

การออกแบบวงจรปริแอมป์

ด้วยหลอดเบอร์ TUBE (6DJ8)

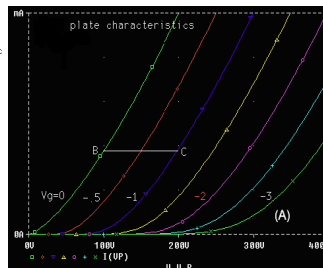
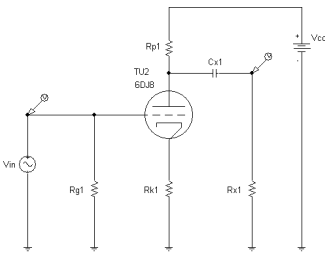
พร้อมการทดสอบวงจรด้วยโปรแกรม PSpice

* อ. ธีรศักดิ์ ศรีสกุล ** อ. ภูมร ศีลาพันธ์ *** รศ.ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์

* แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก

** คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

*** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

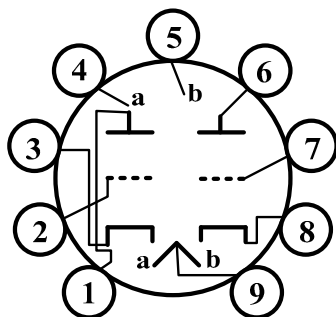


ถ้าจะพูดถึงนักฟังหลายๆ ท่าน ที่ชอบเครื่องเสียงแบบหลอดนั้น คงจะทราบกันดีว่าคุณภาพของเสียงที่ได้จากเครื่องเสียงแบบหลอดนั้นให้คุณภาพของเสียงที่ดีมาก ดังนั้นในบทความนี้จะขอกล่าวถึงปริแอมป์ที่ได้ทำมาจากหลอด โดยเป็นหลอดที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและสามารถที่จะหาซื้อได้ไม่ยากนัก นั่นก็คือหลอดเบอร์ 6DJ8 โดยคุณสมบัติของหลอดนี้เหมาะที่จะนำมาใช้ในการสร้างวงจรปริแอมป์เป็นอย่างมากครับ

โดยในบทความนี้จะขอกล่าวถึงการออกแบบวงจรปริแอมป์ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจเครื่องเสียงแบบหลอดว่าจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์อย่างไรบ้างและต้องพิจารณาในเรื่องใด จึงจะทำให้วงจรปริแอมป์ที่จะออกแบบนั้น ให้คุณภาพของเสียงออกมาดีที่สุดในที่สุด

มาเริ่มต้นการออกแบบวงจรกันเลขนะครับ... ในการเลือกใช้หลอดเบอร์ 6DJ8 เพื่อใช้ในการออกแบบและนำมาสร้างเป็นวงจรปริแอมป์นั้น ในบทความนี้จะทำการสร้างเป็นโมเดลของหลอดขึ้นมาด้วยเพื่อใช้งานในการทดสอบวงจรที่ได้ออกแบบ โดยเริ่มแรกเราก็คงจะต้องมาดูโครงสร้างของหลอด Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 กันก่อนนะครับว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร...

โครงสร้างของหลอดเบอร์ 6DJ8 และความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลอดเบอร์ 6DJ8



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) รูปสัญลักษณ์ของหลอด 6DJ8

(ข) รูปหลอด 6DJ8 ที่ใช้งานจริง

จากโครงสร้างที่แสดงในรูปที่ 1 นั้นก็คงจะทำให้ผู้ที่ทำการออกแบบสามารถที่เห็นลักษณะของหลอดที่จะนำมาใช้งานได้ แต่เพียงเท่านี้ก็ยังไม่สามารถที่จะนำไปออกแบบได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลอดเบอร์ 6DJ8 ในส่วนที่จะต้องนำมาใช้ในการพิจารณาในการออกแบบวงจร เช่น ตำแหน่งของขาหลอดที่ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1 และในตารางที่ 1 , ค่าของแรงดันไฟ กระแส ที่จะใช้ในการจุดไส้หลอดมีค่าเท่าไร , ค่าของแรงดันไฟสูงสุดที่ขาเพดจะสามารถรองรับได้มีค่าเท่าไร , ค่าของแรงดันไฟสูงสุดที่ขากรีดจะสามารถรองรับได้มีค่าเท่าไร และค่าของกำลังงานสูงสุดที่หลอดเบอร์ 6DJ8 สามารถที่จะทนได้นั้นมีค่าเท่าไร (โดยทั้งหมดนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2) ที่นี้ก็จะเริ่มการออกแบบวงจรปริแอมป์กันต่อได้เลยนะครับ...

