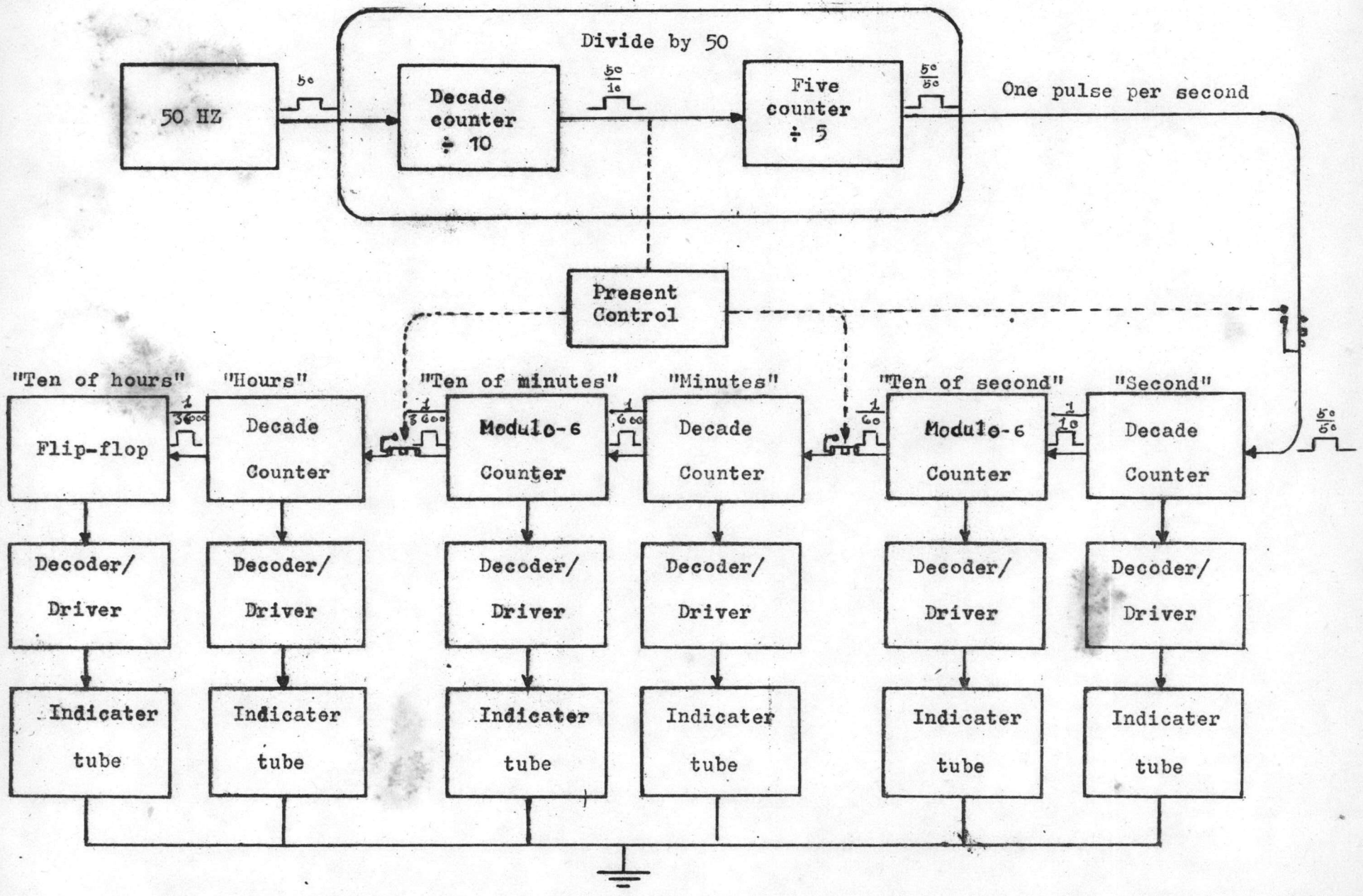
บทที่ ๓

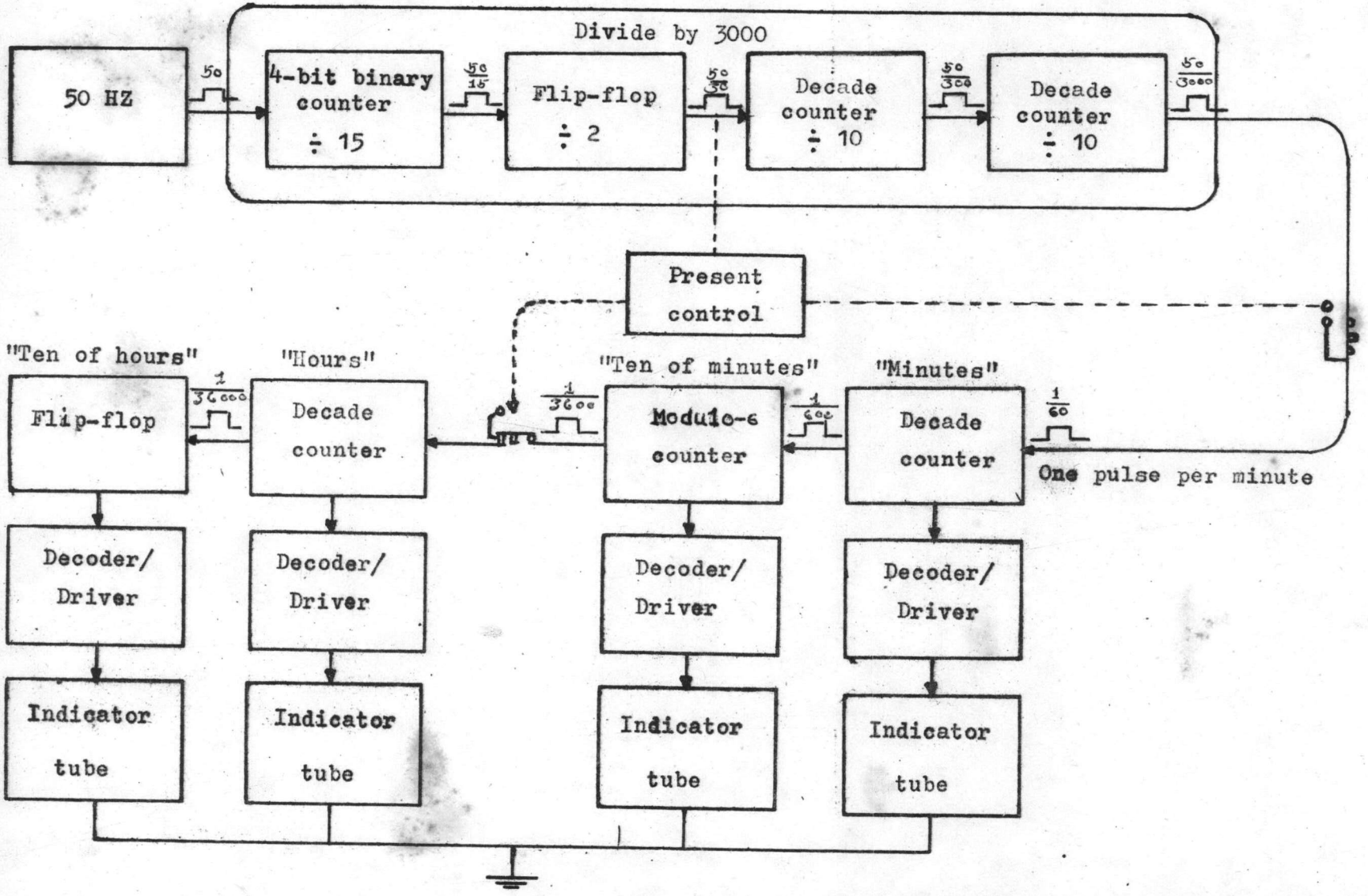
การออกแบบนาฬิกาดิจิตอล

หลักการของนาฬิกาดิจิตอล

เราสามารถนำวงจรอินติเกรทของ counter แบบต่าง ๆ มาสร้างเป็นนาฬิกาดิจิตอลขึ้นมาได้ การทำงานของนาฬิกาดิจิตอลต้องใช้ความถี่จากกระแสไฟฟ้าหรือเครื่อง clock pulse generater มาแปลง clock pulse กระแสไฟฟ้าที่ใช้เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ (A.C) มีความถี่ ๕๐ ครั้งต่อหนึ่งวินาที (50 Hz) ซึ่งสามารถนำมาทำให้เป็น clock pulse ที่มีความถี่ 50 pulse/วินาทีได้ เราใช้วงจร divider มาประวิงความถี่ให้เหลือเพียง ๑ ความถี่ต่อวินาที จะได้ clock pulse ใช้ในการนับเวลาเป็นวินาทีได้ ดังนั้น counter นับวินาทีจะทำงานทุก ๆ pulse /วินาที หลังจากนับได้ ๖๐ วินาทีแล้ว จะส่งหนึ่ง clock pulse มาทำให้ counter ที่นับเวลานาทีเริ่มทำงานเช่นกัน counter นาทีจะเริ่มทำงานทุก ๆ pulse /นาทีที่ได้เข้ามาใน counter ในทำนองเดียวกันทุก ๆ ๖๐ นาทีมีหนึ่ง clock pulse มาทำให้ counter นับชั่วโมงทำงาน counter นับชั่วโมงนี้จะนับเวลาไปครบ ๑๒ ชั่วโมงหรือ ๒๔ ชั่วโมงแล้วจึงเริ่มนับเวลาใหม่ แล้วแต่การออกแบบซึ่งแตกต่างกันไปเล็กน้อย ในขณะที่นาฬิกาดิจิตอลจับเวลาเป็นวินาที นาทีและชั่วโมงอยู่นั้นเราสามารถแสดงเวลาออกมาเป็นตัวเลขให้เห็นได้ชัดเจนโดยใช้ decoder และหลอดตัวเลข หลักการทำงานของนาฬิกาดิจิตอลสามารถแสดงเป็น block diagram ได้ดังรูปที่ ๑๐ และรูปที่ ๑๑ นาฬิกาดิจิตอลในรูปที่ ๑๐ จะแสดงเวลาเป็นวินาที นาที และชั่วโมง ส่วนนาฬิกาในรูปที่ ๑๑ จะแสดงเวลาเป็นนาที และชั่วโมงเท่านั้น เนื่องจาก 7-Segment display ที่แสดงวินาทีนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเสมอทุก ๆ วินาทีซึ่งจะทำให้อายุการทำงานต่ำลง เพื่อตัดปัญหานี้จึงได้ตัดสินใจสร้างนาฬิกาดิจิตอลแบบแสดงเวลานาทีและชั่วโมง พร้อมกันนี้แสดงเวลาก่อนเที่ยงและหลังเที่ยงให้ด้วย



รูปที่ -๐๐ block diagram of clock (second, minute, hour)

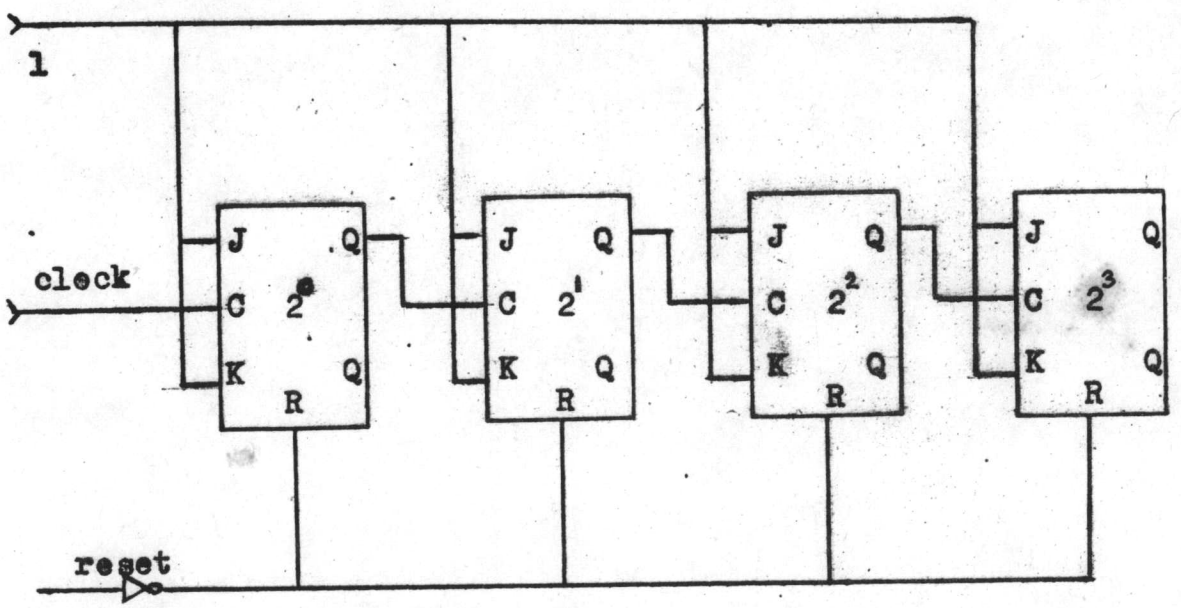


รูปที่ ๑๑ block diagram of clock (minute, hour)

Logic elements

counter ต่าง ๆ ในรูปที่ ๑๑ ใช้ประวิงความถี่จาก 50 Hz ให้เป็น pulse /นาที และ pulse /ชั่วโมง เราต้องเลือกcounter ให้เหมาะสมกับการใช้งาน counter สามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็นสองแบบคือ

