ออสซิลเลเตอร์

OSCILLATOR

จัดทำโดย

จรูญ เจนลาภวัฒนกุล

CHAROON JANLARPWATTANAKUL

ฉันทวีร์ ชมเดช

CHANTAWEE CHOMDEJ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ADVISOR

อาจารย์ พิชิต ลำยอง

PICHIT LUMYONG M.ENG.

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2533

028837

16 ก.ค. 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง ออสซิลเลเตอร์

ผู้จัดทำ

นายจรูญ เจนลาภวัฒนกุล 301034

นายฉันทวีร์ ชมเดช 301046

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นิชิต ลำยอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

022837

ออสซิลเลเตอร์

จรูญ เจนลาภวัฒนกุล

ฉันทวีร์ ชมเดช

อาจารย์ พิชิต ลำยอง

บทคัดย่อ - โครงงานนี้ศึกษาวงจรไตรโอดออสซิลเลเตอร์และมอสเฟทออสซิลเลเตอร์ โดยไบอัสอุปกรณ์ให้ทำงานอยู่ในคลาส ซี เพื่อให้พลังงานที่สูญเสียในอุปกรณ์สวิทชิ่งมีค่าน้อยที่สุด ทั้งยังศึกษาคุณลักษณะของวงจร LC TANK Circuit เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OSCILLATOR

CHAROON JANLARPWATTANAKUL

CHANTAWEE CHOMDEJ

PICHIT LUMYONG

Abstract - In this project, we investigated the triode oscillator and mosfet oscillator biased in class "C" amplifier. Since the power dissipation on devices is the least. Otherwise we studied the performance of LC Tank Circuit to find the optimum point that it would be improved in practical application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันนี้ ความสำคัญของหลอดสุญญากาศต่อวงจรอิเลคทรอนิคส์จะลดลงไปมาก แล้วก็ตาม แต่หลอดสุญญากาศก็มีความจำเป็นต่องานทางด้านอิเลคทรอนิคส์บางประเภท เช่น เครื่องส่งวิทยุกำลังสูง อุปกรณ์บางอย่างในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นต้น เนื่องจากหลอดสุญญากาศมีพิกัดกำลังสูง และต่อสนองต่อความถี่สูงได้ดี โดยโครงงานนี้ได้ศึกษาการนำหลอดไตรโอดซึ่งเป็นหลอดสุญญากาศมาทำเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 อนึ่งเนื่องจาก MOSFET ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับหลอดสุญญากาศมาก จึงได้ศึกษาแนวทางในการใช้งานมอสเฟทออสซิลเลเตอร์ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในบทที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมของวงจร LC Tank ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

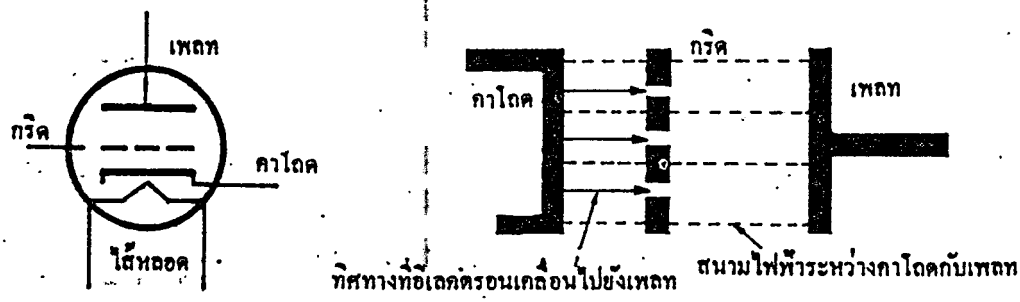
บทที่ 1

หลอด Triode และออสซิลเลเตอร์

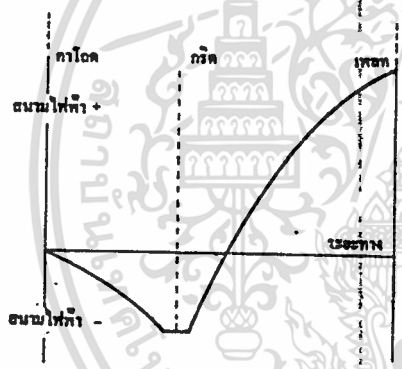
สารบัญ

		หน้า
บทนำ		1
บทที่ 1	หลอดไตรโอดและออสซิลเลเตอร์	2
1.1	การทำงานของหลอดไตรโอด	2
1.2	คุณสมบัติของหลอดไตรโอด	10
1.3	การไบอัสและการใช้งานของหลอดไตรโอด	14
1.4	วิธีการไบอัสหลอดไตรโอด	19
1.5	TANK CIRCUIT	24
1.6	วงจรขยายแบบ C	37
1.7	OSCILLATOR	40
บทที่ 2	ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์	46
2.1	ชนิดของฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์	46
2.2	ลักษณะโครงสร้างของฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ที่มีฉนวนหัวต่อ PN	46
2.3	ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดที่เกทมีฉนวนกั้น	50
2.4	การไบอัสวงจรขยายของ FET	52
2.5	วงจรขยายที่ใช้ FET	57
2.6	ทฤษฎีทั่วไปของ FET LC OSCILLATOR	64
บทที่ 3	การทดลอง	67
	วิเคราะห์ผลการทดลองและวิจารณ์	76
กิตติกรรมประกาศ		77
บรรณานุกรม		78

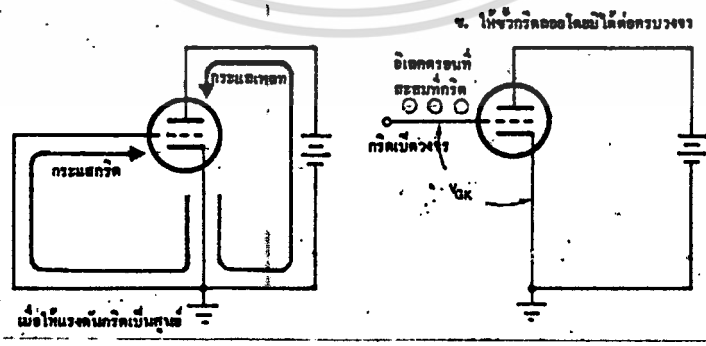
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 สัญญลักษณ์และการทำงานของหลอดไตรโอด



รูปที่ 1.2 ค่าของศักดาไฟฟ้าที่แปรไปกับระยะทาง ระหว่างคาโธดกับเพลท



รูปที่ 1.3 เมื่อแรงดันที่กริดเป็นศูนย์จะมีกระแสกริดไหลผ่านกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการไหลของอิเลคตรอนด้วยกริด

การไหลของกระแสอิเลคตรอนระหว่างคาโถดและเพลทจะถูกควบคุมด้วยแรงดันที่ให้ไว้กับกริดเมื่อเทียบกับคาโถดหรือแรงดัน V_{gk} โดยทั่วไปเรียกกันสั้น ๆ ว่าแรงดันกริด (Grid Voltage) โดยแรงดันกริดนี้สามารถทำให้เป็นบวกเป็นลบหรือมีค่าเป็นศูนย์ได้

จากการที่กล่าวมาแล้วว่าในบริเวณระหว่างกริดกับคาโถดจะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น และเมื่อป้อนแรงดันกริดที่มีค่าเป็นลบ ทิศทางของสนามไฟฟ้าจะมีทิศตรงข้ามกับการไหลของอิเลคตรอน และบริเวณที่ตำแหน่งกริดจะมีค่าใกล้ชิดกับคาโถดมากกว่าเพลท ในขณะที่กริดมีค่าเป็นลบกริดจะไม่ดึงอิเลคตรอนเข้าหาตัวมันเอง แต่จะผลักอิเลคตรอนไว้เนื่องจากเพลทมีศักดาเป็นบวกสูงมากจึงมีอิเลคตรอนบางตัวผ่านช่องว่างระหว่างแผ่นกริดไปยังเพลทได้ ถ้าให้แรงดันที่กริดมีค่าเป็นลบมากขึ้นอิเลคตรอนจะไปยังเพลทได้น้อย ดังนั้นแรงดันที่กริดจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการไหลของกระแสเพลท ดังจะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันที่กริดมีค่าเป็นลบมากขึ้น ส่วนของกริดจะต้านตัวอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นที่คาโถดไว้ไม่ให้ไหลไปที่เพลทเป็นต้น เราพอสรุปได้ว่าผลของแรงดันที่กริดมีต่อกระแสเพลทเป็นดังนี้

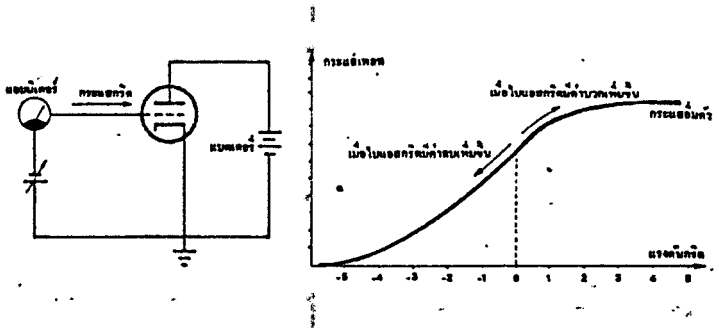
1. เมื่อแรงดันกริดเป็นลบมากขึ้น จะทำให้มีกระแสเพลทลดน้อยลง และถ้ากริดเป็นลบน้อยลงจะทำให้มีกระแสเพลทมากขึ้น

2. ถ้าทำให้แรงดันที่กริดมีค่าเป็นลบสูงมาก ๆ จนถึงค่าหนึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจรเพลทถึงแม้ว่าเพลทจะมีแรงดันเป็นบวกก็ตาม

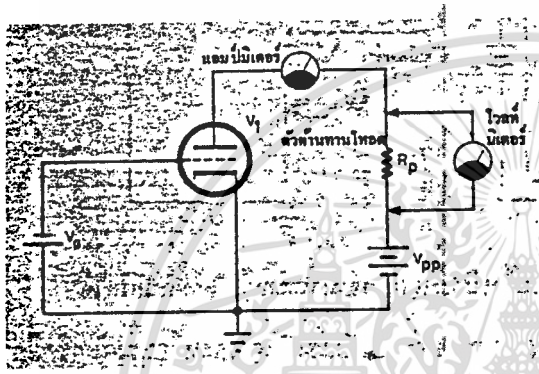
แรงดันคัทออฟ

แรงดันไฟลบที่กริดที่พอดีทำให้กระแสเพลทเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีกระแสเพลท แรงดันกริดค่านี้ยังขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนให้กับเพลทด้วย ดังนั้นการที่จะบอกได้ว่าแรงดันกริดคัทออฟนั้นจึงต้องกำหนดค่าแรงดันเพลทไว้ด้วยเช่นกัน ในหลอดบางชนิดแรงดันกริดคัทออฟมีค่าต่ำมากเพียงค่าประมาณ -1 โวลท์ ก็ทำให้กระแสเพลทไม่ไหลได้แล้ว แต่บางหลอดแรงดันนี้อาจมีค่าสูงถึง -60 โวลท์ ขึ้นกับเงื่อนไขในการใช้งานของแต่ละวงจร

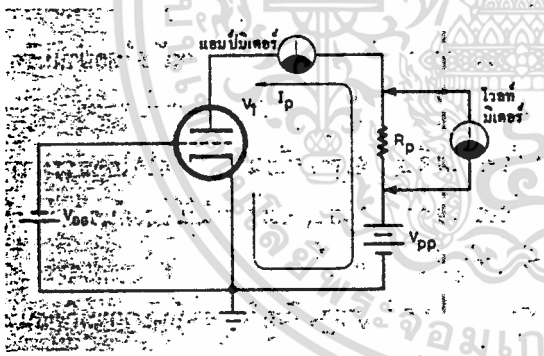
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



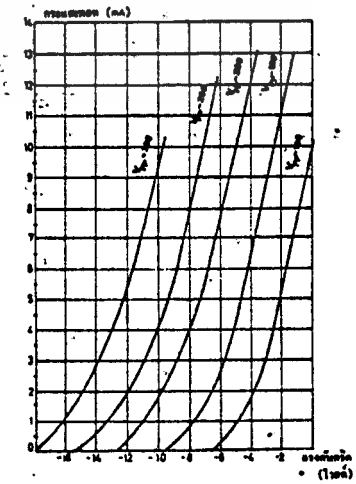
รูปที่ 1.4 เมื่อกริดเป็นบวกจะมีกระแสในกริดและผลกราฟกระแสเพลท



รูปที่ 1.5 เมื่อไบอัสกริดด้วยแรงดันกริดคัทออฟ



รูปที่ 1.6 เมื่อไบอัสกริดเป็นลบน้อยกว่าแรงดันกริดคัทออฟ



รูปที่ 1.7 ลักษณะสมบัติทางด้านกริดของหลอดไทรโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการให้แรงดันกริดเป็นศูนย์

เมื่อแรงดันกริดมีค่าเท่ากับแรงดันคาโถดหรือแรงดันกริดมีค่าเป็นศูนย์ ในกรณีนี้จะไม่มีความต่างศักย์ระหว่างกริดกับคาโถด ดังนั้นการไหลของกระแสอิเลคตรอนจึงขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันไฟเพลทแต่เพียงอย่างเดียว

ในขณะที่ให้แรงดันกริดมีค่าเป็นศูนย์จะมี กระแสจากประจุในที่ว่าง จำนวนเล็กน้อยไหลผ่านกริดไปคาโถดได้ ส่วนของกระแสนี้โดยทั่วไปมีค่าน้อยมาก

หลอดที่ให้แรงดันกริดมีค่าเป็นศูนย์เมื่อเทียงกับคาโถดจึงทำหน้าที่เหมือนกับหลอดไดโอดโดยทั่วไปธรรมดา วิธีที่จะทำให้กลอดไตรโอดให้เป็นไดโอดว่าง ๆ ก็คือการปล่อยขากริดทิ้งไว้เฉยจะทำให้ไม่มีแรงดันระหว่างกริดและคาโถด ไตรโอดจังเสมือนกับเป็นหลอดไดโอดแต่เพียงอย่างเดียว

ผลของหลอดไตรโอดเมื่อแรงดันกริดเป็นบวก

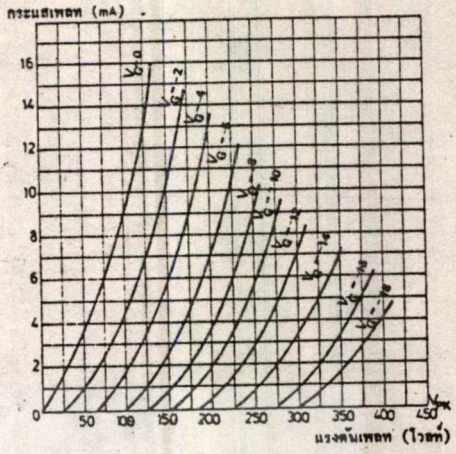
เมื่อทำให้แรงดันกริดมีค่าเป็นบวกจะเกิดสนามไฟฟ้าที่บริเวณระหว่างกริดและคาโถด ทำให้กระแสเพลทที่แต่เดิมเคลื่อนที่จากคาโถดไปยังเพลทน้อยลง และจะมีกระแสกริดเกิดขึ้น ลักษณะคุณสมบัติที่แสดงความความสัมพันธ์ข้องแรงดันกริดกับกระแสเพลท

โดยปกติกระแสกริดเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการและมิได้ใช้งานในวงจรอิเลคทรอนิกส์ หลอดไตรโอดโดยทั่วไปจะใช้เมื่อแรงดันกริดเป็นลบหรือศูนย์เท่านั้น อีกประการหนึ่งคือเมื่อมีกระแสกริดเกิดขึ้นอิเลคตรอนจะวิ่งไปชนกริดและจะเป็นผลทำให้กริดเกิดการเสียหายได้ง่าย อายุการใช้งานของหลอดไตรโอดก็จะน้อยลง

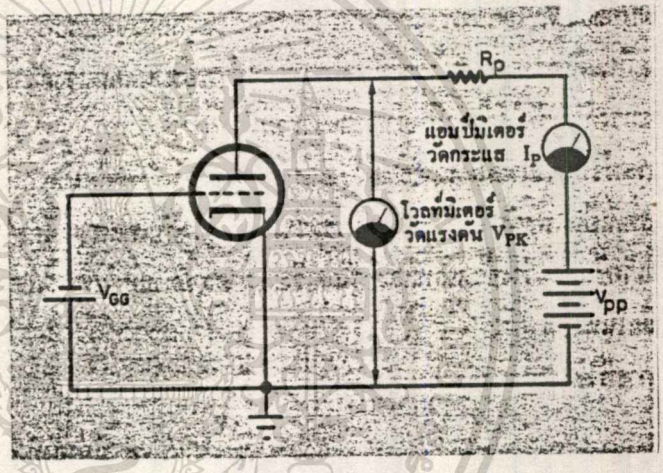
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเพลทกับแรงดันไฟกริด

ในเรื่องของแรงดันกริดคัทออฟ(Grid cutoff voltage) จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนค่าแรงดันนี้ให้กับกริดจะเป็นผลทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเพลท สมมติว่าตัวต้านทานให้เป็นโหลดกับวงจรเพลท ค่าของกระแสและแรงดันคร่อมตัวโหลดจะมีค่าเป็นศูนย์

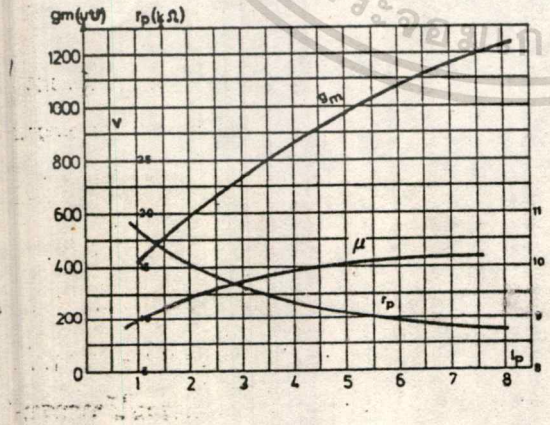
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 ลักษณะสมบัติทางด้านเพลท
ของหลอดไตรโอด

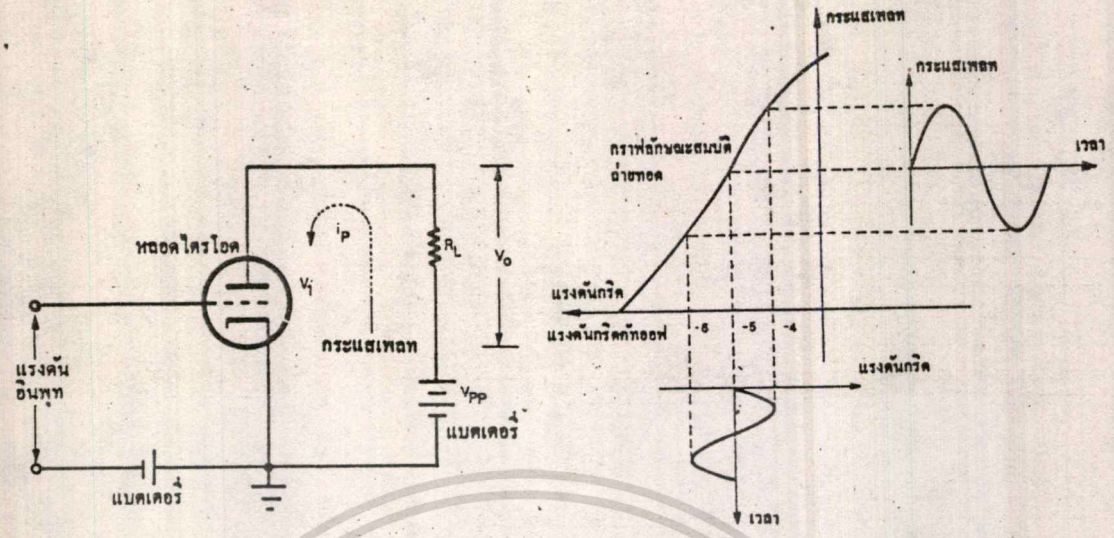


รูปที่ 1.9 วงจรสำหรับหาอัตรา
ขยายของวงจรหลอด

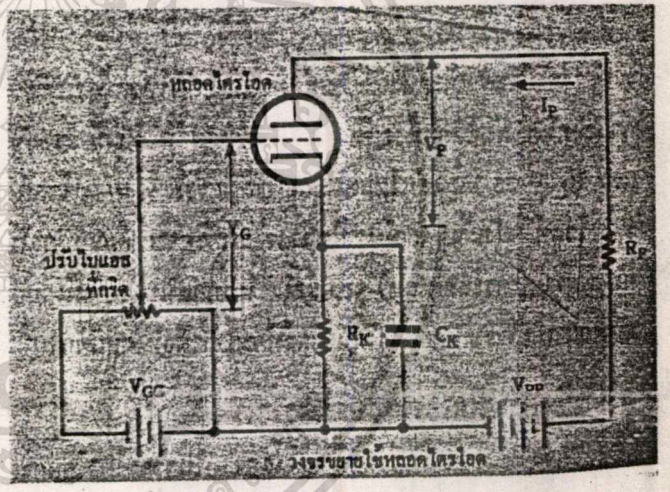


รูปที่ 1.10 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัว
พารามิเตอร์กับกระแสเพลท

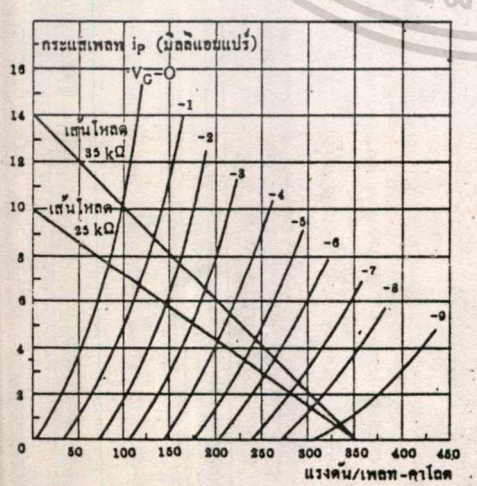
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.11 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทกับกระแสเพลท



รูปที่ 1.12 วงจรหลอดไตรโอดที่ใช้ในการหาลักษณะสมบัติถ่ายทอด ($v_G - i_P$)



เส้นโหลดนี้ใช้สำหรับแรงดันไฟเลี้ยง 350 โวลท์ ไบแอสที่กริด

รูปที่ 1.13 ความสัมพันธ์ของเส้นสมการโหลดกับความต้านทานโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ครั้นเมื่อลดแรงดันกริดลงแต่ยังคงเป็นลบจะเกิดจากการไหลของกระแสในวงจรเพลทค่าของกระแสนี้จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันกริดนน ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันคร่องตัวต้านทานโหลด เมื่อพิจารณาวงจรทางด้านเพลทจะประกอบด้วยแรงดันสามส่วนที่ประกอบเป็นวงจรเพลทและเขียนสมการของแรงดันตามกฎเคียชโอฟ

$$V_{PP} = V_P + V_L$$

เมื่อ V_{PP} คือค่าแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรเพลท

V_P คือค่าแรงดันที่ตกคร่อมหลอด

V_L คือค่าแรงดันไฟตกคร่อมโหลด

จะเห็นได้ว่าแรงดันกริดจะมีความสัมพันธ์กับกระแสเพลทและในทำนองเดียวกันก็ทำให้ความสัมพันธ์กับแรงดันคร่อมเพลทด้วย

