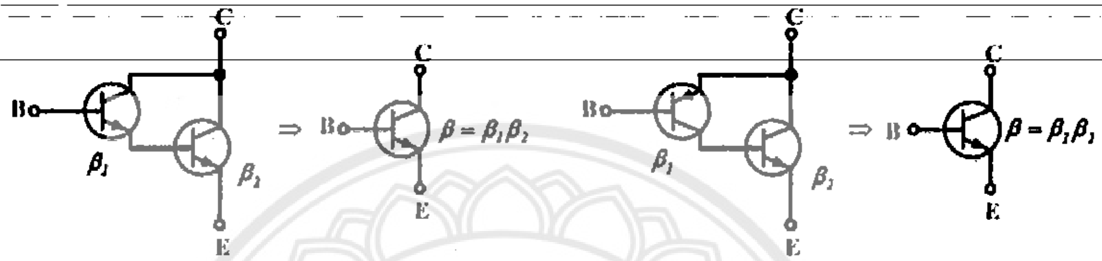


รูปที่ 2.24 แสดงวงจรพุช พูลด้านเดียวแบบดาร์ลิงตัน



รูปที่ 2.25 แสดงวงจรพุช พูลด้านเดียวแบบคอมพลีเมนท์ตารี่

จากรูปที่ 2.24 รูปซ้ายเป็นวงจรอย่างง่าย ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ทรานซิสเตอร์สองตัวที่สร้างง่ายที่สุดในการใช้กับโหลดที่ค่าต่ำๆ แต่เนื่องจากการหาทรานซิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติต่างๆ สัมพันธ์กันทุกประการของทรานซิสเตอร์ที่ให้กำลังคู่นี้ทำได้ไม่ง่ายนัก จึงทำให้อัตราขยายกำลังไม่ได้เพียงพอต่อความต้องการ ด้วยเหตุนี้เองเมื่อต้องการวงจรขยายที่ให้อัตราขยายสูงมักจะเปลี่ยนมาใช้วงจรในรูปที่ 2.24 รูปขวาเป็นแบบดาร์ลิงตันซึ่งเป็นแบบที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว การประกอบกันของทรานซิสเตอร์ NPN และ NPN กับ PNP และ NPN จะทำหน้าที่เสมือนทรานซิสเตอร์ตัวเดียว ดังรูปที่ 2.25



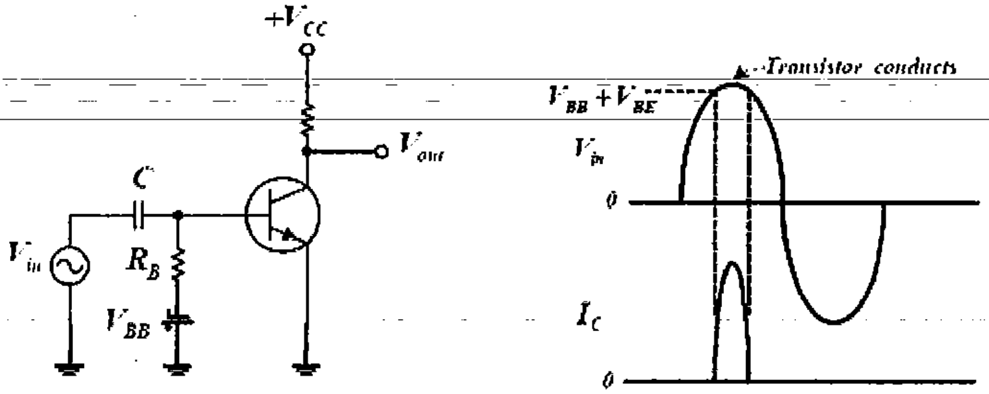
(ก) ต่อแบบดาร์ลิงตัน (ข) ต่อแบบคอมพลีเมนท์ตารี่

รูปที่ 2.26 การนำทรานซิสเตอร์สองตัวมาประกอบกัน

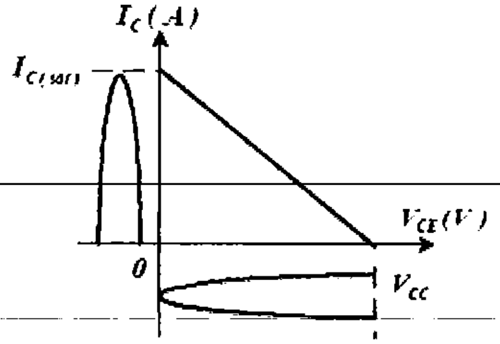
การต่อกันในลักษณะนี้จะทำให้อัตราขยายกระแสสูงมากทำให้สามารถทำวงจรที่มีอัตราการขยายสัญญาณ และอัตราการขยายกำลังได้สูง

2.4.4 วงจรขยายคลาสซี (Class C Amplifier Circuit)

วงจรขยายคลาส C เป็นวงจรที่ให้ประสิทธิภาพสูง แต่ความผิดเพี้ยนมีสูงมาก ใช้สำหรับวงจรขยายในย่านความถี่วิทยุ (RF) เพราะสามารถใช้วงจรจูนชดเชยความผิดเพี้ยนได้การจัดไบอัสคลาส C จะตั้งไบอัสให้เลยจุดคัตออฟไป หรือเรียกว่าตั้งไบอัสเลยเส้นโหลดไลน์ออกไปทำให้ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังแสดงหลักการไว้ในรูปที่ 2.26 และ 2.27

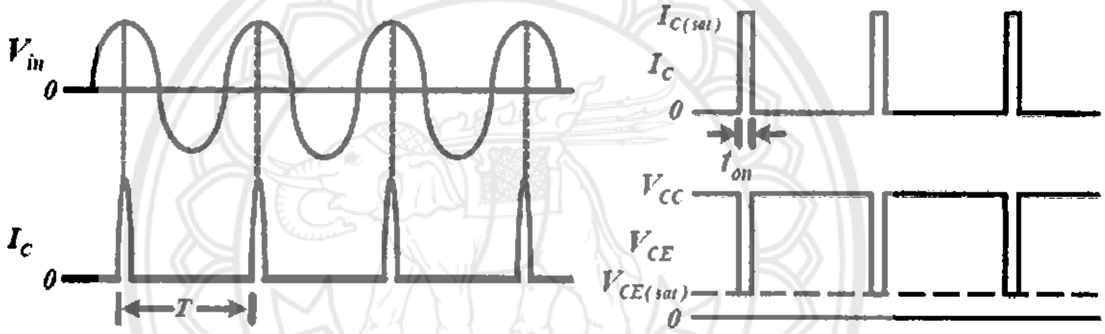


(ก) วงจรเบื้องต้นการขยายคลาสซี (ข) แรงดันอินพุตและกระแสเอาต์พุต



(ค) การทำงานบนเส้นโหลดไลน์

รูปที่ 2.27 การทำงานของวงจรคลาสซี



(ก) พัลส์ที่เป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ (ข) รูปสัญญาณของคลาสซี

รูปที่ 2.28 การทำงานของวงจรขยายคลาสซี

ข้อควรจำ

วงจรขยาย Class A ก็คือวงจรขยายเชิงเส้น เป็นวงจรที่กำหนดจุดทำงานที่ประมาณกึ่งกลางเส้นโหลด โดยวงจรนี้จะทำงานเป็นวงจรขยายเชิงเส้นในกรณีที่สัญญาณอินพุตขนาดน้อย ๆ วงจรนี้ส่วนมาก จะใช้ทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว โดย ทรานซิสเตอร์ตัวนี้จะทำงานขยายสัญญาณอินพุตตลอดทั้ง 1 Cycle หรือ 1 คาบเวลา วงจรประเภทนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเนื่องจากทรานซิสเตอร์ทำงานตลอดเวลาแม้ไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามาก็ตาม

วงจรขยาย Class B มีความเพี้ยนมาก เป็นวงจรที่มีการทำงานที่จุด Cut-Off พอดี และตัวอุปกรณ์ ทรานซิสเตอร์จะทำงานขยายสัญญาณเพียงครึ่งคาบสัญญาณหรือ Half-Cycle เท่านั้นส่วนอีกครึ่ง Cycle จะไม่ถูกขยายไดโอด จึงไม่สามารถนำวงจรขยาย Class B นี้มาใช้ขยายเสียงได้ แต่ถ้าต้องการจะนำมา ขยายเสียง จะต้องใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาทำงานร่วมกัน เรียกว่าวงจร push-pull

วงจรขยาย Class AB เป็นการนำคุณสมบัติของวงจรขยายClass A และClass Bมาใช้ร่วมกัน ลด ความเพี้ยนคลอสโอเวอร์ลง Class AB นี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในการขยายเสียง แบบเครื่องขยายเสียงใน ภาคกำลังโดยการต่อเป็น วงจรพุชพูล (Push pull)

วงจรขยาย Class C เป็นวงจรขยายกำลังที่กำหนดให้จุดทำงาน Q-point อยู่ต่ำกว่าจุด cut-off จึง ทำให้สัญญาณเกิดไม่ถึงครึ่ง Cycle จึงทำให้สัญญาณที่ได้มีความเพี้ยนสูงมาก แต่ถ้าให้สัญญาณนี้ไปผ่าน วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band pass filter) ชนิด LC ก็จะสามารถให้สัญญาณออกเป็นไซน์ได้เช่นกัน วงจรขยาย Class C นี้ไม่เหมาะที่จะใช้ขยายเสียงแต่จะนำไปใช้กับการขยายสัญญาณที่ต้องการกำลังงาน สูงๆ มากกว่าต้องการความเที่ยงตรงของสัญญาณ เช่นวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ FM หรือ VHF ที่ ต้องส่งไปให้ไกล วงจรขยายแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงมาก เมื่อเทียบกับแบบอื่นๆ

1499341X
ฟร.
7939ว
2550

บทที่ 3
การประกอบวงจร

วงจรเพาเวอร์แอมป์ขนาด 50 วัตต์ ชุดนี้เป็นวงจรขยายเสียงเมนแอมป์ จัดเป็นวงจรเป็นแบบคอมพลีเมนทารี่ คลาส AB

3.1 อุปกรณ์

1. ทรานซิสเตอร์ ดังต่อไปนี้

BC547	4	ตัว
BC557	1	ตัว
C9012	1	ตัว
C9013	1	ตัว
BD139	1	ตัว
BD140	1	ตัว
2N3055	1	ตัว
MJ2955	1	ตัว

2. คาปาซิเตอร์

0.1uF	1	ตัว
1.0uF	1	ตัว
100uF	2	ตัว
47pF	1	ตัว
47uF	1	ตัว

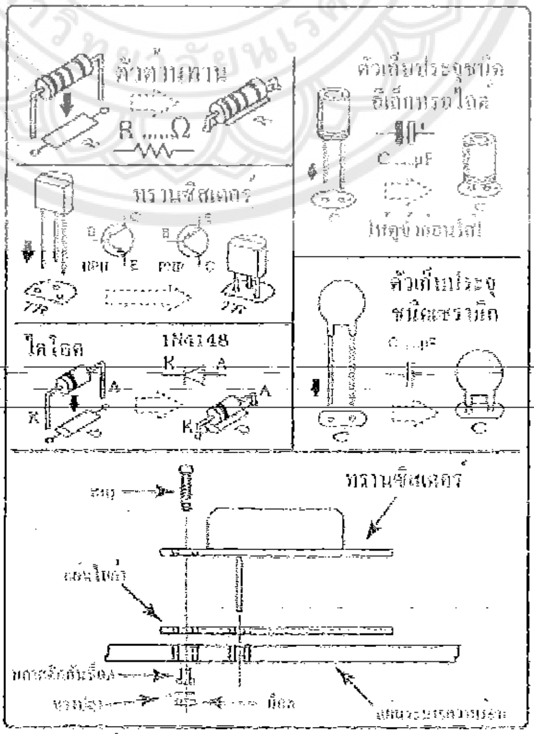
3. ตัวต้านทาน

1	4	ตัว
10	2	ตัว
100	5	ตัว
330	2	ตัว
470	1	ตัว
560	1	ตัว
820	1	ตัว
VR1k	1	ตัว
1k2	4	ตัว

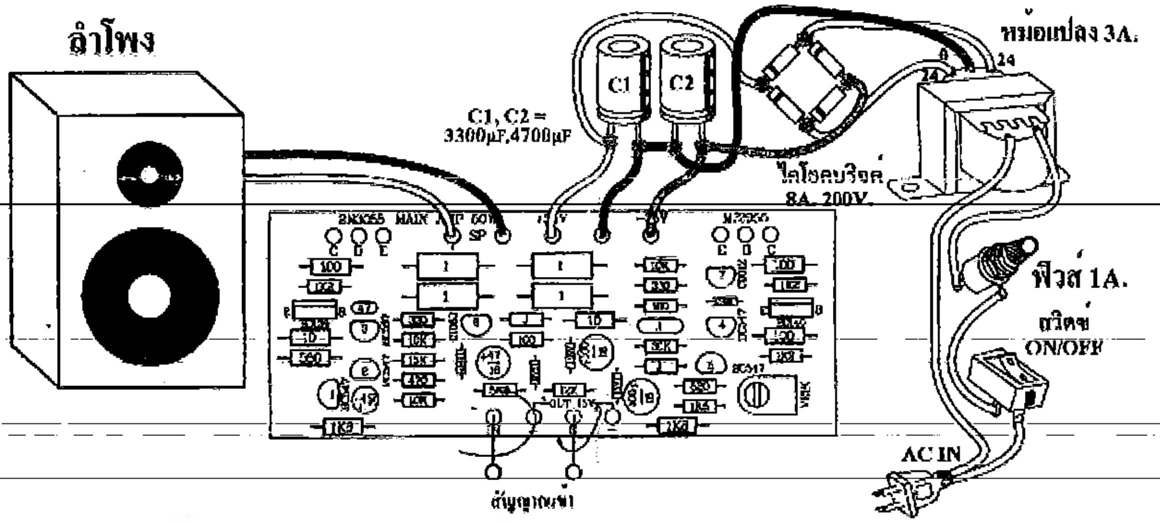
1k8	2	ตัว
5k6	1	ตัว
10k	2	ตัว
12k	1	ตัว
15k	2	ตัว
30k	1	ตัว

3.2 การประกอบวงจร

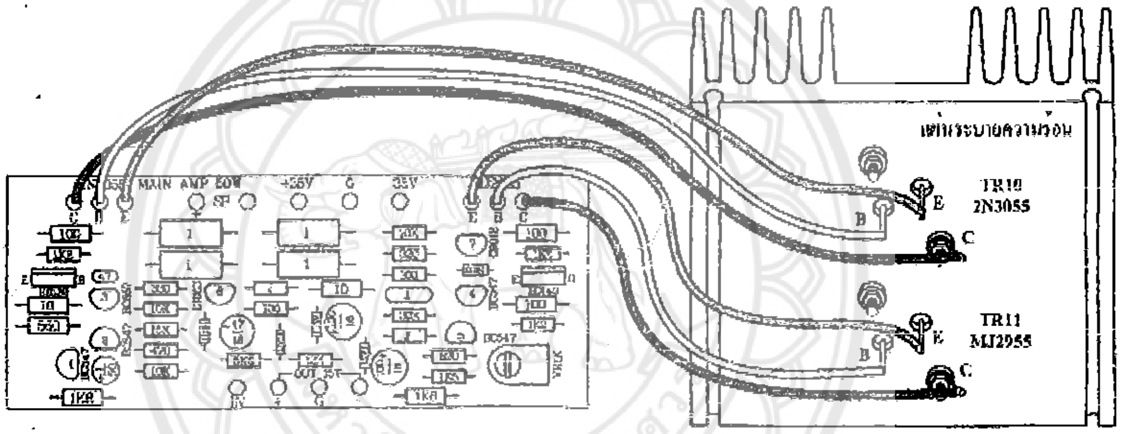
รูปการลงอุปกรณ์และการต่ออุปกรณ์ภายนอกแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในการประกอบวงจร ควรเริ่มจากอุปกรณ์ที่มีความสูงน้อยที่สุดก่อน เพื่อความสวยงามและการประกอบที่ง่ายโดยให้ เริ่มจากตัวต้านทานและไล่ความสูงไปเรื่อยๆสำหรับอุปกรณ์ที่มีขั้วต่างๆ ควรใช้ความระมัดระวังในการประกอบวงจรก่อนการใส่อุปกรณ์เหล่านี้จะต้องให้ขั้วที่แผนวงจรพิมพ์กับตัวอุปกรณ์ให้ตรงกัน เพราะใส่กลับขั้วกันแล้ว อาจจะทำให้อุปกรณ์หรือวงจรเสียหายได้ วิธีการดูขั้วและการใส่อุปกรณ์นั้นได้แสดงในรูปที่ 1 แล้ว ในการบัดกรีให้ใช้หัวแร้งขนาดไม่เกิน 40 วัตต์ และใช้ตะกั่วบัดกรีที่มีอัตราส่วนของดีบุกและตะกั่วอยู่ระหว่าง 60/40 เราทั้งจะต้องมีน้ำยาประสานอยู่ภายในตะกั่วด้วย หลังจากที่ได้ใส่อุปกรณ์และทำการบัดกรีเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เกิดความมั่นใจแก่ตัวเราเอง แต่ถ้าเกิดใส่อุปกรณ์ผิดตำแหน่ง ควรใช้ที่ดูดตะกั่วหรือลวดซับตะกั่วเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับลายวงจรพิมพ์ได้



รูปที่ 3.1 แสดงการใส่อุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 3.2 แสดงการต่อใช้งาน



รูปที่ 3.3 แสดงการต่อ MJ2955 และ 2N3055 เข้ากับแผงวงจร

ลายปริ้นแผงวงจรนำมาจากชุดคิด รหัสแผงวงจร FK660, 661-2

3.3 การทดสอบและการตรวจซ่อม

3.3.1 การทดสอบ

วงจรนี้ใช้ไฟจากหม้อแปลง 24-0-24 แล้วทำการแปลงเป็นไฟตรง ขนาด 35-0-35 เพื่อนำไปเลี้ยงวงจร ก่อนอื่นให้ปรับ TR1 ไว้ตำแหน่งกึ่งกลาง จ่ายไฟเข้าวงจร หากมีกลิ่นไหม้ให้หยุดจ่ายไฟทันทีและตรวจสอบอีกครั้ง วัดไฟที่จุด SP ควรจะอ่านได้ไม่เกิน 0.5 โวลต์ ถ้าปกติให้นำลำโพงมาต่อที่จุด SP ส่วนจุดอินพุต ให้ต่อสัญญาณอินพุตแล้วทดลองเร่งสัญญาณเพื่อฟังเสียง ถ้าต้องการปรับกระแสเฉื่อยในวงจรให้หยุดจ่ายไฟและถอดลำโพงออกและจั๊มจุดอินพุตที่ขั้วกราวด์ ถอดขา C ของ TR 2N3055 แล้วใช้มิเตอร์วัดกระแสไฟ โดยขั้วบวกต่อที่ 35 โวลต์ และขั้วลบที่มิเตอร์ต่อที่ขา C ของ TR เสร็จแล้วจ่ายไฟเข้าวงจรปรับกระแสที่ VR1 จนอ่านกระแสได้ประมาณ 40 มิลลิแอมป์ เสร็จแล้วให้เอาแหล่งจ่ายไฟออก แล้วต่อเข้าตามเดิม วงจรนี้ถ้าเป็น 50 วัตต์ mono ให้หม้อแปลงขนาด 3 แอมป์ และใช้โทนรุ่นซุปเปอร์โทนคอลโทรล mono แต่ถ้าเป็น 50 วัตต์ สเตริโอ ให้หม้อ

แปลงขนาด 5 แอมป์ และใช้โทนรุ่นซุปเปอร์โทนคอลโทรล สเตริโอ โดยภาคโทนทั้ง 2 รุ่น สามารถใช้ไฟจากชุดขยายเสียงที่มีจุดบวก 15 โวลต์,0,-15 โวลต์ ได้เลยแต่ถ้าทดลองแล้วมีกลิ่นไหม้ ให้ตรวจสอบอุปกรณ์อีกครั้ง และจุดบัดกรี ให้แน่ใจอีกครั้งก่อนทำการทดสอบใหม่ในการนำไปใช้งานจริงควรจะต่อชุดป้องกันลำโพงไว้ด้วย เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับลำโพงได้

3.3.2 การตรวจซ่อม

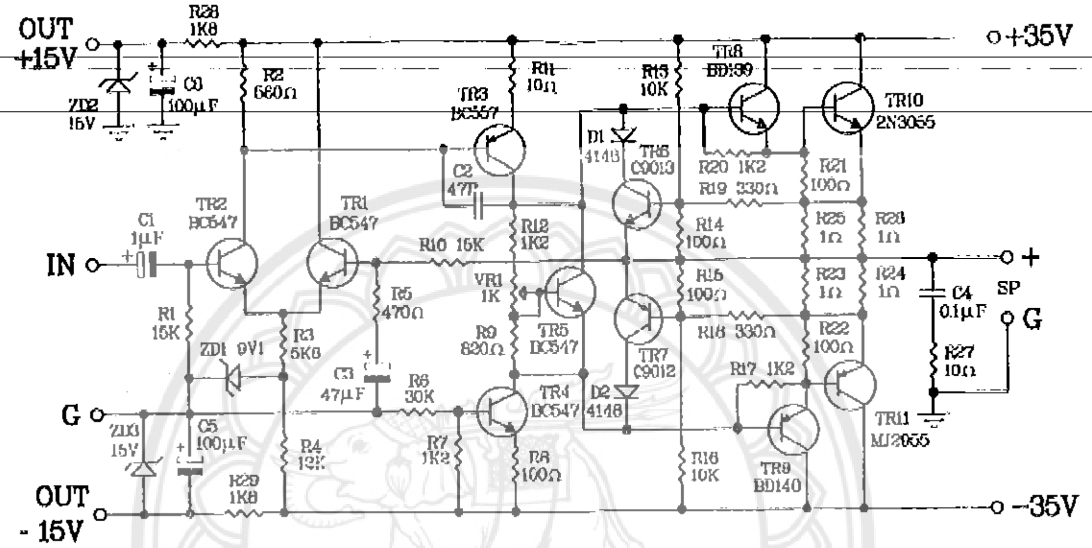
ถ้าไม่มีสัญญาณออกมาทางจุดเอาต์พุต ก็ให้ทำการตรวจสอบสายสัญญาณต่างๆ ที่ต่อมาเข้าวงจรตามจุดต่างๆ แต่สาเหตุส่วนใหญ่ที่วงจรไม่ทำงานนั้น มักจะเกิดมาจากการใส่อุปกรณ์ผิดตำแหน่งและการบัดกรีไม่ติด เมื่อวงจรไม่ทำงานให้ทำการไล่อุปกรณ์ว่าใส่ผิดตำแหน่งหรือไม่ รวมทั้งให้ดูตามจุดบัดกรีต่างๆด้วย

