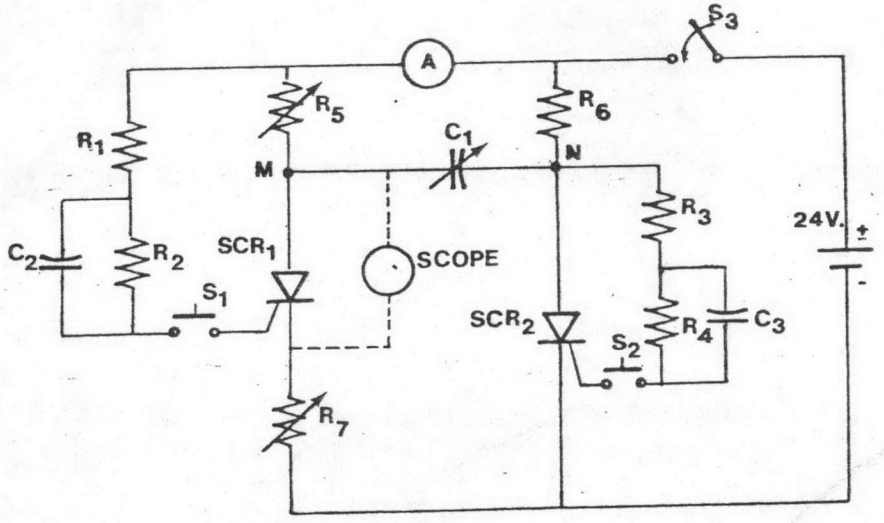
บทที่ 3

การทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1 ว่า ระยะเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ มีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่าง ๆ แต่จากคุณสมบัติทางเทคนิคของเอสซีอาร์ตัวอย่างตาม Data Book ค่าเวลาหยุดนำกระแสที่ระบุ ไม่ได้กล่าวถึงเงื่อนไขของปัจจัยเหล่านี้เลย จึงเป็นค่าที่มีความหมายไม่ชัดเจนพอ ดังนั้น จึงต้องมีการทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ตัวอย่าง ภายใต้เงื่อนไขที่ทำให้เวลาการหยุดนำกระแสเปลี่ยนต่างกัน เพื่อประโยชน์ในการออกแบบและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรอินเวอร์เทอร์

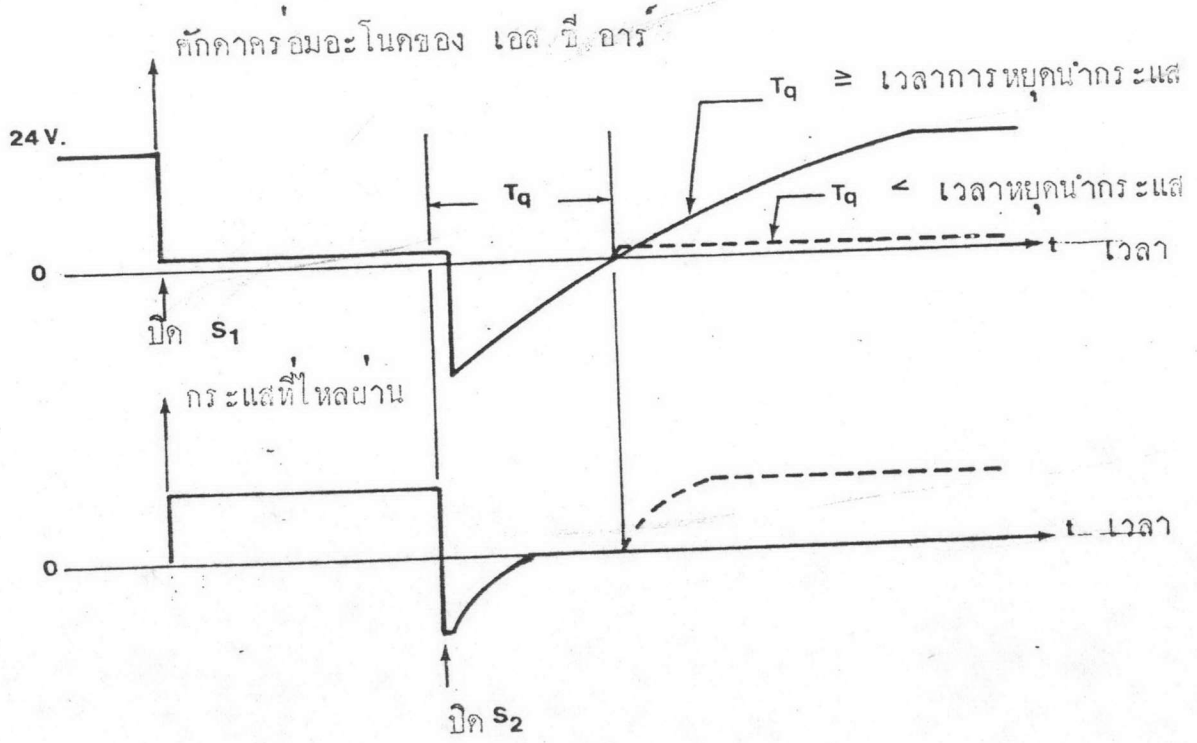
3.1 วงจรสำหรับทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

วงจรสำหรับทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ซึ่ง SCR_1 คือ เอสซีอาร์ที่ต้องการทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแส SCR_2 คือ เอสซีอาร์ที่ทำหน้าที่ดึงกระแสที่ไหลผ่านอะโนดของ SCR_1 ให้ไหลย้อนทางในขณะที่ต้องการให้ SCR_1 หยุดนำกระแส สวิทช์ S_3 เป็นสวิทช์สำหรับเปิดหรือปิดวงจร ความต้านทาน R_1, R_2 ตัวเก็บประจุ C_2 และสวิทช์ S_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรจุดชนวนสำหรับ SCR_1 คือ เมื่อเรากดสวิทช์ S_1 แล้วปล่อย กระแสจะไหลผ่าน R_1, C_2 สวิทช์ S_1 แล้วจุดชนวน SCR_1 ให้นำกระแส หลังจากนี้ C_2 จะเก็บประจุทำให้ศักดาคร่อม C_2 เพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่าน C_2 ก็จะลดลงและเปลี่ยนทิศทางไหลเป็นผ่าน R_2 แทน R_2 จะทำหน้าที่จำกัดขนาดของกระแสไหลเข้าเกทของ SCR_1 ในขณะนำกระแสอยู่ เพื่อให้ SCR_1 สามารถหยุดนำกระแสได้เมื่อถูกไบอัสย้อนทาง และอีกประการหนึ่ง เมื่อสวิทช์ S_1 เปิด R_2 จะทำหน้าที่ถ่ายประจุใน C_2 ทำให้ศักดาคร่อม C_2 เป็นศูนย์ เพื่อวงจรสามารถจุดชนวนใหม่ได้ ในทำนองเดียวกัน R_3, R_4, C_3และสวิทช์ S_2 เป็นวงจรจุดชนวนสำหรับ SCR_2 R_5 เป็นความต้านทานที่ปรับค่าได้ ทำหน้าที่ปรับกระแสที่ไหล