สมการกระแสเพลทที่สัมพันธ์กับค่าอื่นเป็น

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

$$= k'(\mu e_c + e_b)^{3/2}$$

e_b : ความต่างศักย์ของเพลทกับคาโถด

e_c : ความต่างศักย์ของกริดกับคาโถด

μ : ค่าอัตราการขยายของหลอด

028837

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 คุณสมบัติของหลอด TRIODE

การทำงานเบื้องต้นของหลอดไตรโอดได้กล่าวมาแล้ว ลักษณะคุณสมบัติของหลอดไตรโอดจึงขึ้นอยู่กับตัวพารามิเตอร์ เพียง 3 ตัว คือ แรงดันกริด แรงดันเพลท และกระแสเพลท และลักษณะคุณสมบัตินี้อธิบายได้ด้วยกราฟลักษณะสมบัติของหลอดไตรโดย

ในรูปของลักษณะคุณสมบัติของทางด้านกริดของไตรโอด เมื่อปรับแรงดันกริดให้มีการเปลี่ยนแปลงไปจะเป็นผลทำให้กระแสเพลทเปลี่ยนไป ดังอย่างเช่น เมื่อแรงดันที่กริดมีค่า -9 โวลท์ จะมีกระแสไหลผ่านเพลท 0.1 มิลลิแอมป์โดยที่ป้อนแรงดันเพลท 150 โวลท์ แต่ถ้าเปลี่ยนค่าแรงดันไฟเลี้ยงเพลท V_{PP} เปลี่ยนไป ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกริดกับกระแสเพลทจะเปลี่ยนไปและจะได้กราฟเส้นใหม่อีก ดังจะเห็นว่ากราฟลักษณะสมบัตินี้จึงเป็นกลุ่มของเส้นกราฟที่ขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันเพลท ลักษณะสมบัติดังกล่าวของหลอดไตรโอดจึงเป็นกลุ่มของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกริดกับกระแสเพลท โดยบอกค่าแรงดันเพลทคงที่ ลักษณะสมบัติเช่นนี้จึงมีชื่อเรียกว่า ลักษณะสมบัติทางด้านกริด

ลักษณะสมบัติอีกข้อหนึ่งที่นับว่าสำคัญคือ ลักษณะสมบัติของกลุ่มเพลท (plate family) ซึ่งหาได้โดยการให้แรงดันไฟฟ้าที่กริดมีค่าคงที่แล้วหาความสัมพันธ์ของแรงดันเพลท V_{PK} กับกระแสเพลท I_P ดังนั้นที่ค่าแรงดันกริดค่าหนึ่งจะให้กราฟหนึ่งเส้น แต่เมื่อเปลี่ยนค่าแรงดันกริดไป เส้นกราฟจะเปลี่ยนไป ดังนั้นกราฟลักษณะสมบัตินี้จึงแสดงในลักษณะกลุ่มของเส้นที่เรียกว่าลักษณะสมบัติทางด้านเพลท

อัตรากำลังงานสูงสุด

เมื่อมีกระแสเพลทไหลผ่านหลอด แรงดันตกคร่อมหลอดจะมีค่า ๆ หนึ่ง แรงดันและกระแสนี้จะเป็นผลทำให้กำลังงานสูญเสียเกิดขึ้นที่หลอด และกำลังงานสูญเสียนี้จะแปรรูปออกมาในรูปของความร้อนที่นอกเหนือจากความร้อนที่เกิดจากการเผาไส้หลอด ดังนั้นหลอดทั่วไปจึงต้องทนกำลังสูญเสียได้มากที่สุดค่าใดค่าหนึ่ง และถ้ากำลังสูญเสียในหลอดมีมากกว่าค่าที่มันจะระบายออกในรูปของความร้อนหรือค่าที่จำกัดไว้แล้ว หลอดก็จะเกิดการเสียหายได้ ค่ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานสูญเสียสูงสุดกำหนดด้วยตัวอักษรย่อว่า P_{max} และในขณะหลอดทำงานกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นที่หลอดจะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันเพลทและกระแสเพลท (I_pV_p) ดังนั้นในการใช้งานค่ากำลังงานสูญเสียนี้จะต้องน้อยกว่าค่ากำลังงานสูญเสียสูงสุดของหลอดคือสามารถกำหนดในรูป $I_pV_p < P_{max}$

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

อัตราขยายของหลอด μ (Amplification)

หลอดที่มีคุณสมบัติในการขยายแรงดันของสัญญาณ ดังนั้น อัตราขยายของหลอด จึงเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเพลทกับแรงดันกริด ค่า ๆ นี้มักจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสเพลท ดังนั้นในการกำหนดค่าอัตราที่แท้จริงของหลอดจึงจำเป็นต้องกำหนดค่ากระแสเพลทลงไปด้วย และค่าของอัตราขยายซึ่งใช้อักษรย่อว่า μ กำหนดเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้

μ = การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเพลท/การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกริด

$\mu = \Delta V_p / \Delta V_p$ เมื่อ I_p มีค่าคงที่

อัตราขยายจึงเป็นค่าไม่มีหน่วย เป็นค่าที่หาได้โดยตรงจากการทดลอง หรือหาได้จากกราฟคุณสมบัติของหลอดไตรโอด

การวัดหาอัตราขยายของหลอดโดยตรง

จากรูปของของวงจรสำหรับหาอัตราขยายของวงจรหลอด เป็นวงจรที่ใช้หาค่าอัตราการขยายของหลอดไตรโอด โดยถ้าต้องการหาค่าอัตราการขยายของหลอดเมื่อกำหนดค่ากระแส I_p มีค่า 5 มิลลิแอมป์ และแรงดันเพลท V_p 150 โวลท์ ณ จุดทำงานนี้วัดค่าแรงดันกริดได้ V_g เท่ากับ -8 โวลท์ เราทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันกริดมา -5 โวลท์ ดังนั้น ΔV_g = 3 โวลท์ ค่า ๆ นี้เป็นผลทำให้กระแสเพลทเปลี่ยนแปลงไป เมื่อที่จะให้กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลทมีค่าคงที่ จึงจำเป็นจะต้องลดแรงดันลงมาจนกระทั่งแรงดันที่เพลทลดลงเหลือเพียง 120 โวลท์ นั่นคือ แรงดันเพลทเปลี่ยนแปลงไป 30 โวลท์ ค่าอัตราการขยายของหลอดจึงหาได้จาก $\Delta V_p / \Delta V_g = -30/3 = -10$ โดยที่ค่าอัตราการขยายนี้จะไม่มีหน่วยและมีเครื่องหมายลบ นอกจากนี้ยังทำการหาค่าอัตราการขยายหลอดได้อีกวิธีหนึ่งคือ การคำนวณหาค่าอัตราขยายจากกราฟลักษณะสมบัติของหลอด

สภาพความนำร่วม (mutual conductance)

ค่าสัมประสิทธิ์นี้ อธิบายได้ด้วยผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสเพลทต่อการเปลี่ยนแปลงแรดันกริด เมื่อกำหนดให้ค่าแรงดันเพลท V_p มีค่าคงที่ ตามสมการของ สภาพความนำร่วม g_m เขียนได้ดังนี้

$g_m = \Delta I_p / \Delta V_g$ 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 เมื่อมีกระแสเพลทที่เป็นไฟสลับไหลผ่านหลอดระหว่างขั้วคาโถดกับเพลท โดยกำหนดให้แรงดันกริดมีค่าคงที่ ความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วเพลทกับคาโถดเรียกว่า ความต้านทานเพลท (r_p) ความต้านทานนี้เป็นตัวทำให้เกิดกำลังสูญเสียในหลอด

สมการที่ใช้หาค่าความต้านทานเพลทคือ $r_p = \Delta V_p / \Delta I_p$ เมื่อ V_g มีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานเพลทนี้มีค่าเป็นโอห์ม และสามารถคำนวณได้โดยตรงจากกราฟของหลอดเช่นเดียวกับตัวพารามิเตอร์อื่น ๆ ของหลอด

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหลอด

ตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญของหลอดมีทั้งหมด 3 ตัวคือ μ, r_p และ g_m ซึ่งค่าทั้งสามขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์และโครงสร้างของหลอด จากสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวพารามิเตอร์แต่ละตัว จะพบความสัมพันธ์ของตัวพารามิเตอร์ทั้งสามเป็นดังนี้

$$\mu = \Delta V_p / \Delta I_p * \Delta I_p / \Delta V_g$$

$$\mu = r_p * g_m$$

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 โดยให้แรงดันเพลทมีค่าคงมีตลอดการทดลอง ค่าของแรงดันกริดคัทออฟพอจะประมาณได้จากสูตร $V_{c_0} = V_p / \mu$

เมื่อ V_{c_0} คือค่าแรงดันกริดคัทออฟ

V_p คือค่าแรงดันเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การไบอัสและการใช้งานของหลอด TRIODE

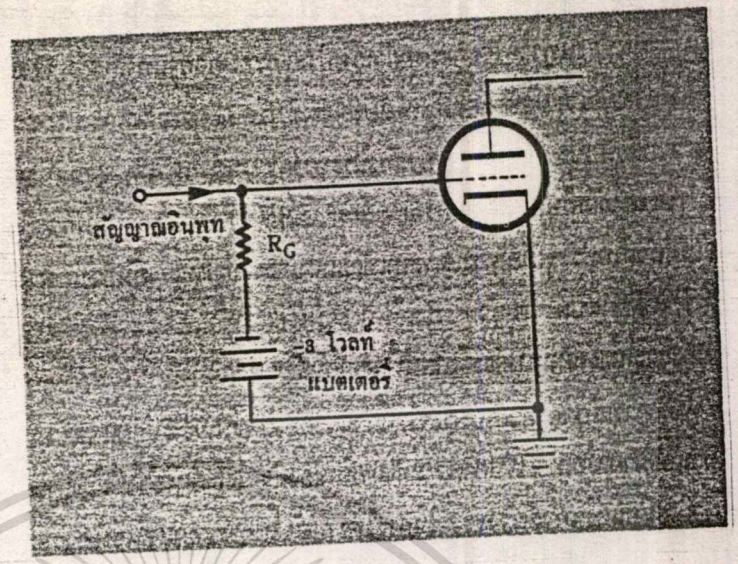
เมื่อแรงดันกริดเปลี่ยนแปลงจะทำให้กระแสเพลทเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย แต่การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกริดที่มีผลเฉพาะแรงดันกริดมีค่าเป็นลบอยู่เพียงช่วงเดียวเท่านั้น เพราะถ้าในกรณีที่แรงดันกริดเป็นลบมาก ๆ ก็จะทำให้หลอดเกิดคัทออฟ คือ ไม่มีกระแสเพลทไหล หรือถ้ากริดมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโถด ก็จะเป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านจากคาโถดเข้าแทนที่กริดจะไปเพลท ซึ่งหลอดจะเกิดการเสียหายได้

การไบอัสคือการทำให้แรงดันกริดในภาวะปกติมีศักดาไฟฟ้าซึ่งอาจจะเป็นบวก ศูนย์ หรือลบก็ได้ เพื่อเตรียมตัวไว้รับสัญญาณ ถ้าในกรณีที่ให้กริดมีค่าเป็นบวกก็เรียกว่าการไบอัสบวกหรือถ้ากริดมีค่าเป็นลบก็เรียกว่าการไบอัสลบ โดยปกติจะไบอัสกริดด้วยศักดาลบเท่านั้น

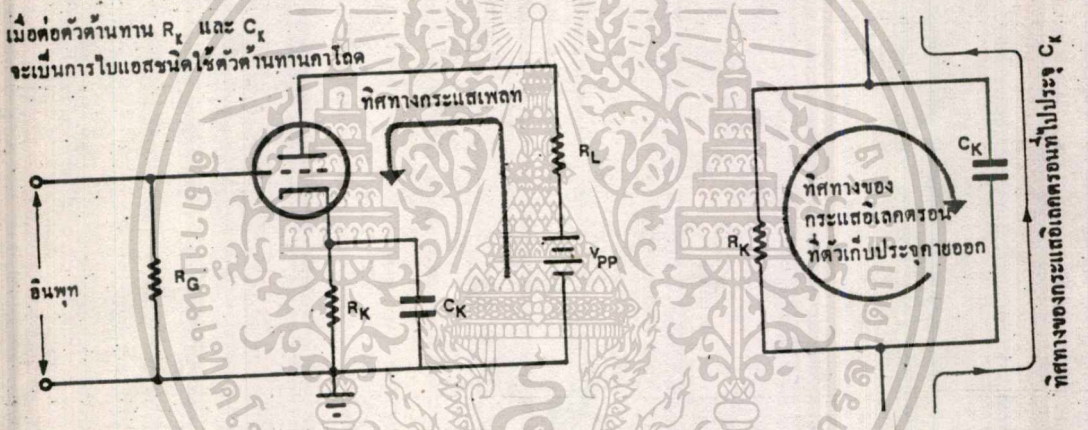
จากลักษณะสมบัติถ่ายทอดทางไดนามิก สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสเพลทและแรงดันกริด ซึ่งจะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทที่กริดระหว่างศูนย์ถึงแรงดันกริดคัทออฟจะเป็นผลทำให้สัญญาณเอาท์พุทเปลี่ยนแปลงตาม เนื่องจากกระแสเพลทเกิดการเปลี่ยนแปลง ถ้าแรงดันอินพุทเป็นสัญญาณsine และในขณะที่ไม่มีสัญญาณ แรงดันกริดมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงดันอินพุทที่กริดจึงเปลี่ยนแปลงระหว่างบวกกับลบ ในขณะที่กริดเป็นลบจะมีกระแสเพลทไหลและในขณะที่กริดเป็นบวกจะไม่มีกระแสเพลทไหล เนื่องจากกระแสจะไหลเข้ากริดหมดเพราะศักดาที่กริดเป็นบวก จึงเห็นได้ชัดว่ากระแสเพลทมิได้เปลี่ยนแปลงไปกับสัญญาณไฟอินพุทในขณะที่แรงดันไฟกริดเป็นบวกเลย

แต่ถ้าทำให้กริดมีศักดาเป็นลบสมมติว่า -5 โวลท์ในขณะที่ไม่มีสัญญาณ ครั้นเมื่อมีสัญญาณ 2 โวลท์จากจุดต่ำสุดถึงจุดสูงสุดป้อนเข้ามาที่กริด แรงดันกริดจะเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่จะเห็นได้ว่าในขณะที่สัญญาณอยู่สูงสุด แรงดันกริดจะมีค่า -4 กับ -6 โวลท์ ดังนั้นจากกราฟลักษณะสมบัติถ่ายทอดทางไดนามิกก็จะทำให้กระแสเพลทเปลี่ยนแปลงตามได้ตลอดเวลา สัญญาณเอาท์พุทคร่อมโหลดจึงมีรูปร่างแบบเดียวกับสัญญาณอิดพุท จึงพอสรุปได้ว่าการไบอัสก็คือ การทำแรงดันกริดให้มีค่าหนึ่งเพื่อนำไปรวมกับสัญญาณอินพุทที่จะเข้ามาแล้วให้หลอดทำงานได้ตามที่ต้องการ

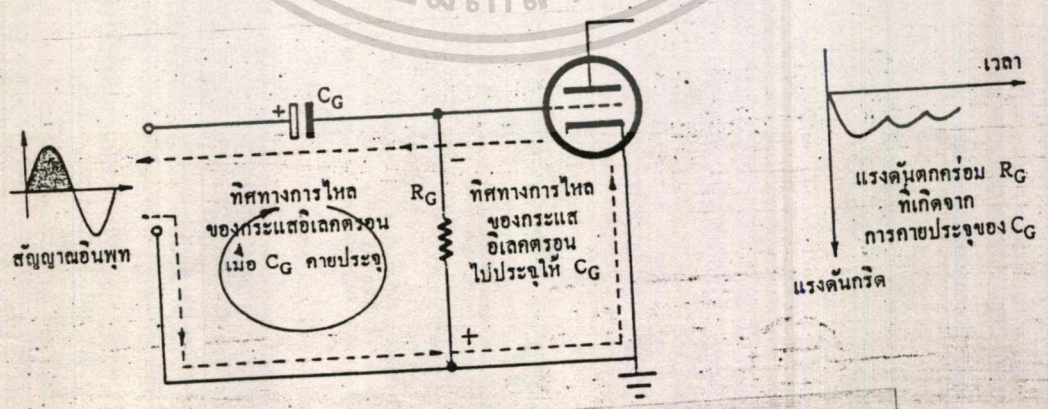
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.14 การไบอัสวงจรหลอด

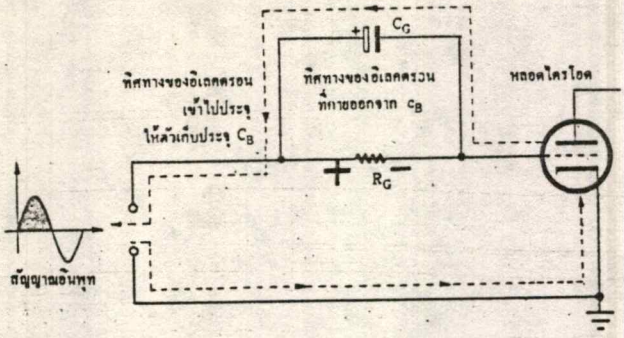


รูปที่ 1.15 การไบอัสโดยใช้ตัวต้านทานคาโถด

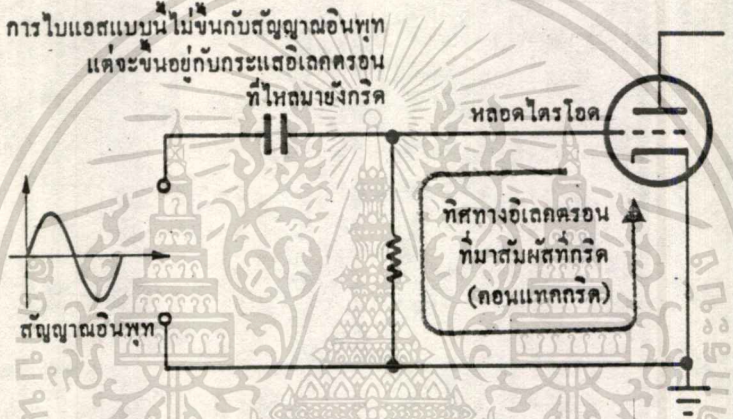


รูปที่ 1.16 การไบอัสด้วยการใช้กระแสรั่วที่กริด

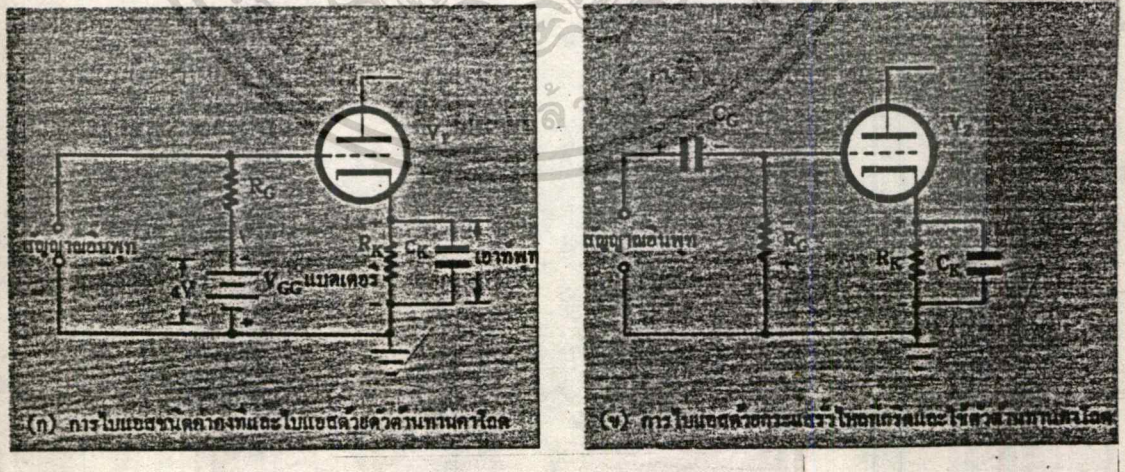
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.17การไบอัสด้วยกระแสรั่วไหลที่กริดอีกวิธีหนึ่ง



รูปที่ 1.18 การไบอัสด้วยตัวต้านทาน



รูปที่ 1.19 การไบอัสโดยวิธีผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในวงจรหลอด

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในวงจรแสดงถึงความหมายของสัญญลักษณ์ และชนิดของสัญญาณ เช่น สัญญลักษณ์จะบอกความหมายของกระแสไฟเพลทที่เป็นชนิดไฟตรงที่ไม่มีไฟสลับ โดยทั่วไปอักษรตัวใหญ่จะแทนด้วยคุณสมบัติทางไฟตรง ส่วนสัญญลักษณ์ตัวเล็กแทนสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้มี

V_{PP} แรงดันไฟตรงที่ป้อนให้วงจรเพลท

V_P แรงดันไฟตรงที่เพลท

v_p แรงดันไฟสลับที่เพลท

V_g แรงดันไฟตรงที่กริด

V_{gg} แรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรกริด

v_g แรงดันไฟสลับที่กริด

I_P กระแสไฟตรงที่เพลท

I_g กระแสไฟตรงที่กริด

i_p กระแสไฟสลับที่เพลท

R_k ความต้านทานที่ต่อที่ขาคาโถด

R_p ความต้านทานทางไฟตรงของเพลท

r_p ความต้านทานทางไฟสลับที่เพลท

เส้นโหลด (Load line) และจุดทำงาน (Operating point)

ถึงแม้ว่าลักษณะสมบัติทางสแตติกของหลอดไตรโอดจะให้ข้อมูลที่สำคัญต่าง ๆ ของหลอด แต่กลุ่มของกราฟก็มิได้บอกถึงผลของการใส่โหลด(R_L) ให้กับวงจร หรือแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ต่อกัน การเพิ่มความต้านทานทางโหลดเข้าไปยังวงจรมิได้เป็นผลทำให้ลักษณะคุณสมบัติของหลอดเปลี่ยนไป แต่เป็นผลทำให้เงื่อนไขการทำงานของวงจรเปลี่ยนไป ดังตัวอย่างเช่น ในขณะที่ไม่ว่าจะมีความต้านทานโหลดหรือไม่ก็ตาม ถ้าแรงดันกริด(V_g) มีค่า -4 โวลท์ จะมีแรงดันเพลท-คาโถด(V_{PK}) 150 โวลท์ ดังนั้นถ้ามีโหลด R_L ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟตรงที่ป้อนให้วงจรเพลท V_{PP} จะต้องมีค่ามากกว่า 150 โวลท์เพื่อให้แรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อม R_L และที่เหลืออีก 150 โวลท์ตกคร่อมหลอด จากกฎของเคียชโฮฟ เมื่อเขียนสมการด้านเพลทจะเขียนได้ดังนี้

$$V_P + I_P R_L = V_{PP}$$

หรือ $$I_P = V_{PP}/R_L - V_P/R_L$$

จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันเพลทจะสัมพันธ์กันในรูปของสมการเส้นตรง เส้นโหลดเส้นหนึ่งจะเป็นเส้นตรงและเส้นโหลดนี้จะเปลี่ยนแปลงไปถ้าเปลี่ยนค่าตัวต้านทานโหลดหรือเปลี่ยนค่าแรงดัน เส้นโหลดนี้จะเป็นตัวบอกว่าค่าความสัมพันธ์กับแรงดันกริดเช่น สมมติว่าแรงดันกริดมีค่า -4 โวลท์และให้ R_L 35 kโอห์ม เส้นโหลดจะตัดกับเส้นกราฟ V_g = -4 โวลท์ ที่ i_p 6 มิลลิแอมป์ และแรงดัน v_p 140 โวลท์ จะเห็นได้ว่าไม่ว่าแรงดันจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม จุดทำงานของหลอด(จุดที่บอกแรงดันเพลทและกระแสเพลท) จะเคลื่อนที่ไปบนเส้นตรงเส้นนี้เสมอ เส้นสมการโหลดจึงมีประโยชน์ในการนำไปหา ลักษณะสมบัติถ่ายทอดทางไดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการไบอัสหลอด TRIODE

