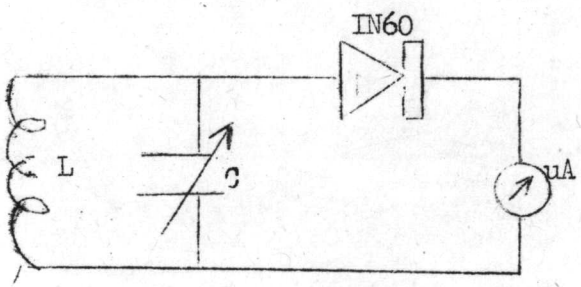
บทที่ 3

การออกแบบเครื่องวัดความถี่

นับตั้งแต่ HEINRICH HERTZ ศาสตราจารย์วิชาไฟฟ้าชาวเยอรมัน ได้พบ Electromagnetic wave ในปี ค.ศ. 1886 และต่อมา MARCHESE GUGLIELMO MARCONI ชาวอิตาลี ก็ได้นำการทดลองของ HERTZ มาปรับปรุงจนกลายเป็นวิชาวิทยุและได้กลายเป็นรากฐานสำคัญในวิชา electronics ในปัจจุบันนี้นั้น การวัดความถี่ของคลื่นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้พยายามใช้วิธีการวัดมาหลายวิธี ที่สำคัญ ๆ มี 2 วิธีคือ

1. ABSORPTION WAVE METER

เป็น เครื่องวัดความถี่ที่ง่ายมากและใช้กันมานานแล้ว วงจรจะประกอบด้วย LC Tunedcircuit ดังรูปที่ 28 เมื่อนำ Tank coil ไปจ่อไว้ใกล้ ๆ ต้นกำเนิดสัญญาณ มันก็จะถ่ายทอดพลังงานเข้าสู่ LC เมื่อเราปรับ Variable condenser ให้ resonance กับความถี่ของต้นกำเนิดสัญญาณผ่านวงจรจูนด์ LC แล้ว detect สัญญาณโดย diode IN60 ตัดเฉพาะซีกบวกส่งให้ microammeter เข็ม ของมิเตอร์ก็จะชี้ขึ้นสูงสุด เสร็จแล้วก็อ่านค่าความถี่นั้น ๆ จาก scale ของหน้าปัดของ wavemeter ความเที่ยงตรงของมันขึ้นอยู่กับความละเอียดของสเกลที่ติดอยู่ที่หน้าปัด และตรงใช้วัดกับต้นกำเนิดสัญญาณที่มีความแรงค่อนข้างสูง เช่นในเครื่องส่งวิทยุ เป็นต้น

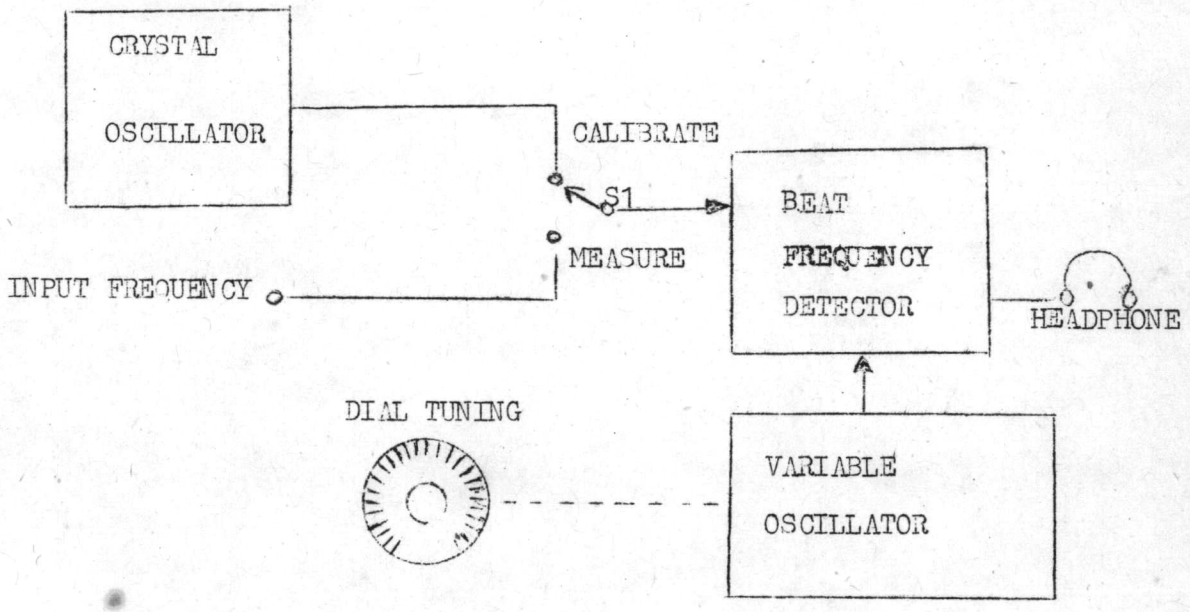


รูปที่ 26 ABSORPTION WAVE METER

2. HETERODYNE FREQUENCY METER

เครื่องวัดความถี่แบบนี้มีความเที่ยงตรงสูงกว่า WAVE METER มากในยุคของ

" หลอดวิทยุ " นั้น เครื่องมือแบบนี้จัดได้ว่าเป็นเครื่องวัดความถี่ชนิดที่ดีที่สุดในยุคนั้น และแม้แต่ในปัจจุบันบางแห่งก็ยังใช้กันอยู่

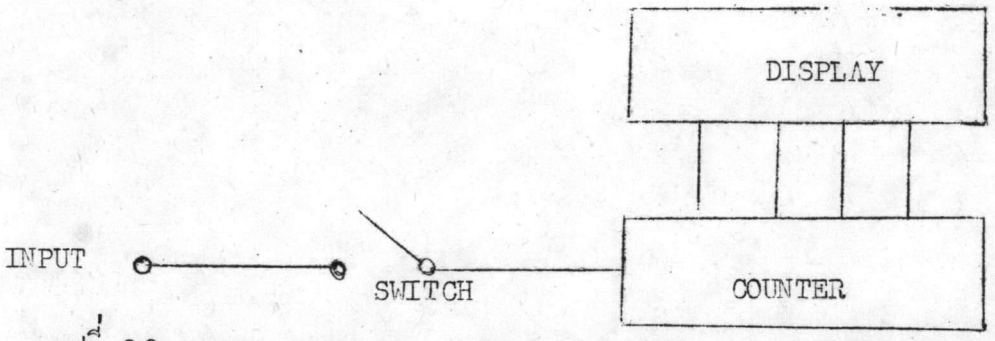


รูปที่ 27 Block diagram of Heterodyne frequency meter

Block diagram ประกอบไปด้วย crystal oscillator 1 ชุดและมี variable frequency oscillator (vfo) อีก 1 ชุด ซึ่งปรับความถี่ที่จะออสซิลเลทได้อย่างละเอียดมาก ๆ ก่อนจะวัดทุกครั้งจะต้องมีการ calibrate ก่อนโดย XTal. osc ส่งความถี่ที่สร้างขึ้นโดย VFO ถ้าความถี่ทั้งสองมีค่าเท่ากันเรียกว่า" ZERO BEAT " โดยจะได้ยินเสียงหวีดชั้นที่หูฟัง เมื่อปรับแล้วก็ลงมือวัดโดยหมุนสวิชต์ S1 ให้ input frequency หรือความถี่ที่จะต้องการวัดนำมา beat กับ VFO โดยปรับให้เกิด Zero beating ระหว่าง VFO กับ input frequency อีกครั้ง อ่านค่าความถี่แล้วนำไปคำนวณจาก crystal check point ที่มีค่าใกล้เคียงที่สุดกับ input frequency จึงจะได้ตัวเลขความถี่ที่แท้จริงอย่างไรก็ตาม heterodyne frequency ก็ยังมีข้อบกพร่องหลายอย่าง เช่น การวัดอาจจะไปวัดเอา harmonic ของ input frequency เข้าก็ได้ทำให้การวัดผิดพลาด และการวัดก็ต้องมีเทคนิควิธีการยุ่งยาก

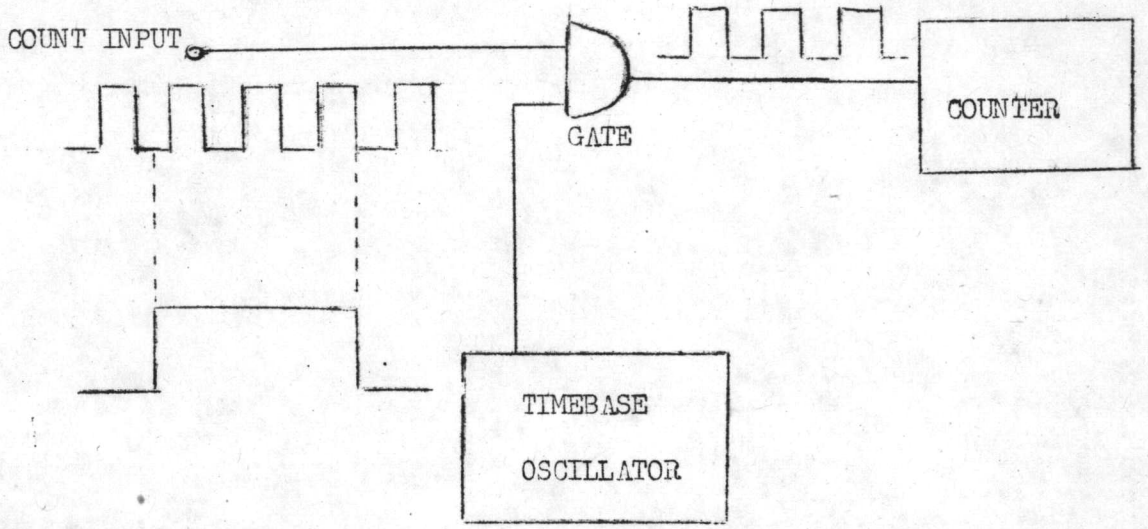
หลักความคิดเบื้องต้นของDIGITAL FREQUENCY COUNTER

