ปีการศึกษา 2535

การเหนี่ยวนำความร้อนโดยหลอดสูญญากาศ

INDUCTION HEATING BY OSCILLATOR TUBE

โดย

321056	นายจิรพันธุ์	เด่นไพบูลย์
321071	นายชัยพฤฒิ	วัชรีคุปต์
321077	นายชาญณรงค์	ชื่นสุชน
321085	นายโชคชัย	จตุรวรพร
321089	นายณรงค์	ยั้นประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พิชิต ลำยอง

อ. สุวงษ์ ไสมพงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032581

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเหนี่ยวนำความร้อนโดยหลอดสูญญากาศ

ผู้จัดทำ

1. นายจิรพันธุ์ เด่นไพบูลย์
2. นายชัยพฤฒิ วัชรีคุปต์
3. นายชาญณรงค์ ชื่นสุชน
4. นายโชคชัย จตุรวรพร
5. นายณรงค์ ฮั้นประเสริฐ

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. พิชิต ลำยอง)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. สุวงษ์ ไสมพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032581

เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนโดยหลอดสูญญากาศ

จิรพันธุ์ เด่นไพบูลย์
ชัยพฤฒิ วัชรีคุปต์
ชาญณรงค์ ชื่นสุชน
ไชคชัย จตุรวรพร
ณรงค์ ฮั้นประเสริฐ
อ. พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. สุวงษ์ โสมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านการหลอมหรือให้ความร้อนแก่โลหะมีบทบาทสำคัญในงานอุตสาหกรรมหลักเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการคิดค้นเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนขึ้นมาใช้งาน

เครื่องเหนี่ยวนำความร้อน (InductionHeating) เป็นเครื่องที่ให้ความร้อนแก่โลหะ ซึ่งจะใช้หลักการเหนี่ยวนำของฟลักซ์แม่เหล็กอันเกิดจากขดลวดที่มีกระแสไหลผ่าน ฟลักซ์แม่เหล็กกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลอย่างมากบริเวณผิวของโลหะ ส่วนบริเวณแกนของเนื้อโลหะจะมีกระแสไหลน้อยกว่าที่ผิว ดังนั้นจึงเกิดความร้อนที่ผิวโลหะอย่างมาก

เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้ในโครงงานนี้จะใช้หลักการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือวงจร L-C แบบขนานหรือวงจรแท้งค์ (Tank circuit) และหลอดไตรโอด (Triode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUCTION HEATING BY OSCILLATOR TUBE

Jirapan Denpaibul
Chaipruet Watchareekup
Channarong Chuernsuchon
Chokchai Jaturaworaporn
Narong Hanprasert
Pichit Lamyong Advisor
Suwong Sompong Advisor
1992

Abstract

In the most recent time, the developement of the technological methods for heating metals in industrial process have been considerably improved. Consequently, Induction heating machine are come into being in a short time.

An induction heating machine, prevalently used in metals works, is a heat causing equipment which work by inducting magnetic fluxes in solenoids. This procedure effect a number of current at surface of desired metal. Simutaneously, the kernal of such metal is also induced a very little current which is considered negligible. The result of phenomena is determined a "Skin effect".

The induction heating machine executed in this project employs oscillator circuit concepts that constitute pararelled L-C tank and triode tube.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
	หลอดไตรโอดและออสซิเลเตอร์	1
	คุณสมบัติของหลอดไตรโอด	7
	การขยายสัญญาณของหลอดไตรโอด	13
	การใช้หลอดตัดสัญญาณ	16
บทที่ 2	ทฤษฎี	
	ส่วนประกอบและคุณสมบัติของวงจรออสซิเลเตอร์และ L-C แบบขนาน	18
	คุณลักษณะของวงจร L-C Resonance ในอุดมคติ	20
	ผลของวงจรแท้งค์ (Tank circuit) ในอุดมคติ	22
	วงจรแท้งค์ในทางปฏิบัติ	26
	อุปกรณ์ผลิตสัญญาณที่ใช้ในการออสซิเลท	33
	การขยายกำลังของหลอด	34
	การทำงานของวงจรแท้งค์ในวงจรขยายคลาสซี (Class C)	38
	การวิเคราะห์ Load-Line ของวงจรขยายหลอดสูญญากาศ	41
	ความหมายของการป้อนกลับในวงจรออสซเลท	47
	ผลของการป้อนกลับแบบบวกต่ออัตราการขยาย	50
	พิจารณาเฟสของสัญญาณป้อนกลับ	53
	การจำกัดแอมปลิจูดโดยการควบคุมการไบอัสโดยอัตโนมัติในวงจรคลาสซี	55
	Blocking Oscillator	58
บทที่ 3	ผลการทดลอง	60
บทที่ 4	สรุปและวิจารณ์	91
	ภาคผนวก	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
รูป 1.1	สัญญลักษณ์และการทำงานของหลอดไตรโอด	2
รูป 1.2	ค่าของศักดาไฟฟ้าที่แปรกับระยะทางระหว่างคาโธดกับเพลท	3
รูป 1.3	เมื่อกริดเป็นบวกจะมีกระแสในกริดและผลของกระแสเพลท	3
รูป 1.4	ลักษณะสมบัติทางด้านกริดของหลอดไตรโอด	3
รูป 1.5	เปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้ากับระยะทางของไดโอด	4
รูป 1.6	เปรียบเทียบผลของกริดโดยอิเลคตรอนคือลูกหิน	5
รูป 1.7	ศักย์ไฟฟ้ากับระยะทางระหว่างคาโธดกับเพลท	5
รูป 1.8	การคำนวณค่าความต้านทานเพลทจากคุณลักษณะเพลท	9
รูป 1.9	การคำนวณค่า จากคุณลักษณะของเพลท	9
รูป 1.10	การคำนวณค่า G_m จากคุณลักษณะของเพลท	11
รูป 1.11	ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทกับกระแสเพลท	11
รูป 1.12	การทำงานของหลอดไดโอดเมื่อมีสัญญาณเข้าที่กริด	14
รูป 1.13	เส้นแสดงลักษณะคุณลักษณะของหลอดไตรโอด 6J5	15
รูป 1.14	แสดงวงจร Thevenin-Norton เพื่อใช้ในการคำนวณ	15
รูป 1.15	การใช้หลอดในการตัดสัญญาณ	17
รูป 2.1	แสดงค่าความสูญเสียชนิดต่างๆ ในวงจรแท้งค์	18
รูป 2.2	แสดงค่าความต้านทานอนุกรม R_L และ R_C ซึ่งแทนค่าความสูญเสียในวงจร	18
รูป 2.3	แสดงความต้านทาน R_p ซึ่งใช้แทนค่าความสูญเสียในวงจร	19
รูป 2.4	แสดงความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดเหนี่ยวนำที่มีกระแสไหลผ่าน	19
รูป 2.5	Inductor และ Capacitor ในอุดมคติจะไม่มีการสะสมพลังงานจากแหล่งจ่าย AC	20
รูป 2.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดา, กระแส และกำลังของขดลวดในอุดมคติ	21
รูป 2.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดา, กระแส และกำลังของตัวเก็บประจุ	21
รูป 2.8	กราฟแสดงศักดา, กระแส และกำลังของตัวความต้านทานในอุดมคติ	22
รูป 2.9	วงจรแท้งค์ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ในอุดมคติ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Inductive กับ Capacitive reactance กับความถี่ 24
รูป 2.11 ตัวอย่างการจับคู่ขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในลักษณะต่างๆ เพื่อให้ได้ความถี่ Resonance ที่ต้องการ 25
รูป 2.12 แสดง Frequency Response ของวงจร L-C Tank แบบขนาน 25
รูป 2.13 แสดงเงื่อนไขขณะเกิด Resonance ของ L-C Tank แบบขนาน 26
รูป 2.14 กราฟการเกิด Resonance แสดงผลของ Q ที่มีต่อ Frequency Selectivity 27
รูป 2.15 แสดง Phase Response ของวงจร LC-Tank แบบขนาน 31
รูป 3.1 วงจรการสับสวิทช์สำหรับกระตุ้นการ oscillator ในวงจร L-C Tank 33
รูป 3.2 หลอดสูญญากาศทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิทชิง เมื่อไบอัสกริดด้วยค่าที่เหมาะสม 34
รูป 3.3 การขยายแบบเชิงเส้นหรือแบบปฏิภาคในแอมปริฟายเออร์คลาสเอ 35
รูป 3.4 คุณสมบัติของแอมปลิฟลายเออร์คลาสเอความถี่ต่ำ 36
รูป 3.5 แอมปลิฟลายเออร์คลาสเอ, บี และซี 37
รูป 3.6 แอมปลิฟลายเออร์คลาสซีกับวงจรแท้งค์ที่เกิดการ Resonance ในวงจรเอาท์พุท 38
รูป 3.7 การไบอัสแบบ Grid-leak ในแอมปลิฟลายเออร์คลาสซี 40
รูป 3.8 วงจรขยายไบอัสด้วยตัวเองแบบคอมมอน-คาโธดสเตจเดียว 41
รูป 3.9 วงจรเพลทเมื่อ $V_p = 0$ และค่ากระแสเพลท I_p มีค่าสูงสุด 42
รูป 3.10 แสดงเพลทคาแรคเทอริสติคที่จุดยอดจุดหนึ่ง 42
รูป 3.11 วงจรเพลทเมื่อ $I_p = 0$ และ $V_p = V_{pp}$ 43
รูป 3.12 แสดงคุณสมบัติของเพลทที่จุดยอดจุดหนึ่ง 43
รูป 3.13 คุณสมบัติของเพลทกับเส้นโหลดที่สร้างขึ้น 44
รูป 3.14 Quiescent Point 45
รูป 3.15 กราฟแสดงพื้นฐานของการขยายวงจรขยาย 46
รูป 4.1 แสดงวงจรพื้นฐานของ Feedback oscillator 47
รูป 4.2 หน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆ ของวงจร Feedback oscillator 48
รูป 4.3 แสดง Noise Voltage ที่ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณที่มีความถี่หลายๆ ความถี่ 48
รูป 4.4 แสดง Noise Voltage Gain K ที่เป็นอินพุทของวงจร Oscillator 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.5 แสดง Noise Voltage Gain K ที่มีต่อวงจร Amplifier แบบ positive Feedback 51
รูป 4.6 วงจรที่ใช้ศึกษาสมการ K' = k/1-KB 52
รูป 4.7 กราฟแสดงค่าสัญญาณ Feedback ที่น้อยที่สุดในการ Oscillator 53
รูป 4.8 แสดงเงื่อนไขของการ Feedback แบบต่างๆ ในวงจร Amplifier และ Oscillator 54
รูป 4.9 แสดงภาวะการจำกัด Amplitude ของการไบอัสแบบ Grid leak 56
รูป 4.10 แสดงวงจร Blocking oscillator 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	แสดงสมการของค่า Q ขณะเกิด Resonance (Q_0)	30
ตาราง 2.2	แสดงการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจร L-C Tank แบบขนานโดยใช้ Q_0	30
ตาราง 2.3	แสดงความสัมพันธ์อื่นๆ ที่เกิดขึ้นในวงจร L-C Tank แบบขนาน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

หลอด Triode และออสซิลเลเตอร์

หลอดไตรโอดเป็นการพัฒนาจากหลอดไดโอด เพื่อความจำเป็นในการควบคุมสัญญาณ เมื่อพิจารณาจากพื้นฐานของหลอดไดโอดจะเห็นว่าไดโอดประกอบด้วยแผ่นโลหะสองแผ่น แผ่นหนึ่งเป็นเพลทและอีกแผ่นหนึ่งเป็นคาโธด เมื่อคาโธดได้รับความร้อน อิเลคตรอนจากคาโธดจะหลุดออกมาและถ้าให้แรงดันไฟบวกที่เพลทอิเลคตรอนเหล่านี้จะวิ่งไปยังเพลท จึงทำให้มีกระแสเพลทไหล เมื่อพิจารณาจากวงจรโดยทั่วไปของการต่อหลอดไดโอด โดยการป้อนสัญญาณอินพุทเข้าทางขั้วคาโธด กระแสเพลทจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้แรงดันเอาท์พุทคร่อมตัวต้านทานโหลด แรงดันเอาท์พุทที่เกิดขึ้นย่อมต้องมีค่าน้อยกว่าแรงดันอินพุทเสมอ

เมื่อคิดถึงความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุทและแรงดันเอาท์พุทแล้ว จะเห็นได้ว่าหลอดไดโอดไม่สามารถที่จะให้ขนาดของสัญญาณขยายใหญ่ขึ้นได้ จนได้มีการค้นพบว่าสามารถที่จะทำได้ โดยการเพิ่มขั้วมาอีกหนึ่งขั้วเพื่อทำให้เกิดการขยายสัญญาณได้ ขั้วที่มาเพิ่มใหม่นี้เรียกว่า คอนโทรลกริด (Control Grid) ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า กริด (Grid)

1.1 การทำงานของหลอดไตรโอด

เพลทและคาโธดสำหรับหลอดไตรโอดมีหน้าที่เช่นเดียวกับหลอดไดโอด คือทำให้เกิดการไหลของกระแสระหว่างขั้วทั้งสองที่เรียกว่ากระแสเพลท สำหรับสิ่งที่มีเพิ่มเข้ามาคือกริดซึ่งมีลักษณะเป็นตะแกรงลวดเส้นเล็กๆ โดยมากทำมาจากสารโลหะพวกมิเกิลโมลิบน้ำหรือเหล็กว่างขวางไว้ตรงส่วนบริเวณช่องว่างระหว่างเพลทกับคาโธด ดังนั้นอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นที่คาโธดจะถูกเหนี่ยวนำโดยแรงดันที่เพลท ให้เดินทางผ่านช่องว่างระหว่างโลหะที่ทำเป็นตัวกริดโดยจะต่อขั้วออกภายนอกเป็นขาหนึ่งของหลอด ครั้นเมื่อป้อนแรงดันเข้าไปที่กริดผ่านทางขาหลอดนั้น ส่วนของแรงดันที่กริดจะเป็นตัวควบคุมการไหลของอิเลคตรอนจากคาโธดไปยังเพลท ดังนั้นกระแสเพลทหรือจำนวนอิเลคตรอนที่จะเดินทางไปถึงเพลทได้ต้องขึ้นอยู่กับสองสิ่ง คือ แรงดันที่เพลท และแรงดันที่กริด

การควบคุมการไหลของอิเลคตรอนด้วยกริด

การไหลของกระแสอิเลคตรอนระหว่างคาโธดและเพลท จะถูกควบคุมด้วยแรงดันที่ให้ไว้กับกริดเมื่อเทียบกับคาโธดหรือแรงดัน V_{GK} โดยทั่วไปเรียกกันสั้น ๆ ว่าแรงดัน

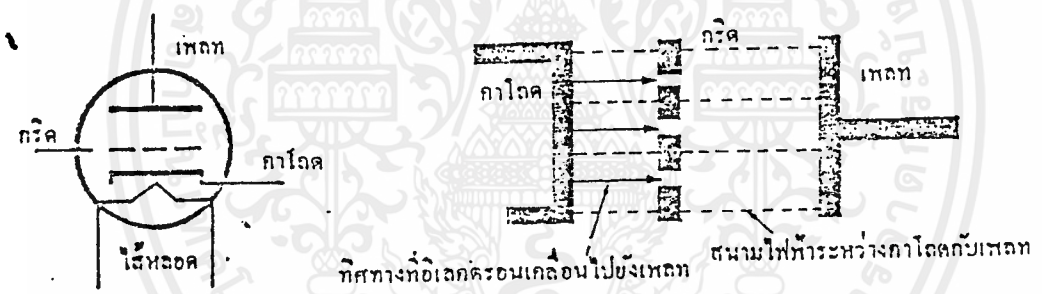
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กริด (Grid Voltage) โดยแรงดันกริดนี้สามารถทำให้เป็นบวกเป็นลบหรือเป็นศูนย์ได้

จากการที่กล่าวมาแล้วว่าในบริเวณระหว่างกริดกับคาโธดจะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น และเมื่อป้อนแรงดันกริดที่มีค่าเป็นลบ ทิศทางของสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางตรงข้ามกับการไหลของอิเลคตรอนและบริเวณที่ตำแหน่งกริดจะมีค่าใกล้ชิดกับคาโธดมากกว่าเพลท ในขณะที่กริดมีค่าเป็นลบกริดจะไม่ดึงอิเลคตรอนเข้าหาตัวมันเอง แต่จะผลักอิเลคตรอนไว้เนื่องจากเพลทมีศักดาเป็นบวกสูงมาก จึงมีอิเลคตรอนบางตัวผ่านช่องว่างระหว่างแผ่นกริดไปยังเพลทได้ ถ้าให้แรงดันที่กริดมีค่าเป็นลบมากขึ้นอิเลคตรอนจะไปยังเพลทได้น้อย ดังนั้นแรงดันที่กริดจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการไหลของกระแสเพลท ดังจะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันที่กริดมีค่าเป็นลบมากขึ้น ส่วนของกริดจะต้านตัวอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นจากคาโธดไว้ไม่ให้ไหลไปที่เพลทเป็นต้น เราพอสรุปได้ว่าผลของแรงดันที่กริดมีต่อกระแสเพลทเป็นดังนี้

1. เมื่อแรงดันกริดเป็นลบมากขึ้น จะทำให้มีกระแสเพลทลดน้อยลง และถ้ากริดเป็นลบน้อยลงจะทำให้มีกระแสเพลทมากขึ้น

2. ถ้าทำให้แรงดันที่กริดมีค่าเป็นลบสูงมาก ๆ จนถึงค่าหนึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจรเพลทถึงแม้ว่าเพลทจะมีแรงดันเป็นบวกก็ตาม

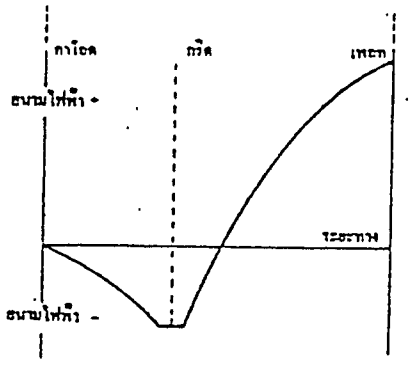


รูป 1.1 สัญญลักษณ์และการทำงานของหลอดไตรโอด

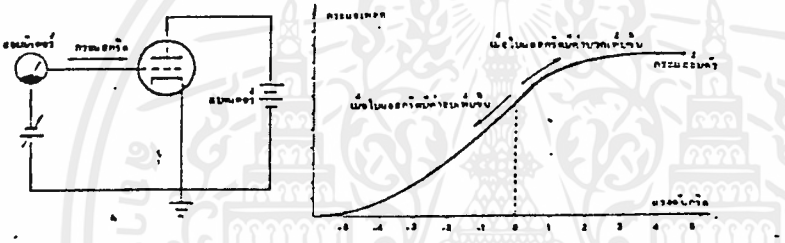
<u>แรงดันคัทออฟ</u>

แรงดันไฟลบที่กริดที่พอดีทำให้กระแสเพลทเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีกระแสเพลท แรงดันกริดค่านี้ยังขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนให้กับเพลทด้วย ดังนั้นการที่จะบอกได้ว่าแรงดันกริดคัทออฟนั้นจึงต้องกำหนดค่าแรงดันเพลทไว้ด้วยเช่นกัน ในหลอดบางชนิดแรงดันกริดคัทออฟมีค่าต่ำมากเพียงค่าประมาณ –1 โวลท์ ก็ทำให้กระแสเพลทไม่ไหลได้แล้ว แต่บางหลอดแรงดันนี้อาจมีค่าสูงถึง –60 โวลท์ ขึ้นกับเงื่อนไขในการใช้งานแต่ละวงจร

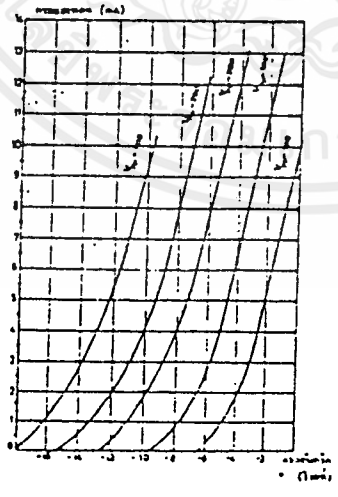
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.2 ค่าของศักดาไฟฟ้าที่แปรกับระยะทางระหว่างคาโธดกับเพลท



รูป 1.3 เมื่อกริดเป็นบวกจะมีกระแสในกริดและผลของกระแสเพลท



รูป 1.4 ลักษณะสมบัติทางด้านกริดของหลอดไตรโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

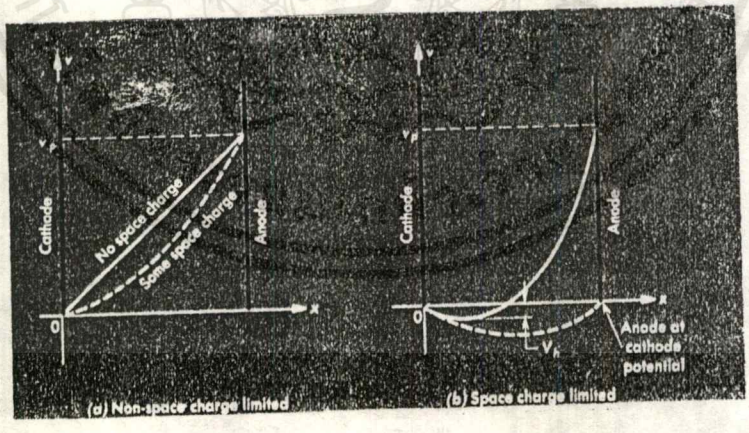
รูปที่ 1.5 แสดงถึงผลของประจุค้างซึ่งจะมีผลต่อการไหลของอิเล็คตรอน ในรูป 1.5(a) จะเห็นว่าถ้ามีผลของประจุค้างรูปกราฟจะโค้งลง แสดงว่าประจุค้างแบบลบมีผลทำให้อิเล็คตรอนเคลื่อนที่ไปถึงอาโนดได้ง่ายขึ้น (V ต่ำลง) และถ้าไม่มีผลของประจุค้างกราฟจะเป็นเส้นตรงดังรูป ในรูป 1.5(b) เป็นการแสดงในกรณีที่ประจุค้างระหว่างอิเล็คตรอนมีค่ามากขึ้นอย่างมาก ทำให้ศักดาไฟฟ้าเป็นลบใกล้คาโธด ซึ่งมีผลให้เกิดสนามไฟฟ้ามีทิศให้อิเล็คตรอนกลับมากที่คาโธด ยกเว้น อิเล็คตรอนที่มีพลังงานมากกว่า V_h ซึ่งจะสามารถผ่านไปดึงอาโนดได้ ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่อาโนดลดลง ประจุลบที่ค้างมีค่ามากขึ้นจะทำให้ V_h มีค่ามากขึ้นอิเล็คตรอนที่ไปถึงอาโนดจึงมีค่าลดลง และค่าอาโนดมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับคาโธดแล้ว ดังรูป 1.5(b) จะเห็นว่า V_h มีค่ามากขึ้นดังนั้นจึงมี อิเล็คตรอนไปที่อาโนดน้อยมาก

หรือจะพิจารณาแบบง่าย ๆ คือ สมมุติเป็นลูกกลมเกลี้ยงลูกหนึ่ง ดังรูป 1.6 โดยเป็นการปล่อยลูกกลมจากจุดA โดยมีความเร็วต้น = 0ไม่คิดถึงผลของแรงเสียดทาน ซึ่งจะตรงกับคุณสมบัติของไดโอดในรูปที่ 1.5(a)

และในรูปที่ 1.6(b) จะเห็นว่ามีเนิน Y_h เกิดขึ้น นั่นแสดงว่า ถ้าเราปล่อยลูกกลมด้วยความเร็ว = 0 นั้นลูกกลมจะไม่สามารถข้ามเป็น Y_h ได้ โดยตรงปล่อยที่

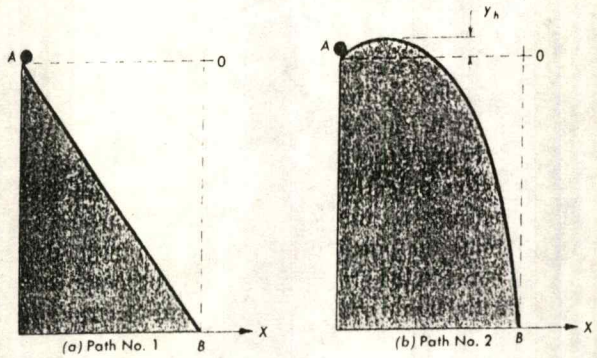
$$1/2\ mv^2 \ > \ mg\ V_h \quad , \quad g \ = \ \text{แรงโน้มถ่วงของโลก}$$

ซึ่งจะพ้องกับ รูป 1.5(b)



รูป 1.5 เปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้ากับระยะทางของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.6 เปรียบเทียบผลของกริดโดยอิเล็คตรอนคือลูกหิน

ในการใช้กริดควบคุมก็เหมือนกับการเพิ่มหรือลดขนาดเป็น Y_h นั่นเอง ซึ่งจะทำให้ลูกกลมไปถึง จุด B ได้ง่ายหรือยากขึ้น แต่การ Bias กริดต้องเป็นแบบลบเมื่อเทียบกับคาโธด เพื่อป้องกันกระแสกริดซึ่งเกิดจากอิเล็คตรอนวิ่งมาชนกริดแทนที่จะไปอาโนด รูป 1.7 แสดงให้เห็นว่าผลของการควบคุมกริดมีผลต่อกระแสอิเล็คตรอน

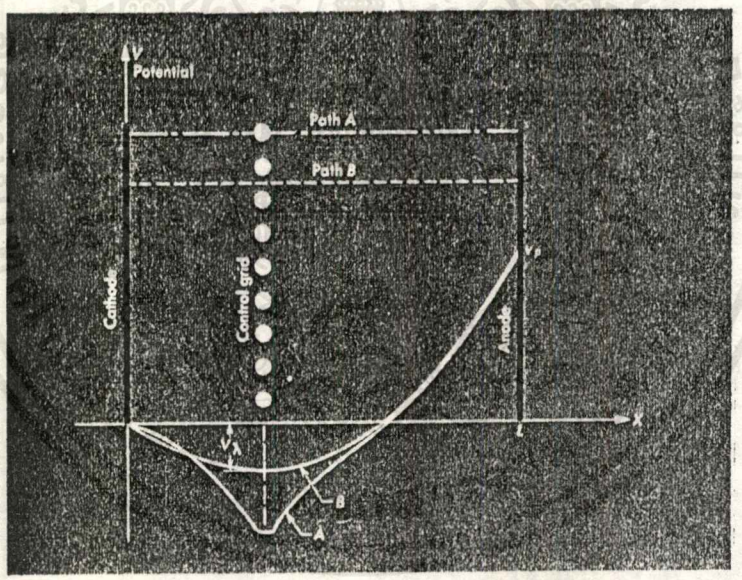


Fig. 9.10 Potential vs. distance between cathode and anode. Path *B* lies between grid wires, and path *A* passes through a grid wire.

รูป 1.7 เปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้ากับระยะทางระหว่างคาโธดกับอาโนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการใช้แรงดันกริดเป็นศูนย์

เมื่อแรงดันกริดมีค่าเท่ากับแรงดันคาโธดหรือแรงดันกริดมีค่าเป็นศูนย์ ในกรณีนี้จะไม่มีความต่างศักย์ระหว่างกริดกับค่าโธด ดังนั้นการไหลของกระแสอิเลคตรอนจึงขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันไฟเพลทแต่เพียงอย่างเดียว

ในขณะที่ให้แรงดันกริดมีค่าเป็นศูนย์จะมี กระแสจากประจุในที่ว่าง จำนวนเล็กน้อยไหลผ่านกริดไปคาโธดได้ ส่วนของกระแสนี้โดยทั่วไปมีค่าน้อยมาก

หลอดที่ให้แรงดันกริดมีค่าเป็นศูนย์เมื่อเทียบกับคาโธด จึงทำหน้าที่เหมือนกับหลอดไดโอดโดยทั่วไปธรรมดา วิธีที่จะทำให้หลอดไตรโอดให้เป็นไดโอดว่าง ๆ ก็คือการปล่อยขากริดทิ้งไว้เฉยจะทำให้ไม่มีแรงดันระหว่างกริดและคาโธด ไตรโอดจึงเสมือนกับเป็นหลอดไดโอดแต่เพียงอย่างเดียว

ผลของหลอดไตรโอดเมื่อแรงดันกริดเป็นบวก

เมื่อทำให้แรงดันกริดมีค่าเป็นบวกจะเกิดสนามไฟฟ้า ที่บริเวณระหว่างกริดและคาโธด ทำให้กระแสเพลทที่แต่เดิมเคลื่อนที่จากคาโธดไปยังเพลทน้อยลง และจะมีกระแสกริดเกิดขึ้น ลักษณะคุณสมบัติที่แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันกริดกับกระแสเพลท

โดยปกติกระแสกริดเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการและมิได้ใช้งานในวงจรอิเลคทรอนิกส์ หลอดไตรโอดโดยทั่วไปจะใช้เมื่อแรงดันกริดเป็นลบหรือศูนย์เท่านั้น อีกประการหนึ่งคือเมื่อมีกระแสกริดเกิดขึ้นอิเลคตรอนจะวิ่งไปชนกริดและจะเป็นผลทำให้กริดเกิดการเสียหายได้ง่าย อายุการใช้งานของหลอดไตรโอดก็จะน้อยลง

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเพลทกับแรงดันไฟกริด

ในเรื่องของแรงดันกริดคัทออฟ (Grid cutoff voltage) จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนค่าแรงดันนี้ให้กับกริดจะเป็นผลทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเพลท สมมติว่าตัวต้านทานให้เป็นโหลดกับวงจรเพลท ค่าของกระแสและแรงดันคร่อมตัวโหลดจะมีค่าเป็นศูนย์

แต่ครั้นเมื่อเพิ่มแรงดันกริดลงแต่ยังคงให้มีค่าเป็นลบจะเกิดจากการไหลของกระแสในวงจรเพลทค่าของกระแสนั้นจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันกริดขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันคร่องตัวต้านทานโหลด เมื่อพิจารณาวงจรทางด้านเพลทจะประกอบด้วยแรงดันสามส่วนที่ประกอบเป็นวงจรเพลทและเขียนสมการของแรงดันตามกฎเคอร์ชอฟ

$$V_{pp} = V_p + V_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_{pp} คือค่าแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรเพลท

V_p คือค่าแรงดันที่ตกคร่อมหลอด

V_L คือค่าแรงดันไฟตกคร่อมโหลด

จะเห็นได้ว่าแรงดันกริดจะมีความสัมพันธ์กับกระแสเพลทและในทำนองเดียวกันก็ทำให้ความสัมพันธ์กับแรงดันคร่อมเพลทด้วย

สมการกระแสเพลทที่สัมพันธ์กับค่าอื่นเป็น

$$i_b = k(e_c + e_b/m)^{3/2}$$

$$= k'(me_c + e_b)^{3/2}$$

e_b : ความต่างศักย์ของเพลทกับคาโธด

e_c : ความต่างศักย์ของกริดกับคาโธด

m : ค่าอัตราการขยายของหลอด

<u>คุณสมบัติของหลอด TRIODE</u>

การทำงานเบื้องต้นของหลอดไตรโอดได้กล่าวมาแล้ว ลักษณะคุณสมบัติของหลอดไตรโอดจึงขึ้นอยู่กับตัวพารามิเตอร์ เพียง 3 ตัว คือ แรงดันกริด แรงดันเพลท และกระแสเพลทและลักษณะคุณสมบัตินี้อธิบายได้ด้วยกราฟลักษณะสมบัติของหลอดไตรโอด