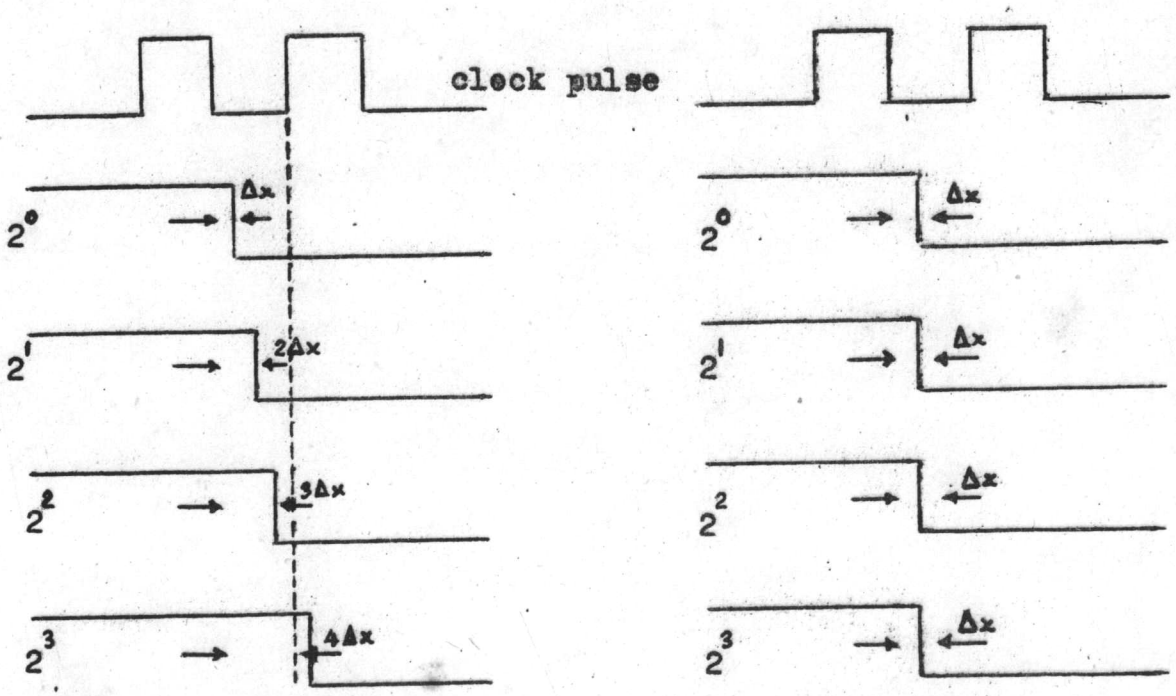
แบบ asynchroneus counter วงจรแบบนี้ฟลิพฟลอพต่าง ๆ ภายในวงจรไม่ได้ทำงานพร้อมกันหมด ตัวอย่างวงจร asynchroneus counter ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๑๒ ฟลิพฟลอพตัวซ้ายสุดจะต่อกับ clock pulse โดยตรง เอาท์พุท Q ของฟลิพฟลอพตัวซ้ายมือจะทำหน้าที่เป็น clock ให้กับฟลิพฟลอพที่อยู่ทางขวามือ อินพุท J และK ของฟลิพฟลอพทุกตัวต่อกับสัญญาณไฟสูง ดังนั้นเอาท์พุทของฟลิพฟลอพจะเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมทุก ๆ ครั้งที่มีการเปลี่ยนสัญญาณไฟจากสูงเป็นสัญญาณไฟต่ำของ clock



รูปที่ ๑๒ asynchroneus up counter

อีกแบบหนึ่งคือ แบบ **synchronous counter** วงจรแบบนี้ฟลิพฟลอพต่าง ๆ ภายในวงจรจะทำงานพร้อม ๆ กันหมดทุกตัวโดยใช้ clock รวมกัน ตัวอย่างวงจรของ synchronous counterได้แสดงไว้ในรูปที่ ๙ เอาท์พุทของฟลิพฟลอพในเลขหลักหนึ่ง ๆ จะเปลี่ยนเป็นค่าตรงข้ามของมัน ต่อเมื่อตัวเลขหลักที่น้อยกว่าเลขหลักนั้นทุก ๆ ตัวมีสัญญาณไฟสูงหมด

ฟลิพฟลอพที่ใช้ในวงจร counter ทั้งแบบ **asynchronous** และ **synchronous** จะมีค่า time delay อยู่ด้วย ถึงแม้ว่าค่า time delay นี้จะมีหน่วยเป็น nanosecond (10^{-9} second) ก็ตาม การนำวงจร counter มาใช้นั้นเราจะต้องคำนึงถึงค่า time delay นี้ด้วย มิฉะนั้น counter อาจทำงานผิดพลาดได้ ในรูปที่ ๑๓ เปรียบเทียบ time delay ที่เกิดขึ้นในวงจร asychronous counter กับ sychronous counter



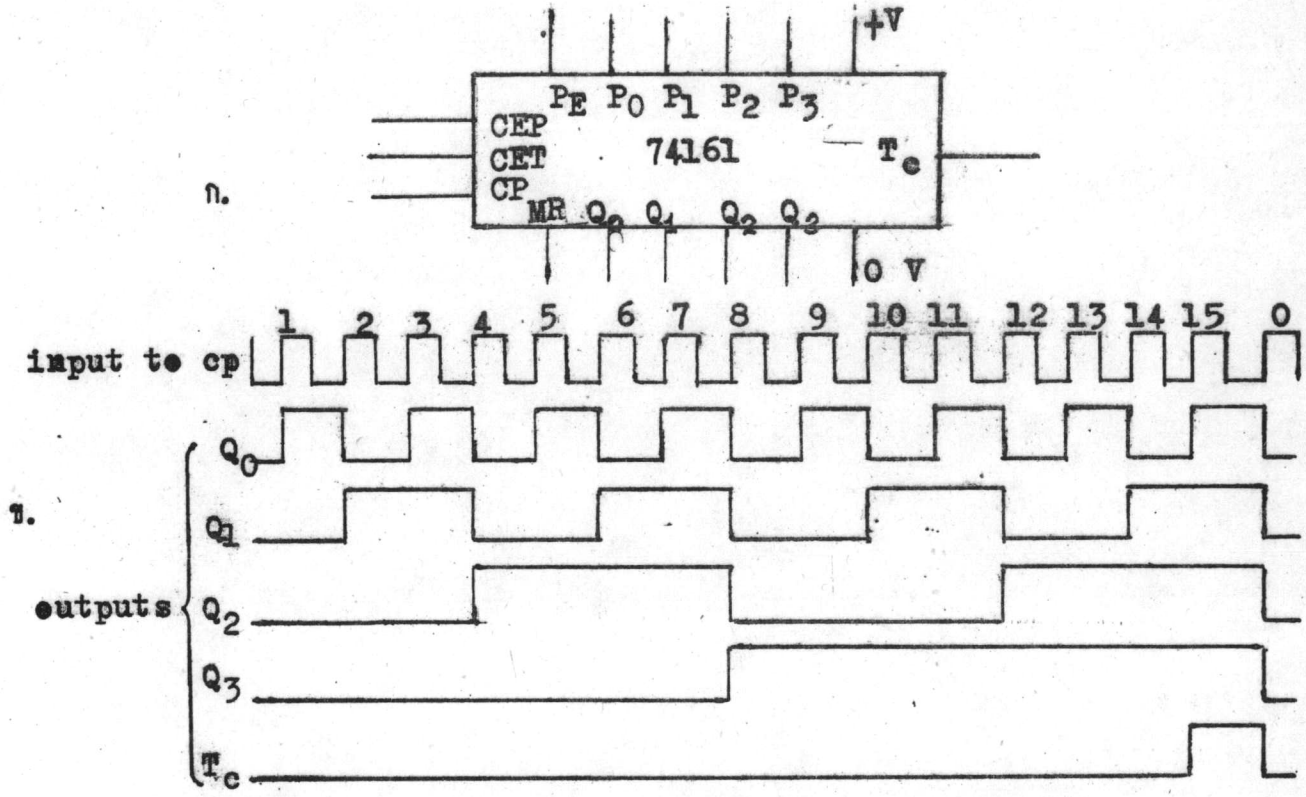
รูปที่ ๑๓ การเปรียบเทียบ time delay ที่เกิดขึ้นในวงจร **asynchronous counter and synchronous counter**

