บทที่ 4

การออกแบบสร้างและทดสอบการทำงานของวงจรภาคต่าง ๆ

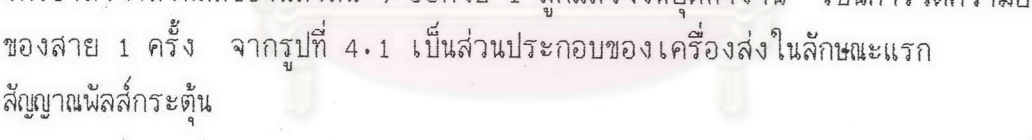
4.1 วงจรภาคส่ง

วงจรภาคส่งในที่นี้จะรวมวงจรทั้งหมดที่เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณพัลส์ และส่งสัญญาณพัลส์ของแสงเข้าสู่เส้นใยแสง ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ และวงจรขับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 หลักการออกแบบวงจรภาคส่ง

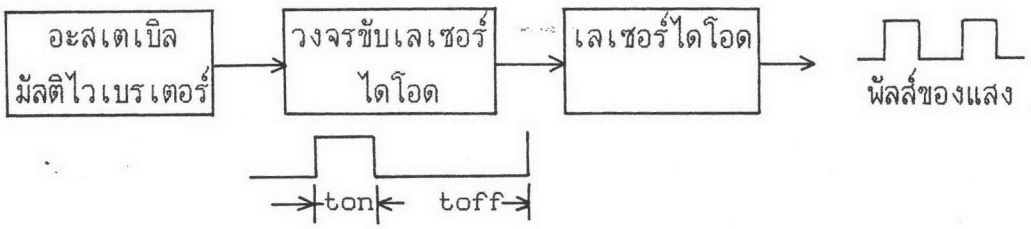
ตามข้อกำหนดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 วงจรภาคส่งจะต้องทำงานได้ใน 2 ลักษณะคือ ส่งพัลส์ออกไปลูกเดียว และส่งพัลส์อย่างต่อเนื่อง การที่จะทำให้เครื่องส่งทำงานโดยการส่งพัลส์ของแสงสั้น ๆ ออกไป 1 ลูก แล้วหยุดทำงานนั้น จะทำได้โดยอาศัยหลักการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งสามารถกำหนดช่วงกว้างของพัลส์ของแสงสั้น ๆ ได้ตามค่าของ RC time constant และบังคับให้วงจรเริ่มทำงานได้โดยการใช้สัญญาณมากระตุ้น (Trig) เมื่อวงจรเริ่มทำงานจะส่งพัลส์ที่มีช่วงเวลาสั้น ๆ หนึ่งลูก ให้วงจรขับเลเซอร์ไดโอด วงจรขับเริ่มนำกระแสให้กับตัวเลเซอร์ไดโอดชั่วขณะหนึ่ง ตามค่าของ RC time constant แล้วจึงหยุดนำกระแส ดังนั้นเครื่องส่งจึงส่งพัลส์ของแสงสั้น ๆ ออกไป 1 ลูกแล้วจึงหยุดทำงาน เป็นการวัดความยาวของสาย 1 ครั้ง จากรูปที่ 4.1 เป็นส่วนประกอบของเครื่องส่งในลักษณะแรก

สัญญาณพัลส์กระตุ้น



รูปที่ 4.1 บล็อคไดอะแกรมของวงจรภาคส่งแบบส่งพัลส์เดียว (One-shot)

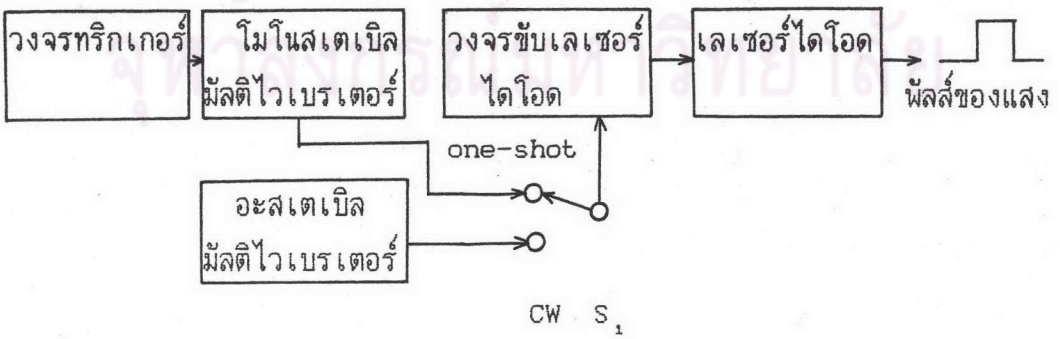
สำหรับการส่งพัลส์แบบต่อเนื่องนั้นเป็นการส่งพัลส์สั้น ๆ ซ้ำกันโดยส่งออกไปเป็นช่วงห่างเท่า ๆ กันตลอด การทำงานในลักษณะนี้จะสามารถสร้างขึ้นได้โดยอาศัยการทำงานของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ การกำหนดช่วงเวลาให้เครื่องส่งหยุดทำงาน และให้เครื่องส่งทำงาน จะทำได้จากการกำหนดค่า RC time constant การทำงานจะทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา (Free Runing) โดยปราศจากสัญญาณกระตุ้นให้



รูปที่ 4.2 บล็อคไดอะแกรมของวงจรภาคส่ง

วงจรทำงาน จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงส่วนประกอบของวงจรภาคส่งโดยการใช้วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์มากระตุ้นให้เลเซอร์ไดโอดส่งพัลส์ของแสงเป็นช่วง ๆ ตลอดเวลาที่เครื่องส่งทำงาน วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์จะส่งสัญญาณเป็นช่วง ๆ ในช่วงแรกจะส่งสัญญาณให้วงจรขับเลเซอร์ไดโอดนำกระแสทำการส่งพัลส์ของแสงสั้น ๆ ออกไปชั่วขณะหนึ่ง แล้วให้เครื่องส่งหยุดทำงานในช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อรอให้พัลส์ของแสงที่สะท้อนจากปลายสายเดินทางสู่ภาครับเสียก่อน แล้วจึงทำการส่งพัลส์ของแสงในช่วงต่อไปเป็นช่วง ๆ การทำงานเช่นนี้ทำให้สามารถนำสัญญาณจากภาครับไปป้อนเข้าสู่ออสซิโลสโคป เพื่อดูรูปคลื่นของพัลส์ของแสงที่เริ่มส่งและสะท้อนกลับได้ตลอดเวลา

เครื่องส่งที่ออกแบบสามารถเขียนเป็น Block Diagram ได้ดังรูปที่ 4.3 วงจรเครื่องส่งทำงานใน 2 ลักษณะไม่พร้อมกัน โดยเลือกการทำงานที่ S_1 ในการวัดระยะความยาวของสาย จุดต่อสวิทช์ S_1 จะถูกต่อมาที่ตำแหน่ง One-shot วงจรทริกเกอร์ก็จะทำการกระตุ้นให้โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ทำการส่งพัลส์ลูกเดียวแล้วหยุดทำงานให้กับวงจรขับเลเซอร์ไดโอด จากนั้นเลเซอร์ไดโอดก็จะส่งพัลส์ของแสงออกไปพัลส์เดียวแล้วหยุดทำงาน หากจุดต่อของสวิทช์ S_1 ถูกต่อมาที่ตำแหน่ง CW เครื่องส่งจะทำการส่งพัลส์ของแสงและหยุดส่งพัลส์ของแสง และกระทำดังนี้สลับกันไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการทำงานเช่นนี้จะเป็นการนำสัญญาณจากภาครับมาป้อนที่ออสซิโลสโคป เพื่อมองดูรูปคลื่นของพัลส์ที่ส่งออกไปและสะท้อนกลับมาในสายได้

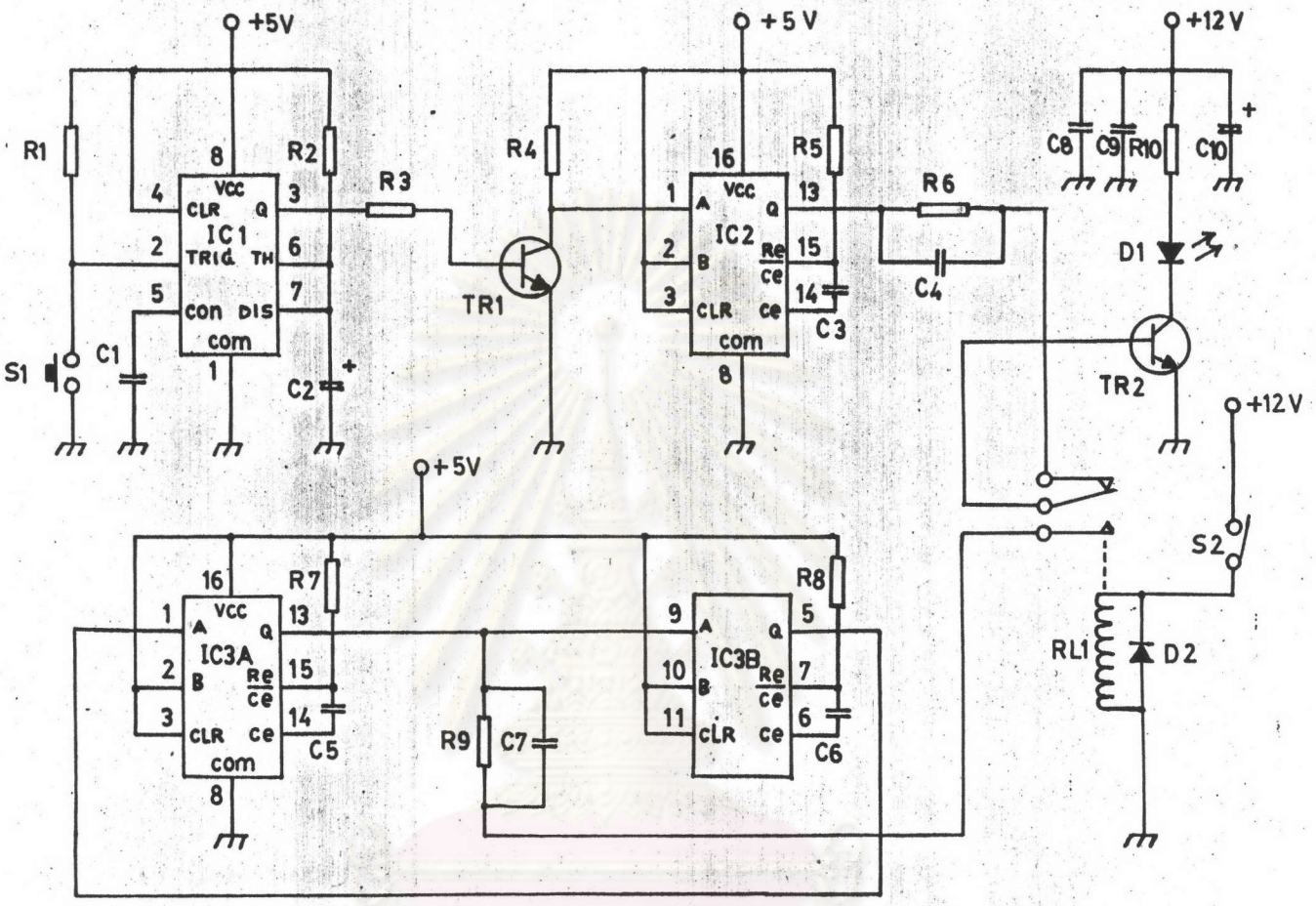


รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่งทั้งหมด

4.1.2 <u>รายละเอียดของวงจรและการทำงาน</u>

วงจรภาคส่งที่ออกแบบและสร้างขึ้นตามหลักการข้างต้นเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.4

