

REFERENCE

1. Robert Boylestad, and Louis Nashelsky. : Electronic Devices and Circuit Theory. USA : Prentice-Hall Inc., 1972
2. Millman-Halkias. : "Integrated Electronics". Analog and Digital Circuits and Systems. Japan : McGraw-Hill Kogakusha Ltd., 1972
3. Abraham I, and Pressman. : Switching and Linear Power Supply. New Jersey : Hayden Book Company Inc., 1977
4. Lancaster D. : CMOS Cookbook. Indiana : Howard W. Sams & Co., 1977.
5. National Semiconductor : CMOS Databook, National Semiconductor Corporation, Santa Clara, CA95051
6. Knoll G.F. : Radiation Detection and Measurement. New York : John Wiley & Sons Inc., 1979.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การคำนวณ

ก.1 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง

ก.1.1 วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (DC-DC converter)

$$\text{จาก } P_{\text{out}} = HV. \times I_{\text{max}}$$

$$= 2.4 \times 10^3 \times 200 \times 10^{-6}$$

$$= 0.48 \text{ W.}$$

$$V_{\text{in}} = 6 \text{ V.}$$

$$V_{\text{out}} = 600 \text{ V.}$$

$$P_{\text{in}} = \frac{P_{\text{out}}}{\eta} = \frac{0.48}{0.8} = 0.6 \text{ W.}$$

$$I_{\text{C}} = \frac{P_{\text{in}}}{V_{\text{in}}} = \frac{0.6}{6} = 0.1 \text{ A.}$$

$$I_{\text{O}} = \frac{P_{\text{out}}}{V_{\text{out}}} = \frac{0.48}{600} = 8 \times 10^{-4} \text{ A.}$$

เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ MPSU 06 เป็น Q_5, Q_6 .

$$I_{\text{B}} = \frac{I_{\text{C}}}{h_{\text{FEmin}}}, h_{\text{FEmin}} = 30$$

$$I_{\text{B}} = \frac{0.1}{30} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ A.}$$

$$\text{จาก } R_{\text{B}} = \frac{V_{\text{CC}} - V_{\text{BE}}}{I_{\text{B}}}$$

$$\text{ดังนั้น } R_{\text{C}} + R_{\text{B}} = \frac{5 - 0.6}{3.33 \times 10^{-3}} = 1321.32 \ \Omega$$

เลือกใช้ $R_9, R_{10} = 220 \ \Omega$

$$\text{และใช้ } R_5, R_6 = 1 \text{ k}\Omega$$

พิจารณา Q_3, Q_4 เมื่อเลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904

$$h_{FE} = 50$$

เมื่อ R_5 และ R_6 ซึ่ง = 1 k Ω เป็น R_C ของ Q_3 และ Q_4

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{5}{1 \times 10^3} = 5 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{5 \times 10^{-3}}{50} = 1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } R_C + R_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} \\ &= \frac{5 - 0.6}{1 \times 10^{-4}} = 4400 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

$$\text{เลือกใช้ } R_7, R_8 = 39 \text{ k}\Omega$$

$$\text{และใช้ } R_1, R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

พิจารณาทรานส์ฟอร์มเมอร์ ซึ่งเลือกใช้แกนเฟอร์ไรท์ (ferrite)

แบบ TDK. P2616 H5B ชนิดแกนกลม (pot core) ซึ่งมี

พื้นที่หน้าตัดของแกน $A_{\text{core}} = 0.95 \text{ cm}^2$. ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก

$$B_{\text{sat}} = 3500 \text{ gauss}$$

$$\text{จาก } N_p = \frac{V_{dc} \times 10^8}{4fBA_c}$$

เมื่อกำหนดให้ $V_{dc} = 6 \text{ V}$. และความถี่ = 5 kHz

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{6 \times 10^8}{4 \times 5 \times 10^3 \times 3500 \times 0.9} \\ &= 9 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ดังนั้นจำนวนรอบทางค้ำปฐมภูมิ = 18 รอบ มีเซ็นเตอร์แท็ป

$$\text{จาก } \frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$$

$$N_S = \frac{N_P}{V_P} \times V_S$$

ศักดาไฟฟ้าทางค้ำทุติยภูมิ $V_S = 600 \text{ V.}$

$$N_S = \frac{9 \times 600}{6} = 900 \text{ รอบ}$$

ดังนั้นจำนวนรอบทางค้ำทุติยภูมิ = 900 รอบ

โดยพิจารณาเลือกขนาดของลวดทองแดงดังนี้

ค้ำปฐมภูมิใช้ลวดเบอร์ 34 SWG.

ค้ำทุติยภูมิใช้ลวดเบอร์ 45 SWG.

การคำนวณหาค่า C_4, C_5 เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ Q_5, Q_6 อิ่มตัวในระหว่างครึ่งไซเคิล (half cycle)

$$C_4 = C_5 = \frac{T}{20R}$$

$$\text{ความถี่} = 5 \text{ kHz}$$

$$R = 220 \text{ } \Omega$$

$$C_4 = C_5 = \frac{1}{20 \times 220 \times 5 \times 10^3} = 0.045 \text{ } \mu\text{F}$$

$$\text{เลือกใช้ } C_4, C_5 = 0.5 \text{ } \mu\text{F}$$

ก.1.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator circuit)

พิจารณาทรานซิสเตอร์ Q_1, Q_2 เลือกใช้เบอร์ 2N3904 ซึ่งมีค่า

$$h_{FE} = 50$$

$$R_1 = R_2 = R_C = 10 \text{ k}\Omega$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{5}{10 \times 10^3} = 5 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{5 \times 10^{-4}}{50} = 1 \times 10^{-5} \text{ A}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 0.6}{1 \times 10^{-5}} = 440 \text{ k}\Omega$$

เลือกใช้ $R_3, R_4 = 390 \text{ k}\Omega$

การคำนวณหาค่า C_1, C_2 เมื่อความถี่ = 5 kHz

$$C = \frac{T}{0.693R_B}$$

$$T = \frac{1}{2f}$$

$$R_B = R_3 = R_4 = 390 \text{ k}\Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \times 0.693 \times 390 \times 10^3 \times 5 \times 10^3}$$

$$= 370 \text{ pF}$$

เลือกใช้ $C_1, C_2 = 350 \text{ pF}$



ก.1.3 วงจรควบคุมและปรับค่าแรงดัน (Regulator Circuit)

เมื่อกำหนดให้ $V_O = 6 \text{ V.}$

$$V_O = V_L - V_{BE}(Q_8) - V_{BE}(Q_7)$$

$$V_L = V_O + V_{BE}(Q_8) + V_{BE}(Q_7)$$

$$= 6 + 1.2 = 8 \text{ V.}$$

จากสมการ 2.7. $V_L = V_R \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$

เมื่อ $R_2 \gg R_1$

$$V_R = V_L$$

ศักดาไฟฟ้าอ้างอิงสามารถปรับได้ในช่วง $V_{BE}(Q_8) + V_{BE}(Q_7)$

ถึง 9V. หมายถึง 1.2 V. - 9 V.