ข้อมูลทางด้านเทคนิค

- ใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด +35,0,-35 โวลท์ดีซี กระแสมากกว่า 3 แอมป์
- การตอบสนองความถี่ได้ตั้งแต่ 10-100 กิโลเฮิรตซ์
- ความไวทางด้านอินพุต 1 โวลท์อาร์เอ็มเอส
- ความต้านทานอินพุต 15 กิโลโอห์ม
- ความเพี้ยน 0.02% THD
- ให้กำลังเอาท์พุตสูงสุด 50 วัตต์ class AB ที่ 4 หรือ 8 โอห์ม
- ขนาดแผ่นวงจรพิมพ์ 4.50 * 1.78 นิ้ว

บทที่ 4
การวิเคราะห์วงจร

วิเคราะห์การทำงานเครื่องขยายเสียง 50 วัตต์ โอซีแอล (OCL) ระบบโมโนโดยใช้โปรแกรมพีซิม (PSIM)



รูปที่ 4.1 วงจรเพาเวอร์แอมป์ OCL 50 วัตต์ ระบบโมโน

ลักษณะการทำงานของวงจรสามารถแบ่งส่วนต่างๆเพื่อแยกอธิบายได้ดังนี้คือ

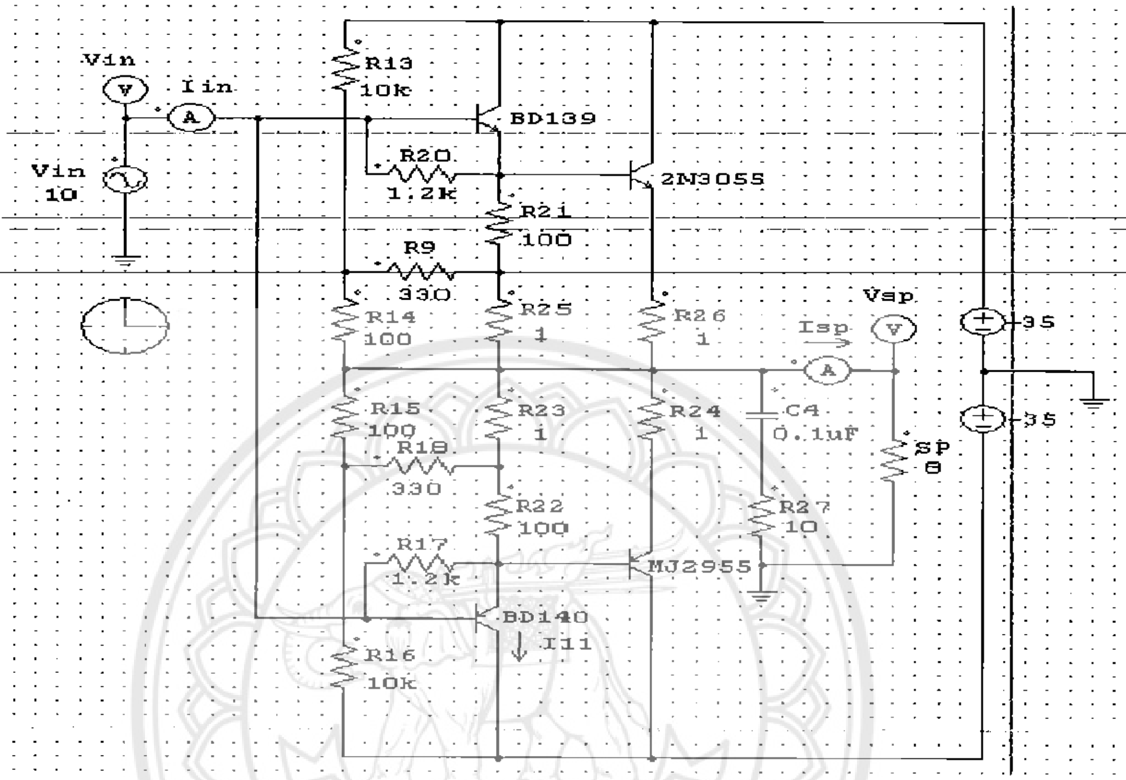
4.1 วงจรทางด้านเอาต์พุต (Power Output Stage)

4.1.1 ลักษณะการประกอบวงจร

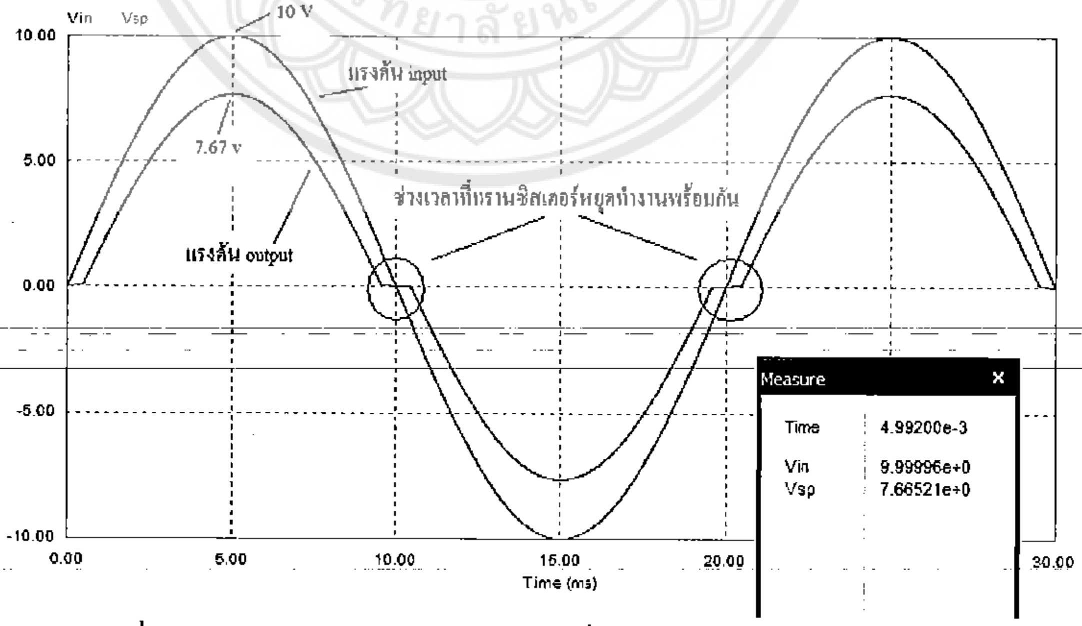
วงจรทางด้านเอาต์พุตเป็น วงจรพุช พูลด้านเดียวแบบดาร์ลิงตัน ดังรูป 2.24ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทรานซิสเตอร์สองตัวแบบ PNP และ NPN มาประกอบกัน โดยเลือกให้คุณสมบัติต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์นี้สัมพันธ์กันทุกประการแล้ว วงจรพุช พูลที่ได้จากการใช้วิธีนี้จะใช้สัญญาณป้อนเข้าที่จุดสัญญาณเข้าเพียงสัญญาณเดียวดังรูปที่ 2.24 พิจารณาจากการประกอบวงจรเมื่อแยกออกมาจะเห็นว่า ทรานซิสเตอร์ TR10 และทรานซิสเตอร์ TR11 ต่อกันแบบ วงจรพุช พูล (Push Pull Circuit) ดังรูป 2.16 โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ให้นำกระแสตัวละครึ่งคาบสลับกัน ทำให้ทรานซิสเตอร์TR10 และTR11 ผลัดกันนำกระแสตัวละ 180° กระแสที่ไหลในโหลดซึ่งเป็นผลรวมของกระแสของทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะไหลตลอดคาบ ส่วนทรานซิสเตอร์ TR8 และทรานซิสเตอร์ TR10 ต่อกันลักษณะนี้เรียกว่า ต่อแบบดาร์ลิงตัน ดังรูป 2.26(ก) เช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์ TR9 และทรานซิสเตอร์ TR11

4.1.2 ทดสอบสัญญาณเอาต์พุต

แยกส่วนวิเคราะห์เฉพาะภาคเอาต์พุตโดยทำการป้อนแรงดัน VinAC 10 โวลต์ ดังรูปที่ 4.2 พิจารณาผลที่เกิดขึ้น



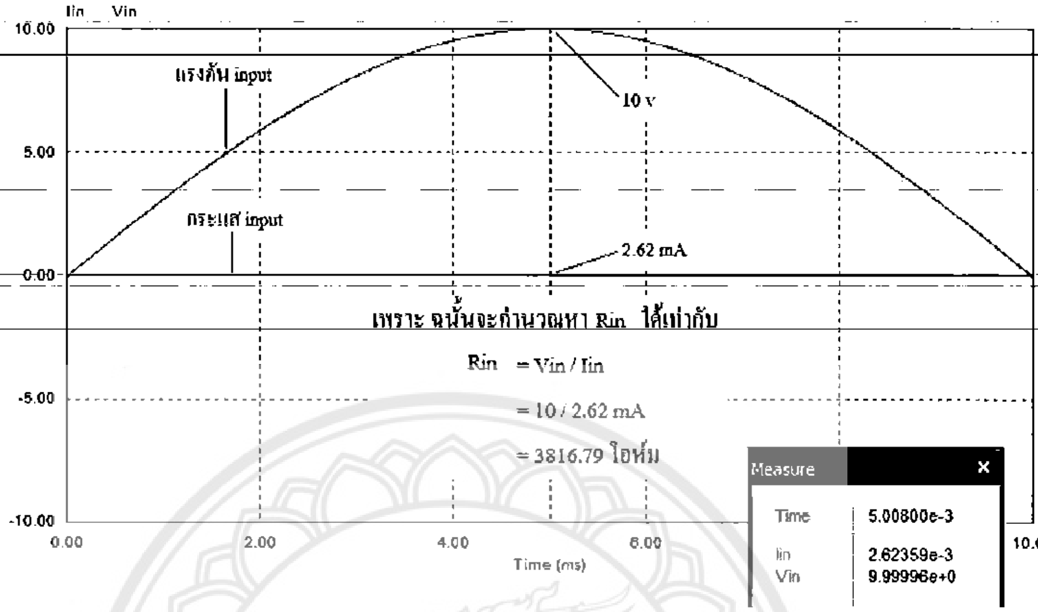
รูปที่ 4.2 วงจรทางด้านเอาต์พุต



รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า Vout เกิดช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์ทำงานสลับกัน ณ จุดเดียวกัน

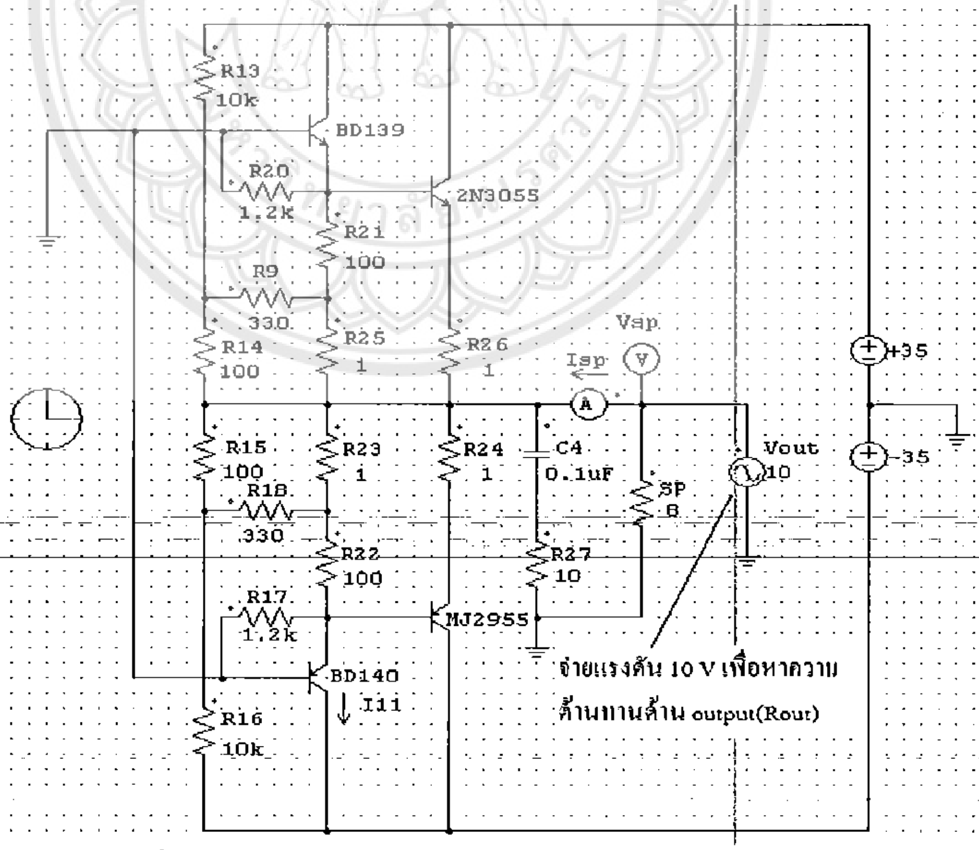
4.1.3 หาค่า Rin

หาค่า Rin โดยวัดกระแสอินพุตและแรงดันอินพุตดังรูป 4.2 จะทำให้ได้ค่า Rin ดังรูป 4.4

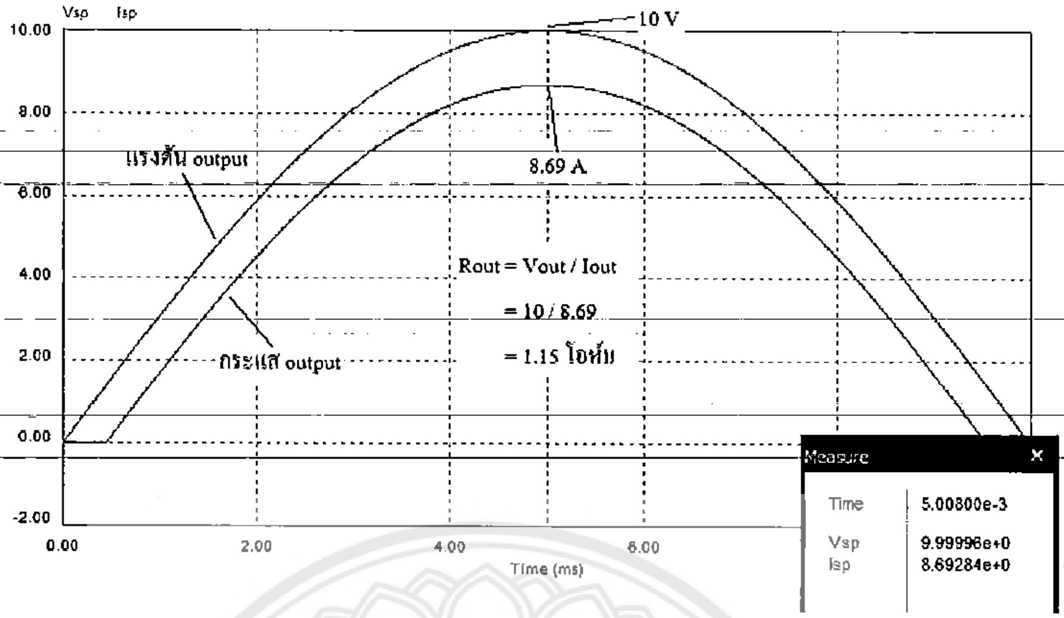


รูปที่ 4.4 แสดงการหา Rin

4.1.4 หาค่า Rout



รูปที่ 4.5 แสดงการวัดหาค่า Iout หรือ Isp และ Vout หรือ Vsp



รูปที่ 4.6 แสดงการหา Rout

4.1.5 หลักการทำงาน

การที่ทรานซิสเตอร์ TR10 กับ TR11 จะทำงานได้ต้องอาศัยทรานซิสเตอร์ภาคไดรเวอร์ (Driver) มาทำหน้าที่ขับกระแสไฟให้ นั่นคือ ทรานซิสเตอร์ TR8 กับ TR9 โดยมีตัวต้านทาน R21 กับ R22 มาทำหน้าที่ป้องกันการอิ่มตัวให้กับทรานซิสเตอร์ TR8 และ TR9

เนื่องจากวงจรขยายชุดนี้เป็นระบบ OCL ดังนั้นทรานซิสเตอร์ TR8 ต้องทำงานเท่ากันกับทรานซิสเตอร์ TR9 ส่วนทรานซิสเตอร์ TR10 จะต้องทำงานเท่ากันกับทรานซิสเตอร์ TR11 เพื่อรักษาแรงดันไฟที่จุดเซ็นเตอร์ทางออกลำโพงให้มีค่าแรงดันไฟดีซีเป็นศูนย์

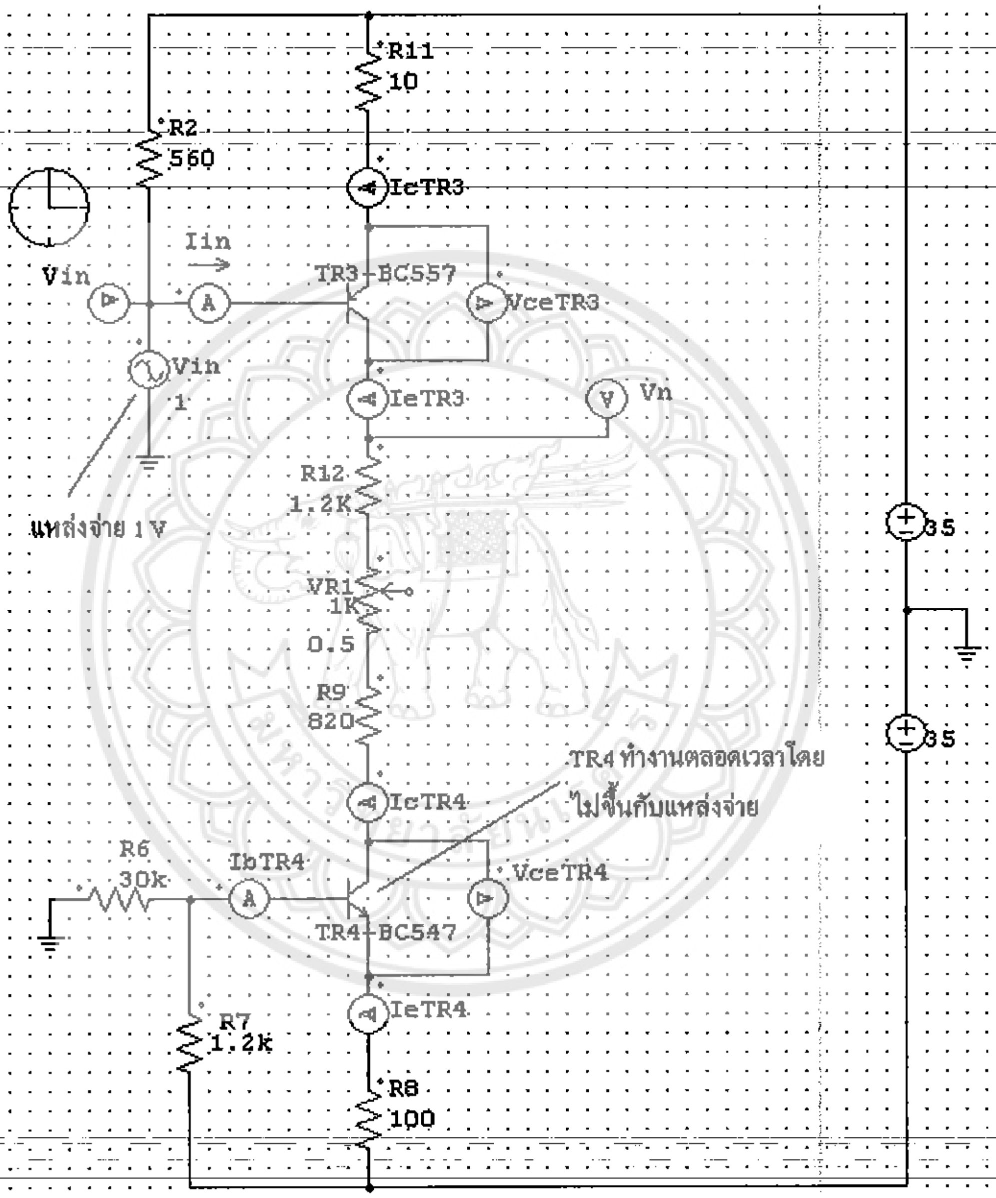
วงจรทางด้านเอาต์พุตใช้ทรานซิสเตอร์รูปตัวถังจานบิน (TO-3) เบอร์ยอดนิยมคือ คู่แมตซ์ 2N3055 และ MJ2955 ในวงจรคือทรานซิสเตอร์ TR10 และ TR11 ลักษณะของการจัดวงจรเป็นไปในลักษณะควอไซคอมพลีเมนทารี (Quasi-Complementary) เพื่อไม่ให้เฟสเสียงมีปัญหา กล่าวคือ การทำงานของวงจรเฟสบวก ทรานซิสเตอร์ TR10 จะต้องทำงานได้เท่ากันกับวงจรขยายเฟสลบ คือ ทรานซิสเตอร์ TR11 คุณภาพเสียงที่ได้จึงเกิดความสมบูรณ์มากขึ้น

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งสำหรับทรานซิสเตอร์เอาต์พุตก็คือปัญหาที่เกี่ยวกับเรื่องการขับกระแสไฟเพื่อส่งให้กับลำโพง ถ้ากำลังวัตต์มีค่าสูงขึ้นมากเท่าไร ความร้อนที่เกิดขึ้นต้องมีค่าสูงขึ้นตามมามากเท่านั้น จากปัญหาดังกล่าว เพื่อมิให้ทรานซิสเตอร์เกิดการอิ่มตัวมากเกินไป จำเป็นต้องมีตัวต้านทานมาทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟดังกล่าว คือ ตัวต้านทาน R25 ขนานกับ R26 และ ตัวต้านทาน R23 ขนานกับ R24 ซึ่งแต่ละตัวมีความต้านทานเท่ากับ 1 โอห์ม จึงได้ค่าความต้านทานแต่ละด้านเท่ากับ 0.5 โอห์ม เพื่อให้ R25 ขนานกับ R26 จำกัดกระแสได้ 70 A ($+35V/0.5\Omega = 70$ A)

จากการคำนวณโดยประมาณ สามารถทนกำลังวัตต์ได้ ตัวต้านทานดังกล่าวจะต้องเป็นชนิดลวดพัน (Wire Wound)

