

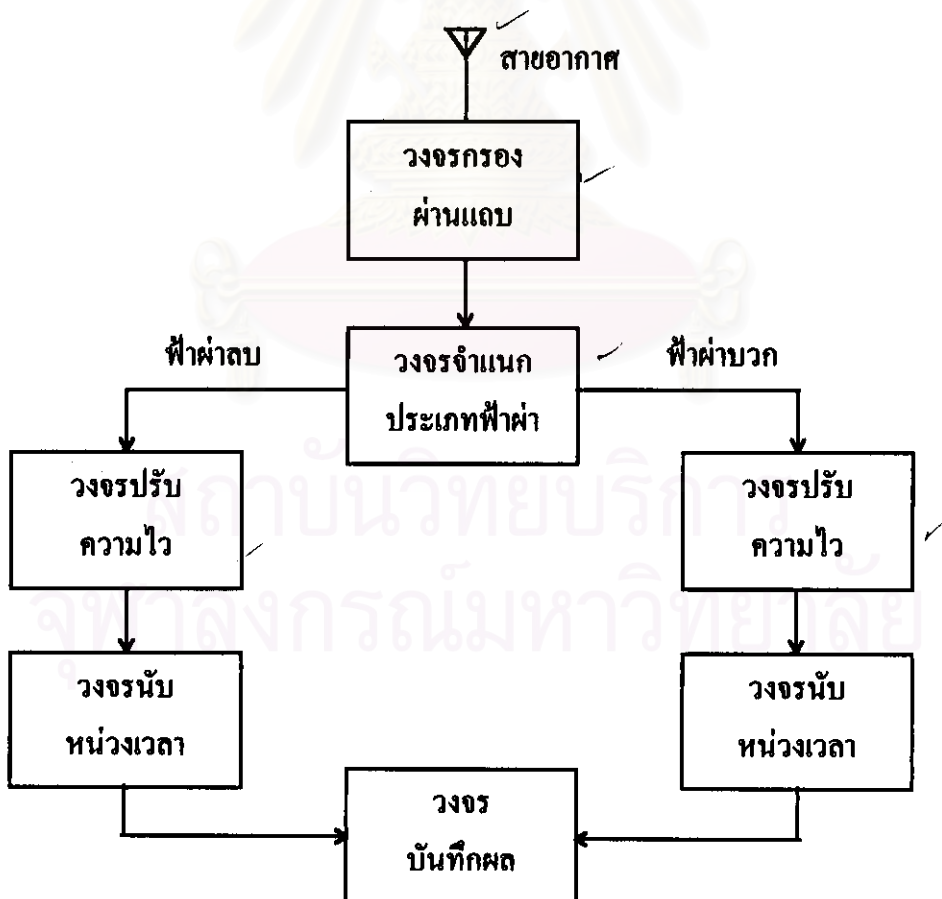
บทที่ 3

การออกแบบและประกอบสร้างเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ

บทนี้ จะกล่าวถึงข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องนับฟ้าผ่าตามมาตรฐานของ CIGRE และ จะใช้ความรู้ทางทฤษฎีจากบทที่ 2 ในการออกแบบเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ สำหรับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และผลการนับจากการใช้งานจริง รวมทั้งการวิเคราะห์ผลจะได้กล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

3.1 ข้อกำหนดของเครื่องนับฟ้าผ่า

ในการออกแบบวงจรเครื่องนับฟ้าผ่า CIGRE ได้กำหนดเงื่อนไขในการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่าไว้ (Prentice , 1972 ; Anderson et al. , 1979) คือเครื่องนับฟ้าผ่าจะต้องเริ่มนับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าที่สายอากาศเกิน 20 โวลต์/เมตร ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ของสนามไฟฟ้าแพร่กระจายของฟ้าผ่าพื้นโลก จากเงื่อนไขดังกล่าว เราสามารถออกแบบเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำซึ่งแบ่งออกได้เป็น 6 ส่วน คือ สายอากาศ , วงจรกรองผ่านแถบ , วงจรจำแนกฟ้าผ่าลบ และฟ้าผ่าบวก , วงจรปรับความไว , วงจรนับ และวงจรบันทึกผล ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องนับฟ้าผ่า

3.2 การออกแบบวงจรส่วนต่างๆของเครื่องนับฟ้าม่าซ่า

วงจรของเครื่องนับฟ้าม่าซ่าที่ออกแบบ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก โดยการออกแบบส่วนต่างๆที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 มีดังต่อไปนี้

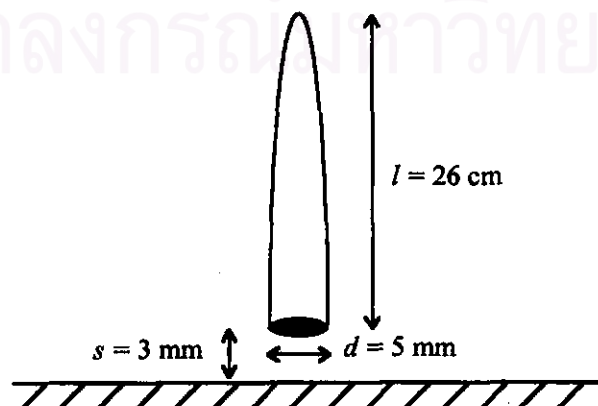
3.2.1 สายอากาศ

บทที่ผ่านมา ได้กล่าวถึงทฤษฎีของสายอากาศและค่าความสูงประสิทธิผลของสายอากาศแบบต่างๆที่ใช้กับเครื่องนับฟ้าม่าซ่า สำหรับบทนี้ จะได้กล่าวถึงสายอากาศที่ใช้กับเครื่องนับฟ้าม่าซ่าที่ได้ออกแบบสร้าง ซึ่งได้แก่สายอากาศแบบแท่ง และสายอากาศแบบจานกลม

(1) สายอากาศแบบแท่ง

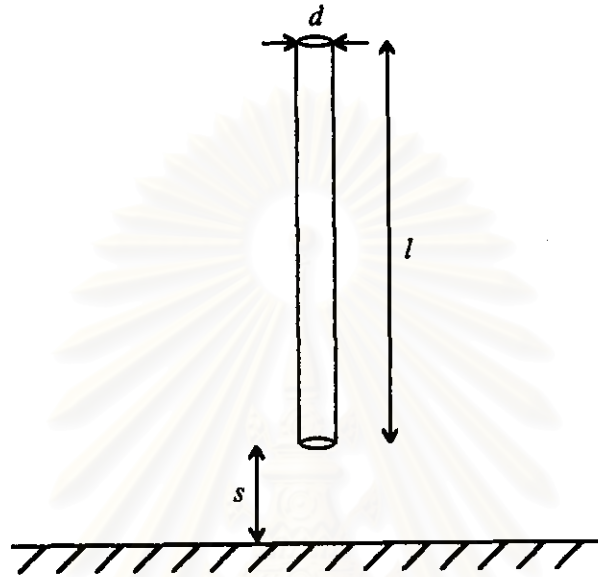
ในกรณีของสายอากาศแบบแท่งซึ่งวางตั้งฉากกับพื้นโลก ค่าแรงดันออกจากสายอากาศเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าที่สายอากาศจะเป็นแรงดันระหว่างสายอากาศกับกราวด์ โดยอิมพีแดนซ์ของสายอากาศคือความจุไฟฟ้าระหว่างสายอากาศกับกราวด์ ถ้าพิจารณาสายอากาศนี้ในรูปแบบของวงจรไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าที่สายอากาศ วงจรสมมูลก็คือตัวเก็บประจุที่ขั้วหนึ่งต่อลอยไว้และอีกขั้วหนึ่งต่อลงกราวด์ โดยมีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็นแรงดันเริ่มต้น (Initial Voltage) ของวงจร

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ความสูงของสายอากาศแบบแท่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญของการออกแบบขนาดทางกายภาพของสายอากาศ เพราะนอกจากค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศจะเปลี่ยนไปเมื่อความสูงระหว่างสายอากาศกับพื้นดินเปลี่ยนไปแล้ว การใช้สายอากาศที่สูงจะต้องจัดให้มีเนื้อที่ของพื้นกราวด์ ที่มีเนื้อที่มากพอที่สายอากาศจะมองเห็นพื้นเป็นกราวด์อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในการออกแบบเครื่องนับฟ้าม่าซ่าในขั้นแรก จึงได้ออกแบบสายอากาศให้เป็นสายอากาศแบบแท่งที่มีความยาวของแท่งโลหะที่ใช้เป็นสายอากาศเพียง 26 เซนติเมตรและมีรัศมีของแท่งโลหะประมาณ 2.5 มิลลิเมตร โดยจัดวางให้ความสูงระหว่างสายอากาศกับพื้นกราวด์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวของสายอากาศ (≈ 3 มิลลิเมตร) ทำให้สะดวกในการจัดให้มีพื้นกราวด์อย่างสมบูรณ์สำหรับสายอากาศ สายอากาศแบบแท่งที่ใช้งานมีลักษณะดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สายอากาศแบบแท่งซึ่งวางอยู่เหนือพื้นกราวด์

เมื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศที่จัดวางเหนือพื้นกราวด์ซึ่งได้กล่าวข้างต้นโดยใช้ Precision LCR Meter (Hewlett PACKARD Model 4284A) พบว่าค่าความจุไฟฟ้ามีค่าประมาณ 6 pF โดยค่าความจุไฟฟ้ามีค่าลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อความยาวของสายอากาศลดลง และค่าความจุไฟฟ้ามีค่าเกือบคงที่เมื่อวัดที่ความถี่ตั้งแต่ 1 kHz ถึง 1 MHz อย่างไรก็ตาม สายอากาศในรูปที่ 3.2 มีลักษณะคล้ายกับแท่งโลหะทรงกระบอกที่ลอยอยู่เหนือพื้นกราวด์ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แท่งโลหะทรงกระบอกที่ลอยอยู่เหนือพื้นกราวด์

ค่าความจุไฟฟ้าสแตตริคของแท่งโลหะกับพื้นกราวด์ สามารถหาได้จากสมการ (3.1) (Kuffel และ Zaengl, 1984 : 154) ดังนี้

$$C_e = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \left[\frac{2l}{d} \sqrt{\frac{4s+l}{4s+3l}} \right]} \quad (3.1)$$

โดย C_e = ความจุไฟฟ้าสแตตริคระหว่างแท่งโลหะทรงกระบอกกับพื้นกราวด์ (ฟารัด)

l = ความยาวของแท่งโลหะทรงกระบอก (เมตร)

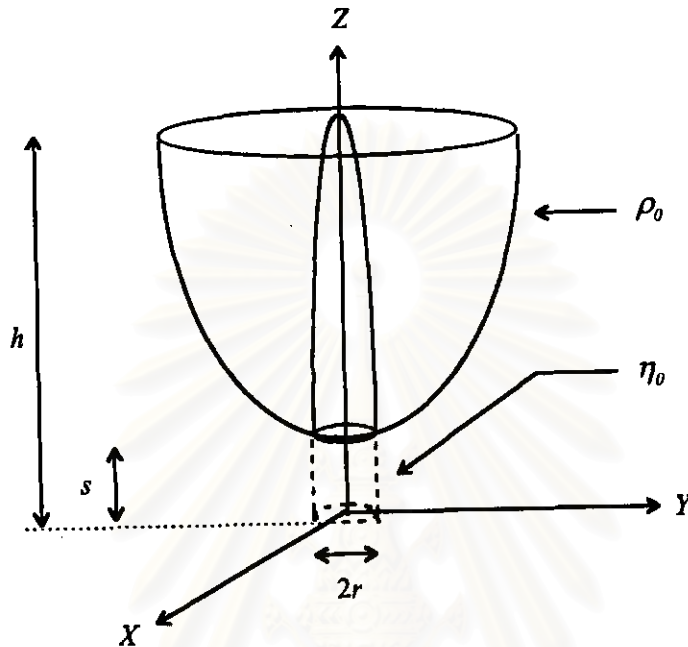
s = ความสูงของแท่งโลหะทรงกระบอกจากพื้นกราวด์ (เมตร)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแท่งโลหะทรงกระบอก (เมตร)