การทำงานของวงจรส่งพัลส์ของแสงออกไป ลูกเดียว จะเริ่มจากการใช้จุดสัมผัสของรีเลย์ กับสวิทช์เป็นตัวเลือกการทำงาน 2 แบบ เมื่อ S_2 เปิดไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ อินพุทของวงจรขับไดโอดจะถูกต่อไปที่ IC_2 ซึ่งเป็นโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เริ่มจากวงจรทริกเกอร์ จะใช้ IC_1 เบอร์ 555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณกระตุ้นโดยการใช้ขอบขาลงของพัลส์มากระตุ้นให้ IC_1 ทำงานโดยการกด S_1 R_1 จะรักษาสภาวะลอจิก 1 รออยู่ที่ขาทริก ของ IC_1 เมื่อกด S_1 จะเกิดการเปลี่ยนสภาวะจากลอจิก 1 เป็นลอจิก 0 ที่ขาทริกของ IC_1 ในสภาวะนี้ IC_1 เริ่มทำงานโดยการเปลี่ยนสภาวะที่ขา 3 จากลอจิก 0 เป็น 1 ซึ่งระยะเวลาหนึ่งตามค่าของ RC time constant ซึ่งกำหนดได้จาก R_2C_2 ในกรณีนี้จะกำหนดช่วงระยะเวลาที่ขาเอาท์พุทของ IC_1 มีลอจิกเป็น 1 ชั่วขณะหนึ่งประมาณ 2.5 วินาที ซึ่งในช่วงเวลานี้แม้ว่ามีการกด S_1 ซ้ำ ๆ กัน วงจรทริกเกอร์ก็ยังไม่ทำการรับข้อมูลในช่วงเวลานี้ เป็นการป้องกันการสั่น (Bounce) ของสวิทช์ S_1 ได้อีกด้วย ดังนั้น TR_1 จะนำกระแสอยู่ประมาณ 2.5 วินาที เมื่อ TR_1 เริ่มนำกระแส สภาวะลอจิกของ IC_2 ที่ขา A จะเปลี่ยนระดับจาก 1 เป็น 0 IC_2 เริ่มทำงานโดยส่งพัลส์สั้น ๆ โดยที่มี R_3 เป็นตัวกำหนดกระแสให้กับขาเบสของ TR_1 และ R_4 ใช้รักษาสภาวะลอจิกที่เป็น 1 ไว้ตอนแรก และในขณะเดียวกันเป็นตัวกำหนดกระแสที่ไหลผ่านขาคอลเลคเตอร์ของ TR_1 อีกด้วย R_5 และ C_3 เป็น RC Time constant ซึ่งกำหนดความกว้างของพัลส์ที่จะป้อนให้กับวงจรขับเลเซอร์ไดโอด ซึ่งค่าเวลาดังกล่าวนี้ในการออกแบบจะใช้ IC_2 เบอร์ 74123 ซึ่งเป็นตระกูล TTL ใช้เป็นโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ จึงสามารถให้ค่าความกว้างของพัลส์ตั้งแต่ 100 ns ถึง 100 us จากการทดลองจะได้ค่าความกว้างของพัลส์ประมาณ 200 ns ซึ่ง IC_2 สามารถสร้างได้ดี ดังนั้นวงจรขับจะได้รับสัญญาณกระตุ้นเป็นเวลา 200 ns แล้วจึงหยุดทำงาน R_6 เป็นค่าความต้านทานที่กำหนดค่ากระแสเบสของ TR_2 C_4 เป็นคอนเดนเซอร์ที่ใช้แก้สเตรย์คาพาซิแตนซ์ของอินพุท TR_2 และในลายปริ้นท์ ค่าเวลา 200 ns ถูกกำหนดที่ R_3 และ C_3 ดังนั้นพัลส์สั้น ๆ มีช่วงเวลาประมาณ 200 ns จะถูกป้อนให้กับวงจรขับเลเซอร์ไดโอด โดยการใช้ TR_2 เป็นตัวทำให้เลเซอร์ไดโอดนำกระแส ในกรณีนี้เลเซอร์ไดโอดจะนำกระแสประมาณ 100 mA โดยที่ R 10 เป็นตัวกำหนดค่ากระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอด และเวลาที่ไดโอดเปล่งแสงเป็นเวลา 200 ns และได้กำลังแสงประมาณ 2.6 mW โดยการใช้เลเซอร์ไดโอดเบอร์ OD-8303 ค่าของ C_8, C_9, C_{10} เป็นคอนเดนเซอร์ซึ่งมีหน้าที่เป็น DE - Coupling เพื่อลดสไปค์ (spike) ต่าง ๆ จากแหล่งจ่ายไฟที่จะเข้ามารบกวนเลเซอร์ไดโอด อันอาจจะทำอันตรายแก่ตัวเลเซอร์ไดโอด



รายการอุปกรณ์ภาคส่ง

IC1	NE555	RL1	Relay	12 V			
IC2	SN74123	R1	33 KΩ	1/2 W	C1	.01 µF	50 V
IC3	SN74123	R2	240 KΩ	1/2 W	C2	4.7 µF	50 V
TR1	2SC458	R3, R4	2.2 KΩ	1/2 W	C3, C4, C5, C7,	10 pF	50 V
TR2	2SC717	R5, R7	10 KΩ	1/2 W	C6, C8	.001 µF	50 V
D1	OD-8303	R6, R9	1 KΩ	1/2 W	C9	.1 µF	50 V
D2	1n4148	R8	120 KΩ	1/2 W	C10	100 µF	16 V
		R10	68 Ω	1/2 W			

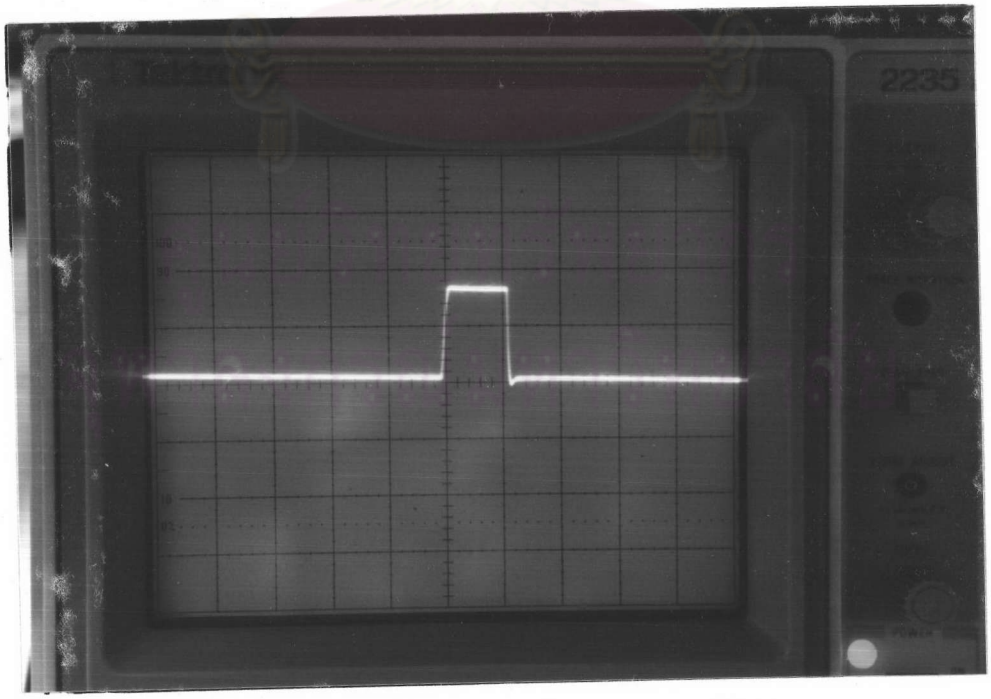
รูปที่ 4.4 วงจรภาคส่งที่สร้างขึ้น

ในการทำงานของส่วนที่เป็นการส่งพัลส์ติดต่อกันนั้น ตำแหน่งจุดต่อของ S_2 จะทำการบิด มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ จุดสัมผัสของรีเลย์จะต่อเอาท์พุทของอะสเตเบิลมัลติ-ไวเบรเตอร์เข้ากับอินพุทของวงจรขับเลเซอร์ไดโอด วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์นั้นสร้างได้โดยการใช้ IC_3 เบอร์ 74123 ซึ่งทำหน้าที่เป็นโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์มาต่อกัน 2 ตัว โดยการนำมาต่อกันลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.4 IC_{3A} จะทำหน้าที่ทำให้วงจรขับเลเซอร์ไดโอดนำกระแส มีเวลานำกระแสประมาณ 200 ns กำหนดได้จากค่า R_7 และ C_5 ซึ่งเป็น RC Time constant และ IC_{3B} จะทำหน้าที่ทำให้วงจรขับเลเซอร์ไดโอดหยุดนำกระแสเป็นเวลา 80 μs ซึ่งกำหนดค่าเวลาได้จากค่า R_8 และ C_6 ซึ่งเป็นค่า RC Time constant และการทำงานของ IC_3 จะเป็นดังนี้ซ้ำกันตลอดเวลา ซึ่งในช่วงเวลา 200 ns เอาท์พุทของ IC_3 จะมีสภาวะลอจิกเป็น 1 และมีลอจิกเป็น 0 เป็นเวลา 80 μs สลับกันไป TR_2 จะเริ่มนำกระแสในสภาวะลอจิกที่เป็น 1 และหยุดนำกระแสเป็นเวลา 80 μs สลับกันไปเช่นเดียวกัน ซึ่งทำให้เลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงอินฟาเรดออกมาเป็นช่วง ๆ ดังกล่าวข้างต้น

4.1.3 <u>ผลการทดลองวงจรภาคส่ง</u>

(1) ในการทำงานที่เป็นแบบส่งพัลส์เดียว จากรูปที่ 4.4 เครื่องส่งจะส่งออกไปพัลส์เดียวแล้วหยุดทำงาน ซึ่งทำการวัดค่าต่าง ๆ ที่จำเป็น เช่น

1) เวลาของพัลส์แคบ ๆ ที่เลเซอร์ไดโอดส่งออกไปได้ช่วงเวลา 200 ns ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปพัลส์ของกระแสที่กระตุ้นเลเซอร์ไดโอด
(2V/div, 0.2μs/div)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอดประมาณ 0.85 μm

3) วัดค่าเอาท์พุทเพาเวอร์จากเลเซอร์ไดโอดได้ประมาณ 2.6 mW ในขณะที่ขนาดของกระแสที่จ่ายให้เลเซอร์ไดโอดเป็น 100 mA

(2) ในการทำงานที่เป็นแบบส่งพัลส์ต่อเนื่อง ภาคส่งจะส่งพัลส์ของแสงออกไปเป็นช่วง ๆ ช่วงละ 200 ns และช่วงระหว่างพัลส์เป็น 80 μs ทำการวัดค่าต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้

1) เวลาของพัลส์แคบ ๆ ที่ทำให้เลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงอินฟาเรดประมาณ 200 ns

2) เวลาของพัลส์ที่ทำให้เลเซอร์ไดโอดหยุดเปล่งแสงอินฟาเรดประมาณ 80 μs

3) ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอดประมาณ 0.85 μm

4) วัดค่าเอาท์พุทจากเลเซอร์ไดโอดได้ประมาณ 2.6 mW ขนาดของกระแสที่จ่ายให้เลเซอร์ไดโอดเป็นประมาณ 100 mA

จากผลการทดลองได้ตามที่ต้องการทุกประการ และนำไปใช้งานได้จริง

4.2 วงจรภาครับ

วงจรภาครับในที่นี้จะประกอบไปด้วย วงจรรับแสง วงจรขยาย วงจรเปรียบเทียบแรงดัน และวงจรควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 หลักการออกแบบวงจรภาครับ

ตามความต้องการที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 วงจรภาครับจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ

(1) ภาครับต้องมีความไวต่อการรับสัญญาณเพียงพอ เนื่องจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมานั้นอ่อนมาก

