บทที่ 2

การออกแบบ

วงจร SCR สำหรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ ความถี่สูงนี้มีขีดจำกัดทางด้านกำลังอยู่ที่แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ขีดจำกัดของ SCR ทางด้านศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า, จำนวนของ SCR , ขีดจำกัดในการทนศักย์ไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ อนึ่ง การที่จะให้วงจรสำหรับเปลี่ยนกระแสตรงเป็นกระแสสลับนี้ทำงานที่ความถี่สูง ก็จำเป็นต้องใช้ SCR จำนวนมากขึ้นด้วย เพราะต้องใช้ระบบแบ่งเวลาเข้าช่วย

2.1 ความต้องการ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาแนวทางที่จะทำให้วงจร SCR สำหรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ทำงานที่ความถี่สูงเกินกว่าความถี่ที่ถูกจำกัดโดย recovery time ของ SCR แต่ละตัว ซึ่งสำหรับ SCR ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้คือเบอร์ 2N 1777 A ซึ่งมี turn off time = 15 μsec ดังนั้นความถี่สูงสุดที่ถูกจำกัดโดย recovery time ของ SCR คือ 33.3 K Hz.

แนวการศึกษาเรื่องนี้ เราสามารถแบ่งสาระสำคัญออกได้ดังนี้คือ

1) กำหนดจำนวน SCR ที่ใช้และหาลำดับขั้นการจุดชนวน SCR ตามระบบแบ่งเวลา

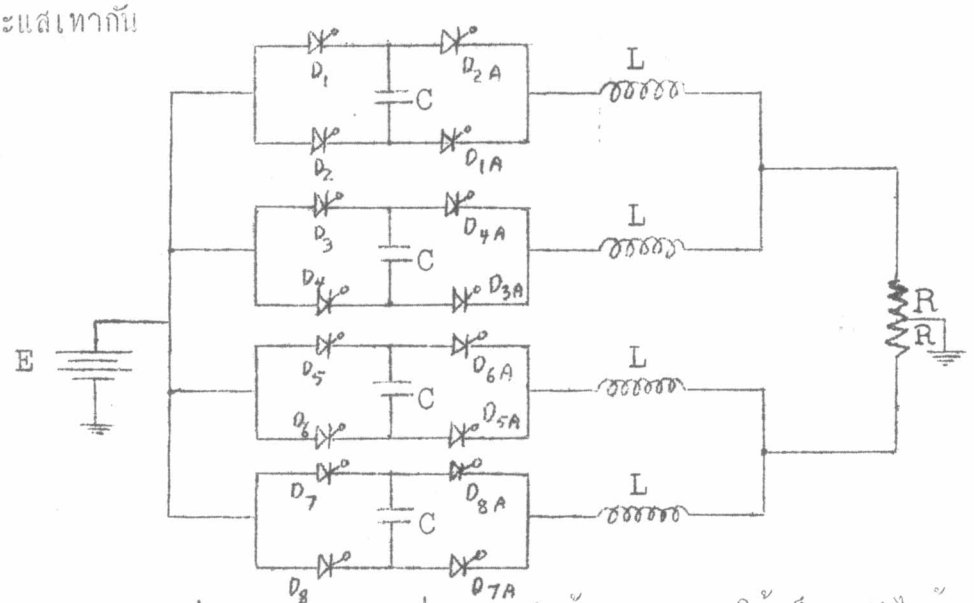
2) หาวิธีการที่จะให้ได้มาซึ่ง pulse ที่มีลำดับขั้นตามต้องการ และมีกำลังมากพอที่จะไปจุดชนวน SCR ได้

3) ศึกษาวงจรเรสโซแนนซ์แบบอนุกรมที่มี SCR เป็นตัวควบคุมการปิดและเปิดวงจร

2.2 การกำหนดจำนวน SCR ที่ใช้และหาลำดับขั้นการจุดชนวน SCR ตามระบบแบ่งเวลา

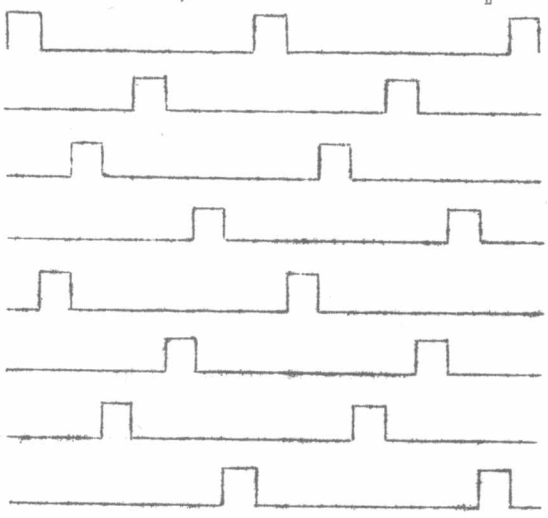
การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับใช้ SCR ที่ใช้แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเพียงแหล่งเดียวนั้น อาจทำได้โดยใช้วงจรรูปที่ 1.8 และกระแสในส่วนต่าง ๆ ของวงจรจะเป็นดังรูป 1.9 เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน SCR แต่ละกลุ่มในหนึ่งลำดับขั้นเป็นรูปครึ่งคลื่นรูปซายน์ 2 คลื่น ดังนั้นการนำเอาระบบแบ่งเวลามาใช้ก็จำเป็นต้องให้จำนวนกลุ่มของ SCR เป็นเลขคู่ เพื่อให้จำนวนครึ่งคลื่นรูปซายน์ของกระแสที่ป้อนให้โหลดทั้ง 2 ข้าง (คือกระแส i_1 , i_2 และ i_3 ; i_4 ในรูป 1.10) มีจำนวนเท่ากัน ซึ่งจะทำให้ได้กระแสรูปซายน์ที่สมบูรณ์

ดังนั้นในระบบแบ่งเวลาจึงต้องใช้ SCR อย่างน้อย 4 กลุ่ม หรือ 16 ตัว ซึ่งในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ก็จะใช้ SCR 4 กลุ่มด้วย เพราะว่าจำนวน SCR ที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด และ SCR 4 กลุ่มนี้ก็สามารถแสดงการทำงานในระบบแบ่งเวลาได้อย่างพอเพียง วงจรที่ใช้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 และได้เลือกให้กระแสในส่วนต่าง ๆ ของวงจรเป็นไปดังในรูปที่ 1.10 (ข) เพราะ SCR แต่ละชุดจะได้มีเวลาอยู่ในภาวะปิดกระแสเท่ากัน



รูปที่ 2.1 วงจรเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับใช้ระบบแบ่งเวลา

เพื่อที่จะให้ได้กระแสในส่วนต่าง ๆ ของวงจรดังที่ได้แสดงไว้ในรูป 1.10 (ข) จะต้องใช้ลำดับขั้นการจุดชนวน SCR ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงลำดับขั้นของสัญญาณที่ใช้ในการจุดชนวน SCR แต่ละตัวในวงจรรูป 2.1