ความถี่ของคลื่นชนิดต่าง ๆ มีหน่วยเป็น Hz หรือ cycle/ second เช่นความถี่ของ power line ในเมืองไทยเป็น 50 Hz เป็นต้น ถ้าจะพิจารณาดูจากไฟ 50 Hz ก็หมายความว่าในเวลา 1 วินาทีจะมีจำนวน cycle อยู่ทั้งหมด 50 cycle และเป็น sinewave ถ้าเรานำเอา sinusoidal 50 Hz นี้มาผ่านวงจร schmitt trigger แปลงให้เป็น pulse ก็จะได้จำนวน pulse 50 ลูกเหมือนกัน



รูปที่ 28 Basic concept of digital frequency counter

ถ้าเรานำ pulse นี้ป้อนเข้าทาง input ของรูปที่28 โดยกดสวิชต์เชื่อมวงจรให้ pulse ผ่านไปสู่counter ได้ในช่วงเวลาจำกัด 1 วินาที แล้วปล่อยสวิชต์หมายความว่าจะมี pulse ผ่านเข้า counter 50 ลูก ก็จะ display ออกเป็นเลข50 ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่ถูกต้อง ถ้าเรากดสวิชต์ด้วยเวลาไม่ถึง 1 วินาทีหรือเกิน 1 วินาทีไป counter ก็จะนับได้ไม่ตรง 50 เช่นถ้ากดสวิชต์ครึ่งวินาทีมันก็จะนับได้เพียง 25 หรือถ้ากดสวิชต์ถึง 2 วินาทีมันก็จะนับได้ถึง 100 ซึ่งไม่ตรงกับจุดประสงค์ของเราในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วการคอยมานั่งกดสวิชต์เป็นเวลา1 วินาทีแล้วปล่อยเป็นการยากเพราะว่า การจะทำให้สวิชต์เชื่อมวงจรอยู่เป็นเวลา1 วินาทีจริง ๆ แล้วเป็นสิ่งที่อาจกล่าวได้ว่าทำไม่ได้ในทาง mechanic ส่วนทางด้านelectronic นั้นทำได้ง่าย ๆ ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 Block diagram of Basic Counter

ในรูปจะมี Oscillator 1 ตัวเรียกว่า TIMEBASE OSCILLATOR ผลิตสัญญาณคลื่นความถี่ 1 Hz ขึ้นมาแล้วนำมา divide - by - 2 ให้เหลือ $\frac{1}{2}$ Hz output ของ oscillator ชุดนี้นำไป AND กับความถี่ที่ต้องการจะนับ (count input) oscillator และ AND gate นี้จะทำหน้าที่แทนสวิชต์ในรูปที่ 28 เพื่อปิดเปิดสวิชต์ให้ตรงเวลาที่ต้องการ oscillator มีความถี่ 1 Hz (หรือ 1 cycle/ sec) หมายความว่าใน 1 วินาทีจะมี pulse ออกมา 1 pulse เมื่อนำมา divide - by- 2 ให้เหลือ $\frac{1}{2}$ Hz (หรือ 0.5 Hz) ก็หมายความว่าใน 2 วินาทีจะมีจำนวน cycle ออกมา 1 cycle หรือ 1 pulse

ใน 1 cycle ซึ่งกินเวลานาน 2 วินาทีนี้จะมี wave เป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นบวก (คือมีระดับ logic เป็น " 1 ") ครึ่ง cycle และส่วนที่เป็นระดับ logic " 0 " อีกครึ่ง cycle จะเห็นได้ว่าส่วนที่มีระดับ logic เป็น " 1 " จะกินเวลาเพียง 1 วินาทีเมื่อนำสัญญาณนี้ไปเข้า AND gate ก็คือ AND gate จะปล่อยให้สัญญาณ count input ผ่าน AND gate ไปได้ในช่วงระยะเวลา 1 วินาทีเท่านั้น เพราะคุณสมบัติของ AND gate จะถูก enable ได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณ input ทั้งคู่เป็น " 1 " เนื่องจากสัญญาณจาก Timebase

จะเป็น " 1 "เพียงในช่วงระยะเวลา 1วินาที output ที่ออกมาจาก AND gate จึงเท่ากับ count input ที่ผ่านออกมาในระยะเวลา 1วินาทีนั่นเองพูดอีกนัยหนึ่งได้ว่า AND gate นี้จะ "OPEN " หรือยอมให้ input pulse ผ่านไปได้ในช่วง 1วินาที ช่วงระยะเวลา1 วินาทีที่ยอมให้ input pulse ผ่าน gateออกไปสู่ counter ได้เรียกว่า " GATE TIME "

GATE TIME ที่ใช้ไม่จำเป็นจะต้องเป็น 1 วินาทีเสมอไปอาจจะเป็น 0.1 วินาที, 0.01 วินาที, 0.001 วินาที ฯลฯ ก็ได้ ซึ่งการใช้ gate time ต่าง ๆ กันนี้มีผลโดยตรงต่อการวัดในช่วงความถี่ range ต่าง ๆ กันและจำนวน digit ของ display unitที่ counter เครื่องนั้นใช้อยู่ เช่นเป็น 4 ตัวเลขหรือ 8 ตัวเลข หรือ 12 ตัวเลข

การที่จะให้ได้ Gate time มีค่าต่าง ๆ กันนี้ ในทางปฏิบัติมิได้หมายความว่าจะใช้วงจร oscillator หลาย ๆ ตัวมาผลิตสัญญาณ gate time แต่ละอันแต่ใช้วิธี oscillator ด้วยความถี่อันเดียวแล้ว divide ลงไป เพื่อให้ได้ gate time หลาย ๆ อัน

BLOCK DIAGRAM OF DIGITAL FREQUENCY COUNTER

Block diagram ของ Frequency Counter ที่สร้างขึ้นจะแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ ๆ ได้ 6 ภาคคือ

MAIN COUNTER CIRCUIT

DISPLAY UNIT

TIME BASE CIRCUIT

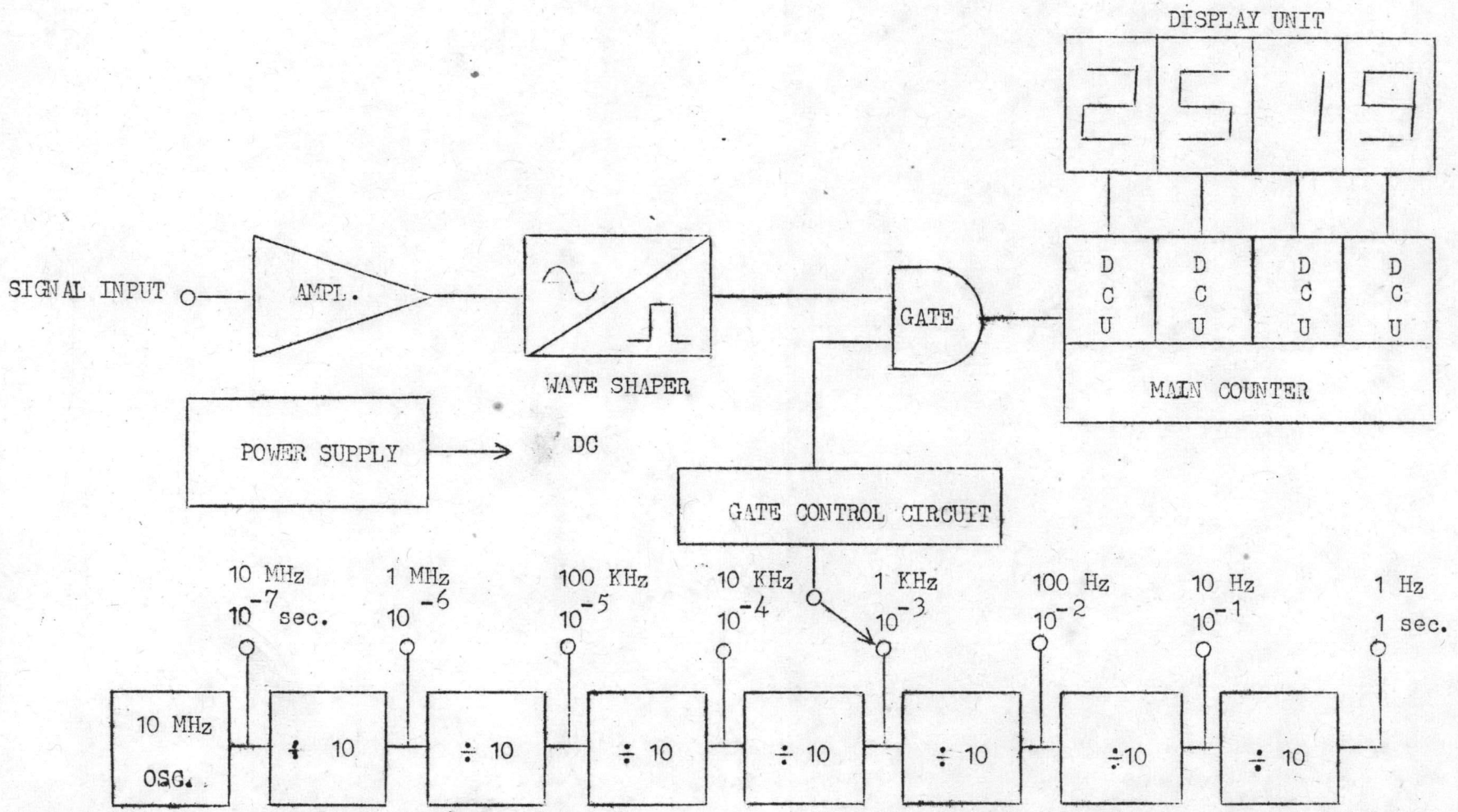
GATE CONTROL CIRCUIT

INPUT CIRCUIT

POWER SUPPLY

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

ซึ่งทั้ง6 ภาคนี้จะอธิบายการทำงานโดยย่อ ๆ ที่สุดได้ดังนี้ คือ Time base circuit จะเป็นตัวผลิตคลื่นความถี่ต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อนำไปเข้า Gate control circuit, gate control circuit จะไปเป็นตัว control ให้ GATE เปิดปิดในช่วงเวลาที่ต้องการ เพื่อเป็นตัวปิดเปิดให้ input frequency ที่ต้องการจะวัดผ่านไปสู่ main counter ในช่วงเวลาจำกัด



