

๖๒๑ ๓๕๐๕๘

๘๗๓๗๖

๕. ๓

THE LIBRARY
COLLEGE OF EDUCATION
BANGKOK THAILAND

การสร้างและศึกษาชุดทดลองเพื่อใช้ในการเรียนการสอน
วิชาอิเล็กทรอนิกส์และวิทยุขั้นพื้นฐาน

ปริญญานิพนธ์

ของ

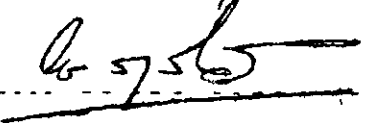
วีระพันธ์ สิทธิพงศ์

๒๒ ส.ค. ๒๕๑๗

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
มีนาคม ๒๕๑๗

* ๖๑๑๐๗

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิติได้พิจารณาปัญหานี้อย่างถี่ถ้วนแล้ว เห็นสมควรรับ
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตร ปรินซิเพิลของการศึกษามหาบัณฑิต ของวิทยาลัยวิชาการศึกษาได้

..... สมควร อดิศักดิ์ ประธาน
.....  กรรมการ

มีนาคม 2517

ประกาศคุณูปการ

การศึกษาค้างนี้ได้รับความกรุณาให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ท่านรองศาสตราจารย์สมทรง วิสสุกุล อาจารย์โช สาลีนัน อาจารย์ประธาน พัฒนธีรยานนท์ และอาจารย์สุทัศน์ ยุกสาน ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณวีระพล สิทธิพงศ์ คุณปริศา เพียรอดวงษ์ คุณดิเรก ทั้งสายัณห์ คุณสมนึก วัฒนา คุณนพพล แก้วโชติ ที่ไ้มีสวณช่วยในการศึกษาค้างนี้สำเร็จลงได้

วีระพันธ์ สิทธิพงศ์

บทที่	สารบัญ	หน้า
1	บทนำ	1
	คำนำ	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาคนควา	3
	ความสำคัญของการศึกษาคนควา	3
	ขอบเขตของการศึกษาคนควา	4
	* คำนิยามศัพท์เฉพาะ	6
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการคนควา	6
2	หลักเกณฑ์การออกแบบและวิธีสร้างชุดทดลอง	19
	รูปแบบของชุดทดลอง	19
	ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ของวงจรต่าง ๆ	21
	การออกแบบชุดทดลอง	50
	วิธีสร้างชุดทดลอง	67
3	การสาธิตและอภิปรายผล	72
	* 3.1 Rectifier Circuit	72
	* 3.2 Filter Circuit	72
	* 3.3 Power Supply	74
	* 3.4 The Static Characteristics of Triode	75
	* 3.5 Basic Amplifier Circuit	82
	3.6 Coupling Between Stages	82
	3.7 Multistage	82
	3.8 Phase - Inverter	84

บทที่		หน้า
	3.9 Push - Pull Amplifier	85
	3.10 Audio Control	88
	3.11 Oscillator Circuit	91
	3.12 The Receiver	93
	3.13 The Superheterodyne	95
	3.14 The Modulation	98
4	บทสรุปและเสนอแนะ	99
	ความมุ่งหมาย	99
	ผลของการศึกษาก่อนหน้า	99
	ข้อเสนอแนะและข้อกักเห็น	101
	ข้อเสนอแนะด้านการสร้างชุดทดลอง	101
	ข้อเสนอแนะด้านการใช้ชุดทดลอง	102
	ข้อเสนอแนะด้านการเกินกว่าวิจัย	102
	บรรณานุกรม	103

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
๑	แสดงผลการทดลอง Plate Characteristics	76
๒	แสดงผลการทดลอง Transfer Characteristics	77
๓	แสดงผลการทดลอง Constant Current Characteristics	78

บัญชีภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.	แสดง Demonstrator board ของ Sams Technical Institute	12
2.	แสดงชุดทดลองทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของ Braun Lectron	13
3.	แสดง Demonstrator Board ชุดเครื่องรับวิทยุแผนก A.V. วิทยาลัยวิชาการศึกษาประสานมิตร	14
4.	แสดงชุด Demonstrator of Vacuum Tube Characteristics	15
5.	แสดง Demonstration Power Supply	16
6.	แสดง Demonstration Radio Transmitter	17
7.	แสดง Demonstrator Radio Receiver	18
8.	แสดงภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น	20
9.	แสดงการจักษวงจรให้กระแสไหลผ่าน Load (R) เพียงทางเดียว	21
10.	แสดง Half Wave Rectifier Circuit และ Wave Form ที่ได้	22
11.	แสดง Full Wave Rectifier Circuit และ Wave Form ที่ได้	24
12.	แสดง Half Wave Rectifier และ Typical Wave Form ที่ได้	25
13.	แสดงวงจร Filter บางแบบ	26
14.	แสดงวงจร Power-Supply	26
15.	แสดงการขยายสัญญาณของหลอด Triode	27
16.	แสดง Basic Amplifier Circuit	29
17.	แสดง Coupling บางแบบ	30
18.	แสดง Basic Amplifier และ Equivalent Circuit	32
19.	แสดง Push - Pull Amplifier Circuit	35
20.	แสดง Cathode - Coupled Phase - Inverter	36
21.	แสดง Armstrong Oscillator	38

ภาพที่		หน้า
22	แสดง Hartley และ Colpitts Oscillator	40
23	แสดงการผสมคลื่นแบบ A.M.° และ F.M.	41
24	แสดงเครื่องรับวิทยุเครื่องแรกและสัญลักษณ์	43
25	แสดงเครื่องรับวิทยุของ Fleming	43
26	แสดงเครื่องรับวิทยุของ Dee Forest	44
27	แสดงเครื่องรับแบบ Regenerative	45
28	แสดง Block Diagram ของเครื่องรับวิทยุชนิด Superheterodyne	45
29	แสดงวงจรเครื่องรับวิทยุ Superheterodyne	47
30	แสดงวงจร A.V.C. (Automatic Volume Control)	48
31	แสดง Tone Control Circuit แบบหนึ่ง	49
32	แสดงภาพชุดทดลองที่ 1	52
33	แสดงภาพชุดทดลองที่ 2	53
34	แสดงเครื่องรับแบบ Superheterodyne	55
35	แสดง Push - Pull Amplifier	59
36	แสดงชุดทดลองเรื่อง Power supply	59
37	แสดงวงจรทูนแหลม	60
38	แสดงวงจร Oscillator	64
39	แสดงชุดทดลอง Triode Demonstrator	66
40	แสดงฐานของชุดทดลองที่สร้าง	68
41	แสดงภาพคลื่นของกระแส เมื่อผ่านวงจร Rectifier และวงจร Filter แบบต่าง ๆ	73

ภาพที่		หน้า
42	แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองเรื่อง Triode Demonstrator	80
43	ภาพจากการทดลองเรื่อง Basic Amplifier	83
44	ภาพจากการทดลองเรื่อง Push - Pull Amplifier	87
45	ภาพจากการทดลองเรื่อง Tone Control	89
46	ภาพจากการทดลองเรื่อง Oscillator	92
47	ภาพจากการทดลองเรื่อง Superheterodyne Receiver	97

บทที่ 1

บทนำ

คำนำ

วิชาอิเล็กทรอนิกส์เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของวิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Science) นักอิเล็กทรอนิกส์ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกิจกรรมและการควบคุมอิเล็กตรอน เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ปัจจุบันวิชาการแขนงนี้ได้พัฒนาตัวเองอย่างกว้างขวาง และลึกซึ้ง มีการนำเอาผลการค้นคว้าในวิชานี้ไปประยุกต์ในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้เพื่อการคมนาคมสื่อสาร ได้แก่วิทยุ โทรศัพท์ การสื่อสารดาวเทียม การสื่อสารภายในอาคารสถานที่ ใช้เพื่อความความสะดวกสบายได้แก่ ไฟฟ้าเปิดปิดประตู บันไดเลื่อน คอมพิวเตอร์ ลิฟท์ Automatic switch ใช้ในวงจรบ้านเต็งได้แก่ เครื่องขยายเสียง เครื่องบันทึกเสียง เครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังมีใช้ในวงการทหารอีกมากมาย เช่นใช้เป็นสัญญาณเตือนภัย เครื่องตรวจสอบวัตถุระเบิดและรังสี เครื่องบังคับอาวุธนำวิถี เลเซอร์ เหล่านี้เป็นตัวอย่างของการประยุกต์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในวงการต่าง ๆ ซึ่งวัฒนธรรมปัจจุบันผูกพันกับวิชาการแขนงอิเล็กทรอนิกส์มาก จึงนับเป็นแขนงวิชาที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

แต่ถ้าหันมามองการพัฒนาในเชิงการเรียนการสอนวิชานี้ จะเห็นว่าได้รับการคำนึงถึงน้อยกว่าความรู้ทางด้านวิชาการ คือ เนื้อหาวิชาอิเล็กทรอนิกส์โดยตรง ทั้ง ๆ ที่มีประสิทธิภาพแน่ชัดที่แสดงว่า วิธีการในการเรียนและการสอนมีอิทธิพลต่อความสำเร็จก้าวหน้าของวิชานั้น ๆ เป็นอันมาก การสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ปัจจุบันมีสภาพไม่ต่างจากการสอนวิชาวิทยาศาสตร์แขนงอื่น ๆ คือผู้สอนใช้วิธีการบรรยายและแสดงภาพพจน์บนกระดานดำ แยกเอาภาคปฏิบัติทั้งหมดไว้ในห้องทดลองปฏิบัติการ การสอนวิธีนี้ทำให้เนื้อหาไม่ติดต่อกัน และลดคุณภาพของการเรียนการสอนลงมาก

จากการวิจัยการสอนวิทยาศาสตร์ในอินเดียพบว่า การสอนวิทยาศาสตร์แต่เพียงทฤษฎีตามปกติในห้องเรียนจึงมีแต่ โทษ แก้อั กระดานดำ นั้นย่อมยากแก่ครูที่จะสาธิตเรื่องราวในเนื้อหาบางตอนให้นักเรียนรู้ได้

ทำให้นักเรียนไม่ได้รับความรู้เท่าที่ควร เป็นผลให้ไม่เข้าใจเนื้อหาของวิชาได้แจ่มแจ้ง (กรมวิชาการ, 1970 : 68)

ปัจจุบันแนวคิดในเรื่องการปรับปรุงการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ กำลังได้รับความสนใจ และเริ่มตั้งโครงการปรับปรุงขึ้นในประเทศต่าง ๆ เช่น Harvard Project ของสหรัฐอเมริกา Nuffield Project ของสหราชอาณาจักร Electronic Teaching Project ของเคนมาร์ก Physics Equipment Project ของฟิลิปปินส์ UNESCO Project on The Teaching of Physics ของ UNESCO และ Scandinavian Physics Project ของกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย โครงการเหล่านี้ โดยส่วนรวมมุ่งที่จะศึกษากันว่าหาวิธีการที่จะสอนวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค และอุปกรณ์ใหม่ ๆ และมักจะเน้นหนักในการจัดสร้างชุดเครื่องมือทดลอง เพื่อให้ประกอบการสอนในเนื้อหาแต่ละตอนซึ่งได้รับการแก้ไขปรับปรุงจัดวางลำดับตามความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งทางวิทยาศาสตร์และการศึกษา วัสดุที่ใช้ในชุดทดลองของเครื่องมือชิ้นนั้น อาจได้มาจากการปรับปรุงจากของเดิม หรือเกิดจากความคิดริเริ่มใหม่ ๆ ของบุคคลต่าง ๆ ที่มีส่วนร่วมในโครงการนั้น ๆ (Bervall and Jole, 1965 : 2)

สำหรับประเทศไทยก็เริ่มมีโครงการปรับปรุงเช่นเดียวกัน โดยได้จัดตั้งสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีขึ้น ตามโครงการที่วางไว้นั้น จะได้ออกแบบเตรียม และแจกจ่ายวัสดุแบบใหม่ สำหรับหลักสูตรการสอนที่จัดวางลำดับอย่างเหมาะสมโดยจะเริ่มกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ชั้น ม.ศ. 4 - 5 แผนกวิทยาศาสตร์ เป็นอันดับแรก แล้วจึงจะขยายไปสู่ระดับอื่น ๆ ต่อไป แล้วจึงได้จัดตั้งโครงการสร้างเครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อการฝึกสอนขึ้นที่ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์ การศึกษานานาชาติ (Experimental Teaching Laboratory/Work-Shop) โดยได้รับความช่วยเหลือจากโครงการ CEDO ของกระทรวงพัฒนาการของประเทศอังกฤษ (ประคิษฐ เชื้อวสุกุล, 2514 : 39) วิชาอิเล็กทรอนิกส์และวิทยุ เป็นสาขาวิชาที่อยู่ในความสนใจของผู้เขียนเป็นอย่างยิ่ง และเห็นว่าสภาพการเรียนการสอน วิชาทั้งสองนี้ยังมีปัญหาอยู่มาก เป็นต้นว่าผู้เรียนที่ไม่มีพื้นฐาน

ความรู้เดิมมาก่อนยากที่จะทำความเข้าใจ เพราะมองไม่เห็นภาพพจน์และผู้อ่านก็ไม่มีเครื่องมือที่เหมาะสมและสะดวกพอที่จะนำมาสาธิตทดลองประกอบการสอนได้คือ อุปกรณ์ที่มีอยู่โดยความช่วยเหลือจากต่างประเทศก็ไม่เหมาะสมกับบทเรียน ผู้สอนจึงมักประสบปัญหาที่ว่าเมื่ออุปกรณ์อยู่ก็จริงแต่หาได้นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์เท่าที่ควรไม่สภาพดังกล่าวนี้ผู้เขียนเคยประสบมาด้วยตนเอง จึงมีความคิดจะสร้างชุดสาธิตอิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับวิทยุ ที่เหมาะสมขึ้น เพื่อเป็นอุปกรณ์ประกอบการสอนและใช้ในห้องทดลองปฏิบัติการได้ตามแผนภูมิ ให้ได้ผลดีตามหลักการสอนคือสามารถช่วยให้สอนเข้าใจได้เร็ว ทำให้มองเห็นภาพพจน์ ประหยัดเวลา ช่วยแบ่งเบาภาระของผู้สอน ความลำบากเหตุผลดังกล่าวผู้เขียนจึงจัดวางลำดับแนวทางการศึกษาค้นคว้าเอาไว้ดังนี้

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาหาวิธีออกแบบและสร้างชุดทดลอง สำหรับใช้ในการสาธิตประกอบการสอนในวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ชั้นพื้นฐาน
2. เพื่อศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับชุดทดลองที่สร้างขึ้น
3. เพื่อเสนอหลักเกณฑ์และวิธีสร้างชุดทดลอง
4. เพื่อเสนอขอบวนวิธีและเทคนิคในการสาธิตที่ได้ผล

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ผลของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จะเป็นส่วนช่วยกระตุ้นและชี้แนะทางการสอนให้ผู้สอนวิชานี้สามารถสร้างและใช้อุปกรณ์การสอนที่เหมาะสมกับบทเรียน
2. เป็นการเสนอแบบของชุดสาธิต ในวิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ผลอีกแบบหนึ่ง
3. ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นจะอำนวยความสะดวกในการนำมาสาธิตประกอบการเรียนวิชานี้

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. เกมการสร้างชุดทดลอง

1.1 ต้องอ่านยวความสละวและประหัยคเวลาในการนำมาสาธิต
ประกอบการสอน

1.2 สร้างและแสดงการทางานของวงจรต่าง ๆ ให้เห็นได้ชัดแจ้ง
สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้

1.3 ชุดทดลองดังกล่าวเหมาะกับเนื้อหาของบทเรียนแต่ละตอน

2. ชุดสาธิต ะครอบกลุ่มเรื่องต่อไปนี้

2.1 คอนอีเลคทรอนิคส์ การทดลองชุดนี้มุ่งที่จะแสดงภาพพจน์และ
กฎเกณฑ์การทางานของวงจรอีเลคทรอนิคส์พื้นฐานอันประกอบด้วย

2.1.1 Amplifier Circuit

2.1.2 Rectifier Circuit

2.1.3 Oscillator Circuit

และการนำเอาวงจรพื้นฐานเหล่านี้มาประกอบเป็นวงจรอีเลคทรอนิคส์บางอย่าง เช่น

2.1.4 Power-Supply แบบ A.C.-D.C. และแบบใช้

- หม้อแปลงแสดงการทางานของ Rectifier ชนิดใช้
หลอดและใช้วัตุกึ่งตัวนำ

- แสดงการทางานของวงจร Filter ชนิดต่าง ๆ

2.1.5 Coupling Between Stages

- ชนิดของ Coupling

2.1.6 Amplifier

- แสดง Characteristics of Triode

- Multistage

- Push-Pull Amplifier and Phase-Inverter

2.1.7 Oscillator บางชนิดและหลักการ

2.1.8 การทดลองอื่น ๆ ที่จะเป็นผลพลอยได้

2.2 ทอณวิทย์ ทอนนี้จะกล่าวถึงและมุ่งแสดง

2.2.1 The Modulation (A.M)

2.2.2 วิวัฒนาการของเครื่องรับ

- เครื่องแรก
- Regenerative Set
- Fleming Valve Set
- Superheterodyne

2.2.3 แสดงการทำงานของวงจรต่าง ๆ ของเครื่องรับชนิด

Superheterodyne

อันประกอบด้วย

- Tuner
- Converter
- Local Oscillator
- I.F. Amplifier
- Detector and Audio Amplifier

2.2.4 Tone Control

2.2.5 A.V.C. (Automatic Volume Control)

2.2.6 การทดลองอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องและสามารถจัดชุดทดลองได้

2.3 การใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์บางอย่างเข้าช่วย

ในการสาธิตทั้งสองตอนจะใช้เครื่องมือบางอย่างเข้าช่วยเพื่อแสดงภาพพจน์

และทดสอบทฤษฎี คือ

- | | | | |
|-------|--------------|---|---------|
| 2.3.1 | Oscilloscope | 1 | เครื่อง |
| 2.3.2 | Voltmeter | 2 | เครื่อง |
| 2.3.3 | Ammeter | 1 | เครื่อง |

เครื่องมือเหล่านี้จะใช้เพื่อแสดงการทำงานของวงจรต่าง ๆ ให้เห็นได้ชัดเจน เช่น ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบภาพคลื่นของกระแสที่ผ่านการ Rectify ทั้ง Half-Wave Full-Wave ดูกระแสและ Voltage เมื่อผ่านวงจร Filter ชนิดต่าง ๆ การใช้ Oscilloscope เปรียบเทียบกำลังขยายของ Amplifier หรือใช้ Ammeter และ Voltmeter ประกอบกันตรวจดู Characteristics ของหลอด Triode เป็นต้น

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. จุดทดลอง หมายถึงจุดของเครื่องมือที่ใช้ในการสาธิต และทดลองในวิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้เขียนได้ออกแบบสร้างขึ้น ซึ่งประกอบด้วยวงจรย่อย ๆ หลายวงจร เมื่อจะทำการทดลองเรื่องใดก็นำเอาวงจรย่อย ๆ มาประกอบกันเข้าตามความเหมาะสม วงจรย่อย ๆ หนึ่ง ๆ สามารถนำไปใช้ประกอบการสาธิตทดลองได้หลายการทดลอง

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเอกสารการค้นคว้านี้ ได้วางแนวทางการค้นคว้าออกเป็นสองตอนกล่าวคือ

ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาค้นคว้าดูการปรับปรุงและพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์ในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก เพ่งเล็งและนำมาปรับปรุงวิธีการในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นการยืนยันให้เห็นความต้องการปรับปรุงวิธีการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 2 เป็นการศึกษาจุดทดลองทางอิเล็กทรอนิกส์ และวิทยุ ของหน่วยงานต่าง ๆ สถาบัน และบริษัทผลิตอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ซึ่งผลิตจุดทดลองดังกล่าวขึ้น ใช้สอนวิชาวิทยุและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการศึกษาเฉพาะเจาะจงเพื่อผลแห่งการปรับปรุงจุดทดลองของผู้เขียนโดยตรงและจะเลือกเสนอเฉพาะจุดทดลองที่สำคัญ สามารถเป็นตัวแทนของจุดทดลองอื่น ๆ ได้ดังจะเสนอตามลำดับดังนี้

1. การศึกษาโครงการปรับปรุงและพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์

ในระบะปัจจุบันมีโครงการที่เกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิคการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ อยู่หลายโครงการหลายระดับ ที่สำคัญได้แก่

1.1 Harvard Project Physics

เป็นโครงการของประเทศ

อเมริกา โดยมีศาสตราจารย์ทางฟิสิกส์ และทางการศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด เป็นผู้นำและได้รวบรวมเอาบรรดาผู้สอนวิชาฟิสิกส์ จากโรงเรียนต่าง ๆ นักฟิสิกส์ นักเคมี นักประวัติศาสตร์ทางฟิสิกส์ วิศวกร นักการศึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์ และบุคคลอื่น ๆ จากสถาบันต่าง ๆ ทั่วสหรัฐอเมริกาเข้ามาเป็นสมาชิกของโครงการ บุคคลเหล่านี้มีส่วนช่วยในการจัดปรับปรุงแก้ไข และลำดับเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ให้เหมาะสม ตลอดจนการออกแบบสร้างอุปกรณ์ ออกแบบการทดลองให้เหมาะกับเนื้อหาในแต่ละตอน โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนทางการเงินจาก Carnegie Corporation, The National Science Foundation, The United Office of Education และหน่วยงานอื่น ๆ ของสหรัฐอเมริกา โครงการนี้ได้จัดพิมพ์เอกสารออกมาชุดหนึ่งอันประกอบด้วย

1. 6 Basic Text Units, 6 Physics Readers
2. 6 Teacher Guides, 6 Students Handbooks
3. Laboratory and Demonstration Apparatus
4. Film Loops and Film Strips
5. Test Booklets
6. Programmed Instruction Booklets

ส่วนใหญ่ของโครงการนี้มุ่งที่จะพัฒนา เนื้อหา วิธีสอน และการปฏิบัติการ วิชาฟิสิกส์ ระดับมัธยมของสหรัฐอเมริกา

1.2 Nuffield Science Teaching Project

เป็นโครงการของประเทศอังกฤษ โดยได้รับการสนับสนุนทางการเงินจาก Nuffield Foundation เริ่มโครงการนี้ เมื่อ ค.ศ. 1962 ประกอบด้วยโครงการย่อย ๆ หลายโครงการ เพื่อปรับปรุงการเรียนการสอนทางด้านวิชา

ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ ปัญหาแรกที่ทางโครงการได้แก้ไข คือ การสอนวิทยาศาสตร์ทุกสาขาในระดับ Ordinary Level ของชั้นมัธยม จากนั้นก็ขยายโครงการออกไปให้ครอบคลุมถึงชั้นประถม และชั้นมัธยมระดับอื่น ๆ โดยมีหลักการที่สำคัญ ก่อร่างที่จะปรับปรุงอุปกรณ์การสอนในอันที่จะช่วยให้ครูที่สอน วิชาวิทยาศาสตร์ สอนวิชานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น พัฒนาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ให้ทันสมัยสร้างอุปกรณ์การสอนให้เหมาะสมกับบทเรียน ผู้ร่วมงานตามโครงการนี้มี ครูวิทยาศาสตร์ จากโรงเรียนมัธยม นักการศึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์ ตามโครงการนี้ได้พิมพ์เอกสารออกมาหลายชุด อันประกอบด้วย เอกสารแนะนำกฎ แนะนำการทดลองหนังสือ สำหรับนักเรียน Question Book แต่ละชุดประกอบด้วยหนังสือหลายเล่ม ตามลำดับชั้นและความยากง่ายของเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ที่มีในชั้นหนึ่ง ๆ

(The Nuffield Foundation, 1967 : 1-53)

1.3 Electronic Teaching Project

เป็นโครงการปรับปรุงการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ของประเทศเดนมาร์ก โดยมี Dr. Povl Veldelsby แห่งแผนกฟิสิกส์ของ Royal Danish School of Experimental Studies โครงการนี้ตั้งขึ้นเพื่อให้การศึกษาเป็นพิเศษแก่บรรดาครูที่สอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ โดยย่ำให้เข้าใจถึงโครงสร้าง และหน้าที่ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่สำคัญต่าง ๆ ตามโครงการนี้จะได้พัฒนาอุปกรณ์การสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ให้นักเรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง อุปกรณ์มีทั้งชนิด Block - Diagram และชนิดวงจรสำเร็จรูป ในการสอนนั้นจะใช้เทคนิคบางอย่างเข้าช่วย โดยยึดหลักว่าให้ผู้เรียนเข้าใจวงจรโดยส่วนรวมก่อน จึงจะแยกออกมาศึกษาวงจรย่อย ๆ ที่มี อยู่วัสดุที่พัฒนาขึ้นมาตามโครงการนี้มี ชุดเครื่องรับวิทยุอย่างง่ายสำเร็จรูป ชุดแสดงวิวัฒนาการของวงจรต่าง ๆ Resonance Dip-Meter หนังสือคู่มือการใช้อุปกรณ์ Work - Sheet พจนานุกรมศัพท์อิเล็กทรอนิกส์ หนังสือแนะนำ การสอนของครู โครงการที่วางไว้จะเริ่มทำในอันดับต่อไปก็ คือ การพัฒนาอุปกรณ์การสอนอิเล็กทรอนิกส์ในระดับสูง ๆ ขึ้นไป (Lockard, 1970 : 219)

1.4 Teaching of Physics Through Experiments

เป็นโครงการของประเทศญี่ปุ่น ดำเนินการโดย Prof. Ikuo Takeda, Faculty of Technology, University of Hokkaido. เป้าประสงค์ของโครงการก็คือ เพื่อให้การศึกษาวิชาฟิสิกส์แก่คนญี่ปุ่นทุกเพศทุกวัย ได้ทำการวิจัยหาวิธีสอนด้วยการทดลองที่เหมาะสม ในอันที่จะสามารถสรุปเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ได้จากการทดลองนั้น ช่วยพัฒนาการสอนของครู พัฒนาอุปกรณ์การสอน คัดเลือกการทดลองที่เหมาะสม และได้พิมพ์เอกสารออกมาชุดหนึ่งชื่อ The Berkeley Physics Laboratory ได้พัฒนาวิธีการทดลองที่จะใช้ในการสอนวิชา Modern Physics (Lockard, 1970 : 224)

1.5 Physics Equipment Project

เป็นโครงการของประเทศฟิลิปปินส์ จุดประสงค์เริ่มแรกของโครงการก็คือ เพื่อปรับปรุงการสอนวิชาฟิสิกส์ ต่อมาโครงการได้ขยายงานออกไป และมีจุดมุ่งหมายอื่น ๆ คือ เพื่อที่จะจัดหา ปรับปรุง และดำเนินการร่วมกันในการฝึกหัดครู การสร้างอุปกรณ์การเรียนการสอน การพัฒนาหลักสูตร การปรับปรุงห้องปฏิบัติการ ฟิสิกส์ และการใช้โปรแกรมเหล่านี้ร่วมกันโดยถือหลักว่า ให้อุปกรณ์วัสดุในห้องเรียนที่หาง่าย ราคาถูกมาสร้างเป็นอุปกรณ์การสอน และให้ได้ผลเป็นเครื่องมือที่มีคุณภาพทางการศึกษาด้วย ได้พัฒนาเทคนิค การสอน จัดพิมพ์เอกสารการใช้อุปกรณ์ออกเผยแพร่ โครงการนี้ได้จัดสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์ทางฟิสิกส์ขึ้นเป็นแบบอย่าง โดยสร้างเป็น Kits มี Projectile Kit, Momentum Kit, Wave kit, Wave Generator Kit, Motor Kit and Optic Kit. เป็นต้นโครงการนี้ได้รับการสนับสนุนทางการเงินจาก National Science Development Board, Colombo Plan. (Lockard, 1970 : 214)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เป็นหน่วยงานในความอุปถัมภ์ของกระทรวงศึกษาธิการ จัดตั้งขึ้นโดยมติคณะรัฐมนตรี เมื่อ วันที่ ๔ สิงหาคม ๒๕๑๓ ได้แต่งตั้งให้ นายสนั่น สุมิตร เป็นผู้อำนวยการสถาบัน โดย ได้รับความช่วยเหลือจาก UNDP (United Nation Development Programme)

ซึ่งได้ส่งคณะผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศมาช่วยเหลือ หัวหน้าคณะผู้เชี่ยวชาญ คือ Prof. Gordon H. Aylward ตามสำเนาประกาศตั้งให้สถาบันมีหน้าที่ดังนี้

1. ริเริ่ม จัดดำเนินการ ส่งเสริม สนับสนุนการค้นคว้าและวิจัยในเรื่อง หลักสูตร วิธีสอน วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี
2. จัดดำเนินการส่งเสริม ค้นคว้าและผลิต เพื่อให้มีอุปกรณ์การสอน วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี
3. ส่งเสริมและจัดดำเนินการฝึกอบรมครูประจำการ นักเรียนฝึกหัดครู ในส่วนที่เกี่ยวกับการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี
4. จัดดำเนินการส่งเสริมค้นคว้าและผลิต หนังสือแบบเรียน ตำราเรียน หนังสืออุเทศ หนังสืออ่านประกอบ คู่มือครู และแบบฝึกหัด ในวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

สถาบันได้รับช่วงงานของ UNESCO Pilot Project for Physics and Chemistry Teaching มาจัดดำเนินการสืบไป ตามโครงการนี้จะได้เริ่มดำเนินการกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ชั้น ม.ศ. 4-5 แผนกวิทยาศาสตร์ เป็นอันคมแรกแล้วจึงจะขยายไปสู่ระดับอื่น ๆ ต่อไป และขณะนี้ได้เริ่มเขียนแบบเรียน คู่มือครู แนะนำปฏิบัติการ และทดลองใช้สอนในโรงเรียนที่อยู่ในโครงการทดลอง ได้จัดให้มีการประชุม ผู้เชี่ยวชาญของไทยและต่างประเทศ เพื่อวางแผนปฏิบัติในการที่จะปรับปรุงการเรียนการสอนวิชาต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว และเพื่อที่จะปรับปรุงหลักสูตร แบบเรียนคู่มือครู ตลอดจนเทคนิคและสร้างอุปกรณ์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สำนวณแบบเรียน หลักสูตรและโครงการของประเทศต่าง ๆ เช่นของ ฮาร์วาร์ด ของนัฟฟิลด์ โครงการนี้ยังได้ดำเนินการร่วมกับวิทยาลัยวิชาการศึกษา โดย

Mr. L.C. Comber จากโครงการ CEDO (Center for Education Development Overseas) ของกระทรวงพัฒนาการแห่งประทศอังกฤษ มาสำรวงานการฝึกหัดครู ตามความต้องการของกรมการฝึกหัดครู ในรายงานเขาได้แนะว่า

ควรจัดตั้ง Experimental Teaching Laboratory / Work - Shop ขึ้นที่
วิทยาลัยวิชาการศึกษาประสานมิตร เพื่อช่วยเหลือนิสิตที่กำลังฝึกสอนวิชาวิทยาศาสตร์
ในระหว่างการฝึกสอนนั้นนิสิตจะกลับมาที่ Shop สัปดาห์ละครั้ง เพื่อเตรียมสร้างหรือ
ประกอบเครื่องมือ ที่จะใช้ประกอบการสอนในวิชาเหล่านั้น การสร้างเครื่องมืออยู่
ภายใต้การควบคุมแนะนำของอาจารย์ และผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ โดยยึดหลัก
ว่าการสอนโดยใช้อุปกรณ์ จะถูกหลักการสอนยิ่งขึ้น (รายงานการดำเนินการ ,
2515 : 1 - 38)

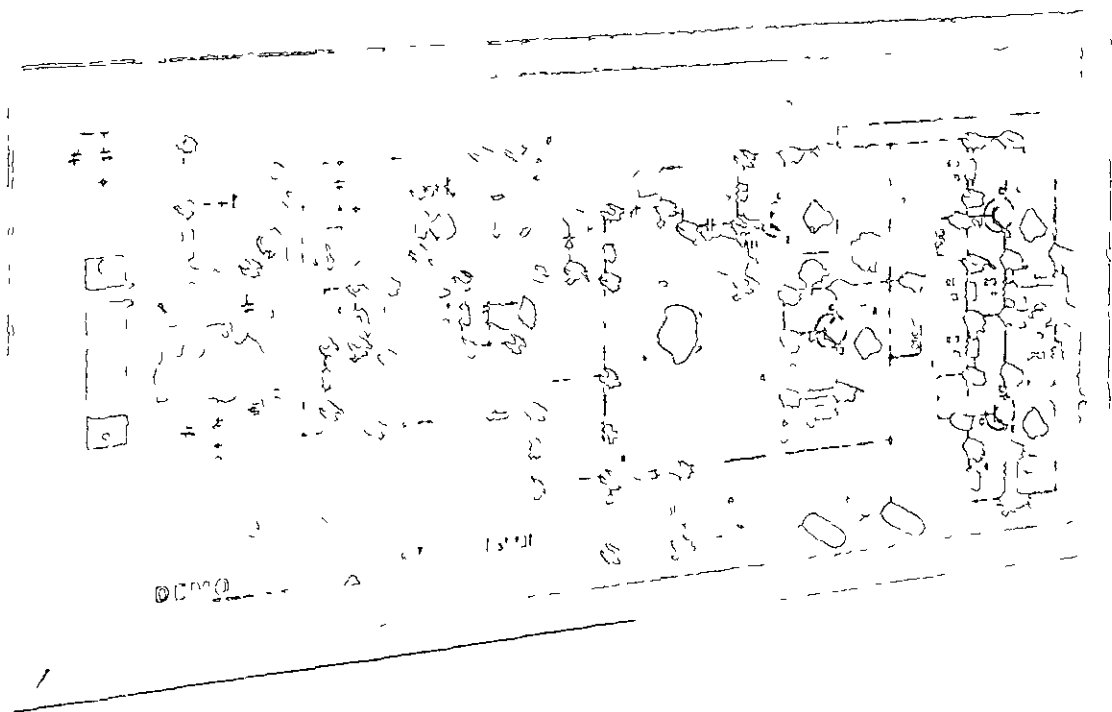
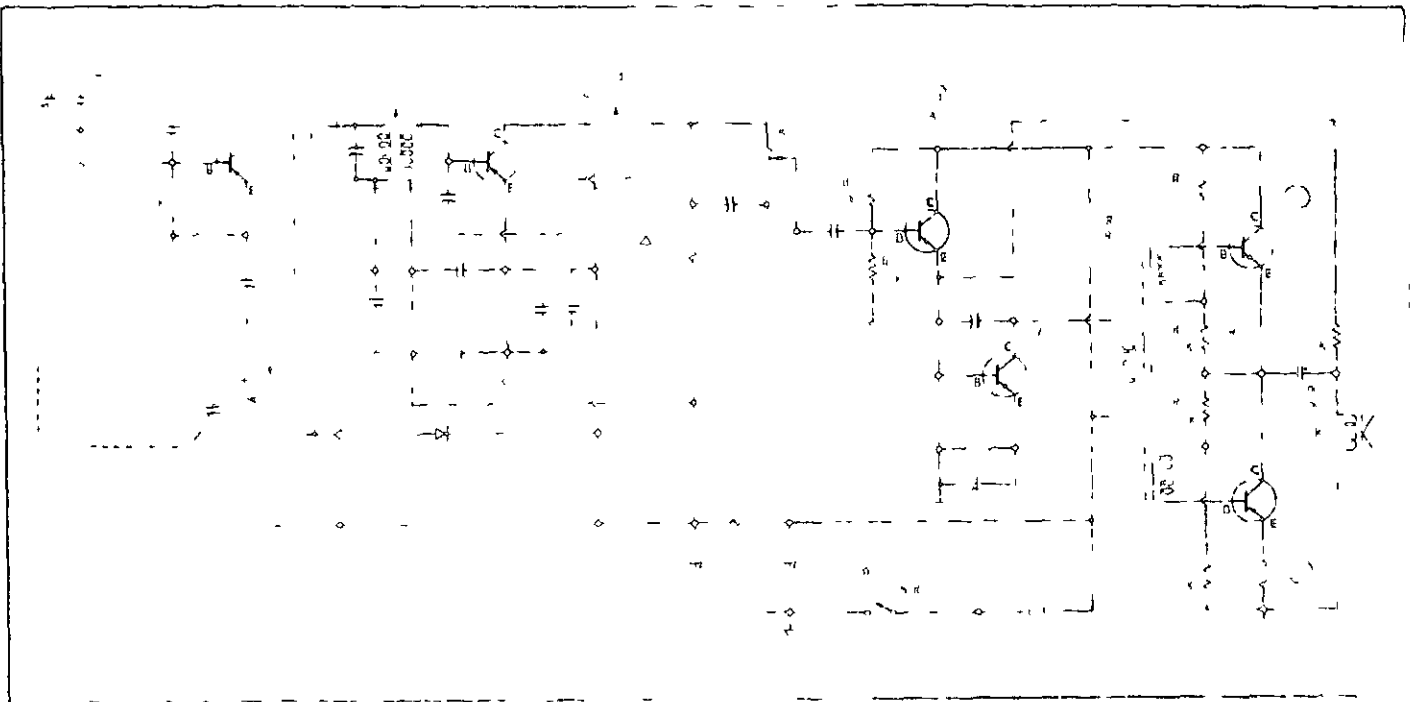
ขณะนี้โครงการสร้างอุปกรณ์เพื่อนำไปประกอบการฝึกสอน กำลังดำเนินการ
การอยู่ที่โรงฝึกงาน วิทยาลัยวิชาการศึกษาประสานมิตร และนิสิตปริญญาโทคนหนึ่ง
กำลังวิจัยประเมินผลการดำเนินงานนี้อยู่

