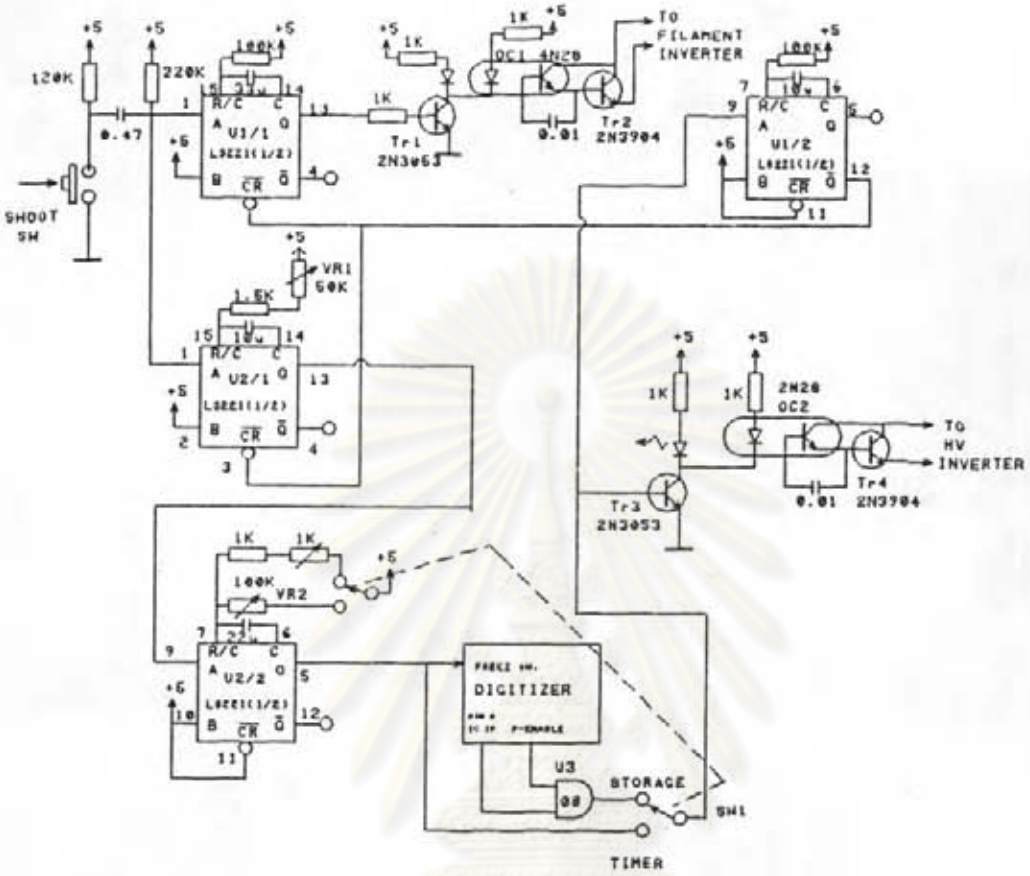
บทที่ 4

การทำงานของเครื่องถ่ายภาพโทรทัศน์ด้วยรังสีเอกซ์ขนาดเล็ก

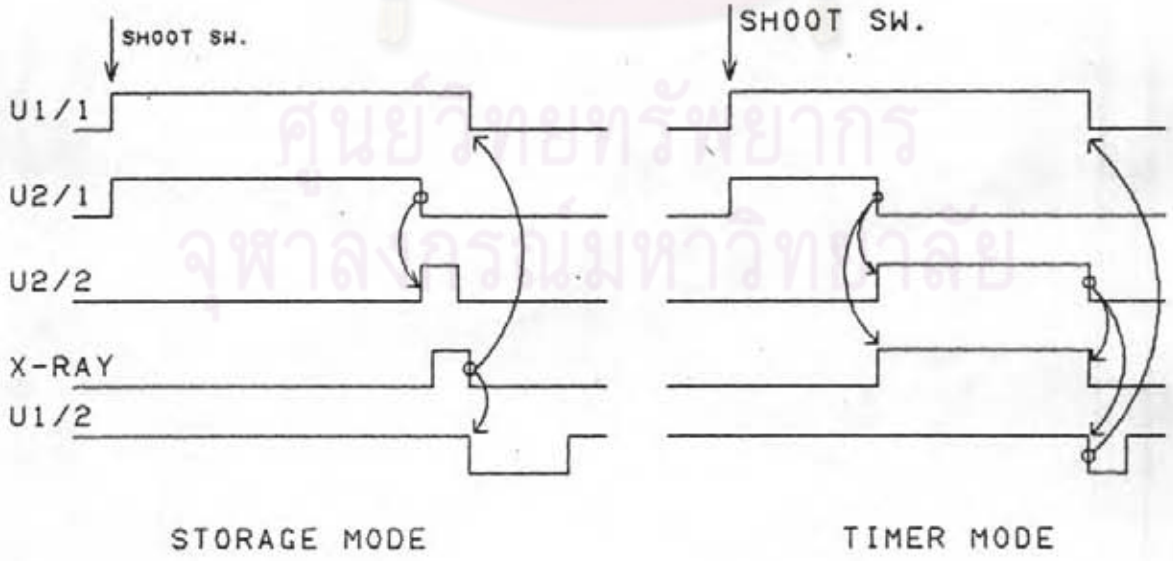
4.1 การทำงานของวงจรควบคุม

วงจรควบคุม มีหน้าที่ในการ ควบคุมจังหวะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองวงจร กับวงจรเก็บภาพ ให้สัมพันธ์กัน วงจรควบคุมแสดงในรูปที่ 4.1

เมื่อกดชูทสวิตช์ (Shoot switch) จะทำให้วงจรโมโนสเตเบิล U1/1 ส่งสัญญาณ High ออกมา กำหนดไว้ให้มีช่วงเวลา 2.5 วินาที สัญญาณนี้จะส่งผ่านทรานซิสเตอร์ Tr1 ไปยัง OC1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแยก (Isolation) แหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรควบคุม สัญญาณดังกล่าวจะกระตุ้นให้อินเวอร์เตอร์สำหรับวงจรจุดไส้หลอดทำงาน ในจังหวะเดียวกันโมโนสเตเบิล U2/1 ซึ่งเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาจุดไส้หลอดล่วงหน้า (Pre-heat) จะให้สัญญาณออกเป็น High สัญญาณดังกล่าวจะนานเท่าใดขึ้นอยู่กับการตั้ง VR1 หลังจากที่หมดเวลาจุดไส้หลอดล่วงหน้าแล้วโมโนสเตเบิล U2/2 จะเริ่มทำงาน โดยสัญญาณ High จะส่งผ่านทางสวิตช์ SW1 ณ ตำแหน่ง Timer ผ่าน TR3 และ OC2 ไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับแรงดันสูง ในขณะเดียวกัน สัญญาณนี้จะป้อนเข้าไปยังวงจรเก็บภาพเพื่อกระตุ้นให้อยู่ในสภาวะเก็บภาพ หลังจากที่หมดเวลาที่ตั้งไว้ตามค่าของ VR2 แล้ว วงจรโมโนสเตเบิล U1/2 จะทำงานส่งสัญญาณไปเคลียร์ U1/1 และ U2/1 วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับจุดไส้หลอดจึงหยุดทำงานด้วย



รูปที่ 4.1 วงจรควบคุม



รูปที่ 4.2 แผนภาพเวลาการทำงานของวงจรควบคุม

ในกรณีที่สวิตช์ SW1 อยู่ในตำแหน่ง Storage วงจรโมโนสเตเบิล U2/2 จะทำงานแค่ 20 มิลลิวินาทีเท่านั้น และสัญญาณนี้จะป้อนเข้าไปยังวงจรเก็บภาพ เมื่อสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งมา วงจรเก็บภาพจะส่งสัญญาณผ่าน U3 ไปกระตุ้นให้อินเวอร์เตอร์สำหรับแรงดันสูงทำงาน

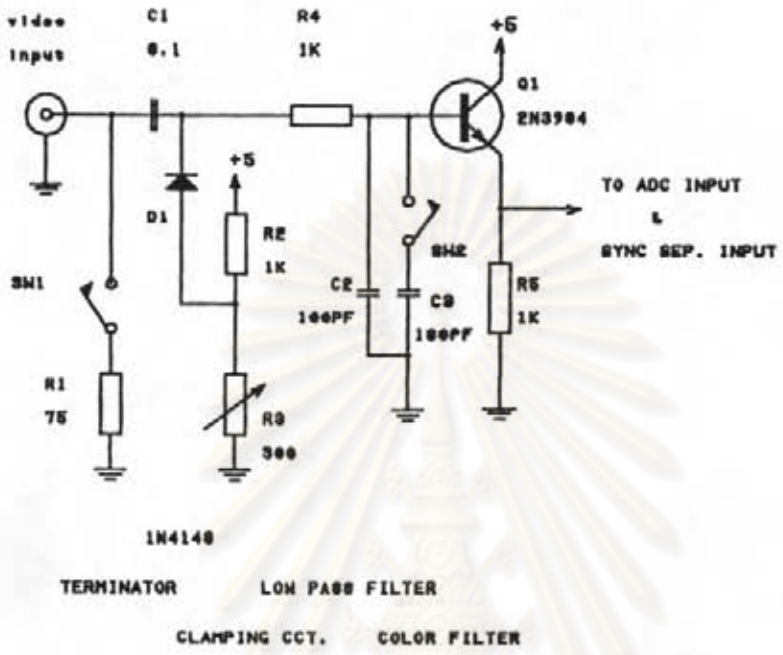
การทำงานทั้งหมดของวงจรควบคุมแสดงในแผนภาพเวลา (Timing diagram) ดังรูปที่ 4.2

4.2 การทำงานของวงจรเก็บภาพ

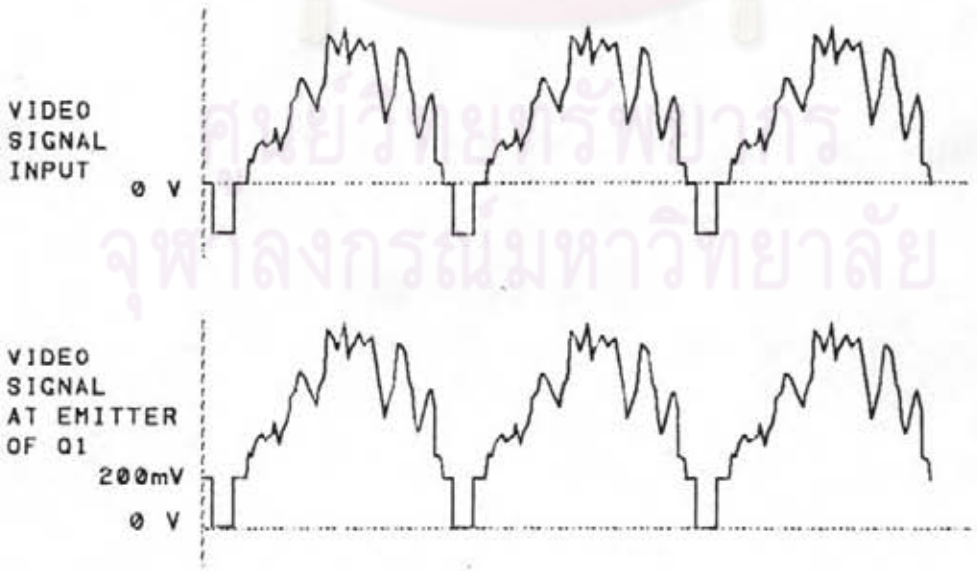
4.2.1 ภาคขยายสัญญาณส่วนหน้า (Preamplifier)

ภาคขยายสัญญาณส่วนหน้าจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณภาพจากกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ให้มีความสูง (Amplitude) ของสัญญาณให้เหมาะกับหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข ส่วนประกอบของวงจรปรากฏในรูปที่ 4.3