ในรูปของลักษณะคุณสมบัติของทางด้านกริดของไตรโอด เมื่อปรับแรงดันกริดให้มีการเปลี่ยนแปลงไปจะเป็นผลทำให้กระแสเพลทเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น เมื่อแรงดันที่กริดมีค่า -9 โวลท์ จะมีกระแสไหลผ่านเพลท 0.1 มิลลิแอมป์โดยที่ป้อนแรงดันเพลท 150 โวลท์ แต่ถ้าเปลี่ยนค่าแรงดันไฟเลี้ยงเพลท V_{pp} เปลี่ยนไป ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกริดกับกระแสเพลทจะเปลี่ยนไปและจะได้กราฟเส้นใหม่อีก ดังจะเห็นว่ากราฟลักษณะนี้จึงเป็นกลุ่มของเส้นกราฟที่ขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันเพลท ลักษณะสมบัติดังกล่าวของหลอดไตรโอดจึงเป็นกลุ่มของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกริดกับกระแสเพลท โดยบอกค่าแรงดันเพลทคงที่ ลักษณะสมบัติเช่นนี้จึงมีชื่อเรียกว่า ลักษณะสมบัติทางด้านกริด

ลักษณะสมบัติอีกข้อหนึ่งที่นับว่าสำคัญคือ ลักษณะสมบัติของกลุ่มเพลท (plate family) ซึ่งหาได้โดยการให้แรงดันไฟฟ้าที่กริดมีค่าคงที่แล้วหาความสัมพันธ์ของแรงดันเพลท V_{pk} กับกระแสเพลท I_p ดังนั้นที่ค่าแรงดันกริดค่าหนึ่งจะให้กราฟหนึ่งเส้น แต่เมื่อเปลี่ยนค่าแรงดันกริดไป เส้นกราฟจะเปลี่ยนไป ดังนั้นกราฟลักษณะสมบัตินี้จึงแสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของเส้นที่เรียกว่า ลักษณะสมบัติทางด้านเพลท

อัตรากำลังงานสูงสุด

เมื่อมีกระแสเพลทไหลผ่านหลอด แรงดันตกคร่อมหลอดจะมีค่า ๆ หนึ่ง แรงดันและกระแสนี้จะเป็นผลทำให้กำลังงานสูญเสียเกิดขึ้นที่หลอด และกำลังงานสูญเสียนี้จะแปรรูปออกมาในรูปของความร้อนที่นอกเหนือจากความร้อนที่เกิดจากการเผาไส้หลอด ดังนั้นหลอดทั่วไปจึงต้องทนกำลังสูญเสียได้มากที่สุดค่าใดค่าหนึ่ง และถ้ากำลังสูญเสียในหลอดมีมากกว่าค่าที่มันจะระบายออกในรูปของความร้อนหรือค่าที่จำกัดไว้แล้ว หลอดก็จะเกิดการเสียหายได้ ค่ากำลังงานสูญเสียสูงสุดกำหนดด้วยตัวอักษรย่อว่า P_{max} และในขณะหลอดทำงานกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นที่หลอดจะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันเพลท และกระแสเพลท (I_p V_p) ดังนั้นในการใช้งานค่ากำลังงานสูญเสียนี้จะต้องน้อยกว่าค่ากำลังงานสูญเสียสูงสุดของหลอดคือสามารถกำหนดในรูป $I_p V_p < P_{max}$

ค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญของหลอด หลอดใช้งานอาจมีรูปภายนอกแตกต่างกันได้มาก และสิ่งหนึ่งมีผู้ผลิตจะกำหนดเป็นคุณสมบัตินอกเหนือจาก P_{max} แล้วยังมีสิ่งที่ผู้ผลิตกำหนดให้อีก เช่น อัตราขยายของหลอด ความต้านทานเพลท และความนำร่วมของหลอด

อัตราขยายของหลอด μ (Amplification)

หลอดที่มีคุณสมบัติในการขยายแรงดันของสัญญาณ ดังนั้น อัตราขยายของหลอดจึงเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเพลทกับแรงดันกริด ค่า ๆ นี้มักจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสเพลท ดังนั้นในการกำหนดค่าอัตราที่แท้จริงของหลอดจึงจำเป็นต้องกำหนดค่ากระแสเพลทลงไปด้วย และค่าของอัตราขยายซึ่งใช้อักษรย่อว่า μ กำหนดเป็นสมการทางคณิต-ศาสตร์ได้

μ = การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเพลท/การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกริด

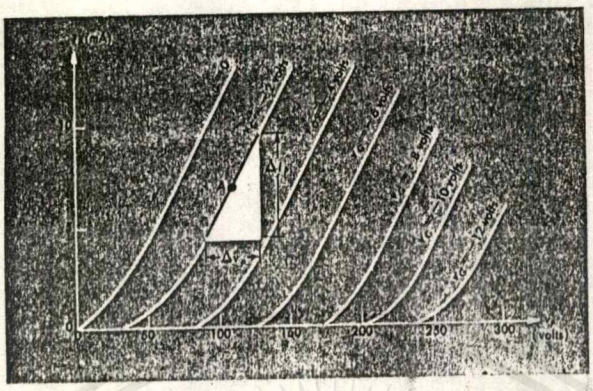
$\mu = V_p / V_G$ เมื่อ I_p มีค่าคงที่

อัตราขยายจึงเป็นค่าไม่มีหน่วย เป็นค่าที่หาได้โดยตรงจากการทดลอง หรือหาได้จากกราฟคุณสมบัติของหลอดไตรโอด

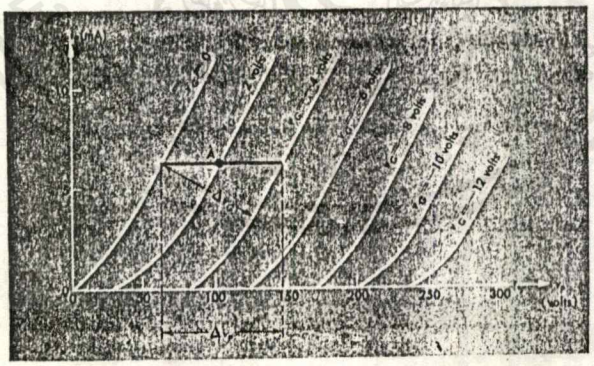
การวัดหาอัตราขยายของหลอดโดยตรง

จากรูปของของวงจรสำหรับหาอัตราขยายของวงจรหลอด เป็นวงจรที่ใช้หาค่าอัตราการขยายของหลอดไตรโอด โดยถ้าต้องการหาค่าอัตราการขยายของหลอดเมื่อกำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.8 การคำนวณค่าความต้านทานเพลทจากคุณลักษณะเพลท (Plate Characteristic)



รูป 1.9 การคำนวณค่า จากคุณลักษณะของเพลท (Plate Characteristic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
032581

หนดค่ากระแส I_p มีค่า 5 มิลลิแอมป์ และแรงดันเพลท V_p 150 โวลท์ ณ จุดทำงานนี้วัดค่าแรงดันกริดได้ V_G เท่ากับ -8 โวลท์ เราทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันกริดมา -5 โวลท์ ดังนั้น V_G = 3 โวลท์ ค่า ๆ นี้เป็นผลทำให้กระแสเพลทเปลี่ยนแปลงไป เพื่อที่จะให้กระแสเพลทมีค่าคงที่ จึงจำเป็นจะต้องลดแรงดันลงมาจนกระทั่งแรงดันที่เพลทลดลงเหลือเพียง 120 โวลท์ นั่นคือ แรงดันเพลทเปลี่ยนแปลงไป 30 โวลท์ ค่าอัตราการขยายของหลอดจึงหาได้จาก V_p / V_G = -30/3 = -10 โดยที่ค่าอัตราการขยายนี้จะไม่มีหน่วยและมีเครื่องหมายลบ นอกจากนี้ยังทำการหาค่าอัตราการขยายหลอดได้อีกวิธีหนึ่งคือ การคำนวณหาค่าอัตราขยายจากกราฟลักษณะสมบัติของหลอด

สภาพความนำร่วม (mutual conductance)

ค่าสัมประสิทธิ์นี้ อธิบายได้ด้วยผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสเพลทต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันกริด· เมื่อกำหนดให้ค่าแรงดันเพลท V_p มีค่าคงที่ ตามสมการของสภาพความนำร่วม g_m เขียนได้ดังนี้

$$g_m = I_p / V_G$$ โดยค่าของ V_p มีค่าคงที่

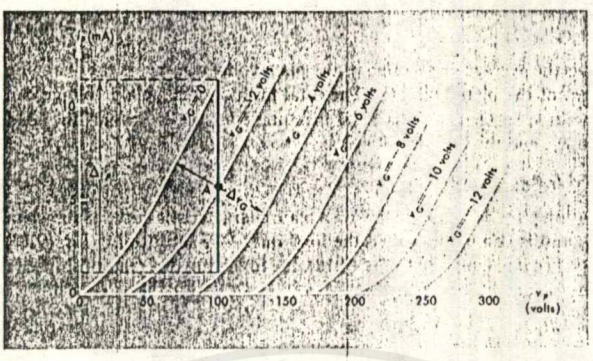
เนื่องจากสภาพความนำร่วมหรือ g_m เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสต่อแรงดัน ดังนั้นหน่วยของสภาพความนำจึงมีหน่วยเป็น ส่วนกลับของความต้านทาน หรือ mho ค่าสภาพความนำร่วมนี้สามารถหาได้จากการวัดหรือการทดลองจากหลอดจริง ๆ เช่นเดียวกับอัตราขยายของหลอด นอกจากนี้ยังหาค่าสภาพนำร่วมได้จากกราฟลักษณะของหลอดไตรโอดได้เช่นเดียวกัน โดยการเขียนจุดสองจุดบนเส้นกราฟซึ่งพอประมาณได้ว่าเส้นต่อระหว่างสองจุดนั้นเป็นเส้นตรง จากจุดทั้งสองนี้ ลากมาอ่านค่าระยะบนแกนแรงดันและแกนกระแส อัตราส่วนระหว่างค่ากระแสและแรงดันที่วัดได้นี้จะเป็นค่าสภาพนำร่วม

ความต้านทานเพลท R_p (Plate resistance)

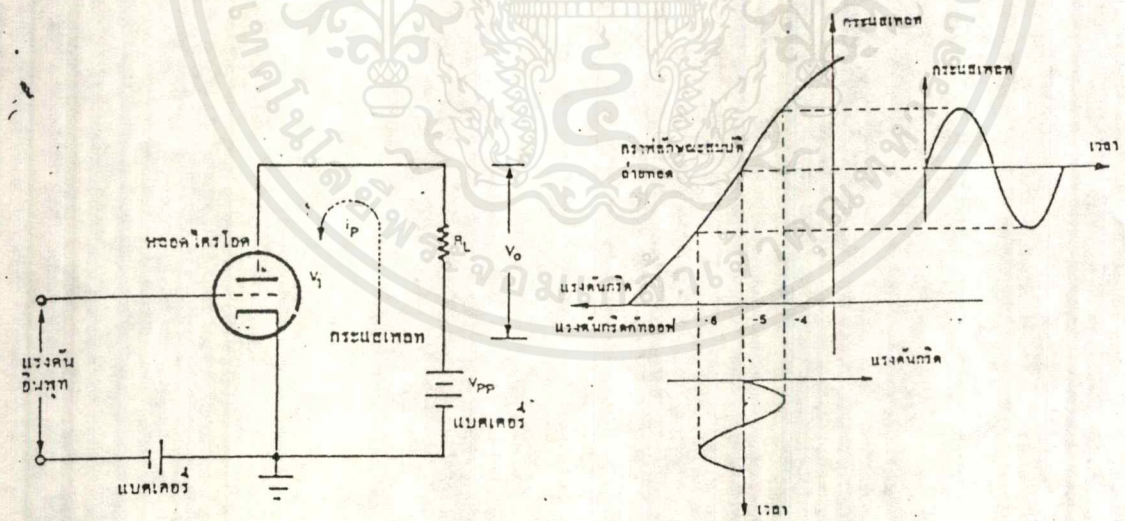
จากหัวข้อก่อน ๆ เกี่ยวกับการทำงานของหลอด เมื่อมีกระแสเพลทที่เป็นไฟสลับไหลผ่านหลอดระหว่างขั้วคาโธดกับเพลท โดยกำหนดให้แรงดันกริดมีค่าคงที่ ความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วเพลทกับคาโธดเรียกว่า ความต้านทานเพลท (r_p) ความต้านทานนี้เป็นทำให้เกิดกำลังสูญเสียในหลอด

สมการที่ใช้หาค่าความต้านทานเพลทคือ $r_p = V_p / I_p$ เมื่อ V_G มีค่าคงที่ ค่าความต้านทานเพลทนี้มีค่าเป็นโอห์ม และสามารถคำนวณได้โดยตรงจากกราฟของหลอด เช่นเดียวกับพารามิเตอร์อื่น ๆ ของหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.10 การคำนวณค่า G_m จากคุณลักษณะของเพลท (Plate Characteristic)



รูป 1.11 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทกับกระแสเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหลอด

ตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญของหลอดมีทั้งหมด 3 ตัวคือ μ, r_p และ g_m ซึ่งค่าทั้งสามขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของโครงสร้างของหลอด จากสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวพารามิเตอร์แต่ละตัว จะพบความสัมพันธ์ของตัวพารามิเตอร์ทั้งสามเป็นดังนี้

$$\mu = V_p / I_p \times I_p / V_G$$

$$= r_p \times g_m$$

โดยหมายความว่าที่ค่าใด ๆ ของแรงดันกริดและแรงดันเพลท ผลคูณของความต้านทานเพลทกับสภาพความนำร่วมจะมีค่าเป็นอัตราขยายของหลอด เมื่อจัดเทอมใหม่จะได้

$$r_p = \mu / g_m \quad \text{หรือ} \quad g_m = \mu / r_p$$

ค่าพารามิเตอร์ทั้งสามค่านี้จะแปรเปลี่ยนตามค่ากระแสเพลท จากกราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวพารามิเตอร์กับกระแสเพลทจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการขยายของหลอดที่ค่ากระแสเพลทมีค่าต่ำ ๆ จะมีค่าน้อยและจะค่อย ๆ เพิ่มจนเกือบมีค่าคงที่เมื่อค่ากระแสเพลทมากขึ้น ส่วนค่าความต้านทานจะมีค่าลดลงเมื่อกระแสเพลทมากขึ้น ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับค่าของสภาพความนำไฟฟ้าร่วม

แรงดันคัทออฟของกริด

เมื่อให้แรงดันกริดมีค่าเป็นลบจนถึงค่า ๆ หนึ่งจะไม่มีกระแสเพลทไหล ค่าแรงดันนี้เรียกว่า แรงดันกริดคัทออฟ ค่าแรงดันนี้สามารถหาได้จากการทดลองโดยการเพิ่มแรงดันที่กริดขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีกระแสเพลทไหล โดยให้แรงดันเพลทมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ค่าของแรงดันกริดคัทออฟพอจะประมาณได้จากสูตร $V_{GD} = V_p / \mu$

เมื่อ V_{GD} คือค่าแรงดันกริดคัทออฟ

V_p คือค่าแรงดันเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การขยายสัญญาณของหลอดไตรโอด</u>

เพื่อที่จะอธิบายการทำงานได้ชัดเจน จึงขอยกสมการเพื่อใช้ในการอธิบาย โดย V_{GG} เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ และ V_g เป็นสัญญาณอินพุทโดยคิดว่าเป็นรูป sine ดังนั้น

$$V_G = V_g + V_{GG}$$

ดังนั้น กระแสเพลท (ip) ก็ได้มาจาก 2 ส่วน คือ

1) ส่วนของกระแสตรง (dc component)

2 ส่วนของกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงเราจึงได้

$$i_p = I_p + i_p$$

I_p = ส่วนของกระแสตรง

i_p = ส่วนของกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลง

$$v_p = V_p + v_p$$

V_p = ส่วนของแรงดันไฟฟ้าเพลทที่คงที่

V_p = ส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง

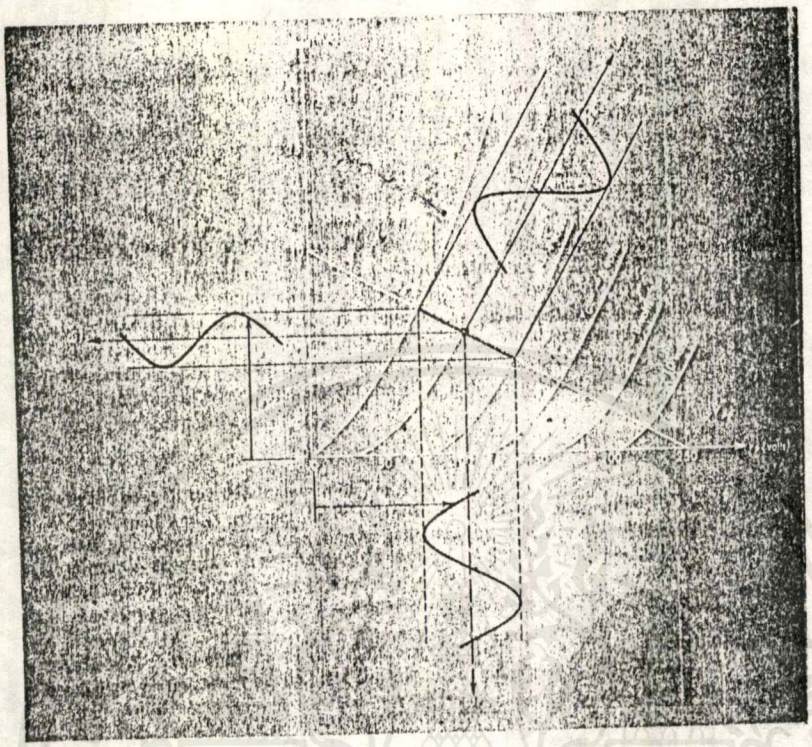
จากรูป เราสามารถเขียนสมการได้อีกคือ

$$v_p = P_{pp} - i_p B_L$$

ซึ่งสมการนี้เรานำไปเขียนเส้นตรงบนเพลท characteristic curve ดังแสดงในรูปที่ 1.12 และกราฟเส้นตรงนี้เรียกว่า load line

ถ้า v_g เป็น 0 ดังนั้น $i_p = v_p = 0$ (เพราะไม่มีส่วนที่เปลี่ยนแปลง) ดังนั้นก็จะเหลือเฉพาะส่วนที่คงที่ เราเรียกจุดนี้ว่า จุด Q ซึ่งแสดงในรูปที่ 1.12 ซึ่งจะเป็นจุดในการวัดค่า m , r_p , g_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.12 การทำงานของหลอดไตรโอดเมื่อมีสัญญาณเข้าที่กริด

<u>ตัวอย่าง</u>

หลอดไตรโอด A6 J5 มี B_L = 25,000 W ใช้งานที่ V_g = –2V และ V_{pp} 250 V

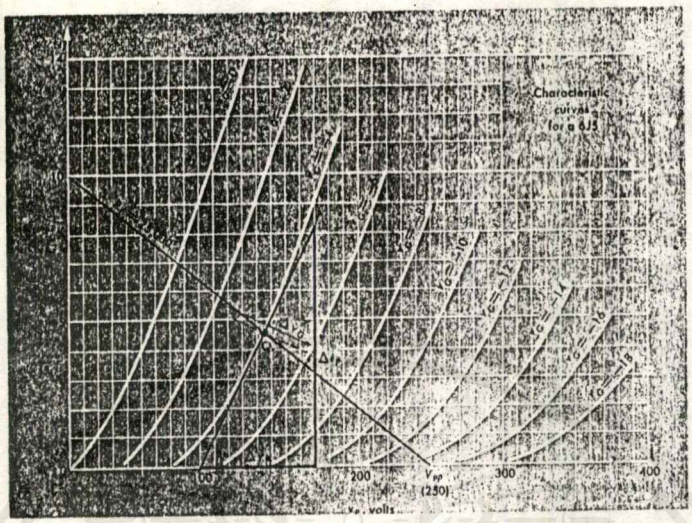
ในการหา พารามิเตอร์ต่าง ๆ เราจำเป็นต้องหาจุด Q ให้ได้ก่อนคือจุดในรูป 1.13

U = $\Delta V_p / \Delta V_G$ $|i_p$ = คงที่ = –8G/–4 = 20

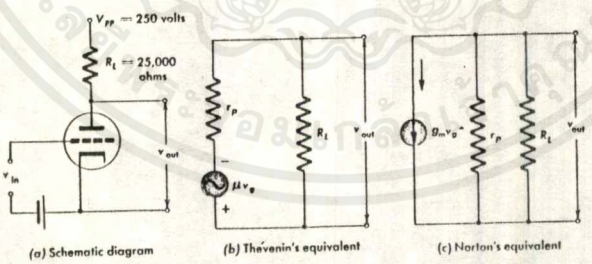
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$g_m = \Delta i_p / \Delta V_G \quad |V_p = \text{คงที่} = 0.0083/4 = 0.0021 \text{ mho}$

$c_p = \Delta V_p / \Delta I_p \quad |V_G = \text{คงที่} = 80/0.0083 = 9{,}600 \text{ W}$



รูป 1.13 เส้นแสดงลักษณะคุณลักษณะ(Characteristic Curve) ของหลอดไตโอด 6J5



รูปที่ 1.14 แสดงวงจร Thevenin-norton เพื่อใช้ในการคำนวณ

จาก รูปที่ 1.14b หาอัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = P_g \quad (-m\ B_L/c_p + B_L)$$

$$V_o/V_{in} = -m\ B_L/c_p + B_L$$

$$= -20(25,000)/9,600+25,000 = -14.4$$

การที่ได้อัตราขยายเป็น - แสดงว่า แรงดันเอาท์พุทต่าง phase กับ input 180° หรือใช้ทฤษฎี นอร์ตัน

$$V_o/V_{in} = -g_m\ C_p\ B_L/c_p + B_L$$

$$= -0.0021(9,600)(25,000)/9,600 + 25,000$$

$$= -14.5$$

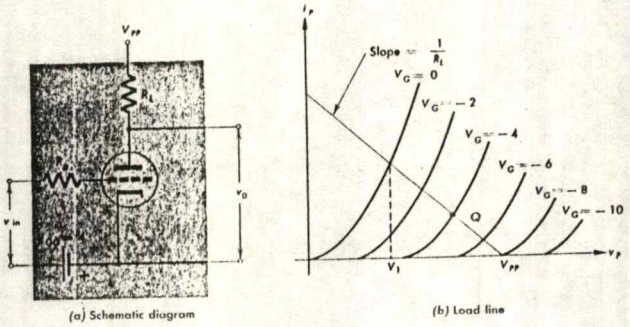
หรือใช้การพิจารณาจากกราฟที่จุด Q V_G เปลี่ยนจาก -2 เป็น -6 โดยที่ V_p เปลี่ยนจาก 103 ไป 161

ดังนั้น อัตราขยาย = (161-103)/(-6(-2)) = -14.5

<u>การใช้หลอดไตรโอดในการตัดสัญญาณ</u>

การใช้หลอดตัดสัญญาณ V_c แสดงตัวอย่างในรูปที่ (1.15) โดย 1.15(b) คือเส้น load line และ characteristic curve ยกตัวอย่างที่ Bias หลอดที่ -4V คงที่ โดยมีการ bias เป็นสัญญาณอินพุท ที่ + 4V คิดว่าขยายแบบเส้นตรง ถ้าอินพุทที่เข้ามามีค่าต่ำกว่า -4V ซึ่งทำให้แรงดันรวม < -8 Volt ซึ่ง -8 Volt เป็นจุดคัทออฟ (โวลท์ที่กริด = V_{pp}) ดังนั้น ไม่ว่าจะป้อนสัญญาณต่ำกว่า -8Vเท่าใดก็จะไม่ปรากฏทางเอาท์พุท เพราะเป็นจุดที่คัทออฟแล้วในทางตรงข้ามถ้าป้อนสัญญาณ มากกว่า + 4V ซึ่งจะทำให้แรงดันตกคร่อมที่กริดมีค่าเป็นบวก ในกรณีนี้จะเกิดการดูดอิเล็คตรอนจากคาโธด มายังกริดแทนที่จะเป็นเพลท จะเกิดกระแสกริดขึ้น แต่ในความเป็นจริง B_g มีค่าสูงมากประมาณ 1 M โอห์ม ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่าไม่ว่าจะมีสัญญาณเข้ามากกว่าเท่าใด แรงดันตกคร่อมกริดก็จะมีค่าไม่มากกว่า 0 Volt และแรงดันเอาท์พุทจะอยู่ที่จุด V1 เท่านั้น ดังนั้นสัญญาณจะถูกตัดที่ +4V และ -4V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.15 การใช้หลอดในการตัดสัญญาณ

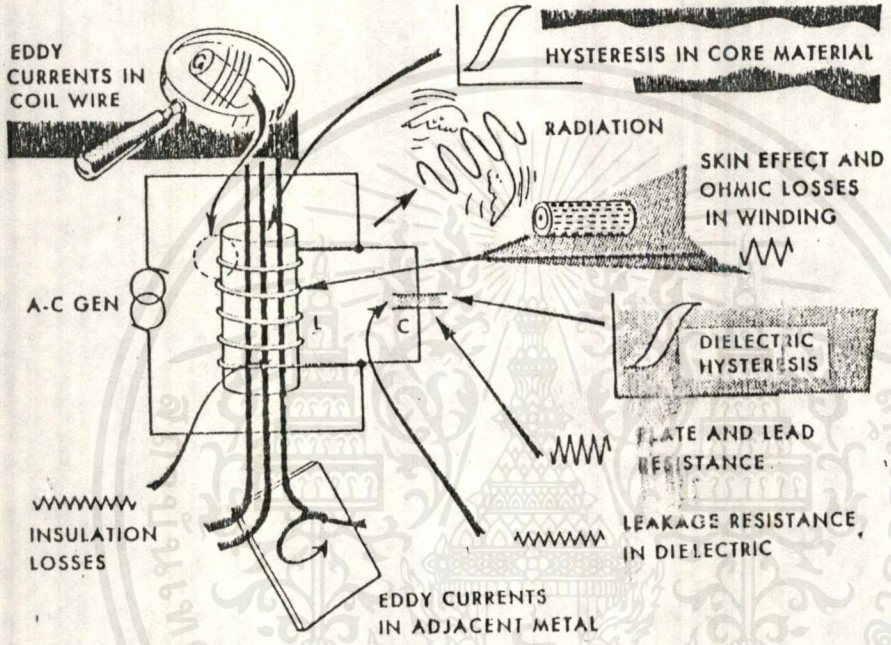
ถ้าเราเปลี่ยนจุด Q โดยถ้าเลื่อนจุด Q มาที่จุดคัทออฟ แรงดันรูปซายด์ด้านลบจะถูกตัดออกทั้งหมด ในทางตรงข้ามถ้าเราเปลี่ยนจุด Q มาที่ $V_G = 0$ ส่วนที่เป็นบวกจะถูกตัดออกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

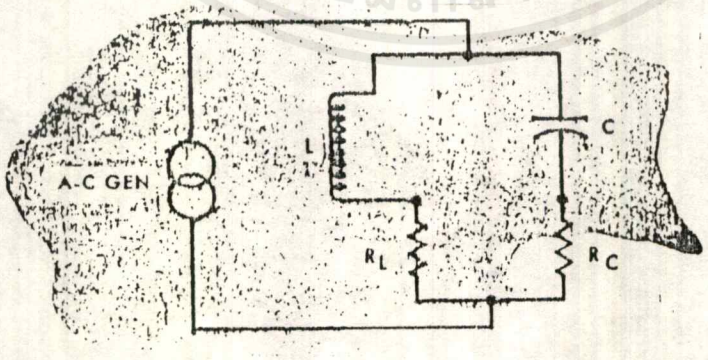
บทที่ 2

ส่วนประกอบและคุณสมบัติของวงจร Oscillator วงจร L-C แบบขนาน

วงจร L-C แบบขนาน หรือมีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า วงจร tank ประกอบด้วย capacitor และ inductor อย่างละ 1 ตัวต่อขนานกันในวงจร tank นี้ก็มี Loss ชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแทนด้วยค่าความต้านทาน ดังรูป 2-2 และ 2-3

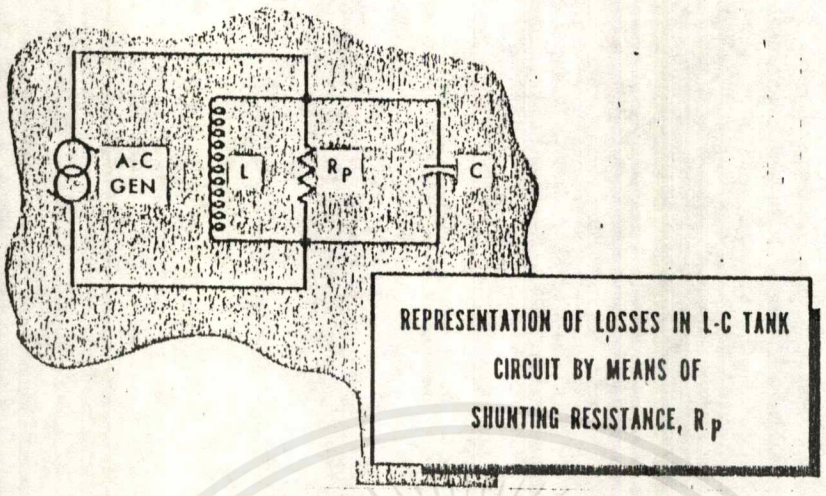


รูป 2-1 แสดงค่า loss ชนิดต่างๆในวงจร tank



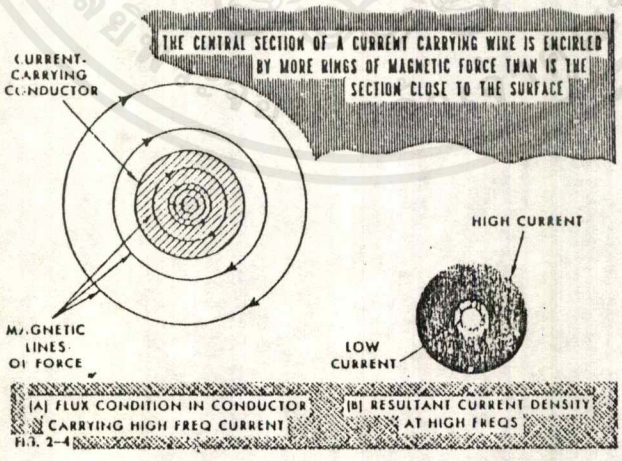
รูป 2-2 แสดงค่าความต้านทานอนุกรม R_L และ R_C ซึ่งใช้แทน loss ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-3 แสดงความต้านทานขนาน R_P ซึ่งใช้แทน loss ในวงจร

Loss ในวงจร Tank มีหลายลักษณะ ดังรูปที่ 2-1 ได้แก่ radiation loss ซึ่งจะมีค่าแปรตามความถี่ของไฟ A.C. ที่ป้อนให้กับวงจร, Magnetic hysteresis ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อใช้สารแม่เหล็กเป็นแกนของinductor, eddy current loss ในขดลวด inductor, skin effect ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่กระแสไหลหนาแน่นบริเวณผิวตัวนำ เนื่องจากสนามแม่เหล็กบริเวณจุดศูนย์กลางตัวนำมีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณผิวตัวนำ ดังรูป 2-4



รูป 2-4 แสดงความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดเหนี่ยวนำที่มีกระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งเส้นแรงแม่เหล็กมีค่ามากเท่าไร ค่า inductance ของตัวนำจะมีค่าสูงขึ้นเท่านั้น ดังนั้นบริเวณที่กึ่งกลางตัวนำจะมีค่า inductance สูงทำให้กระแสไหลบริเวณผิวตัวนำ skin effect จะมีผลมากขึ้น เมื่อความถี่ของกระแสไฟ AC ที่ป้อนมีค่าสูงขึ้นการลด skin effect ทำได้โดยใช้ตัวนำกลวง ซึ่งปริมาณทองแดงที่ใช้จะเท่ากับลวดขนาดเล็กแต่พื้นที่ผิวจะมีค่ามากกว่า หรืออาจใช้ขดลวดบิดเกลียวซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กระแสไหลผ่านได้เช่นกัน

loss อีกชนิดหนึ่งที่สำคัญคือ Dielectric hysteresis ในฉนวนซึ่งเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของฉนวนถูกกระตุ้นโดยสนามไฟฟ้าให้เปลี่ยนขั้วประจุไปเป็นตรงกันข้าม นอกจากนั้นยังมี loss ต่าง ๆ อีกดังแสดงในรูป 2-1 ในทางปฏิบัติแล้วเราจะคิด loss ในวงจร Oscillator เฉพาะส่วนที่มีผลมาจากตัว inductor โดยตัด loss เนื่องจาก capacitor ทิ้งไป