รูปที่ 30 Block diagram of Frequency Counter

สัญญาณที่ต้องการจะวัดจะต้องผ่านวงจร Amplifier เพื่อให้มี voltage สูงพอที่จะ drive ภาคถัดไปได้เสียก่อนแล้วจึงผ่านวงจร wave Shaping เพื่อแปลงรูปสัญญาณของ input frequency ให้เป็นรูปpulse ที่ gate control circuit จะมี Selector Switch เพื่อให้เลือกค่า gate time ให้มีค่าต่าง ๆ กันได้ ส่วนสัญญาณที่ผ่าน gate แล้วจะไปเข้า main counter ซึ่งประกอบไปด้วย DCU 4 ชุด DCU คือ Decade Counting Unit ใช้นับ pulse ที่ออกมาจาก gate แล้วส่งไปแสดงค่าที่นับได้ทาง Display Unit ภาค power supply มีหน้าที่จ่ายไฟไปเลี้ยงภาคต่าง ๆ ทุก ๆ ภาค ต่อไปนี้จะได้อธิบายวงจรโดยละเอียดของแต่ละภาค

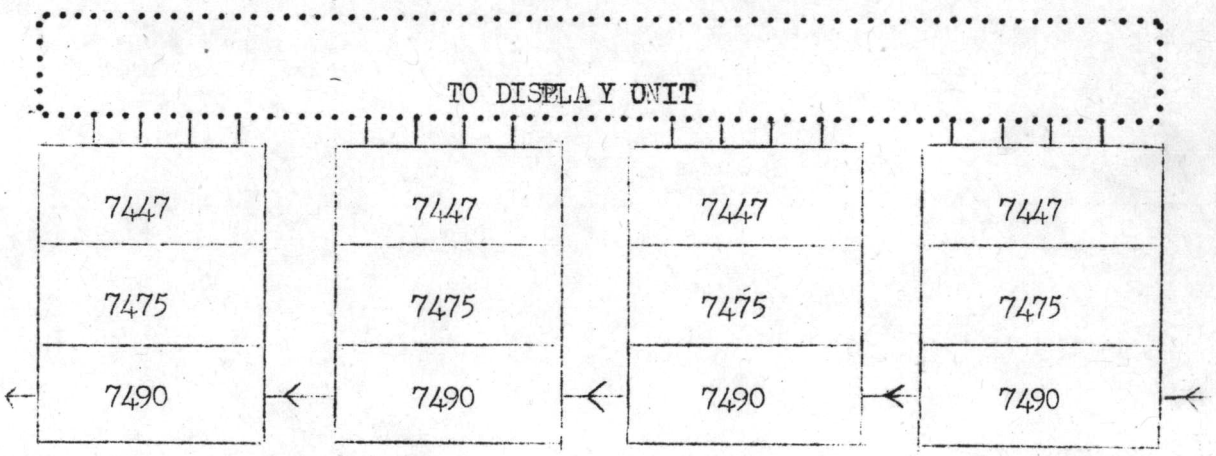
1. MAIN COUNTER

Main Counter ประกอบไปด้วย DCU (Decade Counting Unit) 4 ชุด DCU แต่ละชุดคือวงจรที่สามารถนับเลขได้ตั้งแต่ 0 - 9 ดังนั้นเมื่อใช้ 4 ชุด มาประกอบกันเข้าจึงทำให้ Main Counter นี้สามารถนับเลขได้จาก 0 - 9 9 99 รวม4 หลัก DCU แต่ละชุดจะประกอบไปด้วยวงจรใหญ่ ๆ 3 วงจรคือ

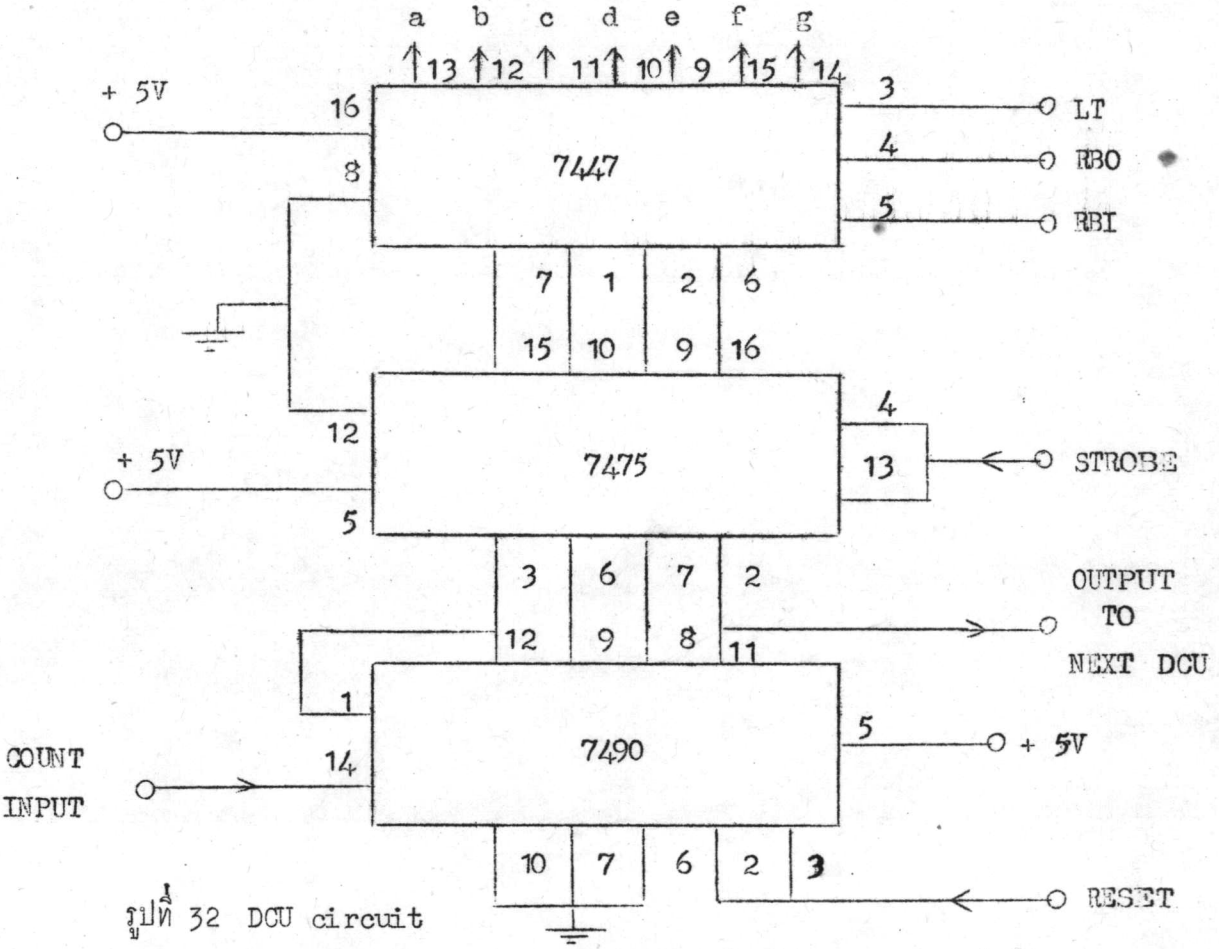
(I) DECADE COUNTER (ใช้ IC # 7490)

(II) LATCH หรือ STORAGE (ใช้ IC # 7475)

(III) DECODER DRIVER (ใช้IC # 7447)



รูปที่ 31 MAIN COUNTER



รูปที่ 32 DCU circuit

Decade Counter 7490 จะเป็นตัวเริ่มต้นโดยเริ่มเมื่อมี input เป็น pulse เข้ามาทาง count input มันจะเริ่มนับโดยเปลี่ยน state ไปเรื่อย ๆ จาก 0 – 9 โดยเปลี่ยนทุก ๆ ครั้งที่มี input เข้ามา 1 pulse การเปลี่ยน state ของมันจะมี output ออกเป็นรูป BCD หรือ 8421 เสร็จแล้วมันจะส่ง output 4 เส้น ไปเข้า 7475 ซึ่งเป็น latch ใช้ storage output นั้นไว้ชั่วคราวแล้วจึงส่งให้ 7447 ซึ่งจะ decode BCD นั้นให้ออกเป็น 7 ทาง คือออกทาง a, b, c, d, e, f, g เพื่อนำไปเข้า display unit ให้แสดงออกเป็นตัวเลข decimal ต่อไปสำหรับรายละเอียดคุณสมบัติและการทำงานของ IC แต่ละตัว อธิบายได้ดังต่อไปนี้