การไบอัสชนิดค่าคงที่(Fixed bias)

ในวงจรไตรโอดการไบอัสทำได้โดยการเติมตัวแบตเตอรี่ V_{cc} เข้าระหว่างขั้วกริดและคาโถด โดยการต่อไบอัสเช่นนี้เรียกว่า การไบอัสชนิดค่าคงที่ (Fixed Bias) นอกจากแบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉายยังใช้แหล่งจ่ายไฟอื่น ๆ ก็ได้

การต่อต้านทาน R_{cc} อนุกรมกับแรงดัน V_{cc} เพื่อป้องกันสัญญาณอินพุทมิให้ลงกราวนด์โดยผ่านแบตเตอรี่ ดังนั้นความต้านทาน R_{cc} จึงต้องมีค่าสูงมาก ถึงแม้ว่าจะต่อตัวต้านทานเข้ากับวงจรกริดแล้วก็ตาม แรงดันกริดก็จะยังคงมีค่าเท่ากับ V_{cc} ทั้งนี้เพราะระหว่างขั้วกริดกับคาโถดเป็นเสมือนวงจรเปิด การเลือกค่าแรงดันกริดให้มีค่าเป็นลบมากน้อยเท่าใด จึงขึ้นอยู่กับตัวแบตเตอรี่หรือแหล่งจ่ายที่ต่อเข้าไปยังวงจร

การไบอัสโดยใช้ตัวต้านทานคาโถด (Cathode bias)

การไบอัสโดยใช้ตัวต้านทานคาโถดเป็นการนำเอาแรงดันที่มีอยู่ในวงจรมาทำการไบอัสตัวมันเอง ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การไบอัสด้วยตัวเอง (Self bias) วิธีการไบอัสทำได้โดยการต่อตัวต้านทานระหว่างขาคาโถดกับขากราวนด์ หรือขาไฟลบของแบตเตอรี่ในวงจรเพลท ในขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้า กระแสเพลทไหลผ่านวงจรเพลทจะเกิดแรงดันตกคร่อมในทิศทางตามรูป ซึ่งแรงดันที่คาโถดจะมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับกราน์ ดังนั้นจึงทำให้กริดมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับคาโถด ค่าของแรงดันไบอัสที่กริดจึงขึ้นอยู่กับกระแสในวงจรเพลทและค่าตัวต้านทาน R_{k}

ค่าแรงดันที่กริดไบอัสเมื่อเทียบกับคาโถดแล้วจะเปลี่ยนแปลงกับกระแสเพลทด้วย วิธีการหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงนี้ทำได้โดยการต่อตัวเก็บประจุคร่อมตัวต้านทาน R_{k} จุดมุ่งหมายของการต่อตัวเก็บประจุคร่อมตัว R_{k} ก็เพื่อว่าเมื่อเวลามีสัญญาณอินพุทป้อนเข้าที่กริด กระแสเพลทจะเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ส่วนของกระแสที่เป็นการเปลี่ยนแปลงจะไหลผ่านตัวเก็บประจุลงกราวนด์ การไหลผ่านตัวเก็บประจุจะอยู่ในรูปของการรับประจุและคายประจุของตัวเก็บประ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุเอง และจะเป็นผลทำให้ค่าแรงดันไฟตรงที่คร่อมตัวต้านทาน R_k มีค่าคงที่ ในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุเมื่อกระแสเพลทเปลี่ยนแปลงจะทำให้แรงดันคร่อม R_k เปลี่ยนด้วยเป็นผลทำให้แรงดันไบอัสที่กริดเปลี่ยนแปลงตามด้วย ตัวเก็บประจุนี้เรียกว่าตัวเก็บประจุทางผ่าน(Bypass capacitor) เพราะมันเป็นทางผ่านของกระแสเพลทที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีสัญญาณอินพุท

การเลือกค่าตัวเก็บประจุทางผ่านจะต้องเลือกให้ค่ารีแอกแตนส์ของตัวเก็บประจุที่ความถี่ของสัญญาณอินพุทมีค่าน้อยมากเมื่อเทียงกับค่าความต้านทานของตัว R_k เพื่อว่าที่สัญญาณความถี่อินพุทเป็นผลทำให้ตัวเก็บประจุทางผ่านเสมือนเป็นตัวลัดวงจร ในการใช้งานทั่วไปค่ารีแอกแตนส์นี้ควรจะมีค่าน้อยกว่าตัวต้านทาน 10 เท่า

การไบอัสด้วยการใช้กระแสรั่วไหลที่กริด (Grid leak bias)

วิธีการไบอัสอีกแบบหนึ่งโดยการใช้กระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นที่กริดโดยไม่ต้องอาศัยแบตเตอรี่ภายนอก กระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นที่กริดจะเกิดขึ้นเมื่อมีสัญญาณอินพุทเข้ามาเนื่องจากมีอิเลคตรอนบางตัวมาวิ่งชนกริด และในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุทแรงดันไบอัสที่กริดจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อมีสัญญาณอินพุทป้อนเข้าที่กริดสัญญาณจะป้อนผ่านตัวเก็บประจุ C_k แรงดันสัญญาณรูป sine ที่มาจากอินพุทจะคร่อมตัวต้านทาน R_g แล้วจะเป็นผลทำให้แรงดันกริดบางช่วงมีค่าเป็นบวกและลบเมื่อเทียวกับคาโถด

ในขณะที่กริดมีค่าเป็นบวก จะมีกระแสกริดเกิดขึ้นกระแสส่วนนี้จะเป็นตัวไปประจุให้กับ C_g ตามวงจรทางเดินของอิเลคตรอน ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับลูกศรดังรูป จะเริ่มต้นที่กริดผ่านตัวเก็บประจุ C_g ผ่านต้นกำเนิดสัญญาณอินพุทแล้วกลับมาที่คาโถด เป็นผลทำให้กริดประจุตัวเก็บประจุจนมีค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณอินพุทซึ่งมีขั้วในลักษณะให้กริดมีค่าเป็นลบ

เมื่อสัญญาณอินพุททำให้กริดเป็นลบ เมื่อเทียบกับคาโถดการไหลของกระแสกริดจะสิ้นสุดลง ตัวเก็ยประจุจะทำการคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_g แต่ค่าของตัวต้านทาน R_g มีค่าสูงมาก ดังนั้นค่าคงตัวของเวลาการคายประจุจึงมีค่าช้ามาก เป็นค่าผลคูณของ R_gC_g เป็นผลทำให้แรงดันกริดเป็นลบไม่เปลี่ยนแปลงมากนักตลอดเวลาที่สัญญาณอิดพุทเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไบอัสกริดจึงเกิดขึ้นด้วยค่าแรงดันที่คร่อมตัวต้านทาน R_g ซึ่งเมื่อตัวเก็บประจุ C_g

คายประจุผ่าน R_g ก็จะเสมือนมีกระแสไหลและจะทำให้แรงดันตกคร่อม R_g ยังคงมีทิศทางทำให้กริดเป็นลบอยู่นั่นเอง ดังนั้นสัญญาณอินพุทเมื่อมาถึงที่กริดจริง ๆ จะถูกยกระดับลงมาทางด้านลบหมด

การไบอัสวัวไหลที่กริดยังสามารถนำเอา R_g และ C_g นำมาขนานกันที่ขากริด โดยการไบอัสแบบนี้จะขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสกริด ซึ่งการวางตำแหน่งของ R_g และ C_g ที่แตกต่างกันไปโดยขนานกัน ในขณะที่มีสัญญาณอินพุททำให้กริดเป็นบวกจะเป็นผลทำให้กระแสกริดประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_g จนมีค่าสูงสุดของแรงดันอินพุท ทิศทางของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะเป็นในทางที่จะทำให้กริดเป็นลบ เมื่อค่าของสัญญาณกริดมีค่าเป็นลบ C_g จะทำหน้าที่คายประจุผ่านตัวต้านทาน R_g และค่าตัวต้านทาน R_g มีค่ามาก ดังนั้นในแต่ละครึ่งไซเคิล C_g จะคายประจุออกมาได้เนียงนิดเดียว และแรงดันของกระแสที่คายผ่าน R_g ก็ยังคงมีใจทิศทางทำให้กริดเป็นลบเหมือนเดิม

วงจรขยายหลอด

วงจรขยายโดยใช้หลอดที่เป็นพื้นฐาน คือ วงจรคาโถดร่วม เพราะใช้คาโถดเป็นจุดร่วมของกริดและเพลท (คิดเฉพาะไฟสลับ) สัญญาณอินพุทจะป้อนเข้ามาที่กริดและจุดร่วม สัญญาณเอาท์พุทที่ขยายถูกนำออกที่เพลทกับจุดร่วมของหลอด ค่าต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรคำนวณได้จากการลากเส้นสมการโหลดบนกราฟลักษณะสมบัติของหลอด

ในระหว่างครึ่งบวกของสัญญาณอินพุท แรงดันกริดจะมีค่าเป็นลบ แต่มีค่ามากกว่าแรงดันไบอัส กระแสเพลทจะไหลมากขึ้นผ่านตัวต้านทาน R_L และแรงดันคร่อมตัวต้านทานนี้คือแรงดันเอาท์พุท อัตราการขยายของวงจรขยายสามารถคำนวณได้จาก อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาท์พุทกับสัญญาณอินพุท ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

อัตราการขยายของวงจร = แรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่เอาท์พุท/แรงดันที่เปลี่ยนที่อินพุท

$$= \Delta V_{out} / \Delta V_{in}$$

จะสังเกตุเห็นว่า ทางด้านวงจรอินพุทโดยทั่งไปแล้ว ค่าของแรงดันที่ป้อนเข้าโดยสัญญาณจากภายนอกกับแรงดันอินพุทที่ขากริดของหลอดจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งโดยธรรมดาแล้วค่าทั้งสองจะแตกต่างกันเท่ากับค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและถือว่าแรงดันนี้มีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก (ที่ความถี่สูง) และแรงดันนี้จะมีค่ามากขึ้นที่ความถี่ต่ำลง ดังนั้นอัตราขยายของวงจรจึงไม่เท่ากันทุกความถี่ ในการที่จะออกแบบให้อัตราขยายเท่าใดอาจทราบได้โดยการเขียนกราฟจากลักษณะสมบัติของหลอดไตรโอด แต่ก่อนอื่นจะต้องรู้สมการเส้นโหลด และจุดทำงานของวงจรเสียก่อน

เส้นสมการโหลดหาได้จากการเขียนสมการทางวงจรเพลทโดยใช้กฎของวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น โดยให้กระแสไหลในวงจรจากเพลทไปยังคาโถด แต่เนื่องจากคิดว่ากระแสส่วนนี้เป็นกระแสตรงจึงไม่ผ่านตัวเก็บประจุ สมการของโหลดทางด้านสแตติกเขียนได้ดังนี้

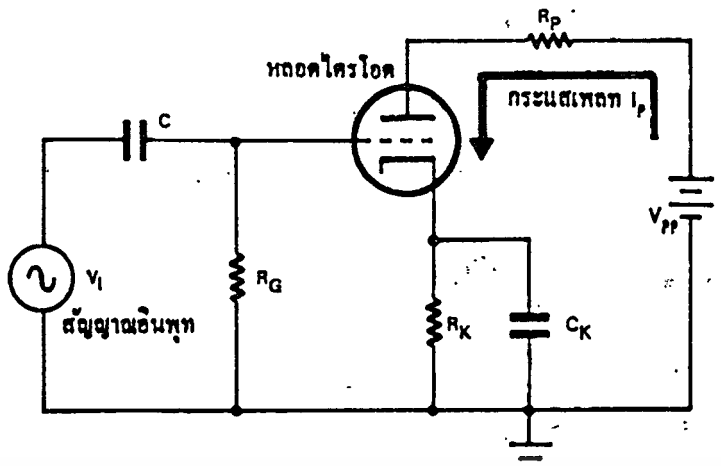
$$V_p + I_p R_L + I_p R_K = V_{pp}$$

หรือ $V_p = -I_p(R_K + R_L) + V_{pp}$

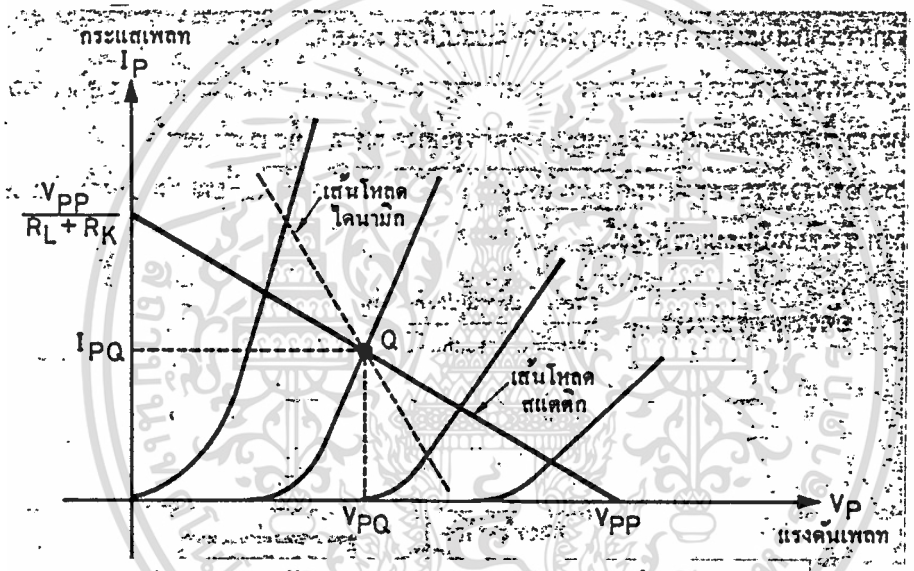
การคัปปลิ้งหรือการเชื่อมต่อ (Coupling)

วงจรหลอดสุญญากาศที่ประกอบอยู่ในเครื่องมือเครื่องใช้อิเลคทรอนิคส์ทั่วไปประกอบด้วยหลอดสุญญากาศเป็นจำนวนมาก หลอดทุก ๆ หลอดจะรับสัญญาณที่เข้ามาที่อินพุทของวงจรภาคนั้นแล้วทำการจัดสัญญาณของสัญญาณอิเลคทรอนิคส์ซึ่งขึ้นอยู่กับ หน้าที่ของหลอดแต่ละหลอด เช่น ขยายสัญญาณ ดัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วจึงส่งสัญญาณไปยังหลอดอื่น ๆ เพื่อทำหน้าที่ต่อไป ส่วนของวงจรหรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางป้อนสัญญาณให้อินพุทของหลอดสุญญากาศหรือเป็นตัวรับสัญญาณจากเอาท์พุทของหลอด ๆ หนึ่งป้อนให้ที่อินพุทของอีกหลอดหนึ่งเรียกว่า วงจรคัปปลิ้งหรือวงจรเชื่อมต่อ

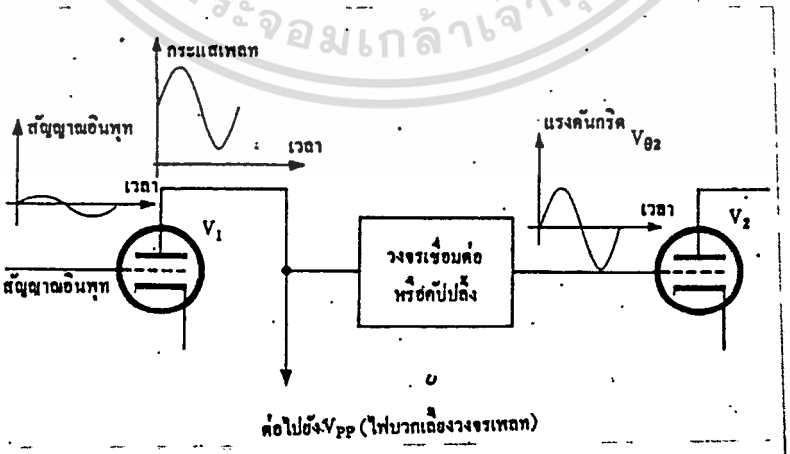
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.20 วงจรขยายไตรโอดเบื้องต้น



รูปที่ 1.21 เส้นสมการโหลดทางไดนามิกส์และสแตติก



รูปที่ 1.22 การส่งผ่านสัญญาณจากเอาท์พุทวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 Tank Circuit

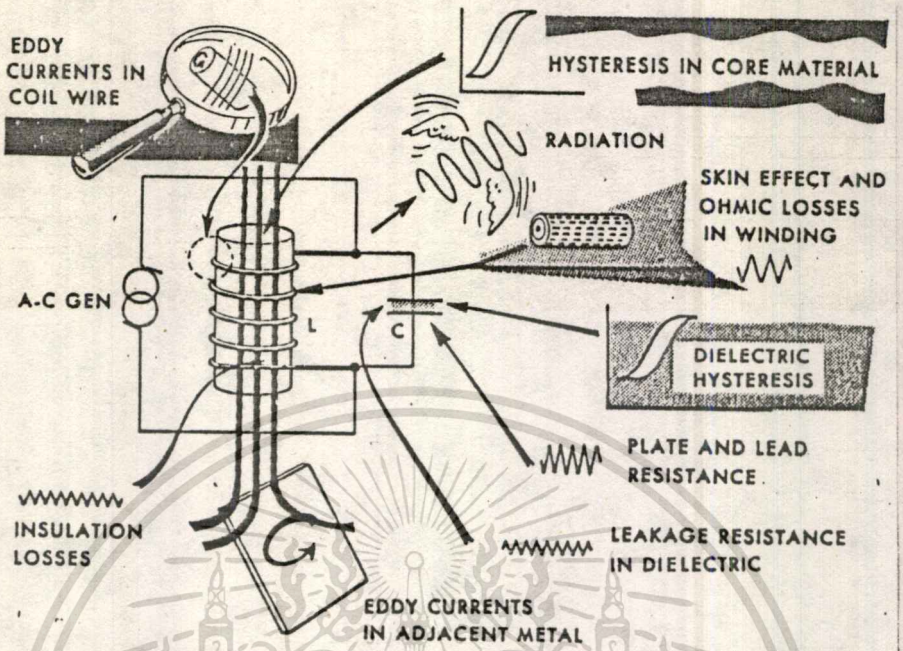
ลักษณะโดยทั่วไปของวงจรนี้ประกอบด้วย L และ Cโดยจะทำการต่อแบบใดก็ได้แต่ในที่นี้จะพูดถึงเฉพาะวงจรแบบ Parallel Tuned L-C circuit โดยการจัดให้ค่าของอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ให้ขนานกันเราเรียกว่า Tank ในกรณีที่ง่ายที่สุดในการสร้างก็คือตัวอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์อย่างละตัว แต่ในกรณีทั่วไปมักจะมีค่าของการสูญเสียเกิดขึ้นด้วย ซึ่งถ้าเกิดค่าการสูญเสียขึ้นในวงจรใดก็ตามก็แสดงว่ามีค่าของความต้านทานอยู่ในวงจรนั้นด้วย

ค่าความสูญเสียในวงจร Tank

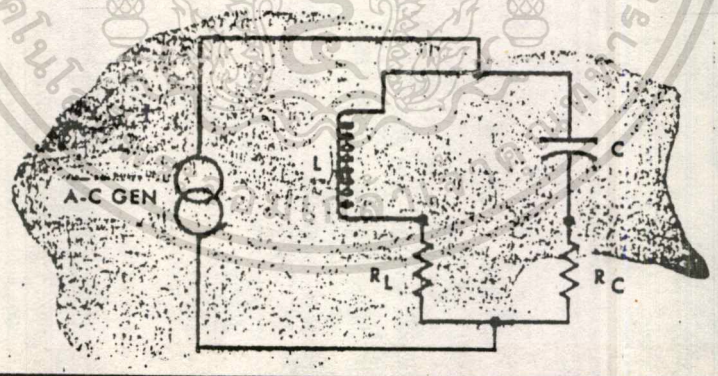
ค่าความสูญเสียจะเกิดได้ในหลายกรณีแตกต่างกันไป ถ้าให้ค่าของความถี่สูงขึ้นก็จะทำให้ค่าของ radiation loss มีค่ามากตามไปด้วย ในกรณีของ hyterisis จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อได้ใช้แกนเป็นสาร Ferro-magnetic ค่าของการสูญเสียที่เกิดจากกระแส eddy เกิดตามพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดเอง การเกิด skin effect เป็นปรากฏการณ์ของการไหลของกระแส AC ซึ่งจะเกิดกระแสไหลมากบริเวณผิวของตัวนำ ซึ่งเกิดเนื่องจากบริเวณกลางพื้นที่ตัวนำมีเส้นแรงแม่เหล็กมากกว่าพื้นที่ใกล้ผิวตัวนำ ถ้ายิ่งมีเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำมาก ค่าของอินดักแตนส์ของตัวนำก็จะมากตาม บริเวณกลางของลวดตัวนำจะมีกระแส AC ไหลจะทำให้เกิดค่ารีแอกแตนส์ที่สูงต่อการไหลของกระแส ถ้าความถี่ยิ่งสูงมากผลของ skin effect ก็จะมากตามคือกระแสหนาแน่นมากบริเวณผิว ทำให้ลดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำไป เนื่องจากผล skin effect ทำให้เกิดความต้านทานมากกว่าในขณะใช้งานของไฟกระแสตรง การแก้สามารถทำได้โดยการใช้สายกลวง

ผลของ hyteresis ของฉนวนในวัสดุฉนวน เกิดเนื่องจากการที่โมเลกุลถูก polalized เมื่อถูกกระตุ้นให้เกิดการกลับทิศภายใต้สนามไฟฟ้าที่เป็น AC ซึ่งจะเกิดการสูญเสีย ผลของการสูญเสียในคาปาซิเตอร์ก็มีเล็กน้อย เช่น ความต้านทานของเพลทและลวด, ความต้านทานที่เกิดจากกระแสรั่วของสารฉนวนในคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



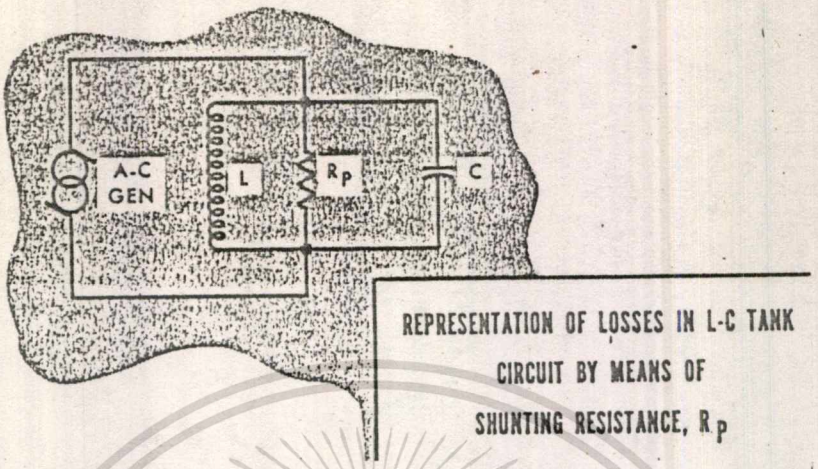
รูปที่ 1.23 ความสูญเสียที่เกิดภายในวงจรแทงค์