4.2 วงจรภาคแหล่งจ่ายกระแสคงที่

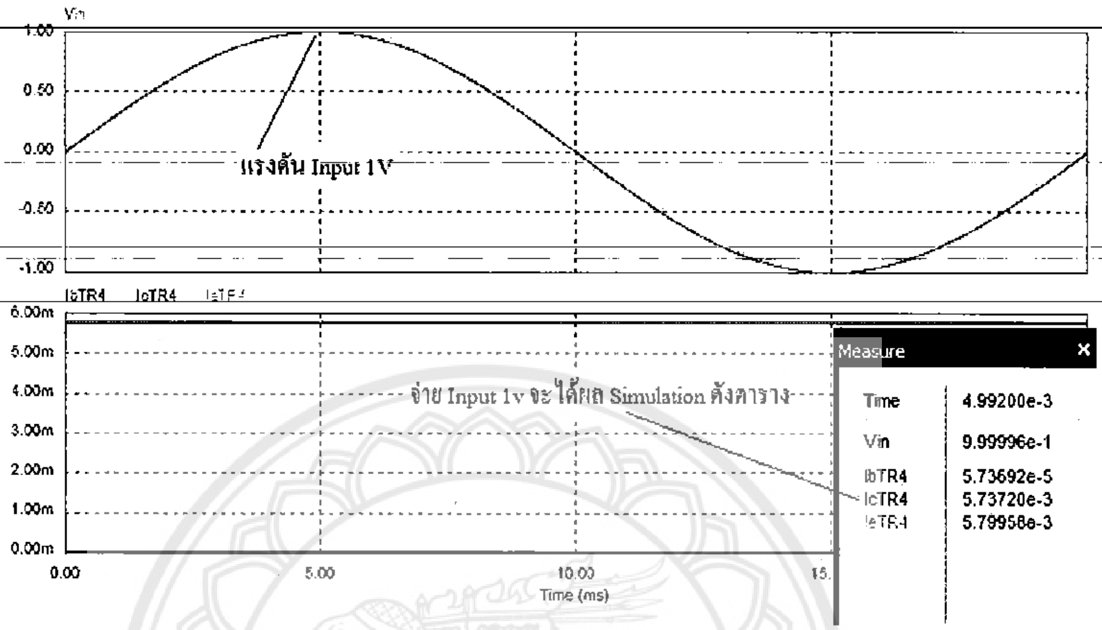
4.2.1 พิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ TR4



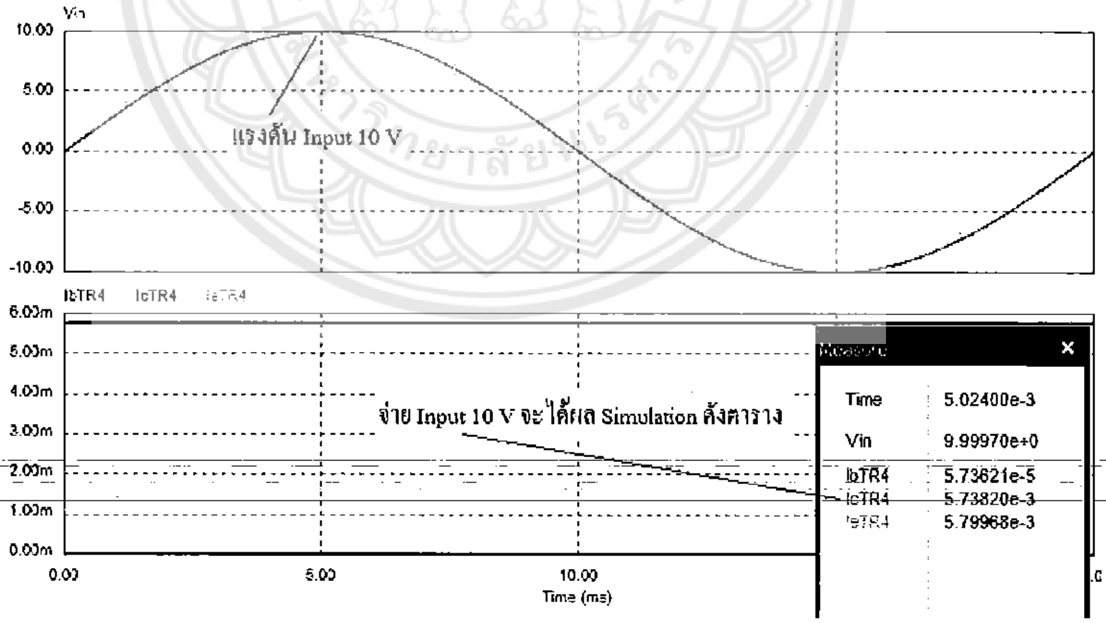
รูปที่ 4.7 พิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ TR4

ทรานซิสเตอร์ TR4 ทำงานตลอดเวลาเนื่องจากมีกระแสไหลจาก +35 โวลต์ (ระหว่าง Ground และ -35 โวลต์) ผ่านตัวต้านทาน R7และ R6 ลงสู่กราวด์ จึงทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R7 เกิดกระแสเบสไปไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ TR4 ทำงานตลอดเวลา โดยไม่ขึ้นกับแหล่งจ่าย Vin ในรูปที่ 4.7

จากรูปที่ 4.7 ทดสอบป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน Vin เป็น 1 โวลต์ และ 10 โวลต์ เพื่อพิจารณาถึงค่ากระแส IcTR4 ของทรานซิสเตอร์ TR4 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่



รูปที่ 4.8 ป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน Vin 1 โวลต์

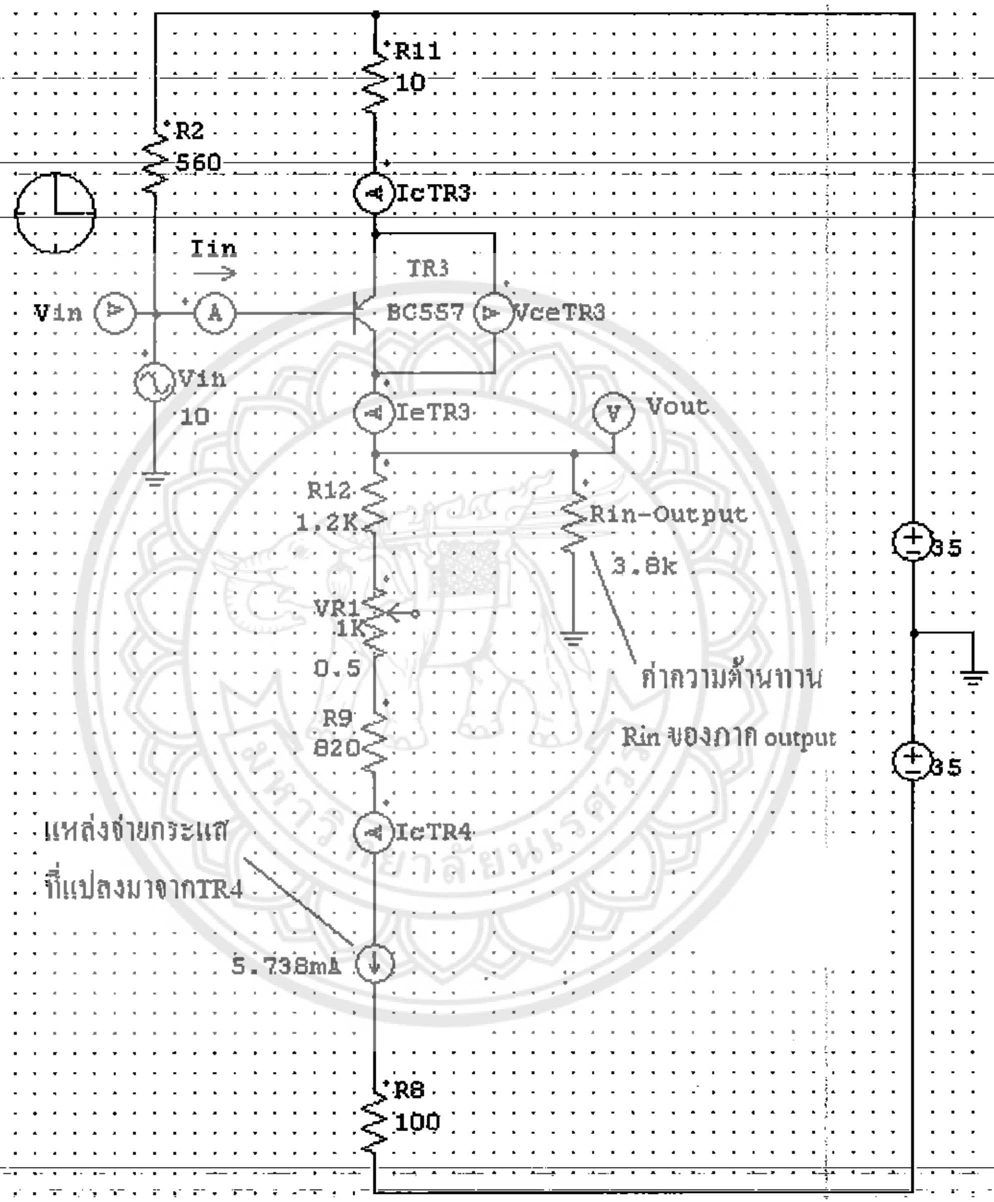


รูปที่ 4.9 ป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน Vin 10 โวลต์

จากผลการ Simulation จะเห็นได้ว่ากระแส IcTR4 มีค่าเท่ากับ 5.73 mA ไม่ว่าแหล่งจ่ายแรงดัน Vin ในรูปที่ 4.7 จะเป็น 1 โวลต์ หรือ 10 โวลต์ จึงสามารถแปลงทรานซิสเตอร์ TR4 เป็น

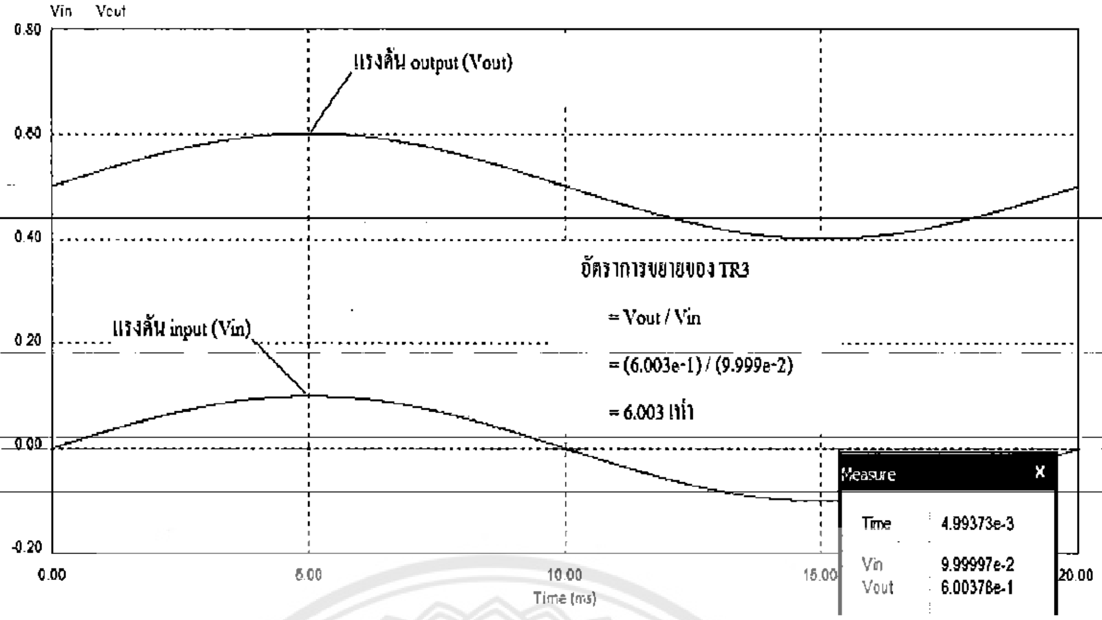
แหล่งจ่ายกระแสตรงที่มีค่าเท่ากับกระแส IcTR4 ขนานกับ Rout ของทรานซิสเตอร์ TR4 ในกรณีนี้ให้สมมุติว่าความต้านทานมีค่าเป็นบวกอนันต์ไปก่อน จึงไม่นำมาใส่ไว้ในวงจรจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.10

4.2.2 หาอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ TR3



รูปที่ 4.10 แสดงการหาอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ TR3

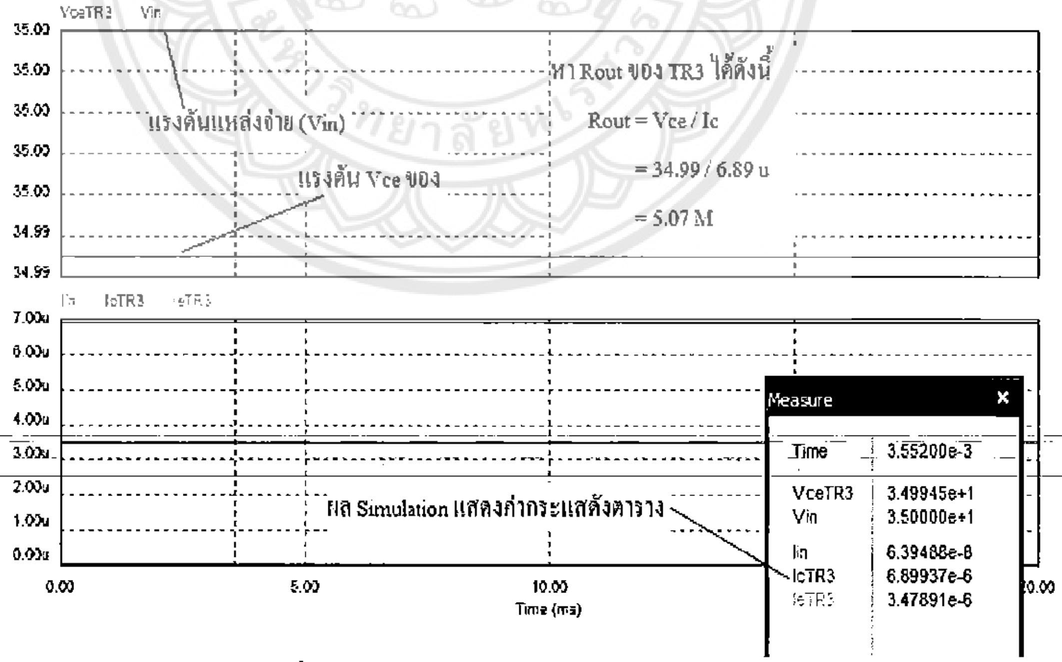
นำค่าความต้านทาน Rin ของภาคเอาต์พุตจากการคำนวณดังรูปที่ 4.4 มาต่อด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR3 แล้วหาอัตราการขยายโดยวัดแรงดันเอาต์พุตเทียบกับแรงดันอินพุตดังรูป 4.10



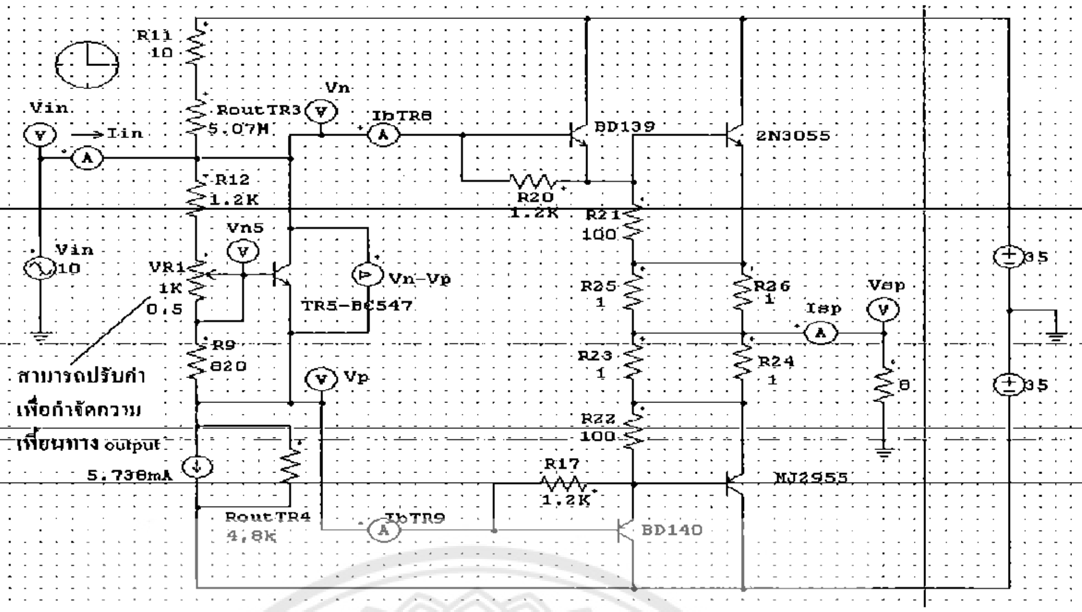
รูปที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอินพุต

ดังนั้น อัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ TR3 มีค่าเท่ากับ 6.003 เท่า

4.2.3 วิเคราะห์วงจรลดความเพี้ยนขณะเวลาเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานสลับกัน ณ จุดเดียวกัน

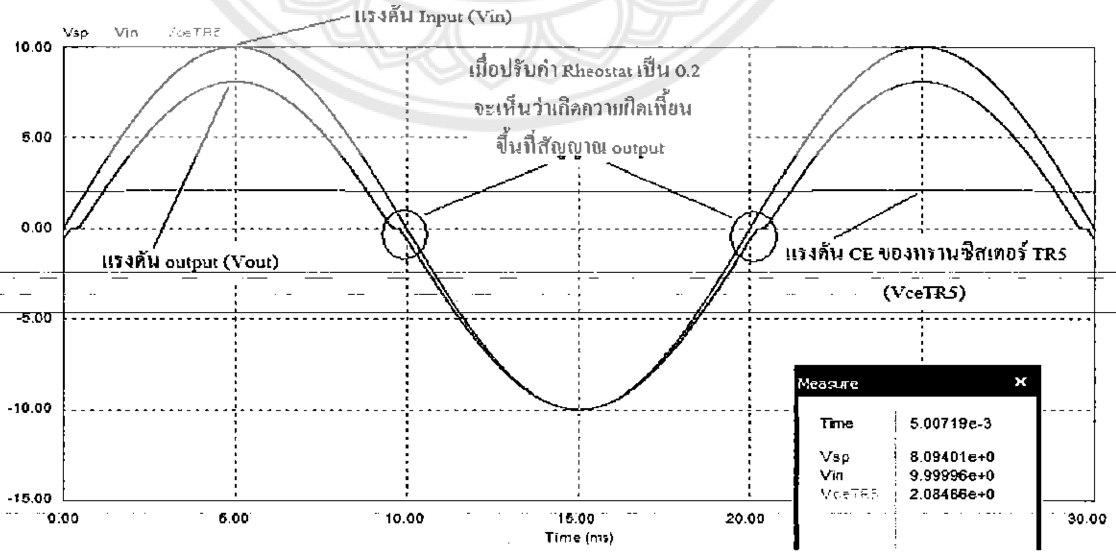


รูปที่ 4.12 หาค่า Rout ของทรานซิสเตอร์ TR3



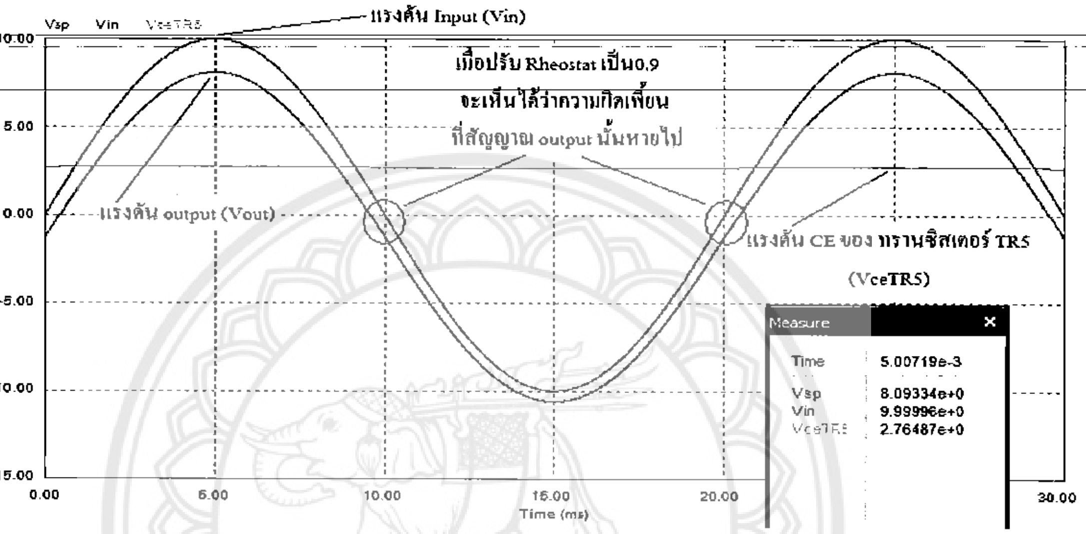
รูปที่ 4.13 แสดงวงจรภาคปรับแรงดันต่อกับวงจรภาคOUTPUT

จุดประสงค์ของวงจรในรูปที่ 4.13 คือการปรับค่าความต่างศักย์ตกคร่อมที่ CE ของทรานซิสเตอร์ TR5 โดยทดสอบปรับค่า Rheostat VR1K เป็น 0.2 จะทำให้ค่าความต้านทาน VR1 มีค่าลดลง ทำให้แรงดันที่ R9 มีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นค่ากระแสไบแอส ทรานซิสเตอร์ TR5 ก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์เอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR5 ไหลได้มากขึ้น ส่งผลให้แรงดันไฟระหว่างขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR8 กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR9 มีค่าลดลง ค่ากระแสไบแอสที่ได้มีค่าลดต่ำลงด้วย ผลการทำงานของวงจรแสดงดังรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าเกิดจุดที่ทรานซิสเตอร์ทำงานสลับกัน ณ จุดเดียวกัน ทำให้กราฟของแรงดันที่โหลดลำโพง (Vsp) เกิดการผิดเพี้ยนขึ้นบางจุด



รูปที่ 4.14 แสดงผล Vsp เมื่อกำหนดให้ Rheostat เป็น 0.2

ทำการปรับค่า Rheostat VR1K เป็น 0.9 จะทำให้ค่าความต้านทาน VR1 มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันที่ R9 มีค่าลดลงดังนั้นค่ากระแสไบแอสทรานซิสเตอร์ TR5 ก็จะลดลง ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์เอาต์พุตของททรานซิสเตอร์ TR5 ไหลลดลง ส่งผลให้แรงดันไฟระหว่างขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR8 กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR9 มีเพิ่มขึ้น ค่ากระแสไบแอสที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ผลการทำงานของวงจรแสดงดังรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าเกิดจุดที่ทรานซิสเตอร์ทำงานสลับกัน ณ จุดเดียวกันนั้นจะหายไป ทำให้กราฟของแรงดันที่โหลดลำโพง (Vsp) ไม่เกิดการผิดเพี้ยนขึ้น