สัญญาณภาพจะถูกส่งผ่าน (Coupling) ทาง C1 สัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกยกระดับให้สูงขึ้นโดยวงจรแคลมป์ (Clamping circuit) ซึ่งประกอบด้วย D1,R2 และ R3 เพื่อให้สัญญาณกำหนดจังหวะอยู่ที่ระดับ "ศูนย์" โวลต์ที่ขา E ของ Q1 พอดี ดังนั้นระดับมืด (Black level) ของสัญญาณภาพจะอยู่ที่ 200 มิลลิโวลต์โดยประมาณ ดังรูปที่ 4.4 จากนั้นสัญญาณภาพจะส่งผ่านไปยังวงจรอินดิเกรเตอร์ ประกอบด้วย R4 และ C2 ทำหน้าที่เป็นวงจรความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) กรองสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงกว่า 1.59 MHz ออกไป สัญญาณที่ได้รับการกรองแล้วนี้จะถูกส่งเข้าสู่ขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งจัดวงจรแบบอิมิเตอร์ร่วม (Common emitter) เพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข (ADC) ต่อไป



รูปที่ 4.3 วงจรขยายสัญญาณส่วนหน้า



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณภาพที่ถูกยกระดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับ R1 ทำหน้าที่เป็น เทอร์มิเนเตอร์ (Terminator) เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของสัญญาณในสายนำสัญญาณอันเนื่องจากอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน ซึ่งจะใช้หรือไม่ขึ้นอยู่กับสวิตช์ SW1

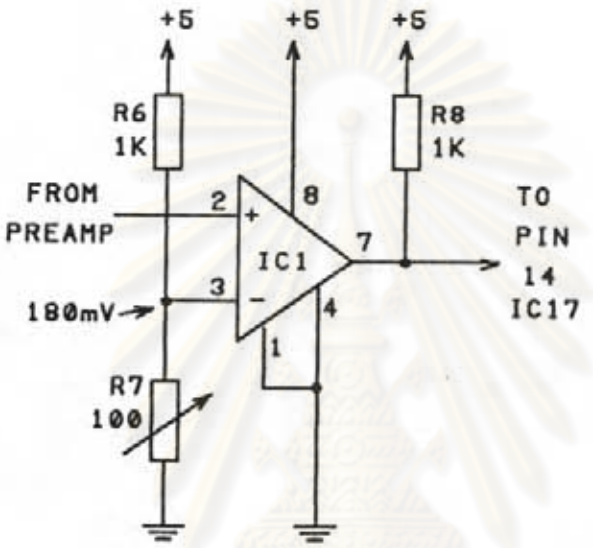
ส่วน C3 จะประกอบกับ R4 และ C2 เป็นวงจรความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งจะมีความถี่ตัดเท่ากับ 568.4 kHz เพื่อทำหน้าที่ตัดสัญญาณสีที่ไม่ต้องการออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปิด-เปิดของสวิตช์ SW2

4.2.2 วงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะ (Sync separator)

วงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะ นี้จะทำหน้าที่แยกเอาเฉพาะสัญญาณกำหนดจังหวะออกมา เพื่อเป็นตัวกำหนดจังหวะในการเริ่มแปลงสัญญาณเชิงเส้นให้เป็นสัญญาณเชิงเลข ของหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข โดยเหตุที่สัญญาณกำหนดจังหวะมีอยู่สองแบบ คือ สัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งและแนวนอน ดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจะต้องมีวงจรที่ทำหน้าที่แยกเอาสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งออกมา ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยความแตกต่างทางด้านเวลาของสัญญาณทั้งสอง กล่าวคือสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอนมีความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 5 ไมโครวินาที และสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งมีความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 27 ไมโครวินาที ในการแยกสัญญาณกำหนดจังหวะทั้งสองออกจากสัญญาณภาพนั้น สามารถกระทำได้โดยง่ายโดยใช้วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) ซึ่งมีการจัดรูปวงจรดังรูปที่ 4.5

เนื่องจากสัญญาณภาพที่ได้รับการขยายแล้วนี้ถูกยกระดับมืด (Black level) ให้อยู่ที่ 200 มิลลิโวลต์โดยประมาณ หมายความว่าสัญญาณที่มีระดับต่ำกว่า 200 มิลลิโวลต์จะเป็นสัญญาณกำหนดจังหวะทั้งหมด ดังนั้นการใช้วงจรเปรียบเทียบ ทำการเปรียบเทียบสัญญาณภาพที่เข้ามาทาง ขา 2 ของ IC1 (Non-inverting input) กับแรงดันอ้างอิงที่ขา 3 ของ IC1 (Inverting input) จะทำให้ได้สัญญาณออกที่ขา 7 ของ IC1 ต่อเมื่อสัญญาณภาพนั้นมีแรงดันต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงเท่านั้น นั่นคือจะต้องปรับให้แรงดันอ้างอิงต่ำกว่าระดับมืด ซึ่งในที่นี้ทำการปรับค่าไว้ที่ 180 มิลลิโวลต์ ทั้งนี้เพื่อป้องกัน

ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการแปรเปลี่ยนค่าของความต้านทาน อันเนื่องมาจากอุณหภูมิแวดล้อม ลักษณะของสัญญาณทางออกที่ขา 7 ของ IC1 แสดงอยู่ในรูปที่ 4.6

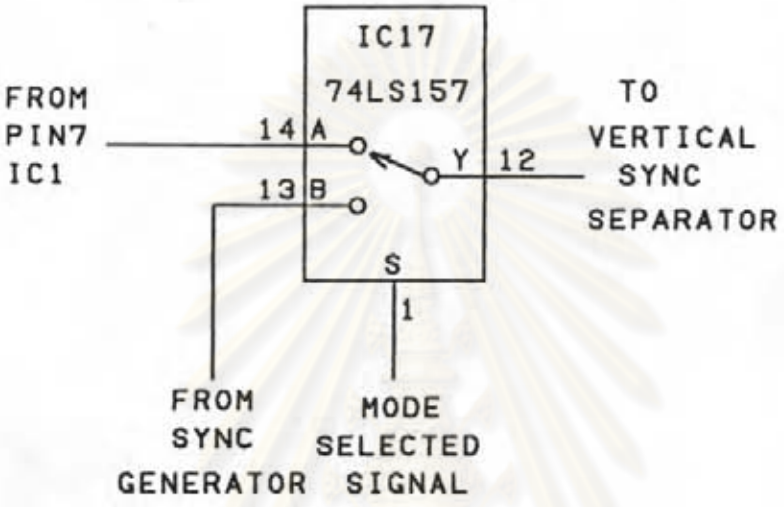


รูปที่ 4.5 วงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะ

รูปที่ 4.6 สัญญาณออกจากวงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะ

4.2.3 วงจรเลือกข้อมูล (Data selector)

วงจรนี้จะทำหน้าที่เลือกสัญญาณกำหนดจังหวะจากวงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะ ซึ่งเป็นสัญญาณที่แยกออกมาจากสัญญาณภาพ แต่ในภาวะที่แสดงภาพที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ วงจรนี้จะเลือกเอาสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ ดังรูปที่ 4.7

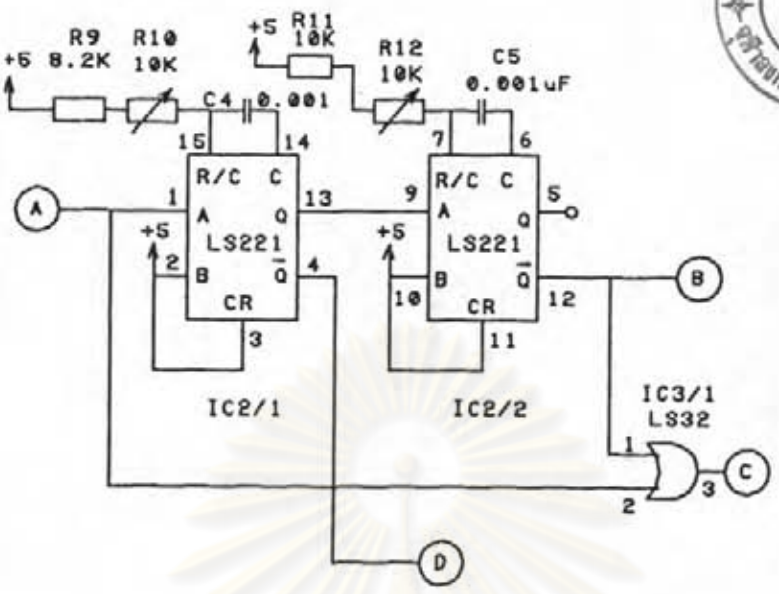


รูปที่ 4.7 วงจรเลือกข้อมูล

สัญญาณเลือกสภาวะเป็นสัญญาณที่ได้มาจากวงจรเลือกสภาวะ ซึ่งเมื่อเป็น Low หรืออยู่ในภาวะการเก็บภาพ จะทำให้เลือกสัญญาณจากชุด A ซึ่งเป็นสัญญาณกำหนดจังหวะที่ได้จากวงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะ แต่เมื่อสัญญาณเลือกสภาวะเป็น High หรืออยู่ในภาวะแสดงภาพที่เก็บไว้อยู่ในหน่วยความจำ วงจรจะทำหน้าที่เลือกเอาสัญญาณกำหนดจังหวะชุด B จากวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะแทน

4.2.4 วงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง

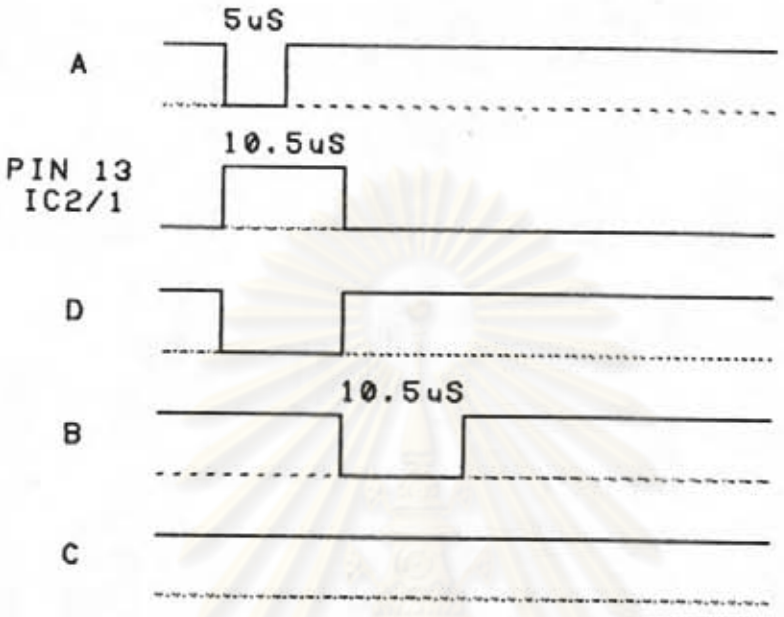
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า สัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง มีความกว้างมากกว่าสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน ดังนั้นการแยกสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งออกมา จะต้องอาศัยการเปรียบเทียบว่าสัญญาณกำหนดจังหวะนั้นมีความกว้างของพัลส์มากกว่า 5 ไมโครวินาทีหรือไม่ ซึ่งวงจรดังกล่าวมีลักษณะดังรูปที่ 4.8



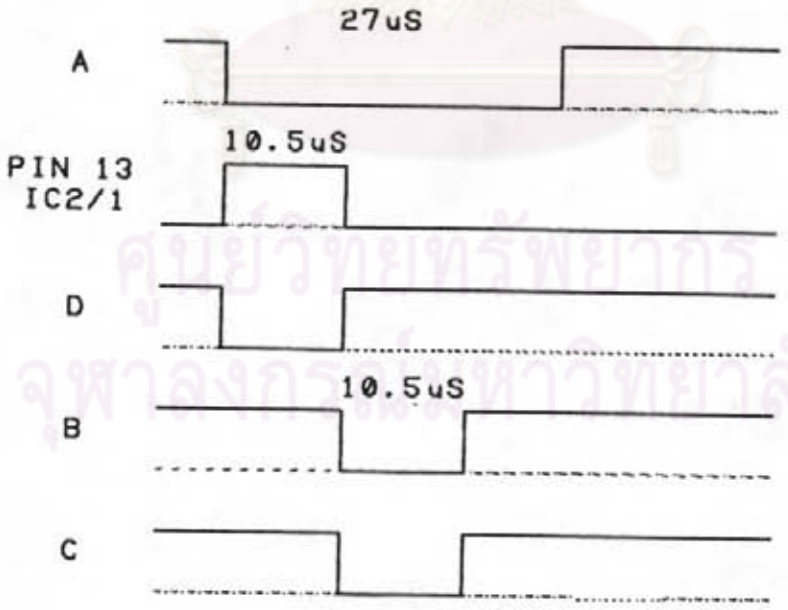
รูปที่ 4.8 วงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง

IC2/1 ทำหน้าที่เป็นวงจรโมโนสเตเบิล ซึ่งจะให้สัญญาณออกเป็นพัลส์ที่มีระดับ High ที่ขา 13 ของ IC2/1 และป้อนเข้าสู่ขา 9 ของ IC2/2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรโมโนสเตเบิลอีกตัวหนึ่ง ซึ่ง IC2/2 นี้จะให้สัญญาณออกเป็นพัลส์ที่มีความกว้าง 10.5 ไมโครวินาที โดยจะเริ่มมีสัญญาณออกเมื่อขา 13 ของ IC2/1 เปลี่ยนจาก High เป็น Low (ขอบขาลง) จากนั้นสัญญาณออกที่ได้จาก IC2/2 ขา 12 จะถูกป้อนเข้าสู่ขา 1 ของ IC3/1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นออร์เกต ส่วนขา 2 ของ IC3/1 นั้นได้รับสัญญาณจากสัญญาณกำหนดจังหวะเดิม ดังนั้นสัญญาณออกของออร์เกตนี้จะเกิดเมื่อสัญญาณกำหนดจังหวะที่เข้าสู่วงจรนี้เป็นสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งเท่านั้น

จากแผนภาพเวลาในรูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน จะเห็นว่าสัญญาณที่จุด B ถูกหน่วงไป 10.5 ไมโครวินาที จากนั้นจึงจะลง Low อีก 10.5 ไมโครวินาที ดังนั้นสัญญาณที่ได้รับการ OR ที่ IC3/1 จึงเป็น High ตลอด



รูปที่ 4.9 แผนภาพเวลาขณะมีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน



รูปที่ 4.10 แผนภาพเวลาขณะมีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากแผนภาพเวลาในรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าสัญญาณเข้าที่เป็นสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งมีความกว้าง 27 ไมโครวินาที ดังนั้นเมื่อถูกนำมา OR กับสัญญาณที่ได้รับการหน่วงเวลาไป 10.5 ไมโครวินาทีแล้ว จะให้ สัญญาณออกเป็น Low ซึ่งสัญญาณที่จุด C นี้จะเป็นตัวบ่งบอกว่าขณะนี้สัญญาณเข้า นั้นเป็นสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งผลพลอยได้ของวงจรนี้มีอยู่ 2 ประการคือ

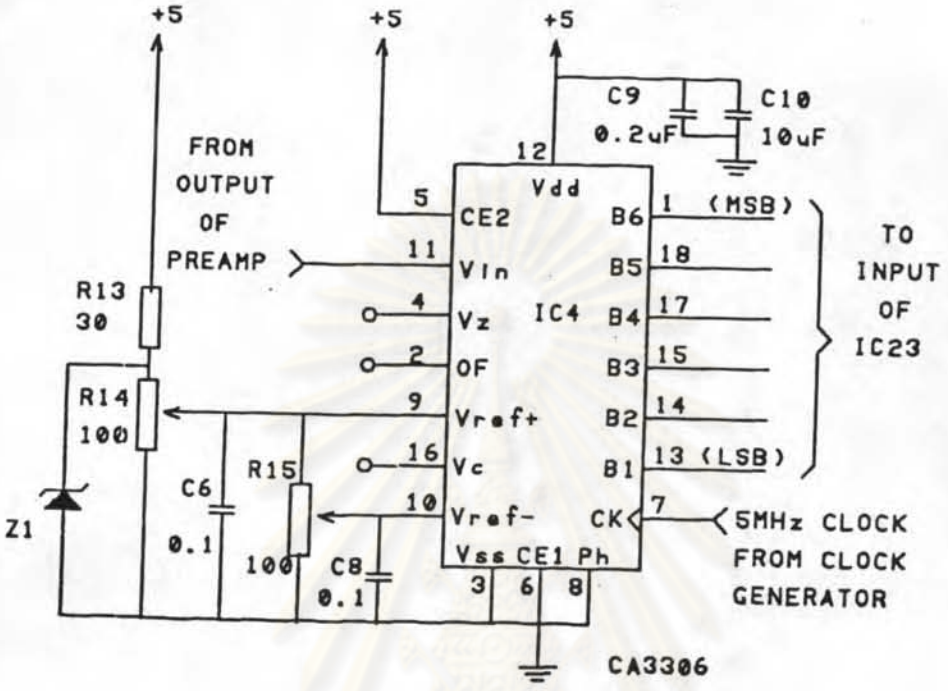
1. สัญญาณที่จุด D จะถูกนำไปใช้ควบคุมวงจรกำเนิดสัญญาณเวลา (Clock generator) ซึ่งจะทำให้มีสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้าสู่วงจร หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข เพื่อทำการแปลงสัญญาณหลังจากมีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน ประมาณ 10.5 ไมโครวินาที

2. สัญญาณที่จุด B จะถูกนำไปควบคุมวงจรที่ทำหน้าที่ อินาเบิล (Enable) ของวงจรกำเนิดตำแหน่ง (Address generator) ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.6

4.2.5 หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข (Analog to digital converter :ADC)

วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณส่องสว่าง (Luminescent signal) ซึ่งเป็นสัญญาณเชิงเส้น (Analog signal) ให้เป็นสัญญาณเชิงเลข (Digital signal) เพื่อนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ (RAM) ต่อไป แสดงวงจรในรูปที่ 4.11

สัญญาณภาพที่ได้รับการขยายจากวงจรขยายส่วนหน้า จะป้อนเข้าสู่ทางเข้าของ IC4 ทางขา 11 ซึ่งสัญญาณนี้จะประกอบด้วยสัญญาณความส่องสว่าง และ สัญญาณกำหนดจังหวะ เนื่องจากต้องการแปลงเฉพาะสัญญาณความส่องสว่างให้เป็นสัญญาณเชิงเลขเท่านั้น ดังนั้นจึงป้อนสัญญาณนาฬิกา (Clock) เข้าสู่ทางขา 7 เฉพาะเวลาที่มีสัญญาณความส่องสว่างเท่านั้น สัญญาณที่ได้รับการแปลงเป็นเชิงเลขเรียบร้อยแล้ว จะถูกส่งออกไปยังทางออกทางขา B6 ถึง B1 ที่ต่อกับทางเข้าของเกตสามสถานะ ส่วนขา Vref+ จะเป็นตัวกำหนดแรงดันสัญญาณเข้า ที่จะแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขค่าสูงสุด ตัวอย่างเช่น ถ้าปรับให้ Vref+ = 3.6 โวลต์จะทำให้แรงดันที่เข้ามา 3.6 โวลต์ มีสัญญาณออกเชิงเลขเป็น 111111 แต่หากค่าแรงดัน สัญญาณเข้า มีค่าสูงกว่า 3.6 โวลต์ จะเกิดสัญญาณเกิน (Overflow) ที่ขา 2 ของ IC4



รูปที่ 4.11 หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข

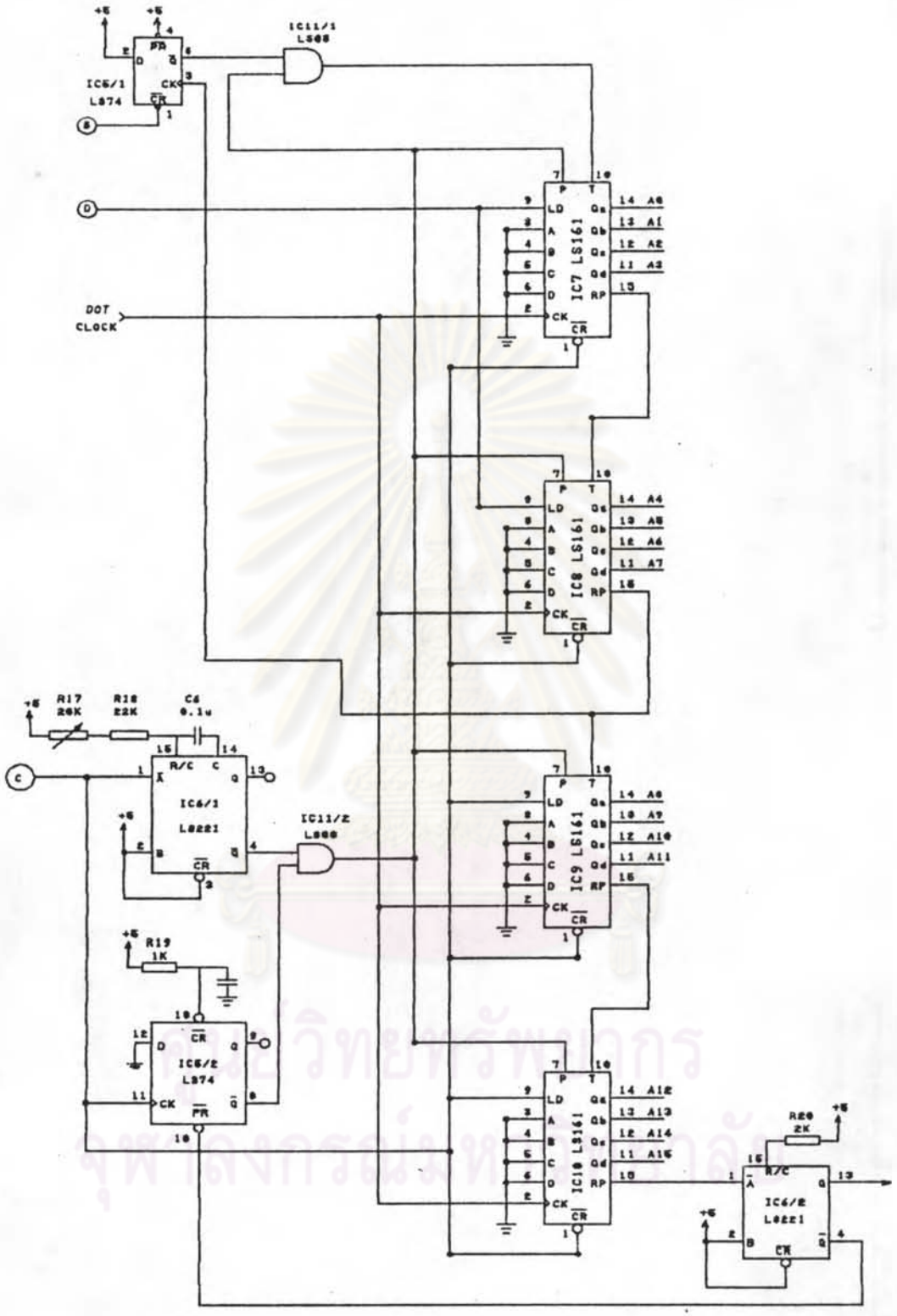
สำหรับขา Vref- จะเป็นตัวกำหนดแรงดันของสัญญาณเข้าที่จะแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขค่าต่ำสุด ซึ่งในที่นี้ระดับมืดเราปรับไว้ที่ 200 มิลลิโวลต์ ดังนั้นเมื่อสัญญาณความส่องสว่างอยู่ที่ 200 มิลลิโวลต์ จะได้ สัญญาณออก ที่ขา B6 ถึง B1 เป็น 000000

4.2.6 วงจรกำเนิดตำแหน่ง (Address generator)