" 7490 " DECADE COUNTER

เป็น IC ที่สามารถนับเลขได้ตั้งแต่ 0 – 9 ลักษณะภายนอกเป็นลักษณะ dual in line มี 14 ขา วงจรข้างในประกอบไปด้วย master - slave flip flop 4 ตัว สามารถใช้เป็นวงจร divide by 2, divide by 5 ได้ โดยต่อกันไว้เรียบร้อยแล้ว ภายใน แต่ถ้าจะใช้

เป็นวงจร divide by 10 จะต้องต่อสายบางสายเพิ่มเติมภายนอกคือ ขา 1 (B - input) จะต้องต่อเข้ากับขา 12 (A - output) และปล่อย clock เข้าทางขา 14 (A - input) ตัว A, B, C, D ที่กล่าวถึงนี้หมายถึง flip flop ตัวต่าง ๆ ที่อยู่ใน chip ทั้ง 4ตัว พอ clock เข้ามา 1 pulse flip flop ทั้ง 4 ตัวก็จะเปลี่ยน state ทีละตัว ตามหลักของ Asynchronous Up Counter นั่นคือถ้าจับ output ออกทางขา 11 (D - output) จะได้ pulse ออกที่ขา 11=1pulse เมื่อ clock เข้าทางขา 14 รวม 10 pulse จึงเป็นวงจร BCD ÷ 10 ปกติแล้ว output ของ 7490 จะมี 4 ทางคือ output ของ FF แต่ละตัวที่ประกอบขึ้นเป็น counter

ขา 11 คือ หลัก " 8 " หรือ D - output

ขา 8 คือ หลัก " 4 " หรือ C - output

ขา 9 คือ หลัก " 2 " หรือ B - output

ขา 12 คือ หลัก " 1 " หรือ A - output

output ทั้ง 4 ขา แสดงออกเป็นรูป BCD 8421 ดังแสดงได้ดัง truth table ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 BCD COUNT SEQUENCE OF 7490

COUNT NO	OUTPUT			
	D " 8 "	C "4 "	B "2 "	A " 1 "
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

ขา 2 และขา3 มีชื่อเรียกเฉพาะว่า reset to 0 หรือ reset zero หรือ R_0 ถ้าให้ขา 2 และ3 ต่อเข้ากับ logic " 1 " output DCBA ของ 7490 จะกลายเป็น 0000 ซึ่งเท่ากับ decimal 0 ขา 6 และขา 7 มีชื่อเรียกว่า reset to nine หรือถ้า R_9 ถ้าให้ขา 6 และ 7 มีระดับ logic เป็น " 1 " output ของ 7490 จะกลายเป็นเลข 9 (1001) ทันที โดยไม่คำนึงถึงว่าขณะนั้น 7490 กำลังนับอยู่ถึง count ที่เท่าไรก็ตามดังแสดงได้เป็น truth table ของการใช้ R_0 และ R_9 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 RESET, COUNT TRUTH TABLE OF 7490

RESET INPUTS				OUTPUTS			
R_{0}	R_{0}	R_{9}	R_{9}	D	C	B	A
Pin2	3	6	7	11	8	9	12
1	1	0	X	0	0	0	0
1	1	X	0	0	0	0	0
X	X	1	1	1	0	0	1
X	0	X	0	COUNT			
0	X	0	X	COUNT			
0	X	X	0	COUNT			
X	0	0	X	COUNT			

X = DON'T CARE

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

ขา 2 และ 3 ซึ่งเป็น R_0 ของ 7490 นั้นต่อกับ Reset pulse ซึ่งต่อออกมาจากวงจร gate control circuit เพื่อใช้ control ให้ DCU นับได้ในช่วงเวลาเท่าที่ gate control citcuit ต้องการจะให้นับส่วนขา 14 เป็นขา input ต่อเข้ากับวงจร gate control circuit เหมือนกันไฟ DC supply สำหรับ 7490 ไม่ควรเกิน7.0 โวลท์เพราะจะเป็นอันตรายต่อ IC

" 7475 " 4 - BIT BISTABLE LATCH (4 - bit D flip flop)

เป็น IC ที่ข้างในประกอบไปด้วย D - type flip flop 4ตัวจุดประสงค์สำคัญในการใช้ latch ก็เพื่อเป็นตัว storage information ที่ส่งมาจาก 7490 Decade

— counter ไว้ชั่วคราวแล้วจึงส่งไปให้ 7447 เพื่อ decode สำหรับ IC 7475 นี้จะใช้ก็ได้หรือจะไม่ใช้ก็ได้ แต่ถ้าไม่ใช้จะทำให้การอ่านค่าของความถี่ที่ display unit เป็นไปได้ลำบากเพราะว่าตัวเลขที่แสดงบน display จะ blink อยู่ตลอดเวลาตามจังหวะของการนับของ 7490 เมื่อใส่ 7475 แทรกลงระหว่าง 7490 กับ 7447 แล้วก็จะทำให้ตัวเลขที่แสดงที่ display unit ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้อ่านค่าความถี่ได้ง่ายขึ้น

จากรูปจะเห็นได้ว่า D - flip flop แต่ละตัวใน 7475 มี clock input เข้าที่ขา 4 และขา 13 clock นี้จะไป control ให้ information ผ่านจาก D input ของ FF แต่ละตัวไปยัง Q output ของตัวนั้น ๆ เมื่อ clock input เป็น " 1 " เท่านั้นถ้า clock input เป็น " 0 " information ที่ input ของ D - flip flop แต่ละตัวจะไม่อาจผ่านไปยัง output ได้เลยในวงจร frequency counter ขา 4 และ 13 ของ 7475 จะต่ออยู่รวมกันเพื่อว่าสัญญาณที่มา control latch จะได้ใช้อันเดียวกันได้ สัญญาณ clock ที่มา control latch นี้เรียกว่า " strobe " ซึ่งได้มาจากวงจร gate control circuit และต่อไปเข้า 4 และ 13 ของ latch ขณะที่ 7490 ทำการ count ไปเรื่อย ๆ นั้น output ของ 7490 ทั้งหมดคือ " 8 " " 4 " " 2 " " 1 " จะถูกต่อเข้าโดยตรงกับ D input ของ latch แต่ละตัวรวม 4 ตัว ส่วน output ของ latch ต่อไปเข้า 7447

"7447 " BCD - TO 7SHGMENT DECODER/DRIVER

เป็นdigital IC ใช้ประโยชน์ในการ decoder คือเปลี่ยนจากสัญญาณที่เป็นรูป BCD (หรือรูป 8421) ให้เป็น decimal ในรูปของ 7 segment display code ทางขา input ของ 7447 จะมีอยู่ 4 ทางคือ D, C, B, A ซึ่งที่จริงก็คือ " 8 " " 4 " " 2 " " 1 " input นั่นเอง ส่วน output จะมีอยู่ทั้งหมด 7 ทางคือ a, b, c, d, e, f, g ทางขา output นี้จะต้องต่อกับ display unit จะเป็นชนิดใดก็ได้เช่น incandescent, L.C.D, L.E.D. แต่จะต้องเป็นชนิด 7 segment จึงจะใช้ได้และแต่ละ segment จะต้องกินกระแสไม่เกิน 20 mA และโวลเตจไม่สูงกว่า 15 โวลท์ ส่วนทางด้าน input นั้นใช้ต่อกับ latch 7475 (ในกรณีที่ต้องการให้ display โดยไม่ blink) หรือต่อโดยตรงเข้ากับ output ของ 7490 ก็ได้ (โดยไม่ต้องใช้ latch) display ที่นำมาใช้กับ 7447 จะต้องเป็นชนิด common anode

(หรือ active low) เท่านั้น และจะต้องเป็นชนิด 7 segment ด้วยใช้ชนิดอื่นไม่ได้เพราะการแปลง code จะต่างกันขา 3 ของ 7447 หรือ LT นี้คือ Lamp test input มีไว้สำหรับ test ดูว่าแต่ละ segment ของ display unit นั้นทำงานครบถ้วนอยู่หรือเปล่า ซึ่งมีความจำเป็นจะต้อง test ดูก่อนเสมอเพราะถ้ามี segment หนึ่ง segment ใดของ display unit ไม่ทำงานแล้วจะทำให้การอ่านตัวเลขจาก display unit ผิดพลาดไปได้การ test ทำได้โดยต่อขา 3 ลง ground จะทำให้ทุก ๆ output เป็น " 0 " หมดทุก segment ซึ่งทำให้ display unit ติดไฟหมดทุก segment เห็นเป็นเลข 8

ขา 4 ของ 7447 นี้เรียกว่า ripple blanking output (RBO) ทั้ง RBO และ RBI มีประโยชน์คือใช้ต่อเพื่อป้องกันไม่ให้ display unit ทำการ display เลข 0 ที่ไม่จำเป็นเช่น ถ้า frequency ที่จะวัดมีความถี่ 50 Hz ถ้าไม่ต่อ RBO และ RBI จะแสดงออกเป็นตัวเลข 00,50 Hz (4 digit) จะเห็นได้ว่ามีเลข 0 ส่วนที่ไม่มีความจำเป็นจะต้องแสดงอยู่ข้างหน้าเลข 5 อีก 2 digit ถ้าต่อ RBO และ RBI มันก็จะออกเป็นเลข 50 เท่านั้น ไม่มีเลข 0 ข้างหน้า หลักการต่อ RBO และ RBI ก็คือให้ต่อ RBI ของเลขหลักที่ไม่ต้องการให้ออกเลข 0 โดยไม่จำเป็น (เช่นหลักหน้าสุด) ให้ลง ground ไปแล้วต่อ RBO ของเลขหลักนั้นเข้ากับ RBI ของเลขหลักถัดมาเรื่อย ๆ ต่อ ๆ กันมา RBO ของเลขหลักสุดท้ายให้ลอยทิ้งไว้เฉย ๆ (ขา 5 คือ RBI - ripple blanking input)

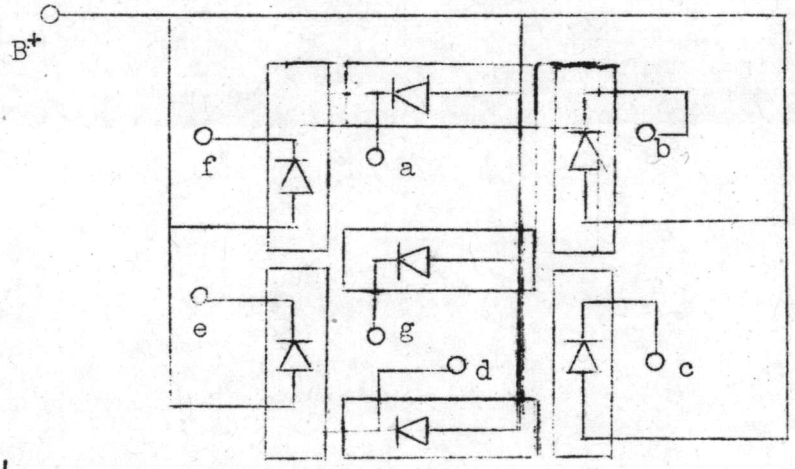
2. DISPLAY UNIT

Display Uait ที่ใช้กันมีอยู่หลายชนิดตั้งแต่เริ่มแรกก็คือหลอดไฟยุคต่อมาก็คือ Nixie tube ของบริษัท Burrough ส่วน display unit ที่ใช้ในเครื่องวัดความถี่นี้ใช้ชนิด LED (Light Emitting Diode) LED ถูกค้นพบเมื่อราว ค.ศ. 1950 แต่เพิ่งนำมาใช้ในค.ศ. 1963 LED แท้จริงแล้วก็คือ diode ที่สามารถเปล่งแสงได้เมื่อให้ forward bias แก่ diode นั้น LED ทำขึ้นจากสารชนิดต่าง ๆ กัน ทำให้เกิด LED สีต่าง ๆ กันขึ้น เช่นสีแดง สีเขียว สีแสด สีน้ำเงินและชนิดที่เปล่งแสง Ultraviolet และ Infra Red ซึ่งตามองไม่เห็นก็มี ซึ่งจะเปล่งแสงสีใดก็แล้วแต่สารที่นำมาทำ LED ที่ใช้ใน prototype เป็นชนิดสีแดง ทำขึ้นจาก GALLIUM ARSENIDE PHOSPHIDE (GaAsP) สำหรับ mechanism ที่

LED จะเปล่งแสงออกมาได้อย่างไรนั้นเป็นเรื่องของทฤษฎีทางฟิสิกส์คือเมื่อปล่อยประแสไฟฟ้าเข้าไปอีเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปสู่ valence bond ทำให้เกิดคายพลังงาน photon energy ออกมาทำให้ตาเราสามารถมองเห็นเป็นแสงออกมาได้ การใช้ LED มีข้อดีหลายประการ อาทิเช่นมีอายุยืนนานไม่เสียง่ายไม่แตกง่าย ใช้แรงดันและกระแสเพียงเล็กน้อย และสามารถทำให้มีขนาดเล็ก ๆ ได้ ใช้ได้กับไฟ DC ในขนาดแรงดันใกล้เคียงกับ IC ทำให้ใช้ power supply ร่วมกันได้แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้างก็คือ ถ้าปล่อยแรงดันให้ LED มากเกินกำหนดจะเสีย LED มีผลิตออกมาเป็น 2 type คือ

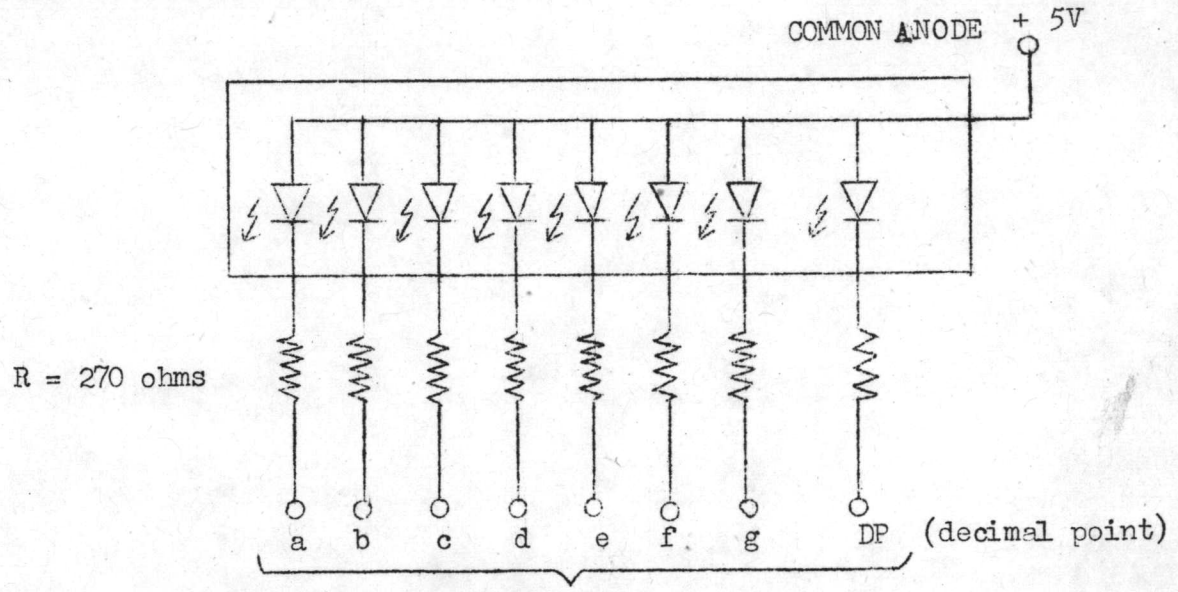
– Dot LED คือชนิดเป็นกลม ๆ จุด ๆ ใช้เป็น indicator

– 7 Segment LED คือนำ LED ชนิดเป็นแท่ง ๆ มาเรียงประกอบกันเข้าเป็นเลข 8 ดังรูปที่ 33



รูปที่33 common anode LED

LED มีทั้งหมด 7 segments คือ a, b, c, d, e, f, g segment เหล่านี้ต่อออกมาจากปลายทางขั้ว cathode ของ LED แต่ละ segment ส่วนขั้ว anode ของ LED ทุก ๆ segment ต่อไว้รวมกันจึงเรียก LED ชนิดนี้ว่า COMMON ANODE LED เมื่อเรา supply ไฟที่มีโวลเตชอเหมาะให้กับ LED ตามขั้วต่าง ๆ ประกอบกับจะสามารถแสงออกเป็นเลข 0 ถึง 9 ได้ ซึ่งในวงจรขาต่าง ๆ ของ LED นี้จะต่อเข้ากับ output ขาต่าง ๆ ของ 7447 โดยผ่าน R ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสมิให้ไหลมากเกินไป ส่วนขา COMMON ANODE จะต่อไปรับไฟ +5V จาก power supply ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 7 Segment LED display circuit

การคำนวณค่า R หรือ current limiting resister คำนวณได้จากสูตร

$$R = \frac{V_S - V_F - V_{CE}}{I_F}$$

V_S = Supply voltage - 5V

V_{CE} = โวลเตชระหว่างคอลเลคเตอร์และอีมิตเตอร์ของ driver ทรานซิสเตอร์ใน IC 7447 ซึ่งค่า typical สำหรับ 7447 ใช้ 0.27V