ϵ = 8.854×10^{-12} (ฟารัด/เมตร)

เมื่อใช้สมการ (3.1) หาค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศในรูปที่ 3.2 โดยค่า l , s และ d เท่ากับ 0.26 เมตร, 3×10^{-3} เมตร และ 5×10^{-3} เมตร ตามลำดับ จะได้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 3.53 pF ซึ่งมีค่าน้อยกว่าจากค่าที่ได้จากการวัดประมาณ 40 % สาเหตุที่ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการวัดมีค่าต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณ เป็นเพราะแท่งโลหะที่ใช้เป็นสายอากาศไม่มีลักษณะเป็นทรง

กระบอกตรงเหมือนแท่งโลหะในรูปที่ 3.3 แต่จะเป็นแท่งโลหะที่มีรัศมีเรียวจากปลายด้านล่างสู่ปลายด้านบนซึ่งเป็นลักษณะของการคำนวณในระบบ Prolate Spheroidal Coordinate (Moon และ Spencer , 1961 : 236-266 ; Pislser , 1992) ดังนั้น จึงได้ทดลองหาค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้การคำนวณในระบบดังกล่าว สายอากาศแบบแท่งในระบบ Prolate Spheroidal Coordinate ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สายอากาศแบบแท่งในระบบ Prolate Spheroidal Coordinate

ค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศ สามารถหาได้จากสมการ (3.2) ดังนี้

$$C_e = \frac{4\pi\epsilon(h-s)}{\ln\left\{\coth\frac{\eta_0}{2}\right\}} \quad (3.2)$$

โดย $\cosh \eta_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{h}\right)^2}}$ และ $\cos \rho_0 = s/h$

h = ความสูงจากพื้นกราวด์ถึงปลายยอดบนของสายอากาศ (เมตร)

s = ความสูงของแท่งโลหะทรงกระบอกจากพื้นกราวด์ (เมตร)

r = รัศมีของแท่งโลหะทรงกระบอกที่ใช้เป็นสายอากาศ (เมตร)

ϵ = 8.854×10^{-12} (ฟารัด/เมตร)

จากการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศที่จะนำมาใช้กับเครื่องนับฟ้าผ่าโดยใช้สมการ (3.2) ค่า s , h และ r มีค่าเท่ากับ 3×10^{-3} เมตร, 0.26 เมตร และ 2.5×10^{-3} เมตร ตามลำดับ จะได้ค่าความจุไฟฟ้า C_e เท่ากับ 6.22 pF ซึ่งมีความผิดพลาดเพียง 3 % เท่านั้น ดังนั้น ในการหา

ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายอากาศกับพื้นกราวด์ในกรณีของสายอากาศแบบแท่งในรูปที่ 3.2 จึงควรใช้สมการ (3.4) ในการคำนวณ การใช้สมการ (3.4) หาค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศ จะทำให้การหาค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศในกรณีที่สายอากาศมีความสูงมาก (เช่น 3-4 เมตร) ทำได้โดยสะดวก เพราะถ้าทำการวัดจริงจะต้องจัดหาแผ่นโลหะที่มีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้สายอากาศมองเห็นแผ่นโลหะเป็นพื้นกราวด์ ค่าที่ได้จากการวัดจึงจะเป็นค่าที่ถูกต้องกับค่าจริง

สำหรับการคำนวณค่าความสูงประสิทธิผลของสายอากาศ จะใช้สมการ (3.3) ในการหาค่าความสูงประสิทธิผลของสายอากาศ ดังนี้ (Pisler, 1992)

$$h_{eff} = \frac{1}{C} \frac{\pi \epsilon (h^2 - r^2)}{h \cosh^{-1}(h/r) - \sqrt{(h^2 - r^2)}} \cdot [1 - (s/h)^2] \quad (3.3)$$

โดย h_{eff} = ความสูงประสิทธิผลของสายอากาศ (เมตร)

h = ความสูงจากพื้นกราวด์ถึงปลายยอดบนของสายอากาศ (เมตร)

s = ความสูงของแท่งโลหะทรงกระบอกจากพื้นกราวด์ (เมตร)

r = รัศมีของแท่งโลหะทรงกระบอกที่ใช้เป็นสายอากาศ (เมตร)

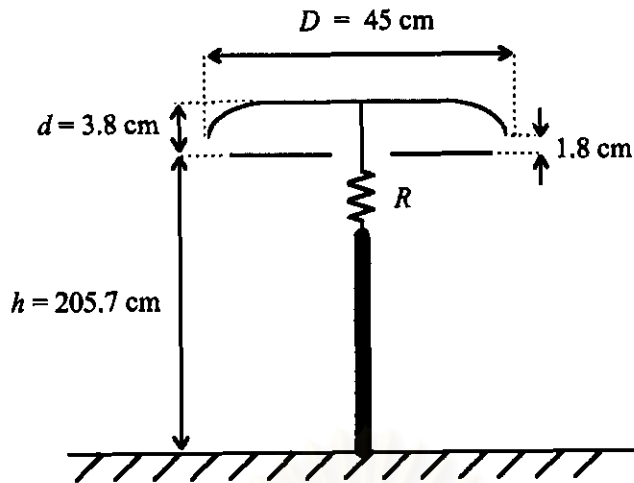
ϵ = 8.854×10^{-12} (ฟารัด/เมตร)

C = ค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศ (ฟารัด)

เมื่อใช้ค่า h , s และ r เท่ากับ 3×10^{-3} เมตร, 0.26 เมตร และ 2.5×10^{-3} เมตร ตามลำดับ (ค่าเดียวกันกับค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าในสมการ (3.2)) และจากการวัด ค่า C เท่ากับ 6 pF การคำนวณค่าความสูงประสิทธิผลตามสมการ (3.3) จะได้ความสูงประสิทธิผล (h_{eff}) เท่ากับ 0.0587 เมตร ดังนั้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า (เนื่องจากเกิดฟ้าผ่าพื้นโลก) ที่สายอากาศเท่ากับ 20 โวลต์/เมตร จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศค่ายอดเท่ากับ $20 \times 0.0587 = 1.174$ โวลต์ แรงดันเหนี่ยวนำจากสายอากาศค่านี้ จะเป็นค่าแรงดันเริ่มต้นที่เครื่องนับฟ้าผ่าจะต้องนับ เมื่อใช้สายอากาศในรูปที่ 3.2 เป็นสายอากาศของเครื่องนับฟ้าผ่า

(2) สายอากาศแบบจานกลม

สายอากาศแบบจานกลมที่ใช้ มีหลักการทำงานเหมือนกับสายอากาศแบบแท่ง โดยค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศคือ ความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โคโรบนกับแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โคโรล่าง สายอากาศแบบจานกลมที่ใช้ในกับเครื่องนับฟ้าผ่ามีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สายอากาศแบบจานกลมที่ใช้กับเครื่องนับฟ้าผ่า

จากการวัดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดบนกับแผ่นอิเล็กโทรดล่างโดยใช้ Precision LCR Meter (Hewlett PACKARD Model 4284A) พบว่าค่าความจุไฟฟ้ามีค่าประมาณ 56 pF และมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1 kHz ถึง 1 MHz จากรูปที่ 3.5 ถ้าต้องการหาค่าความจุไฟฟ้าโดยการคำนวณ สมการ (3.4) เป็นสมการที่น่าจะใช้หาค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศในรูปที่ 3.5 ได้ โดยสมการ (3.4) คือ

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (3.4)$$

โดย C = ความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดบนกับแผ่นอิเล็กโทรดล่าง (ฟารัด)

A = พื้นที่ที่ขนานกันระหว่างอิเล็กโทรดแผ่นบนและแผ่นล่าง (เมตร²)

d = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดแผ่นบนและแผ่นล่าง (เมตร)

ϵ = 8.854×10^{-12} (ฟารัด/เมตร)

เมื่อกำหนดค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศแบบจานกลมในรูปที่ 3.5 โดยใช้สมการ (3.4) จะได้ค่าความจุไฟฟ้าประมาณ 30 pF ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดได้ประมาณ 50 % สาเหตุที่ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดกับค่าความจุไฟฟ้าที่คำนวณมีค่าแตกต่างกันมาก เป็นเพราะแผ่นอิเล็กโทรดบนมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าแผ่นอิเล็กโทรดล่าง และที่ขอบของแผ่นอิเล็กโทรดบนมีลักษณะโค้งลงมาหาแผ่นอิเล็กโทรดล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ดังนั้นการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดบนกับแผ่นอิเล็กโทรดล่างจึงไม่อาจใช้สมการ (3.4) ในการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศในรูปที่ 3.5 ได้

สำหรับค่าความสูงประสิทธิผลของสายอากาศแบบจานกลม สามารถหาได้จากสมการ (3.5) ดังนี้ (Pisler, 1992)

$$\frac{h_{eff}}{d} = \frac{K}{D} h + 1 \quad (3.5)$$

- โดย h_{ef} = ความสูงประสิทธิผลของสายอากาศ (เมตร)
 d = ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดบนกับแผ่นอิเล็กโทรดล่าง (เมตร)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นอิเล็กโทรดบน (เมตร)
 h = ความสูงจากพื้นถึงแผ่นอิเล็กโทรดล่าง (เมตร)
 $K = 1.7785$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการ (3.5) ด้วยค่ามิติทางกายภาพของสายอากาศแบบจานกลมในรูปที่ 3.5 ซึ่งค่า d, D และ h เท่ากับ 3.8×10^{-2} เมตร, 0.45 เมตร และ 2.05 เมตร ตามลำดับ จะได้ความสูงประสิทธิผลของสายอากาศตามสมการ (3.5) เท่ากับ 0.346 เมตร ดังนั้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า (เนื่องจากเกิดฟ้าผ่าพื้นโลก) ที่สายอากาศเท่ากับ 20 โวลต์/เมตร จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศค่าชดเชยเท่ากับ $20 \times 0.346 = 6.92$ โวลต์ แรงดันเหนี่ยวนำจากสายอากาศค่านี้ จะเป็นค่าแรงดันเริ่มต้นที่เครื่องนับฟ้าผ่าจะต้องนับ เมื่อใช้สายอากาศในรูปที่ 3.5 เป็นสายอากาศของเครื่องนับฟ้าผ่า

3.2.2 วงจรกรองผ่านแถบ

แรงดันออกจากสายอากาศจะผ่านเข้าวงจรกรองผ่านแถบ ซึ่งมีความถี่กลางที่ 10 kHz โดยใช้ค่าความถี่ตัดต่ำและความถี่ตัดสูงที่ 2 kHz และ 50 kHz ตามลำดับ (Anderson et al., 1979) เนื่องจากในแถบความถี่นี้ จะเป็นแถบความถี่ของการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่าลงสู่พื้นโลกในส่วนของสนามไฟฟ้าแพร่กระจาย (Radiation Field) เครื่องนับฟ้าผ่าของ CIGRE ได้ออกแบบเป็นวงจรกรองแบบเฉื่อยงาน (Passive) ซึ่งใช้สายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของวงจรกรอง ข้อดีของวงจรกรองแบบเฉื่อยงานคือ สัญญาณออกจากวงจรกรองผ่านแถบจะไม่เกิดการขลิบ อย่างไรก็ตาม การออกแบบวงจรกรองผ่านแถบแบบเฉื่อยงานในทางปฏิบัติจะยุ่งยากกว่าการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบแบบไวงาน (Active) เพราะไม่สามารถแยกการออกแบบออกเป็นส่วนๆได้ เนื่องจากแต่ละส่วนจะโหดซึ่งกันและกัน นอกจากนี้ในภายหลังถ้าต้องการเปลี่ยนชนิดของสายอากาศ จะต้องคำนวณหาองค์ประกอบต่างๆของวงจรใหม่ทั้งหมด (เนื่องจากวงจรกรองผ่านแถบแบบเฉื่อยงานใช้สายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของวงจรกรอง) แต่ถ้าออกแบบวงจรกรองเป็นวงจรกรองแบบไวงานนอกจากจะมีความคล่องตัวในการออกแบบและได้อัตราขยายสัญญาณแล้ว ยังสามารถออกแบบวงจรกรองแต่ละส่วนให้เป็นอิสระต่อกัน เพราะวงจรกรองผ่านแถบแบบไวงานออกแบบโดยใช้ออปแอมป์ ซึ่งจะไม่โหดซึ่งกันและกัน