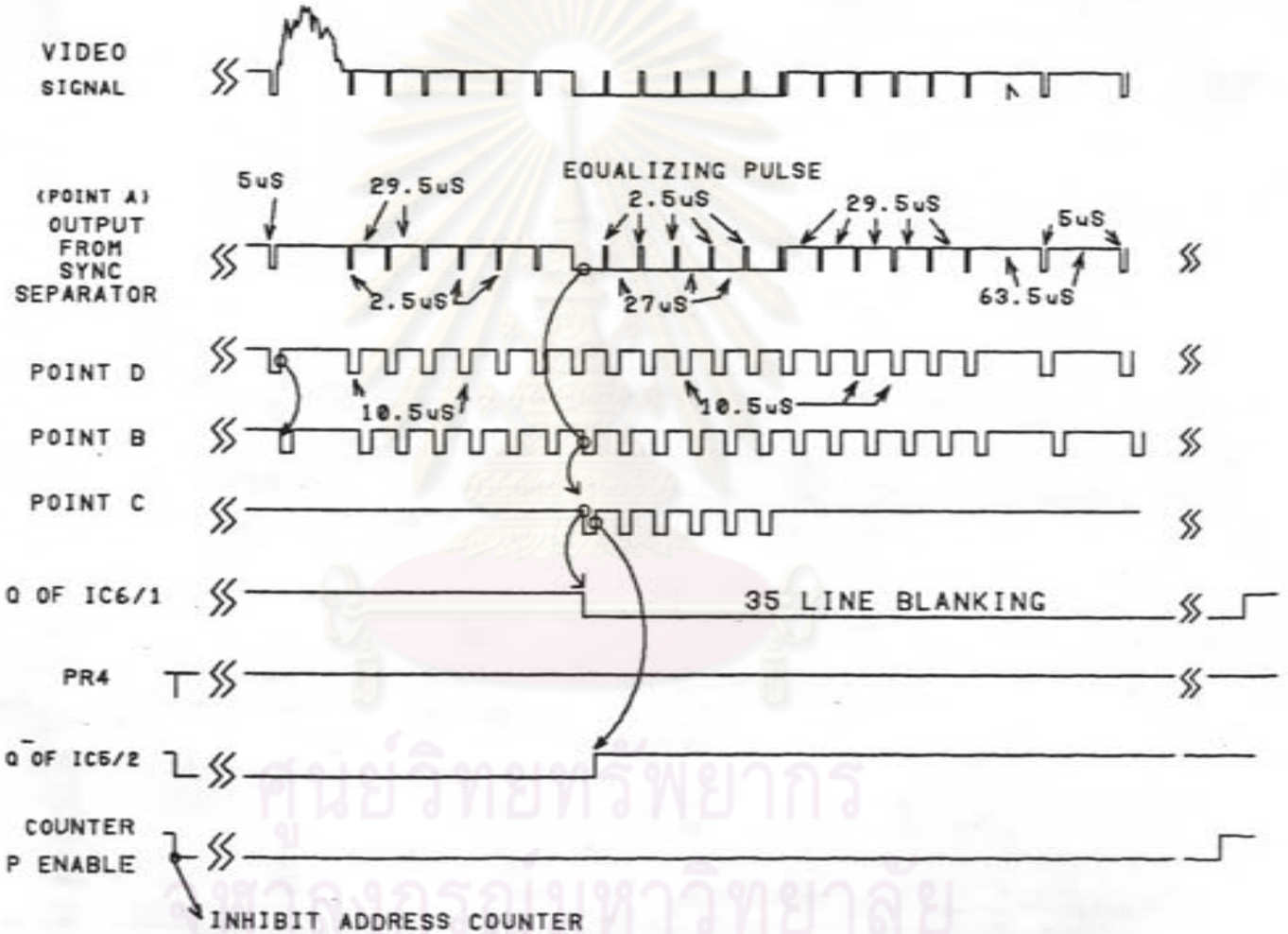
เป็นวงจรที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณกำหนดตำแหน่ง ให้กับหน่วยความจำซึ่งมีขนาด 64 กิโลไบต์ ดังนั้นวงจรนี้จึงมีสายบัสกำหนดตำแหน่ง (Address bus) ทั้งสิ้น 16 เส้น ซึ่งการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดตำแหน่งนี้ จะต้องเข้าจังหวะกับช่วงเวลาของสัญญาณกำหนดจังหวะทั้งสอง คือจะเริ่มนับจากตำแหน่งที่ 1 เมื่อเริ่มมีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง จนกระทั่งถึง 256 ตำแหน่ง จากนั้นจะต้องหยุดรอจนกว่าจะมีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอนมาอีกครั้งจึงจะเริ่มนับต่อไปอีก 256 ครั้ง เป็นอย่างนี้ไปจนกว่าจะครบ 256X256 จุดภาพ (Pixel) หรือ 64 กิโลไบต์ วงจรกำหนดตำแหน่งแสดงในรูปที่ 4.12

สัญญาณจากจุด D ของวงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง จะป้อนเข้าสู่ขา 9 ของ IC7 และ IC8 เพื่อทำการ Load ข้อมูลให้กับวงจรนับ (Counter) ทั้งสองตัวนี้ ซึ่งในกรณีนี้คือ 0000 0000 จากนั้นสัญญาณจากจุด B ของวงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง จะถูกป้อนเข้าที่ขา 1 ของ IC5/1 เพื่อทำการเคลียร์ข้อมูลให้ทางออกที่ขา 6 เป็น High ป้อนเข้าสู่แอนด์เกตของ IC11/1 หลังจากนั้นเมื่อสัญญาณจากจุด C ของวงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง ซึ่งเป็นสัญญาณที่ระบุว่ามีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งมาถูกป้อนเข้าสู่ขา 1 ของ IC6/1 พร้อมๆกับขา 11 ของ IC5/2 และขา 1 ของ IC7,8,9 และ 10 ทำให้สายบัสตำแหน่งขาออกถูกเคลียร์เป็น Low ทุกเส้น ต่อมาสัญญาณออก ที่ขา 4 ของ IC6/1 จะถูกแอนด์กับสัญญาณออกจาก IC5/2 ที่ขา 8 ได้สัญญาณออกจากแอนด์เกตของ IC11/2 เป็น High ป้อนเข้าสู่ขา P-enable ของ IC7 ถึง IC10 เพื่อเป็นการเตรียมให้วงจรนับ IC7 ถึง IC10 พร้อมที่จะทำงานได้ ในขณะเดียวกันสัญญาณจากแอนด์เกต (IC11/2) นี้จะป้อนเข้าสู่ทางเข้าของ IC11/1 ซึ่งแอนด์กับสัญญาณที่ได้จากทางออกของ IC5/1 ทำให้เป็นสัญญาณ High ป้อนเข้าสู่ขา 10 ของ IC7 จากนั้นวงจรนับ IC7 เริ่มทำการนับตามจังหวะของ สัญญาณเวลาจุด (Dot clock) จาก 0 จนกระทั่งถึง 256 ครั้ง เมื่อครบ 256 ครั้งแล้ว จะมีสัญญาณที่ขา 15 ของ IC8 ป้อนกลับไปที่ IC5/1 เพื่อเปลี่ยนสัญญาณออกของ IC5/1 ขา 6 ให้เป็น Low มีผลให้ขา 10 ของ IC7 เป็น Low ด้วย การนับทั้งหมดจึงหยุดลงจนกว่าจะมีสัญญาณเข้ามาที่จุด B อีกครั้ง การนับจึงจะเริ่มอีกครั้งหนึ่ง และจะวนเป็นวัฏจักรจนกระทั่งครบ 256 รอบ จึงจะมีสัญญาณออกที่ขา 15 ของ IC10 มากระตุ้นให้ IC6/2 ป้อนสัญญาณไปเคลียร์ IC5/2 ที่ขา 10 ทำให้ขา 7 ของ IC7 ถึง 10 เป็น Low จึงจะหยุดการทำงาน

การทำงานของวงจรทั้งหมดตั้งแต่วงจรขยายจนถึง วงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดตำแหน่งนี้จะสามารถนำมาเขียนเป็น แผนภาพเวลาได้ดังรูปที่ 4.13ก และ 4.13ข

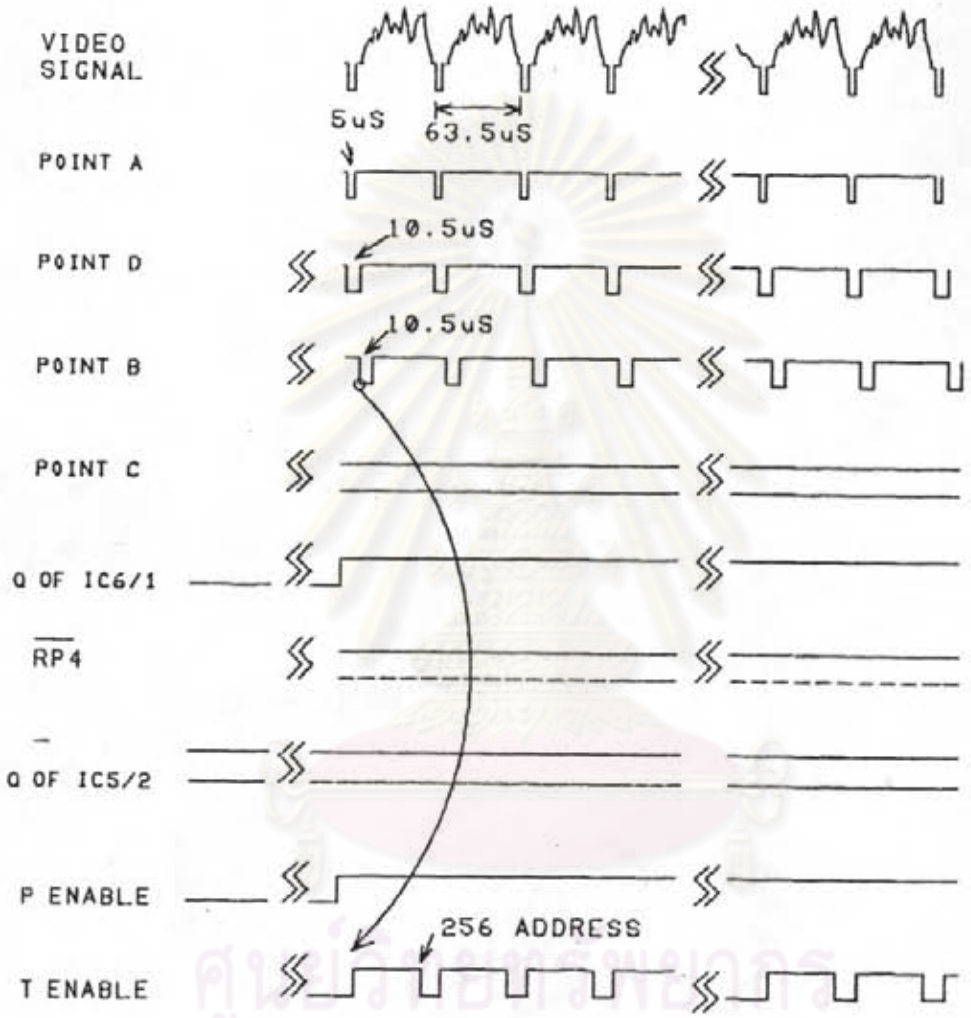


รูปที่ 4.12 วงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดตำแหน่ง



รูปที่ 4.13ก แผนภาพเวลาของวงจรกำเนิดตำแหน่งขณะมีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13ข แผนภาพเวลาของวงจรกำเนิดตำแหน่ง