2. การศึกษาคู่มือทดลองทางอิเล็กทรอนิกส์และวิทยุ

ในตอนนี้เป็นการศึกษากันคว้า เกี่ยวกับชุดทดลองที่ สถาบัน บริษัท
หรือหน่วยงานใดๆ ที่ได้สร้างชุดทดลองขึ้น เพื่อใช้สอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์หรือวิทยุ
หรือเพื่อเป็นแค่เพียง Demonstrator Board เท่านั้น ชุดทดลองที่ได้ศึกษาส่วน
ใหญ่มีลักษณะคล้ายกัน ใช้วิธีการสาธิตทดลองทำนองเดียวกัน และล้วนมีขนาดใหญ่
ชัดเจน เหมาะสมสำหรับใช้สาธิต แบบของชุดทดลอง เท่าที่เห็น ามี

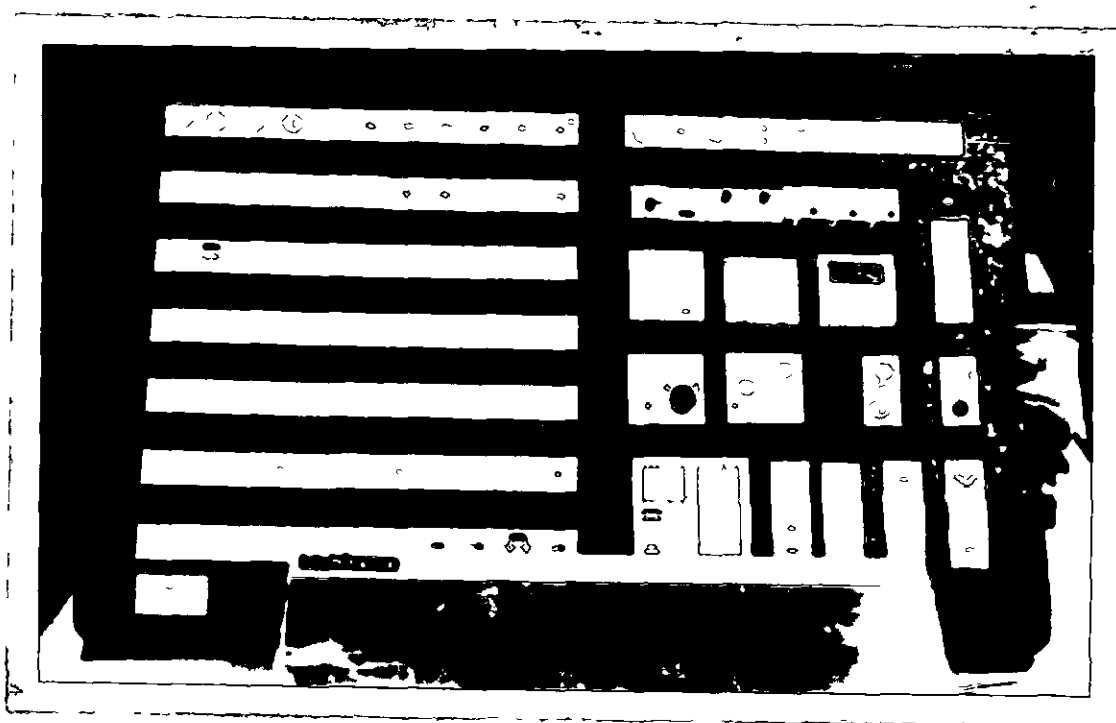
2.1 Demonstration Board ของ Sams Technical Institute

ชุดทดลองประกอบด้วย เครื่องรับวิทยุ Superheterodyne ประกอบขึ้นบน
แผ่นอะลูมิเนียม แสดงให้เห็นส่วนประกอบของเครื่องรับวิทยุชนิดนี้ บนแผ่นดังจะมี
วงจรและอุปกรณ์ที่ปรากฏ ในวงจรนั้น ๆ แสดงไว้ แผ่นดังนี้ใช้ติดตั้งแสดงให้เห็น
ภาพพจน์และวงจรภาคต่าง ๆ สามารถช่วยให้ผู้เรียนรู้จักอุปกรณ์มากขึ้นในเวลาจำกัด
รู้จักโครงสร้างรวมของวงจรเครื่องรับวิทยุ และสัญลักษณ์ ทางอิเล็กทรอนิกส์
ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพ (Bruke and Others, 1969 : 43)



2. ชุดทดลองทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ของบริษัท Braun Lectron

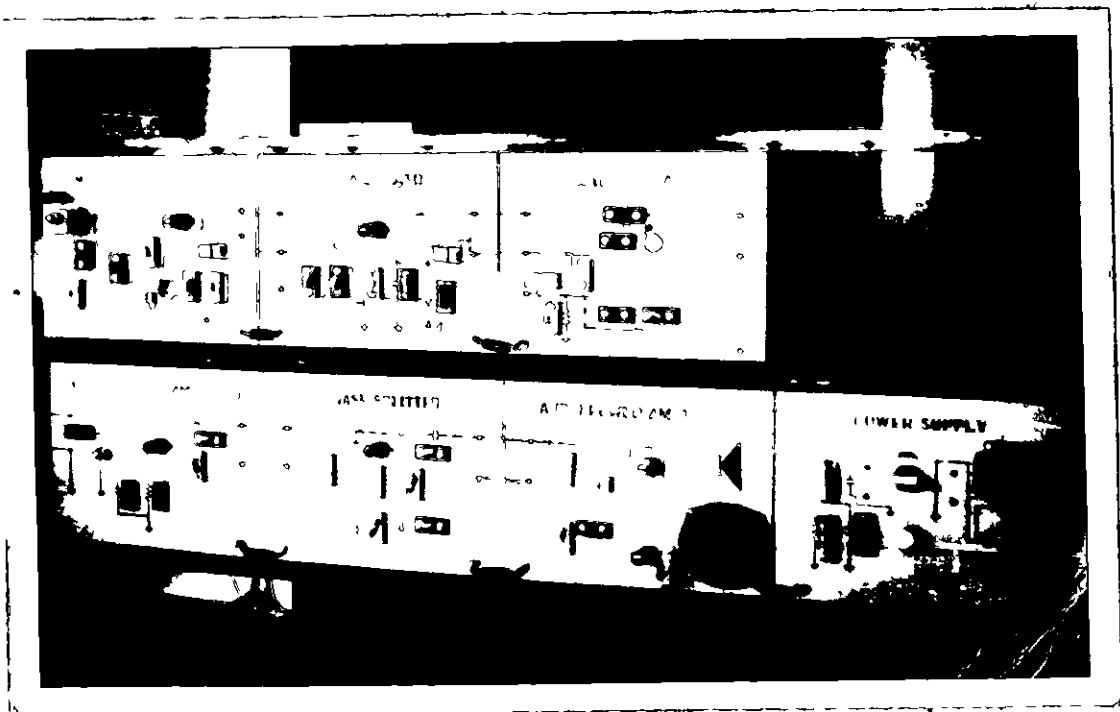
ชุดทดลองนี้สามารถแสดงการสาธิตทดลองทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้นได้หลายการทดลอง ใช้ได้สะดวก รวดเร็ว สามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง ชุดทดลองนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ชิ้นเล็ก ๆ 105 ชิ้นและมีที่เก็บทั้งรูป อุปกรณ์มีความทนทาน ชดเชยทรานซิสเตอร์ หม้อแปลง มีเตอร์และหลอดไฟ โดยใช้แทนโลหะขนาด 16×10 ตารางนิ้ว เป็นที่ประกอบวงจร ส่วนสายไฟที่ใช้เชื่อมวงจรจะอยู่ในบล็อก วงจรที่สามารถประกอบได้มี การรวมความต้านทานและคอนเดนเซอร์ วงจรขยาย วงจรเครื่องรับวิทยุ และอื่นๆ อุปกรณ์เล็กๆแต่ละชิ้นยังอยู่ในบล็อกรูปสี่เหลี่ยมและมีสายเชื่อมออกมาติดกับแม่เหล็กข้างๆ เพื่อใช้เชื่อมกับวงจรอื่นๆ โคมบล็อกมีแม่เหล็กสำหรับยึดกับแท่น และจะมีหนังสือคู่มือการใช้ อุปกรณ์หนึ่งเล่ม อุปกรณ์มีทั้งรูป



ภาพที่ 2. แสดงชุดทดลองทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของ Braun Lectron

3. Demonstrator Board เครื่องรับวิทยุแผนก A.V. วิทยาลัยวิชาการ ศึกษาประสานมิตร

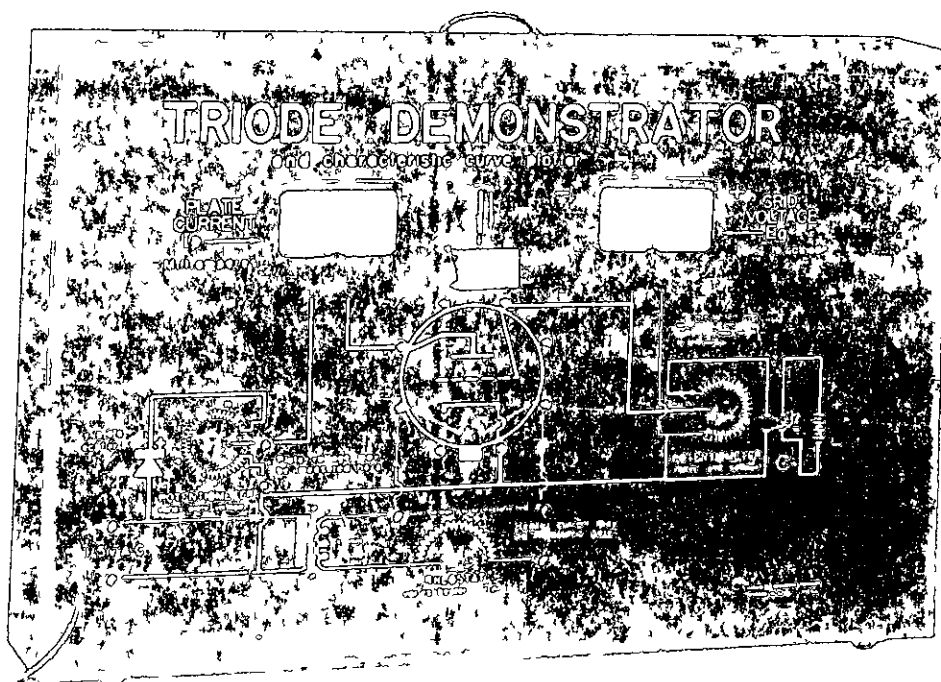
ประกอบด้วยวงจรย่อยของเครื่องรับวิทยุชนิด Superheterodyne
แปดวงจร คือ Tuner, Mixer and Oscillator, IF, Amplifier, Detector and
A.V.C., Audio Voltage Amplifier, and Power Supply. แต่ละวงจรประกอบอยู่
บนแผ่นไม้ซึ่งสามารถถอดออกมาหรือแยกแสดงการทำงานเฉพาะอย่างได้ เช่น
Audio Power Amplifier เมื่อป้อนสัญญาณเข้าและใช้ไฟจาก Power Supply
ก็จะสามารถทำงานได้ สายซึ่งใช้เชื่อมวงจรอยู่ข้างหลังแผ่นนี้ ชุด Demonstrator
นี้ใช้สาธิตให้รายละเอียดเกี่ยวกับภาคต่าง ๆ ของเครื่องรับวิทยุชนิด Superheterodyne
อุปกรณ์มีดังภาพ



ภาพที่ 3. แสดง Demonstrator Board ชุดเครื่องรับวิทยุแผนก A.V.

4. ชุด Demonstrator of Vacuum Tube Characteristics

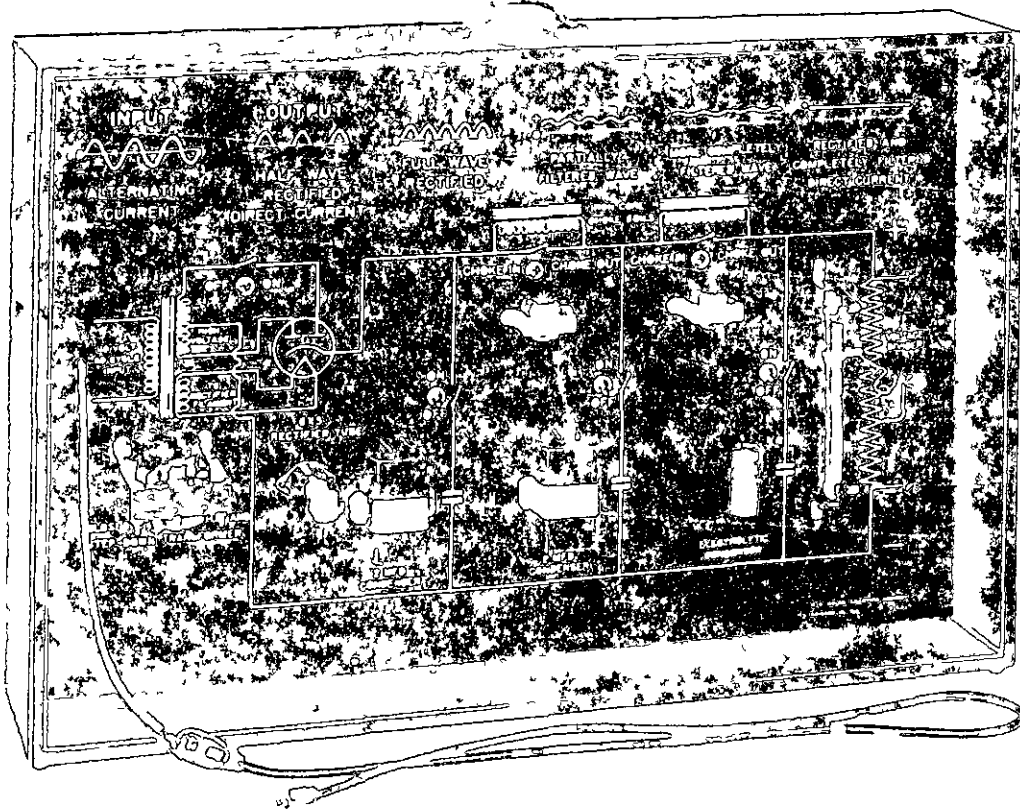
เป็นชุดทดลองสำเร็จของ Welch Scientific Company ออกแบบไว้เพื่อการศึกษาหาค่าลักษณะเกี่ยวกับ Characteristics ของหลอด Triode โดยเฉพาะ ชุดทดลองประกอบด้วยฐานไม้พาสีดำ เขียนวงจรด้วยสีขาว ส่วนประกอบมี หลอด Triode ที่ต้องการ, Power supply, กำลังไฟที่จ่ายไปยัง Plate, Grid, and Heater สามารถเปลี่ยนค่าได้โดยการหมุนปุ่มปรับ Potentiometer อุปกรณ์ที่สำคัญคือ Voltmeter และ Ammeter เพื่อวัด Voltage และกระแสที่ระดับต่าง ๆ กัน ชุดทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในท้องทดลองปฏิบัติการได้ และใช้หาค่า Characteristics ของหลอด triode ได้ทันที โดยการเปลี่ยนค่ากระแสและ Voltage และบันทึกค่าที่ได้ไว้ อุปกรณ์มีดังรูป



ภาพที่ 4. แสดงชุด Demonstrator of Vacuum Tube Characteristics

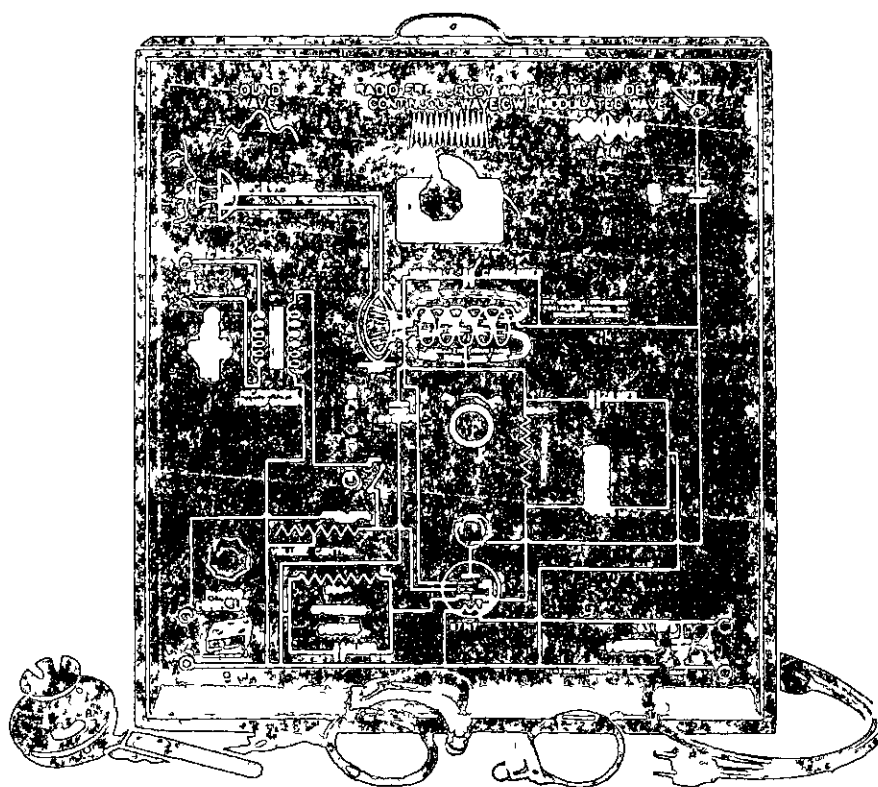
5. ชุด Demonstration Power-Supply

เป็นชุดสำเร็จของ Welch Scientific Company ออกแบบไว้เพื่อ
 ทดลองสาธิตและใช้ทดลองในเรื่อง Power-Supply , Rectifier Circuit
 and Filter Circuit ฐานของชุดทดลองทำด้วยแผ่นไม้ทาสีดำ วงจรเขียน
 ด้วยสีขาว ที่ข้าง ๆ ของวงจรจะมีอุปกรณ์จริงติดไว้ และมีรูปแสดงลักษณะคลื่น
 ที่รูต่าง ๆ Switch ที่ใช้ควบคุมเปิดปิดวงจรมีอยู่หกอัน อันซ้ายมือสุดใช้เปิดปิด
 วงจรแสดง Half-Wave and Full-Wave Circuit อีกห้าอันที่เหลือใช้ใน
 ภาค Filter ซึ่งจะเปิดให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Choke หรือ Condenser
 ทั่ว ๆ าวหนึ่งหรือหลายตัวก็ได้ มี Voltage Divider สำหรับแบ่ง Voltage
 ไปใช้ตามต้องการ เครื่องมือนี้ใช้ควบคู่ไปกับ Oscilloscope อุปกรณ์ดังรูป



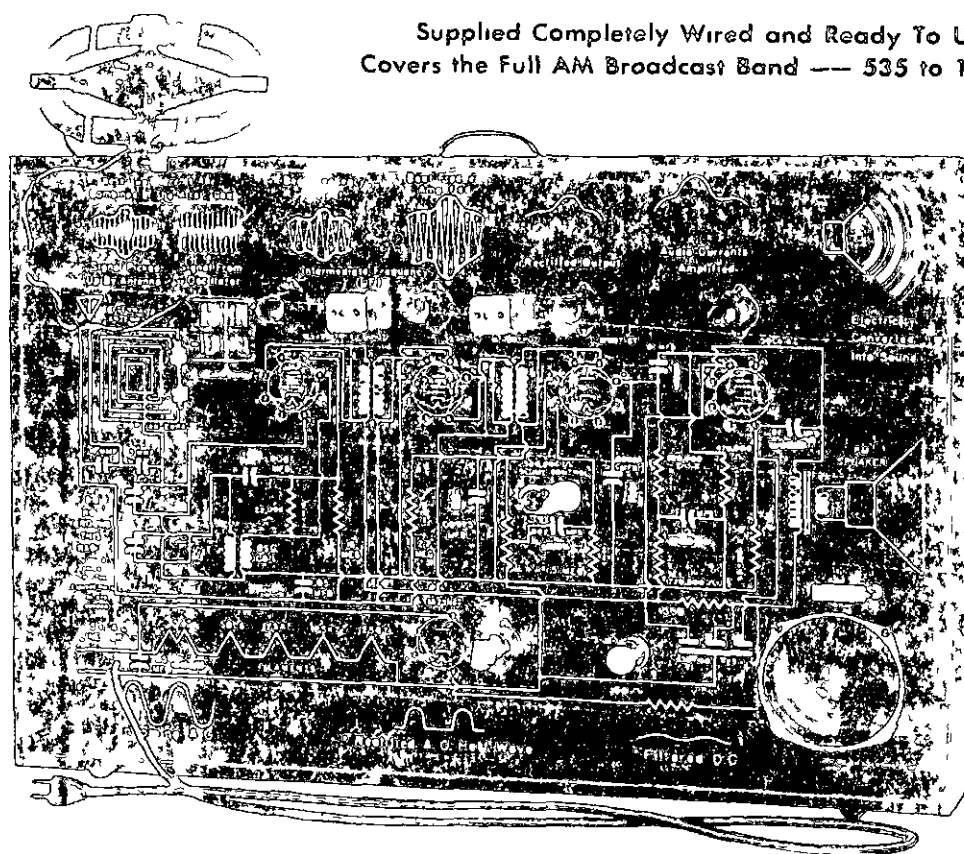
ภาพที่ 5. แสดง Demonstration Power-Supply

6. ชุด Demonstration Radio Transmitter and Receiver ประกอบด้วยชุดทดลองสองชุดแยกจากกัน ชุดแรกเป็นเครื่องส่งวิทยุแบบ A.M. มีกำลังส่งน้อย (Low Power Out-Put) สามารถรับได้ดีในระยะ 50 เมตร เท่านั้น ชุดทดลองนี้แสดงให้เห็นวงจรต่าง ๆ ที่ประกอบกันเข้าเป็นวงจรเครื่องส่ง คือ วงจร Modulated Wave ระหว่าง Sound Wave จาก Microphone และ Radio Frequency Wave จาก Oscillator การผสมคลื่นเป็นแบบ Amplitude Modulation มี Power Supply สำหรับจ่ายกำลังไฟให้แก่ ส่วนประกอบของวงจร อุปกรณ์ที่จะต้องใช้ประกอบคือ Microphone ชุดทดลอง ใช้กับไฟ 110 โวลต์ อุปกรณ์ดังภาพ



ภาพที่ 6. ชุด Demonstration Radio Transmitter

ส่วนเครื่องรับวิทยุนี้ใช้ควบคู่ไปกับเครื่องส่งวิทยุดังกล่าว เครื่องรับนี้ออกแบบโดย
 Whole Scientific Company เช่นกัน ชุด Demonstrator ประกอบด้วยวงจร
 เครื่องรับวิทยุ Superheterodyne ที่สมบูรณ์แบบ สายอากาศทำเป็น Loop
 ดังรูป เครื่องรับนี้สามารถรับได้ทั้งช่วง A.M. Broadcast Band คือ 535 kc ถึง
 1620 kc เครื่องรับจะ sensitive มากเมื่อใช้กับเครื่องส่งดังกล่าวมาแล้ว ชุดนี้
 ใช้กับไฟ 110 โวลต์ ภาพข้างล่างแสดงชุด Demonstrator ดังกล่าว



ภาพที่ 7 แสดง Demonstrator Radio Receiver

หลักการออกแบบและวิธีสร้างชุดทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทางฟิสิกส์ ของวงจรต่าง ๆ การออกแบบวงจรนั้น ๆ ตลอดจนวิธีสร้างชุดทดลองให้สำเร็จผล ดังจะกล่าวเป็นข้อ ๆ ตามลำดับดังนี้

1. รูปแบบของชุดทดลอง

เนื่องจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นเป็นชุดสำเร็จ สามารถใช้สาธิตทดลองในหัวข้อต่าง ๆ ของวิชาอิเล็กทรอนิกส์และวิทยุขั้นพื้นฐานได้ การออกแบบชุดทดลองจึงนับเป็นตอนสำคัญ รูปแบบของชุดทดลองจะต้องมีลักษณะสอดคล้องกับอุปกรณ์ที่ดี คือมีลักษณะที่น่าสนใจ เหมาะสมกับเรื่องที่สอน เป็นการให้ประสบการณ์ตรง ได้เนื้อหามากที่สุดในเวลาอันสั้น ไม่เสียเวลาในการใช้สาธิตทดลอง สามารถใช้แทนการปฏิบัติการในกรณี ไม่มีห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ผลตามลักษณะดังกล่าว ชุดทดลองจะต้องประกอบด้วยวงจรย่อย ๆ แยกออกได้เป็นส่วน ๆ และวงจรย่อย ๆ เหล่านี้สามารถประกอบกันเข้าเป็นวงจรที่ซับซ้อนขึ้นไป เช่น เป็นวงจรเครื่องรับวิทยุ วงจรเครื่องขยาย การเชื่อมโยงวงจรทำได้สะดวก รวดเร็วและสามารถทำงานได้ ถ้าชุดทดลองทำสิ่งเหล่านี้ได้ก็จะเป็นชุดทดลองที่ได้ผลตรงตามจุดหมาย จากแนวความคิดดังกล่าว ผู้เขียนจึงได้จัดสร้างชุดทดลองให้เหมาะสมกับงานขึ้น ชุดทดลองประกอบด้วย Demonstrator Board 2 แผ่น ซึ่งใช้เป็นตัวแสดงการสาธิตและทดลอง พร้อมด้วยโครงสร้างอีกหนึ่งชุด สำหรับเป็นที่รองรับและยึดแผ่นบอร์ดทั้งสอง รายการใหญ่ ๆ บนบอร์ดทั้งสองมีดังนี้

แผ่นที่ 1. เป็น Radio Board ประกอบด้วยชุดวิทยุพัฒนาการเครื่องรับวิทยุแบบต่าง ๆ กันตั้งแต่ Crystal Set จนถึง Superheterodyne เครื่องรับวิทยุแต่ละแบบจะประกอบอยู่บนแผ่นบอร์ดขนาดเล็กอีกทีหนึ่ง สำหรับเครื่องรับชนิด Superheterodyne นั้น ประกอบอยู่บนแผ่นบอร์ดขนาดเล็ก 3 แผ่น คือ แบ่งเป็นภาค Converter, IF Amplifier และ Detector ตามลำดับ ขณะทำงานจะใช้ภาคขยายซึ่งอยู่บนแผ่นบอร์ดอีกแผ่นหนึ่งทำหน้าที่ขยายเสียง

แผ่นที่ 2 เป็น Electronic Board ประกอบด้วยวงจรใหญ่ๆอยู่บน
แผ่นนั้นทวงจรด้วยกันคือ

1. Push - Pull Amplifier
2. Amplifier Basic Circuit 2 Stages
3. Oscillator Circuit

Demonstrator

ontrol

upply

ททดลองทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนมากและบางวงจร
ยอย่าง ลักษณะของชุดทดลองเมื่อสร้างเสร็จแล้วเป็น



ภาพที่ 8 แสดงภาพชุดทดลองที่สร้างขึ้น

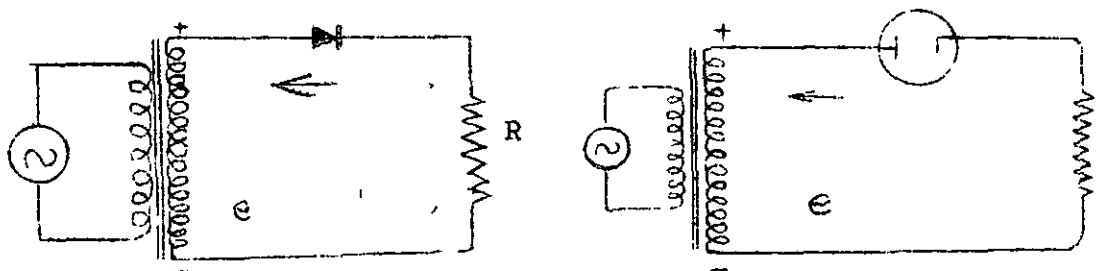
ทฤษฎีทางฟิสิกส์ และหลักเกณฑ์ของวงจรต่าง ๆ

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์หลายอย่าง เช่น ความต้านทาน คอนเดนเซอร์ คอยล์ หลอดสุญญากาศ วัตถุกึ่งตัวนำ เมื่อเอาอุปกรณ์เหล่านี้มาประกอบกันเข้าโดยคำนึงถึงคุณสมบัติของมันจากการศึกษาทฤษฎีทางฟิสิกส์ จะทำให้วงจรสำคัญทางอิเล็กทรอนิกส์ มากมายหลายวงจร ในที่นี้จะกล่าวถึงวงจรพื้นฐานอันจะเป็นหลักเกณฑ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนขึ้นไป

1. Rectifier Circuit

เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) ที่ไม่สม่ำเสมอ โดยอาศัยคุณสมบัติของตัวกลางบางชนิดที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้เพียงทางเดียว ตัวกลางที่มีลักษณะดังกล่าวคือ หลอด Diode สารกึ่งตัวนำ (Semi Conductor) บางชนิดเช่น เซเลเนียม (Selenium), ซิลิกอน (Silicon), เยอรมาเนียม (Germanium), ทองแดงออกไซด์ (Copper-Oxide) เป็นต้น

สารกึ่งตัวนำทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าได้ด้วย คุณสมบัติของสารนั้นเองที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้เพียงทางเดียว ส่วนหลอด Diode ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ด้วยการกำหนดให้ Cathode เป็นขั้วปล่อยอิเล็กตรอน และอิเล็กตรอน (Space Charges) นี้จะเดินทางไปสู่ Plate ซึ่งมีศักย์เป็นบวก ฉะนั้นถ้าเอาตัวกลางเหล่านี้ต่อกันลงในวงจรที่ต้องการกระแสตรง กระแสจะไหลผ่าน Load เพียงทางเดียว ดังรูป



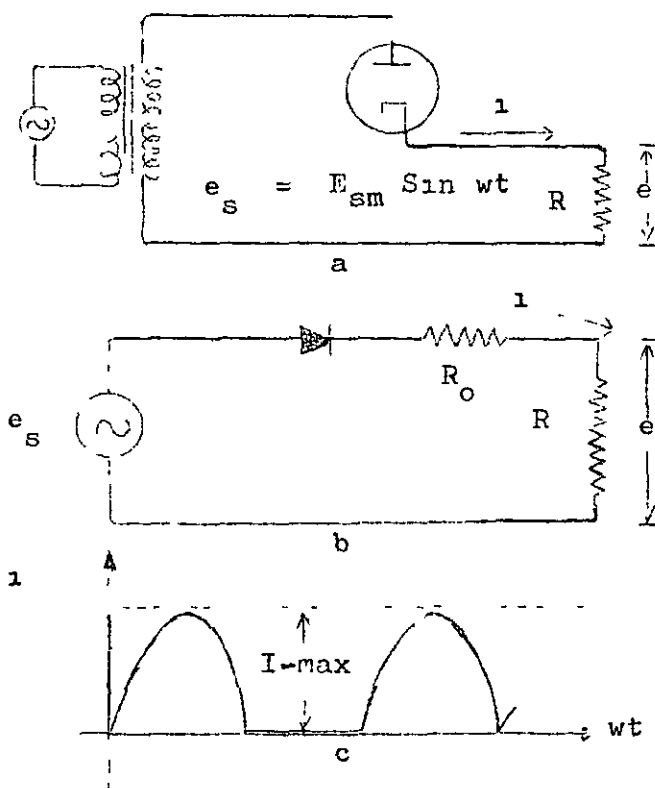
ภาพที่ ๔ แสดงการจัดวงจรให้กระแสไหลผ่าน Load (R) เพียงทางเดียว

ลักษณะการทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ กระแสไฟฟ้าจะสลับขั้วกันที่ขั้วลวดที่สองของหม้อแปลง เมื่อขั้วบนเป็นบวก อิเล็กตรอนจะไหลตามเส้นประ เมื่อขั้วบนเป็นลบ อิเล็กตรอนจะไม่ไหลในวงจร ลักษณะของวงจรตามรูปนี้กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานจะเป็นกระแสชนิด Half - Wave

