

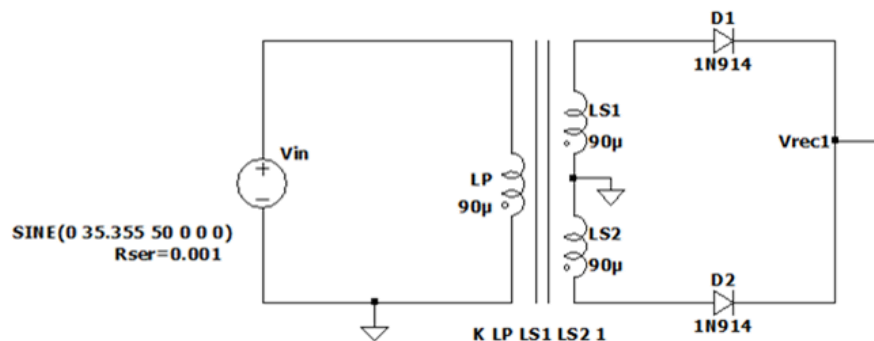
## อภิปรายการทดลอง

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

- Rectifier วงจรเรียงกระแส
- Filter วงจรกรองกระแส
- Voltage Regulator วงจรควบคุมแรงดัน

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบส่วนต่างๆของวงจร

- Rectifier :

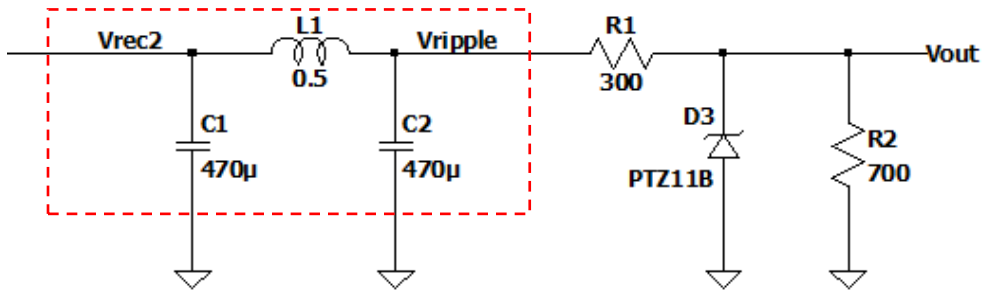


ต่อวงจรโดยใช้ Center trapped Rectifier โดยนำ L สามตัวมาสร้าง transformer โดยกำหนดให้อัตราส่วนของแรงดันเข้า  $25 V_{rms}$  50 Hz (  $V = 35.355$  Volt ) เท่ากับแรงดันออก (  $V_{in} \approx V_{rec1}$  ) ซึ่งสามารถควบคุมได้จากค่าความเหนี่ยวนำ ซึ่งนำไปสู่สมการจำนวนรอบของขดลวด

$$V_1 / V_2 = N_1 / N_2 = L_1 / L_2$$

จึงได้เลือกใช้  $L = 90 \mu H$  โดยได้เลือกใช้  $L$  ที่มีค่าน้อยเพื่อให้ความเหนี่ยวนำไม่มีผลกับวงจร ซึ่งจะทำให้สามารถเรียงกระแสได้แบบ Full-wave และในส่วนของไดโอดใช้แบบ Silicon ที่มี  $V_{D,on} = 0.7$  Volt ดังนั้น  $V_{rec1}$  ก่อนต่อ Filter จะมีค่าเท่ากับ  $V_{rec1} \approx |V_{in}| - V_{D,on}$

- LC-Pi Filter :



สร้างวงจรกรองโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดยนำตัวเก็บประจุที่ขาหนึ่งต่อลง GND ไปต่อกับ  $V_{rec1}$  เพื่อทำการกรองกระแสวิกขั้วแรก จะได้  $V_{rec2}$  โดย  $V_{rec2}$  จะเป็นสัญญาณ Ripple ซึ่งสามารถคำนวณหา  $V_{rec2, rpp}$  ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรขณะ  $C_1$  คายกระแส และประมาณว่า  $V_{rec2, DC} = V_{ripple, DC}$

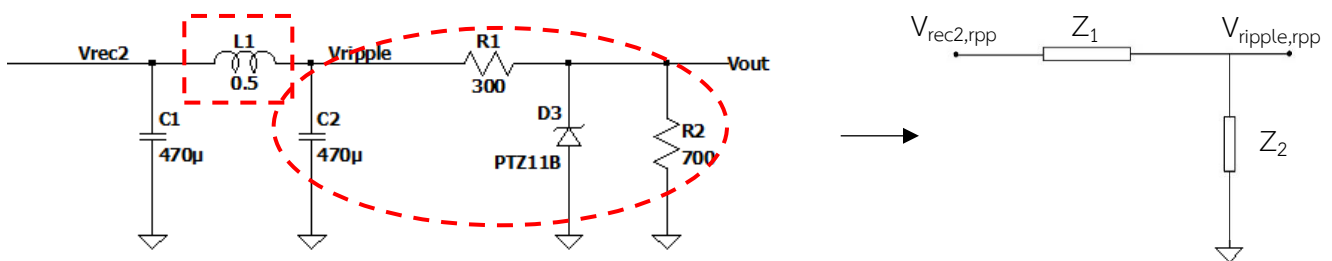
$$I_L = I_C = C_1 \frac{dV}{dt} = C_1 \frac{V_{rec2, rpp}}{T/2} \quad (1) \quad \text{และ} \quad I_C = \frac{V}{R_1} = \frac{V_{rec, DC} - V_{out}}{R_1} \quad (2)$$

$$(1) = (2) \quad ; \quad V_{rec, DC} = V_{out} - 2fC_1R_1V_{rec2, rpp} \quad \text{-----}(A)$$

$$\text{โดย } V_{rec, DC} = V_{rec1, peak} - 0.5(V_{rec2, rpp}) \quad \text{-----}(B)$$

$$(A) = (B) \quad ; \quad \boxed{V_{rec2, rpp} = \frac{V_{rec1, peak} - V_{out}}{2fC_1R_1 + 0.5}} \quad \text{โดยกำหนดให้ } V_{out} \text{ อยู่ระหว่าง 11-12 Volt}$$