ขณะทำการเก็บภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

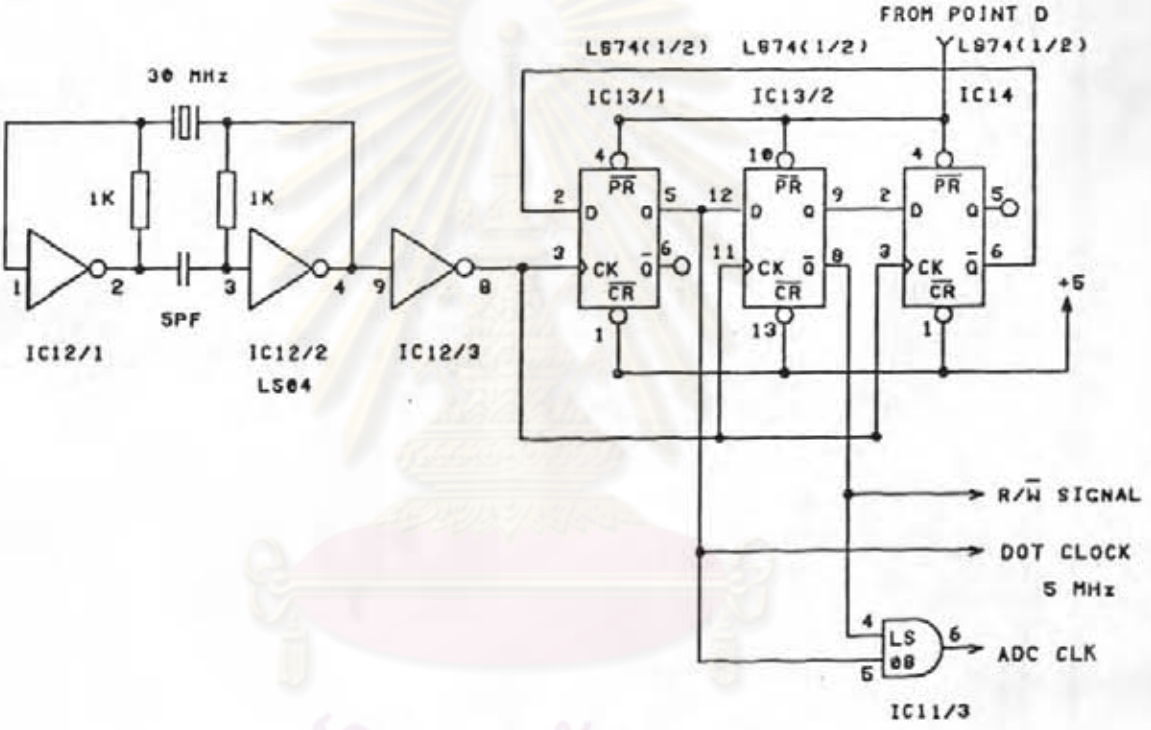
4.2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock generator)

วงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นฐานเวลาให้กับ หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข วงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดตำแหน่ง และหน่วยความจำ ตัววงจรจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

ก) วงจรกำเนิดฐานเวลา

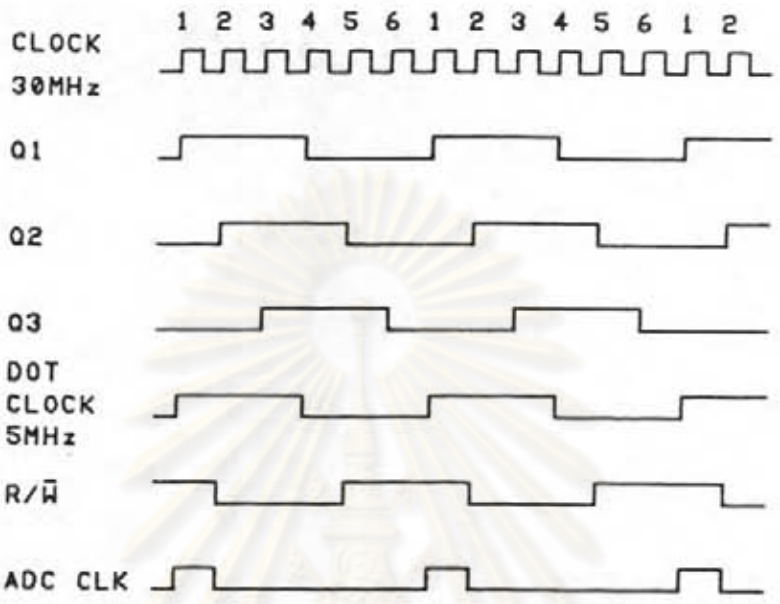
ข) วงจรนับแบบจอห์นสัน (Johnson's counter)

ซึ่งมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

IC12 ถูกจัดเป็นวงจรกำเนิดฐานเวลา เพื่อกำเนิดสัญญาณความถี่ 30 MHz ตามฐานเวลาของผลึก (Crystal) แล้วป้อนเข้าสู่ IC13 และ IC14 ซึ่งจัดวงจรนับแบบจอห์นสันแบบ มอด 3 หรือวงจรหาร 6 สัญญาณความถี่ขนาด 30 MHz จะถูกวงจรนับแบบจอห์นสัน หารลงมาเหลือ 5 MHz จากนั้นนำสัญญาณจากขา 5 ของ IC13/1 และขา 8 ของ IC13/2 มาเป็นสัญญาณเวลาจุด (Dot clock) กับสัญญาณ R/$\overline{W}$ ส่วนสัญญาณ ADC Clk นั้นได้จากการนำสัญญาณทั้งสองมาแอนด์กัน แผนภาพเวลาของวงจรดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 4.15



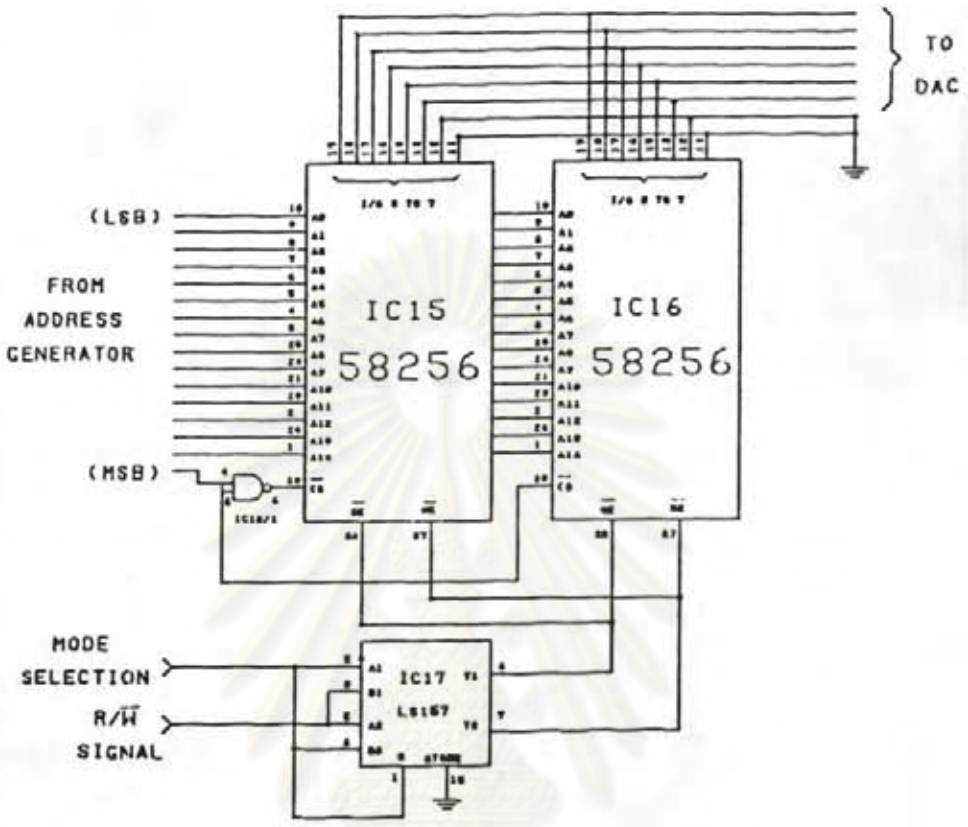
รูปที่ 4.15 แผนภาพเวลาของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

4.2.8 หน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลที่ได้จาก หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลขนี้ ประกอบด้วยหน่วยความจำขนาด 32 กิโลไบต์ 8 บิต (bit) จำนวน 2 ตัว ซึ่งเป็นแบบหน่วยความจำสถิตย์ (Static RAM)

แต่เนื่องจากวงจรหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลขนั้นเป็นแบบ 6 บิต เท่านั้น ดังนั้นสายบัสข้อมูล (Data bus) ที่เหลืออีก 2 เส้นจึงต่อกับดิน (Ground) ไว้ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน ตัววงจรประกอบเป็นแบบ 64 กิโลไบต์ โดยอาศัยการเลือก Chip select ที่สายตำแหน่ง (Address) สูงสุด ดังรูปที่ 4.16

IC15 กับ IC16 เป็นหน่วยความจำสถิตย์ขนาด 32 กิโลไบต์ 8 บิต ได้รับการเลือกตำแหน่ง จากวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งตั้งแต่ 0 ถึง 32 กิโลไบต์แรกจะถูกเรียกเข้าที่ IC16 ส่วน 32 กิโลไบต์หลังถูกเรียกเข้าที่ IC15 ทั้งนี้เนื่องจากเลือกการทำงานผ่านทาง IC18/1 เข้าทางขา Chip select ($\overline{CE}$)

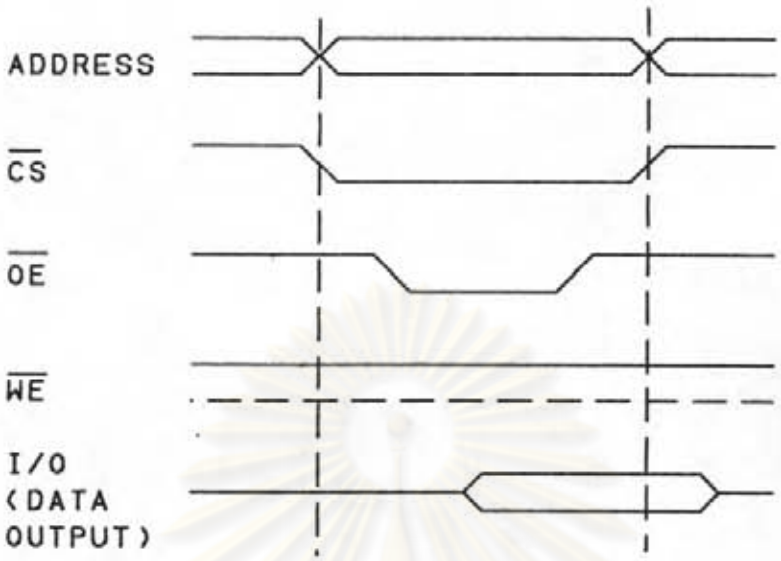


รูปที่ 4.16 วงจรหน่วยความจำ

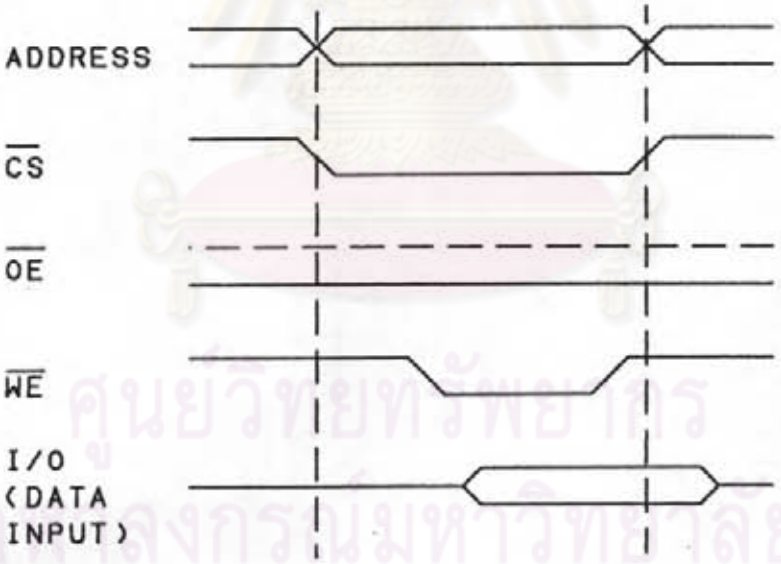
ส่วนสายบัสข้อมูล (Data bus) นั้นจะต่อออกจาก I/O-0 ถึง 5 ในลักษณะขนานกันได้ทันที ทั้งนี้เพราะทางออกของหน่วยความจำสถิตย์ ทั้งสองเป็นแบบสามสถานะ สำหรับสัญญาณ $\overline{OE}$ (Output enable) กับ $\overline{WE}$ (Write enable) นั้นจะได้มาจาก IC17 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรเลือกข้อมูล เพื่อเลือกสัญญาณจาก R/$\overline{W}$ กับสัญญาณเลือกสภาวะที่ได้จากวงจรเลือกสภาวะ (Mode selector)

การทำงานในขณะอ่านข้อมูล (Read cycle)