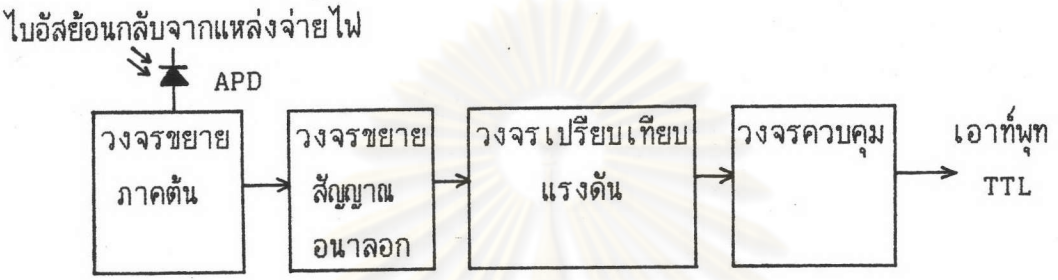
(2) มีความสามารถในการตอบสนองทางความถี่ได้สูงพอ

(3) สามารถขยายสัญญาณโดยไม่ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยน

(4) มีสัญญาณรบกวนต่ำ

ในการรับสัญญาณจะใช้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำประเภท APD ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วทำการขยายสัญญาณไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานอีกครั้งหนึ่ง การใช้ APD มีข้อดีคือ มีความไวในการรับแสงสูงและการตอบสนองความถี่ดีกว่า PD ทั่ว ๆ ไป อย่างไรก็ตาม APD มีความยุ่งยากกว่าคือต้องการแหล่งจ่ายไฟสูงประมาณ 150 ถึง 220 โวลท์ การที่ APD มีความไวสูงนั้นเป็นเพราะ APD มีอัตราขยายทางกระแสสูงกว่า PD ทั่ว ๆ ไปมาก ซึ่งดูได้จาก characteristic curve ของ APD

ในภาคผนวก ข. ซึ่งแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างการขยายทางกระแส และแรงดันที่จ่ายให้กับตัว APD จะสังเกตได้ว่า ถ้าให้ไบอัส APD ไว้ที่ 200 โวลท์ ความยาวคลื่น 0.85 μm เราจะได้การขยายกระแสของ APD เท่ากับ 10 เท่า ถึงแม้ว่า APD จะมีความไวในการรับแสงไวกว่า PD แบบอื่น ๆ ทั่วไป แต่ขนาดของสัญญาณที่นำไปใช้งานจริงยังไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณให้มีระดับสูงขึ้นในระดับของสัญญาณ TTL ดังนั้นวงจรภาครับจึงประกอบด้วยวงจรย่อย ๆ ตามไดอะแกรมในรูปที่ 4.6 ซึ่งการขยายสัญญาณอนาลอกนี้อาจจะทำได้โดยอาศัยออปแอมป์



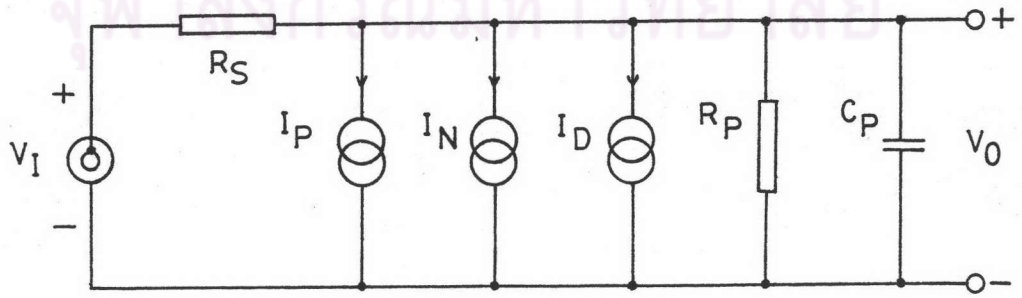
รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของภาครับ

จากไดอะแกรมในรูปที่ 4.6 จะเห็นความสำคัญของภาครับได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในการพิจารณาออกแบบในแต่ละส่วนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในที่นี้จะเริ่มจาก APD ก่อนเป็นอันดับแรก โดยทำการทดลองวัดคุณสมบัติของ APD ก่อน เนื่องจากภาคส่งสัญญาณจากเครื่องส่งจะทำการส่งพัลส์ขนาดที่มีพัลส์วิดท์ 200 ns และช่วงทวนพัลส์ (pulse repetition) 80 μs ดังนั้นความสามารถในการตอบสนองความถี่ของวงจรทุกภาคจะต้องมีแบนด์วิทด์ไม่ต่ำกว่า 5 MHz ดังนั้นการวัดคุณสมบัติของโฟโตไดโอดจึงคำนึงในจุดนี้ จากการศึกษาวงจรสมมูลย์ของ APD ตามรูปที่ 4.7 โดยที่

I_p คือ กระแสที่เกิดจากการรับแสง I_N คือ กระแสที่เกิดจากสัญญาณรบกวน

I_D คือ กระแสที่เกิดจากการให้รีเวอสไบอัส R_p คือ ค่าความต้านทานขนาน

C_p คือ ค่าความจุขนาน

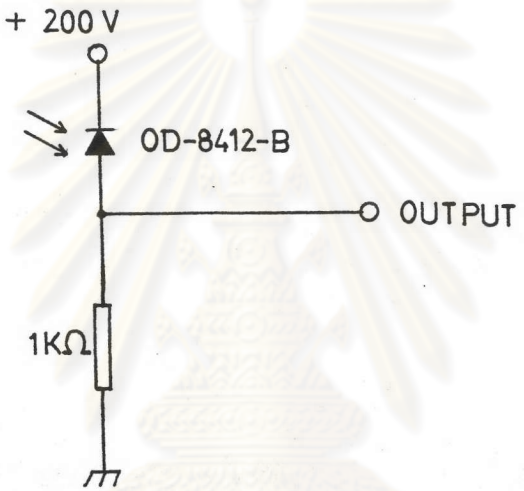


รูปที่ 4.7 วงจรสมมูลย์ของ APD

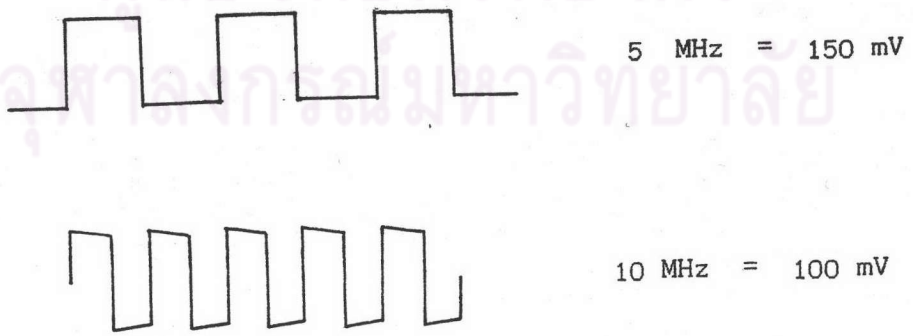
ดังนั้นจะได้

$$\text{ค่า Cut off Frequency} = \frac{1}{2\pi R_s C_p} \text{ Hz}$$

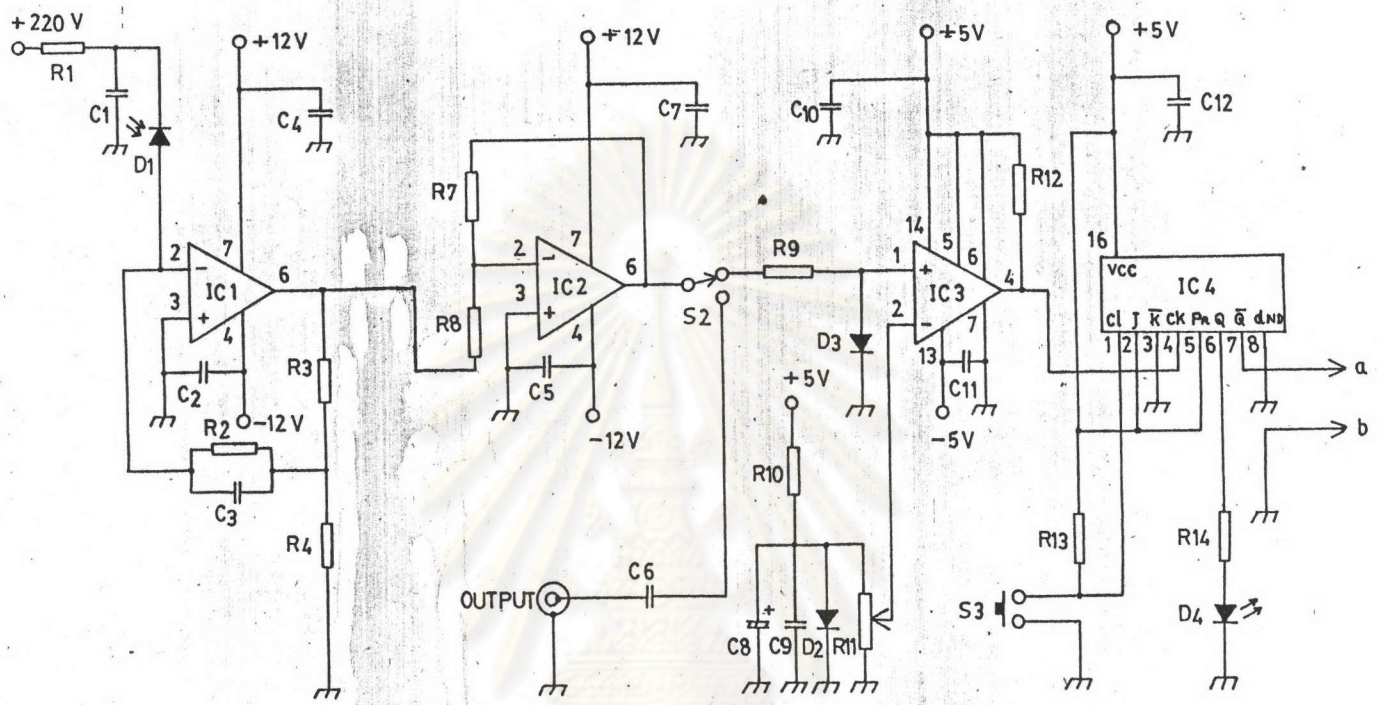
โดยทั่วไปค่า R_s น้อยกว่าค่าของความต้านทานโหลดมาก $R_s << R_p$ ค่า R_s สามารถตัดทิ้งได้ และค่า Cut off Frequency ขึ้นอยู่กับค่า R_s และ C_p ค่า C_p เป็นคุณสมบัติของตัว APD เอง แต่ค่า R_s สามารถควบคุมได้ จากนั้นทำการทดลองโดยใช้ APD เบอร์ OD-8412-B โดยต่อวงจรตามรูปที่ 4.8 โดยการให้ APD รับสัญญาณแสงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตอบสนองความถี่ได้สูงประมาณ 5 MHz แล้วทำการวัดขนาดเอาท์พุทจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสในรูปของแรงดันตกคร่อมความต้านทาน 1 kΩ



รูปที่ 4.8 วงจรทดสอบคุณสมบัติของ APD



รูปที่ 4.9 การตอบสนองความถี่ของ OD-8412-B



รายการอุปกรณ์ภาครับ

IC1, IC2	LF357	R1	1 MΩ	1/2 W	R10	470 Ω	1/2 W	C1	.033 µF	400 V
IC3	SN75108	R2	100 KΩ	1/2 W	R11	1 KVR	1/2 W	C2, C4, C5, C7, C10, C11, C12, C9		
IC4	SN74109	R3	20 KΩ	1/2 W	R12	470 Ω	1/2 W		0.1 µF	50 V
D1	APD	R4	5 KΩ	1/2 W	R13	2.2 KΩ	1/2 W	C3	2 pF	50 V
D2	1n4148	R7	10 KΩ	1/2 W	R14	1 KΩ	1/2 W	C6	.002 µF	50 V
D3	1n4148	R8	1 KΩ	1/2 W				C8	10 µF	16 V
D4	LED	R9	1.5 KΩ	1/2 W						