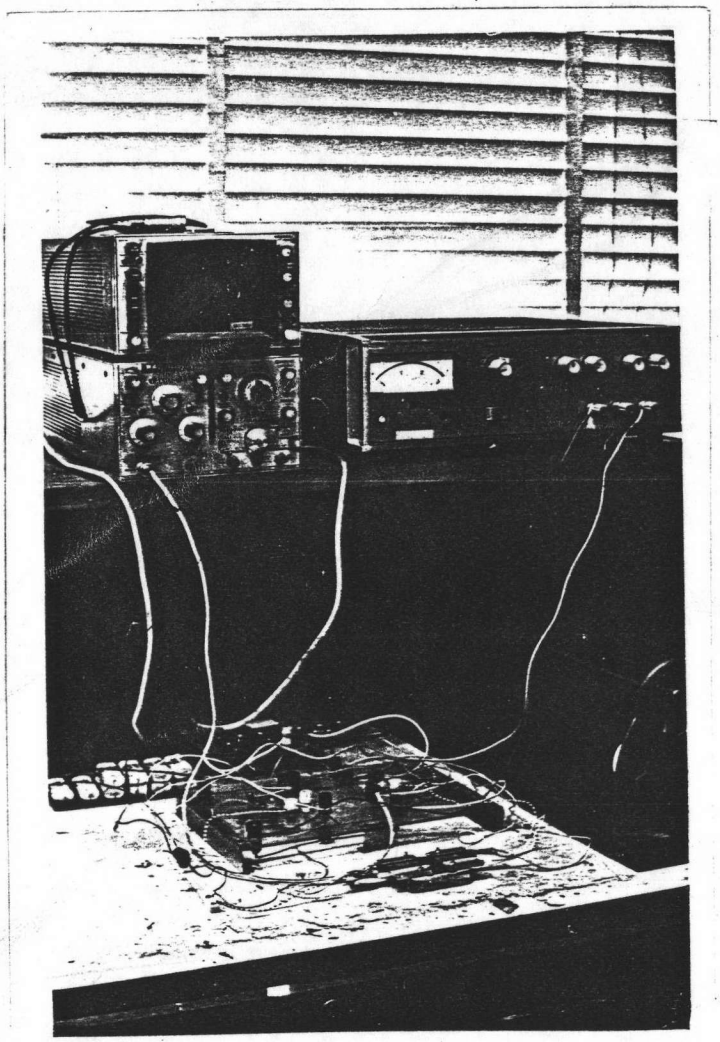


R_1, R_2 : 100 Ω, 1W.
R_3, R_4 : 1 MΩ, 1W.
R_5 : 0 - 25 Ω, 5 A.
R_6 : 1000 Ω, 2 W.
R_7 : 1 - 10Ω, 5 A.
C_1 : 0.1 - 100 μF, 150V.
C_2, C_3 : 0.5 μF, 200V.

รูป 3.1(ก)วงจรสำหรับทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของ เอส ซี อาร์



รูป 3.1(ข) รูปคลื่นของศักดาคร่อม เอส ซี อาร์ และกระแสที่ไหลผ่าน เอส ซี อาร์ ซึ่งได้จากการทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแส



รูป 3.2 แสดงถึงการต่อวงจรและเครื่องมือในการทดสอบหาเวลาหยุดนำกระแส
ของ เอส ซี อาร์

ผ่านอะโนดของ SCR_1 เพื่อสามารถทดสอบที่กระแสค่าต่าง ๆ ได้ตามต้องการ R_6 เป็นความต้านทาน ทำหน้าที่จำกัดขนาดของกระแสที่ไหลผ่าน SCR_2 ในช่วง Steady State R_7 เป็นความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ ทำหน้าที่จำกัดขนาดของกระแสย้อนทาง (Peak reverse current) ของ SCR_1 C_1 เป็นตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนค่าได้ ทำหน้าที่สร้างศักดาสำหรับไบอัสย้อนทาง SCR_1 ในขณะที่ SCR_2 ถูกจุดชนวนให้นำกระแส ระยะเวลาที่ SCR_1 ถูกไบอัสย้อนทางขึ้นอยู่กับผลคูณของ R_5C_1