รูปที่ 4.15 แสดงผล Vsp เมื่อกำหนดให้ Rheostat เป็น 0.9

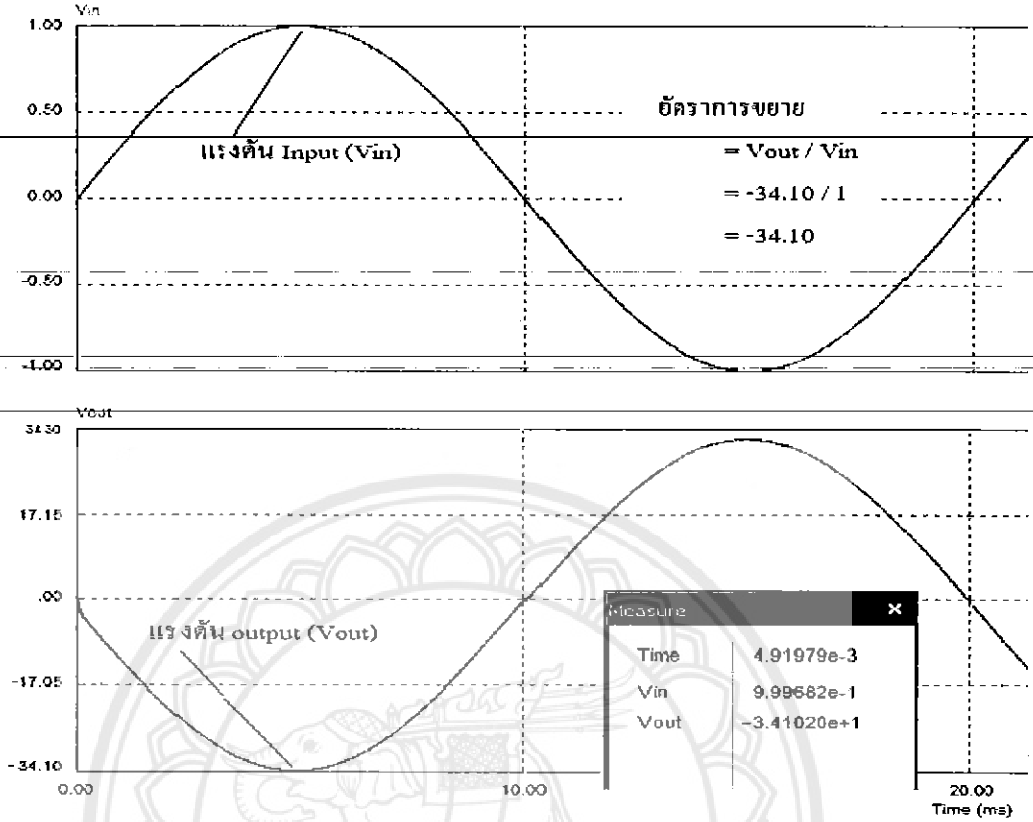
4.2.4 องค์ประกอบของภาคปรับแรงดัน

4.2.4.1 วงจรแอมพลิไฟเออร์ไดโอด (Diode Amplifier)

แอมพลิไฟเออร์ไดโอดไม่ได้หมายถึงการนำไดโอดมาทำหน้าที่ขยายเสียงเพียงแต่ทำหน้าที่เป็นกระแสไบแอสให้กับวงจรไดเวอร์ เป็นการปรับกระแสไบแอส อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าวนี้คือทรานซิสเตอร์ TR5 บางครั้งเรียกว่าทรานซิสเตอร์แอมพลิไพเออร์ (Transistor Amplifier) กระแสไบแอสจากทรานซิสเตอร์ TR5 ที่จ่ายให้กับวงจรทรานซิสเตอร์ไดรเวอร์สามารถปรับได้โดยใช้ทริมเมอร์โพเทนซิออมิเตอร์ (Trimmer Potentiometer) VR1 เราเรียก VR1 อย่างสั้นๆว่า "ทริมเมอร์พ็อต" ในความหมายของช่างอิเล็กทรอนิกส์ก็คือ อาร์เกือกม้า

VR1 มีความหมายและสำคัญดังนี้ เพราะการปรับ VR1 แต่ละครั้งย่อมทำให้กระแสไบแอสเปลี่ยนแปลงไป ถ้าค่ากระแสไบแอสมีค่ามากขึ้น ย่อมทำให้ทรานซิสเตอร์ไดรเวอร์มีการตื่นตัวทำงานได้ดีขึ้น คุณภาพเสียงที่ได้ใสมากกว่าเดิม เสียงดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ข้อเสียคือทำให้ทรานซิสเตอร์ไดรเวอร์และเอาต์พุตร้อนเร็วขึ้น แต่ถ้ามีการปรับกระแสไบแอสให้น้อยลง เมื่อทรานซิสเตอร์ไดรเวอร์มีไบแอสน้อยลง คุณภาพเสียงที่ได้อาจไม่ดี แต่มีข้อดีคือ ทรานซิสเตอร์เอาต์พุตเสียหายน้อยลง แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นมาตรฐานในการปรับกระแสไบแอสส่วนใหญ่จะนำ

MISSING



รูปที่ 4.17 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุต

จากรูปที่ 4.17 ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ -34.1 โวลต์ แรงดันอินพุตเท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้น อัตราการขยายกลับเฟสของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลทรานซิสเตอร์เท่ากับ 34.1 เท่า

4.3.2 อัตราการขยายของทั้งวงจร

อัตราการขยายของทั้งวงจรเท่ากับอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ TR3 หรือเรียกว่า อัตราขยายของวงจรโวลเตจแอมพลิไฟเออร์สเตจคูณกับอัตราการขยายของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลทรานซิสเตอร์

อัตราการขยาย Av = 6.003*34.1

= 204.7 เท่า

4.3.3 หลักการทำงาน

วงจรขยายความแตกต่าง เรียกว่า วงจรดิฟเฟอเรนเชียล ทำหน้าที่โดยทรานซิสเตอร์ TR1 กับ TR2 เพื่อเป็นการเซตระบบแรงดันไฟดีซีที่ออกลำโพงให้มีค่าเป็นศูนย์อยู่ตลอดเวลา เป็นการตรวจสอบค่าของกระแสไฟในวงจรอย่างถูกต้อง ถ้าหากว่าวงจรดิฟเฟอเรนเชียลไม่สามารถตรวจสอบกระแสไฟในวงจรอย่างถูกต้องได้ แน่นอนว่าระบบของการขยายเสียงย่อมไม่เกิดขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าจะไม่มีเสียง หรือมีเสียงเพี้ยนแตกพร่า เป็นต้น

วงจรดิฟเฟอเรนเชียลทรานซิสเตอร์ TR1, TR2 ทำงานได้อย่างเท่าเทียมกัน เพราะว่าวงจรดิฟเฟอเรนเชียลนั้นจะใช้ทรานซิสเตอร์ทรานซิสเตอร์เบอร์เดียวกัน มีการทำงานที่เท่ากันเพียงแต่ว่าแตกต่างกันในเรื่องของเฟสเสียงเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าหากว่าทรานซิสเตอร์ TR2 ทำการขยายเสียงเฟสบวก จะทำให้ทรานซิสเตอร์ TR1 ขยายเสียงออกมาเป็นเฟสลบ และถ้าหากว่า TR2 ขยายเสียงออกมาเป็นเฟสลบ ทรานซิสเตอร์ TR1 ก็ต้องทำการขยายเสียงออกมาเป็นเฟสบวกทันที

และเมื่อ แรงดันไฟดีซีที่ออกลำโพงมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ก็จะมีกระแสป้อนกลับมาที่วงจรเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ TR1 และ TR2 ทำการปรับการทำงาน เซตระบบให้ทำงานได้ดีขึ้นอีกครั้งแต่ถ้าหากแรงดันที่ออกลำโพงมีค่ามากเกินไป วงจรป้องกันOUTPUT จะทำงาน

4.4 วงจรป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต (S/C Protection)

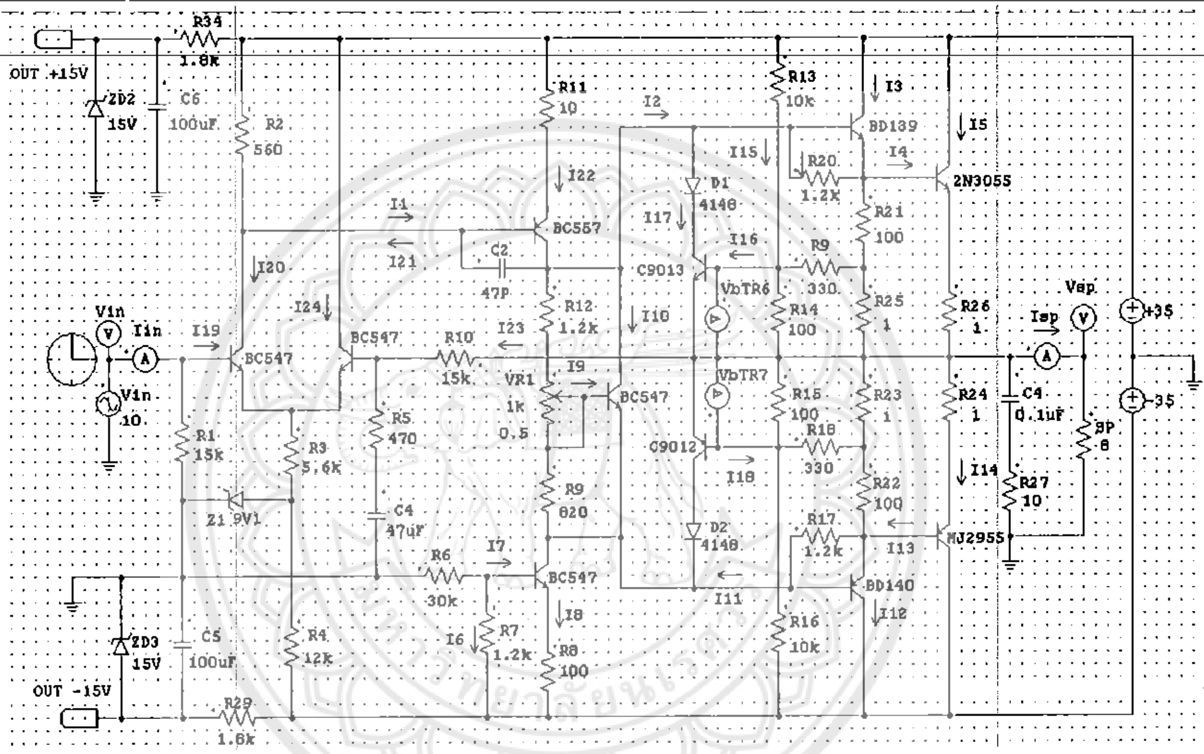
วงจรชุดนี้สามารถขนานลำโพงได้มาก แต่ถ้าหากว่าขนานลำโพงมากเกินกว่าปกติอิมพีแดนซ์รวมของลำโพงย่อมน้อยลง ส่งผลให้ระบบหยุดการทำงานอย่างอัตโนมัติ หรืออีกกรณีหนึ่งคือ เปิดเครื่องอยู่ดีๆปรากฏว่าเกิดการช็อตสายลำโพงขึ้น ระบบเครื่องนี้จะไม่เกิดการพังเสียหายแต่อย่างใด แต่ระบบของวงจรจะหยุดการทำงานอย่างอัตโนมัติ ทรานซิสเตอร์ TR6 กับ TR7 จะทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต (Short Circuit Protection) ซึ่งถ้าหากว่าเอาต์พุตเกิดการลัดวงจร ทำให้แรงดันไฟเซ็นเตอร์ต่อเข้ากับกราวด์ กรณียังไม่มีการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต TR6 จะมีกระแสไหลจากแรงดันไฟ +35v ผ่านตัวต้านทาน R13 และ R14 ที่มีค่าความต้านทานเท่ากับ 10 K และ 100 โอห์ม ตามลำดับ จากกฎการแรงแรงดันทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ R13 เท่ากับ 34.65 โวลต์ แรงดันตกคร่อม R14 เท่ากับ 0.35 โวลต์ ซึ่งแรงดันตกคร่อม R16 จะเท่ากับ R13 และแรงดันตกคร่อม R15 จะเท่ากับ R14 เนื่องจากมีค่าความต้านทานเท่ากัน จะสังเกตเห็นว่าว่าแรงดันตกคร่อม R14 มีค่าน้อยไม่เพียงพอที่จะเกิดกระแสไบแอสให้ TR6 ทำงานได้ แต่กรณีที่มีการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ R14 เบสไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ TR6 ทำงาน ส่งผลให้เกิดกระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR6 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ที่ดึงจากกระแสที่จะไหลไปขาเบสของ TR 8 ลงมา ทำให้วงจรขยายเสียงเฟสบวก จะไม่ได้รับการไบแอส ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ TR8, TR10 หยุดตัวเองลง ส่วน TR7 เมื่อมีแรงดันตกคร่อม R15 จะเกิดกระแสเบสไปรีไบแอส TR7 ให้นำกระแสได้ กระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR7 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์จะไปดันให้ทรานซิสเตอร์ TR9 และTR11 หยุดทำงานตามลำดับ ระบบเสียงที่ได้จึงเงียบทันที

ตามปกติแล้วในวงจรทรานซิสเตอร์ไดรเวอร์ย่อมมีไดโอดประมาณ 2-3 ตัวมาทำหน้าที่กำหนดกระแสไบแอสให้กับระบบ แต่ในความเป็นจริงเมื่อใช้งานไปนานๆ ไดโอดย่อมเกิดความร้อนขึ้นเป็นเงาตามตัว ส่งผลให้กระแสไบแอสเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ จึงได้คิดค้นดัดแปลง และหันมาใช้วงจรทรานซิสเตอร์แอมพลิไฟเออร์ที่ทำงานโดย VR1 และทรานซิสเตอร์ TR5 นั่นเอง

4.6 ลำดับการทำงานของวงจร

การเซตระบบของวงจร

วงจรเพาเวอร์แอมป์โดยทั่วไปย่อมีการเซตระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อทำการจ่ายไฟที่มีกระแสเข้ามายังวงจรแล้ว ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวย่อมทำงานไม่พร้อมกันในช่วงของการเริ่มต้น แต่ถ้ารอสักครู่หนึ่งทรานซิสเตอร์หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ไฟเซ็นเตอร์ที่จุดออกลำโพงจะเป็น 0 V ได้อย่างไร โดยจ่ายกระแสไฟเลี้ยง +-35 V เข้ามาในวงจร ทำให้เกิดเส้นทางกระแสไฟขึ้นมากมายดังนี้



รูปที่ 4.18 แสดงลำดับทิศทางกระแส

1. เมื่อจ่ายกระแสไฟเลี้ยงเข้าสู่วงจร ทรานซิสเตอร์ TR8 จะต้องทำงานก่อนเพื่อขับกระแสให้กับทรานซิสเตอร์ TR10 กระแสหมายเลข 1 ซึ่งไหลจากแรงดันไฟ +35 v ผ่านตัวต้านทาน R2 ในช่วงแรกกระแสจะไหลผ่านทางตัวเก็บประจุ C2 ก่อนเพื่อไปขับเบสให้กับทรานซิสเตอร์ TR8 (ตอนนี้ทรานซิสเตอร์ TR3 จะยังไม่ทำงานเนื่องจากทรานซิสเตอร์ TR3 เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด PNP จะทำงานได้ด้วยกระแสรีไบแอส) โดยส่งผ่านขาเบสออกไปที่ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ TR8 และไหลผ่านตัวต้านทาน R21, R25 ไปครบวงจรที่จุดเซ็นเตอร์ โดยมีตัวต้านทาน R20 เป็นตัวป้องกันกระแสเกินให้กับทรานซิสเตอร์ TR8 จะพบว่ามีกระแสเบสอินพุตของทรานซิสเตอร์ TR8 เกิดขึ้น ไบแอสให้ TR8 ทำงาน

2. TR8 เริ่มทำงาน ค่าความต้านทานและแรงดันไฟระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ TR8 จึงลดลง ส่งผลให้กระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR8 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลได้เป็นเส้นทางกระแสไฟหมายเลข 3

3. กระแสไฟหมายเลข 3 จะไหลจากแรงดันไฟ +35 V ส่งผ่านการทำงานของทรานซิสเตอร์ TR8 ไหลผ่านตัวต้านทาน R21, R25 ไปครบวงจรที่จุดเซ็นเตอร์ เท่ากับว่าตัวต้านทาน R21, R25 มีแรงดันไฟตกคร่อมอยู่ส่วนหนึ่งซึ่งไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ TR10 ได้เป็นเส้นทางกระแสไฟหมายเลข 4 กระแสหมายเลข 4 นี้เองที่ทำให้ทรานซิสเตอร์ TR10 ทำงานได้ ส่งผลให้กระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR10 ไหลได้เป็นเส้นทางกระแสไฟหมายเลข 5 เท่ากับว่าแรงดันไฟที่จุดเซ็นเตอร์มีค่าสูงเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ +35

4. ขณะเดียวกันฝั่งลบจะเกิดกระแสหมายเลข 6 ไหลจากแรงดันไฟ-35v ผ่านตัวต้านทาน R7 ลงสู่กราวด์ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R7 เกิดกระแสเบสหมายเลข 7 ไบแอสทรานซิสเตอร์ TR4 ให้ทำงาน ส่งผลให้กระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR4 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลได้เป็นเส้นทางกระแสหมายเลข 8 ไปดึงกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ TR8 ทำให้ทรานซิสเตอร์ TR8 ทำงานลดต่ำลง

5. กระแสหมายเลข 8 ผ่านตัวต้านทาน R9 ทำให้มีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R9 เกิดกระแสเบสหมายเลข 9 ไบแอสทรานซิสเตอร์ TR5 ให้ทำงาน ส่งผลให้กระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR5 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลได้เป็นเส้นทางกระแสหมายเลข 10 กระตุ้นให้เกิดกระแสหมายเลข 11 ซึ่งเป็นกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ TR9 รีเวอร์ไบแอส TR9 ให้ทำงาน ส่งผลให้เกิดกระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR9 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ที่ไหลจากจุดเซ็นเตอร์ได้เป็นเส้นทางกระแสหมายเลข 12 เกิดแรงดันตกคร่อม R22 ส่วนหนึ่งเกิดกระแสหมายเลข 13 รีเวอร์ไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ TR11 ทำงาน ส่งผลให้เกิดกระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR10 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ที่ไหลจากจุดเซ็นเตอร์ได้เป็นเส้นทางกระแสหมายเลข 14 ไปครบวงจรที่แรงดันไฟ -35v

6. ส่วนของ TR6 จะมีกระแสไหลหมายเลข 15 จากแรงดันไฟ +35v ผ่านตัวต้านทาน R13 และ R14 ที่มีค่าความต้านทานเท่ากับ 10 K และ 100 โอห์ม ตามลำดับ จากกฎการแรงแรงดันทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ R13 เท่ากับ 34.65 โวลต์ แรงดันตกคร่อม R14 เท่ากับ 0.35 โวลต์ ซึ่งแรงดันตกคร่อม R16 จะเท่ากับ R13 และแรงดันตกคร่อม R15 จะเท่ากับ R14 เนื่องจากมีค่าความต้านทานเท่ากัน จะสังเกตเห็นว่าว่าแรงดันตกคร่อม R14 มีค่าน้อยไม่เพียงพอที่จะเกิดกระแสไบแอสให้ TR6 ทำงานได้ แต่กรณีที่แรงดันตกคร่อมที่เซ็นเตอร์ไม่เป็นศูนย์ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ R14 เกิดกระแสหมายเลข 16 เบสไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ TR6 ทำงาน ส่งผลให้เกิดกระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR6 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ที่ดึงจากกระแสที่จะไหลไปขาเบสของ TR 8 ลงมา

ได้เป็นกระแสหมายเลข 17 ทำให้ TR 8 และ TR10 หยุดการทำงาน ส่วน TR7 ก็จะได้รับการรีไบแอสเป็นกระแสเบสหมายเลข 18 และกระแสหมายเลข 17 ก็จะไปไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ TR9 และTR11 หยุดทำงานตามลำดับ

7. กระแสอินพุตหมายเลข 19 จะไบแอสทรานซิสเตอร์ TR2 ให้ทำงาน ส่งผลให้เกิดกระแสเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR2 ซึ่งเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์หมายเลข 20 ไหล +35 ผ่านการทำงานของทรานซิสเตอร์ TR2 ผ่าน R3ผ่านซีเนอร์ไดโอตลงกราวด์ ถ้ามีกระแสไหลมากจะถูกแบ่งให้ไหลผ่าน R4 ครบวงจรที่ -35 ขณะนี้ TR3 จะสามารถทำงานได้เนื่องจากได้รับกระแสรีเวริสไบแอสหมายเลข 21 แทนกระแสหมายเลข 1 ประกอบกับตัวเก็บประจุ C2 เกิดการอิ่มตัวทำให้ตัวเก็บประจุ C2 เปิดวงจรออก ส่งผลให้เกิดกระแสเอาต์พุตหมายเลข 22 ไหลจาก +35 ไปขับทรานซิสเตอร์ TR8

เมื่อแรงดันตกคร่อมลำโพงไม่เป็นศูนย์มีค่าเล็กน้อย จะมีกระแสป้อนกลับไปยัง TR1 เกิดเป็นกระแสหมายเลข 23 ไบแอสให้ TR1 ทำงาน เกิดกระแสเอาต์พุตหมายเลข 24 ทำให้แรงดันทางด้านอิมิตเตอร์มีค่าสูงขึ้น ทำให้ TR2 ทำงานลดลง กระแสหมายเลข 20 ลดลง กระแสหมายเลข 21 ลดลงตาม จึงเป็นการปรับการทำงานให้ทรานซิสเตอร์ทำงานลดลง แรงดันตกคร่อมลำโพงจึงเป็นศูนย์

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 การวิเคราะห์เครื่องขยายเสียง

วงจรทางด้านเอาต์พุตเป็น วงจรพุช พูลด้านเดียวแบบดาร์ลิงตัน การที่ทรานซิสเตอร์ TR10 กับ TR11 จะทำงานได้ต้องอาศัยทรานซิสเตอร์ภาคไดรเวอร์ (Driver) มาทำหาที่ขับกระแสไฟให้ นั่นคือ ทรานซิสเตอร์ TR8 กับ TR9 โดยมีตัวต้านทาน R21 กับ R22 มาทำหน้าที่ป้องกันการอิ่มตัวให้กับทรานซิสเตอร์ TR8 และ TR9 เนื่องจากวงจรขยายชุดนี้เป็นระบบ OCL ดังนั้นทรานซิสเตอร์ TR8 ต้องทำงานเท่ากันกับทรานซิสเตอร์ TR9 ส่วนทรานซิสเตอร์ TR10 จะต้องทำงานเท่ากันกับทรานซิสเตอร์ TR11 เพื่อรักษาแรงดันไฟที่จุดเซ็นเตอร์ทางออกลำโพงให้มีค่าแรงดันไฟดีซีเป็นศูนย์