<u>คุณลักษณะของวงจร L-C Resonant ในอุดมคติ</u>

ในกรณีนี้ วงจร L-C Resonant จะประกอบด้วย inductor (L) และ capacitor (C) ซึ่งสมมติว่าไม่มี loss ใด ๆ ดังรูป 2-5 เมื่อป้อนไฟกระแสสลับ L และ C จะมีการสะสมพลังงาน (มีกระแสไหลผ่าน) โดยไม่มี loss ความต่างศักย์ที่คร่อมตัว L และ C กับกระแสที่ไหลผ่านตัวมันจะมีเฟสต่างกัน 90° ดังรูป 2-6, 2-7

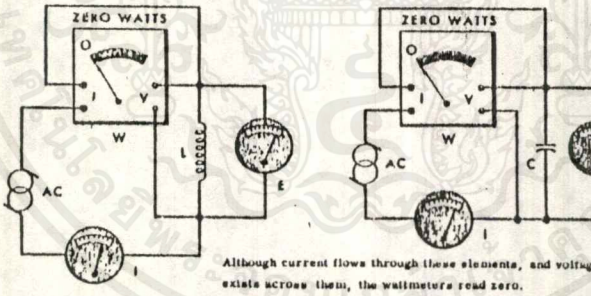
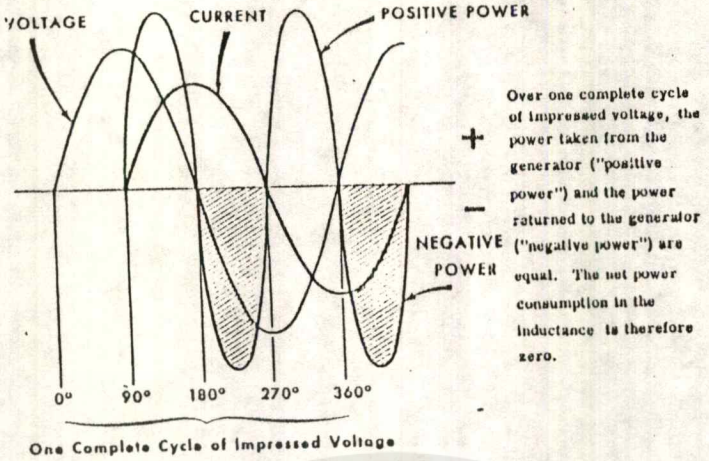


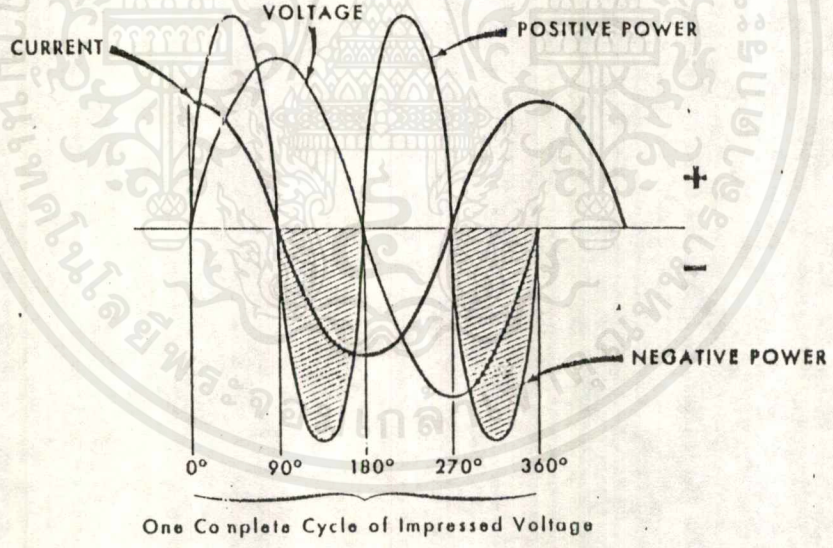
FIG. 2-5

รูป 2-5 Inductor และ Capacitor ในอุดมคติจะไม่มีการสะสมพลังงานจากแหล่งจ่าย A.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ศักดา,กระแส และกำลัง ของขดลวดในอุดมคติ

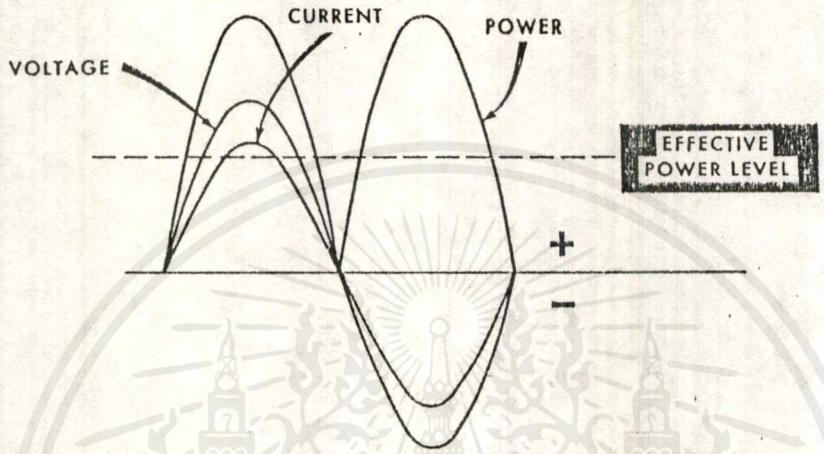


รูป 2-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ศักดา,กระแส และกำลัง ของตัวเก็บประจุ

จากรูปจะเห็นได้ว่า ความถี่ของกำลังจะมีค่าเป็น 2 เท่าของศักดาไฟฟ้าและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส เนื่องจาก source จะจ่ายพลังงานในช่วง 1/4 ของแต่ละ cycle และจะกลับคืน source ใน 1/4 ของ cycle นั้น ๆ ตามมา นั่นก็คือกราฟแสดงกำลังในช่วงที่มีค่าเป็นลบ หมายความว่าขณะนั้น load ได้จ่ายพลังงานคืนให้กับ source และจากรูปที่ 2-8 ในกรณีที่ load เป็นตัว resistance เพียงอย่างเดียว กำลังจะไม่มีค่าเป็นลบ แสดงว่าไม่มีการจ่ายพลังงานคืนให้กับ source เลย แต่จะออกมาอยู่ในรูปของ loss เช่น ความร้อน หรือแสงสว่างเป็นต้น



รูป 2-8 กราฟแสดง ศักดา,กระแส และกำลัง ของตัวความต้านทานในอุดมคติ

Negative Power

จะเห็นได้ว่า Negative Power เกิดขึ้นเมื่อเครื่องหมายของศักดาไฟฟ้าและกระแสตรงข้ามกัน เนื่องจากกราฟแสดงกำลังได้จากการนำค่าศักดาไฟฟ้าและกระแสในช่วงเวลาเดียวกันมาคูณกัน สำหรับ Positive Power นั้น เป็นกำลังส่วนที่ source จ่ายให้ load และ Negative Power จะเป็นกำลังส่วนที่จ่ายกลับคืนสู่ source

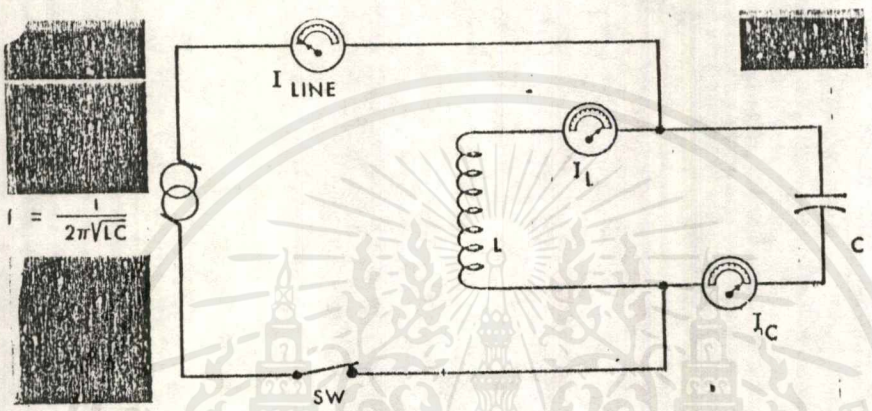
ถึงแม้จะสมมติว่า inductor และ capacitor ในอุดมคติที่ใช้ในวงจรไม่มี loss แต่ในส่วนอื่น ๆ ของวงจรไม่ว่าจะเป็นสายไฟหรือตัว source ก็ยังมีความต้านทานอยู่ ซึ่งความต้านทานเหล่านี้จะทำให้เกิด loss ภายในวงจรขึ้นเช่นกัน

ผลของวงจร tank circuit ในอุดมคติ

จากรูป 2-9 สมมติว่า generator จ่ายไฟ A.C ที่มีความถี่เท่ากับ ความถี่ Resonant ความถี่ Resonant คือความถี่ที่ทำให้ค่า reactance ของตัวเก็บประจุ (capacitor) และขดลวดเหนี่ยวนำ (inductor) มีขนาดเท่ากันแต่เครื่องหมายตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าม นอกจากนั้นที่ความถี่ Resonant กระแส Line จะมีค่าเป็น 0 แสดงว่าวงจร tank circuit ในอุดมคติสามารถเกิดการ oscillate ได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจาก source (เปิดสวิทช์ SW ในรูป 2-9) อย่างไรก็ตามวงจร tank circuit ในอุดมคติก็ไม่สามารถจ่าย load ได้เป็นระยะเวลานาน ๆ เนื่องจากในสายไฟที่ใช้ยังมี loss อยู่นั่นเอง



รูป 2-9 วงจร Tank ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆในอุดมคติ

<u>การเกิด Resonance ในวงจร L-C แบบขนาน</u>

จากรูปที่ 2-6 และ 2-7 จะเห็นได้ว่า ศักดาไฟฟ้าของขดลวดเหนี่ยวนำจะมีเฟสตามกระแสอยู่ 90° และศักดาไฟฟ้าของตัวเก็บประจุจะมีเฟสนำกระแสอยู่ 90° ที่ความถี่ Resonant จะทำให้ศักดาไฟฟ้าของขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีเฟสตรงกันกับกระแสและค่า reactance ของขดลวดเหนี่ยวนำ (X_L) จะมีค่าเท่ากับค่า reactance ของตัวเก็บประจุ (X_C) (เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น X_L จะมีค่าสูงขึ้น และ X_C จะมีค่าลดลง เนื่องจาก $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = 1/2\pi fC$) เนื่องจากเฟสของศักดาไฟฟ้าและกระแสตรงกัน วงจร tank จะเปรียบเสมือน ตัวความต้านทานตัวหนึ่ง ซึ่งถ้าเป็นวงจรจะตามอุดมคติแล้วคือว่ามีค่าไม่สิ้นสุด แต่ในทางปฏิบัติค่าความต้านทานนี้ (R_0) จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ, ขดลวดเหนี่ยวนำและความต้านทานในวงจร tank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของค่า Inductance และ Capacitance ในการเกิด Resonance

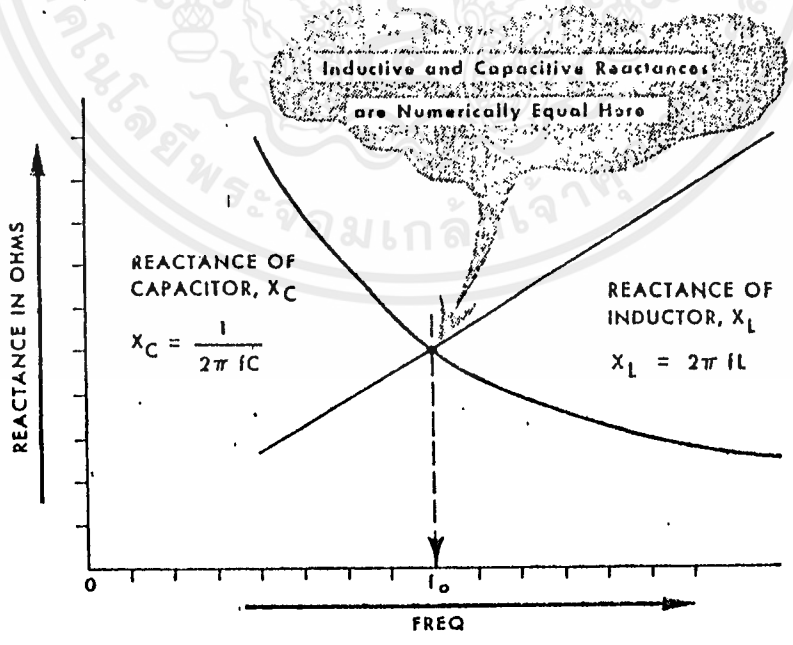
ที่ความถี่ Resonance (f_o) จะได้ว่า $X_L = X_C$

$$\therefore \quad 2\pi f_o L = 1/2\pi f_o C$$

$$f_o = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

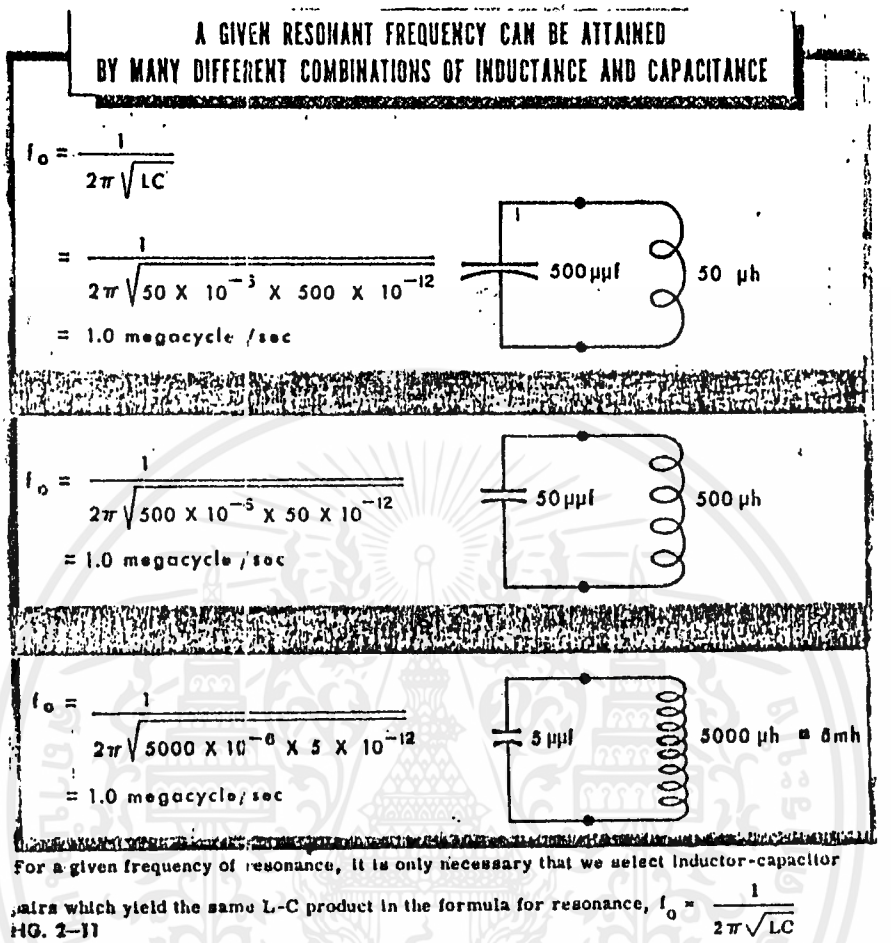
จากสมการจะเห็นว่า เมื่อกำหนดความถี่ Resonant ค่าหนึ่ง ๆ จะสามารถจับคู่ค่า inductance และ capacitance ได้หลาย ๆ แบบ โดยอาจใช้ค่า inductance สูง ๆ และค่า capacitance ต่ำ ๆ หรือกลับกันก็ได้ ดังตัวอย่างในรูป 2-11 และในรูป 2-10 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่สูงกว่าความถี่ Resonant วงจร tank จะเปรียบเสมือนตัวเก็บประจุ ในทางตรงกันข้ามที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่ Resonant วงจร tank จะเปรียบเสมือนขดลวดเหนี่ยวนำ

ในที่นี้เราถือว่า ค่า impedance ที่ความถี่ Resonant ดังนั้น ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมวงจร tank จะมีค่าสูงที่สุดเช่นกัน ดังนั้นเมื่อความถี่สูงหรือต่ำกว่าความถี่ Resonant วงจร tank จะมี impedance ต่ำจนอาจเกิดการลัดวงจรขึ้นได้ การป้องกันก็คือการใส่ความต้านทานเพื่อแยก source กับวงจร tank ออกจากกันดังรูป 2-12



รูป ๒-๑๑ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Inductive และ Capacitive Reactance กับความถี่

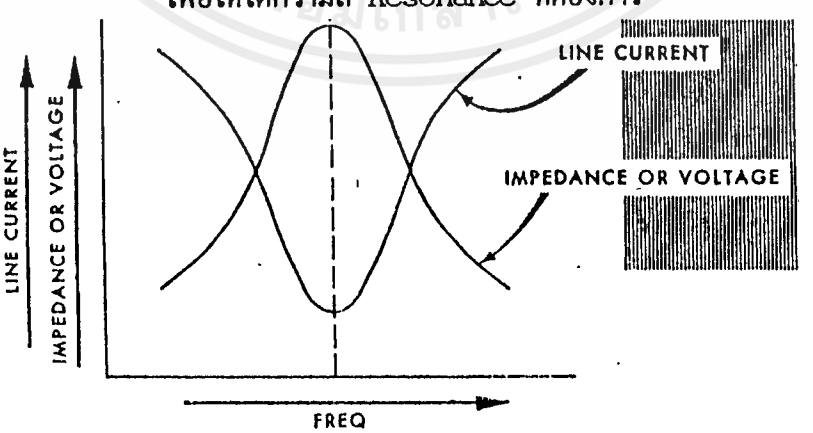
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



For a given frequency of resonance, it is only necessary that we select inductor-capacitor pairs which yield the same L-C product in the formula for resonance, $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

FIG. 2–11

รูปที่ 2–11 ตัวอย่างการจับคู่ขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในลักษณะต่างๆ เพื่อให้ได้ความถี่ Resonance ที่ต้องการ



รูป 2–12 แสดง Frequency Response ของวงจร L-C Tank แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร tank ในทางปฏิบัติ

ตามความเป็นจริงแล้ว ขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่างก็มี loss ดังนั้น ที่ความถี่ Resonant จะถือว่า I Line มีค่าเป็น 0 ไม่ได้ เพียงแต่จะมีค่าน้อยมากเท่านั้น นอกจากนั้นค่า impedance ระหว่าง terminal ของวงจร tank จะไม่มีค่าเป็นอนันต์อีกต่อไป (รูปที่ 2-13) เพื่อให้เข้าใจถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวงจร tank และความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เราต้องมารู้จักค่า Q ก่อน

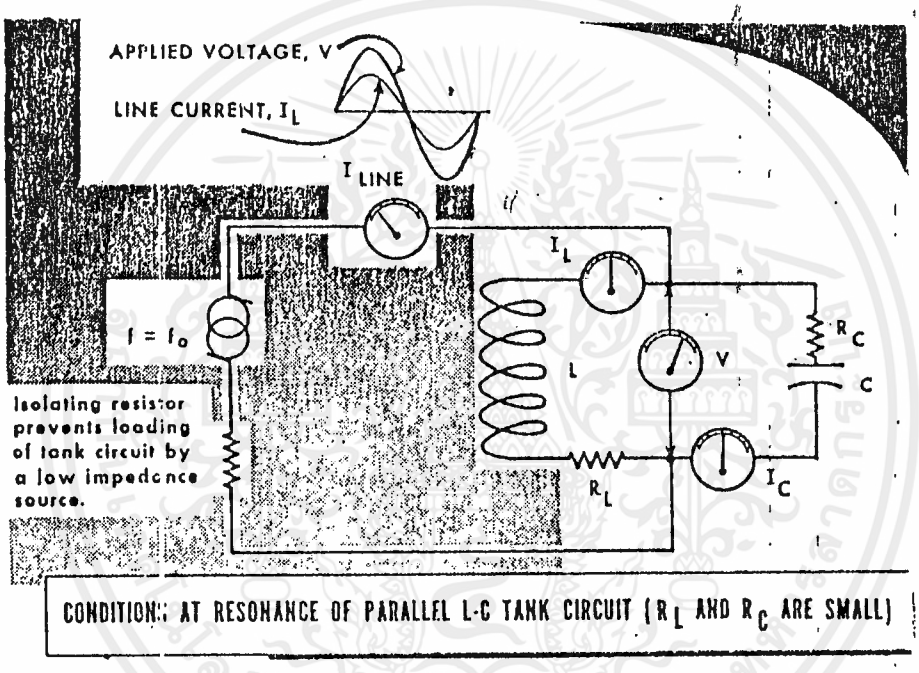


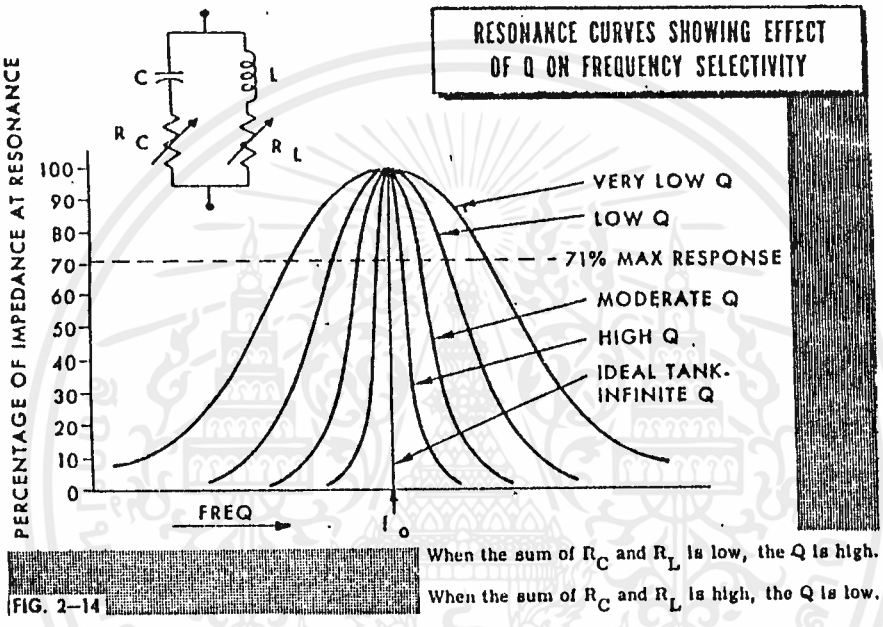
FIG. 2–13

รูป 2-13 แสดงเงื่อนไขขณะเกิด Resonance ของวงจร L-C Tank แบบขนาน

Q คืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สะสมใน 1 cycle ต่อพลังงานที่สูญเสียใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

loss นั่นเอง นอกจากนั้น Q ยังเป็นตัววัด frequency selectivity หรือ bandwidth ของวงจร tank และยังเป็นตัวที่บอกให้ทราบว่าวงจร tank นั้นมีความสามารถในการขจัด harmonic ต่าง ๆ ได้มากน้อยเพียงใด ในทางคณิตศาสตร์ Q เป็นตัวเชื่อม parameter ต่าง ๆ ของวงจร tank โดยปกติแล้ว Q ของวงจร tank จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10 ค่า Q มีค่าต่ำกว่านี้จะทำให้สมการที่ใช้คำนวณเรื่อง Resonance และ parameter ของวงจร tank ผิดพลาดและกราฟการเกิด Resonance จะไม่สมมาตร (ดูรูป 2-14)



รูป 2-14 กราฟการเกิด Resonance แสดงผลของ Q ที่มีต่อ Frequency Selectivity

เมื่อเราแทนค่า Q ที่ความถี่ Resonant ด้วย Q_0 จากตาราง 2-1 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_0 กับ parameter ต่าง ๆ ของวงจร tank circuit จะเห็นได้ว่าค่า Q มีความสำคัญมาก เพราะถ้าเรารู้ค่า Q และ parameter ใด ๆ อีก 1 ตัว ก็สามารถหาค่า parameter อื่น ๆ ที่เหลือของวงจร tank ได้ (โดยที่รู้ค่าความถี่ Resonant : f_0)

ค่า R_0

ค่า R_0 ในสมการต่าง ๆ แตกต่างกับค่า R_p ในรูป 2-3 R_p เป็นค่าความต้านทานขนาน ซึ่งแสดงถึง loss ของวงจร tank เช่นเดียวกับค่า R_L และ R_c ที่มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่า จะเห็นได้ว่าเราใช้ค่า R_L และ R_C ในสมการ ($R_S = R_L + R_C$) แต่ไม่ใช้ R_p ในทางคณิตศาสตร์ จากสมการ $R_0 = Q_0\ (2\pi f_0)(L)$ และ $R_0 = Q_0 / (2\pi f_0)(C)$

เราจะพบว่าค่า R_0 ขึ้นอยู่กับค่าของ inductive reactance และ capacitive reactance ที่ความถี่ resonant

---

(1) $Q_0 = \dfrac{R_0}{(2\pi f_0)(L)}$ Where "R_0" is the impedance across the tank terminals at the resonant frequency, "f_0"

(2) $Q_0 = (R_0)(2\pi f_0)(C)$

(3) $Q_0 = \dfrac{1}{(2\pi f_0)(C)(R_S)}$ Where "R_S" is the sum of the losses in the inductor and capacitor expressed as equivalent series resistances. That is, $R_S = R_L + R_C$ in Fig. 2-13. In many practical cases, we may reasonably say that $R_S = R_L$, R_C being negligible.

(4) Thus $Q_0 = \dfrac{1}{(2\pi f_0)(C)(R_L)}$ When R_C is negligible.

(5) $Q_0 = \dfrac{(2\pi f_0)(L)}{R_L}$ It is also true that $Q = \dfrac{(2\pi f)(L)}{R_L}$, that is, the "Q" of the inductor at any frequency, "f," is obtained by substituting "f" for "f_0." (Inasmuch as losses vary with frequency, R_L is likely to be a different value if "f" differs appreciably from "f_0.")

(6) $Q_0 = \dfrac{(0.5)(f_0)}{f_0 - f_x}$ Where "f_x" is the frequency below or above resonance which causes the impedance (or voltage) across the tank terminals to be 71% of the impedance (or voltage) at resonance.

(7) $Q_0 = \dfrac{(2\pi)(\text{Energy stored per cycle})}{(\text{Energy dissipated per cycle})}$ or for practical purposes,

$Q_0 = \dfrac{\text{Volt-amperes}}{\text{Watts}}$ which is obtained from $\dfrac{(V)(I_{LINE})}{W}$

(8) Also $Q_0 = \dfrac{I_L}{I_{LINE}} = \dfrac{I_C}{I_{LINE}}$ when tank is at resonance.

(9) In $\dfrac{Q_0}{\pi}$ cycles the oscillating voltage across a shock-excited tank circuit falls to 37% of its maximum value if additional disturbances are not applied to the tank circuit.

(10) In $\dfrac{Q_0}{2\pi}$ cycles, the stored energy in a tank circuit falls to 37% of its maximum value unless replenished before elapse of that time. We imply here, the time interval following a pulse or disturbance, or after disconnection of the a-c source.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(11)	Significance of $Q_0 = ½$ or less	When sufficient resistance is introduced to make $Q_0 = ½$, a resonant circuit is critically damped; no oscillation can be provoked by transients or shock excitation. This condition prevails when the tank circuit is overdamped by making Q_0 less than ½.

ตาราง 2-1 แสดงสมการของค่า Q ขณะเกิด Resonance (Q_0)

(1)	$R_t = (Q_0)(2\pi f_0)(L)$	(6)	$R_s = \frac{(2\pi f_0)(L)}{Q_0}$
(2)	$R_t = \frac{Q_0}{(2\pi f_0)(C)}$	(7)	$L = \frac{Q_0(R_s)}{2\pi f_0}$
(3)	$L = \frac{R_0}{(Q_0)(2\pi f_0)}$	(8)	$R_L = \frac{(2\pi f_0)(L)}{Q_0}$*
(4)	$C = \frac{1}{(Q_0)(R_s)(2\pi f_0)}$	(9)	$L = \frac{(Q_0)(R_L)}{2\pi f_0}$*
(5)	$C = \frac{1}{(Q_0)(R_L)(2\pi f_0)}$*	(10)	$I_L = I_C = (Q_0)(I_{LINE})$

*When capacitor losses are negligible.

ตาราง 2-2 แสดงการคำนวณ Parameter ต่างๆของวงจร L-C Tank แบบขนานโดยใช้ Q_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)	$X_L = X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$	This relationship holds true only at resonance.
(2)	$BW = \frac{1}{(2\pi)(R_0)(C)}$	These formulas enable us to calculate the bandwidth of a parallel L-C tank circuit. BW is the bandwidth in cycles where the impedance, or voltage, is 71% of the value at resonance.
(3)	$BW = \frac{R_B}{(2\pi)(L)}$	
(4)	$X_L = (2\pi f)(L)$	Where X_L is the reactance of the inductor at frequency, f.
(5)	$X_C = \frac{1}{(2\pi f)(C)}$	Where X_C is the reactance of the capacitor at any frequency, f.
(6)	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	
(7)	$R_0 = \frac{L}{(R_B)(C)}$	

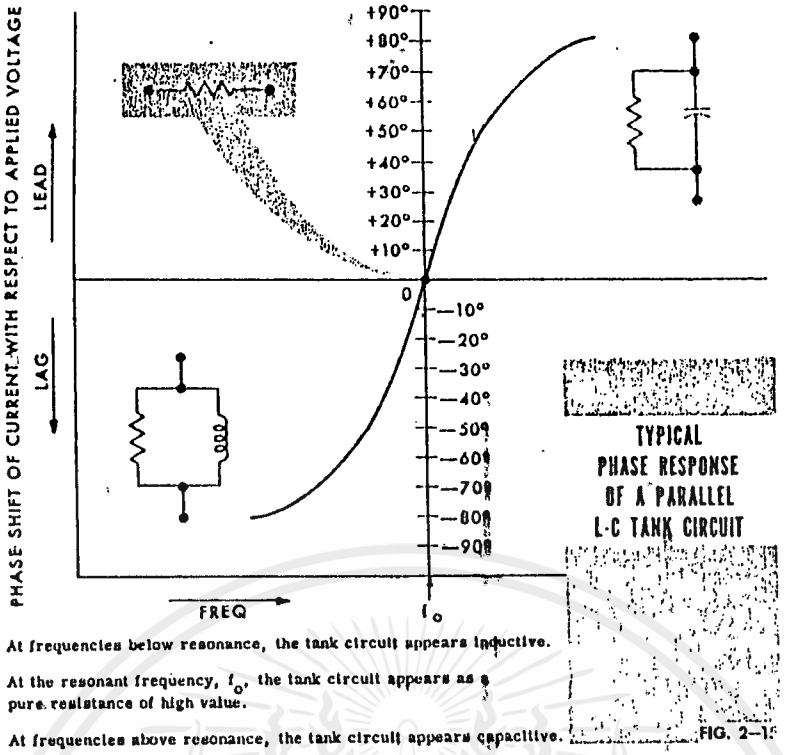
ตาราง 2-3 แสดงความสัมพันธ์อื่นๆที่เกิดขึ้นในวงจร L-C Tank แบบขนาน

ตาราง 2-2 เป็นการย้ายข้างสมการต่าง ๆ ในตาราง 2-1 เพื่อแสดงให้เห็นความสำคัญของค่า Q_0 ดังกล่าว ตาราง 2-3 แสดงสูตรคำนวณที่เกี่ยวข้องกับ parameter อื่น ๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อวงจร tank สำหรับทั้ง 3 ตาราง ค่า R_0, R_L, R_C และ R_S มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ความถี่ เช่น f, f_0 หรือ f_x มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที (cps.) BW และขดลวดเหนี่ยวนำ (L) มีหน่วยเป็นเฮนรี่ (H) และตัวเก็บประจุ (C) มีหน่วยเป็นฟารัด (F) ส่วนค่า Q และ Q_0 นั้นไม่มีหน่วย

<u>คุณลักษณะของเฟสในวงจร L-C แบบขนาน</u>

เมื่อพิจารณาเฟสระหว่างศักดาไฟฟ้าและกระแส ซึ่งที่ความถี่ Resonant จะไม่มี phase shift จากรูปที่ 2-15 ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่ Resonant วงจร tank จะเปรียบเสมือนตัวความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำต่อขนานกัน และยิ่งความถี่ต่ำลงมากขึ้นเท่าใด ความเป็นขดลวดตัวนำก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามที่ความถี่สูงกว่าความถี่ Resonant วงจร tank จะเปรียบเสมือนตัวความต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุ และยิ่งความถี่สูงขึ้น ความเป็นตัวเก็บประจุก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-15 แสดง Phase Response ของวงจร L-C Tank แบบขนาน

<u>อัตราส่วนระหว่าง L กับ C ในวงจร tank</u>

จากรูปที่ 2-11 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ Resonant (f_0) ค่าหนึ่ง สามารถใช้ค่า L และ C คู่กันในวงจร tank ได้หลาย ๆ แบบ แต่เนื่องจากว่าอัตราส่วนระหว่างค่า inductance กับ capacitance มีผลต่อค่า Q_0 ในวงจร tank แบบขนาน เมื่อกำหนดค่า R_0 และ f_0 เราสามารถเพิ่มค่า Q_0 ได้โดยการเพิ่มค่า C และลด L ซึ่งจะเป็นการจำกัดค่า Q_0 ไม่ให้มีค่าสูงมากเกินไปในตัว กล่าวคือ เมื่อค่า C สูงขึ้น dielectric loss ก็จะมีค่า C มากขึ้นด้วย ดังนั้นต้องระวังด้วยว่าเมื่อเพิ่มค่า C มากจนเกินไปแล้วอาจทำให้ค่า Q_0 ลดลงซึ่งผิดวัตถุประสงค์ไป ในทางปฏิบัติเราจะจำกัดค่า Q_0 โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง L และ C นอกจากนั้นในวงจร tank แบบขนานการเปลี่ยนแปลงค่า R_0 จะเกิดขึ้นเนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง L และ C เปลี่ยนไป ในขณะที่วงจรแบบนี้ต้องการ R_0 ที่มีค่าคงที่และค่า Q_0 ต้องมีค่าสูงซึ่งจะเห็นว่ามีความขัดแย้งกันเองอยู่ ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยทั้ง 2 ประการดังกล่าวร่วมกัน และในการใช้งานบางลักษณะก็ไม่จำเป็นต้องการค่า Q สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดโซลีนอยด์

ขดลวดโซลีนอยด์มีหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรก ทำหน้าที่เป็นตัว inductor ในวงจร tank โดยเราสามารถออกแบบค่าของขดลวดโซลีนอยด์ให้สอดคล้องกับค่าของตัว capacitor เพื่อให้ได้ค่าความถี่ Resonant ที่ต้องการ จากสมการ

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{\sqrt{4a^2 + l^2}}$$

โดยที่ μ_0 = ค่า permeability ของ free-space

= $4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

N = จำนวนรอบของขดลวดโซลีนอยด์

S = พื้นที่หน้าตัดของขดลวดโซลีนอยด์ m^2.

a = รัศมีของขดลวดโซลีนอยด์ m.

l = ความยาวของขดลวดโซลีนอยด์ m.