1.1 ทฤษฎีการทำงานของหลอดโคโคคเมื่อทำหน้าที่เป็น Rectifier

หลอดโคโคค ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้วคือ Plate และ Cathode อิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกจาก Cathode โดยวิธี Thermionic Emission และจะไหลไปสู่ Plate เมื่อ Plate มีศักย์เป็นบวก ดังนั้นถ้าหลอดโคโคคต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายกำลังไฟจะมีกระแสไหลผ่านหลอดก็ต่อเมื่อ Plate เป็นบวกเท่านั้น ถ้าจัดวงจรให้เหมาะสมจะได้รูปคลื่นของกระแสเป็น Half - Wave และ Full - Wave ตามต้องการ

1.1.1 Half-Wave Rectifier Circuit จัดวงจรดังรูป



ภาพ (a) เมื่อ Plate เป็นบวกหลอดจะ Conduct มีกระแสไหลผ่านหลอดและผ่านวงจรความต้านทานภายนอก เมื่อ Plate เป็นลบหลอดจะไม่ Conduct ภาพ (b) เป็นภาพความคิดแสดงให้เห็นว่ากระแสจากแหล่งจ่ายกำลังไฟ A.C. ไหลผ่านหลอดจึงมีความต้านทาน R_o ประจำอยู่ และผ่านความต้านทานภายนอก R

ภาพ (c) เป็นลักษณะคลื่นของกระแสที่ได้จาก Rectifier กระแสที่ได้จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ภาพที่ 10 แสดง Half-Wave Rectifier Circuit และ Waveform ที่ได้

ถ้ากำลังไฟ ที่ให้แก่วงจรคือ $e_s = E_{sm} \sin wt$ และถ้าให้ i เป็นกระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน ภายนอก R แล้วจะได้ว่า

$$\text{กระแส } I_{max} = \frac{E_{sm}}{R + R_o} \quad \text{may also be written as } I_{max} = \frac{E_{sm}}{R(1 + R_o/R)}$$

Voltage Drop across R คือ $e = iR$ จะมีรูปคลื่น (Waveform) เหมือนกระแสไฟฟ้า

$$\text{ค่ากระแสไฟ D.C. เฉลี่ย } I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i d(wt)$$

$$\text{ดังนั้น } I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m \sin wt d(wt) + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} 0 d(wt)$$

ค่ากระแส Root mean-square value (I)

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d(wt)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} I_m^2 \int_0^{2\pi} \sin^2 wt d(wt)} \\ &= \frac{1}{2} I_m = \frac{1}{2} \left(\frac{E_{sm}}{R + R_o} \right) \end{aligned}$$

ส่วน Voltage ที่ Load (R) มีลักษณะต่าง ๆ กันดังนี้

$$\text{The Peak Value } E_m = E_{sm} \frac{R}{R + R_o} = \frac{E_{sm}}{(1 + R_o/R)}$$

$$\text{The average Value } E_{dc} = \frac{E_{sm}}{\pi(1 + R_o/R)}$$

$$\text{The root-mean Square value } E = \frac{E_{sm}}{2(1 + R_o/R)}$$

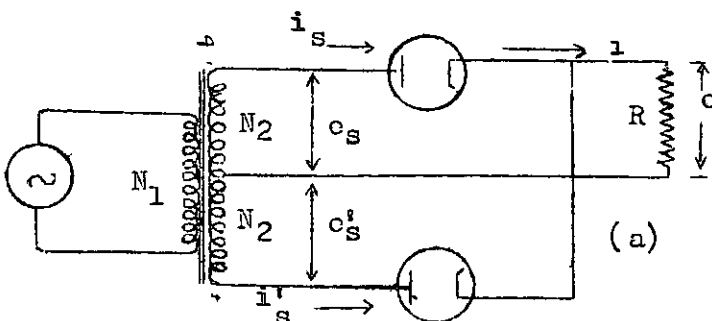
1.1.2 Full Wave Rectifier Circuit

วงจรประกอบด้วย

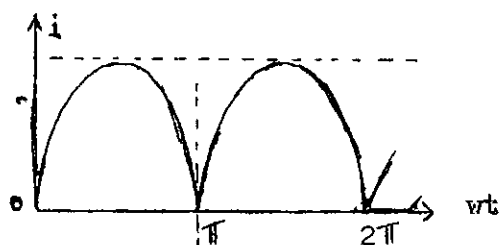
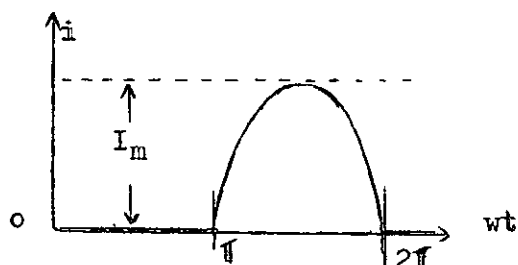
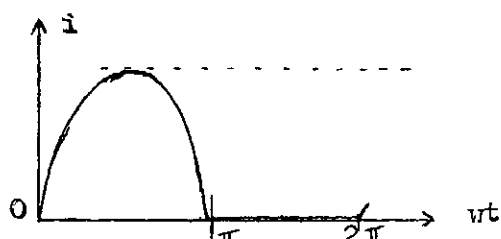
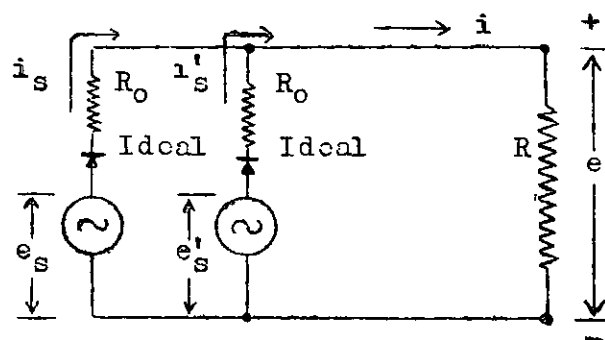
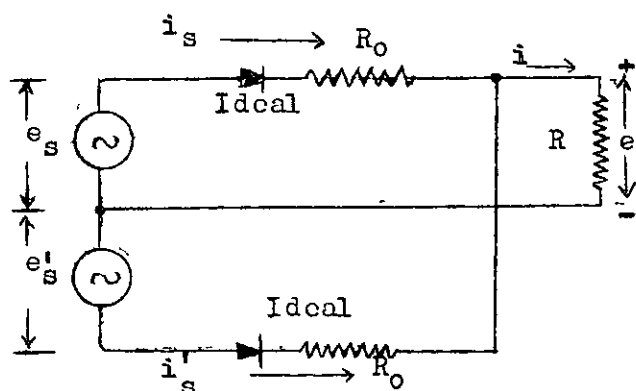
หลอด Diode 2 หลอด หรือหลอด Double Diode 1 หลอด ต่อกับ

A.C. Source - Plate ทั้งคู่ของ Diodes จะสลับกันมี Polarity เป็นบวก

ทำให้มีกระแสไหลผ่าน Load ตลอดเวลา ลักษณะการต่อวงจรและรูปคลื่น มีดังรูป



$$\begin{aligned} e_s &= E_{sm} \sin wt \\ e_s &= E_{sm} \sin(wt + \pi) \\ e_s &= -e'_s \end{aligned}$$



ลักษณะของกระแสและ Voltage ที่ R มีดังนี้

$$I_m = \frac{E_{sm}}{R_o + R} \quad \text{เมื่อ } E_{sm} \text{ คือ}$$

Voltage สูงสุดระหว่างขั้วหนึ่งของ Transformer กับ Center Tap

$$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_m$$

$$E_m = \frac{E}{1 + (R_o/R)}$$

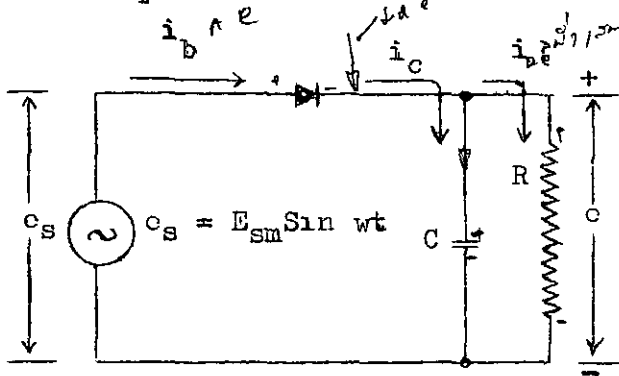
$$E_{dc} = \frac{2}{\pi} \frac{E}{(1 + R_o/R)}$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{E_{sm}}{(1 + R_o/R)}$$

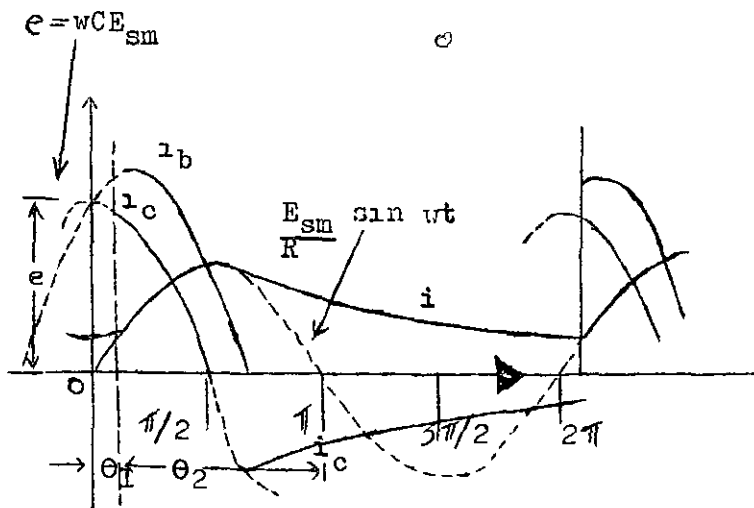
ภาพที่ 11 แสดง Full Wave Rectifier Circuit และรูปคลื่น (Waveform) ที่ได้

เท่าที่กล่าวมาแล้ว เป็นการเปลี่ยนแปลงกระแส A.C. เป็น D.C. ไม่สม่ำเสมอโดยใช้หลอด โคโอด และวัตถุถึงตัวนำเท่านั้น การ Rectify ยังมีวิธีการอื่น ๆ อีกที่แตกต่างกันออกไปแต่ให้ผลเช่นเดียวกัน เช่น โดยการใช้ ไวเบอร์เตอร์ ส่วนการต่อวงจรเพื่อให้ได้กระแสตรงก็มีวิธีต่าง ๆ กัน เช่น ต่อแบบ Tripler, Doubler, Delta, Wyn, Poly Phase, Rectifier circuit. เป็นต้น

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่กรองกระแสไฟตรงไม่สม่ำเสมอ ที่ออกมาจาก Rectifier Circuit ทั้งชนิดครึ่งคลื่น (Half Wave) และชนิดเต็มคลื่น (Full Wave) ก่อนที่จะผ่าน Load ให้เป็นกระแสไฟตรงที่สม่ำเสมอ วงจรประกอบด้วย Condenser และความต้านทาน หรือ Choke ทำงานโดยการที่ คอนเดนเซอร์รับและคายประจุ จากการวิเคราะห์การทำงานของวงจร Rectifier ขณะที่ คอนเดนเซอร์ ประกอบอยู่ในวงจร ก็จะทราบการทำงานของวงจรได้ดังนี้ . . .



ภาพที่ 12(a) แสดง Half Wave rectifier Circuit with a shunt Capacitor for smoothing



ภาพที่ 12(b) แสดง Typical Wave form in the circuit of fig 12(a)

เมื่อ Voltage ของ Source เป็น

$$e_s = E_{sm} \sin \omega t$$

กระแสแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

กระแสที่ผ่าน Condenser

$$i_c = C \frac{de_s}{dt} = wCE_{sm} \cos \omega t$$

$$\text{กระแสที่ผ่าน } R \text{ คือ } i = \frac{E_{sm} \sin \omega t}{R}$$

กระแสที่ผ่านหลอดคือ \$i_b\$

$$i_b = \frac{E_{sm}}{R} \sin \omega t + wCE_{sm} \cos \omega t$$

กระแสทั้ง 3 จะมี Phase ต่างกันดังรูป

\$i_c\$ มี Phase นำหน้า \$i\$ อยู่ \$\frac{\pi}{2}\$

ณ. \$\omega t = \frac{\pi}{2}\$ C จะคายประจุ แต่วงจร Rectifier กันไว้จึง มีประจุเท่าเดิม ต่อเมื่อ \$i_b\$ เป็น 0

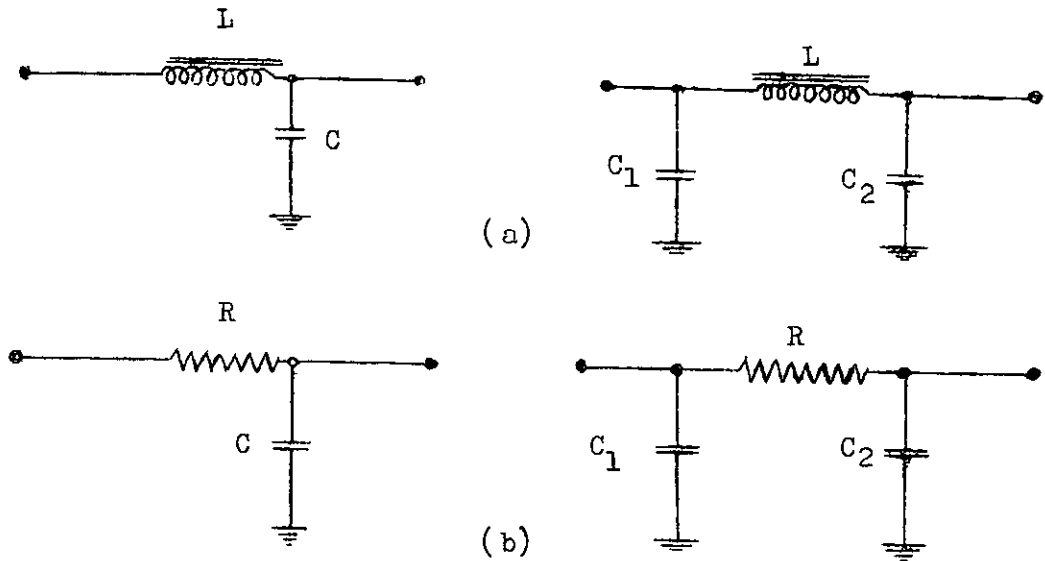
C จึงจะเริ่มคายประจุ ดังภาพ

จะเห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการ

คายประจุจะน้อยลง ดังนั้น Rectifier ชนิด

Full - Wave เมื่อกระแสผ่าน Rectifier Circuit กระแสที่ออกมาจะ
เรียบมากกว่า แบบครึ่งคลื่น (Half Wave)

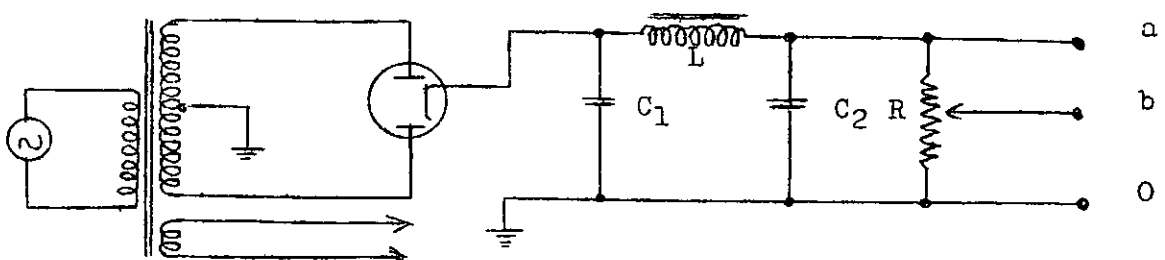
การต่อวงจร Filter นี้จะใช้ L คู่กับ C หรือ R คู่กับ C ดังรูป



ภาพที่ 13 แสดง Filter Circuit เมื่อใช้ Resistor หรือ Choke
คู่กับ Condenser

1.3 Power Supply

เมื่อ Rectifier และ Filter ทำงานร่วมกันวงจรชนิดนี้เรียกว่า
Power Supply เป็นวงจรที่สามารถจ่ายกำลังไฟให้แก่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ
ได้ Power-Supply ที่สมบูรณ์แบบจะต้องประกอบด้วย หม้อแปลง Rectifier,
Filter, Voltage Divider, สำหรับแบ่ง Voltage แก่แต่ละส่วนของวงจร
และบางครั้งก็จะมี Voltage Regulator ด้วย สำหรับวงจรที่ต้องการ Voltage
คงที่ ลักษณะของวงจร Power Supply ดังแสดงในรูป



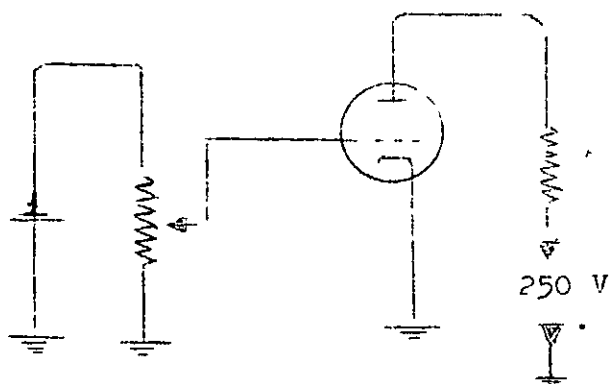
รูปที่ 14 แสดงวงจร Power Supply แบบหนึ่ง

2. Amplifier Circuit

เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่มี Voltage น้อยให้มี Voltage สูงขึ้น โดยลักษณะของสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลง วิธีการในการขยายสัญญาณนั้นอาศัยการทำงานของหลอด Triode เป็นหลัก ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเพียงเล็กน้อยที่วงจรกริด จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมายของสัญญาณที่วงจรเพลต

2.1 วิธีการขยายสัญญาณของหลอด Triode

จากภาพขณะที่สวิตช์ที่กริดเป็น 0 จะมีกระแสไหลผ่านหลอดขนาดหนึ่ง สมมุติแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟ 250 โวลต์ และความต้านทานของ Load เท่ากับ 50 กิโลโอห์ม เริ่มต้น



ภาพที่ 15 แสดงการขยายสัญญาณของหลอด Triode

ให้สวิตช์ที่กริดเป็น -10 โวลต์ ดังนั้นจะมีกระแสไหลผ่านหลอด 5 มิลลิแอมแปร์ โวลต์ที่ตกคร่อม Load เท่ากับ 50 โวลต์ ต่อมาเมื่อสวิตช์ที่กริดเปลี่ยนเป็น -5 โวลต์ แล้วสมมุติกระแสเปลี่ยนเป็น 12 มิลลิแอมแปร์ โวลต์ที่ตกคร่อม Load จะเป็น 120 โวลต์ จะเห็นว่าสวิตช์ที่กริดเปลี่ยนเพียง 5 โวลต์ สวิตช์เพลตจะเปลี่ยนถึง 70 โวลต์ นั่นคือการขยายเกิดขึ้น 14 เท่า .

2.2 The Static Characteristics of Triode

กระแสที่ไหลในวงจรเพลตมีความสัมพันธ์กับ Grid Voltage และ Plate Voltage ตาม The Three Half Power Law คือ

$$I_b = K \left[e_c + \frac{e_b}{\mu} \right]^{3/2}$$

I_b = Plate Current

K = ค่าคงที่ของหลอด (constant)

μ = Amplification Factor

e_b = Plate Voltage

e_c = Grid Voltage

จากสมการข้างบนนั้น ค่าของกระแส Plate เป็น Function ของ
ศักดาที่กริด และศักดาที่เพลต ดังนั้นกริดจะมีอิทธิพลต่อ i_b มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของ
Grid Voltage เพียงเล็กน้อย มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง i_b เป็นอันมาก
จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้ได้ค่า Parameter ของหลอด ไตรโอด สามตัวคือ

1. Amplification Factor (μ)

$$\mu = \frac{\partial e_b}{\partial e_c} \quad \text{เมื่อ } i_b \text{ คงที่}$$

μ คืออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของ Plate Voltage ต่อการเปลี่ยนแปลง
ของ Grid Voltage เมื่อ i_b คงที่ ณ ค่าหนึ่ง ๆ หลอดใดมีค่า μ
สูง แสดงว่า Grid Voltage มีอิทธิพลมาก ปกติหลอด ไตรโอดมีค่า μ น้อย

2. Dynamic Plate Resistance (r_p)

$$r_p = \frac{\partial e_b}{\partial i_b} \quad \text{เมื่อ } e_c \text{ คงที่ และมีหน่วยเป็น โอห์ม}$$

r_p คืออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของ Plate Voltage ต่อ การเปลี่ยนแปลง
ของ Plate Current เมื่อ Grid Voltage คงที่ ณ ค่าหนึ่ง ๆ

3. Mutual Conductance (g_m)

$$g_m = \frac{\partial i_b}{\partial e_c} \quad \text{เมื่อ } e_b \text{ คงที่ มีหน่วยเป็น mho}$$

g_m คืออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของ Plate Current ต่อการเปลี่ยนแปลง
ของ Grid Voltage เมื่อ Plate Voltage คงที่ ณ ค่าหนึ่ง ๆ

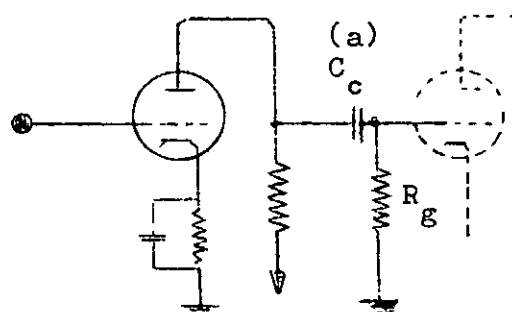
ในวงจรเพลตซ์บวกรวมของแบริเตอร์จะคั่นกับเพลตซ์โดยมีความต้านทานตัวหนึ่งคั่นไว้ สัญญาณซึ่งถูกขยายแล้วนั้นจะออกทางเพลตซ์ซึ่งเป็นวงจรทางออก เรียกว่า Output เพื่อส่งต่อไปให้วงจรภาคหลังที่มีตามมา การที่จะส่งสัญญาณไปตรง ๆ นั้น ไฟสูง B^+ จะเข้าไปเข้ากริดของหลอดต่อไป ทำให้หลอดหยุดทำงาน จึงป้องกันโดยใช้ Condenser C_c คั่นไว้และเรียก C ตัวนี้ว่า Coupling Condenser เพราะไฟสูง B^+ ไม่สามารถข้าม C ได้ แต่สัญญาณซึ่งมีลักษณะเป็น Alternating Current (A.C.) สามารถผ่านได้

2.4 Coupling Between Stages

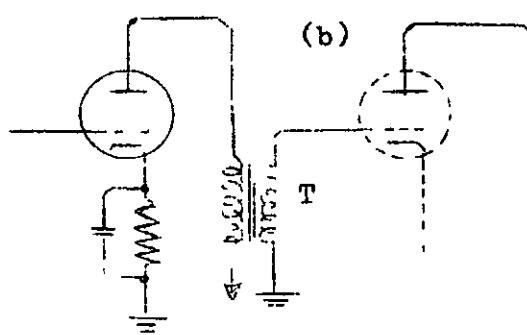
การถ่ายทอดสัญญาณจากวงจรหนึ่งสู่อีกวงจรหนึ่งเรียกว่า Coupling, Coupling ที่รู้จักกันก็มี

1. R-C Coupling
2. Impedance Coupling
3. Transformer Coupling
4. Direct Coupling

แบบ R-C Coupling เป็นที่นิยมกันแพร่หลาย เพราะทำง่าย ราคาถูกคุณภาพดีพอสมควร ส่วน R_L ที่คั่นไว้ระหว่างขั้วบวกของแบริเตอร์กับเพลตซ์ ทำหน้าที่ป้องกันมิให้อิเล็กตรอนที่แผ่นเพลตซ์ของ C_c ไหลมาที่ขั้วบวกของแบริเตอร์หมด ทำให้สามารถถ่ายทอดสัญญาณได้ วิธีการ Coupling ระหว่างวงจรมีดังภาพข้างล่างนี้



ภาพที่ 17 แสดงการ Coupling



แบบ (a) R-C Coupling

(b) Transformer Coupling

2.5 Amplification and Gain

กำลังขยายของหลอดขยายนั้นหาได้จากอัตราส่วนของ $\frac{e_b}{e_c} = \mu$

หรือ $\frac{e_{out}}{e_{in}} = (A)$

และจากการวิเคราะห์วงจรจะได้ว่า $A = - \frac{\mu}{1 + \frac{r_p}{R_L}}$

2.6 การวิเคราะห์การทำงานของหลอดในวงจร

เมื่อเอาหลอดสูญญากาศที่อยู่ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เราสามารถทราบการทำงานของหลอดนั้นได้ โดยการวิเคราะห์การทำงานของหลอดในวงจร ซึ่งอาจแยกทำได้ 2 วิธี คือ

1. Graphical Analysis การวิเคราะห์โดยวิธีกราฟ วิธีนี้ต้องอาศัย Static characteristics หรือ Plate Characteristics ของหลอดที่ใช้ในวงจรนั้น และ Ohm's law ควบคู่กันไป

2. Equivalent Circuit Analysis การวิเคราะห์วงจรโดยการแทนวงจรที่เทียบเท่ากับการทำงานของหลอด ซึ่งแยกทำได้ 2 วิธี คือ

1. แทนหลอดด้วย Potential Source โดยพิจารณาว่าหลอดเป็นแหล่งสำหรับผลิตศักดาจ่ายให้แก่วงจร ขนาดของ Potential ที่หลอดผลิตได้ขึ้นกับ Input Signal และ r_p ของหลอดที่ใช้ในวงจรนั้น

2. แทนหลอดด้วย Current Source โดยพิจารณาว่าหลอดเป็นแหล่งสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าไปในวงจร ขนาดของกระแสที่ได้ขึ้นกับขนาดของ Input Signal และ g_m ของหลอดที่ใช้ในวงจรนั้น

ในการวิเคราะห์วงจรด้วยวิธี Equivalent Circuit นั้นเมื่อแทนหลอดด้วยวงจรเทียบเท่าแล้วก็ใช้ทฤษฎีของ A.C. หาค่าของตัวไม่ทราบค่าโดยใช้กฎต่าง ๆ เช่น Kirchhoff's Law หรือ Thevenin Theory วิธีที่สองนี้ต้องสมมุติว่า characteristics ของหลอดอยู่ในย่าน Linearity คือทำให้ค่า Parameter ทั้ง 3 ตัวมีค่าคงที่ วิธีนี้ทำให้เราเข้าใจการทำงานของหลอดในวงจร ได้ดีมากและสามารถทราบความเป็นไปของสิ่งต่าง ๆ ภายในวงจรโดยตลอด เป็นวิธีที่ใช้กันมาก แต่มีข้อเสียอยู่ที่ว่า ไม่มีทางทำให้ทราบว่าควรจะใช้ Plate Voltage และ Grid Bias เท่าไรจึงจะได้กระแสตามต้องการ

การวิเคราะห์วงจรโดยวิธี Equivalent Circuit

จาก Fundamental Equation ได้ว่า $i_b = f(e_c, e_b)$

โดยใช้ Taylor Series Expansion นั้น จะกระจายสมการนี้ได้ดังนี้

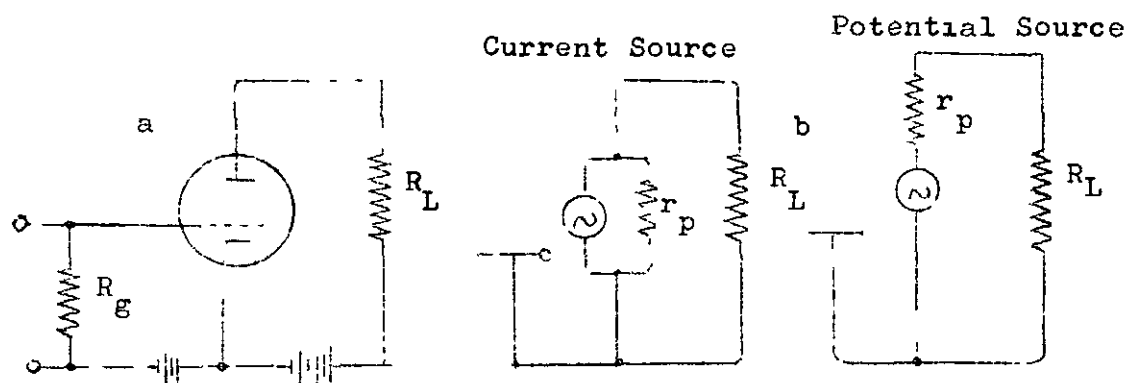
$$i_b = \left(\frac{\partial i_b}{\partial e_b} \right) \Delta e_b + \left(\frac{\partial i_b}{\partial e_c} \right) \Delta e_c + \text{Higher Order Term}$$

$$i_p = \frac{e_p}{r_p} + G_m e_g \dots \dots \dots (1)$$

$$e_p = \frac{i_p}{r_p} + \mu e_g \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{เมื่อ } \left(\frac{\partial e_b}{\partial e_c} \right) = \mu, \quad \left(\frac{\partial i_b}{\partial e_b} \right) = \frac{1}{r_p}, \quad \left(\frac{\partial i_b}{\partial e_c} \right) = G_m$$

ทั้งสองสมการนี้ช่วยให้เห็นว่า อาจใช้วงจรง่าย ๆ แทนหลอดได้ คือ เมื่อใช้สมการ 1 ก็อาจพิจารณาหลอดเป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อใช้สมการ 2 ก็อาจพิจารณาว่าหลอดเป็นแหล่งผลิตศักดาให้แก่วงจร ดังนั้นวงจรที่ใช้แทนทั้งสองกรณีนี้ได้ดังนี้



ภาพที่ 18 (a) แสดง Basic Amplifier Circuit

(b) แสดง Equivalent Circuit ทั้งสองแบบ

จากรูปที่ 18 ถ้าจะวิเคราะห์วงจรเพื่อหา Output Voltage และกำลังขยายก็อาจทำได้ดังนี้

พิจารณาแทนหลอดด้วย Potential Source

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } \sum E &= \sum ir \\ \mu e_g &= i_p R_L + i_p r_p \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$\text{จากรูป } e_o = -i_p R_L \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{จาก (1) } i_p = \frac{\mu e_g}{R_L + r_p}$$

$$\text{แทนค่า } i_p \text{ ใน (2)}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้ } e_o &= \frac{-\mu e_g \cdot R_L}{R_L + r_p} \\ e_o &= \frac{-\mu R_L \cdot e_{in}}{R_L + r_p} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\text{หรือ } \frac{e_o}{e_{in}} = \frac{-\mu R_L}{R_L + r_p}$$

สมการที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e_o กับ e_{in} เมื่อใช้ Potential Source และถ้าใช้ Current Source ก็จะได้ผลเช่นเดียวกัน เราจะสามารถหาค่าดังขยายของวงจรจาก

$$A = \left| \frac{e_o}{e_{in}} \right| = \left| \frac{-\mu R_L}{R_L + r_p} \right| = \left| \frac{-\mu}{1 + r_p/R_L} \right|$$

จากสมการสุดท้าย จะเห็นว่าค่าดังขยาย แปรผันตรงกับค่า R_L เท่านั้น นั่นคือเมื่อค่า R_L เพิ่มขึ้นค่าดังขยายของวงจรจะมากขึ้นและเมื่อเพิ่มค่า R_L ให้สูงสุด คือ $R_L = \infty$

แล้ว A จะเท่ากับ μ

แสดงว่าหลอด Triode ทำการขยายสัญญาณได้สูงสุดเท่ากับค่า μ ของหลอดนั่นเอง

2.7 การแบ่งชนิดของ Amplifier อาจแบ่งได้หลายวิธีคือ

1. แบ่งตามลักษณะการทำงานของหลอด หรือการตั้งค่า Grid Bias
การแบ่งตามวิธีนี้แยกออกได้เป็น

1.1 Class A Amplifier คือ Amplifier ที่มีค่า Grid Bias และค่า A.C. Input Signal ที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้มีกระแสไหลในวงจร อยู่ตลอดเวลาเมื่อ Amplifier นั้นทำงาน

1.2 Class AB Amplifier คือ Amplifier ที่มีค่า Grid Bias และค่า A.C. Input Signal ที่จะทำให้มีกระแสไหลในวงจร Plate มากกว่าครึ่งไซเคิลแต่ไม่ถึง 1 ไซเคิล ขณะที่ Amplifier นั้นทำงาน

1.3 Class B Amplifier คือ Amplifier ที่มีค่า Grid Bias อยู่ต่ำกว่า Cut-Off พอดี ดังนั้นจึงทำให้มีกระแสไหลในวงจร Plate เพียงครึ่งไซเคิล ขณะที่ Amplifier นั้นทำงาน

1.4 Class C amplifier คือ Amplifier ที่มีค่า Grid Bias เป็นลบมากกว่า Cut Off Value จึงทำให้ Amplifier ชนิดนี้มีกระแสไหลน้อยกว่าครึ่งไซเคิล ขณะที่ Amplifier นั้นทำงาน

2. แบ่งตาม Frequency Range ที่ Amplifier ขยายสัญญาณได้
ก็ที่สุด แบ่งเป็น

2.1 Audio Frequency Amplifier (A.F.)

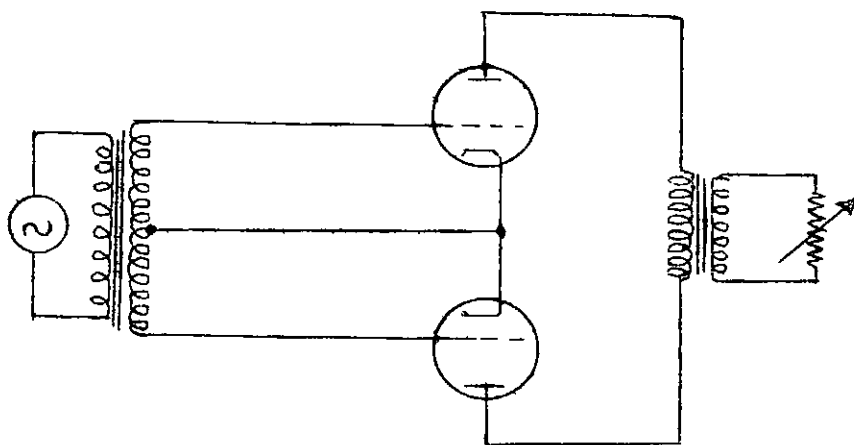
2.2 Radio Frequency Amplifier (R.F.)