รูปที่ 4.10 วงจรขยายสัญญาณจาก APD โดยการใช้ออปแอมป์ LF357 2 ภาค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรายละเอียดคุณสมบัติของ OD-8412-B พบว่าการให้ไบอัสกลับทาง (Reverse Bias) 200 V จะให้ Terminal Cupacitance (C_p) ประมาณ 3 5pF 50 MHz เป็นค่าทางทฤษฎี จากการทดลองได้ผลตามรูปที่ 4.9 ถึงแม้ความถี่สูงขึ้นถึง 10 MHz ก็ยังคงเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมอยู่

จึงนับว่า APD เบอร์ OD-8412-B ใช้งานตามความถี่ที่ต้องการได้ดีทีเดียว

4.2.2 <u>รายละเอียดของวงจรและการทำงาน</u>

การขยายสัญญาณ APD โดยการใช้ออปแอมป์นั้น จะต้องเลือกออปแอมป์ที่มีคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่สูง ๆ จากการเสาะหาพบว่าถ้าใช้ออปแอมป์เบอร์ LF357 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่มีโครงสร้างเป็น BI FET ทำให้มีสัญญาณรบกวนต่ำ เนื่องจากมีอินพุท-อิมพิแดนซ์สูงกว่าพวกออปแอมป์ที่มีโครงสร้างเป็น Bipolar Transistor และสามารถให้ Unity gain bandwidth product มีค่าเท่ากับ 20 MHz ซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองออกแบบได้วงจรดังรูปที่ 4.10

การออกแบบได้แบ่งการทำงานของวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะใช้ออปแอมป์ 1 ตัว ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันด้วยอัตราการขยาย -500 kΩ และในส่วนหลังจะใช้ออปแอมป์อีก 1 ตัว ทำหน้าที่ขยายแรงดันด้วยอัตราขยาย 10 เท่า เมื่อรวมอัตราการขยายของวงจรทั้งหมดจะได้ 5 MΩ หรือจะเปรียบเทียบได้ว่า ถ้ามีกระแสไหลใน APD เท่ากับ 1 μA จะทำให้เกิดเอาท์พุทที่เป็นสัญญาณอนาลอกมีค่า 5 V ซึ่งสูงพอสำหรับการนำมาใช้งาน

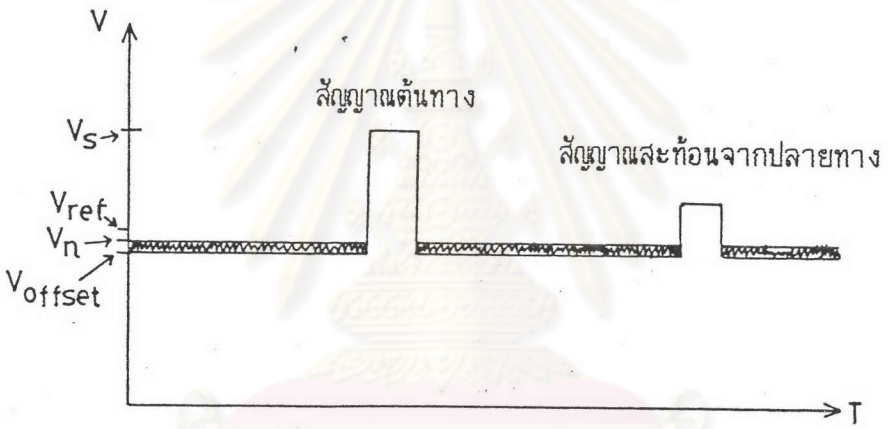
เมื่อทำการวัดคุณสมบัติของวงจรโดยวัดความสามารถในการรับแสงและการตอบสนองความถี่ จากการทดลองพบว่าเมื่อมีอินพุทเข้ามา 0.026 μW จะทำให้เกิดเอาท์พุทขนาด 3 V โดยที่มีความสามารถในการตอบสนองความถี่ คิดจากพัลส์วิดท์ที่ 200 ns และช่วงทวนพัลส์ 80 μs มีสัญญาณรบกวนประมาณ 10 mV

สัญญาณที่ออกจากภาครับที่เป็นแบบอนาลอก จะถูกนำไปมอนิเตอร์ด้วยออส-ซิโลสโคป ดูรูปคลื่นของพัลส์ของแสงที่ส่งผ่านเส้นใยแสง โดยการเลือกด้วยสวิทช์ S_2

ส่วนสัญญาณที่ออกจากภาครับที่เป็นแบบอนาลอกที่ได้รับพัลส์ 2 ลูก คือ พัลส์ที่สะท้อนจากต้นทาง และพัลส์ที่สะท้อนกลับมาจากปลายสายที่ขาด ซึ่งเป็นตอนที่เครื่องส่งทำงานในลักษณะของการวัดระยะทาง สัญญาณในส่วนที่รับได้นี้จะต้องทำการเปลี่ยนแปลงจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล เพราะในการทำงานของสัญญาณต่าง ๆ หลังจากภาครับนี้ไปแล้วจะเป็นระดับสัญญาณดิจิตอลทั้งหมด

สำหรับในการทำงานในลักษณะของการวัดระยะทางโดยแสดงเป็นตัวเลข สัญญาณที่ขยายแล้วนี้จะต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล จึงจะนำไปใช้งานในส่วนที่เป็นเกทต่าง ๆ ที่เป็นดิจิตอลได้

วงจรที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยทั่วไปจะใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงและแรงดันที่เป็นระดับของสัญญาณที่ต้องการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอลหลักการทำงานก็คือ เมื่อรับสัญญาณที่เข้ามาจะประกอบไปด้วย แรงดันของสัญญาณที่ต้องการ (V_s) + แรงดันสัญญาณรบกวน (V_n) + แรงดันของภาคขยายอนาลอกที่ไม่เป็นศูนย์ (Voffset) ดังนั้นจึงต้องทำการแยกสัญญาณที่ต้องการ โดยทำการเปรียบเทียบ $V_s + V_n$ + Voffset กับแรงดันอ้างอิงของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (V_{ref}) โดยที่ค่าของ V_{ref} จะต้องตั้งไว้สูงกว่า $2V_n$ + Voffset เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาด เมื่อ V_s ต่ำกว่าระดับของ V_n ตัวเปรียบเทียบก็จะให้เอาท์พุทออกมาเป็นลอจิก "0" แต่ถ้า $V_s + V_n$ + Voffset สูงเกินค่าของ V_{ref} แล้ว ตัวเปรียบเทียบก็จะให้ลอจิกเป็น "1" ดังรูปที่ 4.11 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จากภาคขยายสัญญาณอนาลอก



รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ได้จากภาคขยายอนาลอก

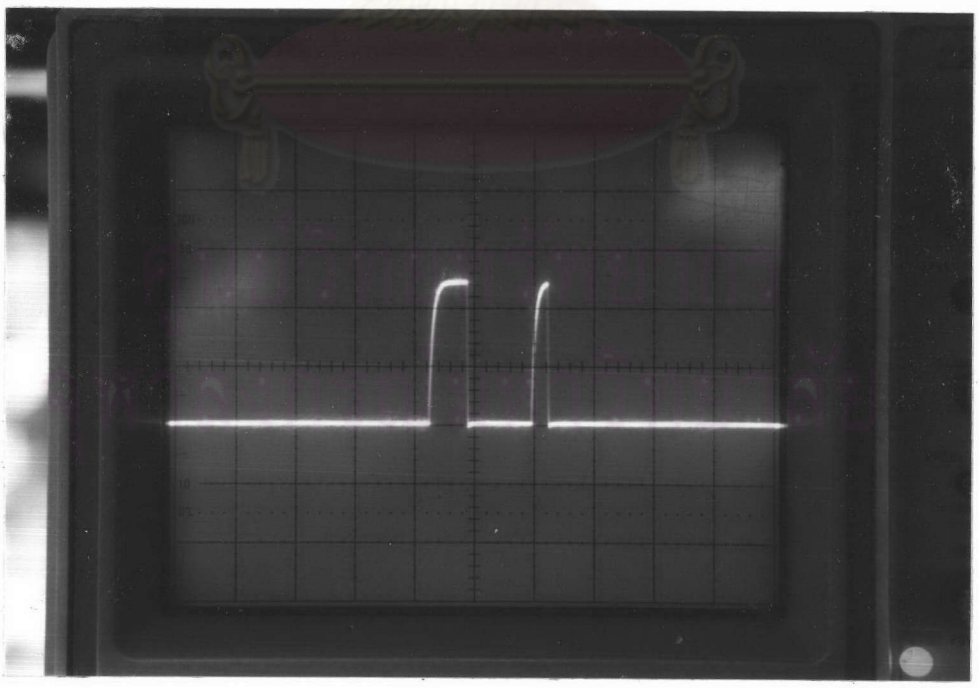
วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่นำมาใช้งานนั้นต้องมีผลตอบสนองความถี่ได้เท่ากันกับภาคขยายอนาลอก และจะต้องให้สัญญาณที่เป็นดิจิตอลโดยไม่ผิดเพี้ยนความไวในการเปรียบเทียบระดับของสัญญาณที่เข้ามา ในที่นี้เลือก IC ตระกูล TTL ที่ทำหน้าที่เป็น Line Receiver มาทำเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งมีความไวในการรับสัญญาณตั้งแต่ 10 mV ขึ้นไป และผลตอบสนองความถี่ที่ 5 MHz ให้เอาท์พุทระดับ TTL มีระดับลอจิก "1" ที่ 3 V และระดับลอจิก "0" ที่ 0.2 V IC ที่ทำหน้าที่ในส่วนนี้คือ 75108 เนื่องจาก IC เป็นแบบ Open Collector จึงต้องทำการต่อค่า R_{12} ที่เอาท์พุทที่ขาอินพุทจะต่อไดโอดทำหน้าที่รักษาระดับสัญญาณขาเข้าไม่ให้เกิน 0.6 V เป็นการป้องกัน IC เสียเพราะจุดนี้จะรับพัลส์ที่เครื่องส่ง ส่งพัลส์แรกมีความแรงดันของสัญญาณสูงมากประมาณ 12 V ส่วนขาที่เป็นแรงดันอ้างอิงของ IC 75108 คือขาที่ 2 จะถูกต่ออยู่กับแรงดันอ้างอิงแบบปรับค่าได้ จาก 0 V คือ 0.6 V โดยมีไดโอด D_2 รักษาระดับแรงดัน

ให้คงที่ และมี R_{11} เป็นตัวควบคุมแรงดันปรับค่าได้จาก 0 V ถึง 0.6 V มีคอนเดนเซอร์ดีคัปปลิงไว้ป้องกันริพเพิลของแหล่งจ่ายไฟ ค่า R_{10} มีไว้จำกัดกระแสที่ไหลผ่านไดโอด D_2 ซึ่งวงจรภาคนี้เรียกว่าเป็น เทรสโซลด์ดีเทคเตอร์ในส่วนที่เป็นภาครับ วงจรที่ออกแบบแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งเขียนรวมอยู่กับภาครับไว้แล้ว

4.2.3 ผลการทดลองและปรับแต่งระดับแรงดันอ้างอิง

การปรับแต่งระดับแรงดันอ้างอิงของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะได้เป็น 2 V_n + voffset จากการทดลอง V_n ของภาคขยายสัญญาณอนาลอกประมาณ 10 mV_{p-p} Voffset ประมาณ 50 mV ดังนั้นตั้งแรงดันอ้างอิงไว้ที่ 100 mV ดังนี้ จะมีผลต่อสัญญาณที่รับเข้ามาที่ขาอินพุทที่สูงกว่า 100 mV ขึ้นไป จะทำให้ได้ลอจิกทางเอาท์พุทเป็น "1" และหากสัญญาณขาเข้าน้อยกว่า 100 mV แล้ว จะทำให้วงจรทางเอาท์พุทมีลอจิกเป็น "0"