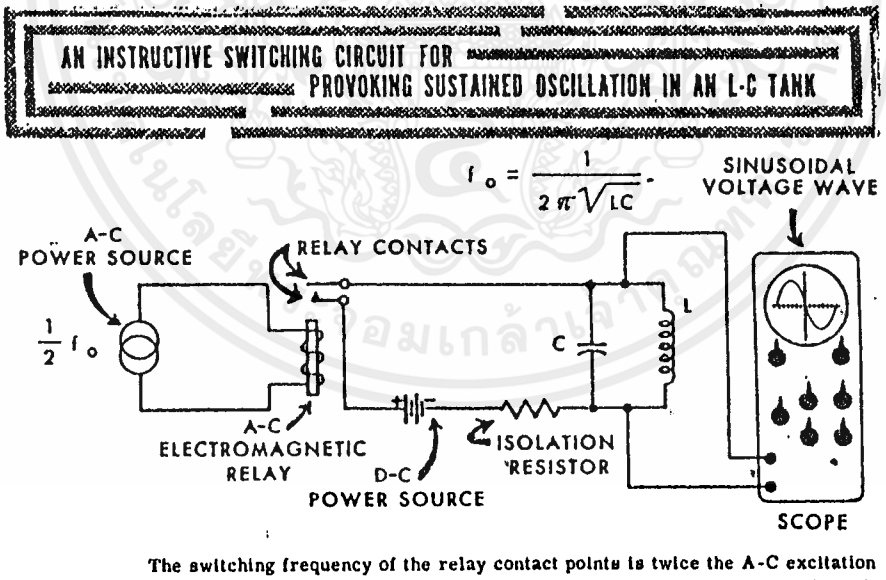
หมายเหตุ สูตรนี้ใช้เฉพาะขดลวดโซลีนอยด์แกนอากาศ และช่องว่างระหว่างขดลวดแต่ละรอบน้อยมาก

หน้าที่ประการที่สองของขดลวดโซลีนอยด์คือ เป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีสัญญาณความถี่สูงผ่านขดลวดโซลีนอยด์จะเกิดการเหนี่ยวนำฟลักซ์แม่เหล็กขึ้น เมื่อสอดแท่งโลหะเข้าไปในขดลวดโซลีนอยด์ ฟลักซ์แม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิด induced voltage และกระแส eddy current ไหลบนแท่งโลหะในกรณีนี้จะเกิดปรากฏการณ์ skin effect ขึ้น คือกระแส eddy current จะไหลวนเฉพาะที่ผิวแท่งโลหะ เนื่องจากสัญญาณที่ป้อนมีความถี่สูงมาก และกระแส eddy currentจะเป็นตัวทำให้เกิดความร้อนเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์ผลิตสัญญาณที่ใช้ในการ Oscillate

เนื่องจากค่า loss ทำให้การ Oscillate ไม่สามารถดำเนินอยู่ได้ ถ้าหากเราสามารถกำจัดค่า loss ในวงจร Oscillate ไปจะทำให้เกิดการ Oscillate ที่ต่อเนื่องต่อไปได้ ตัวอย่างในรูป 3-1 วงจร Oscillate ประกอบด้วยวงจร tank แบบขนานและสวิทช์ควบคุมแบบแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำงานที่ความถี่ Resonant ของวงจร tank การส่งกำลังเป็นรูปสัญญลักษณ์พัลส์สี่เหลี่ยมไปยังวงจร tank 1 ลูกต่อความถี่ธรรมชาติของการ Oscillate 1 รอบ จะทำให้การ Oscillate เป็นรูปสัญญลักษณ์คลื่นรูปซายน์ที่มีความต่อเนื่องปรากฏขึ้นที่วงจร tank ฟังก์ชันการสับของสวิทช์ถือเป็นอุปกรณ์กระตุ้นของ Oscillate เนื่องจากค่า loss ที่เกิดขึ้นทำให้สัญญาณพัลส์กำลังที่ถูกส่งไปโดยการสับของสวิทช์มีความจำเป็น วงจร tank ได้รับกำลังเป็นปริมาณเดียวกันกับที่ถูกส่งออกมาในรูปของค่า loss ความสมดุลไม่คงอยู่ในตัวอย่างนี้เนื่องจากค่าฮาร์โมนิค อย่างไรก็ตามถ้าเราใช้คลื่นรูปซายน์ที่ความถี่ Resonant วงจร tank จะแสดงค่าศักดาไฟฟ้ากระแสและรูปสัญญาณที่เกี่ยวเนื่องกับสภาวะการ Oscillate และจะใช้กำลังเท่าที่จำเป็นเพื่อจะชดเชยค่า loss การกระตุ้นการ Oscillate ควบสัญญาณพัลส์ในสภาวะสั้น ๆ จะสามารถชดเชยค่าพลังงานที่ส่งออกมาเป็นค่า loss ได้ ทำให้การ Oscillate สามารถดำเนินต่อไปได้

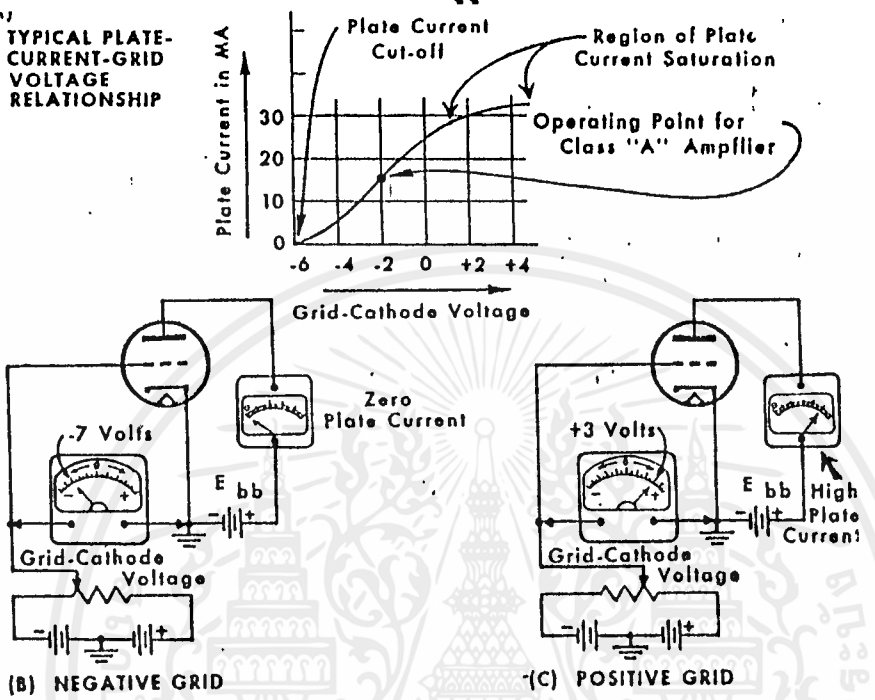


The switching frequency of the relay contact points is twice the A-C excitation frequency applied to the solenoid because the solenoid current passes through zero twice per cycle.

รูป 3-1 วงจรการสับสวิทช์สำหรับกระตุ้นการ Oscillate ในวงจร tank L-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริง ๆ แล้วสวิทช์ทางกล ในรูป 3-1 ไม่ใช่วิธีการสร้างสัญญาณพัลส์ในทางปฏิบัติ หลอดสูญญากาศและทรานซิสเตอร์ นอกจากเป็นแอมปลิฟายเออร์แล้วยังเป็นสวิทช์ที่ใช้ส่งสัญญาณพัลส์ไปกระตุ้นวงจร L-C และส่วนประกอบอื่น ๆ ของวงจรอีกด้วย อันดับแรกที่จะพิจารณาคือ หลอดไตร์โอดซึ่งมีชนิดของการสวิทชิ่งที่แตกต่างกันที่สำคัญ 2 ชนิดคือ กระแสเพลทคัทออฟ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการไบอัสกริดมีค่าเป็นลบเพียงพอ และกระแสเพลทอิ่มตัวจะเกิดขึ้นเมื่อ กริดมีค่าเป็นบวกเพียงพอ (ดูรูป 3-2)

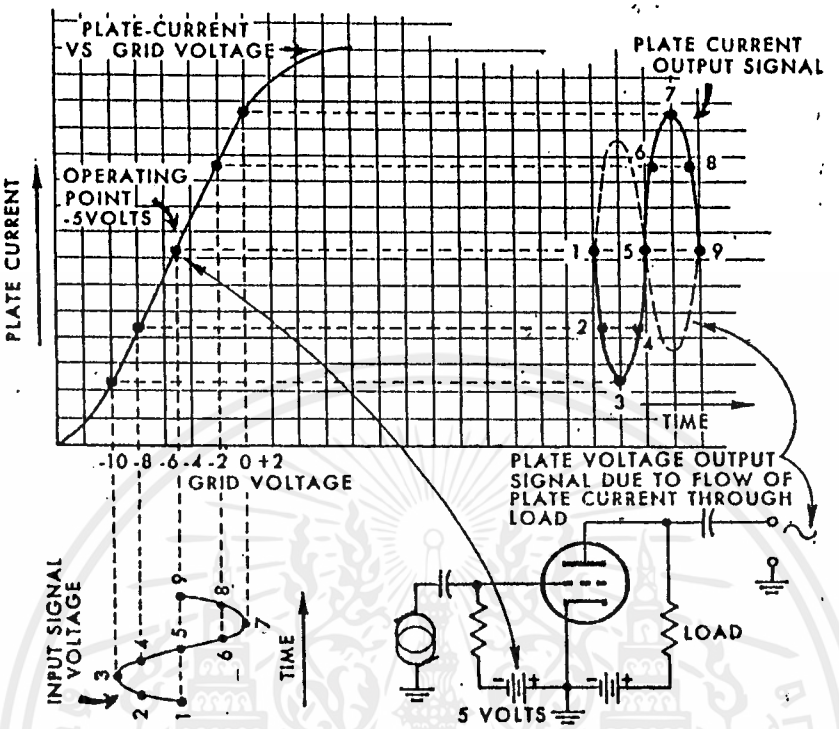


รูป 3-2 หลอดสูญญากาศ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิทชิ่ง
เมื่อไบอัสกริดด้วยค่าที่เหมาะสม

<u>การขยายกำลังในหลอด</u>

สิ่งที่สำคัญมากประการหนึ่งของอุปกรณ์สวิทชิ่งอย่างหลอดและทรานซิสเตอร์คือ ทั้งหลอดและทรานซิสเตอร์สามารถขยายกำลังได้ด้วย นอกจากฟังก์ชันการสวิทชิ่งของอุปกรณ์แล้ว นั่นคือการจ่ายกำลังทางด้านอินพุทจำนวนเล็กน้อย จะสามารถได้กำลังทางด้านวงจรเอาท์พุทในระดับที่สูงกว่ามาก ฉะนั้นอุปกรณ์สวิทชิ่งจะประพฤติตัวเป็นทั้งสวิทช์และตัวขยายกำลังในเวลาเดียวกัน การขยายเป็นขบวนการที่สำคัญมากกับการ Oscillate สัญญาณเอาท์พุทสามารถถูกปฏิภาคไปยังสัญญาณอินพุทได้ (ดูรูป 3-3) ถ้าสัญญาณอินพุทมีแอมปลิจูดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จาก 0.1 เป็น 0.2 โวลท์ สัญญาณเอาท์พุทก็จะถูกขยายเป็น 2 เท่า จาก 10 เป็น 20 โวลท์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3-3 การขยายแบบเชิงเส้นหรือแบบปฏิภาค
ในแอมปลิฟายเออร์คลาส "A"

สิ่งที่แตกต่างกันมากที่สุดของการขยายแบบเป็นปฏิภาคถูกมองในการปฏิบัติงานของอุปกรณ์สวิทชิง ตัวอย่างเช่น แม่เหล็กไฟฟ้ากระตุ้นให้รีเลย์หรือคอนแทคเตอร์จ่ายกำลังขยายสูง ๆ แต่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้า หรือกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดโซลีนอยด์ และศักดาไฟฟ้าหรือกระแสที่สวิทช์โดยหน้าสัมผัส ระหว่างการขยายแบบปฏิภาคและขบวนการสวิทชิงมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทและอินพุทซึ่งไม่เป็นเชิงเส้น เอาท์พุทจะเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูดตามอินพุทหรือสัญญาณกระตุ้น แต่ไม่เป็นไปในลักษณะที่เป็นสัดส่วนกัน ในแอมปลิฟายเออร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น สัญญาณอินพุทอาจจะเพิ่มจาก 0.1 ไปเป็น 0.2 โวลท์ แต่สัญญาณเอาท์พุทอาจจะถูกเพิ่มจาก 10 เป็น 15 โวลท์ หรือ 10 เป็น 35 โวลท์ ก็ได้ จุดที่สำคัญที่ถูกพิจารณาในเรื่องนี้ก็คือแอมปลิฟายเออร์แบบเชิงเส้นจะมีพิกัดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมปลิจูดที่จำกัด และแอมปลิฟายเออร์สามารถถูกใช้งานในย่านที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้โดยใช้สัญญาณแอมปลิจูดที่พอเพียง

การพิจารณาการทำงานของหลอดขยายสัญญาณในคลาส A เป็นการทำงานในย่านที่เป็นเชิงเส้นผลการทำงาน เมื่อ D-C กริดไบอัสและสัญญาณ A-C จนกระทั่งกระแสเพลทไหลผ่านรอบสัญญาณอินพุทอย่างสมบูรณ์ การทำงานในคลาส A จะใช้แสดงการขยายที่เป็นสัดส่วนปฏิภาคกัน กระแสเพลทจะไม่ถูกหน่วงโดยการเข้าถึงจุดอิ่มตัวของการเป็นปฏิภาคกันของสัญญาณอินพุท รูป 3-4 แสดงคุณสมบัติของตัวขยายคลาส A ความถี่ต่ำ

LOW FREQUENCY PROPERTIES OF CLASS "A" AMPLIFIERS

(Npn transistors are shown; reverse both bias polarities for pnp transistors.)

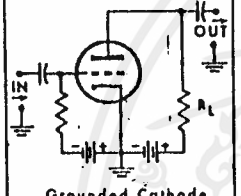
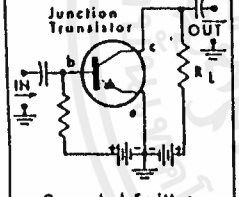
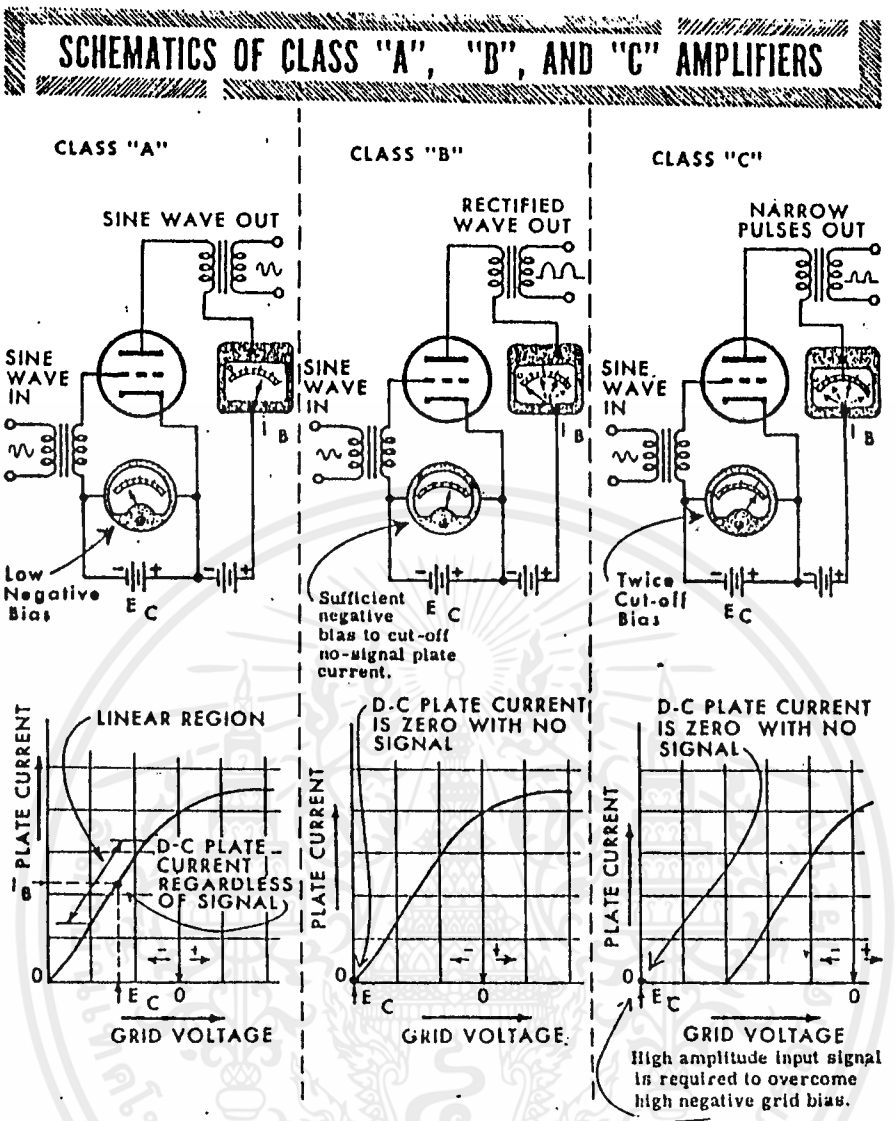
VACUUM TUBE AMPLIFIER AND ANALOGOUS TRANSISTOR CIRCUIT	VOLTAGE GAIN	CURRENT GAIN	FREQ RESPONSE	PHASE OF OUTPUT SIGNAL WITH RESPECT TO INPUT SIGNAL	RELATIVE VALUES OF INPUT IMPEDANCE AND OUTPUT IMPEDANCE
 Grounded Cathode	$\frac{-\mu R_L}{r_p + R_L}$ Where μ is voltage amplification factor. Where r_p is dynamic plate resistance. Both of these factors may be found in a tube manual.	Theoretically infinite. Actually extremely high.	Fair At high frequencies input and interelectrode capacities can be troublesome.	180° Shift (polarity inversion)	For practical purposes, input impedance is infinite. Output impedance is moderate — 10,000 to 100,000 ohms is common.
 Grounded Emitter	$\frac{-\alpha R_L}{r_e + r_b(1-\alpha)}$ Where α is the current amplification factor of the transistor when tested in the grounded base circuit with $R_L = 0$. Where r_e is the internal emitter resistance. Where r_b = internal base resistance.	$\frac{\alpha}{1-\alpha}$ or β	Relatively poor compared to grounded base circuit.	180° Shift (polarity inversion)	Typical input impedance of a small signal transistor is 300 to 1500 ohms. Typical output impedance is 50,000 to 300,000 ohms.

FIG. 3-5

รูป 3-4 คุณสมบัติของแอมปลิฟลายเออร์คลาส A ความถี่ต่ำ

การมีการขยายในคลาส A อย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอ ถ้ากริดไบอัสและสัญญาณแอมปลิจูดกระแสเพลทของหลอดถูกคัทออฟระหว่างซีกลบของอินพุท เราจะเรียกเป็นแอมปลิฟายเออร์แบบคลาส B การ Rectify สัญญาณอินพุทและการขยายจะเป็นเพียงซีกคลื่นทางด้านเดียว ปกติซึ่งกริดถูกขับให้เป็นบวกสำหรับส่วนของซีกบวกของศักดาอินพุท เนื่องจากการไหลของผลของกระแสกริดแอมปลิฟายเออร์คลาส B ต้องถูกจ่ายด้วยกำลังอินพุท อย่างไรก็ตามการลดลงของประสิทธิภาพของกำลังที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าที่ถูกชดเชยโดยการไหลของกระแสเพลท เนื่องจากผลตอบสนองไปยังสัญญาณอินพุท ดูรูป 3-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

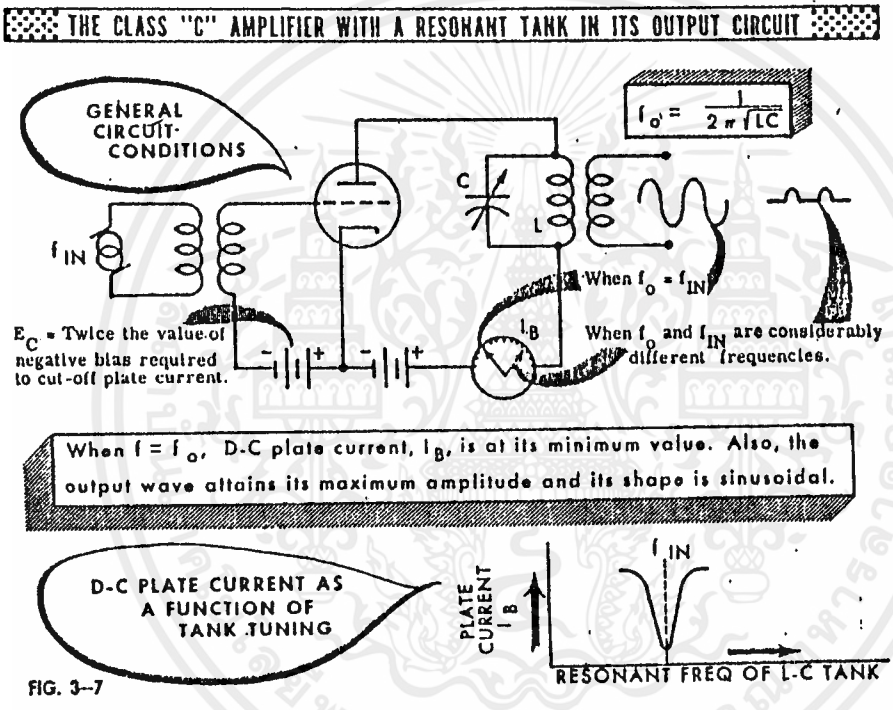


รูปที่ 3-5 แอมปลิฟลายเออร์คลาส "A" , "B" และ "C"

แอมปลิฟายเออร์คลาส C เป็นวงจรขยายอีกแบบหนึ่งซึ่งถูกใช้มากในทางปฏิบัติ เป็นแอมปลิฟายเออร์ซึ่งถูกไบอัสด้วยค่ากริดไบอัสที่มีค่าเป็น 2 เท่าที่ต้องการใช้ในการผลิตกระแสเพลทคัทออฟ สำหรับการทำงานที่ความถี่เดียวจะให้ประสิทธิภาพที่มากกว่าแอมปลิฟายเออร์คลาส B เมื่อความถี่เรโซแนนท์ของวงจร tank ขนานเหมือนกับความถี่อินพุท จะได้พัลส์กระแสเพลทในทิศทางเดียวโดยวงจร tank มีค่า impedance สูง ผลของลักษณะการทำงานที่สำคัญ 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกกระแสเพลท d-c จะมีค่าต่ำสุด (ดูรูป 3-6) สำหรับที่ความถี่ของวงจร tank คือเมื่อ tank เอาท์พุทไม่ Resonant มีความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกันกับสัญญาณอินพุทแอมปลิฟายเออร์ กระแสเพลท d-c จะสูงขึ้น ลักษณะที่สองคือศักดาไฟฟ้าคร่อมวงจร tank ต้องมีค่าสูงสุดเมื่อสัญญาณอินพุทความถี่และความถี่ Resonant ของ tank เอาท์พุทมีค่าเดียวกัน สรุปคือเอาท์พุทมีค่าสูงสุดขณะที่กระแสเพลท d-c มีค่าต่ำสุด เนื่องจาก impedance ของวงจร tank เอาท์พุทมีค่าสูง กระแสเพลทชั่วขณะต่ำสุดเมื่อศักดาไฟฟ้าเพลทชั่วขณะมีค่าสูงสุด กำลังที่จ่ายที่เพลทของหลอดถูกสร้างจากกระแสเพลทและศักดาเพลท ซึ่งจะเห็นว่าแอมปลิฟายเออร์คลาส C ส่งเอาท์พุทสูงสุดจากวงจร tank เพลทภายใต้สภาวะการทำงานของ การจ่ายกำลังเพลทต่ำ พัลส์กระแสเพลทจะแคบมากรอบการทำงานของมันจะต่ำกว่าในกรณีของแอมปลิฟายเออร์คลาส B รวมทั้งการจ่ายเพลทที่ต่ำและประสิทธิภาพที่สูงกว่าในแอมปลิฟายเออร์คลาส B



รูป 3-6 แอมปลิฟายเออร์คลาส "C" กับวงจร tank ที่เกิดการ Resonance ในวงจรเอาท์พุท

<u>การทำงานของวงจร tank ในแอมปลิฟายเออร์คลาส "C"</u>

พัลส์เพลทในทิศทางเดียวเกิดขึ้นโดยวงจร tank ที่ค่า impedance วงจร tank ถูก Reconance ที่ความถี่ซึ่งเป็นพัลส์ที่ซ้ำกันของพัลส์กระแสเพลท คาบของพัลส์เกิดขึ้นโดยส่วนประกอบ d-c ความถี่พื้นฐานและความถี่ฮาร์โมนิคจำนวนมากของความถี่พื้นฐาน วงจร tank ที่เกิด Resonance จะจำกัดการไหลที่ความถี่พื้นฐานแต่เพียงอย่างเดียวซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่พื้นฐานนี้จะประกอบด้วยพลังงานส่วนใหญ่ ส่วนประกอบ d-c และฮาร์โมนิคจะเห็นค่า impedance ที่ต่ำผ่านวงจร tank ไปได้ ส่วนประกอบ d-c จริง ๆ แล้วเป็นการรวมเฟสกันของฮาร์โมนิคและทำให้แอมปลิจูดตกลงเมื่อฮาร์โมนิคแรกหรือความถี่พื้นฐานถูกบั่นทอนจากกระแสเพลทรวมไหลผ่าน tank ผลที่เกิดขึ้นคือกระแสเพลท d-c ที่อ่านได้จากมิเตอร์มีค่าลดลง

การทำงานของกระแสกริดในแอมปลิฟายเออร์คลาส "C"

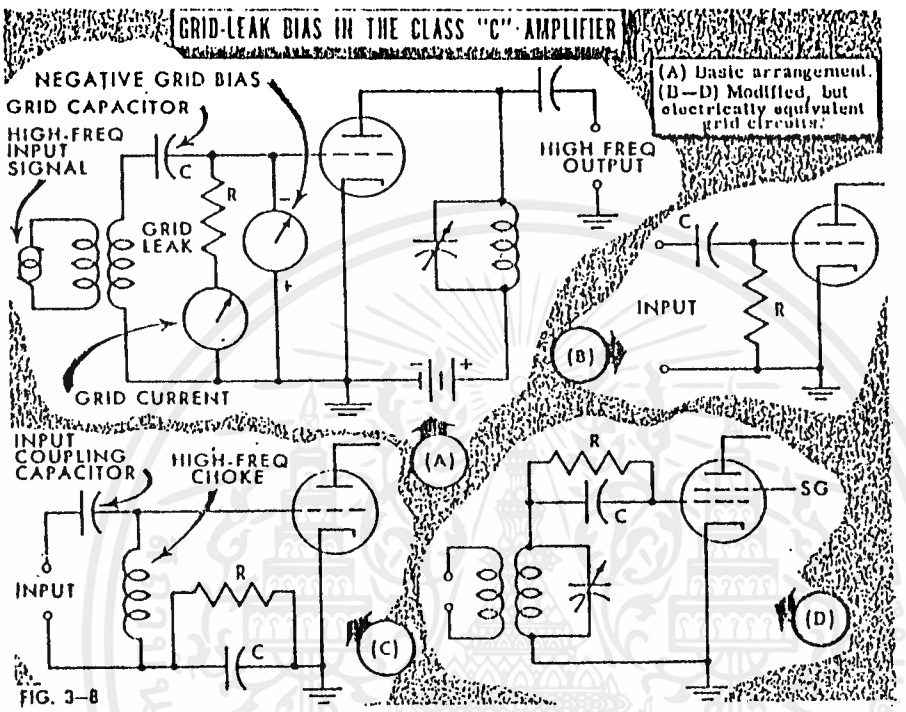
เนื่องจากข้อเท็จจริงที่ว่ากริดได้รับกระแสจากแหล่งสัญญาณ เพียงเมื่อคลื่นสัญญาณที่เป็นบวกได้รับแอมปลิจูดที่เพียงพอที่จะทำให้มีค่ามากกว่าค่า d-c ไบอัสด้วยศักดาแบบลบก็จะทำให้กระแสพัลส์ทิศทางเดียวอยู่ในวงจรกริดด้วย กริดจะประพฤติตัวเป็นเพลทของไดโอดเรกติฟายเออร์ที่ต่อแบบขนาน มีความหมายโดยนัยที่สำคัญในการทำงานจริงของแอมปลิฟายเออร์คลาส "C" อยู่ 2 ประการคือ ประการแรกเราสามารถดูความสัมพันธ์ของการขับอินพุทไปยังแอมปลิฟายเออร์โดยการต่อมิเตอร์วัดกระแส d-c ในวงจรกริด ยิ่งหลอดถูกขับมากขึ้น ส่วนประกอบ d-c ของกระแสกริดแบบพัลส์ก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย มิเตอร์วัดกระแสกริดก็จะแสดงค่าที่สูงขึ้น ในแอมปลิฟายเออร์คลาส "A" กระแสกริดจะไม่นำค่า loss ให้เกิดขึ้น แอมปลิจูดสัญญาณอินพุทจะไม่มีค่ามากไปกว่าค่าของกริดไบอัสแบบลบที่กำหนดไว้ ค่า loss ไม่ถูกนำมาคิดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราขยายที่มีค่ามากในประสิทธิภาพของเพลทที่ได้รับโดยประมาณของกระแสเพลท d-c ในสภาวะเสถียรที่แสดงในแอมปลิฟายเออร์คลาส "A" ในแอมปลิฟายเออร์คลาส "C" จะให้อัตราการขยายไม่เป็นสัดส่วนกันแต่จะทำงานในลักษณะของการเป็นสวิทชิ่งให้เป็นอัตราขยายระหว่างเอาท์พุทกับอินพุท