I_F = LED current ต่อแต่ละ segment = 10 mA = 0.01 Amp

V_F = LED voltage = 2V

แทนค่าแล้วได้ค่า R ประมาณ 270 โอห์ม

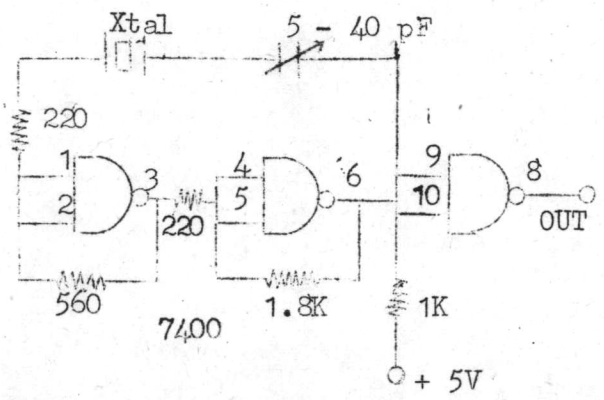
3. TIME BASE CIRCUIT

Time base circuit ประกอบไปด้วยวงจรสำคัญ 2 ส่วนคือ

- 10 MHz oscillator
- Scaler หรือ devider chain

10 MHz CRYSTAL CONTROLLED OSCILLATOR

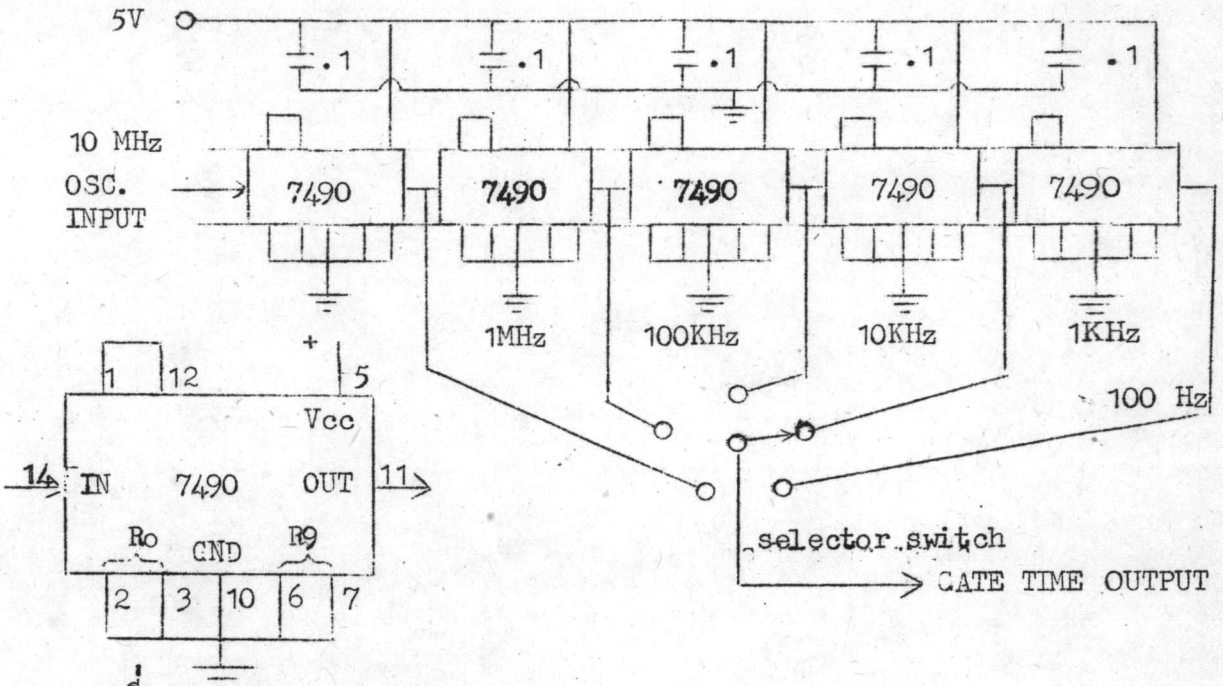
เป็นวงจรให้กำเนิดสัญญาณความถี่ 10 MHz ที่มีความเที่ยงตรงสูง เพื่อใช้ไปเปิดปิด gate ใช้ได้ในช่วงเวลาที่แน่นอน วงจรใช้ IC 7400 ซึ่งเป็น NAND 3 ตัว โดยต่อขา input ทั้ง 2 เข้าด้วยกันเพื่อทำเป็น inverter ซึ่งถ้าพิจารณาให้ดีแล้วก็คือ amplifier 2 stage ต่อ caseade กัน และมีการ feedback กลับจาก output ของซีกที่ #2 กลับมายัง input ของซีกที่ # 1 โดยผ่านมาทาง Xtal ทำให้เกิดการออสซิลเลทขึ้นได้ ความถี่ที่ออสซิลเลทจะเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยโดยหมุนปรับทริมเมอร์คอนเดนเซอร์, output ที่ได้ต่อไปเข้า NAND ตัวที่ #3 เพื่อทำหน้าที่เป็น BUFFER เพื่อ isolate load ออกจากภาคออสซิลเลเตอร์และเป็น amplifier ด้วย, output ที่ออกจากขา 8 ของ 7400 จะมี signal voltage ประมาณ 2 โวลท์ เมื่อวัดด้วย DC scope



รูปที่ 35 10.000000 MHz oscillator

DEVIDER CHAIN (SCALER) คือวงจรที่ใช้หารความถี่ของ crystal oscillator ลงทีละ 10 เรื่อย ๆ ไป เพื่อใช้เป็น gate time ป้อนให้แก่ gate control circuit output จาก osc. 10 MHz เมื่อป้อนผ่าน 7490 ตัวแรกก็จะลดลง 10 เท่าเหลือ 1 MHz และผ่านต่อ ๆ ไปก็ลดลงตัวละ 10 เท่า คือ ÷10 ทุก ๆ ตัวไป

7490 เป็น Decade Counter ซึ่งต่อขา 1 ของ IC เข้ากับขา 12 เพื่อใช้เป็น Mode ÷10 และมี input เข้าทางขา 14 และ output ออกทางขา 11 เหมือนกันทุก ๆ ตัว ขา 2 และ 3 เป็นขาสำหรับ Reset ให้เป็นเลข 0 ขา 6 และ 7 เป็นขาสำหรับ reset ให้เป็นเลข 9 ถ้าต้องการ reset ก็ป้อน " 1 " ให้กับขาเหล่านี้ แต่สำหรับในกรณีที่ต้องการใช้เป็น BCD decade counter ขา 2, 3, 6, 7 ต้องต่อกับระดับ logic " 0 " มันจึงจะทำงาน จึงต่อลง ground ไป ส่วนขา 10 ที่ต้องต่อลง ground ด้วยเพราะขานี้เป็นขาสำหรับไป



รูปที่ 36 DIVIDER GHAIN circuit

supply สายลบสำหรับ 7490 ขา 5 ต่อกับไฟ DC + 5V เพราะเป็น V_{cc} สำหรับ 7490

Capacitor 0.1 μF ที่ต่ออยู่ระหว่างสายไฟ + 5V กับสาย ground ไว้ใกล้ IC ทุก ๆ ตัวนั้นมีไว้เพื่อ by pass กระแส RF ที่อาจจะหลงเหลืออกมาทางสาย + 5V ให้ลง ground ไป จะได้ไม่ไปรบกวนการทำงานภาคอื่น ๆ ได้

จากวงจรจะเห็นได้ว่าใช้ IC 7490 ทั้งหมดทุก ๆ ตัวมี configuration เหมือนกันทุก ๆ ตัว ทุกตัวมี output ออกไปเข้า Selector Switch เพื่อเลือกค่า gate time ไปเข้า gate control circuit

สมมุติว่าใช้สวิชต์เลือกมาที่ค่าความถี่ 1KHz ซึ่งสามารถ convert ให้เป็น gate time ได้ดังนี้ 1KHZ หมายความว่าใน 1 วินาทีจะมีจำนวน cycle

= 1,000 cycle ดังนั้น 1 cycle ก็จะกินเวลา = $\frac{1}{1,000}$ วินาที

= 0.001 วินาที ซึ่งแตกเป็นหน่วยย่อยได้ = 0.001 X 1,000 mS

= 1 millisecond (mS) นั่นคือ gate time เป็น 1 mS

ส่วน output ที่ออกจาก 7490 ตัวอื่น ๆ ก็ใช้วิธี convert ในทำนองเดียวกัน gate time ที่จะใช้นี้เกี่ยวกับความถูกต้องและละเอียดของการอ่านค่าที่ Display Unit

เป็นอย่างมาก เนื่องจากในเครื่องต้นแบบนี้ใช้ display unit ที่มีตัวเลขแสดงค่า 4 digit (4 หลัก) ซึ่งหมายความว่าถ้าจะนับความถี่โดยใช้ gate time เป็น 1 วินาทีแล้วจะสามารถวัดความถี่ได้สูงสุดเป็น 9999 Hz คือตัวเลขไก้เท่ากับจำนวนหลักของ display ซึ่งทำให้เครื่องวัดความถี่นี้ใช้งานได้ไม่กว้างขวางเท่าที่ควรในการที่จะทำให้เครื่องสามารถวัดความถี่ได้สูงกว่านี้ก็โดยใช้ selector switch เลือก gate time ให้เหมาะสมเช่นสมมุติว่าต้องการจะวัดความถี่อันหนึ่งซึ่งมีค่า 1MHz (1,000,000 Hz) และใช้ gate time มีค่า 1 mS ค่า input 1MHz หมายความว่าใน 1 วินาทีจะมีจำนวน pulse = 1,000,000 pulse แต่ gate time = 1mS($\frac{1}{1,000}$ sec) ดังนั้นใน $\frac{1}{1,000}$ sec จะมีจำนวน pulse = 1,000,000 X $\frac{1}{1,000}$ = 1000 pulse นั่นคือจะอ่านค่าที่ display ได้เป็น 1,000 แต่ต้องเข้าใจ1,000ในที่นี้คือ 1MHz (หรือ 1,000 KHz) เพราะใช้ gate time 1 mS ทำนองเดียวกันถ้าใช้ gate time 0.1 mS ($\frac{1}{10,000}$ see) จะอ่านได้ = 100 เท่านั้นเมื่อ ลองนำค่าที่อ่านได้จาก display เมื่อใช้ gate time ค่าต่าง ๆ กันเคยวัดค่า input = 1MHz มาเขียนเป็นตารางจะได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวเลขที่อ่านได้จาก display

GATE TIME	ตัวเลขที่อ่านได้จาก display	ค่าความถี่จริง ๆ (Hz)
0.001 mS	1	1 MHz (1,000,000 Hz)
0.01 mS	10	
0.1 mS	100	
1 mS	1000	
10 mS	10000	
100 mS	100000	
1000 mS	1000000	