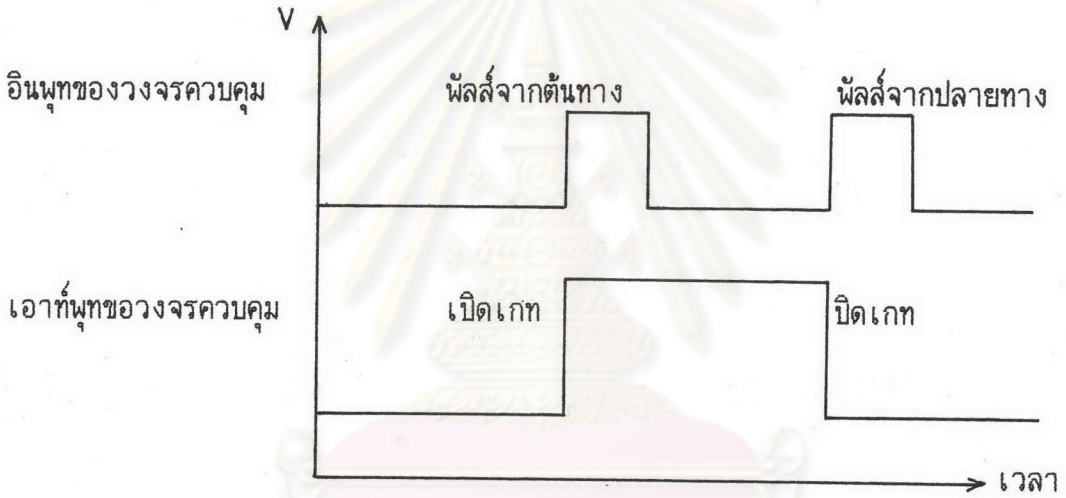
จากรูปที่ 4.12, เป็นรูปของวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่แสดงถึงระดับลอจิกทางเอาท์พุท และผลตอบสนองทางความถี่ จะเห็นได้ว่าสัญญาณขาเข้าที่อินพุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันมีระดับไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงถึงพัลส์ลูกแรกและพัลส์ที่สะท้อนกลับมาจากปลายสายลูกที่สอง แต่เมื่อผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดันแล้ว จะมีระดับของแรงดันเป็น TTL เท่ากันทั้ง 2 ลูก



รูปที่ 4.12 ระดับลอจิกเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน
(5V/div, 2μs/div)

4.2.4 การสร้างวงจรควบคุม

สัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบนี้เป็นแบบดิจิตอลแล้ว จึงนำไปป้อนให้แก่วงจรควบคุมเพื่อทำการเปิดและปิดเกทในภาควงจรนับ ให้วงจรนับสามารถนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาและหยุดนับได้ รูปร่างของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่วงจรควบคุมนั้นเป็นดังรูปที่ 4.13 ประกอบไปด้วยสัญญาณของพัลส์ลูกแรก และพัลส์ลูกที่สองที่สะท้อนจากปลายสายขาด ซึ่งมีระดับลอจิกเป็นแบบ TTL ซึ่งจะนำไปสร้างสัญญาณที่ใช้ในการเปิดและปิดเกทของวงจรนับจำนวนพัลส์ สัญญาณที่ใช้ในการเปิดและปิดเกทนั้นจะมีสภาวะการเปิดเกทในช่วงที่เริ่มต้นมีพัลส์จากต้นทาง เข้ามายาวนานไปถึงกระทั่งสัญญาณพัลส์จากปลายทางสะท้อนกลับมา จึงทำการปิดเกท เมื่อพิจารณาให้ดีแล้วสัญญาณทางด้านอินพุทของวงจรควบคุมจะมี 2 พัลส์ และทางเอาท์พุทของวงจรควบคุมจะออกเป็น 1 พัลส์ การทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้จะตรงกันกับการทำงานของฟลิปฟลอปแบบ Toggle

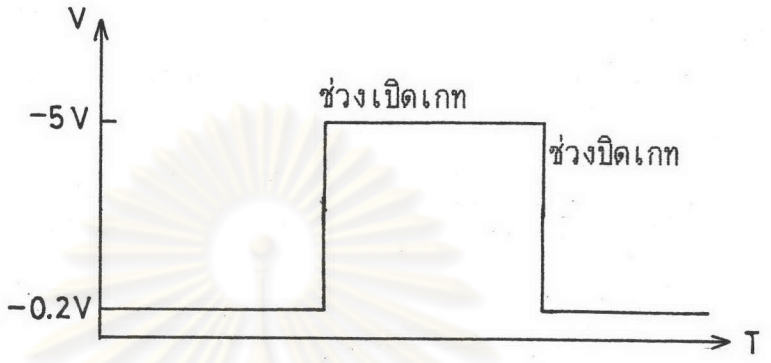


รูปที่ 4.13 รูปร่างของสัญญาณที่ป้อนสู่วงจรควบคุม และรูปร่างของสัญญาณที่ออกจากวงจรควบคุม

ในการเปิดเกทจะใช้การจับขอบขาขึ้นของพัลส์จากต้นทาง ส่วนการปิดเกทนั้นจะใช้การจับขอบขาขึ้นของพัลส์จากปลายทาง

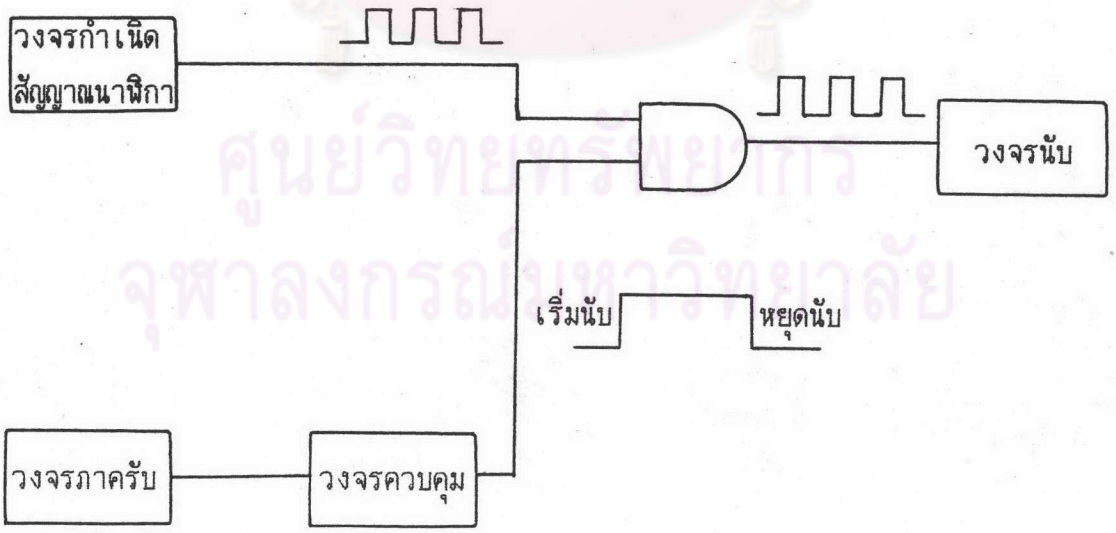
ฟลิปฟลอปแบบ Toggle สามารถสร้างได้จาก ฟลิปฟลอปแบบ JK ในที่นี้เลือกใช้ IC เบอร์ 74109 ซึ่งเป็นฟลิปฟอปซึ่งทำงานจากขอบขาขึ้นของสัญญาณที่ป้อนเข้ามาทางอินพุท และสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ 40 MHz ลักษณะการต่อวงจรเป็นดังรูปที่ 4.10 ซึ่งเขียนรวมไว้กับวงจรภาครับในช่วงสุดท้าย สวิทช์ S_2 มีไว้ลบข้อมูลที่ค้างในตัวฟลิปฟลอป ซึ่งใช้ในการเริ่มต้นขณะเริ่มทำการวัด ในการลบข้อมูลที่ขา CL ของ

IC จะทำงานที่ขอบขาลงของพัลส์ ดังนั้นทำการต่อ R_{13} เพื่อดึงสภาวะลอจิกให้เป็น 1 อยู่ตลอดเวลา เมื่อกด S_2 ที่ขา CL จะเป็นสภาวะจากลอจิก "1" เป็น "0" จึงลบข้อมูลที่ค้างอยู่ได้ ส่วน LED เป็นตัวแสดงสภาวะของการลบข้อมูล เมื่อข้อมูลถูกลบ LED จะดับ ส่วนเอาท์พุทของฟลิปฟลอปที่ขา $\overline{Q}$ จะถูกนำไปต่อกับเกทในวงจรภาคนับสัญญาณนาฬิกา ลักษณะของสัญญาณของฟลิปฟลอปที่ขา $\overline{Q}$ นี้แสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งระดับของลอจิก



รูปที่ 4.14 สัญญาณที่ใช้ในการเปิด-ปิดเกท

นั้นสามารถนำไปป้อนเข้าที่เกทของวงจรภาคนับสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็น IC ตระกูล ECL ได้ เพราะเนื่องจากช่วงสัญญาณที่เป็นลบ 5 V เกทแบบ ECL จะเปิดยอมให้สัญญาณนาฬิกาจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาผ่านไปได้ ซึ่งเกทที่ใช้ในการเปิดปิดนี้เป็นแอนด์เกทธรรมดา การทำงานในขั้นตอนนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 เห็นได้ว่าเราใช้คุณสมบัติของ



รูปที่ 4.15 สัญญาณต่าง ๆ ที่ป้อนเข้าสู่เกทของวงจรภาคนับสัญญาณนาฬิกา

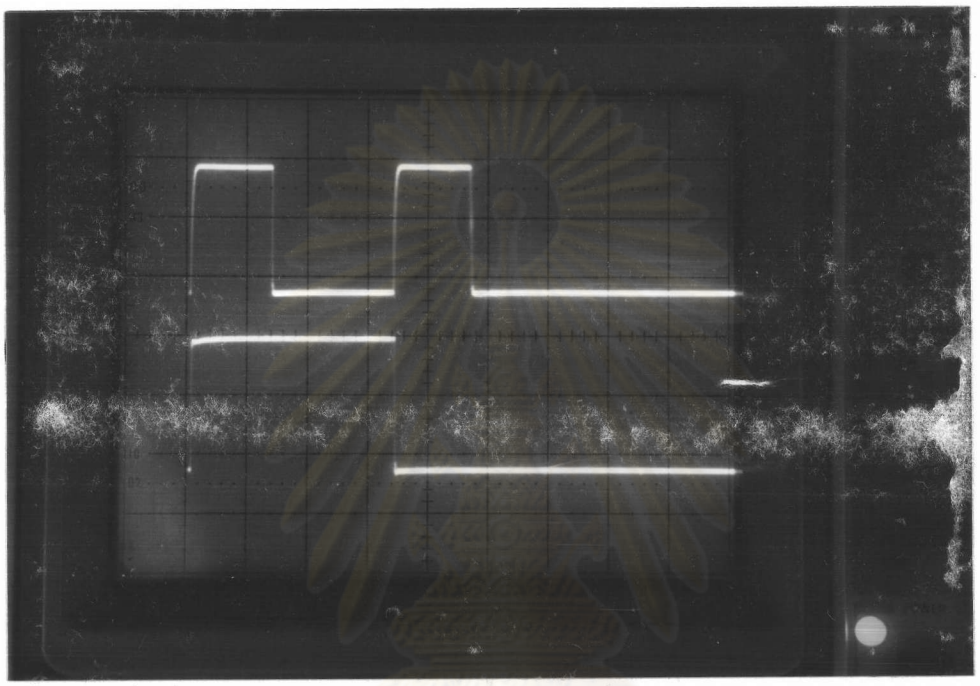
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แอนด์เกทเป็นตัวที่ทำให้เกิดการทำงานในลักษณะนี้ขึ้น กล่าวคือเมื่ออินพุทของแอนด์เกทเป็น 1 เหมือนกันทั้งคู่ จะมีเอาท์พุทออกมา ซึ่งเป็นขั้นตอนของการเริ่มนับ หากขาอินพุทใดอินพุทหนึ่งมีสภาวะไม่เหมือนกันแล้ว จะไม่มีเอาท์พุทออกมาจากเกท ซึ่งเป็นขั้นตอนที่หยุดนับ