2.3 Video Frequency Amplifier (V.H.F.)

2.8 Push - Pull Amplifier

ในวงจรขยายทั่ว ๆ ไป ถ้าต้องการให้ได้ Output Power สูง ๆ วิธีทำ
ให้ได้ผลเช่นนี้ ทำได้โดยการใช้หลอดสองหลอดต่อขนานกัน โดยใช้กริดต่อกกริด
เพลตต่อเพลต ของหลอดทั้งสอง

จะดึงกระแสไฟเท่ากัน เมื่อกระแสเดินผ่าน Output Transformer ทำให้เกิดการ
ชักนำเพิ่มขึ้น ทำให้เสียงไปดังที่ลำโพงแรงยิ่งขึ้น แต่มีข้อยุ่งยากมาก และได้ความ
ดังเพิ่มขึ้นไม่มากจึงไม่นิยมต่อขนานแต่หันมาใช้วงจรแบบ Push Pull ซึ่งจะได้
Output Power มากกว่า Power ของหลอด 2 หลอดนั้นรวมกันและทำให้
Even Harmonic Distortion ลดน้อยลงไปด้วย ผลคืออีกประการหนึ่งของวงจร
Push Pull คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดบนแกนของ Transformer กับ Transformer
Core Saturation ก็จะถูกกำจัดหมดไปด้วย



ภาพที่ 19 Push-Pull Amplifier Circuit

วงจร Push-Pull Amplifier ดังแสดงในรูปที่ 19 ใช้หลอด ไทรโอด แต่ถ้าเป็น
หลอด Tetrode หรือ Beam Pentode ก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอะไร เพียงแต่เพิ่ม
Screen Voltage Supply and Bypass Condenser เท่านั้น สัญญาณที่ป้อนเข้าทาง
กริด - แคโทด ต้องทำให้มีขนาดเท่ากันและ Phase ต่างกัน 180° ตามรูปนั้นเรา
ทำได้โดยใช้ Centertapped Transformer แต่ผลที่ได้ไม่ค่อยดี เพราะมีขีดจำกัด
ของช่วงความถี่ (เพราะในบางความถี่จะไม่มี Response) แก้ไขโดยใช้
Phase-Inverter แบ่งสัญญาณป้อนเข้าที่ กริดของหลอดทั้งสอง Push-Pull Class A, B,
และ C. มีกำลัง (power) และประสิทธิภาพสูงตามลำดับ

ค่า Plate Supply Current ของหลอดทั้งสองเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$i_{b1} = a_0 + a_1 e_{g1} + a_2 e_{g1}^2 + a_3 e_{g1}^3 \dots \dots \dots (1)$$

แต่ $e_{g2} = -e_{g1}$ เพราะมี Phase ต่างกัน 180°

$$i_{b2} = a_0 - a_1 e_{g1} + a_2 e_{g1}^2 - a_3 e_{g1}^3 \dots \dots \dots (2)$$

ค่า Load Current (i_L) อาจเขียนได้ดังนี้

$$i_L = \frac{N_1}{2N_2} (i_{b1} - i_{b2}) \dots \dots \dots (3)$$

ค่า Plate Supply Current ก็คือผลบวกของ Plate Current ทั้งสอง ดังนั้น

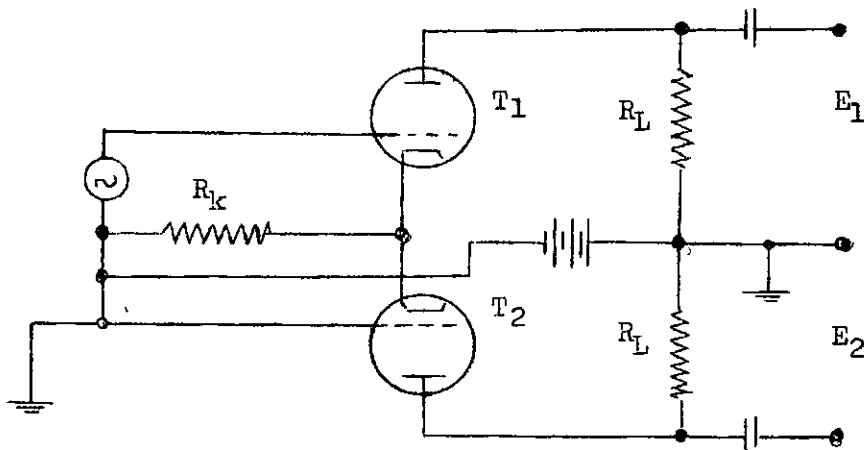
$$i_{\text{supply}} = 2a_0 + 2a_2 e_{g1}^2 + \dots \dots \dots (4)$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่า Even harmonic Distortion ที่เกิดจากหลอดทั้งสองนั้น จะหักล้างกันหมดไปเราจะได้ค่ากำลังสูงสุด (Maximum Power) เมื่อใช้ค่า Load

Resistance (R) = ค่า Plate Resistance (r_p) ดังนั้นค่า Plate-To-Plate

Load Resistance = $2r_p$

เนื่องจากสัญญาณที่จะใส่เข้าไปใน Push-Pull Amplifier นั้นต้องเปลี่ยนจากสัญญาณเดิมออกเป็น 2 ส่วน ให้มี Phase ต่างกัน 180° และมี Amplitude เท่ากัน ทั้งสองสัญญาณ จึงใช้วงจรที่เรียก Phase-Inverter ทำหน้าที่ดังกล่าว ลักษณะของ Phase Inverter มีดังรูปข้างล่างนี้



ภาพที่ 20 แสดง Cathode - Coupled Phase-Inverter

วงจร Phase-Inverter ประกอบด้วยหลอดขยายสองหลอด วงจรที่ใช้เหมือนวงจรขยายธรรมดาโดยเปลี่ยนค่า R และ C ต่างออกไปบ้างเพราะตอนนี้มีความประสงค์จะให้สัญญาณ กลับขั้วกันมากกว่าความประสงค์จะขยายสัญญาณให้แรง เมื่อสัญญาณเข้าทางกริดของหลอดที่ 1 มันจะผ่านไปออกทางเพลตด้วยความแรงยิ่งขึ้น และจะกลับ Phase ตามคุณลักษณะของหลอด Triode นำเอาสัญญาณที่ถูกขยายแล้วมาแบ่งให้เหลือเพียงส่วนน้อยเพื่อนำไปเข้ากริด ของหลอดขยายอีกหลอดหนึ่ง โดยใช้ Resistor เป็นตัวแบ่งสัญญาณให้เหลือเป็นอัตราส่วนที่เมื่อขยายออกมา แล้วมีค่าเท่ากับสัญญาณ ที่ได้รับการขยายจากหลอดที่ 1 สัญญาณที่ออกมาจากหลอดที่ 2 จะกลับขั้วอีกครึ่งหนึ่ง จะได้สัญญาณเป็นสองขั้วมีขนาดเท่ากันตามต้องการ

3. Oscillator Circuit

เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถผลิตสัญญาณ A.C. ตามความถี่ที่ต้องการ ลักษณะของวงจร ประกอบด้วย Tank Circuit ซึ่งใช้เป็นแหล่งผลิตสัญญาณ A.C. โดยการทำงานของ Condenser และ Inductance พร้อมกันนั้นจะมี Amplifier สำหรับป้อนพลังงานเสริมให้แก่วงจร Tank

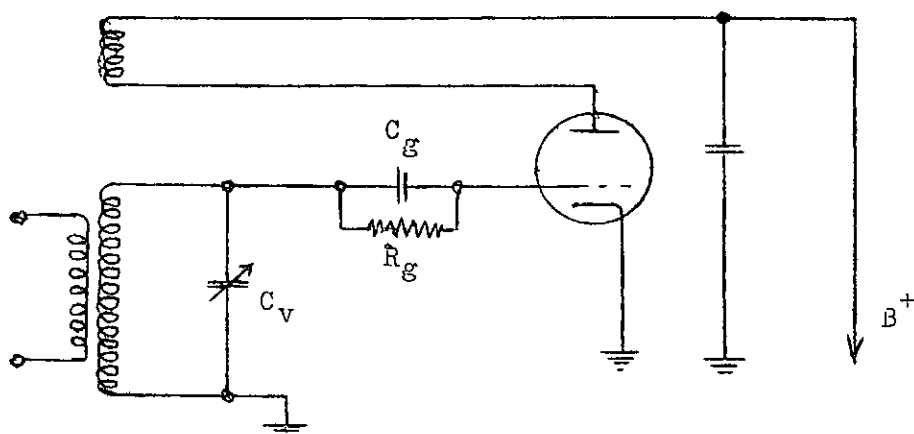
3.1 การเกิด Oscillation ในวงจร Tank

เมื่อนำ Condenser ที่ถูก Charged มาต่ออย่างขนานกับ Inductance กระแสไฟฟ้าจะไหลวนชดลวด ทำให้เกิด Induced e.m.f ในทิศทางต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าตามกฎของเลนซ์ (Lenz 's Law) และเมื่อ Condenser ปลดปล่อยประจุหมด พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานแม่เหล็กรอบ ๆ ชดลวดทันทีที่กระแสเริ่มลดน้อยลงสนาม แม่เหล็กจะเริ่มยุบสลายตัว เส้นแรงแม่เหล็กซึ่งยุบสลายนี้จะตัดชดลวด ทำให้เกิด Induced e.m.f. กรอบชดลวดในทิศทางที่จะหมุนวนเหนี่ยวนำการไหลของกระแสให้มีต่อไป ในทิศทางเดิม ดังนั้นจึงทำการให้ประจุแก่ Condenser อีกครั้งหนึ่งโดย ขั้วกลับกันกับตอนแรก ปกติการไหลของกระแส จะหยุดทันทีเมื่อ Condenser มีประจุเท่ากัน แต่สนามแม่เหล็กซึ่งยุบสลายตัวช่วยให้การไหลของกระแสมีต่อไป อาการกระทำดังนี้ของวงจร Tank เรียกว่า Fly Wheel Effect

ด้วยผลนี้ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับไปกลับมาในวงจร L-C แต่เนื่องจากความต้านทานที่มีอยู่ประจำวงจรทำให้ Amplitude ของการกรอกตัวลดลงเรื่อย ๆ จึงต้องมีการป้อนพลังงานเสริมเพื่อชดเชยพลังงานที่ เสียไป การป้อนพลังงานเสริมจะต้องให้ Inphase กับ Natural Frequency ของการกรอกตัวนั้น ซึ่ง Amplifier ทำหน้าที่ อันนี้โดยการนำเอา L-C Circuit ก่อเข้าที่กริดของหลอดขยาย Oscillating Voltage จะถูกขยายถ้านำเอาส่วนหนึ่งของ Voltage ที่ถูกขยายมาป้อนกลับ (Feed Back) ให้ L-C Circuit โดย Inphase กับ Natural Frequency ของ L-C Circuit แล้วการกรอกตัวก็จะสามารถดำรงอยู่ได้

3.2 Armstrong's Oscillator

การทำงานของ Oscillator ทุกแบบเหมือนกันจะต่างกันตรงวิธีการ Feedback Voltage มายัง L-C Circuit ใน Phase ที่ถูกต้อง ภาพข้างล่าง แสดง Armstrong's Oscillator



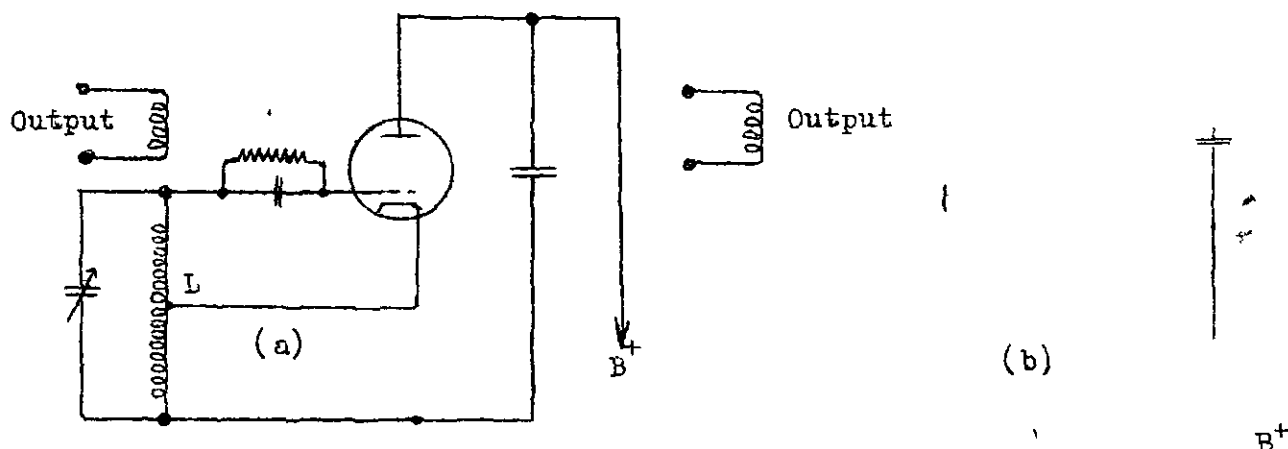
ภาพที่ 21 แสดง Armstrong's Oscillator

Amplifier ที่ใช้มีลักษณะเหมือน RF Amplifier แต่เพิ่ม Coil อันหนึ่ง เรียก Tickler Coil วางขนานกับ Tank Coil เมื่อมีกระแสไหลในวงจรเพลา ผ่าน Tickler Coil จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ Tickler Coil อันจะส่ง ผลให้เกิด Induced emf ใน Coil ของ L-C Circuit แรง เคลื่อนอันนี้ทำให้เกิดการ Oscillate

ขึ้นในวงจร Tank จากนั้นสิ่งที่หอดและ Tackler Coil จะต้องทำก็คือ คอยป้อนพลังงาน
เสริมให้แก่วงจร Tank ในเวลาอันฉับพลัน (Inphase)

ลักษณะของ Amplifier ที่ใช้ เป็น Class C ใช้ Bias โดยวิธี Grid Leak
Bias ถ้า Bias จะอยู่เฉยๆ Cut Off ไปประมาณ 2 เท่า เมื่อกระแสถึงคนใดคนหนึ่ง
ครั้งแรก ที่กริดจะไม่มี Bias อยู่เลย เมื่อกระแสเริ่มไหลในวงจรกริดจะทำให้เกิด Voltage
Drop กระแส R_g และกำลังที่มันทำใหกริดเป็นลบอย่างแรง เพื่อเทียบกับ Cathode
 C_g จะลดลงอีกเล็กน้อยให้เพียงพอแตก Bias ของกริดและให้มันพอตลอดวงจรของ
การกรอกตัว ประจุบนขั้ว C_g มีความแรงเพียง พอแก่การจะต้านดวง (Counter Balance)
ประจุบวกที่แผ่นแรกของ Variable Condenser เฉพาะ เมื่อประจุบวกที่แผ่นแรกของ
ของ C_v เติบโตเข้าใกล้ค่าสูงสุดของมันเท่านั้น กำลังกันของกริดจึงจะค่อยๆ ลดลง Cut Off
และในเวลานี้กำลังการไหลของกระแสจะเริ่มไหล เมื่อการกรอกตัวได้เริ่มขึ้นและกริดเป็นลบ เมื่อ
เทียบกับ Cathode เมื่ออัตรากรอนไปถึงแผ่นแรกของ C_v ภายหลังจากที่ได้เกิดทางจากแผ่น
กลางของขดลวด L มา ณ เวลาที่ประจุบนขั้วกริด C_g มีกำลังแรงเพียง พอแก่การจะต้าน
ดวงประจุบวกอันน้อยกว่าที่แผ่นบนของ C_v จึงไม่มีกระแสไหลใด หลังจากแผ่นบนของ
 C_v เป็นลบสูงสุดแล้วอัตรากรอนจะกลับไหลกลับไปยังแผ่นล่าง และแผ่นบนเริ่มเป็นบวก
มากขึ้น แต่ R_g ครอบป้องกันไม่ใหกริดเป็นบวก C_g จึงยังต้านหน่วงกำลังกันบวกที่แผ่นบน
ของ C_v ตามเดิม แต่ที่จุด C_v จะเป็นบวกเวลาที่กริดจะหยุด Cut-off ในช่วง
เวลานี้ i_b จะเริ่มไหลในเวลาที่สั้นลง เห็นว่ากำลังกันอันขึ้นขึ้นในวงจร L-C
ขดลวด L_t กับ L ต้องมีอยู่ในทิศทางเดียวกันเพื่อจะทำให้เกิด Flux อยู่ในทิศทางที่จะ
ช่วยการไหลของอัตรากรอนในวงจร L-C นั้น ในช่วงเวลาอันสั้นที่แผ่นบนของ C_v เป็นบวก
อย่างแรง กระแสไหลกริดจะเริ่มกลับและหากการประจุให้ขั้วกริดไว้สูง ชดเชยประจุที่ไหล
ไปแล้ว พื้นที่หน้าตัดหลังจากเป็นบวกสูงสุดแล้วอัตรากรอนจะจึงทำให้ความหนาแน่นของ
บน กราวที่ประจุบวกที่ C_g จะมีขนาดเล็กพอแก่การหยุดกระแสแต่เพียงเล็กน้อย แล้วกลับ
เริ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง การกรอกตัวจึงสามารถอยู่ได้

วงจร Oscillator นี้มีผู้สร้างไว้เป็นแบบต่าง ๆ กันนอกจากของ Armstrong แล้วก็มี Hartley Oscillator, Colpitts Oscillator, Tuned Plate Tuned Grid Oscillator, The Crystal Controlled Oscillator, The Electron Coupled Oscillator.



ภาพที่ 22 แสดง (a) Hartley Oscillator, (b) Colpitts Oscillator.

4. The Modulation

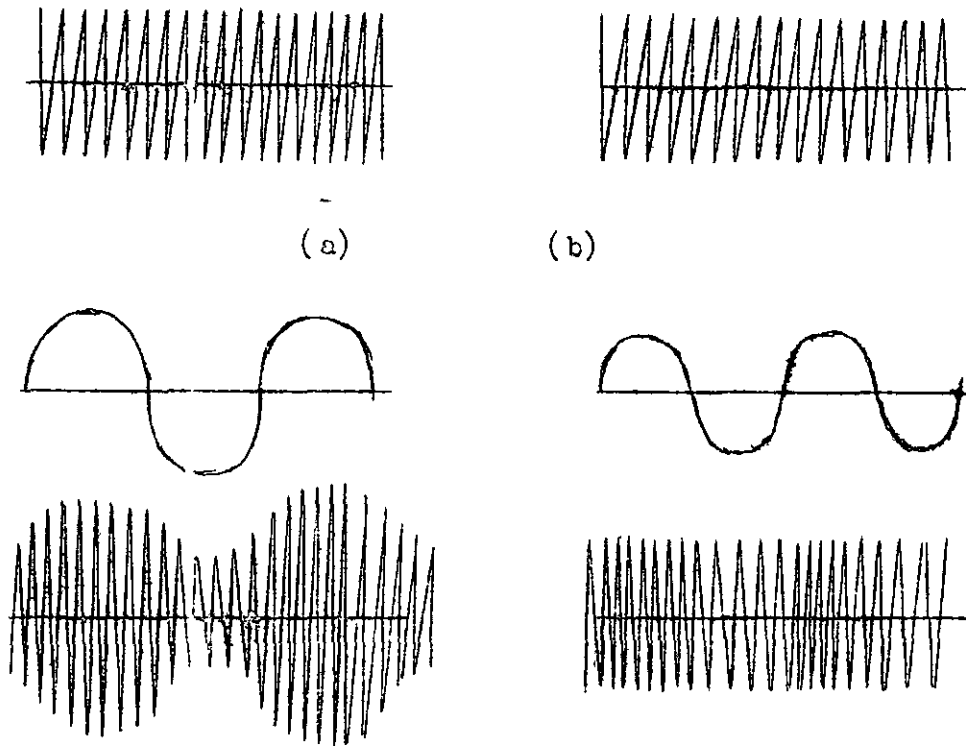
การผสมคลื่น คือ การเอาคลื่นพาและคลื่นเสียงมาผสมกัน โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Modulator เนื่องจากในการส่งสัญญาณทางวิทยุ นั้นคลื่นเสียงจะถูกเปลี่ยนเป็น Electrical Sound Wave แต่คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางแพร่ไปในอากาศได้ไกล จึงมีวิธีการ ที่จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่สูงมาทำหน้าที่แทน โดยการทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีลักษณะบางอย่างคล้ายสัญญาณ ที่ต้องการส่ง ซึ่งเครื่องรับสามารถแปลงออกมาเป็นสัญญาณที่ต้องการส่งได้ การทำเช่นนี้ใช้ วิธีผสมคลื่น ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ

4.1 Amplitude Modulation (AM)

คือการผสมคลื่นให้ได้คลื่นวิทยุ โดยทำให้ amplitude ของคลื่นเสียงไป Regulate Amplitude ของคลื่นพาทำให้ Electrical Radio Wave มี Amplitude เหมือนคลื่นเสียง (E.S.W.) แต่มี Frequency เหมือนคลื่นพา

4 2 Frequency Modulation

คือการผสมคลื่นเสียงกับคลื่นพา โดยการทำให้ Frequency ของ E.S.W. ไป Regulate Frequency ของคลื่นพา คลื่นวิทยุที่เกิดจะมี Amplitude เท่ากับ Carrier Wave แต่มี Frequency เท่ากับ $f_c \pm f_s$



ภาพที่ 23 แสดงการผสมคลื่นแบบ (a) A.M. และ (b) F.M.

5. วิวัฒนาการของเครื่องรับวิทยุที่สำคัญ

เครื่องรับวิทยุมีหน้าที่รับคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากสถานี และนำคลื่นวิทยุนั้นมา เปลี่ยนเป็นคลื่นอากาศส่งออกลำโพงได้ เฉพาะที่จะกล่าวถึงนี้ เป็นเครื่องรับวิทยุแบบ A.M. ทั้งสิ้น ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องรับวิทยุ มี

1. ระบบสายอากาศ - สายดิน ทำหน้าที่รับคลื่นที่ส่งมาจากสถานี

2. ระบบจูนเนอร์ Tuner ทำหน้าที่เลือกเอาคลื่นใดคลื่นหนึ่งจากหลายสถานี
 3. ระบบดีเทคเตอร์ Detector ทำหน้าที่แยกคลื่นเสียงออกจากคลื่นพา และตัดเอาแต่คลื่นเสียงส่วนบนเพื่อส่งไปยังภาคที่อยู่ข้างหลัง
 4. ภาคขยายเสียง ทำหน้าที่ขยายเสียง (ส่วนบน) ซึ่งยังเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ให้มีกำลังสูงแล้วส่งต่อมายังลำโพง
 5. ลำโพง ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นไฟฟ้า (E.S.W.) ให้เป็นคลื่นเสียง
- เครื่องรับวิทยุที่มนุษย์คิดขึ้นนั้น เริ่มจากระบบที่ง่าย ๆ ต่อมาก็ปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่องให้เป็นเครื่องรับที่มีระบบซับซ้อนดังที่เห็นกันอยู่ในปัจจุบัน เครื่องรับที่สำคัญซึ่งควรจะกล่าวถึงคือ

5.1 เครื่องแร่ (Crystal Set)

วิทยุเครื่องแร่นั้นเป็นเครื่องรับชนิดแรกที่มนุษย์คิดได้ ส่วนประกอบมีดังนี้

5.1.1 สายอากาศ – สายดิน

เป็นลวดทองแดงยาวพอสมควรซึ่งไว้ในที่สูง และมีลวดเส้นหนึ่งต่อเข้ากับเครื่องรับเรียกว่าสายอากาศ จากเครื่องรับมีสายต่อลงดินเรียกว่าสายดิน

5.1.2 วงจรจูนเนอร์ (Tuner)

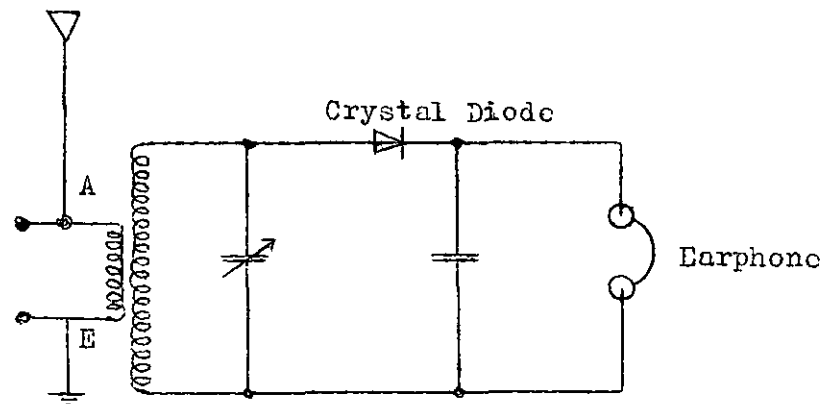
ประกอบด้วยคอยล์และวาริอะเบิล คอนเดนเซอร์ ต่อขนานกัน

5.1.3 แร่ (Crystal)

อาจเป็นแร่ที่ได้จากธรรมชาติมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น กาลีน่า (Galena) หรือกาโบรันดัม (Caborundum) บางชนิดเป็นแร่ที่ประดิษฐ์ขึ้นตามหลักวิทยาศาสตร์ เช่น แร่เยอรมาเนียม (Germanium) ทำเป็นเยอรมาเนียมไดโอด (Germanium Diode)

5.1.4 หูฟัง (Ear-Phone)

อาจเป็นชนิดที่มีหูฟังข้างเดียวหรือสองข้างก็ได้ นำมาประกอบกันดังวงจรข้างล่างนี้



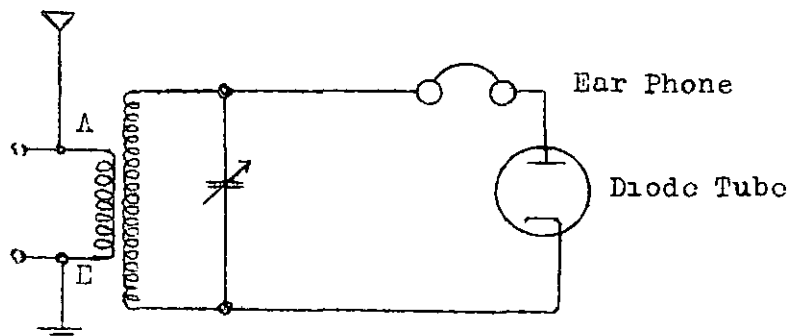
ภาพที่ 24 แสดงเครื่องรับวิทยุ เครื่องแร่ และสัญลักษณ์

การทำงาน

ระบบสายอากาศ สายดินรับคลื่นวิทยุจากสถานีต่าง ๆ วงจร Tuner จะเลือกคลื่นขนาดหนึ่งแล้วส่งไปยังระบบ Detector ซึ่งเป็น Germanium Diode ก้อนเล็ก ๆ เยอะมาเนี่ยมจะหักคลื่นให้เหลือแค่ส่วนบน แล้วส่งไปหูฟัง หูฟังจะเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นอากาศส่งไปหูฟัง หูฟังจะทำงานขนาดเสียงกระซิบพอฟังได้ยิน

5.2 Fleming Valve Set

เฟลมมิง นำเอาผลงานของ เอ็ดิสันมาปรับปรุง และพบว่าหลอด Diode สามารถ เปลี่ยนกระแสสลับ (AC) เป็นกระแสตรงได้และมีคุณสมบัติคล้ายแร่ เขาจึงนำเอาหลอด Diode มาทำหน้าที่แทนแร่ในเครื่องรับวิทยุ ของเขาส่วนวงจรอื่น ๆ เหมือนกับเครื่องแร่ทุกประการ ดังรูป การทำงานของวงจรก็ทำนองเดียวกัน เพียงแต่ใช้หลอด Diode เป็นตัว Detector เท่านั้น



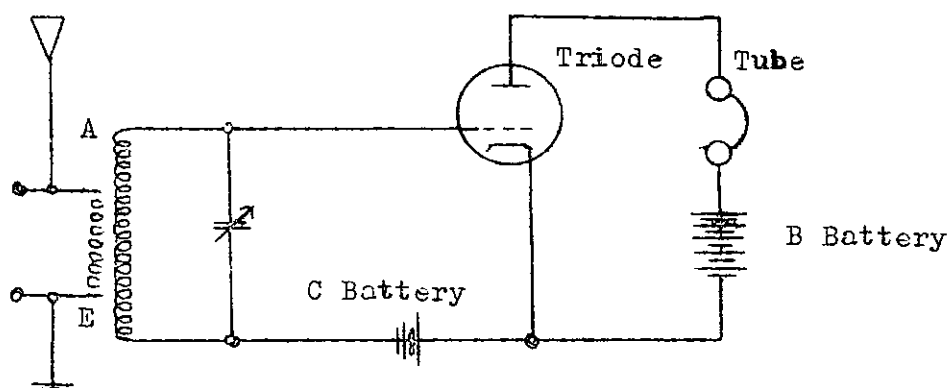
ภาพที่ 25 แสดงเครื่องรับวิทยุของ Fleming

5.3 Dee Forest Set or Triode Set

เครื่องรับวิทยุของ Dee Forest นั้นเขาได้นำเอาหลอด Triode ที่เขาถักขึ้นใส่แทนหลอด Diode ของเฟลมมิ่ง โดยเอากริดของหลอดต่อเข้ากับระบบ Tuner ของเครื่องรับที่วงจร Plate จะมีหูฟังและ Battery ต่อไว้

วิธีการทำงาน

ขณะที่หลอดเริ่มทำงานจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดอยู่ แล้วขนาดหนึ่งเมื่อมีสัญญาณ วิทยุจากสถานีส่งมาที่กริด Voltage ของสัญญาณจะมารบกวนการไหลของกระแสในวงจร Plate กระแสไฟตรงจะกระเพื่อมตามจังหวะของสัญญาณแต่มีขนาดใหญ่กว่านั่นคือ สัญญาณจะถูกขยายด้วย เมื่อกระแสนี้ผ่านหูฟังหรือลำโพงก็จะทำให้ ลำโพงกระเพื่อมตามจังหวะเดียวกัน สามารถได้ยินเสียงได้



ภาพที่ 26 แสดงเครื่องรับวิทยุของ Dee Forest

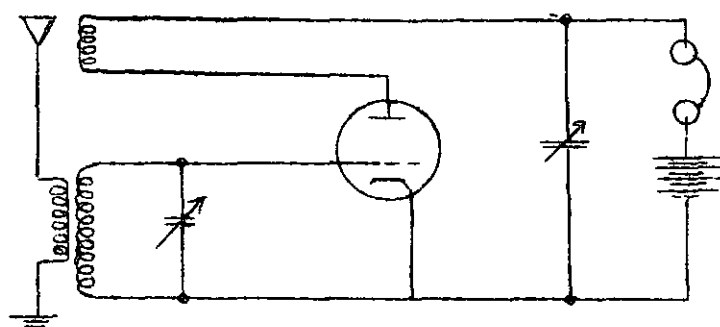
5.4 Regenerative Set

ลักษณะวงจรเหมือน Dee Forest Set แต่ที่วงจรเพลตจะมีขดลวดอีกชุดหนึ่งวางขนานกับขดลวดของวงจร Tuner เป็นผลงานความคิดของ E.H. Armstrong และแทน Battery C ด้วย Fix Condensor และ Grid Leak Resistor ซึ่งทำหน้าที่ได้ทั้งเพิ่ม Battery C แต่สะดวกกว่า

การทำงาน

กระแสที่ไหลในวงจรเพลตเป็นกระแสไฟตรงที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อวิ่งผ่านขดลวดอันใหม่

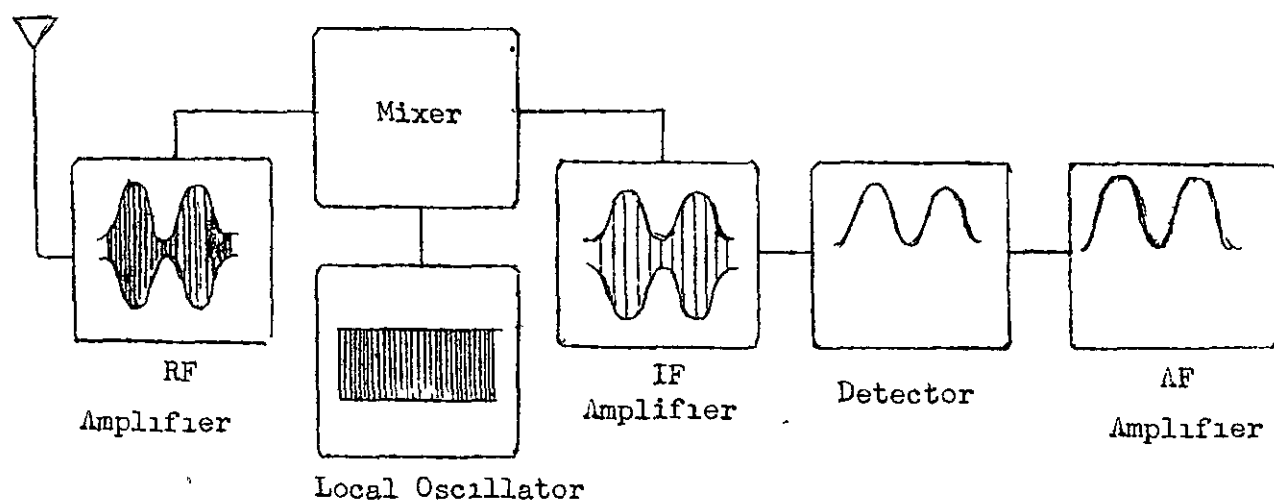
จะทำให้การชักนำให้เกิดกระแสขึ้นใน Secondary Coil ของ L_2 ซึ่งทำให้กระแสใน Tuner มีกำลังมากขึ้นเป็นเหตุให้กระแสออกทางหูฟังมากทำให้ เครื่องรับมีประสิทธิภาพในการรับดีขึ้น เครื่องรับแบบนี้ได้ชื่อว่า Regenerative เพราะมันเอากระแสที่ออกจากเพลตมาทำให้เกิดประโยชน์อีก แต่เครื่องรับแบบนี้ยังมีข้อบกพร่องเพราะเกิดการ Oscillate ทำให้เกิดเสียงหวีดวอกทางลำโพง การแก้ไขอาจทำได้หลายวิธีแต่วิธีง่าย ๆ ก็คือ เพิ่ม Variable Condenser ลงในวงจรเพลต ลักษณะของวงจรมีดังรูป



ภาพที่ 27 แสดงเครื่องรับแบบ Regenerative

5.5 เครื่องรับชนิด Superheterodyne

เป็นเครื่องรับที่ได้แก้ไขข้อบกพร่องของเครื่องรับวิทยุเบื้องต้นที่กล่าวมาแล้ว และมีส่วนประกอบดังแสดงด้วย Block Diagram ดังนี้