จะเห็นได้ว่าความถี่จริง ๆ 1,000,000 Hz เมื่อใช้ gate time 10 mS จะอ่านได้ถึง 9999 (คือ 10,000) เมื่อใช้ gate time 0.001 mS อ่านได้เพียง 1 นั่นคือยิ่งใช้ gate time ค่าน้อยลงเท่าใดความละเอียดของการอ่านยิ่งน้อยลงเท่านั้นยิ่งใช้ค่ามากยิ่งดี แต่ถ้าใช้มากเกินไปก็ไม่ได้เพราะ display มีอยู่เพียง 4 หลักเท่านั้น เช่นในตารางเมื่อใช้ gate time 100 mSและ 1,000 mS ตัวเลขหลักที่เกินคือหลักที่ 5 และ 6 จะถูกตัดออกเพราะไม่มี

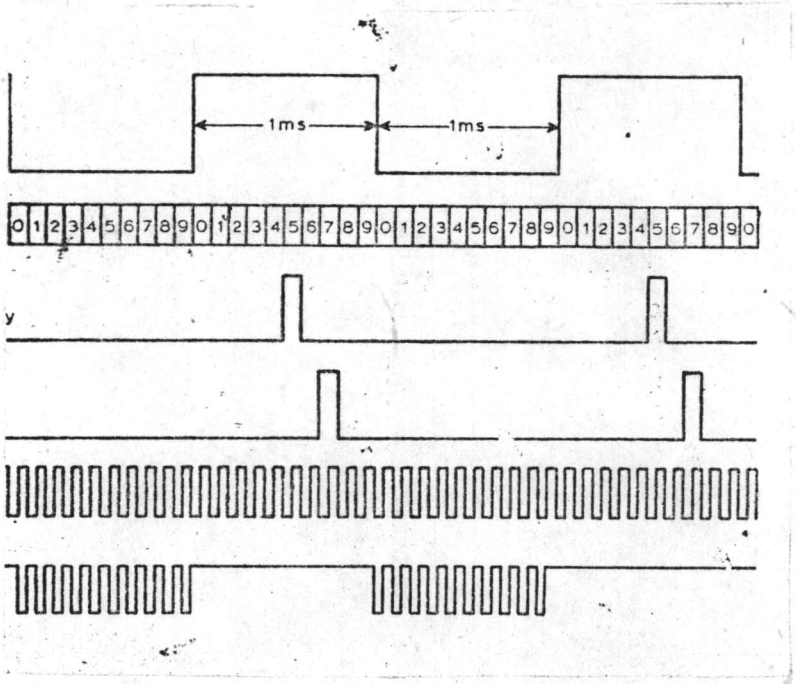
ตัว display ในหลักนั้น ๆ ทำให้การอ่านค่าผิดไป ถ้าจะให้เลขหลักที่เกินไม่ถูกตัดออกก็ต้องเพิ่มชุด DCU และ display ใน main counter ให้ครบตามจำนวนหลักหรืออีกวิธีคือใช้ gate time ให้พอเหมาะกับ range ของความถี่ที่จะวัด ดังต่อไปนี้

GATE TIME	ความถี่สูงสุดที่จะวัดได้เมื่อใช้ display 4 digit
1000 mS	9999 Hz หรือ 9.999 KHz
100 mS	99999 Hz หรือ 99.99 KHz
10 mS	999999 Hz หรือ 999.9 KHz
1 mS	9999999 Hz หรือ 9.999 KHz
100 uS**	99999999 Hz หรือ 99.99 KHz

* *สำหรับ gate time 100 uS ค่าความถี่สูงสุดที่วัดทางทฤษฎีได้ 99.99 MHz แต่ในเครื่อง prototype ใช้วัดได้ถึงเพียง 10 MHz ทั้งนี้เพราะ IC ที่ใช้ใน prototype ทำงานที่ความถี่สูงสุดได้ถึง 20 MHz

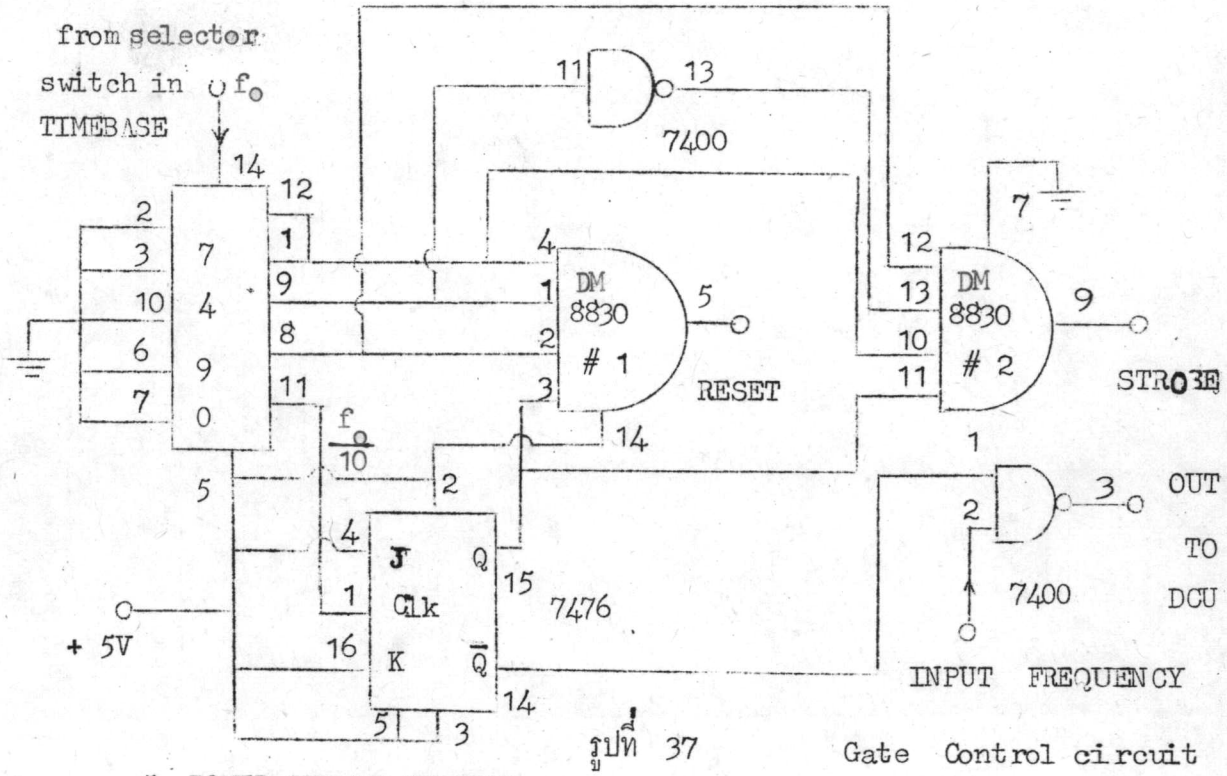
4. GATE CONTROL CIRCUIT

เป็นวงจรจ่าย pulse ไป control ภาค Main Counter ประกอบไปด้วย IC 4 ตัว โดยมี input จาก Timebase circuit เข้ามาทางขา 14 ของ 7490 ส่วน output ของ 7490 ซึ่งเป็นขา" 8421 " ต่อไปเข้า 8830 ซึ่งเป็น 4 - input AND gate เสีย 3 ขาส่วนอีกขาคือขา"8 " ต่อไปเข้า 7476 ซึ่งเป็น JKFF แล้วจึงเอา output จาก Q ของ 7476 ไปเข้า 8830 output ของ 8830 นี้คือ Reset pulse ซึกที่สองของ 8830 ต่อ parallel กับซึกที่ 1 เพียงแต่ที่" 2 " นั้นต่อผ่าน inverter 1 ตัว output ของ 8830 ซึกที่สองนี้คือ Strobe pulse การทำงานเมื่อมี input เข้ามา 7490 จะนับไปเรื่อย ๆ เริ่มจาก 0 - 9 พอถึง pulse ที่5 (0101) 8830 ซึกที่สองจะถูก enable เพราะมี inverter เปลี่ยนหลัก" 2" ให้เป็น "1 " และ Q ของ 7476 เป็น"1 " อยู่ทำให้ทุก ๆ ขาของ 8830 เป็น"1 " หมดก็เกิด Strobe pulse เป็นแต่พอ 7490 นับต่อไปอีกถึง pulse ที่7 (0111) 8830 ซึกแรกจะถูก enable ทำให้เกิด Reset pulse เป็น " 1 " 7490 ก็นับต่อไปอีกจน recycle อีกครั้งแต่คราวนี้ Q ของ 7476 เปลี่ยนจาก"1 " เป็น "0 "ทำให้ไม่เกิด pulse ที่ Strobe และ Reset เลย เพราะไม่มี" 1 " มาจาก 7476 จนกระทั่ง 7490 recycle ครั้งต่อไปนั่นแหละจึงจะเกิด Strobe และ Reset pulse



รูปที่ 36 A TIMING DIAGRAM OF GATE CONTROL CIRCUIT

ดังที่อธิบายไว้ตอนต้น $\overline{Q}$ ของ 7476 ต่อไปเข้า 7400 NAND gate เพื่อนำสัญญาณนี้ไป NAND กับ input frequency ที่ต้องการวัดแล้วจึงต่อไปเข้า Main Counter

