

ใบงานประกอบการทดลอง เรื่อง วงจรกรองสัญญาณ

ชื่อ นามสกุล สันติชัย เลิศรัตน์จิตร์ รหัสนิสิต 6430043371 ตอนเรียนที่ 1 กลุ่มที่ 8

ชื่อ นามสกุล น้ำฝน ศรีภานัน รหัสนิสิต 6430043521

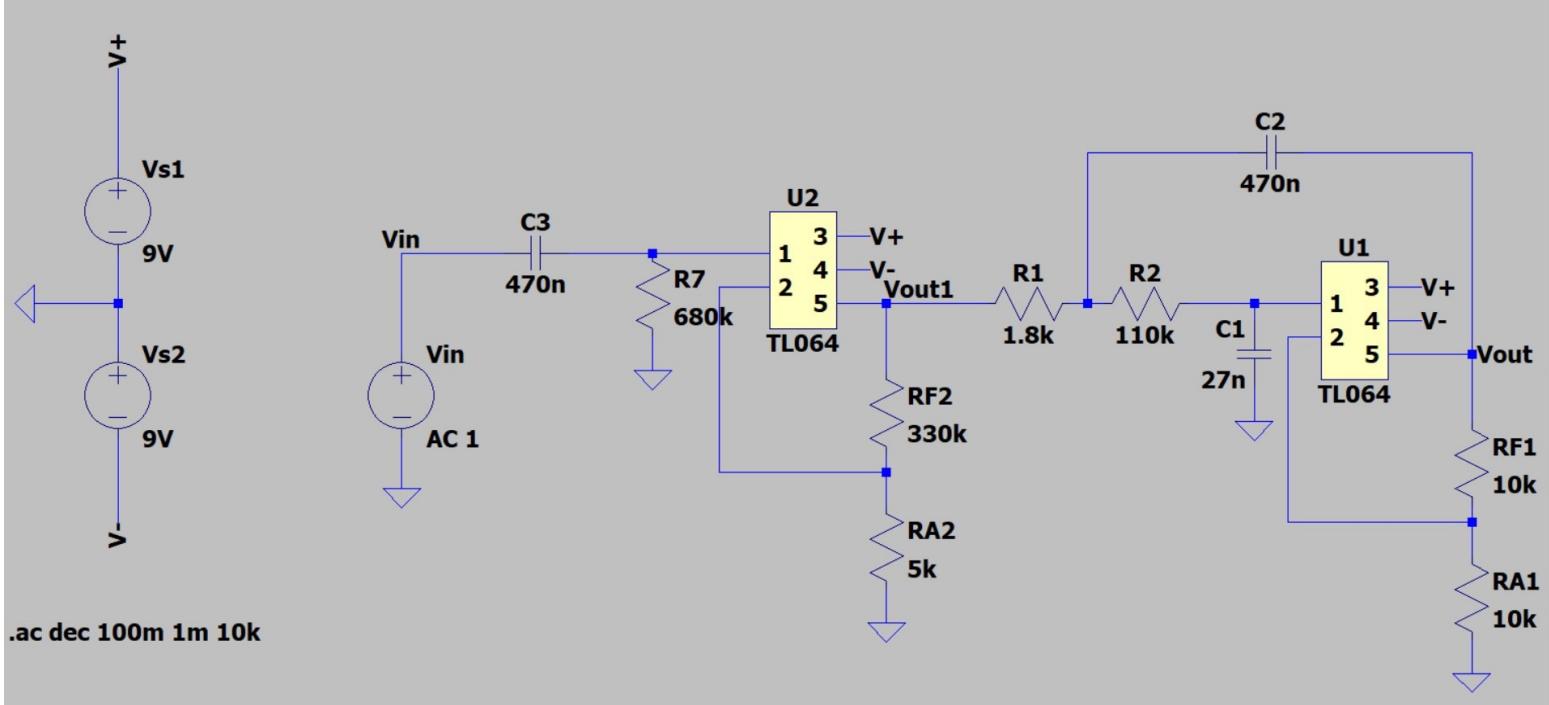
ชื่อ นามสกุล ฤทธา บูรา รหัสนิสิต 6430036121