เลือกใช้ $V_{R1} = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_{13} = \frac{V_{R1} V_{R13}}{V_1 - V_{R13}}$$

$$= \frac{10 \times 10^3 \times 1.2}{9 - 1.2} = 1.54 \text{ k}\Omega$$

เลือกใช้ $R_{13} = 1.5 \text{ k}\Omega$

$$V_{R17} = V_R$$

$$V_{R17} = \frac{V_{HV} R_{17}}{R_{17} + (R_{14} + R_{15} + R_{16})}$$

$$(R_{14} + R_{15} + R_{16}) = \frac{V_{HV} R_{17}}{V_{R17}} - R_{17}$$

$$= \frac{2.5 \times 10^3 \times 100 \times 10^3}{9} - 100 \times 10^3$$

$$= 27.68 \text{ M}\Omega$$

$$\begin{aligned} \text{เลือกใช้ } R_{14} &= R_{15} = 10 \text{ M}\Omega \\ R_{16} &= 6.8 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

ก.1.4 แหล่งจ่ายไฟบวก 9 โวลต์

$$I_{R22} = I_{Zmin} + I_L$$

$$\text{กระแส } I_L \text{ ได้จากแหล่งจ่าย } +9 \text{ V.} = 0.05 \text{ A}$$

$$I_{Zmin} = 0.2I_L = 0.2 \times 0.05 = 0.01 \text{ A}$$

$$I_{R22} = 0.05 + 0.01 = 0.06 \text{ A}$$

$$R_{22} = \frac{V_{SUPPLY} - V_Z}{I_{R22}} = \frac{12 - 9}{0.06} = 50 \text{ }\Omega$$

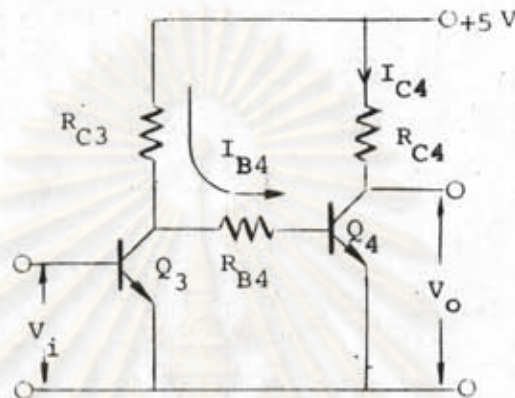
$$P_Z = I_{Zmax} \times V_Z = 0.54 \text{ W.}$$

เลือกใช้ zener diode 9 V., 1 W.

$$R_{22} = 50 \text{ }\Omega, 1 \text{ W.}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.2 ภาศขยายและแต่งสัญญาณ

พิจารณาทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 เลือกใช้เบอร์ MPS 9632ซึ่งมีค่า $h_{FE} = 50$ 

เมื่อ Q_4 อยู่ในขณะคัทออฟ (cut off) กระแสเอาต์พุต ซึ่งจ่ายให้เกท และวงจรมีค่าประมาณ 2.5 mA.

$$\text{ดังนั้น } I_{C4} = 2.5 \text{ mA}$$

$$\text{จาก } R_{C4} = \frac{V_{CC}}{I_{C4}} = \frac{5 \times 10^3}{2.5} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\text{เลือกใช้ } R_8 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\text{จาก } R_8 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

$$I_{B4} = \frac{2.5}{50} = 0.05 \text{ mA.}$$

$$R_{B4} + R_{C3} = \frac{5 - 0.6}{0.05 \times 10^{-3}} = 88 \text{ k}\Omega$$

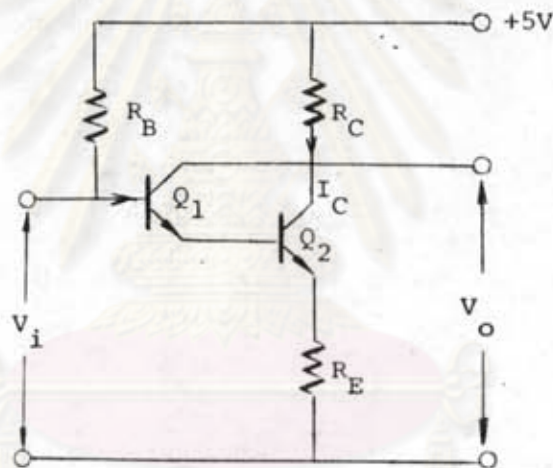
พิจารณา Q_3 , $I_{C3} = 1 \text{ mA.}$

$$R_{C3} = \frac{V_{CC}}{I_{C3}} = \frac{5}{1 \times 10^{-3}} = 5 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้น $R_{B4} = 88 - 5 = 82 \text{ k}\Omega$

เลือกใช้ $R_7 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 5 \text{ k}\Omega$

พิจารณาทรานซิสเตอร์ Q_1 , Q_2 ซึ่งเป็นวงจรขยายแบบคาร์ลิงตัน เลือกใช้เบอร์ MPS 3904 ซึ่งมีค่า $\beta_{FE} = 50$



เลือกจุดทำงานสำหรับวงจรขยายในคลาส (class) A แรงดันไบแอส (bias)

ที่คอลเลคเตอร์ $= \frac{V_{CC}}{2} = 2.5 \text{ โวลต์}$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม $R_C = 2.5 \text{ V.}$

กระแส $I_C = 2 \text{ mA.}$

$$R_C = \frac{2.5}{2 \times 10^{-3}} = 1.25 \text{ k}\Omega$$

เมื่อไม่มีการขยายทางด้านแรงดัน ดังนั้นอัตราขยายแรงดัน = 1

ซึ่ง อัตราขยายแรงดัน $\approx \frac{R_C}{R_E}$

ดังนั้น $R_C \approx R_E$

เลือกใช้ $R_3 = 1.2 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$

จาก $I_B = \frac{I_C}{h_{fe2}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{2,500} = 0.8 \times 10^{-6} \text{ A}$

$$V_E = I_{E2} R_E = (I_{C2} + I_{B2}) R_E$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{50} = 4 \times 10^{-5} \text{ A}$$