การไบอัสแบบ Grid - leak ในแอมปลิฟายเออร์คลาส "C"

ความสำคัญประการที่สองของกระแสกริดคือ การพัฒนาเป็นอัตโนมัติหรือการไบอัสแบบ grid-leak ในรูป 3-7 ซึ่งเราจะเห็นว่าเหมือนแอมปลิฟายเออร์คลาส "C" ในรูป 3-6 ยกเว้น แหล่งจ่ายกริดไบอัสที่ถูกตัดทิ้งไปจากวงจร วงจรกริด-คาโถดถูกจ่ายด้วยแอมปลิจูดที่เพียงพอของคลื่นรูปซายน์ ระหว่างส่งคลื่นที่เป็นบวกเพื่อผลิตการไหลของกระแสกริด peak ที่เป็นบวกของคลื่นศักดาไฟฟ้าอินพุทถูกลดลงโดย impedance ที่มีค่าต่ำของวงจรกริด-คาโถดระหว่างการนำของกริด คลื่นศักดาไฟฟ้าอินพุทในส่วนบวกจะมีแอมปลิจูดที่ลดลง ในทางกลับกันจะไม่มีการจ่ายโหลดสำหรับส่วนของศักดาไฟฟ้าอินพุทที่เป็นลบเพราะกริดแบบลบไม่มีการดึงอิเล็คตรอนจากคาโถด กริดที่เป็นลบปรากฏเป็นการเปิดวงจรออก พิจารณาด้านของกริดคาปาซิเตอร์ (C) ที่ต่ออยู่กับกริดของหลอดแต่ละรอบของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักดาไฟฟ้า กริดคาปาซิเตอร์ด้านนี้จะมี peak ของศักดาไฟฟ้าลบสูงกว่า peak ของศักดาไฟฟ้าบวก เหตุนี้คาปาซิเตอร์ (C) จึงเป็นตัวสะสมประจุที่เสถียร การประจุเก็บในคาปาซิเตอร์ (C) ทำให้เกิดความแตกต่างของศักดาไฟฟ้าระหว่างตัวมันกับเพลท ทำให้กริดมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับคาโถดเหมือนกัน d-c ไบอัสที่ได้จากการเรกติฟายของสัญญาณอินพุทซึ่งขึ้นกับอินพุท a-c



รูป 3-7 การไบอัสแบบ grid-leak ในแอมปลิฟายเออร์คลาส "C"

ความต้องการการคายประจุ

ถ้าพิจารณาเฉพาะคาปาซิเตอร์ (C) คาปาซิเตอร์นี้จะประจุศักดาไฟฟ้าซึ่งไบอัสหลอดด้วยศักดาไฟฟ้าค่าลบสูงเพื่อให้สัญญาณอินพุท a-c มีค่าน้อยมากที่กริดทำให้กำลังเอาท์พุทมีค่าต่ำมาก ความต้านทาน (R) เป็น grid-leak ซึ่งถูกใช้เป็นส่วนคายประจุของประจุที่เก็บไว้ในกริดคาปาซิเตอร์ อัตราการคายประจุจนกระทั่งศักดาไฟฟ้าคร่อม C ลดลงอย่างเพียงพอในแต่ละช่วงคลื่นเพื่อให้กริดสามารถถ่ายกระแสระหว่าง peak ที่เป็นบวกของคลื่นศักดาไฟฟ้าอินพุท ส่วนไซเคิลของการไหลของกระแสกริดเพื่อการสะสมของศักดาไฟฟ้า d-c ในกริดคาปาซิเตอร์การสมดุลกันของแอมปลิจูดสัญญาณอินพุทและค่าของ R ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของกริดไบอัสที่เป็นลบและค่าเฉลี่ยของกระแสกริด ความต้านทาน grid-leak (R) ถูกต่อในส่วนของกระแสกริดภายนอก เราสามารถวัดค่ากระแสกริดโดยการต่อมิเตอร์วัดกระแส d-c อนุกรมกับความต้านทานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

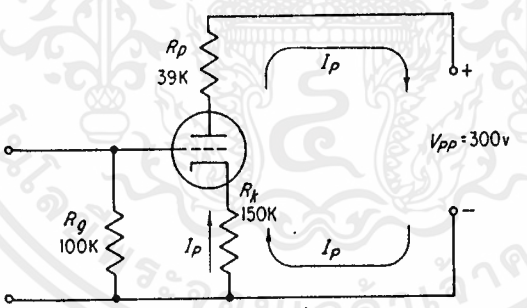
ปรากฏการณ์ที่ตรงกันข้ามของกริดแบบบวกและแบบลบ

ความยากประการหนึ่งในการจินตนาการถึงหลักการทำงานของการไบอัสแบบ grid-leak คือ สถานการณ์ที่ตรงกันข้ามที่ซึ่งเรามีที่เวลาเดียวกัน ซึ่งค่าไบอัสกริดแบบลบมีค่ามากกว่าค่าคัทออฟและกระแสกริดมาก ซึ่งต้องการกริดแบบบวก ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยของศักดาไฟฟ้าของกริดมีค่าลบสูงแต่กระนั้นกริดก็เป็นบวกสำหรับช่วงสั้น ๆ ของช่วงไซเคิลอินพุท ระหว่างคาบเวลาสั้น ๆ ของการนำของกริดพัลส์เอาท์พุทถูกส่งไปยังวงจร tank ที่เกิด Resonance ในวงจรเพลทเพื่อกระตุ้นการ Oscillate ในวงจร tank ถ้าแอมมิเตอร์และไวทล์มิเตอร์ที่ต่ออยู่ในวงจรกริดถูกควบคุมให้มีผลตอบสนองที่รวดเร็วเพียงพอ เราจะเห็นว่ากระแสจะมีค่าเป็นศูนย์ในเวลาส่วนใหญ่แต่จะเห็นเขาไปในทิศทางที่เป็นบวกในช่วงคาบเวลาสั้น ๆ ระหว่างช่วงสั้น ๆ ที่มีกระแสกริดไหลมีค่าสูงนี้กริดโวลท์มิเตอร์จะแสดงกริดเป็นบวก

การวิเคราะห์ load-line ของวงจรขยายหลอดสูญญากาศ

พิจารณาวงจรซึ่งแสดงในรูป 3-8 สมการของศักดาไฟฟ้าสำหรับวงจรเพลทคือ

$$V_{pp} = I_pR_k + V_p + I_pR_p$$



รูปที่ 3-8 วงจรขยายไบอัสด้วยตัวเองแบบคอมมอน-คาโถดสเตจเดียว

ดูรูป 3-10 จะเห็นค่าศักดาไฟฟ้ากริด V_g ถูกทำให้เป็นบวกมากขึ้น ค่ากระแสเพลทก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย ค่าศักดาไฟฟ้าของเพลทที่ต่ำลง ถ้าเป็นไปได้ที่หลอดจะมีค่าศักดาไฟฟ้าที่เป็นบวก ศักดาไฟฟ้าของเพลท V_p ก็สามารถถูกลดลงให้เป็นศูนย์และหลอดจะยังคงทำงานอยู่ สมการวงจรเพลทจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Vpp = IpRk + 0 + IpRp$$

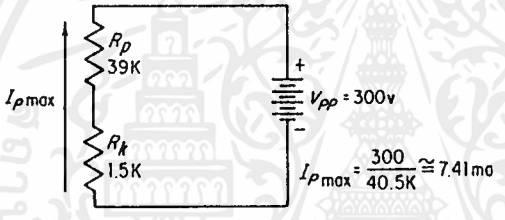
$$Vpp = Ip\ (Rk+Rp)$$

กระแสที่ไหลคือ

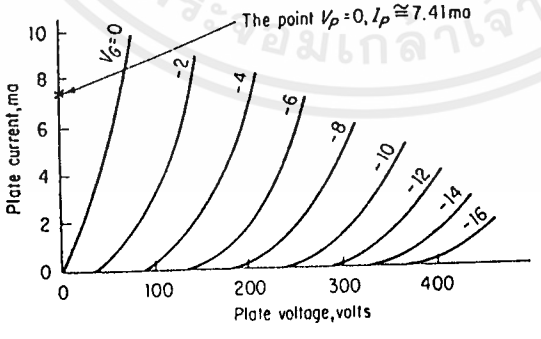
$$Ip = Vpp/Rk+Rp$$

และนี้คือค่ากระแสที่เป็นไปได้สูงสุด ค่ากระแสที่เป็นไปได้สูงสุดนี้ถูกแบ่งโดยค่าความต้านทานรวมของวงจร นอกเหนือจากความต้านทานของหลอด

วงจรสมดุลสำหรับสภาวะนี้ถูกแสดงในรูป 3-9

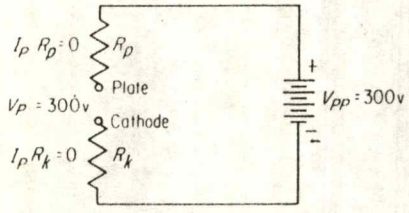


รูป 3-9 วงจรเพลทเมื่อ Vp = 0 และค่ากระแสเพลท Ip มีค่าสูงสุด



รูป 3-10 แสดงเพลทคาแรคเตอริสติค ที่จุดยอดจุดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



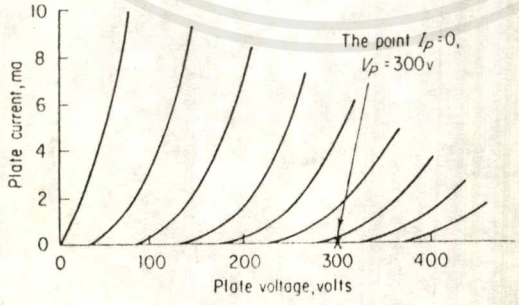
รูป 3–11 วงจรเพลทเมื่อ Ip = 0 และ Vp = Vpp

จุดที่ศักดาไฟฟ้าที่เพลท = 0 และกระแสเพลท = 7.41 mA. ถูกแสดงในรูป 3–10 ในทางกลับกันถ้าหลอดในรูป 3–8 ไม่นำกระแสเลย (Ip = 0) แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าเต็มที่จะถูกแสดงระหว่างเพลทและคาโธดเมื่อ

$$Ip\ (Rk+Rp) = 0$$

และหลอดกำลังทำงานเป็นสวิทช์เปิดวงจร สภาวะนี้ถูกแสดงในรูป 3–11

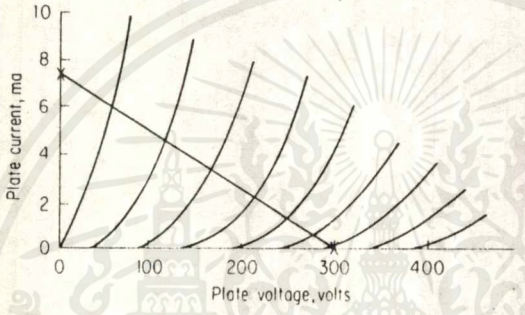
ภายใต้สภาวะนี้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าเต็มที่จะถูกวัดคร่อมหลอดจากเพลทไปยังคาโธด สภาวะนี้ตั้งจุดอีกจุดหนึ่งบนเอาท์พุทคาแรคเตอริสติคของหลอด เป็นจุดที่เพลทศักดาไฟฟ้าของมีค่าเท่ากับ Vpp และกระแสเพลทมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งถูกแสดงในรูป 3–12



รูป 3–12 แสดงเพลทคาแรคเตอริสติค ที่จุดยอดจุดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สองจุดที่ตั้งอยู่ที่ยอดที่ซึ่งหลอดสามารถทำงานด้วยแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าที่ให้มา และความต้านทานรวมของวงจรเพลทเป็น (Rp+Rk) สภาวะการทำงานต้องอยู่ระหว่างจุดปลายนี้ ในความเป็นจริงสภาวะการทำงานถูกกำหนดโดยเส้นทางที่เชื่อมระหว่างสองจุดนี้ การที่เป็นเส้นตรงเนื่องจากมีแต่อุปกรณ์ที่เป็นเชิงเส้นเท่านั้น ซึ่งก็คือตัวความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่กับหลอด สภาวะการทำงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับวงจรนี้ ด้วยค่า Vpp และความต้านทานรวมของวงจรเพลท (Rp+Rk) ถูกแสดงในรูป 3-13 โดยเส้นตรงที่แสดงเป็นเส้นโหลด



รูปที่ 3-13 เพลทคาแรคเตอริสติคกับเส้นโหลดที่สร้างขึ้น

ต่อไปเราต้องการหาจุดเฉื่อยหรือสภาวะการทำงานเฉพาะของวงจรในรูป3-8 คือเราจะตั้งจุดพิเศษบนเส้นโหลด ซึ่งจะให้สภาวะการทำงานของวงจรนี้

เนื่องจากไบอัส V_g ถูกขยายโดยการไหลของกระแสเพลท I_p ผ่านความต้านทานคาโถด R_k ดังนั้นเราสามารถกำหนดค่าของไบอัสศักดาไฟฟ้าและการรู้ค่าของ R_k ทำให้เราสามารถคำนวณค่า I_p ซึ่งจะต้องไหลผ่าน R_k เพื่อสร้างไบอัสศักดาไฟฟ้าแต่ละค่า ตัวอย่างเช่น

$$R_k = 1.5 \quad K\Omega$$

การสมมติในครั้งแรกให้

$$V_G = -2 \quad V.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $I_p = V_G/R_k = 2/1500 = 1.33$ mA.

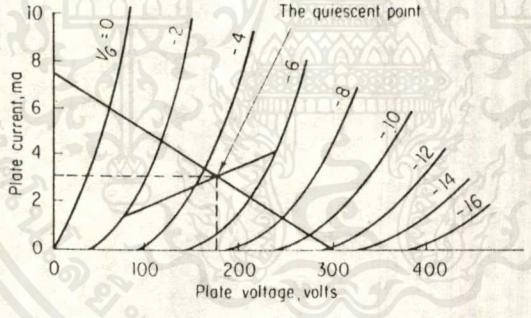
การสมมติถัดไปให้

$V_G = -4$ V.

จะได้

$I_p = 4/1500 = 2.67$ mA.

การทำเช่นนี้สำหรับค่าของ V_G จำนวนหนึ่งจะให้จุดบนกราฟ เมื่อเราเชื่อมจุดเหล่านี้ด้วยเส้นกราฟที่เรียบจุดตัดของเส้นนี้กับเส้นโหลดจะนิยามจุดที่ทำงานโดยเฉพาะของวงจรนี้ จุดนี้เรียกว่าจุดเฉื่อยหรือจุดที่ไม่มีสัญญาณอินพุท ดังแสดงในรูป 3-14



รูปที่ 3-14 Quiescent point

สิ่งแรกที่เราสามารถได้เกี่ยวกับการทำงานของวงจร จากรูป 3-14 คือค่า quiescent สำหรับศักดาไฟฟ้าไบอัส V_G ดูรูป 3-14 จะเห็นว่าจุด Quiescent ตั้งอยู่ประมาณ 1 ใน 4 ของระยะจากค่า $V_G = -4$ ไปยัง $V_G = -6$ คือ V_G มีค่าประมาณ -4.5 เป็นไบอัส quiescent

สิ่งถัดไปที่จะได้จากรูป 3-14 คือค่า quiescent ของกระแสเพลท I_p สามารถหาโดยการลากเส้นในแนวระดับจากจุด quiescent ไปตัดกับแกนกระแสเพลท จากตัวอย่างนี้ $I_p = 3.0$ mA.โดยประมาณซึ่งสามารถตรวจสอบค่า V_G ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_G = I_p R_k = 0.003 \times 1500 = 4.5 \text{ V.}$$

ปริมาณสุดท้ายซึ่งสามารถหาได้จากการวิเคราะห์กราฟ คือ ศักดาไฟฟ้าที่เพลท quiescent (V_p) จากจุด quiescent ลากเส้นในแนวดิ่งไปตัดแกนศักดาของเพลท จุดตัดนี้ให้ค่า V_p = 178 V. ที่จุดนี้เราจะได้ศักดาและกระแสเพลทที่ทำงานโดยประมาณ คือ

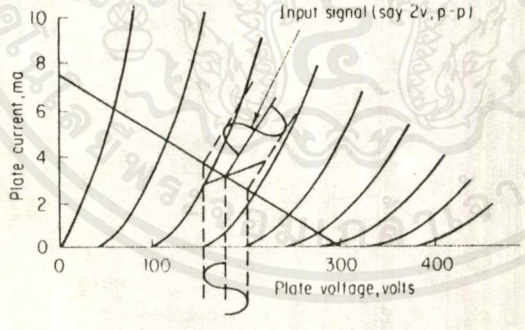
$$V_p = 178 \text{ V.}$$
$$V_G = -4.5 \text{ V.}$$
$$I_p = 3.0 \text{ mA.}$$

ค่าเหล่านี้คือค่าที่เราคาดว่าจะได้ ถ้าเราสร้างวงจรนี้และวัดปริมาณเหล่านี้ด้วยมิเตอร์

การหาการขยายศักดาไฟฟ้าของวงจรขยายสามารถถูกหาได้โดยการแทรกสัญญาณอินพุท V_g เล็ก ๆ และหาสัญญาณเอาท์พุท V_p ดังรูป 3-15

ตัวอย่างของเราแสดงอัตราขยายศักดาไฟฟ้าเป็น

$$Av = 46/2 = 23$$



รูป 3-15 กราฟแสดงพื้นฐานของการขยายวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความหมายของการป้อนกลับในวงจร Oscillate

ในตอนก่อน ๆ เรากล่าวถึงว่าการ Oscillate เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงาน d-c ไปเป็น a-c แต่ในตอนนี้เราจะมาพิจารณาถึงวงจร Oscillate แบบที่มีการป้อนกลับ

วงจร Oscillate แบบที่มีการป้อนกลับก็คือ ตัวแอมปลิฟายเออร์ที่มีการป้อนกลับสัญญาณเข้าอินพุทด้วยตัวเอง ซึ่งเฟสหรือขั้วของสัญญาณต้องเหมือนกับสัญญาณทางด้านอินพุท การเกิด Oscillate จะเกิดที่ความถี่ซึ่งถูกกำหนดโดยวงจร tank ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรป้อนกลับ

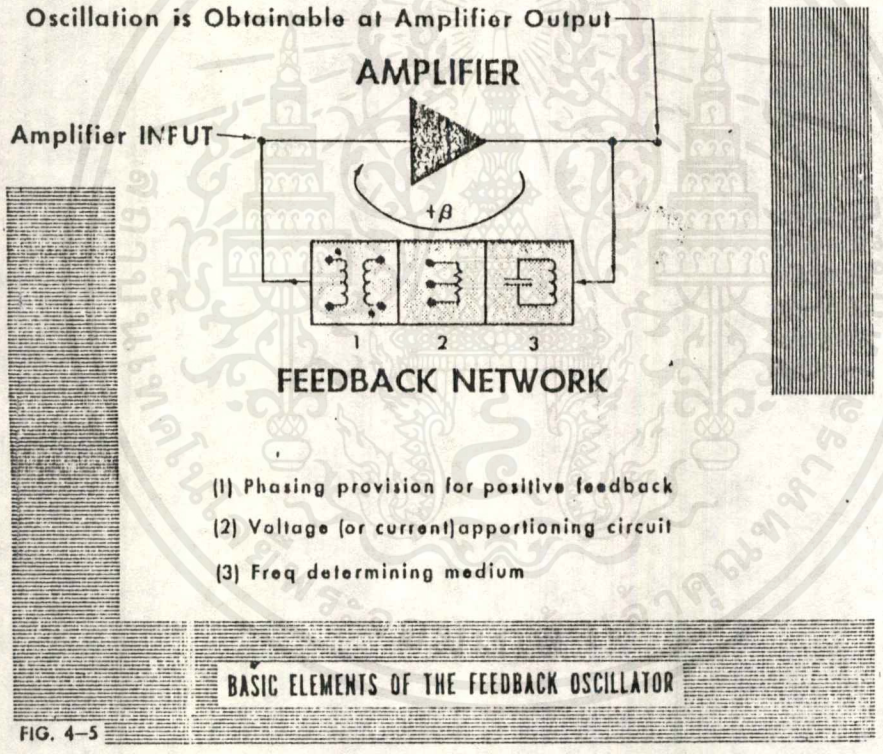
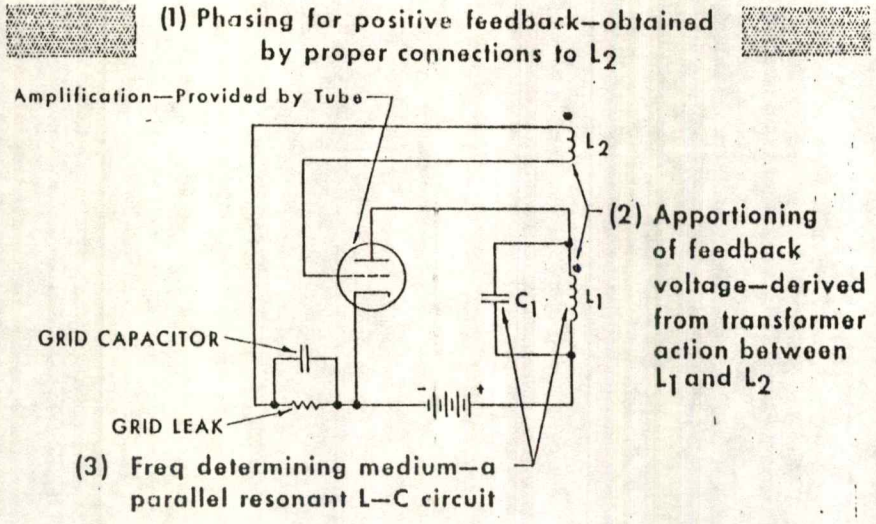


FIG. 4-5

รูป 4-1 แสดงวงจรพื้นฐานของ Feedback Oscillator

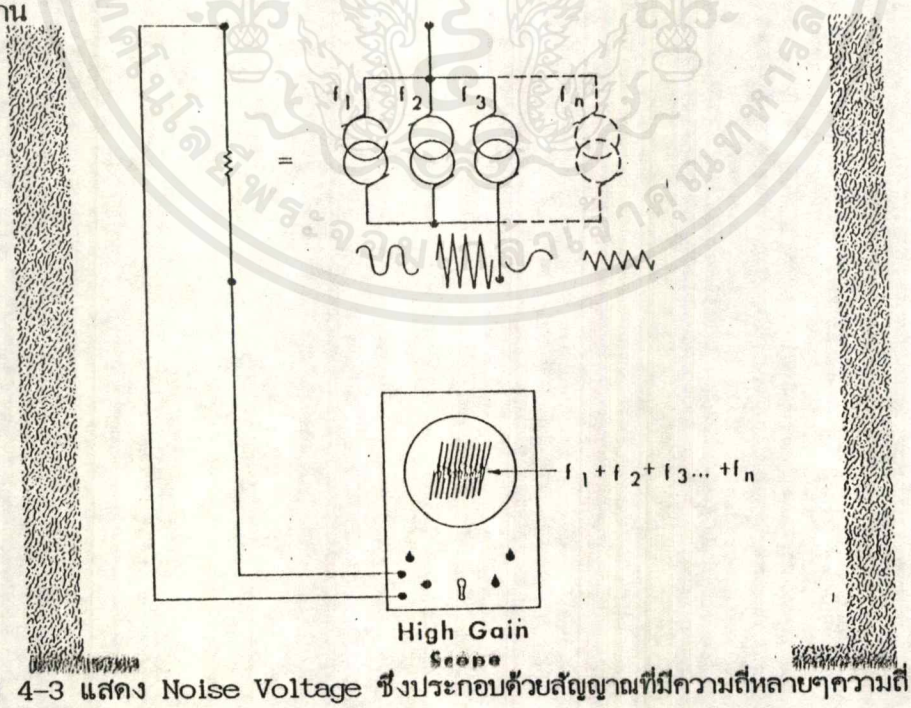
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-2 หน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆของวงจร Feedback Oscillator

<u>สัญญาณที่ได้จากอิเลคตรอนที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน</u>

เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ ตัวนำจะมีศักดาไฟฟ้าเกิดขึ้น เนื่องมาจากการเคลื่อนที่อย่างลอยเลื่อนของอิเลคตรอน นั่นก็เป็นเหตุว่าทำไมพลังงานจึงถูกส่งออกมาภายใต้ย่านความถี่ต่าง ๆ รูปที่ 4-3 คลื่นที่ผลิตออกมาจะค่อนข้างคงที่จึงมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นของความถี่ใดความถี่หนึ่ง ๆ ซึ่งถูกผลิตออกมาในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งเราอาจเรียกได้ว่า "noise Voltage" โดยจะมีค่าขึ้นอยู่กับ bandwidth, อุณหภูมิและความต้านทาน



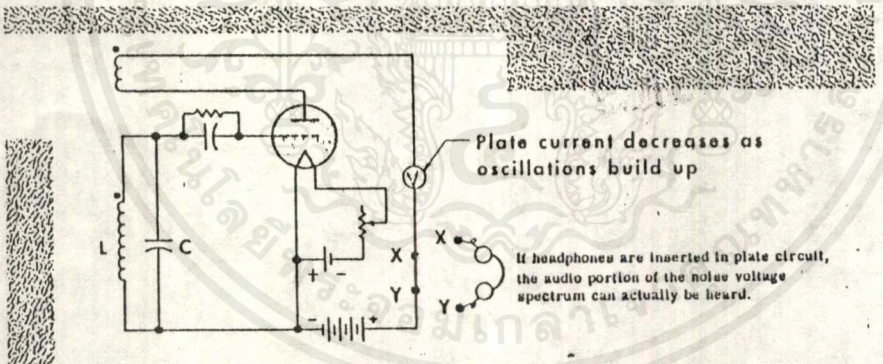
รูป 4-3 แสดง Noise Voltage ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณที่มีความถี่หลายๆความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

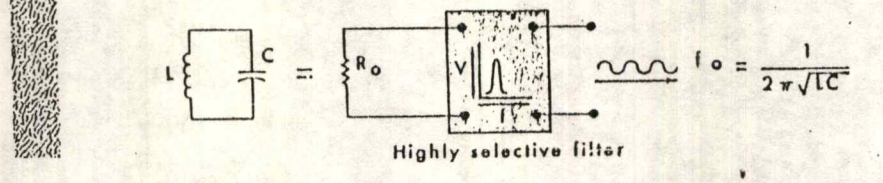
Oscillate เกิดจาก Noise Voltage ได้อย่างไร

รูปที่ 4-4 คือวงจร Oscillate ที่มีการป้อนกลับอย่างพื้นฐาน เราจะปรับการ Oscillate อย่างช้า ๆ โดยเปลี่ยนค่าของ filament rheostat โดยเราจะหลีกเลี่ยงการเกิด transientซึ่งจะเกิดขึ้นในวงจร Oscillate ค่ากระแส filament ที่ต่ำ ๆ จะไม่สามารถทำให้เกิดการ Oscillate ได้เนื่องจากอิเลคตรอนที่หลุดออกมาจะไม่สามารถทำให้หลอดเกิดการขยายสัญญาณได้ เมื่อเราปรับ filament rheostat อย่างช้า ๆ จะทำให้ถึงจุดที่จะเกิดการเริ่มต้น Oscillate ได้ โดยสังเกตุได้จากการที่กระแสเพลทลดลง

กระแสที่ grid และการไบอัสแบบลบที่ grid จะทำให้เกิดการ Oscillate ได้ และการไบอัสแบบลบที่ grid จะทำให้เกิดกระแสเพลทลดลงและสัญญาณของบางความถี่จะต่อเนื่องตลอดคร่อมขั้ววงจร tank ซึ่งสัญญาณนี้ได้มาจาก noise(เกิดจากความร้อน) เป็นสัญญาณที่ถูกเลือกโดยวงจร tank สัญญาณนี้จถูกขยายและป้อนกลับทางอินพุท การป้อนกลับจะทำวนเวียนไปมาจนถึงระดับพลังงานจุดหนึ่งจะไปจำกัดการเพิ่มของการไบอัสแบบลบและวงจร Oscillate จะผลิตความถี่ที่ระดับพลังงานหนึ่งเท่านั้น



SIMPLE FEEDBACK OSCILLATOR



ANALOGOUS CIRCUIT OF RESONANT TANK

รูป 4-4 แสดง Noise Voltage ที่เป็น input ของวงจร Oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเริ่มต้นของวงจร Oscillate โดยวงจรทรานเซียน

ในตอนต้นเรากล่าวถึงการเกิด Oscillate โดยค่อย ๆ ปรับ filament rheostatโดยไม่ให้เกิด transient ในวงจร resonance ซึ่งตามความเป็นจริงแล้ว การ Switching ของ power supply มักจะทำให้เกิด transient ในวงจร tank ทำให้เกิด การ Oscillate โดยการกระตุ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความไม่แน่นอน ว่า การเกิด Oscillate เกิดจาก transient หรือ noise Voltage กันแน่

ผลของการไบอัสด้วยค่าคงที่ต่อการเกิดการ Oscillate ด้วยตัวเอง

เรารู้กันก่อนแล้วว่าการไบอัสแบบ grid leak จะต่อเนื่องตลอดการ Oscillate ถ้ามีเหตุจำเป็นบางอย่าง เช่น load มากเกินไป การ Oscillate จะหยุด ความเค้นหายที่เพลท เนื่องจากกระแสจะทำให้หลอดชำรุดได้ ถ้าปราศจากการ bias แบบลบที่ grid อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการไบอัสมากเกินไป ทั้ง noise Voltage และ transient จะไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการ Oscillate ได้ ซึ่งบางครั้งในการใช้ที่ความถี่สูงเพื่อเพิ่มความร้อน การ Oscillate ก็สามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วโดยการไบอัสแบบคงที่

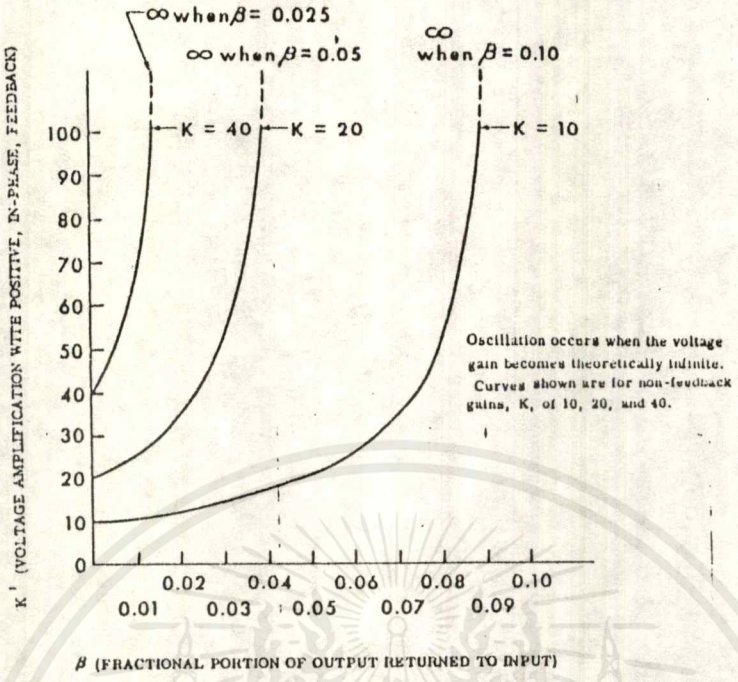
ผลของการป้อนกลับแบบบวกต่อ gain ของการขยาย