time delay ที่เกิดขึ้นในฟลิพฟลอพของวงจร synchronous counter ทุกตัวจะเกิดขึ้นพร้อมกันและมีค่าเท่ากันหมด ทั้งนี้เนื่องจากฟลิพฟลอพแต่ละตัวต่อเข้ากับ clock ร่วมกัน ถ้าเราใช้ clock ที่มีความถี่สูงเราก็ต้องคำนึงถึงค่า time delay นี้ด้วย เพราะอาจทำให้ counter นับผิดพลาดได้ ส่วน time delay ที่เกิดขึ้นในฟลิพฟลอพของวงจร asynchronous counter นั้น ถึงแม้ว่าจะมีขนาดเท่า ๆ กันสำหรับฟลิพฟลอพทุกตัวก็ตาม แต่ time delay จะเกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ กัน time delay ที่เกิดขึ้นในฟลิพฟลอพหลัก 2^1 เกิดเป็น 2 เท่าฟลิพฟลอพหลัก 2^0 ฟลิพฟลอพหลัก 2^2 เกิดtime delay เป็น 3 เท่าของฟลิพฟลอพหลัก 2^0 ฟลิพฟลอพที่อยู่หลักสูง ๆ ขึ้นไปอีก time delay ที่เกิดขึ้นย่อมที่จะมากขึ้นตามตัวด้วย หาก time delay ที่เกิดขึ้นมานั้นมีค่ามากกว่าความถี่ของ clock pulse แล้ว จะทำให้การนับเลขในระบบนี้ผิดพลาดไปหมด ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ ๑๓ ที่ลากเป็นเส้นไข่ปลา ทั้งนี้เพราะเอาท์พุทของฟลิพฟลอพตัวหนึ่งจะทำหน้าที่เป็น clock ให้กับฟลิพฟลอพตัวที่อยู่ถัดไป เมื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานของฟลิพฟลอพตัวสุดท้ายแล้ว จะเห็นว่า time delay ที่เกิดขึ้นมีขนาดเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว ดังนั้นการใช้วงจรแบบ asynchronous counter นี้ต้องระมัดระวังในเรื่องความถี่ของ clock มากกว่าวงจรแบบ synchronous counter ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

counter เพื่องานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ synchronous counter ที่มี speed การทำงานไว และมีค่า time delay น้อยจนเราไม่ต้องคำนึงถึงที่จะนำมาใช้งาน เพราะความถี่ clock pulse ที่นำมาใช้มีค่าเพียง 50 Hz counter ที่เลือกใช้คือ SN 74160 , SN 74161 , Decoder SN 7447 พร้อมกับ 7-segment display, NAND gate SN 7403 and

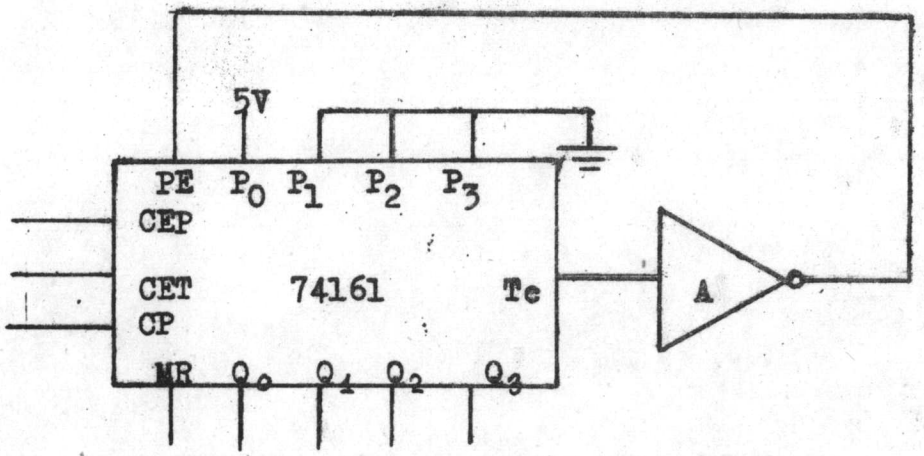
J-K flip-flop SN 7443

SN 74161 มี ๑๖ ขา เป็น counter นับเลขระบบไบนารี่ตั้งแต่ 0000 ถึง 1111 ขาต่าง ๆ และการทำงานของวงจรอินติเกรทแสดงอยู่ในรูปที่ ๑๔



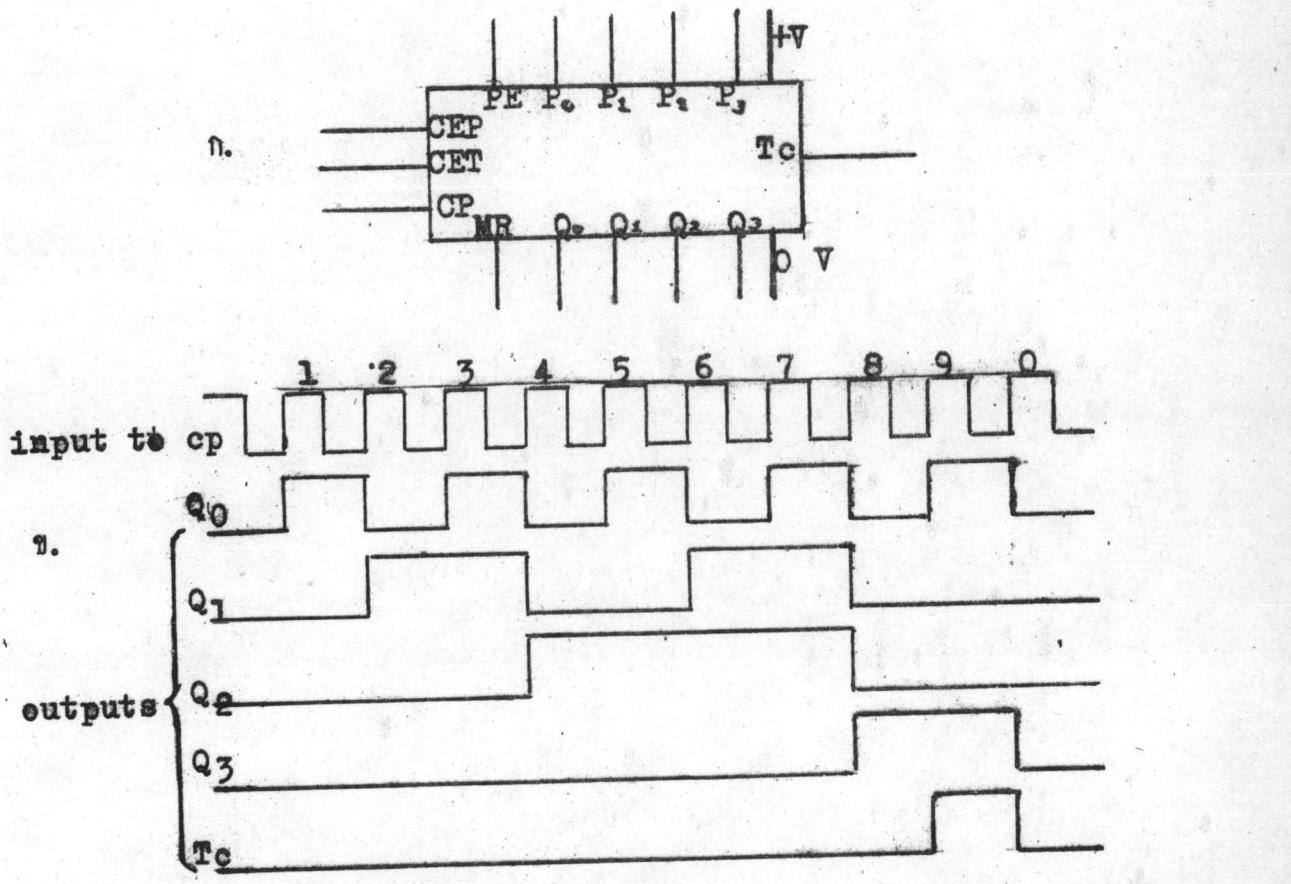
รูปที่ ๑๔ การทำงานของวงจร SN 74161 ก. สัญญลักษณ์
ข. ผลที่ได้ออกมา