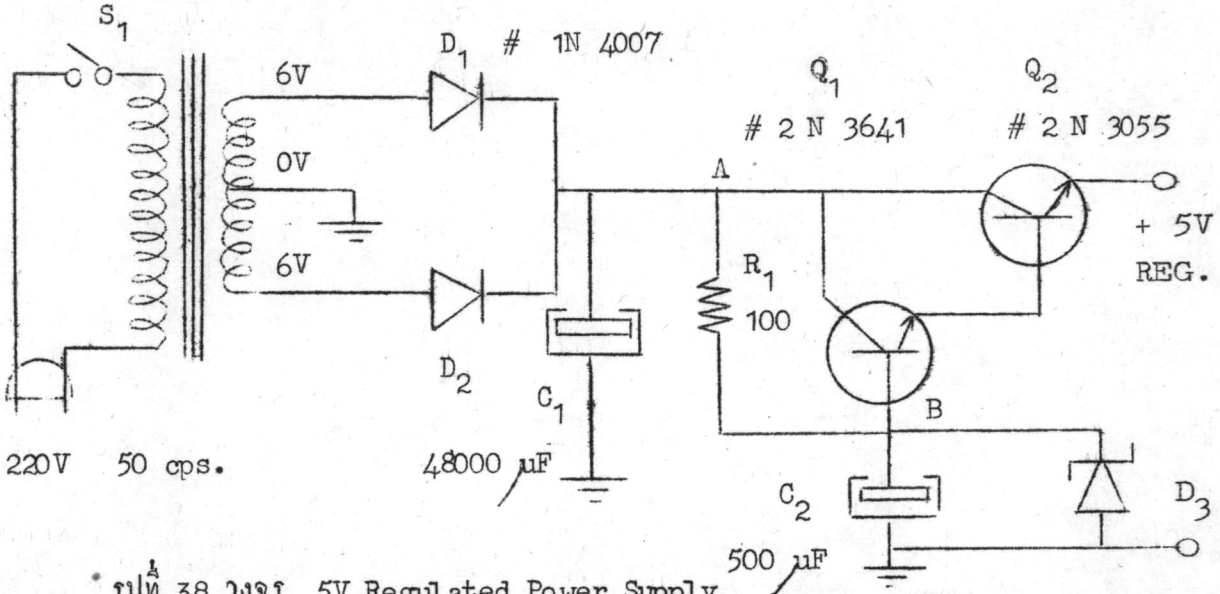


รูปที่ 37 Gate Control circuit

5. POWER SUPPLY CIRCUIT

ภาค Power Supply มีไว้เพื่อจ่ายไฟไปเลี้ยงวงจรต่าง ๆ ทุก ๆ วงจรในเครื่อง เนื่องจาก load ที่ใช้ประกอบไปด้วย IC ชนิด TTL ซึ่งต้องการไฟ supply + 5V DC กินกระแสประมาณ 1 แอมแปร์ วงจรที่ใช้จึงจำเป็นต้องมีการ stabilized

จากวงจรในรูปที่ 38 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นวงจร rectifier จาก AC เป็น DC ประกอบไปด้วย T_1 เป็น step down transformer เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าจาก power line 220 V.AC ให้เหลือ 6 - 0 - 6V ส่งต่อไปให้ silicon rectifier D_1 และ D_2 ทำการเรียงกระแสแบบ Fullwave rectifier ให้เป็น DC แล้วส่งต่อให้ C_1 ทำการ filter ค่าของ C_1 อาจจะหาได้โดยเริ่มจากหาค่า time constant หรือ ripple period สำหรับไฟ AC 50 cps ก่อนได้ $= \frac{1}{2 \times 50} = 0.01$ sec (หรือ 10 mS) ต่อไปก็หาค่า load resistance ได้จากสูตร $R = E/I = 8/1 = 8$ โอห์ม (output voltage ที่ออกจาก rectifier ก่อนต่อ regulator ประมาณ 8 โวลท์) แล้วจึงหาค่า C ได้จากสูตร $C = (3TC)/R = \left(\frac{3 \times 0.01 \text{ sec}}{8 \text{ ohm}}\right)$



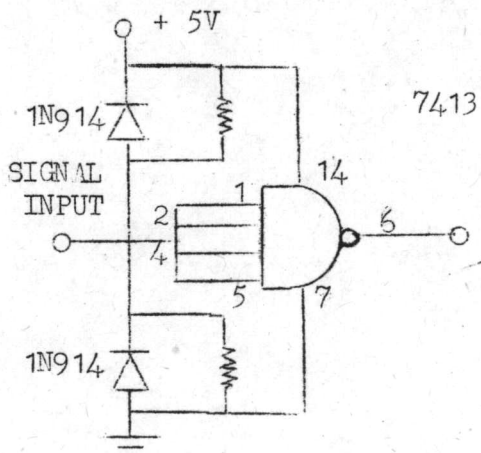
รูปที่ 38 วงจร 5V Regulated Power Supply

$= \frac{0.03}{8}$ Farad $= \frac{0.03}{8} \times 10^6$ µF $= 3,750$ µF ซึ่งค่านี้เป็นค่า minimum สำหรับ C_1 จะใช้ค่าสูงกว่านี้เล็กน้อยก็ได้ เช่นใช้ 5000 หรือ 10000 µF แต่ก็ไม่ควรใช้สูงเกินไปมาก ๆ นัก เพราะอาจจะเป็นอันตรายต่อ silicon rectifier ได้สำหรับ voltage rating ของ C_1 ก็หาได้จากการหาค่า peak voltage ก่อนจากสูตร Vpeak = Vrms x 1.414 = 6 x 1.414 = 8.484 Vpeak ดังนั้น voltage rating ของ C_1 ควรจะให้สูงกว่านี้โดยใช้ประมาณ 15 โวลท์ขึ้นไป ส่วนที่สองของวงจร Power Supply เป็นวงจร Regulator ประกอบไปด้วย Q_1, Q_2, D_3, R_1, C_2 วงจรนี้เรียกว่า PASS TRANSISTOR REGULATOR โดยทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ต่อกันแบบ DARLINGTON เพื่อเพิ่ม gain ให้สูงขึ้น และจัดวงจรแบบ emitter - follower คือให้ output ออกทาง emitter ของ Q_2 ที่ base ของทรานซิสเตอร์ Q_1 มี Zener Diode D_3 เป็นตัว maintain ให้โวลเตชที่จุด B มีค่าคงที่เสมอ คือ 6.2 โวลท์ เท่ากับค่า Zener voltage ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เป็นชนิด Silicon ทั้งคู่จึงมี V_{be} ตัวละ 0.6 โวลท์ 2 ตัว ก็เป็น 1.2 โวลท์ หมายความว่าความต่างศักย์ระหว่างจุด BC เป็น 1.2 โวลท์ เมื่อรวมกับความต่างศักย์ที่จุด B กับ ground ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกัน จะได้โวลเตชที่จุด C เป็น 6.2 – 1.2 = 5 โวลท์พอดี

ถ้าหากว่า load ดึงกระแสมากขึ้นทำให้โวลเตชที่จุด C ลดลง เช่นเป็น 4.8 โวลท์ ชุด regulator นี้จะเริ่ม active คือทำให้โวลเตชที่จุด C สูงขึ้นเป็น 5 โวลท์อย่างเดิม กล่าวคือ ถ้าโวลเตชที่จุด C เป็น 4.8 โวลท์ V_{be} ของทรานซิสเตอร์จะกลายเป็น = 6.2 - 4.8 = 1.4 โวลท์ (เดิมเป็น 1.2 โวลท์) การที่ V_{be} มีค่าสูงขึ้นจะทำให้ Base current ของทรานซิสเตอร์ไหลมากขึ้น ซึ่งพลอยทำให้ collector current ไหลมากขึ้นไปด้วย (คิดจากสูตร $\beta = \frac{I_c}{I_b}$) โวลเตชที่จุด C จึงเพิ่มขึ้นเท่าเดิมเป็นการ stabilized output voltage ให้มีค่าคงที่ การคำนวณค่า R_1 หรือ current limiter สำหรับ Zener นั้นคำนวณได้จากสูตร $R = \frac{Vin - Vz}{I_z} = \frac{8.2 - 6.2}{20//10000} = 100$ โอห์ม (Vin = โวลเตชที่จุด A, V_z = Zener voltage, I_z = Zener current) ส่วนการคำนวณหาค่า C_2 หาได้โดยวิธีเดียวกับการหาค่า C_1

6. INPUT CIRCUIT

เป็นวงจรส่วนหน้าใช้ต่อกับสัญญาณที่จะวัดวงจรใช้ IC เพียงตัวเดียวคือ 7413 ซึ่งเป็น Schmitt trigger ทำหน้าที่เป็น wave shaping เปลี่ยนสัญญาณที่เป็น sinusoidal ให้เป็น pulse โดยที่ยังคงมีความถี่คงเดิม สัญลักษณ์ของ 7413 ก็เหมือน 4 - input NAND gate แต่มี threshold voltage คือถ้าระดับสัญญาณ input ต่ำกว่า 0.9V output จะออกเป็น " 0 " และถ้าระดับสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงเกินกว่า 0.9V ขึ้นไป output จะออกเป็น " 1 " แต่ถ้าสัญญาณ input เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึง 1.7V แล้ว output ที่เป็น " 1 " อยู่นั้นจะเปลี่ยนกลับเป็น " 0 " ทันที schmitt trigger อาจจะไม่ต้องใช้ก็ได้ ถ้าสัญญาณที่ต้องการจะวัดนั้นเป็นคลื่นรูป rectangular wave อยู่แล้ว 1N914 เป็น switching diode ใส่ไว้เพื่อ clamp ไม่ให้สัญญาณ input เข้ามามากเกินไปป้องกันมิให้ 7413 เสีย



รูปที่ 39 Input Circuit