เมื่อทำการทดลองวัดคุณสมบัติของวงจรควบคุมที่ความถี่ 5 MHz ได้ผลดังนี้

ระดับของลอจิกที่เป็น 1 วัดได้ 4 V

ระดับของลอจิกที่เป็น 0 วัดได้ 0.2 V



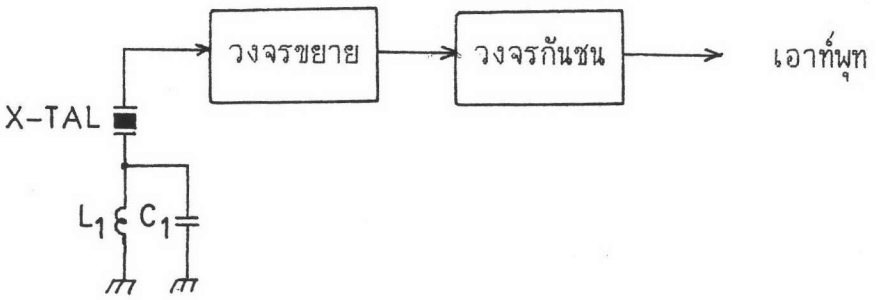
รูปที่ 4.16 รูปถ่ายของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทของวงจรควบคุม (2V/div, 1μs/div)

4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

4.3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยทั่วไปแล้วจะทำได้หลายแบบ เช่น การใช้อุปกรณ์พวก RC, LC หรือใช้ X-TAL เป็นตัวกำเนิดความถี่ แบบที่จัดว่าดีที่สุดคือการใช้อุปกรณ์พวก X-TAL เป็นตัวกำเนิดความถี่ ซึ่งให้เสถียรภาพความมั่นคงในการสร้างความถี่ได้ดี และมีความเที่ยงตรงสูง หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 4.17 ประกอบด้วยวงจรแทงค์จูนด์, โอเวอร์โทนคริสตัล, วงจรขยาย และวงจรกันชน

เนื่องจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้มีความถี่สูงมากประมาณ 100 MHz ดังนั้นจึงเลือก IC ตระกูลอีซีแอลเบอร์ 10116 ซึ่งทำหน้าที่เป็นไลน์รีซีฟเวอร์ แบบความ



รูปที่ 4.17 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เร็วสูงมาใช้งานร่วมกันกับโอเวอร์โทนคริสตัล 100 MHz วงจรแทงค์จูนด์จะถูกปรับไว้ให้รีโซแนนท์ที่ความถี่ 100 MHz ลักษณะของวงจรที่ออกแบบดังในรูปที่ 4.18 สัญญาณความถี่ 100 MHz ที่ได้จากโอเวอร์โทนคริสตัลกับวงจรแทงค์จูนด์ทำงานร่วมกัน ถูกขยายให้มีความแรงขึ้นด้วย IC เบอร์ 10116 เป็นภาคแรก สัญญาณที่ได้ยังเป็นไซน์เวฟอยู่ จากนั้นผ่านเข้าสู่วงจรกันชนเป็นภาคที่สองปรับรูปคลื่นให้เป็นคลื่นสี่เหลี่ยม มีระดับลอจิกเป็นแบบ ECL ซึ่งต้องการไฟเลี้ยงประมาณ -5.2 V

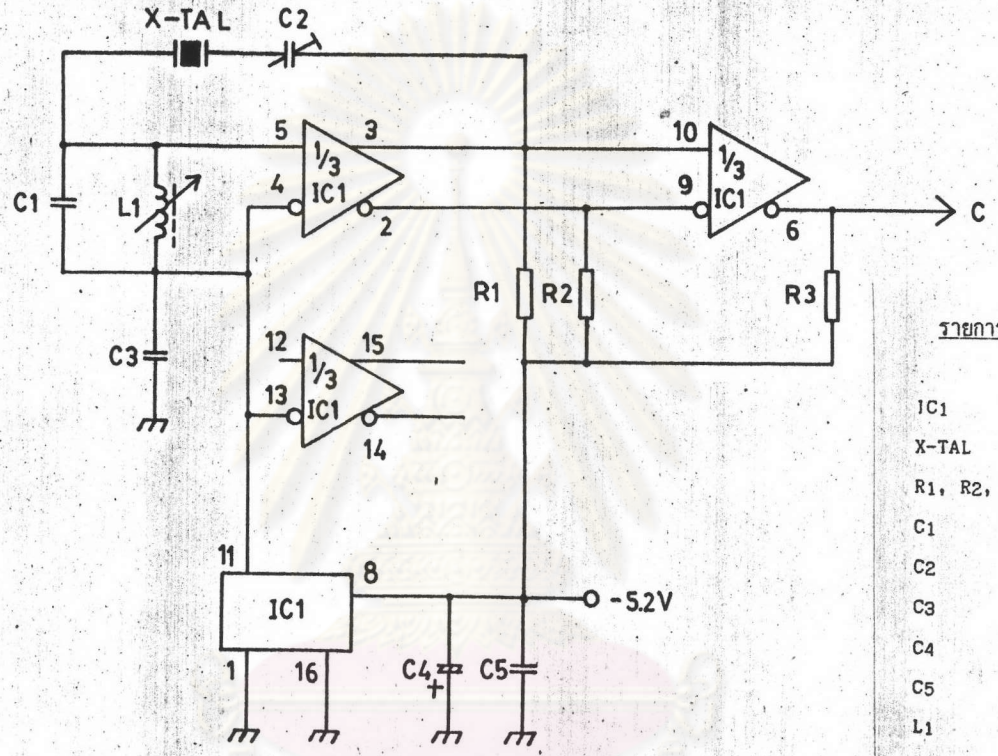
ระดับลอจิกที่เป็น 1 จะมีแรงดันเป็น -0.98 V

ระดับลอจิกที่เป็น 0 จะมีแรงดันเป็น -1.75 V

ค่าของวงจรแทงค์จูนด์คำนวณได้จากสูตร $f \simeq \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ Hz ซึ่งจะได้ค่า L ประมาณ 0.33 μH และค่า C ประมาณ 9-35 pF ที่ความถี่ประมาณ 100 MHz ค่า C .001 μF ที่ต่อกับแทงค์จูนด์มีไว้เพื่อป้องกันการจ่ายไฟ V_{BB} ไม่ให้ออสซิเลตค่ารีซิสเตอร์ 510 Ω เป็นพูลดาวน์รีซิสเตอร์ (Pull Down Resistor) C_2 มีค่า 5-25 pF มีไว้ปรับให้ความถี่เปลี่ยนไปเล็กน้อยตามค่าของ n_1 ในเส้นใยแสงโดยทั่วไป n_1 ของเส้นใยแสงประมาณ 1.5 ดังนั้นความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะผลิตประมาณ 100 MHz หาก n_1 เปลี่ยนไป 1.4 จะได้ความถี่ประมาณ 107.14 MHz หรือ n_1 เปลี่ยนเป็น 1.6 จะได้ความถี่ประมาณ 93.75 MHz ความถี่ที่เปลี่ยนไปนี้สามารถปรับได้โดยการปรับค่า C_2 ซึ่งสามารถปรับค่าความถี่ในการออสซิเลตได้ประมาณ 90-110 MHz โดยปกติจะตั้งความถี่ไว้ที่ 100 MHz ตามค่า n_1 ในเส้นใยแสงประมาณ 1.5 พอดี เอาท์พุทของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกานี้จะถูกนำไปป้อนให้กับวงจรนับจำนวนพัลส์ต่อไป

4.3.2 <u>ผลการทดลองของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา</u>

จากการทดลองโดยใช้ Frequency counter ทำการวัดพบว่า วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นสามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 90-110 MHz และให้ระดับลอจิกที่เป็น 0 ที่แรงดัน -1.75 V ลอจิกที่เป็น 1 ที่แรงดัน -0.98 V ซึ่งสามารถนำไป



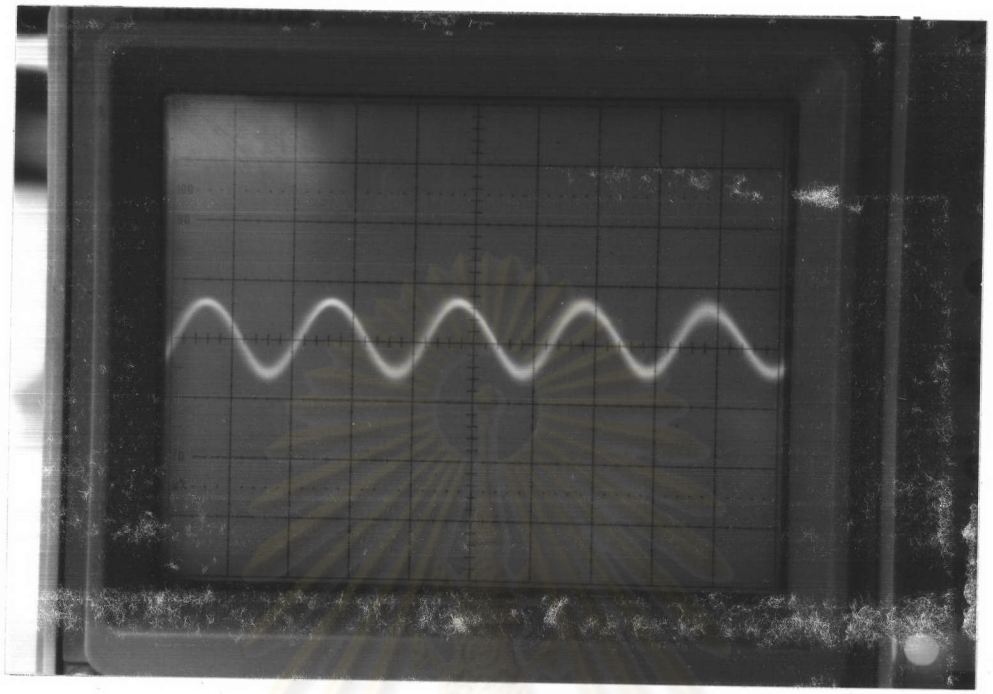
รายการอุปกรณ์ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

IC1	MC10116	
X-TAL	100 MHz	
R1, R2, R3	500 Ω	1/4 W
C1	15 pF	50 V
C2	5-25 pF	
C3	.001 µF	50 V
C4	33 µF	16 V
C5	0.1 µF	50 V
L1	0.33 µH	

รูปที่ 4.18 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ป้อนเข้าสู่วงจรนับจำนวนพัลส์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 รูปถ่ายของสัญญาณนาฬิกาความถี่ 100 MHz
(1V/div, 0.1μs×10/div)

4.4 วงจรนับจำนวนพัลส์และวงจรแสดงผล

4.4.1 การออกแบบวงจรนับพัลส์และวงจรแสดงผล

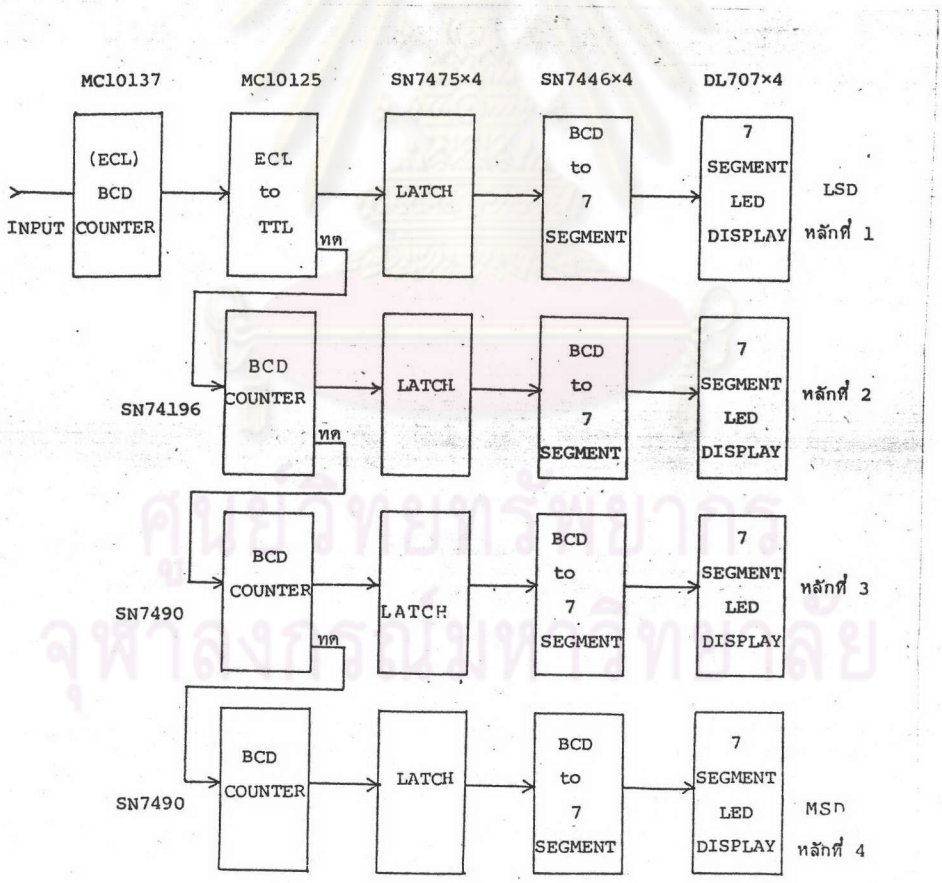
โดยทั่วไปอุปกรณ์การนับทางดิจิตอลสามารถนับได้หลายแบบ เช่น นับความถี่, นับคาบเวลา และนับจำนวนพัลส์ ในการนับจำนวนพัลส์สามารถนำไปใช้ในการนับจำนวนสิ่งของต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ผ่านไปมา โดยที่มีสิ่งของผ่านไป 1 ชิ้น วงจรนับจำนวนพัลส์ก็จะนับ 1 และเพิ่มจำนวนขึ้นไปตามจำนวนของสิ่งของหรือวัตถุที่ผ่านไป และการนับจำนวนของวัตถุทั่ว ๆ ไปมักเป็นการนับแบบเลขฐาน 10

ในกรณีนี้จะใช้วงจรนับจำนวนพัลส์ (EVENT COUNTER) เป็นวงจรนับชุดพัลส์ที่ส่งมาจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและมีความถี่สูงประมาณ 100 MHz และนับแบบเลขฐาน 10 ในการวัดระยะทางที่ตั้งเป้าหมายไว้ประมาณ 5,000 เมตร หน่วยในการวัดของเครื่องมีหน่วยเป็นเมตร ดังนั้นวงจรนับจะประกอบไปด้วยชุดของวงจรนับสิบต่อกันแบบ Cascade 4 หลัก ซึ่งลักษณะการต่อแบบนี้สามารถแสดงผลของการนับได้เป็น 0000 ถึง 9999 เมตร

วงจรที่ใช้นี้เป็นวงจรนับจำนวนพัลส์แบบเลขฐาน 10 ทั่ว ๆ ไป แต่เนื่องจากความถี่ของพัลส์สูงมากประมาณ 100 MHz ขึ้นไป วงจรนับจำนวนพัลส์ที่ใช้ IC ตระกูล TTL ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ โดยทั่วไป IC ตระกูล TTL ที่เป็นวงจรนับจะใช้นับพัลส์ที่มีความถี่ประมาณ 15 MHz ได้ดี มี IC อีกตระกูลหนึ่งซึ่งเป็นตระกูล ECL สามารถทำงานที่ความถี่สูงในย่าน 50 MHz ถึง 300 MHz ดังนั้นในการออกแบบวงจรจึงทำการเลือก IC ตระกูล ECL และ IC ตระกูล TTL มาทำงานร่วมกัน ใช้ IC ตระกูล ECL ทำงานในย่านความถี่สูง และ IC ตระกูล TTL ทำงานในย่านความถี่ต่ำ ดังนั้นวงจรนับพัลส์ความถี่สูงมากนี้จึงพิเศษกว่าวงจรนับจำนวนพัลส์ทั่ว ๆ ไป และไม่จำเป็นต้องมี PRESCALER มาช่วย

4.4.2 <u>รายละเอียดของวงจรและการทำงาน</u>

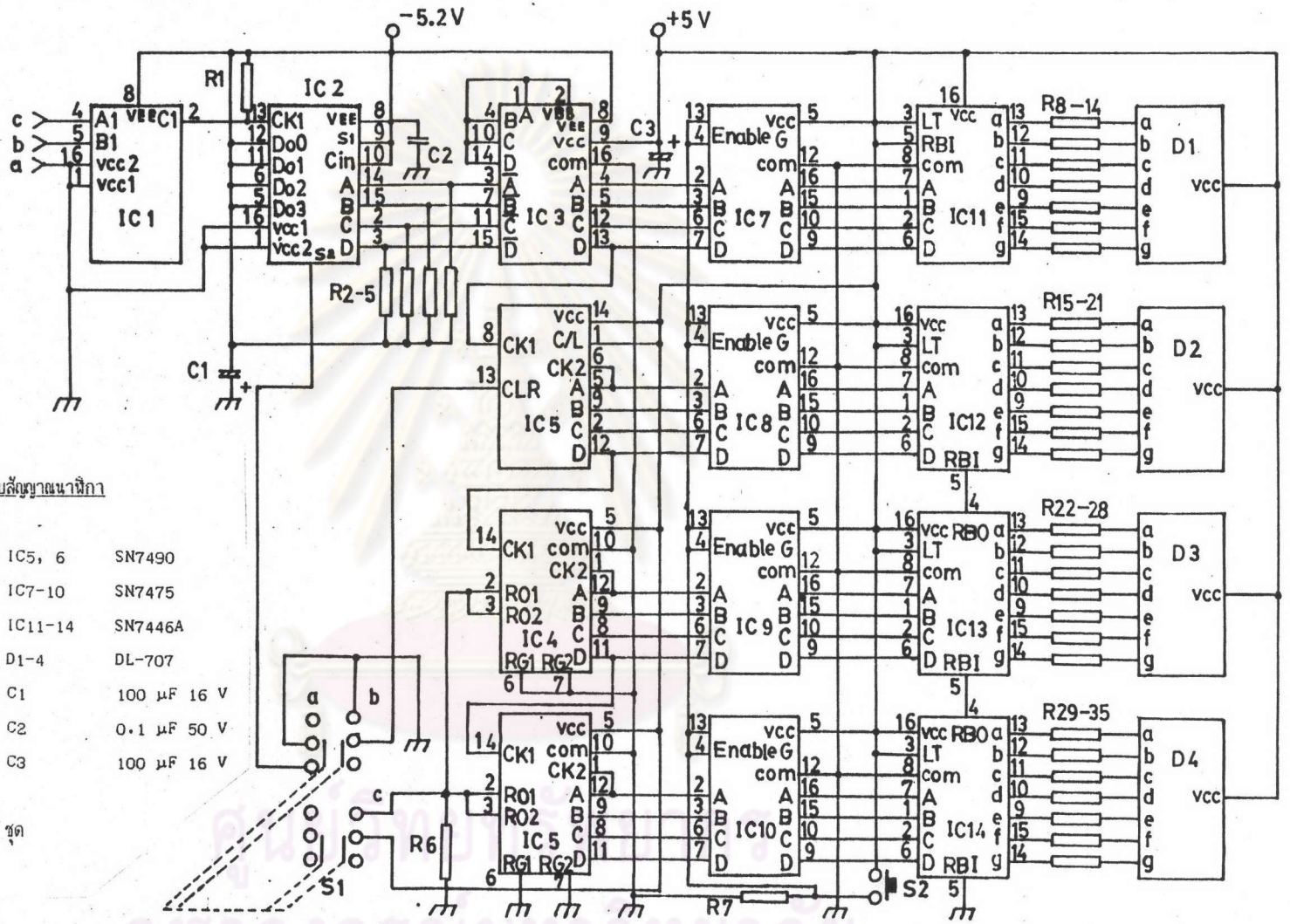
หัวใจของวงจรนับจำนวนพัลส์ความถี่สูง คือ การนำเอาวงจรนับ BCD มาต่อ Cascade กันในรูปที่ 4.20 ในหลักแรกใช้ IC ตระกูล ECL เบอร์ 10137 ซึ่งเป็น



รูปที่ 4.20 บล็อกไดอะแกรมของ 4 DECADE BCD COUNTER และ DISPLAY

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17429316



รายการอุปกรณ์วงจรนับสัญญาณนาฬิกา

IC1	MC10104		IC5, 6	SN7490
IC2	MC10137		IC7-10	SN7475
IC3	MC10125		IC11-14	SN7446A
IC4	SN74196		D1-4	DL-707
R1-5	510 Ω	1/4 W	C1	100 µF 16 V
R6	1 KΩ	1/4 W	C2	0.1 µF 50 V
R7	100 Ω	1/4 W	C3	100 µF 16 V
R8-35	330 Ω	1/4 W		

S1 สวิทช์ 2 ทาง แบบ CONTACT 4 ชุด

S2 push botton switch

รูปที่ 4.21 วงจรนับพัลส์และแสดงผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UNIVERSAL COUNTER นำมาทำเป็น BCD COUNTER ซึ่งสามารถนับพัลส์ที่มีความถี่สูงถึง 150 MHz เนื่องจาก IC ตระกูล ECL มีระดับลอจิกต่างกับ TTL คือมีลอจิกที่เป็น 1 ที่ -0.98 V ลอจิกที่เป็น 0 ที่ -1.75 V นอกจากนี้ยังใช้แรงดันที่ป้อนให้กับตัว IC ประมาณ -5.2 V จากนั้นเอาท์พุทของ IC 10137 จะต้องแปลงระดับลอจิกเป็นแบบ TTL โดยการใช้ IC ตระกูล ECL ที่ทำหน้าที่แปลงระดับลอจิกคือ เบอร์ 10125 ในหลักที่ 2 ได้จากการทดของหลักแรก ซึ่งความถี่ของพัลส์ในหลักนี้จะลดลงเหลือ 10 MHz ดังนั้นจึงใช้ IC ตระกูล TTL เบอร์ 74196 เป็น BCD COUNTER ในหลักที่ 3 และ 4 ความถี่จะลดลงไปอีก 10 เท่า ในทำนองเดียวกันจะใช้ IC เบอร์ 7490 ตระกูล TTL เป็น BCD COUNTER เช่นกัน ลักษณะการต่อวงจร DECADE COUNTER เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับวงจร DECADE COUNTER ทั่วไป

วงจรที่สร้างขึ้นจริงนั้นแสดงไว้ในรูปที่ 4.21 วงจรนับสิบจะเริ่มนับค่าตั้งแต่หลักแรกคือ 0-9 เมื่อนับถึง 10 จะถูกทดค่าขึ้นมายังหลักที่สองและจะเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปจนถึงค่า 9999 ข้อมูลที่นับได้จะถูกส่งไปยังวงจร LATCH เพื่อที่จะจำค่าที่นับได้เหล่านั้นไว้ ค่าที่นับได้จะอยู่ในรูปของ BCD code ดังนั้นในการอ่านข้อมูลที่ได้จึงจำเป็นต้องแปลงข้อมูลจาก BCD เป็น 7 SEGMENT จึงต้องใช้ IC ตระกูล TTL เบอร์ 7446 เป็นตัวถอดรหัส การอ่านข้อมูลทำได้โดยการ LOAD วงจร LATCH ดังนั้นวงจร LATCH จะป้อนข้อมูลที่เก็บไว้ให้กับ IC 7446 ทำการถอดรหัส ป้อนให้กับภาคแสดงผล ซึ่งใช้ LED DISPLAY เบอร์ DL-707 หากเริ่มทำการนับใหม่ก็จะทำการลบข้อมูลของวงจร BCD COUNTER โดยการทำ RESET

4.4.3 การทดลองวัดวงจรนับจำนวนพัลส์

จากการทดลองวงจรนับจำนวนพัลส์สามารถทำการนับพัลส์ตั้งแต่ความถี่ที่ทำการใช้งานในย่าน 50-150 MHz ได้และมีระดับลอจิกของพัลส์เป็นลอจิกของ ECL คือเป็น 0 ที่ -1.75 V และเป็น 1 ที่ -0.98 V และตัวเลขที่แสดงผลก็ถูกต้องดี จึงสามารถนำไปใช้งานได้