ในขณะที่สัญญาณเลือกสภาวะเป็น High สัญญาณนี้จะป้อนเข้าสู่ขา 1 ของ IC17 ทำให้เลือกข้อมูลจากชุด B ที่ขา 4 ของ IC17 จึงเป็นสัญญาณ R/$\overline{W}$ ส่วนขา 7 จะเป็นสัญญาณ High ดังนั้นขา $\overline{OE}$ จะได้รับสัญญาณ R/$\overline{W}$ ส่วนขา $\overline{WE}$ จะได้รับสัญญาณ High ตลอดเวลา มีผลให้หน่วยความจำสถิตย์ส่งข้อมูลออกมา



รูปที่ 4.17 แผนภาพเวลาของวงจรหน่วยความจำขณะทำการอ่านข้อมูล



รูปที่ 4.18 แผนภาพเวลาของวงจรหน่วยความจำขณะทำการเขียนข้อมูล

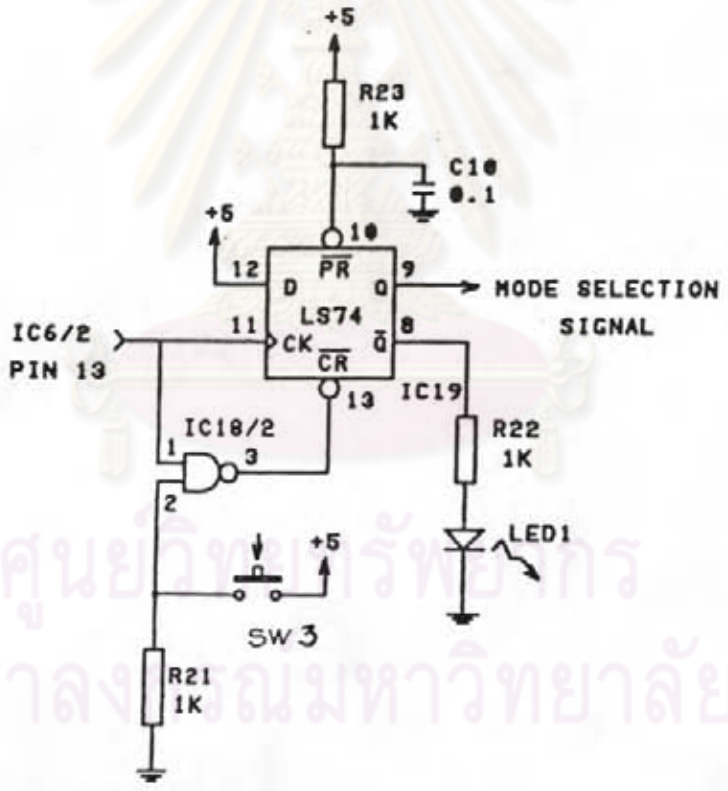
การทำงานในขณะเขียนข้อมูล (Write cycle)

ในขณะที่สัญญาณเลือกสภาวะเป็น Low สัญญาณนี้จะป้อนเข้าสู่ขา 1 ของ IC17 ทำให้เลือกข้อมูลจากชุด A สัญญาณออกที่ขา 4 ของ IC17 จะเป็น Low ตลอดเวลา

ในขณะที่ขา 7 ของ IC17 จะได้รับสัญญาณ R/$\overline{W}$ ดังนั้นขา $\overline{OE}$ ของหน่วยความจำจะเป็น Low ตลอดเวลา ส่วนขา $\overline{WE}$ จะมีรูปสัญญาณเหมือนกับสัญญาณ R/$\overline{W}$ มีผลให้หน่วยความจำอ่านข้อมูลเข้าไปเก็บไว้

4.2.9 วงจรเลือกสภาวะ (Mode selector cct.)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เลือกสภาวะ ว่าจะให้ทำหน้าที่เก็บภาพ (Collection mode) หรือจะแสดงภาพที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ (Display mode) โดยอาศัยการควบคุมของ Freeze switch (SW 3) ทำให้สามารถเปลี่ยนจากสภาวะแสดงภาพมาเป็นสภาวะเก็บภาพได้ วงจรแสดงไว้ในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 วงจรเลือกสภาวะ

เมื่อเปิดเครื่องในตอนแรก (สภาวะที่ 5 ในตารางที่ 4.1) R23 ร่วมกับ C10 จะทำหน้าที่เป็น Power on reset ทำให้สัญญาณออกที่ขา 9 ของ IC19 เป็น High ซึ่งอยู่ในภาวะแสดงภาพ จากนั้นเมื่อทำการกดสวิตช์ SW3 (สภาวะที่ 3) เพื่อ

ทำการเก็บภาพใหม่นั้นสัญญาณออกที่ขา 3 ของแนนเกต (NAND gate) IC18/2 จะยังคงเป็น High อยู่ จนกว่าสัญญาณจาก IC6/2 ขา 13 จะมีพัลส์ High ออกมา ซึ่งแสดงว่าการแสดงภาพได้กระทำมาจนถึงจุดสุดท้ายของภาพแล้ว สัญญาณนี้จะป้อนเข้าที่ขา 11 ของ IC19 และขา 1 ของ IC18/2 พร้อมๆกัน ทำให้ขา 13 ของ IC19 เป็น Low ดังนั้นสัญญาณออกของ IC19 ขา 9 จะเป็น Low (สภาวะที่ 4) ซึ่งจะบังคับให้วงจรทั้งหมดเริ่มทำการเก็บภาพใหม่จนกว่าการเก็บภาพจะสมบูรณ์ทั้งภาพ จึงจะมีสัญญาณมาจากขา 13 ของ IC6/2 มาป้อนให้กับขา 11 ของ IC19 (สภาวะ 2) จึงจะเปลี่ยนจากสภาวะการเก็บภาพมาเป็นการแสดงภาพ ซึ่งหลังจากนั้นหากไม่มีการกด SW3 อีก ภาวะการแสดงภาพก็จะยังคงกระทำต่อเนื่องไปเรื่อยๆ (สภาวะที่ 1)

ตารางที่ 4.1 ตารางตรรกของวงจรเลือกสภาวะ

สภาวะ	PR	SW3	PIN13	NAND	CLK	D	Q	NOTE
1	H	L	L	H	L	H	Q_o	
2	H	L	H	H	↑	H	H	
3	H	H	L	H	L	H	Q_o	
4	H	H	H	L	↑	H	L	
5	L→H	L	L	H	X	X	H	Power on reset

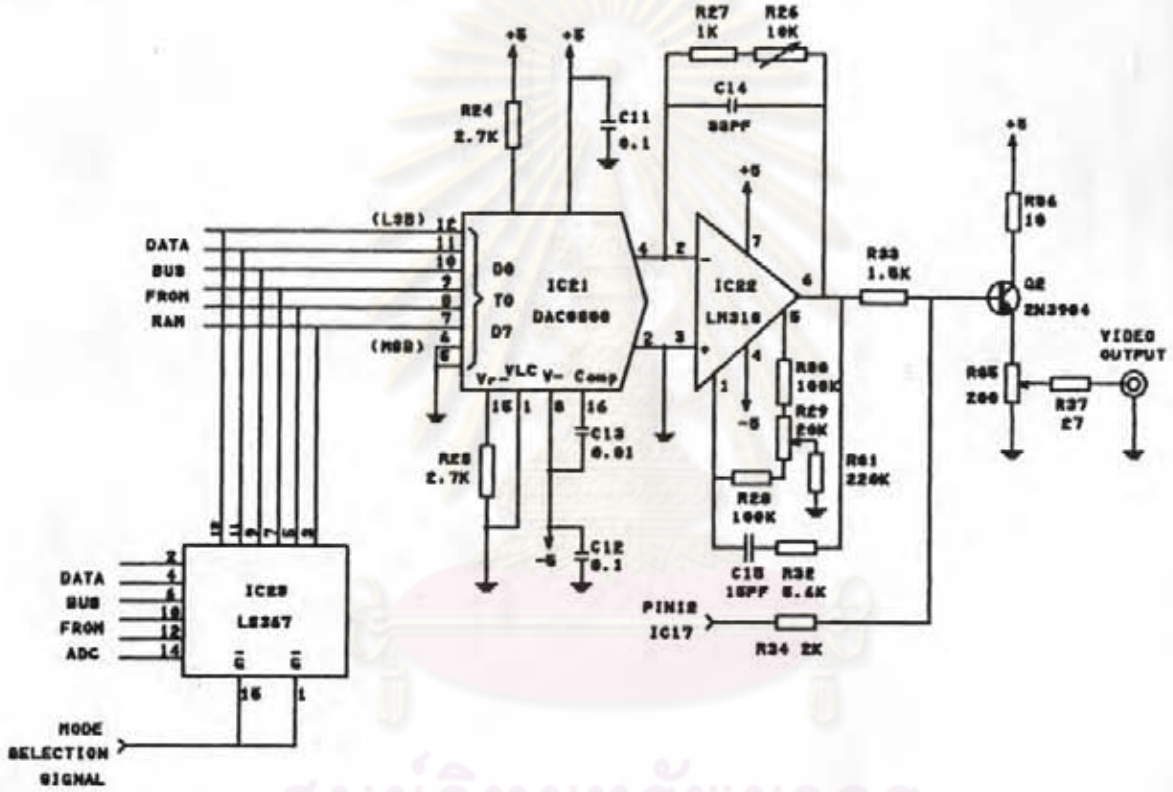
หมายเหตุ Q_o หมายถึง สัญญาณออกคงเดิม X หมายถึง ไม่รับสัญญาณ

H หมายถึง High L หมายถึง Low

↑ หมายถึง ขอบขาขึ้น

4.2.10 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น (Digital to analog converter) และวงจรผสมสัญญาณ (Mixer)

สัญญาณเชิงเลขที่อ่านออกมาจากหน่วยความจำ จะถูกนำมาเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณเชิงเส้นอีกครั้ง แล้วนำไปรวมกับสัญญาณกำหนดจังหวะเพื่อให้กลับเป็นสัญญาณภาพที่สมบูรณ์ พร้อมที่จะป้อนเข้าสู่จอแสดงภาพต่อไป วงจรส่วนนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น และวงจรผสมสัญญาณ

สัญญาณที่จะป้อนเข้าสู่สายบัสข้อมูล (Data bus) ของ IC21 ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น มีอยู่สองทางคือจาก IC23 ซึ่งเป็นเกตสามสถานะกับสัญญาณข้อมูลที่ออกจากหน่วยความจำ ในสภาวะแสดงภาพ IC23 จะตัดทางออกออกจากขาทางเข้าของหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น ในขณะเดียวกันสัญญาณจากหน่วยความจำ ก็จะถูกส่งมายังหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้นแทน แต่ในสภาวะการเก็บภาพนั้นสัญญาณจากหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลขจะส่งผ่าน IC23