(1) การออกแบบวงจรกรองผ่านแถบ

จากข้อมูลของวงจรกรองผ่านแถบ

- ความถี่ตัดสูง 2 kHz
- ความถี่กลาง 10 kHz
- ความถี่ตัดต่ำ 50 kHz

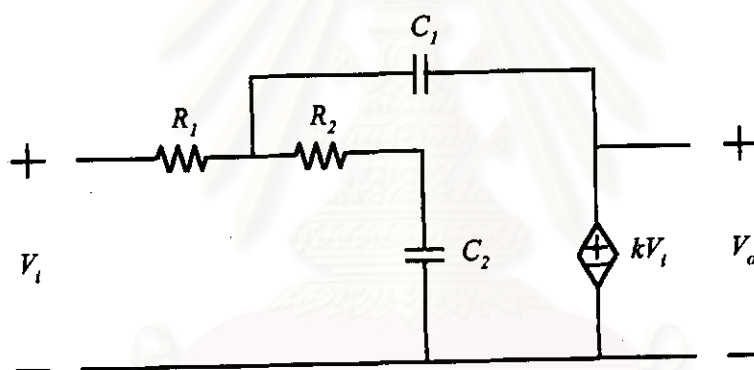
ได้ออกแบบวงจรกรองผ่านแถบเป็นวงจรกรองอันดับที่ 4 บัตเตอร์เวิร์ท เพื่อลดสัญญาณรบกวนนอกแถบความถี่ที่อาจจะทำให้เครื่องนับฟิลาทำงาน (เช่นสัญญาณรบกวนจากรถจักรยานยนต์) รายละเอียดของการออกแบบมีดังนี้ (Lam, 1979 : 301 , 378)

การออกแบบวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ อันดับที่ 4 บัตเตอร์เวิร์ท (ความถี่ตัดต่ำ = 50 kHz)

ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ อันดับที่ 4 บัตเตอร์เวิร์ท คือ

$$\frac{1}{(s^2 + 0.7653s + 1)(s^2 + 1.8477s + 1)} \quad (3.6)$$

จาก (Lam, 1979 : 378) วงจรสมมูลของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ เป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ

เงื่อนไขการออกแบบวงจรในรูปที่ 3.6 คือ

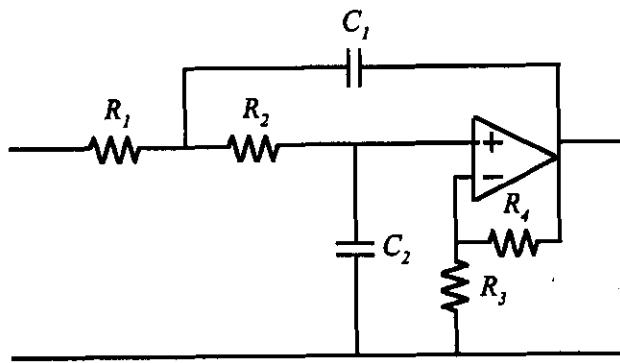
$$C_1 C_2 R_1 R_2 = 1 \quad (3.7)$$

$$C_1 R_1 + C_2 R_2 + R_1 C_2 - k R_1 C_1 = b \quad (3.8)$$

โดยฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\frac{k}{s^2 + bs + 1} \quad (3.9)$$

จากวงจรในรูปที่ 3.6 ถ้าใช้อุปกรณ์ในการออกแบบ จะได้วงจรดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำเมื่อใช้ออปแอมป์ในการออกแบบ

จากสมการ (3.6) พิจารณา $(s^2 + 0.7653s + 1)$ จะได้ $b = 0.7653$

เลือก $C_1 = C_2 = R_1 = R_2 = 1$ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ (3.7) แทนค่า C_1, C_2, R_1, R_2 ลงในสมการ (3.8) จะได้ $k = 2.2347$

พิจารณาวงจรในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 อัตราขยายของวงจร k มีค่าเป็น

$$k = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (3.10)$$

เลือก $R_3 = 13 \text{ k}\Omega$ และ $R_4 = 16 \text{ k}\Omega$ จะได้ $k = 2.2307 \approx 2.2347$ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ค่า k ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบ (ค่าความต้านทานที่ใช้ควรอยู่ในหลัก 1-100 $\text{k}\Omega$ เพราะเป็นช่วงความต้านทานที่เหมาะสมกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของออปแอมป์ที่เลือกใช้ อย่างไรก็ตาม การเลือกค่าความต้านทานต้องคำนึงด้วยว่า ความต้านทานค่านั้นๆสามารถหาได้ในท้องตลาดหรือไม่ สำหรับค่าความต้านทานทุกค่าที่ใช้ในวงจรของเครื่องนับพัลส์ เป็นค่าความต้านทานมาตรฐานที่สามารถหาซื้อได้ในท้องตลาดในประเทศทั้งหมด)

ทำ Frequency Scaling (Lam, 1979 : 270) โดยใช้ค่าของ $\omega = 2\pi \times 50 \times 10^3$ เป็นค่าที่สเกลค่าความจุไฟฟ้า จาก 1 ไปที่ค่า ω^{-1} ดังนั้น

$$\begin{aligned} C_1 = C_2 &= (2\pi \times 50 \times 10^3)^{-1} \\ &= 3.183 \text{ }\mu\text{F} \end{aligned}$$

ทำ Impedance Scaling (Lam, 1979 : 293-295) เลือก $z = 8.2 \text{ k}\Omega$ เป็นค่าที่ใช้สเกลค่าอิมพีแดนซ์จาก 1 ไปที่ค่า z (ในกรณีค่าความจุไฟฟ้า จะสเกลไปที่ z^{-1}) ดังนั้น

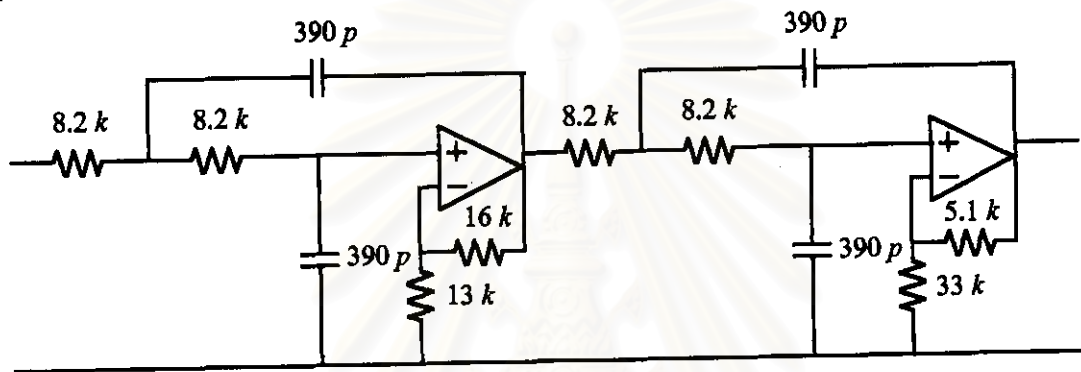
$$\begin{aligned} C_1 = C_2 &= (3.183 \times 10^{-6}) / (8.2 \times 10^3) \\ &= 388 \text{ pF} \approx 390 \text{ pF} \end{aligned}$$

$$R_1 = R_2 = 8.2 \text{ k}\Omega$$

(สำหรับการเลือกค่าความจุไฟฟ้า ก็ใช้เงื่อนไขในการเลือกเช่นเดียวกับการเลือกค่าความต้านทานเช่นกัน อย่างไรก็ตาม เราควรเลือกค่าความจุไฟฟ้า ที่เหมาะสมกับวงจรก่อนที่จะเลือกค่าความต้านทาน เพราะตัวเก็บประจุที่มีขายในท้องตลาด มีค่าที่หลากหลายน้อยกว่าค่าความต้านทาน)

จากสมการ (3.6) พิจารณา $(s^2 + 1.8477s + 1)$ จะได้ $b = 1.8477$

เลือก $C_1 = C_2 = R_1 = R_2 = 1$ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ (3.7) แทนค่า C_1, C_2, R_1, R_2 ลงในสมการ (3.8) จะได้ $k = 1.1523$ ทำการออกแบบโดยปฏิบัติตามวิธีการออกแบบวงจรกรองผ่านต่ำที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะได้วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (Active) อันดับที่ 4 บัตเตอร์เวิร์ท ดังรูปที่ 3.8

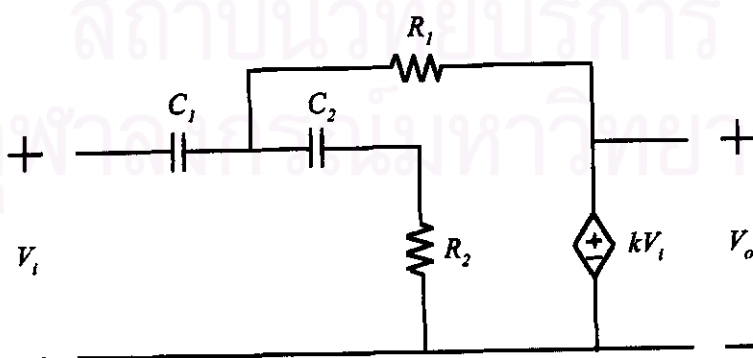


รูปที่ 3.8 วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำที่ออกแบบ

การออกแบบวงจรกรองผ่านความถี่สูง อันดับที่ 4 บัตเตอร์เวิร์ท (ความถี่ตัดสูง = 2 kHz) ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองผ่านความถี่สูง อันดับที่ 4 บัตเตอร์เวิร์ท คือ

$$\frac{s^4}{(s^2 + 0.7653s + 1)(s^2 + 1.8477s + 1)} \quad (3.11)$$

จาก (Lam, 1979 : 378) วงจรสมมูลของวงจรกรองผ่านความถี่สูง เป็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรสมมูลของวงจรกรองผ่านความถี่สูง

เงื่อนไขการออกแบบวงจรในรูปที่ 3.9 คือ

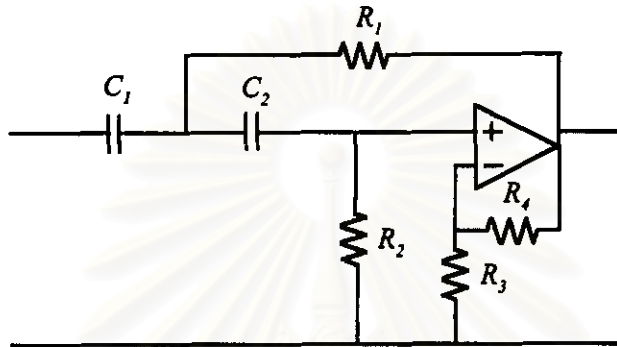
$$C_1 C_2 R_1 R_2 = 1 \quad (3.12)$$

$$C_1 R_1 + C_2 R_2 + R_1 C_2 - k R_2 C_2 = b \quad (3.13)$$

โดยฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

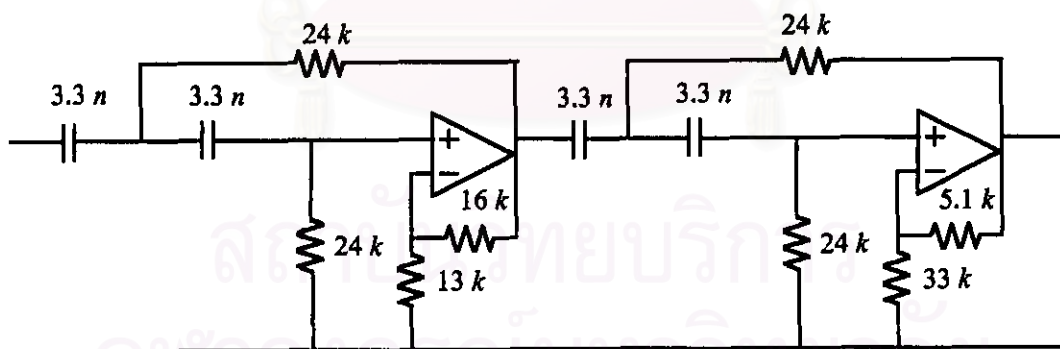
$$\frac{ks^2}{s^2 + bs + 1} \quad (3.14)$$

จากวงจรในรูปที่ 3.9 ถ้าใช้ออปแอมป์ในการออกแบบ จะได้วงจรงดรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรกรองผ่านความถี่สูงเมื่อใช้ออปแอมป์ในการออกแบบ

ทำการออกแบบวงจรโดยใช้สมการ (3.11) ถึง (3.14) ในการออกแบบ ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบเหมือนกับขั้นตอนในการออกแบบวงจรกรองต่ำที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะได้วงจรงกรองผ่านความถี่สูง (Active) อันดับที่ 4 บัตเตอร์เวิร์ด ดังรูปที่ 3.11



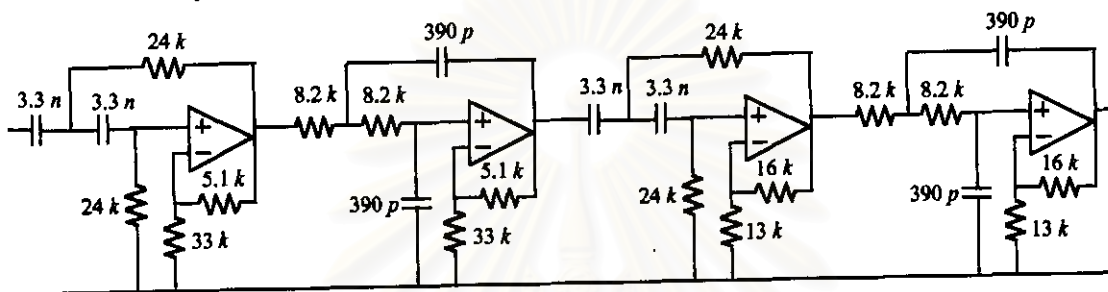
รูปที่ 3.11 วงจรกรองผ่านความถี่สูงที่ออกแบบ

(2) การสลับวงจรส่วนต่างๆของวงจรงกรองผ่านแถบที่ได้ออกแบบ

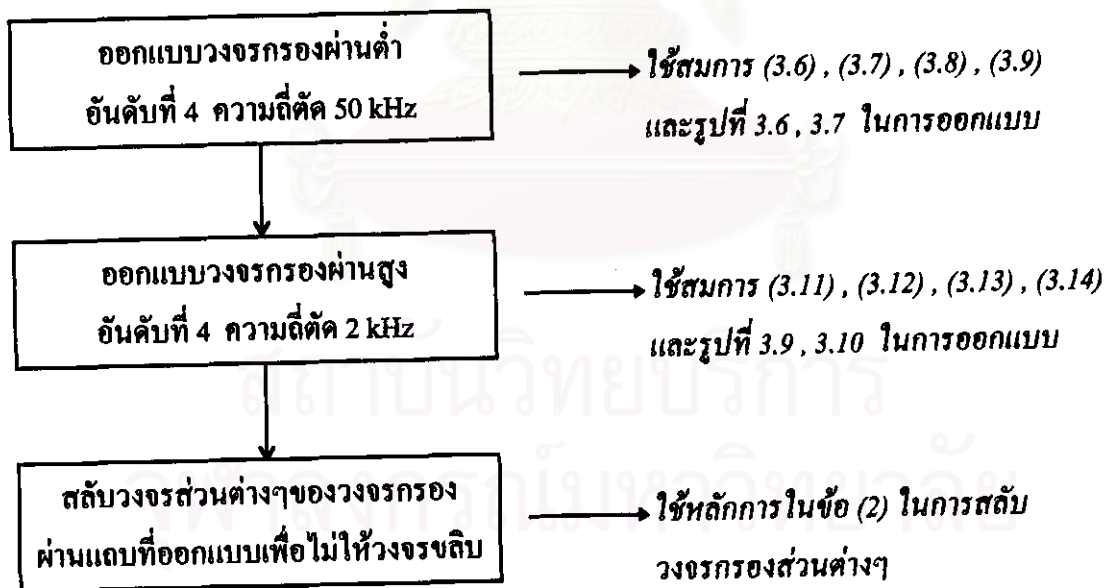
ภาคแรกของวงจรงกรองผ่านแถบ จะต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวนความถี่กำลัง (50 Hz) เพราะสัญญาณรบกวนความถี่กำลังนี้อาจจะคัปปลิงเข้ามาทางสายอากาศ ดังนั้นวงจรงกรองในส่วนแรกจึงควรเป็นวงจรงกรองผ่านความถี่สูง และมีอัตราขยายต่ำ (1.1523) เพื่อป้องกันการรบกวนของ

สัญญาณในภาคแรกของวงจรกรองในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่าสูง สำหรับวงจรกรองในส่วนที่ 2 และ 3 ได้ออกแบบให้เป็นวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ อัตราขยาย = 1.1523 และวงจรกรองผ่านความถี่สูง อัตราขยาย = 2.2347 ตามลำดับ ส่วนวงจรสุดท้ายนั้น ควรเป็นวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ อัตราขยาย 2.2347 เนื่องจากต้องการขจัดสัญญาณรบกวนในภาคสุดท้ายที่มีความถี่สูงกว่า 50 kHz ให้หมดไปก่อนเข้าสู่วงจรตรวจจับความไว

วงจรกรองผ่านแถบที่ได้ออกแบบสร้างและได้สลับส่วนต่างๆของวงจรกรองผ่านแถบแล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 3.12 และการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้สรุปเป็นขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 วงจรกรองผ่านแถบที่ได้ออกแบบสร้าง

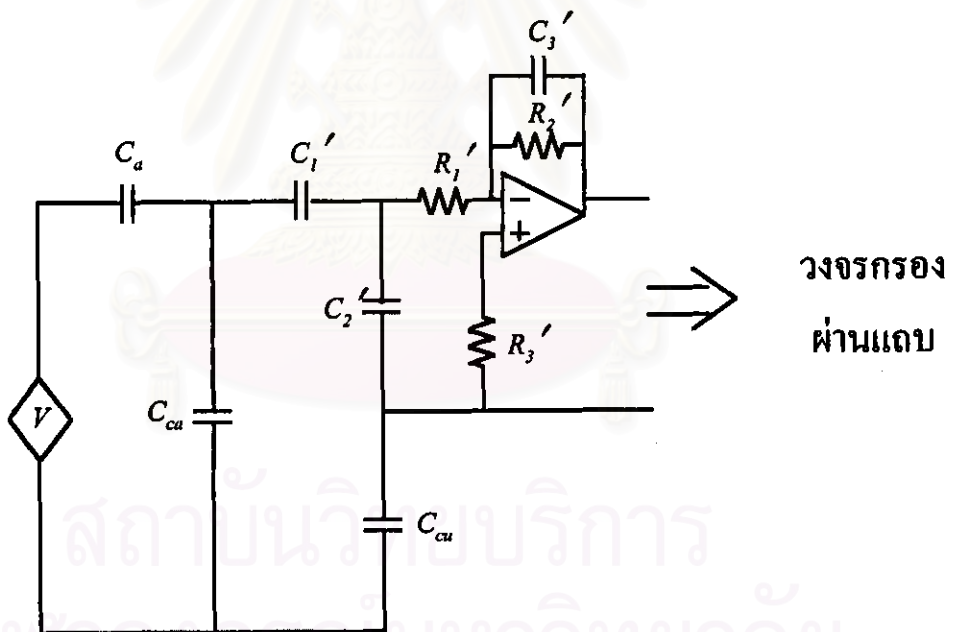


รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบ อันดับ 4 บัคเตอร์เวิร์ค

(3) ผลของสายเคเบิลและวงจรบัฟเฟอร์ต่อขนาดสัญญาณและต่อวงจรกรองผ่านแถบ การนำสัญญาณออกจากสายอากาศไปสู่วงจรกรองผ่านแถบจำเป็นต้องใช้สายเคเบิล ซึ่งสายเคเบิลดังกล่าวจะมีผลต่อขนาดของสัญญาณเข้า และต่อวงจรกรองผ่านแถบ

- สัญญาณจากสายอากาศประกอบด้วยสัญญาณหลายๆความถี่ โดยสัญญาณความถี่สูงจะมองเห็นสายเคเบิลเป็นสายส่ง (Transmission Line) และสัญญาณความถี่ต่ำจะมองเห็นสายเคเบิลเป็นตัวเก็บประจุ อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ต้องการคือสัญญาณที่ความถี่อยู่ในช่วง 2-50 kHz ซึ่งจัดว่าเป็นสัญญาณความถี่ต่ำเมื่อเทียบกับความยาวสายเคเบิล (น้อยกว่า 1 เมตร) และเนื่องจากสายอากาศและสายเคเบิลฟอร์มตัวเป็นโวลเตจดิไวเดอร์ ทำให้สัญญาณเข้าวงจรกรองผ่านแถบลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณที่สายอากาศ

- เนื่องจากมีวงจรบัฟเฟอร์ (วงจรขยายกลับเฟส อัตราขยายประมาณ 1) คั่นระหว่างสายอากาศกับวงจรกรองผ่านแถบ สายอากาศ, สายเคเบิล และวงจรบัฟเฟอร์ จึงเปรียบเสมือนเป็นวงจรกรองผ่านแถบอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในวงจร เพื่อให้ความถี่ตัดของวงจรกรองนี้อยู่ห่างจากความถี่ตัดสูงและความถี่ตัดต่ำของวงจรกรองผ่านแถบที่ได้ ออกแบบไว้แล้วในข้อ (1) ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรบัฟเฟอร์ก่อนเข้าวงจรกรองผ่านแถบ

C_a และ C_{ca} คือค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศและสายเคเบิล โดย C_a มีค่าเท่ากับ 56 pF สำหรับสายอากาศแบบจานกลมที่จะใช้กับเครื่องนับฟิลา และ 6 pF สำหรับสายอากาศแบบแท่งที่จะใช้กับเครื่องนับฟิลา ค่าความจุไฟฟ้าของสายเคเบิล C_{ca} มีค่าเท่ากับ 60 pF ส่วน C_{cu} ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุกั้นปัดระหว่างกราวด์ของสายอากาศกับกราวด์ของวงจรบัฟเฟอร์ โดย C_{cu} จะ

ต้องไม่ทำให้ค่าตัวเก็บประจุในวงจรเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงเลือกให้ C_{cu} มีค่าใหญ่เมื่อเทียบกับ C_a และ C_{cu} ในที่นี้ใช้ $C_{cu} = 0.1 \mu F$ และเนื่องจากวงจรขยายแบบกลับเฟสนี้จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ คั่นระหว่างสายอากาศกับวงจรกรองผ่านแถบ ดังนั้นอัตราขยายจึงต้องมีค่าประมาณ 1 นั่นคือ $R_1' \cong R_2'$ ในที่นี้เลือก $R_1' = 30 k\Omega$ และ $R_2' = 33 k\Omega$ ตามลำดับ

จากวงจรในรูปที่ 3.14 C_1' และ C_3' ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุของวงจรกรองผ่านสูงและวงจรกรองผ่านต่ำตามลำดับ สำหรับการเลือกค่า C_1' ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวงจรกรองผ่านสูงจะต้องให้ความถี่ตัดของวงจรกรองผ่านสูงมากกว่าความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีค่า 50 Hz ในที่นี้ได้เลือกให้ความถี่ตัดของวงจรกรองผ่านสูงมีค่าเป็น 10 เท่าของความถี่ 50 Hz (500 Hz) ซึ่งจะทำได้เลือกให้ความถี่ตัดของวงจรกรองผ่านสูงมีค่าเป็น 10 เท่าของความถี่ 50 Hz (500 Hz) ซึ่งจะทำให้สัญญาณความถี่ 50 Hz ลดลงไป 10 เท่า สามารถคำนวณค่า C_1' ได้ดังนี้

$$500 = (2\pi \times R_1' \times C_1')^{-1} = (2\pi \times 30 \times 10^3 \times C_1')^{-1}$$

$$C_1' = 10.6 \text{ nF}$$

เลือก $C_1' = 10 \text{ nF}$ เพราะเป็นค่าที่ใกล้เคียงที่หาได้ในท้องตลาด

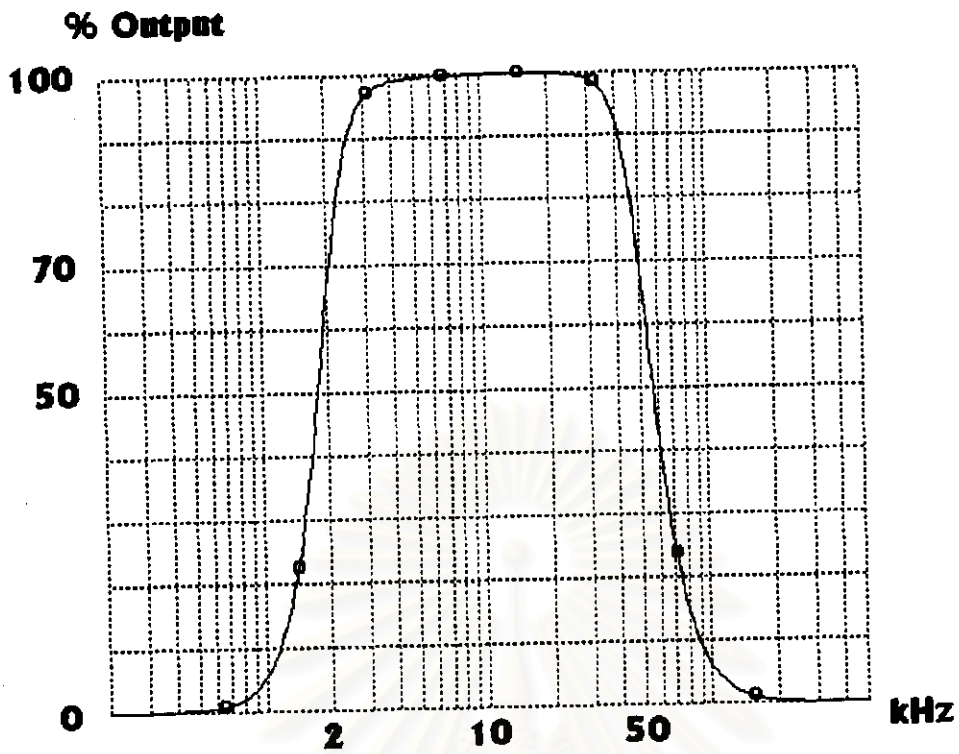
$$\therefore f_H = (2\pi \times 30 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-9})^{-1} = 530 \text{ Hz}$$

ส่วนการเลือกค่า C_3' ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวงจรกรองผ่านต่ำ ควรเลือกค่าที่ทำให้ความถี่ตัดของวงจรกรองผ่านต่ำมีค่ามากกว่าความถี่ตัดของวงจรกรองผ่านต่ำที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ในที่นี้เลือก $C_3' = 5 \text{ pF}$ เพราะนอกจากจะใช้เป็นตัวเก็บประจุของวงจรกรองผ่านต่ำแล้ว ยังใช้เป็นตัวเก็บประจุชดเชยสเตรคแพซิเตนซ์ของออปแอมป์ ซึ่งมีค่าประมาณ 5 pF อีกด้วย ความถี่ตัดของวงจรกรองผ่านต่ำจะเป็น

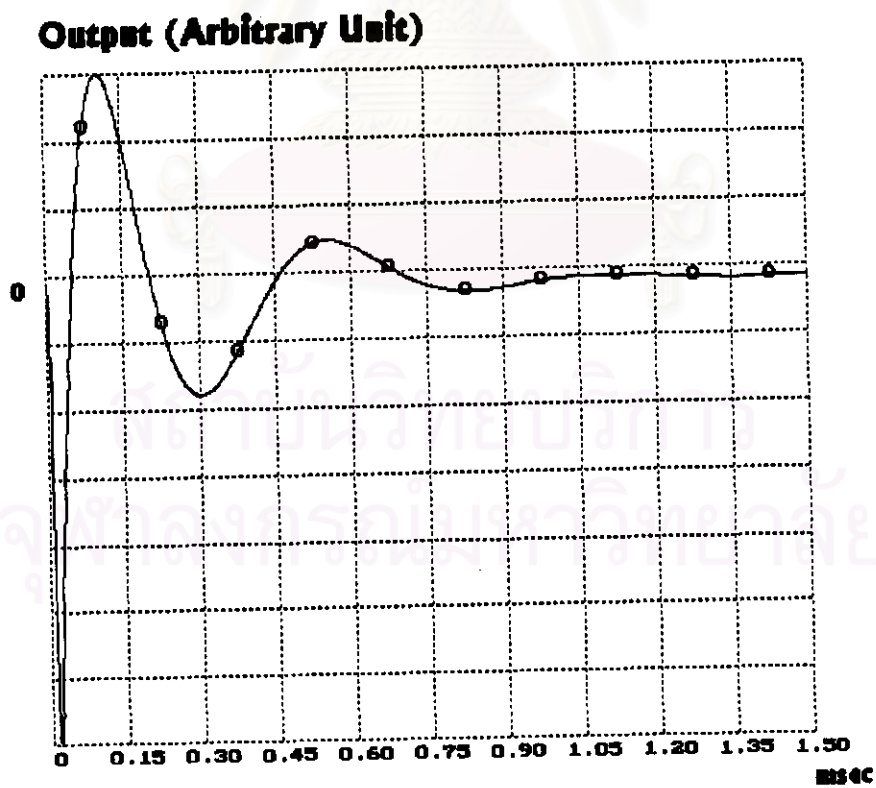
$$f_L = (2\pi \times R_2' \times C_3')^{-1} = (2\pi \times 33 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-12})^{-1} \\ = 964 \text{ kHz} \quad \text{ซึ่งไม่ไหลลงวงจรกรองผ่านแถบในข้อ (1)}$$

ค่าความต้านทาน R_3' ทำหน้าที่ชดเชยสัญญาณขาอินพุทบวกของออปแอมป์ให้เท่ากับขาลบ โดย $R_3' = R_1' \parallel R_2' \text{ (DC)} = R_2' = 33 k\Omega$

สำหรับค่าตัวเก็บประจุ C_2' ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณเข้าจากสายอากาศอีกส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตามตัวเก็บประจุ C_2' จะมีผลต่อผลตอบเชิงความถี่ของสัญญาณออกจากวงจรกรองผ่านแถบในข้อ (1) ด้วย และค่าตัวเก็บประจุ C_2' จะมีค่าต่างกันเมื่อใช้สายอากาศที่ต่างกัน จากการวิเคราะห์วงจรโดยใช้ Lek (เอกชัย ลิลาธิณี, 2538) พบว่าค่า C_2' ควรมีค่าประมาณ 10 nF และ 100 nF สำหรับสายอากาศแบบจานกลมและสายอากาศแบบแท่ง ตามลำดับ ผลตอบเชิงความถี่และผลตอบเชิงเวลาของวงจรกรองผ่านแถบเมื่อคิดรวมวงจรบัฟเฟอร์ ทั้งกรณีใช้สายอากาศแบบจานกลมและใช้สายอากาศแบบแท่ง กับเครื่องนับฟิลาต้า ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ (รูปที่ 3.16 เป็นผลตอบเชิงเวลาเมื่อเกิดฟิลาต้าลบ กรณีฟิลาต้าบวกผลตอบเชิงเวลาจะมีเฟสต่างจากรูปที่ 3.16 180 องศา)



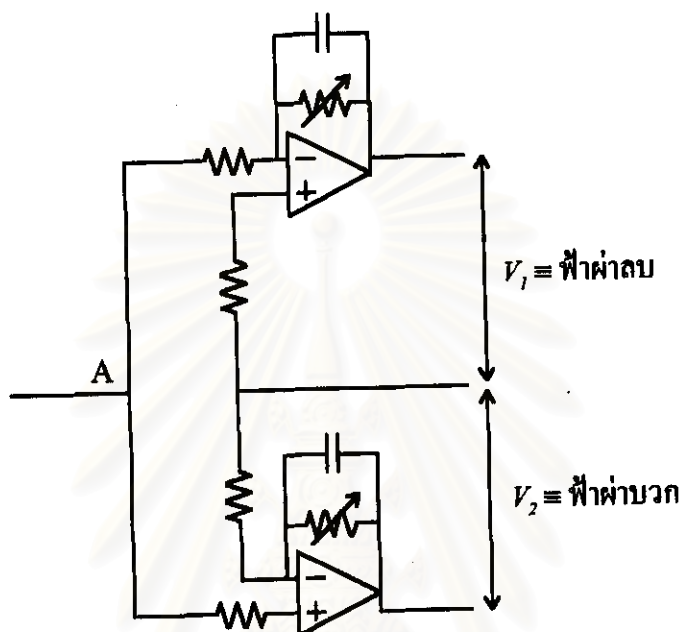
รูปที่ 3.15 ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรกรองผ่านแถบในข้อ (1) เมื่อคิดรวมวงจรบัฟเฟอร์



รูปที่ 3.16 ผลตอบเชิงเวลาของวงจรกรองผ่านแถบในข้อ (1) เมื่อคิดรวมวงจรบัฟเฟอร์ โดยป้อนสัญญาณเข้าเป็นแรงดันรูปขั้น

3.2.3 วงจรจำแนกฟ้าผ่าลบและฟ้าผ่าบวก

เนื่องจากแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศเนื่องจากฟ้าผ่าลบจะเป็นแรงดันอิมพัลส์บวก และแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศเนื่องจากฟ้าผ่าบวกจะเป็นอิมพัลส์ลบ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรจำแนกประเภทของสัญญาณที่เกิดจากแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศเมื่อผ่านจากวงจรกรองผ่านแถบในข้อ 3.2.2 วงจรจำแนกฟ้าผ่าได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.17

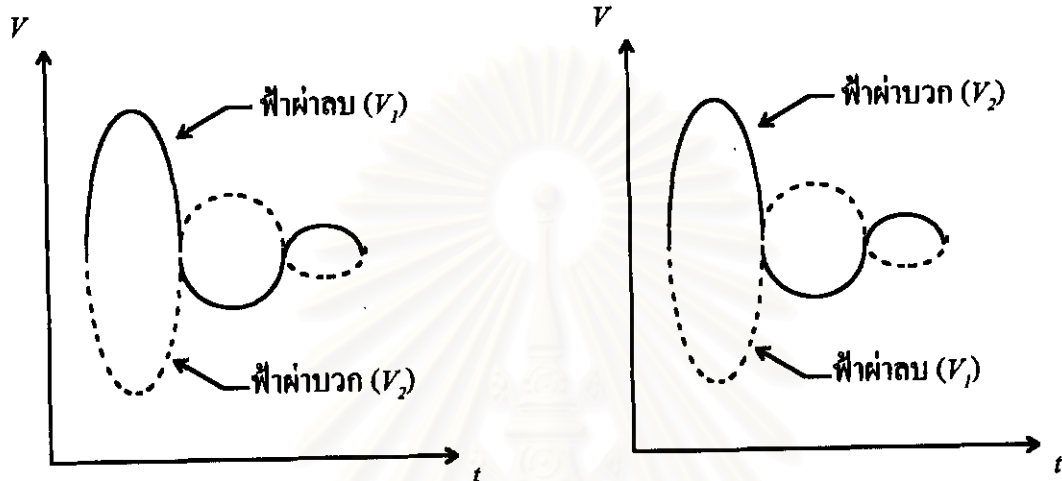


รูปที่ 3.17 วงจรจำแนกประเภทฟ้าผ่า

เมื่อมีสัญญาณจากวงจรกรองผ่านแถบไปยังวงจรจำแนกประเภทฟ้าผ่า วงจรจำแนกประเภทฟ้าผ่าจะให้สัญญาณ 2 ชุด คือ V_1 และ V_2 โดยสัญญาณ V_1 เป็นสัญญาณออกจากวงจรขยายกลับเฟส และสัญญาณ V_2 เป็นสัญญาณที่ออกจากวงจรขยายไม่กลับเฟส แรงดันทั้งสองนี้จะเหมือนกันทุกประการ เพียงแต่มีเฟสต่างกัน 180 องศาเท่านั้น หลักการในการจำแนกคือในกรณีที่เกิดฟ้าผ่าลบ แรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศจะเป็นแรงดันอิมพัลส์บวก เมื่อผ่านวงจรบัฟเฟอร์ (รูปที่ 3.14) จะทำให้เฟสของแรงดันเหนี่ยวนำต่างไปจากเดิม 180 องศา ต่อมาเมื่อผ่านเข้าวงจรจำแนกประเภทฟ้าผ่าดังรูปที่ 3.17 แรงดัน V_1 จะมีเฟสต่างไปจากแรงดันเข้าวงจรจำแนกประเภทฟ้าผ่า (จุด A) 180 องศา นั่นคือแรงดัน V_1 จะมีเฟสเดียวกันกับแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศ ในขณะที่แรงดัน V_2 จะมีเฟสต่างไป 180 องศา กับแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศ แรงดัน V_1 และ V_2 นี้ จะผ่านเข้าวงจรปรับความไวซึ่งจะทำงานที่แรงดันบวก นั่นคือแรงดัน V_1 จากฟ้าผ่าลบ จะผ่านเข้าตัววงจรนับและวงจรบันทึกข้อมูลก่อนแรงดัน V_2 (รูปที่ 3.18ก) เพราะแรงดันส่วนที่เป็นบวกของ V_1 เกิดก่อนแรงดันส่วนที่เป็นบวกของ V_2 และไมโครโปรเซสเซอร์ของวงจรบันทึกข้อมูลจะสั่งให้เพิกเฉยต่อ

สัญญาณเข้า V_2 สำหรับในกรณีของแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศงานกลมเนื่องจากฟ้าผ่าบวก ก็ สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน (รูปที่ 3.18ข)

ในข้อ 3.2.1-3.2.3 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นวงจรอนุกรมโดยใช้ออปแอมป์ในการ ออกแบบ ซึ่งจำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงทั้งบวกและลบ อย่างไรก็ตามเมื่อสัญญาณออกจากวงจรจำแนก ประเภทฟ้าผ่าผ่านเข้าวงจรปรับความไว สัญญาณเหล่านี้จะต้องแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อเข้าสู่ วงจรนับและวงจรบันทึกข้อมูลซึ่งเป็นวงจรในส่วนดิจิทัล



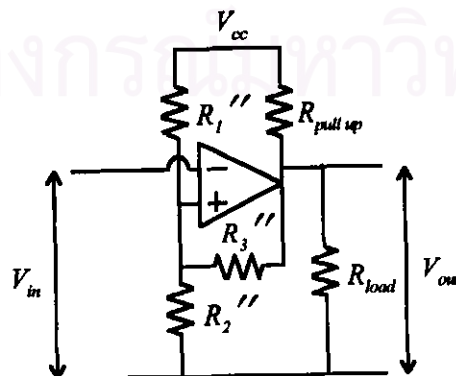
(ก) กรณีฟ้าผ่าลบ

(ข) กรณีฟ้าผ่าบวก

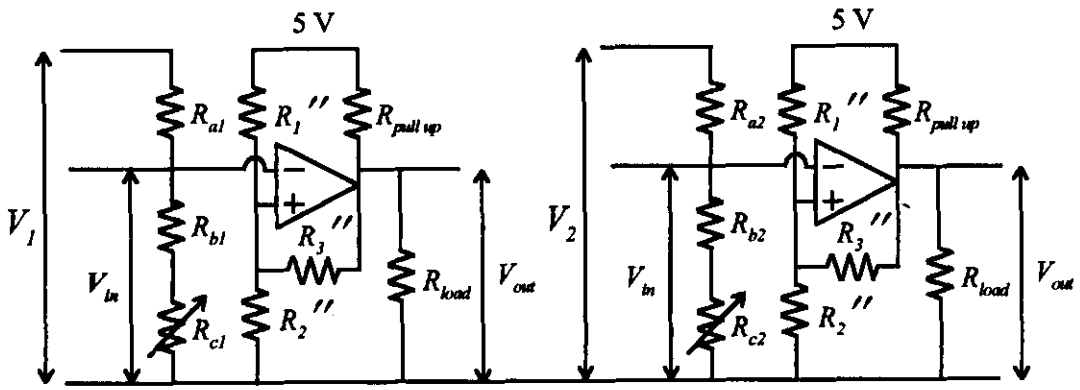
รูปที่ 3.18 สัญญาณออกจากวงจรในรูปที่ 3.17

3.2.4 วงจรปรับความไว

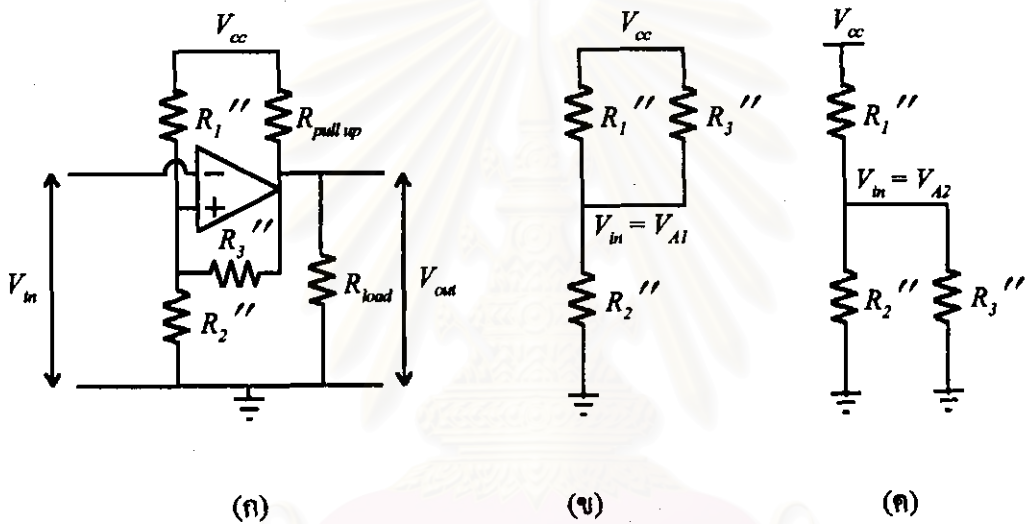
สัญญาณออกจากวงจรจำแนกประเภทฟ้าผ่า จะผ่านเข้าสู่วงจรปรับความไว ซึ่งก็คือวงจร เปรียบเทียบแบบมีฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) โดยรูปแบบของวงจรปรับความไวจะเป็นดังรูปที่ 3.19 เมื่อทำการออกแบบแล้ว จะได้วงจรปรับความไวของเครื่องนับฟ้าผ่าดังรูปที่ 3.20 โดยเงื่อนไขการทำงานของวงจรปรับความไวจะเป็นไปตามรูปที่ 3.21 โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้ (Meiksin และ Philip, 1987 : 238-239 ; Frederiksen, 1991 : 256-271)



รูปที่ 3.19 รูปแบบของวงจรปรับความไว



รูปที่ 3.20 วงจรปรับความไวที่ออกแบบ



รูปที่ 3.21 เงื่อนไขการทำงานของวงจรปรับความไว

จากรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.21 (ก) เมื่อแรงดันอินพุท V_{in} มีค่าถึง V_{A1} แรงดัน V_{out} จะสวิทช์จาก V_{cc} ลงสู่ศูนย์ และเมื่อแรงดัน V_{in} มีค่าตกลงถึงค่า V_{A2} แรงดัน V_{out} ก็จะสวิทช์กลับไปอยู่ที่ V_{cc} โดยมีฮิสเตอร์ซิซึสเท่ากับ $V_{A1} - V_{A2} = \Delta V_A$ การทำงานของวงจรตรวจจับความไวดังกล่าวข้างต้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.21 (ข) และ 3.21 (ค)

จากรูปที่ 3.21 (ข) จะได้

$$V_{A1} = \frac{+V_{cc}R_2''}{(R_1''/R_3'') + R_2''} = \frac{+V_{cc}R_2''(R_1'' + R_3'')}{R_1''R_2'' + R_1''R_3'' + R_2''R_3''} \tag{3.15}$$

จากรูปที่ 3.21 (ค) จะได้

$$V_{A2} = \frac{+V_{cc}(R_2''//R_3'')}{R_1''+(R_2''//R_3'')} \quad (3.16)$$

$$= \frac{+V_{cc}R_2''R_3''}{R_1''R_2''+R_1''R_3''+R_2''R_3''}$$

โดย $\Delta V_A = V_{A1} - V_{A2}$ นั่นคือ

$$\Delta V_A = \frac{+V_{cc}R_1''R_2''}{R_1''R_2''+R_1''R_3''+R_2''R_3''} \quad (3.17)$$

ในการออกแบบต้องเลือกให้ $R_3'' > R_{pull\ up}$ ซึ่งในกรณีนี้ $R_{pull\ up} = 100\text{ k}\Omega$ จึงเลือก $R_3'' = 1\text{ M}\Omega$ และเพื่อความง่ายในการเลือกค่าอุปกรณ์ จึงให้ $R_1'' = R_2'' = 100\text{ k}\Omega$ ซึ่งจะได้ V_{A1} , V_{A2} และ ΔV_A (ในกรณี $V_{cc} = 5\text{ Volts}$) เป็น

$$V_{A1} = \frac{(5)(100 \times 10^3)(100 \times 10^3 + 1 \times 10^6)}{(100 \times 10^3)(100 \times 10^3) + (100 \times 10^3)(1 \times 10^6) + (100 \times 10^3)(1 \times 10^6)}$$

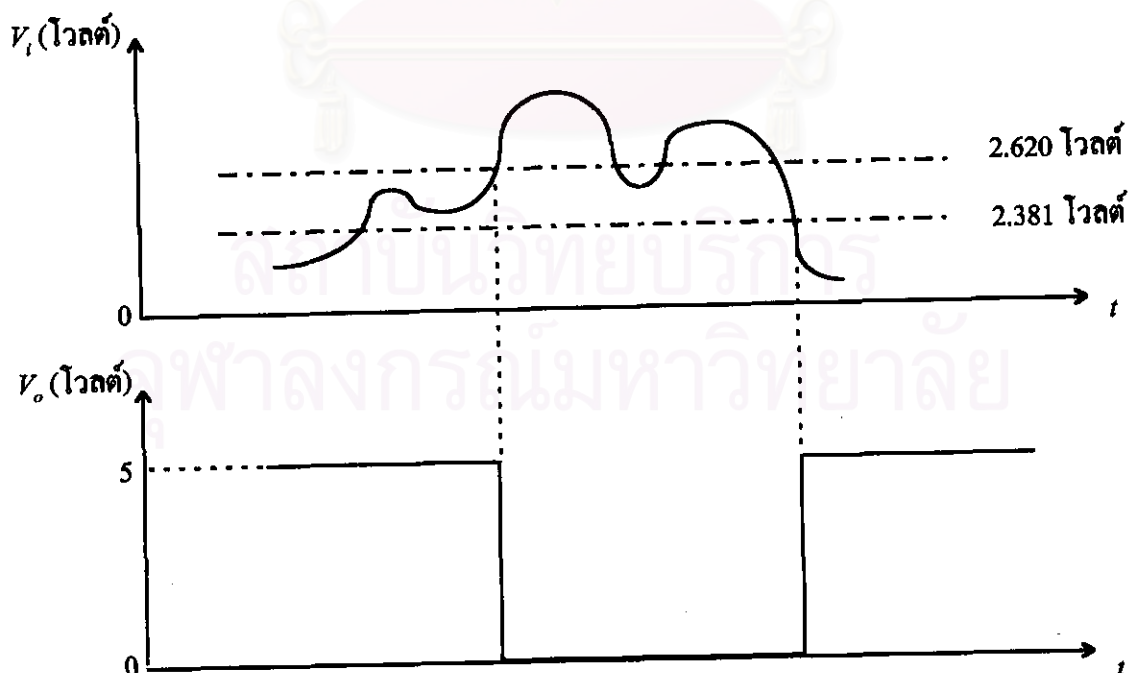
$$= 2.620\text{ Volts}$$

$$V_{A2} = \frac{(5)(100 \times 10^3)(1 \times 10^6)}{(100 \times 10^3)(100 \times 10^3) + (100 \times 10^3)(1 \times 10^6) + (100 \times 10^3)(1 \times 10^6)}$$

$$= 2.381\text{ Volts}$$

$$\Delta V_A = 0.239\text{ Volts}$$

จากรูปที่ 3.20 จะได้ $R_1'' = 100\text{ k}\Omega$, $R_2'' = 100\text{ k}\Omega$, $R_3'' = 1\text{ M}\Omega$ และ $R_{pull\ up} = 100\text{ k}\Omega$ โดยมีการทำงานของวงจรดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การทำงานของวงจรปรับความไว

สำหรับ R_{a1} , R_{b1} , R_{a2} และ R_{b2} จะทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งแรงดันเพื่อลดทอนสัญญาณที่เทียบกับกราวด์ของออปแอมป์ (อะนาล็อก) ให้เป็นสัญญาณเทียบกับกราวด์ของวงจรปรับความไว (ดิจิตอล) ส่วน R_{c1} และ R_{c2} เป็นความต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับความไวของวงจรเปรียบเทียบ ในที่นี่จะใช้เป็นตัวปรับความไวของเครื่องนับฟิลา ถ้าสัญญาณเหนี่ยวนำที่สายอากาศมีค่าสูงเท่ากับหรือมากกว่าที่กำหนด แรงดันออกจากวงจรเปรียบเทียบก็จะสวิทช์จาก 5 โวลต์ ลงสู่ 0 โวลต์ เป็นพัลส์เข้าวงจรนับต่อไป

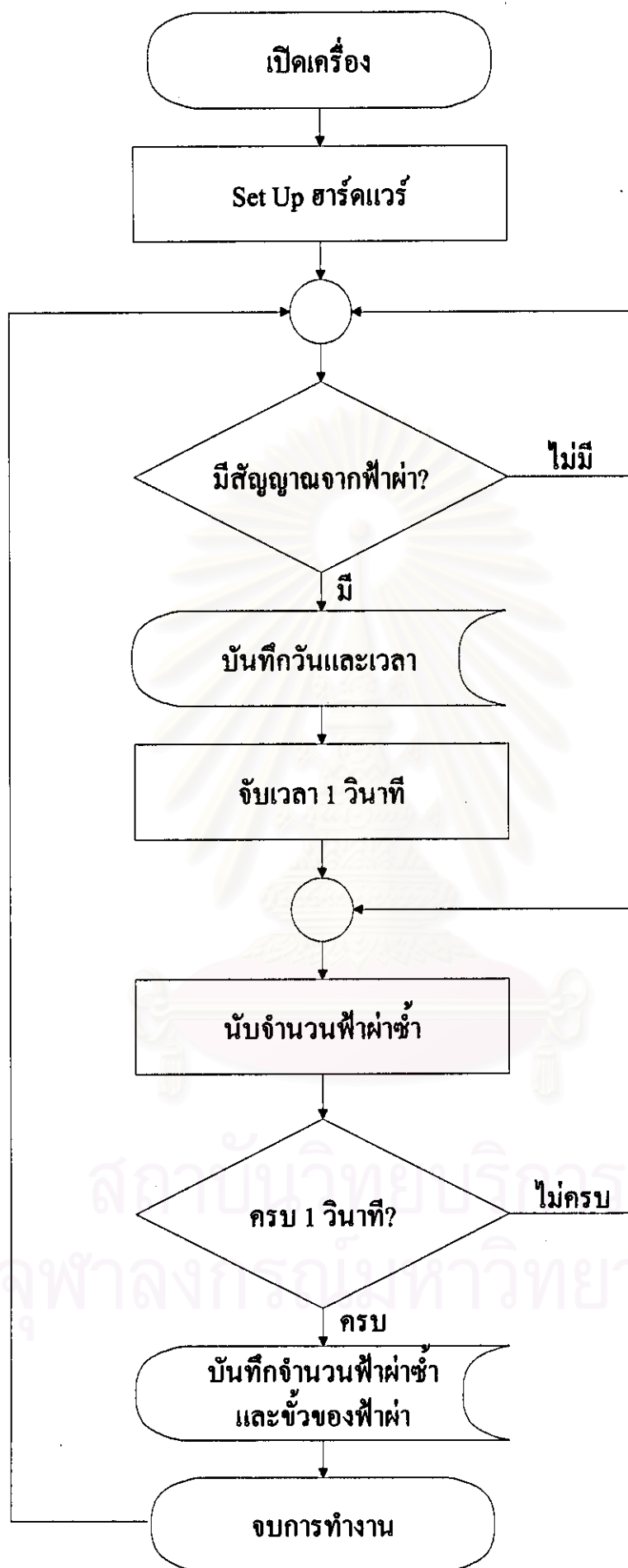
3.2.5 วงจรนับ

พัลส์ที่ออกมาจากภาคเอาพุทของวงจรปรับความไว จะผ่านอินเวิร์ตเตอร์แบบขมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) เพื่อกลับเฟสไป 180 องศา และเพื่อให้ได้พัลส์ที่คมในช่วงสวิทช์ชิ่ง เอาพุทจากอินเวิร์ตเตอร์จะเป็นภาคอินพุทของวงจรมัน ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator) การทำงานของวงจรมันคือวงจรมันจะสร้างพัลส์บวกจากพัลส์อินพุท โดยพัลส์ที่สร้างจะมีความกว้างเท่ากับ 10 msec (ซึ่งน้อยกว่าระยะเวลาระหว่างฟิลาซ้ำที่อยู่ติดกัน) พัลส์จากเอาพุท 1 ลูก จะหมายถึงฟิลาซ้ำ 1 ครั้ง ถ้าใน 1 วินาทีมีพัลส์ออกจากวงจรมัน 5 ลูก จะหมายความว่าฟิลาครั้งนั้นมีฟิลาซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

3.2.6 วงจรบันทึกผล

การบันทึกผลการนับของเครื่องนับฟิลา จะบันทึกลงหน่วยความจำบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป Z80 ของบริษัท ETT โดยจะต้องโหลดโปรแกรมเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการบันทึก วัน เวลา ชั่วโมงของฟิลา และ จำนวนฟิลาซ้ำของฟิลาแต่ละครั้งลงในหน่วยความจำ สำหรับการอ่านข้อมูลจากเครื่องนับฟิลา จะต้องโหลดข้อมูลลงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้โปรแกรมชุดคำสั่งสำหรับการอ่านข้อมูลเอาไว้แล้ว ซึ่งข้อมูลที่ได้จากเครื่องนับฟิลา จะถูกจัดระเบียบโดยชุดคำสั่งที่ได้เขียนขึ้นให้พร้อมที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติต่อไป โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงไว้ในรูปที่ 3.23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.23 ไฟล์ชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

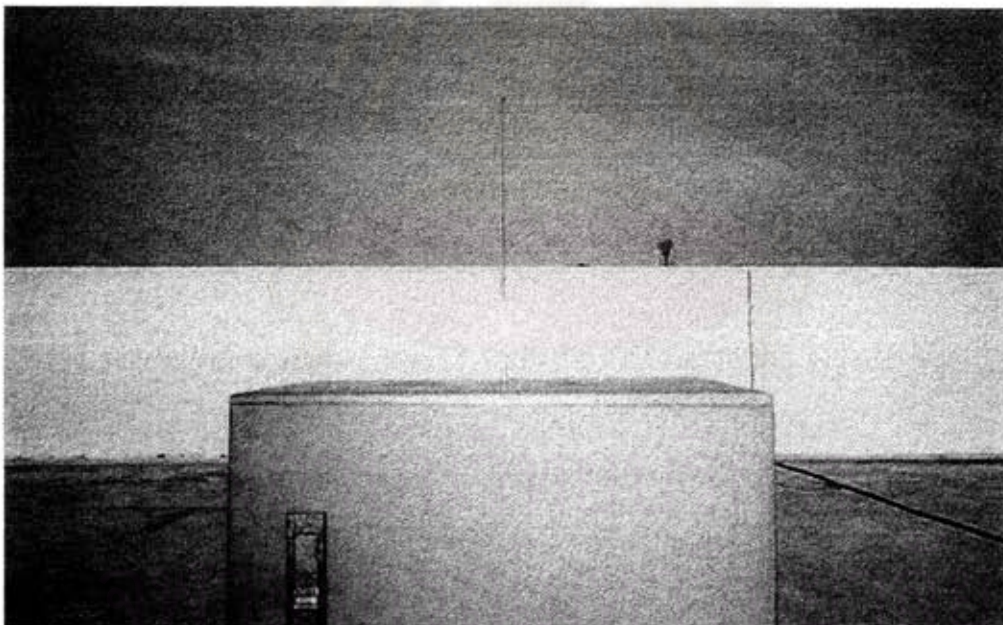
3.3 การประกอบสร้างวงจรส่วนต่างๆของเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ

วงจรส่วนต่างๆของเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ได้ออกแบบตามรายละเอียดในข้อ 3.2 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ใหญ่ๆ เพื่อนำมาประกอบสร้างคือ

- สายอากาศและสายเคเบิล
- วงจรกรองผ่านแถบ , วงจรจำแนกฟ้าผ่าลบและฟ้าผ่าบวก , วงจรปรับความไว และวงจรนับ
- วงจรบันทึกผล

3.3.1 สายอากาศและสายเคเบิล

สายอากาศควรติดตั้งที่บริเวณกลางแจ้งและปราศจากที่กำบัง เพื่อไม่ให้มีการลดทอนสัญญาณสนามไฟฟ้าจากกระแสฟ้าผ่า สัญญาณออกจากสายอากาศจะต้องเข้าเครื่องนับฟ้าผ่าทางสายเคเบิล รูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25 แสดงการติดตั้งสายอากาศแบบแท่งและสายอากาศแบบจานกลมตามลำดับ



รูปที่ 3.24 การติดตั้งสายอากาศแบบแท่งที่ใช้กับเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ



รูปที่ 3.25 การติดตั้งเสาอากาศแบบจานกลมที่ใช้กับเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ

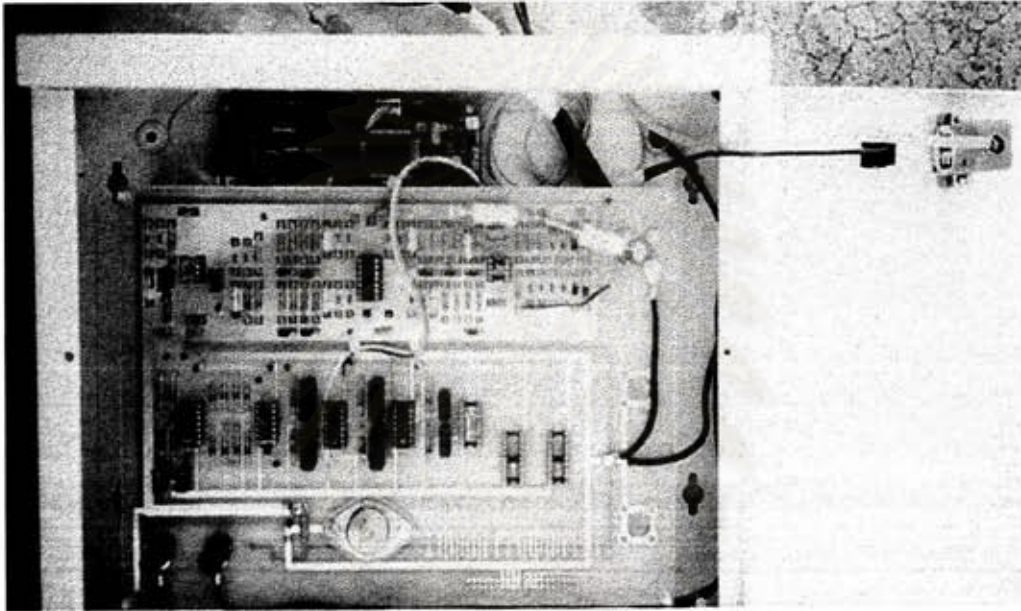
3.3.2 วงจรกรองผ่านแถบ , วงจรจำแนกฟ้าผ่าลบและฟ้าผ่าบวก , วงจรปรับความไว และ วงจรนับ

ในส่วนของวงจรกรองผ่านแถบ , วงจรจำแนกฟ้าผ่าลบและฟ้าผ่าบวก , วงจรปรับความไว และวงจรนับ จะต้องออกแบบหลายวงจรบนแผ่นปริ๊นซ์เพื่อประกอบสร้างวงจรส่วนต่างๆดังกล่าวข้างต้น ในที่นี้ได้ออกแบบหลายวงจรทั้งหมดในข้อ 3.3.2 ลงบนแผ่นปริ๊นซ์แผ่นเดียว โดยสัญญาณออกจากวงจรทั้งหมดในส่วนนี้ คือสัญญาณออกจากวงจรนับ เพื่อเข้าสู่วงจรบันทึกผลต่อไป

3.3.3 วงจรบันทึกผล

วงจรบันทึกผลที่ใช้คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปของบริษัท ETT ซึ่งรับสัญญาณเข้ามาจากสัญญาณในข้อ 3.3.2 โดยมีสัญญาณออกเป็นพอร์ตสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ (Serial Port) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปนี้ จะอยู่ติดกับแผ่นวงจรในข้อ 3.3.2 โดยแผ่นวงจรดังกล่าวและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปจะติดตั้งอยู่ภายในกล่องโลหะอีกชั้นหนึ่ง

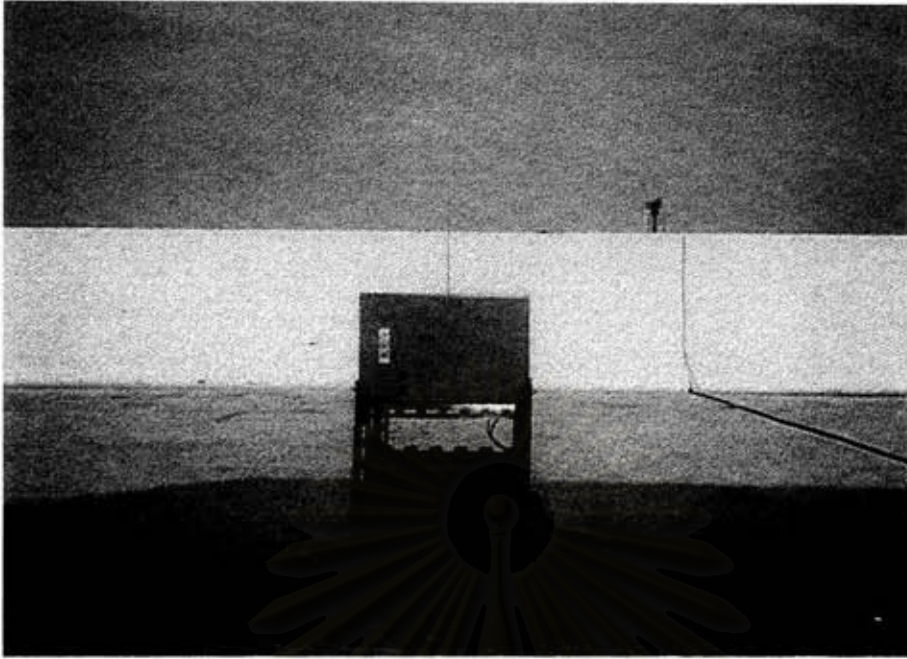
เพื่อซีลวงจรทั้งหมดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกที่จะเข้ามารบกวนการทำงานของเครื่องนับฟ้าม่า กล่องโลหะดังกล่าวข้างต้น จะติดตั้งอยู่ในตู้โลหะกันน้ำ เพื่อป้องกันความเสียหายจากน้ำฝน เมื่อวางอยู่ในที่กลางแจ้ง รูปที่ 3.26 แสดงการติดตั้งแผ่นวงจรในข้อ 3.3.2 และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป ในข้อ 3.3.3 ในกล่องโลหะ



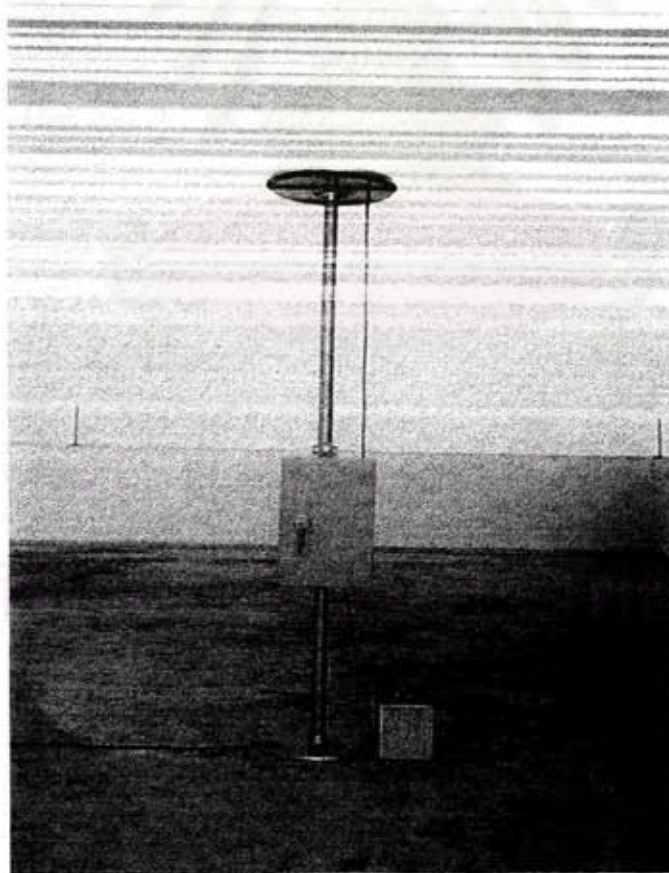
รูปที่ 3.26 แผ่นวงจรในข้อ 3.3.2 และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป
ในข้อ 3.3.3 ในกล่องโลหะ

เครื่องนับฟ้าม่าสำเร็จที่ประกอบสร้างเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 3.27 ในกรณีใช้สายอากาศแบบแท่ง และแสดงดังรูปที่ 3.28 ในกรณีใช้สายอากาศแบบจานกลม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



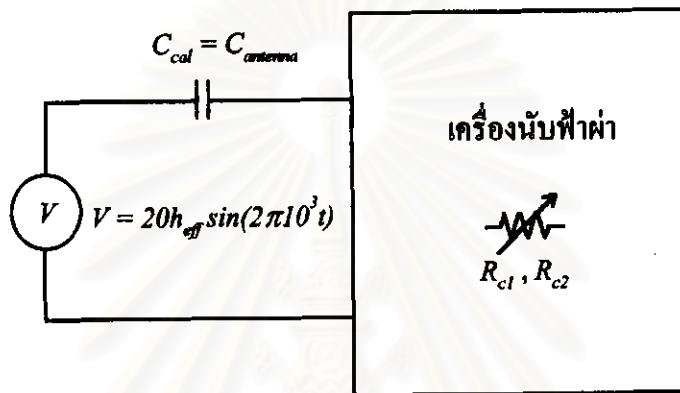
รูปที่ 3.27 เครื่องนับฟิลาผ่าจ้ำที่ออกแบบให้ใช้กับสายอากาศแบบแท่ง



รูปที่ 3.28 เครื่องนับฟิลาผ่าจ้ำที่ออกแบบให้ใช้กับสายอากาศแบบจานกลม

3.4 การปรับเทียบเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ

เครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ได้ออกแบบและประกอบสร้างแล้ว จะต้องทำการปรับเทียบเครื่องนับฟ้าผ่าโดยการป้อนสัญญาณแรงดันกระแสสลับรูปไซน์ ความถี่ 10 kHz ผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิ่งซึ่งมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศ โดยค่าขอคของแรงดันกระแสสลับรูปไซน์ที่ป้อนจะมีขนาดเท่ากับผลคูณระหว่างความสูงประสิทธิภาพของสายอากาศที่ใช้ กับค่าการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเริ่มต้น 20 โวลต์/เมตร (Prentice , 1972 ; Anderson et al. , 1979) การปรับเทียบเครื่องนับฟ้าผ่า แสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การปรับเทียบเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ

การปรับเทียบเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ออกแบบและประกอบสร้าง มีขั้นตอนดังนี้

(1) ป้อนแรงดันกระแสสลับรูปไซน์เข้าเครื่องนับฟ้าผ่าผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิ่ง โดยป้อนแรงดันความถี่ 10 kHz และมีค่าขอคเท่ากับผลคูณระหว่างความสูงประสิทธิภาพของสายอากาศที่ใช้ กับค่าการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเริ่มต้น 20 โวลต์/เมตร

- สำหรับสายอากาศแบบแท่ง ป้อน $V = 20 \times 0.0587 = 1.174$ โวลต์ โดย $C_{cal} = 6$ pF

- สำหรับสายอากาศแบบจานกลม ป้อน $V = 20 \times 0.346 = 6.92$ โวลต์ โดย $C_{cal} = 56$ pF

(2) ปรับค่า R_{c1} และ R_{c2} ของวงจรปรับความไวทั้งส่วนของวงจรของฟ้าผ่าบวกและฟ้าผ่าลบ (รูปที่ 3.17 และ 3.20) จนกระทั่งเครื่องนับฟ้าผ่าเริ่มนับ