



บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจรเครื่องนับฟ้าผ่า

3.1 วงจรเครื่องนับฟ้าผ่า

จากการพิจารณาข้อดีข้อเสียของเครื่องนับฟ้าผ่ามาตรฐานซีเกอร์ [7, 9, 12, 14] เหมาะสำหรับออกแบบสร้างใช้งานในประเทศเนื่องจาก ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนมีความหนาแน่นฟ้าผ่าสูง และกระแสฟ้าผ่าในก้อนเมฆมีค่าสูง อีกประการหนึ่งคือ อัตราส่วนความหนาแน่นฟ้าผ่าก้อนเมฆต่อฟ้าผ่าสู่ดินมีค่าไม่คงที่แปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของพายุฝนฟ้าคะนอง การออกแบบสร้างวงจรเครื่องนับฟ้าผ่าตามมาตรฐานซีเกอร์ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ อุปกรณ์บางตัวไม่สามารถจัดหาได้ตามวงจร จึงเปลี่ยนใช้ค่าที่ใกล้เคียงดังรายละเอียดวงจรแสดงในรูปที่ 3.1 [17]

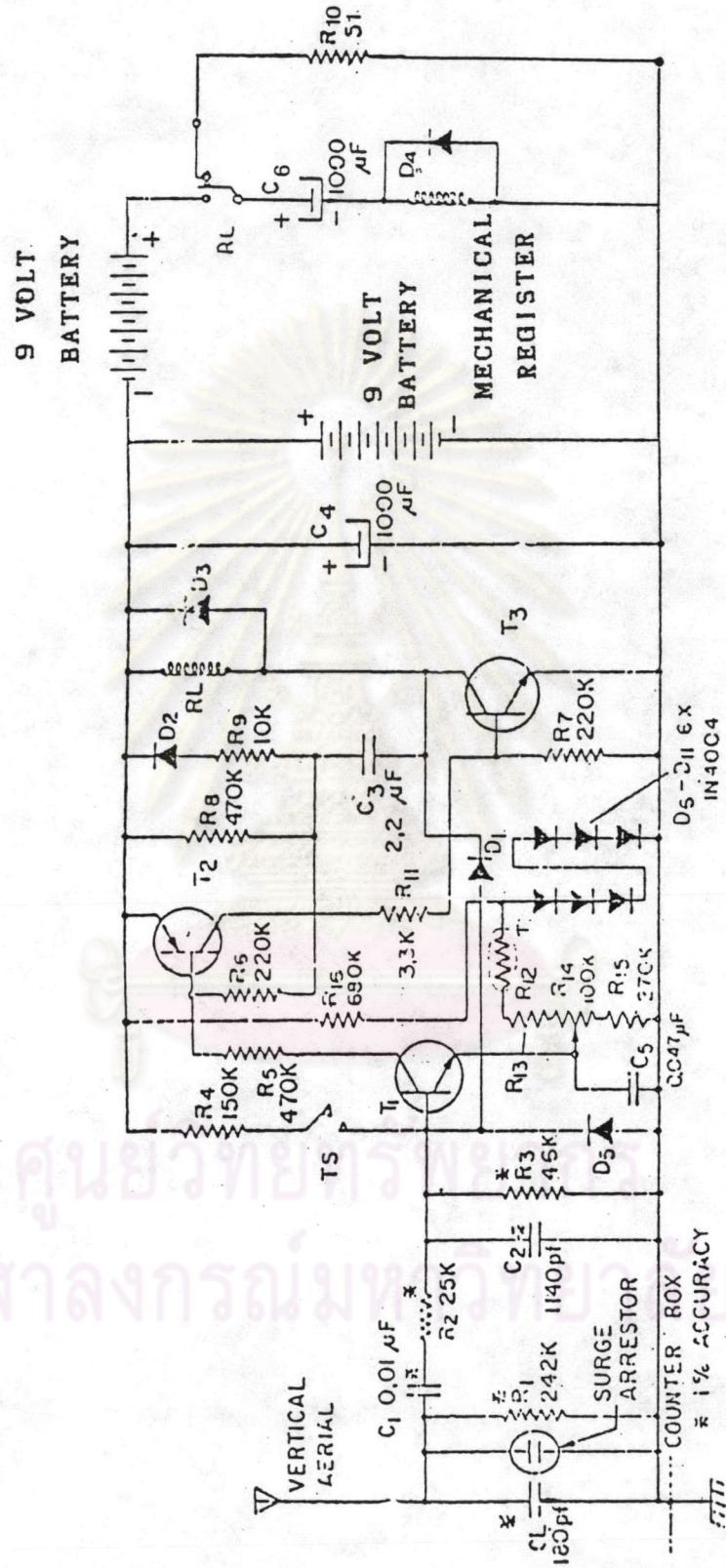
3.2 สายอากาศ

สายอากาศประกอบด้วย ท่ออลูมิเนียมกลมสองท่อนสวมยึดแน่นด้วยสกรูขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.2 ปลายยอดสายอากาศติดลูกโลหะทรงกลมกลวง ทำด้วยอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 13 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการปล่องยประจุจากปลายสายอากาศในขณะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง ความยาวสายอากาศรวมลูกทรงกลม 4 เมตร ผิดพลาดไม่เกิน ± 5 เซนติเมตร ติดตั้งบนฉนวนลูกถ้วยสูงจากพื้นดิน 1 เมตร สายนำสัญญาณใช้สายทองแดง ขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางมิลลิเมตร หุ้มฉนวน พี.วี.ซี. ยาว 75 เซนติเมตร

3.3 การออกแบบสร้างเครื่องนับฟ้าผ่าตามวงจรซีเกอร์

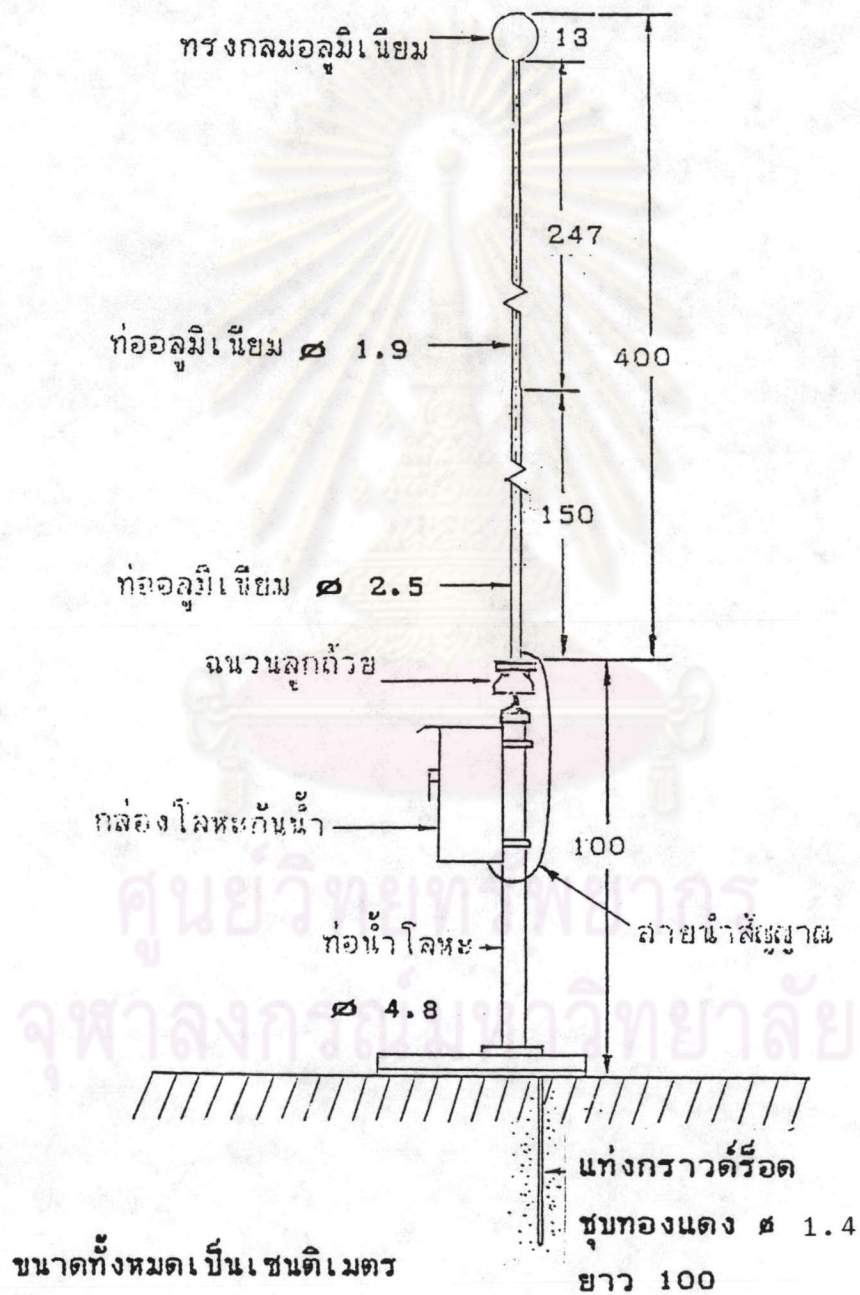
ตามมาตรฐานซีเกอร์ กำหนดให้เครื่องนับฟ้าผ่าเริ่มทำงานเมื่อมีความเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าสูงเท่ากับ 20 โวลต์/เมตร ความสูงประสิทธิภาพสายอากาศประมาณ 2.10 เมตร (คำนวณได้จากสมการที่ 3.1) ดังนั้นการออกแบบสร้างเครื่องนับฟ้าผ่าจึงขึ้นอยู่กับ

- คุณลักษณะของสายอากาศ คือ ค่าความจุไฟฟ้าสายอากาศ และค่าความสูงประสิทธิภาพสายอากาศ



รูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดวงจรเครื่องนับฟ้าผ่าที่สร้าง [17]

- วงจรกรองผ่านแถบกว้าง ตอบสนองสัญญาณการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่าตามความถี่ที่กำหนดและให้แรงดันด้านออกที่พอเหมาะ
- เครื่องมือและวิธีการปรับเทียบความไวเครื่องนับฟ้าผ่า



รูปที่ 3.2 ลักษณะการติดตั้งสายอากาศในแนวตั้งสำหรับเครื่องนับฟ้าผ่า

3.3.1 คุณสมบัติของสายอากาศ

1) วัดค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศเพื่อใช้คำนวณหาค่าความสูงประสิทธิผลของสายอากาศ และออกแบบวงจรกรองผ่านความถี่แถบเครื่องมือที่ใช้คือมาตรวัดอิมพีแดนซ์แบบบริดจ์ วัดค่าความจุไฟฟ้าสายอากาศได้เท่ากับ 56 พิโคฟารัด

2) คำนวณหาค่าความสูงประสิทธิผลสายอากาศจากสมการที่ 3.1 เพื่อใช้คำนวณหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำในสายอากาศ [15]

$$h_{\text{eff}} = \frac{1}{C_a} \frac{\pi \epsilon_0 (h^2 - r^2)}{h X} \left[1 - (b/h)^2 \right] \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\sqrt{h^2 - r^2} - 1$$

C_a = ค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศ 56 พิโคฟารัด

h = ความสูงสายอากาศ 5.00 เมตร

b = สายอากาศเหนือพื้นดิน 1 เมตร

r = รัศมีความโตของสายอากาศ 0.0127 เมตร

$X = \cosh^{-1}(h/r)$

$\epsilon_0 = 8.854 \text{ E-12}$ ฟารัด/เมตร

h_{eff} = ความสูงประสิทธิผลสายอากาศ คำนวณได้เท่ากับ 2.10 เมตร

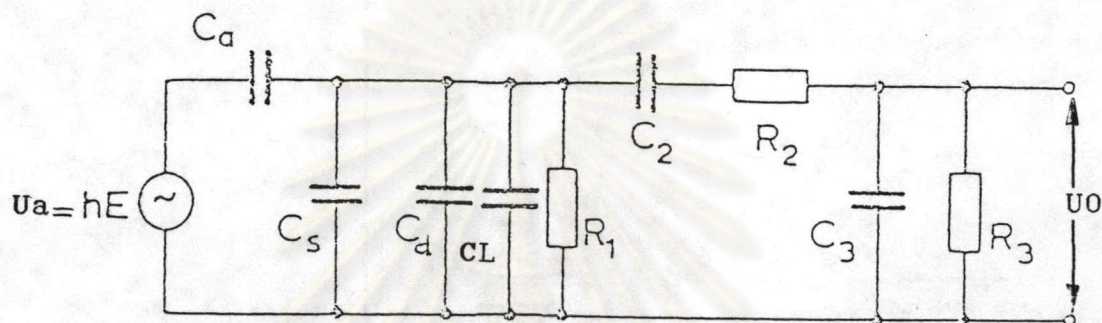
3.3.2 วงจรถูกกรองผ่านแถบ การคำนวณและออกแบบวงจรถูกกรองผ่านแถบตามมาตรฐานซีเกอร์ตั้งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เป็นการออกแบบแบบพื้นฐานในทางปฏิบัติจะต้องมีองค์ประกอบวงจรถูกเพิ่มเข้าไปอย่างน้อย 3 ส่วน คือ

- ค่าความจุไฟฟ้าสายนำสัญญาณ C_d และค่าความจุไฟฟ้าตัวเก็บตักแรงดันเกิน C_s ซึ่งต่อระหว่างสายอากาศและวงจรถูกกรองค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ต่อชานกับด้านเข้าของวงจรถูกกรองผ่านแถบ

- ค่าความต้านทานด้านออกของวงจรถูกกรอง R_3 ใช้สำหรับปรับค่าความไวการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่าให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

- ค่าความจุไฟฟ้า C_2 ต่ออนุกรมกับ R_2 เพื่อใช้กันกระแสไฟตรงไหลผ่านวงจรถูกกรองในขณะบรรยากาศมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง เช่น มีการก่อตัวของเมฆฝนและสะสมประจุไฟฟ้า เป็นต้น สายอากาศจะปล่อยประจุสู่บรรยากาศ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ควรเป็นชนิดรั่วไหลต่ำ

1) การวิเคราะห์ผลตอบสนองของคลื่นไซน์ เครื่องนับฟ้าผ่า ส่วนมากใช้วงจรกรองแบบพาสซีฟ ประกอบด้วยตัวความต้านทาน และตัวเก็บประจุไฟฟ้า เนื่องจากออกแบบสร้างได้ง่ายและทำให้ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง ค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของวงจรด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรสมมูลภาคอินพุตของเครื่องนับฟ้าผ่า

- เมื่อกำหนดให้ C_a = ค่าความจุไฟฟ้าสายอากาศ
- C_d = ค่าความจุไฟฟ้าสายนำสัญญาณ
- C_s = ค่าความจุไฟฟ้าตัวกับดักแรงดันเกิน
- CL = ค่าความจุไฟฟ้าปรับแรงดันต้านเข้าและชดเชยความถี่
- $C_k = C_d + C_s + CL$

ผลตอบสนองของคลื่นไซน์ของวงจรเขียนได้ด้วยสมการที่ 3.2

ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับสมการที่ 2.23

$$U_o = U_a \cdot \frac{C_a}{C_a + C_k} \cdot \frac{\omega^2 A}{(\omega^2 B - 1) + j\omega(\omega^2 D - C)} \dots \dots \dots (3.2)$$

- เมื่อ $A = X_1 \cdot X_5$
- $B = X_1 \cdot (X_2 + X_3 + X_5) + X_3 \cdot (X_2 + X_4)$
- $C = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$
- $D = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$

$$\text{และ } X_1 = (C_a + C_k)R_1$$

$$X_2 = C_2R_2$$

$$X_3 = C_3R_3$$

$$X_4 = C_2R_1$$

$$X_5 = C_2R_3$$

วงจรถ้าจะให้ผลตอบสนองสูงสุดเมื่อ $(\omega^2 D) - C = 0$

ดังนั้นความถี่เชิงมุมที่ให้ผลตอบสนองสูงสุดคือ

$$\omega_0 = \sqrt{C/D} \dots \dots \dots (3.3)$$

ผลตอบสนองแรงดันสูงสุดที่ ω_0

$$\left| U_o \right|_{\max} = U_a \cdot \frac{C_a}{C_a + C_k} \cdot \frac{A}{B} \dots \dots \dots (3.4)$$

2) การออกแบบสายนำสัญญาณ ค่าความจุไฟฟ้าของสายนำสัญญาณและตัวกับดักแรงดันเกิน มีผลทำให้ค่าความจุไฟฟ้า C_k เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อวงจรถองผ่านแถบ 2 ประการ คือ

(1) การตอบสนองความถี่ ตามสมการที่ 3.3

(2) การตอบสนองแรงดัน ตามสมการที่ 3.4

จากข้อมูลการสร้างเครื่องนับฟ้าผ่า C_a เท่ากับ 56 พิโคฟารัดและ $(C_d + C_s)$ เท่ากับ 35 พิโคฟารัด กำหนดให้ผลตอบสนองด้านความถี่คงเดิม จะต้องทำให้ค่าความจุไฟฟ้า $(C_a + C_k)$ ของเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้าง มีค่าเท่ากับมาตรฐานซีเกอร์ ดังนั้น

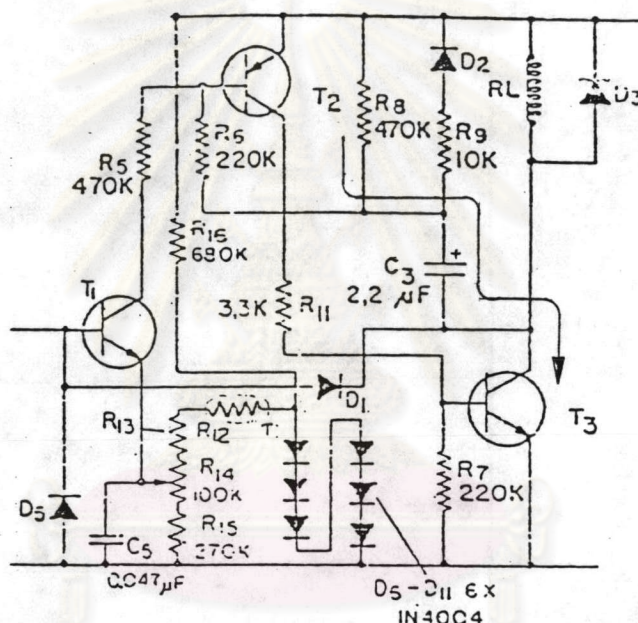
$$\begin{aligned} (C_a + C_k) \text{ ซีเกอร์} &= (C_a + C_k) \text{ เครื่องที่สร้าง} \\ 57 + 180 &= C_a + C_d + C_s + C_L \\ C_L &= 237 - (56 + 30 + 5) \\ &= 146 \quad \text{พิโคฟารัด} \end{aligned}$$

เราควรเลือกใช้ C_L ประมาณ 146 พิโคฟารัด

3.3.3 วงจรหน่วงเวลา เป็นวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ T2 และ T3 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เวลาหน่วงของ T2 คือแรงดันประจุให้กับ C3 ซึ่งขึ้นกับ ค่าคงตัวเวลา R8C3 และกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T3

D2 และ R9 ทำหน้าที่คายพลังงานที่สะสมใน C3 คืนสู่สภาพปกติ

D1 ทำหน้าที่ระบายกระแสจากขาเบสของ T1 ลงดิน เพื่อป้องกันการกระตุ้นทรานซิสเตอร์ T1 อิมตัวเกินไป อาจทำให้ T1 เสียหายได้

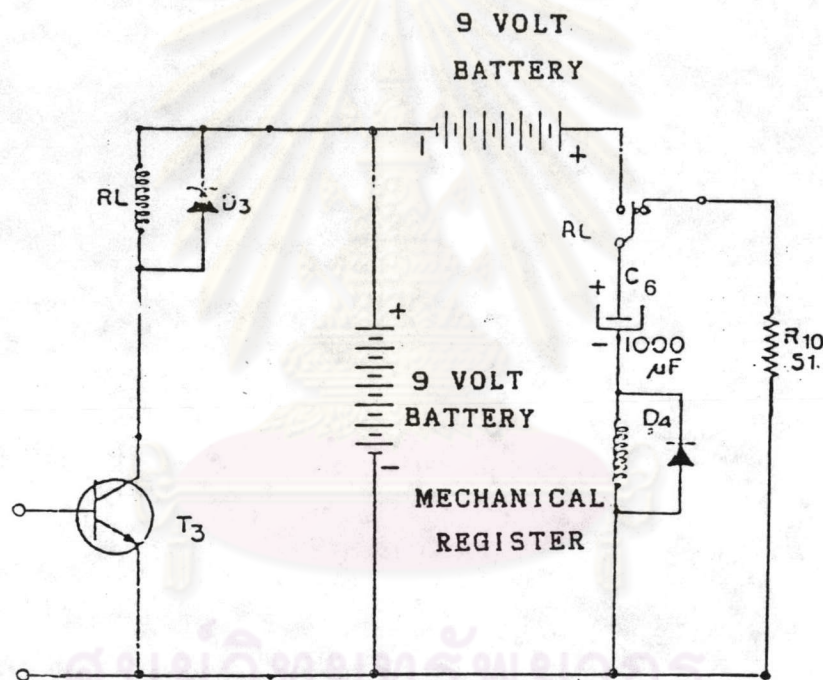


กระแสอัดประจุให้กับ C3

รูปที่ 3.4 แสดงวงจรหน่วงเวลาของวงจรในรูปที่ 3.1

ลำดับขั้นตอนการทำงานของวงจร เมื่อมีแรงดันเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสัญญาณฟ้าผ่า สูงกว่าหรือเท่ากับแรงดันทำงานของ T1 ทำให้ T1, T2 และ T3 ทำงานตามลำดับ มีกระแสผ่านรีเลย์ RL นับการเกิดฟ้าผ่า เมื่อสัญญาณฟ้าผ่าหมดไป T1 หยุดทำงาน แต่ T2 และ T3 คงทำงานค้างอยู่ เนื่องจากการไบแอสผ่าน R6 แทน C3 เริ่มได้รับการสะสมประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ C3 สูงขึ้นจนปิดกั้นกระแสจาก T2 ไหลผ่านทาง R6 ทำให้ T2 และ T3 หยุดทำงานตามเวลาที่กำหนด จากนั้น C3 คายพลังงานผ่าน D2 และ R9 กลับสู่สภาพปกติ พร้อมเริ่มทำงานใหม่

3.3.4 วงจรนับจำนวน ตัวนับจำนวนเป็นแบบกลไก ทำงานด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า ตัดต่อวงจรด้วยรีเลย์ RL อีกชั้นหนึ่ง มีไดโอด D3 และ D4 เป็นตัวระบายแรงดันเหนี่ยวนำตัวเอง จากการทำงานของวงจรหน่วงเวลา เห็นได้ว่า T3 ซึ่งทำหน้าที่ขับวงจรถับนั้น ทำงานตลอดเวลาที่หน่วงเวลาอยู่ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ตัวนับจำนวนมากเกินไป ได้เพิ่มตัวเก็บประจุไฟฟ้า C6 เพื่อกั้นกระแสให้ไหลในช่วงที่กระตุ้นเครื่องนับทำงานเท่านั้น และ R10 เป็นตัวระบายพลังงานที่เก็บสะสมใน C6 ออกไปในเวลารวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3.5



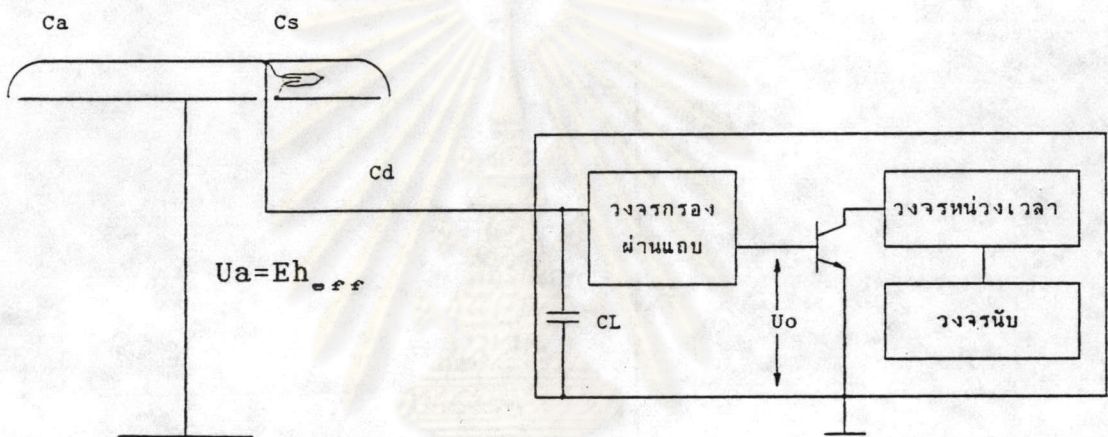
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรถับจำนวนแบบกลไก

วงจรถับจำนวนเครื่องนับฟ้าผ่านี้ใช้สำหรับเก็บข้อมูลในสถานที่ต่างๆ ต้องการเพียงจำนวนตัวเลขในช่วงเวลาที่กำหนดเท่านั้น เช่น รายเดือนหรือปี เป็นต้น มีการทดสอบการทำงานของเครื่องนับเพียงอาทิตย์ละครั้ง การเก็บข้อมูลฟ้าผ่าเพื่อการวิจัยสามารถใช้มาตรวัดการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า หรือออกแบบวงจรถับข้อมูลใช้อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ เพื่อการประมวลผลข้อมูลฟ้าผ่าด้วยความรวดเร็วได้

3.4 เครื่องมือและวิธีการปรับเทียบความไวเครื่องนับฟ้าผ่า

จากวงจรการทำงานเครื่องนับฟ้าผ่า ต้องการปรับเทียบเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างให้ได้มาตรฐาน สามารถทำได้ตามวิธีการที่ซีเกอร์กำหนด จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซีเกอร์ได้กำหนด

- การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า $E = 20$ โวลต์/เมตร
- วงจรกรองผ่านแถบคลื่นไซน์ตอบสนองสูงสุดที่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ลดทอนลง -4.6 ± 1 dB ที่ความถี่ตัด 2 และ 50 กิโลเฮิรตซ์
- วงจรหน่วงเวลา 1 วินาที ± 5 เปอร์เซ็นต์



$$U_a = E h_{fff}$$

U_a = แรงดันเหนี่ยวนำในสายอากาศ

C_a = ความจุไฟฟ้าสายอากาศ

C_s = ความจุไฟฟ้าตัวกับดักแรงดันเกิน

C_d = ความจุไฟฟ้าสายนำสัญญาณ

C_L = ความจุไฟฟ้าสำหรับปรับแรงดันด้านเข้าและชดเชยความถี่

รูปที่ 3.6 แสดงส่วนสำคัญของวงจรเครื่องนับฟ้าผ่าซึ่งกำหนด

โดยมาตรฐานซีเกอร์คือ การเปลี่ยนแปลง E , วงจรกรองและวงจรหน่วง

ดังนั้นแรงดันรับได้ในสายอากาศต่ำสุดที่ใช้ปรับตั้งให้เครื่องนับฟ้าผ่าเริ่มทำงานคือ U_a ซึ่งมีค่าเท่ากับ $E \cdot h_{fff} = 20 \times 2.10$

$$= 42 \text{ โวลต์ (peak)}$$

$$\text{ประมาณ} = 30 \text{ โวลต์ (RMS)}$$

h_{fff} จากการออกแบบสร้าง = 2.10 เมตร (จากสมการที่ 3.1)

แรงดันไฟฟ้า U_a นี้ ตามมาตรฐานซีเกอร์กำหนดให้ใช้คลื่นไซน์เนื่องจากใช้ออกแบบวงจรสายอากาศและวงจรกรองผ่านแถบ เมื่อผ่านวงจรสายอากาศและวงจรกรองผ่านแถบความถี่ จะลดทอนแรงดัน U_a ลงตามการออกแบบตามมาตรฐานซีเกอร์ ได้แรงดัน U_0 ซึ่งสามารถกระตุ้นทรานซิสเตอร์ให้ทำงานได้ ดังนั้นเครื่องนับฟ้าผ่ามีความไวคลื่นไซน์=20โวลต์/เมตร ปัจจุบันสถาบันวิจัยฟ้าผ่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อยู่ระหว่างทำวิจัยวัดรูปคลื่นฟ้าผ่าย้อนกลับ ใช้สำหรับป้อนเข้าวงจรสายอากาศ และวงจรกรองผ่านแถบเครื่องนับฟ้าผ่าแบบซีเกอร์ 10 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อศึกษาผลตอบสนองของวงจรกรอง และการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่าเทียบกับรูปคลื่นไซน์ตามมาตรฐานซีเกอร์ต่อไป

3.5 รายการอุปกรณ์สำหรับเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้าง

มีรายละเอียดองค์ประกอบวงจรแสดงในรูปที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

ความต้านทาน

R1= 220 กิโลโอห์มอนุกรมกับ 22 กิโลโอห์ม	R9= 10 กิโลโอห์ม
R2= 15 กิโลโอห์มอนุกรมกับ 10 กิโลโอห์ม	R10= 51 โอห์ม
R3= 2200 กิโลโอห์มขนานกับ 47 กิโลโอห์ม	R11= 3.3 กิโลโอห์ม
R4= 150 กิโลโอห์ม	R12= 60 กิโลโอห์ม NTC THERMISTOR
R5= 470 กิโลโอห์ม	R13= 100 กิโลโอห์ม
R6= 220 กิโลโอห์ม	R14= 100 กิโลโอห์ม หมุนปรับได้ 10 รอบ
R7= 220 กิโลโอห์ม	R15= 270 กิโลโอห์ม
R8= 270 กิโลโอห์ม	R16= 680 กิโลโอห์ม

ไดโอด

D1 ถึง D4= 1N4004	D5= 1N4148	D6 ถึง D11= 1N4004
-------------------	------------	--------------------

ตัวเก็บประจุ

C1= 10000 พิโคฟารัด	C3= 2.2 ไมโครฟารัด 63 โวลต์
C2= 4700 พิโคฟารัด อนุกรมกับ 1500 พิโคฟารัด	
C4 และ C6= 1000 ไมโครฟารัด	

CL= 180 พิโคฟารัด	C5= 0.047 ไมโครฟารัด
-------------------	----------------------

ทรานซิสเตอร์

T1= BC547A
T2= BC327B
T3= BC337

อุปกรณ์ประกอบ

รีเลย์ MZ-12HS TAKAMISAWA 12 โวลต์
ตัวนับแบบกลไก ตัวเลข 5 หลัก 12 โวลต์
เบตเตอรี 9 โวลต์ 006P.DE(6F22)
GAS TUBE ARRESTER MM6-230 โวลต์