ลายเซ็นอาจารย์ผู้ตรวจ ดล

สิ่งที่ต้องส่ง

รูปวงจร (Schematic diagram) ของวงจรกรองผ่านແບບ

ระบุค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ใช้ต่อวงจรจริงทุกดัว

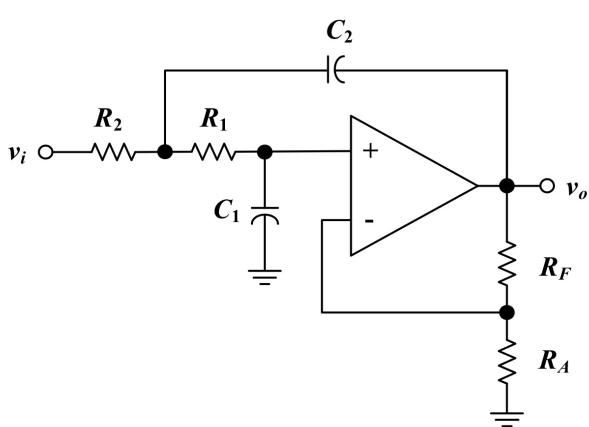


คำอธิบายวงจร (วงจรประกอบด้วยวงจรย่ออย่างไรบ้าง และการคำนวณของอัตราขยาย และวิธีการออกแบบมาพอเข้าใจ)

อุตสาหกรรมใช้เครื่องขยายเสียงที่ 160 เท่า และความถี่แอนด์คูม่าที่ 0.5 - 100 Hz ทำให้เป็น High pass filter 1st order
และอนุรักษ์สัญญาณ Low pass filter 2nd order

เมื่อวันนี้ High pass filter จะมี特性ดังนี้ HA: low pass filter จะมี特性ดังนี้

ค่าคงที่ของวงจรผ่านสัญญาณ (gain : 2 , BW = 100 Hz)



ค่าคงที่ของวงจรผ่านสัญญาณ

$$A(0) = 1 + \frac{R_F}{R_A} \quad \text{โดย } R_F = 10 \text{ k}\Omega \text{ และ } R_A = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\omega_c = 2\pi(100) = 200\pi \text{ rad/s} = 628.3185 \text{ rad/s}$$

ค่าคงที่ของวงจรผ่านสัญญาณ

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \rightarrow R_1 R_2 C_1 C_2 = 2.5330 \times 10^{-6} \quad \text{--- (1)}$$

$$(s^2 + 2\zeta s + 1) \quad \text{โดย } \zeta = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{และ } R_1 + R_2 = \frac{R_F}{R_A} R_2 C_1 \quad \text{โดย } R_F = 10 \text{ k}\Omega \quad \text{--- (2)}$$

$$\text{เลือก } C_1 \text{ ขนาด } 27 \text{ nF} \quad \text{และ } C_2 \text{ ขนาด } 470 \text{ nF} \quad \text{แทน入 (1) ให้ } (R_1 + R_2) C_1 = \frac{R_F}{R_A} R_2 C_2 = 2.2607 \times 10^{-3} \quad \text{--- (3)}$$

$$(R_1 + R_2) - \frac{470(R_2)}{27n} = 83.359 \times 10^3$$

$$R_1 - 17.41 R_2 = 83.359 \times 10^3 \quad \text{--- (4)}$$

$$\text{แก้ (3) และ (4) ได้ } R_1 = 114.068 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 176.7 \Omega$$

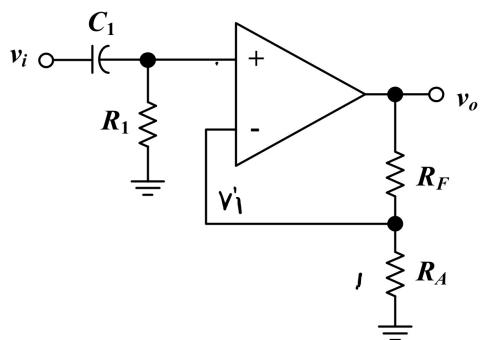
$$\text{เลือก } R_1 = 110 \text{ k} \quad \text{ให้ } R_2 = 1.8 \text{ k}\Omega$$

$$\text{จึงได้ component ที่จะนำไปประกอบ } \text{ gain} = \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right) = 67 = A_{V_{LP}}$$

$$\text{BW} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1}} = 100.41 \text{ Hz}$$

គិតរលាក់ស្ថិតក្នុងបន្ទីបន្ទី (gain = 67, BW = 0.5 Hz)

វិធានការងារនេះ គឺជាបន្ទីបន្ទីដែលមានចំណាំខ្លួន គឺ



$$A(\omega) = 1 + \frac{R_F}{R_A} \quad \text{ដើម្បី } R_F = 330 \text{ k}\Omega \quad \text{និង } R_A = \frac{330k}{64} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$\omega_c = 2\pi(0.5) = \pi \text{ rad/s}$$

ការងារនេះ មានអង្គភាពរូបមិនស្មើបន្ទីបន្ទី គឺ

$$\omega_c : \frac{1}{R_1 C_1} = \pi \quad \text{ដើម្បី } C_1 = 470 \text{ nF}$$

$$\text{តាមឯក } R_1 = \frac{1}{\pi C_1} = \frac{1}{\pi \cdot 470n} = 677.25 \text{ k}\Omega$$

$$\text{ដើម្បី } R_1 = 680 \text{ k}\Omega$$

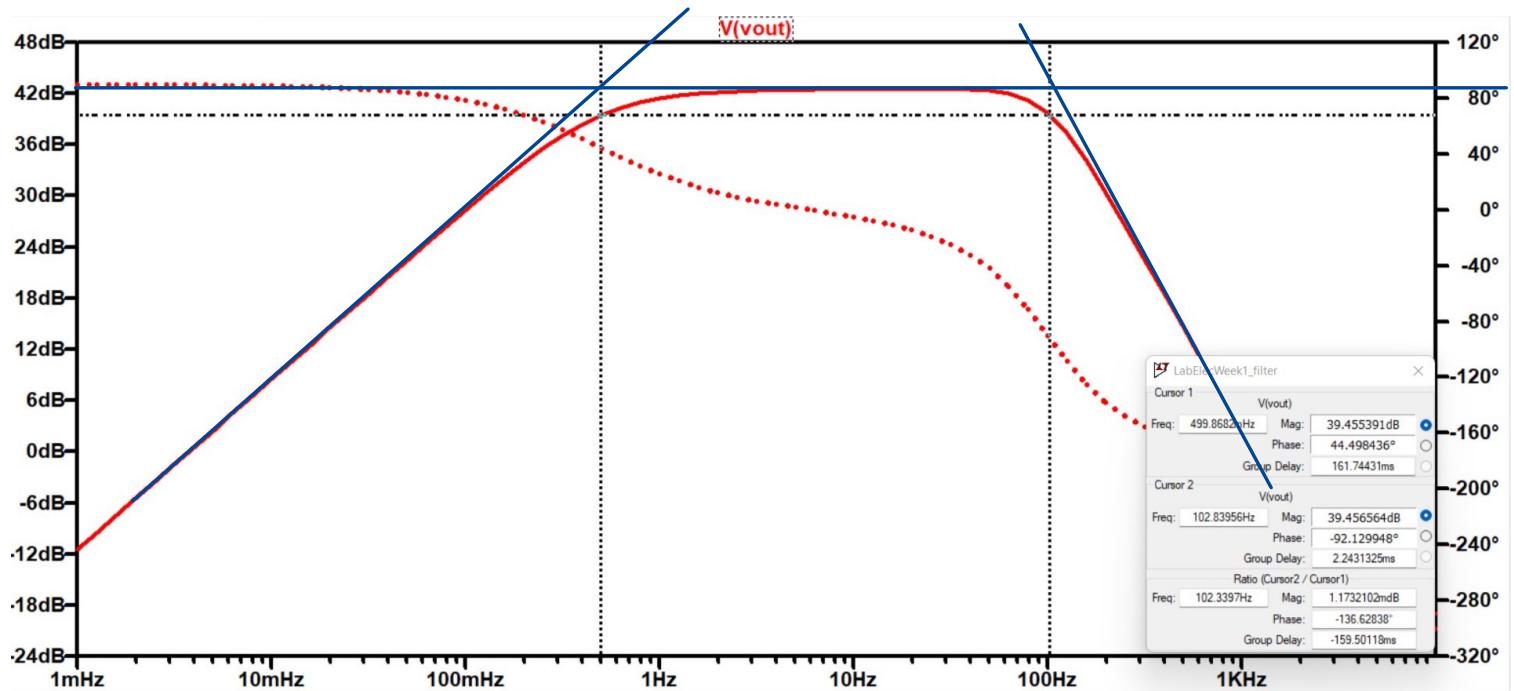
$$\text{ទម្រង់ component ទាំងនេះ នឹងបាន gain ឬការកើត } \text{ gain} = \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right) = 2 = A_{V_{HP}}$$

$$\text{BW} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 498 \text{ mHz}$$

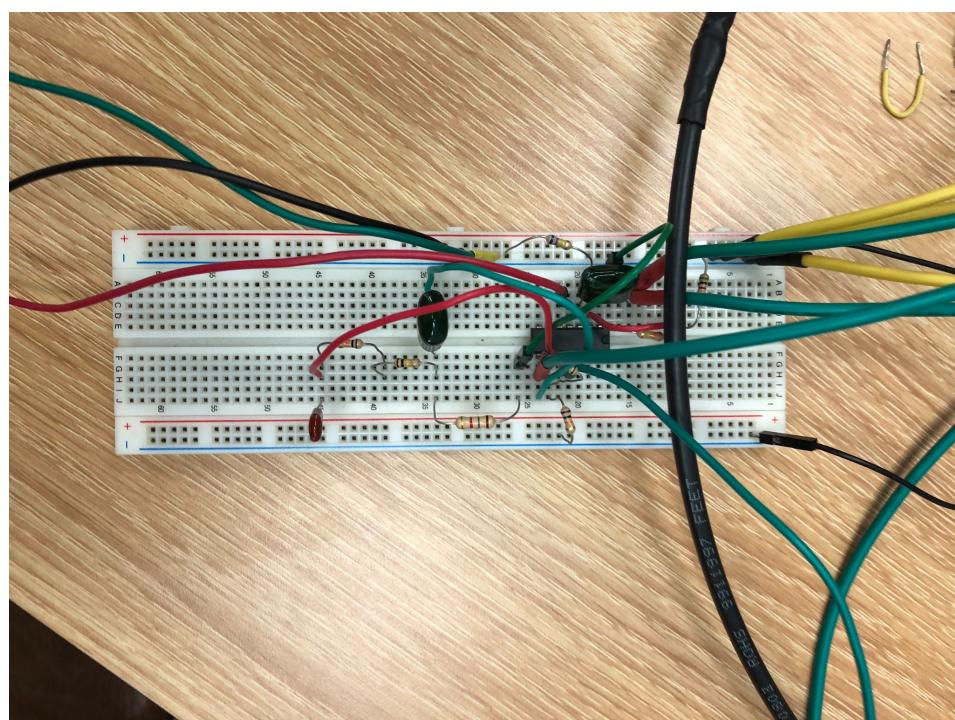
គិតរលាក់ស្ថិតក្នុងបន្ទីបន្ទី នឹងបាន gain ឬការកើត និង BW នៅពេលបានការងាររាយការណ៍ គឺ

$$\text{Gain} = A_{V_{LP}} \times A_{V_{HP}} = 67 \times 2 = 134 = 42.6 \text{ dB}$$

ผลการจำลองผลตอบสนองเชิงความถี่ (frequency response) ด้วยโปรแกรม LTSpice
 (แสดงการวัดความถี่ตัดผ่าน โดยการใช้เส้นตรงใกล้เคียงลงบนกราฟที่ได้จากการจำลอง ดู
 ภาคผนวกด้านหลังเอกสารประกอบ)



ให้นิสิตต่อวงจรลงบน breadboard ตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วแสดงรูปถ่ายวงจรบน
 breadboard ให้การเข้มต่ออย่างชัดเจน



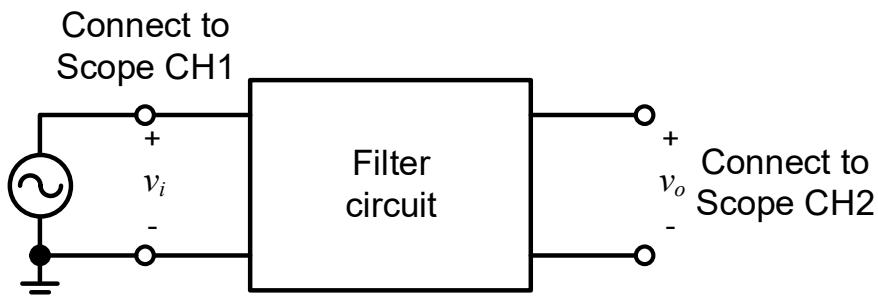
การวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรองผ่านແກບ มีรูปประกอบการวัด

กำหนดให้ป้อนสัญญาณไซน์ที่ทราบความถี่และขนาด เป็นสัญญาณขาเข้าของวงจรกรองแล้ววัดสัญญาณขาออกของวงจรกรอง ดังแสดงในรูปที่ 8 เพื่อความสะดวกกำหนดให้วัดขนาดของสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจรกรอง โดยใช้ค่าอยอดถึงยอด คำนวณอัตราขยายจากค่าอยอดของสัญญาณขาออกและขาเข้า

$$Gain = \frac{|v_{out}|}{|v_{in}|}$$

หมายเหตุ:

- 1) ในการใช้ DSO (digital storage oscilloscope) วัดสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ของ DSO ต้องตั้งการเชื่อมโยงแบบ DC (direct coupling) เพื่อให้การวัดค่าอัตราขยายมีความถูกต้องที่ความถี่ต่ำมาก หากตั้งเป็นแบบ AC ขนาดของสัญญาณที่ความถี่ต่ำจะมีค่าลดต่ำลงเนื่องจากมีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ต่อระหว่างขั้วเข้ากับวงจรภายในตัวเครื่อง DSO
- 2) ในการใช้งาน DSO ควรตรวจสอบอัตราคุณของ probe ให้ถูกต้อง ในการนี้ทั่วไปตัวคุณของ probe คือ 1
- 3) ในการทดลองที่แต่ละความถี่ ควรเลือกสัญญาณขาเข้าให้มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะทำได้ ที่ สัญญาณขาออกจากการยังคงเป็นรูปสัญญาณไซน์ เพื่อให้การคำนวณค่าอัตราขยายมีความแม่นยำ
- 3) ออปแอมป์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต้องการแหล่งจ่ายไฟภายนอกเพื่อตัวอปแอมป์ ออปแอมป์ TL064 ต้องการแหล่งจ่ายไฟบวกและลบ ใน datasheet ของ TL064 แหล่งจ่ายไฟบวก คือ Vcc+ และแหล่งจ่ายไฟลบ คือ Vcc- ให้ต่อขั้วเหล่านี้เข้าขึ้วมาก และ ลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง



รูปที่ 8: การต่อวงจรเพื่อทดลองวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรอง

ให้บันทึกค่าที่ได้จากการทดลองลงในตาราง และวัดกราฟในหน้าตัดไป

f (Hz)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
v_{in} (mV _{pp})	50	50	50	50	50	50	50	50	50
v_{out} (mV _{pp})	1.51	2.79	3.81	4.59	5.12	5.55	5.8	6.02	6.2
Gain	30.2	55.9	76.2	91.8	102.4	111	116	120.4	124

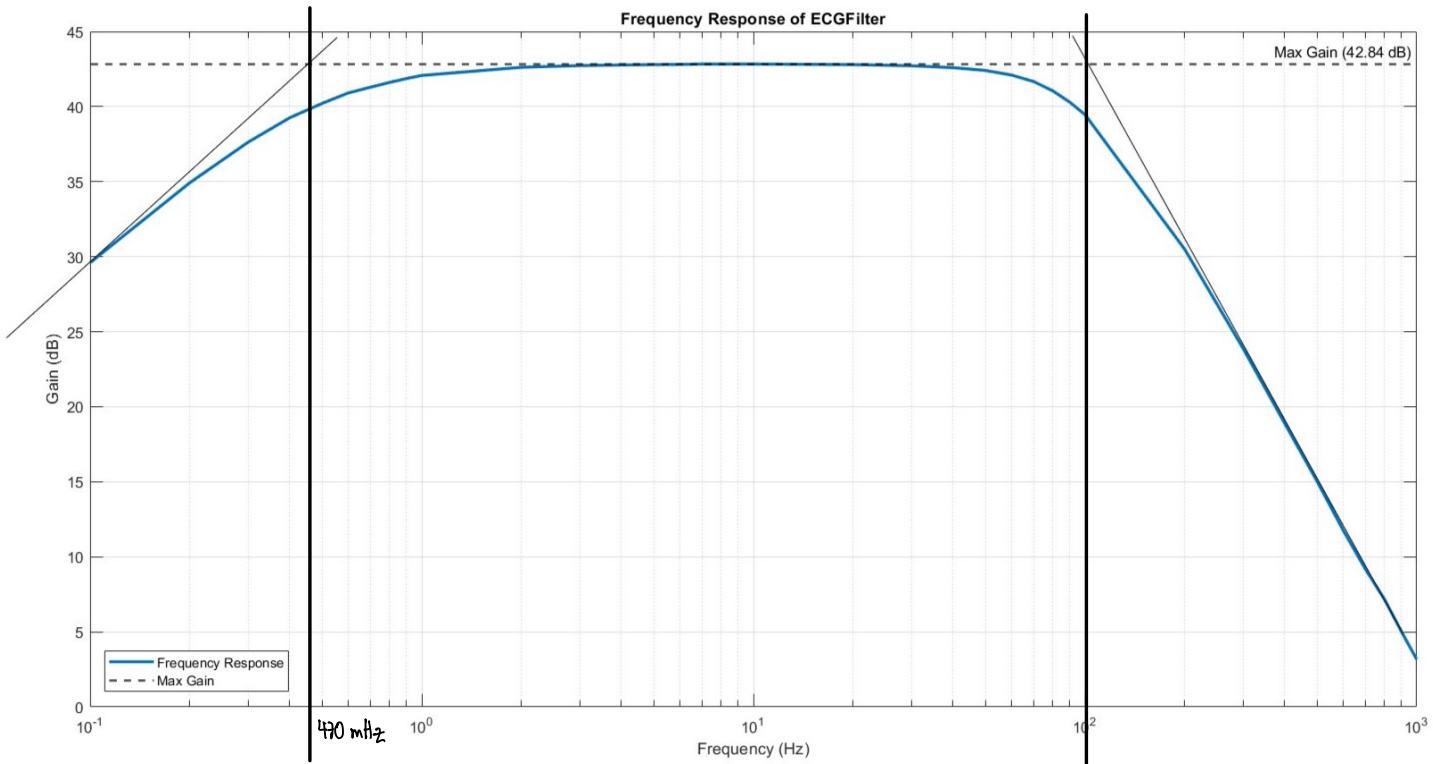
f (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_{in} (mV _{pp})	50	50	50	50	50	50	50	50	50
v_{out} (mV _{pp})	6.35	6.76	6.85	6.88	6.9	6.91	6.93	6.93	6.93
Gain	129	135.2	139	137.6	138	138.2	139.6	138.6	138.6

f (Hz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
v_{in} (mV _{pp})	50	50	50	50	50	50	50	50	50
v_{out} (mV _{pp})	6.93	6.9	6.84	6.74	6.6	6.37	6.06	5.64	5.19
Gain	138.6	138	136.8	134.8	132	127.9	121.2	112.8	103.9

f (Hz)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
v_{in} (mV _{pp})	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
v_{out} (mV _{pp})	4.7	1.67	0.78	0.44	0.283	0.194	0.144	0.114	0.099	0.072
Gain	94	33.4	15.6	8.3	5.66	3.88	2.88	2.29	1.78	1.44

(นิสิตสามารถใช้โปรแกรม Excel หรือโปรแกรมอื่นช่วยวัดกราฟได้ แต่ต้องระบุข้อมูลให้ถูกต้องและครบถ้วน เช่น ชื่อแกน หน่วยของแกน)

กราฟผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรอง



(แสดงการวัดความถี่ตัดผ่าน โดยการใช้เส้นตรงใกล้เคียงลงบนกราฟ ดูภาคผนวกด้านหลังของเอกสารประกอบ)

ค่าอัตราขยาย (จากการคำนวณ) $134 = 42.54 \text{ dB}$

ค่าอัตราขยาย (จากการจำลอง: Simulation) $132.434 = 42.43 \text{ dB}$

ค่าอัตราขยาย (จากการวัด) $138.67 = 42.83 \text{ dB}$

ค่าความถี่ตัดผ่าน (Cut-off frequency) ด้านต่ำ

ค่าจากการคำนวณ 498 mHz ค่าจากการจำลอง 499 mHz ค่าจากการวัด 470 mHz

ค่าความถี่ตัดผ่าน (Cut-off frequency) ด้านสูง

ค่าจากการคำนวณ 100.41 Hz ค่าจากการจำลอง 102.84 Hz ค่าจากการวัด 100 Hz

สรุปและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัด การคำนวณ และ การจำลอง

จากการออกแบบวงจรดิจิตอลผ่านโปรแกรม High pass Filter อันดับ 1 ต่ออย่างเรียบ กับ low pass Filter อันดับ 2 พนวจค่าอัตราขยายจากการคำนวณ = 134 เท่า, ค่า cut-off frequency อันดับ 1 ของการคำนวณ = 498 mHz, ค่า cut-off frequency อันดับ 2 ของวงจรคำนวณ = 100.41 Hz ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนไปจากการจำลองโดย LT-spice และการรับรอง เมื่อจาก ความคลาดเคลื่อนของอัตราขยายและตัวเก็บประจุที่ใช้ ผลจากการอุปกรณ์ในการรับและส่งภาพแผลงล้อว โดยสามารถหาได้ว่า ความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

$$\% \text{ error อัตราขยายจากการจำลอง} = \frac{|132.434 - 134|}{134} \times 100\% = 1.168\%$$

$$\% \text{ error อัตราพอยต์จากการรับ} = \frac{|138.67 - 134|}{134} \times 100\% = 3.485\%$$

$$\% \text{ error cut-off frequency อันดับ 1} = \frac{|499 - 498|}{498} \times 100\% = 0.20\%$$

$$\% \text{ error cut-off frequency อันดับ 2} = \frac{|490 - 498|}{498} \times 100\% = 5.62\%$$

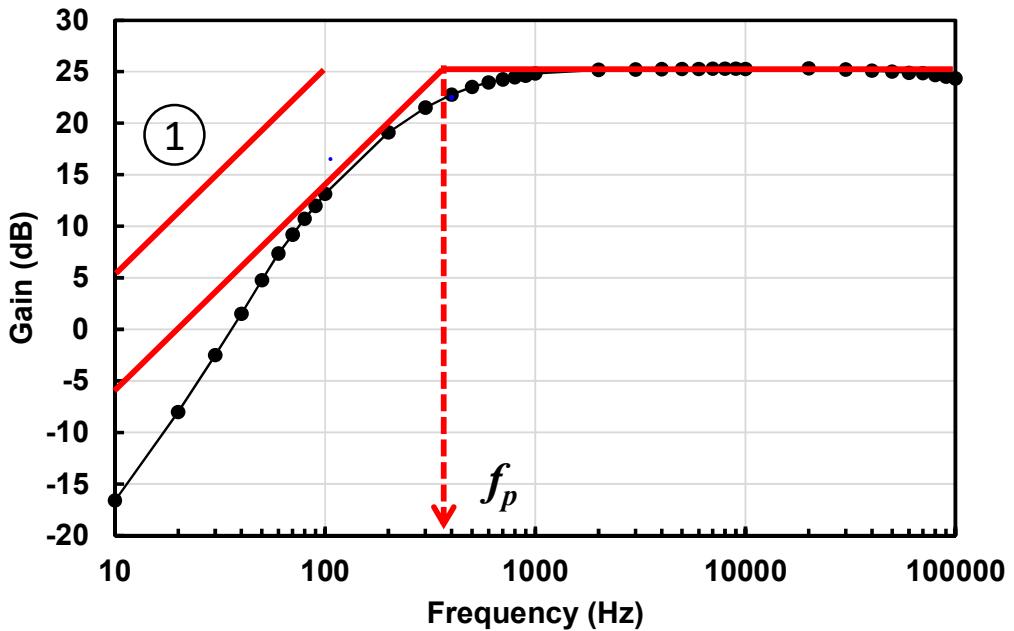
$$\% \text{ error cut-off frequency อันดับ 2} = \frac{|102.84 - 100.41|}{100.41} \times 100\% = 2.42\%$$

$$\% \text{ error cut-off frequency อันดับ 2} = \frac{|100 - 100.41|}{100.41} \times 100\% = 0.41\%$$

เอกสารอ้างอิง

- [1] Medical Instrumentation: Application and Design, John G. Webster (ed.), John Wiley & Sons 4th edition, 2009.
- [2] Active and Non-linear Electronics, Thomas F. Schubert and Ernest M. Kim (ed.), John Wiley & Sons, 1996.

ภาพผนวก การหาเส้นตรงใกล้เคียง (Asymptote) เพื่อหาความถี่ตัดผ่าน



- ① คือ เส้นอ้างอิงที่มีความชัน 20 dB/dec กรณีที่เป็นวงจรกรองอันดับสอง ความชันอ้างอิงจะเพิ่มเป็น 40 dB/dec