ขา CEP กับขา CET จะต่อกับไฟ ๕ โวลท์ เพื่อทำหน้าที่คอยตรวจสอบการทำงานของฟลิพฟลอพ ๔ ตัวให้ทำงานปกติ ส่วนขา CP จะทำหน้าที่รับ clock pulse เข้ามาให้ฟลิพฟลอพ ๔ ตัวทำงาน เอาท์พุท Q_0, Q_1, Q_2 และ Q_3 แสดงออกในรูปไบนารี่ วงจรนับเลขจะแสดงเอาท์พุทตั้งแต่ 0000-1111 ส่วนเอาท์พุทของ Tc เมื่อฟลิพฟลอพทุกตัวนับตัวเลขถึง 1111 จึงจะแสดงเอาท์พุทออกมา อินพุท P_0, P_1 P_2 และ P_3 นั้นทำหน้าที่ Preset สัญญาณไฟให้นับเลขเริ่มตั้งแต่เลขใด ๆ ก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเริ่มตั้งแต่ 0000 เพราะว่าอินพุท P_0, P_1, P_2 และ P_3 จะถูกควบคุมโดยอินพุท PE โดยขณะที่ PE เปลี่ยนสัญญาณไฟจากต่ำเป็นสูง สัญญาณไฟสูงที่ป้อนให้กับอินพุทตัวใดตัวหนึ่งหรือมากกว่า ๒ อินพุทขึ้นไปของ P_0, P_1, P_2 และ P_3 จะถูกรับเข้าไปในฟลิพฟลอพทำให้การนับเลขจะเริ่มนับตั้งแต่เลขใด ๆ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟที่ป้อนให้กับอินพุท P_0, P_1, P_2 และ P_3 เช่น เราสามารถให้วงจรอินติเกรทตัวนี้นับ 0001 ถึง 1111 แทนที่จะนับ 0000 ถึง 1111 ได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ ๑๕



รูปที่ ๑๕ การนับเลข ๐ ถึง ๑๕ ของ SN 74161

อินพุท P_0 ป้อนด้วยสัญญาณไฟสูง ๕ โวลท์ตลอดเวลา ขณะที่ counter กำลังนับเลขใด ๆ อยู่ เอาท์พุทของ Tc เป็นสัญญาณไฟต่ำอยู่ผ่าน Inverter A ได้สัญญาณไฟสูงป้อนเข้าที่ อินพุท PE จะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการทำงานของ counter เมื่อใดที่ฟลิพฟลอพนับถึง 1111 แล้ว เอาท์พุท Tc ของวงจรอินติเกรท จะเป็นสัญญาณไฟสูง เมื่อผ่าน Inverter A แล้วจะเป็นสัญญาณไฟต่ำผ่านเข้า อินพุท PE จะทำให้การนับเลขเริ่มเป็น 0001 ไม่ใช่ 0000 เพราะว่า อินพุท P_0 ป้อนสัญญาณไฟสูงเป็น Preset ขณะที่สัญญาณไฟต่ำเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟสูงที่ อินพุท PE จะทำให้สัญญาณไฟที่ป้อนเข้าที่ P_0 ถูกรับเข้าไปในฟลิพฟลอพตัวแรกของ counter ดังนั้นการนับเลขใหม่จะเริ่มจาก 0001 ส่วนอินพุท MR นั้น เมื่อใดก็ตามที่สัญญาณไฟที่ป้อนเข้ามาทางอินพุท MR เปลี่ยนจากสัญญาณไฟต่ำเป็นสัญญาณไฟสูงแล้ว จะ Set ฟลิพฟลอพทุกตัวให้เป็นศูนย์หมด ในทำนองเดียวกันเราก็สามารถที่จะให้วงจรอินติเกรทตัวนี้นับเลข 0000 ถึงเลขใดก็ได้โดยไม่จำเป็นต้องนับเลขถึง 1111 จากที่อธิบายมานี้จะเห็นคุณสมบัติของ counter ตัวนี้มีประโยชน์ในการใช้งานได้มาก ส่วน SN 74160 เป็น counter นับเลขระบบไบนารี่ตั้งแต่ 0000-1001 รายละเอียดและการทำงานต่าง ๆ เหมือนกับวงจรอินติเกรท SN 74161 ทุกประการ การทำงานของตัวอินติเกรทนี้ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ ๑๖



รูปที่ ๑๖ การทำงานของวงจร ก. สัญญลักษณ์ ข.– ผลที่ได้ออกมา

หมายเหตุ counter SN 74161 กับ SN 74160 ที่ใช้ในการวิจัยนี้ การเปลี่ยนแปลงของลอจิกของเอาท์พุท Q_0 , Q_1 ,Q_2 และ Q_3 ที่ใช้ควบคู่กับ MR หรือ PE นี้จะเกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่ลอจิกของ clock pulse เปลี่ยนจาก ๐ เป็น ๑ เท่านั้น ส่วน Decoder SN 7447 และ 7-Segment display, SN 7400 NAND gate และ SN 7473 J-K ฟลิพฟลอพจะทำงานตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ ๒

<u>การออกแบบ</u>

ในการออกแบบเมื่อทำการเลือกวงจรลอจิกเกรดต่าง ๆ ตามที่ต้องการแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ

๑. การสร้าง clock pulse ที่มีความถี่ 1 clock pulse ต่อ ๑ นาที

๒. เมื่อ counter ทำหน้าที่นับถึง ๕๙ นาทีแล้ว จะต้องเริ่มนับจากศูนย์นาที ใหม่อีกพร้อมกับส่งหนึ่ง clock pulse ให้กับ counter นับชั่วโมง

๓. การนับชั่วโมงของ counter ให้นับแค่ ๑๒ ชั่วโมง เมื่อนับเวลาได้ ๑๒.๕๙ นาฬิกาแล้วจะเริ่มนับหนึ่งนาฬิกาใหม่ (๐๑.๐๐ น.)

๔. การแสดงบอกเวลาเป็น a.m. หรือ p.m.

๕. การตั้งเวลานาทีและชั่วโมง

วงจรนาฬิกาดิจิตอลได้แสดงไว้ในรูปที่ ๑๗

การทำงานของวงจร

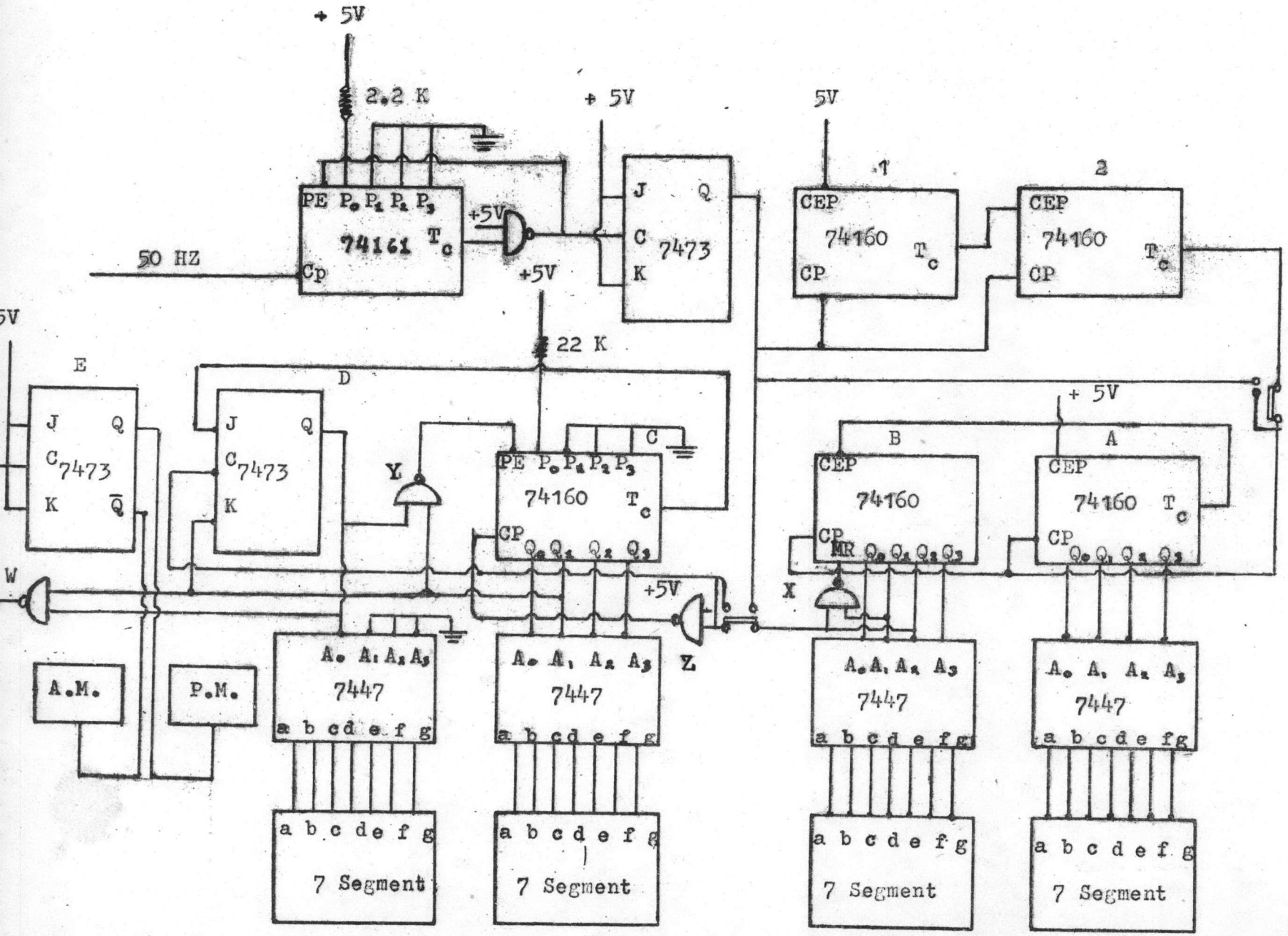
การทำงานของวงจรในรูปที่ ๑๗ มีดังนี้ คือ

๑. clock pulse 50 Hz จะถูกส่งเข้าทางอินพุท Cp ของวงจรลอจิกเกรท SN 74161 ตัวลอจิกเกรทนี้จะทำให้เกิดหนึ่ง clock pulse ต่อทุก ๆ 15 clock pulse ที่เข้ามา ดังนั้นทุก ๆ 15 clock pulse ที่เข้ามาในวงจรจะเกิดหนึ่ง clock pulse ขึ้นที่เอาท์พุท Tc

๒. เอาท์พุท Tc จะส่งผ่านมายัง NAND gate ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น inverter ส่งไปยังอินพุท PE ของ counter SN 74161 และไปทำหน้าที่เป็น clock ของ J-K Flip-flop อีกด้วย

๓. อินพุท PE จะทำให้ counter SN 74161 นับย้อนกลับจาก 1111 เป็น 0001 และนับต่อ ๆ ไป ดังนั้น counter จะทำหน้าที่นับจาก 0001-1111

๔. clock pulse ที่ส่งเข้ามายัง J-K Flip-flop จะประวิงให้ทุก ๆ 2 clock pulse ที่เข้ามาให้เฉิดเพียงหนึ่ง clock pulse พร้อมกันนั้นจะส่ง clock pulse ออกทางเอาท์พุท Q ไปยัง counter SN 74160 ๒ ตัว



รูปที่ ๑๗ วงจรนาฬิกาดิจิทอล

๕. counter SN 74160 ซึ่งเป็น counter นับเลขไบนารี่ 0000 - 1001 จะทำหน้าที่ประวิงให้เกิดหนึ่ง clock pulseในทุก ๆ 10 clock pulse ที่เข้ามาและจะส่งเอาท์พุทไปยัง SN 74160 อีกตัวทำหน้าที่ เช่นเดียวกัน ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้ออกมาจะเป็น clock pulse ที่เกิดขึ้นทุก ๆ หนึ่งนาที ทั้งนี้เพราะจากไฟ 50 Hzที่ป้อนเข้ามาผ่าน counter ต่าง ๆ มีการประวิงให้เกิดเพียงหนึ่ง clock pulse ในจำนวน clock pulse ที่เข้ามาเท่ากับ ๑๕ x ๖ x ๑๐ x ๑๐ = ๓๐๐๐ clock pulse จะกินเวลาหนึ่งนาทีพอดี

๖. ในทุก ๆ หนึ่งนาทีจะมีหนึ่ง clock pulse มาทำให้ counter A มีการนับเลขเป็นไบนารี่ พร้อมกันนั้นจะส่งสัญญาณเลขไบนารี่ที่นับได้ผ่านมายัง Decoder SN 7447 ซึ่งจะเปลี่ยนเวลาไบนารี่ให้แก่ 7-Segment display แสดงเป็นตัวเลขฐานสิบให้เห็นชัดได้

๗. หลังจาก counter Aนับไปสิบ clock pulse แล้วจะส่งหนึ่ง clock pulse ให้กับ counter B counter Bจะนับทุก ๆ clock pulse ที่ส่งมาจาก counterAพร้อมกับส่งสัญญาณเลขไบนารี่ที่นับได้ไปยัง Decoder และไปแสดงออกเป็นตัวเลขที่ 7-Segment display

๘. ในขณะที่ counter Bนับได้ 0101 (5) counter A นับได้ 1001 (9) ขณะเริ่มนับ 0000 ใหม่พร้อมกับจะส่งหนึ่ง clock pulse ให้กับ counter Bทำให้อินพุท MR ที่ counter B จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟต่ำเป็นสัญญาณไฟสูง จะทำให้ counter B นับจาก 0101 เป็น 0000 ขณะเดียวกันทำให้เอาท์พุทของ NAND gate Z เปลี่ยนสัญญาณไฟต่ำเป็นสัญญาณไฟสูง ทำให้ส่งหนึ่ง clock pulse ให้กับ counter Cเพื่อใช้นับเวลาเป็นชั่วโมงต่อไป

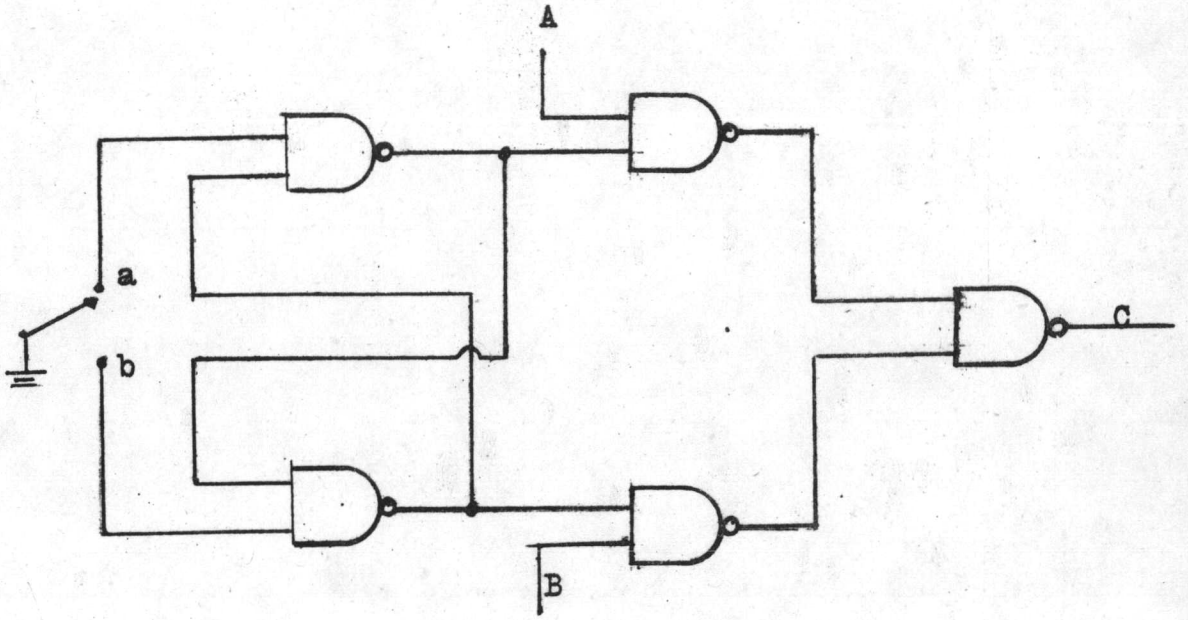
วงจรในส่วนที่ใช้นับชั่วโมงมีความยุ่งยากพอควร ทั้งนี้เนื่องจากให้นับเวลาจาก ๑๒.๕๙ นาฬิกาเป็น ๐๑.๐๐ นาฬิกา counter C ใช้เป็นหลักหน่วยของการนับเวลาเป็นชั่วโมง ส่วนหลักสิบในการนับชั่วโมงใช้ J-K Flip-flop clock pulse 1 pulse ต่อชั่วโมงส่งมาจาก counter B มายัง counter C และยังส่งโดยตรงมายังฟลิพฟลอพ D อีกด้วย หันมาดูในเวลา ๐๑.๐๐ นาฬิกาทุก ๆ

clock pulse ต่อชั่วโมงที่ส่งจาก counterB มายัง counter Cนั้น counter C จะเริ่มมีการนับเลขเป็นไบนารี่ แต่ clock pulse ต่อชั่วโมงที่ส่งมายังฟลิพฟลอพ D จะไม่ทำให้เอาท์พุทของฟลิพฟลอพ D เปลี่ยนแปลงเลย ด้วยเหตุที่อินพุท J มาจากเอาท์พุทTc ของ counter C นั้นมีสัญญาณไฟต่ำอยู่และอินพุท K ก็เป็นสัญญาณไฟต่ำด้วย J-K Flip-flop จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงฐานะของเอาท์พุทจาก ๐ เป็น ๑ ขณะที่อินพุท J และ K ยังมีสัญญาณไฟต่ำอยู่ เมื่อ counter C นับถึง ๙ แล้วเอาท์พุท Tc จะมีสัญญาณไฟสูงจะทำให้อินพุท J มีสัญญาณไฟสูงด้วย ขณะนี้นาฬิกาจะแสดงเวลา ๐๙.๐๐ นาฬิกา หลังจากนั้นผ่านไป ๕๙ นาที จะเป็นเวลา ๐๙.๕๙ นาฬิกา clock pulse ๑ นาทีต่อหนึ่ง clock pulse จะถูกส่งเข้ามาที่ counter A จะทำให้counterA และ counter B เป็น ๐๐ พร้อมกัน ส่ง clock pulse ๑ ชั่วโมงต่อหนึ่ง clock pulse มายัง counterC ทำให้แสดงตัวเลขเป็น ๐ พร้อมกันนั้น clock pulseที่มายังฟลิพฟลอพ D ซึ่งอินพุท J มีสัญญาณไฟสูงอยู่จะได้เอาท์พุท Q ออกมาเป็น ๑ ดังนั้นเวลานี้จะแสดงเป็น ๑๐.๐๐ นาฬิกา ขณะนี้อินพุท K และอินพุท J ของฟลิพฟลอพ D อยู่ในสัญญาณไฟต่ำทั้งคู่เมื่อเป็นเช่นนี้จะมี clock pulse เข้ามาที่clock Cก็จะก็จะไม่ทำให้เอาท์พุท Q มีสัญญาณไฟสูงเกิดการเปลี่ยนแปลงเลย หลังจากนั้นผ่านไป ๒ ชั่วโมง เป็นเวลา ๑๒.๐๐ นาฬิกา counterC จะนับเลขไบนารี่เป็น 0010 ดังนั้นที่เอาท์พุท Q_1 จะมีสัญญาณไฟสูงจะทำให้อินพุท K ของฟลิพฟลอพ D มีสัญญาณไฟสูงด้วย และขณะเดียวกันอินพุททั้ง ๒ ของ gate Y มีสัญญาณไฟสูงทั้งคู่ ดังนั้นที่อินพุทPE ของ counter C จะมีสัญญาณไฟต่ำและถ้า P_0 ป้อนสัญญาณไฟสูงให้ตลอดเวลาเมื่อใดก็ตามที่อินพุท PE เปลี่ยนสัญญาณไฟต่ำเป็นไฟสูง อินพุท P_0 มีสัญญาณไฟสูงอยู่แล้ว จะถูกส่งเข้าไปในฟลิพฟลอพตัวแรกของ counter C ทำให้นับเลขใหม่เป็น 0001 ไม่ใช่ 0000 ในขณะที่นาฬิกาอ่านเวลาได้ ๑๒.๕๙ นาฬิกา เมื่อ pulse /นาที ได้ส่งเข้ามายัง counter A ทันใดนั้น counterนับนาทีจะแสดงตัวเลขเป็น ๐๐ พร้อมกับส่ง pulse /ชั่วโมง ให้กับ counter Cและฟลิพฟลอพ D เมื่อเป็นเช่นนี้อินพุทPE ที่ counter C จะเปลี่ยนสัญญาณจากไฟต่ำเป็นไฟสูง อินพุทที่ P_0 จะถูกส่งเข้าไปใน counter ทำให้ counter C นับเป็น 0001

ที่อินพุท K ของฟลิพฟลอพD มีสัญญาณไฟสูงอยู่ เมื่อมี clock pulse เข้ามาจะทำให้เอาท์พุทQ แปลี่ยนจากสัญญาณไฟสูงเป็นสัญญาณไฟต่ำ ดังนั้นเวลาที่แสดงออกมาขณะนี้เป็น ๐๑.๐๐ นาฬิกาจากนั้นก็จะเริ่มจับเวลาใหม่ต่อไปตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

หันมาดูการแสดงเป็น a.m.และ p.m. จากรูปที่ ๑๗ อินพุท J และอินพุท K ของฟลิพฟลอพ E มีสัญญาณไฟสูงตลอดเวลา ส่วนที่เป็น clock pulseจะทำให้ฟลิพฟลอพ E ทำงานนั้น โดยปกติแล้วสัญญาณclock pulse ที่เข้ามาทางอินพุท C จะเป็นสัญญาณไฟสูงตลอดเวลาเช่นกัน จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุท Q และ $\bar{Q}$ เลย เอาท์พุท$\bar{Q}$ มีสัญญาณไฟสูงไปป้อนให้หลอดไฟ LED แสดงเป็น a.m. จะติดอยู่ ส่วนเอาท์พุท Q มีสัญญาณไฟต่ำจะป้อนให้หลอดไฟ LED แสดงเป็น p.m. หลอดจะดับอยู่ เมื่อใดก็ตามที่อินพุททั้งคู่ของ gate W เป็นสัญญาณไฟสูงแล้วเอาท์พุทจะเป็นสัญญาณไฟต่ำ เมื่อเป็นเช่นนี้อินพุท C ของฟลิพฟลอพ E จะเปลี่ยนสัญญาณไฟสูงเป็นสัญญาณไฟต่ำ จะทำให้เอาท์พุทQ และ $\bar{Q}$ มีการเปลี่ยนค่าเป็นตรงข้าม อินพุทของ gate W จะเป็นสัญญาณไฟสูงทั้งคู่ได้ก็ต่อเมื่อ counter นับชั่วโมงแสดงเป็น ๑๒.๐๐ นาฬิกา แล้วจะทำให้เอาท์พุทของฟลิพฟลอพE มีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ดังนั้นเอาท์พุทของฟลิพฟลอพ E จะเกิดมีการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ ๑๒ ชั่วโมง เมื่อเป็นเช่นนี้หลอดไฟแสดงa.m. และ p.m. ผลัดกันติดและดับทุก ๆ ๑๒ ชั่วโมงด้วย