ส่วนวงจรภาคปรับแรงดัน หากปรับ Rheostat VR1 ไปทางขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ TR5 พบว่าทรานซิสเตอร์ TR5 มีกระแสเบสอินพุตต่ำลง ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์เอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ TR5 ไหลได้น้อยลง ส่งผลให้แรงดันไฟระหว่างขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR8 กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR9 มีค่าลดลง เท่ากับค่ากระแสเบสมีค่าสูงขึ้น แต่ถ้าหากทำการปรับ VR1 ไปทางขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ TR5 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ TR5 ทำงานได้มากขึ้น กระแสคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังกล่าวไหลได้มากขึ้น ทำให้แรงดันไฟระหว่างขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR8 และ TR9 มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่ากระแสไบแอสที่ได้มีค่าลดต่ำลงด้วย

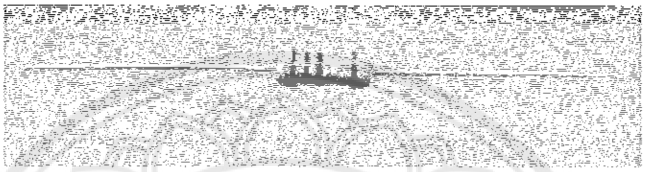
TR1, TR2 ต่อเป็นวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลแอมป์หรือเรียกว่า วงจรขยายความแตกต่าง มีการทำงานที่เท่ากัน เพียงแต่ว่าแตกต่างกันในเรื่องของเฟสเสียงเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าหากว่าทรานซิสเตอร์ TR2 ทำการขยายเสียงเฟสบวก จะทำให้ทรานซิสเตอร์ TR1 ขยายเสียงออกมาเป็นเฟสลบ และถ้าหากว่า TR2 ขยายเสียงออกมาเป็นเฟสลบ ทรานซิสเตอร์ TR1 ก็ต้องทำการขยายเสียงออกมาเป็นเฟสบวกทันที

ภาคผนวก

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

1.1 ตัวต้านทานไฟฟ้า

ตัวต้านทานไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่นักวิทยาศาสตร์ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อต่อร่วมกับวงจรเพื่อบังคับให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนแปลงตามต้องการ ทำจากวัสดุที่ปล่อยให้อิเล็กตรอนหลุดจากตัวมันได้น้อยตัวต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น โอห์ม (Ohm) ซึ่งเป็นนามของ George Simon Ohm



รูปที่ 1 ตัวต้านทาน

วิธีอ่านโค๊ตสีบนตัวต้านทาน (Resistor Color Code Read Method) ส่วนใหญ่นิยมใช้กับตัวต้านทานแบบคาร์บอน (Carbon) ได้ดังนี้วิธีการอ่านโค๊ตสีบนตัวตานทานชนิด 4 แถบสี

1.1.1 การคำนวณกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทาน

จากที่กล่าวไปแล้ว เราต้องเลือกตัวต้านทานที่มีกำลังไฟฟ้าเหมาะสมในวงจรที่ใช้แรงดันและกระแส เช่น ในวิทยุ เราจะใช้ตัวต้าน ทานขนาด 1/4 - 1/2 วัตต์ แต่ถ้าเราใช้ขนาด 1/2 วัตต์ แล้วตัวต้านทานของเราร้อน เราก็เปลี่ยนมาใช้ 1 วัตต์

คราวนี้ เราจะมาดูว่า กำลังไฟฟ้า (P) จะคำนวณได้

P = E * I

= 12 R

= E2 / R

โดย P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยวัตต์

เช่นเรามีตัวต้านทาน 4.3 กิโลโอห์ม กับวงจร ทำให้ที่มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 1 มิลลิแอมป์

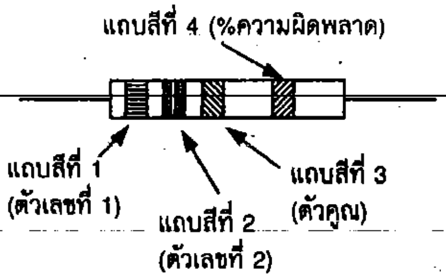
เราสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ VR4 ได้

P = 12R

= (I * 10-32) * (4.3 * 103)

= 4.3 มิลลิวัตต์

1.1.2 การอ่านค่าตัวต้านทานชนิดค่าคงที่



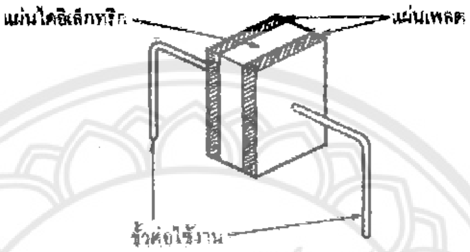
แถบสี	แถบสีที่1 แทนตัวเลขที่ 1	แถบสีที่2 แทนตัวเลขที่ 2	แถบสีที่3 แทนตัวคูณ	แถบสีที่4 แทนค่าคลาดเคลื่อน
ดำ	0	0	1	-
น้ำตาล	1	1	10	1%
แดง	2	2	100	2%
ส้ม	3	3	1000	3%
เหลือง	4	4	10000	4%
เขียว	5	5	100000	-
น้ำเงิน	6	6	1000000	-
ม่วง	7	7	10000000	-
เทา	8	8	-	-
ขาว	9	9	-	-
ทอง	-	-	0.1	5%
เงิน	-	-	1.01	10%
ไม่มีสี	-	-	-	20%

รูปที่ 2 ตารางอ่านค่าตัวต้านทานชนิดค่าคงที่

1.2 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

1.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุ

พื้นฐานโครงสร้างของตัวเก็บประจุประกอบด้วย แผ่นตัวนำสองแผ่นซึ่งเรียกมันว่า "แผ่น 1 เพลต" และคั่นด้วย "แผ่นไดอิเล็กตริก" ซึ่งทำด้วยฉนวนไฟฟ้า เช่น กระดาษ, ไมก้า, เซรามิก หรืออากาศ ดังแสดงในรูปที่1 เรามักเรียกชื่อของตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่ ตามสารที่ใช้ทำแผ่นไดอิเล็กตริก เช่น ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก ก็จะมีแผ่นไดอิเล็กตริกเป็นเซรามิกนั่นเอง



รูปที่ 3 อธิบายพื้นฐานโครงสร้างของตัวเก็บประจุ

ตัวแปรที่ให้ค่าของตัวเก็บประจุมากหรือน้อยมีอยู่ 3 ประการ คือ

- พื้นที่แผ่นเพลตที่วางขนานกัน ตัวเก็บประจุที่มีพื้นที่แผ่นเพลตมากก็ยิ่งมีค่าความจุมาก
- ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต ยิ่งมีความห่างของแผ่นเพลตมากขึ้นค่าความจุก็ยิ่งลดลง
- ชนิดของสารที่ใช้ทำแผ่นไดอิเล็กตริก ค่าความจุจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสารที่ใช้ทำแผ่นไดอิเล็กตริก

หน่วยของตัวเก็บประจุคือ "ฟารัด" (Farad) เขียนสัญลักษณ์ย่อว่า "F" ในทางปฏิบัติถือว่า หนึ่งฟารัดมีค่ามาก ..ส่วนใหญ่ค่าที่ใช้จะอยู่ในช่วง ไมโครฟารัดกับพิโกฟารัด

1uF = 1/1,000,000 F = 0.000,001 F

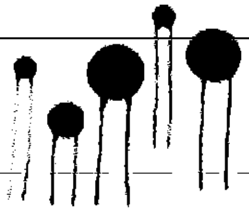
1pF = 1/1,000,000 uF = 0.000,001 uF

1.2.2ชนิดของตัวเก็บประจุ แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่

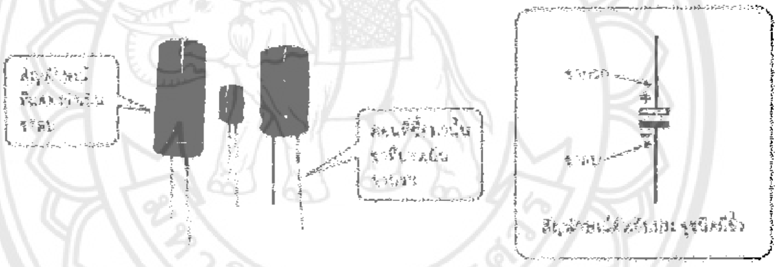
ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีด้วยกันหลายชนิด แต่ในที่นี้จะยกมากล่าวถึงเพียงสองชนิดเท่านั้น คือ ชนิดอิเล็กทรอไลติกและชนิดเซรามิกตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก โดยทั่วไปตัวเก็บประจุชนิดนี้มีลักษณะกลมๆ แบนๆ ดังในรูปบางครั้งอาจพบแบบสี่เหลี่ยมแบนๆ ส่วนใหญ่

ตัวเก็บประจุชนิดนี้ มีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครฟารัด และเป็นตัวเก็บประจุชนิดที่ไม่มีขั้ว (ไม่ต้องคำนึงเวลาใช้งาน) และสามารถทนแรงดันได้ประมาณ 50-100 โวลต์



รูปที่ 4 ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก

ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกที่มีใช้กันในปัจจุบันอยู่ในช่วง 1 พิโกฟารัด ถึง 0.1 ไมโครฟารัด ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอไลติก ตัวเก็บประจุชนิดนี้ต้องระวังในการนำไปใช้งานด้วยเพราะมีขั้วที่แน่นอนพิมพ์ติดไว้ด้าน ข้างตัวถังอยู่แล้ว ถ้าป้อนแรงดันให้กับตัวเก็บประจุผิดขั้วละก็อาจเกิดความเสียหายกับตัวมันและอุปกรณ์ที่ประกอบร่วมกับตัวมันได้ ขั้วของตัวเก็บประจุชนิดนี้สังเกตได้ง่ายๆ เมื่อตอนซื้อมา คือ ขาที่ยาวจะเป็นขั้วบวก และขาที่สั้นจะเป็นขั้วลบ



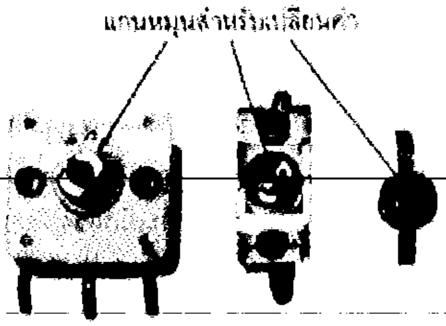
รูปที่ 5 ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอไลติกและสัญลักษณ์ตัวเก็บประจุชนิดมีขั้ว

อีกอย่างที่ต้องระวัง คือการป้อนแรงดันให้ตัวเก็บประจุที่ข้างตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอไลลติกนี้ จะมีอัตราทนแรงดันพิมพ์ติด เอาไว้ด้วย มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) แต่บางตัวจะเป็น WV (Working Voltage) หมายถึงแรงดันที่ใช้งานนั่นเอง ในการใช้งานโดยทั่วไปจะเผื่อ แรงดันของตัวเก็บประจุให้สูงกว่าแรงดันที่ใช้งานจริงประมาณเท่าตัว

ส่วนค่าของตัวเก็บประจุชนิดนี้อยู่ในช่วง 0.1 ไมโครฟารัด ถึง 1 ฟารัด

2. ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

ชื่อของตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ก็บอกกันชัดๆ แล้วว่า เราสามารถปรับค่าความจุของตัวเก็บประจุได้ ด้วยการหมุนแกนของตัวเก็บประจุ ค่าความจุก็จะเปลี่ยนไปตามมุมที่หมุนโดยมากที่พบเห็นกันบ่อยๆ เขาใช้ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ ในวงจรเลือกคลื่นวิทยุทั่วๆ ไป



รูปที่ 6 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

1.2.3 การคำนวณค่าตัวเก็บประจุ

ประจุไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จึงเขียนเป็นสูตรความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ค่าการเก็บประจุ (C)} = \frac{Q}{V}$$

โดยที่ C = ค่าการเก็บประจุ มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)

Q = ประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)

V = แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

การต่อตัวเก็บประจุแบบอันดับหรืออนุกรม

การคำนวณหาค่าการเก็บประจุรวมของตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบอันดับ หาได้จากสูตร ดังนี้

$$C_T = \frac{1}{(1/C_1)+(1/C_2)+(1/C_3)+\ldots}$$

สำหรับตัวเก็บประจุ 2 ตัว จะใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

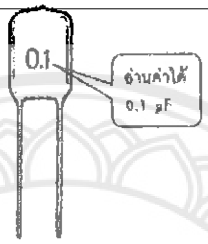
การคำนวณเก็บประจุที่ต่อกันแบบขนานจึงเท่ากับผลรวมของค่าการเก็บประจุของตัวเก็บประจุทุกตัว

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$$

1.2.4 การอ่านค่าตัวเก็บประจุ

การอ่านค่าโดยตรง

การบอกค่าแบบเป็นตัวเลขมีค่าน้อยกว่า 1 (ค่าที่พิมพ์บนตัวเก็บประจุ) ค่าที่อ่านได้ก็จะมีหน่วยเป็นไมโครฟารัด (uF) เช่น 0.1 หมายถึง 0.1 ไมโครฟารัด



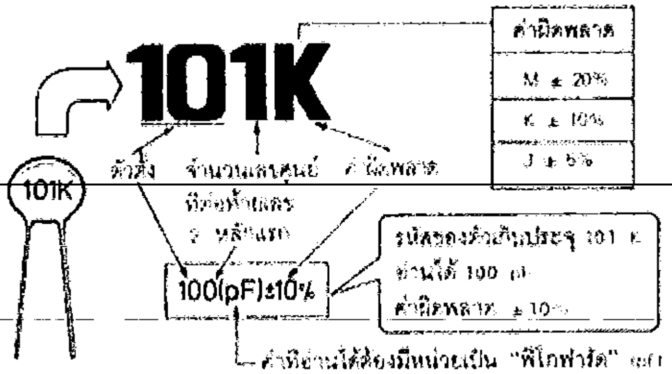
รูปที่ 7 การอ่านค่าความจุแบบเป็นตัวเลขมีค่าน้อยกว่า 1

การอ่านค่าแบบเป็นตัวเลขมีค่ามากกว่า 1 ค่าที่อ่านได้ก็จะมีหน่วยเป็นพิโกฟารัด (pF) เช่น 20 หมายถึง 20 พิโกฟารัด (รูปที่ 11) ยกเว้นในกรณีที่มีหน่วยตามหลังเช่น 10uF ค่าที่อ่านได้เท่ากับ 10 ไมโครฟารัด และตัวเลขที่บอกค่าเกิน 2 หลัก เช่น 101 ไม่เท่ากับ 101 พิโกฟารัด แต่เราจะอ่านค่าโดยการแปรรหัสดังที่จะนำมากล่าวต่อไป

การอ่านค่าโดยการแปรรหัส

สังเกตได้ว่าค่าของตัวเก็บประจุที่บอกเป็นรหัส (ตัวเลข) สองหลักแรกให้คงไว้ และหลักที่สามเป็นจำนวนศูนย์ที่นำมาต่อท้ายเลขสองหลักแรก เช่น 101 ก็จะเท่ากับ 100 ส่วนหน่วยที่ได้จากการอ่านค่าวิธีนี้คือพิโกฟารัด เพราะฉะนั้นค่าที่ได้จึงเท่ากับ 100 พิโกฟารัดนั่นเอง

ส่วนค่าผิดพลาดถูกบอกในรูปของอักษรแทนเช่น ตัว K มีค่าผิดพลาดเท่ากับ + - 10%



รูปที่ 8 แสดงการอ่านค่าตัวเก็บประจุที่บอกเป็นรหัส

2. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในวงจรเครื่องขยายเสียง (Semiconductor Devices)

2.1 ไดโอด

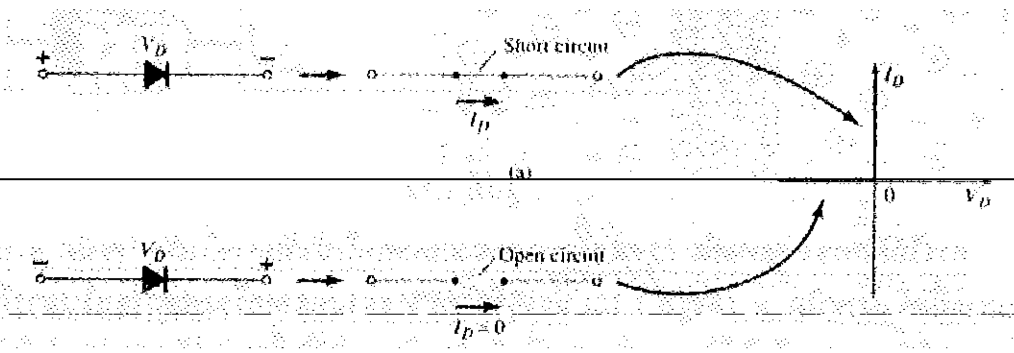
2.1.1 โครงสร้างของไดโอด

รูปที่ 9 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ไดโอดธรรมดาทั่วไป

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเป็นอุปกรณ์ที่มีค่าความต้านทานอยู่ระหว่างตัวนำ(Conductor) กับฉนวน (Insulator) หากกำหนดให้ตัวนำมีค่าเท่ากับศูนย์ (กระแสไหลมาก) กำหนดฉนวนมีค่าต้านทานเท่ากับ 20เมกกะโอห์ม (กระแสไฟฟ้าหยุดไหลหรืออาจไหลได้น้อย) ค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำจะอยู่ระหว่าง 100-500 กิโลโอห์ม อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำตัวแรกที่ต้องทำความรู้จักนั้นคือ ไดโอด

2.1.2 คุณลักษณะของไดโอด

ไดโอดมีหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าได้ทิศทางเดียว เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n ประกบกันด้วยความร้อนสูง สารกึ่งตัวนำชนิด p (P-type) มีประจุบวกมาก สารกึ่งตัวนำชนิด n (N-type) มีประจุลบมากหากกำหนดจุดทำงานของไดโอดให้เหมาะสม ย่อมเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดได้ โดยกระแสนั้นจะไหลเข้าจากขาแอโนด (Anode, A) ไปหาขาแคโทด (Cathod , K) หรือไหลจากศักย์บวกไปหาศักย์ลบเหมือนทิศทางของลูกศรนั้นเอง



รูป 10 แสดงการให้ไบแอสตรงและไบแอสกลับของไดโอด

การไบอัสตรงแก่ไดโอด (Forward Biasing a Diode)

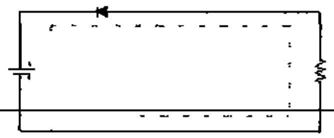
รูปที่ 11 การไบแอสตรง

ไดโอดจะยังคงนำกระแสอยู่ตลอดเวลาถ้ายังได้รับการไบอัสที่ถูกต้องอยู่ ดังแสดงในรูป แสดงทิศทางการไหลของกระแสทางตรง (Forward Current, IF) หรือเป็นกระแสอิเล็กตรอน ซึ่งจะไหลจากขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยัง n-region และ p-region ตามลำดับ จากนั้นจึงไหลต่อไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า สำหรับการไหลของกระแสโฮลหรือที่เรียกว่า กระแสนิยม (Conventional Current) จะไหนในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน การที่ทราบถึงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด (Si = 0.7 V, Ge = 0.3 V) ขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและค่าความต้านทานของวงจรก็สามารถคำนวณหาปริมาณกระแสทางตรงได้

$$I_F = \frac{V_S - V_{diode}}{R}$$

โดยที่				
	I_F	=	กระแสทางตรงของวงจร	มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
	V_S	=	แรงดันของแหล่งจ่ายไฟ	มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
	V_{diode}	=	แรงดันตกคร่อมไดโอด	มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
	R	=	ค่าความต้านทานของวงจร	มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

การให้ไบอัสกลับแก่ไดโอด (Reverse Biasing a Diode)



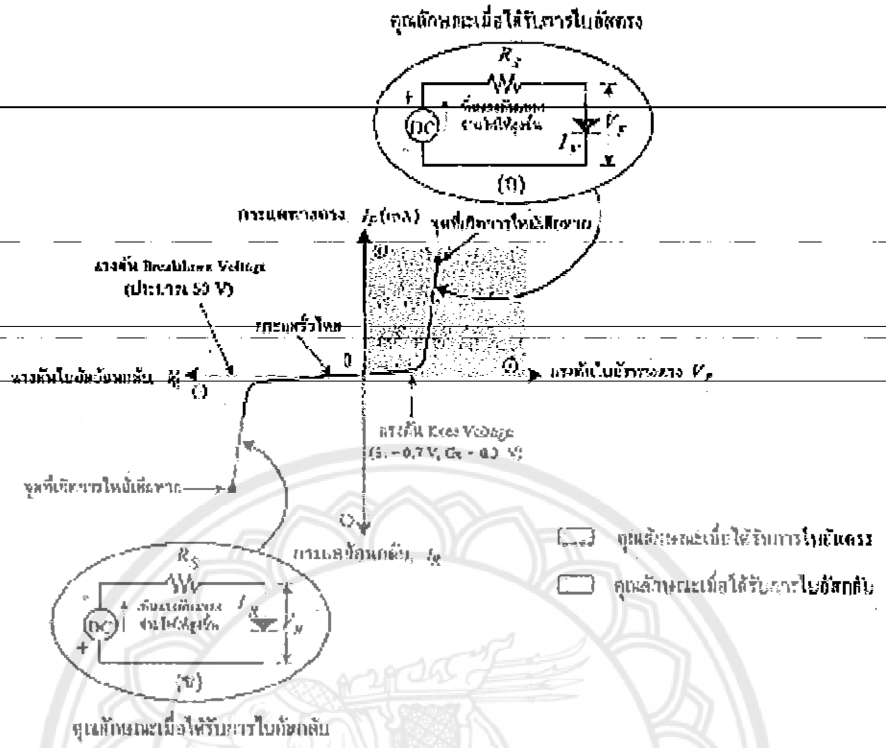
รูปที่ 12 การไบอัสกลับ

จากรูป แสดงการต่อไดโอดแบบไบอัสกลับ โดยการต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ากับ N-region และขั้วลบเข้ากับ p-region ของไดโอด การต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในลักษณะนี้จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระใน n-region ถูกดึงให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ในขณะเดียวกันโฮลก็จะถูกดึงจากขั้วลบเช่นกัน จากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้บริเวณ Depletion Region ขยายกว้างมากขึ้น จนทำให้แรงดันไฟฟ้าภายในมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแต่มีขั้วตรงกันข้าม จึงส่งผลให้ไดโอดไม่นำกระแสไฟฟ้าในที่สุด

กราฟแสดงคุณลักษณะของไดโอด

จากกราฟ แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดเมื่อให้ไบอัสตรง และไบอัสกลับ โดยจุดกึ่งกลางของกราฟเป็นจุดที่แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ สำหรับแกนนอนจะแทนด้วยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับไดโอด ซึ่งถ้าให้ไบอัสตรง (VF) แรงดันไฟฟ้าจะมีความเป็นบวกมากขึ้นโดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางไปทางขวา และถ้าให้ไบอัสกลับ (VR) แรงดันไฟฟ้าจะมีความเป็นลบมากขึ้นโดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางไปทางซ้าย