เมื่อได้  $V_{rec, ripple}$  จะสามารถนำไปหา  $V_{ripple, rpp}$  จาก Transfer Function ได้

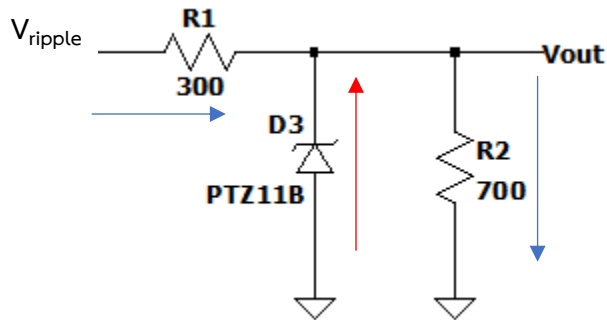


$$V_{ripple, rpp} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V_{rec2, rpp}$$

$$\left| \frac{V_{ripple, rpp}}{V_{rec2, rpp}} \right| = \frac{1}{((1 - \omega^2 L_1 C_2)^2 + (\omega L_1 / (R_1 + R_2))^2)^{0.5}}$$

$$\boxed{V_{ripple, rpp} = \left| \frac{V_{ripple, rpp}}{V_{rec2, rpp}} \right| V_{rec2, rpp} = \frac{V_{rec2, rpp}}{((1 - \omega^2 L_1 C_2)^2 + (\omega L_1 / (R_1 + R_2))^2)^{0.5}} \quad \text{-----}(C)}$$

- Voltage Regulator :



โจทย์กำหนดกระแสไฟฟ้าของ Zener diode อยู่ในช่วง 10%-80% ของกระแสสูงสุดที่ Zener diode จะทนได้ โดยให้ Diode model เป็น PTZ11B ที่มี Power = 1,000 mW มี Breakdown Voltage = 11.5 V

$$\therefore I_{Z,MAX} = (1000/11\text{volt}) \times 80\% = 72.7 \text{ mA}$$

$$I_{Z,min} = (1000/11\text{volt}) \times 10\% = 9.1 \text{ mA}$$

ทดสอบว่า Zener diode อยู่ในช่วง Breakdown โดยวัด  $V_{R2}$  ณ ขณะที่ไม่ต่อ Zener diode

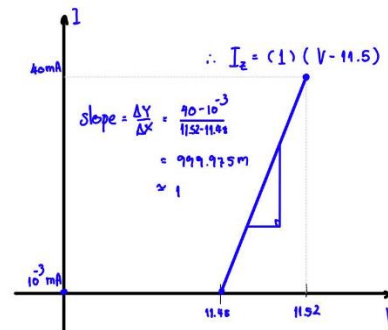
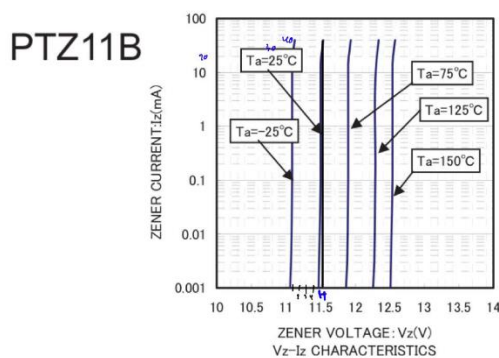
$$V_{R2} = R_2 / (R_1 + R_2) \times V_{ripple} ; V_{R2} \text{ ต้องมากกว่า } 11.5 \text{ volt} \text{ จึงจะอยู่ในช่วง Breakdown}$$

ทดสอบว่ากระแสที่ผ่าน Zener diode อยู่ระหว่าง 9.1-72.7 mA จาก

$$I_{R2} = V_{breakdown} / R_2$$

$$\therefore I_Z = \frac{V_{out}}{R_1 || R_2} - \frac{V_{ripple}}{R_1} \text{ -----(D)}$$

โดยค่า  $I_Z$  สามารถประมาณเป็นโมเดลจาก Datasheet ของ Zener diode ณ อุณหภูมิห้องได้เป็นสมการดังนี้



## การเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างวงจร

→ ออกแบบค่า  $R_1$  และ  $C_1$  ที่ทำให้ Zener diode เกิดการ Breakdown อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้วงจรรักษาแรงดันไว้ที่ 11.5 volt

โดย  $V_{R2} = R_2 / (R_1 + R_2) \times V_{ripple} > 11.5$  และ  $R_2 = 200$  และ  $700$  ohms และ  $V_{ripple,DC} = V_{rec2,DC}$

จากสมการสัญญาณ Ripple ;  $V_{rec2,DC} = V_{rec1,peak} - 0.5V_{rec2,rpp}$  , โดย

$$V_{rec2,rpp} = \frac{V_{rec1,peak} - V_{out}}{2fC_1R_1 + 0.5}$$

เพราะฉะนั้น  $V_{ripple,DC} = V_{rec2,DC} = V_{rec1,peak} - (0.5) \frac{V_{rec1,peak} - V_{out}}{2fC_1R_1 + 0.5}$

แทนค่า  $C_1 = 470 \mu F$  (เพื่อให้วงจรมี ripple ต่ำที่สุด)

$V_{out} = 11.5$  Volt (ต้องการให้อยู่ระหว่าง 11-12 Volt)