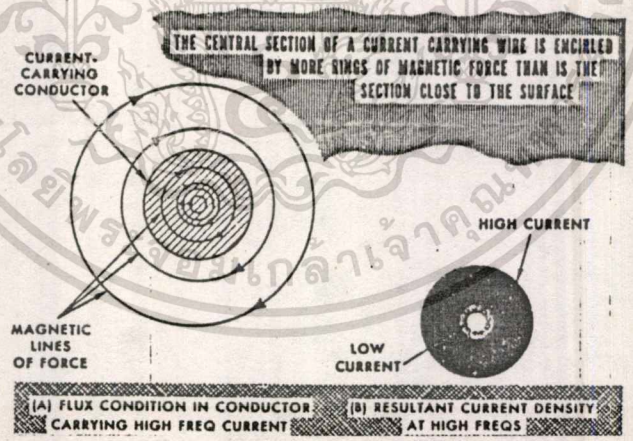
REPRESENTATION OF LOSSES IN L-C TANK CIRCUIT BY MEANS OF SERIES RESISTANCES R_L AND R_C

รูปที่ 1.24 แสดงความสูญเสียในรูปของความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.25 แสดงความสูญเสียในรูปของความต้านทานขนาน



รูปที่ 1.26 เส้นแรงแม่เหล็กและความหนาแน่นของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของการเกิดเรโซแนนส์ LC ตามทฤษฎี

โดยทั่วไปจะไม่คิดว่ามีความต้านทานในวงจร Tank เพื่อให้ง่ายต่อการทำนาย โดยจะคิดว่ามีแค่อินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ เมื่อมีโวลท์เตจตกคร่อมอินดักเตอร์จะทำให้เกิดกระแสกับโวลท์เตจต่างเฟสกันอยู่ 90 องศาโดยมีค่าของโวลท์เตจนำกระแส ส่วนในคาปาซิเตอร์ก็จะเกิดตรงกันข้ามกัน โดยค่าของกระแสนำโวลท์เตจเป็นมุม 90 องศา

การเกิดกำลังสลับกันระหว่างการจ่ายจากแหล่งจ่ายและการรับพลังงานจากแหล่งจ่ายมีค่าความถี่มากกว่าโวลท์และกระแสเป็น 2 เท่า ในกรณีของความต้านทานจะเกิดกำลังแค่การที่กำลังได้จ่ายออกมาเท่านั้น

ถ้าคิดว่าแหล่งจ่ายให้ความถี่เท่ากับความถี่เรโซแนนส์ของการต่อแบบ LC การเกิดเรโซแนนส์นั้นเกิดจากการค่าของความถี่ของแหล่งจ่ายทำให้เกิดค่ารีแอกแตนส์ของอินดักเตอร์และคาปาซิแตอร์เท่ากันแต่มีเครื่องหมายต่างกัน ซึ่งในขณะเกิดเรโซแนนส์นั้นจะไม่มีกระแสไหลในสายแต่จะเกิดกระแสไหลวนภายใน Tank ซึ่งมีค่าสูงมากเพราะคิดว่าไม่มีค่าอิมพีแดนส์

การเกิดเรโซแนนส์ในวงจรขนาน LC

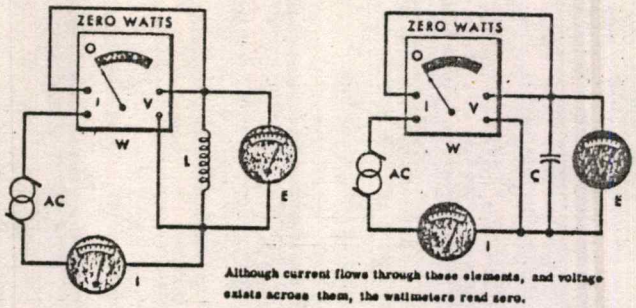
กระแสที่ผ่านอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์จะตามหลังโวลท์เตจอยู่ 90 องศา แต่กระแสที่ผ่านคาปาซิเตอร์จะนำหน้าโวลท์เตจ 90 องศา ซึ่งเมื่อเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ ก็จะเกิดจุดที่กระสตรงกับโวลท์เตจโดยไม่มีการ shift ซึ่งก็คือจุดที่ค่ารีแอกแตนส์ของอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์หักล้างกัน โดยคิดว่าต่างก็ชดเชยกำลังที่ทำให้เกิด phase shift ซึ่งจะได้ว่า

$X_L = 2\pi fL$, $X_C = 1/2\pi fC$ มีค่าเท่ากัน

โดยที่จุดนี้เรียกว่าความถี่เรโซแนนส์ ซึ่งเสมือนมีค่าความต้านทานในวงจรเท่านั้นโดยสามารถหาค่าความถี่เรโซแนนส์ได้โดยสูตร

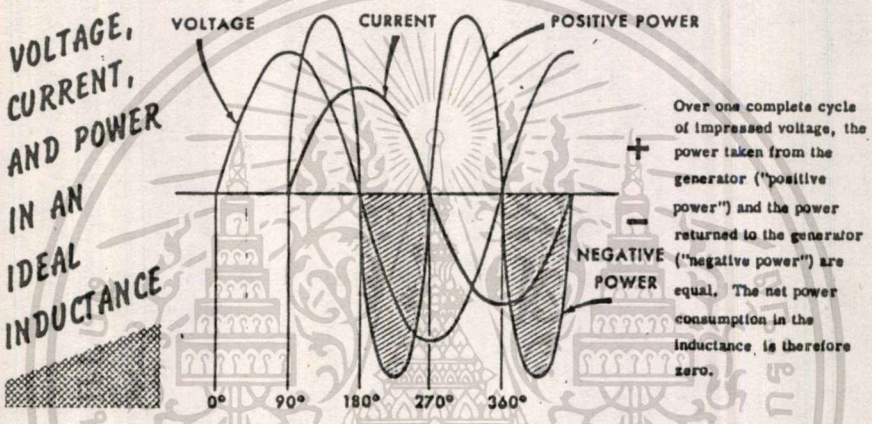
$$f_o = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

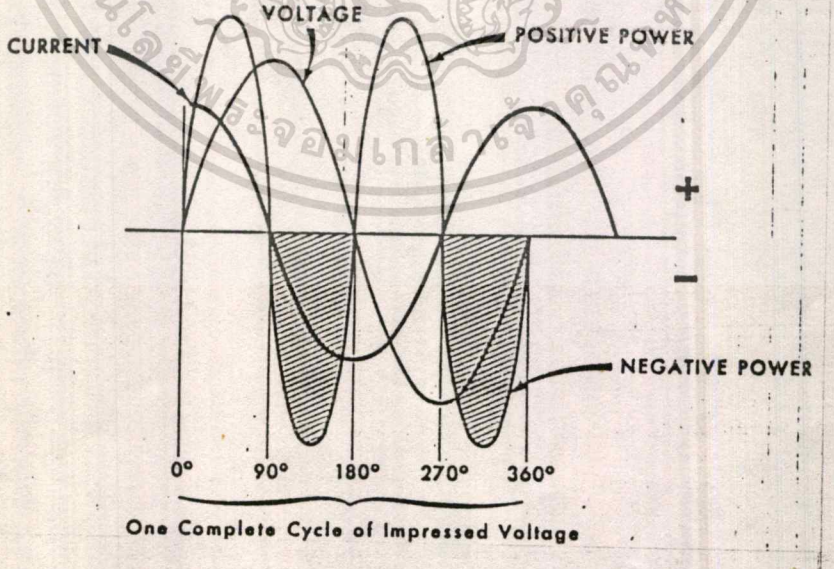


Although current flows through these elements, and voltage exists across them, the wattmeters read zero.

รูปที่ 1.27 ผลของกระแส,โวลท์เตจ,พลังงาน



รูปที่ 1.28 ผลของกระแส,โวลท์เตจและพลังงานในอินดักเตอร์



รูปที่ 1.29 ผลของกระแส,โวลท์เตจและพลังงานในคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Tank กับค่ากำลังของการสูญเสีย

ในขั้นแรกต้องศึกษาถึงค่าของ Q โดยค่าของ Q ก็คือการวัดค่าของอัตราส่วนพลังงานที่เก็บไว้ต่อค่าของพลังงานที่สูญเสียไป ถ้าคิดว่าไม่มีการสูญเสียก็จะได้ว่าค่าของ Q มีค่ามากจนเป็นอนันต์

ถ้าค่าของ Q ของวงจร Tuned Plate circuit มีค่าตั้งแต่ 10 ขึ้นไปแล้วจะทำให้ค่าของอิมพีแดนส์ของ Tank circuit ของค่าฮาร์โมนิกที่ 2 และลำดับสูงขึ้นไปนั้นมีค่าลดลง ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ค่าของโวลท์เตจที่ตกคร่อมของฮาร์โมนิกส์นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าของโวลท์เตจของ Fundamental ซึ่งก็คือจะทำให้ลดผลของการสร้างฮาร์โมนิกส์ของกระแสเพลทออกมาอย่างมาก

แต่ค่าของ Q ของ Tank circuit ต้องการค่าสูงเพื่อลดผลของฮาร์โมนิกส์ก็จะเกิดข้อจำกัดของคุณสมบัติของผลตอบสนองความถี่ของ Amplifier ก็คือค่าของ gain จะมีค่าคงที่ในช่วงแคบของความถี่ในการใช้งาน ซึ่งก็จะทำให้ Amplifierใช้ได้ในช่วงของความถี่ในช่วงแคบ โดยในวงจรขยายแบบ B นี้สามารถใช้ขยายได้ในช่วงความถี่แคบของสัญญาณต่างกัน แต่ในวงจร์ขยายแบบ C นี้ใช้ในการขยายสัญญาณคงที่ในช่วงความถี่แคบ

คุณสมบัติของวงจร Tank circuit

จากรูปที่ใช้ ทำการปรับ C_2 จนความถี่เรโซแนนส์ออกมาที่ความถี่ $1/2\pi\sqrt{L_2C_2}$ ซึ่งก็จะเท่ากับการทำงานที่ความถี่เดียวกันกับความถี่ในการทำงานของแอมปลิฟลายเออร์ เมื่อเกิดการเรโซแนนส์ก็จะได้ว่าค่าของความต้านทาน

$$R_L' = (wM)^2/(R_L'' + R_2)$$

ย้ายด้านไปทางด้าน primary ก็จะได้ค่าของวงจรสมมูลย์ออกมาตามรูป

ถ้าลักษณะของ Tank circuit เป็นไปตามทฤษฎี ค่าของอิมพีแดนส์ขณะเกิดการเรโซแนนส์จะมีค่าเท่ากับความต้านทาน และเท่ากับความต้านทานขนานกัน R_o และค่าของอิมพีแดนส์จะเท่ากับ 0 ที่ความถี่อื่น ๆ

$$Z(w_o) = R_o$$

$$Z(nw_o) = 0 \quad : n= 2,3,4,...$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไขทางด้านทฤษฎีไม่เป็นความจริง ก็สามารถหาค่าของอิมพีแดนส์ที่ต่ำ ก็สามารถหาค่าของอิมพีแดนส์ได้

$$Z(w_o) = R_L Q^2 \angle 1+1/Q^2 \ / \tan^{-1} 1/Q$$

ให้ค่าของ Q = 10

$$Z(w_o) = R_L Q^2 * 1.005 \ / -5.7$$

ค่าของอิมพีแดนส์ของวงจร Tank ที่เป็นความต้านทานได้

$$Z(w_o) = R_o = R_L Q^2$$

ตามเงื่อนไขก็จะได้

$$R_o = R_L Q^2 = w_o L_t Q = L_t / R_L C_t = Q \sqrt{L_t / C_t}$$

ถ้าพิจารณาในกรณีของฮาร์โมนิกที่ 2 ก็จะได้ว่า

$$Z(2w_o) = -j(1/1.5) * \sqrt{L_t / C_t}$$

อัตราส่วนของค่าอิมพีแดนส์ของฮาร์โมนิกส์ที่ 2 เทียบกับค่าของความถี่มูลฐานได้

$$Z(2W_o)/Z(W_o) = 1/1.5Q$$

เทียบอัตราส่วนของกำลังภายใต้เงื่อนไขของ $I_{P1} = I_{P2}$ ก็จะได้ว่า

$$P_{L1}/P_{L2} = I_{P1}^2 \ Re \ Z(w_o) / I_{P2}^2 \ Re \ Z(2w_o)$$

$$= 4(1 + 2.25Q^2)$$

เมื่อให้ Q = 10 ก็จะได้ว่า

$$P_{L1}/P_{L2} = 900$$

ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังของฮาร์โมนิกไม่ต้องนำมาเกี่ยวข้องกันภายใต้เงื่อนไขนี้

ค่าประสิทธิภาพของการย้ายด้านของวงจรหาได้จากสูตร

$$n = n_1 n_2$$

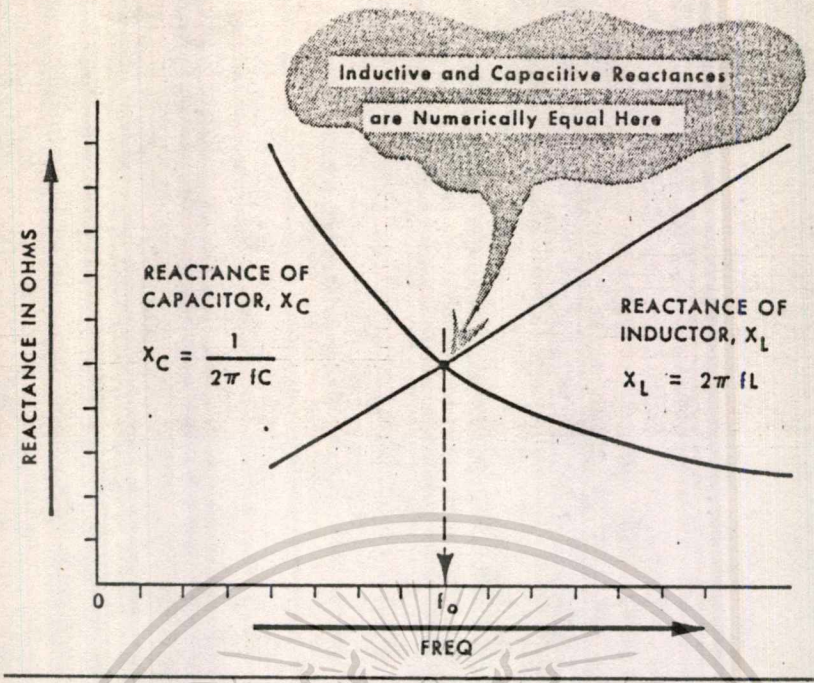
$$n_1 = R_L'/(R_1 + R_L')$$

กำลังทางด้าน secondary / กำลังทางด้าน primary

$$n_2 = R_L"/(R_2 + R_L")$$

กำลังทางด้าน load / กำลังทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VARIATION OF INDUCTIVE AND CAPACITIVE REACTANCE WITH FREQUENCY

รูปที่ 1.30 การเปลี่ยนค่ารีแอกแตนส์กับความถี่

A GIVEN RESONANT FREQUENCY CAN BE ATTAINED
BY MANY DIFFERENT COMBINATIONS OF INDUCTANCE AND CAPACITANCE

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

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{50 \times 10^{-6} \times 500 \times 10^{-12}}}$$

= 1.0 megacycle /sec

500 μμf 50 μh

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{500 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-12}}}$$

= 1.0 megacycle /sec

50 μμf 500 μh

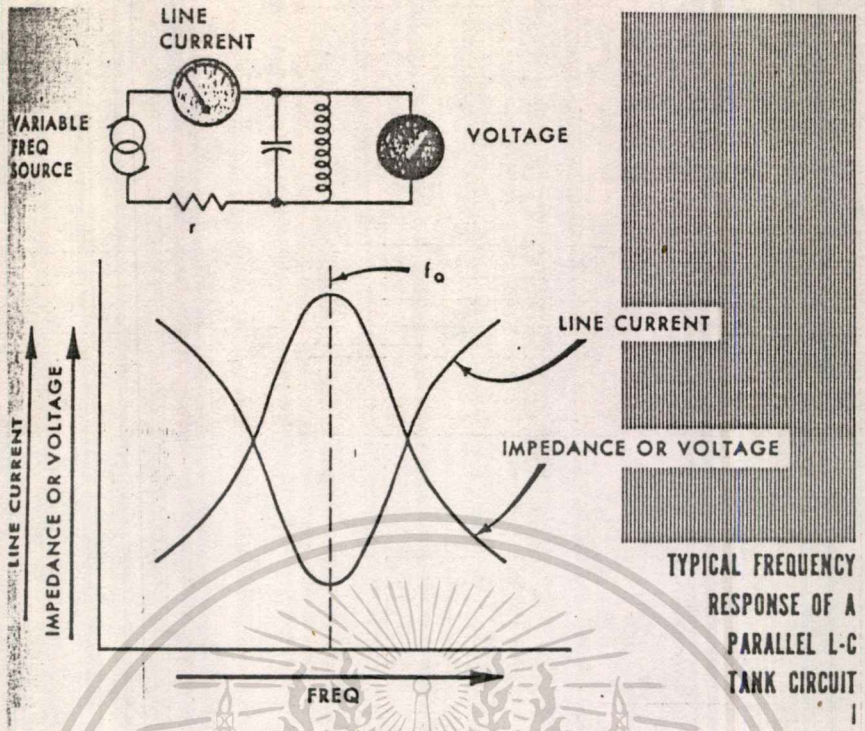
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{5000 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-12}}}$$

= 1.0 megacycle/sec

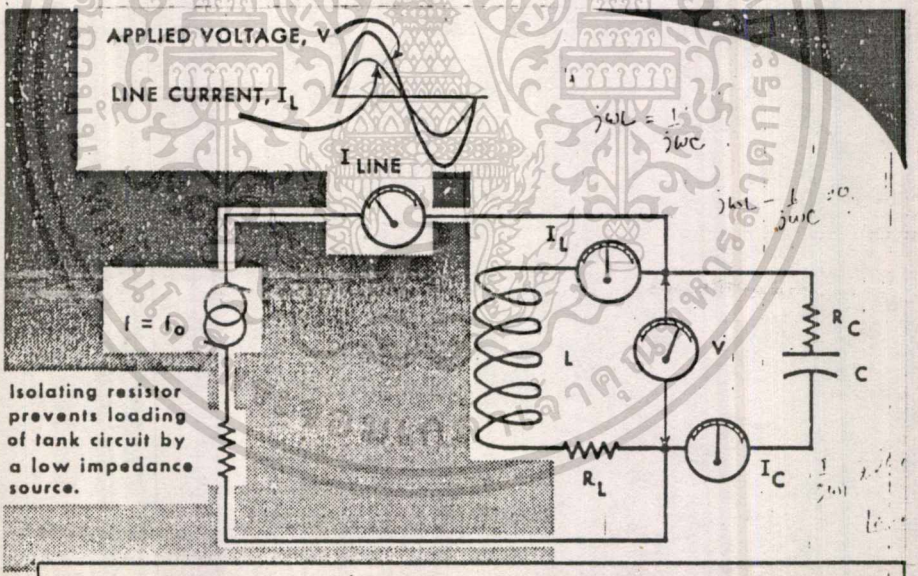
5 μμf 5000 μh = 5mh

รูปที่ 1.31 การคำนวณหาความถี่ที่เรโซแนนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับวงจรแทงค์



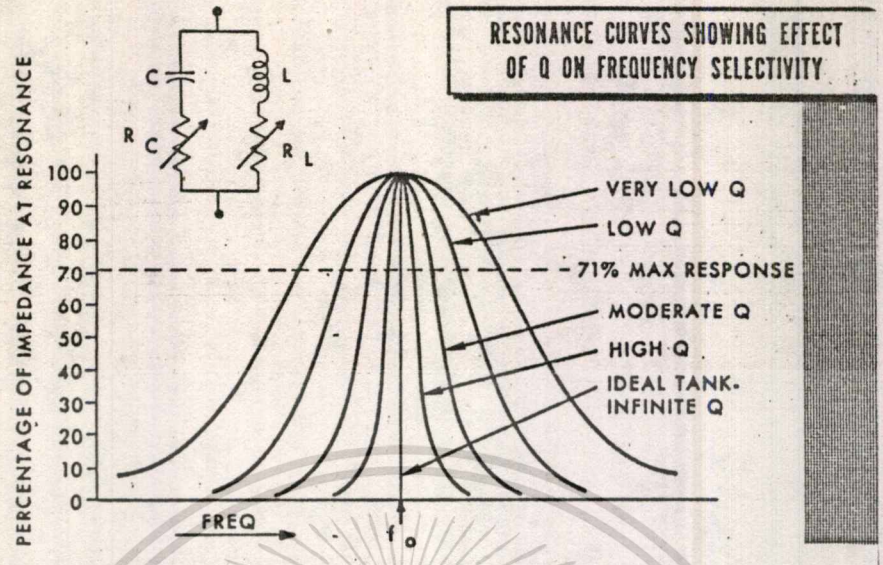
CONDITIONS AT RESONANCE OF PARALLEL L-C TANK CIRCUIT (R_L AND R_C ARE SMALL)

1. The applied voltage, V, and the line current, I_{LINE}, are in phase.
2. Inductor current, I_L, and capacitor current, I_C are of equal value because inductive reactance and capacitive reactance are equal.
3. The voltage, V, applied across the tank circuit rises to its maximum value because the impedance of the tank circuit attains its highest value.
4. The tank circuit behaves as a pure resistance.
5. The line current, I_{LINE}, attains its minimum value.

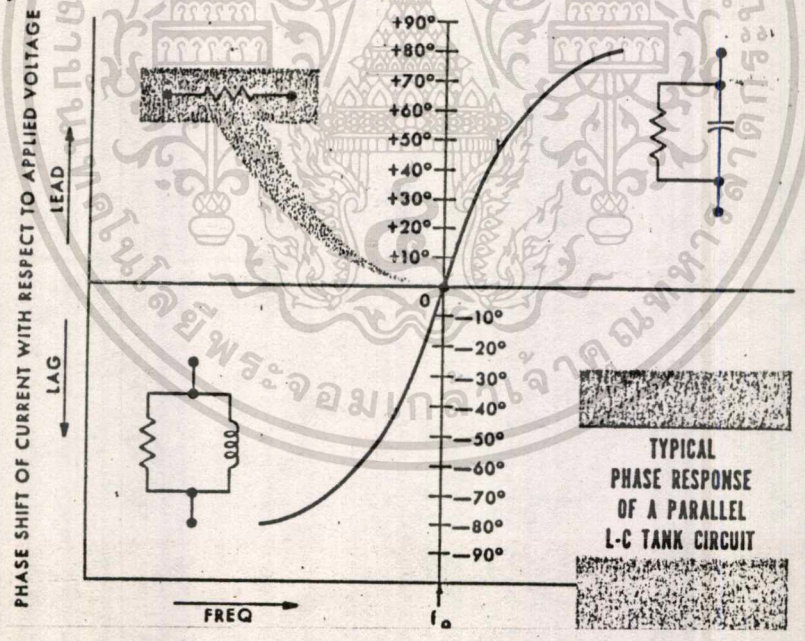
FIG. 2–13

รูปที่ 1.33 เงื่อนไขการเกิดเรโซแนนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

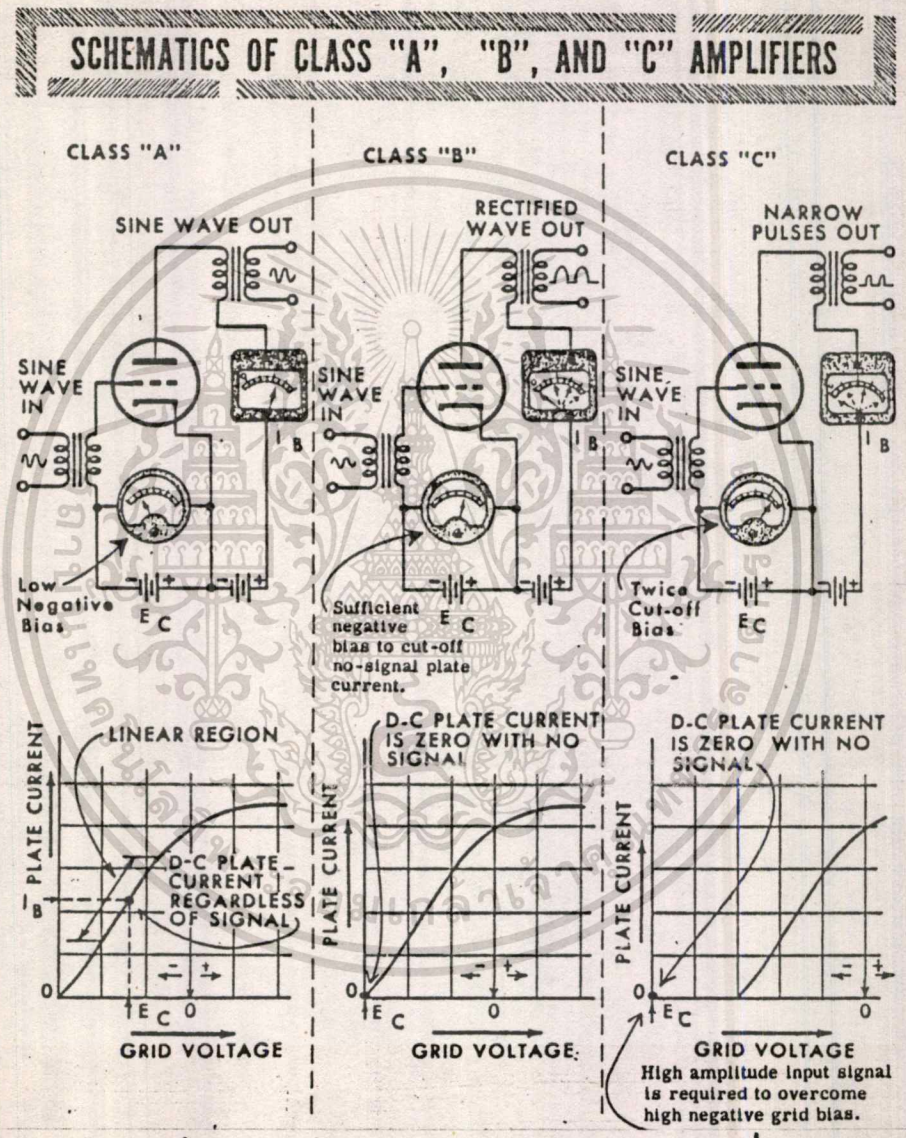


รูปที่ 1.34 ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนส์กับความถี่



รูปที่ 1.35 ผลของความถี่ที่มีต่อเฟสในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.36 แสดงการทำงานเป็นวงจรขยายแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเขียน n_1 ในรูปแบบตาม

$$n_1 = (Q_{o1} - Q_{o1L})/Q_{o1} = 1 - Q_{o1L}/Q_{o1}$$

$Q_{o1} = w_o L_1/R_1$ ค่าของ Q ขณะไม่มีโหลดทางด้านปฐมภูมิ

$Q_{o1L} = w_o L_1/(R_L' + R_1)$ ค่าของ Q ขณะมีโหลดทางด้านปฐมภูมิ

$$n_2 = 1 - Q_{o2L}/Q_{o2}$$

$Q_{o2} = w_o L_2/R_2$ ค่าของ Q ขณะไม่มีโหลดทางด้านทุติยภูมิ

$Q_{o2L} = w_o L_2/(R_2 + R_L'')$ ค่าของ Q ขณะมีโหลดทางด้านทุติยภูมิ

สามารถสรุปได้ว่า

$$n = (1 - Q_{o1L}/Q_{o1})(1 - Q_{o2L}/Q_{o1})$$

ถ้าต้องการวงจรที่มีประสิทธิภาพมาก ค่าของ Q_{o1L} และ Q_{o2L} จะต้องมีค่าต่ำ และค่าของ Q_{o1} และ Q_{o2} ตอนไม่มีโหลดจะต้องมีค่าสูง โดยทั่วไปในการใช้งานเราให้ค่าของ Q มากกว่า 10 เพื่อการป้องกันฮาร์โมนิกส์ออกไปทางด้านเอาท์พุท ค่าของ Q ขณะไม่มีโหลดจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับข้อจำกัดต่าง ๆ ดังเช่น ค่ากำลังที่ต้องจ่ายออกไป , คุณสมบัติการสร้างขดลวด, ความถี่ในการใช้งาน

ค่าของ Q ขณะไม่มีโหลด 100-200 ใช้กับขดลวดแบบกำลังต่ำ

500-800 ใช้กับขดลวดแบบกำลังสูง

การเลือกค่า Q_L

สิ่งที่น่าสนใจที่จะตรวจสอบตัวประกอบซึ่งมีผลต่อการเลือก Q_L จากที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ในกรณีที่จะใช้กับค่าของ Q_L ที่ต่ำใช้กับ

1. ค่าประสิทธิภาพของการTranferสูง
2. ช่วงของ Bandwidth ที่กว้าง
3. องค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่สูงขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อัตราส่วนของ L/C ที่มากขึ้น

ในกรณีที่ 2 เกี่ยวกับความกว้างของความถี่ ซึ่งค่านี้ต้องให้ได้เหมาะสมกับความถี่ที่ต้องการสามารถผ่านไปได้ แต่ในช่วงอื่นจะต้องลดค่าให้น้อยลงไปอีก

ในกรณีที่ 3 ค่าของเอาท์พุท อาร์โมนิกส์มีค่าน้อยลง ถ้า Q_L มากขึ้น แต่ถ้าค่าของ Q_L น้อยลงก็จะทำให้อาร์โมนิกส์มีผลต่อวงจร

ในกรณีที่ 4 การเลือกค่า Q_L ที่ต่ำ โดยค่าของ R_o คงที่นี้ก็จะได้ว่าค่าของอัตราส่วนของ L/C มีค่าสูง ค่าของ L/C มากสุดเมื่อค่า C มีค่าน้อยสุด ซึ่งก็คือในหลอดกับสาย ซึ่งถ้าจะใช้ก็ควรเลือกค่า C มีค่าน้อยกับค่าของอินดักเตอร์สูง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 วงจรขยายแบบ C

วงจรที่มีการ bias ด้วยโวลท์เตจเป็น 2 เท่าของค่ากระแสคัทออฟ ซึ่งจะให้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าวงจรแบบ B โดยค่าความถี่ของวงจรใน Tank กับความถี่อินพุทที่ป้อนเข้ามาจะเป็นค่าเดียวกัน โดยค่าของกระแสจะไหลผ่านค่าอิมพีแดนส์ที่มีค่าสูงสุด ซึ่งก็จะได้ค่ากระแสตรง Plate มีค่าน้อยสุด ในกรณีที่ความถี่อื่นซึ่งค่าเอาท์พุทที่ได้ไม่เป็นค่าของความถี่เรโซแนนส์แล้วค่าของกระแสจะมีค่าสูงด้วย ค่าของโวลท์คร่อมวงจร Tank จะมีค่ามากสุด เมื่อความถี่เรโซแนนส์ทั้งทางด้านเอาท์พุทและอินพุท ซึ่งก็คือในขณะเกิดการเรโซแนนส์ค่าของโวลท์เตจคร่อมวงจร Tank มีค่ามากสุด ส่วนค่ากระแสในเพลทมีค่าน้อยสุด ซึ่งเกิดเนื่องจากค่าของอิมพีแดนส์ในวงจร Tank มีค่ามากสุดนั่นเอง ค่าของกำลังที่สูญเสียภายในหลอดเกิดจากผลคูณของกระแสเพลทและโวลท์เตจ ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวงจรขยายแบบ C ให้ค่าพลังงานเอาท์พุทมากสุดจากวงจร Tank โดยค่าการสูญเสียในเพลทมีค่าต่ำสุด ช่วงความกว้างของลูกคลื่นกระแสมีค่าแคบมากซึ่งก็คือ ค่าของช่วงการทำงานน้อยกว่า แบบ B

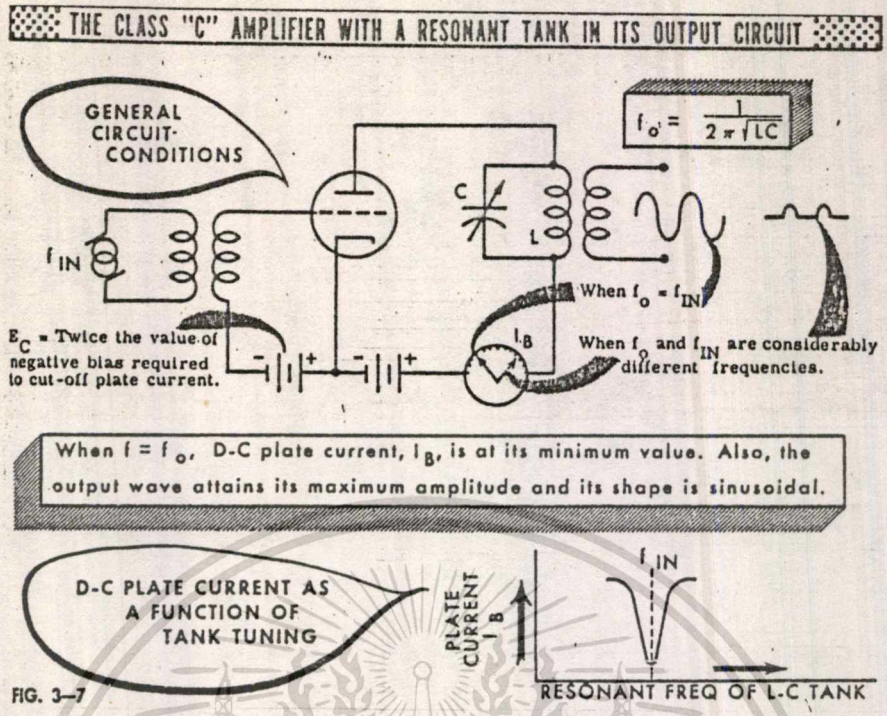
ผลของ Tank circuit ในวงจรขยาย C

ค่าของความถี่ที่ทำให้วงจร Tank เกิดการเรโซแนนส์ได้นั้นจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของกระแสเพลทแบบพัลส์ ค่าของกระแสพัลส์จะประกอบไปด้วย DC Component ความถี่มูลฐาน ความถี่อาร์โมนิกส์อื่น วงจรของ Tank จะเป็นตัวจำกัดการไหลของความถี่มูลฐานเท่านั้น ค่ากำลังส่วนมากของพัลส์จะอยู่ในความถี่มูลฐาน ทำให้ค่าของ Dc component และอาร์โมนิกส์ต่างผ่านวงจร Tank ไปได้ ทำให้อ่านของกระแสเพลท DC มีค่าต่ำ ในวงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปมักจะใช้วงจรขยาย C เป็นตัวต่อกับวงจร Tank

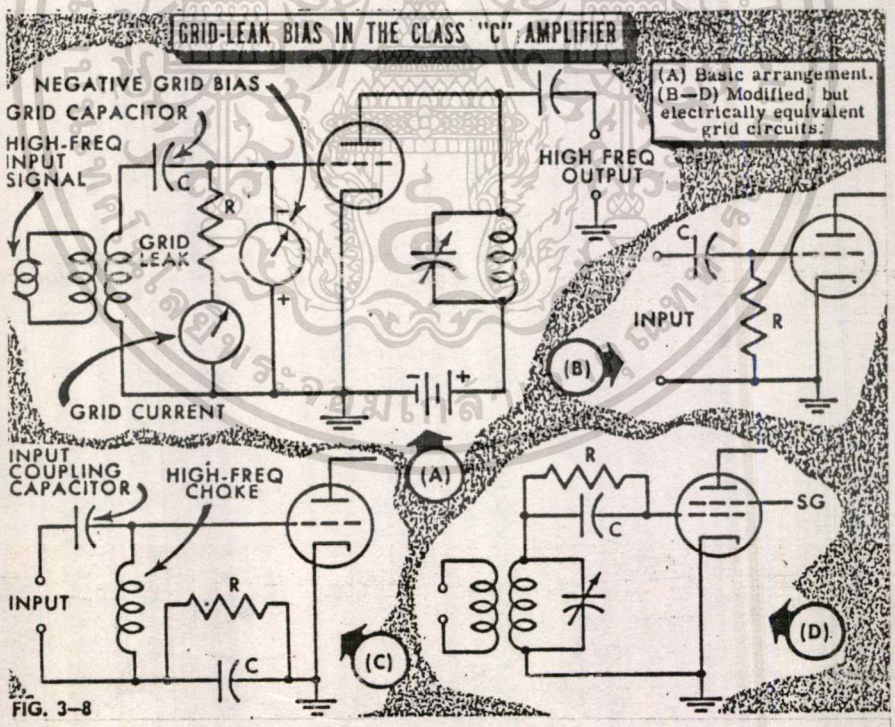
การทำงานของกระแส Grid ในวงจรขยายแบบ C

เนื่องจากผลการที่กริดจะใช้กระแสจากสัญญาณ เมื่อมีการกระชากของสัญญาณทำให้ค่าของแอมปลิจูดมีค่ามากกว่าโวลท์เตจแบบลบ ในวงจรกริดจะมีค่าของกระแสพัลส์ไหลด้วย ถ้าในกรณีหลอดถูก drive มากเท่าใด ค่าของกระแสกริดแบบ DC Component ก็จะมีค่ามากตาม ทำให้ค่าของความสูญเสียที่เกิดในวงจรกริดไม่ต้องนำมาคิดก็ได้ เมื่อคิดเทียบกับอัตราขยายของเพลท โดยไม่มีส่วนของ Dc ที่ไหลผ่าน เหมือนวงจรขยายแบบ A ในกรณีของวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.37 ผลของวงจรแทงค์ในวงจรขยายแบบ"ซี"



รูปที่ 1.38 วงจรขยายที่ไบอัสด้วยกระแสกริดแบบรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จรขยายแบบ C จะให้อัตราการขยายไม่เป็นสัดส่วนกันแต่จะทำงานในลักษณะของการเป็น Switching ให้เป็นอัตราขยายระหว่างเอาท์พุทกับอินพุท

การไบอัสแบบ Grid Leak ในวงจรขยายแบบ C

การไบอัสด้วยตัวของวงจรเองโดยไม่ต้องมีการแยก Supply แล้วป้อนเข้าทางกริดอีกส่วนโดยก็จะได้ไฟลบที่เป็น 2 เท่าของโวลท์ที่ทำให้เกิดกระแสดัทออฟ จะเห็นได้ว่าวงจรกริด-คาโถด มีการป้อนไฟเข้าเป็นรูป Sine ซึ่งทำให้เกิดโวลท์ส่วนบวกมากกว่าโวลท์ที่ไบอัส เพื่อให้เกิดกระแสเป็นพัลส์ ในส่วนยอดที่เป็นบวกของสัญญาณโวลท์จะถูกแบ่งให้น้อยลงโดยค่าของกริดคาโถด ที่มีค่าอิมพีแดนส์ต่ำลง เมื่อกริดนำกระแสก็จะเป็นการลดโวลท์เตจที่เข้ามา ในทางกลับกันถ้าเราไม่มีการจ่ายโหลด ในส่วนของลูกคลื่นที่เป็นลบเพราะกริดไม่มีการดึงอิเลคตรอน จากคาโถดทำให้ไม่มีการลดลงของโวลท์ ในส่วนของกริดที่เป็นลบก็จะทำให้มีการทำงานแบบวงจรเปิด พิจารณาในส่วนของคาปาซิเตอร์ (C)ต่อกับกริด ในแต่ละลูกคลื่นของสัญญาณไฟ เข้ามาในส่วนของทางด้านกริดจะมีค่าไฟลบมากกว่าบวก ก็จะทำให้ค่าของ C เป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงช้าลง ซึ่งก็จะมีการ charge ประจุด้วยโวลท์เตจที่แตกต่างระหว่างเพลทของตัวคาปาซิเตอร์ ซึ่งก็จะทำให้เกิดโวลท์เตจเป็นลบ เมื่อเทียบกับค่าของคาโถด เหมือนกับมีการต่อวงจร Rectify ในวงจรโดยขึ้นกับการจ่ายเข้ามาของอินพุท AC ด้วย

ความจำเป็นในการมีส่วนของการคายประจุ

เมื่อ C ถูก charge จนเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการไบอัสเป็นลบแล้ว ทำให้โวลท์ที่เข้ามายังขากริดมีค่าลดลง ในส่วนของ R ซึ่งเป็นส่วนของ Grid Leak เป็นตัวที่จะช่วยในการคายประจุของ C อัตราการคายประจุซึ่งมีโวลท์เตจคร่อม C ลดลงให้พอในแต่ละลูกคลื่น ให้กริดสามารถ Drive กระแสได้ในระหว่างลูกคลื่นเป็นบวกในส่วนการไหลของของกระแสกริดจะเกี่ยวกับค่าของโวลท์เตจคร่อม C ซึ่งค่าที่เหมาะในการใช้ R จะเกี่ยวกับโวลท์อินพุทโดยจะต้องมีทั้งค่าของการเป็นกริดไบอัสที่เป็นลบ และค่าของกระแสกริดที่ผ่าน R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 OSCILLATOR

ถ้าในวงจรที่มีการป้อนกลับด้วยค่าที่เหมาะสมวงจรหลอดก็จะสามารถทำตัวคล้ายกับเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยจะได้สัญญาณมาในรูปของ Sine ด้วยค่าที่เป็นรูปสัญญาณจริง ซึ่งอาจเป็นลูกคลื่นแบบ square หรืออาจไม่เป็นรูปคล้าย sine เลย แต่ให้คาบที่แน่นอน

ชนิดของวงจรป้อนกลับมีมากมาย ซึ่งจะแตกต่างในเรื่องของรายละเอียด ซึ่งต้องมีการทำให้เกิดการ Oscillateให้คงทนนาน โดยการป้อนกลับสัญญาณนั้นค่าที่ได้จะมีความถี่เท่ากับความถี่ของเอาท์พุท โดยทั่วไปวงจรของออสซิลเลเตอร์ที่เป็นแบบป้อนกลับตัวเอง จะทำงานอยู่ในวงจรขยายแบบ C ซึ่งในทางทฤษฎีของวงจรขยายแบบ C นี้ จะเป็นการทำงานในช่วงของความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ ในทางทฤษฎีในการจะเข้าใจการทำงานของออสซิลเลเตอร์นี้จะต้องศึกษาถึงข้อกำหนดการออกแบบและข้อมูลในขณะใช้งาน

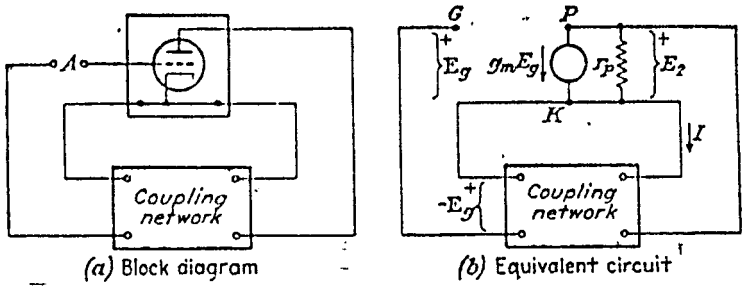
ออสซิลเลเตอร์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการนำเอาไปใช้งานว่าจะใช้ในช่วงความถี่ใด การคงอยู่คงที่ (stability) ค่าของเอาท์พุท ลักษณะการควบคุมสำหรับวงจรความถี่สำหรับวงจรความถี่ต่ำใช้ในการทำงานอินดักชั่นฮีทติ้ง แต่ต้องการกำลังมาก โดยไม่สนในเรื่องความคงอยู่ของความถี่ (Frequency Stability) ในส่วนของวงจรภาครับก็ต้องการลักษณะที่แตกต่างกันไป โดยต้องเป็นวงจรที่มีความ stable และใช้ได้หลายความถี่แต่กำลังต่ำ วงจรออสซิลเลเตอร์ที่เป็นคลื่นพาหะ จะต้องมีลักษณะที่มี stable มาก กำลังน้อย ต้องกำเนิดเพียงความถี่เดียวเท่านั้น ซึ่งอาจใช้แบบ crystal oscillator

เงื่อนไขในการกระตุ้นตัวเอง

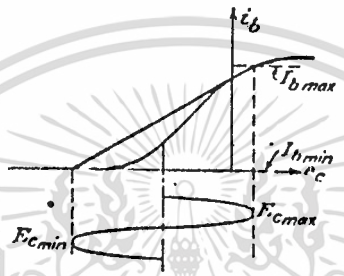
เพื่อให้มั่นใจในเงื่อนไขที่ว่าจะสามารถทำให้วงจรหลอดคงการออสซิลเลทไว้ได้ คิดตามวงจรว่าเปิดตามส่วนตามที่แสดงไว้ โดยการคิดว่ามีแรงดัน E_g อยู่ในกริด ค่าของกระแสก็จะได้เป็น $g_m E_g$ สำหรับการใช้งานในช่วงเชิงเส้นของวงจร กระแส I ไหลไปยังส่วนของ Coupling network ก็จะทำให้เกิดค่าของโวลท์เตจคร่อมในส่วนของจุดปลายของเอาท์พุท ถ้าค่าของความต่างศักย์นี้เท่ากับทั้งขนาดและตรงเฟสกันกับค่าของ E_g ในตอนเริ่มต้นแล้ว วงจรก็จะเชื่อมต่อกันตรงจุด A และระบบก็ยังคงอยู่ต่อไปได้

การหาจุดที่เป็นมาตรฐานของการทำออสซิลเลเตอร์ อาจใช้การหาผลรวมของอัตรา

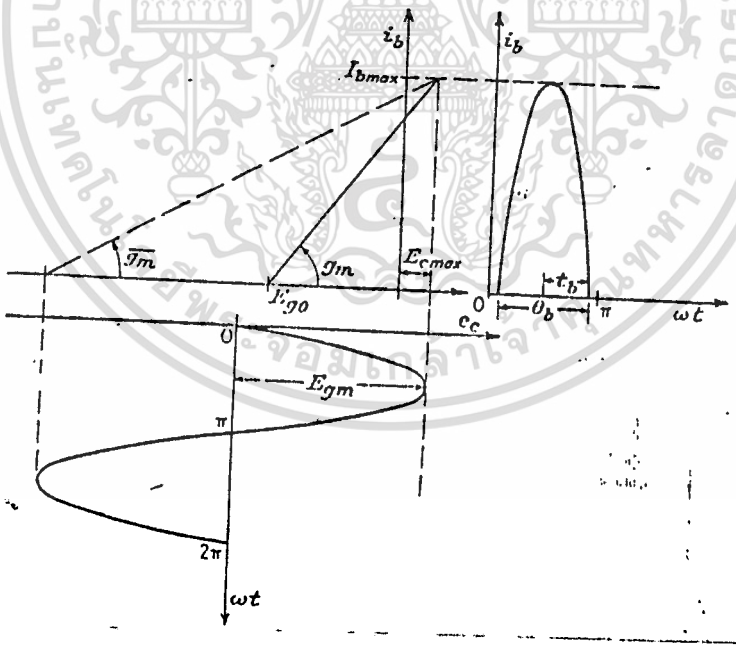
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.39 วงจรหลอดที่มีการเชื่อมต่อระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท



รูปที่ 1.40 การหาค่าของสภาพความนำร่วมเฉลี่ย



รูปที่ 1.41 คุณสมบัติของหลอดในวงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยาย ทั้งเรื่องขนาดและเฟส โดยคิดว่าเป็น loop ประกอบด้วยตั้งแต่อินพุทผ่านไปยังวงจรขยาย และต่อไปยัง coupling การออสซิเลทกจะเกิดเมื่อค่าของ loop gain มีค่าเป็น 1 และค่าของเฟสมีการเปลี่ยนไป 2π หรือ 0

การศึกษามาตรฐานของการวิเคราะห์ออสซิลเลเตอร์ จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับการทำ transferอิมพีแดนส์ของวงจรที่ Coupling ซึ่งกำหนด Z_T ซึ่งกำหนดให้เป็นอัตราส่วนของความต่างศักษ์เอาท์พุทกับค่ากระแสอินพุท

โดยค่า $Z_T = -E_g/I$ การเกิดออสซิลเลท

$$(g_m E_g + E_2/r_p)Z_T = -E_g$$

$$g_m Z_T(E_g + E_2/\mu) = -E_g$$

แต่ค่าของคววมต่างศักษ์เอาท์พุทของเครื่องขยายสัมพันธ์กับค่าความต่างศักษ์อินพุทโดย

$$E_2 = KEg$$

$$g_m Z_T E_g(1 + K/\mu) = -E_2$$

$$g_m Z_T(1 + K/\mu) = -1$$

กำหนดค่าของอิมพีแดนส์ทางด้านวงจร coupling เป็น $-E_2/I = Z$

$$(g_m E_g + E_2/r_p)Z = -E_2$$

$$(g_m E_g + KE_g g_m/\mu)Z = -KE_g$$

$$g_m Z(1/K + 1/\mu) = -1$$

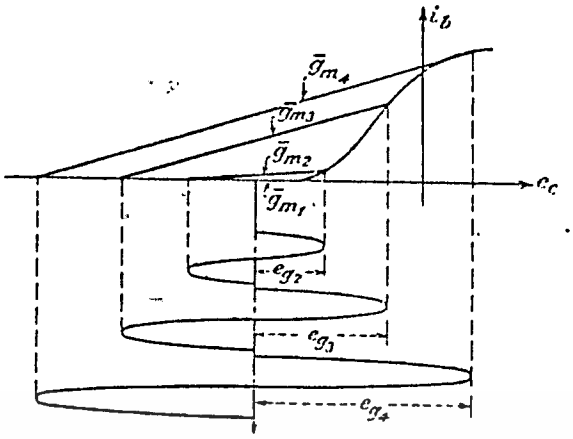
$$1/g_m z + 1/\mu = -1/K$$

อัตราส่วนของ E_g/E_2 กำหนดให้เป็น β

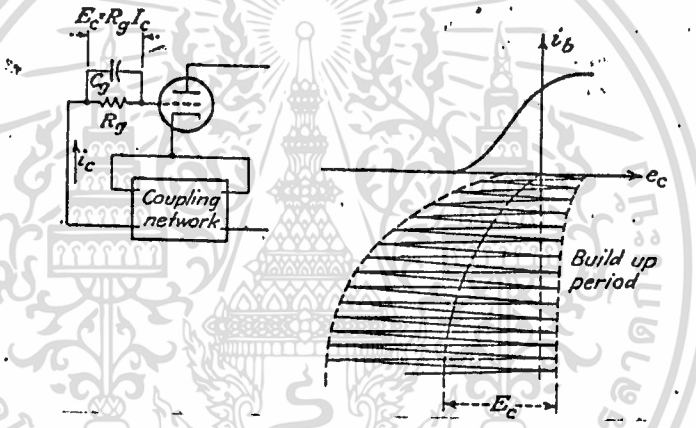
$$1/g_m Z + 1/\mu = -\beta$$

จากเงื่อนไขได้อัตราส่วนของการ Feedback ของวงจรกับอัตราขยายของวงจรขยาย

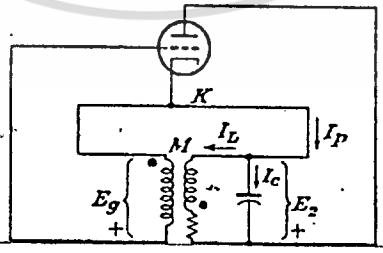
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.42 วงจรออสซิลเลเตอร์ไบอัสด้วยคัทออฟ

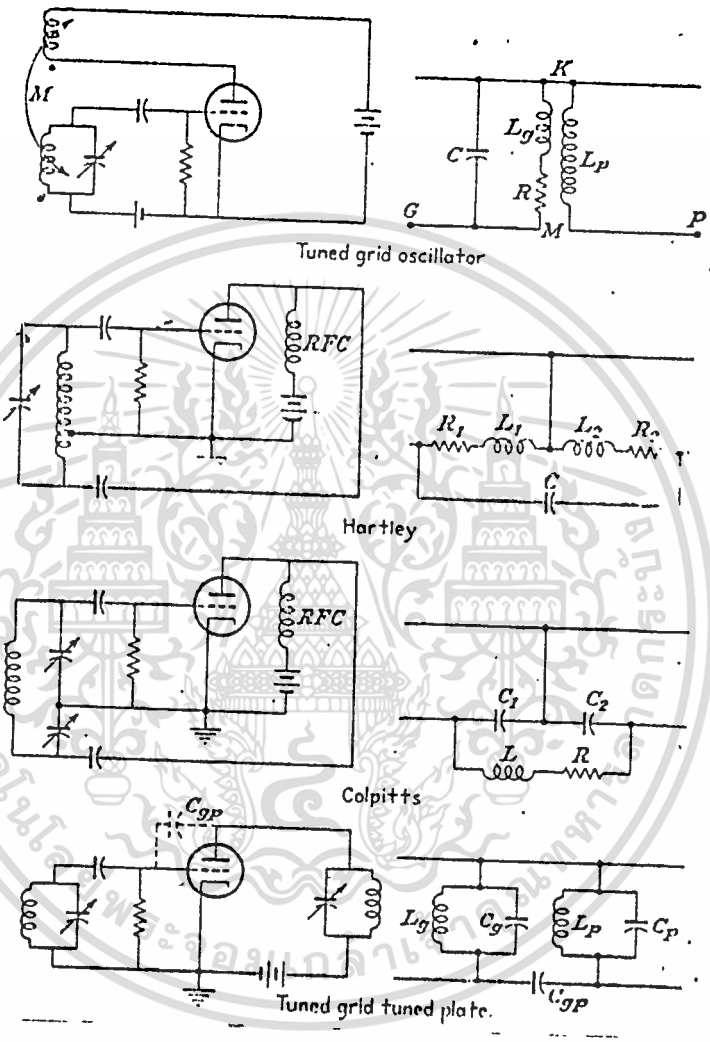


รูปที่ 1.43 การเริ่มต้นของการออสซิลเลท



รูปที่ 1.44 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่มีวงจรแทงค์ทางด้านเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.45 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ความสัมพันธ์เป็น $\beta K = 1$ ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าค่าของ loop gain มีค่าเท่ากับ 1 แต่ในการใช้งานจริงจะกำหนดให้ βK มากกว่า 1 เล็กน้อยเพื่อชดเชยในวงจร โดยทั่วไปกำหนดให้เป็น 5% เพื่อให้แน่ใจในการเกิดออสซิลเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์

2.1 ชนิดของฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์

ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์มีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิด P-N (Junction field effect transister) เรียกย่อ ๆ ว่า JFET

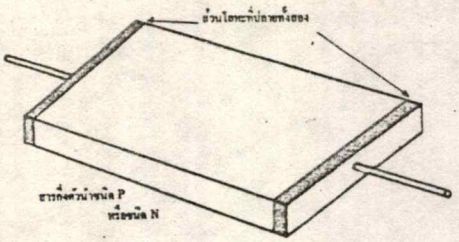
2. ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ประเภท metal oxide semiconductor เรียกว่า MOSFET ในบางครั้งอาจเรียกว่า ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์แบบนี้ว่าฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ที่มีฉนวนกั้น

2.2 ลักษณะโครงสร้างของฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ที่มีฉนวนหัวต่อ PN

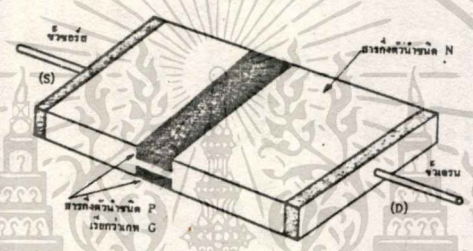
ส่วนโครงสร้างของฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ เริ่มจากการนำเอาแท่งของสารกึ่งตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.1 มาสร้างเป็นตัวฟิลด์เอฟเฟคทรานซิตเตอร์ แท่งสารกึ่งตัวนำนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนตัวต้านทานตัวหนึ่งโดยมีปลายข้างหนึ่งต่อเป็นขั้ว เรียกว่า ซอร์ส (sourse) ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งเรียกว่า เดรน (drain) และสิ่งหนึ่งที่จะทำให้เข้าใจในการทำงานของมันดีขึ้น จะต้องรู้ว่ากระแสที่ไหลผ่านแท่งสารนี้จะเป็นกระแสโฮล(ในกรณีที่เป็นสารชนิด P) หรือกระแสอิเลคตรอน(ในกรณีที่เป็นสารชนิด N) เท่านั้น

แท่งสารกึ่งตัวนำที่แสดงดังรูปที่ 2.1 จะนำกระแสได้เสมือนเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง การของกระแสจะขึ้นอยู่กับจำนวนของอิเลคตรอนอิสระ(ในกรณีที่เป็นสารชนิด N) หรือ โฮล(ในกรณีที่เป็นสารชนิด P) กระแสนี้จะลดน้อยลงถ้าให้ช่องว่างหรือช่องทางการไหลของกระแสลดลง

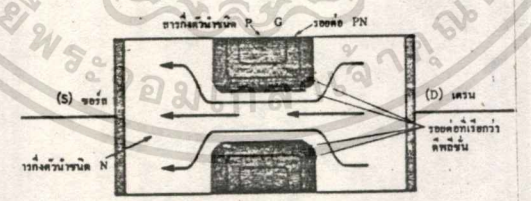
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แท่งสารกึ่งตัวนำชนิด N หรือ P

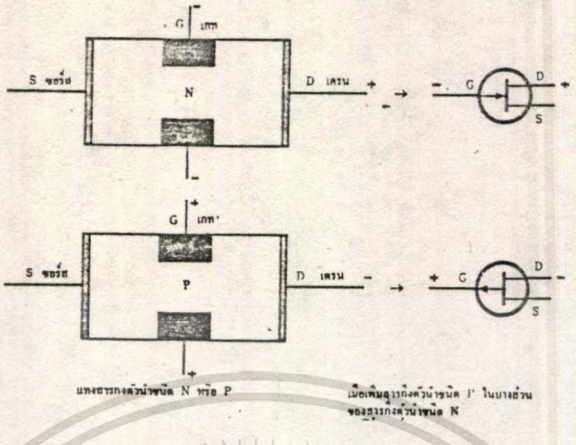


รูปที่ 2.2 เมื่อเพิ่มสารกึ่งตัวนำชนิด P ในบางส่วนของสารกึ่งตัวนำชนิด N

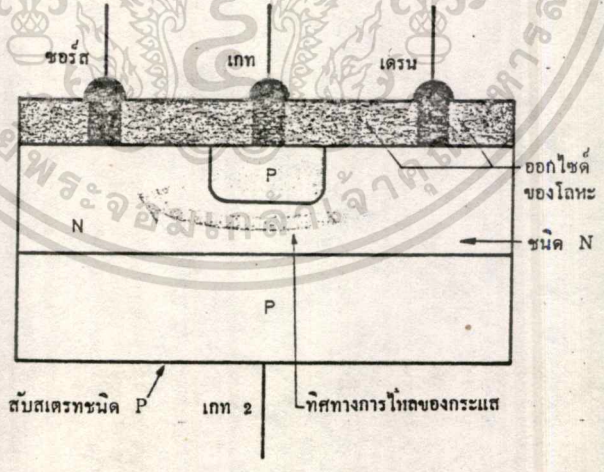


รูปที่ 2.3 รูปตัดด้านข้างให้เห็นรอยต่อ N และ P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ FET ชนิด N แชนแนล และ P แชนแนล



รูปที่ 2.5 การสร้าง FET ชนิดหัวต่อ PN บนแผ่นสับสเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพิ่มเกทให้กับแท่งสารกึ่งตัวนำซึ่งทำมาจากสารชนิด P ดังรูปที่ 2.3 จะทำให้เกิดเป็นช่องระหว่างรอยต่อ PN ดังนั้นกระแสจะต้องไหลผ่านช่องนี้และถ้าเราสามารถควบคุมให้ขนาดของช่องนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็จะทำให้ค่าของความต้านทานระหว่างปลายทั้งสองของสารแท่งตัวเกิดการเปลี่ยนแปลง การนำสารชนิด N และ P มาต่อให้เกิดเป็นบริเวณรอยต่อที่เรียกว่า ดีพลีชั่น และถ้าทำการไบอัสกลับระหว่างรอยต่อ PN นี้จะทำให้ช่วงรอยต่อดีพลีชั่นจะมีค่ามากขึ้น

เมื่อพิจารณาจากรูปตัดด้านข้างของสารกึ่งตัวนำ P ที่มีรอยต่อ PN เกิดขึ้นสองด้าน ดังรูปที่ 2.3 รอยต่อดีพลีชั่นจะทำให้ช่องทางการไหลของกระแสได้น้อยลง ถ้าให้รอยต่อนี้ถูกไบอัสมากขึ้นก็จะทำให้บริเวณดีพลีชั่นมากขึ้น เป็นผลทำให้ช่องทางกระแสแคบลง การที่เราจะทำการไบอัสกลับที่รอยต่อนี้ทำได้โดยการให้แรงดันระหว่างขั้วซอร์สกับเกทเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 2.4 (เกททั้งสองจะต่อถึงกัน) กระแสอิเลคตรอนซึ่งเดิมไหลจากซอร์สไปยังเดรนจะมีค่าลดลง (รูปที่ 2.4 ก) ตรงบริเวณช่องทางของกระแสจะแคบลงมากตรงส่วนทางด้านขั้วเดรนเนื่องจากระหว่างเดรนกับเกทจะถูกไบอัสกลับด้วยแรงดันที่มีค่ามากกว่าระหว่างเกทกับซอร์ส

สิ่งที่สำคัญมากและเห็นได้ชัดที่ทำให้ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์แตกต่างไปจากไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือ ที่บริเวณรอยต่อระหว่างเกทกับซอร์สจะได้รับการไบอัสกลับ ซึ่งผิดกับหลักการของทราสซิสเตอร์ที่รอยต่อระหว่างเบสกับอิมิทเตอร์จะได้รับการไบอัสตรง ดังนั้นความต้านทานระหว่างเกทกับซอร์สจึงมีค่าสูงมาก ซึ่งสูงกว่าความต้านทานระหว่างเบสกับอิมิทเตอร์หลายสิบเท่า โดยปกติเมื่อนำฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ไปใช้งานค่าความต้านระหว่างเกทและซอร์สซึ่งอยู่ในลักษณะไบอัสกลับมีค่าสูงเป็น เมกกะโอห์ม และจะเป็นค่าความต้านทานอินพุทของวงจรซึ่งเสมือนกับว่าไม่มีกระแสไหลเข้าทางเกทได้ ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่าฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์เป็นสารตัวนำที่ทำงานได้ด้วยการให้แรงดันควบคุมการไหลของกระแสโดยมีความสัมพันธ์กัน

ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์มีได้สองชนิดเช่นเดียวกับทรานซิเตอร์ โดยเราแบ่งออกเป็นชนิด N Chanell และชนิด P Chanell รูปร่างลักษณะตลอดจนการให้แรงดันไบอัสในขณะใช้งานและสัญญลักษณ์ของฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์แสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

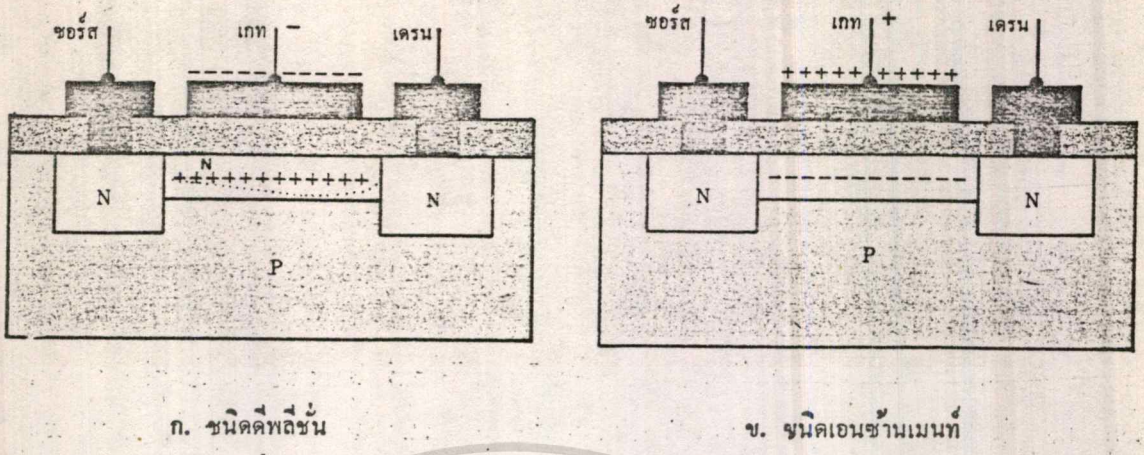
ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดหัวต่อ PN ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น

เรื่อย ๆ จนปัจจุบันนี้โครงสร้างที่ใช้ทำฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์นี้ทำได้โดยการนำแผ่นสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า ลับสเตรท (substrate) เป็นหลักแล้วทำการแพร่สารเจือปนเพื่อให้เกิดเป็นตัวของสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ดังรูปที่ 2.5

2.3 ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดที่เกทมีฉนวนกั้น (Insulated gate field effect transister)

ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ใช้โลหะออกไซด์มาเคลือบที่ผิวบนส่วนโดยได้เข้ามามีบทบาทแทนที่วงจรไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ในรูปของไอซี (Integrated circuit) ในบางครั้งเราจะได้ยินการเรียกทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ว่า มอสเฟท ซึ่งเป็นคำย่อมาจาก MOSFET -metal oxide semiconductor field effect transistor ลักษณะที่สำคัญที่ทำให้ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายคือ คุณสมบัติในเรื่องความต้านทานที่เกทสูงมากเสมือนกับหลอดสุญญากาศ โครงสร้างของฟิลด์เอฟเฟคทราสซิสเตอร์ชนิดนี้แสดงให้เห็นดังรูป 2.6 เห็นได้ว่า มอสเฟท แตกต่างไปจากเฟทชนิดหัวต่อ PN ตรงบริเวณขั้วเกทซึ่งมีฉนวนกั้นกลางโดยไม่ให้ขั้วเกทถูกกับสารกึ่งตัวนำ แต่การทำงานของมอสเฟทจะยังคงเหมือนกับฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์ชนิดหัวต่อคือใช้สนามไฟฟ้า ดังในรูป 2.6 ก เมื่อที่ขั้วเกทได้รับการไบอัสกลับมันจะเป็นผลทำให้รอยต่อที่เรียกว่าดีพลีชั่นที่ส่วนของเนื้อสาร N มีประจุบวกด้วยการเหนี่ยวนำทำให้รอยต่อของเนื้อสาร N ที่มีอยู่แล้วขนาดลดลงเป็นผลทำให้กระแสไหลผ่านช่องได้น้อยลง เมื่อให้แรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สมีค่าสูงขึ้น จำนวนพาหะอิเลคตรอนที่เคลื่อนที่จากซอร์สไปยังเดรนจะมีค่าสูงมากขึ้นตามด้วย สำหรับในกรณีของ Enhancement แตกต่างไปจากกรณีของดีพลีชั่นเพราะโครงสร้างตรงบริเวณระหว่างเดรนกับซอร์สจะเป็นชนิดของสารกึ่งตัวนำชนิดตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ข) การทำงานจะได้เมื่อขั้วเกทมีศักดาเป็นบวกเทียบกับลับสเตรท เมื่อเกทมีศักดาบวกมันจะเหนี่ยวนำให้เนื้อสาร P ตรงข้ามกับเกทมีประจุลบเป็นสะพานให้กระแสอิเลคตรอนไหลได้ ถ้าให้เกทมีค่าเป็นบวกจะเกิดช่องมาก ส่วนของฉนวนที่กั้นที่บริเวณเกทเป็นสารจำพวกออกไซด์ของซิลิกอน การทำงานของมอสเฟทแสดงในรูปที่ 2.7 โดยปกติส่วนของ

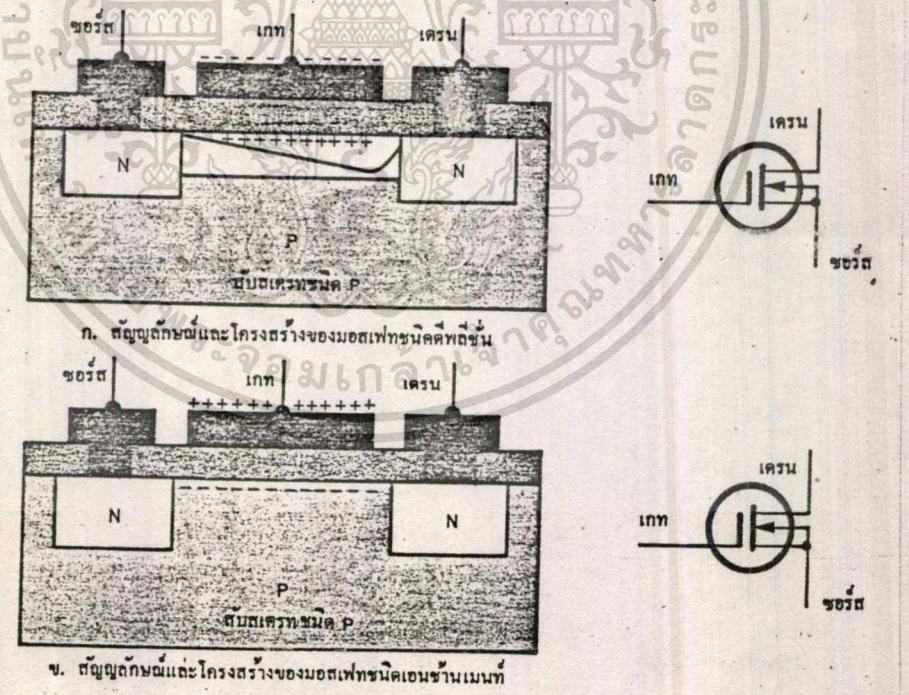
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ชนิดดีพลีชั่น

ข. ชนิดเอนช้านเมนท์

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ MOSFET



ก. สัญญลักษณ์และโครงสร้างของมอสเฟทชนิดดีพลีชั่น

ข. สัญญลักษณ์และโครงสร้างของมอสเฟทชนิดเอนช้านเมนท์

รูปที่ 2.7 แสดงสัญญลักษณ์และการทำงานของ MOSFET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สับสเตรทจะต่อถึงกับซอร์สหรือต่อลงกราวด์ ส่วนของประจะบวกที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.7 และจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดประจุลบซึ่งทำหน้าที่ให้เกิดช่องทางไหลของกระแสได้

2.4 การไบอัสวงจรขยายของ FET

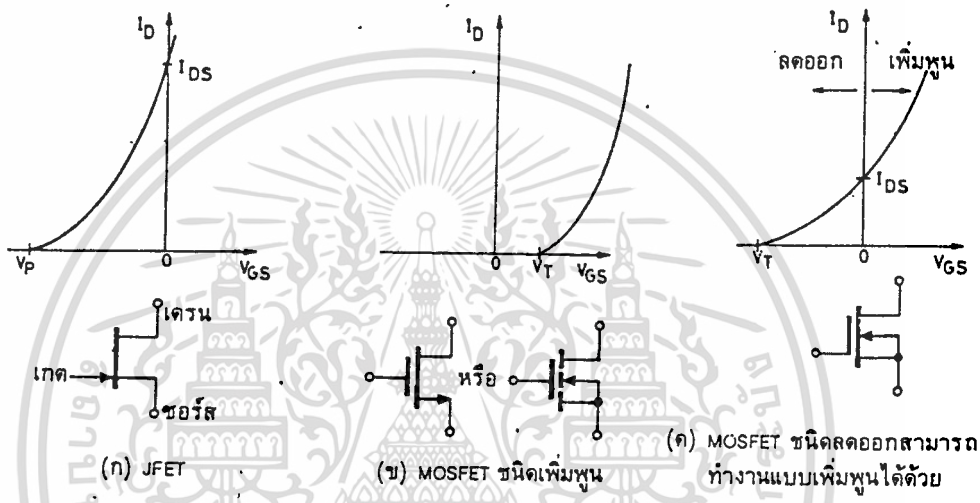
FET มีข้อแตกต่างกับทรานซิสเตอร์ BJT หลายประการ ที่สำคัญคือกระแสเกทค่าต่ำมากจนถือได้ว่าเป็นศูนย์ และลักษณะการโอนย้ายระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกท-ซอร์สมีรูปร่างเกือบเป็นพาราโบลา นั่นคือกระแสเดรนขึ้นอยู่กับแรงดันเกทยกกำลังสองโดยใกล้เคียง FET มีทั้งชนิดที่ช่องแคบเป็นสารชนิด n กับชนิดที่ช่องแคบเป็นสารชนิด p นอกจากนี้ FET ยังแบ่งออกเป็น JFET และ MOSFET ซึ่ง MOSFET นั้นยังแบ่งออกเป็นชนิดที่มีช่องแคบอยู่แล้วโดยกระบวนการผลิตหรือที่เรียกว่า Depletion type กับชนิดที่มีช่องแคบก็ต่อเมื่อมีอำนาจไฟฟ้าจากเกทมาเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นหรือที่เรียกว่า Enchancement type พารามิเตอร์ที่สำคัญของ FET คือ V_p หรือค่าของ Pinch-off voltage สำหรับ JFET และ V_T หรือ Threshold voltage สำหรับ MOSFET ซึ่งแรงดันทั้งสองนี้เป็นแรงดันเกทที่แบ่งการทำงานระหว่างการนำกระแสกับการหยุดนำกระแส ลักษณะการโอนย้ายตลอดจนสัญญลักษณ์ของ FET ชนิดที่เป็นช่องแคบเป็นสารชนิด n แสดงในรูปที่ 2.8 สำหรับกรณีที่ช่องแคบเป็นสารชนิด p ปริมาณต่าง ๆ จะมีเครื่องหมายกลับกัน ส่วนลูกศรของสัญญลักษณ์ก็ต้องเขียนกลับทิศทางกัน

การไบอัส JFET และ MOSFET ชนิด Depletion

JFET และ MOSFET ชนิดนี้มีลักษณะที่มีความคล้ายกัน กล่าวคือสำหรับช่องแคบชนิด n จุดเริ่มนำกระแส (V_p หรือ V_T) จะตรงกับค่าแรงดัน V_{GS} เป็นลบ เมื่อ V_{GS} เป็นศูนย์ กระแสเดรนจะมีค่าเท่ากับ I_{DS} ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของ FET ลักษณะการโอนย้ายสามารถเขียนเป็นสมการได้โดยใกล้เคียงกันดังนี้

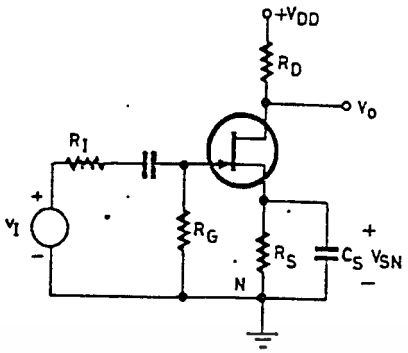
$$I_D = I_{DS}[1-V_{GS}/V_p]^2 \quad \text{หรือ} \quad I_D = I_{DS}[1-V_{GS}/V_T]^2 \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

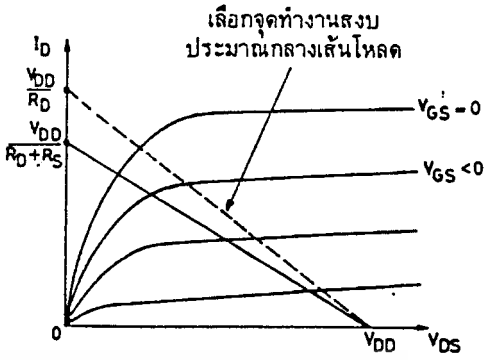


รูปที่ 2.8 สัญญลักษณ์และลักษณะโอนย้ายของ FET ชนิด N แชนแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

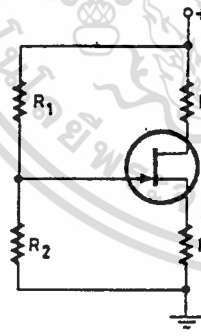


(ก) วงจรไบแอสซอร์ส

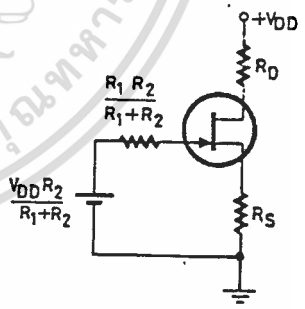


(ข) ลักษณะขาออกประกอบ
การเลือกจุดทำงานสงบ

รูปที่ 2.9



(ก) วงจรไบแอสซอร์สที่มีแรงดัน
ไฟตรงที่เกต



(ข) วงจรสมมูลของวงจร (ก)
โดยใช้ทฤษฎีบทของเทเวอนิน

รูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 2.9 ก) เป็นวงจรที่ใช้ได้สะดวก แรงดันไฟตรงของเกทมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องด้วยมีความต้านทาน R_g ต่อเกทลงดิน ดังนั้นแรงดัน V_{GS} ก็คือ $-V_{SM}$ หรือลบแรงดันคร่อมความต้านทาน R_s ที่ขาซอร์ส การเลือกค่า V_{GS} สำหรับจุดทำงานสงบนั้นอาจใช้ลักษณะขาออกในรูปที่ 2.9 ข) ประกอบการพิจารณา ความต้านทานเดรน R_D อาจจะถูกกำหนดโดยอัตราขยายสัญญาณที่ต้องการเป็นต้น จากค่าของ R_D เราสามารถเขียนเส้นโหลดในขั้นต้นได้โดยไม่คิดค่าของ R_s (เส้นประในรูปที่ 2.9 ข) จุดทำงานสมดุลควรจะอยู่ประมาณกลางเส้นโหลดเพื่อว่าเมื่อมีสัญญาณแล้ว จุดทำงานจะเลื่อนขึ้นลงบนเส้นโหลดโดยไม่เข้าสู่ย่านอิ่มตัว หรือ หยุดนำกระแส เมื่อรู้ค่าของ V_{GS} และ I_D ของจุดทำงานสมดุล จะคำนวณค่า R_s ได้จากสมการ

$$R_s = -V_{GS}/I_D \qquad (2.2)$$

โดยทั่วไป R_s จะมีค่าเล็กกว่า R_D จากค่าของ R_s ที่ได้จากสมการ (2.2) ก็ให้เขียนเส้นโหลดใหม่(ดูรูปที่2.9ข) และสังเกตว่าจุดทำงานสงบจากค่า V_{GS} และ I_D ที่เลือกไว้เดิมนั้นจะมีอยู่ประมาณกลางเส้นโหลดใหม่นี้หรือไม่ ถ้าจำเป็นต้องเลือกจุดทำงานสงบใหม่ก็ให้ใช้สมการ (2.2) อีกครั้ง ซึ่งจะให้ค่า R_s ค่าใหม่อีก การออกแบบโดยวิธีการทำซ้ำแบบนี้อาจจะต้องลองจุดทำงานใหม่เพียงครั้งเดียว ก็จะได้ค่า R_s ที่เหมาะสม

วงจรในรูปที่ 2.9 (ก) ใช้ JFET ที่มีช่องแคบชนิด n มีค่า $V_p = -2$ v และ $I_{DS} = 2$ mA กำหนดให้ $V_{DD} = 20$ v ออกแบบการไบอัสที่เหมาะสมควรเลือกจุดทำงานสมดุลประมาณกลางเส้นโหลด นั่นคือเลือกกระแส I_D ประมาณกึ่งหนึ่งของ I_{DS},V_{GS} ประมาณกึ่งหนึ่งของ V_{DD} เลือกค่าของ $I_D = 0.9$ mA จากสมการ (2.1) จะได้

$$0.9 = 2[1 + V_{GS}/2]^2$$

จะได้ $V_{GS} = -0.66$ V

ความต้านทานซอร์ส R_s คำนวณได้จากสมการ (2.2) จะได้

$$R_s = 0.66/0.9$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \quad 0.73 \quad \text{กิโลโอห์ม}$$

จากสมการ KVL ทางด้านเดรนจะได้

$$V_{DD} = I_D(R_D + R_S) + V_{DS}$$

ถ้าเลือก $V_{DS} = 10$ v จะได้

$$R_D = (V_{DD} - V_{DS})/I_D - R_S$$

$$= (20 - 10)/0.9 - 0.73$$

$$= 10.4 \quad \text{กิโลโอห์ม}$$

ในบางกรณีผู้ผลิตจะระบุการจัดค่าของ V_P และ I_{DS} ข้อกำหนดในการออกแบบก็คือ เมื่อ V_P และ I_{DS} เปลี่ยนแปลงค่าอยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตระบุ กระแส I_D จะต้องไม่เปลี่ยนเกินกว่าที่โจทย์กำหนด วงจรไบอัสซอร์สตามรูปที่เกทมีศักดาไฟฟ้าตรงเป็นศูนย์ อย่างเช่นในรูปที่ 2.9 ก) ก็จะให้เกทมีแรงดันไฟตรงค่าหนึ่ง โดยการใช้วงจรแบ่งแรงดัน(Voltage devider) ดังในรูปที่ 2.10 ก) ซึ่งมีวงจรสมมูลย์ดังในรูปที่ 2.10 ข)

วงจรในรูปที่ 2.10 ก) ใช้ทรานซิสเตอร์ซึ่งผู้ผลิตระบุค่าต่ำสุดและสูงสุดของ V_P และ I_{DS} ไว้ดังนี้ $V_{Pmin} = -2$ v, $V_{Pmax} = -5$ v, $I_{DS\ min} = 1.6$ mA และ $I_{DS\ max} = 7.05$ mA กำหนดให้ $V_{DD} = 20$ v ออกแบบวงจรเพื่อให้กระแส I_D แปรอยู่ไม่เกิน $I_{D\ min} = 0.8$ mA และ $I_{D\ max} = 1.2$ mA

ในกรณีต่ำสุด $V_{P\ min} = -2$ v , $I_{DS\ min} = 1.6$ mA และ $I_{D\ min} = 0.8$ mA จากสมการ (2.1) จะได้

$$0.8 = 1.6\,[1 + V_{GS}/2]^2$$

หรือ $V_{GS} = 0.59$ v

ในกรณีสูงสุด $V_{P\ max} = -5$ v , $I_{DS\ max} = 7.05$ mA และ $I_{D\ max} = 1.2$ mA จากสมการ (2.1) จะได้

$$1.2 = 7.05\,[1 + V_{GS}/5]^2$$

หรือ $V_{GS} = -2.94$ v

สมการ KVL ทางขาเข้าเขียนได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 2.10 ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[V_{DD}R_2]/[R_1+R_2] = V_{GS} + I_D R_S$$

แทนค่า I_D = 0.8 mA , V_{GS} = -0.59 v และ I_D = 1.2 mA , V_{GS} = -2.94 v ลงในสมการ KVL นี้ จะได้

$$[V_{DD}R_2]/[R_1+R_2] = -0.59 + 0.8R_S$$

และ $$[V_{DD}R_2]/[R_1+R_2] = -2.94 + 1.2R_S$$

จะได้ $$R_S = [2.94 - 0.59]/0.4$$

$$= 5.88 \text{ กิโลโอห์ม}$$

และ $$[V_{DD}R_2]/[R_1+R_2] = -0.59 + 0.8*5.88 = 4.11 \text{ v}$$

เลือก R_2 = 1 เมกกะโอห์ม (ค่าใหญ่เพื่อจะได้ไม่ลดทอนสัญญาณ) จะได้

$$[20*1]/[R_1 + 1] = 4.11$$

$$R_1 = 3.87 \text{ เมกกะโอห์ม}$$

การไบอัส MOSFET แบบ ENHANCEMENT

วงจรในรูปที่ 2.9 ก) ไม่สามารถใช้กับ MOSFET แบบชนิด ENHANCEMENT ได้เพราะ FET ชนิดนี้ต้องการแรงดันของ V_{GS} เป็นบวกสำหรับช่องแคบชนิด n และ V_{GS} เป็นลบสำหรับช่องแคบชนิด p (คล้ายกับว่าเกทกับช่องแคบจะเป็นเหมือนรอยต่อที่ต้องการไบอัสตรง) การไบอัสวงจร FET ชนิดนี้อาจทำได้โดยแบ่งแรงดัน V_{DD} มาที่เกท (ดูรูปที่ 2.11 ก) หรือจะแบ่งแรงดันเดรนมาที่เกทก็ได้ (ดูรูปที่ 2.11 ข) ในกรณีหลังนี้จะมีการป้อนกลับซึ่งทำให้จุดทำงานมีเสถียรภาพ วงจรในรูปที่ 2.10 ก) ก็อาจจะใช้ได้ แต่ต้องออกแบบให้แรงดันไฟตรงที่เกทมีค่าสูงมากกว่าแรงดันที่ซอร์ส

2.5 วงจรขยายที่ใช้ FET

วงจรขยายซอร์สร่วม(Common Sourse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายซอร์สร่วมมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม อาจต่างกันอยู่

ข้างตรงที่มีความต้านทานขาเข้าสูง รูปที่ 2.12 แสดงวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของ FET ซึ่งวงจรทานด้านเดรนอาจแทนได้ด้วย Thevinin หรือ แบบ Norton (ดูรูปที่ 2.12 ก) และรูปที่ 2.12 ข)ตามลำดับ

รูปที่ 2.12 ค) แสดงวงจรขยายซอร์สร่วม ซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังในรูปที่ 2.12 ง) จากรูปนี้จะสามารถคำนวณค่าต่างๆ ของวงจรขยายได้โดยง่ายคือ

ความต้านทานขาเข้า $R_i = v_i/i_i = R_g : R_1//R_2$ (2.3)

ความต้านทานขาออก $R_o' = v_o/i_o = R_L//r_d$ (2.4)

อัตราขยายแรงดัน $A_v = v_o/v_i = -g_m[R_L//r_d]$ (2.5)

อัตราขยายแรงดัน $A_{vs} = v_o/v_s = v_o v_i/v_i v_s$ (2.6)

$= -g_m[R_L//r_d]*[R_g/R_s+R_g]$

โดยทั่วไป $R_s << R_g$ ดังนั้น

$A_{vs} = A_v = -g_m[R_L//r_d]$ (2.7)

ในรูปที่ 2.13 ก) แสดงวงจรซอร์สร่วมซึ่งมีความต้านทาน R_z ต่ออยู่ระหว่างซอร์สกับกราวด์ ความต้านทาน R_z นี้อาจใส่ไว้เพื่อให้มีการไบอัสที่มีเสถียรภาพดีขึ้นด้วย วงจรขยายนี้อาจเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.13 ข) การใช้แหล่ง Thevinin แทน FET จะช่วยทำให้การสะดวกขึ้น ทั้งนี้โดยสังเกตว่า

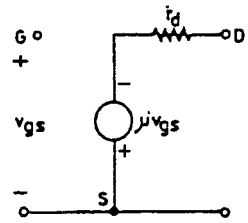
$V_{gs} = v_i - v_z$

ดังนั้นแหล่งแรงดันควบคุม $-\mu v_{gs}$ ก็แทนได้ด้วยแหล่งแรงดัน $-\mu v_i + \mu v_z$ แต่แหล่งแรงดัน μv_z คือองค์ประกอบวงจรที่ให้แรงดันตกคร่อมเป็น μ เท่าของแรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_z ดังนั้น μv_z ก็คือ ความต้านทาน μR_z นั่นเอง สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ใหม่ดังรูปที่ 2.13 ค) จากวงจรสมมูลนี้จะสามารถคำนวนค่าต่าง ๆ ของวงจรขยายได้โดยง่ายคือ

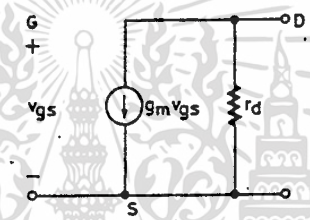
ความต้านทานขาเข้า $R_i = R_g$ (2.8)

ความต้านทานขาออก $R_o' = [r_d + (1+\mu)R_z]//R_L$ (2.9)

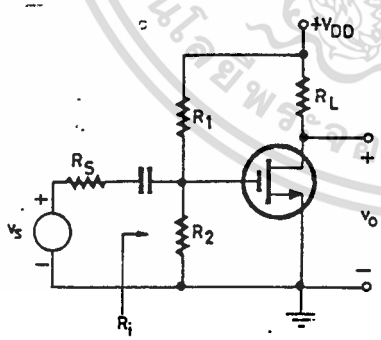
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



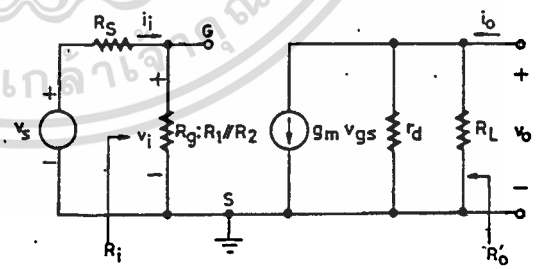
(ก)



(ข)



(ค) วงจรขยายซอร์สร่วม



(ง) วงจรสมมูลของวงจร (ค)

รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของ FET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายแรงดัน $A_{vs} = A_v = v_o/v_i$

$= -iR_L/v_i$

$= -\mu R_L/[r_d + R_L + (1+\mu)R_s$ (2.10

สังเกตได้ว่าถ้า R_s เท่ากับศูนย์จากสมการ(2.10)อัตราขยายแรงดัน $A_{vs} = -\mu R_L/(r_d+R_L$

$= -(\mu/r_d)(R_L//r_d) = -g_m(R_L//r_d)$ ซึ่งก็ตรงกับสมการ (2.17) นั่นเอง

วงจรขยายซอร์สตาม(Sourse Follower)

วงจรนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า วงจรขยายเดรนร่วม (Common drain) อัตราขยายแรงดันของวงจรนี้มีค่าประมาณหนึ่ง แต่เล็กกว่าหนึ่งเล็กน้อย นั่นคือแรงดันขาออกที่ซอร์สแปรตามแรงดันขาเข้าโดยมีค่าเกือบจะเท่ากันโดยตลอด วงจรขยายซอร์สตามแสดงอยู่ในรูปที่ 2.14 ก) ซึ่งเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังในรูปที่ 2.14 ข) และรูปที่ 2.14 ค) สังเกตได้ว่าแทนที่จะเขียนแหล่งแรงดัน μv_{gs} เราใช้แหล่งแรงดัน μv_i อนุกรมกับความต้านทาน μR_s แทน โดยใช้เหตุผลเดียวกันกับในข้อก่อน(ดูวงจรรูปที่ 2.13 ค) จากวงจรในรูปที่ 2.14 ข) และรูป 2.14 ค) จะสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

ความต้านทานขาเข้า $R_i = R_{gs}$ (2.11)

ความต้านทานขาออก $R_o = v_o/i_o$ โดยที่ค่าของ $v_s = 0$

จากรูปที่ 2.14 ค) เมื่อ $v_i = 0$ จะคำนวณกระแส i_o ได้เท่ากับ $v_o(1+\mu)/r_d$ ดังนั้น

$R_o = r_d/[1+\mu] = 1/g_m$ (2.12)

อัตราขยายแรงดัน $A_{vs} = A_v = v_o/v_i$

$= iR_s/v_i$

$= \mu R_s/[r_d+(1+\mu)R_s]$ (2.13)

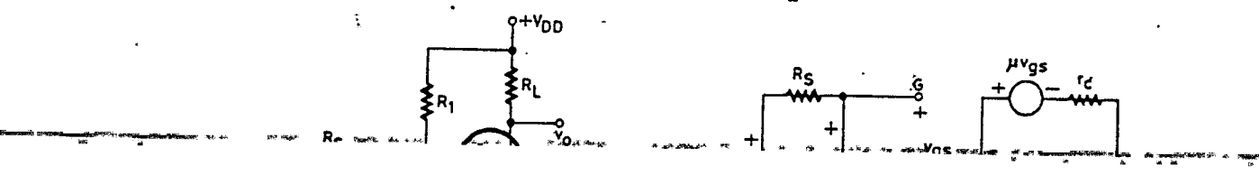
ถ้าให้ $r_d << (1+\mu)R_s$ จะได้

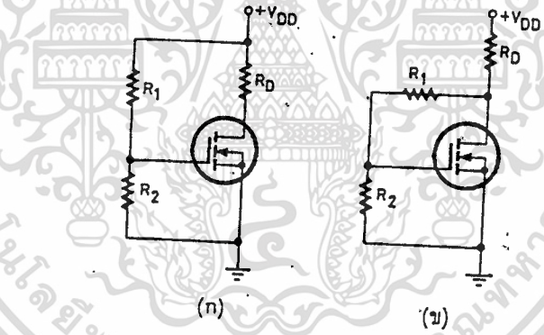
$A_{vs} = \mu/(1+\mu) = 1$ (2.14)

จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปอัตราขยายแรงดันมีค่าใกล้เคียงกับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายซอร์สร่วมมีความต้านทานซอร์ส R_Z

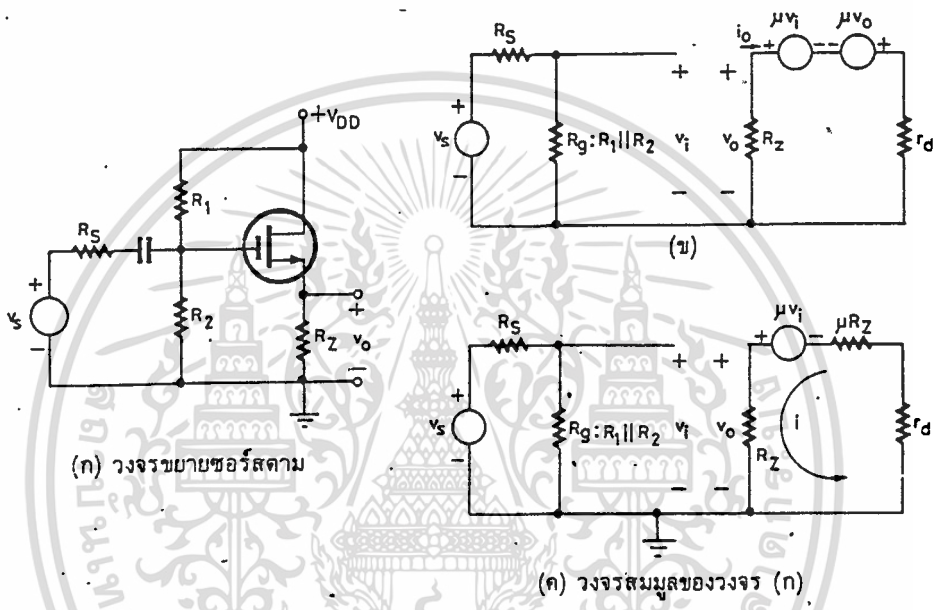




รูปที่ 2.11 วงจรไบแอส MOSFET ชนิดเพิ่มพูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายซอร์สตาม



รูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎีทั่วไปของ FET LC OSCILLATOR

รูปที่ 2.15 เป็นการวิเคราะห์ FET LC OSCILLATOR โดยไม่คิดองค์ประกอบไฟกระแสตรง Z_1, Z_2 , Z_3 เป็นค่ารีแอกแตนส์ หัวข้อในการพิจารณามีดังต่อไปนี้

1. พิจารณาว่า Z_1, Z_2, Z_3 เป็นค่ารีแอกแตนส์ชนิดใดโดยอาจเป็น Inductance หรือ Capacitance

2. หาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้งหมดกับความถี่ที่ออสซิลเลท (f_0)

3. หาค่าพารามิเตอร์ของ FET ที่ทำให้เกิดการออสซิลเลทในรูปที่ 2.15 Z_1ต่ออยู่ระหว่างเกทและซอร์สมีศักดาตกคร่อม v_{gs} ซึ่งแสดงได้ตามรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นวงจรสมมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตามเงื่อนไขของการออสซิลเลท v_{gs} เป็นอินพุทของวงจรขยายซึ่งทำให้เกิดกระแสเดรน $g_{fs}v_{gs}$ ตามรูปที่ 2.16 ก่อให้เกิดศักดาตกคร่อม Z_1 ซึ่งต้องป้อนกลับเป็นอินพุทคือ V_{gs} ดังนั้น Loop Gain จะมีค่าเป็น 1 จึงเกิดการออสซิลเลท ในกระบวนการวิเคราะห์นี้เป็นการหาค่าศักดาตกคร่อม Z_1 เป็นฟังก์ชั่นของ $g_{fs}v_{gs}$ และค่าขององค์ประกอบอื่น ๆ

$$I = \frac{-1/(Z_1 + Z_3)}{1/(Z_1 + Z_3) + 1/Z_2 + 1/r_{ds}} g_{fs}v_{gs}$$

จากเงื่อนไขของการออสซิลเลท

$$IZ_1 = v_{gs}$$

ดังนั้น

$$I = \frac{-g_{fs}Z_1}{1 + (Z_1 + Z_3)/Z_2 + (Z_1 + Z_3)/r_{ds}} \qquad (2.15)$$

Z เป็นค่ารีแอกแตนส์

$$(Z_1 + Z_3)/Z_2 + 1 = 0$$

และ

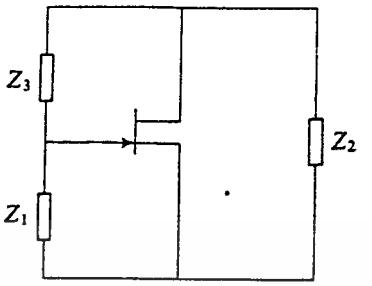
$$Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0 \qquad (2.16)$$

เทอมค่าจริง ในสมการเท่ากับศูนย์

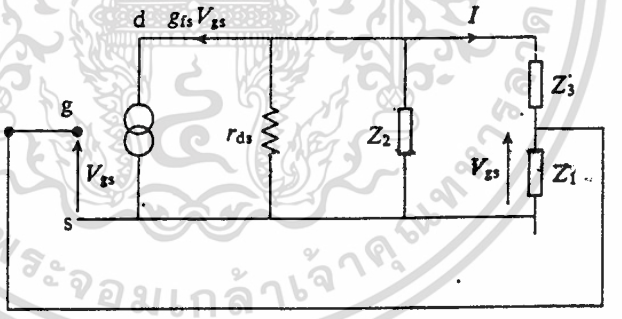
$$-g_{fs}Z_1 = (Z_1 + Z_3)/r_{ds}$$

จากสมการ (2.16) ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 รูปพื้นฐานของ FET LC Oscillator ที่ไม่มีส่วนไบแอส



รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของ FET LC Oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_{fs}r_{ds}Z_1 = Z_2 \qquad (2.17)$$

เนื่องจาก $g_{fs}r_{ds}$ มีค่าเป็นบวก Z_1 และ Z_2 เป็นค่ารีแอกแตนส์ประเภทเดียวกัน แทนค่า Z_2 ในสมการ (2.16)

$$Z_1 + g_{fs}r_{ds}Z_1 = -Z_3$$

$$Z_3 = -(1 + g_{fs}r_{ds})Z_1$$

เพราะว่า Z_3 เป็นค่ารีแอกแตนส์คนละประเภทกับ Z_1 และ Z_2 สำหรับออสซิลเลเตอร์ Colpitts Z_1 และ Z_2 เป็นค่าของคาปาซิตีฟ โดยที่ค่าของ Z_3 เป็นอินดักตีฟ

$$Z_1 = 1/jwC_1 \; ; \; Z_2 = 1/jwC_2 \; ; \; Z_3 = jwL_3$$

แทนลงในสมการ (2.16)

$$1/jwC_1 + 1/jwC_2 + jwL_3 = 0$$

ดังนั้น $w^2 = (C_1+C_2)/L_3C_1C_2$

$$f_o = 1/2\pi\sqrt{L_3C_2C_1/(C_1+C_2)} \qquad (2.18)$$

ค่าพารามิเตอร์ของ FET ที่ทำให้เกิดการออสซิลเลเตอร์หาได้จาก

$$g_{fs}r_{ds}/jwC_1 = 1/jwC_2$$

ดังนั้น $$g_{fs}r_{ds} = C_1/C_2 \qquad (2.19)$$

เมื่อให้ค่าของ C_1 และ C_2 จากสมการ(2.19)นี้จะได้ค่า $g_{fs}r_{ds}$ ที่น้อยที่สุดที่ก่อให้เกิดการออสซิลเลท โดยทั่วไปค่าที่ใช้ในการทำงานจริงจะมีค่าสูงกว่าค่าออกแบบไว้ซึ่งจะทำให้การออสซิลเลทเกิดขึ้นได้มากจนถึงขีดจำกัดของ FET

อย่างไรก็ตามวงจร LC Tank จะทำหน้าที่เป็นฟิลเตอร์ที่จะเลือกแต่ความถี่ Fundamental และฮาร์โมนิกส์อื่นจะถูกกำจัดออกไป ดังนั้นเอาท์พุทของออสซิลเลเตอร์จะเป็นรูป Sine โดยสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

จากการศึกษาวงจรออสซิลเลเตอร์แบบต่าง ๆ จึงได้สร้างวงจรมอสเฟทออสซิลเลเตอร์แบบ COLPITTS ขึ้น เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวงจร LC TANK CIRCUIT ดังรูปที่ 3.1

จากรูป 3.1 เป็นวงจรทดลองกำหนดค่า Quality Factor (Q) ของวงจร TANK คงที่ประมาณ 13 - 15 ความถี่ของการเรโซแนนส์ 270 กิโลเฮิรทส์ ทดลองปรับลดค่า L โดยกำหนดให้ความถี่ของการเรโซแนนส์คงเดิม และรักษาค่า Q คงเดิม เพื่อดูผลตอบสนองของวงจรโดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ภายนอกวงจร TANK มีค่าคงเดิม

วัดค่าศักดาและกระแสที่จุดต่าง ๆ ได้ผลตามตารางที่ 3.1

การทดลองครั้งที่ 1 ให้ค่าโวลท์เตจ Supply จาก 3 เฟสเรคติฟายเออร์ มีค่า 30 โวลท์ อัตราส่วนของ wL/R_L เท่ากับ 13.1 โดย L มีค่า 13.9 μH , R_L มีค่า 1.67 โอห์ม และ C มีค่า 24 nF ได้ความถี่เรโซแนนส์จากการคำนวณ

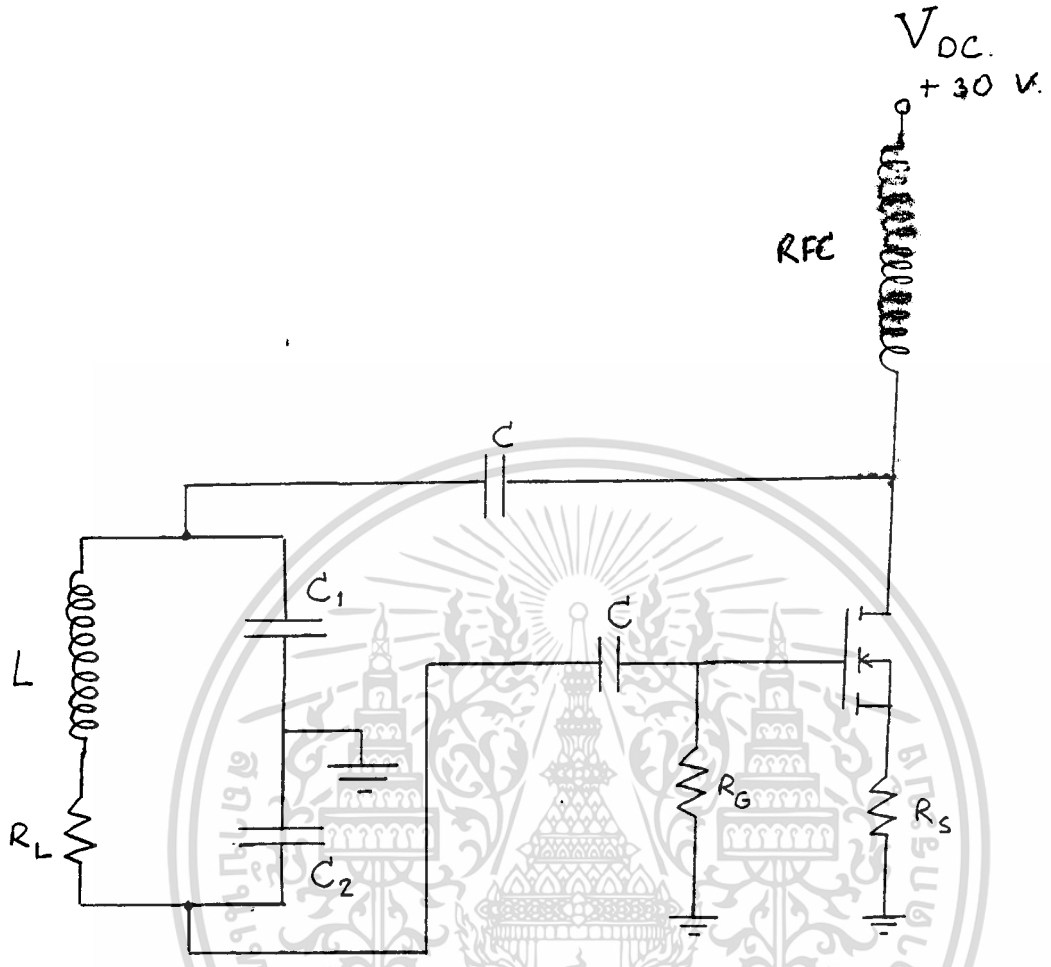
$$f_o = 1/2\pi\sqrt{LC} = 275\ kH_z$$

จากผลการทดลองที่ได้ ค่าความถี่เรโซแนนส์ประมาณ 270 kH_z ค่ากระแสอินพุท DC(I_{DC} เท่ากับ 0.25 A ค่ากระแสวงจร Tank (I_T) มีค่าเท่ากับ 1.27 A และค่ากำลังเอาท์พุทที่ปรากฏบน R_L เท่ากับ 2.68 Watt

การทดลองครั้งที่ 2 ค่าโวลท์เตจ Supply มีค่าเท่ากับการทดลองครั้งที่ 1 เปลี่ยนค่า C มีค่าเท่ากับ 16 nF ค่าอัตราส่วนของ wL/R มีค่าเท่ากับ 15.7 โดยค่าของ L มีค่าเท่ากับ 23 μH และค่า R_L มีค่า 2.5 โอห์ม คำนวณได้ค่าความถี่ของการเรโซแนนส์เท่ากับ 262 kH_z จากผลการทดลองได้ค่าความถี่เรโซแนนส์ประมาณ 270 kH_z ค่ากระแสอินพุท DC (I_{DC}) เท่ากับ 0.16 A ค่ากระแสในวงจร Tank (I_T) เท่ากับ 0.91 A และค่ากำลังเอาท์พุทที่ปรากฏบน R_L เท่ากับ 2.07 Watt

การทดลองครั้งที่ 3 ที่ค่าโวลท์เตจ Supply เดียวกันกับครั้งที่ 1และ 2 โดยการเปลี่ยนค่า C ให้น้อยลงเป็น 8 nF ค่าอัตราส่วนของ wL/R_L มีค่าเท่ากับ 14 โดย L มีค่าเท่ากับ 46 μH และ R_L มีค่าเท่ากับ 5 โอห์ม ได้ค่าความถี่เรโซแนนส์จากการคำนวณ 262 kH_z จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



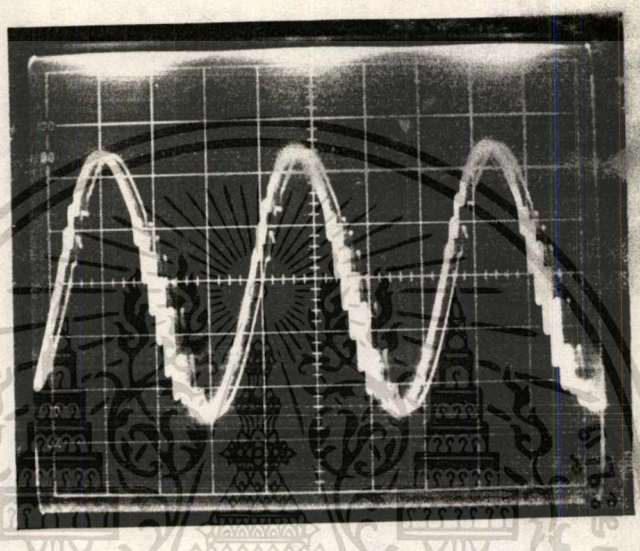
รูปที่ 3.1 วงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลอง

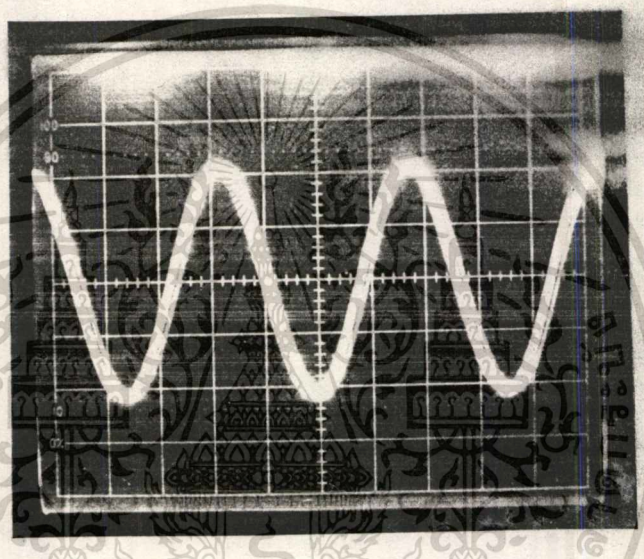
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3
R,L,C (OHM,μH,nF)	1.67,13.9,24	2.5,23,16	5,46,8
I_{DC} (A.)	0.25	0.16	0.13
I_T (A.)	1.27	0.91	0.56
P_R (W.)	2.68	2.07	1.50
V_T (V.)	42	44	56
V_{C1} (V.)	30	33	40
V_{C2} (V.)	14	16	19
V_D (V.)	60	63	72
Q	13.1	15.7	14.0
P_{in} (W.)	7.5	4.8	3.9
eff.(%)	35.7	43.1	38.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



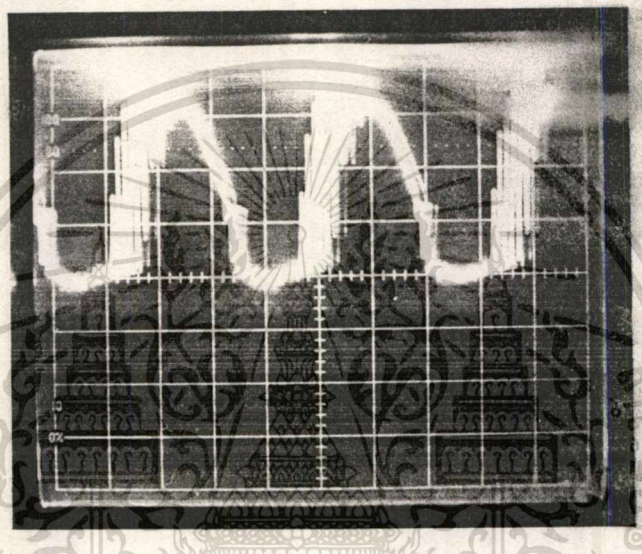
รูปที่ 3.2 รูปคลื่น V_T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



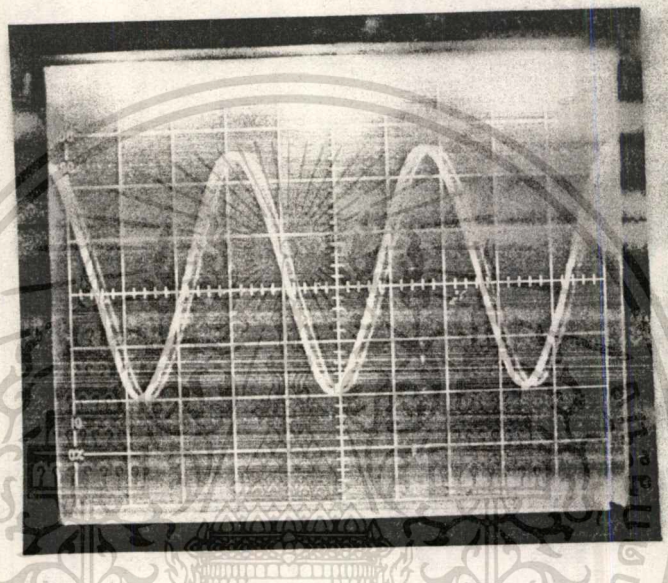
รูปที่ 3.3 รูปคลื่น I_T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



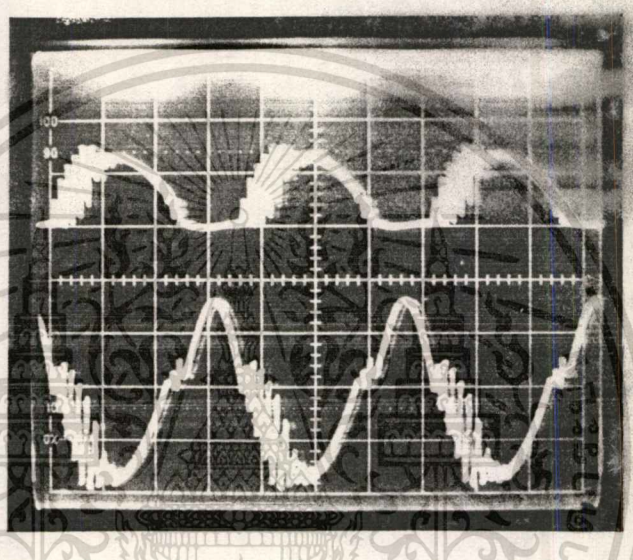
รูปที่ 3.4 รูปคลื่น V_{DS}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



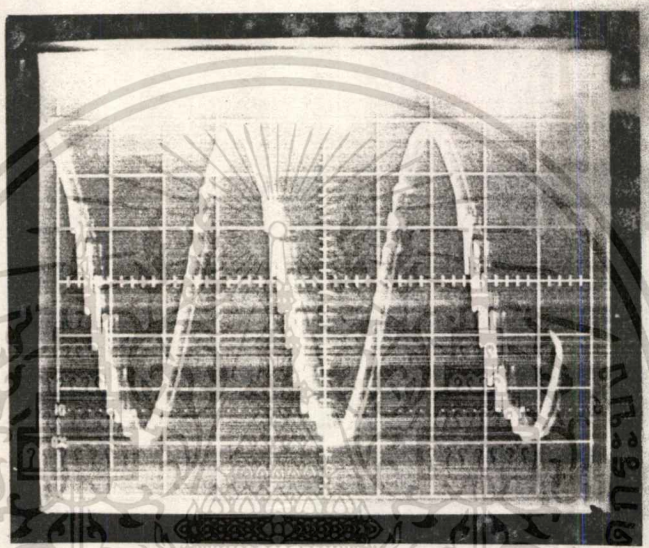
รูปที่ 3.5 รูปคลื่น V_{c_1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปคลื่น V_{GS} และ V_{DS}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปคลื่น V_{c2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองได้ความถี่เรโซแนนส์ 270 kH_z ค่ากระแสอินพุท (I_{DC}) เท่ากับ 0.13 A ค่ากระแสในวงจร Tank (I_T) เท่ากับ 0.56 A และค่ากำลังเอาท์พุทที่ปรากฏบน R_L เท่ากับ 1.5 Watt

วิเคราะห์ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับค่า C ให้น้อยลง โดยค่าพารามิเตอร์อื่นคงที่ ค่ากระแสที่ไหลภายใน Tank ลดลงเนื่องจากค่ารีแอกแตนส์ของ C มีค่ามากขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง ซึ่งจะมีผลทำให้กระแสไหลวนภายใน Loop LC Tank มีค่าน้อยลงตามไปด้วย ตามกฎ Kirchoff's Voltage Law (KVL) และค่า Power ที่ปรากฏบน R_L ก็จะมีค่าลดลงด้วย

ดังนั้นถ้าต้องการให้มีกระแสไหลผ่านในวงจร LC Tank มากที่ค่าความถี่เรโซแนนส์ค่าหนึ่งก็จะต้องกำหนดให้ค่า C มีค่ามากขึ้น และลดค่า L ลดลง แต่ขอบเขตของการปรับค่าของ L และ C จะต้องคำนึงถึงค่า Q ของวงจรด้วยเนื่องจาก $Q = wL/R_L$ ดังนั้นการทำให้ค่า L ลดลงจะต้องลดค่า R_L ให้เป็นสัดส่วนเดียวกันด้วย ซึ่งจะมีผลเกี่ยวเนื่องกับการ Tranfer Power ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการปฏิบัติงานตลอดระยะเวลาการศึกษา และขอขอบพระคุณเพื่อนทุก ๆ คนที่ให้คำแนะนำและกำลังใจในการปฏิบัติงานด้วยดีตลอด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Ed Oxner,"Designing with Field-effect Transistor,"Second Edition,Siliconix inc.
2. Irving M.Gottieb P.E.,"Basic Oscilltor," D.E. Taraporevale Son & Co. Private Ltd.
3. Sanavel Seely ," Electron Tube Circuits," McGraw-Hill.
4. ยืน ภู่วรวรรณ,"ทฤษฎีและการใช้งานอิเลคทรอนิคส์ เล่ม 1,2 ,"บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้