การทำงานของวงจรเริ่มต้นด้วยเปิดสวิทช์ S_3 แล้วกดสวิทช์ S_1 แล้วปล่อย เพื่อจุดชนวนให้ SCR_1 นำกระแส กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายกระแสตรง ผ่าน R_5, SCR_1 และ R_7 ขนาดของกระแสขึ้นอยู่กับความต้านทาน R_5+R_7 R_7 มีไว้สำหรับจำกัดขนาดของกระแสย้อนทางของ SCR_1 เมื่อ SCR_2 นำกระแส ซึ่งจะตั้งค่าคงที่ไว้ค่าหนึ่ง สำหรับการทดลองแต่ละครั้ง ดังนั้น กระแสผ่าน SCR_1 สามารถปรับด้วย R_5 (สำหรับวงจรนี้สามารถออกแบบให้ปรับกระแสที่ไหลผ่าน SCR_1 ตั้งแต่ 0.5 ถึง 70 แอมป์ ขึ้นอยู่กับขนาดวัตต์ของ R_5) ในขณะเดียวกันกระแสบางส่วนจะไหลจาก R_6 ผ่านตัวเก็บประจุ C_1 ทำให้ MN เป็นลบ เมื่อต้องการให้ SCR_1 หยุดนำกระแส สามารถทำได้โดยกดสวิทช์ S_2 SCR_2 จะนำกระแส ศักดาไฟฟ้าที่จุด M จะลดลงเกือบเท่ากับศูนย์ แต่ศักดาที่จุด M ยังเป็นลบเมื่อเทียบกับ N SCR_1 จะถูกไบอัสย้อนทาง กระแสที่ไหลผ่านอะโนด SCR_1 จะไหลย้อนกลับทันที ส่วนศักดาคร่อม SCR_1 จะยังไม่เป็นลบ ดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1 แต่หลังจากที่กระแสไหลผ่านอะโนดของเอสซีอาร์ย้อนทางชั่วขณะ ศักดาคร่อม SCR_1 จะเป็นลบตามศักดาจากภายนอก กระแสที่ไหลผ่าน SCR_2 (ในตอนช่วงแรกที่นำกระแส) มาได้ 3 ทางคือ ทางแรกไหลผ่าน R_6 เข้าสู่ SCR_2 ทางที่ 2 เป็นกระแสย้อนกลับไหลผ่าน R_7, SCR_1, C_1 เข้าสู่ SCR_2 ซึ่งเป็นกระแสในช่วงเวลาสั้น ๆ ส่วนทางที่ 3 เป็นกระแสที่ไหลจาก R_5 ผ่าน C_1 เข้าสู่ SCR_2 กระแสที่ไหลจากสองทางหลังทำให้ C_1 เก็บประจุในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางเดิม ทำให้ศักดาที่ M เพิ่มขึ้นด้วยค่าคงที่ของเวลาประมาณ R_5C_1 นั่นคือ ศักดาคร่อม SCR_1 จะเพิ่มจากลบต่ำสุด จนเป็นบวกด้วยค่าคงที่ของเวลาประมาณ R_5C_1 ถ้าระยะเวลาที่ SCR_1 ถูกไบอัสย้อนทางมากพอ SCR_1 ก็

สามารถหยุดนำกระแสได้ รูปคลื่นศักดาที่วัดคร่อมอะโนดกับคาโทดของ SCR_1 และกระแสที่ไหลผ่าน SCR_1 จะเป็นดังรูป 3.1ข

เมื่อ SCR_1 สามารถหยุดนำกระแส แสดงว่า เวลาที่ SCR_1 ถูกไบอัสย้อนทางมากกว่าหรือเท่ากับเวลาหยุดนำกระแสของ SCR_1 ในการทดสอบ จะเลือกค่า C_1 ไว้มากพอแล้วลดค่า C_1 ทีละน้อย เพื่อให้เวลาที่ SCR_1 ถูกไบอัสย้อนทางลดลง จนกระทั่ง SCR_1 เริ่มไม่สามารถหยุดนำกระแส (ดังเส้นประในรูป 3.1ข) แสดงว่าระยะเวลาที่เอสซีอาร์ถูกไบอัสย้อนทางมีค่าเกือบเท่ากับเวลาหยุดนำกระแสของมัน จึงถือว่าเวลาที่ได้เป็นเวลาการหยุดนำกระแสของ SCR_1 (t_q ในรูป 3.1ข)

3.2 <u>ทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์</u>

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

1. Storage Oscilloscope (HewlettPackard ประกอบด้วย Oscilloscope Model 181 A, Dual Channel Vertical Amplifier Model 1806 A, Time Base and Delay Generator Model 1821 A)
2. Power supply (Philips Model PE 1520, O-75 V, 6 A)
3. Ohm-meter (Universal AVO Meter Model & Mu III)

ส่วนเอสซีอาร์ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ เบอร์ EC 107A1 มีคุณสมบัติทั่วไปตาม Data book ดังนี้

ทนกระแสไฟฟ้าได้	4	A. (R.M.S)
ทนศักดาไฟฟ้าได้	100	V.
กระแสที่ใช้ในการจุดชนวน	500	μA.
ศักดาที่ใช้ในการจุดชนวน	0.8	V.
เวลาการหยุดนำกระแส	45	μsec
ศักดาสูงสุดขณะที่เอสซีอาร์นำกระแส	1.8	V.

กระแสตาม Forward Current (Amp.)	กระแสต่ำสุดตอนช่วงลบ Peak reverse - Current (Amp.)	อัตราเปลี่ยนของศักดา dv/dt (Volt/μsec)	ระยะเวลาหยุดนำกระแส Turn off Time (μsec.)
1	14	1.12	18
1	10	1.0	20
1	6	0.55	25
1	3.2	0.13	110
2	14	0.90	22
2	10	0.55	30
2	6	0.18	65
2	3	0.14	300
3	14	0.75	25
3	8	0.28	60
3	6	0.09	210

ตารางที่ 1 แสดงถึงเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ตัวอย่างที่กระแสตาม กระแสต่ำสุดตอนช่วงลบ หรือ อัตราเปลี่ยนแปลงของศักดาตอนช่วงลบต่างกัน

เหตุที่เลือกใช้เอสซีอาร์เบอร์นี้ เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด และราคาถูกในสมัยเริ่มโครงการวิจัย ส่วนขีดจำกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Power Supply) ที่หามาได้ จ่ายกระแสได้สูงสุด 5 A. ที่ศักดาไฟฟ้าไม่เกิน 20 V.

ทำการทดสอบด้วยวงจรดังรูป 3.1ก และขั้นตอนดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.1 หาเวลาหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ตัวอย่าง 8 ตัว ศักดาของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 24 V. อุณหภูมิของห้องทดสอบ 27 ° C ที่กระแสตาม (Forward Current) = 1 A. , 2 A. & 3 A. และความต้านทาน R_7 = 1 Ohm 2 Ohms 3 Ohms , 5 Ohms ปรับค่า C_1 ให้ได้ค่าต่ำสุด แต่เอสซีอาร์ยังสามารถหยุดนำกระแส แล้วเลือกเวลาหยุดนำกระแสสูงสุดในเงื่อนไขการทดสอบเดียวกันของเอสซีอาร์ จากเอสซีอาร์ 8 ตัว จะได้เวลาหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ตัวอย่างที่จะนำไปสร้างวงจรอินเวอร์ทเทอร์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ส่วนภาพถ่ายของวงจรและรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบ แสดงไว้ในรูป 3.2 และ 3.4

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์กับความถี่ของวงจรอินเวอร์ทเทอร์

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3 ว่าในวงจรอินเวอร์ทเทอร์แบบป้อนกระแส ซึ่งมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมและต่อขนานกับโหลด ระยะเวลาที่เอสซีอาร์ในวงจรถูกไบอัสย้อนทางเท่ากับระยะเวลาที่รูปคลื่นกระแสผ่านวงจรขาออก นำหน้ารูปคลื่นศักดาคร่อมวงจรขาออก แต่ระยะเวลาที่เอสซีอาร์ถูกไบอัสย้อนทางต่ำสุดที่วงจรอินเวอร์ทเทอร์สามารถทำงานได้คือ เวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ในวงจร ดังนั้น ระยะเวลาที่รูปคลื่นกระแสนำหน้ารูปคลื่นศักดาที่กล่าวถึงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ เวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์เช่นกัน (ดูรูป 2.4)

ให้ θ° = มุมที่กระแสนำหน้าศักดาของวงจรออก (Leading angle) (หน่วย องศา)

t_q = เวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ที่มีค่าสูงสุดในจำนวนเอสซีอาร์ทั้งสี่ตัว (หน่วย วินาที)

T_{min} = คาบเวลาต่ำสุดของรูปคลื่นสัญญาณออกเมื่อวงจรสามารถทำงานได้ที่ Leading angle = θ° (หน่วย วินาที)

f_{max} = ความถี่สูงสุดที่วงจรอินเวอร์ทเทอร์ทำงานได้ในขณะ Leading angle = θ° (หน่วย รอบต่อวินาที)

$$T_{min} = \frac{360 \times t_q}{\theta}$$

$$f_{max} = \frac{1}{T_{min}}$$

$$f = \frac{\theta}{360 \times t_q} \quad \text{.....(3.1)}$$

จะเห็นว่าความถี่สูงสุดของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ ขึ้นอยู่กับ Leading angle ที่ต้องการ และเวลาการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

ที่ Leading angle ต่ำ Power factor จะสูง กำลังงานที่ได้จากวงจรก็สูงด้วย แต่ความถี่ที่วงจรสามารถทำงานได้จะต่ำ ดังเช่น จากการทดสอบที่กระแสตาม 3A จะได้ เวลาการหยุดนำกระแสต่ำสุดที่วัดได้ของเอสซีอาร์ = 25 μsec. ถ้าต้องการให้ **Leading angle** สูงสุด คือ 90° ซึ่งอินเวอร์ทเทอร์ไม่ให้กำลังงานออกมาเลย จากสมการ 3.1 จะได้

ความถี่สูงสุดของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ $= \frac{90}{360 \times 25 \times 10^{-6}}$

$= 10,000$ รอบ/วินาที

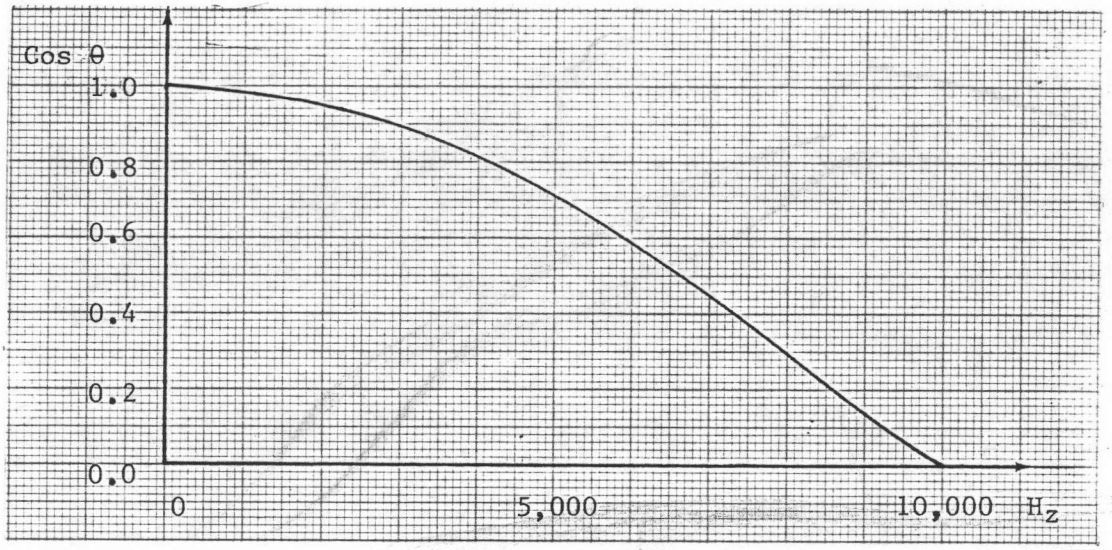
แต่ถ้า **Leading angle** 30° หรือที่ **Power factor** ประมาณ = .87 ได้

ความถี่สูงสุดของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ $= \frac{30}{360 \times 25 \times 10^{-6}}$

$= 3,333$ รอบ/วินาที

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังตัวอย่างการคำนวณนี้ สามารถหาความสัมพันธ์ของ **Power factor** กับความถี่สูงสุดของวงจรขณะกระแสไหลผ่านเอส ซี อาร์ ได้ดังรูป 3.3



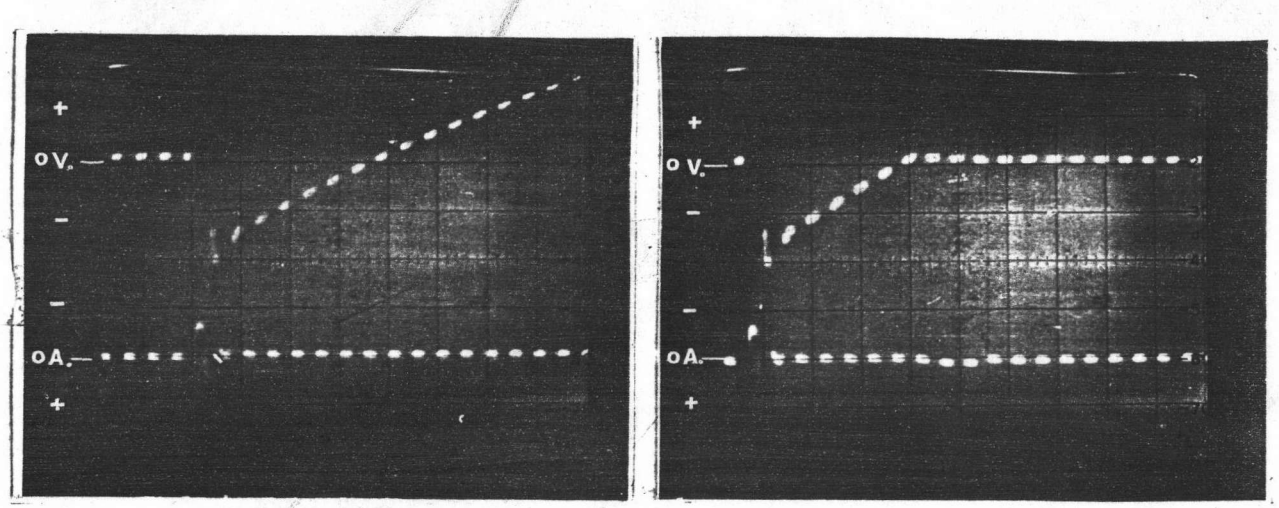
รูป 3.3 แสดงค่า **Power factor** ที่ความถี่สูงสุดซึ่งวงจรสามารถทำงานได้