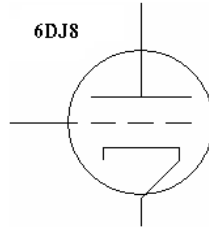
ตารางที่ 1 แสดงขาต่างๆของ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8

ขาที่	ชื่อขา
1	Anode Triode (2)
2	Grid Triode (2)
3	Cathode Triode (2)
4	Heater (Triode 2)
5	Heater (Triode 1)
6	Anode Triode (1)
7	Grid Triode (1)
8	Cathode Triode (1)
9	Heater Center tap

ตารางที่ 2 แสดง Specification and max ratings ของ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8

Filament Voltage	6.3V
Filament Current	160-365mA
Plate Voltage (max)	260V
Plate Current (max)	25mA
Plate Dissipation (max)	1.8W
Screen Voltage (max)	-V
Screen Current (max)	-A
Screen Dissipation (max)	-W

มาดูในส่วนของโครงสร้างของ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 ดังแสดงในรูปที่ 1 และจากข้อมูลจากตารางที่ 1 และ 2 นั้น เราก็สามารถที่จะนำมาสร้างเป็นโมเดลเพื่อใช้ในการออกแบบวงจรก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรจริงหรือพัฒนาต่อไป แสดงดังรูปที่ 2 สาเหตุที่ทำก็เพื่อที่จะใช้ทดสอบผลของวงจรที่เราได้ออกแบบนั้น ว่ามันจะให้ผลตรงตามที่เราต้องการหรือเปล่านั้นเองครับ



รูปที่ 2 โครงสร้างโมเดลและลักษณะของ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 ที่นำมาใช้งาน

ถ้าผู้อ่านท่านใดสนใจที่จะสร้างโมเดลเพื่อใช้ในการทดสอบวงจรที่ออกแบบก็ทำได้ง่าย
ครับ โดยโมเดลของ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 คือ

.SUBCKT 6DJ8-X 1 2 3 ; P G C; NEW MODEL

+ PARAMS: MU=28 EX=1.3 KG1=330 KP=320 KVB=300 RGI=2000

+ CCG=2.3P CGP=2.1P CCP=.7P ; ADD .7PF TO ADJACENT PINS; .5 TO
OTHERS.

E1 7 0 VALUE=

+{V(1,3)/KP*LOG(1+EXP(KP*(1/MU+V(2,3)/SQRT(KVB+V(1,3)*V(1,3))))}

RE1 7 0 1G

G1 1 3 VALUE={(PWR(V(7),EX)+PWRS(V(7),EX))/KG1}

RCP 1 3 1G ; TO AVOID FLOATING NODES IN MU-FOLLOWER

C1 2 3 {CCG} ; CATHODE-GRID; WAS 1.6P

C2 2 1 {CGP} ; GRID-PLATE; WAS 1.5P

C3 1 3 {CCP} ; CATHODE-PLATE; WAS 0.5P

D3 5 3 DX ; FOR GRID CURRENT

R1 2 5 {RGI} ; FOR GRID CURRENT

.MODEL DX D(IS=1N RS=1 CJO=10PF TT=1N)

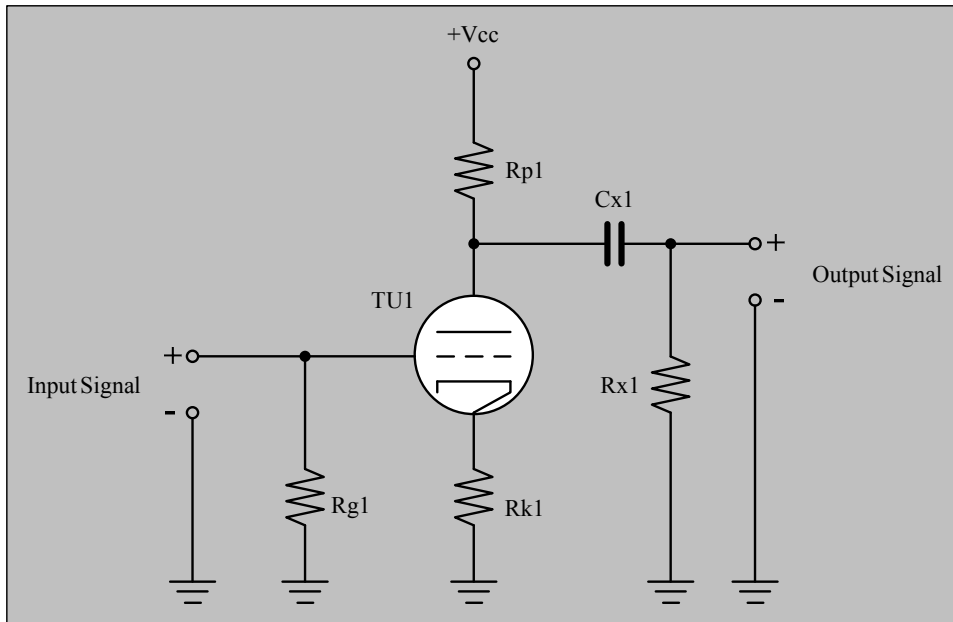
.ENDS

*\$

แต่สำหรับการนำ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 มาประยุกต์ใช้งานในการออกแบบ
วงจรปริแอมป์นั้น ทางผู้เขียนขอยกตัวอย่างการออกแบบวงจรที่จะมีวิธีการออกแบบวงจร โดย
วงจรปริแอมป์ที่จะออกแบบนั้นได้แสดงดังในรูปที่ 3 แต่ส่วนวิธีการคำนวณเพื่อหาค่าของอุปกรณ์
ต่างๆ นั้นจะขอก้าวเป็นขั้นตอนถัดไป มาดูกันเลขนะครับว่าจะมีวิธีการออกแบบอย่างไร.....

วงจรปริแอมป์ที่ออกแบบ

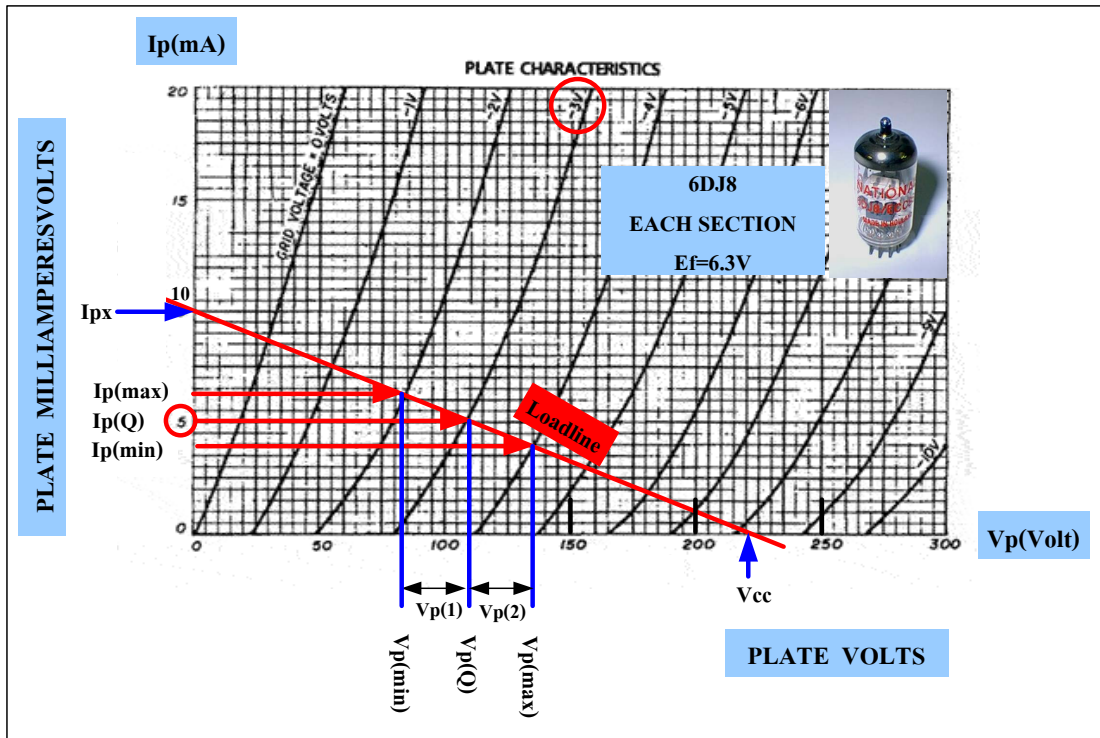
วงจรปริแอมป์ที่ออกแบบมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3 โดยในที่นี้ใช้น้ใช้ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 มาสร้างวงจร



รูปที่ 3 วงจรปริแอมป์ที่ใช้ Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 ในการออกแบบ

จากรูปวงจรดังแสดงในรูปที่ 3 นั้นจะเห็นว่าเป็นวงจรปริแอมป์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไป โดยมีวงจรที่เป็นแบบเพลดโหลดและลักษณะการทำงานของวงจรจะไม่ค่อยเป็นเชิงเส้นเท่าไร แต่ก็ไม่ใช่ปัญหาครับ เราสามารถแก้ไขได้ ก็คือ จะต้องให้ไฟเลี้ยงวงจรที่มีค่ากระแสที่มีค่าคงที่นั่นเองครับ แต่ก็ยังที่บอกว่าวงจรแบบนี้เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันนั่นเองจึงยังมีการสร้างวงจรแบบนี้อยู่ครับ จากในรูปที่ 3 นั้นจะเห็นว่าค่าอุปกรณ์ต่างๆ นั้นไม่ได้แสดงค่าไว้ แต่ไม่ต้องตกใจนะครับ เพราะว่าเราจะมาทำการออกแบบด้วยกันครับ... มาทำการออกแบบกันต่อ นะครับ

จากรูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงคุณลักษณะของหลอด Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 ที่ใช้ในการออกแบบวงจรปริแอมป์ โดยจำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องนำกราฟนี้มาใช้ในการออกแบบวงจรเพื่อทำให้ผู้ที่ออกแบบสามารถที่จะเห็นจุดการทำงานของวงจรได้ดีที่สุดครับ ลองทำดูนะครับ



รูปที่ 4 กราฟคุณลักษณะของหลอด Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 ที่ใช้ในการออกแบบวงจรปริแอมป์

ขั้นตอนการออกแบบวงจร

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่ามีเส้น Loadline ที่เราเป็นผู้กำหนดขึ้นมา โดยเส้น Loadline นี้เราจะทำการลากไปทำการตัดที่แกนตั้งคือที่จุด ($I_{px} = 10mA$) และไปตัดที่แกนนอนคือที่จุด ($V_{cc} = 220V$) นั่นก็หมายความว่าเราจะได้ค่าแรงดันที่ใช้เป็นไฟเลี้ยงเพื่อจ่ายให้กับวงจร โดยเราจะใช้ไฟเท่ากับ $220V (+V_{cc} = 220V)$

จากนั้นก็ทำการหาค่าความต้านทานของ R_{p1} ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยสามารถคำนวณหาได้จาก

$$\left(R = \frac{V}{I} \right) \rightarrow R_{p1} = \frac{V_{cc}}{I_{px}} = \frac{220V}{10mA} = 22k\Omega$$

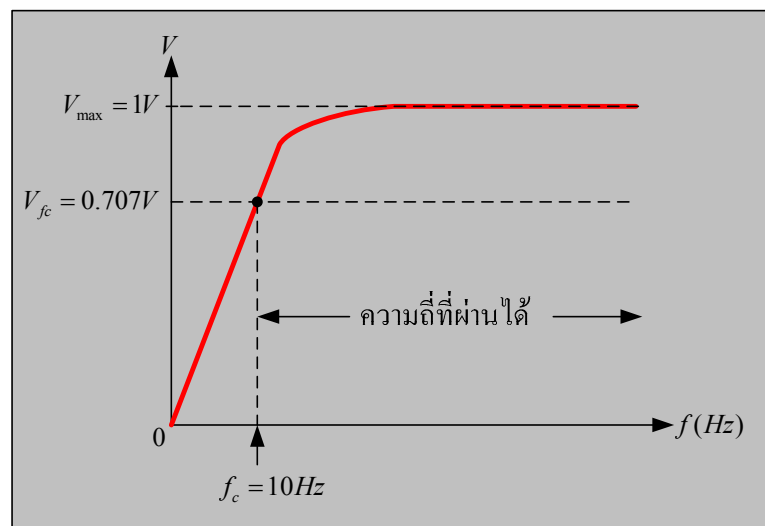
จากนั้นก็สามารที่จะทำการหาค่าความต้านทานของ R_{k1} ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยในส่วนของความต้านทานของ R_{k1} นั้นจะทำการพิจารณาจาก $\{V_k = -(V_g)\}$ โดยสามารถดูได้จากกราฟในรูปที่ 4 จะเห็นว่าเราเลือกใช้ $V_g = -3V$ (แรงดันไฟลบที่ไบอัสให้หลอดทำงาน) ดังนั้นเมื่อแทนค่าแล้วจะได้ $V_k = 3V$ และในส่วนของค่า $I_{p(Q)}$ (กระแสที่ไหลในวงจรในขณะที่หลอดทำงาน) จะมีค่าเท่ากับ $5mA$ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4 ซึ่งในส่วนของ $I_{p(max)}$ และ $I_{p(min)}$ ที่เห็นในกราฟนั้นก็

จะเป็นตัวที่จะบอกค่าของกระแสสูงสุดและต่ำสุดจะมีค่าประมาณเท่าไรนั่นเอง ในส่วนของแรงดัน $V_{p(Q)}$ นั้น ถ้าเราดูในกราฟจากรูปที่ 4 ก็จะเป็นค่าที่บอกถึงแรงดันที่ตกคร่อมที่ขาเพลด โดยจะมีค่าประมาณ $110V$ และในส่วนของ $V_{p(max)}$ และ $V_{p(min)}$ ที่เห็นในกราฟเช่นกันนั้นก็จะเป็นตัวที่จะบอกถึงค่าของแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ตกคร่อมขาเพลดว่าจะมีค่าประมาณเท่าไร ซึ่งจากที่ได้ทำการออกแบบวงจรนั้นก็ควรที่จะทำให้ค่าของ $V_{p(1)}$ และ $V_{p(2)}$ มีค่าที่ใกล้เคียงกันให้มากที่สุด ที่ต้องให้เป็นแบบนี้ก็เพื่อให้ได้สัญญาณที่ออกมาจากวงจรที่มีแรงดันทางบวกและทางลบเท่ากันนั่นเอง ทีนี้ก็มาทำการคำนวณหาค่าของ R_{k1} กันต่อเลยนะครับ...

$$\left(R = \frac{V}{I} \right) \rightarrow R_{k1} = \frac{V_k}{I_{p(Q)}} = \frac{3V}{5mA} = 600k\Omega \quad ; \quad \{V_k = -(V_g)\}$$

และในส่วนของค่าความต้านทาน R_{g1} นั้นก็สามารถหาค่าได้ (แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าอยู่ในระหว่าง $20k\Omega$ ถึง $100k\Omega$ โดยขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้งานครับ) แต่ในที่นี้จะใช้ค่าเท่ากับ $R_{g1} = 100k\Omega$

ต่อจากนี้คงเป็นการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ C_x และ R_x ซึ่งเราจะทำการพิจารณาถึงความถี่ที่เราต้องการจะให้ผ่านออกไปจากวงจรปริแอมป์นั่นเอง โดยมีลักษณะเป็นวงจรกรองความถี่สูงนั่นเอง ซึ่งทั่วไปแล้วจะกำหนดอยู่ที่ความถี่ $10Hz$ ในการใช้งานจริง โดยถ้ามีความถี่ที่สูงกว่านี้ก็จะสามารถผ่านไปได้ แต่ถ้าต่ำกว่าก็จะไม่สามารถผ่านวงจรในส่วนนี้ไปได้นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงลักษณะการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านที่นำมาใช้งาน โดยกำหนดความถี่ $f_c = 10Hz$

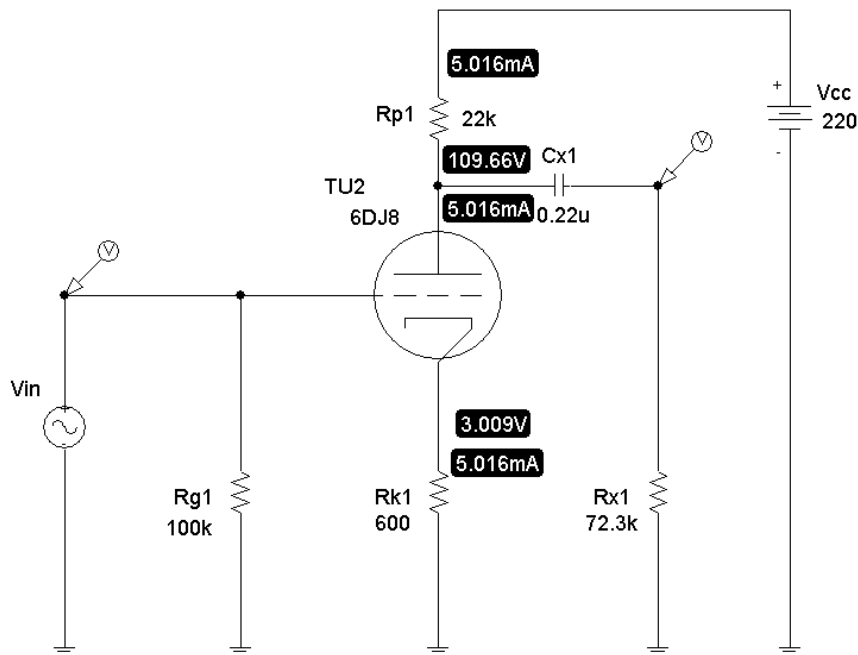
ก็มาคูณกันเลยนะครับว่าจะออกแบบในส่วนนี้อย่างไร โดยในที่นี้ทางผู้เขียนคงจะยกเอา สูตรการคำนวณมาใช้งานเลยนะครับ คือ

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_x C_x}$$

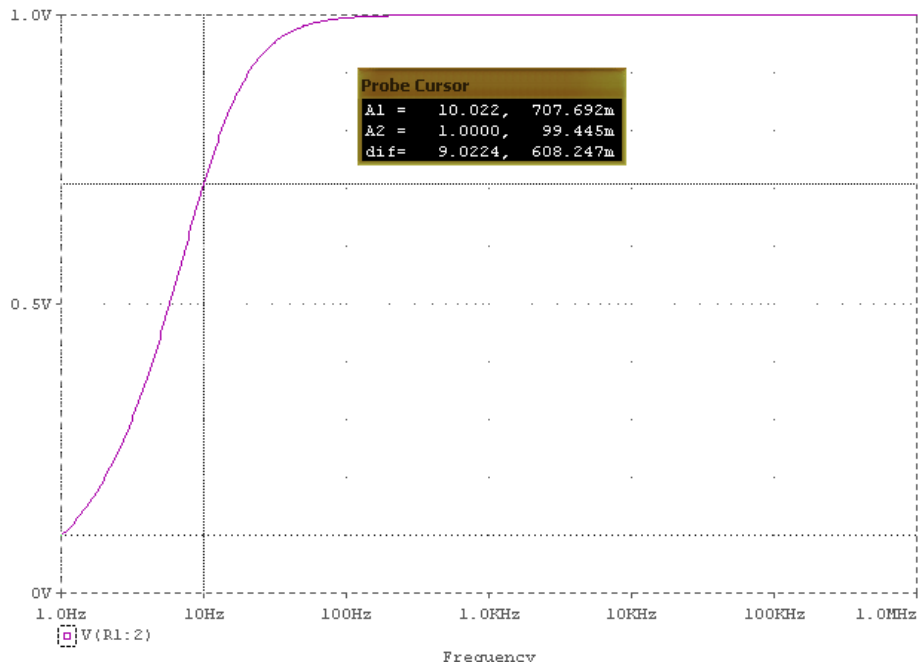
จากสูตรเราจะเห็นว่าเราสามารถที่จะแทนค่าเพื่อคำนวณหาค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ได้เลยครับ แต่ก็มีวิธีการออกแบบครับ ถ้าเราดูจากสูตรนะครับ จะเห็นว่าค่าของ $f_c = 10\text{Hz}$ นี่ก็คือสิ่งที่เรา ต้องการ แต่ก็ยังเหลือค่าของ R_x กับ C_x นะครับ ว่าเราจะใช้ค่าเท่าไร โดยทั่วไปแล้วการออกแบบ เราจะทำการกำหนดค่าของตัวเก็บประจุ (C_x) โดยจะดูที่ห้องตลาดมีขายนะครับ ดังนั้นในที่นี้จะขอ กำหนดให้ค่าของ C_x เท่ากับ $0.22\mu\text{F}$ ดังนั้นเราจึงสามารถที่จะคำนวณหาค่าของ R_x ได้ดังนี้

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_x C_x} \rightarrow \left[R_x = \frac{1}{2\pi f_c C_x} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{Hz} \times 0.22\mu\text{F}} = 72.3\text{k}\Omega \right]$$

เพียงเท่านี้ก็ได้ค่าของอุปกรณ์ที่เราจะใช้งานแล้วครับ แต่เพื่อให้แน่ใจว่าสิ่งที่เราได้ออกแบบมานั้นเป็นไปตามที่ต้องการหรือเปล่า จึงต้องทำการทดสอบการทำงานของวงจร ดังแสดง ในรูปที่ 6 รูปที่ 7 และรูปที่ 8



(ก)

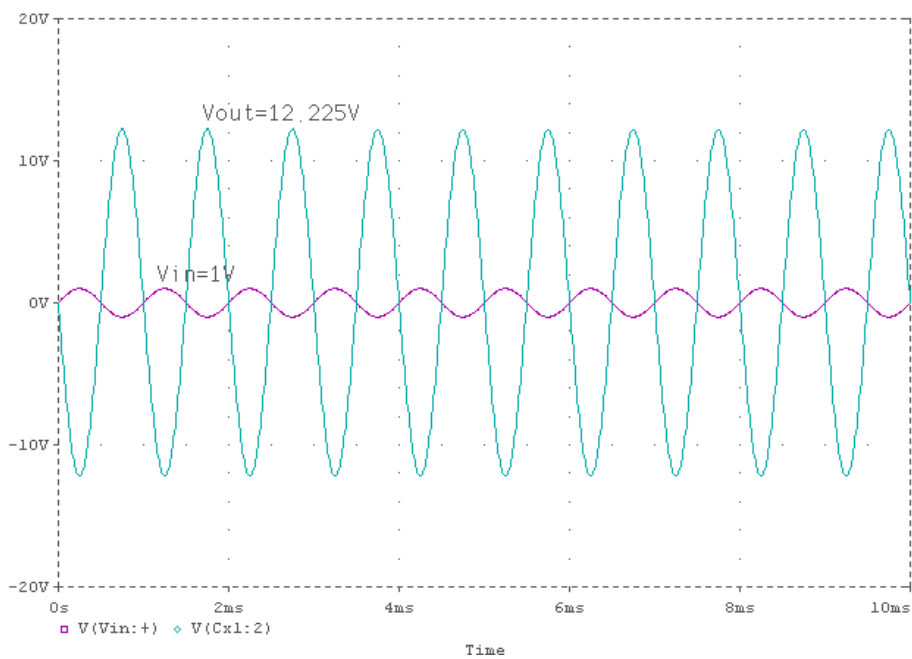


(จ)

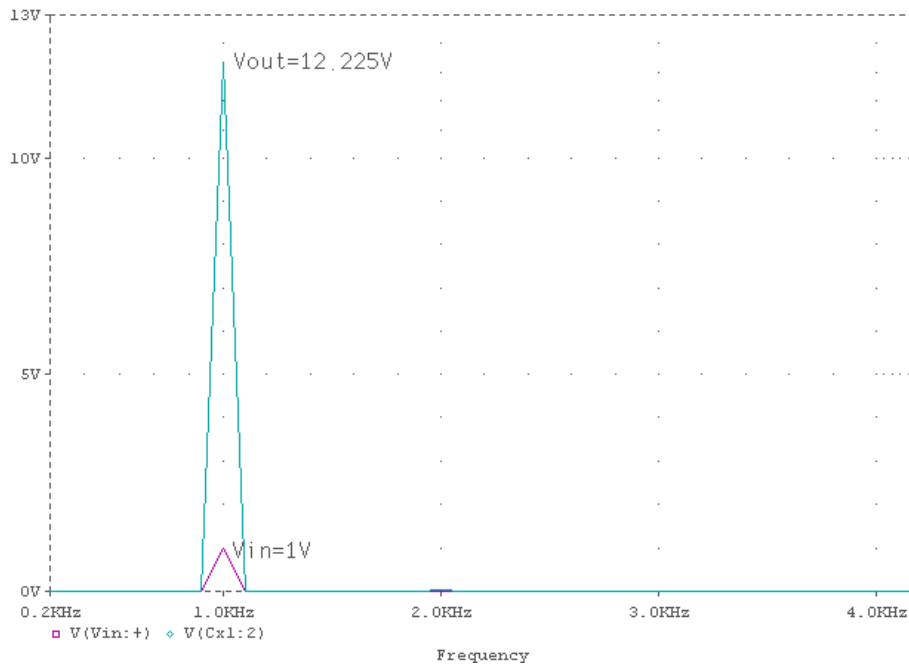
รูปที่ 6 ผลการทดสอบวงจรปริแอมป์ที่ออกแบบ

(ก) แสดงค่าของแรงดันและกระแสที่ไหลในวงจรที่ออกแบบ

(ข) แสดงผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรที่ออกแบบ



รูปที่ 7 ผลการจำลองการทำงานแบบ Time Domain (โดเมนทางเวลา)



รูปที่ 8 ผลการจำลองการทำงานแบบ Frequency Domain (โดเมนทางความถี่)

จากการทดสอบการทำงานของวงจรปริแอมป์ที่ออกแบบนั้น พบว่าให้ผลตรงตามที่ต้องการทุกประการ แต่เนื่องจากการนำไปสร้างเป็นวงจรจริงนั้นบางครั้งค่าของอุปกรณ์ที่เราคำนวณได้นั้นอาจจะไม่มีขายตามท้องตลาดนะครับ จึงอาจจะต้องหาค่าของอุปกรณ์ที่มีค่าที่ใกล้เคียงกับที่เราคำนวณได้ให้มากที่สุดครับ ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จึงอาจจะคลาดเคลื่อนไปบ้างนะครับ แต่ก็ไม่มีปัญหาอะไรครับ เพราะจากที่ได้ทำการสร้างวงจรและทดสอบแล้วก็เป็นไปตามที่ออกแบบครับ ที่กล่าวมาคงจะเห็นได้ว่าการออกแบบนั้นไม่ได้มีความยากอะไรเลย แต่ต้องอาศัยหลักการในการออกแบบเป็นสำคัญ ต้องลองทำดูนะครับแล้วจะรู้ว่ามันได้ความรู้มากเลยครับ และยังสามารถที่จะนำวิธีการนี้ไปใช้ในการออกแบบวงจรต่างๆ ได้อีกด้วย

เป็นอย่างไรกันบ้างครับ พอจะรู้จักหลักการการออกแบบวงจรปริแอมป์ ที่ใช้หลอด Triode Vacuum Tube เบอร์ 6DJ8 เพื่อที่จะสามารถนำไปเป็นแนวทางในการสร้างวงจรที่มีความซับซ้อนต่อไปนะครับ