สำหรับแกนตั้งจะแทนด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด โดยกระแสทางตรง (IF) จะมีความเป็นบวกมากขึ้นโดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางขึ้นไปด้านบนของกราฟ และถ้าเป็นกระแสย้อนกลับ (IR) จะมีความเป็นลบมากขึ้นโดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางไปทางด้านล่างของกราฟ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะทดสอบคุณลักษณะของไดโอดโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าค่าต่างๆ ทั้งแบบทางตรง และแบบย้อนกลับให้แก่ไดโอด และจะทำให้ได้เส้นกราฟที่มีความต่อเนื่องที่เรียกว่า เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน-กระแส หรือ "V-I Characteristic Curve"



รูปที่ 13 กราฟแสดงคุณลักษณะของไดโอด

2.1.3 การนำไดโอดไปใช้งาน

เมื่อนำไดโอดไปใช้งานที่เกี่ยวข้องกับวงจรเครื่องขยายเสียง เราพบความจริงว่าถูกนำไปใช้เป็นวงจรในภาคจ่ายไฟให้กับเครื่องขยายเสียง เรียกว่าวงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuits)

วงจรเรียงกระแสมีหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับระบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

วงจรเรียงกระแสมี 3 ชนิดคือ

1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

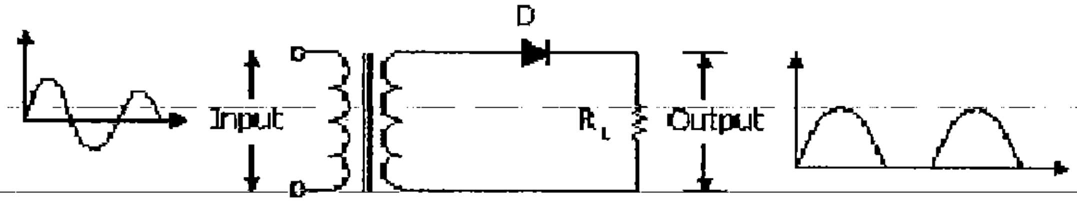
2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นชนิดแท็ปหม้อแปลง

3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นชนิดบริดจ์

1. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

การสร้างวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นทำได้โดยการต่อไดโอดให้อยู่ระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าและโหลด สำหรับช่วงของครึ่งบวกของแรงดันไฟฟ้า จากด้านทุติยภูมิจะทำให้ขั้วอาโนดของไดโอดได้รับแรงดันไฟฟ้าเป็นบวก ดังนั้นไดโอดจึงอยู่ในสภาวะ ON ในกรณีนี้ไดโอดจะเป็นตัวทำให้ช่วงครึ่งบวกของแรงดันไฟฟ้า จากด้านทุติยภูมิไปปรากฏคร่อมที่โหลด ส่วนในช่วงซีกลบของ

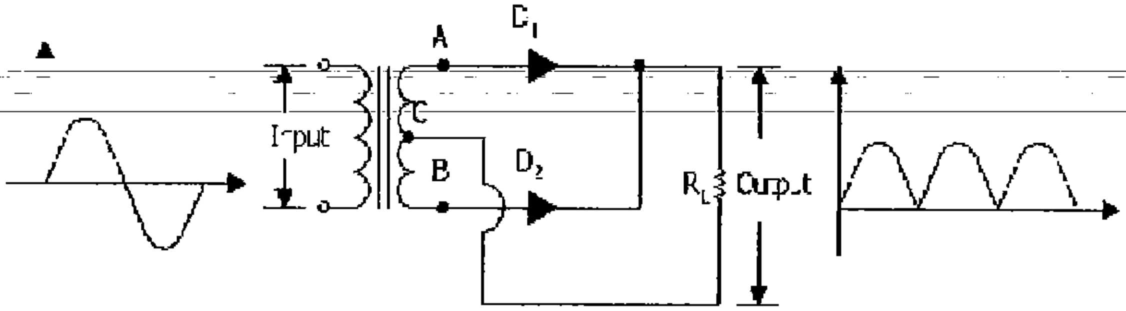
แรงดัน จากด้านทุติยภูมิ จะทำให้ขั้วของอาโนดของไดโอดได้รับแรงดันไฟฟ้าที่เป็นลบดังนั้น ไดโอดจึงอยู่ในสภาวะ OFF ซึ่งในกรณีนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอด ส่งผลให้ไม่มีแรงดันไฟฟ้าไปปรากฏคร่อมที่โหลด



รูปที่ 14 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

2.วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

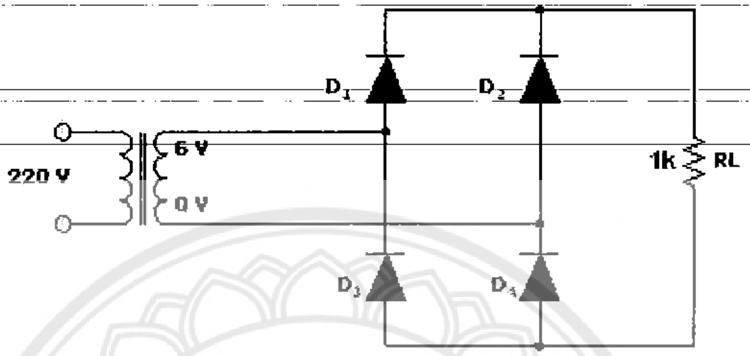
ซึ่งใช้ไดโอด 2 ตัว ในการที่จะส่งผ่านช่วงครึ่งคลื่นของสัญญาณทั้งสองไปยังโหลด โดยให้ไหลผ่านไปในทิศทางเดียวกันวงจรเรียงกระแสแบบเซ็นเตอร์แท็ป โดยส่วนที่เป็นเซ็นเตอร์แท็ปของขดลวดทุติยภูมิจะต่อลงกราวด์เพื่อให้เกิดความต่างเฟสกันถึง 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกมาจากส่วนบนและส่วนล่างของขดลวดทุติยภูมิ เมื่อสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาอยู่ในช่วงครึ่งบวกการทำงานของวงจร โดยสัญญาณแรงดันไฟบวกที่ปรากฏส่วนบนของขดลวดทุติยภูมิจะมีผลทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะ ON ในขณะที่แรงดันไฟลบจะไปปรากฏที่ส่วนล่างของขดลวดทุติยภูมิจะอยู่ในสภาวะ OFF การทำงานของวงจรในลักษณะนี้จะทำให้กระแสอิเล็กตรอนไหลจากเซ็นเตอร์แท็ปไปยังโหลด ดังนั้นการทำงานของไดโอดจำนวน 2 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดที่มีเซ็นเตอร์แท็ปจะเป็นการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่มีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า 2 ทิศทางให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการไหลของทิศทางกระแสไฟฟ้าทิศทางเดียวและแรงดันเอาท์พุตที่ปรากฏคร่อมโหลดจะมีสถานะขั้วไฟเหมือนกันด้วย



รูปที่ 15 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

3. วงจรเรียงกระแสบริดจ์

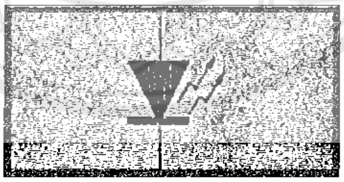
วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ โดยการทำงานของวงจรเมื่อได้รับสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาอยู่ในช่วงครึ่งคลื่นบวก การทำงานของวงจร โดยสัญญาณแรงดันไฟบวกที่ป้อนเข้ามาส่วนบนของวงจรบริดจ์จะส่งผลทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะ ON จึงทำให้อิเล็กตรอนจากส่วนล่างของวงจรบริดจ์ซึ่งเป็นแรงดันไฟลบไหลผ่านโหลด



รูปที่ 16 วงจรเรียงกระแสบริดจ์

2.2 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode) เรียกย่อ ๆ ว่า LED คือ ไดโอดซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้แสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างกับแสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็น อันประกอบด้วยคลื่นซึ่งมีเฟสและความถี่ต่าง ๆ ดันมารวมกัน ไดโอด ซึ่งสามารถให้แสงออกมาได้ ทั้งชนิดที่เป็นสารกึ่งตัวนำของเหลวก๊าซ ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิดที่เป็นสารกึ่งตัวนำเท่านั้น

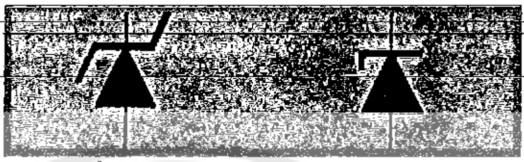


รูปที่ 17 สัญลักษณ์ของ LED

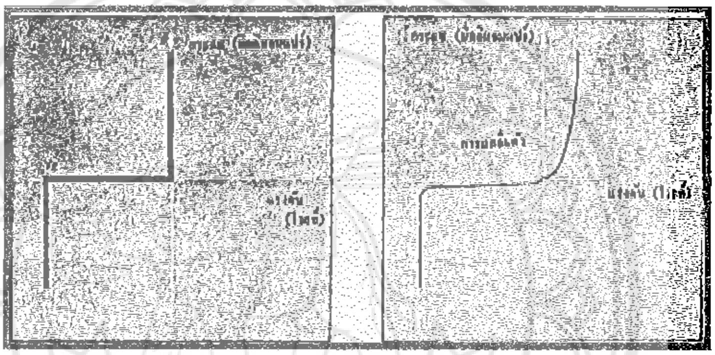
เมื่อไดโอดตกไบแอสตรงจะทำให้อิเลคตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลใน P ต่อให้เกิดพลังงานในรูปของประจุโฟตอน ซึ่งจะส่งแสงออกมา การประยุกต์ LED ไปใช้งานอย่างกว้างขวางส่วนมากใช้ในภาคแสดงผล (display unit) LED โดยทั่วไปมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ LED ชนิดที่ตาคนเห็นได้กับชนิดที่ตาคนมองไม่เห็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน

2.3 ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode)

ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ไดโอดธรรมดาเมื่อทำการไบแอสกลับจนถึงค่าแรงดันพังจะทำให้เกิดการเสียหายได้ ซีเนอร์ไดเอดเป็นซิลิกอนไดโอดชนิดพิเศษที่กระแสย้อนกลับสามารถไหลเฉลี่ยทั่วพื้นที่รอยต่อของไดโอด จึงสามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูงมาก ดังนั้นซีเนอร์ไดโอดจึงสามารถใช้ควบคุมแรงดันโดยใช้แรงดันที่ตกคร่อมตัวมันเองเป็นตัวควบคุม สำหรับกรณีไบแอสตรงซีเนอร์ไดโอดจะทำหน้าที่เหมือนไดโอดธรรมดาคือเสมือนเป็นตัวลัดวงจร สัญลักษณ์ของตัวซีเนอร์ไดโอดเขียนได้ดังรูป



รูปที่ 18 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 19 ลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอดทางอุดมคติ ลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอดจริง ๆ

2.4 ไดโอดกำลัง (Power Diode)

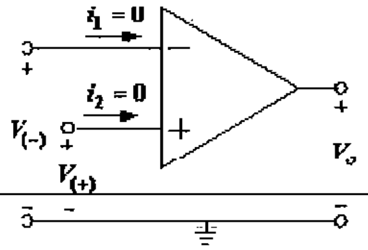
ไดโอดกำลัง เป็นไดโอดที่ออกแบบให้บริเวณรอยต่อมีช่วงกว้างมากกว่าไดโอดทั่วไป เพื่อนำไปใช้กับงานที่มีกำลังไฟฟ้าสูง กระแสสูงและทนต่ออุณหภูมิสูงได้ เช่น ประกอบเป็นวงจรเรียงกระแส ในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมใช้ร่วมกับตัวระบายความร้อน (Heat Sinks) เพื่อเพิ่มพื้นที่ระบายความร้อนภายในตัวไดโอดกำลัง

2.5 ออปแอมป์

ลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติ

1. มีอัตราการขยายแรงดันเป็นอนันต์
2. มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์
3. มีค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์

และสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 20 ออปแอมป์ทางอุดมคติ

ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$i_1 = 0, i_2 = 0$ หรือ $i_1 = i_2$

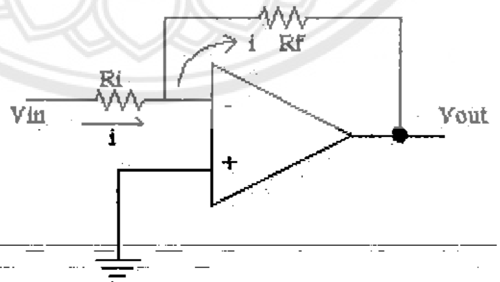
และแรงดันที่ขาบวกและขาลบจะมีค่าเท่ากัน

$$V_{(+)} = V_{(-)}$$

Note: เราสามารถหา ง่ายๆด้วยการสังเกตที่วงจรถ้าขั้วใดขั้วหนึ่งต่อลงกราวด์ค่าแรงดันตกคร่อมก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือถ้าเกิดต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน ค่าแรงดันตกคร่อมที่ขั้วก็จะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น

เราสามารถหาสมการของแรงดันอินพุต และเอาท์พุตได้จากทฤษฎีของ Kirchhoff's Current Laws (KCL) มาช่วยในการคำนวณหาสมการความสัมพันธ์นั้น

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverter Amplifier)



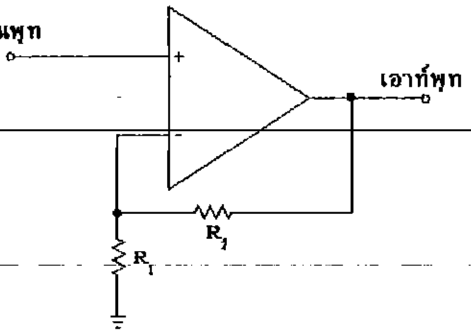
รูปที่ 21 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

Vin = iRi; Vout = iRf

AV = Vout/Vin; -iRf/iRi = -Rf/Ri

เพราะฉะนั้น AV = -Rf/Ri

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)



รูปที่ 22 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

สิ่งที่ทำให้วงจรนี้แตกต่างจากวงจรขยายชนิดกลับเฟสคือเอาท์พุตที่เกิดขึ้นจะมีเฟสเดียวกับสัญญาณอินพุต นอกจากนี้วงจรนี้ยังให้ค่าความต้านทานอินพุตสูงมากในขณะที่อินพุตอยู่ลอยๆ เฉยๆจะเห็นได้ว่าจะทำให้เอาท์พุตเกิดการอิ่มตัวทันทีนั้นหมายความว่าระดับแรงดันเอาท์พุตจะเป็นค่าเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงด้านบวกทันที วงจรบัฟเฟอร์ ลักษณะพิเศษของวงจรบัฟเฟอร์ คือการให้อัตราขยายเท่ากับ 1 ใช้เป็นตัวกันชนหรือบัฟเฟอร์ระหว่างสองวงจรที่ต้องการจะต่อเชื่อมถึงกัน

Vin = iRi

Vout = i (Ri + Rf)

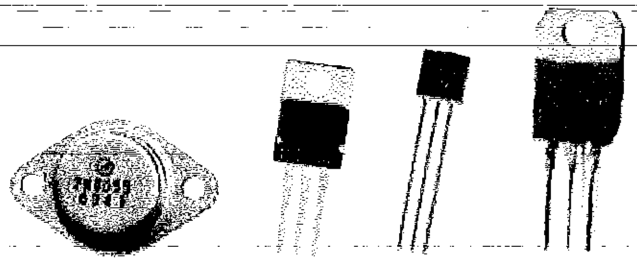
AV = i (Ri+Rf) / i Ri

AV = Ri + Rf/Ri

หรือ AV = 1+ (Rf/Ri)

2.6 ทรานซิสเตอร์ (TRANSISTORS)

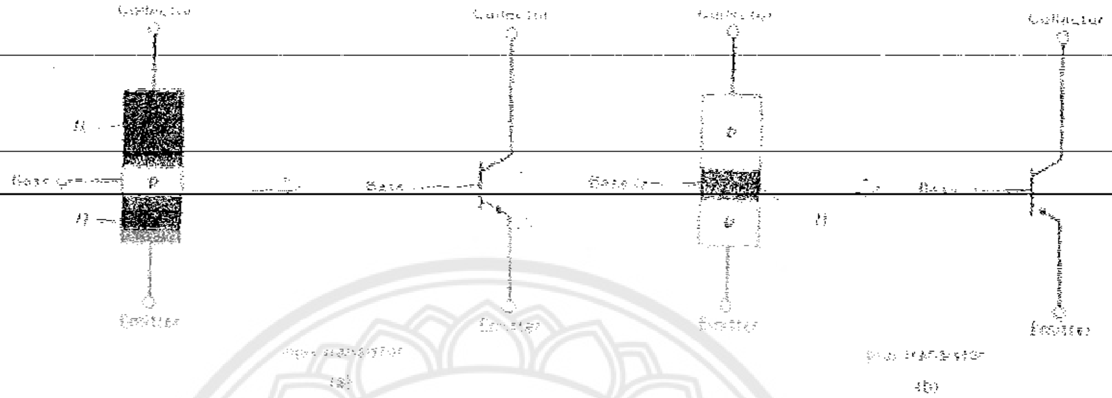
ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเลคตรอนิกส์ซึ่งมีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ pn จำนวน 2 ตำแหน่ง จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ทรานซิสเตอร์รอยต่อไบโพลาร์ (Bipolar Juntion Transistor (BJT))



รูปที่ 23 ทรานซิสเตอร์

2.6.1ประเภทของทรานซิสเตอร์ (Type of Transistors)

ทรานซิสเตอร์แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภท คือ ทรานซิสเตอร์แบบ npn (npn Transistor) และทรานซิสเตอร์แบบ pnp (pnp Transistor)



รูปที่ 24 ทรานซิสเตอร์แบบ npn และทรานซิสเตอร์แบบ pnp

ทรานซิสเตอร์แบบ npn ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด n จำนวน 2 ชิ้นต่อเชื่อมกับสารกึ่งตัวนำชนิด p จำนวน 1 ชิ้น แสดงสัญลักษณ์เป็นดังรูป

ทรานซิสเตอร์แบบ pnp ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด p จำนวน 2 ชิ้นต่อเชื่อมกับสารกึ่งตัวนำชนิด n จำนวน 1 ชิ้น แสดงสัญลักษณ์เป็นดังรูป

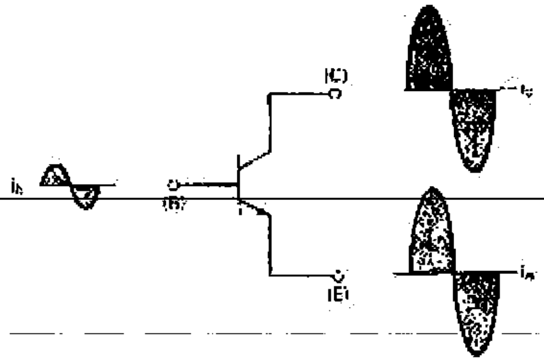
2.6.2 กระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ (Transistor Current and Voltage)

เนื่องจากทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีขั้ว 3 ขั้ว คือ ขั้วคอลเลคเตอร์ (Collector;C), ขั้วเบส (ÚBase;B) และขั้วอิมิตเตอร์ (Emitter;E) จึงมีกระแสและแรงดันทรานซิสเตอร์หลายค่า ดังนี้

กระแสของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งถูกควบคุมด้วยกระแสเบส [Base Current; I_B] กล่าวคือ เมื่อ I_B มีการเปลี่ยนแปลงแม้เพียง เล็กน้อยก็จะทำให้กระแสอิมิตเตอร์ [Emitter Current; I_E] และกระแสคอลเลคเตอร์ [Collector Current; I_C] เปลี่ยนแปลงไปด้วย

นอกจากนี้ถ้าเราเลือกบริเวณการทำงาน (Operating Region) หรือทำการไบอัสที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตำแหน่ง ให้เหมาะสม ก็จะได้ I_E และ I_C ซึ่งมีขนาดมากขึ้นเมื่อเทียบกับ I_B



รูปที่ 25 สัญญาณกระแส

จากรูป เมื่อจ่ายสัญญาณกระแส AC ที่ขั้วเบส (i_b) หรือที่ด้านอินพุตของทรานซิสเตอร์ก็จะได้รับสัญญาณเอาต์พุตที่ขั้ว E (i_e) และที่ขั้ว C (i_c) มีขนาดเพิ่มขึ้น

ตัวประกอบหรือแฟกเตอร์ที่ทำให้กระแสไฟฟ้า จากขั้วเบสไปยังขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเรียกว่า อัตราขยายกระแสไฟฟ้า (Current Gain) ซึ่งแทนด้วยอักษรกรีก คือ เบต้า (Beta) ถ้าต้องการหาปริมาณ I_C ของทรานซิสเตอร์ ก็เพียงแต่คูณ I_B ด้วยพิกัด Beta เขียนเป็นสมการได้คือ

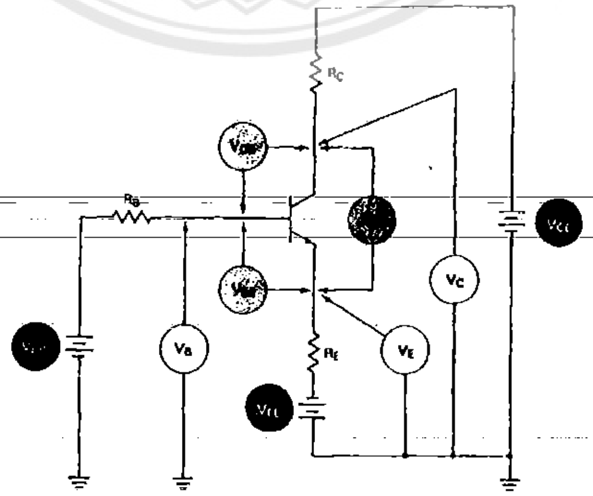
$$I_C = Beta*I_B$$ สมการที่ 1

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C \sim I_E$$ สมการที่ 2

แรงดันของทรานซิสเตอร์

ขณะต่อทรานซิสเตอร์เพื่อใช้กับงานจริง มีแรงดันไฟฟ้าหลายประการเกิดขึ้น ดังนี้



รูปที่ 26 แรงดันต่างๆ ของทรานซิสเตอร์

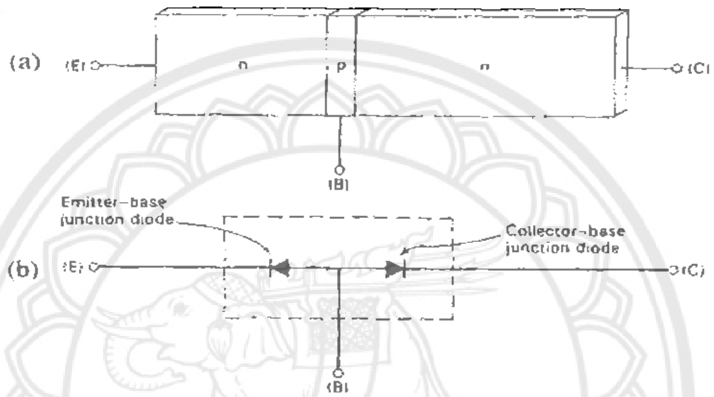
V_{CC}, V_{EE}, และV_{BB} เป็นแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