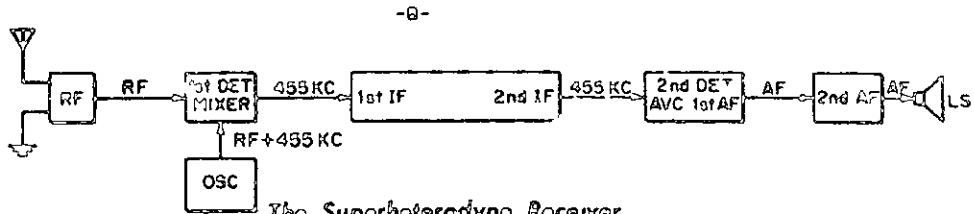
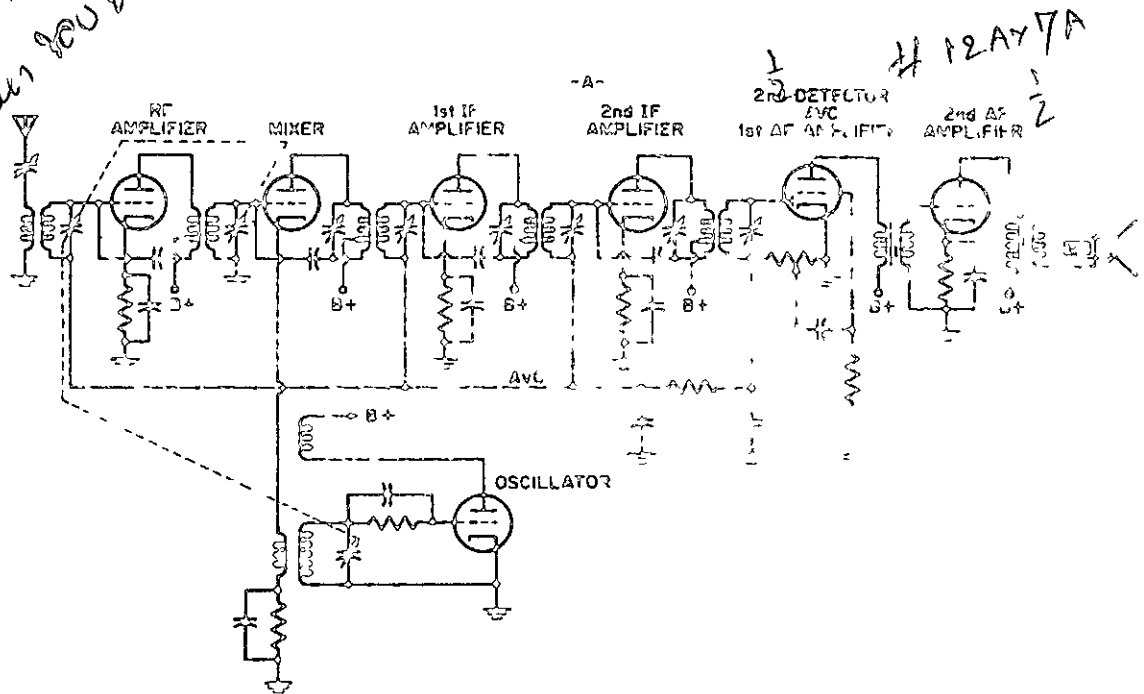
ภาพที่ 28 แสดง Block Diagram ของเครื่องรับวิทยุชนิด Superheterodyne

เครื่องรับวิทยุแบบง่าย ๆ เท่าที่กล่าวมาแล้วประสิทธิภาพในการรับไม่ไว (Sensitive) ทั้งนี้ เพราะกลั่นวิทยุที่ระบบ Tuner ป้อนให้กับ Detector มีกำลังอ่อนมากจนบางกริ่งหลอด Detector ไม่สามารถทำงานได้ เครื่องรับก็จะรับไม่ได้ วิธีแก้คือ ก่อนที่จะป้อนคลื่นวิทยุ ให้แก่ Detector ต้องขยายคลื่นนั้นให้มีกำลังแรงพอที่หลอด Detector จะสามารถทำงานได้ ภาคที่มาขยายเรียก Radio Frequency Amplifier (RF) การใส่ภาค RF ลงไปมีผลอีกประการหนึ่ง คือ ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกคลื่น (Selectivity) ของเครื่องรับดีขึ้นด้วย เครื่องรับชนิดนี้มีภาค RF เพิ่มขึ้นมามากกว่าส่วนประกอบอื่น ๆ เหมือนเครื่องรับชนิด Regenerative แต่เนื่องจากเครื่องรับแบบ TRF มีข้อเสียคือในทางปฏิบัติไม่สามารถ Design ง่าย ๆ ให้สามารถทำงานได้ก็ตามหลักการได้ เครื่องรับแบบ TRF ต้องขยายสัญญาณในช่วงที่กว้างมาก การที่จะให้เครื่องรับขยายสัญญาณได้ดีทุกย่านความถี่นั้นทำได้ยากมาก เครื่องรับจะขยายสัญญาณได้ดีในช่วงความถี่จำกัดค่าหนึ่งเท่านั้นจากเหตุผลข้อนี้ จึงหันมาใช้เครื่องรับแบบ Superheterodyne ซึ่งจะขยายสัญญาณในช่วงความถี่ปานกลาง เท่านั้น มีวงจรที่เพิ่มขึ้นจากวงจรเครื่องรับแบบ TRF คือระบบ Mixer, Local Oscillator และ IF Amplifier

วิธีการทำงาน

เมื่อวงจร Tuner รับคลื่นมาแล้ว ต้องเปลี่ยนคลื่นที่รับมานั้นให้มีความถี่ต่ำลงมาที่ค่าจำเพาะค่าหนึ่งก่อน การเปลี่ยนความถี่นั้นใช้วิธีผสมคลื่นขึ้นมา หักลบโดยวงจรจะสร้างคลื่นวิทยุขึ้นมาหักลบ ให้เหลือคลื่นค่าจำเพาะนั้น คลื่นที่ได้จากการหักลบนี้เรียกว่า คลื่น IF (Intermediate Frequency) ปกติคลื่น IF ในเครื่องรับวิทยุ Superhet โดยทั่วไปเท่ากับ 455.5 Kc การสร้างคลื่นขึ้นมาหักลบนี้เป็นไปโดยอัตโนมัติ คือ ไม่ว่าคลื่นที่รับเข้ามามีความถี่เท่าใด Oscillator จะสร้างคลื่นหักลบแล้วเหลือ 455.5 Kc ทั้งสิ้น คลื่น IF ดังกล่าวจะถูกส่งไปยังระบบขยาย IF เมื่อขยายแล้วจะถูกส่งต่อไปเข้าระบบ Detector และระบบ AF Amplifier จนออกสู่โพงตามลำดับ คังวงจรของเครื่องรับชนิดนี้

รับฟังวิทยุ
Number ของหลอดหลอด



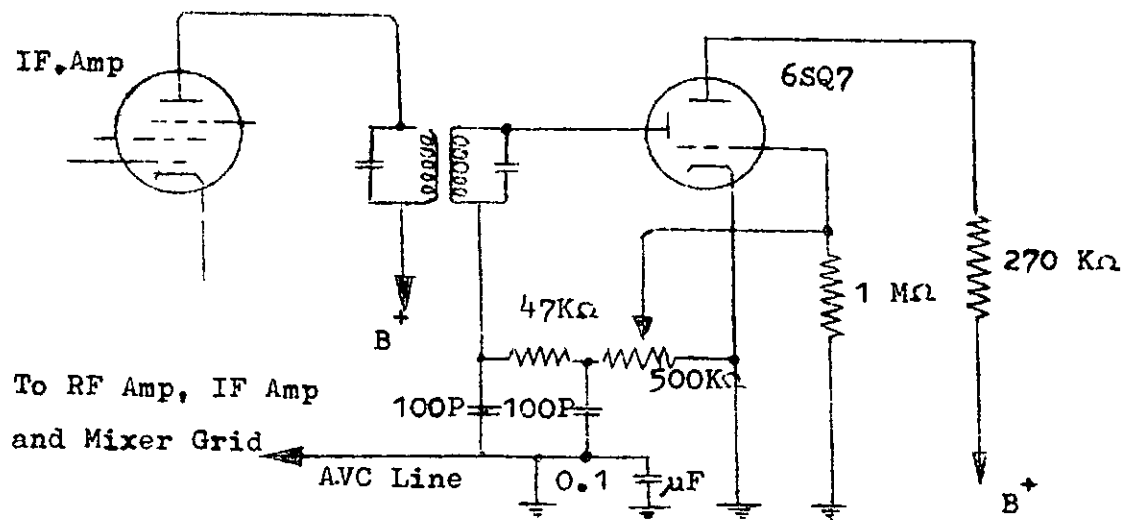
ภาพที่ 29 A-Circuit, the complete superheterodyne receiver.
B-Block diagram showing arrangement of the component parts

6. วงจรที่สำคัญบางวงจร

6.1 Automatic Volume Control

คือระบบในเครื่องรับที่สามารถควบคุมความดังของเสียงที่ออกมาจากลำโพง ให้มีระดับปานกลางเสมอ ตลอดเวลา ไม่ว่าจะมีสัญญาณแรงหรืออ่อนมาปรากฏที่สายอากาศ ระบบนี้จะทำการทำงานได้โดยการกำหนดค่าการวัดของหลอดให้สอดคล้องกับขนาดของสัญญาณ กล่าวคือ ถ้ามีสัญญาณแรงเข้ามา ระบบนี้ทำให้หลอด RF มีค่าไบอัสเพิ่มขึ้น เป็นการทำให้ระบบ

ลดลง แต่ถ้ามี Weak Signal มาปรากฏที่สายอากาศระบบนี้ทำหน้าที่ลดค่า Bias ของหลอด RF ลงทำให้ระบบ RF มีกำลังขยายเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงทำให้สัญญาณที่ออกจากลำโพงมีความดังเท่า ๆ กัน เพื่อให้ระบบนี้ทำงานโดยอัตโนมัติ จึงใช้วิธี Tap-Off สัญญาณจากวงจร Detector และให้สัญญาณนี้ไปผ่าน Filter System เสียก่อนเพื่อทำให้เป็นกระแสตรงที่สม่ำเสมอแล้วส่งไปตาม A.V.C. Line เพื่อไปควบคุมค่า Bias ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้ว ดังตัวอย่างวงจร A.V.C.



ภาพที่ 30 แสดงวงจร A.V.C. (Automatic Volume Control)

6.2 Tone Control

คือระบบในเครื่องรับที่สามารถควบคุมเสียงทุ้มแหลมที่ดังออกมา จากลำโพงได้ ในการควบคุมนั้นใช้วิธีทำให้เกิดเป็นเสียงทุ้มเทียมหรือ แหลมเทียม โดยการ Bypass สัญญาณความถี่สูงหรือต่ำตามลำดับ

เสียงทุ้มเทียม (False Bass) คือเสียงที่ดังออกมาจากลำโพง เนื่องจากการ Remove or Bypass High Frequency ไม่ให้ผ่านลำโพง

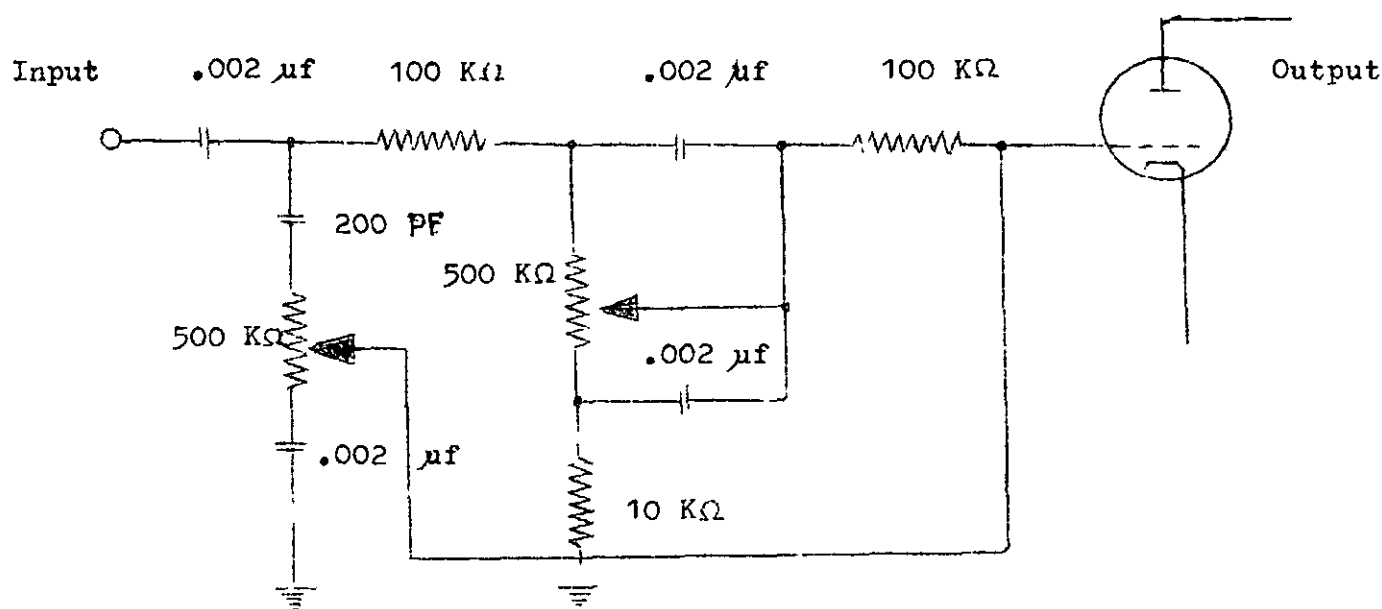
2. เสียงแหลมเทียม (False Treble) เกิดขึ้นได้โดยการ
Remove low Frequency ไม่ให้ผ่านลำโพง

เครื่องมือที่ใช้ Bypass

1. Bypass High Frequency ใช้ Capacitor

2. Bypass Low Frequency ใช้ Coil หรือ Choke

การจัดวงจรข้างล่างนี้เป็นตัวอย่างหนึ่งของ Tone Control Circuit



ภาพที่ 31 แสดง Tone Control Circuit แบบหนึ่ง

การออกแบบชุดทดลอง

ในตอนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดทดลองโดยละเอียด ชุดทดลองทั้งหมดประกอบอยู่บนแผ่นบอร์ดขนาด 1.20×1.05 ตารางเมตร 2 แผ่นซึ่งจะต้องบรรจุเรื่องต่าง ๆ ให้ครอบคลุมความรู้พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น จึงได้รวมการทดลองเป็นพวก ๆ และแบ่งชุดทดลองออกเป็น 7 ชุด ย่อย ๆ คือ

1. ชุดเครื่องรับวิทยุ ประกอบด้วยเครื่องรับชนิดต่าง ๆ คือ

- 1.1 Crystal Set and Diode Set
- 1.2 Triode Set
- 1.3 Regenerative Set
- 1.4 The Superheterodyne Receiver

2. ชุด Push-Pull Amplifier ประกอบด้วย

- 2.1 Preamplifier
- 2.2 Phase-Inverter
- 2.3 Push-Pull Amplifier

3. ชุด The Power Supply ประกอบด้วย

- 3.1 Rectifier Circuit ชนิดต่าง ๆ
- 3.2. Filter Circuit แบบต่าง ๆ
- 3.3 Voltage Divider Circuit

4. ชุด Tone Control

เป็นชุดทดลองแสดงการบังคับเสียงทุ้มแหลม ซึ่งต้องใช้คู่กับชุดทดลองที่ 1 และ 5 จึงจะสามารถแสดงได้

5. ชุด Basic Amplifier Circuit

ชุดนี้จะใช้สาธิตเกี่ยวกับหลักการขยายสัญญาณเบื้องต้นและยังสามารถใช้แสดงการสาธิตเกี่ยวกับ Coupling ระหว่างวงจร การแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

วงจรที่มีหลาย Stages (Multistages)

6. ชุด Triode Demonstrator

เป็นชุดทดลองที่ใช้หาค่า Static Characteristics ของหลอด Triode โดยใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าบางอย่างเข้าช่วย คือ Voltmeter และ Ammeter

7. ชุด Oscillator

ประกอบด้วย Oscillator แบบต่าง ๆ หลายแบบคือ

7.1 Armstrong Oscillator

7.2 Hartley Oscillator

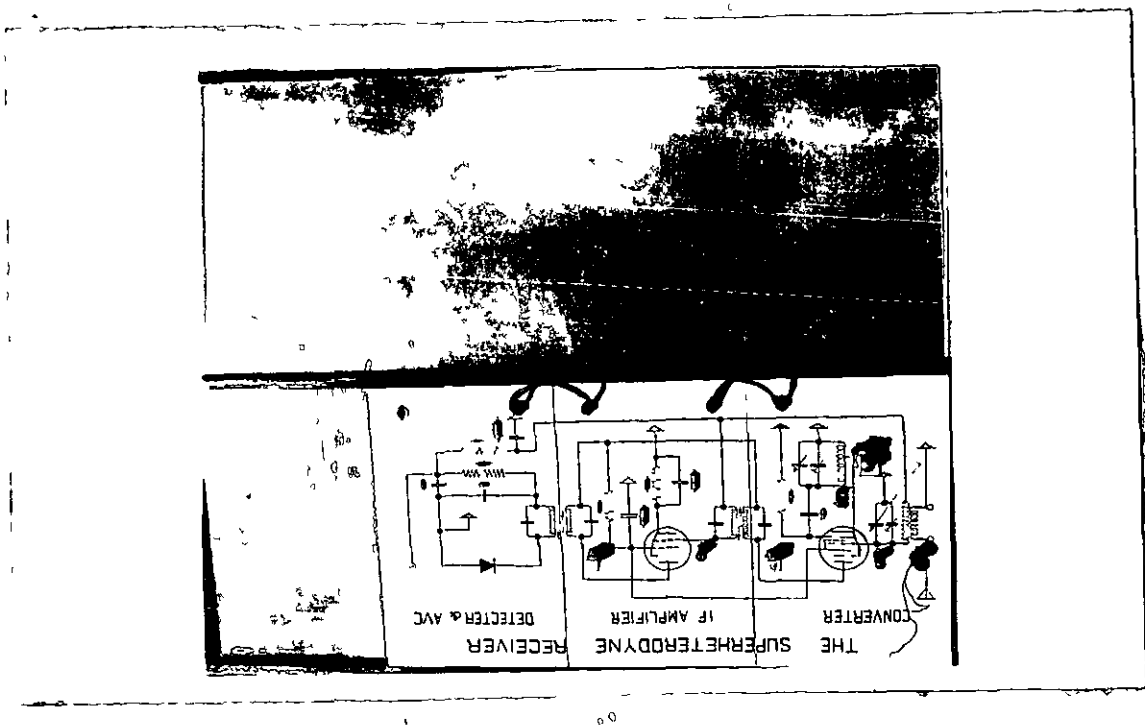
7.3 Colpitts Oscillator

7.4 Tuned Plate Oscillator

และแบบอื่น ๆ ซึ่งสามารถดัดแปลงเอาได้จากวงจร Oscillator ทั้ง 4 แบบนี้ ชุดทดลองที่ 1 จะใช้แสดงบนบอร์คาสติคที่ 1 ซึ่งมีชื่อเรียกว่า "ชุดสาธิตวิทยุ" และชุดทดลองที่ 2-7 จะใช้แสดงบนบอร์คาสติคที่ 2 ซึ่งมีชื่อเรียกว่า "ชุดสาธิตอิเล็กทรอนิกส์"

ชุดทดลองเหล่านี้เป็นวงจรย่อย ๆ ประกอบอยู่บนแผ่นไม้สาธิตขนาด 30 x 50 ตารางเซนติเมตร 16 แผ่น ชุดทดลองหนึ่ง ๆ อาจประกอบด้วยแผ่นไม้สาธิต 1, 2 หรือ 3 แผ่น แล้วแต่ความซับซ้อนของวงจร เช่น ชุดเครื่องรับวิทยุ Superheterodyne ประกอบด้วยวงจรสำคัญ 3 วงจร จึงใช้ 3 แผ่น ส่วนเครื่องรับแบบอื่น ๆ ใช้อย่างละแผ่น ชุดเครื่องขยาย Push-Pull ก็ประกอบด้วยวงจรสำคัญ 3 วงจร จึงใช้ 3 แผ่น เช่นเดียวกัน ชุด Basic Amplifier ประกอบด้วยวงจรขยายเบื้องต้น 2 วงจร จึงใช้ 2 แผ่น ชุด Oscillator แบบต่าง ๆ ชุด Tone Control และชุด Triode Demonstrator ใช้อย่างละแผ่น แผ่นสาธิตแต่ละแผ่นมีวงจรต่อเอาไว้เรียบร้อยแล้ว เมื่อจะทำการทดลองเรื่องใดก็นำเอาแผ่นสาธิตนั้น ๆ มาวางบนบอร์คาสติคที่กำหนด แล้วเชื่อมสายไฟต่าง ๆ เข้าด้วยกัน จึงทำการทดลองได้

ชุดทดลองทั้งสองแผนจะติดตั้งอยู่บน โครงสร้างซึ่งทำด้วยเหล็กมีรูป ภาพข้างล่างนี้ เป็นภาพชุดทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 32 แสดงภาพของชุดทดลองที่ 1.

ภาพที่ 33 แสดงชุดทดลองที่ 2

ส่วนวิธีการ Design วงจรต่าง ๆ ที่มีในชุดทดลองนั้นมีดังนี้

1. เครื่องรับวิทยุ

สำหรับเครื่องรับวิทยุเบื้องต้นทั้งหมดยกเว้นเครื่องรับ Superhet นั้น สิ่งที่จะต้องพิจารณามากที่สุดคือ ขนาดของ Coil ซึ่งเมื่อใช้คู่กับ Variable Condenser จะต้อง Resonance กับสัญญาณในแถบ A.M. Band เครื่องจึงจะรับได้ดี และเนื่องจาก Variable Condenser มีขนาด 12-430 PF ดังนั้น Coil ที่ใช้เพื่อให้ได้ความถี่ Resonance อยู่ระหว่าง 550-1600 Kc ต้องใช้ค่าประมาณ 250μ henry ซึ่งการพันให้ใช้ค่าประมาณนี้มีวิธีการพันจากคู่มือการพัน Coil ดังนี้ Primary Coil พัน 150 รอบ บนทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว Secondary Coil พัน 20 รอบ ระยะห่างระหว่างขด $1/8$ นิ้ว โดยใช้ลวดทองแดง Number 30 พันทางเดียวกัน เครื่องรับวิทยุเบื้องต้น ใช้ค่า Coil และ Variable Condenser เหมือนกันหมด และใช้อุปกรณ์อื่น ๆ เฉพาะวงจร ดังนี้

1. Crystal Set and Diode Set

- Germanium Diode No 1N60, Diode Tube 6H6
- Bypass Condenser $0.002 \mu F$

2. Regenerative Set and Triode Set

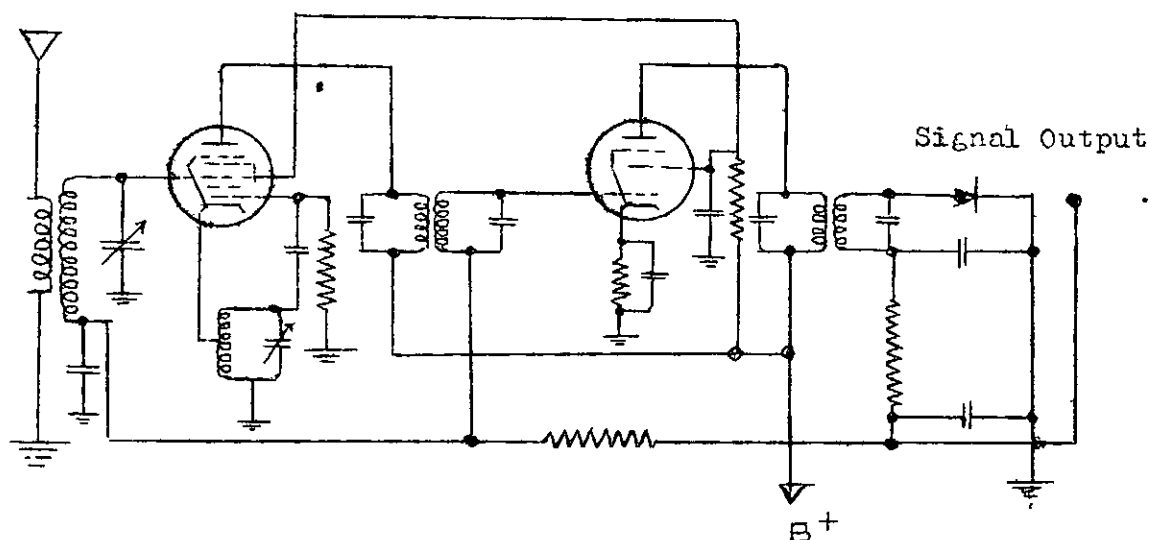
- ทรูหลอด 6J5 GT เป็นหลอด Detector

- Gridleak Resistor $1 M - \Omega$
- Fixed Condenser 250 PF
- Midget Condenser 100 PF
- Plate Resistor $270 K - \Omega$
- Plate Voltage 300 Volts

สำหรับเครื่องรับแบบ Regenerative นั้นโดยใช่วงจรของ Triode Set และเพิ่ม Tickler Coil ขนาดเท่ากับ Primary Coil พันทางเดียวกันกับขดอื่น ๆ

3. The Superheterodyne Receiver

เลือกวงจรที่ง่ายและสมบูรณ์แบบดังรูป



ภาพที่ 34 แสดงเครื่องรับแบบ Superheterodyne

เลือกหลอด 6BE6 เป็นหลอด Converter

ใช้หลอด 6BA6 เป็นหลอดขยาย Intermediate Frequency (IF)

ใช้ T 26U Tuned IF Transformer ซึ่งมี Characteristics ดังนี้

Center Frequency	455 Kc
Impedance	$\left\{ \begin{array}{l} A: 70 \text{ K}\Omega \\ B: 38 \text{ K}\Omega \end{array} \right.$
Selectivity	25 db (± 10 Kc)
Bandwidth	6 Kc/s

เลือกใช้ Antenna and Oscillator Coil ของบริษัท Trio ซึ่ง Coil ทั้งสองนี้ เมื่อใช้ร่วมกัน 430 PF Variable Condenser จะ Resonance กับสัญญาณตลอด A.M. Broadcast Band คือประมาณ 550 - 1600 Kc

เลือกใช้ Diode No - 1N60 เป็น Detector

กำหนดให้ Plate Supply Voltage ของทั้งสองหลอด = 200 โวลต์

จากคู่มือหลอด หลอด 6BE6 ใช้ค่า Condenser สำหรับ Grid No-1
(Oscillator Grid) 100 PF

และใช้ค่า Resistor 20 K Ω

สำหรับหลอดขยาย IF 6BA6 ใช้ค่า R และ C ต่าง ๆ กันดังนี้

Cathode Bias Resistor 150 Ω

Cathode Bypass Condenser 0.1 μ f

Condenser For Grid No-2 0.1 μ f

Resistor For Grid No-2 20 k Ω

สำหรับ A.V.C. Circuit สร้าง วงจร Filter ดังนี้

1. RF Filter มี 100 PF + 50 K Ω + 100 PF

2. A.V.C. Filter มี 1 M Ω + 0.1 μ f

การออกแบบวงจรเครื่องรับวิทยุชนิด Superheterodyne ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ใช้ข้อมูลต่าง ๆ จากคู่มือ หลอดเป็นส่วนมาก เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว

2. Push-Pull Amplifier & Phase - Inverter

ออกแบบให้วงจรทั้งสองทำงานร่วมกันเพราะต้องใช้คู่กันอยู่แล้ว และเลือกแบบวงจรที่เข้าใจง่าย และดำเนินการตามกฎเกณฑ์ของวงจรชนิดนี้อย่างปกติ ทำการออกแบบดังนี้

2.1 Push - Pull Amplifier Circuit

- เลือกใช้หลอด 6BQ5 เป็นหลอดขยาย

- กำหนดช่วงความถี่ของสัญญาณที่หลอดขยายทำงานได้คืออยู่ในช่อง
250 - 10000 cps

- ออกแบบวงจรเป็น Class AB₁ Amplifier

ดังนั้นจากคู่มือหลอดจะได้ข้อมูลบางประการดังนี้

- Plate Supply Voltage	250 Volts
- Grid-No.2 Supply Voltage	250 Volts
- Cathode-Bias Resistor	130 Volts
- Zero signal Plate Current	62 Ma
- Zero signal Grid-No2. Current	7 Ma
- Load Resistance (Plate-to-Plate)	8000 Ohms
- Maximum Signal Power Output	11 watts

คำนวณค่า R และ C ที่ต้องการได้ดังนี้

คำนวณค่า C_k จากสูตร

$$C_k = \frac{10}{2\pi f_1 R_c}$$

$$C_k = \frac{10 \times 7}{2 \times 22 \times 250 \times 130}$$

ได้

$$C_k = 48 \text{ Microfarads}$$

เลือกใช้ค่า

$$R_g = 500 \text{ Kilo Ohms}$$

คำนวณค่า

C_g จาก

$$C_g = \frac{1}{2\pi f_1 \left[R_g + \frac{r_p R_L}{r_p + R_L} \right]}$$

$$= \frac{1}{2 \times \frac{22 \times 250}{7} \left[5 \times 10^5 + \frac{38 \times 10^3 \times 8 \times 10^3}{38 \times 10^3 + 8 \times 10^3} \right]}$$

$$= 0.13 \text{ Microfarads}$$

ซึ่งจะใช้ค่าจริงประมาณ 0.1 Microfarads

2.2 Phase Inverter

• ออกแบบวงจรเป็น Split - Load Inverter

- เลือกใช้หลอด 6AN8 เป็นหลอด Inverter (เฉพาะภาค Triode)

- โดยวิธี Equivalent Circuit แทนหลอดด้วย Potential Source

และเพื่อให้วงจรมีการสมดุล กำหนดให้ $R_L = R_k = R$

$$\text{Gain (A)} = \frac{\mu R}{(\mu + 2)} \times \frac{(\mu + 2) + R}{r_p}$$

$$A = 1$$

$$1 = \frac{21 R}{21 + 2} \times \frac{(2 + 21) + R}{5 \times 4700}$$

$$\therefore R_L = R_k = 27 \text{ K}\Omega$$

$$\text{ใช้ค่า } R_g = 5 \text{ K}\Omega$$

$$\text{และใช้ค่า } C_g = 200 \text{ PF}$$

$$\text{ใช้ค่า Plate Supply Voltage } 250 \text{ Volts}$$

ใช้ภาค Penthode ที่เหลือของหลอด 6AN8 เป็นหลอดขยายภาคแรก

โดยใช้ค่าต่างๆสำหรับหลอดขยายดังนี้

$$\text{-Plate Supply Voltage} = 100 \text{ Volts}$$

$$\text{-Grid No - 2 Supply Voltage} = 100 \text{ Volts}$$

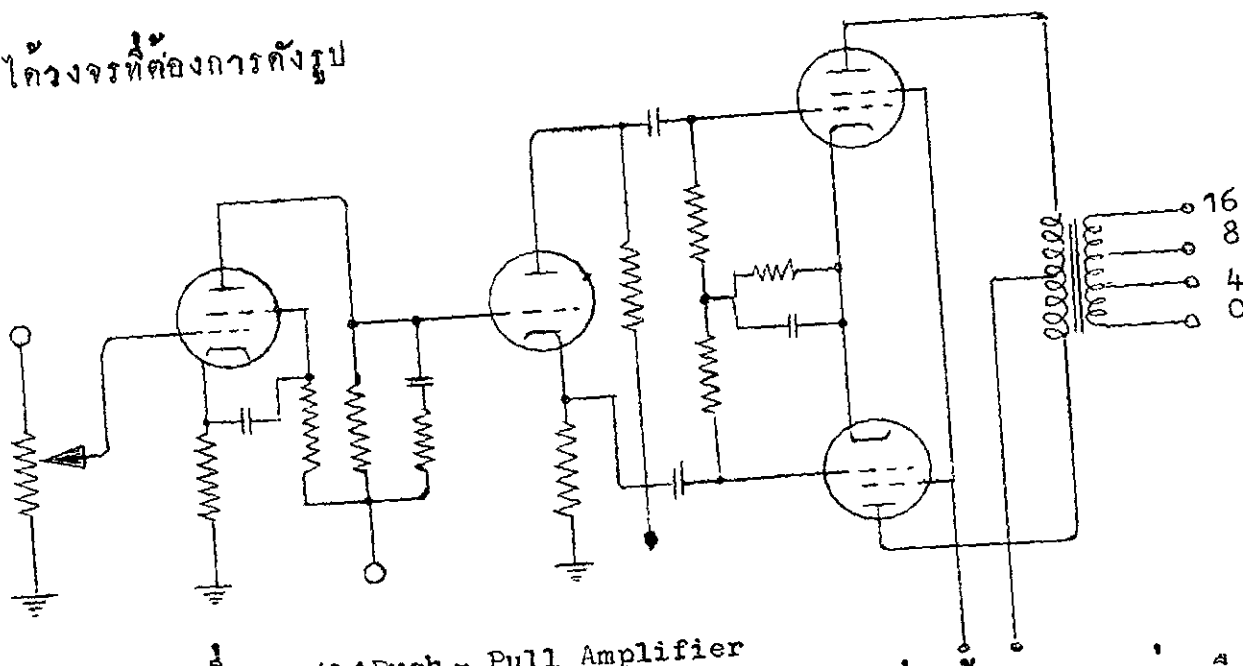
$$R_L = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_k = 2 \text{ K}\Omega$$

$$\text{-Screen Grid ใช้ค่า } C = 0.2 \text{ }\mu\text{F}$$

$$\text{และใช้ค่า } R = 0.5 \text{ M}\Omega$$

จะใ้วงจรที่ต้องการดังรูป



ภาพที่ 35 แสดง Push - Pull Amplifier

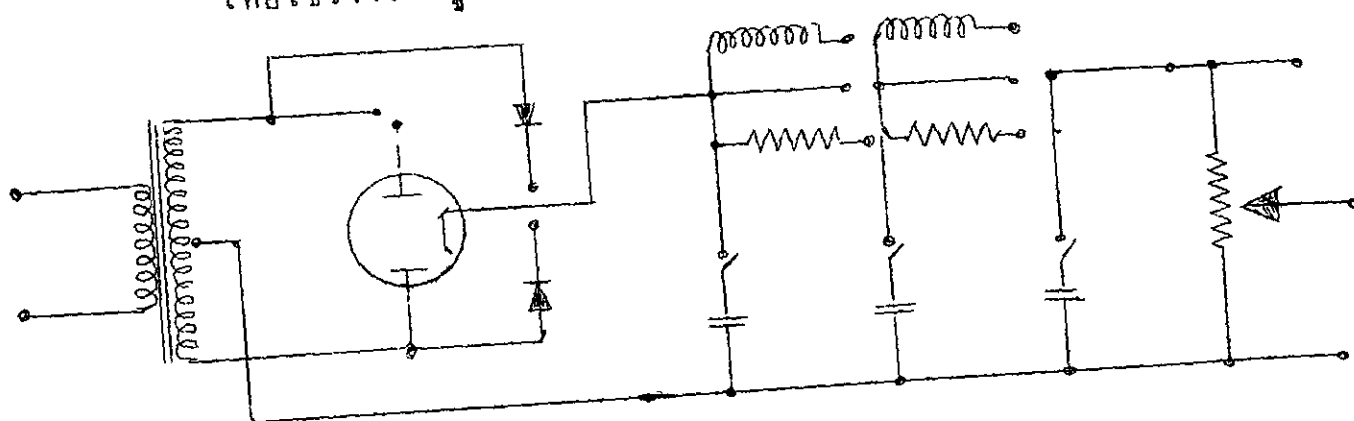
3. ชุดทดลองเรื่อง Power Supply , สร้างขึ้นเพื่อใช้งานหลายอย่างคือ