เนื่องจากความขัดข้องของอุปกรณ์ทางวิทยุ มันเป็นความรู้เบื้องต้นของการป้อนกลับแบบลบที่กำหนดเกนของตัว amplifier แต่มีการปรับปรุงเรื่องการตอบสนองทางความถี่ ในบางวงจร Oscillate จะใช้การป้อนกลับแบบลบ แต่ในตอนนี้จะกล่าวถึงการป้อนกลับแบบบวกก่อน ค่า K เป็น Voltage gain ของการขยายโดยปราศจากการป้อนกลับ และ K' เป็น Voltage gain เมื่อมีการป้อนกลับส่วนสุดท้ายต่อ β เป็นอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุทเทียบกับทางอินพุท (β มีเครื่องหมาย + สำหรับการป้อนกลับแบบบวก , และเครื่องหมายลบ สำหรับการป้อนกลับแบบลบ)

$$K' = K/1-K\beta$$

จะเห็นว่าการป้อนกลับแบบบวกเป็น gain ของการขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-5 ผลของ Votage Gain K ที่มีต่อวงจร Amplifier แบบ Positive Feedback

<u>ความหมายทางฟิสิกส์ของ infinite gain</u>

การพิจารณาส่วนของสมการ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ค่า gain ของการขยายจะมีค่า infinite ซึ่งจริง ๆ แล้ว ก่อนที่ gain จะเข้าใกล้อินฟินิท ในการ in-phase กันระหว่างอินพุทและสัญญาณป้อนกลับขึ้นอยู่กับค่าของ reactive component (inductor และ capacitor) ในวงจรขยาย ในรูปที่ 4-6 จะเห็นวงจรขยายซึ่งถูกกำหนดด้วยสมการ

$$K' = K/1-K\beta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

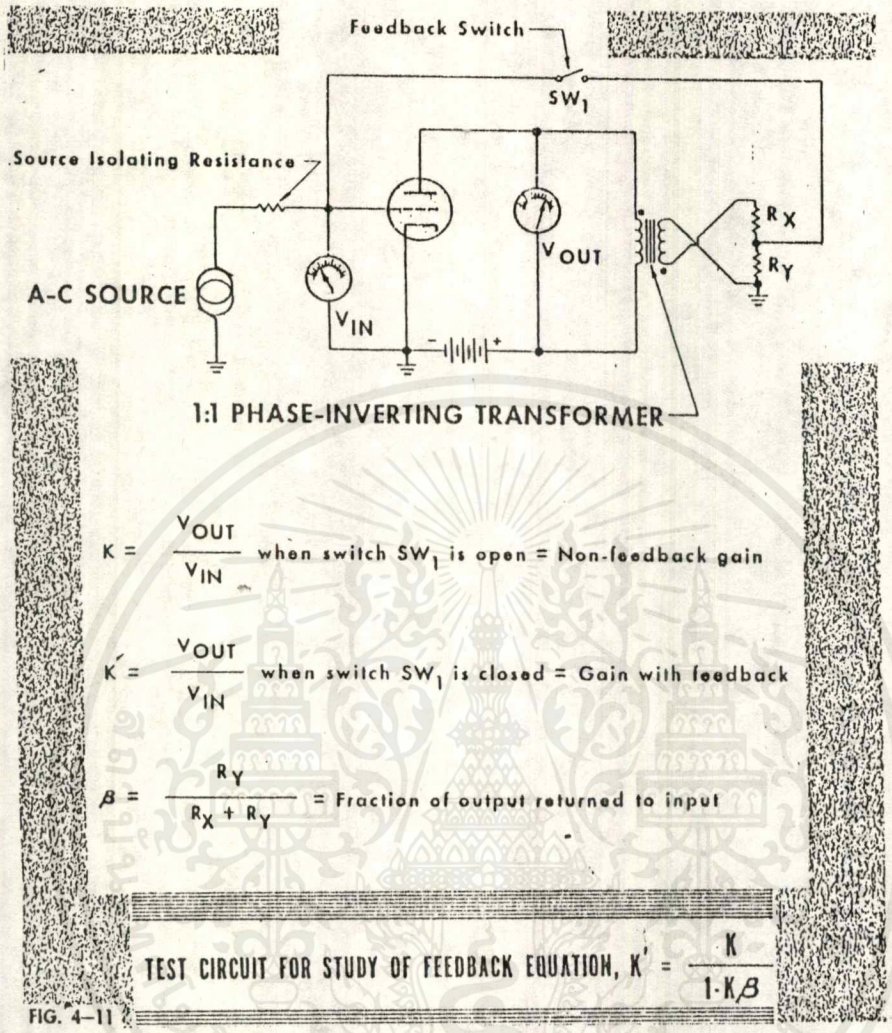


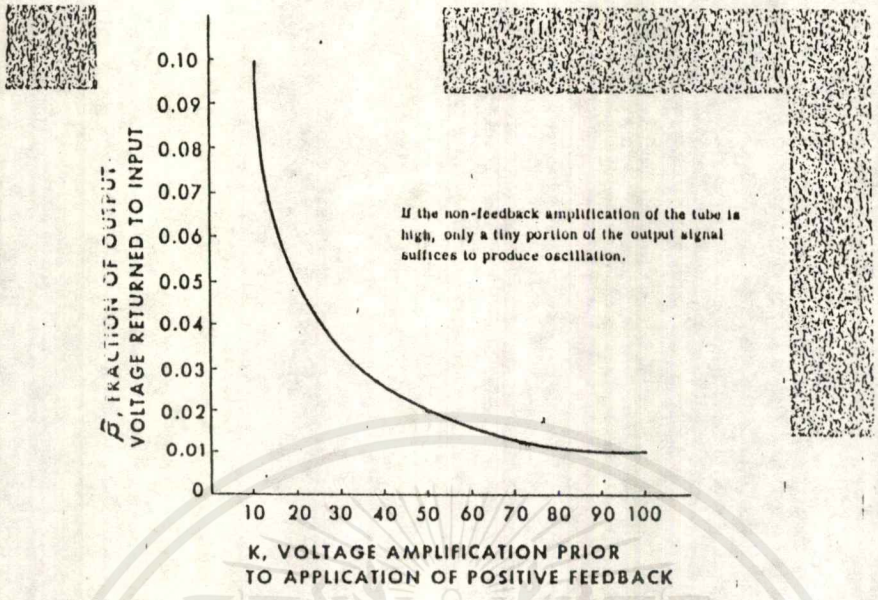
FIG. 4-11

รูป 4-6 วงจรที่ใช้ศึกษาสมการ $K' = K/1-K\beta$

เป็นส่วนศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุท ที่จะป้อนกลับมาทางอินพุท (ถูกกำหนดโดย Voltage divider) transformer ถูกต่อเมื่อที่จะกลับเฟสของสัญญาณขยายที่ปรากฏที่เพลท

ในรูป 4-7 เราจะเห็นกราฟ ซึ่งอธิบายค่าที่น้อยที่สุดของ β ซึ่งจะเพียงพอในการ Oscillate เช่นเดียวกับค่าของ K โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อ K มีค่าสูง , β จะมีค่าต่ำ ซึ่งจำเป็นต้องให้ค่า K สูงเมื่อให้ค่าของความถี่ค่อนข้างคงตัว แต่จะใช้ค่า K ต่ำและ B สูง ในกรณีที่วงจร load และเพลทแยกจากวงจรกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

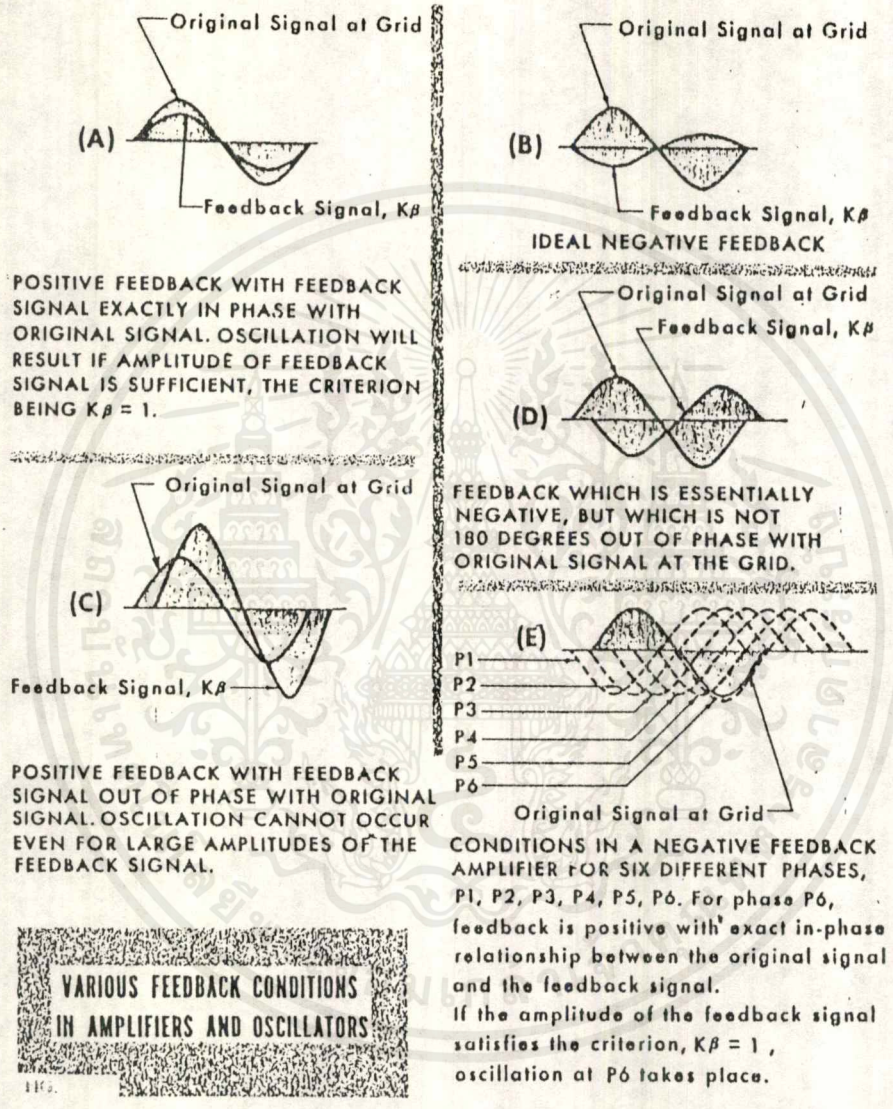


รูป 4-7 กราฟแสดงค่าสัญญาณ Feedback ที่น้อยที่สุดในการ Oscillate

<u>การพิจารณาเฟสของสัญญาณป้อนกลับ</u>

จากที่ทราบมาแล้วว่า $K\beta$ ต้องน้อยที่สุดเท่ากับ 1 จึงจะทำให้เกิดการป้อนกลับในวงจร Oscillate ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากที่สัญญาณเอาท์พุท β ที่จะกลับมาทางอินพุท จะต้อง inphase กับสัญญาณทางด้านอินพุท รูปร่างวงจรขยายของหลอดสูญญากาศ (Cathode ที่เป็น ground) เป็นสาเหตุให้มีการเลื่อนของเฟสไป 180° ระหว่างสัญญาณเอาท์พุทกับอินพุท ซึ่งเฟสที่กลับ 180° ก็เสมือนกับการกลับของขั้ว เราจะเห็นว่าการป้อนกลับจากเพลทไปที่กริดจะต้องเป็นการป้อนกลับแบบบวก เมื่อเราแทนค่า β ใน $K/(1-K\beta)$ ค่าของอัตราขยายจะค่าลดลง ซึ่งจะมีอยู่หลายวิธีที่สามารถจะกระทำได้ เช่น Transformer , series resonant tank และ R-C network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-8 แสดงเงื่อนไขของการ Feedback แบบต่างๆในวงจร Amplifier และ Oscillator

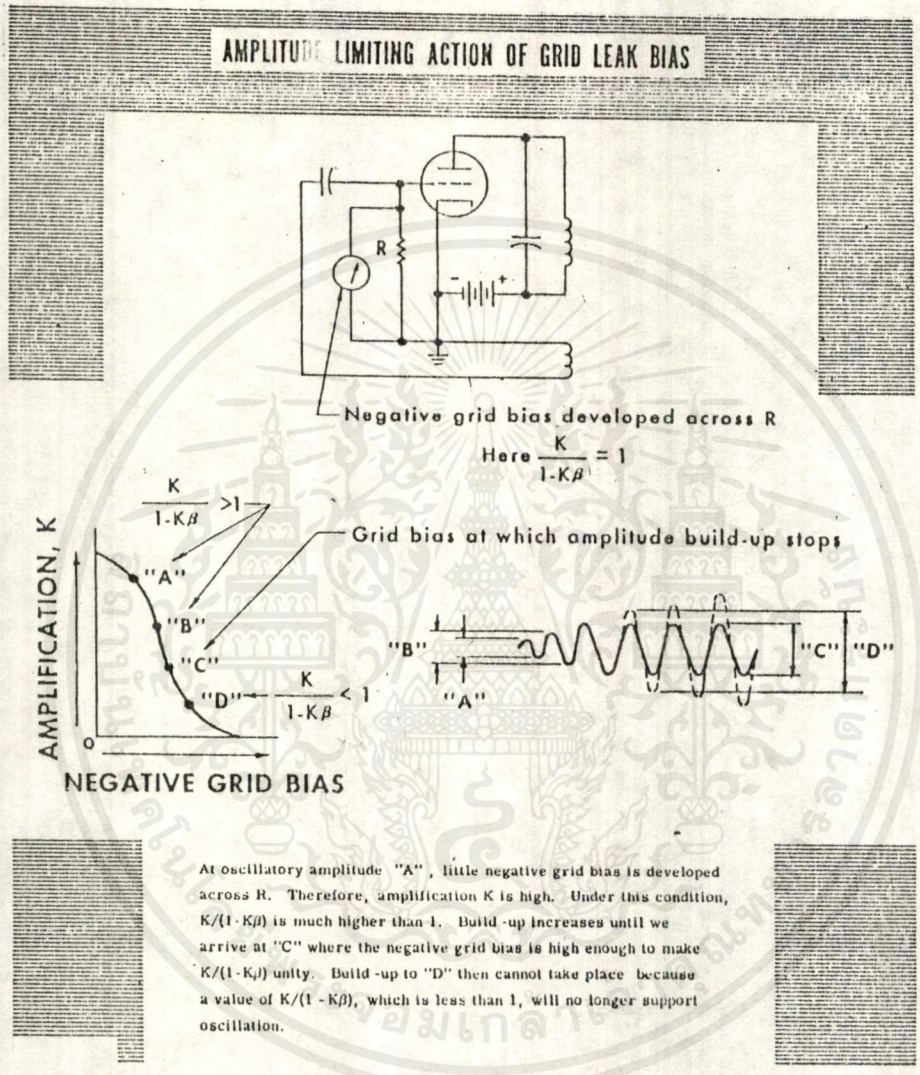
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำกัดแอมปลิจูดโดยการควบคุมการ bias โดยอัตโนมัติในวงจรคลาส C

ในวงจรคลาส C โดยปกติมักจะใช้การไบอัสแบบ grid leak ก่อนที่จะเริ่มการ Oscillate ไม่มีการไบอัสที่ grid leak และอัตราการขยาย K มีค่ามากที่สุด ค่าของ $K/1-K\beta$ จะเป็น unity การ Oscillate จะเริ่มขึ้นและกระแส resultant ของกริดทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าคร่อม grid leak ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะคล้ายกับ negative d-c grid ไบอัส คล้ายกับผลที่เกิดเนื่องจากการ rectify ของส่วน grid-cathode ของหลอดและการกรองสัญญาณของ grid capacitor ค่าของการไบอัสที่กริดแบบลบจะต่ำกว่าอัตราการขยายของหลอด เราจะเห็นได้ว่าค่าของ K และ $K/(1-K\beta)$จะถูกทำให้ต่ำ

ในวงจรป้อนกลับของ Oscillate เป็นการง่ายที่จะทำให้ค่าของ $K/(1-K\beta)$ เป็น unity เมื่อค่าเกนของหลอดมีค่าสูงสุด ขณะที่การ Oscillate เกิดขึ้นใน tank ค่ากระแสกริด เพิ่มขึ้นและก็ค่า resultant negative grid ไบอัส จะมากขึ้น จุดสุดท้ายก็คือต่ำ ของ $K/(1-K\beta)= 1$ เมื่อถึงตอนนี้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นก็จะถึงจุดที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-9 แสดงภาวะการจำกัด Amplitude ของการ Bias แบบ Grid leak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดของวงจร Oscillate

เมื่อมีการดึงพลังงานจากวงจร tank โดยการเก็บประจุหรือการเหนี่ยวนำจะทำให้ค่า Q นั้นมีค่าลดลงเนื่องจากค่า ความต้านทานของโหลดมีผลส่งทำให้ค่า B_s เพิ่มขึ้น (เมื่อความถี่คงที่) แต่ถ้าต้องการให้ค่า Q สูงอยู่ จึงมีการกำหนดให้ประมาณของโหลดที่ต้องการนั้นต้องมีค่าน้อยกว่าค่าพลังงานที่ตอบสนองสูงสุด

วงจร Oscillate นั้นสามารถกระตุ้นตัวเองได้โดยใช้การกระตุ้นจากกริดน้อยมากในการรักษาภาวะ Oscillate แต่ถ้ามีโหลดซึ่งจะทำให้ค่า Q ลดลงก็จะทำให้เกิดปัญหาในการรักษาสภาพ Oscillate ยิ่งถ้าโหลดมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงกว้างก็อาจมีผลทำให้การ Oscillate ยุติลงได้ เราจะสังเกตุว่าการ Oscillate เริ่มจะหยุดได้จากการเริ่มที่จะไม่เสถียรภาพการเพิ่มขึ้นของ harmonic กระแสเพลทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

วงจร Oscillate แบบป้อนกลับ

ในวงจรของ Oscillate โดยทั่วไปจะมีจุดหนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง คือการป้อนกลับ โดยเป็นการนำสัญญาณอินพุท เข้ามาผ่านวงจรขยายจากนั้นนำกลับไปเสริมกับสัญญาณอินพุทเดิม ซึ่งมักจะใช้เมื่อสัญญาณอินพุทนั้นไม่สามารถทำให้เกิดการ Oscillate ได้ โดยที่มีลักษณะสัญญาณจะต้องเช่นเดียวกับสัญญาณอินพุท ถ้าสัญญาณอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้สัญญาณป้อนกลับเปลี่ยนแปลงเช่นกัน แต่สัญญาณป้อนกลับก็จะเสริมสัญญาณอินพุทเพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่งเท่านั้น เราเรียกการป้อนกลับแบบนี้ว่า positive feedback โดยการ Oscillate จะเกิดขึ้นที่ความถี่ Resonant ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้ว่า สัญญาณเอาท์พุทไม่สามารถมีได้ถ้าไม่มีสัญญาณอินพุท และเช่นกัน สัญญาณอินพุทก็ไม่สามารถกำเนิดได้ถ้าไม่มีสัญญาณอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้อนกลับและความต้านทานแบบลบ จากผลของ Resonant tank

จากที่เราพบว่า Oscillation เกิดขึ้นได้เมื่อ K' มีค่า = 1 โดยจะเป็นการขยายโดยไม่มีที่สิ้นสุด โดยการป้อนกลับเพื่อเป็นการชดเชย ค่า loss ในวงจร ซึ่งมักจะชดเชย loss ในวงจร Tank และจากทฤษฎีเราจะพบว่า ผลที่เกิดขึ้นใน resonant tank ก็เป็นแบบเดียวกับความต้านทานแบบลบของ วงจร Oscillate ทั้งความต้านทานแบบลบของวงจร Oscillate และการป้อนกลับ การ Oscillate จะเกิดได้ ความต้านทานของ วงจร Tank ต้องเข้ากันได้กับค่าความต้านทานแบบลบ

Blocking Oscillator

วงจร Blocking Oscillator เป็นดังรูป 4-10 โดยที่วงจร Tank ประกอบด้วยขดลวด มี หม้อแปลง T ต่อกับ grid-cathode โดยมี ค่า C และค่า B ที่ต่อกับ grid มีค่าสูงมาก

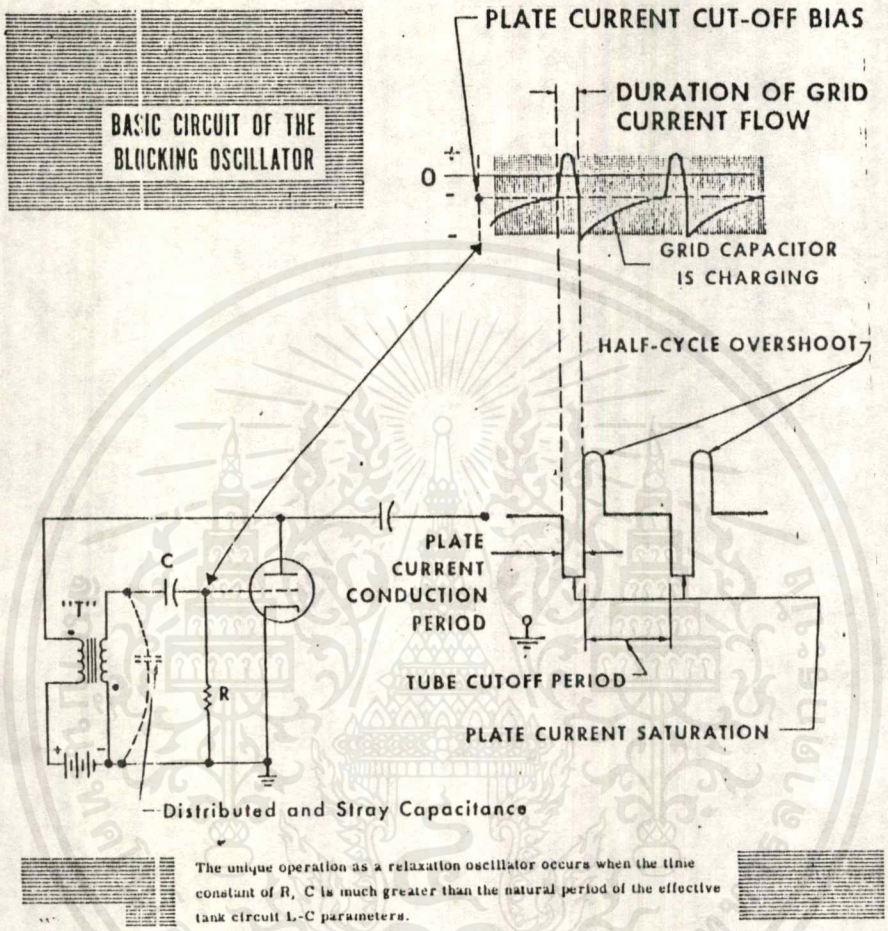
วิธีการทำงาน Oscillate

เมื่อเริ่มมีการ oscillate โดยมีกระแสเพลทเพิ่มขึ้น โดยกระแสเพลทจะไหลเข้ามาที่หม้อแปลง T ซึ่งจะเกิดการเหนี่ยวนำกลับเข้าที่กริด ซึ่งช่วงนั้นจะมีผลทำให้ศักดาไฟฟ้าที่กริดมีค่าเป็นบวก เมื่อเทียบกับ Cathode โดยขึ้นกับพลังงานที่สะสมในหม้อแปลง เพราะว่าหม้อแปลงจะมีการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าเมื่อกระแสที่เข้ามาที่การเปลี่ยนแปลง เมื่อผลของแรงดันไฟฟ้าบวกหมดลง กริดก็จะเป็นการไบอัสแบบลบสูง ๆ

เราสามารถสรุปได้โดยคิดเป็น การไบอัส แบบคลาส C ผลของการไบอัสแบบบวกทำให้เกิดการเก็บประจุที่ C บริเวณกริด พอถึงช่วงเวลาหนึ่งที่กระแสเพลทเกิดการอิ่มตัว ซึ่งเป็นผลให้การไบอัสแบบบวกหมดไป ซึ่งก็หมายถึงการเก็บประจุของ C ก็ลบด้วยเช่นกัน จากนั้น Capacitor ก็จะคายประจุออกมาแต่เนื่องจากค่าความต้านทานมีค่าสูงมาก จึงทำให้เกิดแรงดันลบที่มีค่าสูง จนถึงจุด คัทออฟ ซึ่งทำให้ไม่มีการไหลของกระแสเพลท จากกราฟในจุดนี้จะเห็นว่าการที่กระแสเพลทหยุดทันทีนั้นก็ให้เกิด overshoot ขึ้น ดังนั้น blocking oscillator จึงจำเป็นต้องมีวงจร Self-switching เพื่อกระตุ้นการป้อนกลับของสัญญาณด้วย แต่เนื่องจาก Capacitor เก็บประจุไปจำกัด ดังนั้นการคายประจุจึงเป็นไปอย่างช้า ๆ แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานก็เลยมีค่าเป็นลบน้อยลง จนถึงจุดหนึ่งจะเริ่มมีกระแสเพลทอีกครั้ง แล้วจะเริ่มเหนี่ยวนำผ่านหม้อแปลง Capacitor จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

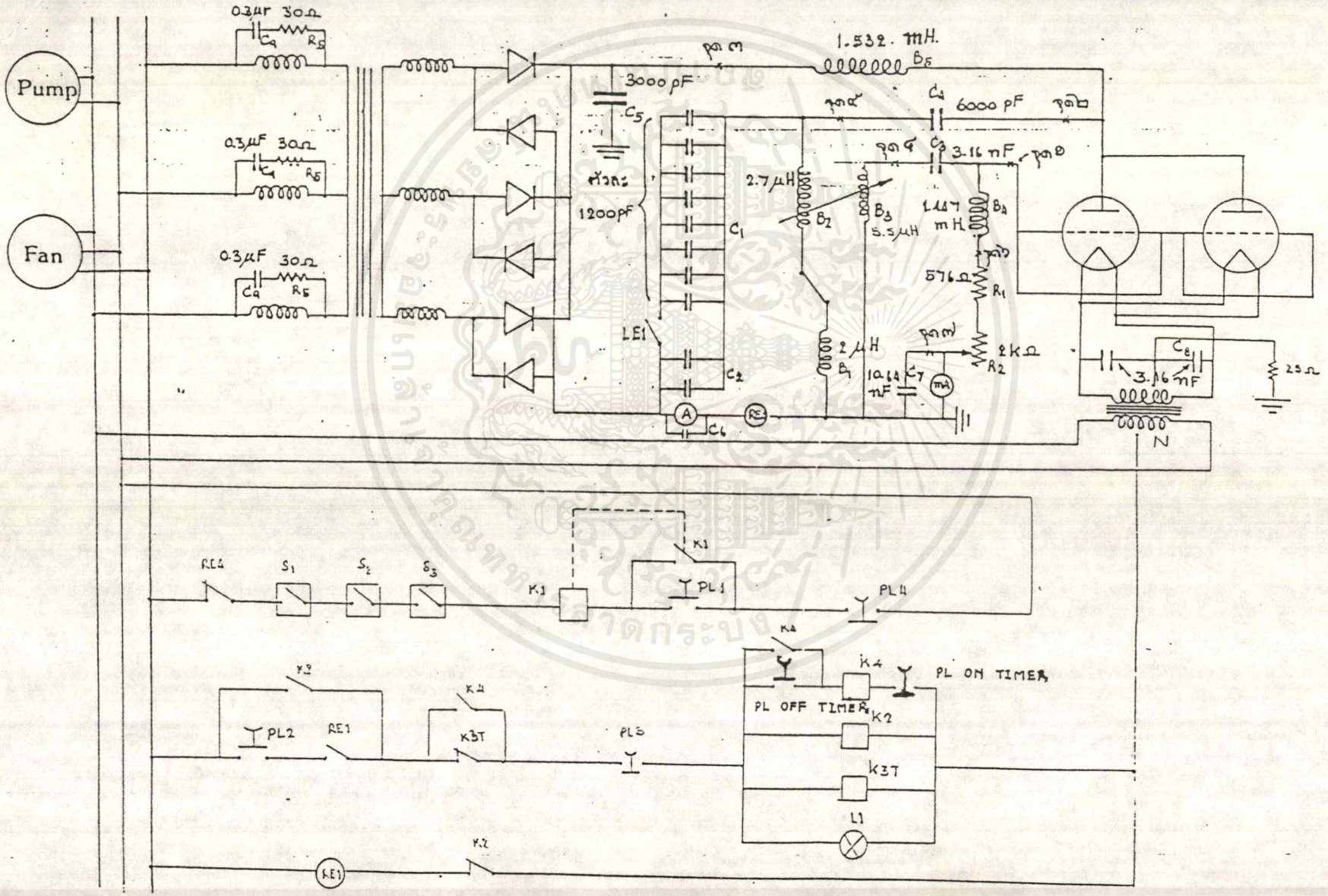
เริ่มเก็บประจุอีกครั้งเป็นอย่างนี้เรื่อยไป ซึ่งช่วงเวลาที่เก็บประจุนี้จะน้อยกว่าช่วงเวลาคายประจุมาก ๆ



รูป 4-10 แสดงวงจร Blocking Oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการทดลอง



LEGEND

RE1	Relay with double contacts 220 V. 5 A.
PL1	Push-button 1 NO "IN"
PL2	Push-button 1 NO "START"
PL3	Push-button 1 NC "STOP"
PL4	Push-button 1 NC "OFF"
RE4	Ammetric Relay 2 A.
K1	Magnetic Contactor 380 V. 4 NO + 1 NC
K2	Magnetic Contactor 220 V. 4 NO + 1 NC
K3T	Timer
K4	Magnetic Contactor
S1-S3	Safety Microswitches for Lid
L1	Lamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ผลการทดลอง

ครั้งที่ 1 INDUCTOR 3.4μH CAPACITOR 2400 pF

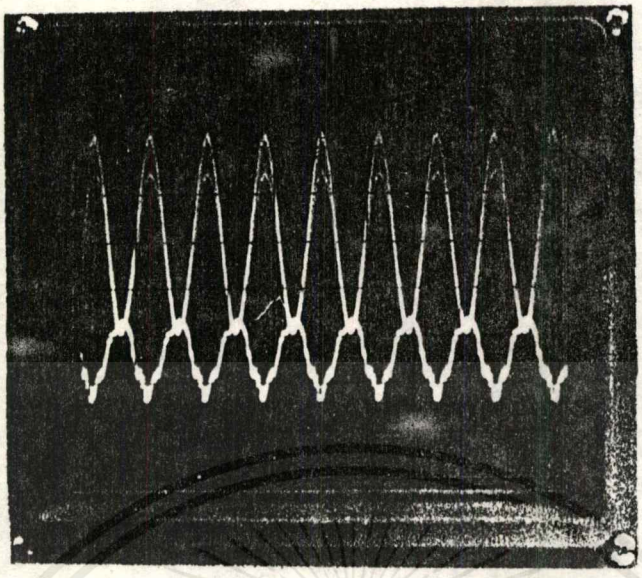
จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.67	530.3	-550	200	1.2
V_{plate}	1.67	1060	3000	200	1.2

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 1
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 2

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.67	530.3	-550	200	1.2
(3)	1.67	-	3000	200	1.2

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 3
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 4