เลือกใช้ $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, $I_{E2} = (2 \times 10^{-3}) + (4 \times 10^{-5}) = 2.04 \times 10^{-3}$

$$V_E = 2.04 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = 2.04$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

$$V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2} + V_E = 1.2 + 2.04 = 3.24 \text{ V.}$$

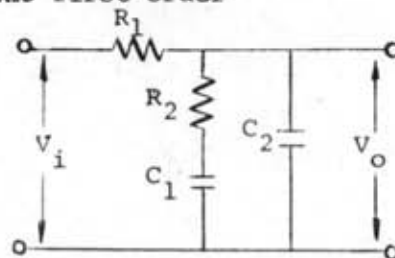
$$R_B = \frac{5 - 3.24}{0.8 \times 10^{-6}} = 2.2 \text{ M}\Omega$$

เลือกใช้ $R_2 = 2 \text{ M}\Omega$

ก.3 วงจรสองความถี่

ก.3.1 วงจรสองความถี่ค่า

วงจรสองความถี่ค่าที่อยู่ในลักษณะ second-order จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขยายสัญญาณ (gain) และความถี่เข้าใกล้ลักษณะอุดมคติ (ideal) ทำให้เสถียรภาพของวงจรดีขึ้นกว่าวงจรที่ถูกค่อในลักษณะ first-order



พิจารณาเสถียรภาพ (stability) ของวงจร เมื่อต่อวงจรฟิลเตอร์อยู่ในลักษณะดังรูป
คำนวณหาทรานสเฟอร์ ฟังก์ชัน (transfer function) ได้จาก

$$Z_1(s) = \frac{(R_2 + \frac{1}{sC_1}) \frac{1}{sC_2}}{R_2 + \frac{1}{sC_1} + \frac{1}{sC_2}} \quad s = j\omega$$

$$= \frac{SR_2C_1 + 1}{S^2R_2C_1C_2 + SC_2 + SC_1}$$

$$Z_2(s) = R_1$$

จาก $\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{Z_1(s)}{Z_1(s) + Z_2(s)}$

$$= \frac{SR_2C_1 + 1}{S^2R_2C_1C_2 + SC_2 + SC_1} + R_1$$

$$= \frac{SR_2C_1 + 1}{R_1R_2C_1C_2S^2 + (R_2C_1 + R_1C_2 + R_1C_1)S + 1}$$

เมื่อกำหนดให้ $R_1 = 1.2 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$

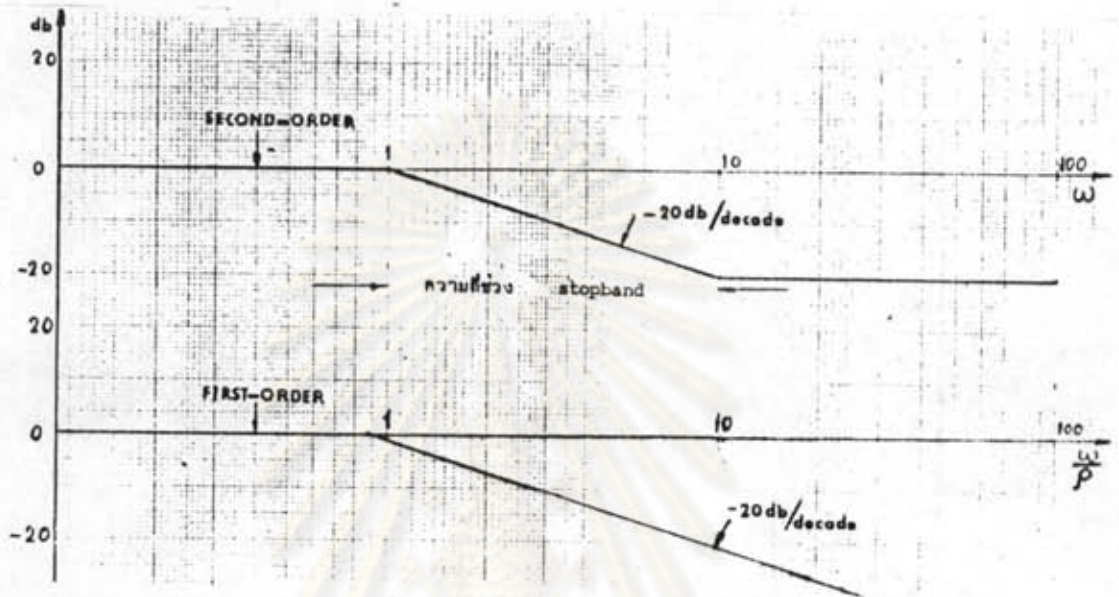
$$\text{ดังนั้น } \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{0.1s + 1}{0.012s^2 + (0.1 + 0.12 + 1.2)s + 1}$$

$$= \frac{0.1s + 1}{0.012s^2 + 1.42s + 1}$$

$$= \frac{s + 10}{0.12s^2 + 14.2s + 10}$$

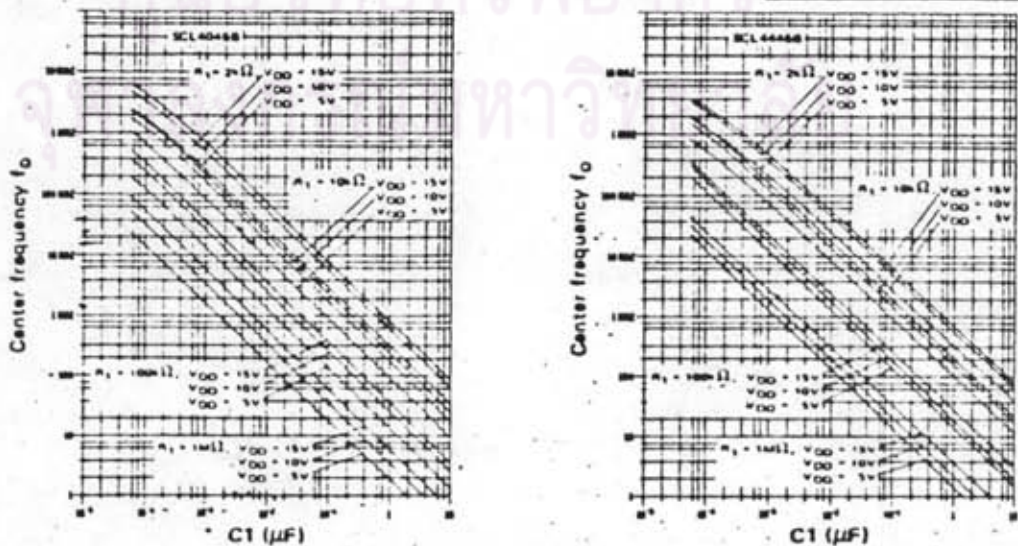
จะเห็นว่าเสถียรภาพของวงจรขึ้นเมื่อ characteristic equation อยู่ในลักษณะ second-order เมื่อเปรียบเทียบกับด้วย bode plot ของ first-order