จากรูป 3.3 จะเห็นได้ว่าการนำเอส ซี อาร์ ตัวอย่างมาสร้างเป็นวงจรอินเวอร์ทเทอร์ โดยกระแสผ่านเอสซีอาร์ 3A ไม่ควรมีความถี่เกิน 8,000 Hz ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ **Power factor** ต่ำกว่า 30 %

รูป 3.4 แสดงรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของ เอสซีอาร์ โดยที่ให้กระแสตาม ขณะ เอสซีอาร์นำกระแสและความต้านทาน R_7 ซึ่งใช้จำกัดขนาดของกระแสต่ำสุดคอนช่วงลบต่างกัน

รูปคลื่นบน เป็นรูปคลื่นศักดาคร่อมอะโนดของ เอสซีอาร์

รูปคลื่นล่าง เป็นส่วนกลับของศักดาคร่อม R_7

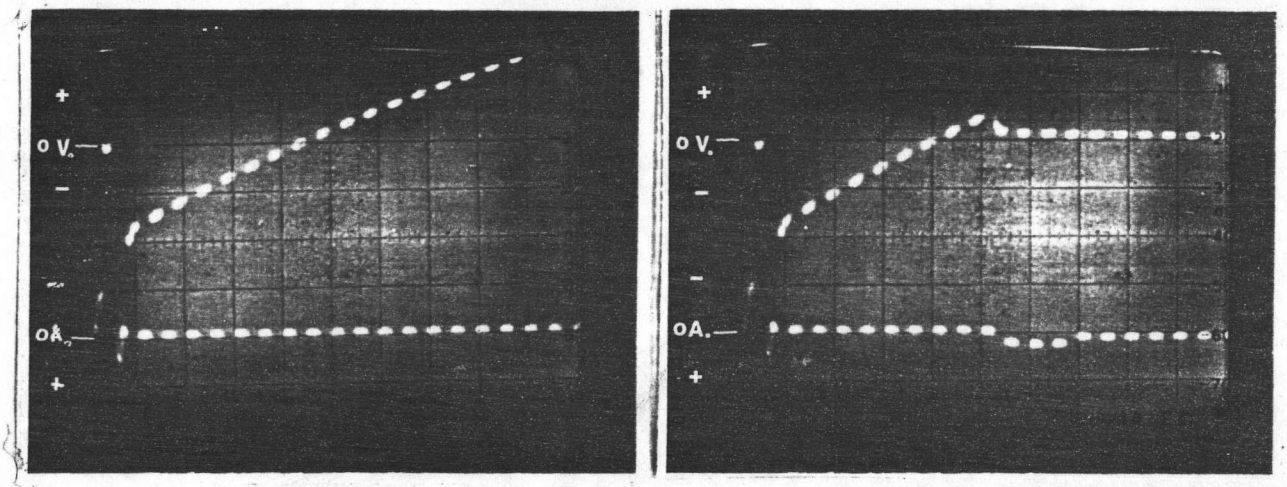


(ก) (ข)

รูป 3.4.01 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่าน เอสซีอาร์ = 1 A. และความต้านทาน R_7 = 1 Ohm.

หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V. แกนนอน 1 ช่อง = 5 μSec

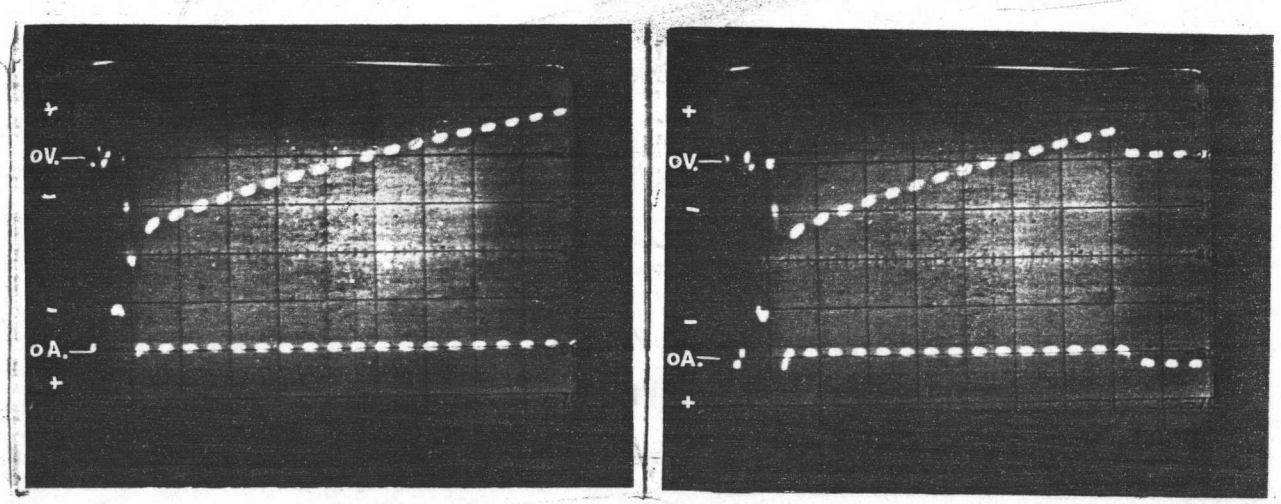
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.



(ก) (ข)

รูป 3.4.02 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 1 A. และความต้านทาน R_7 = 2 Ohm.