การตั้งเวลาเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน เพราะจะต้องตั้งเวลาให้ตรงกับเวลาจริง จากรูปที่ ๑๗ จะเห็นที่ตั้งเวลา ๒ จุด จุดที่หนึ่งใช้ตั้งเวลานาที จุดที่สองใช้ตั้งเวลาชั่วโมง การตั้งเวลานั้นจะเอา clock pulse ที่มีความถี่ 1 pulse ต่อวินาทีมาป้อนให้กับ counterนับนาทีหรือ counter นับชั่วโมง ซึ่งสามารถตั้งเวลาให้ตรงได้ในไม่กี่วินาทีเท่านั้น การใช้สวิทช์ในการตั้งเวลานั้น บางครั้งขณะเปิดปิดสวิทช์จะเกิดมี noise ขึ้น และไปกระตุ้นให้ counter ทำงาน ดังนั้นเวลาที่ได้ตั้งไว้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เราสามารถลด noise ที่เกิดขึ้นได้โดยใช้ anti-bounce circuit มาต่อเป็นสวิทช์ วงจรนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๑๘ การทำงานของวงจรนี้คล้าย ๆ กับ R-S Flip-flop ถ้าตั้งสวิทช์ที่จุดa สัญญาณไฟอินพุทของ A จะแสดง

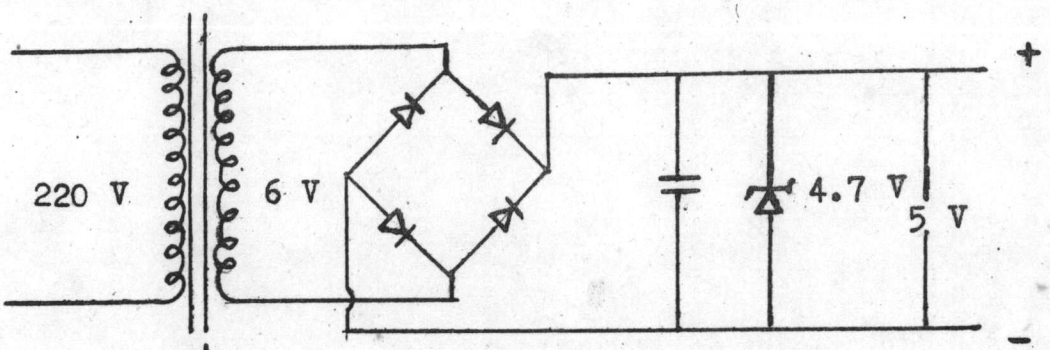


รูปที่ ๑๔ anti-bounce circuit

ที่เอาท์พุท C ถ้าตั้งสวิทช์ที่จุด b สัญญาณไฟอินพุทของ B จะแสดงออกที่เอาท์พุท C ดังนั้นที่จุด A เราจะให้ pulse /นาทีหรือ pulse/ชั่วโมงเข้า ส่วนที่จุด B จะให้ pulse /วินาทีเข้า ส่วนเอาท์พุท C จะต่อกับ counterจับนาทีหรือ counter จับชั่วโมง เมื่อสวิทช์ตั้งที่จุด a วงจรจะทำงานตามปกติ ถ้าสวิทช์ตั้งที่จุด b จะใช้ในการตั้งเวลา noise ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในวงจรสามารถถูกลดลงไปได้

DC Power Supply

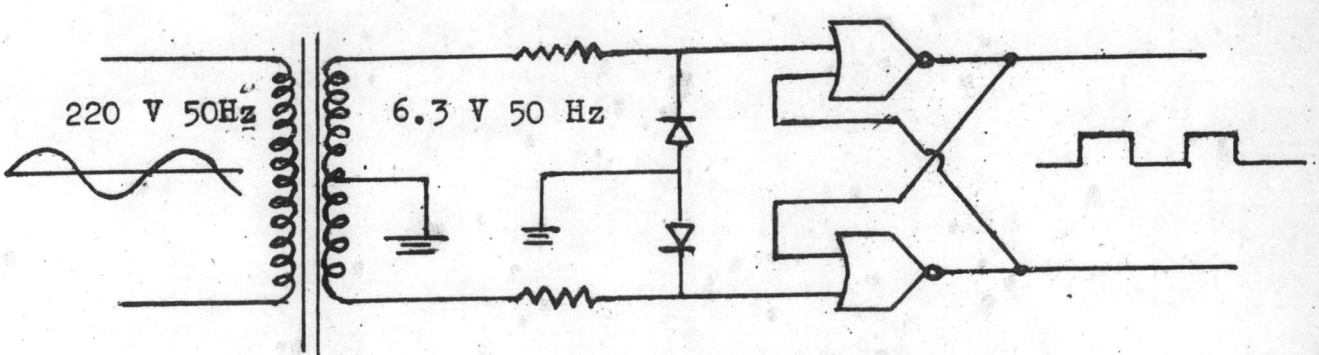
วงจรอินติเกรทที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการ power supply ในวงจรเป็น ๕ โวลต์ วงจรที่เปลี่ยนไป ๒๒๐ โวลต์ ๕๐ Hz ให้เป็นไฟ ๕ โวลต์ และเป็นกระแสตรงได้แสดงอยู่ในรูปที่ ๑๕



รูปที่ ๙๔ วงจร DC Power Supply

Clock pulse generator

ปัจจัยที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่จะทำให้วงจรนาฬิกาดิจิตอลทำงานได้ถูกต้อง คือ ความถี่ของ clock pulse clock pulse ที่นำมาใช้งานของนาฬิกาดิจิตอลต้องเป็น ๕๐ Hz square wave เราสามารถแปลงไฟ ๒๒๐ โวลต์ ๕๐ Hz กระแสสลับให้เป็นไฟ ๕ โวลต์ ๕๐ Hz กระแสสลับได้ดังวงจร clock pulse generator ที่แสดงไว้ในรูปที่ ๒๐



รูปที่ ๒๐ วงจร clock pulse generator

ไฟกระแสสลับ ๖.๓ โวลต์ ๕๐ Hz ออกจากทรานสฟอเมอร์ ๒ ขา ผ่านเข้ามาทางไดโอด ๒ ตัว ซึ่งทำหน้าที่แปลง sine wave ให้เป็นรูป half wave จากนั้นจะเข้าไปยัง RS NOR-gate flipflopการทำงานในช่วงนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้ ถ้ามีสัญญาณไฟสูงป้อนเข้ามาที่NOR gate ตัวบนและมีสัญญาณไฟต่ำเข้ามาที่ขา NOR gate ตัวล่าง จะได้เอาท์พุทที่ Q เป็น 0 ต่อมามีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟที่อินพุท NOR gate ตัวบนเป็นสัญญาณไฟต่ำแล้วและที่ NOR gate ตัวล่างมีอินพุทเป็นสัญญาณไฟสูงเอาท์พุท Q แปลี่ยนเป็น ๑ การทำงานจะเป็นเช่นนี้ไป ดังนั้น clock pulse ที่ได้ออกมาจะมีระดับเป็น ๐ กับ ๑ ที่แน่นอนพอที่จะนำไปใช้งานได้