และ second-order ในรูป ก.1 เสถียรภาพของลีดคูลอปจะอยู่ในช่วง $\omega = 1$ ถึง $\omega = 10$ ซึ่งเป็นช่วง stopband ส่วนใน first-order จะไม่มีช่วงนี้



รูป ก.1 Bode Plot ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

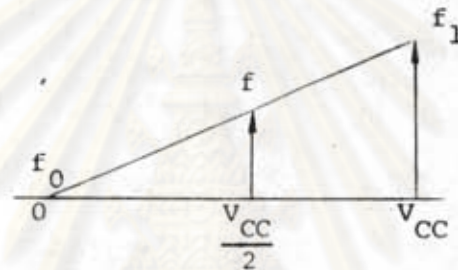
ก.3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทาน และคาปาซิเตอร์ เพื่อหาค่าความถี่ศูนย์กลาง (center frequency) ของวงจรวีซีไอ เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ $\frac{V_{CC}}{2}$, $R_2 = \infty$ สำหรับวงจรรวม SCL4046B และ SCL4446B



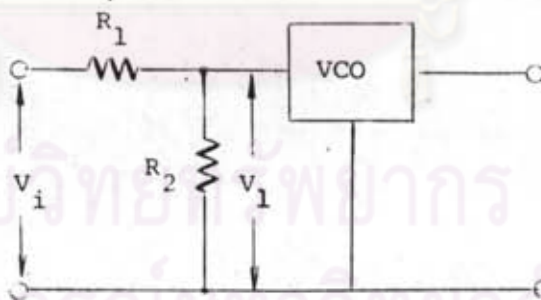
รูป ก.2

ก.3.3 การหาความถี่ศูนย์กลางของวงจรวีซีโอ

จากวงจรในรูป 4.3 เมื่อใช้ค่า $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ และ $C_3 = 3300 \text{ pF}$ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูป ก.1 ความถี่เอาต์พุตจากวงจรวีซีโอ สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่ 0-40 kHz โดยมีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ 20 kHz เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ $\frac{V_{CC}}{2}$ ซึ่งค่าความถี่และแรงดันอินพุตจะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะต่อ เนื่องดังรูป



ก.4 วงจรสร้างสัญญาณเตือนอันตราย



พิจารณาวิซีโอ ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่ถูกสร้างขึ้นจะแปรตามค่าแรงดันอินพุต V_1 โดยมีความต้านทานและคาปาซิเตอร์ซึ่งถูกต่อร่วมในวงจรวีซีโอ เป็นตัวกำหนดคร่าวๆ โดยสามารถทราบได้จากกราฟรูป ก.1

จากวงจรรูป 4.5 เมื่อเลือกใช้ $R_1 = 680 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2.2 \text{ M}\Omega$

$$\text{จาก } \frac{V_1}{V_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{2.2 \times 10^6}{(2.2 \times 10^6) + 680 \times 10^3}$$

$$= 0.76$$

$$V_1 = 0.76 V_i$$

ในภาวะปกติ $V_i = 0$ โวลต์ (คอนแทคเปิด)

แต่เมื่อคอนแทคปิด $V_i = V_{CC} = 5$ โวลต์

ดังนั้น $V_1 = 0.76 \times 5 = 3.8$ โวลต์

ส่วนของวงจรรีซีโอ เมื่อเลือกใช้ $R_5 = 100 \text{ k}\Omega$, $C_5 = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$

เมื่อพิจารณากราฟรูป ก.4 ได้ค่าความถี่ศูนย์กลาง $= 1.5 \text{ kHz}$ เมื่อแรงดันอินพุต $V_1 = \frac{V_{CC}}{2}$

ดังนั้น เมื่อ $V_1 = 3.8$ โวลต์ ความถี่สูงสุดที่ได้ $= \frac{1.5}{2.5} \times 3.8$

$$= 2.28 \text{ kHz}$$

สัญญาณเสียงไซเรนที่ได้จากวงจรมีความสามารถแปรค่าได้ จาก 0 ถึง 2.28 kHz

ก.5 แหล่งจ่ายสัปดาห์แรงต่ำ

เลือกใช้วงจรรวม LM 340 T5, และ LM 340 T12 เป็นตัวควบคุมและปรับ
ค่าแรงดันชนิด 3 ขั้ว

และในวงจรพูลเวฟเรกติฟายเออร์ (full wave rectifier) เลือกใช้ไดโอด
IN4001 คือเป็น 2 วงจร เนื่องจากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงประกอบด้วยขลวด 2 ชุด

$$V_{DC} = V_o + V_{reg}$$

$$V_{rms} = \frac{V_{DC}}{\sqrt{2}}$$



$$\text{เมื่อ } V_o = 5 \text{ V และ } 12 \text{ V}$$

$$V_{\text{reg}} = 3 \text{ V}$$

$$V_{\text{rms}_1} = \frac{12 + 3}{\sqrt{2}} = 10.6 \approx 11 \text{ V}$$

$$V_{\text{rms}_2} = \frac{5 + 3}{\sqrt{2}} = 5.7 \approx 6 \text{ V}$$

ดังนั้นแรงดันไฟสลั้บทางด้านทุติยภูมิของขดลวดทั้งสองชุด = 11 V. และ 6 V.

มีเซ็นเตอร์แท็ป (center-tap)

ก.6 ตาราง Chauvenet's Criterion

ตาราง ก.3

จำนวนครั้งที่ทดลอง	$\frac{N - \bar{N}}{\sigma} = \tau$
2	1.15
5	1.65
10	1.96
15	2.13
20	2.24
30	2.40

ภาคผนวก ข.