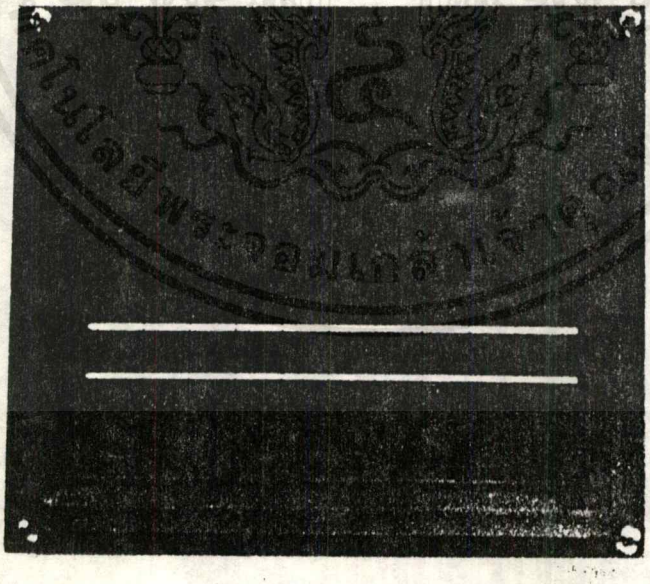
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1

กราฟรูปบน V_{plate} volt/div = 1 time/div = 0.5/μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง V_{grid} volt/div =1 time/div = 0.5/μsec prob*1000

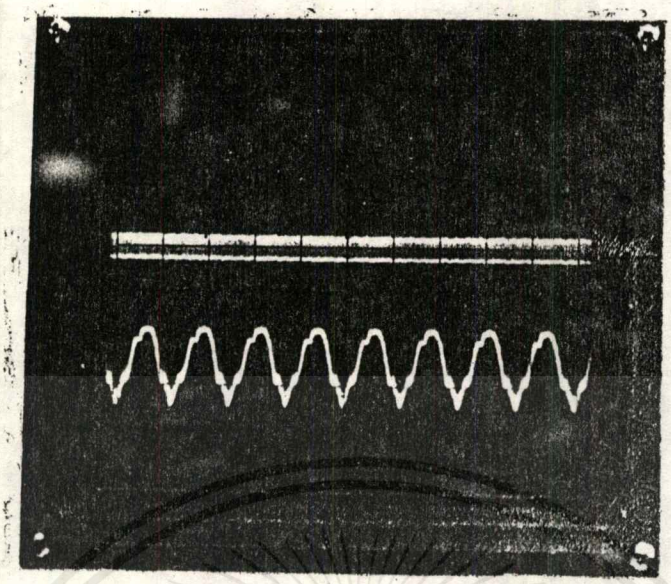


รูปที่ 2

กราฟรูปบน กราวด์ Vgrid

กราฟรูปล่าง กราวด์ Vplate

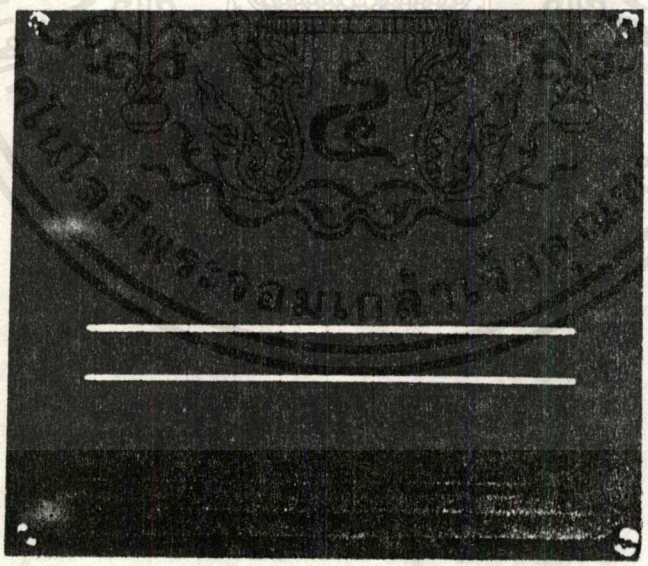
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3

กราฟรูปบน (3) volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง V_{grid} volt/div =1 time/div = 0.5μsec prob*1000



รูปที่ 4

กราฟรูปบน กราวด์ GRID

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.67	530.3	-550	200	1.2
(4)	1.67	530.3	-	200	1.2

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 5

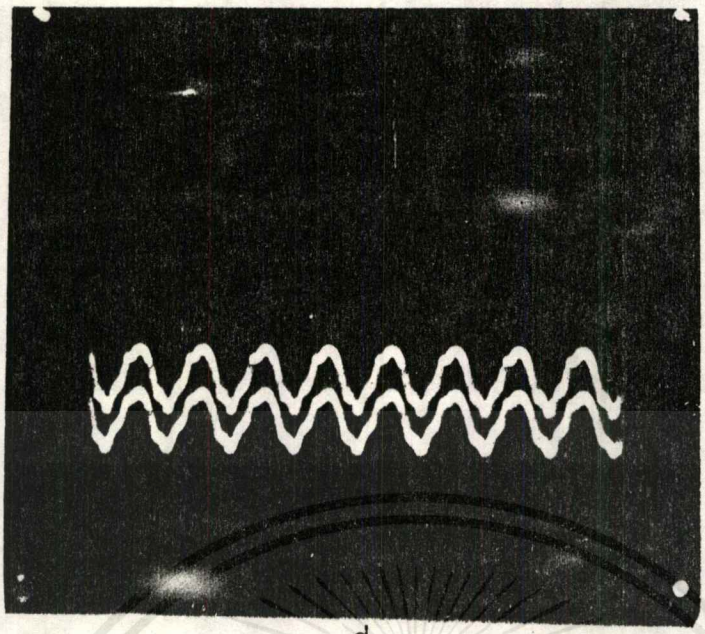
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 6

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.67	530.3	-550	200	1.2
(5)	1.67	2121	-	200	1.2

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 7

รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 8

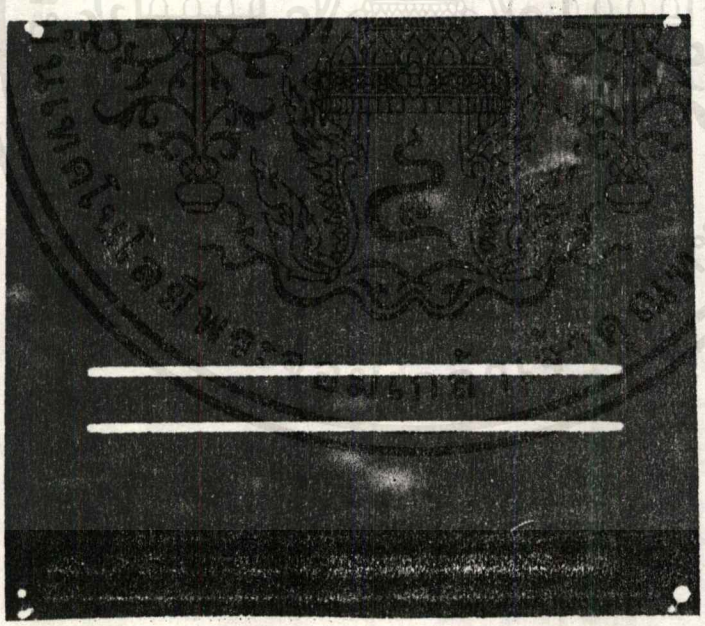
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5/μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(4) volt/div =1 time/div = 0.5/μsec prob*1000

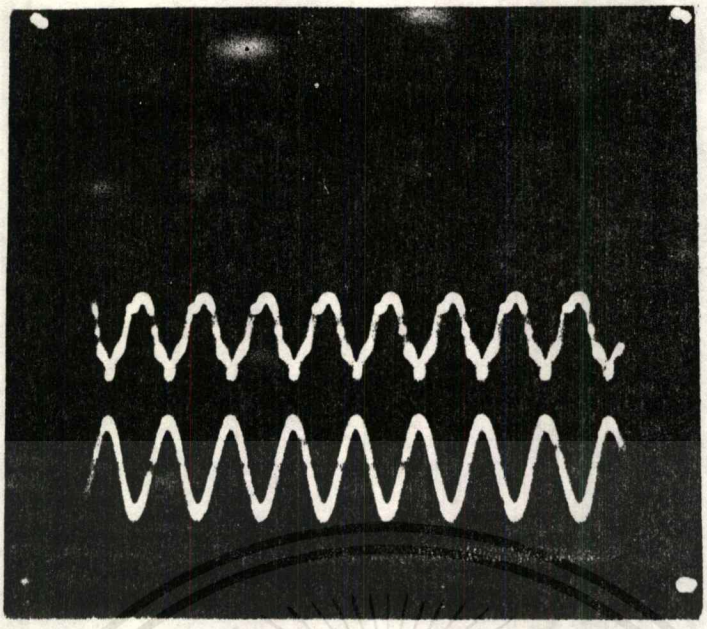


รูปที่ 6

กราฟรูปบน กราวด์ GRID

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(4)

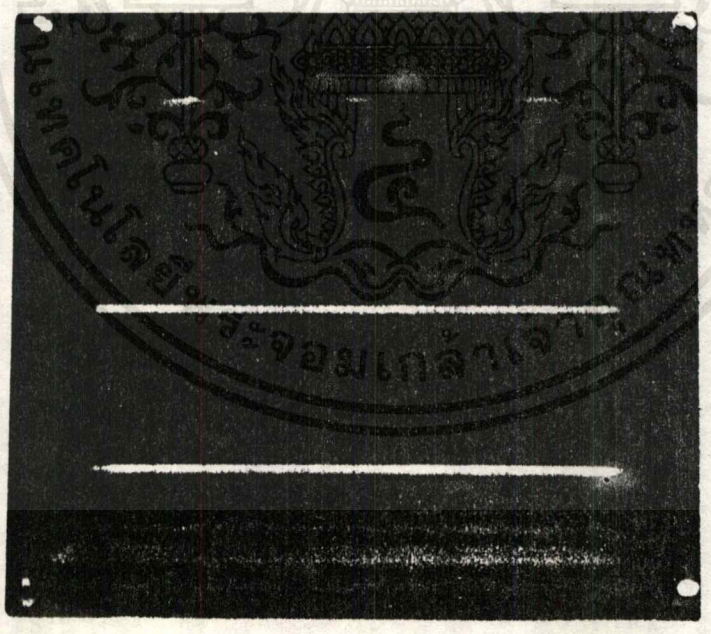
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(5)volt/div =2 time/div = 0.5μsec prob*1000



รูปที่ 8

กราฟรูปบน กราวด์ GRID

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(5)

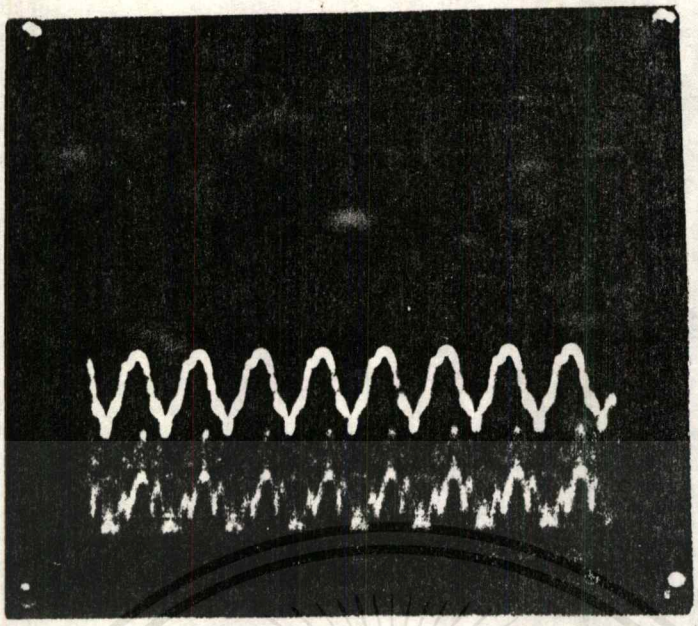
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.67	530.3	-550	200	1.2
(6)	1.67	53.03	-400	200	1.2

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 9

รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 10

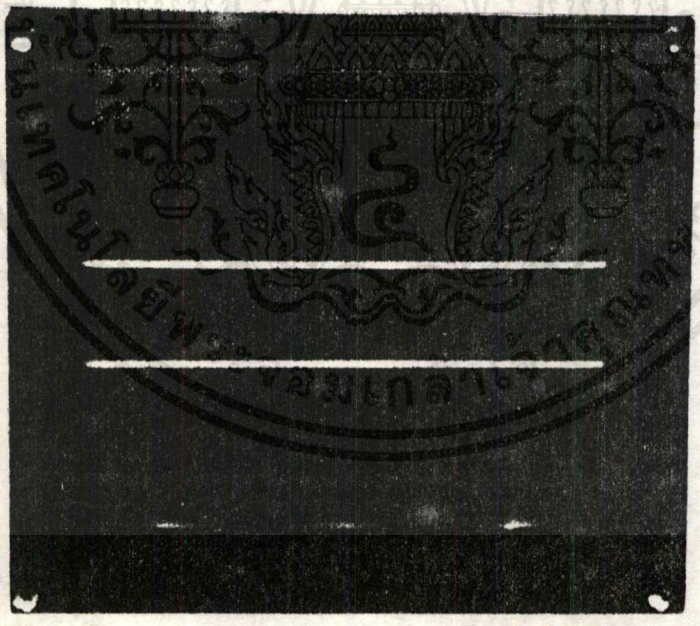
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(6)volt/div =0.1 time/div = 0.5μsec prob*1000



รูปที่ 10

กราฟรูปบน กราวด์ จุด(6)

กราฟรูปล่าง กราวด์ V_{grid}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2 INDUCTOR 3.4μH CAPACITOR 6000 pF

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1	247.5	-150	100	1.4
V_{plate}	1	636.4	3200	100	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 11

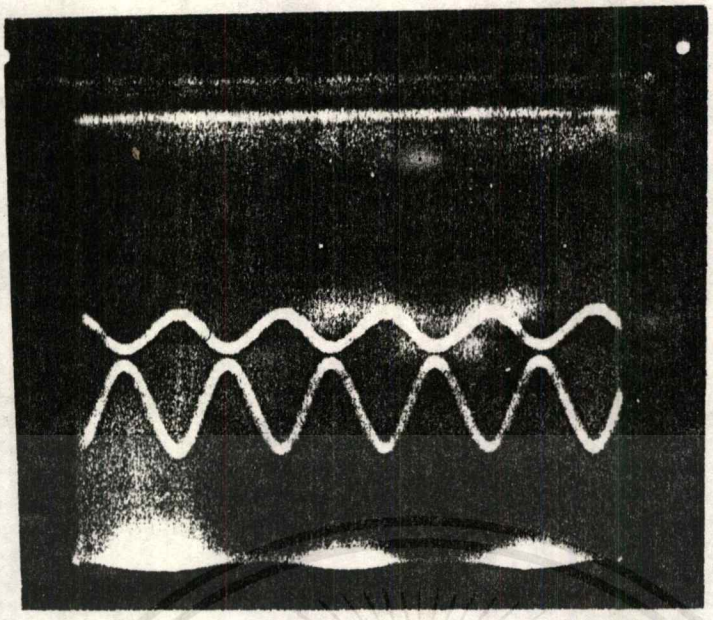
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 12

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1	247.5	-150	100	1.4
(3)	1	-	3200	100	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 13

รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 14

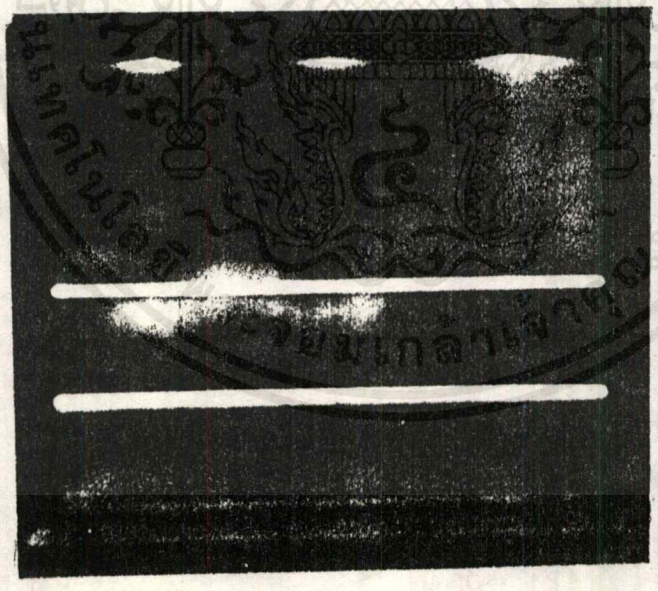
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11

กราฟรูปบน V_{plate} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง V_{grid} volt/div =1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

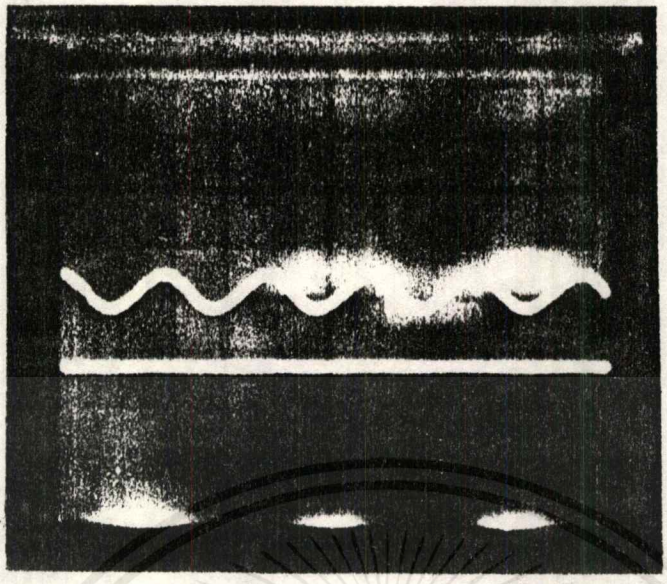


รูปที่ 12

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ V_{plate}

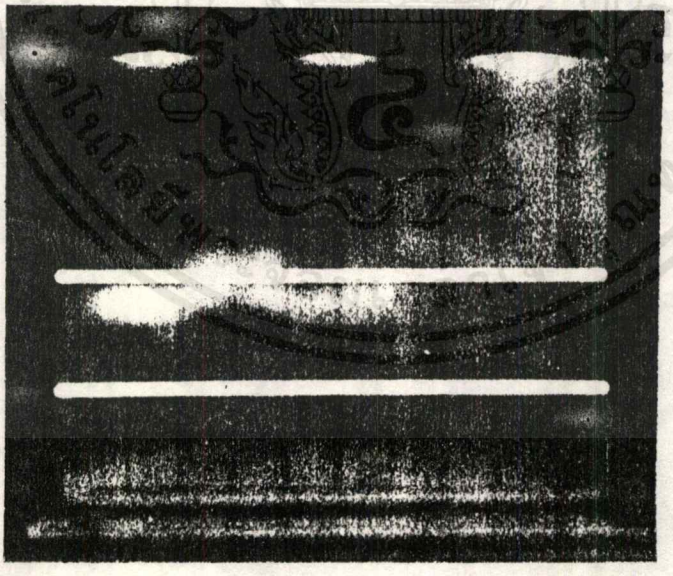
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13

กราฟรูปบน จุด(3) volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง V_{grid} volt/div =1 time/div = 0.5 μsec prob*1000



รูปที่ 14

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

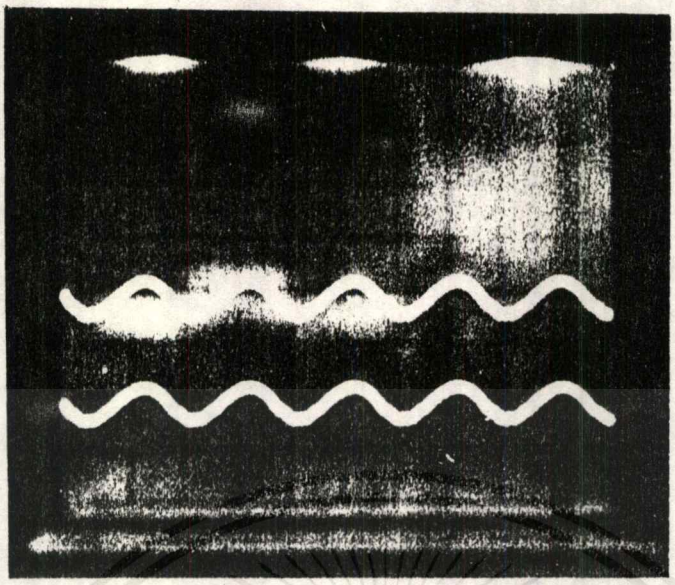
จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1	247.5	-150	100	1.4
(4)	1	247.5	-	100	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 15
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 16

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1	247.5	-150	100	1.4
(5)	1	601.1	-	100	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 17
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 18

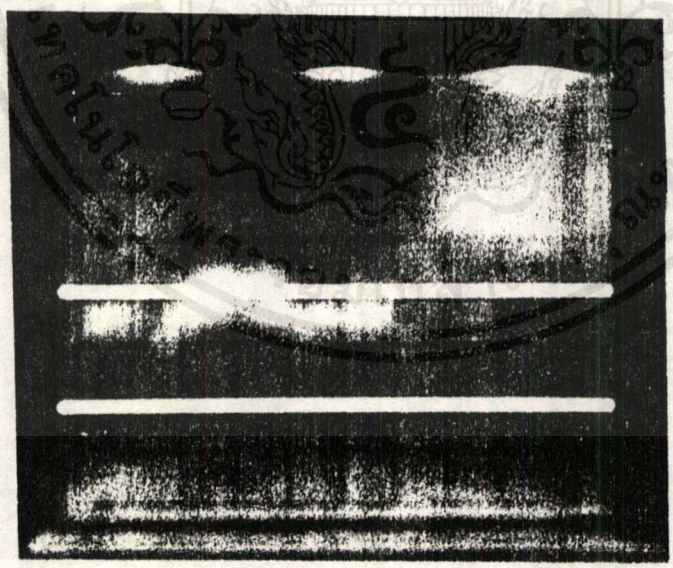
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(4)volt/div =1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

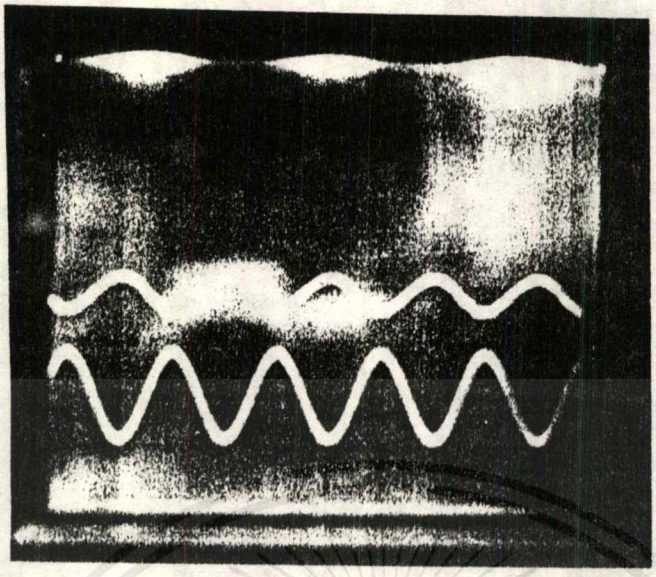


รูปที่ 16

กราฟรูปบน กราวด์ GRID

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(4)

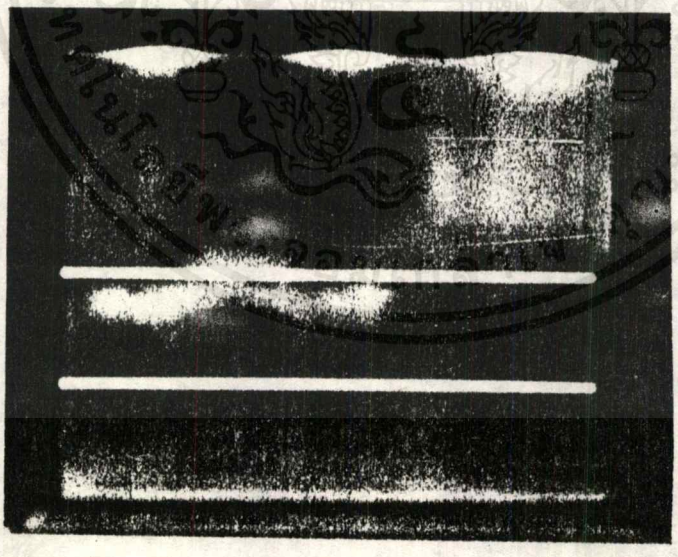
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(5) volt/div =1 time/div = 0.5 μsec prob*1000



รูปที่ 18

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

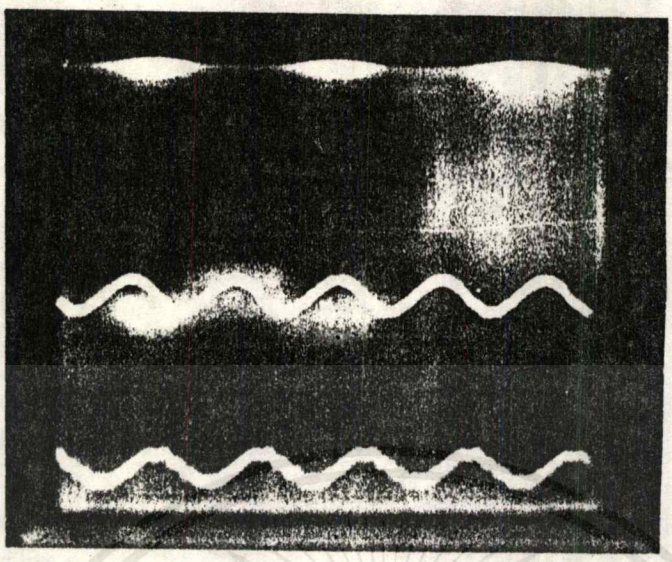
จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1	247.5	-150	100	1.4
(6)	1	28.3	-140	100	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 19
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 20

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1	247.5	-150	100	1.4
(7)	1	1.06	-2	100	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 21
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 22

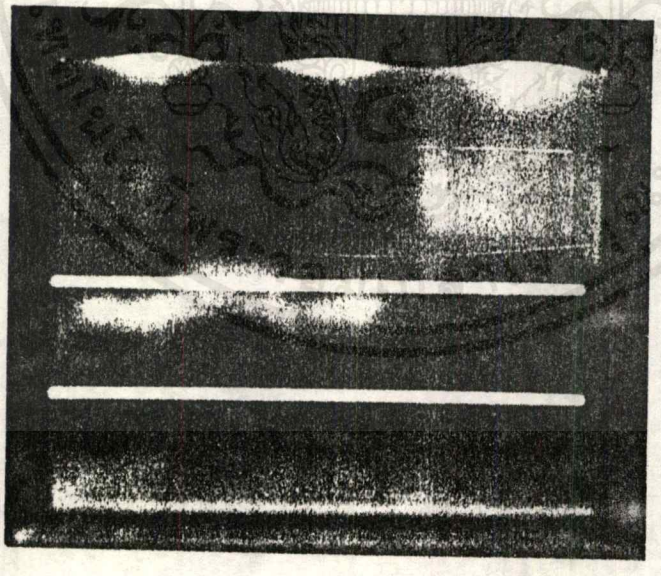
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(6) volt/div =0.1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

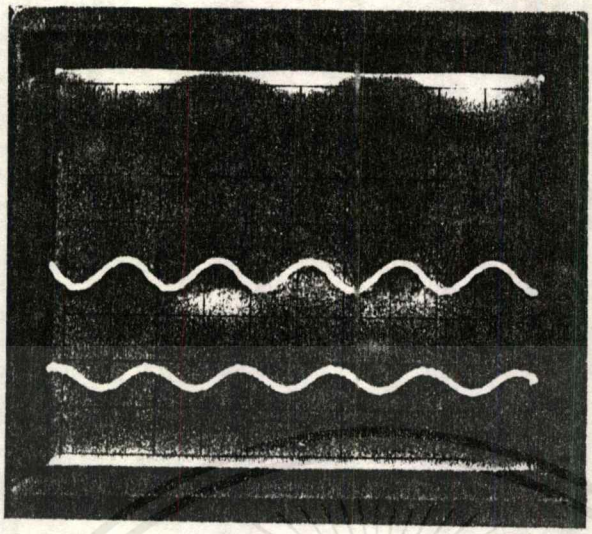


รูปที่ 20

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(6)

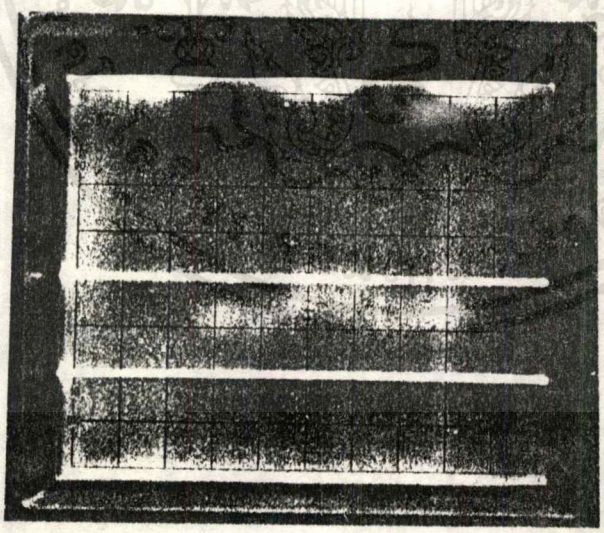
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5/μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(7) volt/div = 5mv time/div = 0.5/μsec prob*1000



รูปที่ 22

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(7)

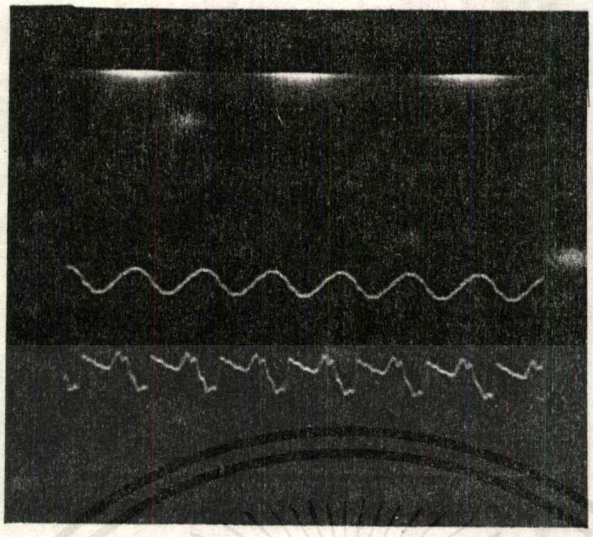
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1	247.5	-150	100	1.4
$I_{cathode}$	1	-	-	100	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 23

รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 24

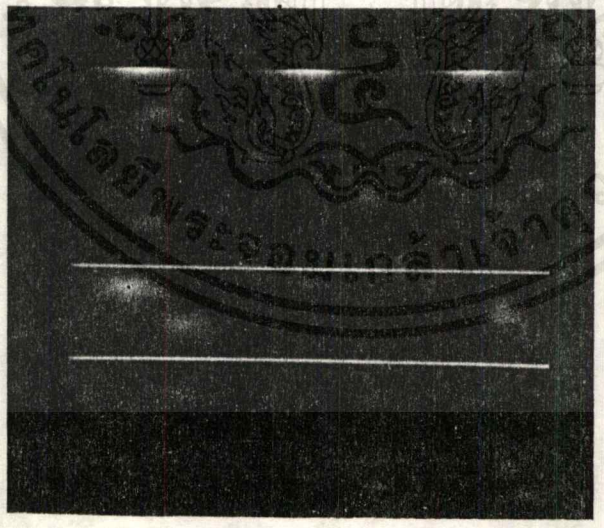
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง $I_{cathode}$ volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*10



รูปที่ 24

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ $I_{cathode}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3 INDUCTOR 2 μh CAPACITOR 6000 pF

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
V_{plate}	1.1	707.1	3400	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 25