1. จำยกระแสและ Voltage-แกว่งจรต่างๆที่มีในชุดทดลอง

2. เพื่อแสดงคุณลักษณะของวงจร Power Supply เอง อันประกอบ

Rectifier Circuit , Filter Circuit and Voltage Divider Circuit

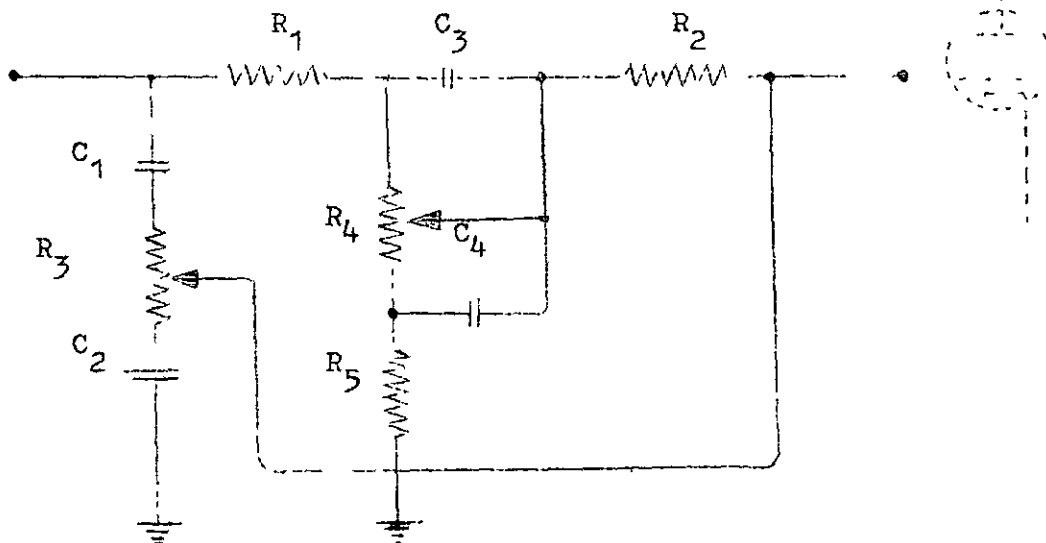
โดยใช้วงจรดังรูป



ภาพที่ 36 แสดงชุดทดลองเรื่อง Power - Supply

ตามตำแหน่งที่วงจรขาดไปนั้น จะคิด Plug ตัวเมียหรือ Switch ไว้ให้เลือก
เสียบหรือโยกเพื่อเลือกวงจรแสดง Half Wave , Full Wave แบบต่างๆ
หรือแสดงวงจร Filter แบบใดแบบหนึ่งตามต้องการ สำหรับ Choke ใช้ขนาด
10 Henrys ทั้งสองตัว Electrolytic Condenser ใช้ขนาด $50 \times 50 \times 50 \mu F$
ตามลำดับ และใช้ Wire-Wound Resistor ขนาด 200 Ω และ 2K Ω ตามลำดับ
วงจร Voltage Divider ใช้ Wire-Wound Resistor ขนาด 15 K Ω
25 Watts

4. วงจรท่อมแหลม เลือกวงจรดังรูป วงจรนี้จะทำงานได้เมื่อ
ใช้ร่วมกับเครื่องขยายแบบใดแบบหนึ่ง



ภาพที่ 37 แสดงวงจรท่อมแหลม

ใช้ค่า R และ C ต่างกันดังนี้

C_1	=	200 PF	R_1	=	100 K Ω
C_2	=	0.002 μ F	R_2	=	100 K Ω
C_3	=	0.002 μ F	R_3	=	500 K Ω (VR)
C_4	=	0.002 μ F	R_4	=	500 K Ω (VR)
			R_5	=	10 K Ω

5. ชุดทดลองเรื่อง Basic Amplifier

ทำการ Design วงจร Simple Amplifier ดังนี้

- เลือกใช้หลอด 6J5 GT เป็นหลอดขยาย

- เลือกใช้ค่า R_g 500 K Ω

- หาค่า r_p จาก Plate Characteristics Curve 7600 Ω

- หาค่า G_m จาก Transfer Characteristics Curve 5000 μ mhos

- จากคู่มือหลอดได้ค่า

C_{gk} 4.2 PF

C_{pk} 5 PF

- เลือกใช้ค่าความถี่ต่างๆ ดังนี้

F_1 (Low Frequency) 100 Cps

F_2 (High Frequency) 5 Mc

กำหนดค่า R_L จากสูตร

$$f_2 = \frac{1}{2\pi (C_{gk} + C_{pk})(r_p \cdot R_L \cdot R_g)} \cdot \frac{(r_p R_L + r_p R_g + R_L R_g)}$$

แทนค่า $5 \times 10^6 = \frac{1}{2\pi \times 10^{-12} (5 + 4.2)(7.6 \times 5 \times 10^8) R_L} \cdot \frac{(7.6 \times 10^3 R_L + 7.6 \times 5 \times 10^8 + R_L \times 5 \times 10^5)}$

ได้ $R_L = 120.3 \times 10^3 \text{ Ohms}$

กำหนดค่า C_c จากสูตร

$$f_1 = \frac{1}{2\pi C_c \left[R_g + \frac{r_p R_L}{r_p + R_L} \right]}$$

แทนค่า $100 = \frac{1}{2\pi C_c \left[5 \times 10^5 + \frac{7.6 \times 88.3 \times 10^6}{7.6 \times 10^3 + 88.3 \times 10^3} \right]}$

ได้ $C_c = 0.33 \text{ Microfarad}$

Locate Q Point ที่ $E_c = -4 \text{ Volt}$

$E_b = 94 \text{ Volts}$

$I_b = 2.5 \text{ Milliamperes}$

ซึ่งเป็นบริเวณที่กราฟมีความชันเกือบเป็นเส้นตรง หรือ Curve อยู่ในย่าน

Linearity หากที่จุดทำการลากเส้นตรง (D.C. Load Line) ตัด Curve

นี้ โดยให้ Slope เท่ากับ $\frac{1}{R_L}$ ซึ่ง $\frac{1}{R_L}$ เป็น Slope ของสมการ เส้นตรง

$$I = \frac{1}{R_L} \times E + 0$$

ดังนั้น

เขียน D. C Load Line ให้ Slope = $1/88.3 \times 10^3$ ให้อยู่บน Q-Point บน Plate Characteristics Curve ใ้ค่า $E_{bb} = 320$ Volts

-หาค่า R_k ให้ $= \frac{E_c}{I_b}$

แทนค่า $= \frac{4}{2.5 \times 10^3}$

จะได้ค่า $R_k = 1600$ Ohms

-หาค่า C_c $= \frac{10}{2\pi f_1 R_k}$

แทนค่า $= \frac{10}{2 \times \frac{22}{7} \times 100 \times 1600}$

จะได้ค่า $C_c = 10$ Microfarads

-หาค่า $Gain(A)$

$A = \frac{G_m r_p \cdot R_L \cdot R_g}{r_p R_L + r_p R_g + R_L R_g}$

แทนค่าได้ $A = \frac{5 \times 7.6 \times 120.3 \times 5 \times 10^5}{7.6 \times 120.3 \times 10^6 + 7.6 \times 5 \times 10^8 + 120.3 \times 5 \times 10^8}$
 $= 14$

$\therefore$ Gain = 14 เท่า

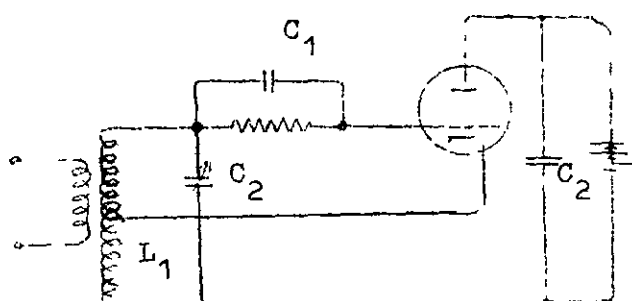
ทำการออกแบบวงจรเกร็งขยายเบื้องต้นเอาไว้ 2 วงจร เพื่อใช้ประกอบกัน

แสดง Multistage และแสดง Coupling Between Stages

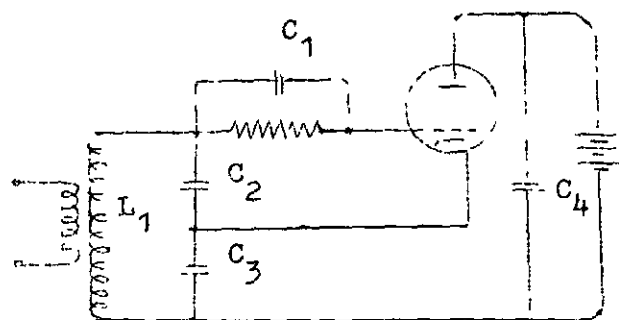
6. ชุดทดลองเครื่อง Oscillator Circuit จะประกอบด้วย

1. Armstrong Oscillator
2. Hartley Oscillator
3. Tuned Plate Oscillator
4. Colpitts Oscillator

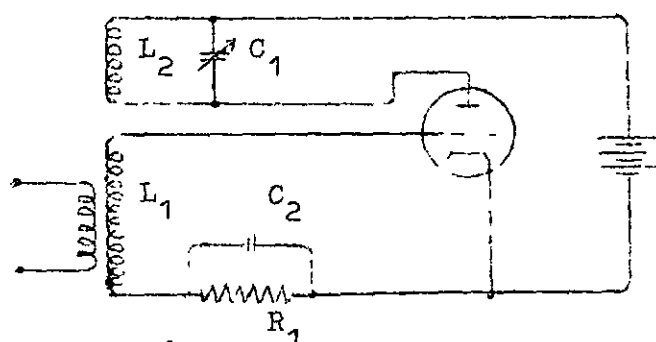
โดยใช่วงจรดังรูป



Hartley Oscillator



Colpitts Oscillator



Tuned Plate Oscillator

ภาพที่ 38 แสดงวงจร Oscillator

ส่วน Armstrong Oscillator จะใช้วงจรของ Regenerative Set

ขนาดของ Coil ที่ใช้เป็นขนาดเดียวกับที่ใช้กับ Antenna Coil ของเครื่อง
รับวิทยุเบื้องต้น โดยใช้วิธีพัน Coil แบบเดียวกัน

- เลือกใช้หลอด 6J5 GT ซึ่งเป็นหลอด Oscillator
สำหรับ Hartley Oscillator ไซกา

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C_1 = 250 \text{ PF}$$

$$C_2 \text{ (midge tcondenser)} = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$$

$$\text{-คำนวณความถี่ได้จาก } f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{\frac{44}{7} \sqrt{150 \times 10^{-6} \times 430 \times 10^{-6}}}$$

$$= 580 \times 10^3 \text{ cps}$$

ส่วน Colpitts Oscillator ไซกา

$$C_1 = .001 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_2 = .003 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_3 = 2.60 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_4 = .01 \text{ }\mu\text{F}$$

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$\text{RFC (Choke)} = \text{ใช้ อนุภาค } 15 \text{ }\mu \text{ henry}$$

$$\text{-คำนวณค่าความถี่ได้จาก } f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}}}$$

$$= \frac{1}{\frac{44}{7}} \times \sqrt{\frac{(.001 + .003) \times 10^{-6}}{150 \times .001 \times .003 \times 10^{-12} \times 10^{-6}}}$$

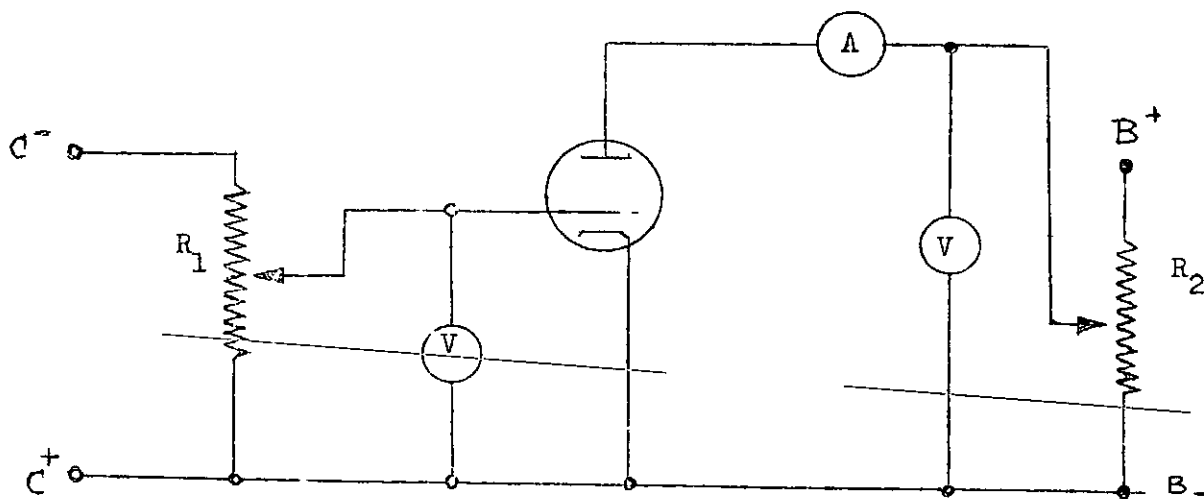
$$f = 790 \times 10^3 \text{ Cps}$$

- สำหรับแบบของ Armstrong นั้นเนื่องจาก Design ไวรับคลื่นวิทยุ
จึงเปลี่ยนความถี่ได้อยู่ระหว่าง 550 - 1500 Kc

นอกจาก Oscillator ทั้ง 3 แบบนี้แล้วอาจเปลี่ยนแปลงวงจรเป็นวงจร
Oscillator แบบอื่น ๆ ดังจะแสดงให้เห็นในบทที่ 3

7. ชุด Triode Demonstrator

Design วงจรเพื่อแสดง Characteristics ของหลอด Triode
 ที่ต้องการเลือกใช้หลอด Triode 6J5 GT เป็นหลอดทดลองโดยใช้วงจรดังรูป



ภาพที่ 39 แสดงชุดทดลอง Triode Demonstrator

ใช้ Battery B จากวงจร Power Supply ในชุดทดลองที่ 2

ใช้ Battery C จาก **Adaptor** ที่ทำขึ้นใหม่ให้ Voltage

สูงสุด 30 โวลต์

R_1 ใช้ Wire Wound Volume Control 20 ohms 2 watts

R_2 ใช้ Wire Wound Variable Resistor 5000 Ω 30 watts

เมื่อจะทำการทดลองให้ Volt และ Ammeter ต่อตามจุดที่มีในวงจร

หลอดทดลองใช้ Triode ที่ใช้อยู่ในวงจรอื่น ๆ ของชุดทดลอง

คือ 6J5 GT และอาจใช้วงจรนี้หาค่า Characteristics ของ

หลอด Triode อื่นๆได้โดยการ เปลี่ยนแปลงวงจรเล็กน้อย

วิธีสร้างชุดทดลอง

ในตอนนี้จะได้กล่าวถึงการสร้างชุดทดลองจนสัมฤทธิ์ผลคือ

1. การสร้างฐานสำหรับรองรับและยึดแผ่นบอร์ดทั้งสอง

สร้างฐานด้วยเหล็กฉากชนิดมีรูปรู ใช้เหล็กยาว 14 เมตร โดยนำมาตัดออกเป็นท่อนๆ ให้ความยาวต่างๆ กันดังนี้

ยาว 2 เมตร 4 ท่อน ใช้ทำเป็นขาตั้ง

ยาว 1 เมตร 5 ท่อน และยาว 0.5 เมตร 2 ท่อน
ใช้สำหรับยึดขาตั้งทั้งสอง

นำเอาเหล็กที่ตัดไว้มาประกอบเป็นโครงร่าง โดยใช้เหล็กฉากแบน และนอตยึดที่มุมต่างๆ สร้างเป็นโครงร่างดังรูป

2. การสร้างแผ่นบอร์ดและแผ่นสาธิต

การสร้างแผ่นบอร์ดใหญ่ใช้ไม้อัดขนาด 1.20 x 1.05 ตารางเมตร จำนวน 2 แผ่น หุ้มขอบโดยรอบด้วยไม้หนา 2 นิ้ว ทำให้เกิดกรอบมีความหนา 0.75 นิ้ว ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ขนาดของกรอบนั้นสามารถใส่แผ่นสาธิตลงได้พอดี ทาแผ่นบอร์ดด้วยสีเหลือง ทาขอบด้วยสีดำ

การสร้างแผ่นสาธิต ใช้ไม้อัดปูด้วยแผ่น mica สีขาว ตัดออกเป็นแผ่นเล็กๆ ขนาด 50 x 30 ตารางเซนติเมตร และทำกรอบด้านหลัง ทาขอบของกรอบด้วยสีดำ

3. การเขียนวงจรบนแผ่นสาธิต

เขียนวงจรตามที่ออกแบบเอาไว้ด้วยสี magic สีน้ำเงินโดยใช้ถ้วยปากกกลมช่วยในการเขียน

ตอนที่ 40 แฉกนางขางบุตทกมองไปเรา

4. การติดตั้งอุปกรณ์บนแผ่นสาคิต

เราจะรู้ตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์ควยสวาม ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ จะอยู่ใกล้สัณญ์ลักษณะของมันที่ปรากฏขึ้นในวงจร การจะรูขนาดที่ใหญ่ใช้วิธีโก่งตอก สะกิดออกเป็น รูปรางตามต้องการ การติดตั้งความกานทานและคอนเดนเซอร์ เราจะ รูขนาดเด็กใส่ขาของความกานทานหรือคอนเดนเซอร์ มักติดกับ แผ่นบอร์ดควยลวด ขนาดเด็ก ซึ่งการทำวิธีนี้ขาของความกานทานหรือคอนเดนเซอร์จะทะลุไปทาง กานหลัง ของแผ่นบอร์ดและ เชื่อมกับวงจรอื่นๆที่ออกแบบเอาไว้ต่อไป

5. การตรวจสอบวงจร

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เสร็จแล้วทำการตรวจสอบ วงจรหลังแผ่นบอร์ด โดย เชื่อม อุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน สายไฟที่ใช้ เชื่อมใช้ลวดถาย เกี่ยวกับฉนวนหมขนาด เด็ก เชื่อมและจัดสายไฟให้ เป็นมมจากตามลักษณะวงจรที่เขียนไว้ ใช้หัวแรงละลายตะกั่ว เชื่อมความรอยกอดต่างๆ และลองชิมบควนแนใจว่า เชื่อมได้ทันทาษา ทำการตรวจสอบ วงจรที่ต่อให้ถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง เมื่อเรียบร้อยแล้วพำขึ้นต่อไปก็

6. ทำการทดสอบ เครื่องมือ

วงจรที่ต่อเอาไว้แล้วยังไม่อยู่ในลักษณะที่จะใช้งานได้ทันที ต้องทำการปรับแต่ง ให้ทำงานได้อย่างมีคุณภาพมากที่สุด โดยตรวจสอบการทำงานของวงจร ตาม ลำดับดังนี้

6.1 ภาค Power Supply

ใช้ Meter ตรวจสอบการว่าจ่ายไปควาไคขนาดตามที่ต้องการหรือไม่ลอง สับเปลี่ยนวงจรแบบต่างๆตามท่อกแบบเอาไว้ ใช้ Meter วัดขนาดของกระแส และ Voltage จนเป็นที่แนใจว่าเครื่องมือทำงานไคตามต้องการ

6.2 ภาคเครื่องขยาย

สับ Switch จ่ายไฟขนาดต่าง ๆ จาก Power Supply ไปยังวงจรขยายใช้ Meter ตรวจสอบ Voltage ที่จุดต่าง ๆ และปรับให้ได้ค่าเท่ากับที่ออกแบบ เอาไว้ทดลองใส่สัญญาณจากเครื่องรับวิทยุที่ทำงานได้คืออยู่แล้ว ลองหมุน Volume และฟังเสียงดูจนแน่ใจว่าเครื่องขยายทำงานได้ดี จึงตรวจสอบภาคอื่น ๆ ต่อไป

6.3 ภาคเครื่องรับวิทยุ

จ่ายไฟขนาดต่าง ๆ ไปยังเครื่องรับ ทำสัญญาณไปยังเครื่องขยาย หมุนปุ่ม Tuner รับคลื่นวิทยุ ปรับให้เครื่องรับสามารถรับคลื่นได้ทุกสถานีในย่าน B-C Band โดยใช้เครื่องมือบางอย่างเข้าช่วยคือ RF Oscillator และ Oscilloscope หมุนปรับปุ่มที่ IF Transformer จนสามารถรับคลื่นได้ทุกสถานี สำหรับเครื่องรับวิทยุเบื้องต้นนั้น ใช้หูฟัง ทดลองฟังเสียงดู ถ้าเสียงค่อยให้จอสายอากาศและสายดิน สำหรับชุดทดลองนี้ปรากฏว่า ถ้าจอสายอากาศเข้ากับสาย Ground ชุดทดลองจึงจะสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด ทดลองหมุน Variable Condenser เปลี่ยนสถานี ตรวจสอบขนาดของ Coil ให้สามารถรับคลื่นได้หลายสถานี

6.4 ชุดทดลองเรื่อง Oscillator

ทดลองป้อนสัญญาณจาก Out-put ไปยัง Oscilloscope ตรวจสอบรูปคลื่น ถ้า Amplitude น้อยให้เพิ่ม Voltage มากขึ้นจนสามารถเห็นรูปคลื่นได้ชัดเจน ทดลองสับเปลี่ยนวงจรเป็น Oscillator แบบต่าง ๆ และตรวจสอบรูปคลื่นและจกค่า Voltage ที่เครื่องมือสามารถทำงานได้ดีเอาไว้

6.5 ชุดทดลองเรื่อง Triode Demonstrator

ทดลองต่อ Battery C^- และ B^+ ไปยัง Grid และ Plate ของหลอด Triode ที่ต้องการในที่นี้ทดลองกับหลอด 6J5 GT ต่อ Voltmeter , Ammeter ไปยังตำแหน่งตามวงจร ทดลองเปลี่ยนค่า Plate Voltage หรือ Grid Voltage สังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Plate Current ทดลองเปลี่ยนค่าเหล่านี้ 5-6 ค่า ค่อยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ Meter จนเห็นว่าเครื่องมือสามารถทำงานได้ตามทฤษฎี แสดงว่าวงจรนี้ถูกต้องและทำงานได้

6.6 วงจรท่อมแหลม

ทดลองต่อวงจรนี้เข้ากับเครื่องรับวิทยุและเครื่องขยาย หมุน Volume ปรับเสียงท่อมและเสียงแหลม ทดลองฟังเสียง ทำการตรวจสอบวงจรอีกครั้งหนึ่ง ดูค่าความต้านทานและคอนเดนเซอร์ให้ถูกต้อง ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบรูปลักษณ์ของสัญญาณเมื่อปรับเสียงท่อมหรือเสียงแหลม ทดสอบดูว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ เมื่อวงจรสามารถทำงานได้ดี แสดงว่าการต่อวงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ถูกต้อง

เมื่อตรวจสอบวงจรต่าง ๆ ให้สามารถทำงานได้ดีเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายระหว่างแผ่นบอร์ดให้มันคง จัดอุปกรณ์ให้อยู่ในลักษณะสวยงาม ก็จะได้ชุดทดลองตามต้องการ

บทที่ 3

การสาธิตและอภิปราย

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการใช้ชุดทดลองทำการสาธิตทดลอง ในหัวข้อต่างๆ ของวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ตอนวิทยุขั้นพื้นฐาน และจะได้แสดงผลของการทดลองนั้นๆ พร้อมกับอภิปรายผลที่ได้ทดสอบกับทฤษฎี ตามลำดับดังนี้

1. Rectifier Circuit

ทำการสาธิตให้เห็นรูปคลื่นของกระแสที่ผ่านการ Rectify ทุกแบบโดยต่อวงจรให้ภาพคลื่นไปปรากฏบนจอ Oscilloscope . ทำการทดลองแต่ละแบบดังนี้

1.1 Half - Wave Rectifier Circuit

โดยใช้ชุดทดลองที่ 3 ต่อวงจรเป็น Half - Wave Rectifier Circuit แสดงด้วยหลอดคณน ต่อมาเปลี่ยนไปใช้วัตต์กึ่งตัวนำ ลด Voltage ลงให้เหลือประมาณ 6 โวลต์แล้วจึงต่อวงจรไปยัง Oscilloscope บันทึกภาพที่ได้เอาไว้

1.2 Full - Wave Rectifier Circuit

สับเปลี่ยนวงจรเป็น Full - Wave Rectifier Circuit แสดงด้วยหลอดและวัตต์กึ่งตัวนำที่ละครั้ง บันทึกผลการทดลองเอาไว้เช่นเดียวกับ 1.1

2. Filter Circuit

ทำการสาธิตให้เห็นรูปคลื่นของกระแสที่ผ่านการ Rectify แบบต่างๆ แล้วมาผ่านวงจร Filter อีกทีหนึ่ง ต่อวงจรให้ภาพคลื่นไปปรากฏบนจอ Oscilloscope โดยลด Voltage ให้เหลือ 6 โวลต์เช่นเดียวกับครั้งแรก ให้กระแสที่ผ่านการ Rectify แบบ Half - Wave มาผ่านวงจร Filter แบบต่างๆ คือ $C_1 - L_1$, $C_1 - L_1 - C_2$, $C_1 - L_1 - C_2 - L_2$, $C_1 - R_1$, $C_1 - R_1 - C_2$, $C_1 - R_1 - C_2 - R_2 - C_3$ บันทึกภาพคลื่นของกระแสที่ได้ ต่อมาให้กระแสผ่าน Rectifier ชนิด Full - Wave จัดให้กระแสผ่านวงจร Filter ชนิดต่างๆ เช่นเดียวกับครั้งแรก บันทึกภาพที่ได้เอาไว้



1. Half-Wave Diode Tube 1x10



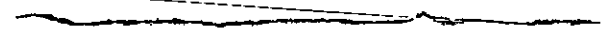
3. Half Wave Silicon Diode 1x10



2. Full-Wave Diode Tube 1x10



4. Full-Wave Silicon Diode 1x10

5. Half-Wave R_1-C_1 Filter8. Full-Wave R_1-C_1 Filter6. Half-Wave $R_1-C_1-C_2$ Filter9. Full-Wave $R_1-C_1-C_2$ Filter7. Half-Wave $R_1-C_1-C_2-R_2-C_3$ 10. Full-Wave $R_1-C_1-C_2-R_2-C_3$ 11. Half-Wave $L_1-C_1-C_2$ Filter12. Full-Wave $L_1-C_1-C_2$

ภาพที่ 41 แสดงภาพคลื่นของกระแสเมื่อผ่านวงจร Rectifier และ
วงจร Filter แบบต่างๆ

3. Power Supply

ต่อวงจร Rectifier และ Filter แบบหนึ่งแบบใดตามต้องการเข้าด้วยกันทั้งนี้แล้วแต่ต้องการกระแสไฟฟ้กรงขนาดใด แล้วต่อวงจรไปยัง Voltage Divider ใช้ Voltmeter วัดขนาดของ Voltage เมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานของ Voltage Divider ค่าลงไปเรื่อย ๆ จากการวัด ปรากฏว่า Voltage เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 4 - 300 โวลต์

อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองทั้ง 3 เรื่องนี้ ใช้ชุดทดลองที่ 3 ทั้งหมด ทำการสับเปลี่ยนวงจรตามที่ต้องการ ผลที่ปรากฏสรุปได้ดังนี้ -

การใช้หลอดหรือว้ตดูกึ่งตัวนำเป็นท้ว Rectify ผลที่ได้ไม่แตกต่างกันเลย ทั้งแบบ Half-Wave และ Full-Wave แสดงให้เห็นถึงคุณค่าของว้ตดูกึ่งตัวนำว่ามีคุณภาพห้ดเทียมหลอด และใช้งานได้สะดวกกว่า เพราะไม่ต้องการไฟฟ้จุดไส้หลอด รากากี้ถูกกว่าหลอด

การกรองกระแสด้วยวงจร Filter แบบต่าง ๆ นั้น แบบ R-C, R-C-C, และแบบ R-C-R-C-C. กรองกระแสได้เรียบมากกว่ากันตามลำดับ กระแสที่กรองจาก Full-Wave เรียบกว่าจาก Half-Wave ถ้าเป็น Filter อันเดียวกัน ส่วนการกรองกระแสด้วย L-C แบบต่าง ๆ นั้น รูปคลื่นของกระแสเรียบพอ ๆ กันไปสามารถแยกความแตกต่างได้บนจอ Oscilloscope แต่ถ้ากรองจาก Full-Wave จะดีกว่ากรองจาก Half-Wave เล็กน้อย

เปรียบเทียบการกรองกระแสด้วย R-C และ L-C ปรากฏว่าแตกต่างกันน้อยมาก แต่จากการใช้ Voltage วัดกำลังไฟ การกรองกระแสด้วย R-C Voltage ที่ได้จะลดน้อยลงกว่าใช้ L-C กรอง เพราะมี Voltage Drop เกิดขึ้นมาก เมื่อผ่านความต้านทาน

4. The Static Characteristics of Triode

ใช้แผน Triode Demonstrator ทำการสาธิตให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง e_b , e_c และ i_b ภายในหลอด Triode คือ ammeter, Voltmeter และ Battery เช้ากับวงจรใหญ่ที่ต้องทำการทดลองตามลำดับดังนี้

4.1 Plate Characteristics Curve

ปรับให้ Grid Voltage มีค่าคงที่อยู่ที่ $-2, -4, -5, -8, \dots$ Volt ตามลำดับ ขณะที่ e_c คงที่ ณ ค่าหนึ่ง ๆ ค่อย ๆ เพิ่ม e_b สังเกตการเปลี่ยนแปลงของ i_b ทำการจดบันทึกผลการทดลองเอาไว้ แล้ว Plot Graph ระหว่าง e_b และ i_b ที่ e_c คงที่แต่ละค่า จาก Curve นี้จะสามารถหาค่า r_p ได้จาก

$$r_p = \partial e_b / \partial i_b$$

4.2 Transfer Characteristics Curve

ปรับให้ e_b มีค่าคงที่อยู่ที่ $100, 150, 200, 250 \dots$ Volts ตามลำดับ เปลี่ยนค่า e_c จาก Maximum Negative Voltage ที่หลอดทำงานได้ขึ้นไปจน e_c เท่ากับ 0 ขณะที่ e_b คงที่ ณ ค่าหนึ่ง ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระแสและจดบันทึกผลการทดลองเอาไว้ จากข้อมูลที่ได้นำมา Plot Graph ระหว่าง e_c กับ i_b จาก Curve นี้ Slope จะเท่ากับ G_m

4.3 Constant current Characteristics Curve

กำหนดให้ i_b คงที่อยู่ที่ $0, 2, 5, 10, 15 \dots \dots \dots$ mA ตามลำดับสำหรับแต่ละค่าของ i_b ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง e_b กับ e_c โดยเปลี่ยนค่า e_c แล้วปรับค่าของ e_b ให้ i_b คงที่ ตามที่กำหนดเอาไว้ บันทึกค่าของ e_c และ e_b ที่ใดแล้ว Plot Graph ระหว่าง e_b กับ e_c จาก Curve ที่ได้นำไปหาค่า μ จากสมการ $\mu = \partial e_b / \partial e_c$

4.4 คำนวณค่าคงที่ของหลอด (k)

$$\text{จากสูตร } i_b = k \left[e_c + \frac{e_b}{\mu} \right]^{3/2}$$

ตาราง 1 แสดงผลการทดลอง Plate Characteristics Curve

e_c	e_b	i_b
-2	100	2.1
-2	110	3.0
-2	120	4.0
-2	130	5.0
-2	135	5.5
-2	140	7.0
-2	150	9.0
-2	155	11
-2	160	12
-2	170	15

e_c	e_b	i_b
-6	140	1
-6	150	1.5
-6	160	2.0
-6	170	2.5
-6	180	3.0
-6	190	4.0
-6	200	5.0
-6	220	9.0
-6	230	11.0
-6	240	12.0

e_c	e_b	i_b
-4	110	1.0
-4	120	1.8
-4	130	2.5
-4	140	3.2
-4	150	4.0
-4	155	4.5
-4	160	5.0
-4	170	6.0
-4	180	8.0
-4	190	10.0

e_c	e_b	i_b
-8	180	1.8
-8	190	2.1
-8	200	2.5
-8	210	3.0
-8	220	3.5
-8	230	4.0
-8	240	5.0
-8	260	6.5
-8	280	8.0
-8	300	10.0

หมายเหตุ e_b และ e_c มีหน่วยเป็น Volts
 i_b มีหน่วยเป็น Milliampere

ตาราง 2 แสดงผลการทดลอง Transfer Characteristics Curve

e_b	e_c	i_b
110	-2.5	0
110	-2.0	1
110	-1.8	1.8
110	-1.5	2.0
110	-1.5	2.5
110	-1.1	3.6
110	-1.0	4.0
110	-0.8	4.5
110	-0.5	5.4
110	-0	8.0

e_b	e_c	i_b
160	-7.5	0
160	-7.0	1
160	-6.0	3
160	-5.5	4
160	-5.0	5.1
160	-4.0	7.2
160	-3.0	10.0
160	-2.0	12.0
160	-1.0	16.0
160	-0.5	18.0

e_b	e_c	i_b
140	-5.0	0
140	-4.0	1.6
140	-3.5	3.0
140	-3.0	4.0
140	-2.7	5.0
140	-2.3	6.0
140	-2.0	7.0
140	-1.0	10.0
140	-0.6	12.0
140	-0	15.0

e_b	e_c	i_b
190	-12.5	0
190	-10.0	3.4
190	-9.0	5.0
190	-8.0	6.0
190	-7.0	8.0
190	-6.0	10.0
190	-5.0	11.4
190	-3.5	14.0
190	-3.0	16.0
190	-2.0	18.0

หมายเหตุ e_b และ e_c มีหน่วยเป็น Volts
 i_b มีหน่วยเป็น milliampere

ตาราง 3 แสดงผลการทดลอง Constant Current Characteristics Curve

i_b	e_b	e_c
0	40	-2
0	60	-3
0	80	-4
0	90	-4.5
0	100	-5.0
0	110	-5.5
0	120	-6.0
0	130	-7.0
0	140	-7.5
0	160	-8.5

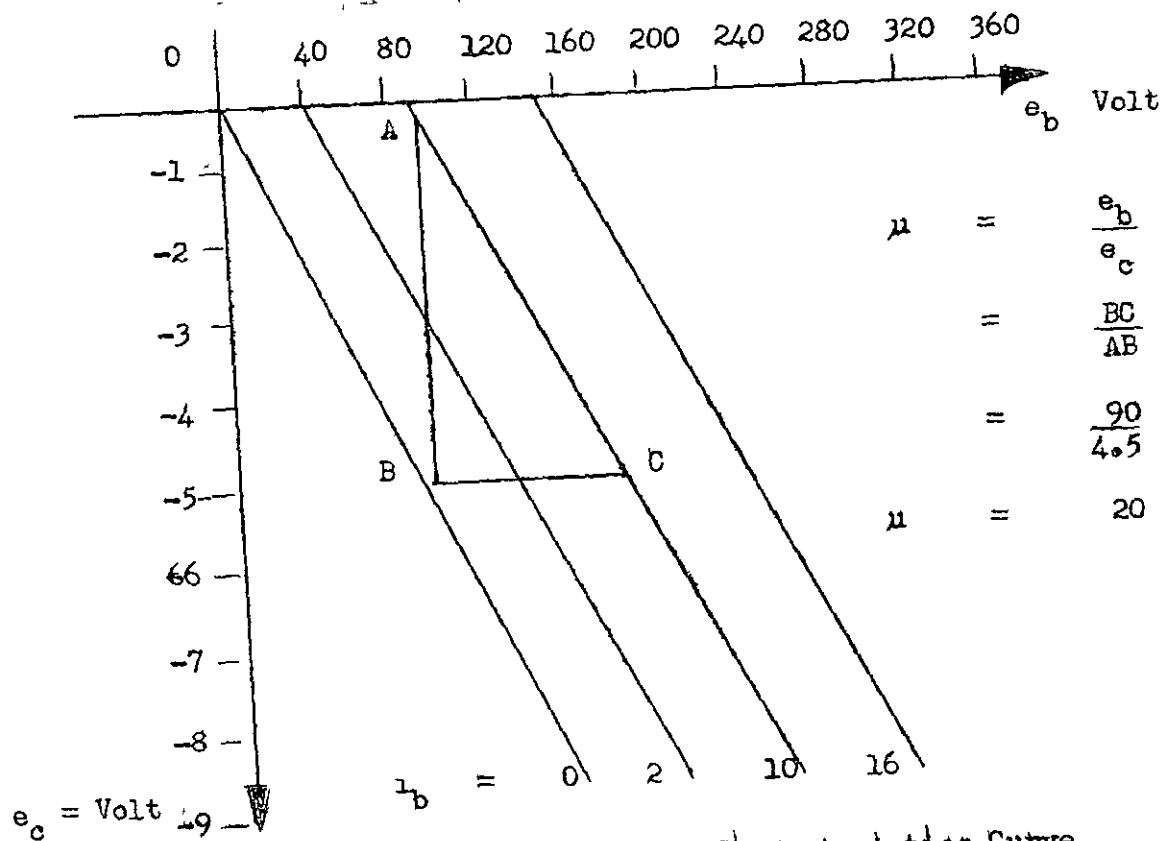
i_b	e_b	e_c
10	80	0
10	120	-1.5
10	130	-2.0
10	140	-2.5
10	150	-3.0
10	160	-3.5
10	180	-4.5
10	200	-5.5
10	220	-6.5
10	240	-7.5

i_b	e_b	e_c
2	40	0
2	60	-1
2	80	-2
2	100	-3
2	110	-3.5
2	120	-4.0
2	130	-4.5
2	140	-5.0
2	150	-5.5
2	160	-6.0

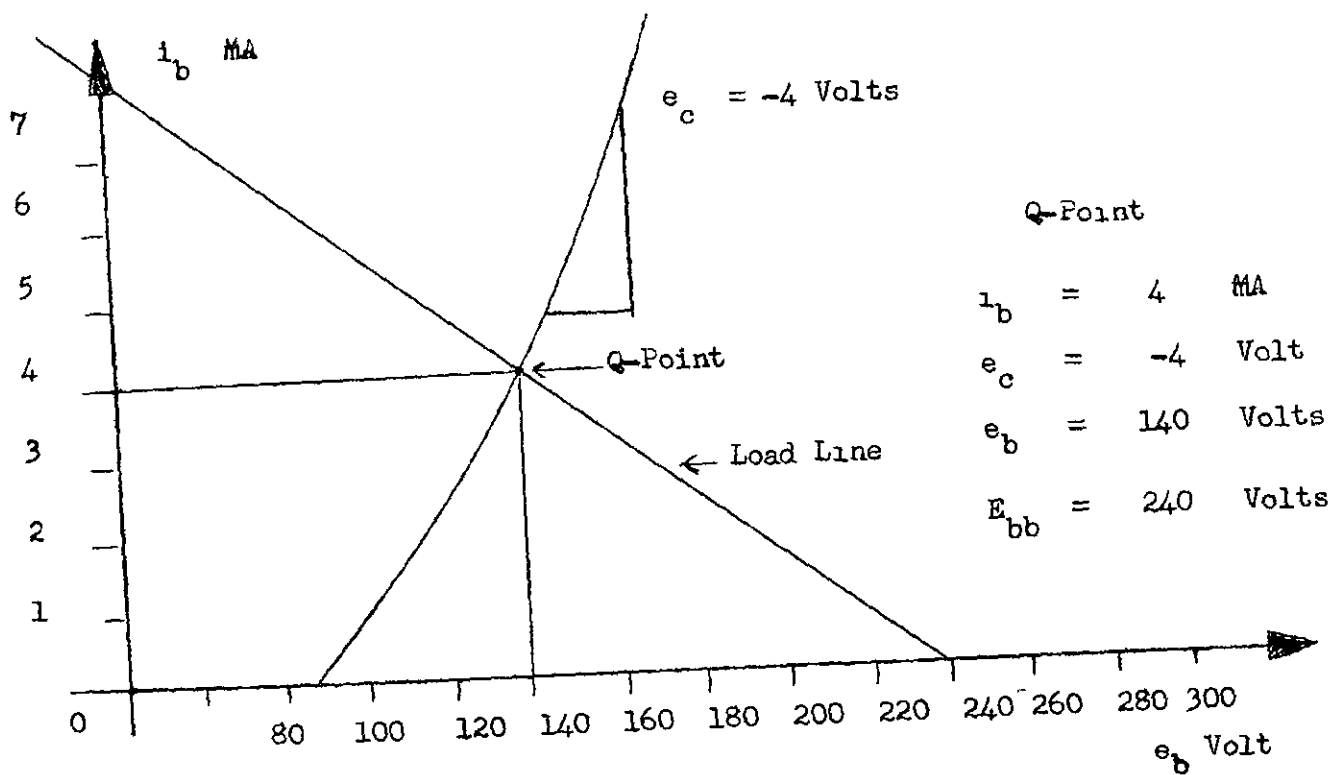
i_b	e_b	e_c
16	160	0
16	170	-.5
16	180	-1.2
16	190	-1.7
16	200	-2.3
16	220	-3.5
16	240	-4.5
16	250	-5.0
16	260	-5.5
16	280	-6.5

หมายเหตุ e_b และ e_c มีหน่วยเป็น Volts

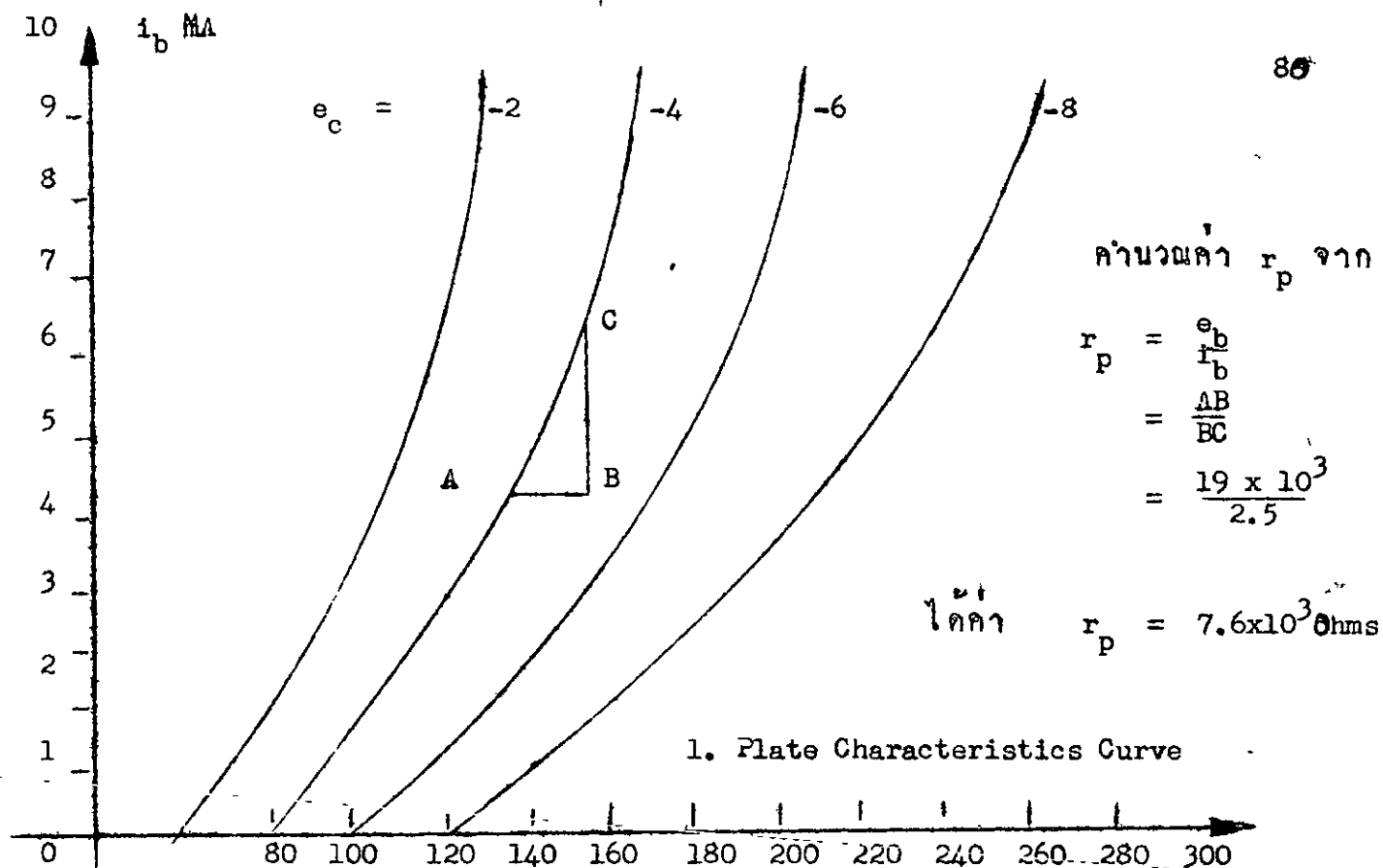
i_b มีหน่วยเป็น Milliampere



3. Constant Current Characteristics Curve



ภาพที่ 42 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองเรื่อง Triode Demonstrator

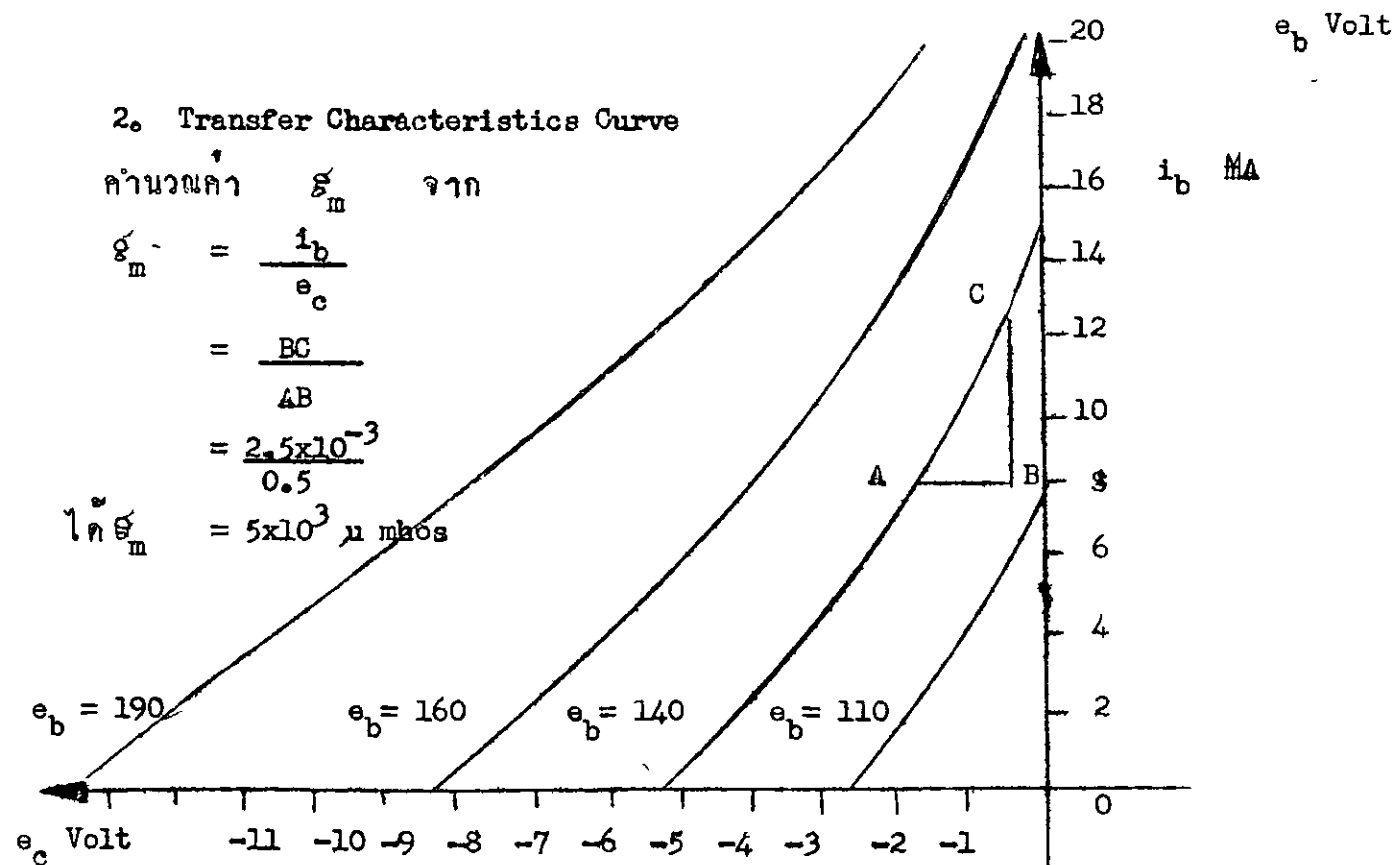


2. Transfer Characteristics Curve

คำนวณค่า g_m จาก

$$g_m = \frac{i_b}{e_c} = \frac{BC}{\Delta B} = \frac{2.5 \times 10^{-3}}{0.5}$$

ได้ $g_m = 5 \times 10^{-3} \mu \text{ mhos}$



คำนวณค่าคงที่ของหลอด (k) ได้จาก

$$i_b = k \left[e_c + \frac{e_b}{\mu} \right]^{3/2}$$

จาก D.C. Load Line แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{ได้ } 4 \times 10^{-3} &= k \left[4 + \frac{140}{20} \right]^{3/2} \\ k &= 1.09 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าคงที่ของหลอด} = 1.09 \times 10^{-4}$$

อธิบายผลการทดลอง จากการทดลองนี้ปรากฏว่าได้ค่า

$$\begin{aligned} k &= 1.09 \times 10^{-4} \\ r_p &= 7.6 \times 10^{-4} \text{ Ohms} \\ -G_m &= 5 \times 10^3 \text{ } \mu\text{-mhos} \\ \mu &= 20 \end{aligned}$$

ค่า Parameter ที่หาไว้ทุกตัวมีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง ในคู่มือหลอด แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือ และการทำการทดลอง ความผิดพลาดเล็กน้อยมาจากการอ่านสเกลของมิเตอร์ และคุณภาพของหลอดเองด้วย ผลจากการทดลองเรื่องนี้พอสรุปได้ว่า สำหรับการ Plot Graph นั้นควรจะจดข้อมูลจากค่าน้อย ๆ ระบุไว้ด้วยก็มิฉะนั้นจะทำให้ Curve หอนบนหรือล่างขาดหายไป การปรับค่า e_c ให้ต่ำหรือ e_b สูง ๆ ควรรีบอ่านค่าเร็ว ๆ เพราะกระแสจะไหลผ่านหลอดมากจะทำให้หลอดเสื่อมคุณภาพเร็วไป การบันทึกข้อมูลควรบันทึกให้มาก ๆ ค่าจะสะดวกในการ Plot Graph มากขึ้น

การสาธิตเรื่องนี้นักเรียนอาจทำการทดลองเอง หรือเพียงสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ e_b , e_c และ i_b ที่มีเตอร์เท่านั้นก็ได้

5. Basic Amplifier Circuit

โดยใช้แผ่นสาธิต Basic Amplifier ทำการทดลองดังนี้

ใช้ Signal จาก Signal Generator ป้อนเข้าที่กริดของหลอดขยาย โดยผ่าน C_c ทำการวัด Gain ด้วย Oscilloscope โดยวัด Amplitude ของสัญญาณที่ Input และ Output บันทึกขนาดคลื่นของสัญญาณทั้งสองเอาไว้ว่ามาเปรียบเทียบกัน ทดลองใส่สัญญาณจาก tuner ของเครื่องรับและต่อสาย Output ไปยังลำโพงทดลองฟังเสียง พิจารณาคุณภาพของเสียงที่ได้

6. Coupling Between Stages

ทำการสาธิตทดลองให้เห็นการถ่ายทอคสัญญาณจาก Amplifier Stage หนึ่งไปยังอีก Stage หนึ่ง โดยใช้แผ่นสาธิต Basic Amplifier สองชุดทำการทดลองดังนี้

ทดลองต่อสัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วไปยัง Stage ที่สองโดยวิธี R-C Coupling แล้วเปลี่ยนเป็นทอสัญญาณเข้าโดยตรง บันทึกผลที่ได้ ต่อจากนั้นทำการถ่ายทอคสัญญาณโดย วิธี Transformer Coupling บันทึกผลการทดลองที่ได้

7. Multistage

โดยใช้แผ่นสาธิตเรื่อง Basic Amplifier ของการทดลองที่แล้ว ทำการต่อวงจร Amplifier ที่หนึ่ง และสองเข้าด้วยกัน โดยวิธี R-C Coupling ใช้ Signal จาก Audio Oscillator ป้อนเข้าที่ input ทำการวัดขนาดของสัญญาณที่ input และ Output ของแต่ละ stage กำนวณหา Gain ของแต่ละ Stage โดยการเปรียบเทียบให้เห็นขนาดของสัญญาณที่จุดต่าง ๆ บนจอ Oscilloscope วัด Gain รวมที่ Output สุดท้าย เปรียบเทียบผลที่ได้กับทฤษฎี

ผลจากการทดลองทั้งสามเรื่องนี้ ปรากฏว่าได้ผลการทดลองดังนี้

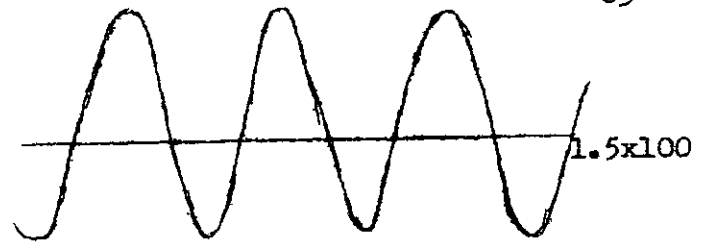
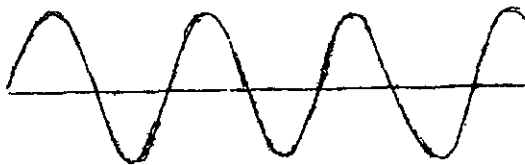
จากภาพข้างล่างเป็นผลการวัด Gain การขยายของ Amplifier ของการทดลองที่ 5 และ 6

เมื่อใช้สัญญาณจาก Audio

Oscillator ความถี่ 1000 cps

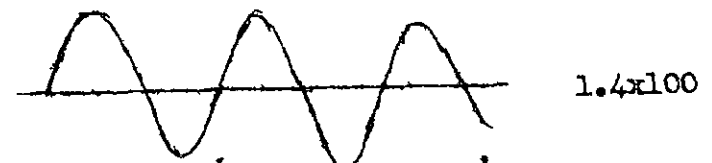
ป้อนที่ Input

สัญญาณเข้า 1×10



สัญญาณออกที่ Amplifier ที่ 1

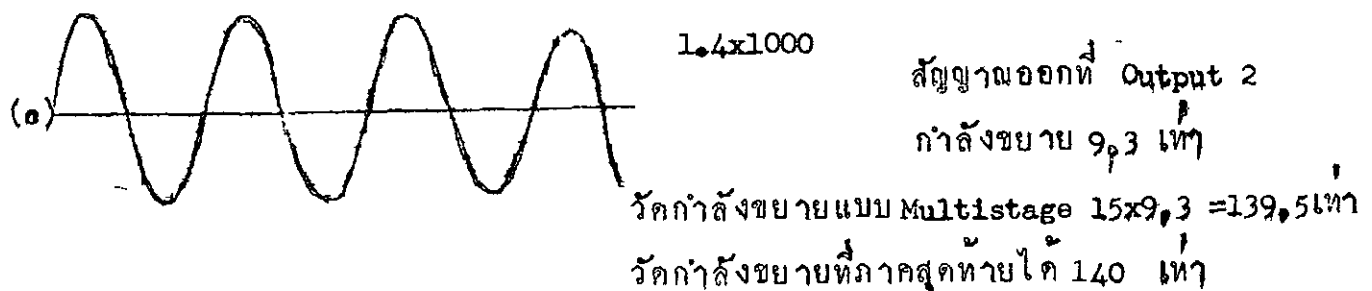
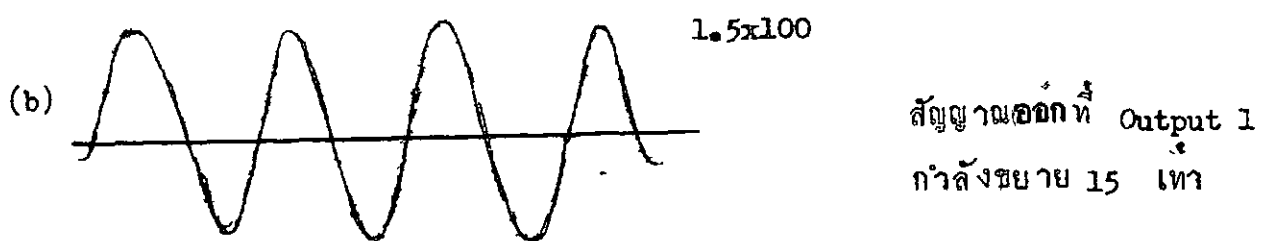
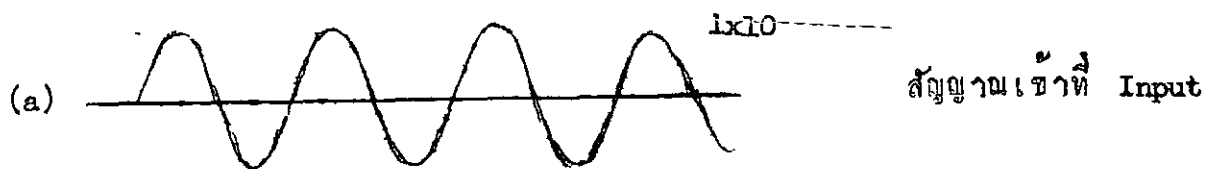
กำลังขยาย 15 เท่า



สัญญาณออกที่ Amplifier ที่ 2

กำลังขยาย 10 เท่า

ก. ภาพคลื่นจากการทดลองเรื่อง Basic Amplifier



ภาพที่ 43 ภาพจากการทดลองเรื่อง Basic Amplifier

อภิปรายผลการทดลองที่ 5, 6 และ 7

ผลการเปรียบเทียบ Amplitude ได้กำลังขยายของเครื่องขยาย 15 เท่า จากการคำนวณได้ 14 เท่า ความผิดพลาดนี้มาจากการใช้ขนาดของความต้านทานที่มีเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องมือกำลังทำงาน และยังมีการผิดพลาดในการเขียน Curve จึงจะต้องนำมาเขียน D.C. Load Line เพื่อออกแบบเป็นเครื่องขยาย

ผลการถ่ายทอดสัญญาณโดยวิธี R-C Coupling ปรากฏว่าสามารถถ่ายทอดสัญญาณได้ แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นใส่สัญญาณที่กริดโดยไม่ผ่าน Condenser ปรากฏว่าเครื่องขยายไม่ทำงาน เพราะ voltage ของสัญญาณทำให้กริดเป็นบวก ทดลองเพิ่ม Bias ให้สูงขึ้นโดยการเปลี่ยนค่า R_k เมื่อสูงถึง -12 โวลต์ เครื่องขยายจะเริ่มทำงานอีกครั้งหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าในการขยายสัญญาณนั้น หลอดจะทำงานได้เมื่อมีค่า Bias เหมาะสมเท่านั้น

ผลการทดลองเรื่อง Multistage วัด Gain ที่ Input และที่ Output Stages หนึ่งและสองได้ 15 และ 9.3 เท่าตามลำดับ และวัด Gain รวมได้ 140 คำนวณผลคูณของกำลังขยายที่ Output Stages หนึ่งและสองได้เท่ากับ 139.5 เท่า ซึ่งถูกต้องตามทฤษฎีของ Multistage ที่ว่าถ้าใช้ Amplifier หลาย ๆ Stages ต่อเข้าด้วยกัน Gain ที่ได้จะมีค่าเท่ากับผลคูณของ Gain ของแต่ละ Stages ที่นำมาต่อกันนั้น

8. Phase - Inverter

ทำการสาธิตให้เห็นลักษณะของสัญญาณที่ถูกขยายโดย Phase - Inverter และรูปคลื่นของสัญญาณที่ Output ทั้งสองของ Phase - Inverter ทำการทดลองครั้งนี้ ใช้สัญญาณจาก Audio Oscillator ป้อนเข้าที่ Input โดยใช้ Oscilloscope ดูรูปคลื่นของสัญญาณที่ Input และ Output ทั้งสองข้าง บันทึก รูปคลื่นที่ได้นำมาเปรียบเทียบกำลังขยาย สังเกต Phase ของรูปคลื่น และบันทึกเอาไว้

9. Push-Pull Amplifier

ทำการสาธิตทดลองให้เห็นลักษณะของสัญญาณที่ Output ของหลอดขยาย Push - Pull ทั้งสองและลักษณะสัญญาณเมื่อผ่าน Output Transformer เปรียบเทียบ Output Power ของวงจรจากการวัดและการคำนวณ และวัดขนาดของสัญญาณที่ Input และ Output ทุกตอนของวงจรที่ประกอบเป็น Push-Pull Amplifier เพื่อแสดงผลของ Multistage อีกครั้งหนึ่ง โดยทำการทดลองตามลำดับดังนี้

ใส่สัญญาณจาก Audio Oscillator เข้าที่เครื่องขยาย Push-Pull โดยผ่านวงจร Phase Inverter ใช้ Oscilloscope ดูรูปคลื่นที่ Input และ Output ทั้งสองของหลอดขยาย Push-Pull และดูรูปคลื่นของสัญญาณที่ขด Secondary ของ Output Transformer บันทึกภาพที่ได้เอาไว้ วัด Output Power โดยวัด Voltage คร่อมขดลวด Secondary ของ Output Transformer โดยใช้ ความถี่มาตรฐานขนาด 1000 Cps เြง Volume สูงสุดบันทึก Voltage ที่ได้ แล้วนำมาคำนวณกำลังขยายจาก

$$P = V^2/R$$

ทำการทดลองแสดงผลของ--Multistage โดยคอรูด Pushpull Amplifier ทั้งหมดเข้าด้วยกัน วัด Gain ที่ Input และที่ Output ของ Preamp. ของ Phase Inverter ของหลอดขยาย Push-Pull และวัด Gain รวมบันทึกผลการวัดเอาไว้

ผลการทดลอง

1. วัด Power โดยวัด Voltage ได้ 8.8 Volts
2. วัด Voltage เพื่อทดสอบ Multistage ได้
 - 2.1 วัด Input Signal Voltage ได้ 1 Volts
 - 2.2 วัด Output Voltage ของ Preamp. ได้ 3 volts
 - 2.3 วัด Output Voltage ของ Inverter ทั้งสองได้ 3 Volts และ 2.8 Volts
 - 2.4 วัด Output Voltage ของ Push-Pull ได้ 16 Volts
 - 2.5 วัด Gain รวมได้ 140 เท่า

คำนวณ Output Power จาก

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{8.8 \times 8.8}{4}$$

$$= 19.36 \text{ Watts}$$

ได้ Output Power ของวงจรเท่ากับ 19.36 Watts

คำนวณผลคูณของ Multistage เทียบกับ Gain รวมได้ดังนี้

ผลคูณ = Gain ของ Preamp. x Gain ของ Phase - Inverter
x Gain ของ Push - Pull Amplifier

$$= 3 \times 2.9 \times 16^\circ$$

$$= 139.2 \text{ เท่า}$$

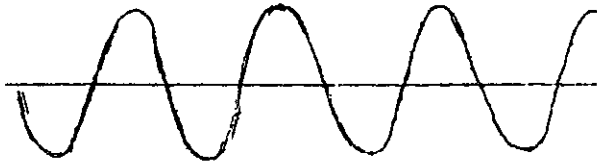
อธิบายผลการทดลอง

ได้รูปคลื่นที่ Output ของ Phase - Inverter เป็นรูป Sine Wave เหมือนสัญญาณที่ Input และมี Phase ต่างกัน 180° มี Amplitude เท่ากัน ถ้าแรง Volume มากขึ้นสัญญาณจะถูก Distortion มากขึ้นตามลำดับ สัญญาณที่ออกจาก Cathode มี Distortion เล็กน้อย ส่วนรูปคลื่นที่ได้จาก แต่ละหลอดของ Push-Pull Amplifier มี Amplitude สูงกว่าเดิมมาก แสดงให้เห็นว่าเกิดการขยายขึ้นหลายเท่า

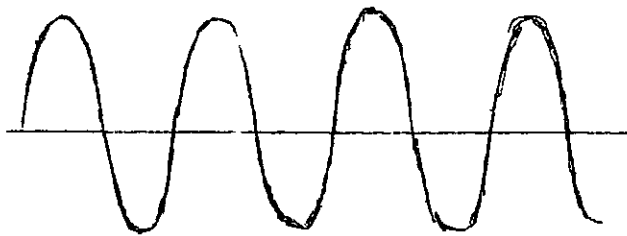
ผลการเปรียบเทียบ Power Output ปรากฏว่าจากการวัด ได้ค่ามากกว่าจากการคำนวณเล็กน้อย ความผิดพลาดเล็กน้อยนี้มาจากค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น ความต้านทาน คอนเดนเซอร์ มีเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาด และในการวัด Voltage ด้วย Meter ที่ภาค Secondary ทำให้มีการ Lose ในหม้อแปลง

ผลการเปรียบเทียบการหา Gain ทั้งสองแบบปรากฏว่าแบบ Multistage ให้ค่ามากกว่าแบบการวัด Gain รวมเล็กน้อยนับว่าผิดพลาดน้อย ค่าที่ผิดไปนั้นมาจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นและอีกประการหนึ่งก็คือ ขณะใช้ Meter วัดการวัดค่าต่าง ๆ จะมีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปใน Meter ด้วยทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้ ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีทุกตอน

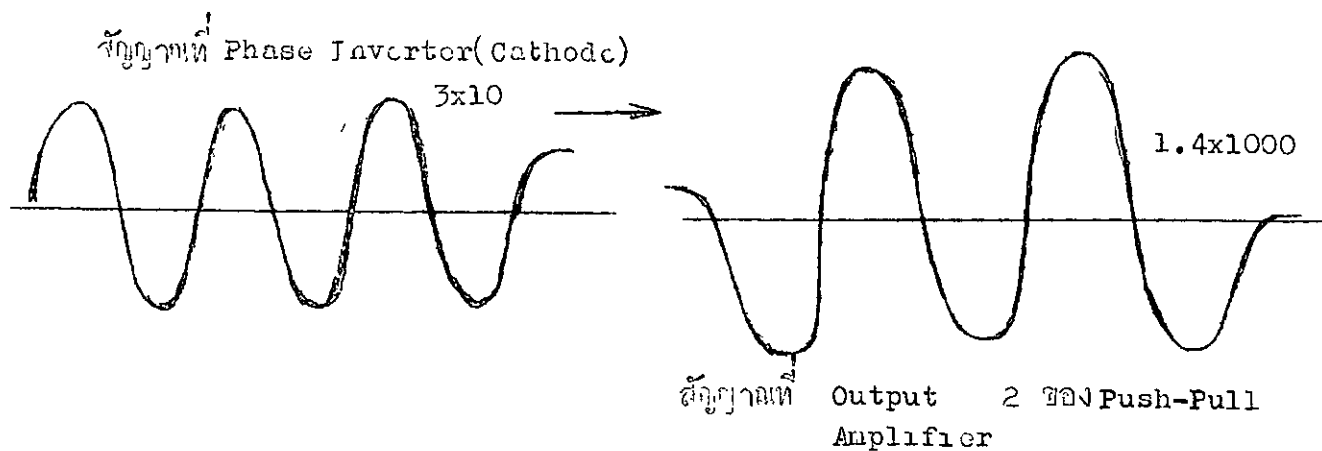
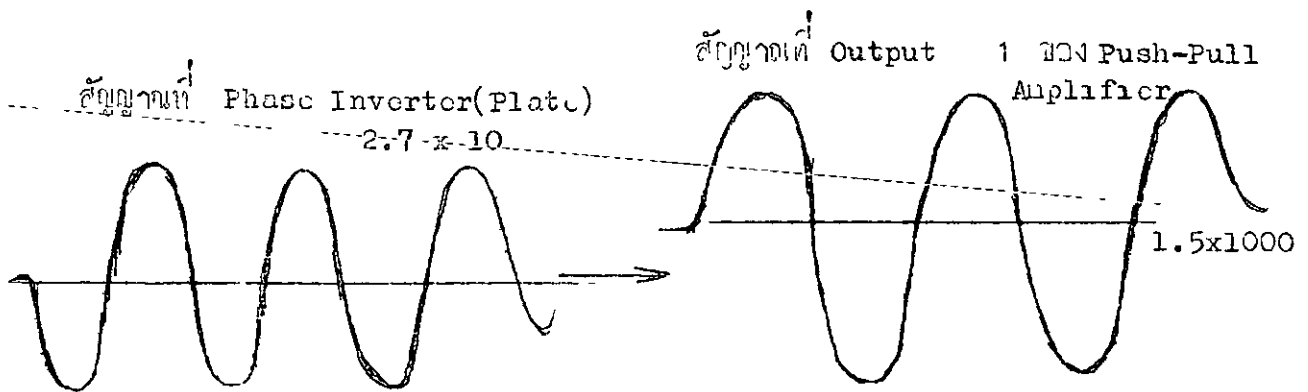
เมื่อใช้กราฟที่ขนาด 1000 ไซเคิล เพลนที่ Input