ในรูปที่ 1.10 (ข) จะเห็นได้ว่า SCR จำเป็นต้องเข้าสู่ภาวะปิดกระแสที่สมบูรณ์ภายในเวลา 3 เท่าของภาวะเปิดกระแส นับจากกระแสในวงจรเริ่มเป็นศูนย์ มิฉะนั้น SCR ทั้ง 2 ชุดในแต่ละกลุ่มจะอยู่ในภาวะเปิดกระแสพร้อมกัน (เพราะ SCR ที่ยังไม่เข้าสู่ภาวะปิดกระแสที่สมบูรณ์ ไม่สามารถที่จะปิดกระแสได้ ถ้าให้สัญญาณไฟฟ้าบวกแก่อะโนดและลบแก่กะโทดของ SCR) ซึ่งเป็นการสัดวงจรกร่อมตัวเก็บประจุ ดูรูป 2.1 ดังนั้นสำหรับ SCR เบอร์ 2 N 1777A ซึ่งมี turn off time เท่ากับ 15 μsec เมื่อใช้ SCR 4 กลุ่ม ดังในรูป 2.1 จะทำให้เกิดกระแสสลับความถี่สูงได้ไม่เกิน 100 K Hz.

วิธีคิด

$$\frac{3T}{2} = 15\ \mu\text{sec}$$

$$T = 10\ \mu\text{sec}$$

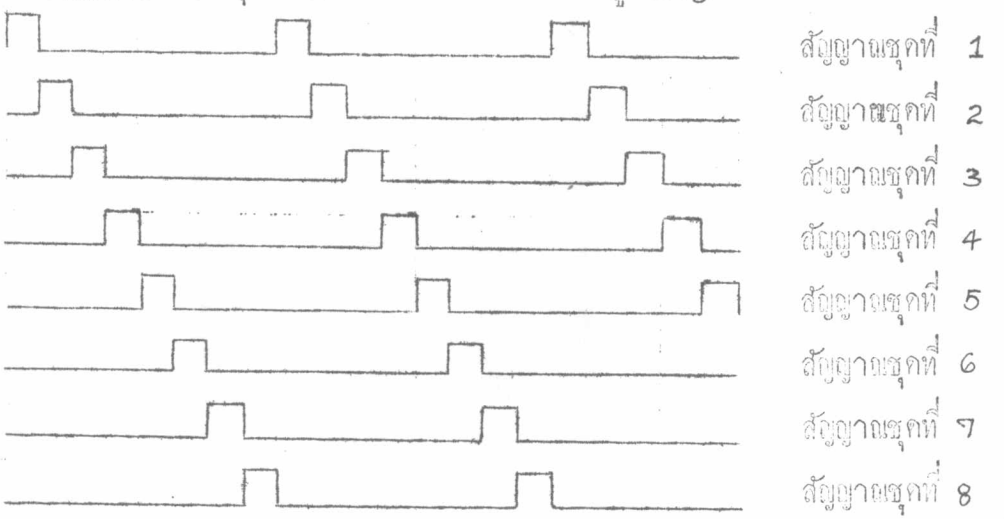
$$\therefore \text{frequency} = \frac{1}{T} = 100\ \text{K Hz.}$$

ในทำนองเดียวกัน,ถ้าใช้ SCR 6 กลุ่ม, SCR จำเป็นต้องเข้าสู่ภาวะปิดกระแสที่สมบูรณ์ภายในเวลา 5 เท่าของภาวะเปิดกระแส นับจากกระแสในวงจรเริ่มเป็นศูนย์ ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสสลับความถี่สูงได้ไม่เกิน 167 K Hz. ดังนี้เป็นต้น

แต่ถ้าเราไม่ใช้ระบบแบ่งเวลาเลย SCR จำเป็นต้องเข้าสู่ภาวะปิดกระแสที่สมบูรณ์ภายในเวลาเท่ากับ 1 เท่าของภาวะเปิดกระแส นับจากกระแสในวงจรเริ่มเป็นศูนย์ ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสสลับความถี่สูงได้ไม่เกิน 33.3 K Hz.

2.3 วงจรจุดชนวนSCR

เมื่อเรานำเอาสัญญาณจุดชนวน SCR ทั้ง 8 ชุดในรูป 2.2 มาเรียงลำดับใหม่ จะได้สัญญาณดังในรูป 2.3 ซึ่งสัญญาณทั้ง 8 ชุดนี้จะมีลักษณะเหมือนกัน คือมีพัลส์ 1 พัลส์ และหายไป 7 พัลส์ แล้วจึงเริ่มมีพัลส์ขึ้นใหม่ แต่ทว่าสัญญาณทั้ง 8 ชุดนี้จะเกิดไล่กันไป (shift) ชุดละ 1 พัลส์ตามลำดับ ดังในรูป 2.3



รูปที่ 2.3 สัญญาณจุดชนวน SCR ทั้ง 8 ชุดเรียงลำดับใหม่

เปรียบเทียบรูป 2.2 และรูป 2.3 จะเห็นได้ว่า

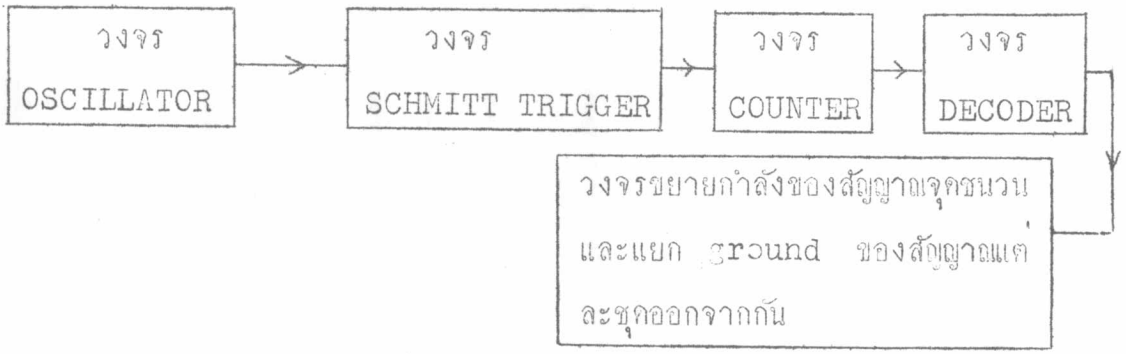
สัญญาณจุดชนวนSCR D_1 และ D_{1A} คือสัญญาณ ชุดที่ 1

สัญญาณจุดชนวนSCR D_2 และ D_{2A} คือสัญญาณ ชุดที่ 5

สัญญาณจุดชนวนSCR D_3 และ D_{3A} คือสัญญาณ ชุดที่ 3

สัญญาณจุดชนวน SCR D_4 และ D_{4A} คือสัญญาณ ชุดที่ 7
สัญญาณจุดชนวน SCR D_5 และ D_{5A} คือสัญญาณ ชุดที่ 2
สัญญาณจุดชนวน SCR D_6 และ D_{6A} คือสัญญาณ ชุดที่ 6
สัญญาณจุดชนวน SCR D_7 และ D_{7A} คือสัญญาณ ชุดที่ 4
สัญญาณจุดชนวน SCR D_8 และ D_{8A} คือสัญญาณ ชุดที่ 8