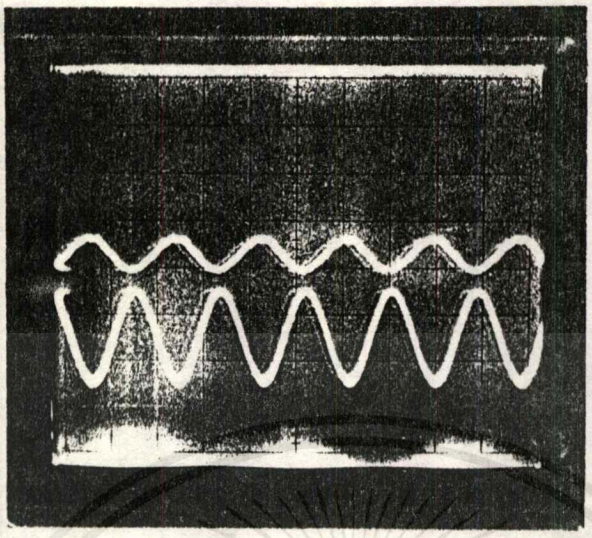
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 26

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
(3)	1.1	-	3400	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 27

รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 28

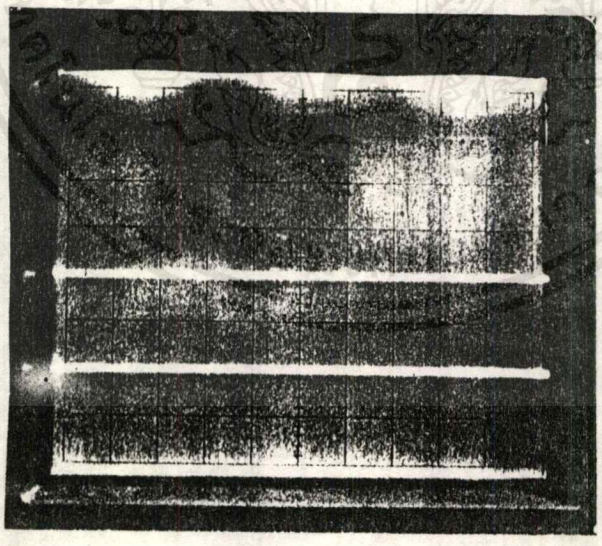
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง V_{plate} volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000

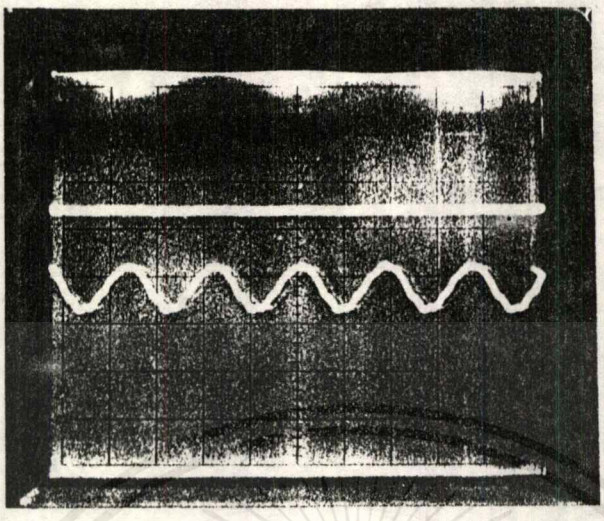


รูปที่ 26

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ V_{plate}

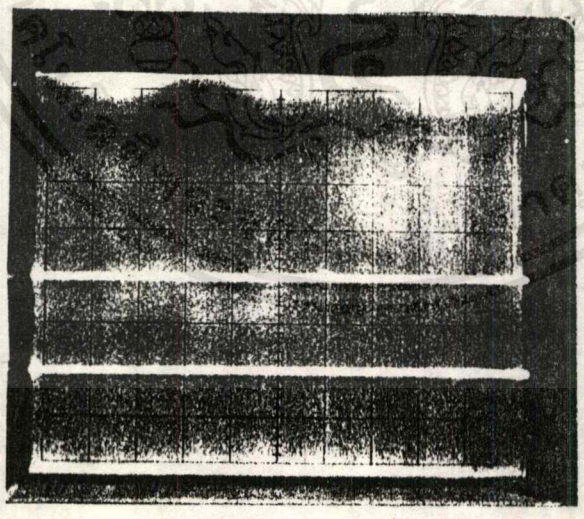
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 27

กราฟรูปบน จุด(3) volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง V_{plate} volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000



รูปที่ 28

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

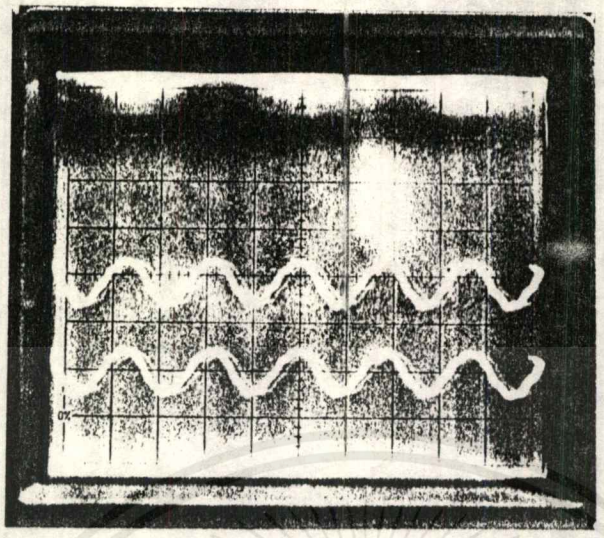
จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
(4)	1.1	353.6	-	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 29
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 30

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
(5)	1.1	707.1	-	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 31
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 32

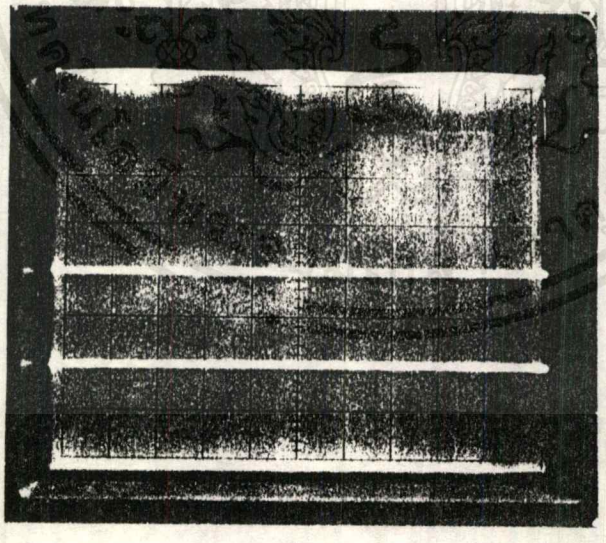
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 29

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(4) volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

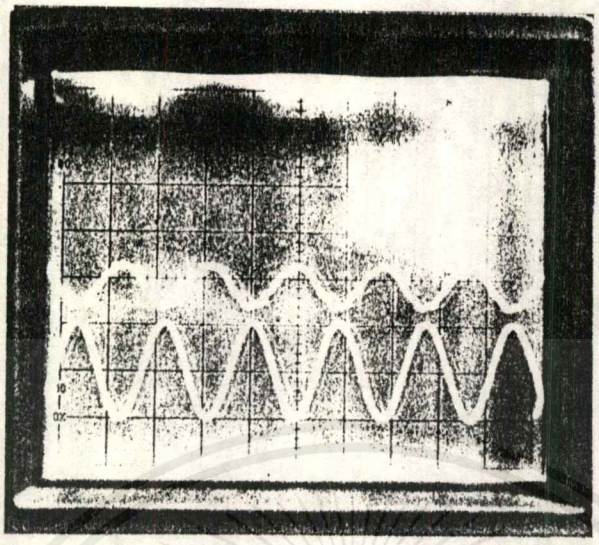


รูปที่ 30

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(4)

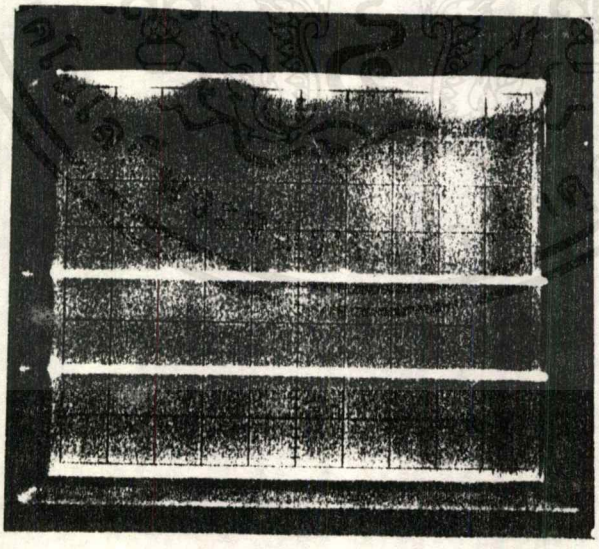
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(5) volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000



รูปที่ 32

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

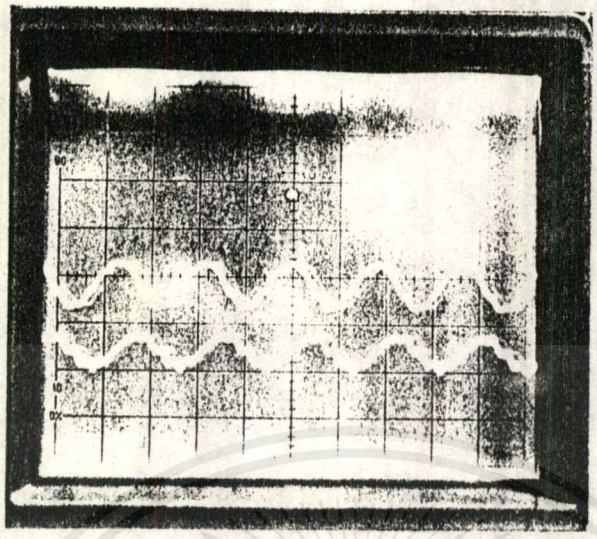
จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
(6)	1.1	28.3	-260	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 33
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 34

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
(7)	1.1	1.06	-2	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 35
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 36

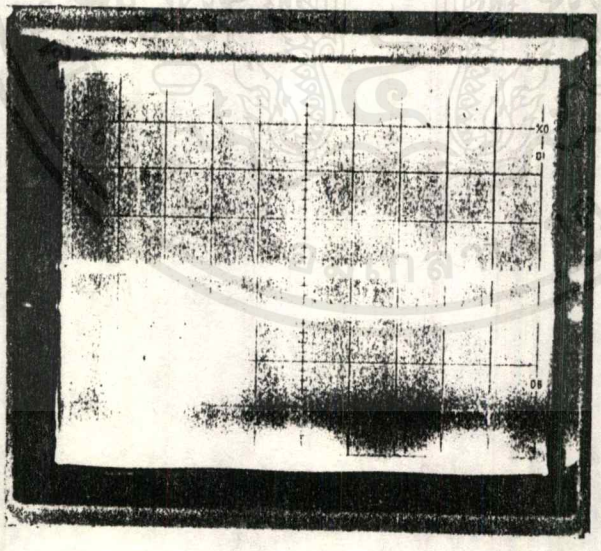
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(6) volt/div =0.1 time/div = 0.5μsec prob*1000

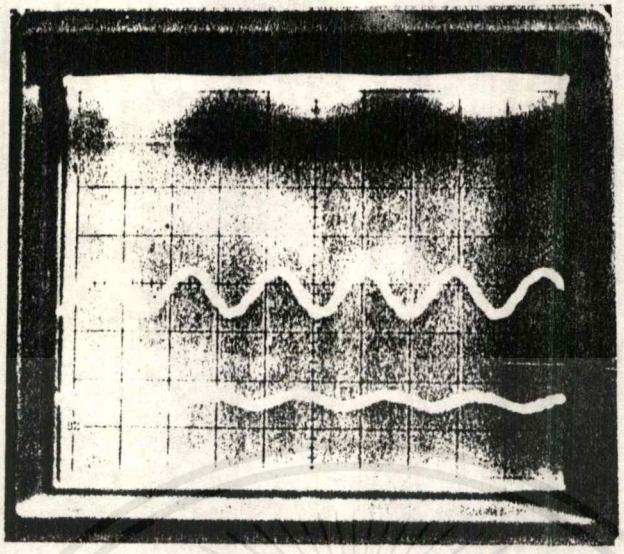


รูปที่ 34

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(6)

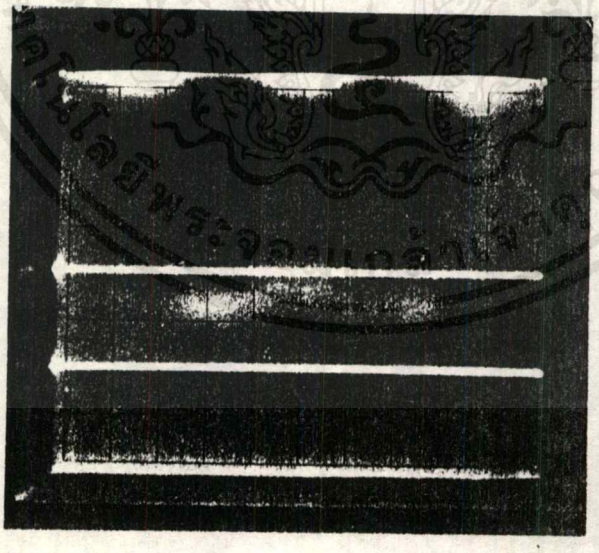
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 35

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง จุด(7) volt/div = 5mv time/div = 0.5 μsec prob*1000



รูปที่ 36

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ จุด(7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

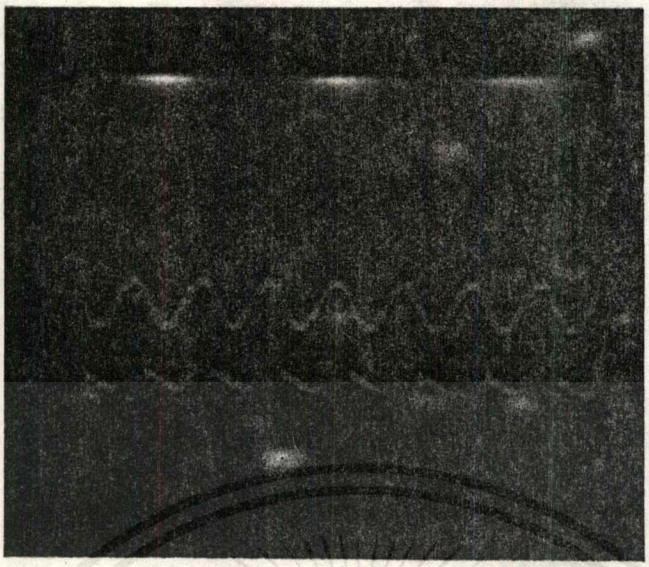
จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
$I_{cathode}$	1.1	-	-	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 37
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 38

จุดวัด	ความถี่ (MHz)	VOLT (rms)	VOLT (dc)	กระแสกริด (mA)	กระแสแอมมิเตอร์ (A)
V_{grid}	1.1	353.6	-300	120	1.4
V_{RE4}	1.1	1.06	-3	120	1.4

รูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 39
รูปกราวด์แสดงในรูปที่ 40

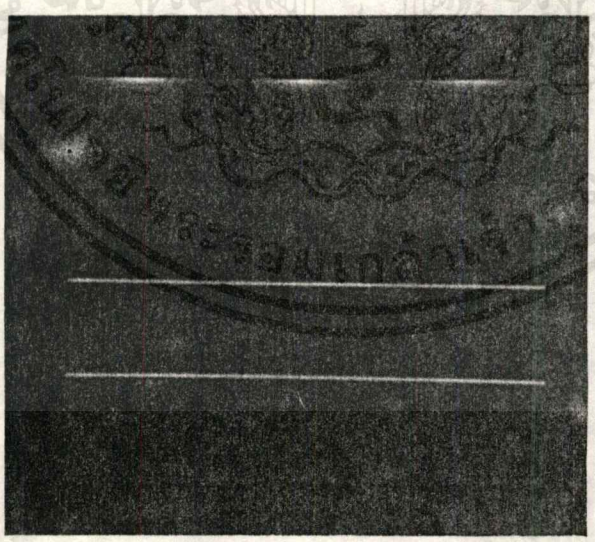
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 37

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5/μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง $I_{cathode}$ volt/div = 1 time/div = 0.5/μsec prob*10

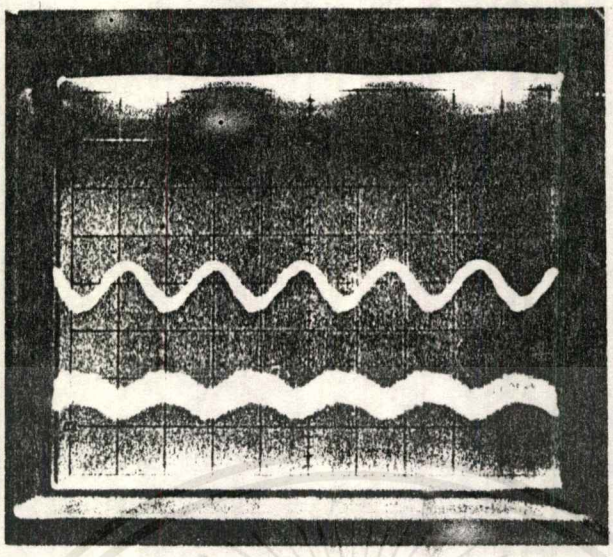


รูปที่ 38

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ $I_{cathode}$

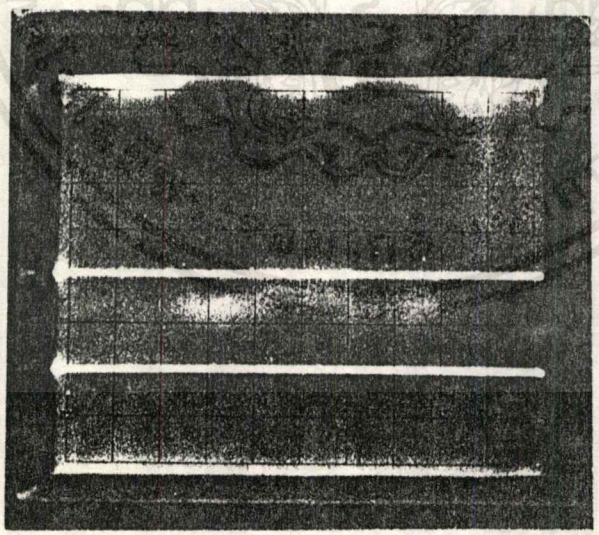
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 39

กราฟรูปบน V_{grid} volt/div = 1 time/div = 0.5 μsec prob*1000

กราฟรูปล่าง V_{RE4} volt/div = 5mv time/div = 0.5 μsec prob*1000



รูปที่ 40

กราฟรูปบน กราวด์ V_{grid}

กราฟรูปล่าง กราวด์ RE4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการทดลองโดยการวัดสัญญาณตามจุดต่างๆ ในวงจร (ดูรูปวงจรประกอบ) เพื่อใช้ในการพิจารณาลักษณะแรงดันและกระแส ซึ่งสามารถสรุปได้ตามจุดต่างๆ ดังนี้

สัญญาณจุดที่ 2 เทียบกับสัญญาณกริด

- สัญญาณที่จุด 2 เป็นสัญญาณที่เพลทซึ่งจะเฟสตรงข้ามกับสัญญาณที่กริด 180 องศา เนื่องมาจากเป็นสัญญาณป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback)
- สัญญาณที่จุด 2 นี้ เป็นสัญญาณที่เกิดจากสัญญาณไฟตรงรวมกับสัญญาณที่ได้มาจากการไบอัส
- สัญญาณกริด เป็นสัญญาณที่มีช่วงบวกของสัญญาณมากกว่าแท้งค์เล็กน้อย สัญญาณส่วนใหญ่จะเป็นค่าลบ ซึ่งส่วนบวกจะเป็นส่วนที่ทำให้มีการชาร์จ (Charge) ประจุให้กับ C_3

สัญญาณจุดที่ 3

- สัญญาณที่จุด 3 เป็นสัญญาณจากบริดจ์เรคติฟายเออร์ (Bridge Rectifier) ซึ่งเป็นไฟกระแสตรง โดย B_5 เป็นตัวที่ทำให้สัญญาณกระแสต่อเนื่องไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และทำให้ระดับแรงดันค่อนข้างคงที่

สัญญาณจุดที่ 4

- สัญญาณที่จุด 4 เป็นสัญญาณก่อนป้อนกลับซึ่งถูกเหนี่ยวนำมาจากวงจรแท้งค์ สัญญาณส่วนนี้มีลักษณะเป็นคลื่นซายน์ (Sine Wave) ซึ่งจะรวมกับแรงดันไบอัส C_3 ซึ่งจะได้สัญญาณที่กริดโดย C_3 ก็คือตัวเก็บประจุสำหรับการไบอัสแบบกระแสกริดรั่วไหล (Grid Leak Capacitor) เป็นตัวทำให้มีการไบอัสแบบลบ

สัญญาณจุดที่ 5

- สัญญาณที่จุด 5 เป็นสัญญาณที่จับคร่อมวงจรแท้งค์ ซึ่งเป็นสัญญาณซายน์ เมื่อสัญญาณนี้ผ่าน C_4 จะไปรวมกับสัญญาณไฟตรง ทำให้ได้สัญญาณที่เพลท โดยตัว C_4 จะเป็นตัวที่กั้นไฟกระแสตรงมิให้เข้าวงจรแท้งค์ แต่จะให้ไปคร่อมหลอดแทน

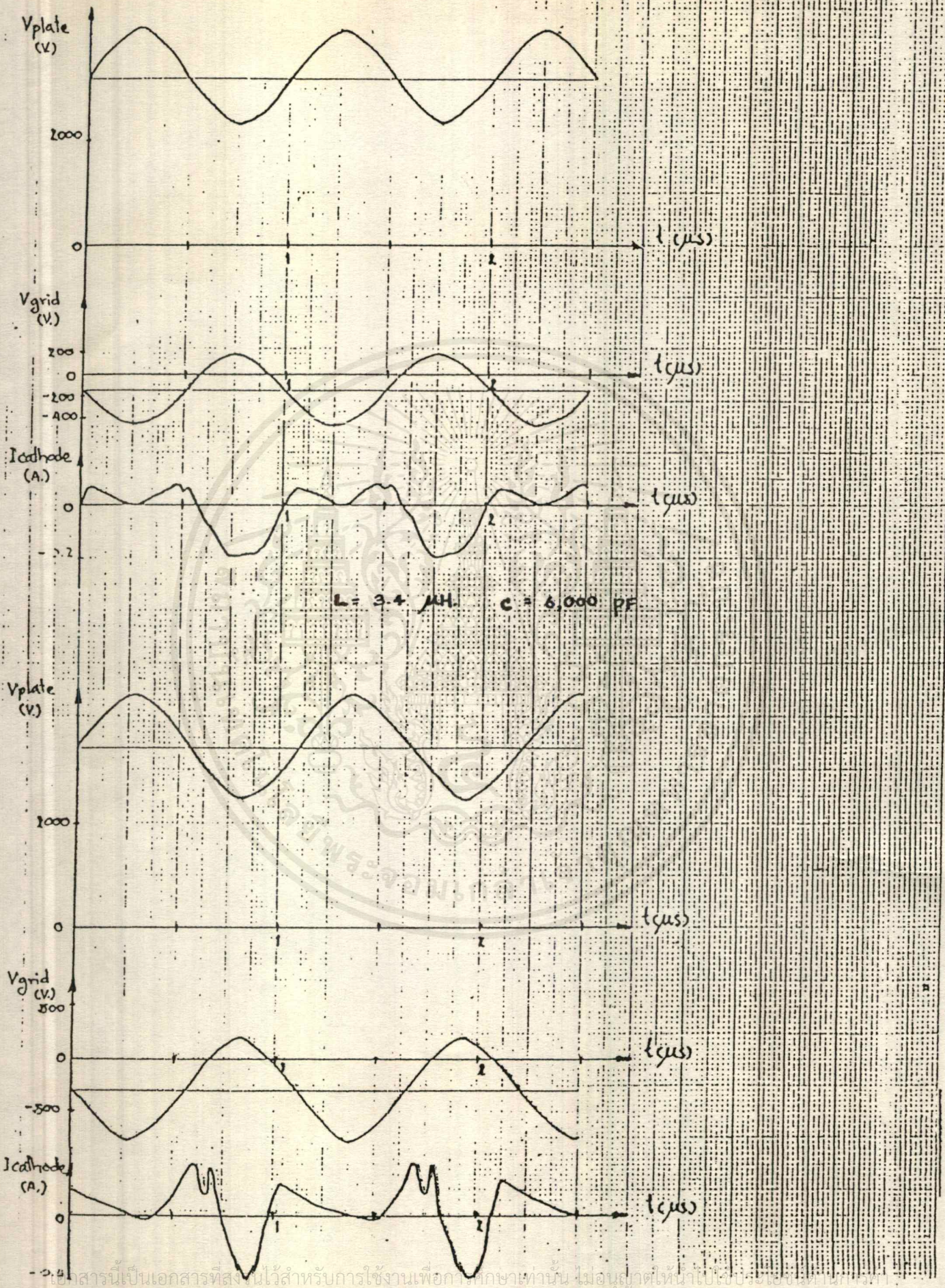
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมนิคต่างๆ จะผ่านต่อไปยัง RE_4 ครบวงจร

ในวงจรแท้งค์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) จะเกิดกระแสไหลวนผ่านขดลวด B_2 (primary) ซึ่งจะเหนี่ยวนำไปยังขดลวด B_3 (secondary) ในทิศตรงข้ามเป็นอินพุทเพื่อใช้ใบอัสหลอดต่อไป

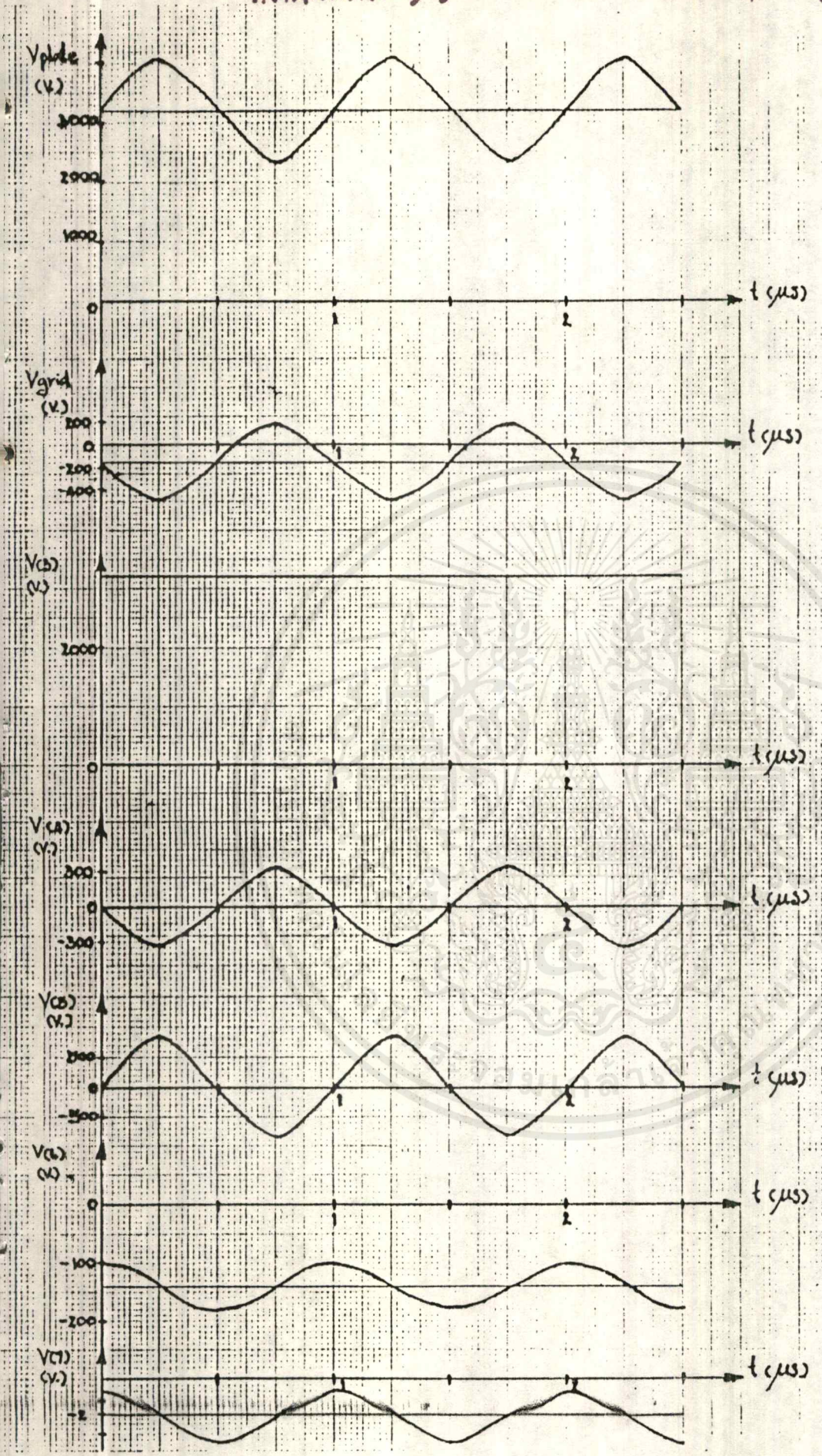
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัญญาณศักดาและกระแสณ.จุดต่างๆ ที่ทำการวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

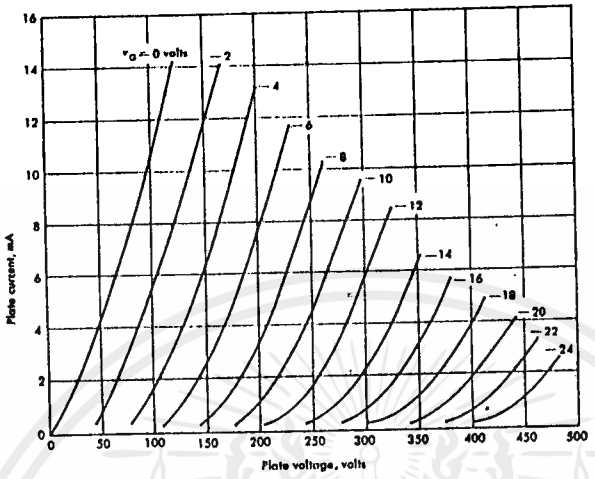
กราฟแสดงสัญญาณศักดาและกระแสณ จุดต่างๆที่ทำการวัด



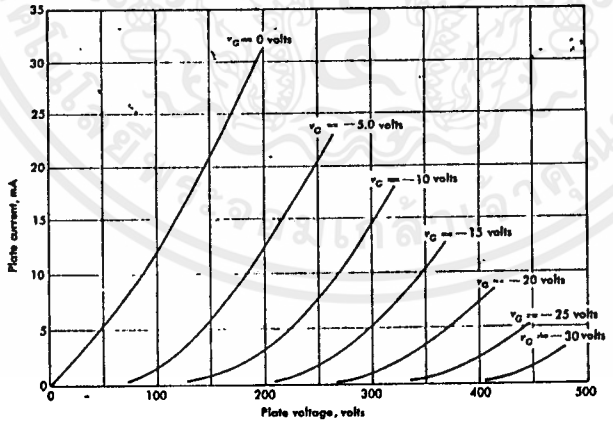
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

คุณสมบัติของหลอดสูญญากาศ



คุณสมบัติเพลทเฉลี่ยของหลอดไตรโอดชนิด 6J5



คุณสมบัติเพลทเฉลี่ยของหลอดไตรโอดชนิด 6C4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ ความเอาใจใส่และชี้แนะแนวทางในการปฏิบัติงาน ตลอดจนอุปกรณ์การทดลองจนบรรลุเป้าหมาย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Irving M. Gottieb P.E. ," Basic Oscillator", D.E.Tarapp--revale Son & Co. Private Ltd.
2. S.B. Hammond, D.K. Gehmlich,"Electrical Engineering,"Second Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
3. Rodney B. Faber, Russel L. Heiserman,"Introduction to Ampl--ifiers", McGraw-Hill Book Company.
4. William A.Edson ," Vacuum-tube Oscilators" John Wiley & Sons,Inc., NEW YORK
5. ยืน ภู่วรวรรณ,"ทฤษฎีและการใช้งานอิเลคทรดนิคส์ เล่ม 1,2",บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้