4.5 วงจรจ่ายไฟ

4.5.1 หลักการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟ

วงจรแหล่งจ่ายไฟเป็นวงจรที่จ่ายไฟไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง ซึ่งมีทั้งขนาดแรงดันต่ำ และแรงดันสูงตามความต้องการของอุปกรณ์ส่วนนั้น ๆ แหล่งจ่ายไฟที่ดีนั้นจะต้องจ่ายไฟด้วยแรงดันที่คงที่, จ่ายกระแสได้เพียงพอ และมีริพเพิลต่ำ ๆ ดังนั้นแหล่ง

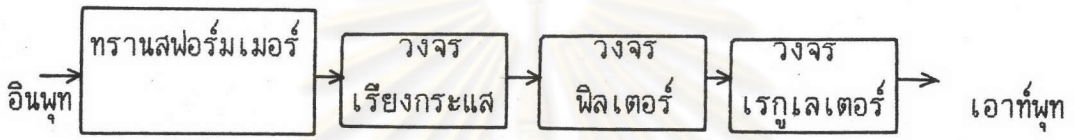
จ่ายไฟที่ดี จึงมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

(1) วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

(2) วงจรฟิลเตอร์

(3) วงจรเรกูเลเตอร์

ลักษณะการต่อวงจรเป็นดังรูปที่ 4.22 ทรานสฟอร์เมอร์แปลงไฟในระดับที่ต้องการ จากนั้นทำการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นผ่านวงจรฟิลเตอร์เพื่อกำจัดริพเพิลให้น้อยลง จากนั้นทำการควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วยวงจรเรกูเลเตอร์แบบกระแสไฟตรง

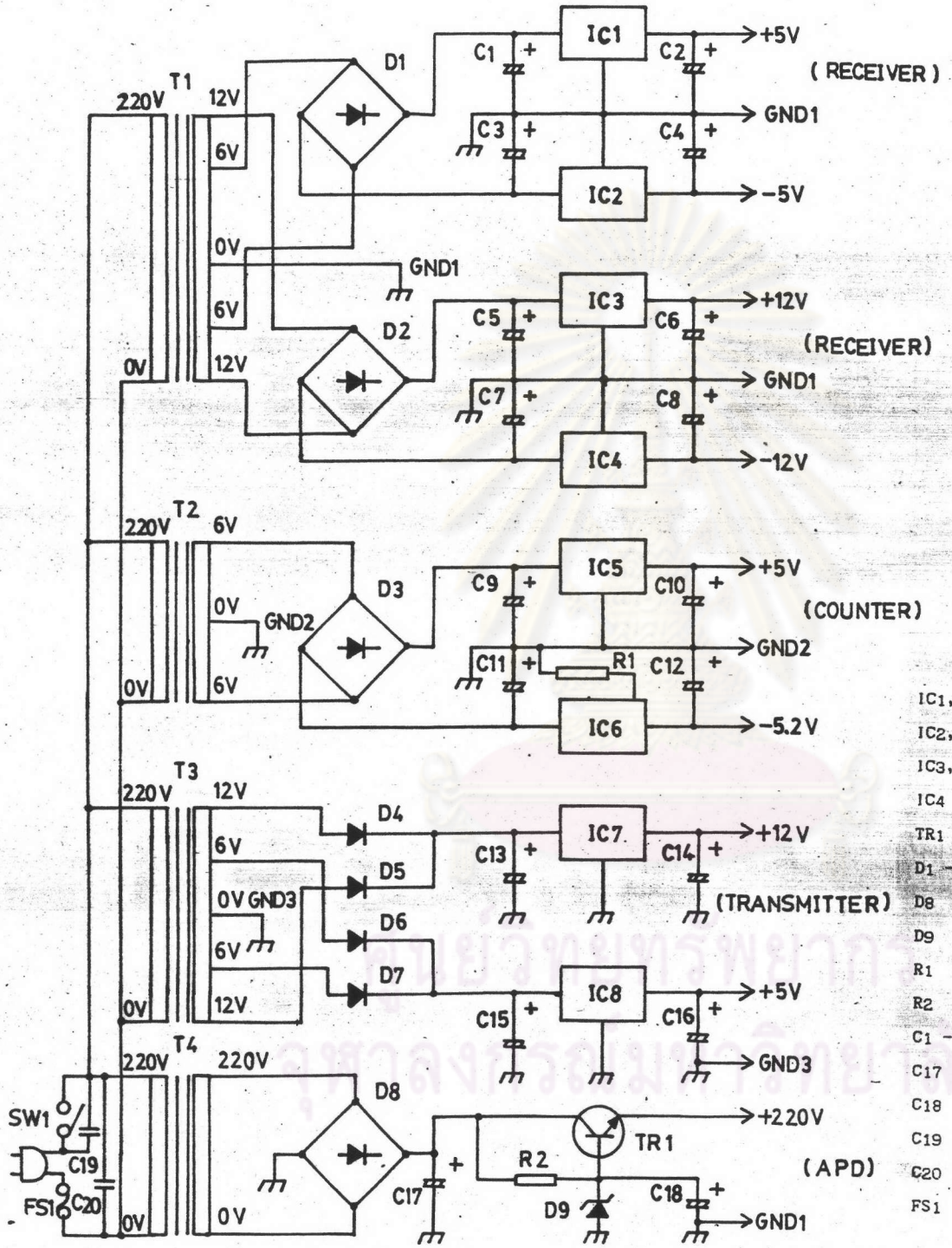


รูปที่ 4.22 บล็อคไดอะแกรมแหล่งจ่ายไฟ

วงจรแหล่งจ่ายไฟที่ออกแบบจะเป็นลักษณะดังที่กล่าวมาแล้ว และทำการแยกแหล่งจ่ายไฟออกเป็นชุด ๆ แบ่งได้เป็น 4 ชุดด้วยกัน เพื่อป้องกันการรบกวนกันในแต่ละส่วนของวงจรต่าง ๆ ได้แก่ วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรภาคส่ง, วงจรภาครับ, วงจรนับจำนวนพัลส์ และวงจร APD

4.5.2 <u>รายละเอียดของวงจรและการทำงาน</u>

รูปที่ 4.23 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟที่สร้างขึ้น วงจรจ่ายไฟสำหรับวงจรภาคส่ง ต้องการแรงดันที่ + 5 V และ + 12 V. และจ่ายกระแสได้ประมาณ 300 mA จากรูปที่ 4.23 ส่วนของวงจรจ่ายไฟภาคส่งใช้ทรานสฟอร์เมอร์แปลงไฟสลับจาก 220 V เป็น 15 V เปลี่ยนเป็นไฟตรงด้วยวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดแบบเต็มคลื่น จากนั้นผ่านวงจรฟิลเตอร์ด้วยคอนเดนเซอร์ 1000 µF จากนั้นแรงดันจะถูกควบคุมด้วย IC ควบคุมแรงดันคงที่เบอร์ 7812 ซึ่งจะควบคุมระดับแรงดันให้คงที่ + 12 V และจ่ายกระแสเต็มที่ 1 A ในทำนองเดียวกัน สำหรับที่แรงดัน + 5 V จะใช้ IC ควบคุมแรงดันคงที่ 7805 ซึ่งจ่ายกระแสได้เต็มที่ 1 A เช่นเดียวกัน



รายการอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟ	
IC1, IC5, IC8	7805
IC2, IC6	7905
IC3, IC7	7812
IC4	7912
TR1	2SC505
D1 – D7	1n4001
D8	1n4007
D9	220 V 5 W ZENER DIODE
R1	33 Ω 1/2 W
R2	330 KΩ 1/2 W
C1 – C16	1000 µF 16 V
C17	100 µF 450 V
C18	10 µF 450 V
C19	.01 µF 630 V
C20	.01 µF 630 V
FS1	1 A

รูปที่ 4.23 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่ออกแบบและสร้างขึ้น

วงจรจ่ายไฟสำหรับวงจรภาครับ มีลักษณะเดียวกันกับวงจรจ่ายไฟภาคส่งทุกประการ เพียงแต่เพิ่มไฟทางด้านลบ วงจรภาครับนี้ต้องการแรงดัน + 5 V, - 5 V, + 12 V และ - 12 V และกินกระแสไม่เกิน 100 mA จากรูปที่ 4.23 ส่วนของวงจรจ่ายไฟภาครับ เมื่อทำการแปลงแรงดันให้ได้ตามต้องการแล้ว จึงควบคุมด้วย IC ควบคุมแรงดันคงที่เบอร์ต่าง ๆ เช่น 7805 และ 7905 จะให้แรงดันเป็น + 5 V, - 5 V จ่ายกระแสได้เต็มที่ 1 A ตามลำดับ ส่วนเบอร์ 7812 และ 7912 จะให้แรงดันเป็น + 12 V, - 12 V จ่ายกระแสได้เต็มที่ 1 A ตามลำดับ ซึ่งพอเพียงสำหรับวงจรภาครับนี้

วงจรจ่ายไฟสำหรับวงจรภาคนับจำนวนพัลส์ ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5 V และ - 5.2 V เพื่อไปเลี้ยงอุปกรณ์ IC ประเภท TTL และ ECL ซึ่งในวงจรส่วนนี้จะใช้ IC ควบคุมแรงดันคงที่ 7805 สำหรับจ่ายไฟ + 5 V และ 7905 สำหรับจ่ายไฟ - 5.2 V สำหรับขากราวนด์ต่อค่ารีซิสเตอร์ค่า 33 Ω เพื่อยกระดับของแรงดันให้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 0.2 V

วงจรจ่ายไฟสำหรับวงจร APD วงจรของ APD นี้ต้องการแรงดันที่เป็น Reverse Bias ประมาณ 150 V ถึง 220 V สำหรับกระแสที่จ่ายให้กับ APD นั้นต่ำมาก เป็นไมโครแอมป์ สำหรับวงจรจ่ายไฟสำหรับ APD นี้ จะมีแรงดันประมาณ + 200 V และจ่ายกระแสให้ไม่เกิน 1 มิลิแอมป์ ซึ่งแรงดัน + 200 V นี้จะถูกควบคุมค่าให้คงที่ตลอดเวลา วงจรที่ใช้ออกแบบเป็นวงจรทรานซิสเตอร์แบบเซียรีส์เรกูเลเตอร์ควบคุมแรงดันโดยการใช้ซีเนอร์ไดโอด เนื่องจากเป็นวงจรที่ทำงานที่แรงดันสูง ดังนั้นค่าอัตราทนแรงดันของอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องพอเพียง ตัวทรานซิสเตอร์เองต้องมีอัตราทนแรงดันระหว่างขาเบสกับคอลเลคเตอร์สูงกว่า 300 V ขึ้นไป ซึ่งเราเลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC505 และค่าซีเนอร์ไดโอดประมาณ 200 V 5 W เหตุที่ต้องใช้วงจรเรกูเลทแบบนี้เพราะว่าเป็นวงจรที่ใช้แรงดันสูง และการจ่ายกระแสต่ำ ๆ ซึ่งวงจรที่ใช้ IC ควบคุมแรงดันคงที่นั้นไม่สามารถทนแรงดันสูง ๆ ได้ ค่าคอนเดนเซอร์ 100 μF และ 1 μF ต้องทนแรงดันอย่างน้อย 350 V ซึ่งใช้เป็นตัวฟิลเตอร์ให้ไฟเรียบขึ้น

4.5.3 <u>ผลการทดสอบ</u>

จากการทดสอบการทำงานของวงจรจ่ายไฟทั้ง 4 ส่วน พบว่ามีการจ่ายไฟด้วยแรงดันที่คงที่ และค่าริพเพิลต่ำมากจนไม่เป็นปัญหา สำหรับวงจรจ่ายไฟให้กับ APD ซึ่งเป็นไฟกระแสตรง 200 V นั้น ก็ทำงานได้ดี คือได้ 200 V และไม่มีสไปค์เกิดขึ้นเวลาเปิดสวิทช์