V_C, V_B และ V_E เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขั้ว C, B และ E

V_{CE}, V_{BE} และV_{CB} เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างขั้วที่ระบุตามตัวห้อย

2.6.3 โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์ (Transistor Construction and Operation)

ได้กล่าวมาแล้วว่าทรานซิสเตอร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ชิ้นต่อเชื่อมกัน ดังนั้นจึงมีรอยต่อ pn จำนวน 2 ตำแหน่งดังรูป



รูปที่ 27 โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์

ตำแหน่งที่อิมิตเตอร์กับเบสเชื่อมกันเป็นรอยต่อ pn เรียกว่า **รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส (Emitter Base Juntion)** ส่วนตำแหน่งที่ คอลเลคเตอร์กับเบสต่อเชื่อมกันเรียกว่า **รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส (Collector Base Juntion)** เขียนแทนได้ด้วย ค่าเทียบเคียงของไดโอด

2.6.4 การใช้งานทานซิสเตอร์

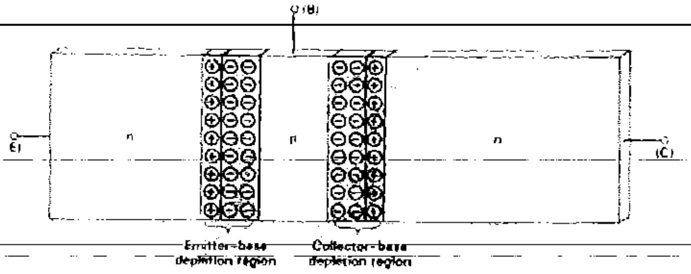
เมื่อนำหลักการ มาร่วมพิจารณา ทำให้ทราบว่าการที่จะนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานได้นั้น ต้องต่อแรงดัน ไฟฟ้าเพื่อทำการไบอัสที่รอยต่อหรือไดโอดเทียบเคียงทั้งสอง เนื่องจาก ทรานซิสเตอร์ มี 3 ขั้ว การต่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานจึงเป็นไปได้ 3 แบบคือ

- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณคัตออฟ (Cut-off Region)
- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณอิ่มตัว (Saturation Region)
- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณแอกตีฟ (Active Region)

ในการอธิบายถึงการทำงานที่บริเวณต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์นั้น จะเริ่มต้นจากกรณีไม่มีการต่อแรงดันที่ขั้ว ของทรานซิสเตอร์ หรือกรณีไม่ได้รับการไบอัส

กรณีไม่ได้รับการไบอัส

ขณะทรานซิสเตอร์ไม่ได้รับการไบอัส จะเกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ที่รอยต่อทั้งสอง

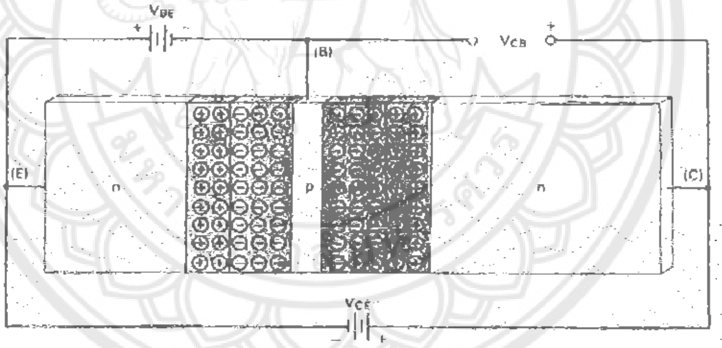


รูปที่ 28 ทรานซิสเตอร์กรณีไม่ได้รับการไบอัส

- การทำงานที่บริเวณคัตออฟ

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณคัตออฟเป็นการไบอัสกลับที่รอยต่อทั้ง 2 ตำแหน่ง ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขั้วทั้งสามมีค่าใกล้ศูนย์

จากการต่อวงจรในลักษณะดังกล่าวบริเวณปลอดพาหะทั้งสองบริเวณจะขยายกว้างขึ้น จึงมีเพียงกระแสย้อน กลับ (Reverse Current) กระแสรั่วไหลปริมาณต่ำมากเท่านั้นที่ไหลจากคอลเลคเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้

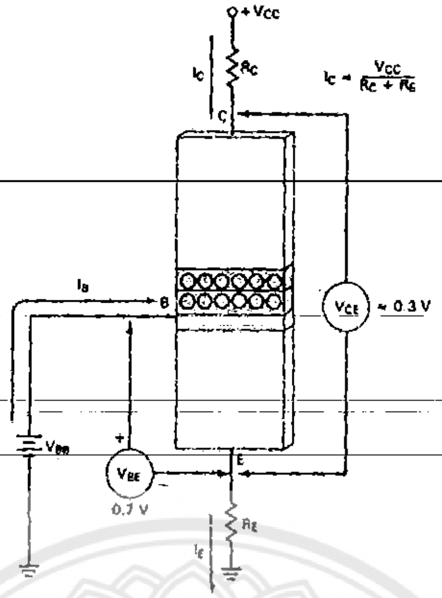


รูปที่ 29 ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณคัตออฟ

- **การทำงานที่บริเวณอิ่มตัว**

ทราบว่าถ้าค่า I_B เพิ่มขึ้น I_C ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อ I_C เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด หรือ เรียกว่า ทรานซิสเตอร์เกิดการอิ่มตัว ณ ตำแหน่งนี้ค่า I_C จะเพิ่มตามค่า I_B ไม่ได้อีกแล้ว

การหาค่า I_C ทำได้โดยใช้ V_{CC} หารด้วยผลรวมของความต้านทานที่ขั้วคอลเลคเตอร์ (R_C) กับความต้านทาน ที่ขั้วอิมิตเตอร์ (R_E) ดังรูป

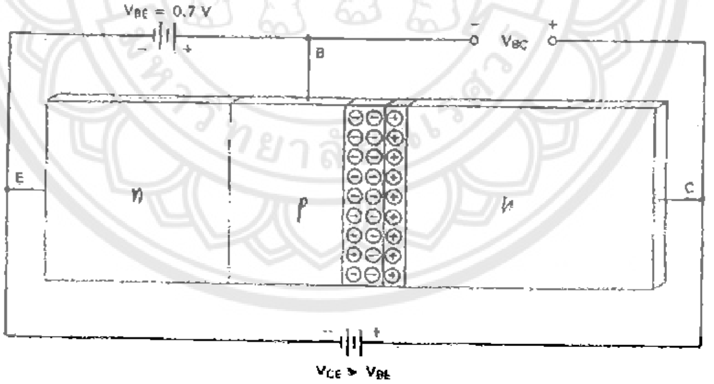


รูปที่ 30 ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณอิ่มตัว

สมมติขณะที่ V_{CE} ของทรานซิสเตอร์มีค่า 0 V (สภาพในอุดมคติ) I_C จะขึ้นอยู่กับค่า V_{CC}, R_C และ R_E ดังนี้

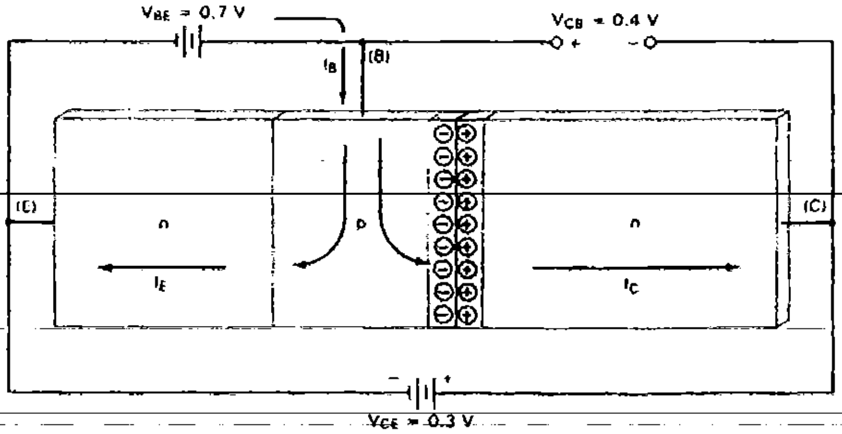
$$I_C = V_{CC} / (R_C + R_E)$$

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิ่มตัว เป็นการไบอัสตรง**ที่รอยต่อทั้ง** 2 **ตำแหน่ง** ของทรานซิสเตอร์ ดังรูป 31



รูปที่ 31 การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิ่มตัว

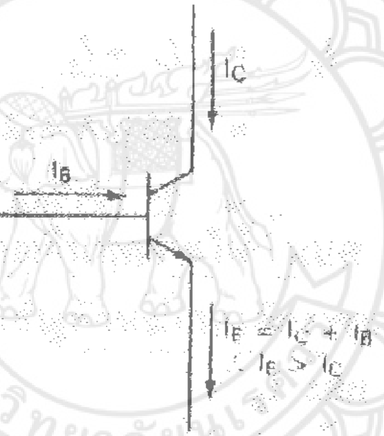
สมมติค่า V_{CE} ของทรานซิสเตอร์ขณะอิ่มตัว มีค่า 0.3 V (ซึ่งต่ำกว่า V_{BE} ที่มีค่า0.7 V) บริเวณรอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส จะได้รับการไบอัสตรงด้วยผลต่างระหว่างแรงดัน V_{BE} กับ V_{CE} (เท่ากับ 0.4 V) กระแสไฟฟ้า I_E, I_C และ I_B จะมีทิศทาง ดังรูป



รูปที่ 32 ทิศทางกระแสการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิ่มตัว

- **การทำงานที่บริเวณแอกตีฟ**

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณแอกตีฟเป็นการแอก**ตีฟเป็นการไบอัสตรง**ที่รอยต่อ อิมิตเตอร์-เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส ดังรูป



รูปที่ 33 กระแสของทรานซิสเตอร์

การอธิบายหลักการทำงานพิจารณาเฉพาะรอยต่ออิมิตเตอร์-เบส โดยแทน**ด้วยสัญลักษณ์ของไดโอด** ดังรูป [สมมติ V_{BE} มีค่ามากพอที่จะทำให้ไดโอดทำงาน (Si ประมาณ 0.7 V และ Ge ประมาณ 0.3 V)]

รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบสได้รับการไบอัสกลับ ทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างกว่าที่รอยต่ออิมิตเตอร์-เบสซึ่ง ได้รับการไบอัสตรง ดังนั้น ความต้านทานที่เบส (R_B) จึงมีค่าสูง เมื่อพิจารณาในรูปของไดโอดจะเห็นว่า IB เป็นกระแสที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) และเป็นส่วนหนึ่งของ I_E ดังนั้น I_E ส่วนใหญ่จึงเป็นกระแส I_C ซึ่งผ่านรอยต่อคอลเลคเตอร์- เบส ของทรานซิสเตอร์

2.6.5 ค่าพิกัดของทรานซิสเตอร์

ค่าพิกัดของทรานซิสเตอร์มีหลายประเภท ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงค่าพิกัดเฉพาะบางประเภทอันเป็นพื้นฐาน สำคัญสำหรับการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้วานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเสียหายใด ๆ ซึ่งได้แก่ พิกัดเบต้า ไฟฟ้ากระแสตรง, พิกัดอัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง, พิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด และพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

เบต้าไฟฟ้ากระแสตรง (DC BETA)

พิกัดเบต้าไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์ซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่าเบต้า เป็นอัตราส่วนของ I_C ต่อ I_B เขียน เป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$Beta = I_C / I_B \qquad \text{สมการที่ 3}$$

วงจรทรานซิสเตอร์ส่วนมากมีสัญญาณอินพุตจ่ายให้ขั้วเบส และสัญญาณเอาต์พุตออกจากขั้วคอลเลคเตอร์ เบต้าของทรานซิสเตอร์จึงเป็นสัญลักษณ์แทนอัตราขยายกระแส dc (dc Current Gain) ของทรานซิสเตอร์ จากสมการ 1 และ 3 หาค่ากระแสอิมิตเตอร์ได้ ดังนี้

$$I_C = Beta * I_B \qquad \text{สมการที่ 4}$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$= I_B + Beta*I_B$$

$$I_E = I_B(1+Beta) \qquad \text{สมการที่ 5}$$

เราใช้เบต้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่งหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วอื่น ๆ ได้

อัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง (DC Alpha)

พิกัดอัลฟาของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่า อัลฟา คือ อัตราส่วน I_C ต่อ I_E เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$Alpha = IC / IE \qquad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อนำกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์มาร่วมพิจารณา จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ ขั้วทั้งสามของทรานซิสเตอร์เป็นดังสมการ 1 คือ

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = I_E - I_B$$

เนื่องจาก I_C มีค่าต่ำกว่า I_E (เป็นปริมาณเท่ากับ I_B) ดังนั้น Alpha หรือ I_C/I_E จึงมีค่าต่ำกว่า I

จากสมการที่ 6 ทำให้ได้

$$I_C = Alpha * I_E \qquad \text{สมการที่ 7}$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว หาค่า IB ได้ดังนี้

$$I_B = I_E - I_C$$

$$= I_E - (Alpha * I_E)$$

$$I_B = I_E(1-Alpha) \qquad \text{สมการที่ 8}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัลฟาและเบต้า (The Relationship between Alpha and Beta)

โดยทั่วไปสเปคของทรานซิสเตอร์จะระบุค่าเบต้า แต่จะไม่มีค่าอัลฟาเนื่องจากมักใช้ค่าเบต้าสำหรับ การคำนวณในวงจรทรานซิสเตอร์มากกว่าอัลฟา

แต่ในบางครั้งจำเป็นต้องหาค่าอัลฟาเพื่อคำนวณค่าอื่นต่อไป จึงมีวิธีการหาค่าอัลฟาในเทอมของเบต้า โดยเริ่มต้นจาก

$$Alpha = I_C / I_E$$

เขียนสมการใหม่โดยใช้สมการที่4 แทนค่า IC และสมการที่5 แทนค่า I_E

$$Alpha = Beta / (1+ Beta) \qquad \text{สมการที่ 9}$$

$$I_E = (Beta + 1)*I_B \qquad \text{สมการที่ 10}$$

พิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด

สเปคของทรานซิสเตอร์ระบุค่าพิกัดสูงสุดของกระแสคอลเลคเตอร์ [$I_{C(max)}$] ไว้เสมอ $I_{C(max)}$ หมายถึง กระแสคอลเลคเตอร์สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ทนได้โดยไม่ทำให้เกิดความร้อนจนทรานซิสเตอร์ เสียหาย ดังนั้นการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานต้องระวังไม่ให้ค่า I_C สูงกว่า $I_{C(max)}$ ค่า $I_{C(max)}$ จะขึ้นอยู่กับค่ากระแสเบสสูงสุด [$I_{B(max)}$] ดังนี้

$$I_{B(max)} = I_{C(max)} / Beta_{(max)} \qquad \text{สมการที่ 11}$$

พิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

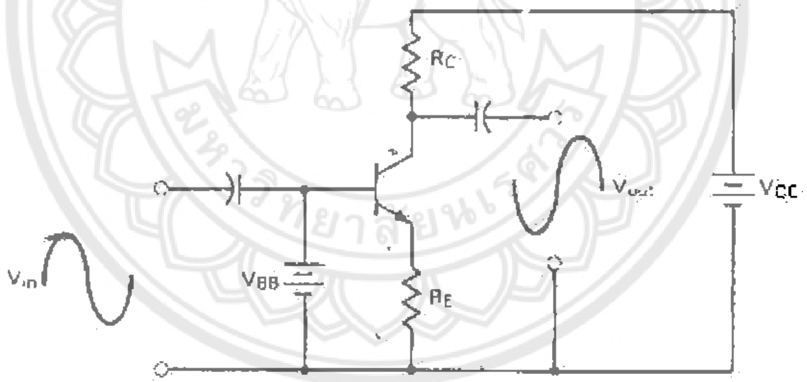
สเปคของทรานซิสเตอร์ส่วนมากจะระบุค่าพิกัดสูงสุดของแรงดันที่ขั้วคอลเลคเตอร์-เบส [$V_{CB(max)}$] $V_{CB(max)}$ หมายถึง แรงดันไบอัสกลับที่ใช้กลับที่ใช้กับรอยต่อคอลเลคเตอร์-เบสได้โดยไม่ทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย ดังนั้นการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานจึงต้องระวังไม่ให้ V_{CB} สูงกว่า $V_{CB(max)}$

2.6.6 การจัดโครงสร้างของทรานซิสเตอร์พื้นฐาน (Basic Transistor Configuration)

เราทราบว่าโครงสร้างของทรานซิสเตอร์มีจำนวนทั้งหมด 3 ขั้ว จึงจัดโครงสร้างให้อยู่ในรูปวงจรได้ 3 แบบ คือ

- วงจรอิมิตเตอร์ร่วม
- วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม
- วงจรเบสร่วม

วงจรอิมิตเตอร์ (Common Emitter) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม เป็นวงจรที่มีการจ่ายอินพุตให้กับขั้วเบสและมีเอาต์พุตออกมาจากขั้วคอลเลคเตอร์

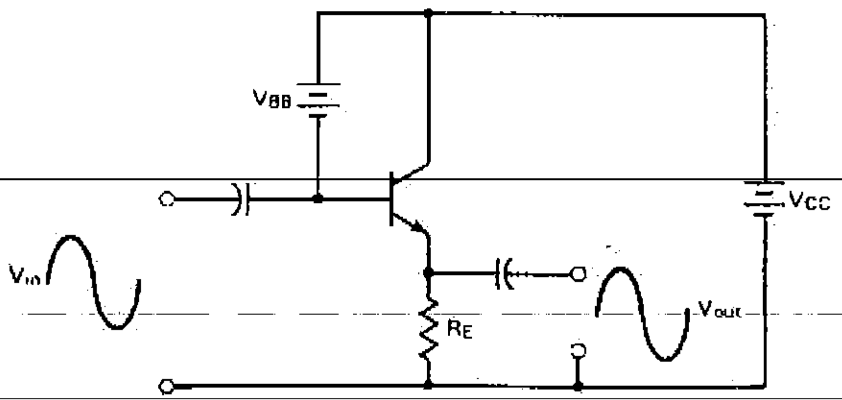


รูปที่ 34 วงจรอิมิตเตอร์

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทั้งสองมีจุดต่อร่วมกับขั้วอิมิตเตอร์ วงจรอิมิตเตอร์ร่วมมีอัตราขยายกระแสและอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าสูงและมีการเลื่อนเฟสแรงดัน AC อินพุตไปยังเอาต์พุต เป็นมุม 180 องศา

วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมหรือวงจรตามสัญญาณอิมิตเตอร์ (Common Collector or Emitter Follower)

วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมหรือวงจรตามสัญญาณอิมิตเตอร์เป็นวงจรที่มีการจ่ายอินพุตให้ ขั้วเบสและเอาต์พุตออกจากขั้วอิมิตเตอร์

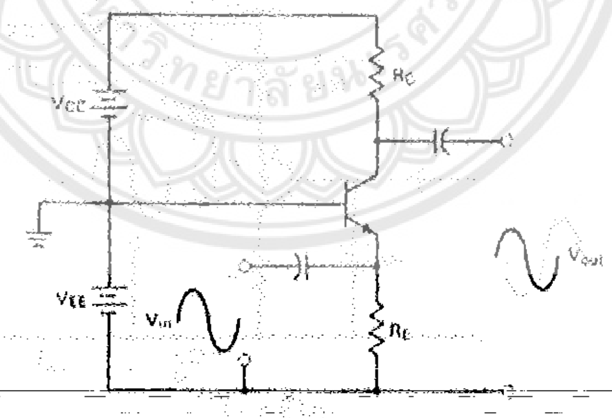


รูปที่ 35 วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมหรือวงจรตามสัญญาณอิมิตเตอร์

วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมมีอัตราขยายกระแสไฟฟ้าสูง แต่อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าต่ำ แรงดัน ac อินพุตกับแรงดัน ac เอาต์พุตจะ inphase กัน

วงจรเบสร่วม (Common Base)

วงจรเบสร่วม เป็นวงจรที่มีการจ่ายอินพุตให้ขั้วอิมิตเตอร์ และเอาต์พุตออกจากขั้วคอลเลคเตอร์ ชื่อเบสร่วมเป็นนัยแสดง ให้ทราบว่าขั้วเบสเป็นจุดต่อร่วมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทั้งสองวงจรเบสร่วมใช้มากในงานที่ต้องการความถี่สูง มีอัตราขยายกระแสไฟฟ้าต่ำ อัตราขยายแรงดันไฟฟ้า สูง และแรงดัน AC อินพุตกับแรงดัน ac เอาต์พุต Inphase กัน



รูปที่ 36 วงจรเบสร่วม

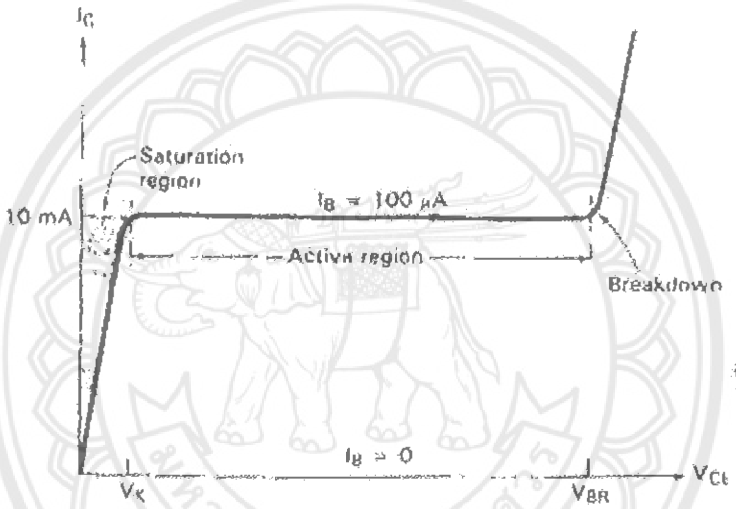
เคอร์ฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ (Transistor Characteristic Curves)

พิจารณาเคอร์ฟคุณลักษณะที่ใช้อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งประกอบ ด้วย เคอร์ฟคอลเลคเตอร์ เคอร์ฟเบส (ไม่พิจารณาเคอร์ฟของอิมิตเตอร์ เนื่องจากมีคุณลักษณะเหมือนกับคอลเลคเตอร์) และเคอร์ฟเบต้า