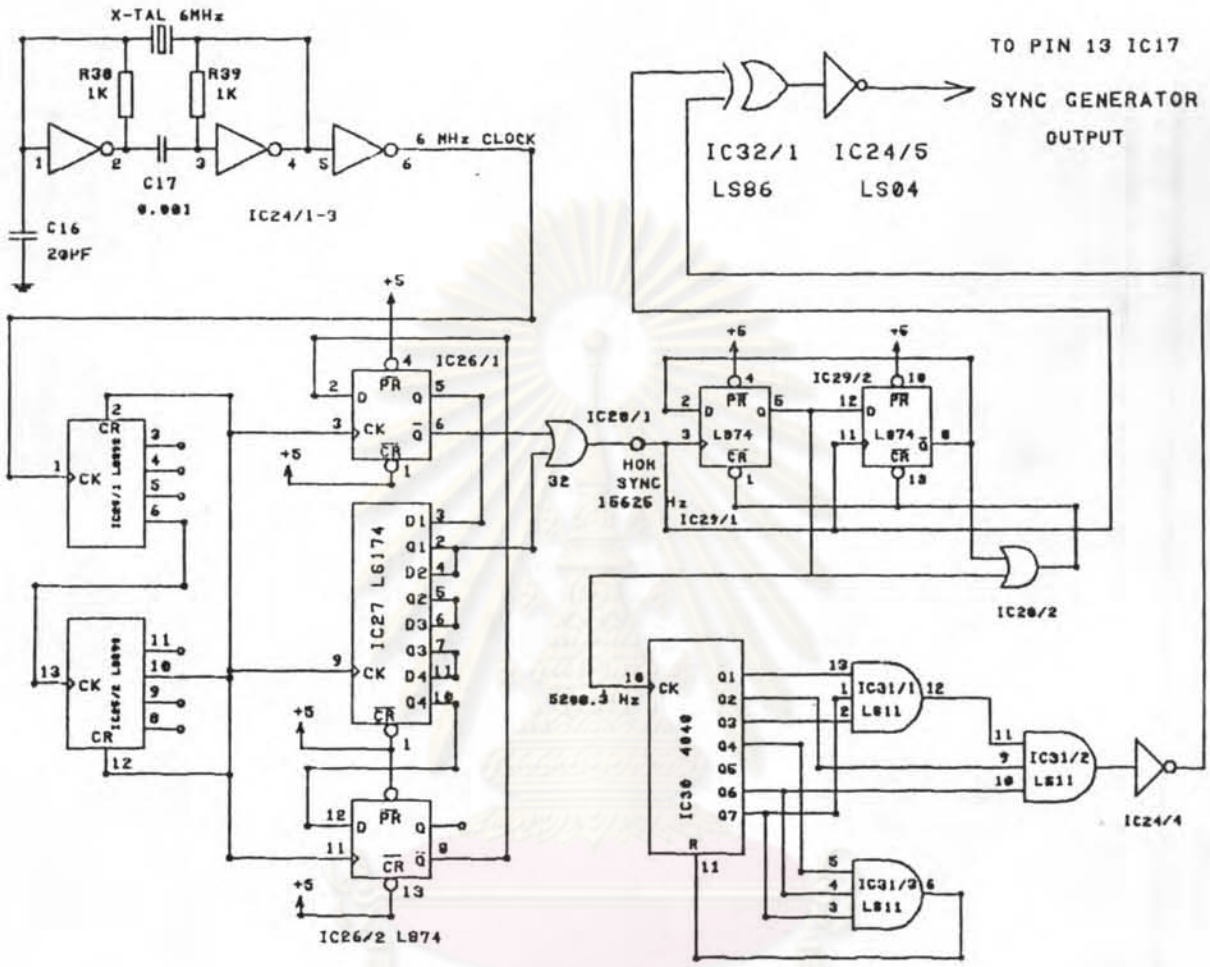
เข้าสู่ทางเข้าของหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น พร้อมๆกับเข้าสู่หน่วยความจำด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการควบคุมของสัญญาณเลือกสภาวะ ที่ป้อนเข้าสู่ขา 1 และ ขา 15 ของ IC23

เมื่อสัญญาณจากสายบัสข้อมูล ป้อนเข้าสู่หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้นแล้ว จะถูกแปลงกลับเป็นสัญญาณเชิงเส้นในรูปกระแสที่ขา 4 ของ IC21 ซึ่งหลังจากนั้นจะถูกแปลงกลับเป็นแรงดันโดย IC22 ป้อนเข้าสู่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรผสมสัญญาณ (Mixer) ระหว่างสัญญาณส่องสว่างและสัญญาณกำหนดจังหวะที่มาจากขา 12 ของ IC17 ออกมาเป็นสัญญาณภาพโทรทัศน์ที่สมบูรณ์ พร้อมที่จะป้อนเข้าสู่จอแสดงภาพต่อไป

4.2.11 วงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ (Sync generator)

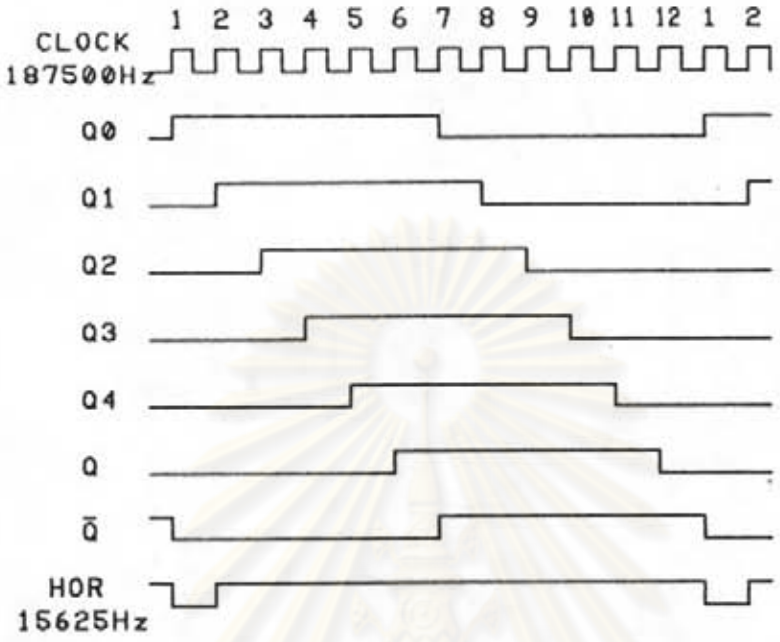
วงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะนี้จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ แทนสัญญาณกำหนดจังหวะเดิมจากกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ ในช่วงเวลาที่วงจรเก็บภาพอยู่ในสภาวะการแสดงภาพ วงจรมีลักษณะดังรูปที่ 4.21

IC24/1, IC24/2 และ IC24/3 ประกอบเป็นวงจรกำเนิดฐานเวลาที่มีความถี่สัญญาณออกเป็น 6 MHz ป้อนเข้าสู่ขา 1 ของ IC25/1 ซึ่ง IC25/1 และ IC25/2 จะประกอบกันเป็นวงจรหาร 32 แบบไบนารี (Binary counter) เมื่อทำการนับจนครบ 32 แล้ว จะเอาสัญญาณจากขา 10 ไปทำการเคลียร์ข้อมูลตัวของมันเองให้เตรียมพร้อมที่จะนับหนึ่งใหม่ สัญญาณออกที่ได้จากขา 10 ของ IC25/2 นี้ จะมีความถี่เท่ากับ 187500 Hz ป้อนเข้าสู่ขา 3 ของ IC26/1 ขา 9 ของ IC27 และขา 11 ของ IC26/2 ซึ่ง IC ทั้งสามนี้ประกอบกันเป็นวงจรหารแบบจอห์นสัน แบบมอด 6 สัญญาณจากขา 6 ของ IC26/1 จะออร์กับสัญญาณที่ได้จากขา 2 ของ IC27 เพื่อสร้างเป็นสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน ดังแผนภาพเวลาในรูปที่ 4.22

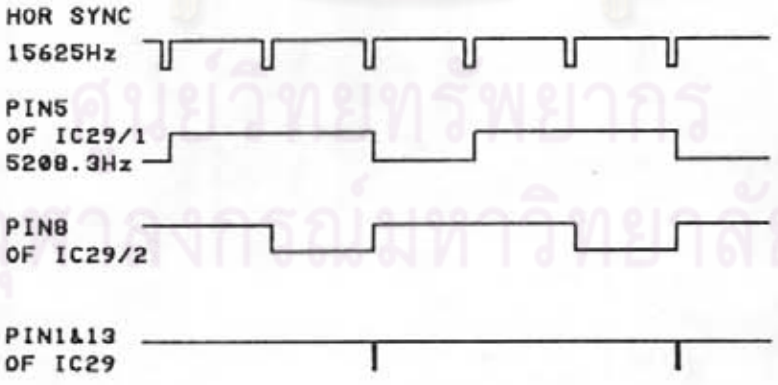


รูปที่ 4.21 วงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 แผนภาพเวลาของวงจรหารแบบจอห์นสัน มอด 6



รูปที่ 4.23 แผนภาพเวลาของวงจรหาร 3 แบบจอห์นสัน

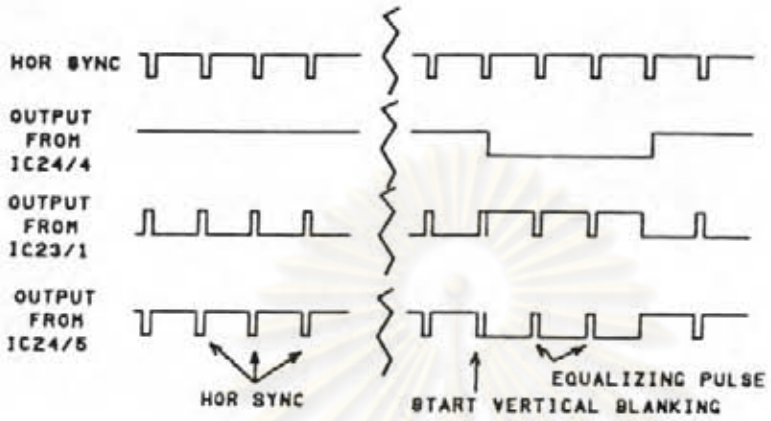
จากนั้นสัญญาณกำหนดจังหวะที่ได้นี้จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรหาร 3 แบบจอห์นสัน อีกครั้งที่ขา 3 และขา 11 ของ IC29 ซึ่งจะได้ค่าความถี่ลดลงเป็น 5208.3 Hz ตามแผนภาพเวลาในรูปที่ 4.23 จากนั้นสัญญาณจากขา 5 ของ IC29/1 จะป้อนเข้าสู่ขา ของ IC30 ซึ่งจัดวงจรแบบไบนารีซึ่งจะทำหน้าที่หาร 104 เมื่อวงจรนับ นับถึง 104 จะได้ สัญญาณออก ดังนี้คือ

Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1	Count
1	1	0	1	0	0	0	104

ดังนั้นเราจึงใช้ IC31/3 มาทำหน้าที่ Decoder จากขา Q4,Q6 และ Q7 เพื่อป้อนกลับไปรีเซ็ต IC30 ให้เริ่มนับหนึ่งใหม่ สำหรับวงจรที่จะให้สัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง ที่มีความกว้างของพัลส์เท่ากับ 192 ไมโครวินาทีนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการถอดรหัส (Decode) จากวงจรนับแบบไบนารี ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการถอดรหัสสัญญาณเมื่อนับถึง 103 ดังนี้

Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1	Count
1	1	0	0	1	1	1	103

สัญญาณออก ของ Q1,Q2,Q3,Q6 และ Q7 จะนำมาแอนด์กัน เพื่อถอดรหัสสร้างเป็นพัลส์บวก แล้วนำไปกลับขั้ว (Inverted) ด้วย IC24/4 ให้เป็นพัลส์ลบ แล้วจึงนำไปรวมกับสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน ผ่านทางวงจรเอกซ์คลูซีฟออร์ (Execusive OR) จากนั้นจึงกลับขั้วอีกครั้งหนึ่ง จะได้สัญญาณกำหนดจังหวะโดยสมบูรณ์ ดังแผนภาพเวลาในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แผนภาพเวลาของสัญญาณกำหนดจังหวะที่สร้างขึ้น

จะเห็นว่าสัญญาณออกที่ได้จาก IC24/5 นี้ มีความคล้ายคลึงกับมาตรฐานมาก จะผิดกันก็เพียงแต่อิควอไลซิงพัลส์ (Equalizing pulse) ที่มีความถี่ลดลงไปครึ่งหนึ่ง ซึ่งปกติจะมีอยู่ 6 พัลส์ ในช่วงสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง ทั้งนี้เพราะระบบมาตรฐานจะมีการกวาดลำอิเล็กตรอนแบบอินเตอร์เลส คือมีทั้งฟิลล์คู่และฟิลล์คี่ แต่ในวงจรที่สร้างขึ้นนี้เป็นแบบธรรมดา (Non-interlace) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีอิควอไลซิงพัลส์เท่ากับมาตรฐานดังกล่าว เพียงแต่ยังคงมีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอนอยู่เพื่อให้จอภาพยังคงสามารถใช้ในการผลิตแรงดันสูงในวงจรฟลายแบค (Fly back) ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ทั้งสองชุดมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก และมีลักษณะการทำงานเหมือนกัน ในที่นี้จึงอธิบายการทำงานเฉพาะวงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับแรงดันสูงเท่านั้น

วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับแรงดันสูงและจุดไส้หลอดแสดงไว้ในรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ

U1 เป็นวงจรรวมที่ทำหน้าที่ควบคุมวงจรขับดันอีกทีหนึ่ง ภายในประกอบด้วยวงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) ซึ่งควบคุมความถี่ด้วย R1 และ C1 ที่ขา 6 และ 7 โดยจะให้แรงดันสำหรับขับวงจรขับดันที่มีเฟสตรงกันข้ามกันที่ขา 11 และ 14 ซึ่งต่อไปยังวงจรขับดันที่ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ Tr1-Tr2 และ Tr3-Tr4 ซึ่งทั้งสองคู่นี้จะประกอบกันเป็นวงจรคอมพลิเมนทารีพุชพูล (Complementary push-pull)

วงจรขับดันจะส่งสัญญาณผ่านทาง R7,C4 และ R8,C5 ไปยังขาเกท (Gate) ของเพาเวอร์มอสเฟทอีกทีหนึ่ง แต่เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟทต่อกันแบบขนาน ดังนั้นที่ขาเกต (Gate) ของเพาเวอร์มอสเฟททุกตัวจะมีความต้านทานค่าต่ำๆ ต่ออนุกรมไว้ ซึ่งทำหน้าที่สองประการคือ

ก) ป้องกันการเกิดออสซิเลทในตัวเอง (Self Oscillation) ของเพาเวอร์มอสเฟท (10)

ข) เป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative feed back) (12) ให้กับเพาเวอร์มอสเฟท ในกรณีที่เพาเวอร์มอสเฟทที่นำมาขนานกันนั้นมีค่าแรงดันเทรสโฮล (Threshold) ไม่เท่ากัน

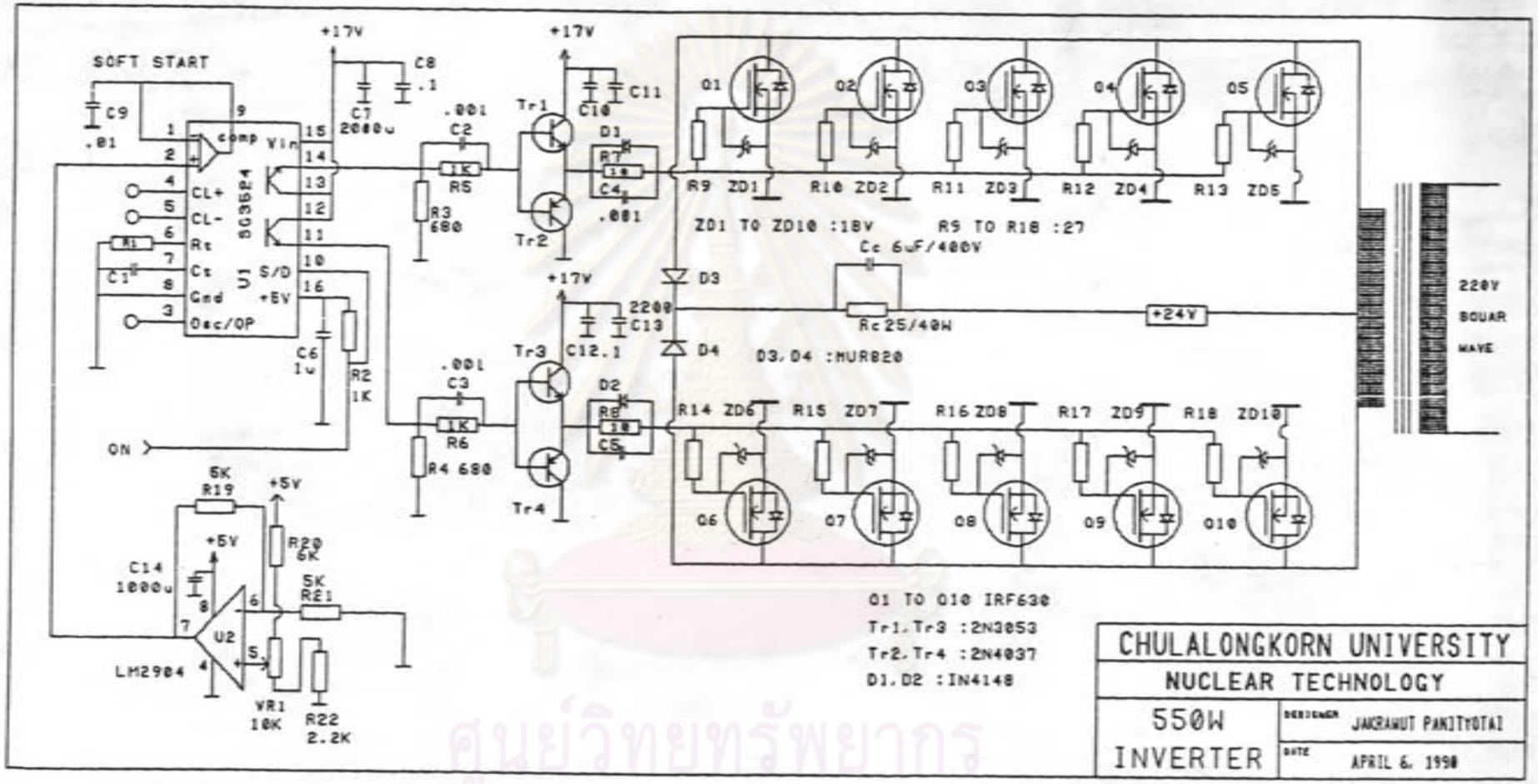
สำหรับซีเนอร์ไดโอดที่ต่ออยู่ที่ขาเกท (Gate) ของเพาเวอร์มอสเฟททุกตัวนั้นมีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันที่ขาเกท (Gate) เกิน 18 โวลต์ (12)

4.3.1 การทำงานของวงจร

เมื่อแรงดันที่ขา 10 ของ U1 มีค่าเป็น LOW วงจรรวม U1 จะเริ่มส่งสัญญาณออกทางขา 14 ของ U1 ไปขับดันให้ Tr2 อยู่ในภาวะปิดกั้น (Off) และ Tr1 อยู่ในภาวะการนำกระแส ซึ่งจะส่งผลให้เสมือนกับต่อแรงดัน 17 โวลต์ เข้ากับขาเกท (Gate) ของเพาเวอร์มอสเฟทชุดบน ทำให้เพาเวอร์มอสเฟทอยู่ในภาวะนำกระแส กระแสจึงวิ่งผ่านขดปฐมภูมิชุดบนของหม้อแปลง เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันที่ขดทุติยภูมิ ในครึ่งรอบหลัง (Half cycle) ขา 11 ของ U1 จะเริ่มทำการส่งสัญญาณออกไปเมื่อขา 14 ของ U1 ได้หมดสัญญาณลงไปชั่วขณะหนึ่งแล้ว วงจรด้านล่างจึงจะเริ่มทำงานเช่นเดียวกับด้านบน

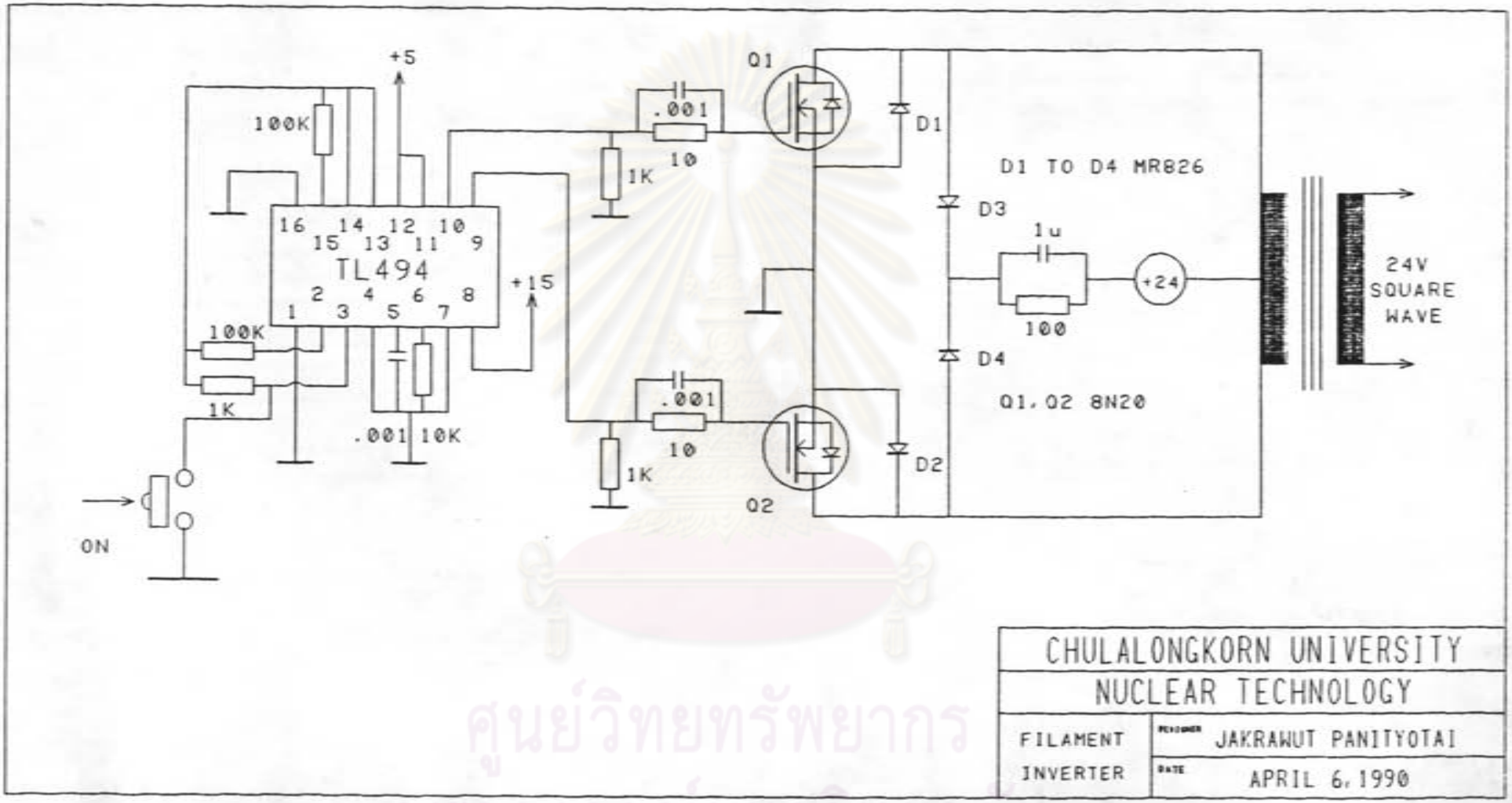
จากการทำงานของวงจรชีกบนสลับกับด้านล่าง แรงดันที่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงจึงปรากฏเป็นแรงดันสลับรูปเหลี่ยม (Square wave) ที่มีความถี่เป็น 600 Hz ขนาด 220 โวลต์

4.3.2 วงจรป้องกันเพาเวอร์มอสเฟท เนื่องจากการที่มีช่วงเวลาหยุด (Dead time) จะเกิดแรงดันสไปค์ (Spike) ขึ้น ซึ่งแรงดันดังกล่าวเกิดจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงซึ่งแรงดันนี้มีค่าสูงมากพอที่จะทำลายเพาเวอร์มอสเฟทได้ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีวงจรป้องกันไม่ให้แรงดันนี้มีค่าเกิน แรงดันสูงสุดที่เพาเวอร์มอสเฟทจะทนได้ วงจรที่ใช้ป้องกันนี้มีหลายแบบ(10)(12)(13)(14) ในที่นี้ผู้วิจัยเลือกใช้วงจรแบบ อาร์-ซีแคลมป์ (RC Clamping) ซึ่งประกอบไปด้วย D3,D4,Rc และ Cc ทั้งนี้เมื่อแรงดันสไปค์ มีค่าสูงกว่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุ Cc แรงดันนั้นจะถูกดูดซับไปใน Cc และแรงดันที่ได้รับการสะสมอยู่ใน Cc นี้ จะคายออกผ่านทาง Rc คืนสู่แหล่งจ่ายไฟตรงในช่วงเวลาที่ไม่มี สไปค์ จึงเป็นการประหยัดพลังงานไปได้ส่วนหนึ่ง



รูปที่ 4.25 วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับแรงดันสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับวงจรจุดไส้หลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย