การทดลองที่ 2 Op Amp Applications I

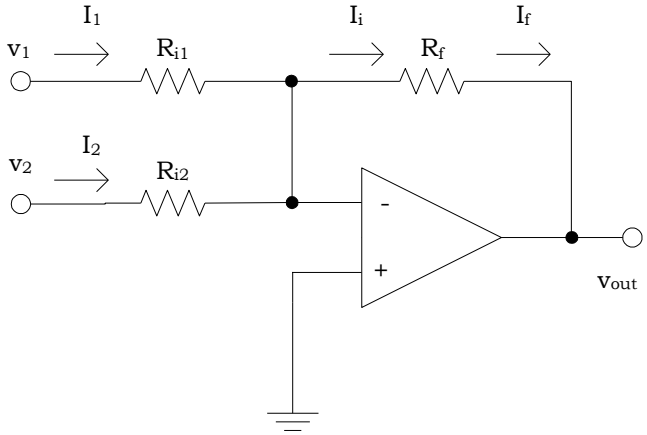
ตอนที่ 1 Summing Amp Circuit

วัตถุประสงค์

1. ประกอบวงจรขยายผลรวม (Summing Amp) แบบกลับเฟสและแบบไม่กลับเฟสได้ถูกต้อง
2. อธิบายการทำงานของวงจรขยายผลรวม แบบกลับเฟสและแบบไม่กลับเฟสได้
3. สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต เมื่อสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงได้
4. สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต เมื่อความต้านทาน R_1 เปลี่ยนแปลงได้

ทฤษฎี

1. วงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส (Inverting Summing Amplifier)



รูปที่ 1-1

จากวงจรรูปที่ 1-1 จะเห็นได้ว่า $I_i = I_1 + I_2$

และ $I_i = I_f$

ดังนั้น $I_2 + I_1 = I_f$

$$I_1 = V_1 / R_{i1}$$

$$I_2 = V_2 / R_{i2}$$

$$I_f = -V_o / R_f$$

$$-V_o / R_f = V_1 / R_{i1} + V_2 / R_{i2}$$

$$V_o = -\left[(R_f / R_{i1})V_1 + (R_f / R_{i2})V_2\right]$$

ถ้าให้ $R_{i1} = R_{i2} = R_i$

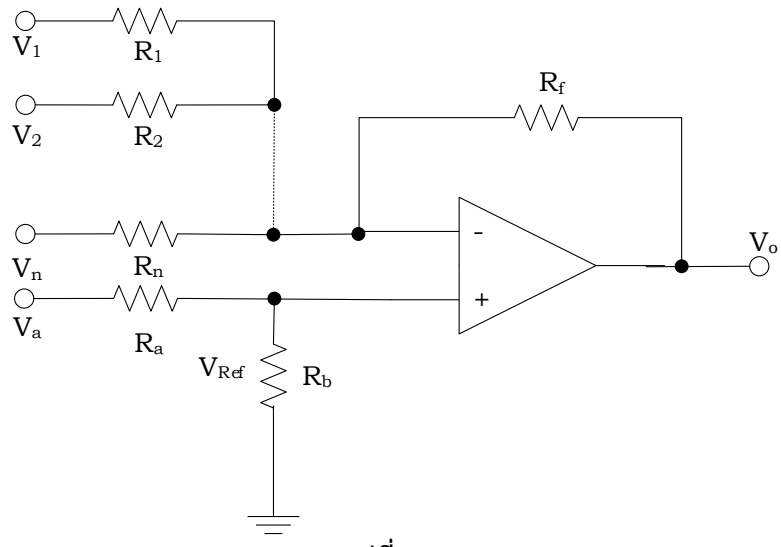
$$V_o = -(R_f / R_i)(V_1 + V_2)$$

และถ้าให้

$R_f = R_i$

$$V_o = -(V_1 + V_2)$$

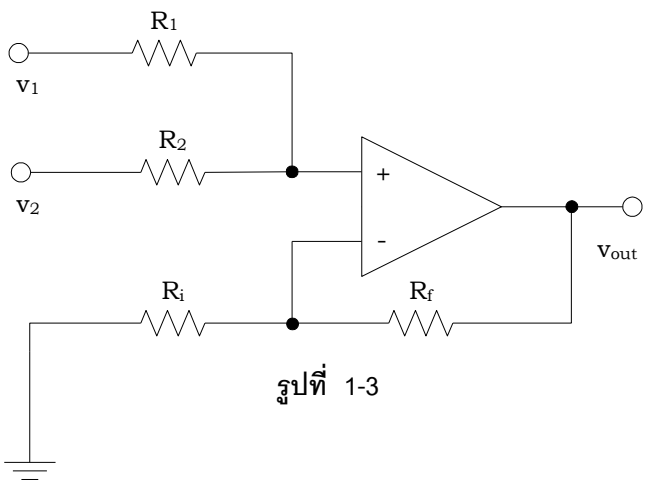
วงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส นี้ เป็นหลักการเบื้องต้นของวงจร Digital to Analogue Converter (DAC) เนื่องจาก เมื่อกำหนดให้แรงดันอินพุตแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน เสมือนเป็นลอจิก “1” และ R ที่ต่ออยู่กับอินพุตนั้นๆเป็นค่าประจำหลัก ก็จะทำให้ได้ค่า V_O เป็นผลรวมของค่าเลขฐานสองแต่ละบิต ดังรูป



รูปที่ 1-2

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_1 - \left(\frac{R_f}{R_2}\right)V_2 - \cdots - \left(\frac{R_f}{R_n}\right)V_n + \left(\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}\right)\left[\frac{R_b R_f}{R_b + R_n}\right]V_a$$

2. วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Summing Amplifier)



รูปที่ 1-3

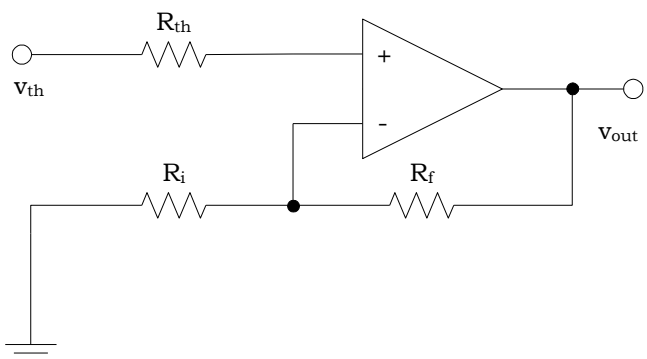
จากวงจรรูปที่ 1-3 จะเห็นได้ว่า $V_o = V_i(1 + R_f / R_i)$.....(1)

วิธีหา V_{th} กำหนดให้ $R_1 = R_2 = R$

จาก Thevenin theorem $R_{th} = R_1 // R_2 = R/2$

จาก Superposition theorem $V_{th} = (V_1 + V_2)/2$.....(2)

จากสมการ (1) และ (2) สามารถเขียนเป็นวงจรใหม่ได้ดังนี้



รูปที่ 1-4

เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสมีค่าสูงมาก ๆ

ดังนั้น $V_{th} = V_i$.....(3)

จากสมการ (1),(2) และ (3) สามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$V_o = (1 + R_f / R_i)[(V_1 + V_2)/2]$$

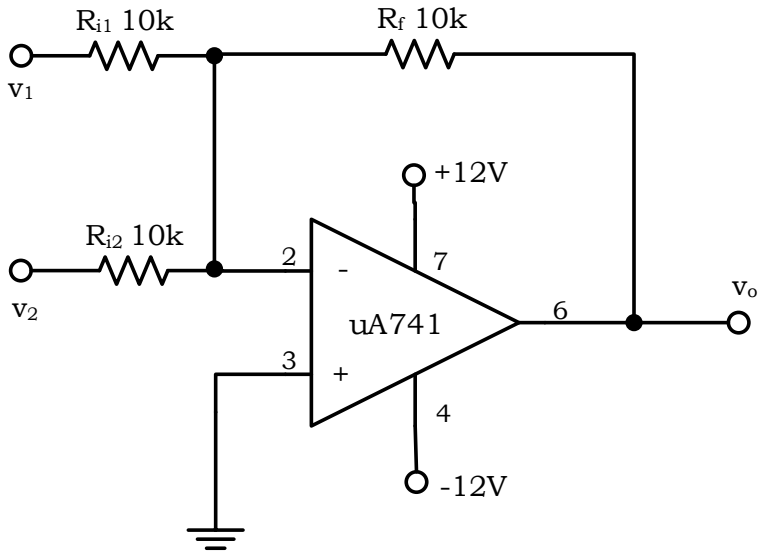
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. IC Op-Amp เบอร์ uA741
4. ความต้านทานที่ใช้งาน $5k\Omega, 10k\Omega \times 4$
5. สายต่อวงจร 1 ชุด

การทดลองตอนที่ 1 วงจรขยายผลรวม

- วงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส (Inverting Summing Amplifier)

1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 1-5 ที่กำหนดให้ (ยังไม่มี R_L)



รูปที่ 1-5

1.2 ป้อนแรงดัน $V_2 = +5$ โวลต์ และปรับแรงดัน V_1 Square wave ความถี่ 20 Hz โดย Amplitude เปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 1-1 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันเอาต์พุต เลือกวัดไฟ DC แล้วบันทึกผลการทดลอง V_o ลงในตารางที่ 1-1

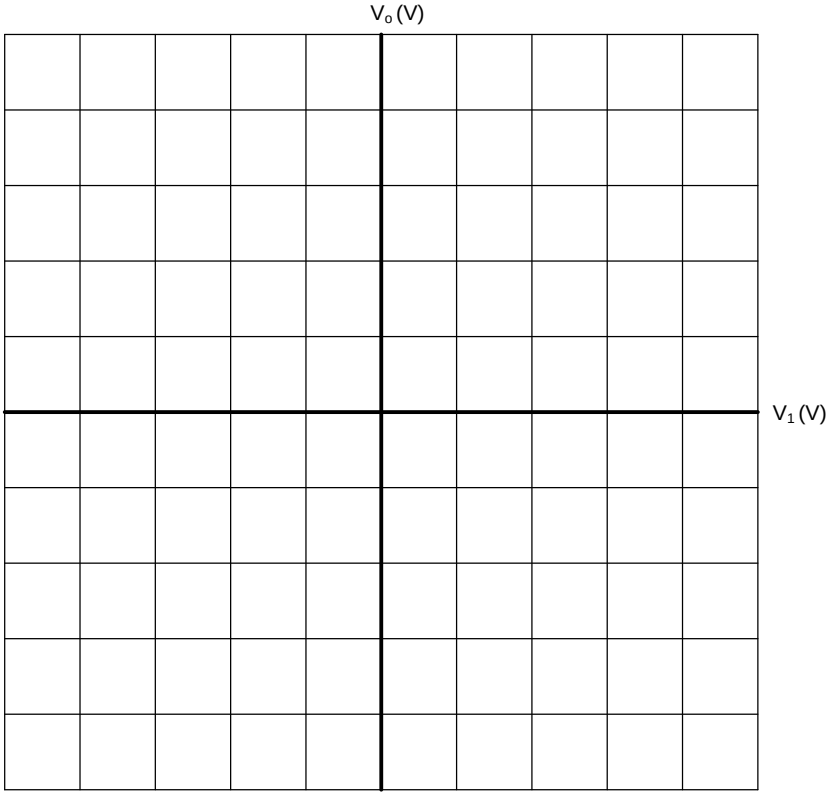
ตารางที่ 1-1

	V_1 (Vp)	-10	-8	-6	-2	0	+2	+6	+8	+10
$V_2 = +5V$	V_o (Vp)									
$V_2 = 0V$	V_o (Vp)									
$V_2 = -5V$	V_o (Vp)									

1.3 เปลี่ยนแรงดัน V_2 เป็น 0 โวลต์ และปรับแรงดัน V_1 เปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 1-1 อีกครั้ง แล้วบันทึกผลการทดลอง V_o ลงในตารางที่ 1-1

1.4 เปลี่ยนแรงดัน V_2 อีกเป็น -5 โวลต์ และปรับแรงดัน V_1 เปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 1-1 อีกครั้ง แล้วบันทึกผลการทดลอง V_o ลงในตารางที่ 1-1

1.5 จากการทดลอง V_o ในตารางที่ 1-1 นำมาเขียนกราฟ V_o ในฟังก์ชั่นของ V_1 เมื่อ V_2 =+5 ,0 และ -5V ลงในตารางกราฟรูปที่ 1-1



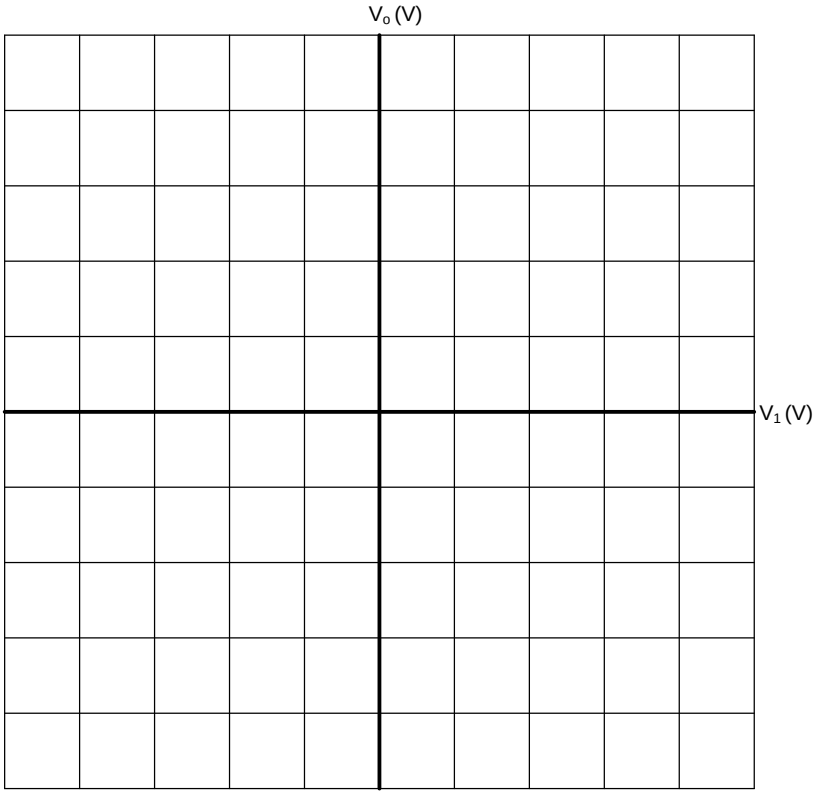
ตารางกราฟรูปที่ 1-1

1.6 ให้เปลี่ยน R_{i1} มีค่าเท่ากับ 5 k ทดลองซ้ำข้อ 1.1 ถึง 1.5 และบันทึกผลการทดลอง V_o ลงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2

	V_1 (Vp)	-10	-8	-6	-2	0	+2	+6	+8	+10
$V_2 = +5V$	V_o (Vp)									
$V_2 = 0V$	V_o (Vp)									
$V_2 = -5V$	V_o (Vp)									

1.7 จากผลการทดลอง V_o ในตารางที่ 1-2 นำมาเขียนกราฟ V_o ในฟังก์ชั่นของ V_1 เมื่อ $V_2 = +5$ และ $-5V$ ลงในตารางกราฟที่ 1-2

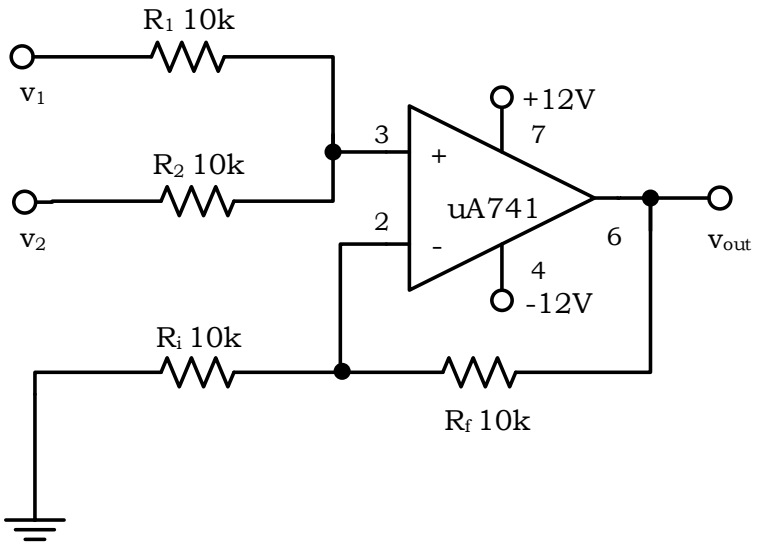


ตารางกราฟที่ 1-2

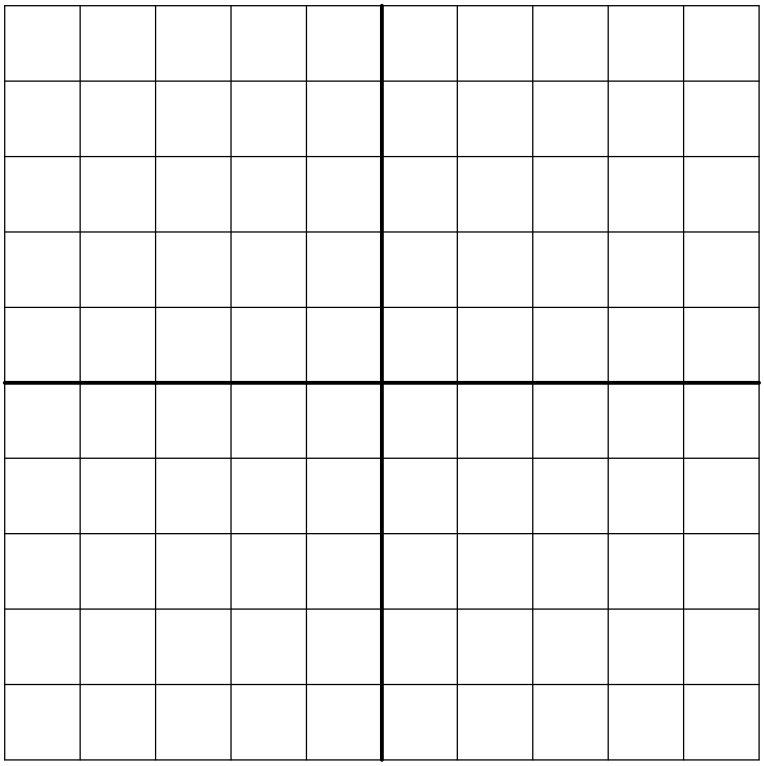
- วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Summing Amplifier)

1.8 ต่อวงจรตามรูปที่ 1-4 ป้อนสัญญาณอินพุต V_1 รูปคลื่น Sine Wave ให้ได้ความถี่ 1kH_Z ขนาด $4V_{P-P}$ และ V_2 = 2.5 V

1.9 ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณอินพุต V_1 และเอาต์พุต V_{out} เปรียบเทียบกัน ตั้ง Oscilloscope ให้เห็นรูปกราฟได้อย่างเหมาะสม เลือกวัดไฟ DC แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟที่ 1-3 และบันทึกผลค่าสูงสุด



รูปที่ 1-4



V_1 CH1 ..... V/Div.

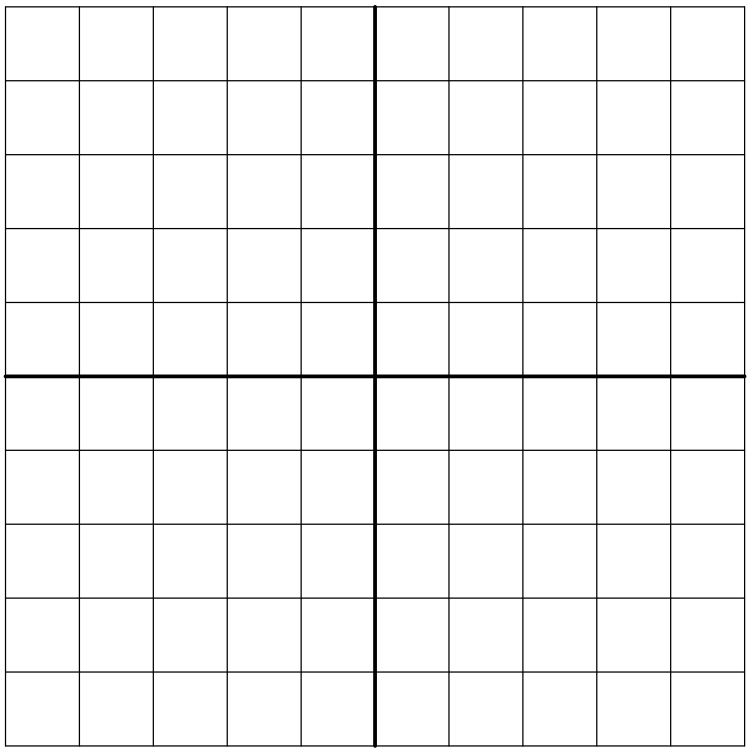
V_{out} CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 1-3

วัดค่า V_{out} Peak =……V

1.10 ทดลองซ้ำข้อ 1.8 ถึง 1.9 แต่เปลี่ยน R_i ให้มีค่าเท่ากับ 5K แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 1-4 และบันทึกผลค่าสูงสุด



V_1 CH1 ..... V/Div.

V_{out} CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 1-4

วัดค่า V_{out} Peak =……V

คำถามท้ายการทดลอง

1. เปรียบเทียบผลที่ได้จาก ตารางที่ 1-1 กับตารางที่ 1-2 และอธิบายสาเหตุของความแตกต่าง

.....

.....

.....

2. เปรียบเทียบรูปคลื่น V_{out} ที่ได้จากข้อ 1.8 และข้อ 1.10 และอธิบายสาเหตุของความแตกต่าง

.....

.....

.....

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2 Integrator Circuit

วัตถุประสงค์

1. ประกอบวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator circuit) โดยใช้ Op-Amp ได้ถูกต้อง

2. อธิบายการทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator circuit) โดยใช้ Op-Amp ได้สามารถวัดและคำนวณหาขนาดรูปคลื่นของ V_i และ V_o ได้ถูกต้อง

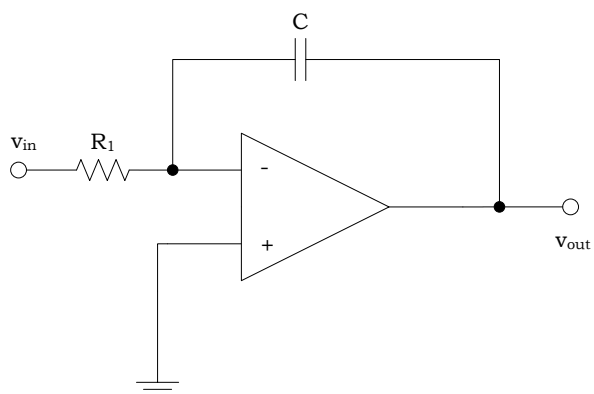
3. สามารถวัดและคำนวณหาขนาดรูปคลื่นแรงดันของ V_i และ V_o ได้ถูกต้อง

ทฤษฎี

Op-Amp Integrator circuit คือวงจรใช้ไอซีออปแอมป์สร้างเป็นวงจร Integrator สัญญาณแรงดันอินพุตที่เข้ามาแสดงดังรูปที่ 2-1 โดยมี R_1 เป็น Input Element และมี C เป็น Feedback Element วงจรจะต่อกลับกันกับวงจร Differentiator

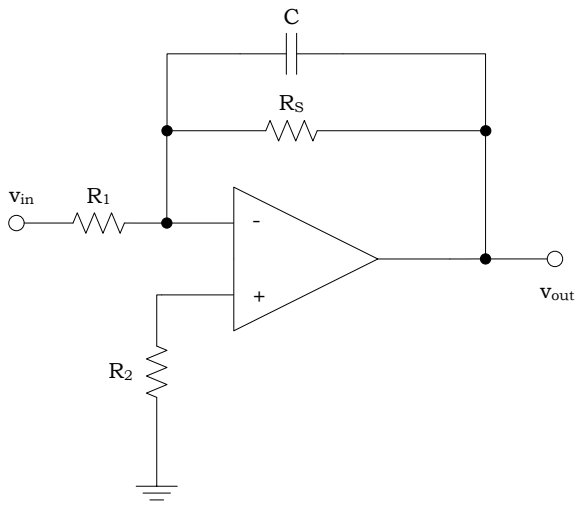
สมการของแรงดันขาออกจะเป็นไปตามสมการของการ Integrator สัญญาณแรงดันขาเข้า

$$v_o(t) = -(1/R_1.C)\int v_i(t)dt \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$



รูปที่ 2-1 วงจรอินทิเกรเตอร์

ความสัมพันธ์ของความถี่สัญญาณขาเข้าก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออกเช่นกันจึงต้องใช้ R_s ต่อขนานกับ C เพื่อจำกัด (Low Frequency Resistor) เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง แล้วอาจเพิ่ม R_2 เข้าที่ขา Non-Inv ก็ได้ เพื่อลด V_{oi} (input offset) แสดงดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 วงจรอินทิเกรเตอร์ที่สมบูรณ์แบบ

การทำงาน ถ้า f > f_c วงจรทำงานเป็น Integrator จะได้ $v_o(t) = -(1/R_1C)\int v_i(t)dt$

และ ถ้า f < f_c วงจรทำงานเป็น Inverting Amp จะได้ $A_v = R_s / R_1$

เมื่อ $f_c = 1/(2\pi R_s C)$ และ $R_2 = R_1 // R_s$

ค่ากำหนดทั่วไป มักให้ $R_s \approx 10R_1$ โดยที่ค่าคาบเวลาของสัญญาณเข้า $T \cong R_s C$

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. IC OP-AMP เบอร์ uA741
4. ความต้านทานที่ใช้งานค่า $10k\Omega x3, 100k\Omega$
5. คาปาซิเตอร์ที่ใช้งานค่า $0.0022\,\mu F$
6. สายต่อวงจร 1 ชุด

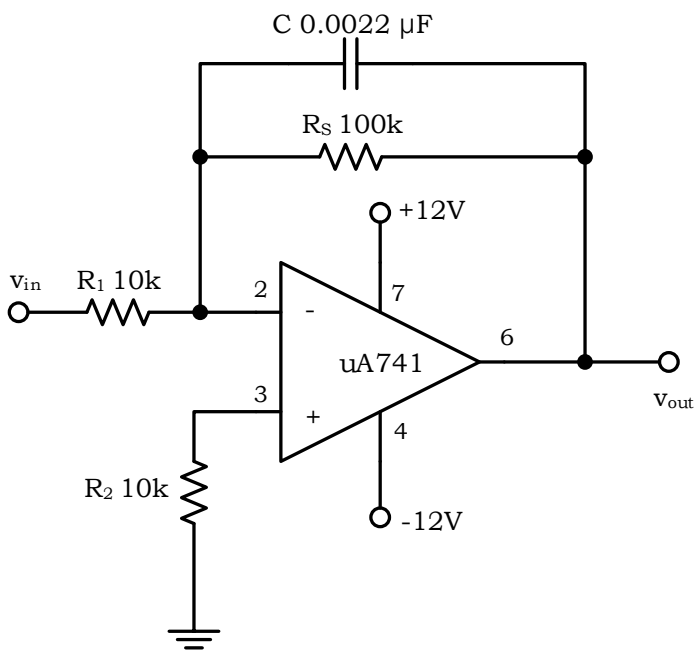
การทดลองตอนที่ 2 Integrator Circuit

สูตรคำนวณเบื้องต้น

1. $v_i(t) = V_{i(peak)} \sin \omega t$
2. Output Voltage: $v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C}\int_0^t v_i(t)dt$
3. Low Frequency Response: $f_c = \frac{1}{2\pi R_s C}$
4. เมื่อ f < f_c วงจรจะทำงานคล้ายกับ Inverting Amp โดยมี $A_v = -\frac{R_s}{R_1}$

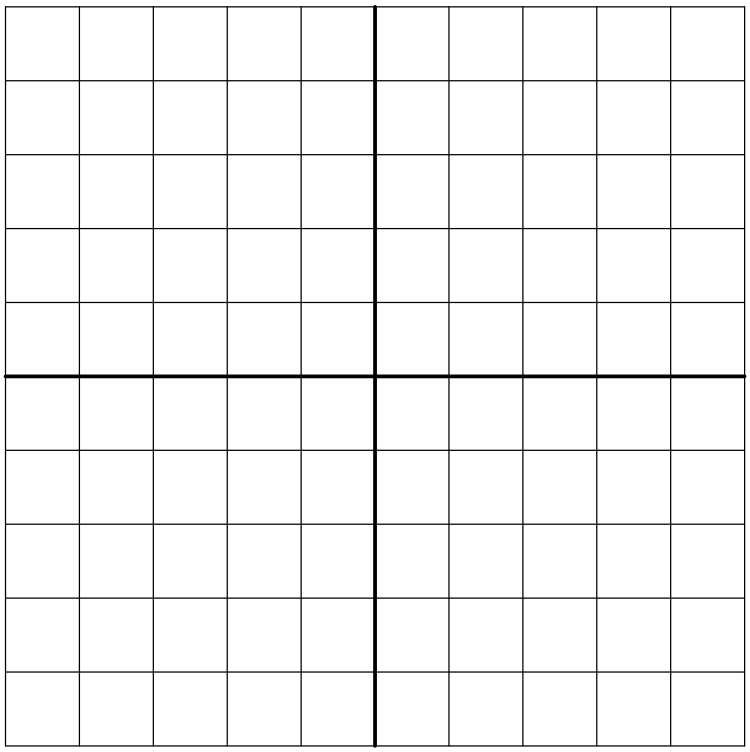
   f > f_c วงจรจะทำงานเป็น Integrator
5. $R_2 = (R_1 - R_s)/(R_1 + R_s)$

2.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 2-3 ตั้งออสซิลโลสโคปให้เห็นรูปกราฟได้อย่างเหมาะสม เลือกดูสัญญาณ AC



รูปที่ 2-3 Integrator Circuit

2.2 ป้อนสัญญาณอินพุตรูปคลื่น Square Wave ความถี่ 10kHz ขนาด 1 V_{pp} ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเปรียบเทียบกัน แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 2-1 แล้วบันทึกผล



V_{in} CH1 ..... V/Div.

V_{out} CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 2-1

2.3 วัดค่า V_{out} V_{out} =……... V_{p-p}

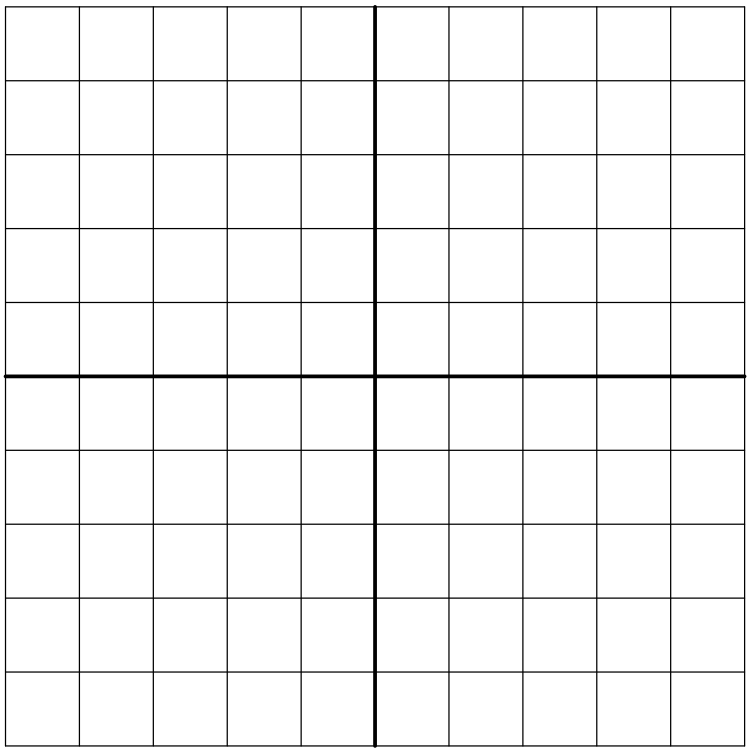
2.4 วัดช่วงเวลาของสัญญาณเอาต์พุต t_1 =..... μs, t_2 =..... μs (ดูรูปที่ 3-4)

2.5 คำนวณ Output Voltage จากสมการ $v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C}\int_0^t v_i(t)dt$ =……

2.6 เปรียบเทียบกราฟที่วัดได้กับสมการที่คำนวณได้ในข้อ 2.5 ว่าแตกต่างกันอย่างไร

……

2.7 ทดลองใหม่ตั้งแต่ข้อ 2.2 ถึงข้อ 2.6 โดยเปลี่ยนความถี่อินพุตให้มีค่าเท่ากับ 4kHz ตั้งออสซิลโลสโคปให้เห็นรูปกราฟได้อย่างเหมาะสม เลือกดูสัญญาณ AC แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 2-2 และบันทึกผลค่า V_{pp}



V_{in} CH1 ..... V/Div.

V_{out} CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 2-2

2.8 วัดค่า V_{out} V_o = ...V_{P-P}

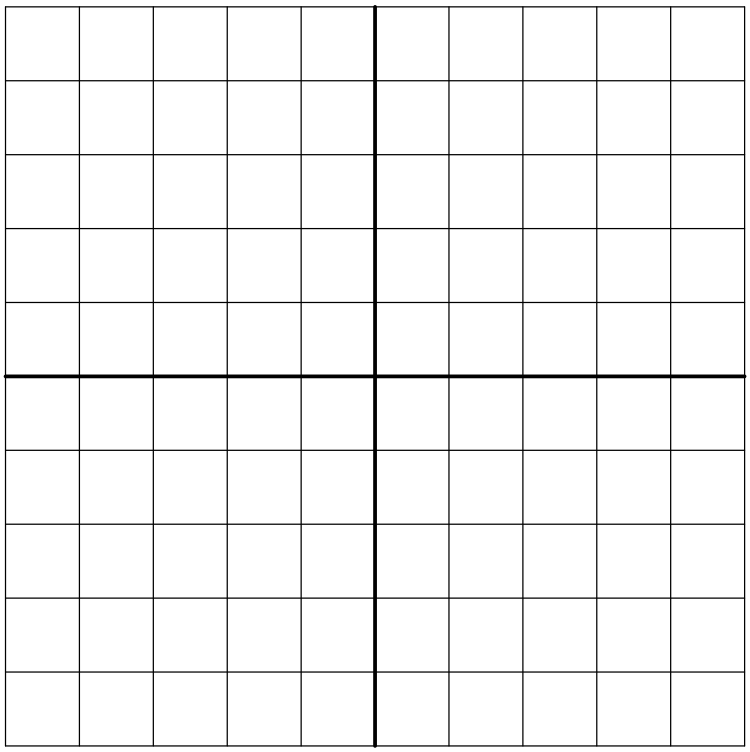
2.9 วัดช่วงเวลาของสัญญาณเอาต์พุต t_1 =..... μs, t_2 =..... μs

2.10 คำนวณค่า Output Voltage จากสมการ $v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C}\int_0^t v_i(t)dt$ =……

2.11 เปรียบเทียบกราฟที่วัดได้กับสมการที่คำนวณได้ในข้อ 2.10 ว่าแตกต่างกันอย่างไร

……

2.12 ทดลองใหม่ตั้งแต่ข้อ 2.2 ถึงข้อ 2.6 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนความถี่อินพุตให้มีค่าเท่ากับ 200 Hz ตั้งออสซิลโลสโคป ให้เห็นรูปกราฟได้อย่างเหมาะสม เลือกดูสัญญาณ AC แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 2-3 และบันทึกผลค่า V_{pp}



V_{in} CH1 ..... V/Div.

V_{out} CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 2-3

2.12 วัดค่า V_{out} V_{out} =……. V_{pp}

2.13 วัดช่วงเวลาของสัญญาณเอาต์พุต T =..... μs

2.14 หาค่า Voltage Gain จาก $A_v = -\frac{R_s}{R_1} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

และ $A_v = -\frac{V_o}{V_i} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

2.15 คำนวณค่า Output Voltage จากสมการ $V_o = -A_v V_i = -\frac{R_s}{R_1} V_i = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots V_{pp}$

2.16 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้ในข้อ 2.15 ว่าแตกต่างกันอย่างไร

……

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากผลการทดลองในข้อ 2.2 ข้อ 2.7 และ ข้อ 2.12 เพราะเหตุใดรูปคลื่น V_{out} จึงมีความแตกต่างกัน

……

……

……

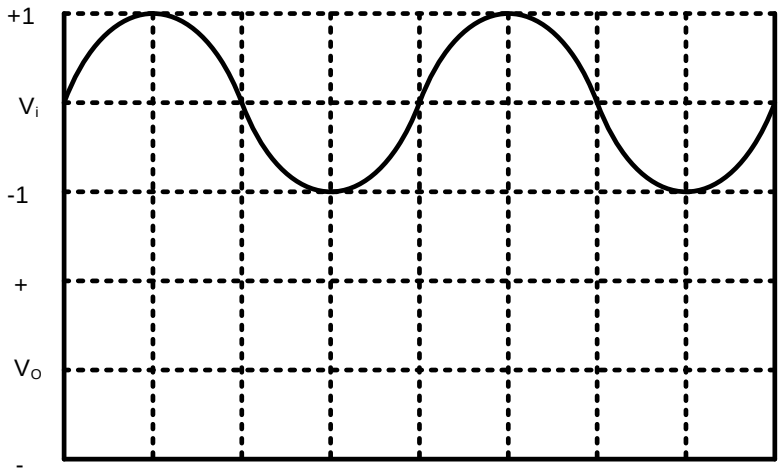
2. ค่าความต้านทาน R_2 ในวงจรการทดลองรูปที่ 2-3 มีผลเป็นอย่างไร จงอธิบายมาพอเข้าใจ

.....

.....

.....

3. ถ้าป้อนรูปคลื่น Sine Wave ความถี่ 300Hz ขนาด 1 V_{pp} เข้าที่อินพุตของวงจรการทดลองรูปที่ 2-3 จงเขียนรูปคลื่น V_o ลงในตารางกราฟต่อไปนี้ (ไม่ต้องทำการทดลอง)



สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

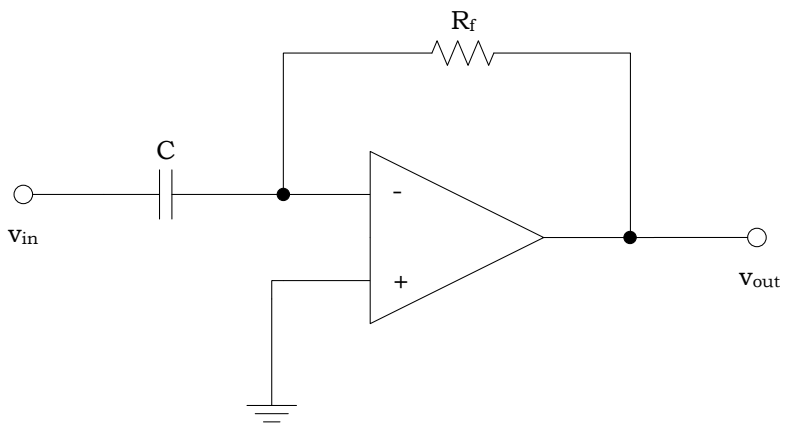
ตอนที่ 3 Differentiator Circuit

วัตถุประสงค์

1. ประกอบวงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ (Differentiator Circuit) โดยใช้ Op-Amp ได้ถูกต้อง
2. อธิบายการทำงานของวงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ โดยใช้ Op-Amp ได้
3. สามารถวัดรูปคลื่นแรงดันของ V_i และ V_o ได้ถูกต้อง
4. สามารถคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดัน A_v ของวงจรได้ถูกต้อง

ทฤษฎี

Op-Amp Differentiator Circuit คือวงจรใช้ไอซีออปแอมป์สร้างเป็นตัว Differentiator สัญญาณใดๆ ก็ได้ แสดงดังรูปที่ 3-1 โดยมี C เป็น Input Element และมี R_1 เป็น Feedback Element



รูปที่ 3-1 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ เบื้องต้น

สมการของแรงดันขาออก คือ $V_o = -R_f C(\Delta V_i / \Delta T)$.....(1)

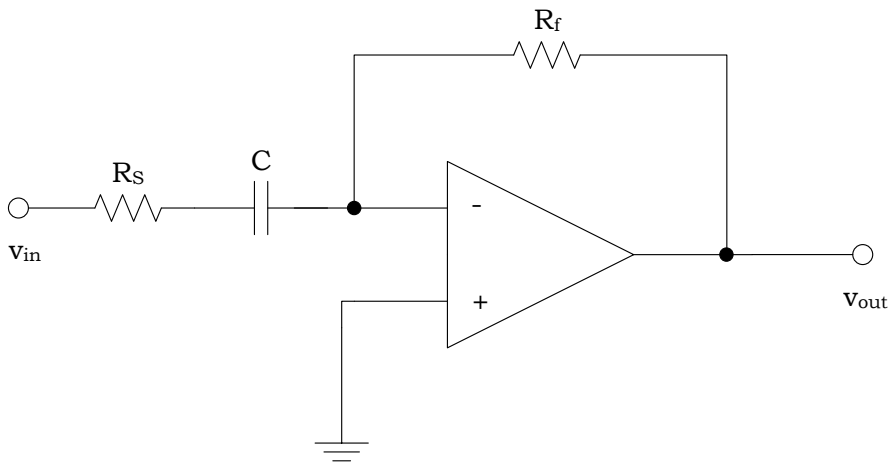
ซึ่งเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า $v_o(t) = -R_f C\left(\frac{dv_i(t)}{dt}\right)$.....(2)

จะพบว่า เมื่อใช้ C เป็น Input Element จะมีผลต่อความถี่ของสัญญาณขาเข้า เพราะค่า X_c นั้นเปลี่ยนแปลงตามความถี่ดังสมการ $X_c = 1/(2\pi fC)$

เมื่อ f = ความถี่ของสัญญาณขาเข้า (Hz)

C = ค่าของตัวเก็บประจุ (F)

ถ้าเราพิจารณาวงจร Differentiator จะเห็นว่า X_c คล้ายกับความต้านทาน R_1 ของวงจร Inverting Amplifier ถ้าเปลี่ยนแปลงไปจะเป็นผลให้ สัญญาณขาออก (V_o) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในทางปฏิบัติจึงใช้ความต้านทาน R_s ต่ออนุกรมกัน C เป็น Input Element เพื่อจำกัดผลการเปลี่ยนแปลงของความถี่สูง (High Frequency Gain) ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 วงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ที่สมบูรณ์แบบ

จากสมการ $X_c = 1/(2\pi fC)$ เมื่อเพิ่มค่า R_s เข้าไปแล้ว ค่าของ $X_c \cong R_s$ ดังนั้นความถี่อินพุตของวงจร (fc) จึงมีค่าเท่ากับ $f_c = 1/(2\pi R_s C)$.....(3)

นั่นคือความถี่ของสัญญาณขาเข้า จะมีค่าได้ไม่เกิน f_c วงจรจึงทำงานเป็นตัว Differentiate ได้ แต่ถ้าความถี่ของสัญญาณขาเข้ามีค่ามากกว่า f_c วงจรจึงจะทำงานเป็น Inverting Amp ซึ่งมี Voltage Gain

$$A_v = -R_f / R_s$$

สรุป ถ้า f < fc วงจรทำงานเป็น Differentiator จะได้ $v_o(t) = -R_f C\left(\frac{dv_i(t)}{dt}\right)$

และ ถ้า f > fc วงจรทำงานเป็น Inverting Amp จะได้ $A_v = -R_f / R_s$

กรณีสัญญาณเข้ามาเป็น Sine Wave

สมการของสัญญาณ Sine Wave จะได้ $v_i(t) = V_p \sin(\omega t)$.....(4)

เมื่อ $V_p =$ Peak Voltage

$\omega =$ ความเร็วเชิงมุม (rad/s) $= 2\pi f$

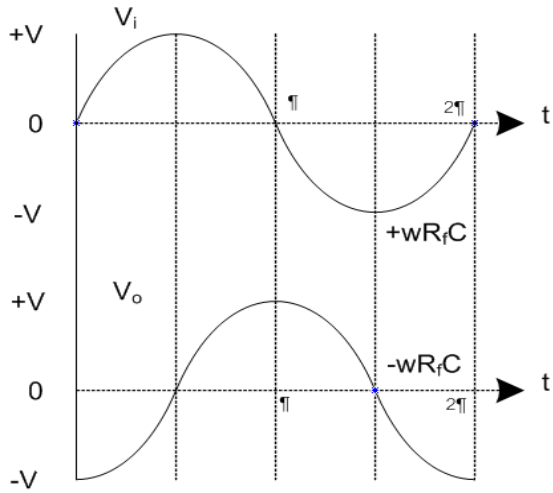
จากสมการที่ (2) $v_o(t) = -R_f C\left(\frac{dv_i(t)}{dt}\right)$.....(5)

แทนค่า (5) ลงใน (2) จะเห็นได้ว่า V_o นั้นเปลี่ยนแปลงไปตาม V_{in}

$$v_o(t) = -R_f C \frac{d}{dt}\left[V_p \sin(\omega t)\right]$$

$$v_o(t) = -\omega R_f C V_p \cos(\omega t)$$.....(5)

จะเห็นได้ว่าถ้าป้อนสัญญาณขาเข้าเป็น Sine Wave สัญญาณขาออกเป็น Function ของ Cos นั้นคือ จะมีเฟสของแรงดันล้าหลังสัญญาณขาข้า 90 องศา แสดงดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 เปรียบเทียบสัญญาณขาเข้ากับขาออกของวงจร Differentiator
เมื่อ Input **เป็น** Sine, Output **เป็น** Cosine

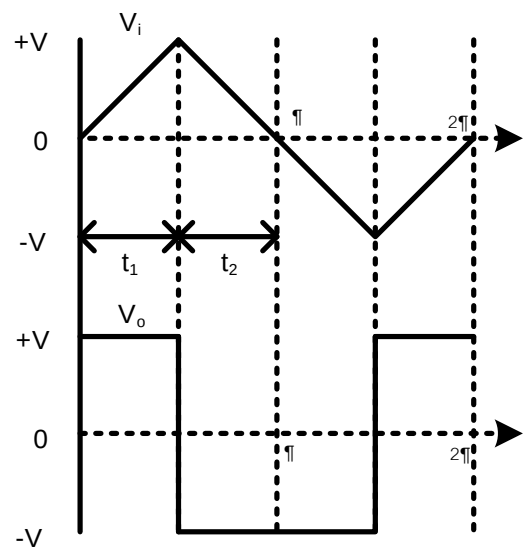
กรณีสัญญาณเข้ามาเป็น Triangle wave ($t_1 = t_2$) ดังรูปที่ 3-4

ความถี่ของสัญญาณ Triangle

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{T} \text{.....} \text{.....} \text{.....} \text{.....} (7)$$

ดังนั้นขนาดของแรงดันเอาต์พุตสูงสุดคือ $V_o(peak)$

$$V_{o(peak)} = \pm R_f C \frac{2V_p}{t_1} \text{.....} (8)$$



รูปที่ 3-4 เปรียบเทียบสัญญาณขาเข้ากับขาออกของวงจร Differentiator
เมื่อ Input **เป็น** Triangle, Output **เป็น** Square

เครื่องมือและอุปกรณ์อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. IC OP-AMP เบอร์ 741
4. ความต้านทานที่ใช้งานค่า $2.2\text{k}\Omega, 22\text{k}\Omega$
5. คาปาซิเตอร์ที่ใช้งานค่า $0.0047\,\mu F$
6. สายต่อวงจร 1 ชุด

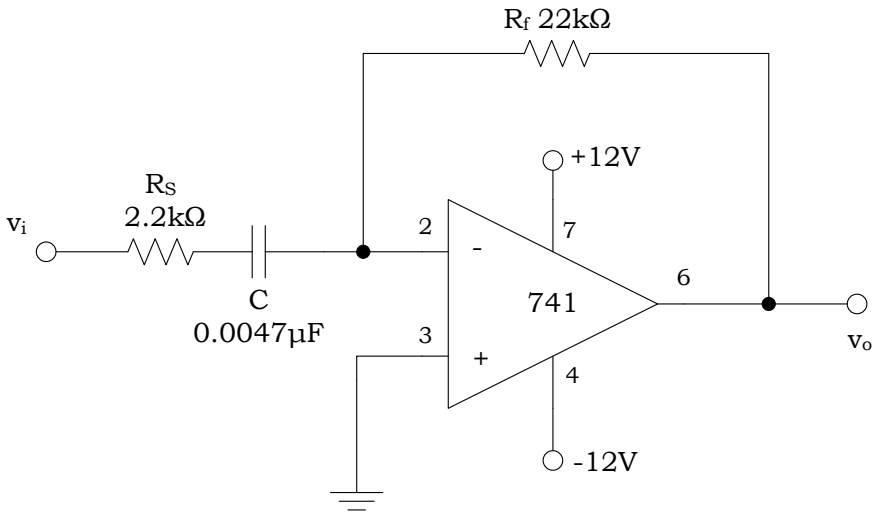
การทดลองตอนที่ 3 Differentiator Circuit

สูตรคำนวณเบื้องต้น

1. Output Voltage: $v_o(t) = -R_f C \dfrac{dv_i(t)}{dt}$
2. Low Frequency Response: $f_c = \dfrac{1}{2\pi R_s C}$
3. เมื่อ f < f_c วงจรจะทำงานเป็น Ddifferentiator

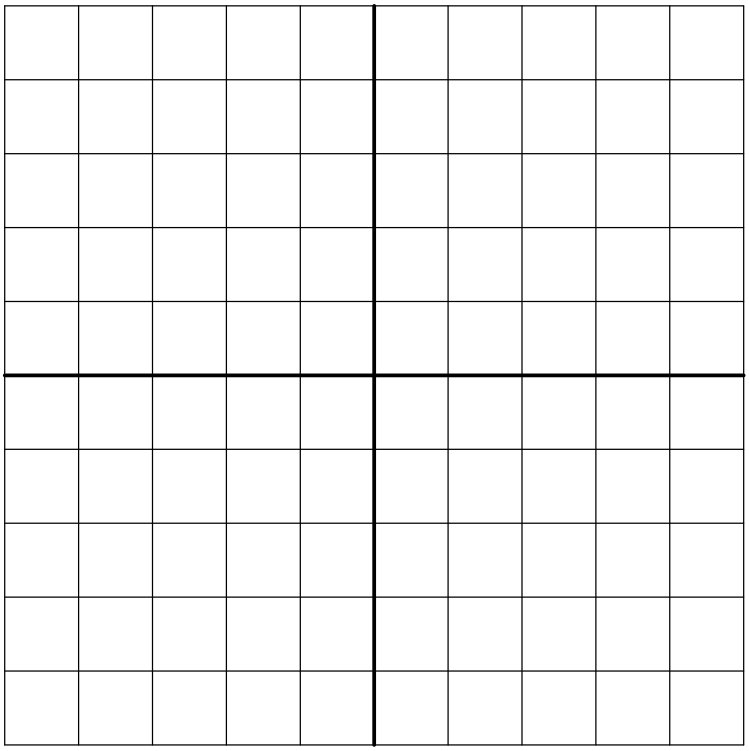
   f > f_c วงจรจะทำงานคล้ายกับ Inverting Amp โดยมี $A_v = \dfrac{-R_f}{R_s}$

3.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 3-5 ตั้งออสซิลโลสโคปให้เห็นรูปกราฟได้อย่างเหมาะสม เลือกดูสัญญาณ AC



รูปที่ 3-5 Differentiator Circuit

4.2 ป้อนสัญญาณอินพุตรูปคลื่น Triangle Wave ให้ได้ความถี่ 400Hz ขนาด 1 V_{pp} ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเปรียบเทียบกัน เลือกดูสัญญาณ AC แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 3-1



V_i CH1 ..... V/Div.

V_o CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 3-1

3.3 วัดค่า v_o ได้ =……... V_{p-p}

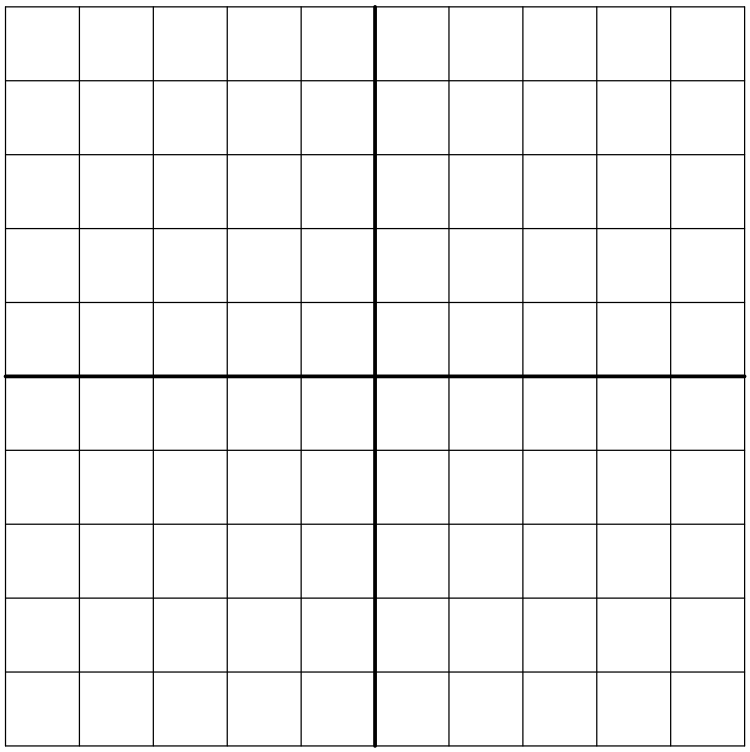
3.4 คำนวณค่า Output Voltage จากสมการ $V_{o(peak)} = \pm R_f C \frac{2V_p}{t_1}$

$$V_{o(peak)} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

3.5 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้ว่าแตกต่างกันอย่างไร……

……..

3.6 ทดลองใหม่ตั้งแต่ข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.5 เปลี่ยนความถี่อินพุตให้มีค่าเท่ากับ 1kHz ตั้งให้เห็นรูปกราฟได้อย่างเหมาะสม เลือกดูสัญญาณ AC แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 3-2 และบันทึกผล



V_i CH1 ..... V/Div.

V_o CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 3-2

ดังนั้น ได้ V_o =…… V_{P-P}

3.7 วัดช่วงเวลาของสัญญาณเอาต์พุต t_1 = ……..ms และ t_2 =……ms

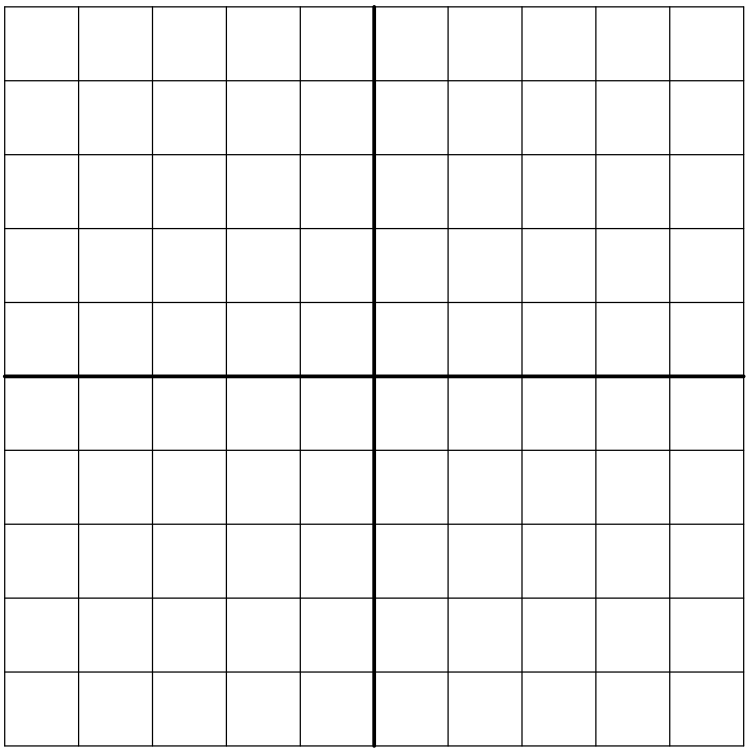
3.8 คำนวณค่า Output Voltage จากสมการ $V_{o(peak)} = \pm R_f C \frac{2V_p}{t_1}$

3.9 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าคำนวณว่าแตกต่างกันอย่างไร

.....

.....

3.10 ทดลองใหม่ตั้งแต่ข้อ 3.1 ถึง ข้อ 3.5 อีกครั้ง เปลี่ยนความถี่อินพุตให้มีค่าเท่ากับ 20 kHz ตั้งออสซิลโลสโคปให้เห็นรูปกราฟได้อย่างเหมาะสม เลือกดูสัญญาณ AC แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 3-3



V_i CH1 ..... V/Div.

V_o CH2 ..... V/Div.

Time Base……. s/Div

ตารางกราฟรูปที่ 3-3

ดังนั้น ได้ v_o =……V_{P-P}

3.11. วัดช่วงเวลาของสัญญาณเอาต์พุต t_1 =……..ms และ t_2 =…….ms

3.12. คำนวณค่า Output Voltage จากสมการ $V_{o(peak)} = \pm R_f C \frac{2V_p}{t_1}$

3.13. หาค่า Voltage Gain จาก $A_v = -\frac{R_f}{R_s}$ = ……

และ $A_v = \frac{v_o}{v_i}$ = ……

3.15 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้ ($A_v = \frac{v_o}{v_i}$) กับค่าคำนวณ ($A_v = -\frac{R_f}{R_s}$) ว่าแตกต่างกันอย่างไร

……

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากวงจรรูปที่ 3-5 ค่าความถี่ f_c มีค่าเท่าไร จงแสดงวิธีการคำนวณ โดยละเอียด

……

……

……

2. ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ f_c ของวงจรจะทำอย่างไร จงอธิบายพอเข้าใจ

.....

.....

.....

3. จากการทดลองในข้อ 3.10 เพราะเหตุใดเมื่อป้อนแรงดัน V_i เป็น Triangle Wave จึงไม่ได้แรงดัน V_0 เป็น Square Wave เหมือนกับการทดลองในข้อ 3.6 จงให้เหตุผลตามสมควร

.....

.....

.....

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....