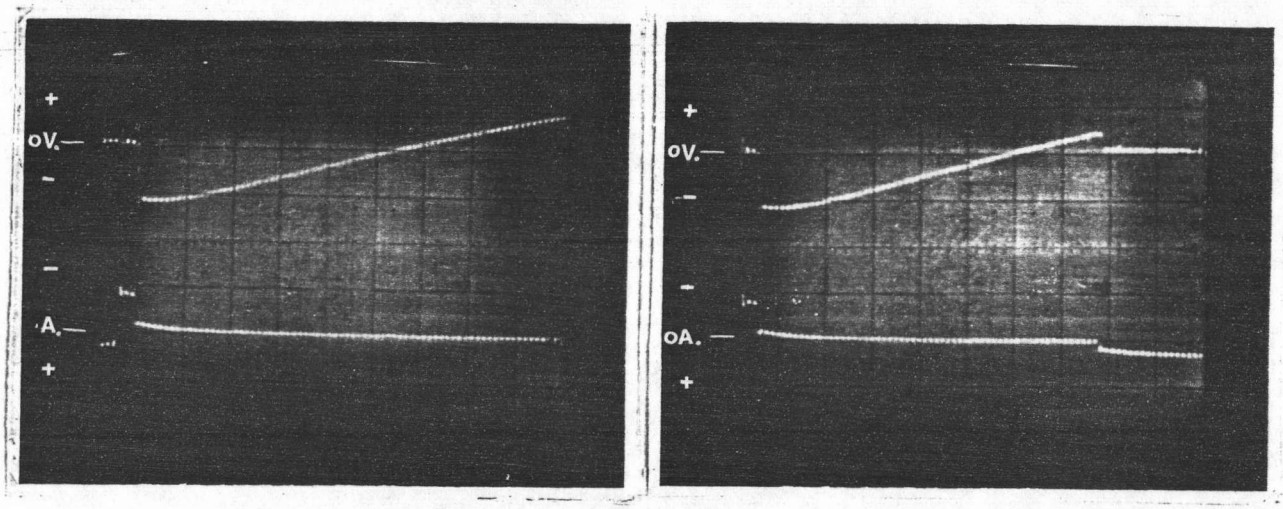
หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V.
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.
แกนนอน 1 ช่อง = 5 μSec



(ก) (ข)

รูป 3.4.03 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 1A. และความต้านทาน R_7 = 3 Ohm.

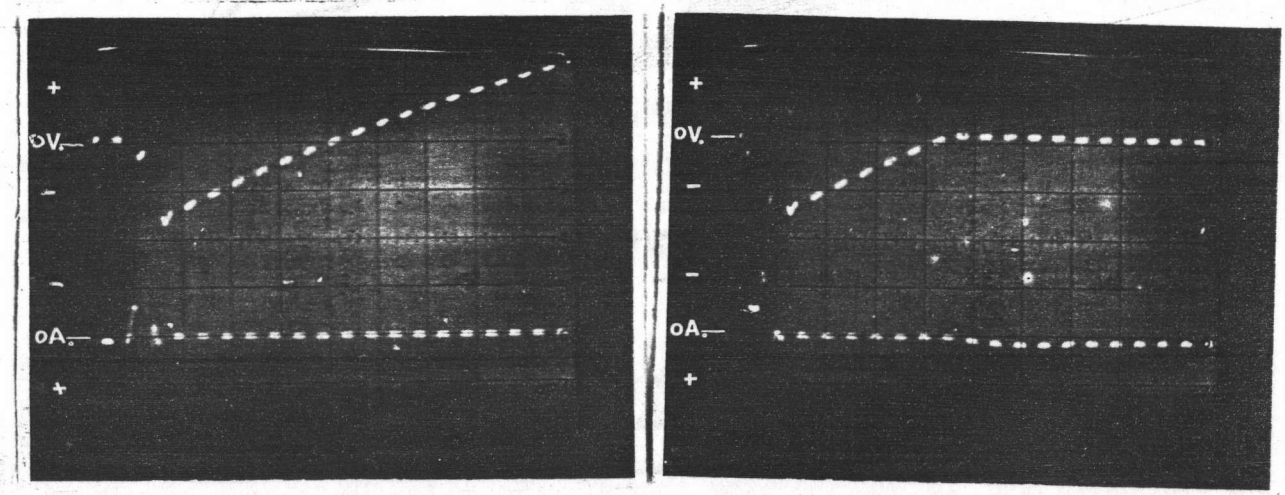
หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V.
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.
แกนนอน 1 ช่อง = 5 μSec



(ก) (ข)

รูป 3.4.04 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 1 A. และความต้านทาน R_7 = 5 Ohm.

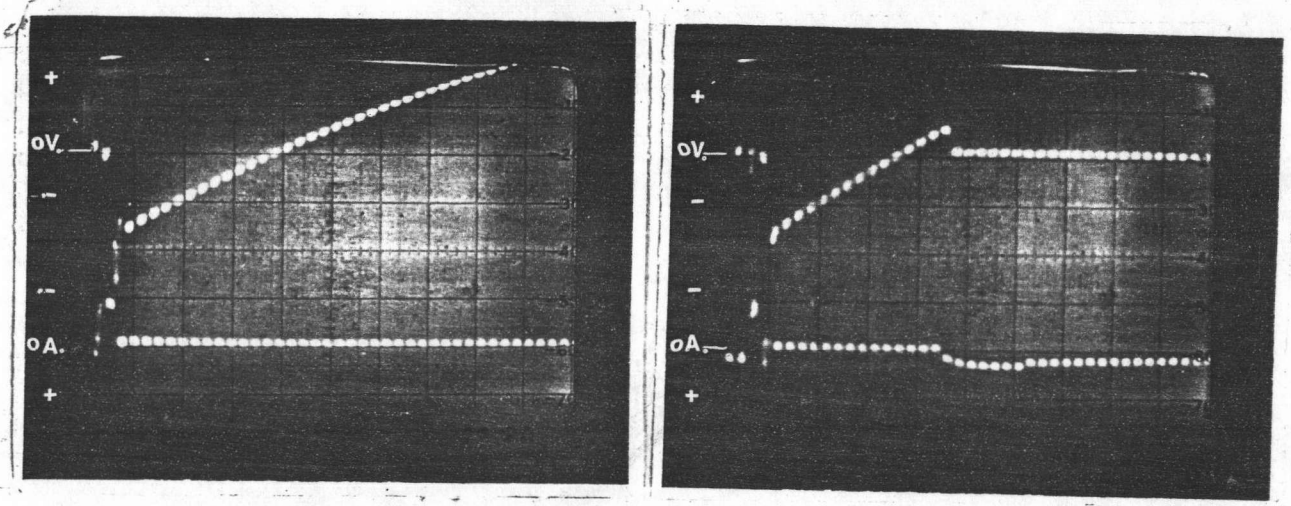
หมายเหตุ รูปคลื่นบน 1 ช่อง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V.
รูปคลื่นล่าง 1 ช่อง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.
แกนนอน 1 ช่อง = 20 μSec



(ก) (ข)

รูป 3.4.05 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 2 A. และความต้านทาน R_7 = 1 Ohm.

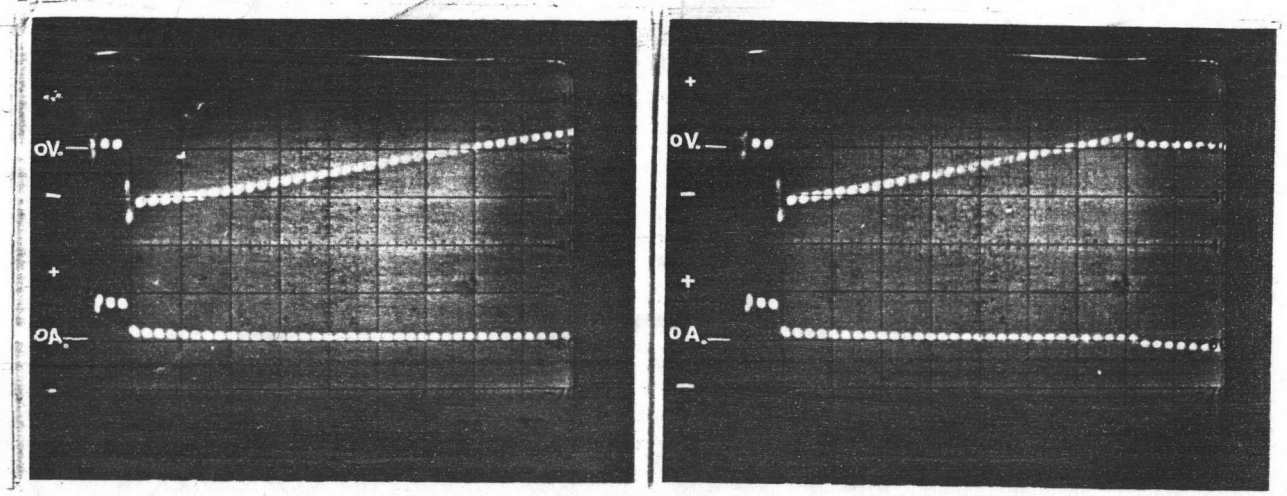
หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V.
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.
แกนนอน 1 ช่อง = 5 μSec



(ก) (ข)

รูป 3.4.06 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 3 A. และความต้านทาน R_7 = 2 Ohm.

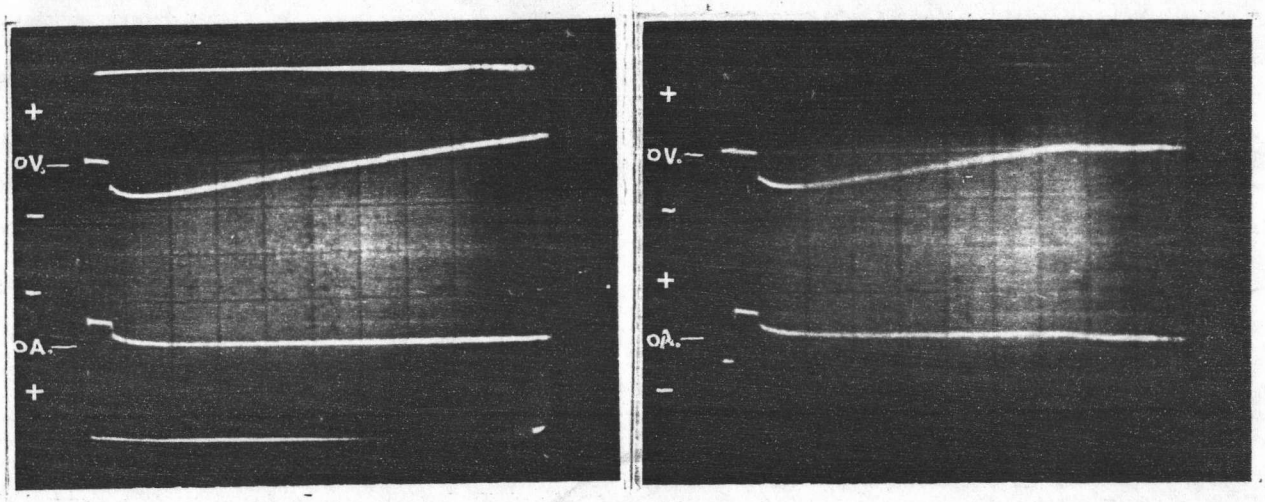
หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V. แกนนอน 1 ช่อง = 10 μSec
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.



(ก) (ข)

รูป 3.4.07 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 2 A. และความต้านทาน R_7 = 3 Ohm.

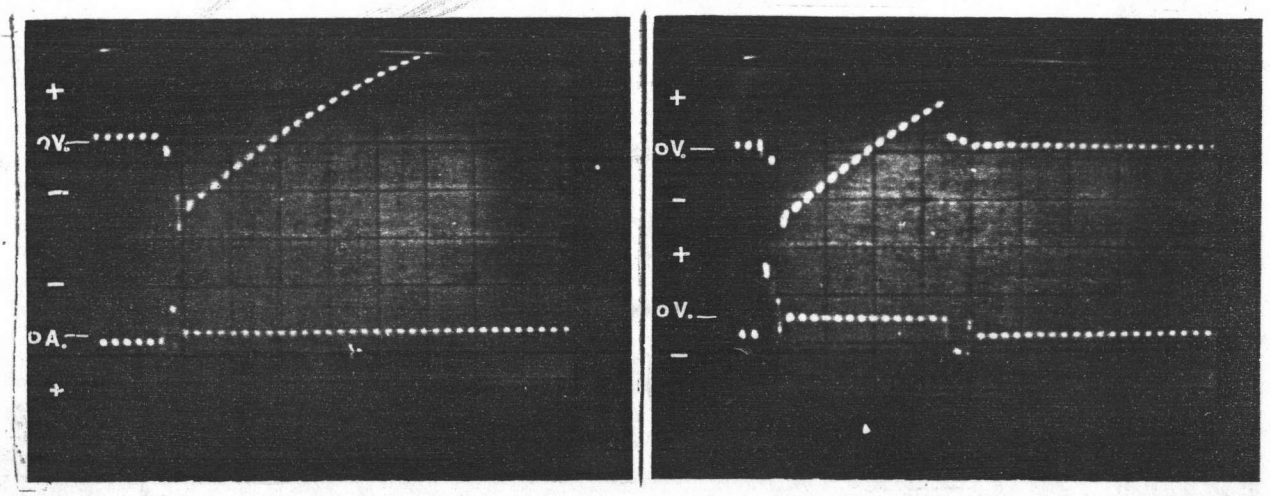
หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V. แกนนอน 1 ช่อง = 10 μSec
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.



(ก) (ข)

รูป 3.4.08 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 2 A. และความต้านทาน R_7 = 5 Ohm.

หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V. แกนนอน 1 ช่อง = 50 μSec
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.

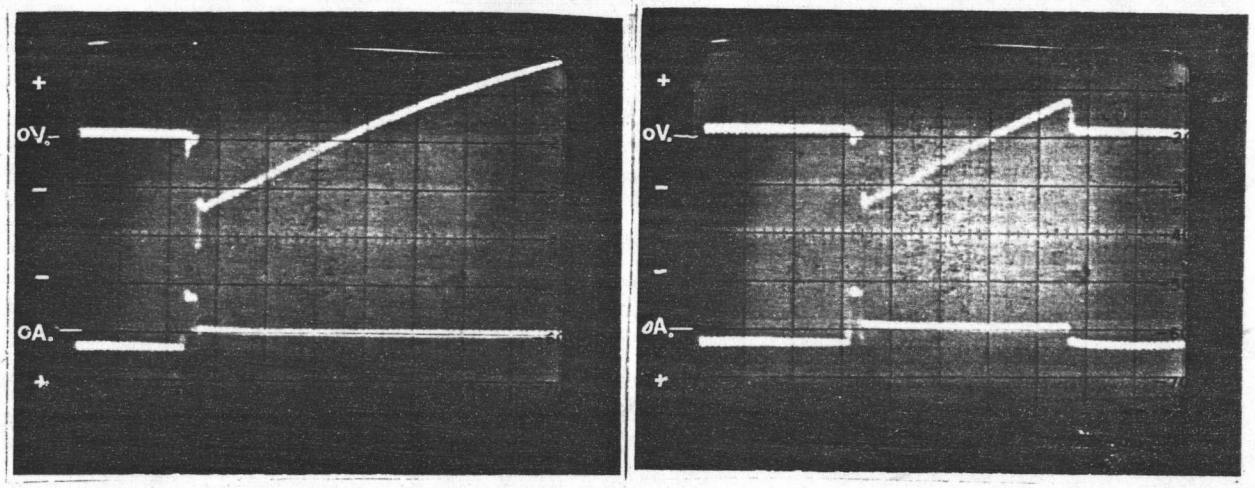


(ก) (ข)

รูป 3.4.09 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 3 A. และความต้านทาน R_7 = 1 Ohm.

หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V. แกนนอน 1 ช่อง = 10 μSec
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.

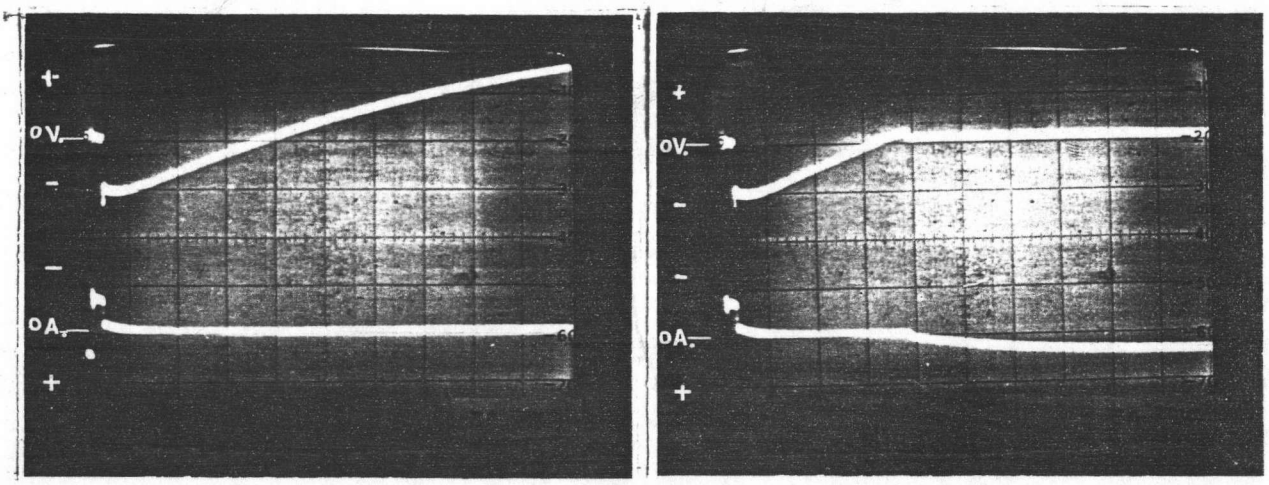
i 17005760



(ก) (ข)

รูป 3.4.10 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 3 A. และความต้านทาน R_7 = 2 Ohm.

หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V.
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.
แกนนอน 1 ช่อง = 20 μSec



(ก) (ข)

รูป 3.4.11 แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ในขณะที่กระแสผ่านเอสซีอาร์ = 3 A. และความต้านทาน R_7 = 3 Ohm.

หมายเหตุ รูปคลื่นบน แกนดิ่ง 1 ช่อง = 10 V.
รูปคลื่นล่าง แกนดิ่ง 1 ช่อง = 20 V.
แกนนอน 1 ช่อง = 50 μSec