$V_{rec1,peak} = 35.355 - 0.7 = 34.655$  Volt

ลงในสมการ  $R_2 / (R_1 + R_2) \times V_{ripple} > 11.5$

แทน  $R_2 = 200$  ohms ได้  $R_1 < 392.08$  ohms

แทน  $R_2 = 700$  ohms ได้  $R_1 < 1398.79$  ohms

ดังนั้นจึงเลือก  $R_1 = 300$  ohms เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขด้านบน

→ ออกแบบค่า  $L_1$  และ  $C_2$  เพื่อสร้าง  $V_{ripple}$  ที่มีค่าน้อยกว่า 30 mV โดยใช้ Transfer-function

หา  $V_{rec2,rpp}$  ;

แทนค่า  $C_1 = 470 \mu F$  ,  $R_1 = 300$  ohms ,  $V_{out}$  เป็น 11.5 Volt และ  $V_{rec1,peak} = 34.655$  volt จะได้

$$V_{rec2,rpp} = \frac{V_{rec1,peak} - V_{out}}{2fC_1R_1 + 0.5} = 1.586 \text{ Volt}$$

จาก ( C ) Transfer-function แทนค่า  $C_2 = 470 \mu F$  และค่าต่างๆเพื่อหา  $L_{min}$  ที่ทำให้เกิด  $V_{ripple,rpp} = 30$  mV

$$V_{ripple,rpp} = \left| \frac{V_{ripple,rpp}}{V_{rec2,rpp}} \right| V_{rec2,rpp} = \frac{V_{rec2,rpp}}{((1 - \omega^2 L_1 C_2)^2 + (\omega L_1 / (R_1 + R_2))^2)^{0.5}}$$

$$30 \text{ mV} = (1.586 \text{ Volt}) \times (1 / ((1 - (200\pi)^2 (L_1)(470 \times 10^{-6}))^2 + (200\pi(L_1)/(200+200))^2)^{0.5})$$

จะได้  $L_1$  ประมาณ 0.29 H จึงแทนค่า  $L_1 = 0.5$  H เพื่อให้ได้ค่าที่เรียบมากขึ้น

→ ตรวจสอบว่ากระแสที่ผ่าน Zener diode อยู่ระหว่าง 10%-80% ของกระแสสูงสุด ( 9.1-72.7 mA )

ด้วยสมการ (D) 
$$I_Z = \frac{V_{out}}{R_1 || R_2} - \frac{V_{ripple}}{R_1}$$
 โดย  $V_{ripple,DC} = V_{rec2,DC}$

เพราะฉะนั้น  $V_{ripple,DC} = V_{rec1,peak} - 0.5V_{rec2,rpp}$   
 $= 34.655 - (0.5)(1.586)$

$V_{ripple,DC} = V_{rec2,DC} = 33.862 \text{ Volt}$

แทนค่า  $V_{ripple,DC}$  ลงในสมการข้างต้นจะได้

$I_Z \text{ at } R_2=200 = 17.04 \text{ mA} \text{ \& } I_Z \text{ at } R_2=700 = 58.11 \text{ mA}$  ซึ่งอยู่ระหว่าง 9.1-72.7 mA

เพราะฉะนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบวงจรสามารถใช้สำหรับโจทย์ได้

### การคำนวณสัญญาณ Output

จาก Datasheet ของ Zener diode จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_Z$  กับ  $V_{out}$  ว่า  $I_Z = (1)(V - 11.5)$

และแทนลงในสมการ  $I_Z = \frac{V_{out}}{R_1 || R_2} - \frac{V_{ripple}}{R_1}$  โดยใช้  $V_{ripple,max}$  และ  $V_{ripple,min}$  เพื่อหา  $V_{out,max}$  และ  $V_{out,min}$

- จาก transfer-function  $V_{ripple,rpp}$

เมื่อแทนค่า  $C_2 = 470 \mu F$   $R_1 = 300 \text{ ohms}$   $L_1 = 0.5 \text{ H}$   $V_{rec2,rpp} = 1.586 \text{ Volt}$

จะได้  $V_{ripple,rpp} = 0.01728$  หรือ  $17.28 \text{ mV}$

@  $R_2 = 200 \text{ ohms}$

$V_{out} - 11.5 = V_{out} / (300 || 200) - (33.862 - 0.5(0.01728)) / 300 \Rightarrow V_{out} = 11.48284 \text{ Volt}$

$V_{out} - 11.5 = V_{out} / (300 || 200) - (33.862 + 0.5(0.01728)) / 300 \Rightarrow V_{out} = 11.48278 \text{ Volt}$

$V_{out,ripple} = 11.48284 - 11.48278 = 0.06 \text{ mV}$   $V_{out,DC} = 11.48281 \text{ V}$

@  $R_2 = 700 \text{ ohms}$

$V_{out} - 11.5 = V_{out} / (300 || 700) - (33.862 - 0.5(0.01728)) / 300 \Rightarrow V_{out} = 11.44164 \text{ Volt}$

$V_{out} - 11.5 = V_{out} / (300 || 700) - (33.862 + 0.5(0.01728)) / 300 \Rightarrow V_{out} = 11.44158 \text{ Volt}$

$V_{out,ripple} = 11.44164 - 11.44158 = 0.06 \text{ mV}$   $V_{out,DC} = 11.44161 \text{ V}$

เพราะฉะนั้น ค่า Ripple ของ output มีค่าน้อยกว่า 30 mV

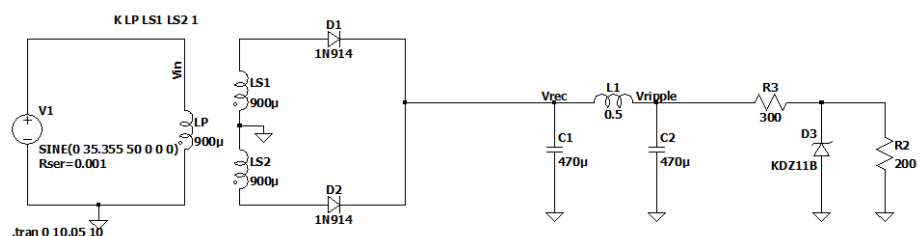
สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้การออกแบบวงจร

$C_1 = 470 \mu F$

$C_2 = 470 \mu F$

$R_1 = 300 \text{ ohms}$

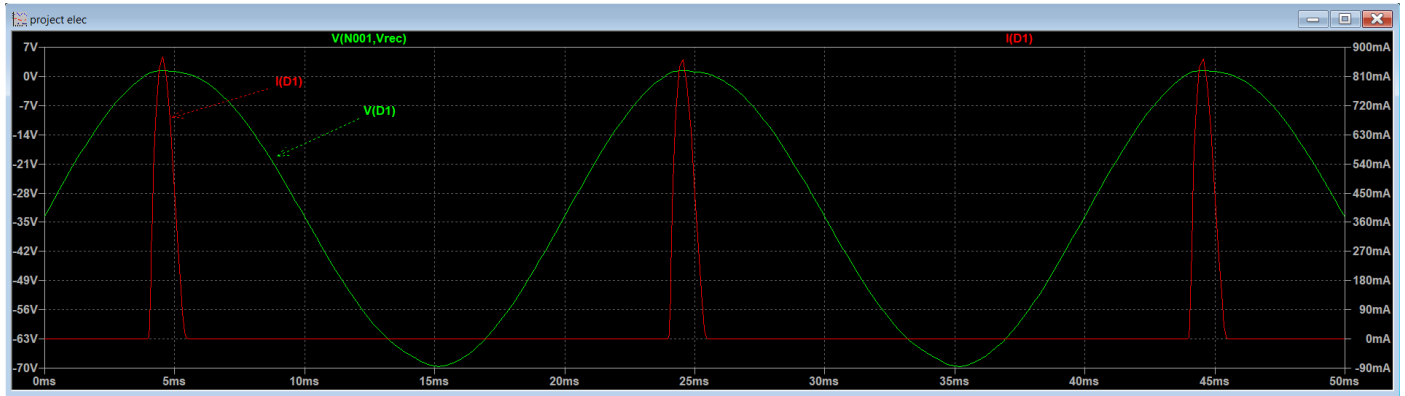
$L_1 = 0.5 \text{ H}$



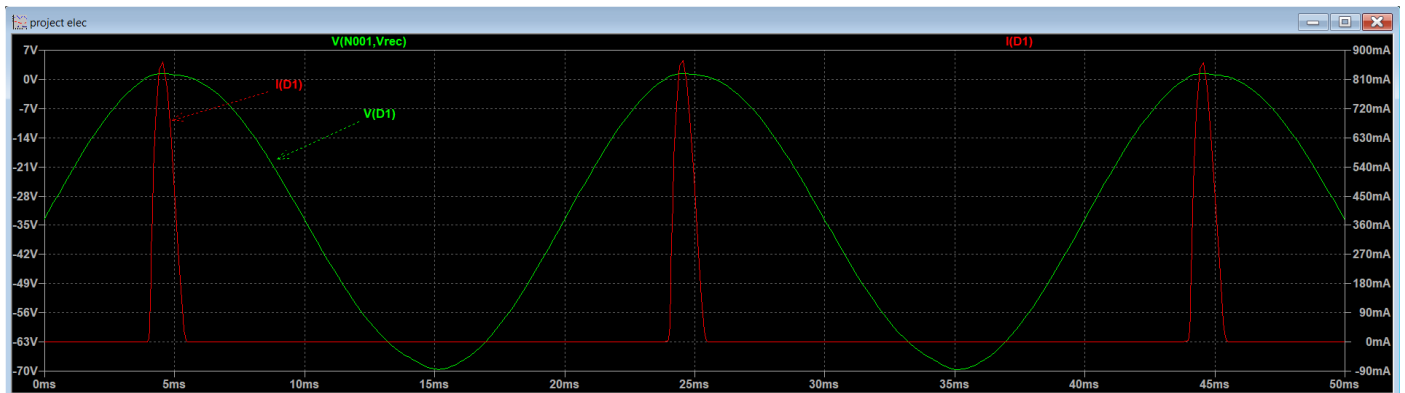
## ผลการทดลอง

1.) กราฟของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด และแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมไดโอดที่ใช้ในวงจร Rectifier

ที่  $R_2 = 200 \text{ ohms}$

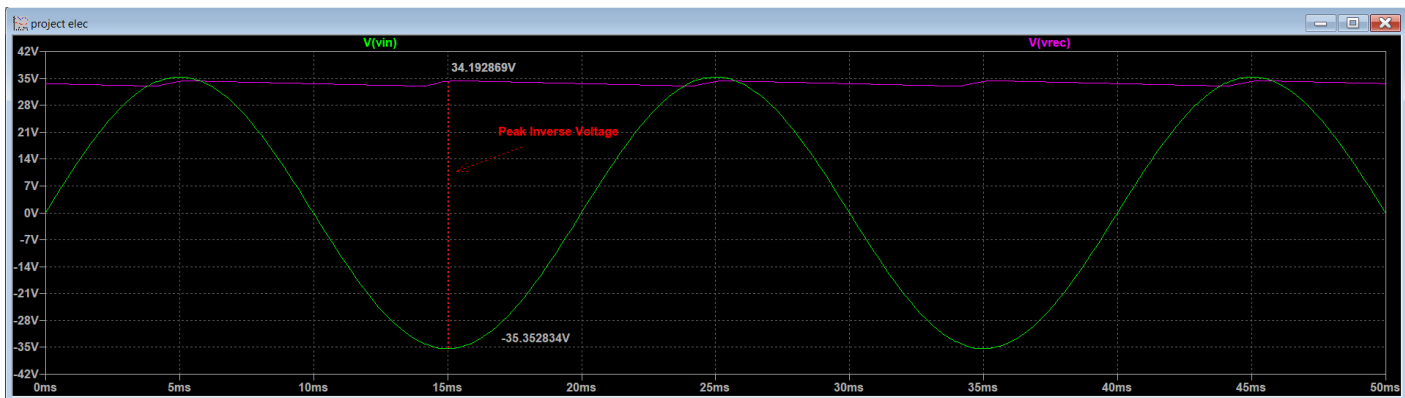


ที่  $R_2 = 700 \text{ ohms}$

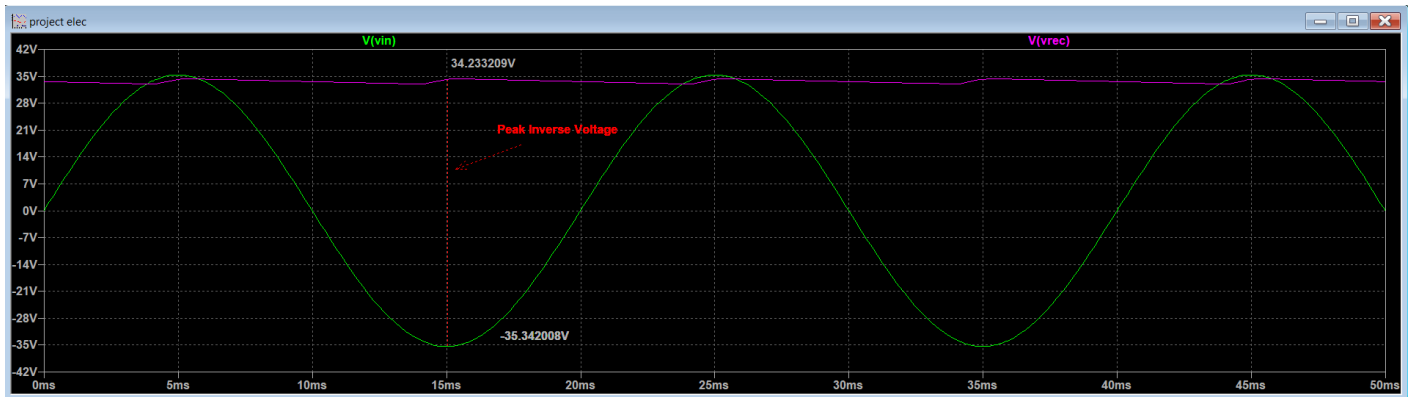


2.) กราฟของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม และ Peak inverse Voltage ของไดโอด

ที่  $R_2 = 200 \text{ ohms}$

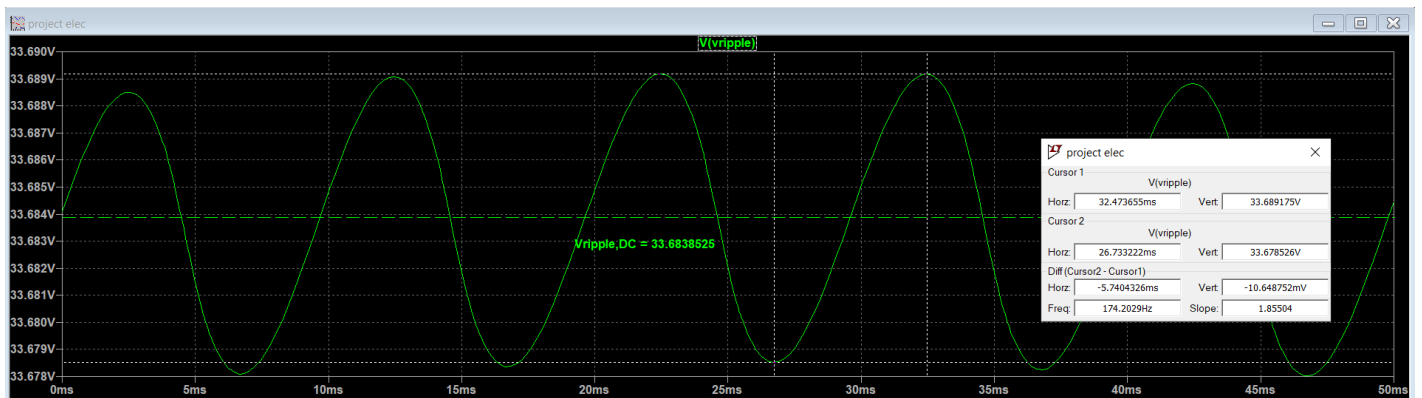


ที่  $R_2 = 700 \text{ ohms}$

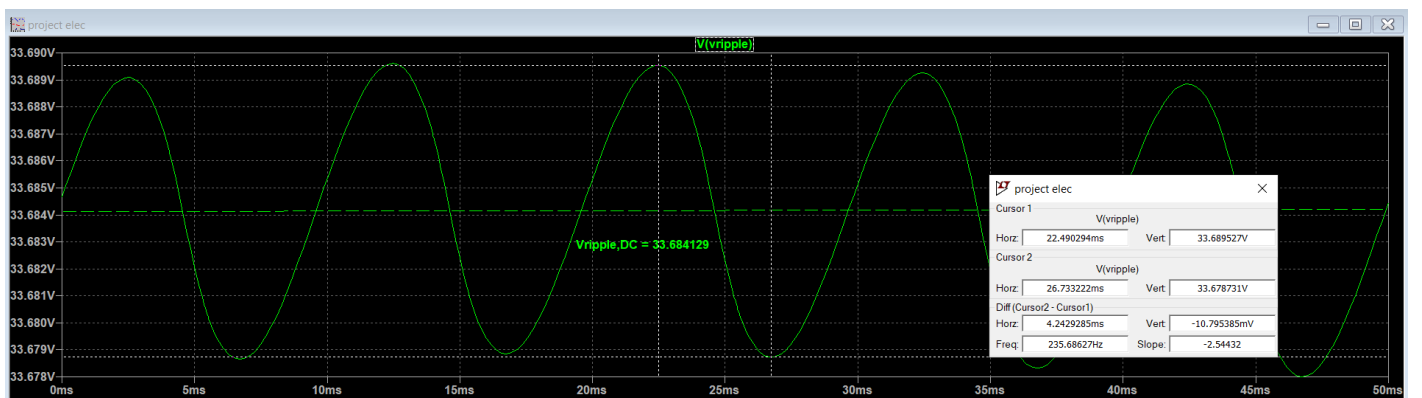


3.) กราฟของแรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage,  $V_{\text{ripple}}$ )

ที่  $R_2 = 200 \text{ ohms}$

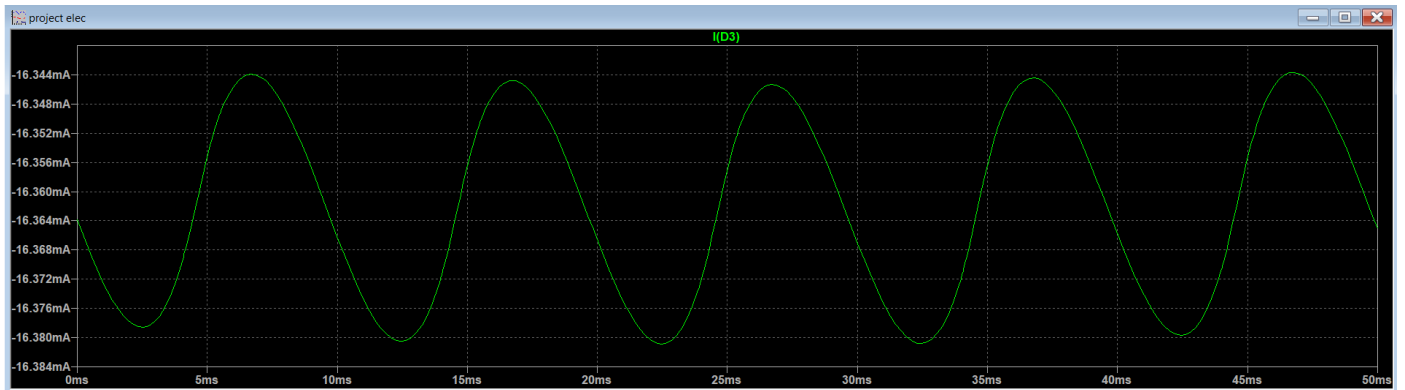


ที่  $R_2 = 700 \text{ ohms}$

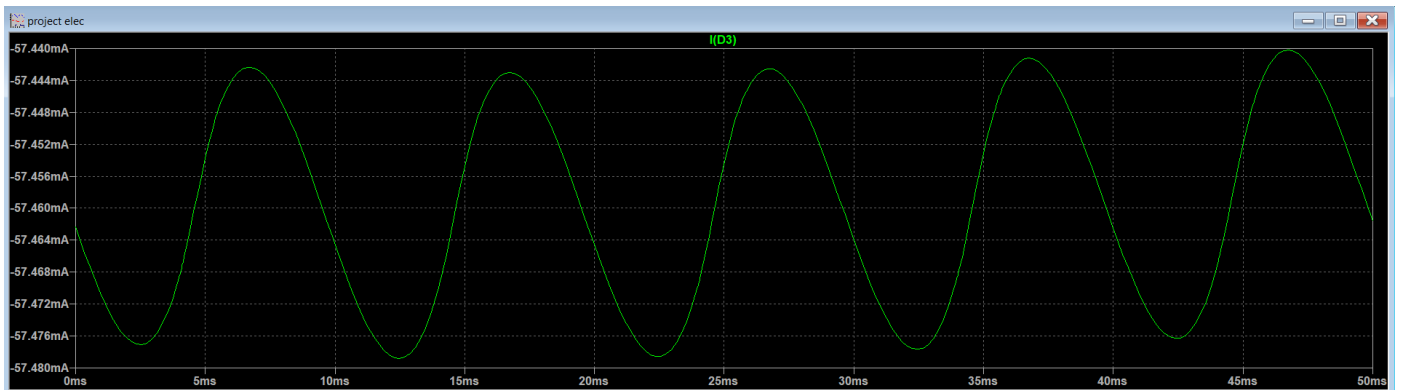


4.) กราฟของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน Zener diode

ที่  $R_2 = 200 \text{ ohms}$



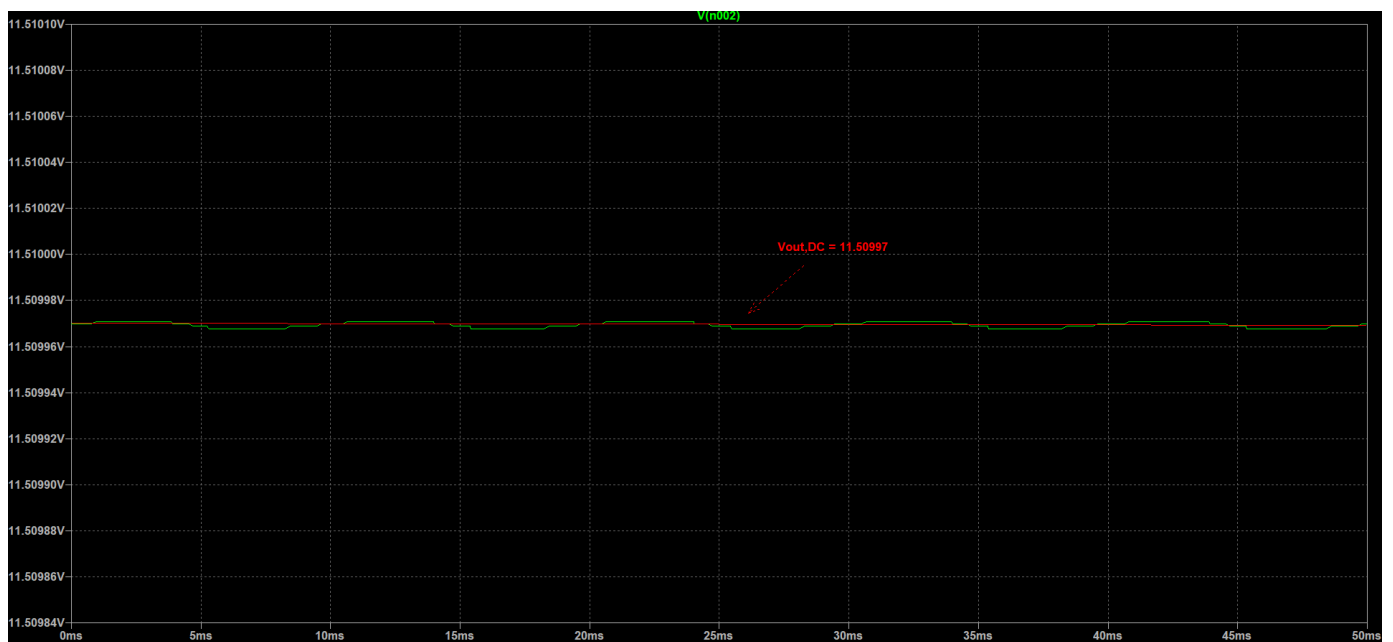
ที่  $R_2 = 700 \text{ ohms}$



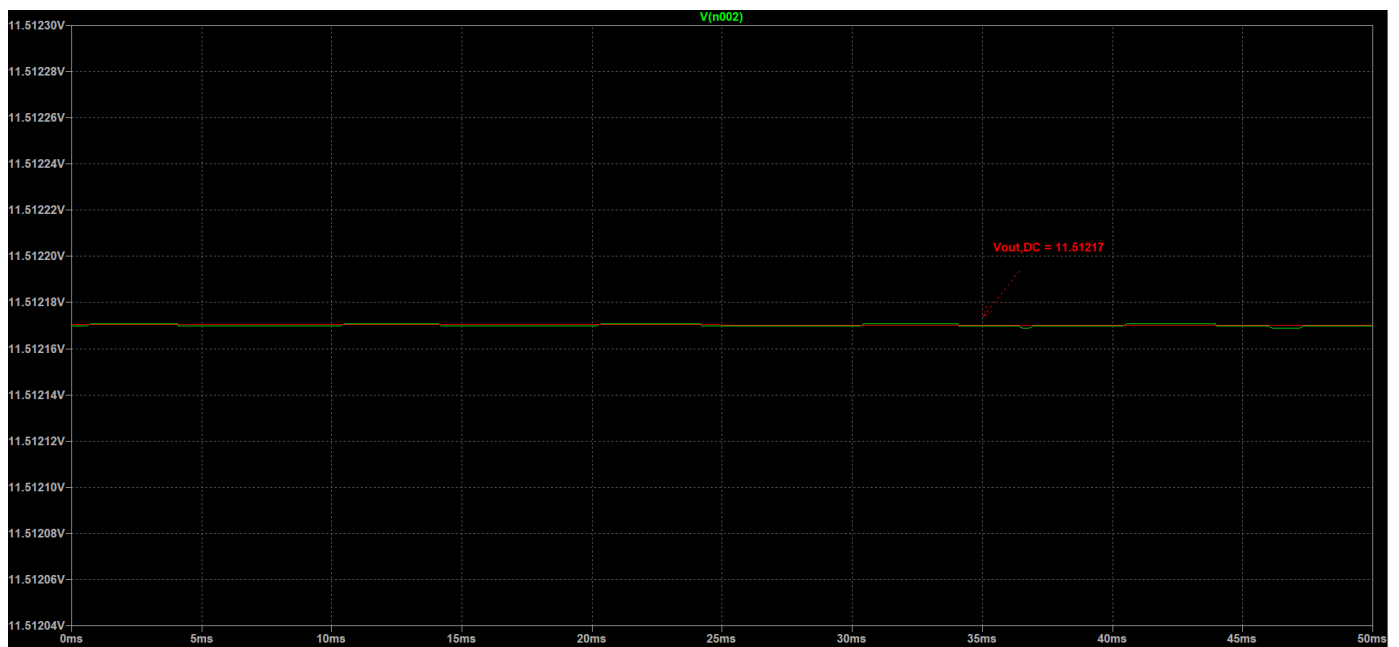


5.) กราฟของสัญญาณที่ตำแหน่ง Output พร้อมแสดงค่าเฉลี่ย DC

ที่  $R_2 = 200\text{ ohms}$



ที่  $R_2 = 700\text{ ohms}$



## สรุปผลการทดลอง

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถสร้างได้จากวงจรย่อย สาม ส่วนได้แก่ Rectifier หรือวงจรเรียงกระแส, Filter หรือวงจรกรองแรงดัน และ Voltage Regulator หรือวงจรควบคุมแรงดัน โดยสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎีได้ดังนี้

จากการคำนวณทางทฤษฎี	จากการทดลอง
$V_{\text{rec2,DC}} = 33.862 \text{ V}$	$V_{\text{rec2,DC}} = 33.682 \text{ V}$
$V_{\text{rec2,rpp}} = 1.586 \text{ V}$	$V_{\text{rec2,rpp}} = 1.357 \text{ V}$
$V_{\text{ripple,DC}} = 33.862 \text{ V}$	$V_{\text{ripple,DC}} = 33.682 \text{ V}$
$V_{\text{ripple,rpp}} = 17.28 \text{ mV}$	$V_{\text{ripple,rpp}} = 10.79 \text{ mV}$
$V_{\text{out,DC at 200ohm}} = 11.48281 \text{ V}$	$V_{\text{out,DC at 200ohm}} = 11.50997 \text{ V}$
$V_{\text{out,rpp at 200ohm}} = 0.06 \text{ mV}$	$V_{\text{out,rpp at 200ohm}} = <0.1 \text{ mV}$
$V_{\text{out,DC at 700ohm}} = 11.44161 \text{ V}$	$V_{\text{out,DC at 700ohm}} = 11.51217 \text{ V}$
$V_{\text{out,rpp at 700ohm}} = 0.06 \text{ mV}$	$V_{\text{out,rpp at 700ohm}} = <0.1 \text{ mV}$

ซึ่งค่าที่ได้ทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเป็นไปตามทฤษฎีและสามารถสร้างวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง โดยประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส Center-trapped Rectifier วงจรกรองกระแส LC-Pi Filter จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (  $c_1 = 470 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $c_2 = 470 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $R_1 = 300 \text{ ohms}$  &  $L_1 = 0.5 \text{ H}$  ) และวงจรควบคุมแรงดัน Voltage Regulator ( ใช้ Zener diode model คือ PTZ11B ) เพื่อสร้างไฟฟ้ากระแสตรงที่มี  $V_{\text{ripple,rpp}}$  ไม่เกิน  $30 \text{ mV}$ ,  $V_{\text{out}}$  อยู่ระหว่าง  $11\text{-}12 \text{ V}$  และกระแสที่ไหลผ่าน Zener diode อยู่ระหว่าง  $10\%\text{-}80\%$  ของกระแสสูงสุดได้

## ตอบคำถามในการออกแบบ

### 1.) ทำไมวงจร Half-Wave Rectifier จึงไม่นิยมในการสร้าง DC Power Supply

**Ans** เนื่องจากถ้าหากใช้ Half-Wave Rectifier ในการสร้างวงจรเรียงกระแสจะทำให้ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองเบื้องต้นก่อนจะเข้าไปยังวงจรกรอง มีช่วงเวลาที่เกิดการคายประจุมากกว่า Full-Wave Rectifier ทำให้  $V_{\text{rec,ripple}}$  สูงกว่าและทำให้การคำนวณโดยการประมาณคลาดเคลื่อนได้

### 2.) Peak Inverse Voltage ของไดโอด มีความสำคัญอย่างไรในการแบบวงจร Rectifiers

**Ans** มีความสำคัญที่ใช้ในการเลือกไดโอดในวงจร full wave rectifier โดยจะต้องสามารถทนแรงดันตกคร่อมได้เป็น 2 เท่าของ แรงดันอินพุตที่ป้อน นั่นคือ PIV ( Peak Inverse Voltage )

### 3.) ในการออกแบบวงจร Rectifier ค่าแรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุต (Output Ripple Voltage) ควรมีค่ามากหรือน้อยเพราะเหตุใด

**Ans** ควรมีค่าน้อย เนื่องต้องการสร้าง DC voltage ดังนั้นยิ่ง Ripple Voltage น้อยๆกราฟของแรงดันก็จะยิ่งเรียบเพราะต้องการสร้าง DC voltage

### 4.) ประสิทธิภาพของตัวกรองมีนิยามอย่างไร และควรมีค่ามากหรือน้อยเพราะ เหตุใด

**Ans** นิยามจาก Transfer Function และควรมีค่าน้อย เนื่องจาก Transfer Function เป็นสมการที่บอกถึงอัตราส่วนของ  $V_{\text{out}}$  และ  $V_{\text{in}}$  ของวงจร Filter โดยกำหนดให้ความต่างศักย์แต่ละตัวเป็น Ripple peak to peak จึงจะได้ว่า ถ้าอยากได้  $V_{\text{out,ripple}}$  ที่ออกจากวงจร Filter มีค่าต่ำกว่า  $V_{\text{in,ripple}}$  Transfer Function ก็ควรมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ในทางตรงกันข้ามถ้าหากอยากได้  $V_{\text{out,ripple}}$  ที่ออกจากวงจร Filter มีค่าสูงกว่า  $V_{\text{in,ripple}}$  Transfer Function ก็ควรมีค่ามากกว่าหนึ่ง

### 5.) วงจร Regulator มีความสำคัญอย่างไรต่อวงจร DC Power Supply และใน การออกแบบ (ตามโครงสร้างที่ได้รับมอบหมาย) นี้สามารถไม่ใช้วงจร Regulator ในการออกแบบได้หรือไม่เพราะเหตุใด

**Ans** ไม่ได้ เพราะหากไม่มีวงจร Regulator จะไม่สามารถควบคุมแรงดันที่ load ได้ เนื่องจากเมื่อต่อ load โดยปราศจากวงจร Regulator จะทำให้ความต่างศักย์ที่คร่อม load มีการเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของ load จึงไม่สามารถสร้างวงจรตามที่โจทย์ต้องการได้ (  $R_2 = 200-700 \text{ ohms}$  )

6.) จงอธิบายปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำวงจร DC Power Supply ที่ออกแบบ (ตามโครงสร้างที่ได้รับมอบหมาย) ไปใช้ในกรณีที่โหลดมีค่าต่ำ (ประมาณ 100 โอห์ม) และโหลดมีค่าสูง (ประมาณ 1000 โอห์ม)

**Ans** หากโหลดมีขนาดต่ำเกินไปจะทำให้ Zener diode ไม่เกิดการ Breakdown เนื่องจากแรงดันที่คร่อม load มีค่าต่ำกว่า 11.5 เพราะฉะนั้นกรณีโหลดที่ต่ำจะเกิดปัญหา Zener ไม่ Breakdown และทำให้  $V_{out}$  ไม่ตรงตามโจทย์ แต่ถ้าหาก load มีค่าสูงจะไม่เกิดปัญหาเพราะไม่ว่าความต่างศักย์ที่คร่อม load จะมากเท่าใดก็ยังทำให้ Zener breakdown และทำให้  $V_{out}$  อยู่ระหว่าง 11-12V ตามโจทย์