การประยุกต์ใช้งานวงจรรวมซีมอส

ข.1 วงจรลอจิกเกต (logic gate)

วงจรเกตเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยตัวต้านทานไดโอด และทรานซิสเตอร์ ซึ่งอาศัยระดับแรงดันสองระดับแทนลอจิกทั้งสอง คือ "0" กับ "1" และด้วยการแทนสภาวะทั้งสองด้วยระดับแรงดันทางไฟฟ้านี้เอง จึงสามารถประยุกต์วงจรให้กระทำตามตารางลอจิกต่าง ๆ ได้

ข.1.1 AND เกต (AND gate)



$$X = AB$$

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ข.1.2 NAND เกต (NAND gate)



$$X = \overline{AB}$$

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ข.1.3 ORinn (OR gate)



$$X = A + B$$

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

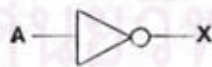
ข.1.4 NORinn (NOR gate)



$$X = \overline{A + B}$$

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

ข.1.5 อินเวอร์เตอร์ (inverter)



$$X = \bar{A}$$

A	X
1	0
0	1

ข.2 วงจรฟลิปฟล็อป (flip-flop)

ฟลิปฟล็อปเป็นวงจรรวมที่ประกอบด้วยวงจร NAND เกทหรือ NOR เกท 2 ตัว สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายประเภท เช่น วงจรนับ, วงจรหาร และวงจรเลื่อนข้อมูล โดยเอาต์พุตของเกทแต่ละตัวจะป้อนกลับไปยังอินพุตของอีกตัวหนึ่ง ซึ่งเกทแต่ละตัวจะมีอินพุตเดียวทำตัวเสมือนเป็นอินเวอร์เตอร์ จากลักษณะของฟลิปฟล็อป เอาต์พุตที่ได้จะอยู่ในลักษณะ $Q = 1$ เมื่อ $\bar{Q} = 0$ และ $Q = 0$ เมื่อ $\bar{Q} = 1$

ข.2.1 ลักษณะวงจรฟลิปฟล็อปที่ใช้ NOR เกท



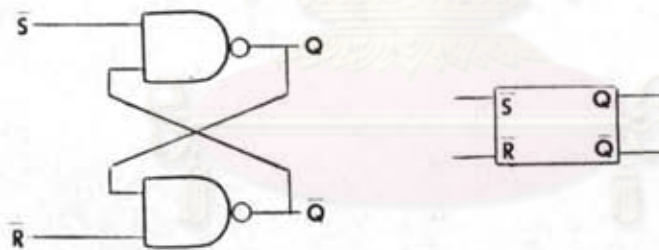
วงจร

สัญลักษณ์

S	R	Q	\bar{Q}
0	0	Q	\bar{Q}
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
disallowed			

ตารางลอจิก

ข.2.2 ลักษณะวงจรฟลิปฟล็อปที่ใช้ NAND เกท



วงจร

สัญลักษณ์

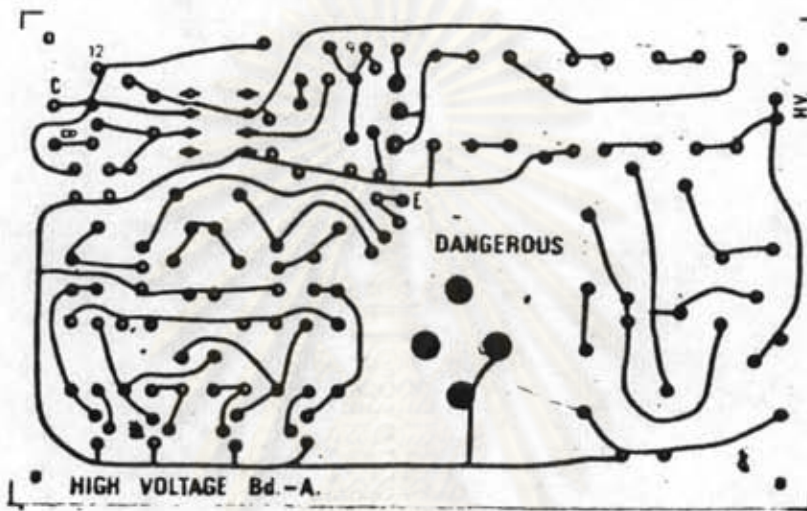
\bar{S}	\bar{R}	Q	\bar{Q}
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	Q	\bar{Q}
disallowed			

ตารางลอจิก

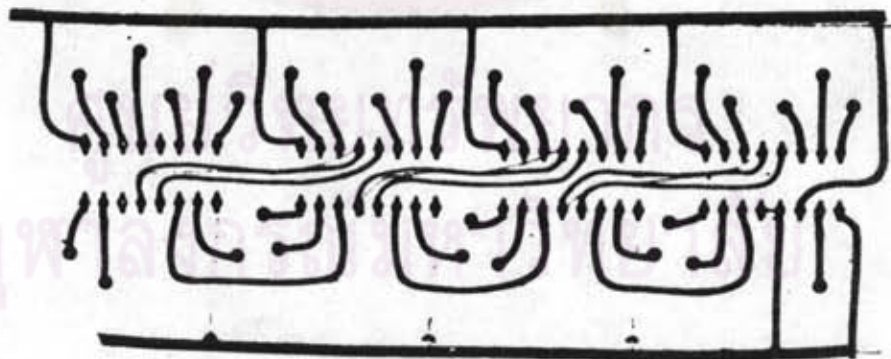
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค .

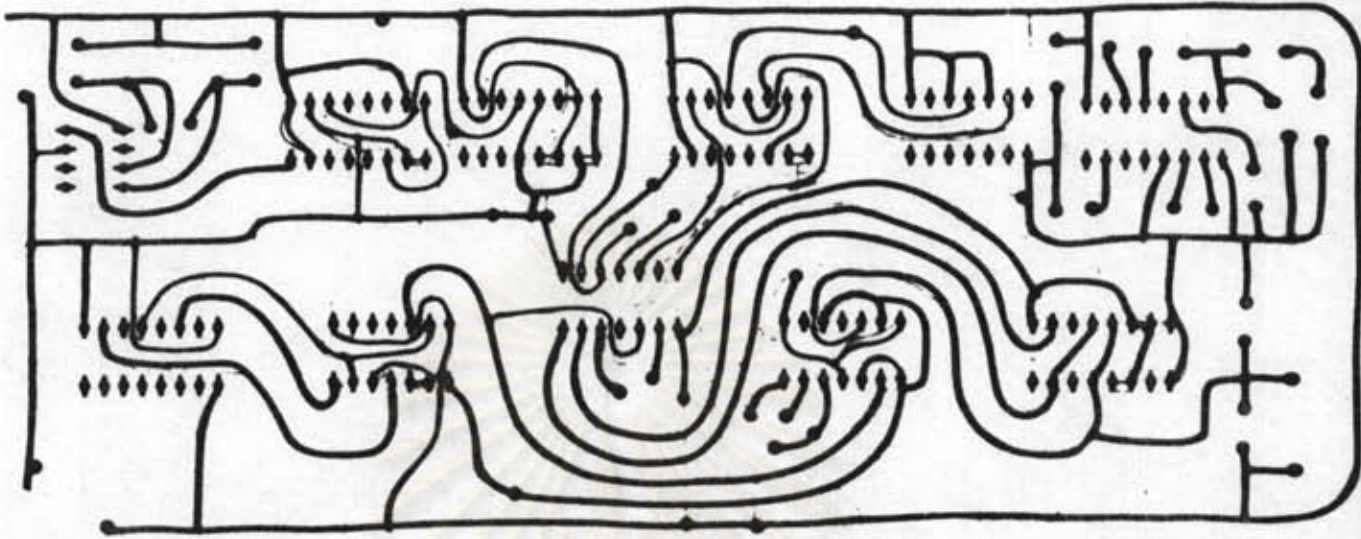
ต้นแบบลายปริ้นท์ของวงจร



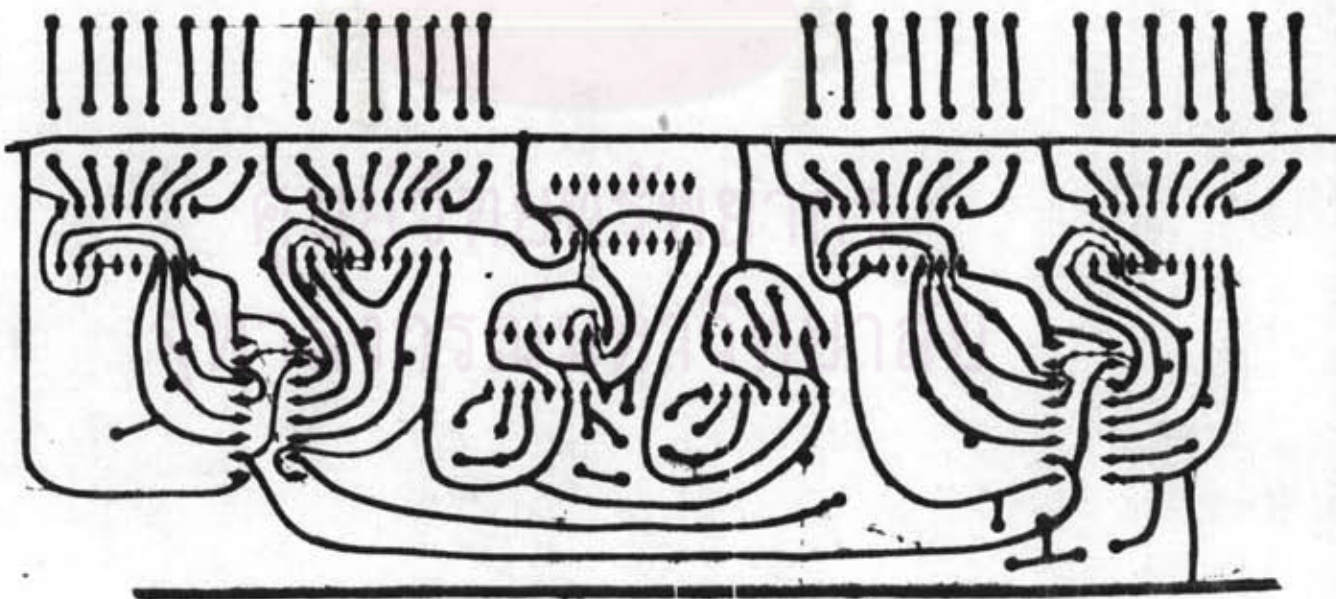
แผ่นวงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง



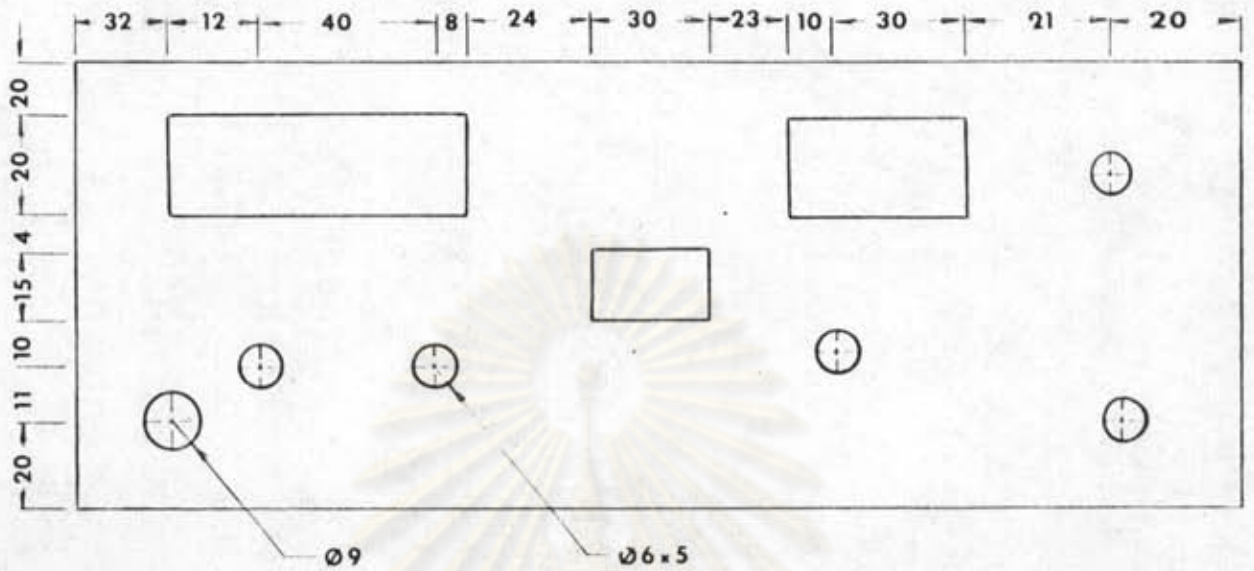
แผ่นวงจร เปรียบเทียบ



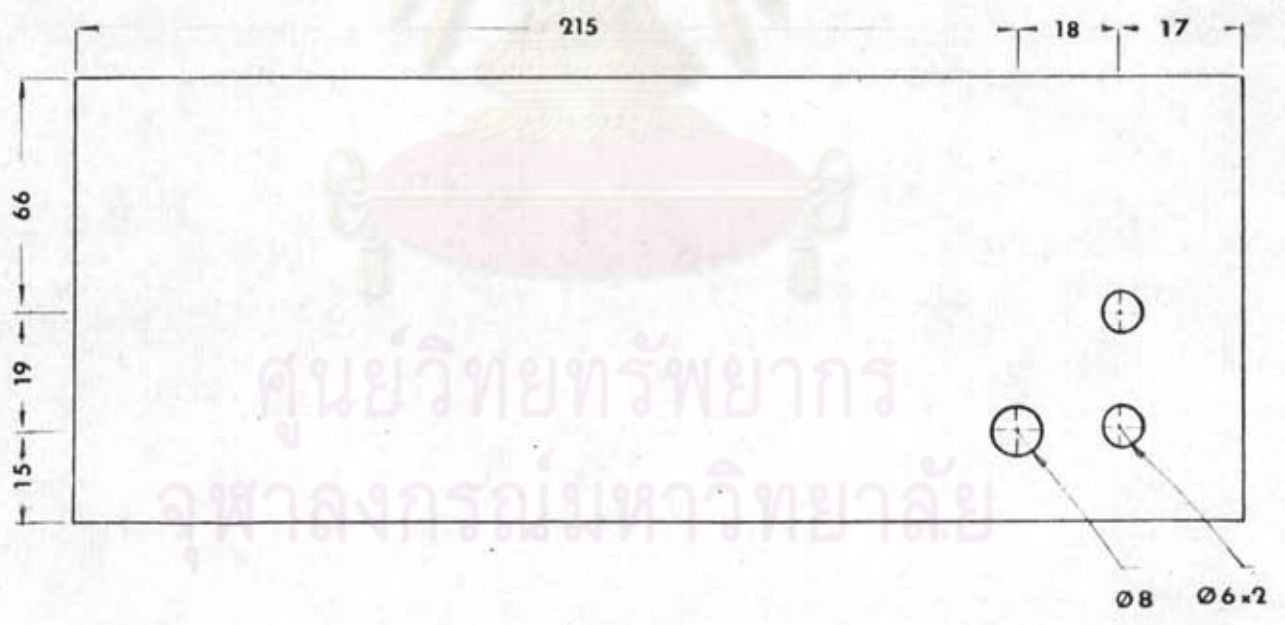
แผ่นวงจรสร้างฐานเวลา, วงจรควบคุมความถี่และวงจรแก้แวนคอม



แผ่นวงจรนับและถอครหัส



แบบด้านหน้า



แบบด้านหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

รายการชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ง.1 วงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง (รูป 4.1)

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
R ₁	10 kΩ	1/4 W. คาร์บอนฟิล์ม
R ₂	10 kΩ	1/4 W. "
R ₃	390 kΩ	1/4 W. "
R ₄	390 kΩ	1/4 W. "
R ₅	1 kΩ	1/4 W. "
R ₆	1 kΩ	1/4 W. "
R ₇	39 kΩ	1/4 W. "
R ₈	39 kΩ	1/4 W. "
R ₉	120 kΩ	1/4 W. "
R ₁₀	120 kΩ	1/4 W. "
R ₁₁	470 kΩ	1/4 W. "
R ₁₂	22 MΩ	1/4 W. "
R ₁₃	1.5 kΩ	1/4 W. "
R ₁₄	10 MΩ	1/2 W. "
R ₁₅	10 MΩ	1/2 W. "
R ₁₆	6.8 MΩ	1/2 W. "
R ₁₇	100 kΩ	1/4 W. "
R ₁₈	100 kΩ	1/4 W. "
R ₁₉	22 MΩ	1/4 W. คาร์บอน
R ₂₀	22 MΩ	1/4 W. คาร์บอนฟิล์ม
R ₂₁	100 kΩ	1/4 W. "

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
R ₂₂	50 k	1 W. คาร์บอนฟิล์ม

ค่าความต้านทานทั้งหมดผิดพลาด $\pm 5\%$

C ₁	350 pF	50 V. ดิสช. เซรามิก
C ₂	350 pF	50 V. "
C ₃	10 μ F	10 V. อิเล็กโทรไลต์
C ₄	.05 μ F	50 V. ดิสช. เซรามิก
C ₅	.05 μ F	50 V. "
C ₆	6.8 μ F	50 V. อิเล็กโทรไลต์
C ₇	220 μ F	25 V. "
C ₉	47 μ F	10 V. "
C ₁₀	100 pF	50 V. ดิสช. เซรามิก
C ₁₁	.01 μ F	50 V. "
C ₁₂	47 μ F	15 V. อิเล็กโทรไลต์
C ₁₃	.01 μ F	3 kV. ดิสช. เซรามิก
C ₁₄	.01 μ F	3 kV. "
C ₁₅	.01 μ F	3 kV. "
C ₁₆	.01 μ F	3 kV. "
C ₁₇	.01 μ F	3 kV. "
C ₁₈	.01 μ F	3 kV. "
D ₁	ไดโอด	1N 4001
D ₂	"	1N 4001
D ₃	"	S 1516
D ₄	"	S 1516

รายการชิ้นส่วน		ชนิด
D ₅	ไดโอด	S 1516
D ₆	"	S 1516
D ₇	ซีเนอร์ ไดโอด	9.1 V. 1/2 W.
Q ₁	ทรานซิสเตอร์	2N 3904
Q ₂	"	2N 3904
Q ₃	"	2N 3904
Q ₄	"	2N 3904
Q ₅	"	MPSU 06
Q ₆	"	MPSU 06
Q ₇	"	MJ 3055
Q ₈	"	2N 3904
IC ₁	วงจรรวม	IF 356