ในการที่จะทำให้เกิด pulse ที่ต้องการ ต้องให้ลำดับขั้นการทำงานของวงจรจุดชนวนเป็นไปดังในรูป 2.4



รูปที่ 2.4 การทำงานของวงจรจุดชนวน SCR

2.3.1 วงจร OSCILLATOR

มีหน้าที่เป็นตัวกำหนดความถี่ของสัญญาณที่เอาไปจุดชนวน SCR ในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ผู้เขียนได้ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปซายน์จากห้องปฏิบัติการ การไฟฟ้า ฯ

2.3.2 วงจร SCHMITT TRIGGER

มีหน้าที่ทำให้เกิดสัญญาณสี่เหลี่ยม ซึ่งมีความถี่เท่ากับสัญญาณรูปซายน์ที่ให้แก่ขั้วเข้าของวงจรเพื่อนำไปจุดชนวนวงจร ฟลิบ - ฟลอบ เพราะสัญญาณที่ออกจากวงจรนี้มีขนาดใหญ่และมี rise time สั้น

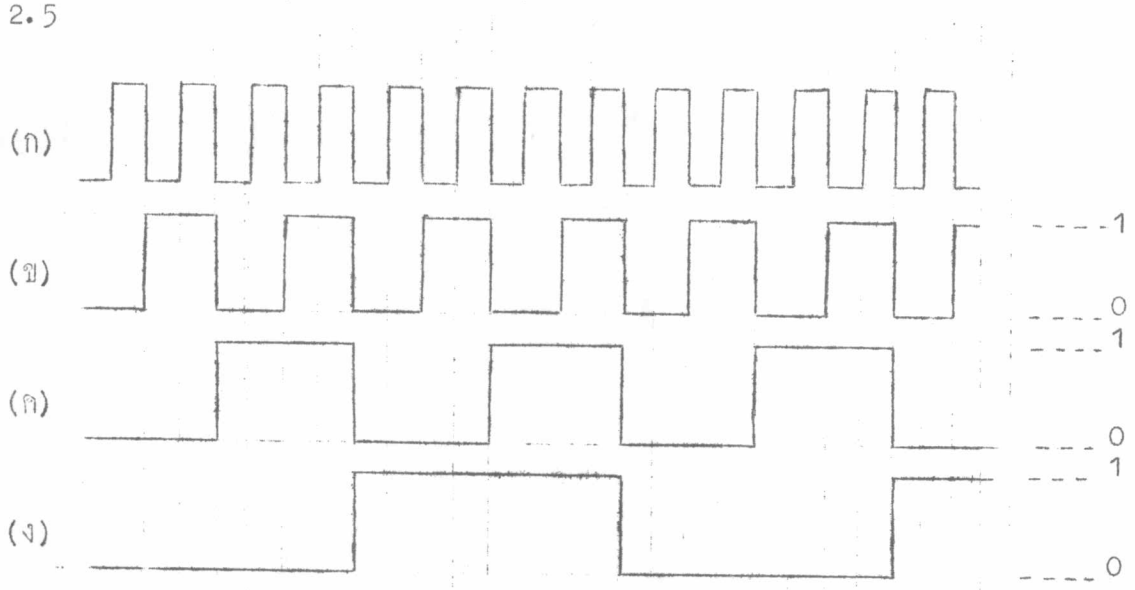
002305

2.3.3 วงจร COUNTER

เป็นวงจรที่ประกอบด้วยวงจรฟลิบ - ฟลอบ 3 ตัว ซึ่งวงจรฟลิบ - ฟลอบตัวแรกจะถูกจุดชนวน ให้เปลี่ยน "ภาวะ" โดยสัญญาณออกของ "วงจรชมิทช์ทริกเกอร์"

(ดูลำดับขั้นการทำงานจากรูป 2.4) และสัญญาณออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวแรกจะเป็นตัวจุดชนวนให้วงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่สองเปลี่ยน "ภาวะ" ในทำนองเดียวกัน สัญญาณออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบตัวที่สองก็จะเป็นตัวจุดชนวนให้วงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่สามเปลี่ยน "ภาวะ"

เนื่องจากวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด n-p-n ในการสร้างวงจรฟลิบ–ฟลอบ ดังนั้นวงจรฟลิบ–ฟลอบแบบนี้จึงเกิดการเปลี่ยนภาวะ เมื่อได้รับสัญญาเห็เปลี่ยนจากบวกมาลบเร็วๆ (negative going) มาจุดชนวน สัญญาณออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบแต่ละตัวแสดงไว้ในรูปที่ – 2.5



รูปที่ 2.5 (ก) สัญญาณออกของวงจรชมิทร์ทริกเกอร์
(ข) สัญญาณออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่ 1
(ค) สัญญาณออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่ 2
(ง) สัญญาณออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่ 3

จากรูป 2.5 ถ้าให้สัญญาณออกของวงจร ฟลิบ–ฟลอบ เมื่อมีศักย์ไฟฟ้าสูงเป็น 1 และเมื่อมีศักย์ไฟฟ้าต่ำเป็น 0 ที่เวลาต่าง ๆ กัน เราจะได้สัญญาณออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบพร้อมกันทั้ง 3 ตัว ดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญญาณออกของวงจรฟลิบ-ฟลอบทั้ง 3 ตัว

สัญญานออกของ วงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่ 3	สัญญานออกของ วงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่ 2	สัญญานออกของ วงจรฟลิบ–ฟลอบ ตัวที่ 1
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1
0	0	0
0	0	1
0	1	0
.	.	.
.	.	.
.	.	.

จะเห็นได้ว่า สัญญานออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบ ทั้ง 3 ตัว พร้อมกันทำให้เกิดระหัสขึ้น 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยระหัส 8 ตัว คือ 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 เกิดขึ้นหมุนเวียนต่อเนื่องกันไปเป็นลำดับขั้นที่แน่นอน

ถ้าสามารถแยกระหัสทั้ง 8 ตัวนี้ ออกจากกัน ทำระหัส 1 ตัวให้เป็น พัลส์ 1 พัลส์ จะได้สัญญาน 8 ชุด แต่ละชุดมีลักษณะเป็น พัลส์ 1 พัลส์ และหายไป 7 พัลส์ แล้วจึงเกิดพัลส์ขึ้นมาใหม่หมุนเวียนไปเรื่อย ๆ พัลส์ของสัญญานแต่ละชุดนี้จะเกิด shift กันไปชุดละพัลส์ตามลำดับ (ดูรูป 2.3) วงจรที่จะทำให้เกิดสัญญานเช่นนี้ คือ วงจร DECODER

2.3.4 วงจร DECODER

เป็นวงจรที่ประกอบด้วย วงจร AND-GATE ซึ่งมี 3 input เป็นจำนวน 8 ชุด วงจร AND-GATE นี้มีคุณสมบัติคือจะให้สัญญานด้านออกเป็น 1 เมื่อสัญญานด้านเข้าทุก ๆ ตัวเป็น 1 หมด มิฉะนั้นจะให้สัญญานด้านออกเป็น 0

ดังนั้นถ้านำเอาสัญญานด้านออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบ ทั้ง 3 ตัว มาต่อเข้ากับวงจร AND-GATE ทั้ง 8 ชุดนี้ โดยใช้ระหัส 1 ตัวต่อ AND-GATE 1 ชุด ถ้าในระหัสมี 1 ก็ให้เอาสัญญานด้านออกจากขั้ว Y ของวงจรฟลิบ–ฟลอบ แต่ถ้าในระหัสมี 0 ก็ให้เอาสัญญานด้านออกจากขั้ว $\overline{Y}$ ของวงจรฟลิบ–ฟลอบ (รูป 2.7) ซึ่งจะทำให้สัญญานเข้าของ AND-GATE เป็น 1 หมด เมื่อวงจรฟลิบ–ฟลอบทั้ง 3 ตัวให้ระหัสตรงกับที่ได้ตั้งไว้เท่านั้น ผลก็คือสัญญานออกของ AND-GATE แต่ละชุดจะให้ พัลส์ 1 พัลส์ และหายไป 7 พัลส์ และเริ่มมีพัลส์ขึ้นใหม่หมุนเวียนไปเรื่อยตามต้องการ นอกจากนั้นสัญญานออกของ AND-GATE แต่ละชุดก็จะเกิด shift กันไปชุดละ 1 พัลส์ ด้วย (รูป 2.3)

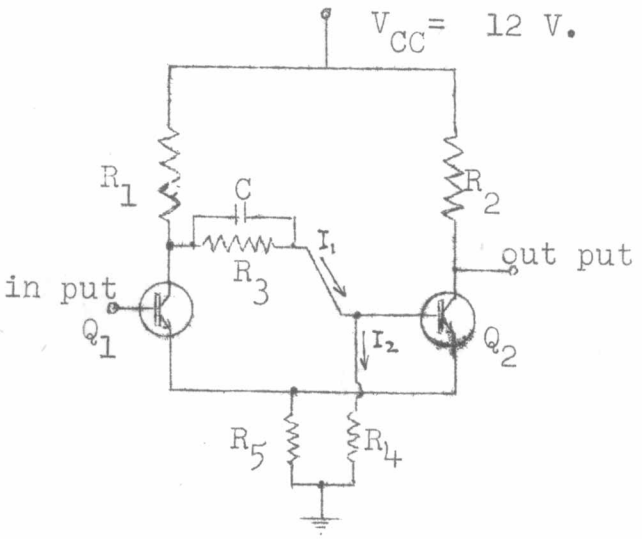
อย่างไรก็ตาม พัลส์ที่ได้จาก AND-GATE เหล่านี้ก็ยังมีกำลังต่ำเกินไปในการที่จะไปชุดชนวน SCR ให้เข้าสู่ภาวะเปิดกระแส นอกจากนั้น ground ของสัญญานแต่ละชุดก็ยังไม่ได้แยกจากกันด้วย ดังนั้นจึงต้องผ่านสัญญานที่ได้นี้ไปเข้าวงจร Blocking Oscillator เพื่อขยายกำลัง, แยก ground ของสัญญานแต่ละชุดออกจากกัน ยิ่งไปกว่านั้นสัญญานออกของวงจร Blocking Oscillatorนี้ยังมี rise time สั้นอีกด้วย

2.4 การวิเคราะห์วงจรจุดชนวน SCR

ในการออกแบบวงจรชมิทช์ทริกเกอร์, วงจร COUNTER , วงจร DECODER และวงจร BLOCKING OSCILLATOR เพื่อนำมาประกอบกันเข้าเป็นวงจรจุดชนวน SCR ดังในรูป 2.4 ได้อาศัยหลักการออกแบบวงจรตามหนังสืออ้างอิงที่ 5 และ7 ได้แสดงการออกแบบโดยสังเขปไว้ดังต่อไปนี้

2.4.1 วงจรชมิทช์ทริกเกอร์

วงจรนี้ได้ถูกออกแบบดังแสดงวงจรไว้ในรูป 2.6 โดยที่ต้องการให้สัญญาณออกของวงจรนี้มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องให้ค่า R_5 ในวงจรมีขนาดเล็ก เพื่อให้สัญญาณออกเมื่อ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัวมีขนาดเล็ก



Q_1 , Q_2 = BC 238B
R_1 , R_2 = 820 Ω
R_3 = 3.3 KΩ
R_4 = 750 Ω
R_5 = 56 Ω
C = 190 pF

รูปที่ 2.6 วงจรชมิทช์ทริกเกอร์

เนื่องขีดจำกัดทางด้านกระแสของทรานซิสเตอร์ที่ใช้คือ 100 mA ดังนั้นจึงได้ออกแบบให้กระแสคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีค่าประมาณ 14 mA โดยการใช้ R_1,R_2 ค่า 820 โอห์ม และ R_5 ค่า 56 โอห์ม

เมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะตัดกระแส ต้องการให้ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัว

สมมติว่าค่า I_{B2} น้อยกว่า I_{C2} มาก

$$\therefore I_{C2} = \frac{12 - 0.3}{.820 + 0.056} = 13.35 \text{ mA}$$

ซึ่งถ้าต้องการให้ Q_2 อยู่ภาวะอิ่มตัวแล้ว ต้องให้ค่าของ I_{B2} มากกว่าค่า

$$I_{C2}/h_{FE} = \frac{13.35}{110} = 122 \mu A$$

เมื่อ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัว $V_{BE} = 0.7$ V. เพราะว่าทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นแบบซิลิกอน

ดังนั้น
$$V_{BN_2} = (I_{C2} + I_{B2})R_5 + V_{BE}$$
$$\approx I_{C2}R_5 + V_{BE}$$
$$= 13.35 \times 0.056 + 0.7 = 1.447 \text{ volts}$$

เนื่องจาก V_{CN} ของ Q_1 เมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะอิ่มตัวจะมีค่าเท่ากับ $0.3 + (I_{C1} + I_{B2})R_5$ ซึ่งประมาณ 1 โวลท์กว่า ๆ ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ค่า R_3 และ R_4 เพื่อให้ Q_2 อยู่ในภาวะตัดกระแส เมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะอิ่มตัวและอยู่ในภาวะอิ่มตัวเมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะตัดกระแส ดังนั้นจึงได้เลือกค่าให้ $R_3 = 3300$ โอห์ม และ $R_4 = 750$ โอห์ม

เมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะตัดกระแส

$$I_1 = \frac{12 - 1.447}{0.820 + 3.3} = 2.56 \text{ mA}$$
$$I_2 = \frac{1.447}{0.750} = 1.925 \text{ mA}$$
$$\therefore I_{B2} = 2.56 - 1.925 = 0.635 \text{ mA}$$

ซึ่งมากกว่าค่า I_{C2}/h_{FE} แสดงว่า Q_2 จะเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว

เมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะอิ่มตัว สมมติว่า Q_2 อยู่ในภาวะตัดกระแส และค่า I_{B1} น้อยกว่า I_{C1} มาก โดยการใช้ Thevinin equivalent circuit จะได้

$$\text{Thevinin voltage} = \frac{3.3 + 0.75}{3.3 + 0.75 + 0.82} \times 12 = 10 \text{ volts}$$

และ $$\text{Thevinin resistance} = \frac{(3.3 + 0.75)(0.82)}{3.3 + 0.75 + 0.82} = 680 \ \Omega$$

$$\therefore I_{C2} \approx \frac{10 - 0.3}{0.68 + 0.056} = 13.2 \text{ mA}$$

ดังนั้นเมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะอิ่มตัวจะได้ V_{CN} ของ Q_1

$$= 0.3 + 13.2 \times 0.056 = 1.04 \text{ volts}$$

ซึ่งทำให้ V_{BE} ของ Q_2 ในขณะนี้

$$= \frac{1.04 \times 0.75}{3.3 + 0.75} - 13.2 \times 0.056$$

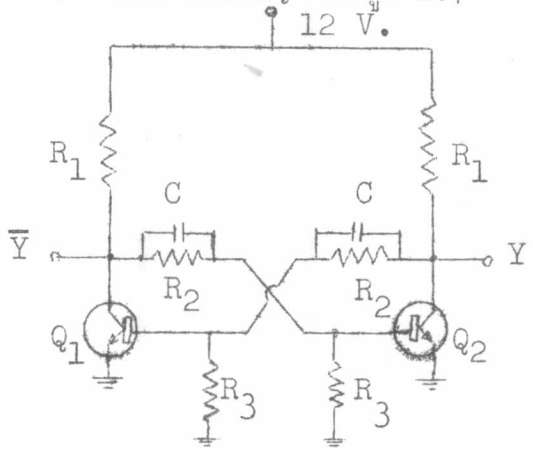
$$= 0.193 - 0.74 = -0.547 \text{ volts}$$

ซึ่งแสดงว่า Q_2 จะอยู่ในภาวะตัดกระแสเมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะอิ่มตัว

2.4.2 วงจรฟลิบ-ฟลอบ

ในการออกแบบวงจรนี้ไม่ควรให้ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ในวงจรอยู่ในภาวะอิ่มตัวมากจนเกินไป ซึ่งจะทำให้วงจรฟลิบ-ฟลอบนี้ไม่เปลี่ยนภาวะเมื่อมีสัญญาณความถี่สูงมาจุดชนวน เพราะมี excess minority carrier มากเกินไป

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้ผู้เขียนได้ออกแบบวงจรฟลิบ-ฟลอบเป็นแบบ self - biased transistor binaryดังในรูป 2.7



Q_1 , Q_2 = BC 238B

R_1 = 1 KΩ

R_2 = 100 KΩ

R_3 = 3 MΩ

C = 100 pF

รูปที่ 2.7 แสดงวงจรฟลิบ-ฟลอบซึ่งยังไม่มีหน่วยจุดชนวน

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มี $I_{C_{max.}}$ = 100 mA และ h_{FE} = 110-800 ได้เลือกใช้ค่า R_1 = 1 KΩ

ดังนั้นถ้า Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัว และไม่ถูกกระแส I_{B2} จะได้

$$I_{C2} = \frac{12 - 0.3}{1} = 11.7 \text{ mA}$$

เนื่องจาก $h_{FE(min.)}$ 110

ดังนั้นเพื่อให้ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัว จะต้องให้

$$I_{B2} > I_{C2}/h_{FE(min.)} = \frac{11.7}{110} = 106\ \mu A$$

เนื่องจากไม่ต้องการให้ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัวมากจนเกินไป จึงให้ค่า I_{B2} ประมาณ 110 μA

ดังนั้น $R_2 \approx \frac{12 - 0.7}{0.110} = 103\ K\Omega$

เลือกใช้ค่า $R_2 = 100\ K\Omega$ และ $R_3 = 3\ M\Omega$

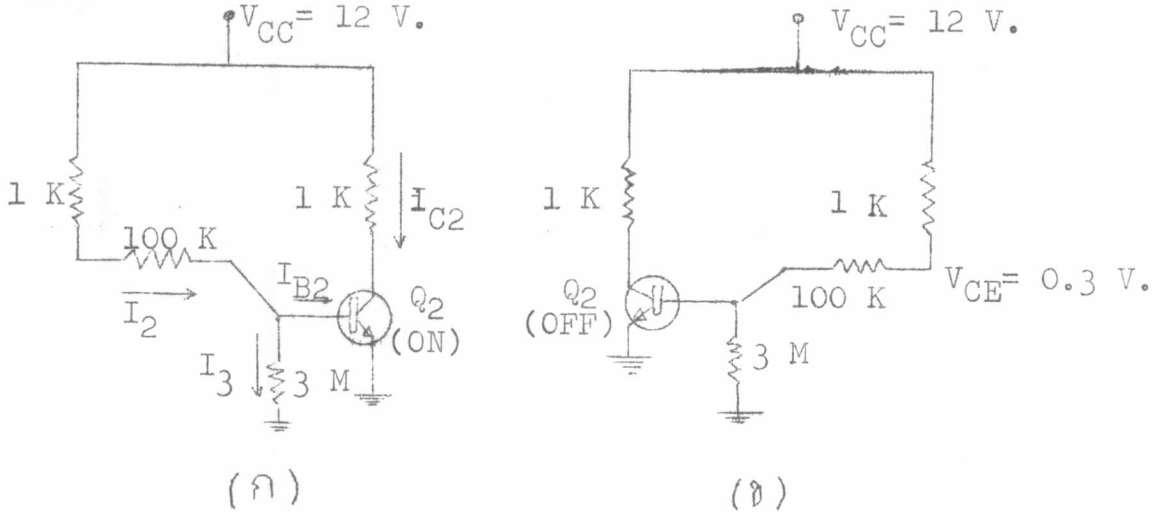
$$\therefore I_{B2} = I_2 - I_3 = \frac{11.3}{101} - \frac{0.7}{3000}$$

$$= 111.77\ \mu A$$

เมื่อ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัว จะได้ V_{CN} ของ $Q_2 = 0.3$ volts

$$\therefore V_{BE} \text{ ของ } Q_1 = 0.3 \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 0.29 \text{ volts}$$

ซึ่ง V_{BE} ของ Q_1 นี้จะน้อยกว่า V_{BE} cut in ดังนั้นจึงทำให้ Q_1 อยู่ในภาวะปิดกระแสได้

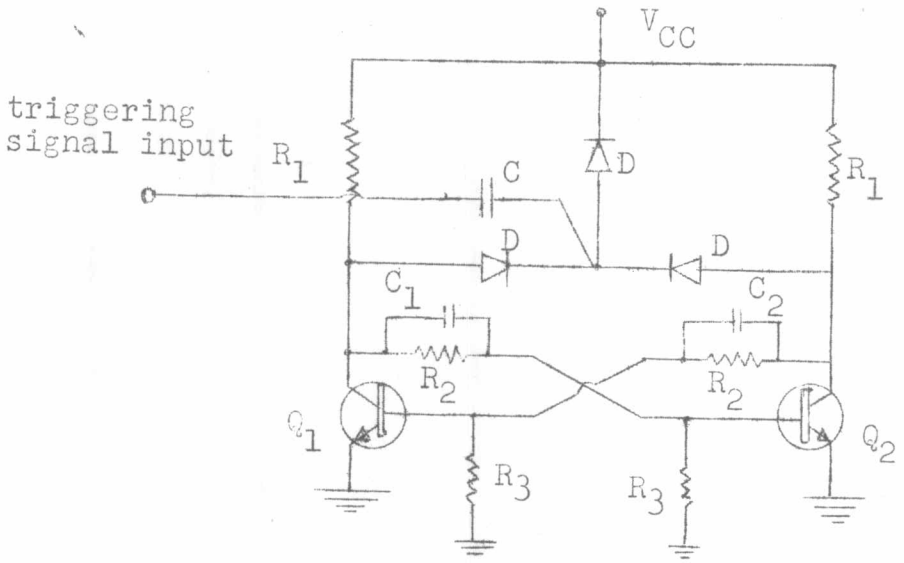


(ก) (ข)

รูปที่ 2.8 (ก) แสดง Q_2 ในวงจรฟลิบ-ฟลอบเมื่อ Q_1 อยู่ในภาวะตัดกระแส

(ข) แสดง Q_1 ในวงจรฟลิบ-ฟลอบเมื่อ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัว

เพื่อใช้วงจรนี้เป็นส่วนประกอบในวงจร COUNTER จึงได้ใช้วิธีการจุดชนวนวงจรเป็นแบบการชุดชนวนสมมาตร (symmetrical triggering) ดังในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรพลิบ–ฟลอบ ที่มีการจุดชนวนแบบสมมาตร.

ตัวเก็บประจุ C มีไว้เพื่อกันสัญญาณไฟตรง การต่อ diode ดังในรูป 2.9 เพื่อให้สัญญาณทางด้านลบผ่านไปเท่านั้น สัญญาณนี้จะผ่านไปสู่เบส (base) ของทรานซิสเตอร์และทำให้ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในภาวะอิ่มตัวเข้าสู่ภาวะตัดกระแสได้ เมื่อทรานซิสเตอร์ตัวใกล้เปลี่ยนภาวะเข้าสู่ภาวะปิดกระแสจะทำให้เกิดพัลส์บวก (positive pulse) ผ่าน C_1 และ C_2 ไปทำให้ทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งเข้าสู่ภาวะเปิดกระแสได้

ค่าของ C_1 และ C_2 โดยประมาณได้มาจากหนังสืออ้างอิงที่ 5 แต่ในทางปฏิบัติแล้วต้องปรับค่าของมันจากการทดลองก่อน ค่าตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 นี้ ถ้ามากจะทำให้สัก์ไฟฟ้าจากคอลเลคเตอร์ผ่าน (transmit) ไปได้อย่างรวดเร็ว แต่สัก์ไฟฟ้าครอม C_1 และ C_2 นี้ จะต้องเปลี่ยนค่ากันโดยสมบูรณ์เสียก่อน จึงทำให้วงจรพลิบ–ฟลอบ เปลี่ยนภาวะได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นถ้าใช้ค่าตัวเก็บประจุนี้มากก็จะต้องใช้เวลาในการนี้มากด้วย แต่ในทางตรงข้ามถ้าใช้ค่าตัวเก็บประจุน้อยไปก็จะทำให้สัก์ไฟฟ้าจากคอลเลคเตอร์ผ่าน (transmit) ไปได้

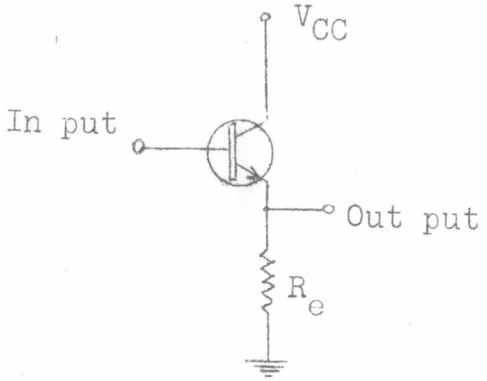
ช้าด้วย.

เมื่อต่อโหลด (load) เข้ากับวงจรฟลิบ–ฟลอบ จะทำให้เกิดผลต่อวงจรฟลิบ–ฟลอบ ดังนี้คือ

1) ทำให้ความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วออกของวงจรเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะตัดกระแส และภาวะอิ่มตัวมีค่าลดลง

2) เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่คอลเลคเตอร์ลดลงจะทำให้กระแสเบสลดลงด้วย ซึ่งอาจไม่พอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์เข้าสู่ภาวะอิ่มตัวได้

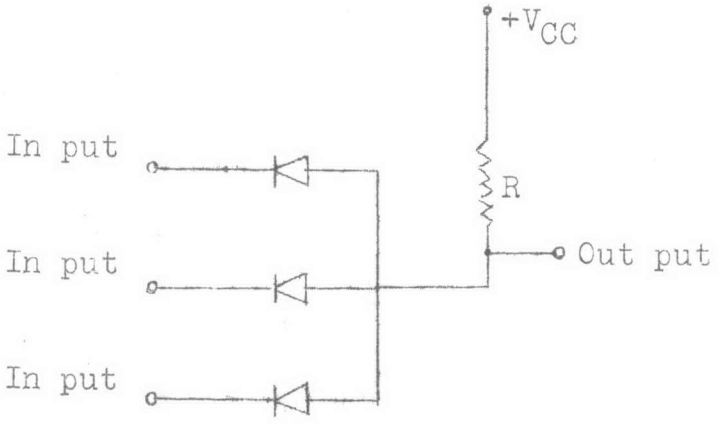
ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้วงจรที่มีอิมพิแดนซ์ที่ขั้วเข้าสูง และอิมพิแดนซ์ที่ขั้วออกต่ำมาต่อที่ขั้วออกของวงจรฟลิบ–ฟลอบ เพื่อมิให้วงจรต่อไปมีผลมาถึงวงจรฟลิบ–ฟลอบนี้ (loading eflect) วงจรที่ใช้เพื่อการนี้คือวงจรคอลเลคเตอร์รวม ซึ่งมีวงจรดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรคอลเลคเตอร์รวม

2.4.3 วงจร AND-GATE

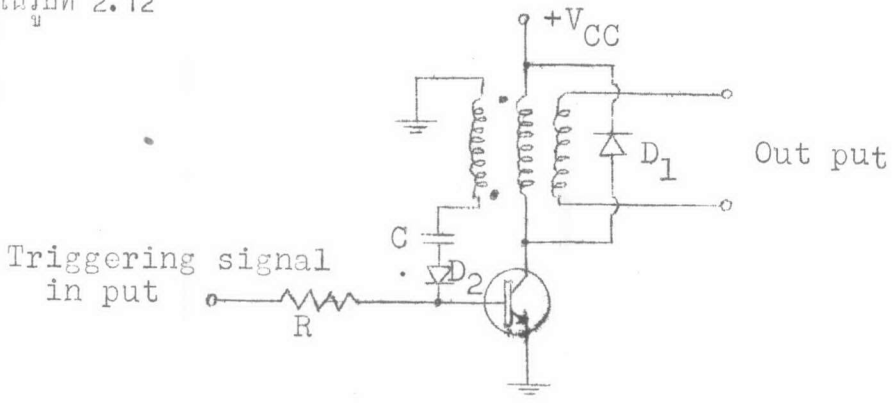
มีวงจรดังในรูปที่ 2.11 ค่าตัวต้านทานที่ใช้ต้องให้มีขนาดใหญ่กว่าค่า R_e ของวงจรคอลเลคเตอร์รวม (รูปที่ 2.10) มาก ๆ เพื่อให้ระดับ "0" มีค่าต่ำ ในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ได้ใช้ค่า R ในวงจร AND-GATE (รูป 2.11) = 47 K Ω



รูปที่ 2.11 วงจร AND - GATE

2.4.4 วงจร Blocking Oscillator

เป็นวงจรที่ใช้หม้อแปลงไฟ (pulse transformer) เพื่อให้เกิดการป้อนกลับอย่างบวก รายละเอียดดูหนังสืออ้างอิงที่ 5 บทที่ 16 วงจรที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์เรื่องนี้แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจร Blocking Oscillator

ตัวเก็บประจุ C มีไว้เพื่อให้ rise time ของพัลส์มีค่าสูงไดโอด D_1 และ D_2 เพื่อกันไม่ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า V_{CE} และ V_{BE} เกินค่า breakdown ของมัน

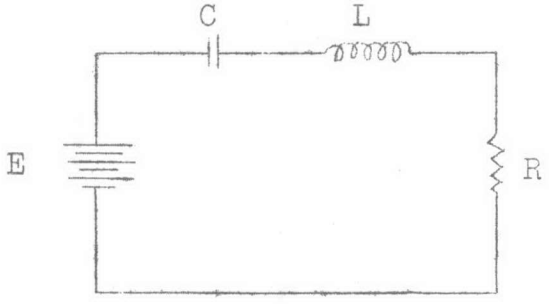
ตัวต้านทาน R มีไว้เพื่อจำกัดกระแสเบสที่ใช้ในการจุดชนวนวงจรนี้

ในการออกแบบได้นำแกนของ output transformer ที่ใช้ในวงจรวิทยุทรานซิสเตอร์ มาพันขดลวดใหม่ ขดลวดที่ใช้มี 3 ชุด ชุดที่ใช้ในการป้อนกลับและชุดที่ใช้ให้กระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่านใช้ 250 รอบ ส่วนชุดที่เป็นขั้วออกสำหรับจุดชนวน SCR ใช้ 350 รอบ เพื่อให้กำลังในการจุดชนวนสูง

ค่าตัวต้านทาน R ใช้ 100 $K\Omega$ และตัวเก็บประจุ C ใช้ 0.002 μF

2.5 การวิเคราะห์วงจรเรสโซแนนซ์แบบอนุกรมที่ใช้ SCR เป็นสวิทช์

ในที่นี้เราจะถือว่า SCR เป็น SCR ในอุดมคติ คือจะอยู่ในภาวะปิดกระแสทันทีเมื่อกระแสไฟฟ้าในวงจรเป็นศูนย์ เมื่อ SCR ถูกจุดชนวน วงจรแต่ละจุดของ SCR จะเป็นวงจรเรสโซแนนซ์แบบอนุกรมซึ่งประกอบด้วย ตัวเก็บประจุมีความจุไฟฟ้า = C และใช้ตัวอักษรกำกับว่า C, ขดลวดมีความเหนี่ยวนำ =L และใช้ตัวอักษรกำกับว่า L, ตัวต้านทานไฟฟ้ามีความต้านทานไฟฟ้า = R และใช้ตัวอักษรกำกับว่า R ต่ออนุกรมกันอยู่กับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟตรง E ดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรเรสโซแนนซ์แบบอนุกรม

2.5.1 การหาสมการของกระแสในวงจร

จากสมการของเคอร์ชอฟ ในรูป 2.13 จะได้

$$L\frac{di}{dt} + V_{co} + \frac{1}{C}\int_0^t i\,d\tau + iR = E \qquad (1)$$

เมื่อ V_{co} เป็นศักย์ไฟฟ้าคร่อม C เมื่อเวลา = 0

จากสมการที่ 1 ใช้ Laplace transform

$$L(sI - I_o) + \frac{V_{co}}{s} + \frac{I}{sC} + IR = \frac{E}{s}$$

$$\therefore \quad I = \frac{1}{L}\left(\frac{E - V_{co} + sLI_o}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}}\right)$$

ให้ $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ และ $\omega_1^2 = \omega_o^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2$

$$\therefore \quad I = \frac{1}{L}\left[\frac{(E - V_{co}) + (s + R/2L - R/2L)LI_o}{(s + R/2L)^2 + \omega_1^2}\right] \qquad (2)$$

จากสมการที่ 2 ใช้ Inverse Laplace Transform

$$\therefore \quad i(t) = \left[\frac{(E - V_{co} - RI_o/2)}{\omega_1 L}\sin\omega_1 t + I_o\cos\omega_1 t\right]e^{-\frac{Rt}{2L}}$$

แต่ก่อนที่ SCR จะถูกจุดชนวน กระแสในวงจรจะเป็นศูนย์แล้ว ดังนั้นค่าของกระแสในวงจรจะเป็น

$$i(t) = \left(\frac{E - V_{co}}{\omega_1 L}\right)e^{-\frac{Rt}{2L}}\sin\omega_1 t \qquad \left(0 \le t \le \frac{\pi}{\omega_1}\right) \qquad \ldots\ldots (3)$$

2.5.2 ศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ

$$v_c(t) = V_{co} + \frac{1}{C}\int_0^t i\,d\tau$$

$$= V_{co} + \frac{1}{C}\int_0^t \left(\frac{E - V_{co}}{\omega_1 L}\right)e^{-\frac{R\tau}{2L}}\sin\omega_1\tau\,d\tau$$

$$= V_{co} + \left(\frac{E - V_{co}}{\omega_1}\right)\left[\omega_1 - \left(\frac{R}{2L}\sin\omega_1 t + \omega_1\cos\omega_1 t\right)e^{-\frac{Rt}{2L}}\right]$$

$$\left(0 \le t \le \frac{\pi}{\omega_1}\right) \qquad \ldots\ldots (4)$$

2.5.3 ศักย์ไฟฟ้าคร่อมขดลวด

$$v_L(t) = L\frac{di}{dt}$$

$$= L\frac{d}{dt}\left[\left(\frac{E-V_{co}}{\omega_1 L}\right)e^{-\frac{R}{2L}t}\sin\omega_1 t\right]$$

$$= (E-V_{co})\,e^{-\frac{R}{2L}t}\left(\cos\omega_1 t - \frac{R}{2\omega_1 L}\sin\omega_1 t\right) \quad (5)$$

$$\left(0 \le t \le \frac{\pi}{\omega_1}\right)$$

2.5.4 ค่าของ V_{co}

ในการหาค่า V_{co} เมื่อ steady state จะได้ $v_{c(0)} = -v_{c}\left(\frac{\pi}{\omega_1}\right)$

$$\therefore\ v_c\left(\frac{\pi}{\omega_1}\right) = -V_{co} = V_{co} + \left(\frac{E-V_{co}}{\omega_1}\right)\left[\omega_1 + \omega_1 e^{-\frac{R}{2L}\frac{\pi}{\omega_1}}\right]$$

$$\therefore\ V_{co} = -E\left[\frac{1+e^{-\frac{R}{2L}\frac{\pi}{\omega_1}}}{1-e^{-\frac{R}{2L}\frac{\pi}{\omega_1}}}\right] = -E\coth\left(\frac{R\pi}{4\omega_1 L}\right) \quad (6)$$

2.5.5 ค่าของกระแสสูงสุด

$$\frac{di}{dt} = 0 = \left(\frac{E-V_{co}}{\omega_1 L}\right)\left[\omega_1\cos\omega_1 t + \frac{R}{2L}\sin\omega_1 t\right]e^{-\frac{R}{2L}t}$$

$$\therefore\ \omega_1 t = \tan^{-1}\left(\frac{2L\omega_1}{R}\right)$$

$$\therefore\ I_{max.} = \left(\frac{E-V_{co}}{\omega_1 L}\right)e^{-\frac{R}{2L\omega_1}\left(\tan^{-1}2L\omega_1/R\right)}\sin\left(\tan^{-1}2L\omega_1/R\right) \quad (7)$$

2.5.6 ค่าของกำลังที่ได้

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 R\,dt$$

$$= \frac{\omega_1}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{\omega_1}}\left[\left(\frac{E-V_{co}}{\omega_1 L}\right)e^{-\frac{R}{2L}t}\sin\omega_1 t\right]^2 R\,dt$$

$$= \left(\frac{E-V_{co}}{L}\right)^2\frac{1}{\omega_1\pi}\left[\frac{2L\omega_1^2}{\left(\frac{R}{L}\right)^2+4\omega_1^2}\left(1-e^{-\frac{R}{L}\frac{\pi}{\omega_1}}\right)\right] \quad (8)$$

แทนค่า V_{co} ในสมการที่ 6 ลงในสมการที่ 8 และจัดรูปใหม่จะได้

$$P = \frac{2E^2}{\omega_1 L\pi}\cdot\frac{1+e^{-\frac{R\pi}{2L\omega_1}}}{1-e^{-\frac{R\pi}{2L\omega_1}}}\cdot\frac{1}{\left(\frac{R}{2L\omega_1}\right)^2+1} \quad (9)$$

2.6 การกำหนดค่า R, L, C สำหรับวงจรเรสโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากหัวข้อ 2.2 จะได้ว่าถ้าใช้วงจรเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับดังรูป 2.1 จะได้กระแสสลับมีความถี่สูงสุด = 100 KH_Z

จากคุณสมบัติของ SCR เบอร์ 2 N 1777A นี้ถ้ามี heat sink ที่ดีพอจะได้ peak one cycle surge forward current (non-repetitive)เท่ากับ 60 แอมแปร์

เนื่องจาก SCR เมื่ออยู่ในภาวะเปิดกระแสแล้ว จะอยู่ในภาวะปิดกระแสนานออกไปถึง 7 เท่าของเวลาที่เปิดกระแส ดังนั้นจึงออกแบบให้กระแสสูงสุดในวงจรเป็น 60 แอมแปร์ และสมมติว่าแหล่งกำเนิดแรงดันไฟตรงสูงสุดที่หาได้เป็นชนิด 220 โวลท์ แทนลงในสมการที่ (7)

$$\therefore \quad 60 = \left(\frac{220 - V_{co}}{\omega_1 L}\right) e^{\frac{-R}{2\omega_1 L}(\tan^{-1} 2\omega_1 L/R)} \sin(\tan^{-1} 2\omega_1 L/R) \qquad (ก)$$

สำหรับค่า V_{co} เรากำหนดให้ =400 โวลท์ เพราะว่าในท้องตลาดทั่วไปจะมีตัวเก็บประจุชนิดมีพิกัดไฟฟ้ากรอมสูงสุด =400 โวลท์

$$400 = -220\left[\frac{e^{-\frac{R\pi}{2L\omega_1}} + 1}{e^{-\frac{R\pi}{2L\omega_1}} - 1}\right]$$

$$\therefore \quad e^{\frac{R\pi}{2L\omega_1}} = 3.44$$

และ $$\frac{R}{2L\omega_1} = 0.393 \qquad (ข)$$

แทนค่าของ $\frac{R}{2\omega_1 L}$ ลงในสมการ (ก)

จะได้ $W_1 L = 6$

เนื่องจากความถี่สูงสุดที่จะทำได้ = 100 KH_Z

$$L = \frac{6}{\omega_1} = \frac{6}{100 \times 1000 \times 2\pi}$$

$$\therefore \quad L = 9.55 \ \mu H$$

แทนค่า L ลงในสมการ (ข) หาค่า R

$$\therefore \quad R = 4.72 \ \Omega$$

จากสมการ $\omega_o^2 = \omega_1^2 + \left(\frac{R}{2L}\right)^2$

$$\therefore \quad \left(\frac{\omega_o}{\omega_1}\right)^2 = 1 + \left(\frac{R}{2\omega_1 L}\right)^2 \qquad \ldots (A)$$

แทนค่า R และ W_1 L ลงในสมการ (ค)

$$\therefore \quad \left(\frac{\omega_o}{\omega_1}\right)^2 = 1.154$$

$$\therefore \quad \frac{1}{LC} = 1.154\,\omega_1^2$$

หรือ $$C = \frac{1}{\omega_1 L \times 1.154 \times \omega_1} = 0.23 \ \mu F$$

จากค่า R, L, C, E ที่ได้มาแทนค่าลงในสมการที่ (9)

$$\therefore \quad power = \frac{220 \times 220 \times 2}{6\pi} \cdot \frac{1 + e^{-0.393\pi}}{1 - e^{-0.393\pi}} \cdot \frac{1}{(0.393)^2 + 1}$$

$$= 8.45 \ K\,W$$

ดังนั้นในทางทฤษฎีแล้ว ถ้ามีแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง 220 โวลท์ และใช้วงจรดังรูป 2.1 ถ้าใช้ค่า R = 4.72 Ω [R ทั้งหมด = 9.44 Ω] L = 9.55 μH C = 0.23 μF จะได้ความถี่ของกระแส = 100 K H_z และกำลังงานเฉลี่ย = 8.45 K W.