เคอร์ฟคอลเลคเตอร์ (Collector Curves)

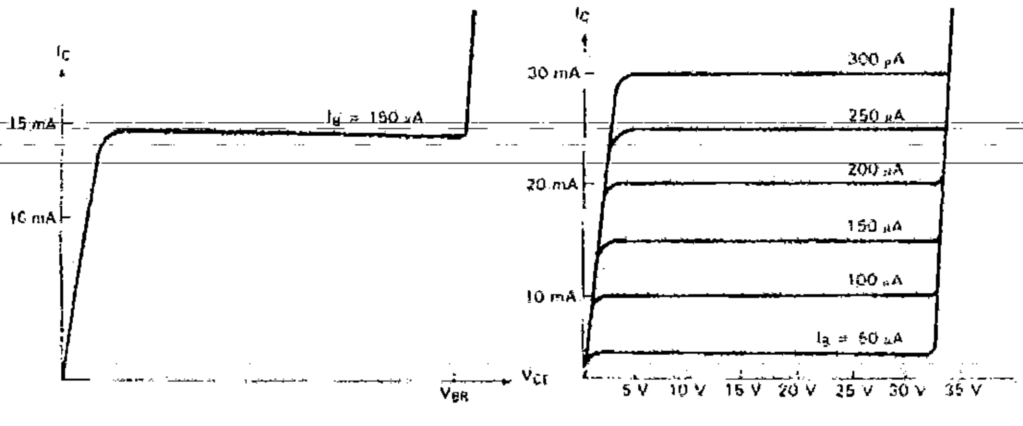
เคอร์ฟคอลเลคเตอร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_C, I_B และ V_{CE} ดังรูป สังเกตได้ว่าเคอร์ฟแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. บริเวณอิ่มตัว (Saturation Region) คือบริเวณที่มีค่า V_{CE} ต่ำกว่าแรงดันที่ส่วนโค้งของเคอร์ฟ (Knee Voltage; V_K) ซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ทรานซิสเตอร์เริ่มทำงาน
2. บริเวณแอกตีฟ (Active Region) คือบริเวณที่มีค่า V_{CE} อยู่ระหว่าง V_K ถึงแรงดันพังทลาย หรือ แรงดันเบรกดาวน์ (Breakdown Voltage; V_{BR})
3. บริเวณเบรกดาวน์ (Breakdown Region) คือบริเวณที่มีค่า V_{CE} มากกว่า V_{BR} ขึ้นไป



รูปที่ 37 เคอร์ฟคอลเลคเตอร์

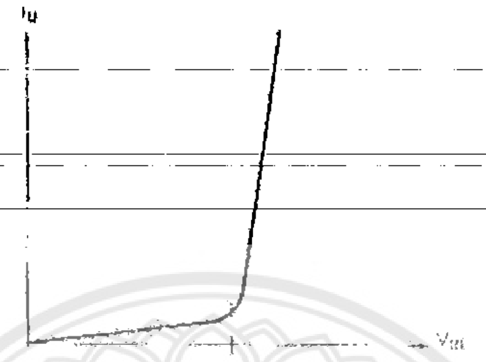
ถ้าเราเพิ่มค่า I_B จาก 100 uA เป็น 150 uA ก็จะได้เคอร์ฟเป็นดังรูป และหากเปลี่ยนแปลง I_B หลาย ๆ ค่าก็จะได้เคอร์ฟคอลเลคเตอร์ ดังรูป



รูปที่ 38 หากเปลี่ยนแปลง I_B หลาย ๆค่าก็จะได้เคอร์ฟคอลเลคเตอร์

เคอร์ฟเบส (Base Curves)

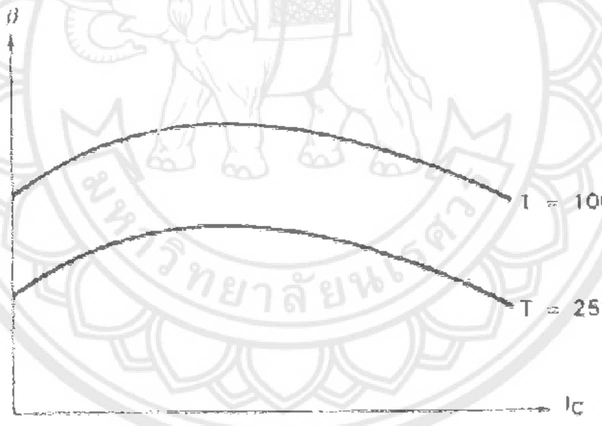
เคอร์ฟเบสของทรานซิสเตอร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_B กับ V_{BE} ดังรูป จะเห็นได้ว่าเคอร์ฟนี้
มีลักษณะคล้ายกับเคอร์ฟของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรง



รูปที่ 39 เคอร์ฟเบส

เคอร์ฟเบต้า (Beta Curves)

เคอร์ฟเบต้าแสดงลักษณะที่เบต้าไฟฟ้ากระแสตรงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและIC ดังรูป



รูปที่ 40 เคอร์ฟเบต้า

จะเห็นได้ว่าขณะอุณหภูมิ(T) = 100 C° เบต้าจะมีค่ามากกว่าขณะอุณหภูมิ (T) = 25 C°
นอกจากนี้แบตายังลดลงเมื่อ IC เปลี่ยนแปลงต่ำกว่าและสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้อีกด้วย

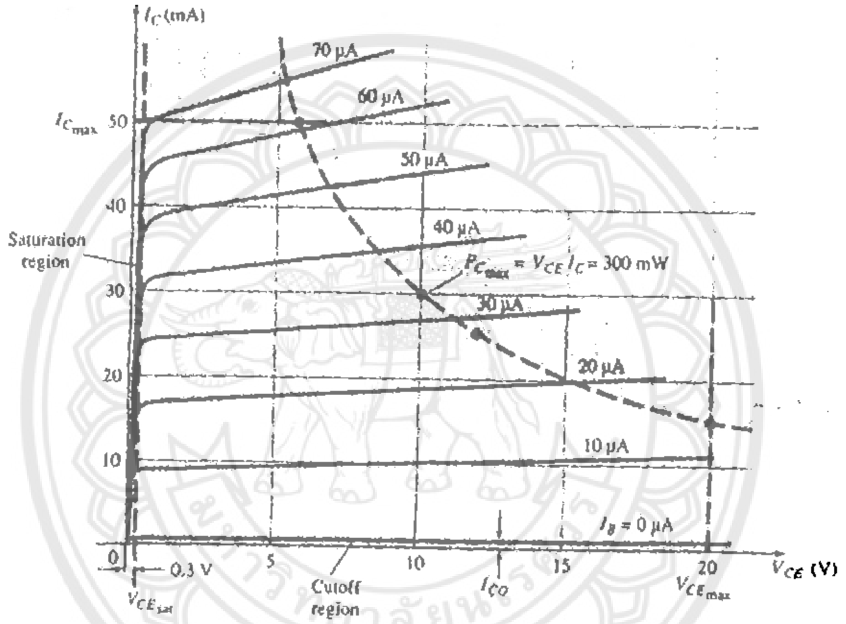
2.6.7 ข้อจำกัดในการทำงาน (Limits of Operation)

เราทราบว่าเคอร์ฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ประกอบด้วย 3 บริเวณ(ไม่รวมบริเวณเบรกดาวน์) คือบริเวณแอกตีฟ, คัตออฟ และอิ่มตัว ถ้าต้องการได้สัญญาณเอาต์พุตที่ดีที่สุด ไม่เพี้ยนหรือบิดเบี้ยว ต้องกำหนดบริเวณการทำงาน ให้อยู่ในย่านแอกตีฟเท่านั้น

จากหัวข้อที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานโดยไม่เกิดความเสียหายนั้น

จะต้องมีค่า I_C ต่ำกว่า $I_{C(max)}$ และค่า V_{CB} ต่ำกว่า$V_{CB(max)}$นอกจากนั้นค่า V_{CE} ที่ใช้งานต้องต่ำกว่า $V_{CE(max)}$) ด้วย

<u>เคอร์ฟคอลเลคเตอร์</u> เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง I_C กับ V_{CE} เส้นแนว ตั้งของเคอร์ฟที่ตำแหน่ง $V_{CE(sat)}$ และ $V_{CE(max)}$ เป็นส่วนหนึ่งที่กำหนดขอบเขตการทำงานของทรานซิสเตอร์ในบริเวณแอกตีฟ ตำแหน่ง $V_{CE(sat)}$ เป็นตัวกำหนดค่า V_{CE} ต่ำสุดที่ใช้งานได้ คือบอกให้ทราบว่าการทำงาน ของทรานซิสเตอร์ตั้งแต่ค่านี้เป็นต้นไปไม่อยู่ในบริเวณอิ่มตัว ส่วนตำแหน่ง $V_{CE(max)}$ เป็นตัวกำหนดค่า V_{CE} สูงสุดที่ใช้งานได้ คือบอกให้ทราบว่าการ ทำงานของทรานซิสเตอร์ไม่อยู่ในบริเวณเบรกดาวน์



รูปที่ 41 เคอร์ฟคอลเลคเตอร์

ตัวบ่งบอกขอบเขตการใช้งานของทรานซิสเตอร์นอกเหนือจาก $V_{CE(sat)}$ และ $V_{CE(max)}$ คือกำลังสูญเสียสูงสุด $P_{C(max)}$ ซึ่งหาค่าได้จาก

$$P_{C(max)} = V_{CE(max)} * I_{CE(max)}$$

สำหรับคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ในรูป $P_{C(max)} = (20V)(50mA) = 300mW$

เมื่อทราบค่า $P_{C(max)}$ ก็จะสามารถเขียนเคอร์ฟกำลังสูญเสียสูงสุดที่มีความสัมพันธ์กับเส้นแนวตั้งของเคอร์ฟที่ตำแหน่ง $V_{CE(sat)}$และ $V_{CE(max)}$ ได้โดยเลือกค่า V_{CE} และ I_C ที่เหมาะสมแล้วแทนลงในสมการ

$$P_{C(max)} = V_{CE} I_C$$ สมการที่ 12

สำหรับกรณีนี้ $P_{Cman} = V_{CE}I_C = 300mW$

เลือกค่า $I_{C(max)} = 50\ mA$ และแทนค่าลงในสมการข้างต้น

$$V_{CE}I_C = 300\ mW$$

$$V_{CE}(50\ mA) = 300\ mW$$

$$V_{CE} = 6V$$

เลือกค่า $V_{CE(max)} = 20V$ แทนค่าลงในสมการเดิม

$$(20V)I_C = 300mW$$

$$IC = 15mA$$

เลือกค่า $I_C = 25\ mA$

$$V_{CE}(25mA) = 300mW$$

$$V_{CE} = 12V$$

จากค่าที่ได้นำมาเขียนเคอร์ฟ $P_{C(max)}$ เป็นเส้นโค้งประ สำหรับบริเวณคัตออฟคือบริเวณที่ I_C มีค่าเท่ากับกระแสรั่วไหล(I_{CO}) เป็นบริเวณที่ไม่เหมาะสม กับการใช้งาน เพราะจะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่เพี้ยนหรือบิดเบี้ยว ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในกรอบเส้นประ เรียกว่า บริเวณแอกตีฟ ถ้าต้องการให้ทรานซิสเตอร์ ทำงานในบริเวณดังกล่าวต้องมี

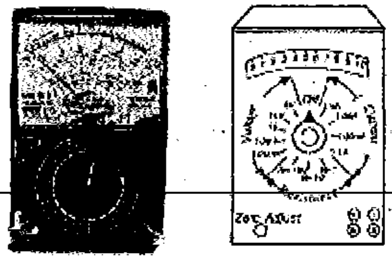
$$I_{CO} <= I_C <= I_{C(max)}$$

$$V_{CE(Sat)} <= V_{CE} <= V_{CE(max)}$$

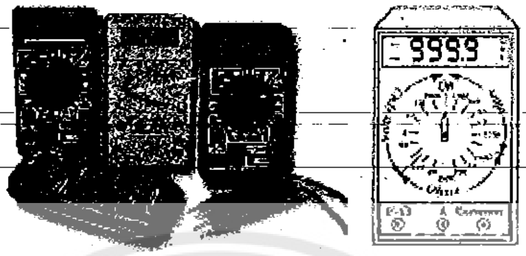
$$V_{CE}I_C <= P_{C(max)}$$

2.7 เครื่องวัดไฟฟ้า

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่รวมเอาเครื่องวัด 3 ชนิด มาอยู่ในตัวเดียวกัน ดังแสดงในรูป



(ก) เครื่องวัดแบบแอนะล็อก



(ข) เครื่องวัดแบบดิจิทัล

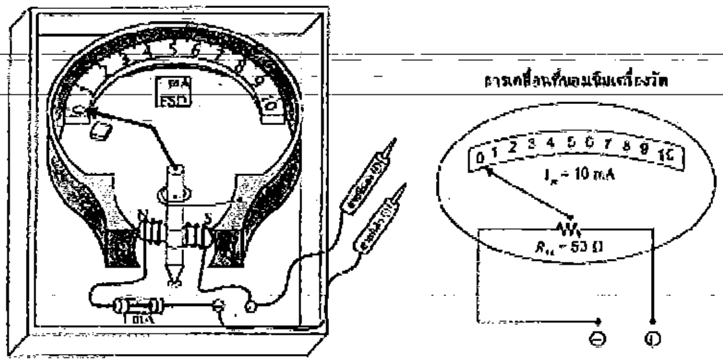
รูปที่ 42 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

การเลือกใช้เครื่องวัดชนิดใดสามารถทำได้โดยการเลือกจากสวิตซ์ควบคุม สำหรับมัลติมิเตอร์นั้นประกอบด้วยเครื่องวัด ดังต่อไปนี้

1. แอมมิเตอร์ (Ammeter) ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า
2. โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า
3. โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทาน

2.7.1แอมมิเตอร์

รูปแสดงเครื่องวัดที่มีค่ากระแสไฟฟ้าไหลสูงสุด (Im) เท่ากับ 1 mA แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าทำการวัดมีค่าเกินกว่า 1 mA ซึ่งเกินกว่าอัตราทนกระแสของฟิวส์จะทำให้ฟิวส์ขาด ซึ่งเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องวัด



(ก) (ข)

รูปที่ 43 แสดงแอมมิเตอร์ขนาด 1 mA

การวัดกระแสไฟฟ้า

ข้อควรปฏิบัติเมื่อใช้แอมมิเตอร์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าในวงจร ดังนี้

1. เลือกย่านการวัดให้มีค่าสูงสุดก่อนเสมอ จากนั้นค่อยลดย่านการวัดลงตามค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำการวัดได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายไม่ให้เกิดขึ้นกับแอมมิเตอร์

2. ต่อสายสีแดง (+) ของแอมมิเตอร์เข้ากับด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก และสายสีดำ (-) เข้ากับด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบของวงจร

3. การต่อแอมมิเตอร์จะต้องต่อในเส้นทางที่มีกระแสไฟฟ้าไหล นั่นคือ จะต้องทาการเปิดวงจรก่อน จากนั้นจึงนำแอมมิเตอร์ไปต่ออันดับเข้ากับวงจร

4. ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดแบบแอนะล็อก ส่วนใหญ่จะประมาณ ของค่าที่อ่านได้เต็มสเกล ดังนั้น การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าควรที่จะอ่านค่าให้ใกล้เคียงกับเต็มสเกลให้มากที่สุด ตัวอย่างเช่น ถ้ากระแสไฟฟ้าค่า 7 mA วัดจากสเกล 10 mA ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ +- 0.3 mA ดังนั้นค่าที่วัดได้จะมีค่าตั้งแต่ 6.7 - 7.3 mA

5. โดยปกติแล้วเครื่องวัดแบบแอนะล็อกจะมีกระจกติดตั้งอยู่ที่สเกลบริเวณด้านหลังเข็มของเครื่องวัด ซึ่งจะช่วยสะท้อนเงาของเข็มให้ปรากฏบนกระจก ดังนั้น ขณะทำการอ่านค่าจะต้องมองในลักษณะตั้งตรง เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดและเงาในกระจกทับกันพอดีจึงจะได้ค่าของการวัดที่ถูกต้อง

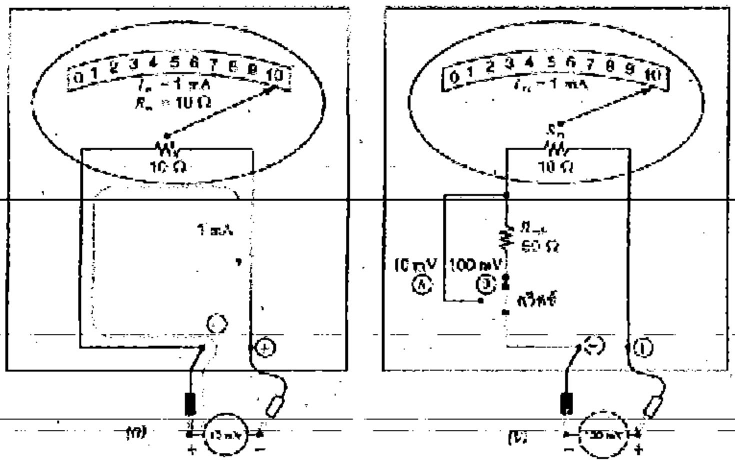
2.7.2 โวลต์มิเตอร์

การเพิ่มของแรงดันไฟฟ้าทำให้ปริมาณของกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูป (ก)

จากรูป Im = 1 mA และ Rm = 10 Ω ถ้าต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 10 mV เข้ากับขดลวดที่มีค่าความต้านทานภายใน 10 จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล 1 mA

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10mA}{10\Omega} = 1\ mA$$

กระแสไฟฟ้า 1 mA นี้จะทำให้เข็มของเครื่องวัดเบี่ยงเบนเต็มสเกล (FSD) และสามารถทำการวัดแรงดันไฟฟ้าใด ๆ ที่อยู่ในย่านระหว่าง 0 ถึง 10 mV ได้



รูปที่ 44 โวลต์มิเตอร์

การวัดแรงดันไฟฟ้า

ข้อควรปฏิบัติเมื่อใช้โวลต์วัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร มีดังนี้

1. ต้องตั้งย่านการวัดให้อยู่ในย่านสูงสุดก่อนเสมอ (100 V) จากนั้นจึงค่อยลดลงตามขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ทำการวัดได้

2. ต่อสายสีแดง (+) เข้ากับด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก และต่อสายสีดำ (-) เข้ากับด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ

3. การต่อโวลต์มิเตอร์จะต้องต่อขนานกับตัวอุปกรณ์ที่ต้องการวัด

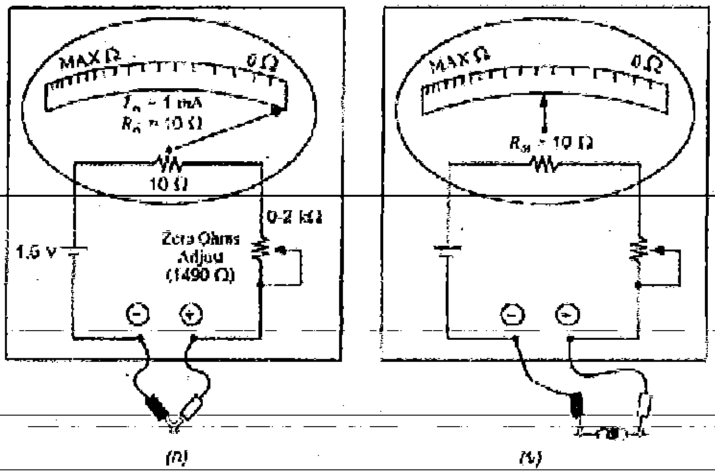
4. ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องวัดแบบอนาล็อก จะมีค่าประมาณ 3% ดังนั้น ถ้าวัดแรงดันไฟฟ้าขนาด 7 V ค่าที่อ่านได้จะประมาณ 6.7-7.3 V

5. การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องวัดจะต้องอ่านในลักษณะตั้งตรงกับเข็มของเครื่องวัดทั้งนี้เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดและเงาของเข็มในกระจกทับกันพอดีจึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง

2.7.3 โอห์มมิเตอร์

ค่าความต้านทานสามารถวัดโดยใช้เครื่องวัดที่อาศัยหลักการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่เช่นเดียวกัน จากรูป (ก) แสดงโครงสร้างภายในของโอห์มมิเตอร์ สิ่งที่แตกต่างของเครื่องวัดชนิดนี้คือ แบตเตอรี่ขนาด 1.5 V ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดค่าความต้านทานเมื่อนำสายวัดมาแตะกันเข็มของเครื่องวัดจะชี้เต็มสเกล ($0\,\Omega$) โดยสามารถปรับค่าความต้านทานจนเข็มชี้ FSD (1 mA) ค่าความต้านทานรวมที่ทำให้เข็มของเครื่องวัดชี้เต็มสเกลนี้มีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.5V}{1mA} = 1,500\ \Omega$$



รูปที่ 45 โอห์มมิเตอร์

การวัดค่าความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์

ข้อควรปฏิบัติเมื่อใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานในวงจร มีดังนี้

1. นำปลายสายวัดทั้งสองมาแตะกัน จากนั้นให้ปรับที่ปุ่ม Zero - Ohms Adjust เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดชี้ที่ตำแหน่ง 0 Ω การทำเช่นนี้เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องวัดยังทำงานได้ถูกต้อง

2. ต้องแน่ใจว่าไม่มีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่มีอยู่ในวงจรเมื่อรวมกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ภายในจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมากเกินไป ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับเครื่องวัดได้

3. ต่อสายวัดคร่อมกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด อ่านค่าที่วัดได้จากสเกล จากนั้นนำค่าที่อ่านได้คูณเข้ากับย่านการวัดที่ตั้งไว้ ได้แก่ x1 , x10 , x100 , x1,000 หรือมากกว่า

4. เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ใด ๆ ขณะที่อุปกรณ์นั้นยังต่ออยู่ในวงจรจะทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาด ทั้งนี้เนื่องจากผลของตัวต้านทานอื่นที่อาจต่อขนานกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดนี้ การแก้ไขทำได้โดยให้ปลดปล่อยด้านหนึ่งของอุปกรณ์ที่ต้องการวัดออก จากนั้นจึงทำการวัด

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

รูปขนาด 1 นิ้ว
ชุดนักศึกษา

ชื่อ นายใจภักดี ท้าวขว้าง

ภูมิลำเนา 59 ม. 3 ต. จางเหนือ อ. แม่เมาะ จ. ลำปาง

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแม่เมาะวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **pspuka@gmail.com**

รูปขนาด 1 นิ้ว
ชุดนักศึกษา

ชื่อ นางสาวอัจฉราภรณ์ อุ่นสกุล

ภูมิลำเนา 76/7 ม. 5 ต. สามเงา อ. สามเงา จ. ตาก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนผดุงปัญญา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **ann_minniepink@hotmail.com**