สัญญาณที่ Input 1×10



สัญญาณที่ Output ของ Preamplifier
 3×10



ภาพที่ 44 การขยายการทดลองของ Push-Pull Amplifier

10. Audio Control

ทำการสาธิตทดลองเพื่อควบคุมเสียงทุ้มและเสียงแหลมตลอดจนความถี่ของเสียงที่ออกมาจากลำโพง โดยทำการทดลองเป็นขั้น ๆ ดังนี้

คอวงจร Bass , Treble เข้ากับเครื่องขยายเสียงที่ได้เอาไว้ก่อนแล้ว ใช้ความถี่ 100 Cps จาก Audio Oscillator ใส่เข้าทาง Input ของวงจร ปรับ Bass และ Treble Control ไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ คือปรับ Bass หรือ Treble จากน้อยที่สุดไปจนมากที่สุด ใช้ Oscilloscope ดูความถี่ของภาพคลื่นที่ไปออกทาง Output บันทึกภาพที่ได้เอาไว้ ต่อมาใช้ความถี่ 10000 Cps จาก Audio Oscillator แล้วปฏิบัติเช่นเดิม บันทึกผลการทดลองที่ได้เอาไว้ การใช้ความถี่ต่ำและสูงป้อนเข้าไปเช่นนี้ มีความมุ่งหมายที่จะทดสอบการทำงานของวงจร Bass และ Treble ที่ความถี่ต่างกันสองขนาด

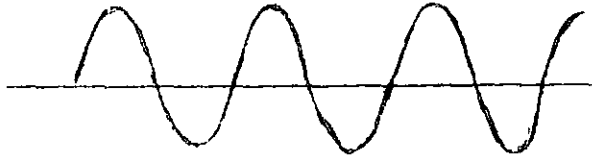
ต่อมาเปลี่ยนเป็นคอวงจร Bass , Treble เข้าที่เครื่องขยายเสียง Push-Pull ซึ่งมี Volume Control ติดอยู่แล้ว ใช้สัญญาณจาก Audio Oscillator ประมาณ 1000 Cps ป้อนเข้าไปลองปรับ Volume จากต่ำสุดไปสูงสุด จะสังเกตเห็นว่า เสียงทวีคจะดังขึ้นตามลำดับ ถ้าใช้ Oscilloscope ดูภาพคลื่นที่ Output จะพบว่า Amplitude ค่อย ๆ มากขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อสูงมาก สัญญาณจะเกิด Distortion และส่วนบนของสัญญาณถูก Clip ออกเล็กน้อย ลองปรับ Bass และ Treble ที่ความถี่ต่าง ๆ กันบันทึกผลการทดลองเอาไว้ โดยสังเกตภาพคลื่นจากจอ Oscilloscope

ต่อมาเปลี่ยนเป็นคอสัญญาณจาก Tuner ของเครื่องรับวิทยุให้ผ่านวงจรทุ้มแหลมและเครื่องขยาย ปรับ Audio Control และ Tone Control สังเกตเสียงที่ออกมาจากลำโพง บันทึกผลที่ได้

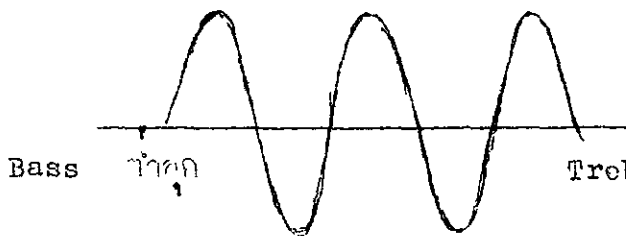
ภาพข้างล่างนี้เป็นรูปคลื่นของสัญญาณที่ได้จากการปรับ Bass และ Treble ไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ความถี่ต่ำและสูงสองขนาด ซึ่งปรากฏที่ Output ของเครื่องขยาย

เพื่อใช้ความถี่ 100 Cps ป้อน
ปรับ Bass ค่าสุดและสูงสุด

1 x 10 Input Signal



1.5 x 100 Output Signal



Bass

ต่ำสุด

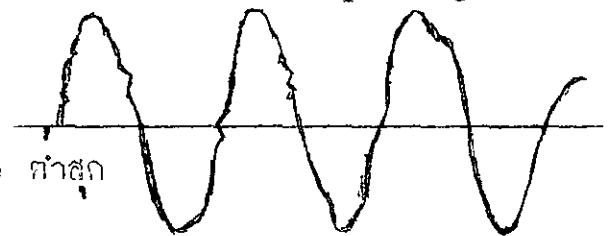
Treble

เพื่อใช้ความถี่ 10000 Cps ป้อน
ปรับ Treble ค่าสุดและสูงสุด

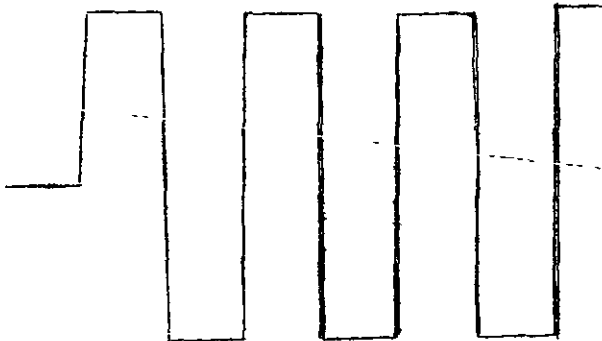
1 x 10 Input Signal



1.5 x 100 Output Signal



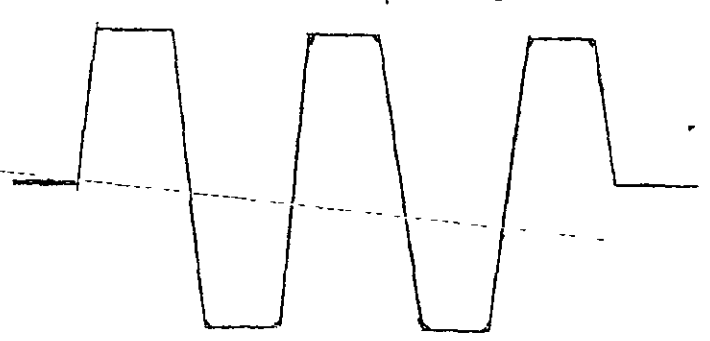
2.2 x 100 Output Signal



Bass

สูงสุด

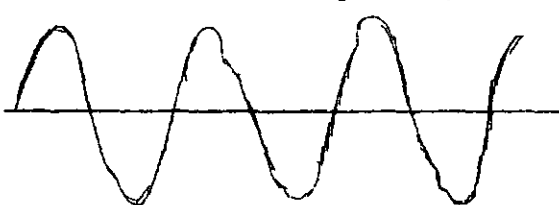
2 x 100 Output Signal



Treble

สูงสุด

1 x 10 Output Signal



ปรับ Treble สูงสุด

1 x 10 Output Signal



ปรับ Bass

สูงสุด

ผลการทดลอง

เมื่อใช้ความถี่ 100 Cps การปรับเสียงทุ้มจะทำให้ **Amplitude** เพิ่มขึ้นตามด้วย ส่วนการปรับเสียงแหลมนั้น **Amplitude** ไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนักพร้อมทั้งรูปคลื่นของสัญญาณขยายออกทางด้านกว้าง แต่ที่ใช้ความถี่ 10,000 Cps การปรับเสียงทุ้มมากทำให้ **Amplitude** เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น การปรับเสียงแหลมทำให้ **Amplitude** ของสัญญาณเพิ่มตามมากและรูปคลื่นของสัญญาณเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

เมื่อใส่สัญญาณ A.F. เข้าทาง Input ของเครื่องขยายปรับ Volume ทำให้สามารถเพิ่มหรือลด **Amplitude** ของสัญญาณได้ การปรับเสียงทุ้มมีผลต่อสัญญาณความถี่ต่ำ การปรับเสียงแหลม มีผลต่อความถี่สูง

เมื่อเอาสัญญาณจาก **Tuner** เครื่องรับวิทยุป้อนเข้าที่ Input และฟังเสียงที่ออกทางลำโพงโดยปรับ Volume ดังนี้

ก. ปรับ Volume ปรากฏว่าสามารถลดและเพิ่มความดังของเสียงได้

ข. ปรับ เสียงทุ้ม ทำให้เสียงทุ้มขึ้น เสียงแหลมไม่เปลี่ยนแปลงมาก

ค. ปรับเสียงแหลมทำให้เสียงแหลมขึ้นเสียงทุ้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

อภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า **Tone Control** ช่วยทำให้เครื่องขยายสามารถขยายความถี่ต่ำและสูงได้ ส่วน **Distortion** ที่เกิดขึ้นเล็กน้อย เป็นผลมาจากมี **Harmonic** ที่ความถี่สูง ๆ สิ่งจะมีคอนปรับ เสียงแหลมเท่านั้น และเกิดจากการถูกรบกวนจากสัญญาณความถี่สูง ซึ่งจะสามารถเข้ารบกวนได้ง่าย เพราะสัญญาณในภาคนี้นี้เป็นสัญญาณเบา มีการขยายเพียงเล็กน้อย เมื่อมี **noise** มารบกวนจะทำให้ผลของ **Signal to Noise Ratio** มีค่ามาก และเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ แก้อาไรโดยให้สาย **Shield** ทั้งหมดในภาคนี้นี้

11. Oscillator Circuit

ทำการสาธิตทดลองให้เห็น รูปคลื่นของสัญญาณที่ได้จาก Oscillator ทุกแบบ และทำการวัดความถี่ที่ได้จาก Oscillator แบบต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยทำการทดลองตามลำดับดังนี้

11.1 Armstrong Oscillator

โดยใช้วงจรของ Regenerative Set ใช้ Oscilloscope คอยวัด ขด Primary ของ Coil อากาศปรับให้เห็นรูปคลื่นของสัญญาณชัดเจน และวัด ความถี่จาก Oscilloscope โดยการเปรียบเทียบความถี่ จาก

ถ้า X เป็นความถี่ของสัญญาณที่จะวัด
 Y เป็นความถี่ของเครื่องที่ตั้งไว้
 A เป็นจำนวนคลื่นที่นับได้

$$\text{แล้ว } X = A \times Y$$

ทำการจดบันทึกภาพคลื่นที่ได้ และนับจำนวนคลื่นที่ปรากฏบนจอ จดบันทึกเอาไว้

11.2 Hartley Oscillator ทำการทดลองแบบเดียวกับ 11.1

11.3 Colpitts Oscillator ทำการทดลองแบบเดียวกับ 11.1

11.4 Tuned Plate Oscillator ทำการทดลองแบบเดียวกับ 11.1

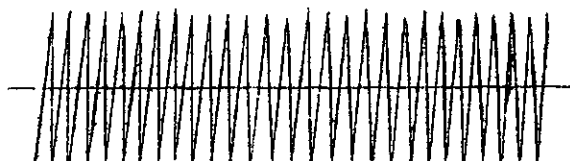
การทดลองที่ 11.2 - 11.4 ใช้แผ่นสาธิตของ Oscillator เหล่านั้นและทำการทดลองแบบเดียวกัน ถ้า Amplitude ของสัญญาณน้อยให้เพิ่ม Plate Supply Voltage สูงขึ้นจนเห็นรูปคลื่นชัดเจน

ผลการทดลอง

วัดความถี่ของ Oscillator แบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

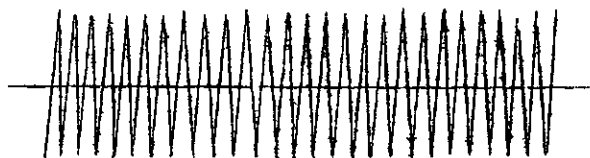
1. Armstrong Oscillator	ต่ำสุด	470 Kc	ถึงสูงสุด	1150Kc
2. Hartley Oscillator	ต่ำสุด	600 Kc	ถึงสูงสุด	1260Kc
3. Colpitts Oscillator	ได้	800×10^3	cps	
4. Tuned Plate Oscillator	ได้	970×10^3	cps	

1x1 Sweep Frequency 15 Kc



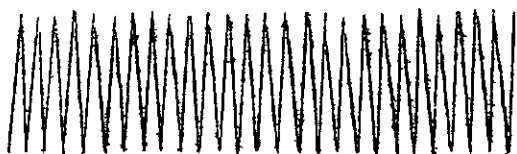
ภาพคลื่นจาก Armstrong Oscillator

0.75x1 Sweep Frequency 15 Kc



ภาพคลื่นจาก Hartley Oscillator

1.1x1 Sweep Frequency 200 Kc



ภาพคลื่นจาก Colpitts Oscillator

0.90x1 Sweep Frequency 200 Kc



ภาพคลื่นจาก Tuned Plate Oscillator

ภาพที่ 46 ภาพการทดลองของ Oscillator

อภิปรายผลการทดลอง

ผลจากการวัดความถี่ของ Oscillator แบบต่าง ๆ ความถี่ของ Oscillator ทุกแบบอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ เพราะใช้ขนาดของ Coil และ Condenser ในวงจร Tank ค่าใกล้เคียงกัน ผลจากการวัดความถี่ค่าที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณเอาไว้ ความคลาดเคลื่อนมาจากค่าของ Coil และ Condenser ไม่ได้ขนาดเท่ากับที่กำหนดค่าเอาไว้และการนับจำนวนคลื่นบนจอ เพื่อนำไปคำนวณหาความถี่ก็จะทำให้เกิดผิดพลาด เพราะคลื่นอยู่ชิดกัน และมีจำนวนมาก

คลื่นที่ได้มี Amplitude น้อย ต้องเพิ่ม Plate Supply Voltage สูงขึ้นถึง 350 โวลต์ จึงจะเห็นรูปคลื่นได้ชัดเจนนี้นั้นขนาดเต็ม หนึ่งช่องของสเกลบนจอของ Oscilloscope และทุกแบบต้องใช้ Voltage ขนาดนี้จึงจะได้ Amplitude ขนาดใกล้เคียงกันด้วย

ลักษณะคลื่นที่ได้ ในแต่ละแบบจะมี Amplitude เท่ากันตลอด และความถี่เท่ากัน อันเป็นลักษณะของสัญญาณความถี่สม่ำเสมอที่ได้จาก Oscillator โดยทั่วไป

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นสัญญาณที่ได้จาก Oscillator ซึ่งจะสามารถทำการสาธิตให้ผู้เรียนสังเกตภาพคลื่นจากจอ Oscilloscope หรือผู้เรียนทำการทดลองเอง

12. ชุดทดลองเครื่องรับวิทยุ

การสาธิตทดลองเรื่องนี้ เป็นการทดลองใช้เครื่องรับ รับฟังคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากสถานีต่าง ๆ เพื่อแสดงผลของการใช้เครื่องรับแบบต่าง ๆ ดังนี้

12.1 เครื่องแร่ (Crystal Set)

จากวงจรที่ต่อเอาไว้ สับเปลี่ยนวงจรมาใช้แร่เป็น Detector ต่อหูฟังเข้าที่ตำแหน่งของหูฟัง รับฟังสัญญาณจากสถานีวิทยุ หมุน Variable Condenser เพื่อ Tune ให้ Tank Circuit Resonance กับสัญญาณความถี่ขนาดต่าง ๆ บันทึกผลที่ได้เอาไว้

12.2 Diode Set

จากวงจรเครื่องรับแบบ Diode Set ต้องวงจรแล้วทำการทดลอง เช่นเดียวกับ 12.1 จดบันทึกผลการทดลองเอาไว้

12.3 Triode Set

โดยใช้วงจรชุด Triode Set ใช้ Plate Supply Voltage เริ่มต้นขนาด 300 โวลต์ขึ้นไป และใช้หูฟังต่อเข้าที่ตำแหน่งของหูฟัง รับฟังเสียง โดยหมุน Variable Condenser ที่มีอยู่ในวงจรเพื่อคัดเลือกสถานี ลองปรับ Variable Condenser ออก แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเสียงที่ได้ยินเมื่อ เพิ่ม Voltage ให้สูงขึ้นและเมื่อสลับเปลี่ยนวงจรโดยตัด Condenser ที่วงจร Plate ออก บันทึกผลที่ได้จากการทดลองทุกตอนเอาไว้

12.4 Regenerative Set

โดยใช้วงจรของ Triode Set สลับเปลี่ยนวงจรเป็นเครื่องรับ Regenerative Set แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับ Triode Set บันทึกผลการทดลองที่ได้ ถ้าเพิ่ม Voltage สูงจะได้ยินเสียงหวีดออกทางหูฟัง ให้ลด Voltage ลงเสียงหวีดจะหายไป แต่ถ้ายังมีเสียงหวีดปรากฏอีก ให้ตัด Condenser ในวงจร Plate ออก

อภิปรายผลการทดลอง

เครื่องรับแบบ Crystal Set มี Sensitivity ก็ดีกว่าแบบ Diode Set ให้เสียงดังกว่า แต่ทำการคัดเลือกหาสถานีได้เท่าเทียมกัน เครื่องรับทั้งสองแบบรับคลื่นได้แรงที่สุดเพียงสองสถานีเท่านั้น

ประสิทธิภาพของเครื่องรับมี Selectivity คำ

เครื่องรับแบบ Triode Set และ Regenerative set มี Sensitivity เท่ากันและดีกว่า 2 แบบแรกเพียงเล็กน้อย แต่ทั้งทำการคัดเลือกสถานีได้เหมือนกัน เพราะใช้ขนาด Coil และ Variable Condenser อันเดียวกัน ประสิทธิภาพของเครื่องรับมี Selectivity เท่าเทียม กับ 2 แบบแรก

เสียงที่ได้ยินชัดเจนนั่น มาจากสถานีที่มีกำลังสูง แม้ขณะนั้นจะเปลี่ยนให้ความถี่ธรรมชาติของวงจรไม่ Resonance กับความถี่จากสถานี แต่สัญญาณที่มีขนาดใหญ่ก็ยังเหลือกำลังอยู่ และมากกว่าของสถานีอื่น ๆ จึงสามารถผ่านเข้ามาได้ แต่เสียงจะคอยลง สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะของ เครื่องรับเบื้องต้นซึ่งประสิทธิภาพในการรับไม่ดีจึงต้องมีการดัดแปลงแก้ไข โดยเพิ่มส่วนแยกคลื่นส่วนขยายคลื่น จนกลายเป็นเครื่องรับที่มีประสิทธิภาพดังที่เห็นกันอยู่ในปัจจุบัน

12.5 The Superheterodyne

ทำการสาธิตให้เห็นการทำงานของวงจรต่าง ๆ ที่ประกอบเข้าเป็นวงจร
เครื่องรับแบบนี้

12.5.1 Local Oscillator

ทำการแสดงให้เห็นสัญญาณความถี่สม่ำเสมอ ที่ได้จาก Local Oscillator โดยต่อสาย Ground ของชุดทดลองเข้ากับ Ground ของ Oscilloscope แล้วต่อสัญญาณจาก Oscillator Coil มาเข้าที่ Vertical Input ของ Oscilloscope จะเห็นสัญญาณความถี่สม่ำเสมอ

12.5.2 Tuner

แสดงให้เห็นลักษณะคลื่นที่ภาค Tuner รับเข้ามาโดยใช้ Oscilloscope วัดที่สายอากาศของ Antenna Coil

12.5.3 Detector

ทำการทดลองให้เห็นสัญญาณที่ผ่านการ Detect โดยใช้ Oscilloscope วัดที่ขา Germanium Diode

12.5.4 IF (Intermediate Frequency)

ทำการทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการขยายความถี่ปานกลางมาแล้ว เพื่อเปรียบเทียบกับคลื่นในภาค Tuner และเพื่อวัดความถี่ไดโน

ทำการทดลองโดยใช้ Oscilloscope ตรวจดูภาพคลื่นที่ Output ของหลอดขยาย IF

12.5.5 A.V.C. (Automatic Volume Control)

ทำการทดสอบการทำงานของ A.V.C. ที่มีต่อวงจรเครื่องรับวิทยุ

ทำการทดลองโดยเปิดเครื่องรับแล้วทดลองหมุน Variable Condenser เปลี่ยนสถานีไปเรื่อย ๆ จะเห็นว่าความดังจากระบบต่าง ๆ มีเสียงดังเท่า ๆ กัน มีบางสถานีเท่านั้นที่ดังมากต่อไปทดลองทำให้ A.V.C. ไม่มีผลต่อวงจร โดยการใส่สายต่อตรงปลายของ A.V.C. Filter Resistor ลง Ground แล้วทดลองหมุน Variable Condenser เปลี่ยนสถานี ปรากฏว่า ความดังที่ได้จากสถานีต่าง ๆ แตกต่างกันมาก ต้องคลยลดและเพิ่ม Volume Control

12.5.6 การทดลองใช้เครื่องรับ

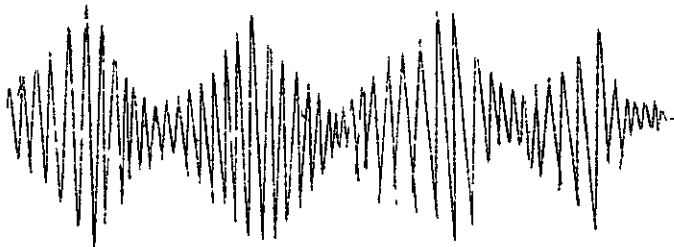
ทดลองโดยใช้เครื่องรับรับฟังสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีต่าง ๆ ผลปรากฏว่าสามารถรับฟังได้ดี และเกือบทุกสถานี สมความมุ่งหมาย

อภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลอง ปรากฏว่ารูปคลื่นที่จุดต่าง ๆ เป็นไปตามทฤษฎีทุกประการ และคลื่นทุกตอนสามารถมองเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้ เพราะเครื่องรับแบบนี้มีประสิทธิภาพสูง

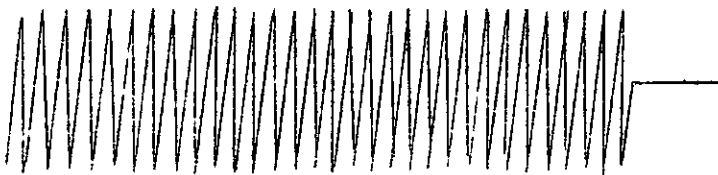
ผลการใช้เครื่องรับ รับฟังวิทยุปรากฏว่ารับคลื่นได้หลายสถานี และมีบางช่วงที่สถานีขาดหายไป ทดลองหมุนปุ่มปรับ ก็จะสามารถรับคลื่นได้ในช่วงนั้น แต่จะทำให้การรับคลื่นในช่วงอื่น ขาดหายไปแทนจึงปรับให้สามารถรับความถี่ปานกลางได้ ช่วงที่ขาดหายไปจะมีน้อยลง

1x1

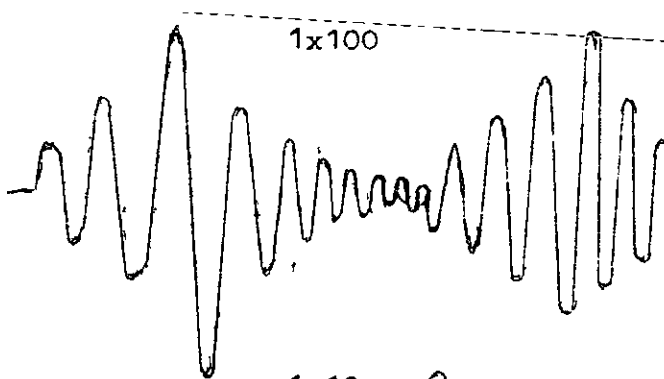


สัญญาณที่ได้จาก Tuner

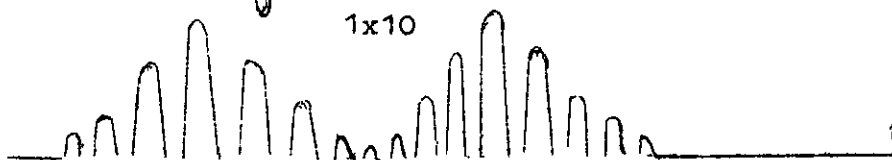
1x10

สัญญาณที่ได้จาก Local
Oscillator

1x100

สัญญาณที่ได้จาก Output
of IF Amplifier

1x10



สัญญาณที่ได้จาก Detector

ภาพที่ 46 ภาพจากการทดลองเรื่อง Superheterodyne Receiver

ส่วนการทดลองเรื่องอื่น ๆ ก็อาจดัดแปลงใช้ชุดทดลองนี้แสดงได้ เช่น การผสมคลื่นแบบ เอ. เอ็ม. อาจสาธิตให้เห็นคลื่นที่ถูกผสมแล้วและที่ยังไม่ได้ผสม ทั้งนี้ ศึกษากันจาก Local Oscillator ศึกษาลักษณะของสัญญาณที่เข้าผสมกันแล้ว ที่วงจรทางออกของภาคขยายความถี่ปานกลาง หรือจะทำการทดลองผสมคลื่น โดยใช้สัญญาณเสียงป้อนเข้าที่ ขดลวดที่หนึ่งของวงจร ออสซิลเลเตอร์แบบโคแบบหนึ่งที่มีอยู่ ศึกษาลักษณะของสัญญาณที่ผสมแล้วที่วงจรทางออกของออสซิลเลเตอร์ ชนิดนั้น ๆ ก็สามารถนำชุดทดลองนี้ได้

บทที่ 4

บทสรุปและเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีความมุ่งหมายที่จะค้นคว้าหาวิธีออกแบบและสร้างชุดทดลอง สำหรับใช้ในการสาธิตประกอบการสอนในวิชาอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐาน นอกจากนี้ยังมีความมุ่งหมายที่จะเสนอหลักเกณฑ์ วิธีสร้างและขบวนการวิธีการสาธิตที่ได้ผล

ผลของการศึกษาค้นคว้านี้จะเป็นส่วนช่วยกระตุ้นและชี้แนะทางการสอนให้ผู้สอน วิชานี้สามารถสร้างและใช้อุปกรณ์การสอนที่เหมาะสมกับบทเรียน มองเห็นแนวทางการออกแบบการทดลองเพื่อนำมาใช้กับชุดทดลองที่สร้างขึ้น เป็นการแก้ปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์สำหรับใช้ในห้องทดลองปฏิบัติการ

การสร้างเครื่องมือในชุดทดลอง ได้อาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่า เครื่องมือที่สร้างขึ้น ต้องอำนวยความสะดวกและประหยัดเวลา ในการนำมาสาธิตประกอบการสอน ต้องสร้าง และแสดงการทำงานของวงจรต่าง ๆ ให้เห็นได้ชัดแจ้งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ และชุดทดลองดังกล่าวจะต้องเหมาะสมกับบทเรียนแต่ละตอน

เครื่องมือในชุดทดลอง ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น ประกอบด้วย แผ่นบอร์ดสาธิต สองแผ่น ซึ่งบนบอร์ดทั้งสองได้รวมเอาชุดทดลองย่อย ๆ 7 ชุดเอาไว้บนบอร์ด บอร์ด แผ่นที่หนึ่งมีชื่อว่า "ชุดสาธิตวิทยุ" บอร์ดนี้ประกอบด้วยเครื่องรับวิทยุชนิดต่าง ๆ คือ

1. ชุด Diode และ Crystal Set
2. ชุด Triode Set
3. ชุด Regenerative Set
4. ชุด The Superheterodyne Receiver

บอร์ดแผ่นที่สองมีชื่อว่า "ชุดสาธิตอิเล็กทรอนิกส์" ประกอบด้วยชุดทดลองย่อย ๆ หกชุด คือ

1. ชุดวงจรจ่ายกำลัง ประกอบด้วย เรคติฟายเออร์ วงจรฟิลเตอร์ และ วงจรแบ่งศักดา

2. ชุดเครื่องขยายแบบ พุซ - พูล ประกอบด้วยเครื่องขยายภาคแรก เฟส-อินเวอร์เตอร์ และเครื่องขยายแบบ พุซ - พูล

Valve Set, Triode Set, Diode Set, IF Amplifier, Detector, A.V.C. (Automatic Volume Control), Tone Control.

การสาธิตหรือทดลองในแต่ละหัวข้อดังกล่าว อาจจะมีมากกว่าหนึ่งการทดลอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า เครื่องมือในชุดทดลองจะสอดคล้องกับเนื้อหาขนาดน้อยเพียงไร

ผลของการศึกษารั้งนี้ ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือสามารถสร้างชุดทดลองขึ้นได้ สำเร็จ และสามารถนำเอาเครื่องมือในชุดทดลองไปทำการสาธิตหรือทดลองในหัวข้อต่าง ๆ ของวิชาอิเล็กทรอนิกส์และวิทยุขั้นพื้นฐานและได้ผลตามต้องการ

ขอเสนอแนะ

จากการศึกษาค้นคว้าทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ทำให้ได้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์หลายด้าน คือ

1. ด้านการสร้างชุดทดลอง

ชุดทดลองที่คั่นควรจะสามารถแยกอุปกรณ์ของชุดทดลองออกเป็นชิ้น ๆ ได้หมด เมื่อจะทำการสาธิตหรือทดลอง จึงจะคัดเลือกเอาอุปกรณ์มาต่อเป็นวงจรตามต้องการ แต่การที่จะทำได้ลักษณะเช่นนี้ต้องใช้ทุนและเวลามาก ซึ่งไม่เหมาะสมกับสภาพสังคมปัจจุบันที่ผู้สอนมักมีงานรัดตัวมีทุน และเวลาไม่มากจึงได้เลือกเสนอแบบของชุดทดลองที่ง่าย สะดวก ราคาถูก ทำการทดลองได้หลายเรื่องเป็นแบบอย่าง

การวางแผนสร้างชุดทดลองนับเป็นตอนสำคัญ จะต้องวางแผนให้ละเอียด ยกทุกบททุกตอน มองเห็นรายละเอียดทั้งหมดก่อนที่จะเริ่มลงมือสร้าง และควรที่จะสร้างหุ่นจำลอง (model) ชุดทดลองให้มีรายละเอียดเหมือนของจริง เพื่อที่จะได้ทราบปัญหา อุปสรรค ความเหมาะสมก่อนที่จะเริ่มลงมือทำชุดทดลองจริง ๆ

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในชุดทดลองต้องตรวจสอบคุณภาพเสียก่อนให้ได้นานาตามที่ต้องการจริง ๆ อุปกรณ์บางอย่างที่สามารถผลิตได้เองก็ควรทำเองจะทำให้ได้ความชำนาญและเกิดการค้นคว้าลึกซึ้งลงในแขนงวิชาย่อย ๆ นั้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

โช สาลินัน ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ภาค ๑ แผนกฟิสิกส์ วิทยาลัยวิชาการศึกษา

ประสานมิตร (อัคราเนนา)

บุญถึง เน้นหนา ตำราวิทยุภาคปฏิบัติและทฤษฎี พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์

2511, 400 หน้า ภาพประกอบ

บุญเรือง แก้วสะอาด เครื่องขยายเสียงและวิทยุภาคปฏิบัติ โรงพิมพ์การศาสนา

2506, 82 หน้า ภาพประกอบ

ร. ธรรมรักษ์ (นามแฝง) อิเล็กทรอนิกส์ โอเดียนสโตร์ 2503, 327 หน้า

ภาพประกอบ

รายงานการดำเนินการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โรเนียว 37 หน้า

วิทยา เพียรพิจิตร วิศวกรรม แพร่พิทยา 2514, 234 หน้า ภาพประกอบ

สังวาลย์ เพ็งพัก การสร้างและศึกษาชุดทดลอง เพื่อใช้ในการเรียนการสอน

วิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นและเสียง ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา

ประสานมิตร 2514, 68 หน้า

ศึกษาธิการ, กระทรวง กรมวิชาการ กองการวิจัย รายงานการปรับปรุง

หลักสูตรและการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนมัธยมศึกษาของประเทศอินเดีย

โรงพิมพ์การศาสนา 2509, 95

อัน สุนทรวัฒน์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์มูลฐาน พิมพ์ครั้งที่ 3 กรมอุทกหารเรือ 2503,

นับจำนวนหน้าไม่ได้ ภาพประกอบ

- Bergvall, Par and Joel, Nahum, UNESCO Pilot Project on New Methods and Techniques in Physics Teaching, LPM livraria, Sao Paulo, Brasil, 1965, pp. 1, 2, 31.
- Burke, W.E. This is Electronics, Howard W. Sams & Co, Inc. N.Y. 1969, p. 449.
- Collins, Archie Frederick, The Radio Amateur Handbook, Crowell N.Y. 1954, p. 421.
- Detenbeck, R.W. and Dilavore, P., "Harvard Project Physics," The Physics Teachers, 5 : 233, May, 1967
- Hellman, Charles I., Elements of Radio, D.Van Nostrand Company ; Inc, N. Y. 1965, p. 400.
- Hughes, Leslie E.C., Dictionary of Electronics and Nucleonics, W & R Chamber LTD. London 1969, p. 443
- Hughes, Robert James, Introduction to Electronics, U.S. Industries Inc, Garden City, 1961, P. 421.
- Lockard, J.D., Seventh report of the International Clearing House on Science and Mathematics Curricula Developments 1970, University of Maryland 1970, P. 640.
- Macus, Abraham, Elements of Radio, Prentice Hall, Inc N.Y. 1953, p. 771.
- Mercier, Claude, Low-Cost Radio Reception, UNESCO Paris 1950, 118 p. .
- Middleton, Robert G, Electronics Test and Measurements, Howard Sams, & Co, Inc.1963, p. 288.
- Romanowitz, Harry. A., Fundamental of Semiconductor and Tube Electronics, John Wiley & Sons, New York. 1963, P. 619.
- Terman, Frederick Emmons, Radio Engineers' Handbook, N.Y. Mcgraw-Hill book Co. Inc. 1943, p. 1019.
- Truman, Gray, Applied Electronics, John wiley & Sons, N.Y. 1957, p. 881.
- Van, Valkenburgh., and others, Basic Electronics, Technical Press, N.Y. 1947, (p. 520.) 520 p