ง.2 วงจรขยายและแต่งสัญญาณ (รูป 4.2)

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
R ₁	470 k Ω	1/4 W. คาร์บอนฟิล์ม
R ₂	2 M Ω	1/4 W. "
R ₃	1.2 k Ω	1/4 W. "
R ₄	1 k Ω	1/4 W. "
R ₅	100 k Ω	1/4 W. "
R ₆	5 k Ω	1/4 W. "
R ₇	100 k Ω	1/4 W. "
R ₈	2 k Ω	1/4 W. "

ค่าความต้านทานทั้งหมดผิดพลาด $\pm 5\%$

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
C_1	.01 μF	50 V. ดิสช. เซรามิก
C_2	.001 μF	50 V. "
D_1	ไดโอด	1N 4148
Q_1	ทรานซิสเตอร์	MPS 3904
Q_2	"	MPS 3904
Q_3	"	MPS 9632
Q_4	"	MPS 9632

ง.3 วงจรสร้างความถี่มาตรฐาน เพื่อควบคุมกระบวนการทำงานด้วยเวลาและวงจร
คู่ความถี่ (รูป 4.3)

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
R_1	22 $M\Omega$	1/4 W. คาร์บอนฟิล์ม
R_2	10 $k\Omega$	1/4 W. "
R_4	100 $k\Omega$	1/4 W. "
R_5	1.2 $M\Omega$	1/4 W. "

ค่าความต้านทานทั้งหมดผิดพลาด $\pm 5\%$

C_1	30 pF	50 V. ดิสช. เซรามิก
C_2	10 pF	50 V. "
C_3	3300 pF	50 V. ไมลาร์
C_4	1 μF	16 V. อีเล็กโทรไลต์
C_5	0.1 μF	50 V. ดิสช. เซรามิก
C_6	.01 μF	50 V. "

รายการชิ้นส่วน		ชนิด
IC ₁	วงจรรวม	MM 5369
IC ₂	"	SCL 4518
IC ₃	"	SCL 4027
IC ₄	"	SCL 4518
IC ₅	"	SCL 4046
IC _{6b}	"	SCL 4081
IC ₇	"	SCL 4082

ง.4 ภาคนับรังสีและวงจรเปรียบเทียบ (รูป 4.4)

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
R ₁	11 kΩ	1/4 W. คาร์บอนฟิล์ม
R ₂	20 kΩ	1/4 W. "
R ₃	220 kΩ	1/4 W. "
R ₄	220 kΩ	1/4 W. "
R ₅ - R ₁₁	100 Ω	1/4 W. "
R ₁₂ - R ₁₈	100 Ω	1/4 W. "
R ₁₉ - R ₂₅	100 Ω	1/4 W. "
R ₂₆ - R ₃₂	100 Ω	1/4 W. "
R ₃₃ - R ₃₇	47 kΩ	1/4 W. "
R ₃₈ - R ₄₂	47 kΩ	1/4 W. "
R ₄₃ - R ₄₇	47 kΩ	1/4 W. "
R ₄₈ - R ₅₂	47 kΩ	1/4 W. "

ค่าความต้านทานทั้งหมดผิดพลาด ± 5%

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
C ₁	1 μ F	16 V. อิเล็กโทรไลต์
C ₂	.05 μ F	50 V. คิสซ. เซรามิก
C ₃	.05 μ F	50 V. "
C ₄	.05 μ F	50 V. "
IC ₁	วงจรรวม	SCL 4518
IC ₂	"	SCL 4518
IC ₃	"	SCL 4518
IC ₄	"	SCL 4518
IC ₅	"	CD 4047
IC _{6a}	"	SCL 4081
IC ₇	"	CD 4047
IC ₈	"	SCL 4511
IC ₉	"	SCL 4511
IC ₁₀	"	SCL 4511
IC ₁₁	"	SCL 4511
IC ₁₂	"	MM 74C85 N
IC ₁₃	"	MM 74C85 N
IC ₁₄	"	MM 74C85 N
IC ₁₅	"	MM 74C85 N



ง.5 วงจรแก้แรมคอมและวงจรสัญญาณเค็อนอันตราาย (รูป 4.5)

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
R_1	220 k Ω	1/4 W. คาร์บอนฟิล์ม
R_2	120 Ω	1/4 W. "
R_3	680 k Ω	1/4 W. "
R_4	2.2 M Ω	1/4 W. "
R_5	100 k Ω	1/4 W. "
R_6	33 Ω	1/4 W. "

ค่าความต้านทานทั้งหมดคมีผิดพลาด $\pm 5\%$

C_1	0.1 μF	50 V. โบลาร์,
C_2	1 μF	16 V. แทนทาลัม
C_3	.01 μF	50 V. โบลาร์,
C_4	2 μF	16 V. อีเลคโทรไลต์
C_5	.01 μF	50 V. คีสมช. เซรามิก
C_6	1 μF	16 V. แทนทาลัม

D_1	ไดโอด	1N 4001
D_2	"	1N 4148
D_3	"	1N 4148

Q_1	ทรานซิสเตอร์	2N 1618
Q_2	"	2N 1613

รายการชิ้นส่วน		ชนิด
IC ₁	วงจรรวม	SCL 4518
IC ₂	"	SCL 4011
IC ₃	"	CD 4017
IC ₄	"	SCL 4027
IC ₅	"	SCL 4046
IC ₆	"	SCL 4081
IC ₇	"	SCL 4049

ง.6 วงจรถ่ายสีกตาไฟฟ้าแรงต่ำ (รูป 4.6)

รายการชิ้นส่วน	ขนาด	ชนิด
C ₁	2200 μ F	50 V. อิเล็กโทรไลต์
C ₂	2200 μ F	50 V. "
C ₃	.04 μ F	50 V. ดิสค. เซรามิค
C ₄	.04 μ F	50 V. "
D ₁	ไดโอด	1N 4001
D ₂	"	1N 4001
D ₃	"	1N 4001
D ₄	"	1N 4001
IC ₁	วงจรรวม	LM 340 T 12
IC ₂	"	LM 340 T 15

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนิตยา นินทรกิจ เกิดวันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2496 ที่จังหวัดนครศรี-
ธรรมราช ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง จากสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้า ลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2521 และได้เข้าศึกษาต่อในภาควิชานิวเคลียร์
เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2523



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย