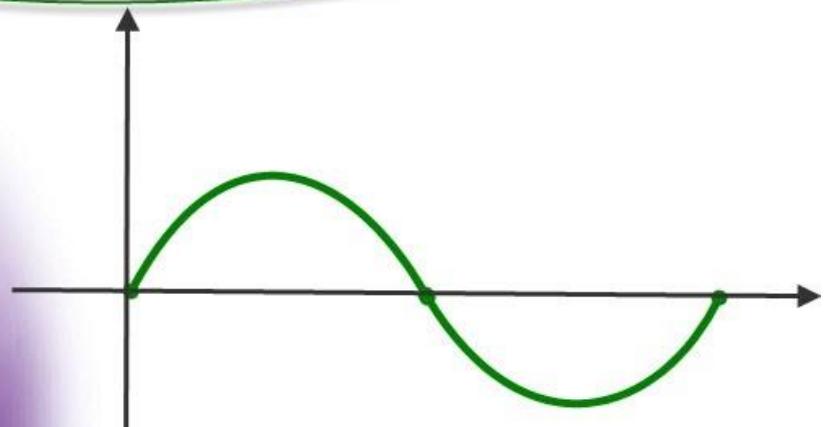


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

موضوع پروژه:

# طراحی مبدل DC-DC پوش-پول



برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

( شماره پروژه = ۵۳۸ )

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### فهرست مطالب

- ۱- طراحی مدار قدرت ..... ۱
- ۱-۱- معرفی مشخصات پروژه ..... ۱
- ۲-۱- مدار قدرت مبدل پوش-پول ..... ۱
- ۳-۱- طراحی مبدل ..... ۳
- ۱-۳-۱- تعیین دوره کار مبدل (D) ..... ۴
- ۲-۳-۱- انتخاب سلف و خازن فیلتر خروجی ..... ۵
- ۳-۳-۱- طراحی سلف خروجی ..... ۵
- ۴-۳-۱- طراحی ترانسفورماتور ..... ۹
- ۴-۱- انتخاب عناصر فعال و غیر فعال قدرت ..... ۱۵
- ۵-۱- محاسبه تلفات حداکثر عناصر مغناطیسی و عناصر فعال مبدل ..... ۱۷
- ۱-۵-۱- تلفات سلف خروجی ..... ۱۸
- ۲-۵-۱- تلفات ترانسفورماتور ..... ۱۸
- ۳-۵-۱- تلفات خازن خروجی ..... ۱۸

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۱-۵-۴ تلفات دیودهای یکسوکننده ..... ۱۹

۱-۵-۵-۵ تلفات کلیدها ..... ۱۹

۱-۶-۱ انتخاب گرماگیر ..... ۲۱

۲- طراحی مدار ضربه گیر ..... ۲۲

۲-۱ طراحی مدار ضربه گیر برای دیودها ..... ۲۲

۲-۲ طراحی مدار ضربه گیر برای کلیدها ..... ۲۴

۳- طراحی مدار فرمان و کنترل ..... ۲۷

۳-۱ طراحی مدار فرمان و کنترل با توجه به مدار مجتمع انتخاب شده ..... ۲۷

۳-۲ بخش های جانبی برای مجزاسازی و راه اندازی عناصر قدرت ..... ۲۸

۴- طراحی مدار جبران کننده ..... ۲۹

۴-۱ مدلسازی مبدل با استفاده از روش میانگین گیری ..... ۲۹

۴-۲ خطی سازی مبدل ..... ۳۰

۴-۳ به کار گیری جبران کننده و تحلیل سیستم جبران شده ..... ۳۲

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵- نقشه مدارها ..... ۳۶

۵-۱- مدار قدرت و مدارهای ضربه گیر ..... ۳۶

۵-۲- مدار کنترل و فرمان ..... ۳۶

۵-۳- مدار راه انداز ..... ۳۶

۵-۴- مشخصات قطعات ..... ۳۷

۶- شبیه سازی و نتیجه گیری ..... ۴۰

۶-۱- بررسی ولتاژ و جریان در نقطه کار مبدل ..... ۴۰

۶-۲- تعیین پارامترهای طراحی ..... ۴۱

۶-۳- پارامترهای سیستم جبران شده ..... ۴۱

۶-۴- تلفات قطعات قدرت ..... ۴۲

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فهرست شکل ها

شکل (۱-۱): مدار قدرت مبدل پوش-پول..... ۲

شکل (۲-۱): شکل موجهای ولتاژها و جریانهای مهم مبدل پوش-پول..... ۳

شکل (۳-۱): مقاومت های سری و موازی برای مدلسازی تلفات ترانسفورماتور..... ۱۴

شکل (۱-۲): مدار معادل مبدل در سمت ثانویه ترانس..... ۲۲

شکل (۲-۲): اسنابر RDC (turn-off)..... ۲۴

شکل (۱-۴) مدار میانگین گیری شده مبدل پوش-پول..... ۲۹

شکل (۲-۴) مدار خطی شده مبدل پوش-پول..... ۳۱

شکل (۳-۴) جبران کننده مورد استفاده و آرایش سیستم جبران شده..... ۳۳

شکل (۴-۴) دیاگرام بود و مکان ریشه های سیستم جبران شده..... ۳۴

شکل (۵-۴) پاسخ سیستم خطی شده به تغییر پله ای در دوره کار..... ۳۴

شکل (۶-۴) مدار میلنگین گیری شده سیستم، شبیه سازی شده در Simulink..... ۳۵

شکل (۷-۴) تغییرات ولتاژ خروجی در اثر تغییر ولتاژ ورودی از حداقل به حداکثر مقدار آن..... ۳۵

شکل (۱-۵) شمای کلی مدار پیاده سازی شده در نرم افزار Orcad..... ۳۸

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۲-۵) نقشه مدار قدرت و مدارهای ضربه گیر پیاده سازی شده در نرم افزار Orcad..... ۳۸

شکل (۳-۵) نقشه مدار راه انداز پیاده سازی شده در نرم افزار Orcad..... ۳۹

شکل (۴-۵) نقشه مدار فرمان و کنترل به همراه مدار جبران کننده پیاده سازی شده در نرم افزار Orcad..... ۳۹

شکل (۱-۶) ولتاژ خروجی به ازای حداقل ولتاژ ورودی ( $V_{in}=44\text{ v}$ )..... ۴۳

شکل (۲-۶) جریان سلف به ازای حداقل ولتاژ ورودی ( $V_{in}=44\text{ v}$ )..... ۴۳

شکل (۳-۶) ولتاژ خروجی به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )..... ۴۴

شکل (۴-۶) جریان سلف به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )..... ۴۴

شکل (۵-۶) ولتاژ خروجی به ازای حداکثر ولتاژ ورودی ( $V_{in}=60\text{ v}$ )..... ۴۵

شکل (۶-۶) جریان سلف به ازای حداکثر ولتاژ ورودی ( $V_{in}=60\text{ v}$ )..... ۴۵

شکل (۷-۶) ریپل جریان سلف به ازای حداقل ولتاژ ورودی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )..... ۴۶

شکل (۸-۶) ریپل جریان سلف به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )..... ۴۶

شکل (۹-۶) ریپل جریان سلف به ازای حداکثر ولتاژ ورودی ( $V_{in}=60\text{ v}$ )..... ۴۷

شکل (۱۰-۶) ولتاژ کلید به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )..... ۴۷

شکل (۱۱-۶) جریان کلید به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )..... ۴۸

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۱۲) تلفات مقاومت موازی ترانس (Rp) به ازای ولتاژ ورودی نامی (Vin=48 v)..... ۴۸

شکل (۶-۱۳) تلفات متوسط مقاومت موازی ترانس (Rp) به ازای ولتاژ ورودی نامی (Vin=48 v).... ۴۹

شکل (۶-۱۴) تلفات کلید به ازای ولتاژ نامی (Vin=48 v)..... ۴۹

شکل (۶-۱۵) تلفات متوسط دیود به ازای ولتاژ ورودی نامی (Vin=48 v)..... ۵۰

شکل (۶-۱۶) بازده مبدل به ازای ولتاژ ورودی نامی (Vin=48 v)..... ۵۰

شکل (۶-۱۷) تغییرات ولتاژ خروجی به ازای تغییر ولتاژ ورودی از حداقل به حداکثر مقدار آن..... ۵۱



فهرست جدول ها

جدول (۱-۱): مشخصات کلی مبدل ..... ۱

جدول (۱-۵): مشخصات قطعات اصلی مبدل پوشش-پول ..... ۳۷

جدول (۱-۶) پارامترهای طراحی مبدل در چهار نقطه کار "الف" تا "ج" ..... ۴۱

جدول (۲-۶) پارامترهای سیستم جبران شده ..... ۴۲



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱- طراحی مدار قدرت

۱-۱- معرفی مشخصات پروژه

هدف از این پروژه، طراحی یک مبدل DC-DC از نوع Push-Pull است. مشخصات کلی مبدل مورد نظر در جدول (۱-۱) آورده شده است.

نوع مبدل	ولتاژ ورودی	ولتاژ خروجی	جریان خروجی	IC کنترل کننده
Push-Pull	48 V 44V<Vin<60V	5 V	20 A	SG3525A

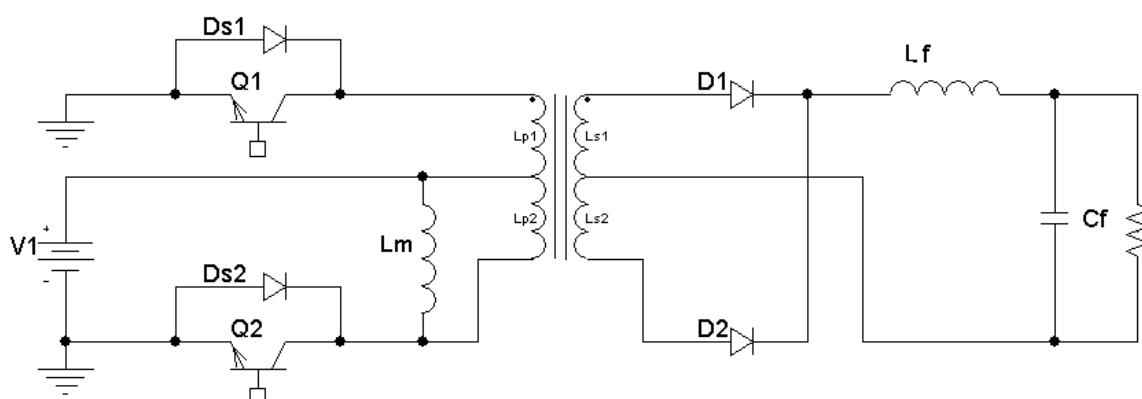
جدول (۱-۱): مشخصات کلی مبدل

همانطور که در جدول (۱-۱) مشخص شده است، کنترل مبدل مذکور و سوئیچینگ کلید های آن توسط مدار مجتمع SG 3525A صورت می گیرد. از آنجا که مدار مجتمع مذکور در کتابخانه نرم افزار شبیه سازی مورد استفاده در این پروژه (Orcad)، وجود ندارد، لذا به جای آن از SG 1525 که مشخصاتش دقیقاً مشابه مشخصات SG 3525 است، استفاده شده است. لیستی از اجزا و المانهای مهم مورد استفاده در طراحی مبدل و مشخصات آنها را در انتهای این نوشتار آورده ایم.

۱-۲- مدار قدرت مبدل پوش-پول

مدار قدرت مبدل نیم پل شامل مدارهای حفاظتی، کلیدها و دیودهای آن در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. در شکل (۲-۱) نیز، شکل موجهای ولتاژها و جریانهای مهم مبدل به نمایش گذاشته شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۱-۱): مدار قدرت مبدل پوش-پول

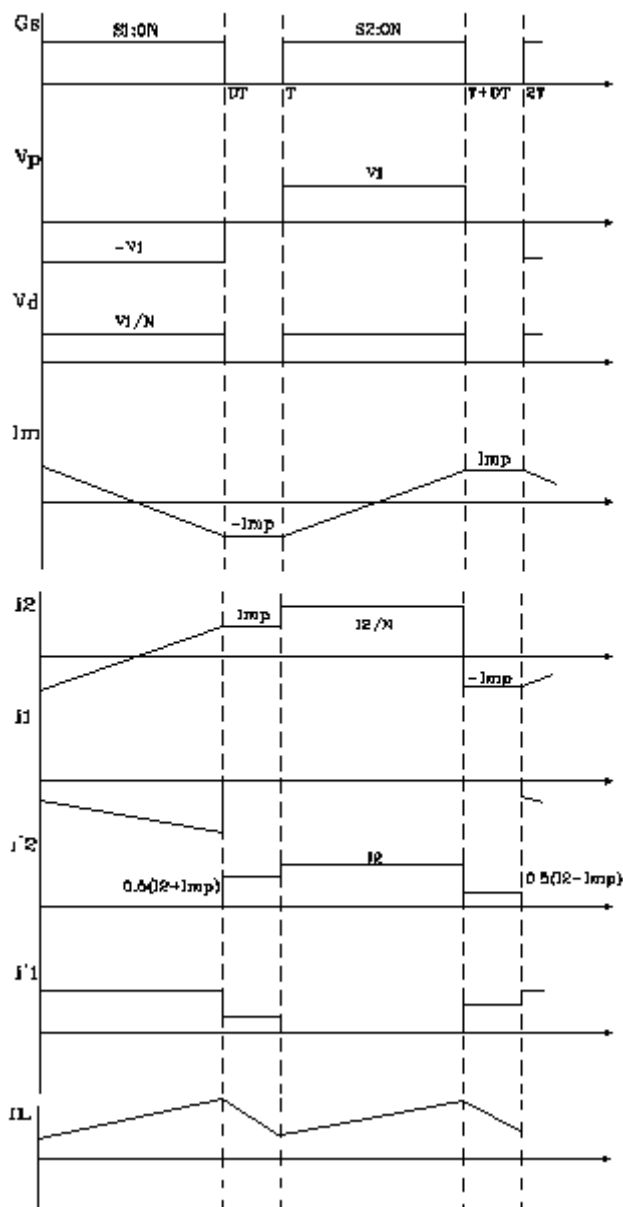
با توجه به شکل (۱-۱) و شکل موج ولتاژ  $V_d$  از شکل (۲-۱)، ولتاژ خروجی مبدل از رابطه (۱-۲-۱) که در آن افت ولتاژهای دو سر دیود و کلید در نظر گرفته شده است بدست می آید.

$$V_o = \frac{D}{N} (V_1 - V_{sw}) - V_D$$

۱-۲-۱

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۲-۱): شکل موجهای ولتاژها و جریانهای مهم مبدل پوش-پول

۳-۱- طراحی مبدل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در بخش سوم از فصل یکم، به طراحی مبدل که شامل انتخاب عناصر قدرت و طراحی عناصر مغناطیسی مدار است پرداخته می شود و در همین قسمت تلفات عناصر مغناطیسی محاسبه شده و مدلسازی می گردد و در پایان گرماگیرهای مناسب جهت حفاظت کلید انتخاب می شوند.

### ۱-۳-۱- تعیین دوره کار مبدل (D)

در مبدل نیم پل، هر چه D به ۱ نزدیک تر باشد، مبدل بهینه تر خواهد بود. لذا مدار را به گونه ای طراحی می نماییم که در حداقل ولتاژ ورودی،  $D_{max}=0.8$  باشد که این D متناظر با حداکثر دوره کار در نظر گرفته می شود.

$$V_o = \frac{D_{max}}{N} (V_{in\ min} - V_{sw}) - V_D \quad V_{sw} \approx 1.5V \quad , \quad V_D \approx 1V \quad 1-1-3-1$$

$$5 = \frac{0.8}{N} (44 - 1.5) - 1 \Rightarrow N = 5.67 \quad \begin{array}{l} N = 4 \Rightarrow D_{max} = 0.71 \\ N = 6 \Rightarrow D_{max} = 0.85 \end{array} \quad 2-1-3-1$$

با توجه به اینکه در عمل D مقداری بیشتر از آنچه در محاسبات در نظر گرفته می شود خواهد شد، لذا مقدار کمتر N را که متناظر با مقدار کمتر D است انتخاب می نماییم تا  $D_{max}$  ای که در عمل بدست می آید مناسب باشد. با این انتخاب برای  $D_{min}$  به ازای حداکثر ولتاژ ورودی داریم:

$$5 = \frac{D_{min}}{N} (V_{in\ max} - 1.5) - 1 \quad 3-1-3-1$$

$$5 = \frac{D_{min}}{5} (60 - 1.5) - 1 \Rightarrow D_{min} = 0.51 \quad 4-1-3-1$$

بنابراین مقادیر زیر را برای N،  $D_{max}$  و  $D_{min}$  خواهیم داشت.

$$N = 5 \quad , \quad D_{max} = 0.71 \quad , \quad D_{min} = 0.51 \quad 5-1-3-1$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۱-۳-۲- انتخاب سلف و خازن فیلتر خروجی

فرکانس کلیدزنی مبدل را ۵۰ کیلوهرتز انتخاب می کنیم و در این صورت، فرکانس ریپل جریان و ولتاژ خروجی ۱۰۰ کیلو هرتز خواهد بود. برای کار در حالت پیوسته و با فرض  $\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0.5\%$ ، باید داشته باشیم:

$$\Delta I_{Lmax} \leq 2I_{Loadmin} = 2 \times 20 = 40A \quad , \quad \Delta I_{select} = \frac{1}{5} \text{ to } \frac{1}{20} \Delta I_{Lmax} \quad 1-2-3-1$$

$$\Rightarrow \Delta I_{Lmax,select} = 4A$$

$$L = \frac{(V_o + V_D)(1 - D_{min})}{f_o \Delta I_L} = \frac{(5 + 1)(1 - 0.51)}{100^{KHZ} \times 4} = 7.35 \mu H \quad \Rightarrow \quad L = 7.4 \mu H \quad 2-2-3-1$$

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f_o \Delta V_o} = \frac{4}{8 \times 100^{KHZ} \times 0.005 \times 5} = 200 \mu F \quad \Rightarrow \quad C = 200 \mu F \quad 3-2-3-1$$

اکنون به طراحی سلف و ترانس مورد استفاده می پردازیم.

WikiPower.ir

### ۱-۳-۳- طراحی سلف خروجی

الف) تعیین پارامترهای طراحی سلف

با توجه به شکل موج جریان سلف، می توان نشان داد که مقدار مؤثر جریان عبوری از سلف برابر ۲۰.۰۳ آمپر است، لذا جریان مؤثر سلف را ۲۰.۱ آمپر انتخاب می کنیم. همچنین حداکثر جریان سلف نیز  $20+2=22$  آمپر است که آن را ۲۵ آمپر در نظر می گیریم. هسته مورد استفاده را از نوع فریت معمولی انتخاب می نماییم که برای آن  $B_{max} = 0.15T$  می باشد.

ب) محاسبات طراحی سلف

در این بخش، مراحل محاسباتی طراحی سلف را به ترتیب می آوریم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

(۱) محاسبه حداکثر انرژی ذخیره شده در سلف

$$W_{\max} = \frac{1}{2} LI_m^2 = \frac{1}{2} \times 7.4 \mu H \times 25^2 = 0.0023125 \text{ J} \quad 1-3-3-1$$

(۲) انتخاب  $B_{\max}$ : برای بهینه ترین حالت طراحی، مقدار  $B_{\max}$ ، 0.15T خواهد بود.

$$B_{\max} = 0.15T \quad 2-3-3-1$$

(۳) محاسبه حجم شکاف هوایی

$$V_g = \frac{2\mu_0 W_{\max}}{B_m^2} = \frac{2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.0023125}{0.15^2} = 0.258 \times 10^{-6} m^3 \quad 3-3-3-1$$

$$g = \sqrt[3]{\frac{V_g}{1000}} = 1.37mm \Rightarrow A_c = 100g^2 = 188.11mm^2 \quad 4-3-3-1$$

لذا هسته انتخابی، E 42/20 خواهد بود و داریم:

$$A_c = 240mm^2 \Rightarrow g = \frac{V_g}{A_c} = 1.075mm \Rightarrow g = 1.1mm \quad 5-3-3-1$$

(۴) محاسبه تعداد دورهای سیم پیچی

$$N_L = \sqrt{\frac{Lg}{\mu_0 A_c}} = \sqrt{\frac{7.4 \times 10^{-6} \times 1.1 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 240 \times 10^{-6}}} = 5.2 \Rightarrow N_L = 5 \quad 6-3-3-1$$

$$\Rightarrow L = 6.9 \mu H$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

(۵) انتخاب نوع سیم: چگالی جریان را حداکثر مقدار آن یعنی  $J = 4 A/mm^2$  انتخاب می کنیم، در این صورت داریم:

$$A_{cu} = \frac{I_{rms}}{J} = \frac{20.1}{4} = 5.025 mm^2 \Rightarrow D_{cu} = \sqrt{\frac{4A_{cu}}{\pi}} = 2.5 mm \quad 7-3-3-1$$

$$\delta_{cu} = 0.5 \sqrt{\frac{10}{f_o (KHZ)}} = 0.5 \sqrt{\frac{10}{100}} = 0.158 \Rightarrow \delta_{cu} \ll D_{cu} \quad 8-3-3-1$$

لذا از فویل مسی استفاده می نماییم.

$$h_{foil} = 0.08 mm \Rightarrow W_{foil} = \frac{A_{cu}}{h_{foil}} = \frac{5.025}{0.08} = 62.81 mm \quad 9-3-3-1$$

(۶) امتحان جاشدن سیم پیچی :

$$NA_{cu} = 5 \times 5.025 = 25.13, \quad k_u A_w = 0.4 \times 256 = 102.4 \Rightarrow NA_{cu} \ll k_u A_w \quad 10-3-3-1$$

برای هسته مورد استفاده،  $e=15.5 mm$  است و لذا  $2e=31 mm$  می باشد که این مقدار، حداکثر عرض ممکن برای فویل می باشد. بنابراین باید سه فویل را با هم موازی کنیم تا  $W_{foil}$  لازم را ایجاد کند ( $M=3$ ). بنابراین عرض هر یک از فویل ها برابر است با:

$$\frac{62.81}{3} = 20.94 mm \quad 11-3-3-1$$

(۷) محاسبه تلفات سیم پیچی :

$$k_{layer} = \frac{N_L b}{b_w} = \frac{1 \times 20.94}{31} = 0.68 \Rightarrow x = \frac{h}{\delta} \sqrt{k_{layer}} = 0.42 \quad 12-3-3-1$$

$$\text{For Cu Foil: } f_R(x) \approx 1 + \frac{5M^2 - 1}{45} x^4 = 1 + \frac{5 \times 3^2 - 1}{45} (0.42)^4 = 1.03 \quad 13-3-3-1$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

$$l_{mean} \approx 2(f + c + 2 \times N \times h_{foil}) = 63.4mm \Rightarrow l_{mean} \approx 65mm \quad 14-3-3-1$$

$$R_{dc} = \frac{N l_{mean}}{54 A_{cu}} = \frac{5 \times 65 \times 10^{-3}}{54 \times 5.1} = 1.18m\Omega \quad 15-3-3-1$$

$$P_{cu} = R_{ac} I_{rms}^2 = R_{dc} \times f_R(x) \times I_{rms}^2 = 1.18 \times 10^{-3} \times 1.03 \times 20.1^2 = 0.49W \quad 16-3-3-1$$

(۸) محاسبه تلفات هسته

با توجه به رابطه زیر در زمان روشن بودن کلیدها، مقدار تغییرات چگالی شار ( $\Delta B$ ) بدست می آید:

$$V_L = N_L \frac{d\phi}{dt} = \frac{N_L A_c \Delta B}{\Delta t}, \Delta t = D.T \Rightarrow \Delta B = \frac{D(V_L)}{f N_L A_c} = \frac{D(V_{in} - V_o)}{f N_L A_c} \quad 17-3-3-1$$

$$\Rightarrow \Delta B_{max} = \frac{D_{min} (V_{in,max} - V_o)}{f N_L A_c} = \frac{0.51(\frac{60}{5} - 5)}{100^{KHZ} \times 5 \times 240 \times 10^{-6}} \approx 0.02975T \quad 18-3-3-1$$

با استفاده از فرمول زیر، تلفات هسته بدست می آید:

$$P_{core} = 950 \frac{mw}{cm^3} \times \left(\frac{f}{100}\right)^{1.6} \times \left(\frac{\Delta B}{0.2}\right)^{2.6} \times V_{core} = \quad 19-3-3-1$$

$$950 \times \left(\frac{100}{100}\right)^{1.6} \times \left(\frac{0.02975}{0.2}\right)^{2.6} \times \frac{23300}{10^6} = 0.16W$$

اگر بخواهیم تفاوت تلفات سیم پیچی و هسته را کمتر بنماییم و به طراحی بهینه تر برسیم، باید یا B را بیشتر کنیم که امکان پذیر نیست یا L را کمتر کنیم که باعث بزرگ تر شدن ابعاد سیم پیچی می شود در حالی که تأثیر چندانی روی تلفات کل سلف نمی گذارد. لذا طراحی انجام شده را به عنوان طراحی بهینه می پذیریم. بنابراین مشخصات نهایی سلف طراحی شده به صورت زیر خواهد بود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\text{Inductance: } L = 6.9 \mu H, \quad I_{rms} = 20.1 A, \quad I_{max} = 25 A$$

$$\text{Core: } E42/20, \quad B_{max} = 0.15 T, \quad g = 1.1 mm, \quad P_{core} = 0.16 W$$

$$\text{Winding: } N_L = 5, \quad \text{Cu Foil}, \quad h_{foil} = 0.08 mm, \quad P_{cu} = 0.49 W$$

$$P_{total} = 0.65 W$$

۲۰-۳-۳-۱

ج) مدلسازی تلفات سلف

تلفات سیم پیچی و هسته سلف، به وسیله یک مقاومت سری با سلف مدل می شود که مقدار آن برابر است با:

$$P_{total} = R_L I_{rms}^2 \Rightarrow 0.65 = R_L \times 20.1^2 \Rightarrow R_L = 1.61 m\Omega$$

۲۱-۳-۳-۱

۱-۳-۴- طراحی ترانسفورماتور

الف) تعیین پارامترهای طراحی

با توجه به شکل موج جریان ها و ولتاژ های ترانس از شکل (۱-۲)، می توان نشان داد که:

$$i'_{1rms} = i'_{2rms} = \frac{I_2}{2} \sqrt{1+D}$$

۱-۴-۳-۱

بنابراین حداکثر مقدار مؤثر جریان ثانویه، به ازای  $D_{max}$  رخ می دهد.

$$D_{max} = 0.71 \Rightarrow i'_{1rms} = \frac{20}{2} \sqrt{1+0.71} = 13.1 A$$

۲-۴-۳-۱

$$i_{primrms} = \frac{13.1}{5} = 2.6 A$$

۳-۴-۳-۱

و لذا پارامترهای طراحی ترانس، با در نظر گرفتن حداکثر ولتاژ ورودی که متناظر با حداکثر B است، به صورت زیر می باشد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

$$N = \frac{V_1}{V_2} = 5, \quad I_{prim, \max} = 2.6A, \quad I_{sec, \max} = 13.1A \quad ۴-۴-۳-۱$$

$$V_{p, \max} = 60V, \quad f_{Tr} = f_{sw} = 50 \text{ KHZ}$$

(ب) مراحل طراحی ترانسفورماتور

(۱) انتخاب نوع هسته و  $B_m$ :

هسته ها از نوع فریت معمولی بوده و  $B_{\max} = 0.15T$ ، لذا  $B_{\max} = 0.15T$  انتخاب می کنیم.

(۲) تعیین هسته:

$$A_p = \frac{(V_1 I_1 + V_2 I_2) D}{4 f B_m k_u J}, \quad V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad ۵-۴-۳-۱$$

با توجه به دو سیم پیچ بودن ترانس و انتخاب  $J = 4 \text{ A/mm}^2$ ، خواهیم داشت:

$$V_{1rms} = V_{in, \min} \sqrt{D_{\max}} = 44 \times \sqrt{0.71} = 37.08V \quad ۶-۴-۳-۱$$

$$A_{p, \max} = \frac{2 * 2(37.08 \times 2.6 \times 0.71)}{4 \times 50 \times 10^3 \times 0.15 \times 0.4 \times 4 \text{ A/mm}^2} = 5704.1 \text{ mm}^4 \quad ۷-۴-۳-۱$$

اگر از هسته E 32/9 استفاده نماییم، سیم پیچ به خوبی جا نمی شود. لذا از هسته E 42/15 استفاده می نماییم. در این صورت تعداد دورهای اولیه و ثانویه برابر است با:

$$N_1 = \frac{DV_1}{4 f A_{core} B_m} = \frac{0.77 \times 37.08}{4 \times 50 \times 10^3 \times 178 \times 10^{-6} \times 0.15} = 4.93 \approx 5 \quad ۸-۴-۳-۱$$

$$N_2 = \frac{N_1}{N} = \frac{5}{5} = 1 \quad ۹-۴-۳-۱$$

(۳) انتخاب سیم پیچی ها:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\delta_{cu} = 0.5 \sqrt{\frac{10}{f(KHZ)}} = 0.5 \sqrt{\frac{10}{50}} = 0.2236 \quad 10-4-3-1$$

$$I_{sec\ rms} = 13.1A \Rightarrow A_{cu2} = \frac{I_2}{J} = 3.3mm^2 \quad 11-4-3-1$$

$$\Rightarrow D_{cu2} = \sqrt{\frac{4A_{cu2}}{\pi}} = 2.04mm \rangle \delta_{cu}$$

$$I_{prim\ rms} = 2.6A \Rightarrow A_{cu1} = \frac{I_1}{J} = 0.65mm^2 \quad 12-4-3-1$$

$$\Rightarrow D_{cu1} = \sqrt{\frac{4A_{cu1}}{\pi}} = 0.91mm \rangle \delta_{cu}$$

بنابراین برای سیم پیچی اولیه و ثانویه از فویل مسی استفاده می کنیم.

$$W_{foil\ max} = 2e - 6mm = 2 \times 15.5 - 6 = 25mm \quad 13-4-3-1$$

$$h_{foil1} = 0.1mm \Rightarrow W_{foil2} = 6.5mm \Rightarrow 1 \text{ foil per turn} \Rightarrow M_1 = 1 \quad 14-4-3-1$$

$$h_{foil2} = 0.1mm \Rightarrow W_{foil2} = 33mm \Rightarrow 2 \text{ foil per turn} \Rightarrow P_2 = 2 \quad 15-4-3-1$$

(۴) امتحان جاشدن سیم پیچی ها:

$$h_{req} = [M_1 \times N_1 \times h_{foil1} + M_2 \times N_2 \times h_{foil2} + (N_1 + N_2 + 2)h_{ins}] + 3h_{bobin} = \quad 16-4-3-1$$

$$= [1 \times 5 \times 0.1 + 2 \times 1 \times 0.1 + (5 + 1 + 2) \times 0.05] + 3 \times 1 = 5.2mm$$

$$h_{avai} = \frac{d - f}{2} = \frac{30.7 - 11.7}{2} = 9.5mm \Rightarrow h_{avai} \rangle h_{req} \quad 17-4-3-1$$

(۵) محاسبه تلفات مس:

$$l_{mean1} = l_{mean2} \approx 2(f + c) = 52.8mm \quad 18-4-3-1$$

$$\Rightarrow l_{mean2} = l_{mean1} = 60mm \quad 19-4-3-1$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$R_{dc1} = \frac{N_1 I_{mean1}}{54 A_{cu1}} = \frac{2 \times 5 \times 60 \times 10^{-3}}{54 \times 0.65} = 17.1 m\Omega \quad ۲۰-۴-۳-۱$$

$$R_{dc2} = \frac{N_2 I_{mean2}}{54 A_{cu2}} = \frac{2 \times 1 \times 60 \times 10^{-3}}{54 \times 3.3} = 0.67 m\Omega \quad ۲۱-۴-۳-۱$$

$$k_{layer1} = \frac{N_L b}{b_W} = \frac{1 \times 6.5}{25} = 0.26 \quad ۲۲-۴-۳-۱$$

$$k_{layer2} = \frac{N_L b}{b_W} = \frac{1 \times (33/2)}{25} = 0.66 \quad ۲۳-۴-۳-۱$$

$$x_1 = \frac{h}{\delta} \sqrt{k_{layer1}} = 0.23 \quad ۲۴-۴-۳-۱$$

$$x_2 = \frac{h}{\delta} \sqrt{k_{layer2}} = 0.36 \quad ۲۵-۴-۳-۱$$

$$f_{R1}(x) \approx 1 + \frac{5M_L^2 - 1}{45} x^4 = 1 + \frac{5 \times 1^2 - 1}{45} (0.23)^4 = 1.0002 \quad ۲۶-۴-۳-۱$$

$$f_{R2}(x) \approx 1 + \frac{5M_L^2 - 1}{45} x^4 = 1 + \frac{5 \times 2^2 - 1}{45} (0.36)^4 = 1.0071 \quad ۲۷-۴-۳-۱$$

$$P_{cu1} = R_{ac1} I_{prims}^2 = R_{dc1} \times f_{R1}(x) \times I_{prims}^2 = 17.1 \times 10^{-3} \times 1.0002 \times 2.6^2 = 0.12W \quad ۲۸-۴-۳-۱$$

$$P_{cu2} = R_{ac2} I_{secrms}^2 = R_{dc2} \times f_{R2}(x) \times I_{secrms}^2 = 0.67 \times 10^{-3} \times 1.0071 \times 13.1^2 = 0.12W \quad ۲۹-۴-۳-۱$$

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} = 0.24W \quad ۳۰-۴-۳-۱$$

۶) محاسبه تلفات هسته:

$$P_{core} = 950 \frac{mw}{cm^3} \times \left(\frac{f}{100}\right)^{1.6} \times \left(\frac{B_m}{0.2}\right)^{2.6} \times V_{core} =$$

$$= 950 \times \left(\frac{50}{100}\right)^{1.6} \times \left(\frac{0.15}{0.2}\right)^{2.6} \times \frac{17600}{10^6} = 2.61W \quad ۳۱-۴-۳-۱$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

تلفات هسته برای بدترین حالت یعنی حداکثر ولتاژ ورودی محاسبه شده است و لذا با کاهش ولتاژ در حالت کار نامی، تلفات هسته نیز کاهش می یابد. پس طراحی انجام شده را به عنوان طراحی بهینه می پذیریم. مشخصات نهایی ترانسفورماتور مورد نظر به صورت زیر می باشد.

$$\text{Transformer: } V_{in\max} = 60V \quad , \quad I_{primax} = 2.6A \quad , \quad N = 5 \quad \quad \quad ۳۲-۴-۳-۱$$

$$\text{Core: } E42/15 \quad , \quad B_m = 0.15T \quad , \quad P_{core} = 2.6W \quad \quad \quad ۳۳-۴-۳-۱$$

$$\text{Winding: } N_1 = 5 \quad , \quad N_2 = \quad , \quad P_{cu} = 0.24W \quad \quad \quad ۳۴-۴-۳-۱$$

$$P_{total} = 2.85W \quad \quad \quad ۳۵-۴-۳-۱$$

ج) محاسبه سلف نشتی و سلف مغناطیس کننده ترانسفورماتور:

$$L_{\mu} = \frac{N_1^2 \mu_0 A_c}{\frac{l_c}{\mu_r} + g} = \frac{5^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 178 \times 10^{-6}}{\frac{97 \times 10^{-3}}{1530} + 20 \times 10^{-6}} = 67 \mu H \quad \quad \quad ۳۶-۴-۳-۱$$

در رابطه ۳۶-۴-۳-۱، حداقل مقدار g را ۲۰ میکرون در نظر گرفته ایم و برای هسته های فریت مورد استفاده  $\mu_r = 1530$  می باشد. رابطه سلف نشتی نیز به صورت رابطه ۳۷-۴-۳-۱ است:

$$L_l = \frac{\mu_0 N_1^2 l_{mean}}{P^2 b_{winding}} \left( \frac{b_{cu}}{3} + b_i \right) \quad \quad \quad ۳۷-۴-۳-۱$$

که در رابطه مذکور:

$b_{winding}$ : عرض سیم پیچی در پنجره

$b_i$ : ضخامت عایق میان دو سیم پیچی و

$b_{cu}$ : ضخامت کل مس سیم پیچی

می باشد.

لذا سلف نشتی ترانسفورماتور برابر است با:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$L_l = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5^2 \times 60 \times 10^{-3}}{1^2 \times 25 \times 10^{-3}} \left( \frac{3.2 \times 10^{-3}}{3} + 3 \times 10^{-3} \right) = 306.62 \mu H \approx 310 \mu H \quad 38-4-3-1$$

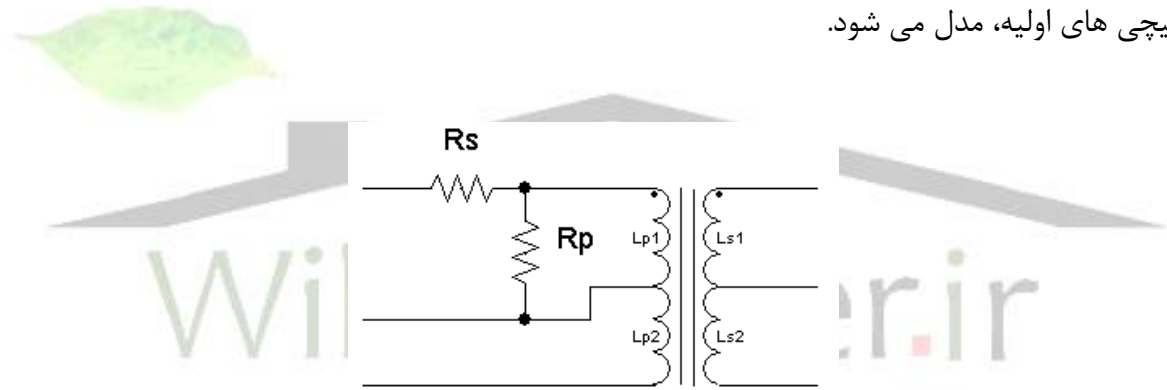
(د) محاسبه جریان مغناطیس کننده:

$$I_{\mu P} = \frac{DV_1}{4L_{\mu} f_{sw}} = \frac{0.71 \times 44}{4 \times 67 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^3} = 2.33 A \quad 39-4-3-1$$

$$NI_{\mu P} = 5 \times 2.33 = 11.65 A \quad 40-4-3-1$$

(ه) مدلسازی تلفات ترانسفورماتور:

تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات مس و هسته بوده و به وسیله دو مقاومت سری و موازی با یکی از سیم پیچی های اولیه، مدل می شود.



شکل (۳-۱): مقاومت های سری و موازی برای مدلسازی تلفات ترانسفورماتور

در شکل بالا، مقاومت سری بیانگر تلفات مسی سیم پیچی ها و مقاومت موازی بیانگر تلفات هسته می باشد. مقادیر این مقاومت ها به صورت زیر محاسبه می شود.

$$P_{cu} = R_s I_{prims}^2 \Rightarrow 0.24 = R_s \times 2.6^2 \Rightarrow R_s = 35.5 m\Omega \Rightarrow R_s = 36 m\Omega \quad 41-4-3-1$$

$$P_{core} = \frac{D_{max} V_{in max}^2}{R_p} = \frac{0.71 \times 60^2}{R_p} = 2.61 \Rightarrow R_p = 979.3 \Omega \Rightarrow R_p = 980 \Omega \quad 42-4-3-1$$

(و) محاسبه پارامترهای ترانسفورماتور برای شبیه سازی با نرم افزار Orcad

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در شبیه سازی ترانس به وسیله Orcad، باید پارامترهای  $L_1$ ،  $L_2$  و  $K$  تعیین شوند. چون ترانس مورد استفاده دو سیم پیچه است، سلف نشتی ترانس را به دو قسمت مساوی تقسیم کرده و برای هر یک از سیم پیچی ها یک قسمت را منظور می کنیم. همین عمل را در مورد سلف مغناطیس کننده نیز انجام می دهیم اما از آنجا که جریان مغناطیس کننده از هر دو قسمت سلف مغناطیس کننده می گذرد، بنابراین این دو قسمت با هم موازی هستند و اندوکتانس هر یک  $2L_{\mu}$  می باشد. لذا داریم:

$$L_1 = L'_{\mu} = 2 \times 67 = 134 \mu H \quad 43-4-3-1$$

$$L_1 = \frac{L_1}{1-k^2} = \frac{1}{2} \times 60 \mu H / (1-k^2) \Rightarrow k = 0.9994 \quad 44-4-3-1$$

$$N = k \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \Rightarrow L_2 = \frac{134 \mu H}{5^2 / 0.9994^2} = 5.4 \mu H \quad 45-4-3-1$$

#### ۴-۱- انتخاب عناصر فعال و غیر فعال قدرت

با توجه به شکل (۱-۱)، عناصری که باید تعیین شوند به شرح زیر می باشند:

- ۱- ترانسفورماتور
- ۲- سلف خروجی
- ۳- خازن خروجی
- ۴- دیودهای  $D_{s1}$  و  $D_{s2}$
- ۵- دیودهای  $D_1$  و  $D_2$
- ۶- کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$

ترانسفورماتور و سلف خروجی پیش از این طراحی شده اند.

مقدار خازن خروجی در محاسبات پیشین،  $200 \mu F$  به دست آمده است. این خازن باید ولتاژ ۵ ولت (ولتاژ خروجی) و جریان ۴ آمپر ( $\Delta I_L$ ) را تحمل نماید. خازن از نوع MKT انتخاب می شود که ظرفیت نسبتاً ثابتی دارد. ولی چون خازن انتخابی از سری B32 537 بوده و بزرگترین خازن موجود در این سری 100 میکروفاراد است، از دو خازن 100 میکروفاراد استفاده می کنیم. برای خازن مورد استفاده، ضریب تلفات ( $tg \delta$ )، تقریباً 0.035 است و بنابراین داریم:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$ESR = \frac{tg \delta}{c \omega} = \frac{0.035}{200 \mu F \times 2\pi \times 100^{KHZ}} = 0.3m\Omega \Rightarrow ESR = 0.3m\Omega \quad ۱-۴-۱$$

در مورد دیودهای  $D_{s1}$  و  $D_{s2}$ ، باید به این نکته اشاره نمود که این دیودها زمانی لازم هستند که  $I_{\mu P}$  بیشتر از جریان کلیدها یعنی  $\frac{I_2}{N}$  باشد و در این صورت، دیودهای فوق جریانی در جهت عکس جریان یکطرفه کلیدها از خود عبور می دهند. ولی در مدار مورد نظر با توجه به مقادیر محاسبه شده،  $I_{\mu P} = 2.33 < \frac{I_2}{N} = 4$  می باشد و لذا نیازی به استفاده از دیودهای  $D_{s1}$  و  $D_{s2}$  نیست.

در مورد دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  نیز باید گفته شود که این دیودها لازم است دو برابر ولتاژ ثانویه ترانس و همچنین جریان سلف خروجی را تحمل کنند. حداکثر ولتاژ ثانویه ترانس،  $\frac{60}{5} = 12V$  است و حداکثر جریان خروجی برابر است با  $I_{2rms} = 20.1A$ ،  $I_{2max} = 22A$ . بنابراین با در نظر گرفتن ضریب اطمینان حدود 2.5، دیود T40HFL10 را انتخاب می کنیم که از نوع fast بوده و مشخصات مهم آن به صورت روابط ۱-۴-۲ می باشد.

T40HFL10	$V_{BR} = 100V$	۲-۴-۱
	$I_F(av) = 40A$	
	$I_F(rms) = 63A$	
	$V_F(max) = 1.6V$	
	$R_{on} = 2.7m\Omega$	
	$R_{\theta c} = 0.85 \text{ } ^\circ C/W$	
	$R_{\theta cs} = 0.2 \text{ } ^\circ C/W$	

دیتا شیت دیود مذکور در پیوست این نوشتار آمده است.

کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$  از نوع ماسفت بوده و بایستی تحمل ولتاژ قطع به اندازه دو برابر حداکثر ولتاژ ورودی یعنی  $2 \times 60 = 120V$  و حداکثر جریان مؤثر 2.6A را داشته باشند. لذا کلید IRFB33N15D را انتخاب می نمایم که مشخصات مهم آن به صورت زیر است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

IRFB33N15D	$V_{DSS} = 150V$	۳-۴-۱
	$I_D = 33A$	
	$R_{DS(on)} = 0.056\Omega$	
	$t_{on} = 51ns$	
	$t_{off} = 54ns$	
	$R_{\theta jc} = 0.9 \text{ } ^\circ C/W$	
	$R_{\theta cs} = 0.5 \text{ } ^\circ C/W$	

دیتا شیت کلید مذکور در پیوست این نوشتار آمده است.



#### ۱-۵- محاسبه تلفات حداکثر عناصر مغناطیسی و عناصر فعال مبدل

با توجه به نتایج طراحی و اطلاعات دیتا شیت های دیودها و کلیدها، تلفات عناصر مدار به صورت زیر محاسبه می شود.

#### ۱-۵-۱ تلفات سلف خروجی

تلفات سیم پیچی و هسته سلف پیش از این در قسمت طراحی سلف به دست آمده است و برابر است با:

$$P_{core} = 0.16W \quad , \quad P_{cu} = 0.49W \quad , \quad P_{total} = 0.65W \quad 1-1-5-1$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۱-۵-۲ تلفات ترانسفورماتور

تلفات سیم پیچی و هسته ترانسفورماتور نیز پیش از این در قسمت طراحی آن به دست آمده است و برابر است با:

$$P_{core} = 2.61W \quad , \quad P_{cu} = 0.24W \quad , \quad P_{total} = 2.85W \quad 1-2-5-1$$

### ۱-۵-۳ تلفات خازن خروجی

با توجه به مقاومت معادل (ESR) بسیار کم خازن های MKT، تلفات خازن مذکور ناچیز است. میزان تلفات خازن خروجی برابر است با:

$$P_c = ESR \times I_{rms}^2 = 0.3m\Omega \times 2^2 = 1.2mW \quad 1-3-5-1$$

### ۱-۵-۴ تلفات دیودهای یکسوکننده

با توجه به دیتاشیت این دیودها، مقدار  $R_{on}$  برابر  $2.7m\Omega$  است. همچنین با توجه به شکل موج جریان دیودها می توان نشان داد که مقدار مؤثر جریان دیودها،  $13.1A$  است که در این صورت حداکثر تلفات هر یک از دیودها برابر است با:

$$P_D = R_{on} I_{rms}^2 = 2.7m\Omega \times 13.1^2 = 0.5W \quad 1-4-5-1$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اما در شبیه سازی مدار، دیود مورد نظر در کتابخانه نرم افزار Orcad موجود نبوده و به جای آن از دیود BYT12P-600 که ولتاژ قطع آن ۶۰۰ ولت است استفاده می نماییم. برای این دیود مقاومت  $R_{on}$  حدود  $32m\Omega$  است و لذا داریم:

$$P_{Dnew} = R_{onnew} I_{rms}^2 = 32m\Omega \times 13.1^2 = 5.8W \quad ۲-۴-۵-۱$$

۱-۵-۵-۵- تلفات کلیدها

با توجه به مقدار جریان مؤثر و مقاومت وصل کلیدها، حداکثر تلفات هدایت کلیدها برابر است با:

$$P_{s(on)} = R_{DS(on)} I_{rms}^2 = 0.056 \times 2.6^2 = 0.4W \quad ۱-۵-۵-۱$$

همچنین تلفات کلیدزنی کلید مورد نظر برای بار اهمی برابر است با:

$$\begin{aligned} P_{s(sw)} &= \frac{1}{2} f_{sw} V_{DD} I_D (t_{on} + t_{off}) \\ &= \frac{1}{2} \times 50^{KHZ} \times (0.71 \times 120 + 0.29 \times 60) \times \left(\frac{22.1}{5} + 2.33\right) \times (51 + 54)^{ns} = 1.8W \quad ۲-۵-۵-۱ \\ \Rightarrow P_{s(sw)} &= 1.8W \end{aligned}$$

لذا تلفات کل هر کلید برابر است با:

$$P_{s(total)} = 2.2W \quad ۳-۵-۵-۱$$

۱-۶- انتخاب گرماگیر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با توجه به مقدار تلفات دیودها و کلیدها و با در نظر گرفتن  $T_A = 30^\circ C$  و  $T_{j\max} = 130^\circ C$  حداکثر میزان مقاومت حرارتی گرماگیرها به صورت زیر محاسبه می شود.

$$R_{\theta CA} < \frac{T_{j\max} - T_A}{P_{loss}} - (R_{\theta JC} + R_{\theta CS}) \quad ۱-۶-۱$$

$$\text{Diode : } R_{\theta CA} < \frac{130 - 30}{5.8} - (0.85 + 0.2) = 16.2^\circ C/W \quad ۲-۶-۱$$

$$\text{Switch : } R_{\theta CA} < \frac{130 - 30}{3.1} - (0.9 + 0.5) = 30.9^\circ C/W \quad ۳-۶-۱$$

در این فصل، مشخصات پروژه معرفی گردید، طراحی عناصر مغناطیسی مورد نیاز انجام شد، عناصر مدار قدرت انتخاب شد، مدلسازی تلفات عناصر قدرت صورت گرفت، تلفات عناصر قدرت محاسبه گردید و بر اساس آن گرماگیرهای مناسب انتخاب شد. شکل (۵-۲) در فصل ۵، شکل نهایی مدار قدرت را با در نظر گرفتن مدار ضربه گیر که در فصل دوم طراحی می شود، نشان می دهد.



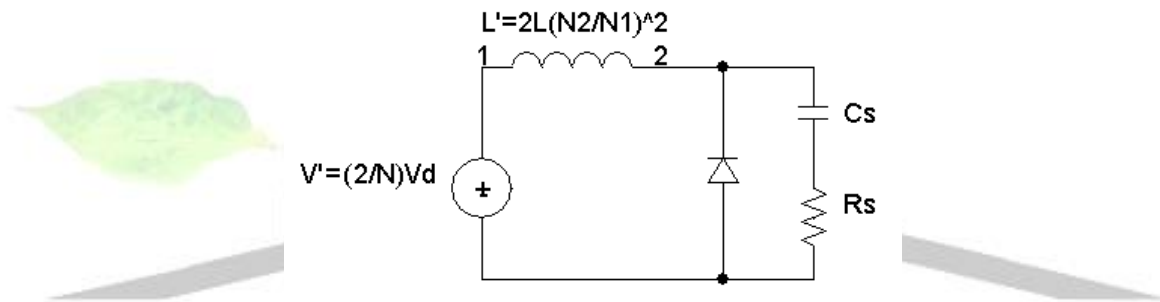
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۲- طراحی مدار ضربه گیر

در این فصل، مدارهای ضربه گیر (Snubber) لازم برای دیودها و کلیدها را طراحی می نمایم.

۱-۲ طراحی مدار ضربه گیر برای دیودها

برای دیودهای  $D_1$  و  $D_2$ ، از اسنابر RC استفاده می کنیم. برای مبدل پوش-پول، مدار معادل مبدل در سمت ثانویه ترانس، مطابق شکل زیر خواهد بود.



شکل (۱-۲): مدار معادل مبدل در سمت ثانویه ترانس

با توجه به رابطه  $Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{rr} T_{rr}$  و با توجه به دیتاشیت دیودها، مقدار جریان بازیافت معکوس ( $I_{rr}$ )، حدود 5.5A به دست می آید و در این صورت خواهیم داشت:

$$V'_d = \frac{2}{N} V_d = \frac{2}{5} \times 60 = 24V \quad 1-1-2$$

$$L'_\sigma = 2L_\sigma \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 2 \times 310nH \times \left(\frac{1}{5}\right)^2 = 24.8nH \quad 2-1-2$$

$$C_{base} = L'_\sigma \left(\frac{I_{rr}}{V'_d}\right) = 24.8\mu H \times \left(\frac{5.5}{24}\right)^2 = 1.3nF \quad 3-1-2$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

معمولاً  $C_s$  نزدیک به مقدار  $C_{base}$  انتخاب می شود. با توجه به مقادیر استاندارد خازنها،  $C_s$  را  $820 \text{ pF}$  انتخاب می کنیم. با توجه به مقدار  $\frac{C_s}{C_{base}} = 0.63$  و از روی شکل (27-5) کتاب، مقدار  $\frac{R_{sopt}}{R_{base}}$  به دست می آید.

$$\frac{R_{sopt}}{R_{base}} \approx 1.3 \quad , \quad R_{base} = \frac{V_d'}{I_{rr}} = \frac{24}{5.5} = 4.36\Omega \Rightarrow R_{sopt} = 5.7\Omega \quad 4-1-2$$

و با توجه به مقادیر استاندارد مقاومت ها، مقدار  $R_s = 6.2\Omega$  را انتخاب می نمایم. در این صورت مطابق شکل (27-5) کتاب، مقدار  $\frac{V_{max}}{V_d}$  برابر است با:

$$\frac{V_{max}}{V_d} = 1.6 \Rightarrow V_{max} = 1.6 \times 24 = 38.4V \quad 5-1-2$$

از آنجا که مقدار  $V_{RRM}$  برای دیودهای انتخابی،  $100$  ولت است، لذا  $V_{max}$  به دست آمده از  $V_{RRM}$  کمتر می باشد و بنابراین انتخاب  $R_s$  و  $C_s$  مذکور مناسب است و در این حالت تلفات مدار ضربه گیر برابر است با:

$$W_R = \frac{1}{2} L_{\sigma} I_{rr}^2 \left(1 + 2 \frac{C_s}{C_{base}}\right) f = \frac{1}{2} \times 24.8nH \times 5.5^2 \times \left(1 + 2 \frac{0.82}{1.3}\right) \times 50KHZ \approx 0.042W \quad 6-1-2$$

لذا مشخصات مدار اسنابر دیودها به صورت زیر است:

$$R_s = 6.2\Omega \quad , \quad C_s = 820pF \quad , \quad W_R = 0.042W \quad , \quad V_{max} = 38.4V \quad 7-1-2$$

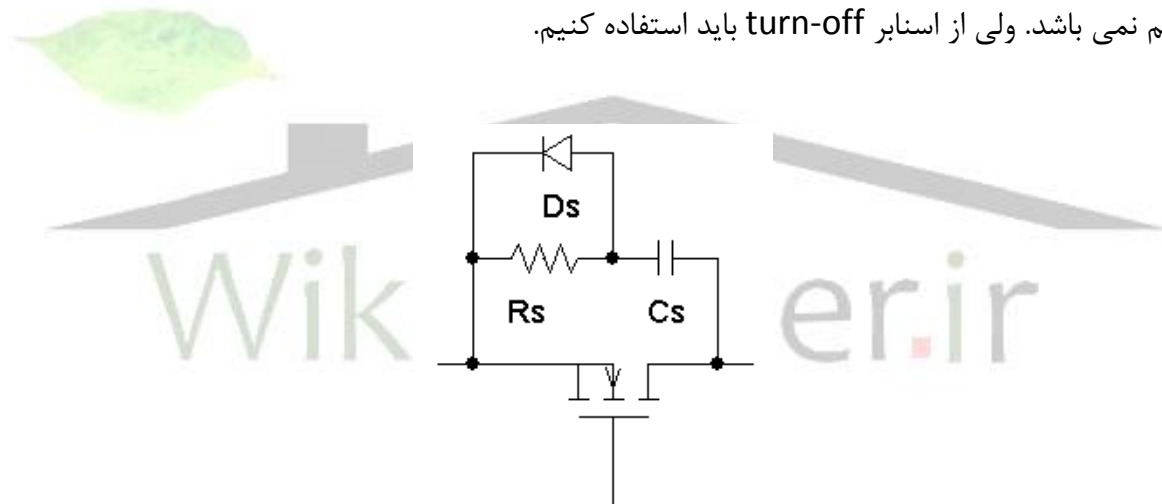
۲-۲ طراحی مدار ضربه گیر برای کلیدها

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای کلیدها، سه نوع مدار ضربه گیر "اضافه ولتاژ"، "turn-off" و "turn-on" وجود دارد. چون اسنابر turn-on نیاز به طراحی یک سلف با جریان اولیه مبدل دارد و لذا معمولاً از آن استفاده نمی شود، از آن صرف نظر می کنیم. دلیل دیگر صرف نظر از این اسنابر، آن است که سلفهای نشتی ترانس، تا حدی جلوی افزایش سریع جریان را می گیرد. در مورد اسنابر اضافه ولتاژ هم با توجه به آنکه نصف  $L_l$  را برای هر یک از سیم پیچی ها در نظر گرفته ایم، مقدار اضافه ولتاژ برابر است با:

$$\Delta V_{\max} = \frac{L_{\sigma} I_0}{t_{ri}} = \frac{\frac{1}{2} \times 310^{\mu H} \times 4}{38ns} = 17V \quad 1-2-2$$

چون کلیدهای انتخابی، 200 ولت هستند، اضافه ولتاژ فوق را تحمل می کنند و لذا نیازی به این اسنابر هم نمی باشد. ولی از اسنابر turn-off باید استفاده کنیم.



شکل (۲-۲): اسنابر RDC (turn-off)

در ابتدا  $R_s$  را انتخاب می کنیم.  $R_s$  با استفاده از رابطه زیر به دست می آید.

$$\frac{V_d}{R_s} < I_{rr} \Rightarrow R_s > \frac{V_d}{I_{rr}} \approx \frac{60}{5.5} = 10.9\Omega \Rightarrow R_s = 12\Omega \quad 2-2-2$$

برای تعیین  $C_s$ ، شرط اول این است که برای رسیدن ولتاژ خازن، پس از روشن شدن کلید و تا پیش از خاموش شدن آن به مقدار  $0.1V_d$ ، باید داشته باشیم:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$3R_s C_s < D_{\min} T \Rightarrow C_s < \frac{D_{\min} T}{3R_s} = \frac{0.51 \times 20^{4S}}{3 \times 12} = 283nF \quad 3-2-2$$

شرط دوم برای تعیین خازن این است که تلفات مدار اسنابر حداقل شود. با توجه به شکل (15-27) کتاب، مقدار  $\frac{C_s}{C_{s1}}$  باید حدود 0.5 تا 1 باشد.  $C_{s1}$  از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$C_{s1} = \frac{I_0 t_f}{2V_d} = \frac{4 \times 21^{nS}}{2 \times 60} = 0.7nF \quad 4-2-2$$

بنابراین  $C_s$  باید حدود  $0.3nF$  تا  $0.8nF$  باشد. با توجه به دو شرط مذکور، مقدار  $C_s$  را  $0.56nF$  انتخاب می کنیم. در این صورت تلفات مدار اسنابر به صورت زیر به دست می آید.

$$W_R = \frac{1}{2} C_s V_d^2 f = \frac{1}{2} \times 0.56^{nF} \times 60^2 \times 50^{KHZ} = 0.5W \quad 5-2-2$$

همچنین برای دیود  $D_s$ ، از IN4148 استفاده می کنیم و بنابراین مشخصات نهایی ضربه گیر کلیدها به صورت زیر است.

$$R_s = 12\Omega \quad , \quad C_s = 0.56nF \quad , \quad W_R = 0.5W \quad 6-2-2$$

مدارهای ضربه گیر طراحی شده، در شکل (۵-۲) نشان داده شده اند. البته در اینجا باید توضیح داده شود که در شبیه سازی مبدل، از دیودی که در کتابخانه نرم افزار وجود دارد به جای دیود انتخاب شده در طراحی، استفاده شده است و این امر باعث به وجود آمدن اسپایکهای جریان و ولتاژ خواهد شد که در شکل‌های مربوط به شبیه سازی مشاهده می شود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### ۳- طراحی مدار فرمان و کنترل

در این فصل، مدار مجتمع کنترل کننده مبدل معرفی می شود و بر اساس آن، مدار فرمان و راه انداز طراحی می گردد.

#### ۳-۱- طراحی مدار فرمان و کنترل با توجه به مدار مجتمع انتخاب شده

مدار مجتمع انتخاب شده برای مبدل این پروژه، IC SG3525 است که کنترل کننده از نوع ولتاژ می باشد. با توجه به اینکه IC مذکور در کتابخانه نرم افزار Orcad وجود ندارد، به جای آن از IC SG1525 استفاده می کنیم که عملکرد و پین های آن کاملاً مشابه IC SG3525 است. مشخصات مدار مجتمع SG3525 در پیوست این نوشتار آمده است.

شکل (۳-۵) مدار کنترل طراحی شده را نشان می دهد. در SG1525، تفاوت ولتاژ بین پایه های  $ERR^-$  و  $ERR^+$  که پس از تقویت به پایه COMP اعمال می گردد، با یک موج دنداناره ای مقایسه می شود و با توجه به آن، پالس های خروجی در پایه های OUTA و OUTB، تولید می گردد. به همین دلیل برای مقایسه ولتاژ مرجع و ولتاژ خروجی، این دو ولتاژ ( $V_{out}$  و  $V_{ref}$ ) از طریق دو مقسم مقاومتی به مقدار 5/6 ولت کاهش یافته اند. فرکانس پالس های فرمان خروجی توسط مقاومت های  $R_T$  و  $R_D$  و خازن  $C_T$ ، از رابطه زیر تعیین می شود.

$$f \approx \frac{1}{C_T(0.7R_T + 3R_D)} \quad ۳-۱-۱$$

با انتخاب  $C_T = 10nF$ ،  $R_T = 2.7K\Omega$  و  $R_D = 100\Omega$ ، مقدار فرکانس 50KHZ مورد نظر به دست می آید، البته در Orcad مقادیر  $C_T$ ،  $R_T$  و  $R_D$ ، غیر فعال بوده و فرکانس به طور مستقیم توسط کاربر تنظیم می شود. همچنین  $R_D$ ، میزان زمان مرده (dead-time) را کنترل می کند که آن نیز در Orcad غیر فعال است و در شبیه سازی ها به طور مستقیم تنظیم می گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۲-۳- بخش های جانبی برای مجزاسازی و راه اندازی عناصر قدرت

برای راه اندازی کلیدها، از مدار درایو شکل (۴-۵) می توان استفاده نمود که با اعمال پالس فرمان از سوی مدار مجتمع، جریان مورد نیاز برای روشن شدن سریع کلیدها را فراهم می کند. با توجه به شکل مذکور، مقادیر مقاومت های مورد استفاده به صورت زیر به دست می آید.

$$R_{d1} = R_{d6} = \frac{V_{d1}}{I_{Q\max}} = \frac{20}{1} = 20\Omega \Rightarrow R_{d1} = R_{d6} = 22\Omega \quad ۱-۲-۳$$

$$R_{d2} = R_{d7} = \frac{V_{d1} - V_{BE(on)}}{\frac{I_G}{\beta}} = \frac{20-0}{\frac{1}{100}} = 2K\Omega \Rightarrow R_{d2} = R_{d7} = 2.2K\Omega \quad ۲-۲-۳$$

$$R_{d3} = \frac{V_{d2}}{I_Q} = \frac{5}{2} = 2.5 \Rightarrow R_{d3} = 1.8K\Omega \quad ۳-۲-۳$$

همچنین برای مجزاسازی مدار کنترل از مدار قدرت، مطابق شکل (۳-۵) از ترانس پالس های TX3 و TX4 استفاده شده است.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴- طراحی مدار جبران کننده

در این فصل، مدار میانگین گیری شده و مدار خطی شده مبدل نیم پل به دست می آید و با توجه به آن، کنترل کننده مناسب برای جبران اغتشاشات تعیین می گردد و پس از محاسبه حد بهره و فاز سیستم جبران شده، پاسخ سیستم به ورودی کنترل و اختلال ولتاژ ورودی نشان داده خواهد شد.

۴-۱- مدلسازی مبدل با استفاده از روش میانگین گیری

از آنجا که مبدل پوش-پول نوع ایزوله مبدل باک است، با انتقال منبع ولتاژ ورودی و کلید به سمت ثانویه ترانس، مدار میانگین گیری شده مبدل به صورت زیر به دست می آید.



شکل (۴-۱) مدار میانگین گیری شده مبدل پوش-پول

با توجه به شکل بالا، رابطه ولتاژ خروجی به صورت زیر است.

$$\bar{i}_L = \bar{V}_o \left( \frac{1}{R_{Load}} + CS \right) \quad 1-1-4$$

$$D\bar{V}_{yz} = V_D + LS\bar{i}_L + \bar{V}_o = V_D + \bar{V}_o \left( 1 + \frac{L}{R_{Load}} S + LCS^2 \right) \quad 2-1-4$$

$$\Rightarrow \bar{V}_{yz} = \frac{1}{D} \left[ V_D + \bar{V}_o \left( 1 + \frac{L}{R_{Load}} S + LCS^2 \right) \right]$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\frac{\overline{V}_{in}}{N} = \frac{R_{DS(on)}}{N^2} \times ND\overline{i}_L + \overline{V}_{yz} - V_D = \frac{R_{DS(on)}}{N} DV_o \left( \frac{1}{R_{Load}} + CS \right) + \frac{1}{D} \left[ V_D + \overline{V}_o \left( 1 + \frac{L}{R_{Load}} S + LCS^2 \right) \right] - V_D \quad 3-1-4$$

$$\overline{V}_o = \frac{\frac{D\overline{V}_{in}}{N} + DV_D - V_D}{\frac{D^2 R_{DS(on)}}{NR_{Load}} + 1 + \left( \frac{D^2 CR_{DS(on)}}{N} + \frac{L}{R_{Load}} \right) S + LCS^2} \quad 4-1-4$$

اگر از  $\frac{D^2 R_{DS(on)}}{NR_{Load}}$  در برابر ۱ و از  $\frac{D^2 CR_{DS(on)}}{N}$  در مقابل  $\frac{L}{R_{Load}}$  صرف نظر کنیم (در عمل هم چنین تقریب و صرف نظری منطقی است)، آنگاه داریم:

$$\overline{V}_o \approx \frac{\frac{D\overline{V}_{in}}{N} + V_D(1-D)}{1 + \frac{L}{R_{Load}} S + LCS^2} \approx \frac{\frac{D\overline{V}_{in}}{N}}{1 + \frac{L}{R_{Load}} S + LCS^2} \quad 5-1-4$$

WikiPower.ir

۲-۴ خطی سازی مبدل

با فرض تغییرات کوچک حول نقطه کار، مدار معادل خطی شده مبدل نیم پل شکل (۱-۴)، به صورت شکل (۲-۴) خواهد بود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۲-۴) مدار خطی شده مبدل پوش-پول

در این صورت، مشابه قسمت قبل می توان نشان داد که با فرض صرف نظر از  $V_D(1-D)$  در برابر  $\frac{D}{N}V_o$  و نیز با صرف نظر از جملات کوچک مخرج، خواهیم داشت:

$$\tilde{V}_o = G_d(s)\tilde{d}(s) + G_g(s)\tilde{V}_{in} = \frac{\frac{V_o}{ND}}{LCS^2 + \frac{L}{R_{Load}}S + 1}\tilde{d}(S) + \frac{\frac{D}{N}}{LCS^2 + \frac{L}{R_{Load}}S + 1}\tilde{V}_{in} \quad 1-2-4$$

و با جایگذاری مقادیر نقطه کار نامی در عبارت بالا، تابع تبدیل از  $\tilde{d}(S)$  به  $\tilde{V}_o(S)$  به صورت زیر است.

$$\bar{D} = 0.65, \bar{V}_o = 5V \Rightarrow \frac{\tilde{V}_o(S)}{\tilde{d}(S)} \approx \frac{\frac{5}{5 \times 0.65}}{6.9 \times 200 \times 10^{-12} S^2 + \frac{6.9}{0.25} \times 10^{-6} S + 1} \quad 2-2-4$$

$$= \frac{1.54}{1.38 \times 10^{-9} S^2 + 2.76 \times 10^{-5} S + 1}$$

حال بایستی سیستم خطی شده فوق را تحلیل کرده و حد فاز آن را به دست آوریم. با استفاده از تابع تبدیل رابطه ۲-۲-۴، حد فاز سیستم به صورت زیر محاسبه می شود.

$$|G(j\omega)|=1 \Rightarrow \omega_c = 39017 \quad 3-2-4$$

$$\angle G(j\omega)|_{\omega_c} = -\tan^{-1} \frac{2.76 \times 10^{-5} \times 39017}{1 - 1.38 \times 10^{-9} \times 39017^2} = -135.63^\circ \quad 4-2-4$$

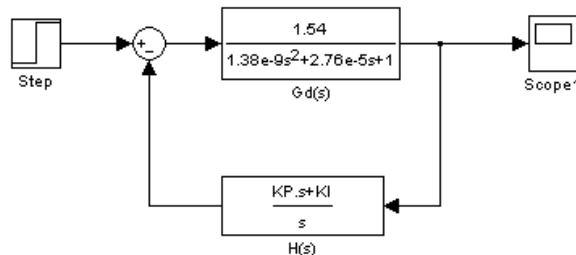
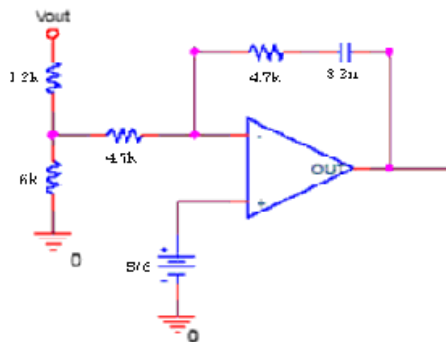
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

بنابراین حد فاز سیستم حدود  $44^\circ$  است که حد فاز مناسبی نیست و لذا باید با یک جبران کننده مناسب، علاوه بر آنکه خطای حالت ماندگار را صفر می کنیم، حد فاز سیستم را هم افزایش دهیم. برای این منظور از یک کنترل کننده  $PI$  استفاده خواهیم کرد. البته با توجه به اینکه در مدار قدرت مبدل از خازنهای  $MKT$  برای خازن خروجی استفاده کرده ایم و مقاومت سری این خازنها بسیار کمتر از خازنهای الکترولیتی است (برای خازن مورد استفاده در این پروژه، حدود  $0.3m\Omega$  به دست آمده است)، بنابراین صفر ناشی از این مقاومت در تابع تبدیل اثر خیلی ناچیزی داشته و لذا نیازی به حذف اثر آن با استفاده از مدار  $RC$  اضافی و کنترل کننده  $PI$  نمی باشد و تنها یک کنترل کننده ساده را به کار خواهیم برد.

۳-۴- به کار گیری جبران کننده و تحلیل سیستم جبران شده

با انتخاب جبران کننده ای به صورت شکل (۳-۴) که در آن،  $R_{m1}$ ،  $R_{m2}$  مقاومت های مقسم ولتاژ هستند، تابع تبدیل سیستم جبران کننده به صورت زیر می باشد:

$$H(S) = \frac{R_{m2}}{R_{m1} + R_{m2}} \times \frac{R_2 C_2 S + 1}{R_1 C_2 S} \times \frac{1}{V_{ramp}} \quad 1-3-4$$



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۳-۴) جبران کننده مورد استفاده و آرایش سیستم جبران شده

$V_{ramp}$ ، دامنه موج دنداناره ای بخش  $PWM$  و برابر عکس بهره  $PWM$  است و توسط سازنده  $IC$ ، مقدار آن داده شده است (2.5V). با انتخاب مقادیر زیر، تابع تبدیل  $H(S)$  به دست می آید.

$$R_1 = 4.7k\Omega, R_2 = 4.7K\Omega, C_2 = 8.2nF, \frac{R_{m2}}{R_{m1} + R_{m2}} = k = \frac{1}{6}, \frac{1}{V_{ramp}} = 0.4 \quad ۲-۳-۴$$

$$H(S) = \frac{1}{6} \times 0.4 \times \frac{4.7k \times 8.2n \times S + 1}{4.7K \times 8.2n \times S} = \frac{0.067S + 1729.8}{S} \quad ۳-۳-۴$$

حال حد فاز سیستم جبران شده را محاسبه می کنیم.

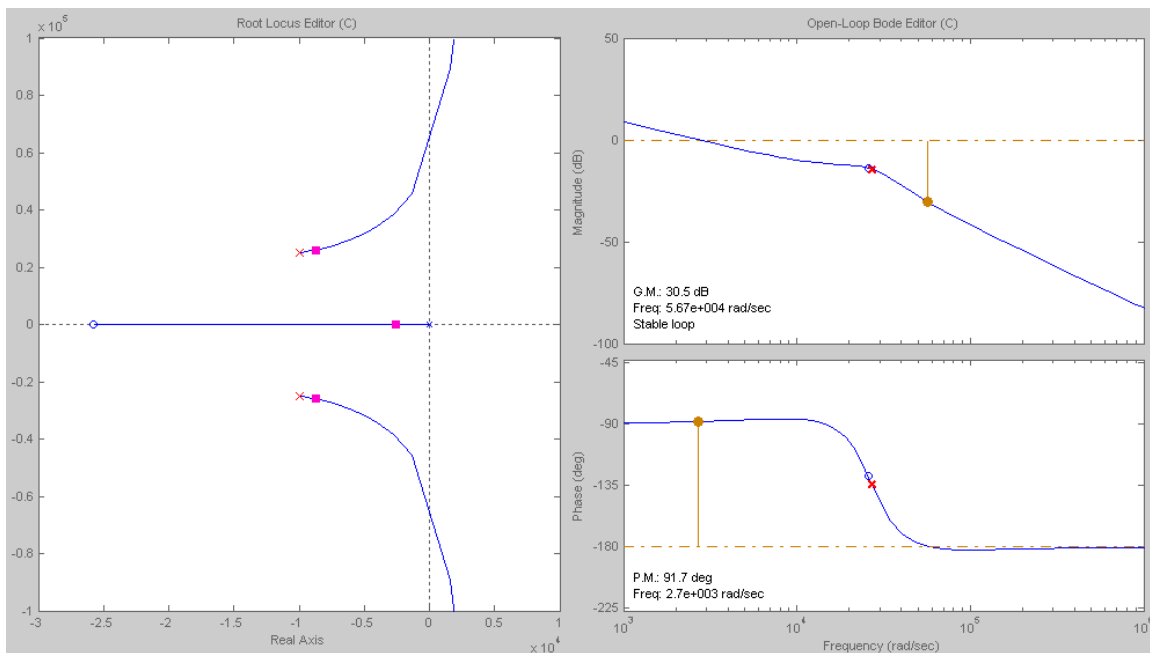
$$|G(j\omega)H(j\omega)| = 1 \quad ۴-۳-۴$$

$$\Rightarrow \omega_c = 2698 \quad ۵-۳-۴$$

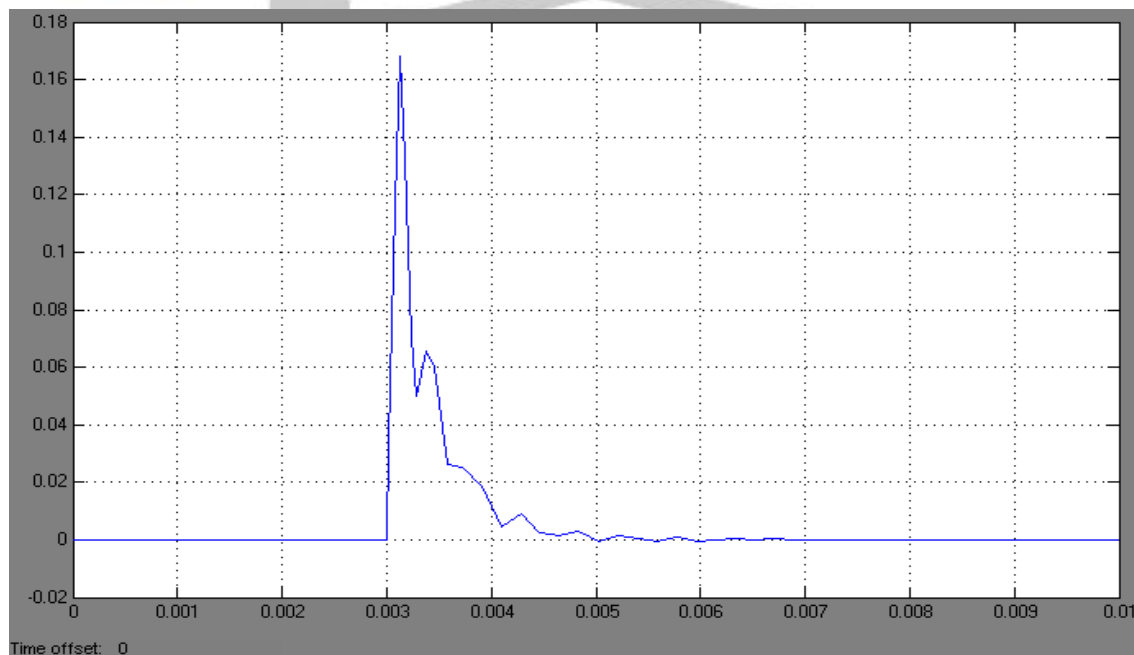
$$\angle G(j\omega)H(j\omega)|_{\omega_c} = -88.34^\circ \quad ۶-۳-۴$$

بنابراین حد فاز سیستم جبران شده، حدود  $92^\circ$  است که مناسب می باشد و با استفاده از یک کنترل کننده ساده  $PI$  تأمین شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



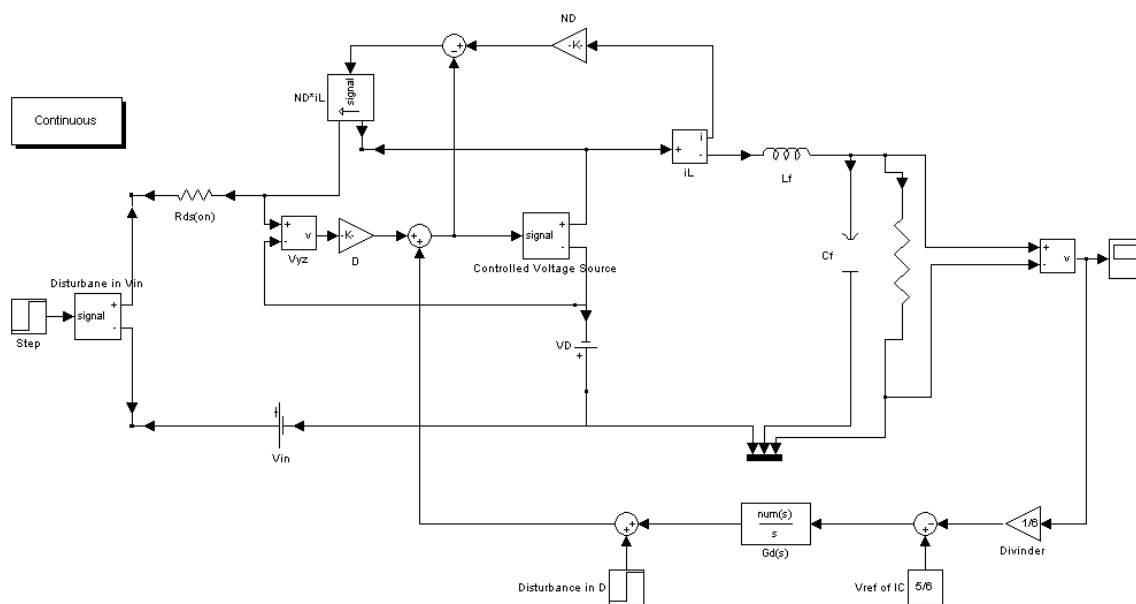
شکل (۴-۴) دیاگرام بود و مکان ریشه های سیستم جبران شده



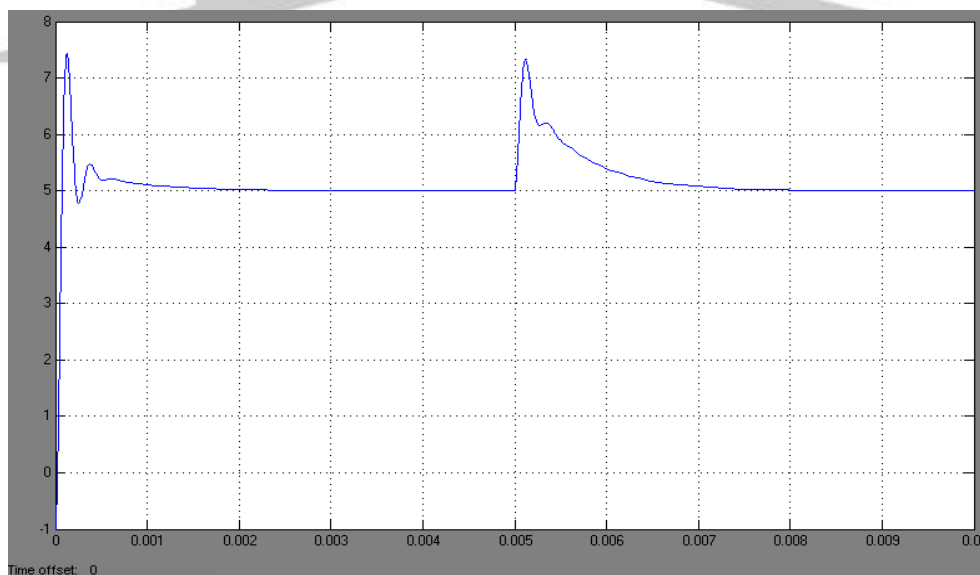
شکل (۴-۵) پاسخ سیستم خطی شده به تغییر پله ای در دوره کار ( $\Delta D = 0.1$ )



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۴-۶) مدار میلنگین گیری شده سیستم، شبیه سازی شده در Simulink



شکل (۴-۷) تغییرات ولتاژ خروجی در اثر تغییر ولتاژ ورودی از حداقل به حداکثر مقدار آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵- نقشه مدارها

شکل (۱-۵) شمای کامل مبدل را نشان می دهد. در ادامه در مورد هر یک از بخش های مدار توضیح داده خواهد شد.

۵-۱- مدار قدرت و مدارهای ضربه گیر

شکل (۲-۵) مدار کامل قدرت را نشان می دهد که مدارهای اسنابر کلیدها و دیودها نیز در آن نشان داده شده اند.

با توجه به موجود نبودن کلید و دیود مورد نظر در کتابخانه نرم افزار Orcad از کلید IRF541 و دیود BYT12P-600 استفاده شده است که مشخصات کامل آنها در جدول (۱-۵) آمده است.

۵-۲- مدار کنترل و فرمان

شکل (۳-۵) مدار کنترل طراحی شده را نشان می دهد که پالس های لازم برای روشن و خاموش شدن کلیدها را تولید کرده است. مقاومت های  $Rm1-Rm6$  مقسم های مقاومتی برای تولید ولتاژ مرجع لازم و مقایسه با سیگنال مورد نظر است.

۵-۳- مدار راه انداز

شکل (۴-۵) مدار راه انداز کلیدها را نشان می دهد که جریان مناسبی را برای شارژ سریع خازن گیت - سورس و روشن شدن سریع آنها فراهم می نماید. پالس فرمان توسط مدار مجتمع SG1525 ساخته می شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

#### ۵-۴- مشخصات قطعات

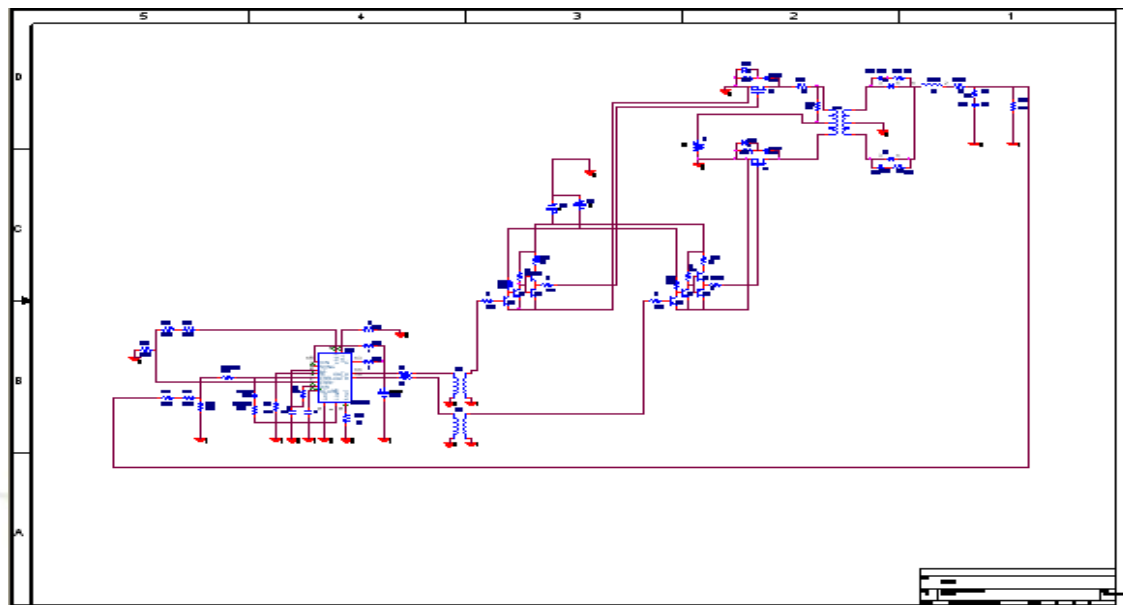
در جدول (۵-۱)، مشخصات قطعات اصلی مبدل پوش-پول آورده شده است.

قطعه	نام تجاری	مشخصات
کلید	IRFB33N15 D	$V_{DSS} = 150V, I_D = 33A, R_{DS(on)} = 0.056\Omega, t_{on} = 51ns, t_{off} = 54ns$
کلید*	IRF541	$V_{DSS} = 100V, I_D = 28A, R_{DS(on)} = 0.077\Omega, t_{on} = 55ns, t_{off} = 96ns$
دیود ثانویه ترانسفورماتور	T40HFL10	$V_{BR} = 100V, I_{F(av)} = 40A, I_{F(rms)} = 63A, V_{F(max)} = 1.6V$
دیود ثانویه ترانسفورماتور*	BYT12P-600	$V_{BR} = 600V, I_{F(av)} = 12A, I_{FSM} = 150A, V_{F(max)} = 1.9V$ $I_{rr} = 6A, t_{rr} = 180\mu s$
خازن خروجی*	B32 537	$C = 2 \times 100\mu F, \tan \delta = 0.035$
دیود مدار ضربه گیر*	IN4148	$V_{Rmax} = 75V, I_{F(av)} = 200mA, I_{FSM} = 4A, V_{F(max)} = 1V, t_{rr} = 4ns$
ترانسفورماتور*	-	$L_{P1} = L_{P2} = 134\mu H, L_{S1} = L_{S2} = 5.4\mu H$
ترانزیستورها ی راه انداز	BD135 BD136	$I_C = 1.5A, V_{CE(off)} = 45V, V_{BE(on)} = 1V, V_{CE(sat)} = 0.5V$

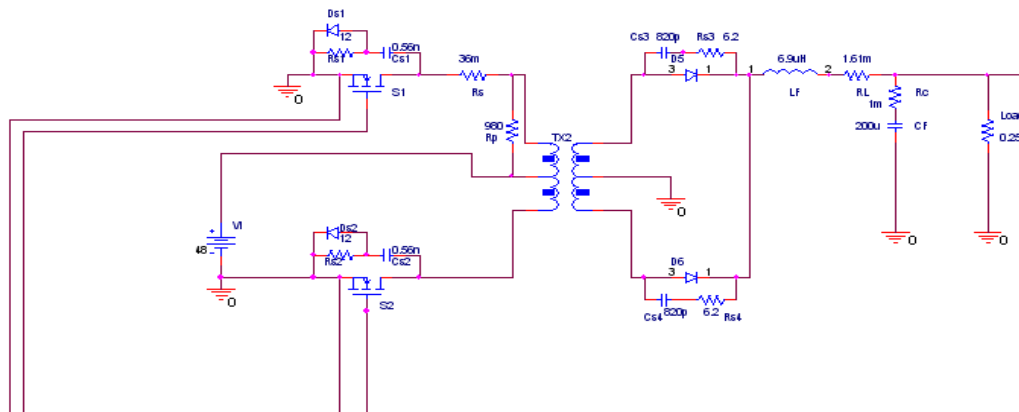
جدول (۵-۱): مشخصات قطعات اصلی مبدل پوش-پول

\*: نشان دهنده قطعه ای است که در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

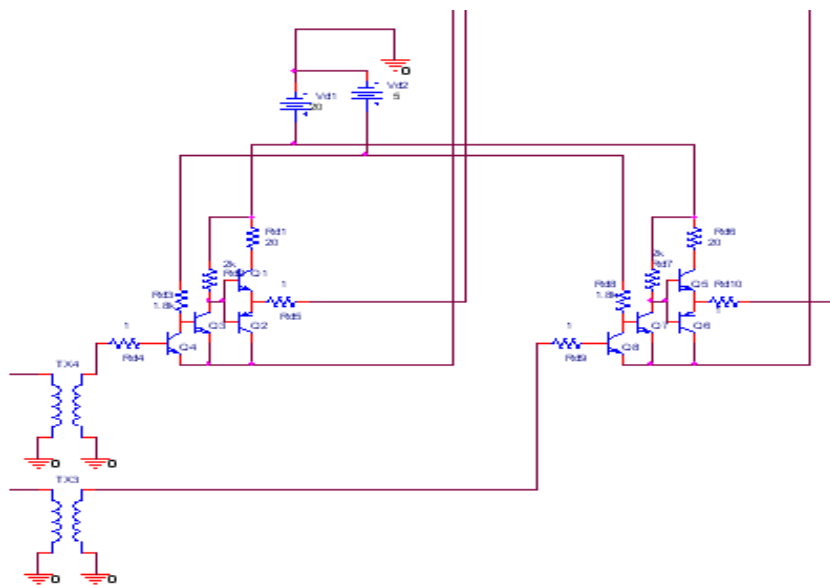


شکل (۱-۵) شمای کلی مدار پیاده سازی شده در نرم افزار Orcad

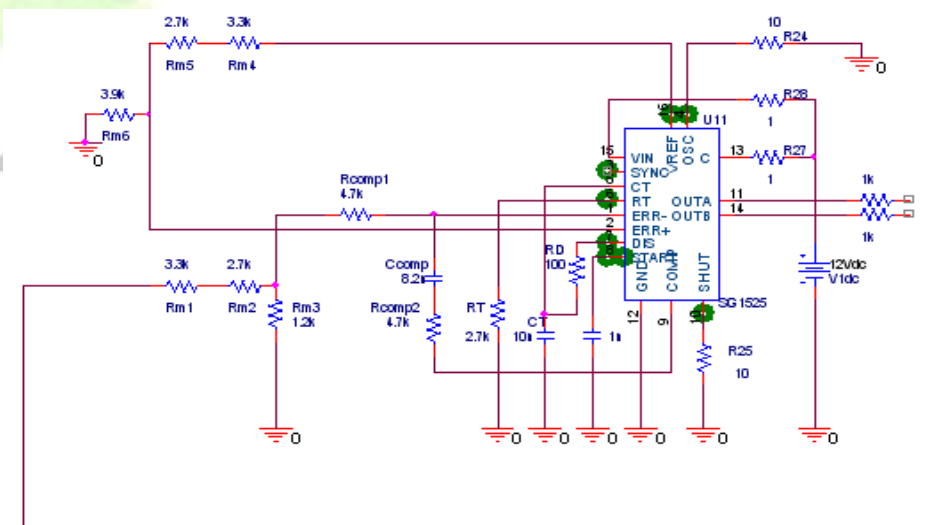


شکل (۲-۵) نقشه مدار قدرت و مدارهای ضربه گیر پیاده سازی شده در نرم افزار Orcad

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۳-۵) نقشه مدار راه انداز پیاده سازی شده در نرم افزار Orcad



شکل (۴-۵) نقشه مدار فرمان و کنترل به همراه مدار جبران کننده پیاده سازی شده در نرم افزار

Orcad

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶- شبیه سازی و نتیجه گیری

در این فصل مدار کامل مبدل در نرم افزار Orcad شبیه سازی شده که نتایج آن در اینجا نشان داده می شود.

۶-۱- بررسی ولتاژ و جریان در نقطه کار مبدل

شکل های (۶-۱) تا (۶-۱۱)، شکل موج ولتاژ خروجی، جریان سلف، ریپل جریان سلف، ولتاژ و جریان

کلیدها را در حالت های

الف) ولتاژ ورودی نامی

ب) حداقل ولتاژ ورودی

ج) حداکثر ولتاژ ورودی

نشان می دهد.

ولتاژ خروجی مبدل برای حالت حداقل ولتاژ ورودی، دارای فراجهدشی به میزان حدود ۰,۴۷ ولت و فراجهدشی به میزان حدود ۰,۳۵ ولت می باشد. دو حالت دیگر یعنی حداقل ولتاژ ورودی و حداکثر ولتاژ ورودی، به ترتیب دارای فراجهدش و فراجهدش های حدود "۰,۳۹ و ۰,۲۸"، "۰,۵۲ و ۰,۴۱" ولت هستند. در هر سه مورد، خطای حالت ماندگار، بسیار ناچیز و تقریباً صفر می باشد و خروجی را می توان با دقت بسیار خوبی، ۵ ولت در نظر گرفت.

شکل موجهای جریان سلف در سه مورد یاد شده، به ترتیب دارای ریپل هایی به اندازه "۲,۲"، "۲,۱" و "۲,۳" آمپر می باشد. خود جریان سلف نیز، در سه حالت ۲۰ آمپر است که با مقدار پیش بینی شده در بخش تعیین مقدار سلف، کاملاً تطابق دارد. مدت زمان اضافه جریان سلف در هنگام راه اندازی، حدود 0.025ms است که زمان بسیار کوتاهی است و مشکلی برای سلف ایجاد نمی کند.

در شکل موجهای جریان کلیدها، حداکثر جریان لحظه ای در حالت حداکثر ولتاژ ورودی رخ می دهد که مقدار آن حدود ۲۱ آمپر است. این مقدار از حداکثر جریان لحظه ای قابل تحمل برای کلیدها کمتر بوده و لذا مشکلی برای کلید ایجاد نمی کند.

با توجه به شکل موج ولتاژ کلیدها نیز در می یابیم که ولتاژ دو سر کلیدها، در حالت حداقل ولتاژ ورودی، حدود ۹۰ ولت و در حالت حداکثر ولتاژ ورودی حدود ۱۲۰ ولت است که همان مقدار مورد انتظار است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

همچنین اسپایکهای ولتاژ در این دو حالت، به ترتیب، ۱۰۰ و ۱۳۰ ولت است که مشکلی برای کلید مورد استفاده ایجاد نمی کند.

#### ۶-۲- تعیین پارامترهای طراحی

با توجه به شکل موجهای به دست آمده، برخی پارامترهای طراحی مانند دوره کار، ریپل جریان سلف و ریپل ولتاژ خروجی برای سه حالت "الف" تا "ج"، در جدول (۶-۱) آورده شده است.

→ نقطه کار ↓ پارامتر	$V_i = 48V$	$V_i = 44V$	$V_i = 60V$
دوره کار	0.67	0.73	0.78
ریپل جریان سلف	2.2	2.1	2.3
ریپل ولتاژ خروجی	0.02	0.015	0.03

جدول (۶-۱) پارامترهای طراحی مبدل در چهار نقطه کار "الف" تا "ج"

#### ۶-۳- پارامترهای سیستم جبران شده

جدول (۶-۲) پارامترهای سیستم جبران شده از قبیل زمان صعود، زمان نشست، مقدار فراجهش و خطای حالت دائمی متناظر با سه نقطه کار را نشان می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

→ نقطه کار ↓ پارامتر	$V_i = 48V$	$V_i = 44V$	$V_i = 60V$
زمان صعود ( $t_r$ )	$112.6 \mu s$	$121.2 \mu s$	$105.54 \mu s$
زمان نشست ( $t_f$ )	$315.2 \mu s$	$365.7 \mu s$	$294.1 \mu s$
فراجهش (%)	8.5	7.6	14.2
خطای حالت دائمی (%)	0.25	0.2	0.43

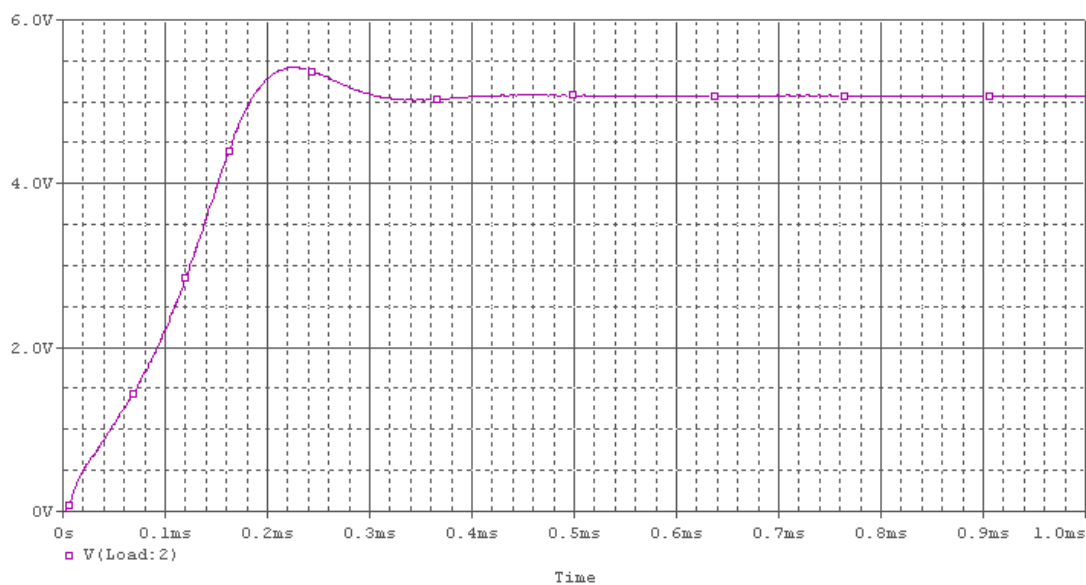
جدول (۲-۶) پارامترهای سیستم جبران شده

#### ۴-۶- تلفات قطعات قدرت

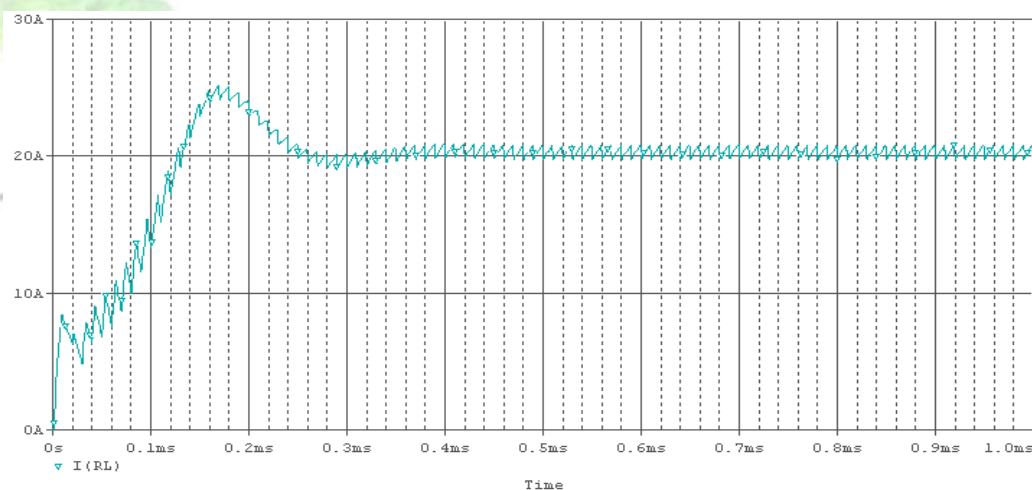
شکل های (۲۸-۶) تا (۳۴-۶)، منحنی تلفات و میانگین تلفات سلف خروجی، خازن خروجی و دیویدهای ثانویه ترانسفورماتور را نشان می دهد. همانطور که از این شکل ها پیداست، میانگین تلفات سلف خروجی تقریباً ۰,۶ وات است که دقیقاً با مقدار به دست آمده در طراحی سلف و مدلسازی تلفات آن مطابقت دارد. تلفات خازن خروجی نیز ۰,۰۰۲ وات به دست آمده است. تلفات دیویدهای خروجی نیز در دو حالت حداقل و حداکثر ولتاژ ورودی، ۷ وات می باشد که از تلفات به دست آمده در محاسبات فصل اول بیشتر است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

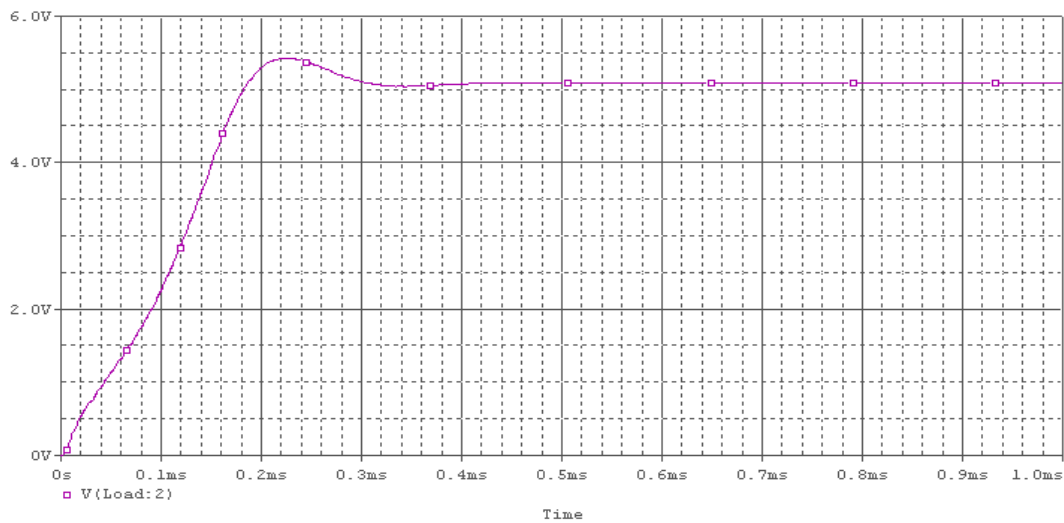


شکل (۱-۶) ولتاژ خروجی به ازای حداقل ولتاژ ورودی ( $V_{in}=44\text{ v}$ )

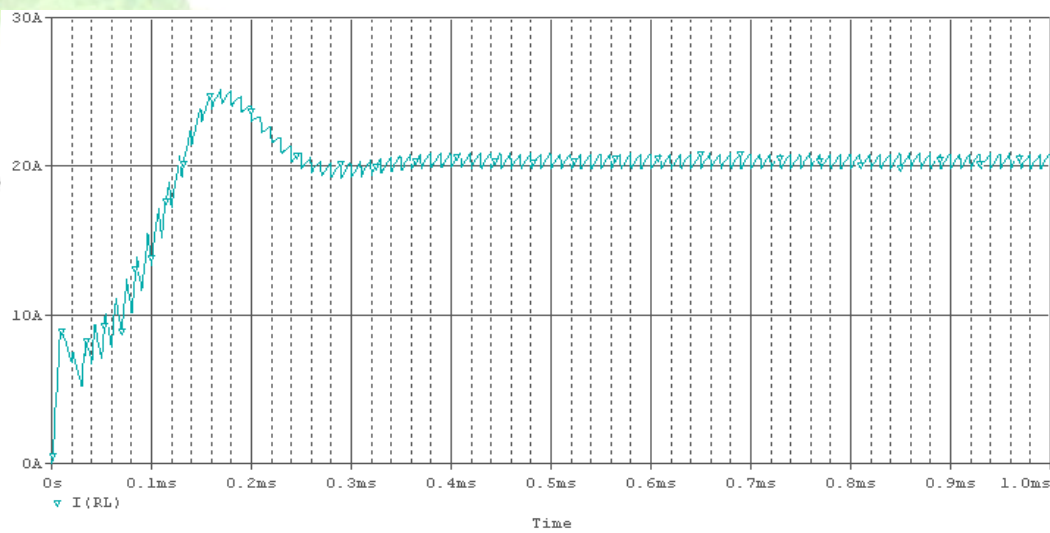


شکل (۲-۶) جریان سلف به ازای حداقل ولتاژ ورودی ( $V_{in}=44\text{ v}$ )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

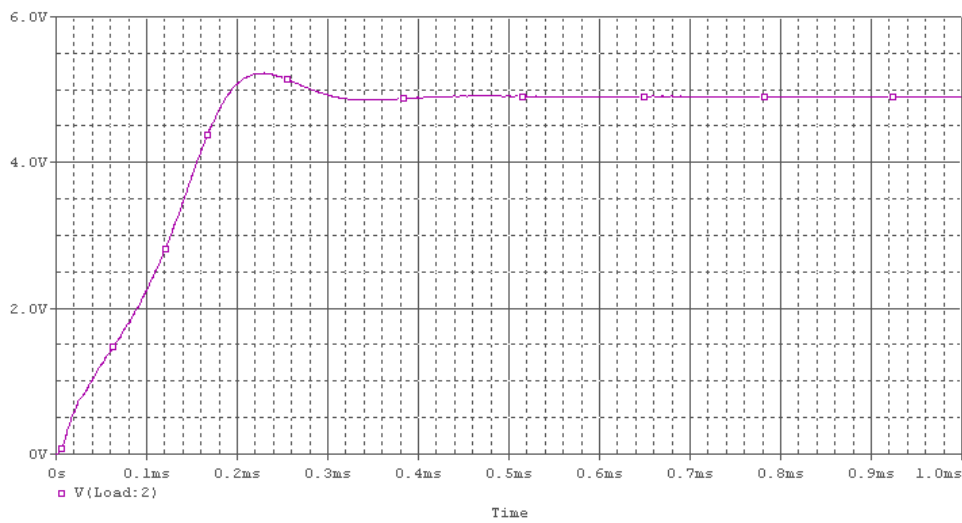


شکل (۳-۶) ولتاژ خروجی به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

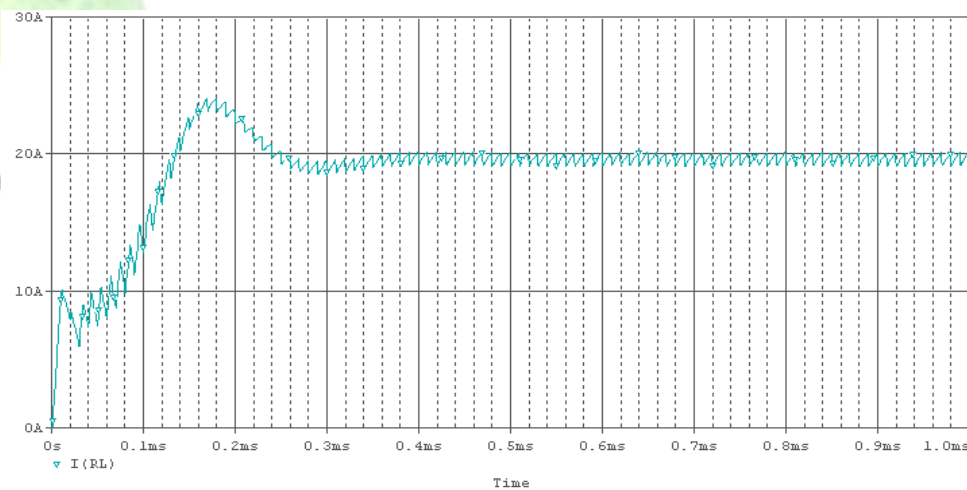


شکل (۴-۶) جریان سلف به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

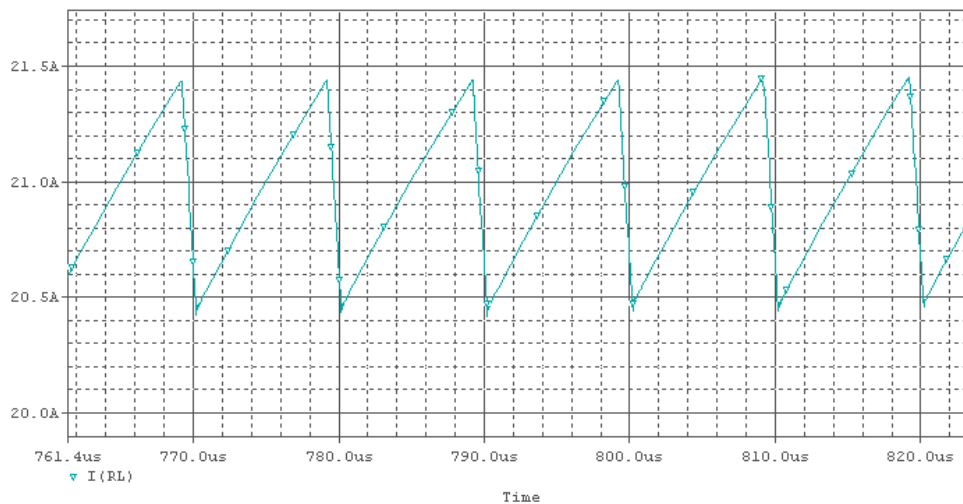


شکل (۵-۶) ولتاژ خروجی به ازای حداکثر ولتاژ ورودی ( $V_{in}=60\text{ v}$ )

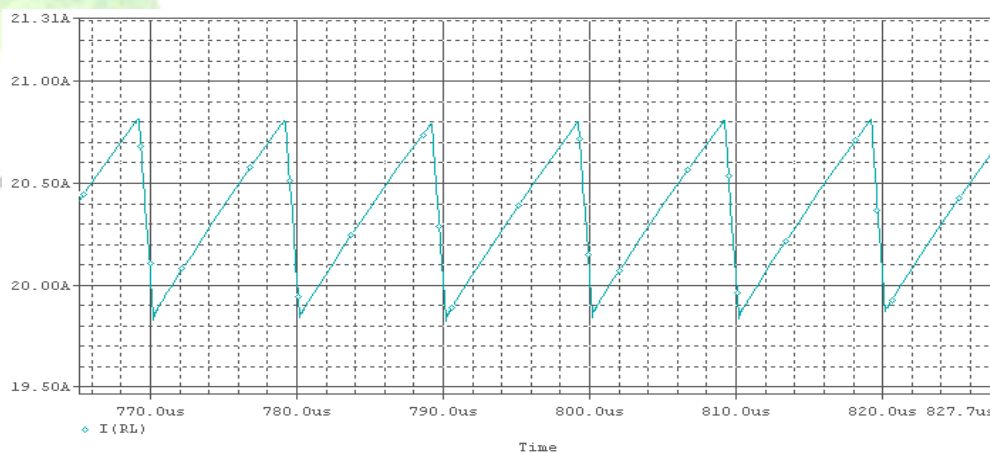


شکل (۶-۶) جریان سلف به ازای حداکثر ولتاژ ورودی ( $V_{in}=60\text{ v}$ )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

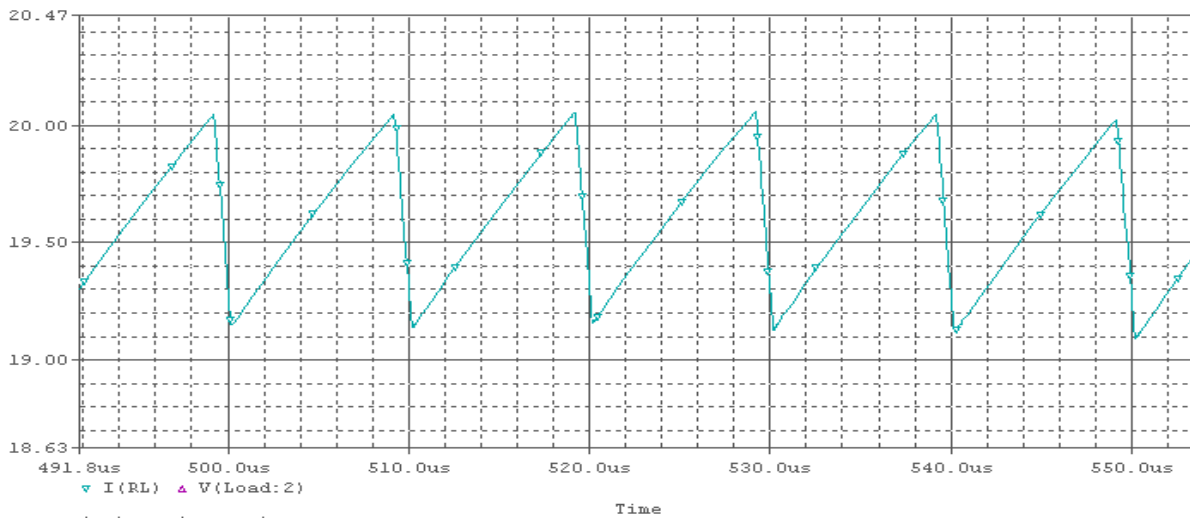


شکل (۶-۷) ریپل جریان سلف به ازای حداقل ولتاژ ورودی ( $V_{in}=44\text{ v}$ )

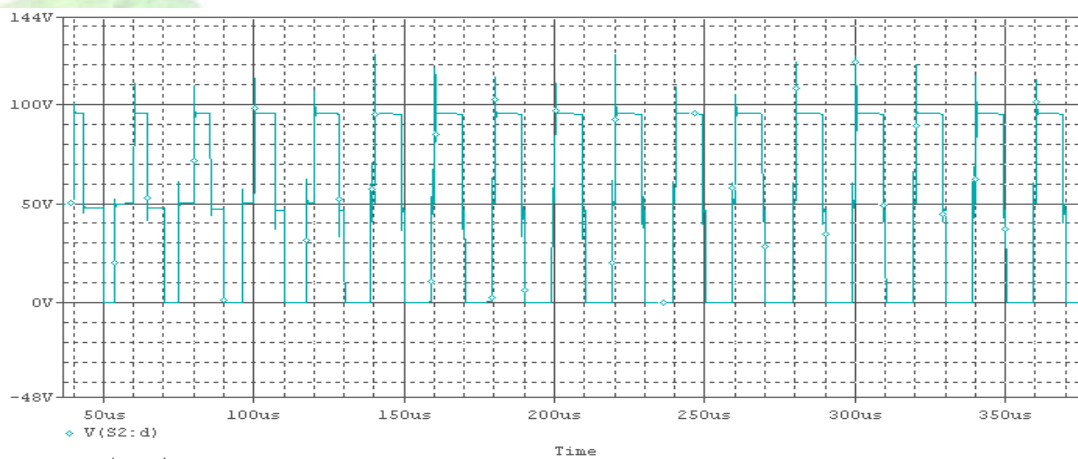


شکل (۶-۸) ریپل جریان سلف به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

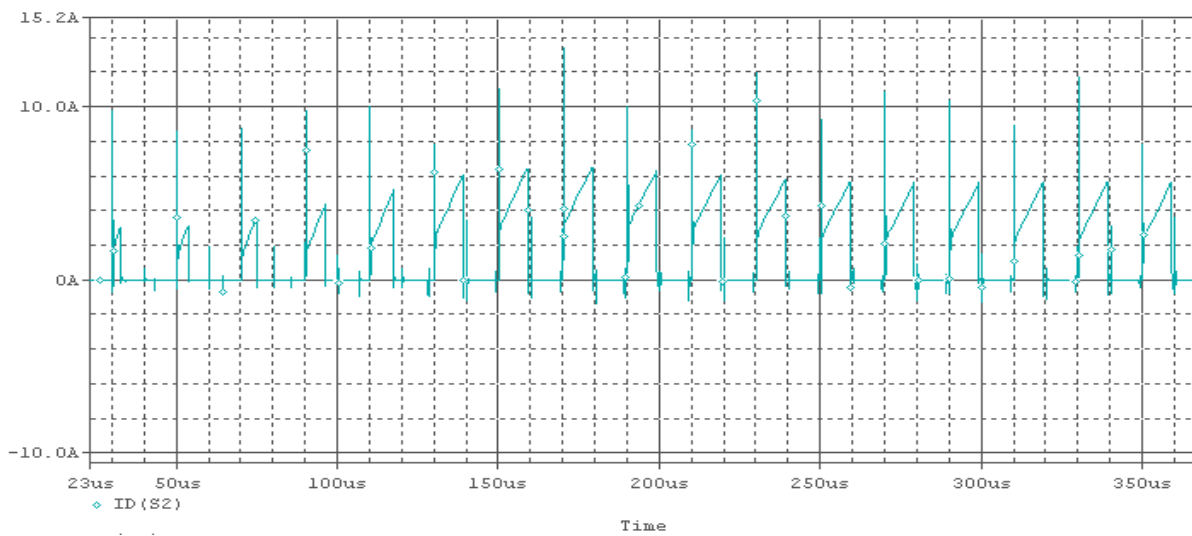


شکل (۶-۹) ریپل جریان سلف به ازای حداکثر ولتاژ ورودی ( $V_{in}=60\text{ v}$ )

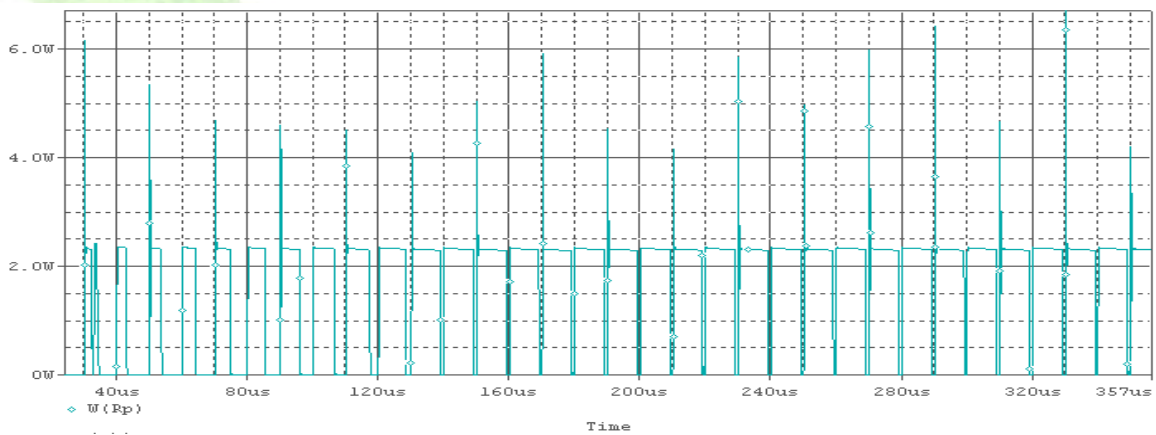


شکل (۶-۱۰) ولتاژ کلید به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

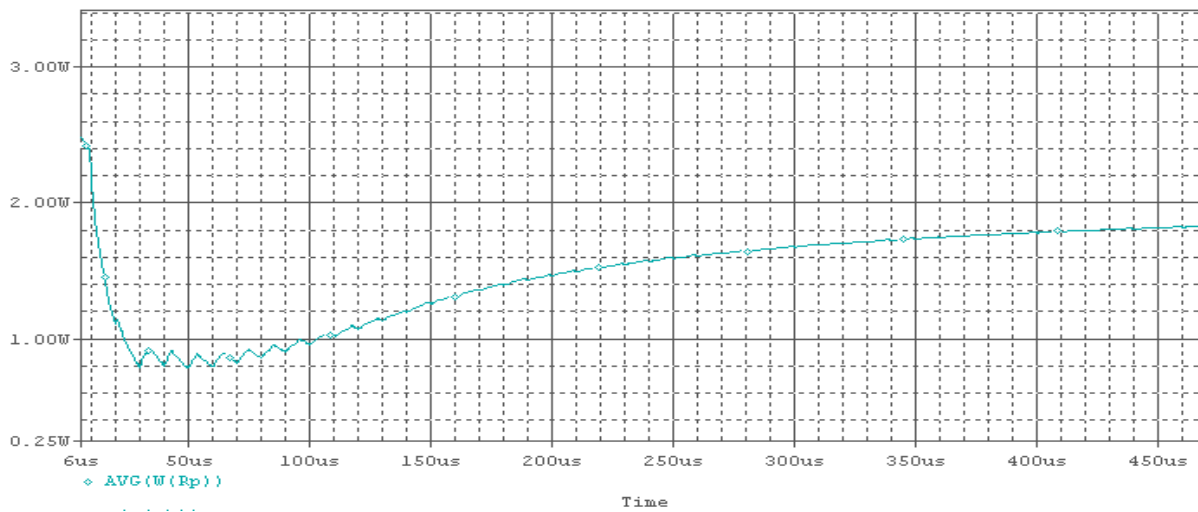


شکل (۶-۱۱) جریان کلید به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

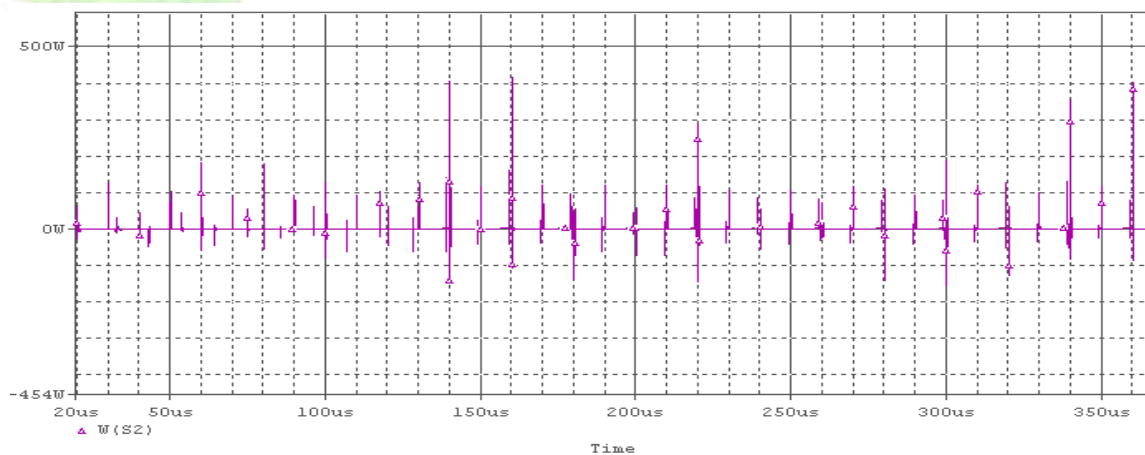


شکل (۶-۱۲) تلفات مقاومت موازی ترانس (Rp) به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

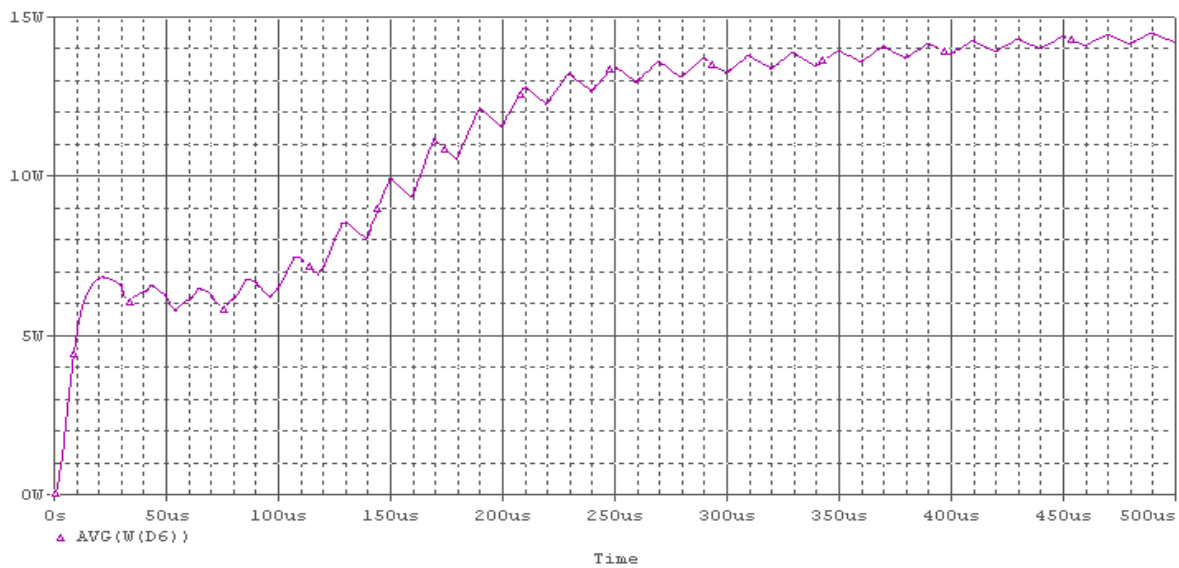


شکل (۶-۱۳) تلفات متوسط مقاومت موازی ترانس ( $R_p$ ) به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

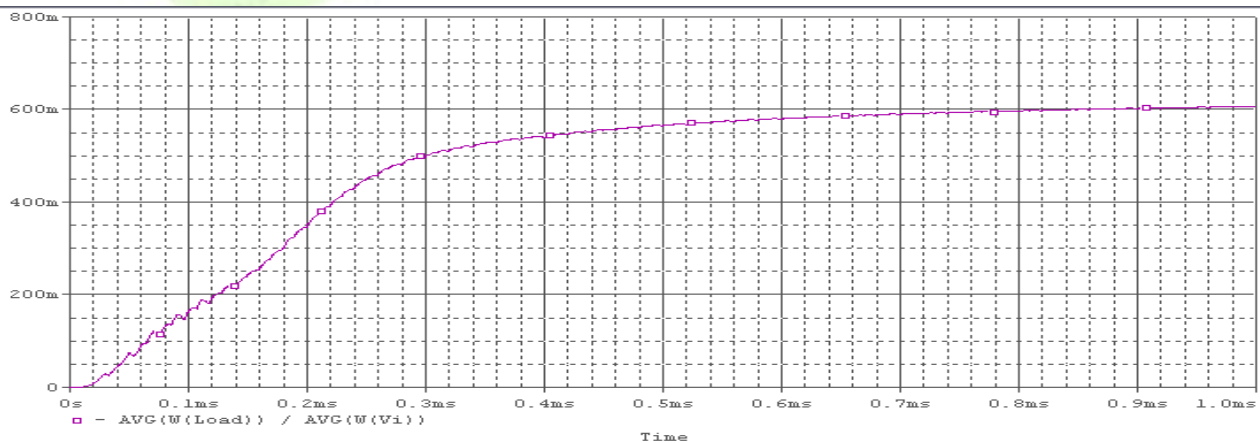


شکل (۶-۱۴) تلفات کلید به ازای ولتاژ نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



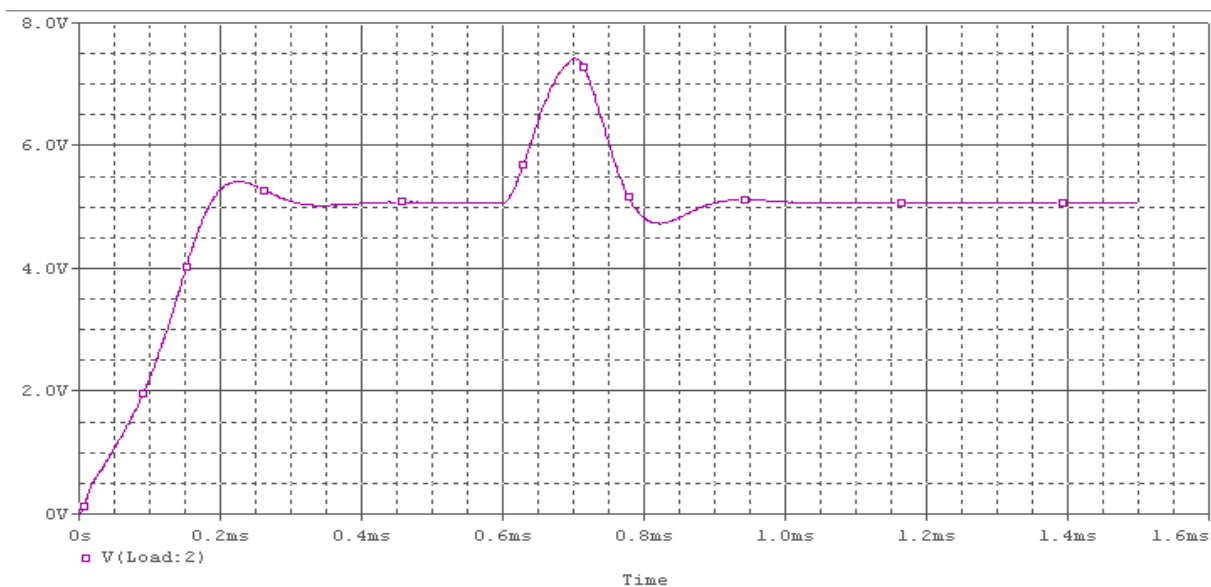
شکل (۶-۱۵) تلفات متوسط دیود به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )



شکل (۶-۱۶) بازده مبدل به ازای ولتاژ ورودی نامی ( $V_{in}=48\text{ v}$ )



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۶-۱۷) تغییرات ولتاژ خروجی به ازای تغییر ولتاژ ورودی از حداقل به حداکثر مقدار آن



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## ۶-۲- بررسی ولتاژ و جریان در نقطه کار مبدل

شکل های (۶-۱) تا (۶-۲۷)، شکل موج ولتاژ خروجی، جریان سلف، ریپل جریان سلف، ولتاژ و جریان کلیدها را در حالت های

(الف) حداقل ولتاژ ورودی و جریان خروجی نامی

(ب) حداقل ولتاژ ورودی و حداقل جریان خروجی

(ج) حداکثر ولتاژ ورودی و جریان خروجی نامی و

(د) حداکثر ولتاژ ورودی و حداقل جریان خروجی

نشان می دهد.

ولتاژ خروجی مبدل برای حالت "حداقل ولتاژ ورودی و جریان خروجی نامی"، دارای فرجهشی به میزان حدود ۲۶ ولت و فرجهشی به میزان حدود ۱۶,۵ ولت می باشد. سه حالت دیگر یعنی "حداقل ولتاژ ورودی و حداقل جریان خروجی"، "حداکثر ولتاژ ورودی و جریان خروجی نامی" و "حداکثر ولتاژ ورودی و حداقل جریان خروجی"، به ترتیب دارای فرجهش و فرجهش های حدود "۳۶ و ۲۰"، "۳۴ و ۱۸" و "۴۶ و ۱۸" ولت هستند. در هر چهار مورد، خطای حالت ماندگار، بسیار ناچیز و تقریباً صفر می باشد و خروجی را می توان با دقت بسیار خوبی، ۲۴ ولت در نظر گرفت.

شکل موجهای جریان سلف در چهار مورد یاد شده، به ترتیب دارای ریپل هایی به اندازه "۲,۵"، "۲,۶"، "۲" و "۳" آمپر می باشد. خود جریان سلف نیز، در چهار حالت به ترتیب، "۲۰"، "۲"، "۲۰" و "۲" آمپر است که با مقدار پیش بینی شده در بخش تعیین مقدار سلف، کاملاً تطابق دارد. مدت زمان اضافه جریان سلف در هنگام راه اندازی، حدود 0.25ms است که زمان بسیار کوتاهی است و مشکلی برای سلف ایجاد نمی کند.

در شکل موجهای جریان کلیدها، حداکثر جریان لحظه ای در حالت حداکثر ولتاژ ورودی و حداقل جریان خروجی رخ می دهد که مقدار آن حدود ۲۰ آمپر است. این مقدار از حداکثر جریان لحظه ای قابل تحمل برای کلیدها کمتر بوده و لذا مشکلی برای کلید ایجاد نمی کند.

با توجه به شکل موج ولتاژ کلیدها نیز در می یابیم که ولتاژ دو سر کلیدها، در حالت حداقل ولتاژ ورودی، حدود ۹۰۰ ولت و در حالت حداکثر ولتاژ ورودی حدود ۱۲۰۰ ولت است که همان مقدار مورد انتظار است. همچنین اسپایکهای ولتاژ در این دو حالت، به ترتیب، ۱۰۰۰ و ۱۳۰۰ ولت است که مشکلی برای کلید مورد استفاده ایجاد نمی کند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### ۳-۶- تعیین پارامترهای طراحی

با توجه به شکل موجهای به دست آمده، برخی پارامترهای طراحی مانند دوره کار، ریپل جریان سلف و ریپل ولتاژ خروجی برای چهار حالت "الف" تا "د"، در جدول (۱-۶) آورده شده است.

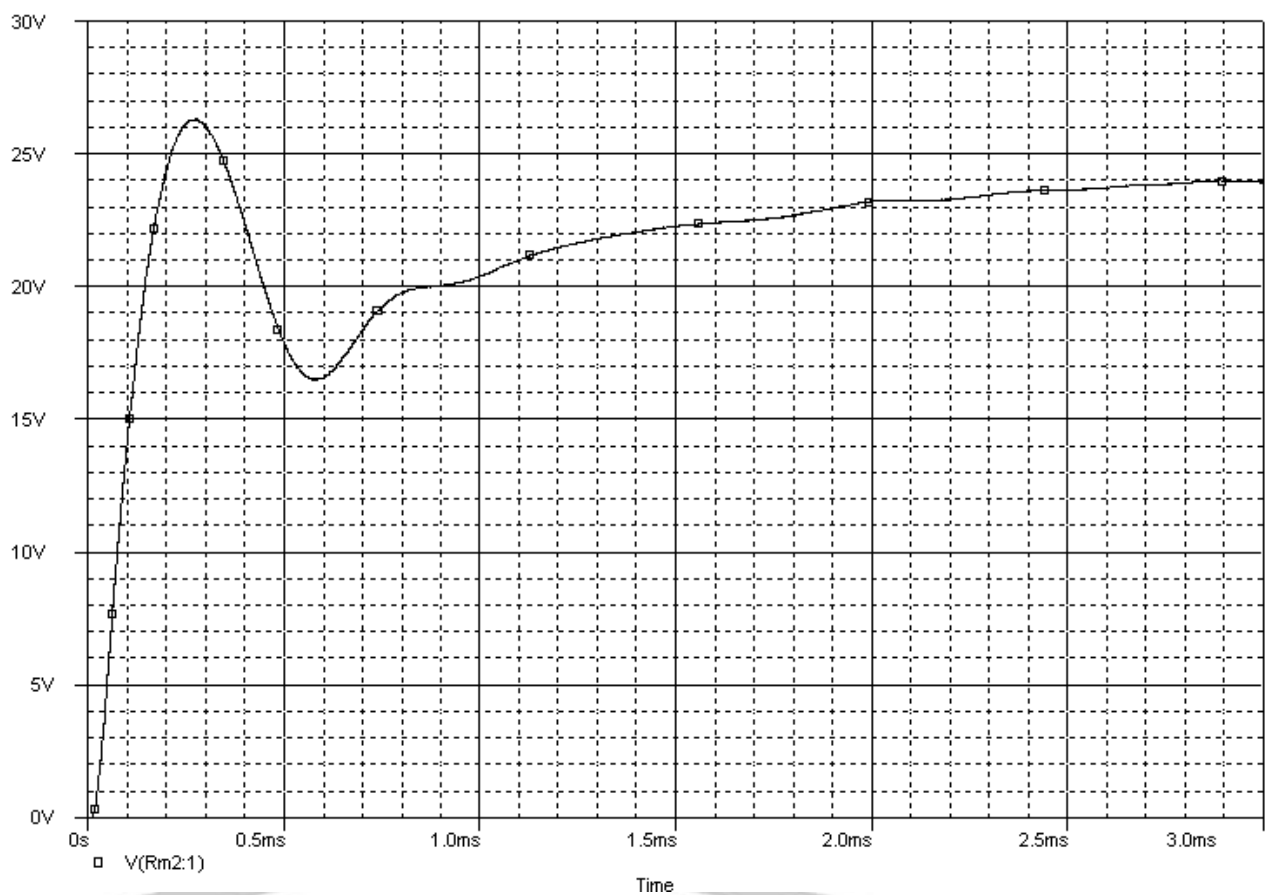
→ نقطه کار ↓ پارامتر	$V_i = 457V$ $I_o = 20A$	$V_i = 457V$ $I_o = 2A$	$V_i = 591V$ $I_o = 20A$	$V_i = 591V$ $I_o = 2A$
دوره کار	0.69	0.75	0.73	0.74
ریپل جریان سلف	2.5	2.6	2	3
ریپل ولتاژ خروجی	0.15	0.1	0.2	0.3

جدول (۱-۶): پارامترهای طراحی مبدل در چهار نقطه کار "الف" تا "د"

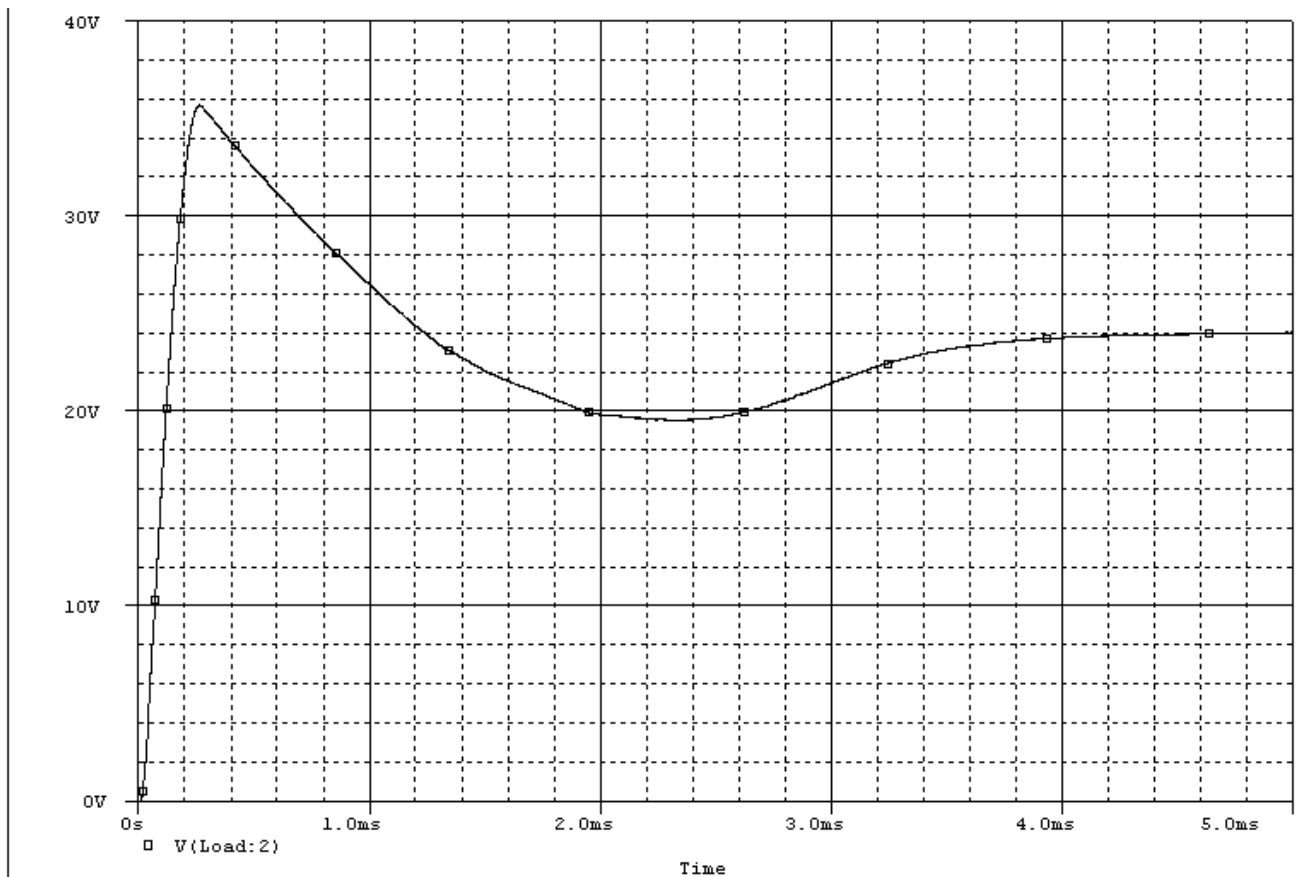
### ۴-۶- تلفات قطعات قدرت

شکل های (۶-۲۸) تا (۶-۳۴)، منحنی تلفات و میانگین تلفات سلف خروجی، خازن خروجی و دیودهای ثانویه ترانسفورماتور را نشان می دهد. همانطور که از این شکل ها پیداست، میانگین تلفات سلف خروجی تقریباً ۱,۷ وات است که دقیقاً با مقدار به دست آمده در طراحی سلف و مدلسازی تلفات آن مطابقت دارد. تلفات خازن خروجی نیز ۰,۰۵ وات به دست آمده است. تلفات دیودهای خروجی نیز در دو حالت حداقل و حداکثر ولتاژ ورودی، ۱۳ وات می باشد که از تلفات به دست آمده در محاسبات فصل یکم بیشتر است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

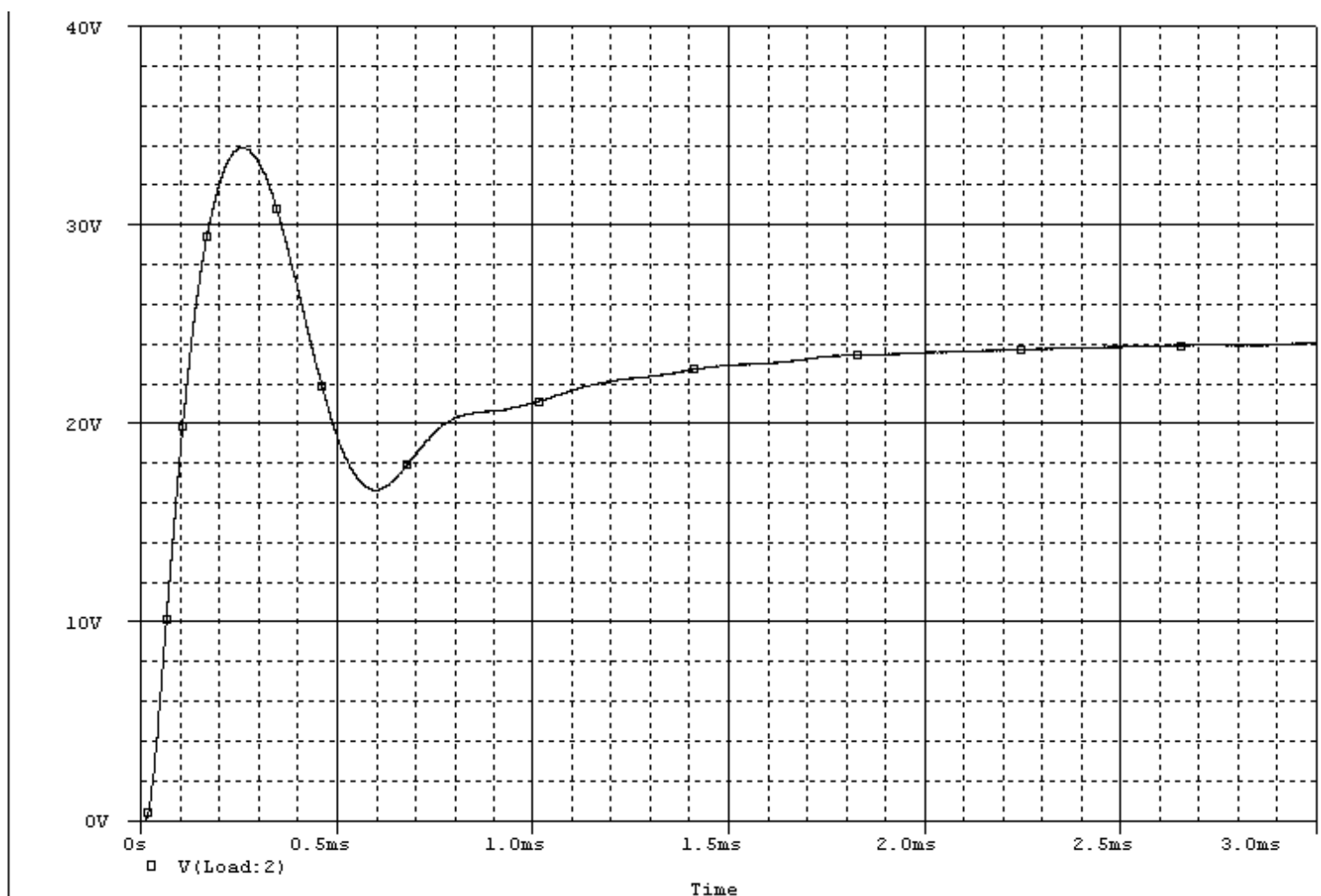


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۶-۱): ولتاژ خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



ولتاژ شکل (۲-۶): خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۳-۶):

ولتاژ خروجی

برای حداکثر

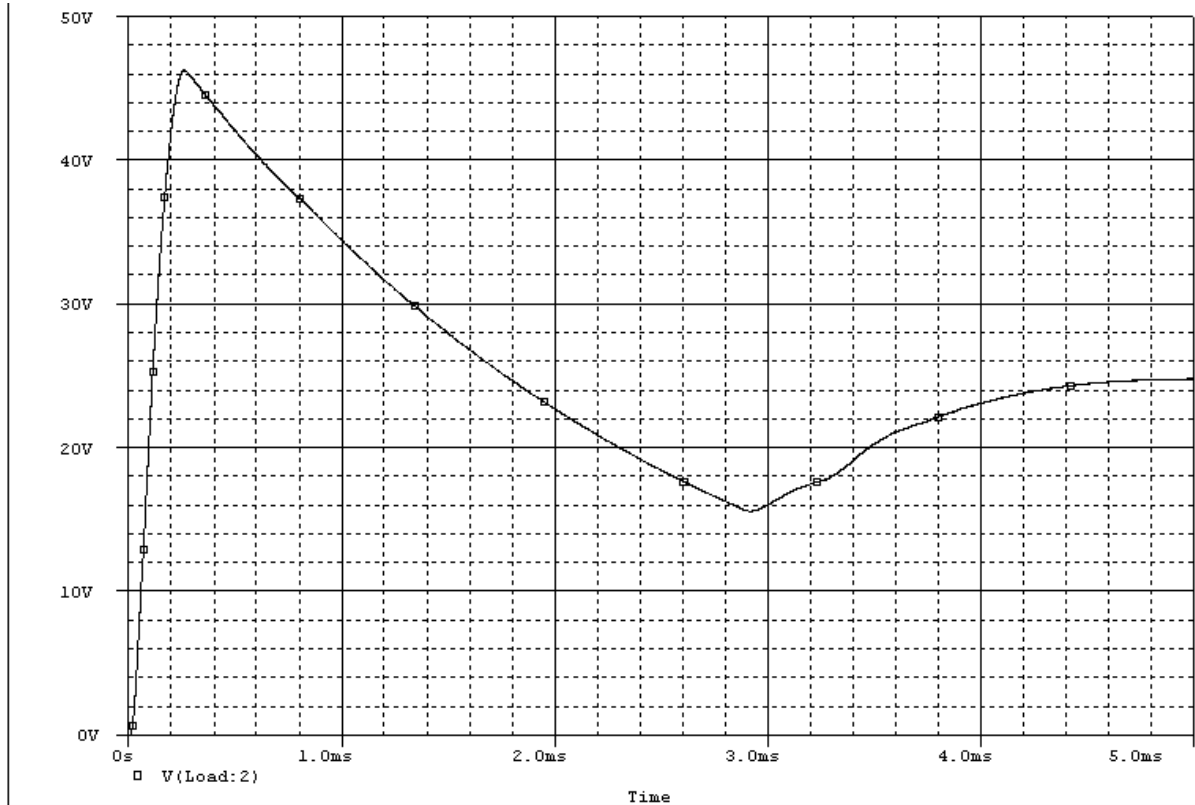
ولتاژ ورودی

(۵۹۱ ولت) و

جریان

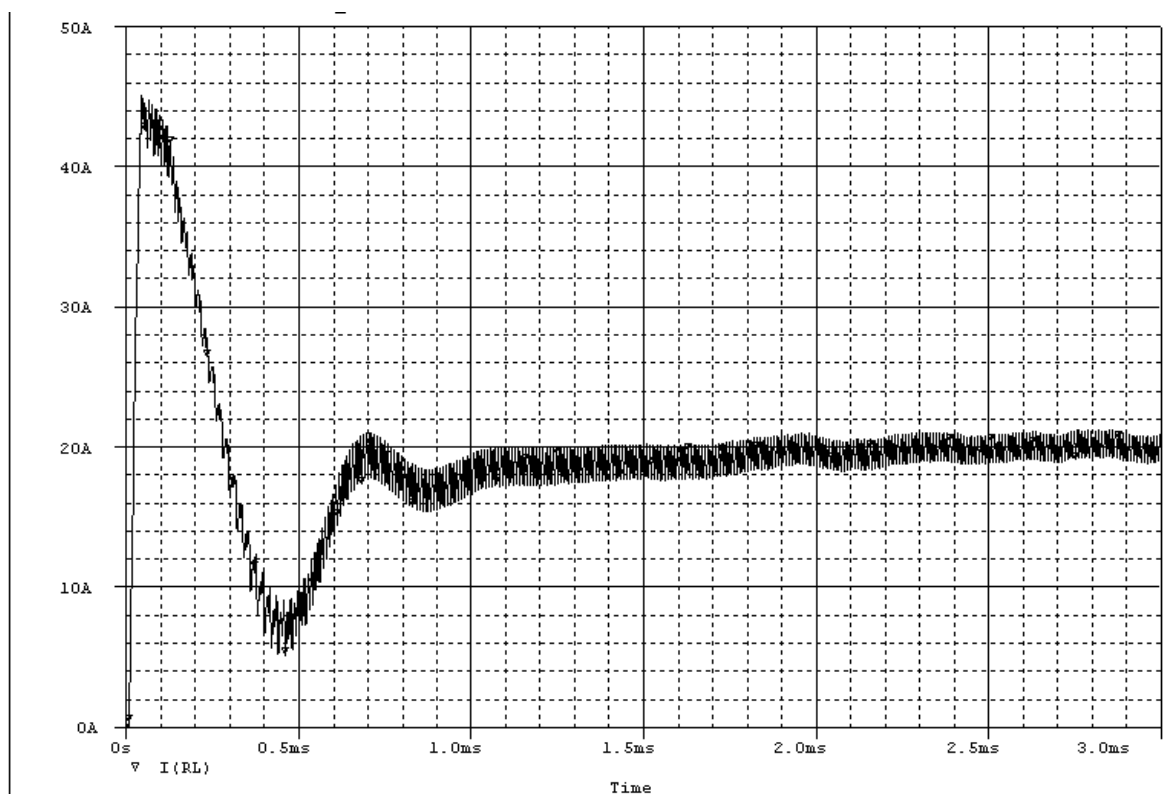
خروجی نامی

(۲۰ آمپر)



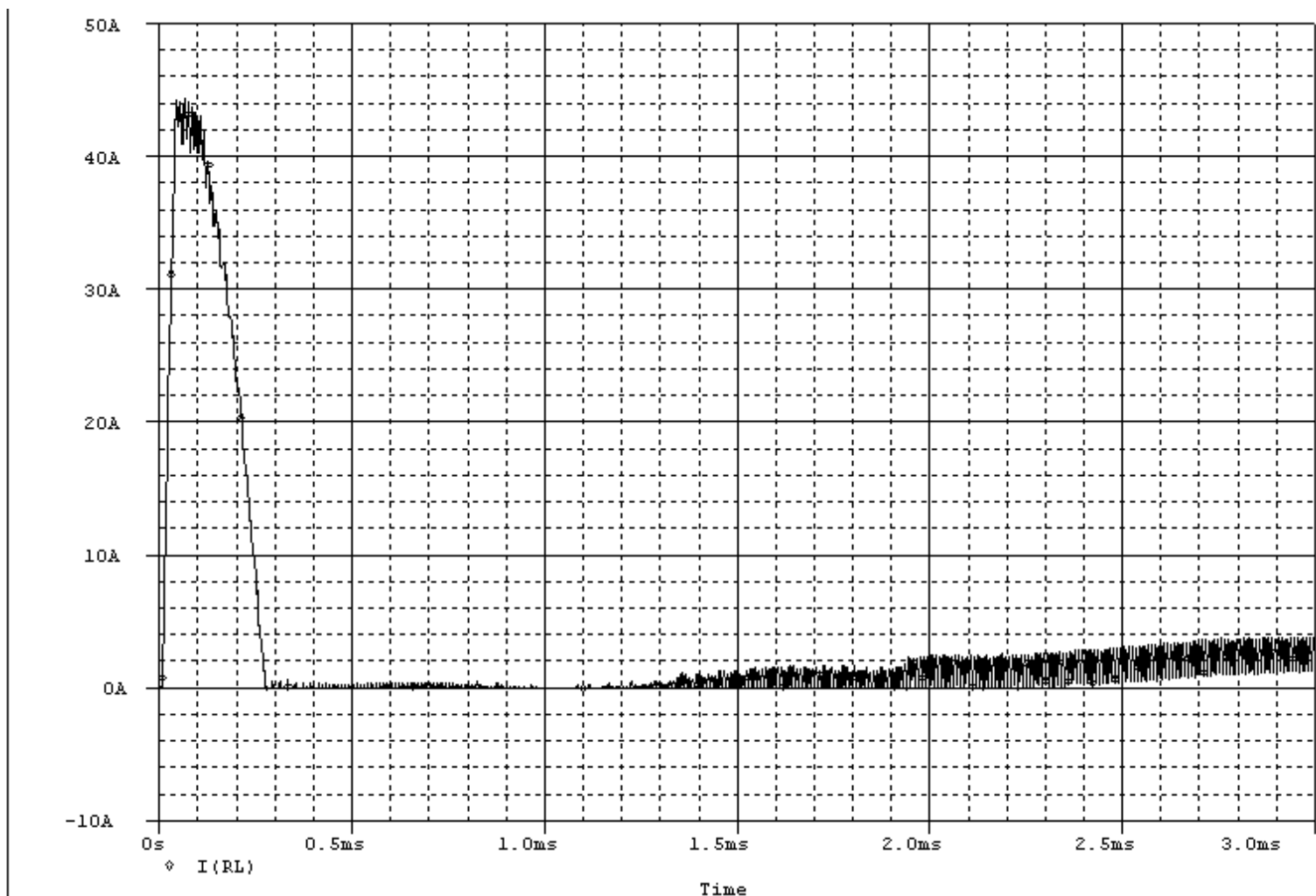
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۴-۶): ولتاژ خروجی برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)



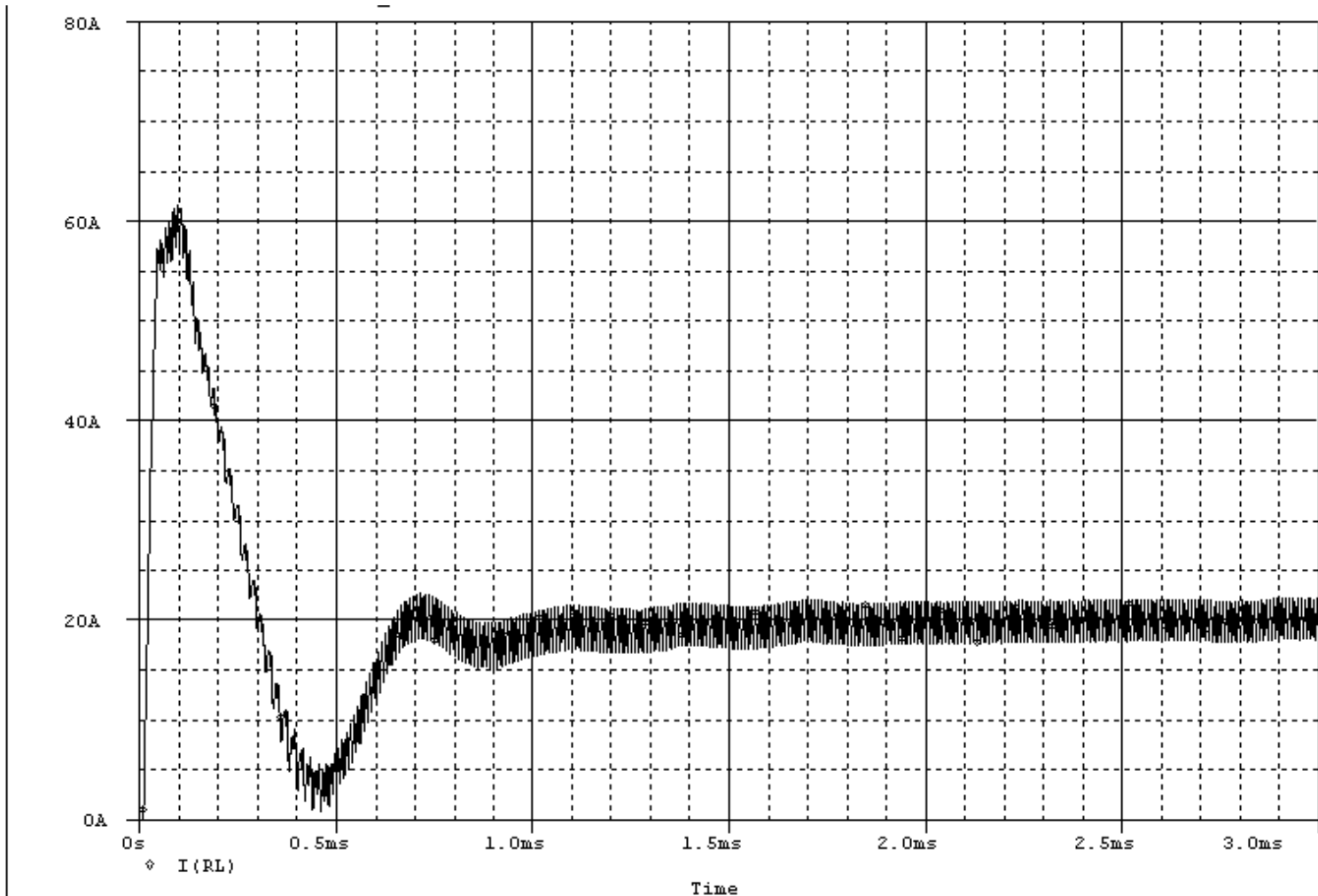


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



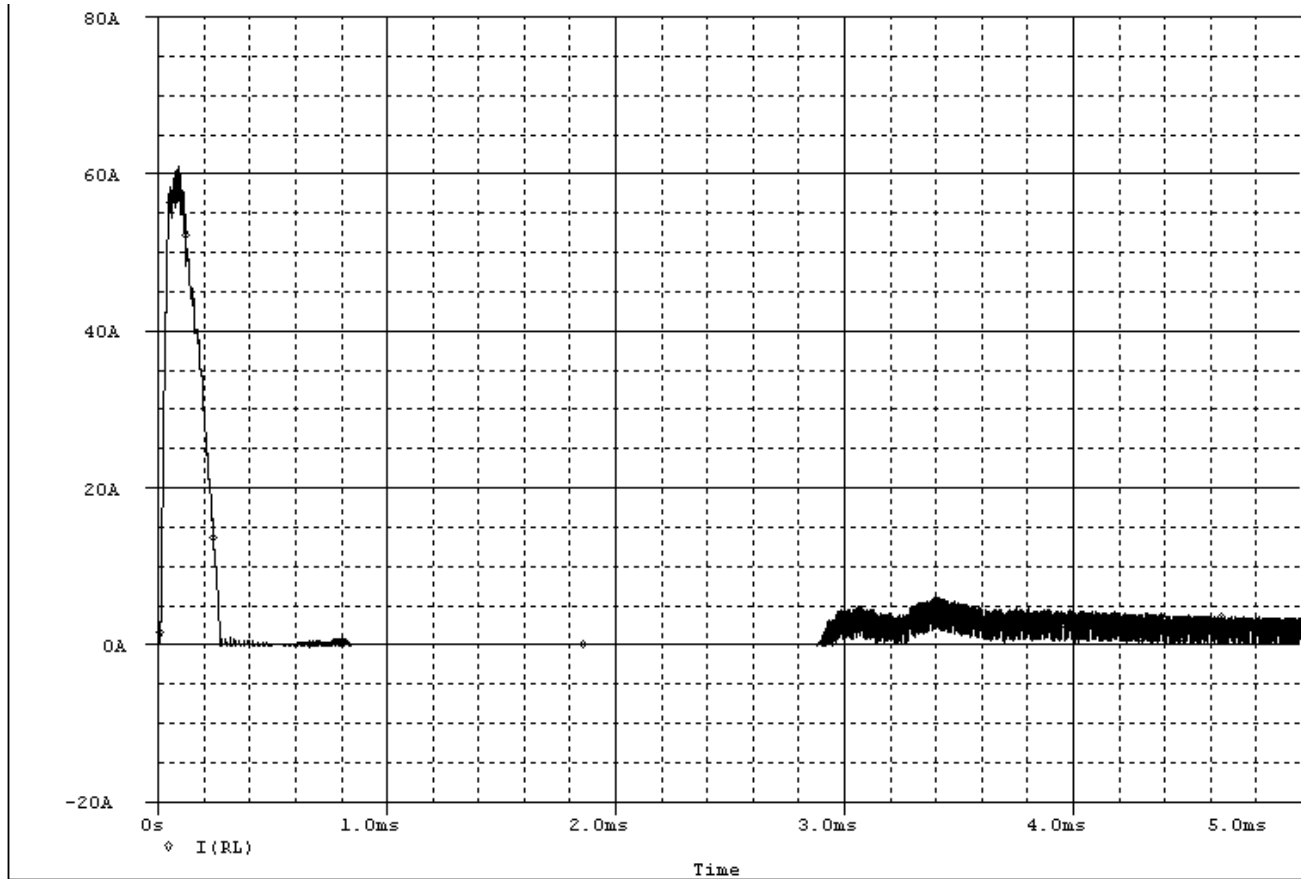
شکل (۵-۶): جریان سلف برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



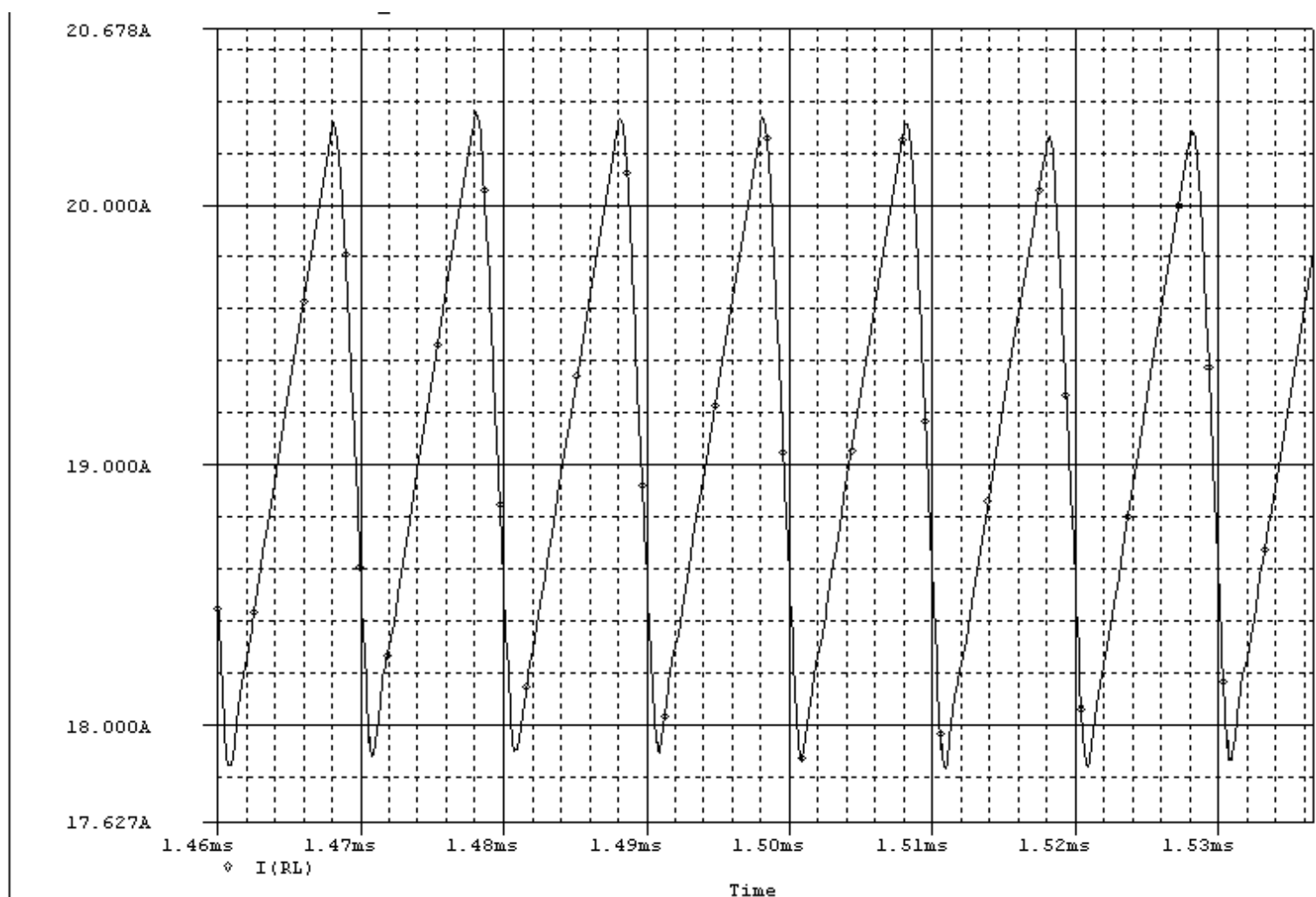
شکل (۶-۶): جریان سلف برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



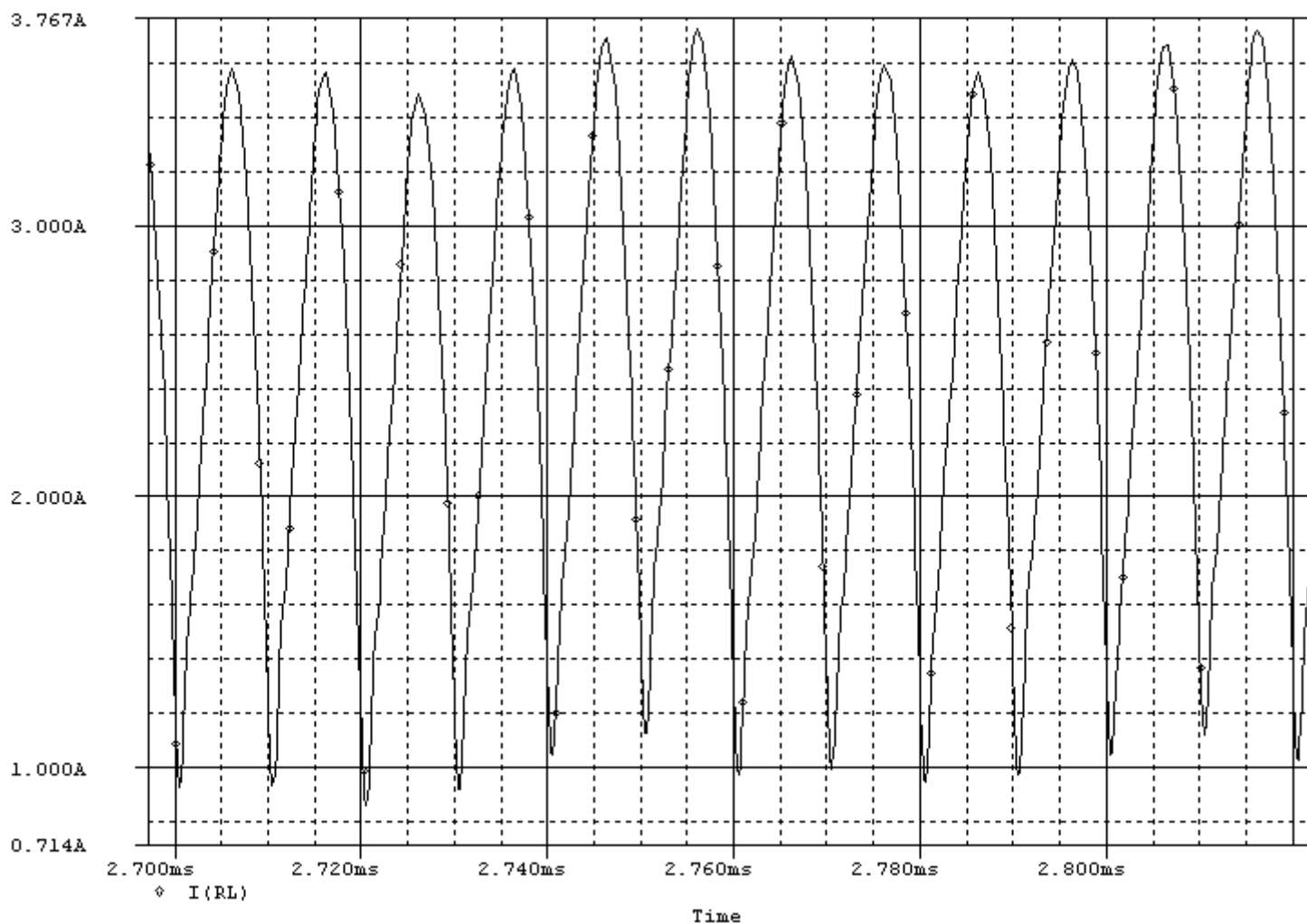
شکل (۶-۷): جریان سلف برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



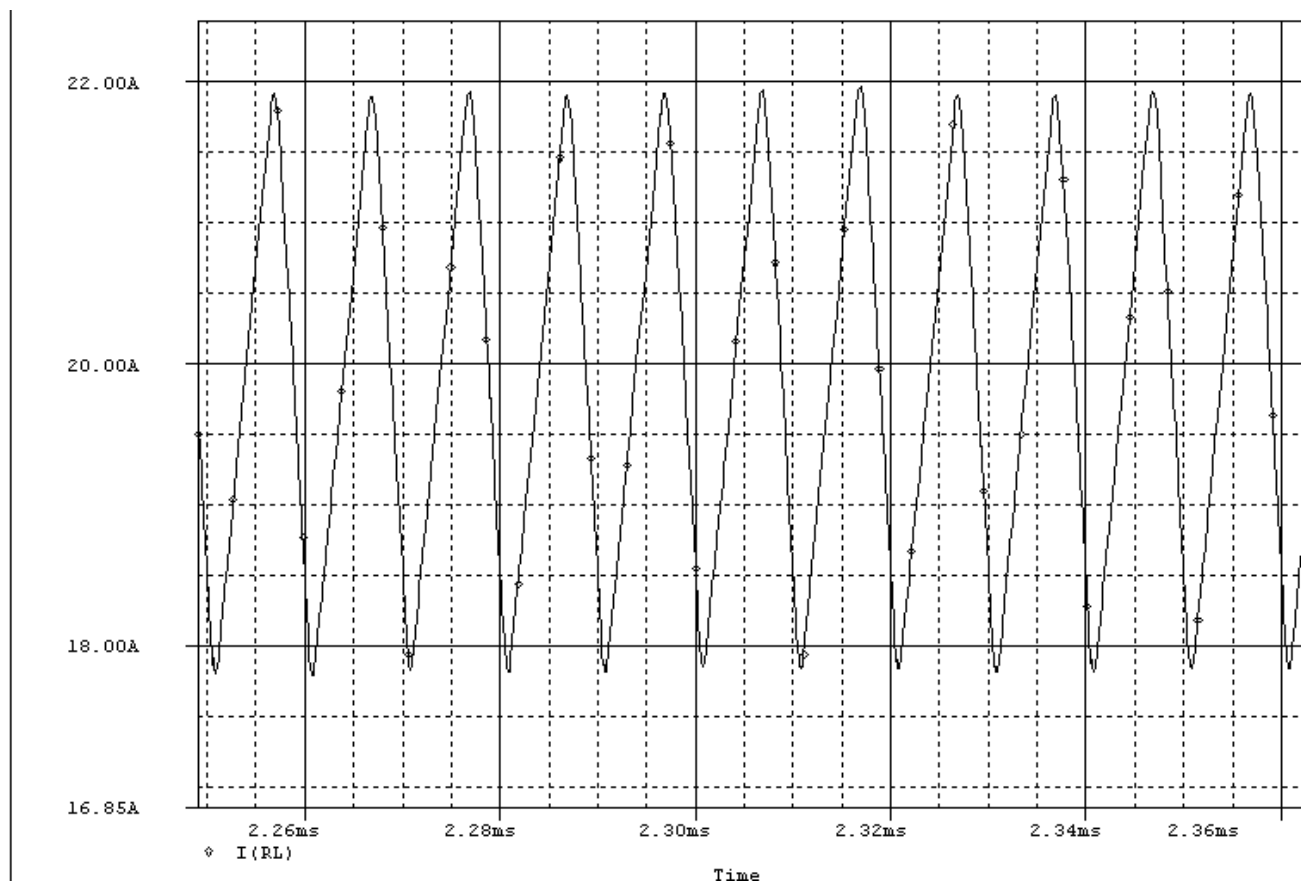
شکل (۶-۸): جریان سلف برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۶-۹): ریپل جریان سلف برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)

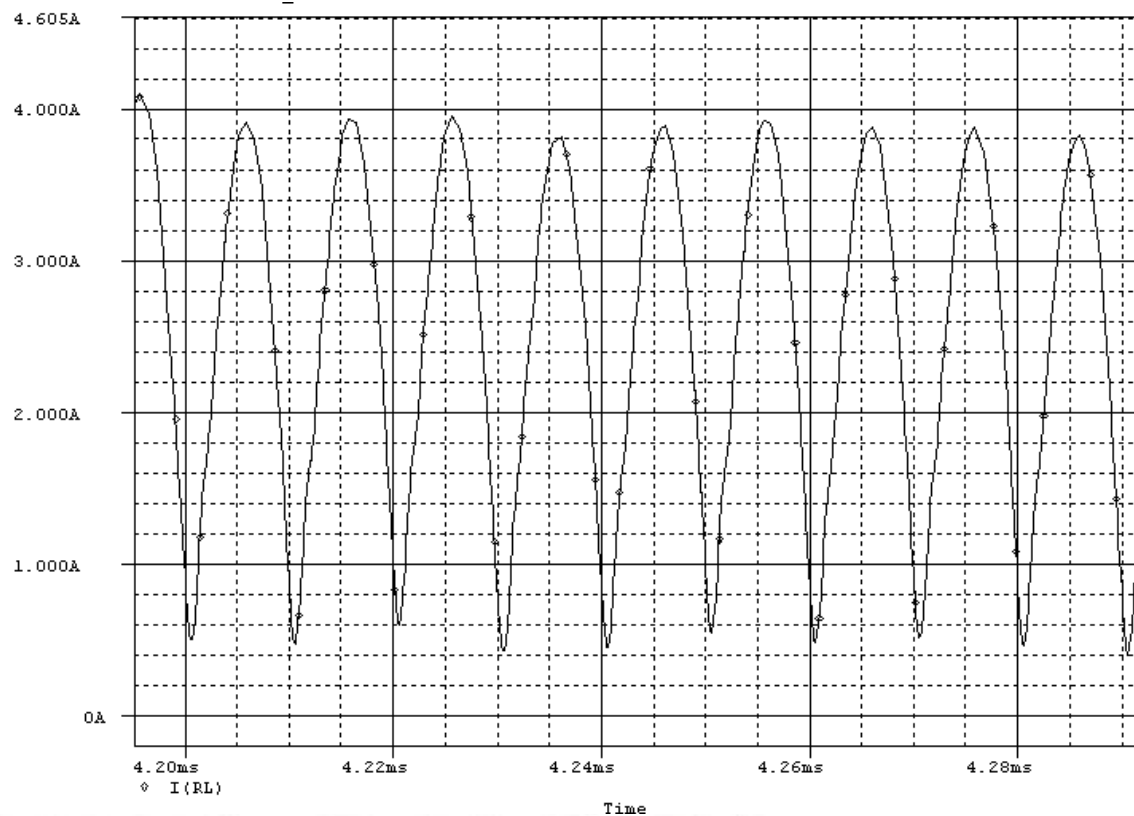
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۶-۱۰): ریپل جریان سلف برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)

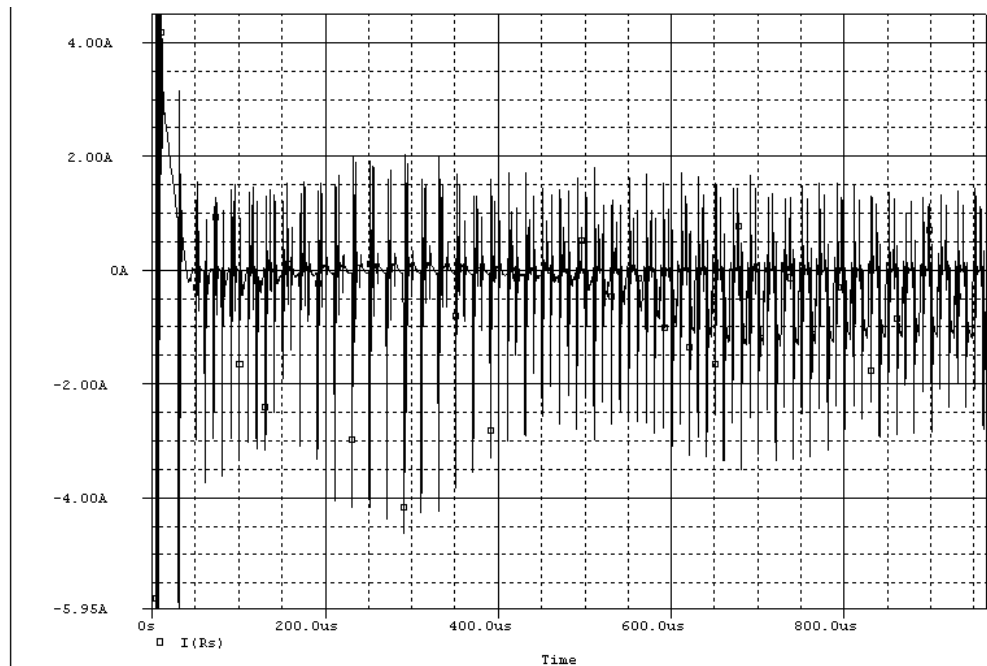
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶)-  
 (۱۱): ریپل  
 جریان سلف  
 برای حداکثر  
 ولتاژ ورودی  
 (۵۹۱ ولت) و  
 جریان  
 خروجی نامی  
 (۲۰ آمپر)



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۱۲): ریپل جریان سلف برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)





برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

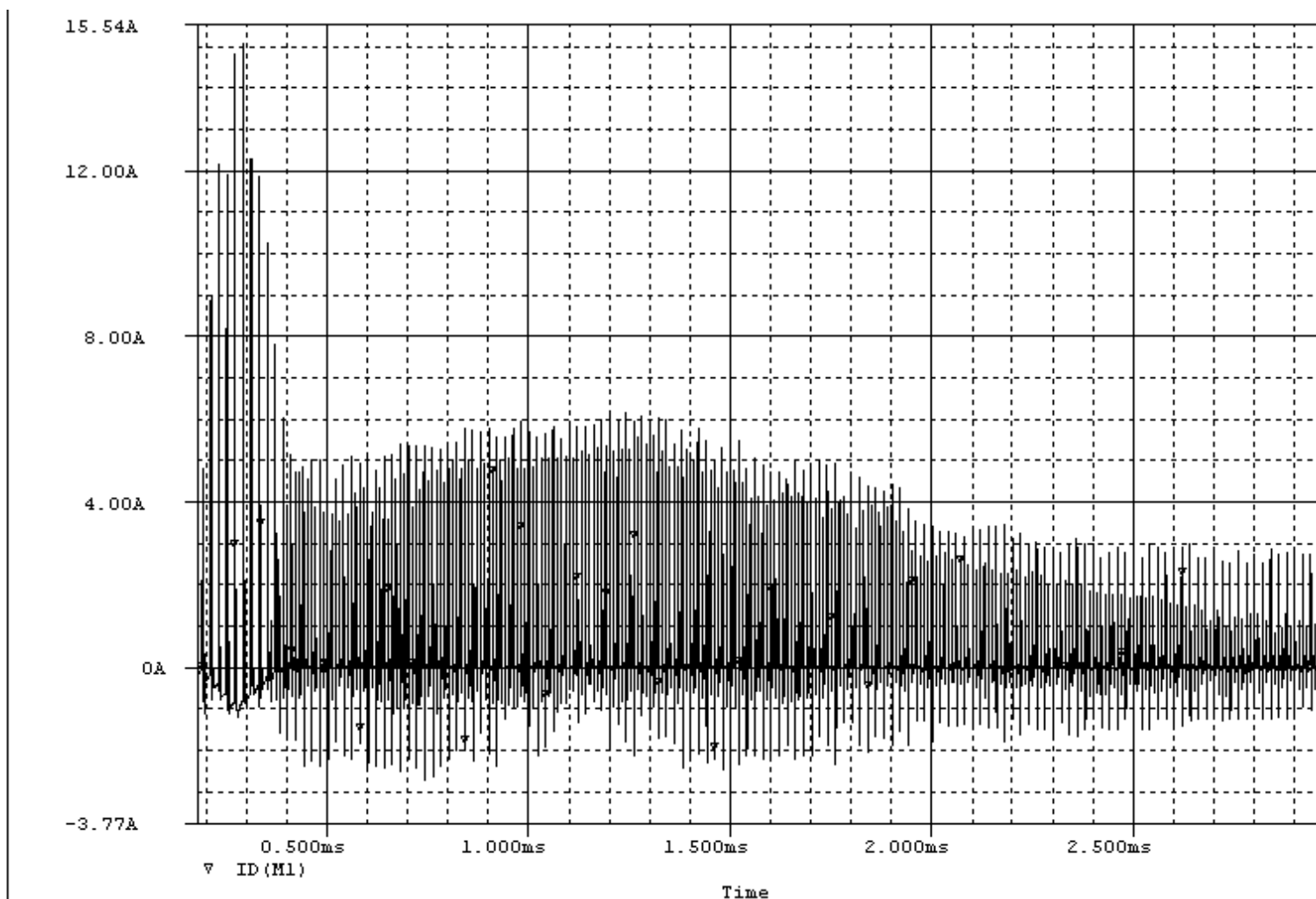


شکل (۶-۱۳): جریان کلید ۱ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰

آمپر)

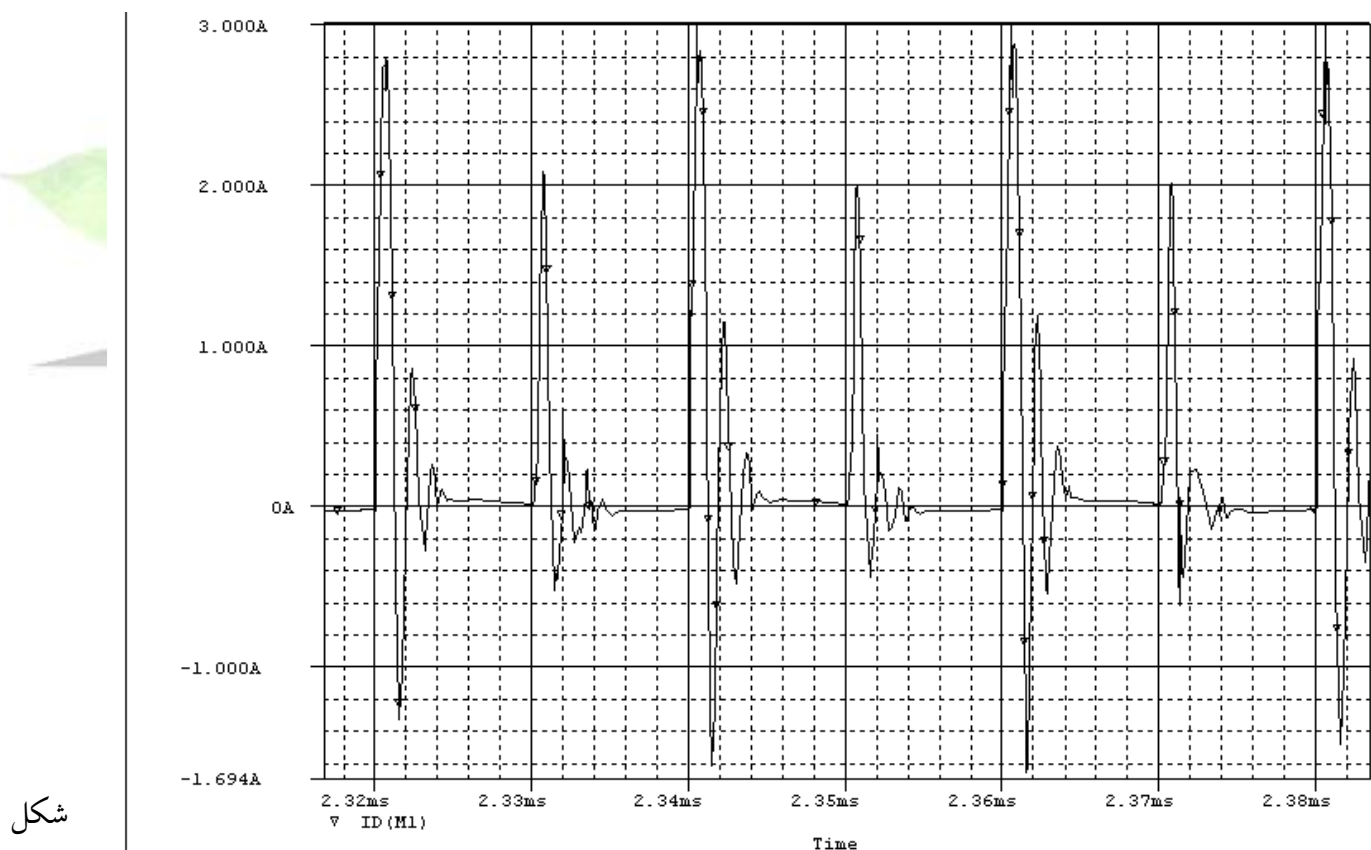
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۱۴): جریان کلید ۱ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰)



آمپر) با دید ریزتر

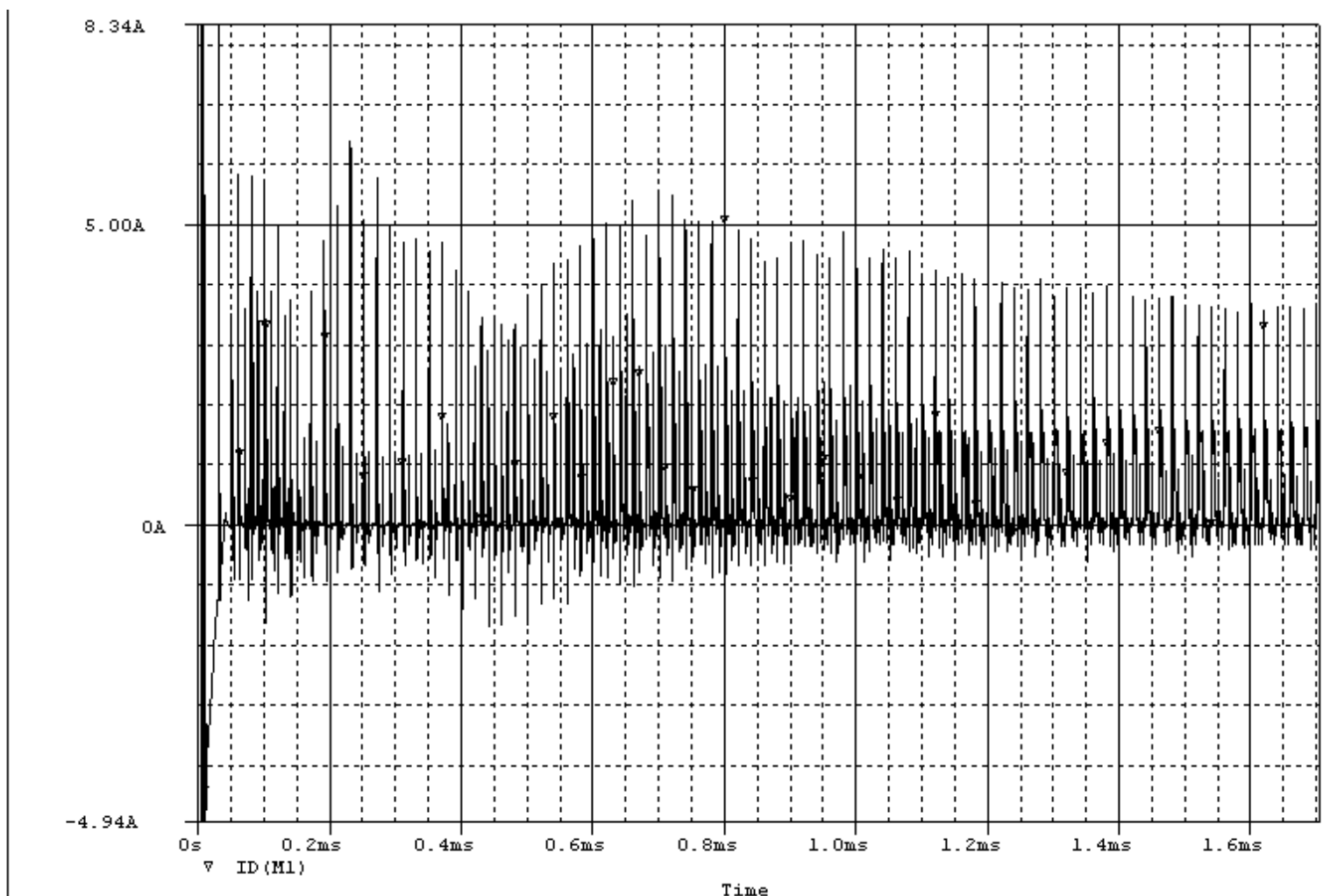
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



(۶-۱۵): جریان کلید ۱ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

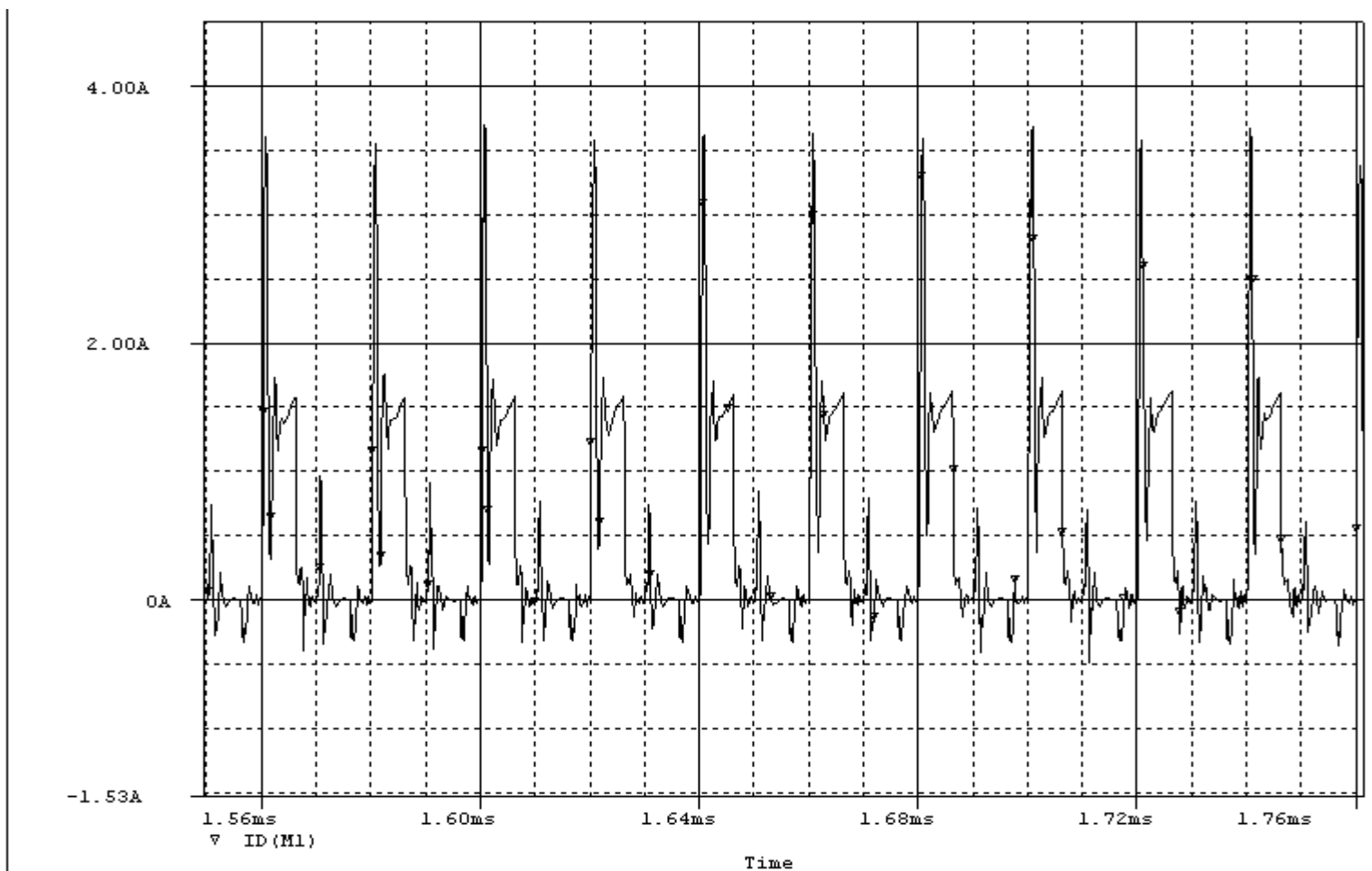
شکل (۶-۱۶): جریان کلید ۱ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر) با



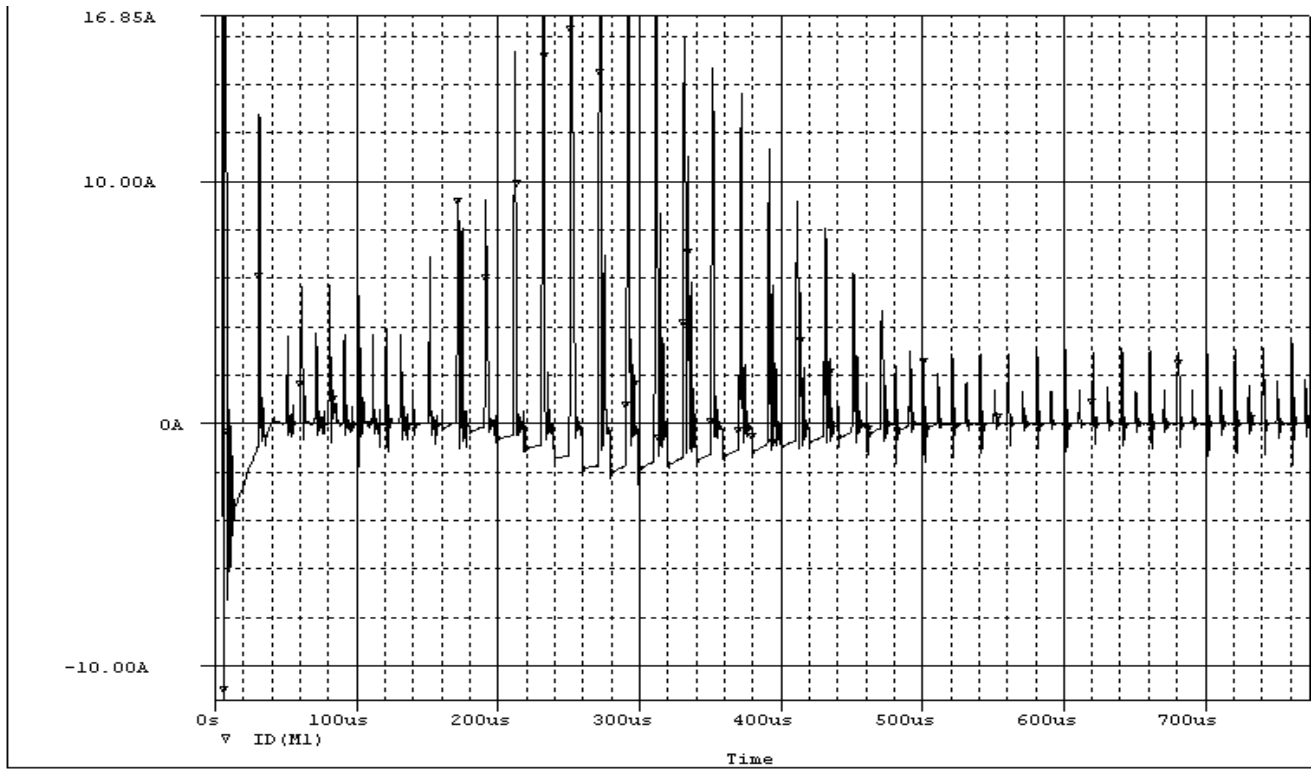
دید ریزتر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۱۷): جریان کلید ۱ برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

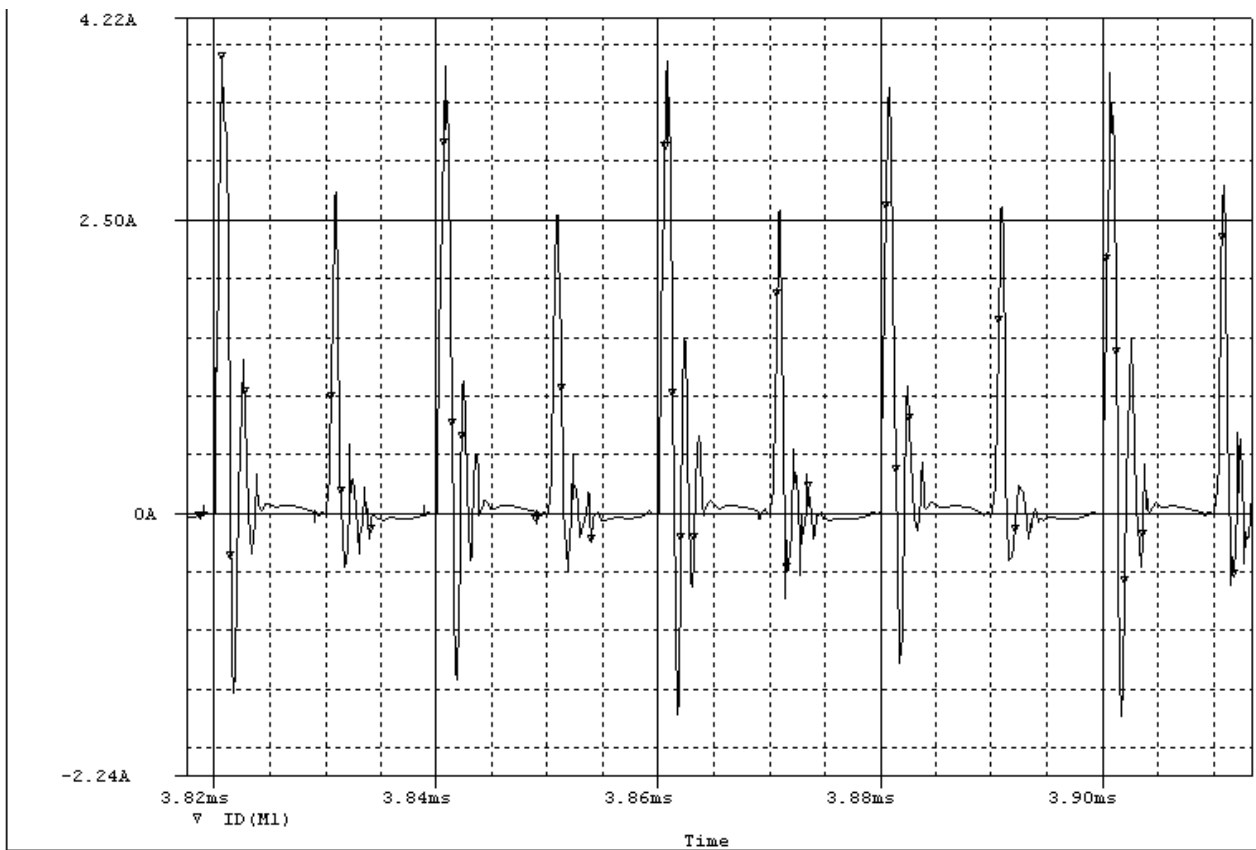


شکل (۶-۱۸): جریان کلید ۱ برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر) با

دید ریزتر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

شکل  
(۶-۱۹):  
جریان  
کلید ۱  
برای  
حداکثر  
ولتاژ  
ورودی  
(۵۹۱)  
ولت) و  
حداقل  
جریان  
خروجی

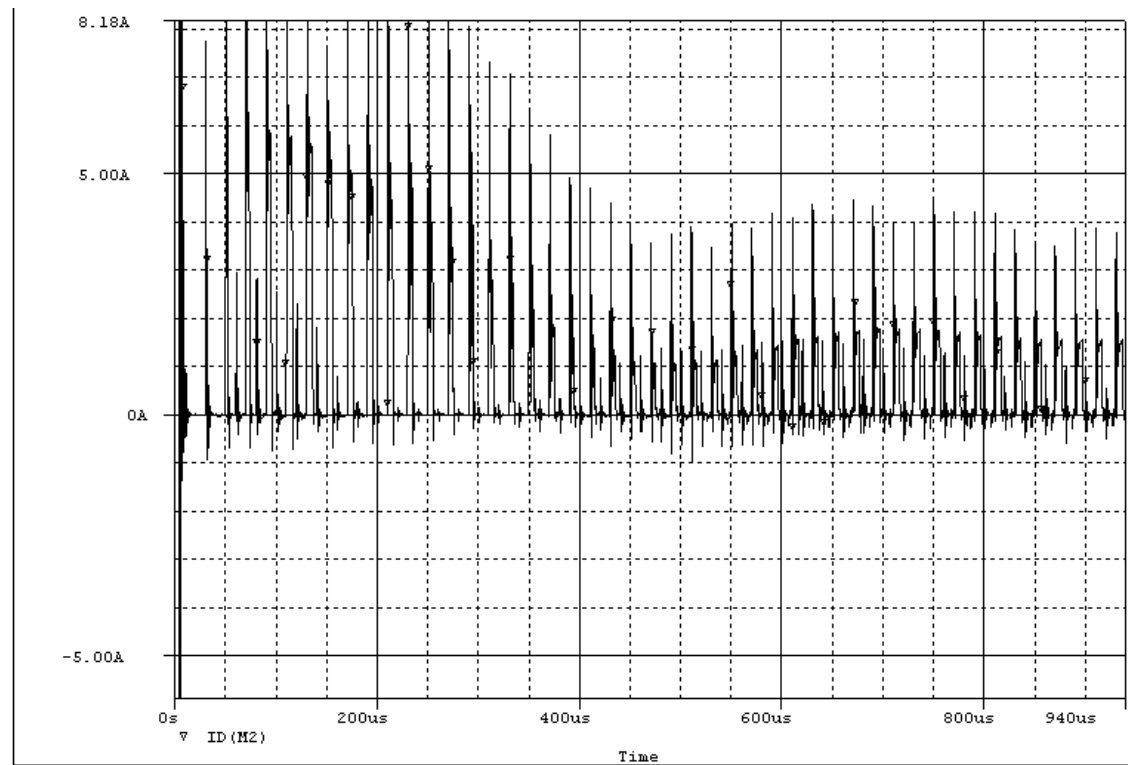


(۲ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

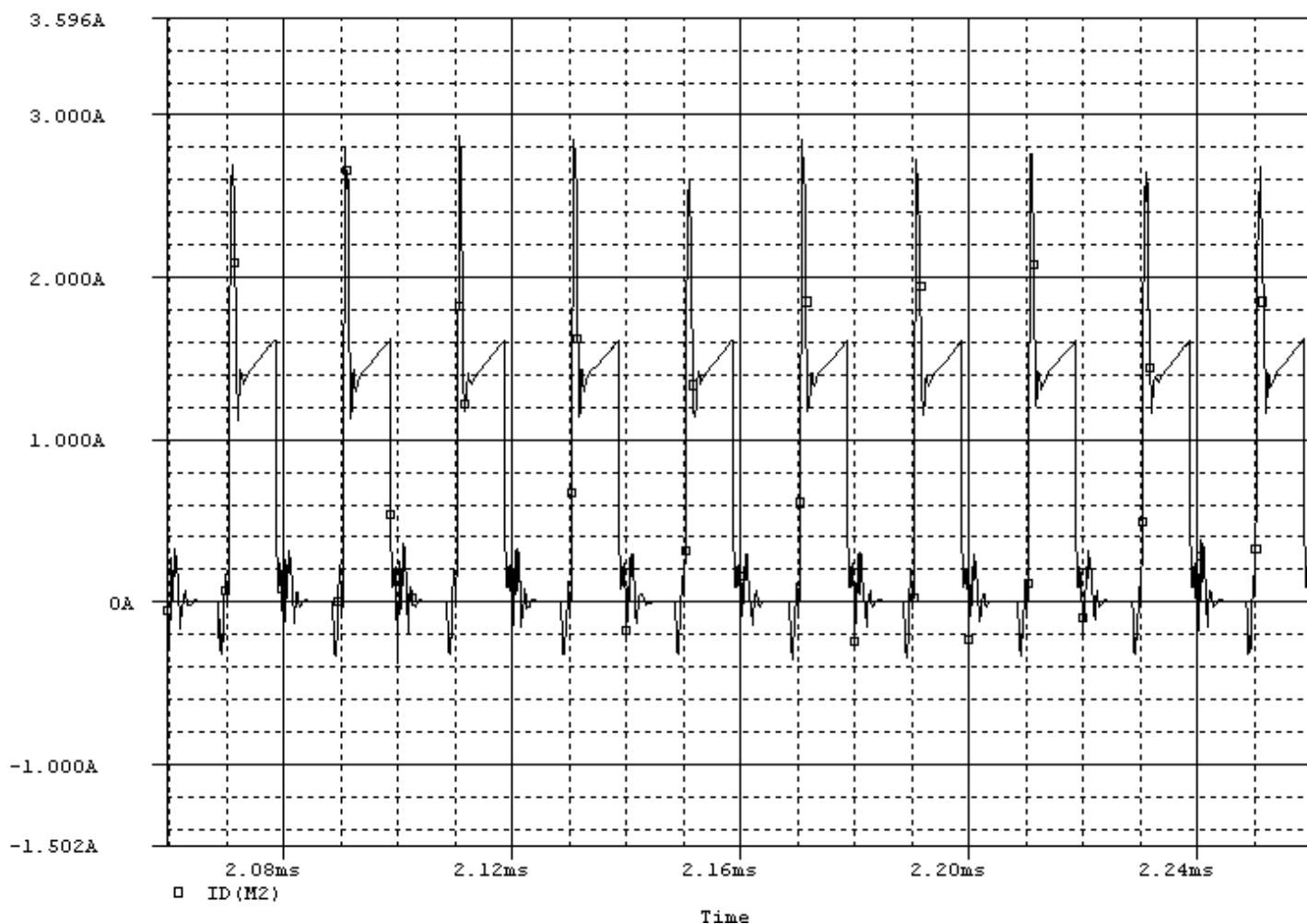
شکل (۶-۲۰): جریان کلید ۱ برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر) با

دید ریزتر





برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

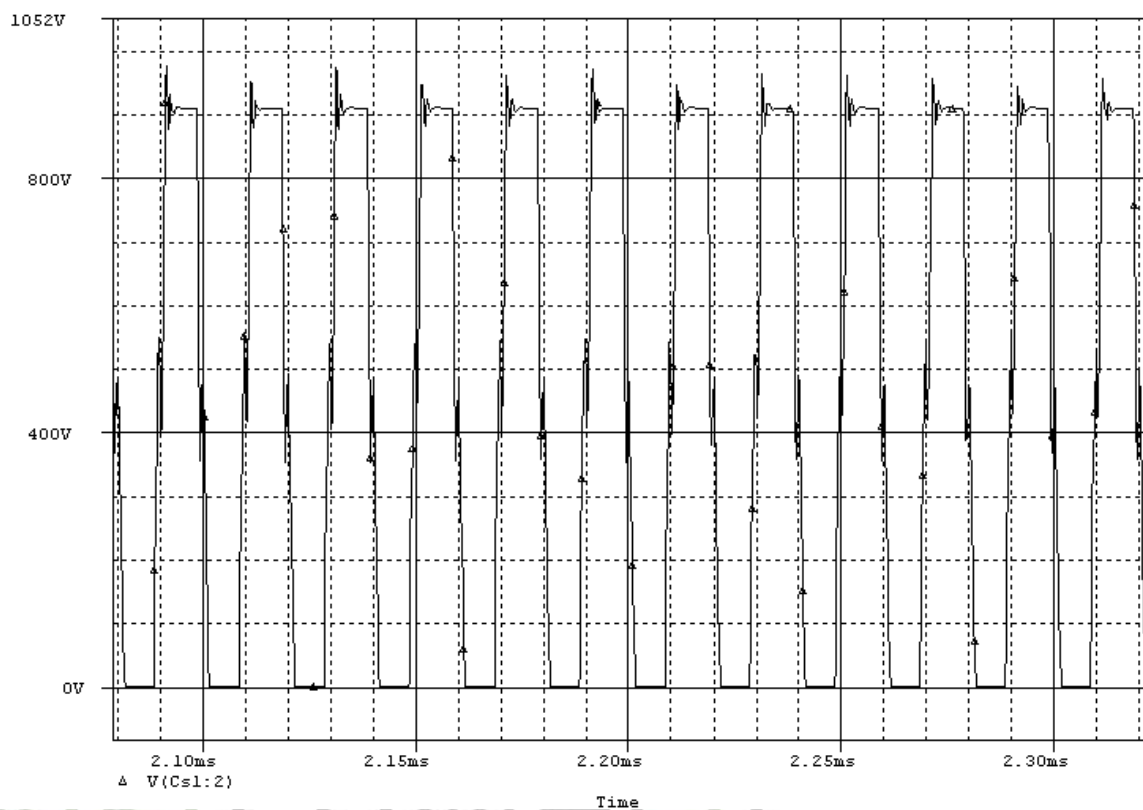


شکل (۶-۲۱): جریان کلید ۲ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰)

آمپر)

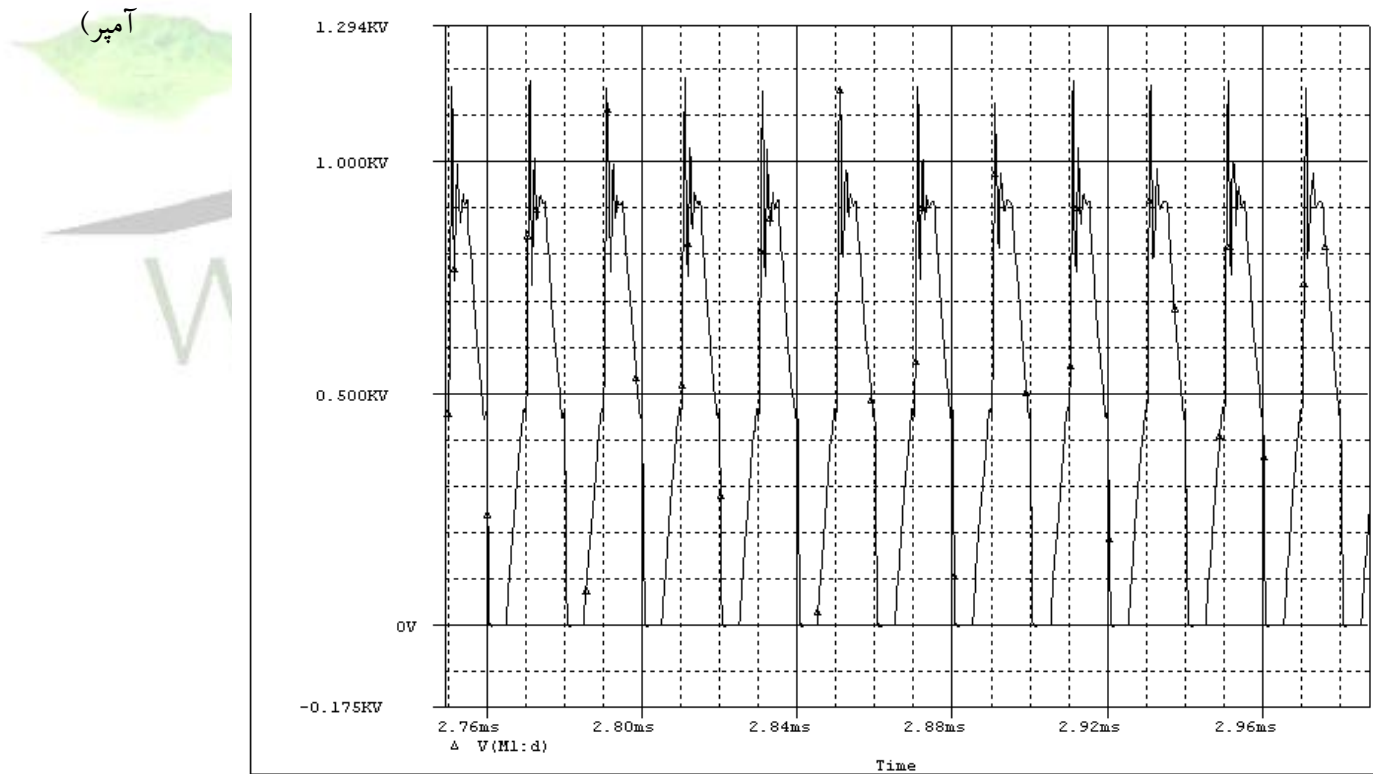
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۶-  
 ۲۲: جریان  
 کلید ۲ برای  
 حداقل ولتاژ  
 ورودی (۴۵۷)  
 ولت) و  
 جریان  
 خروجی نامی  
 (۲۰ آمپر) با  
 دید ریزتر



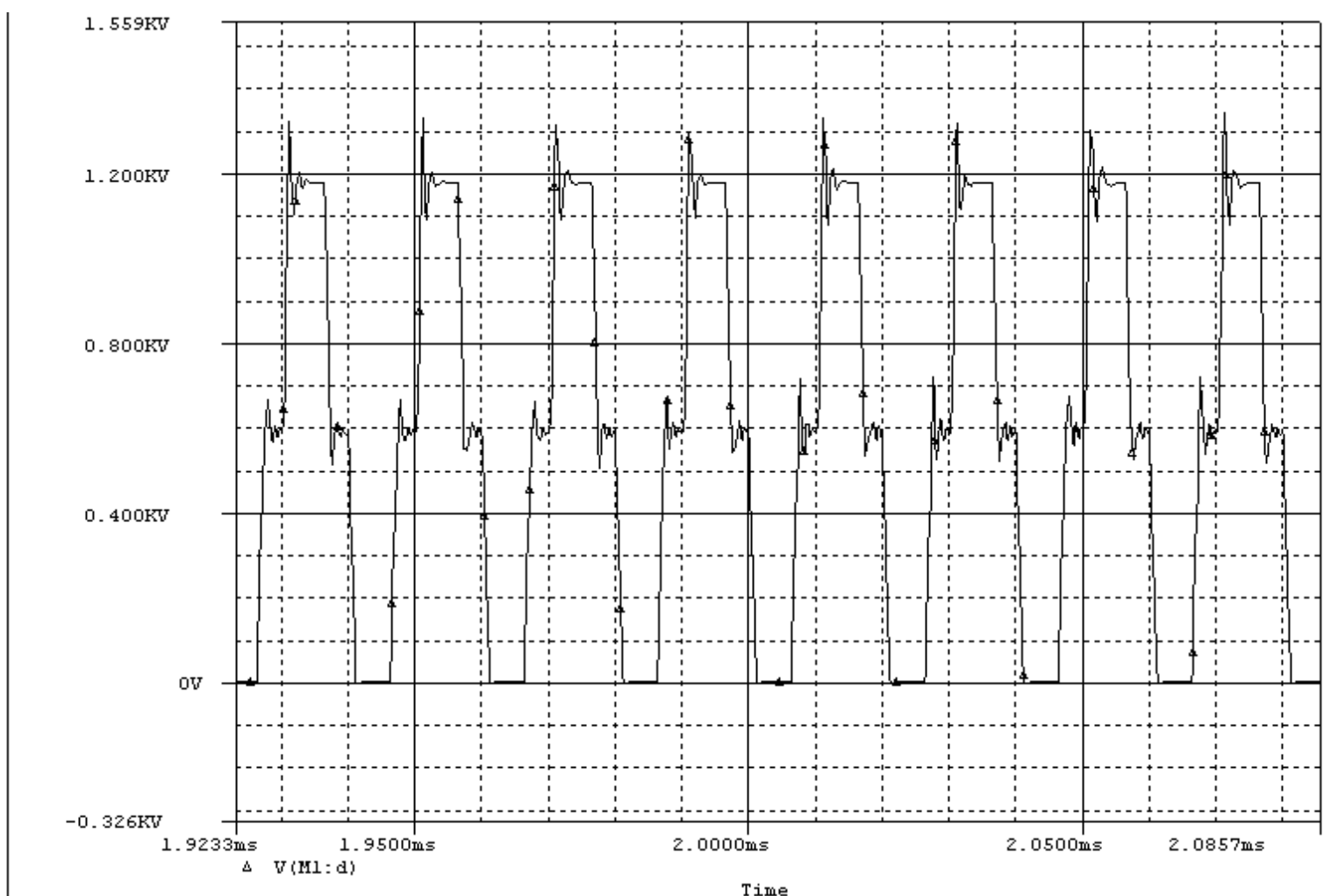
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۲۳): ولتاژ کلید ۱ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۲۴): ولتاژ کلید ۱ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲)



(آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶)-

ولتاژ کلید (۲۵):

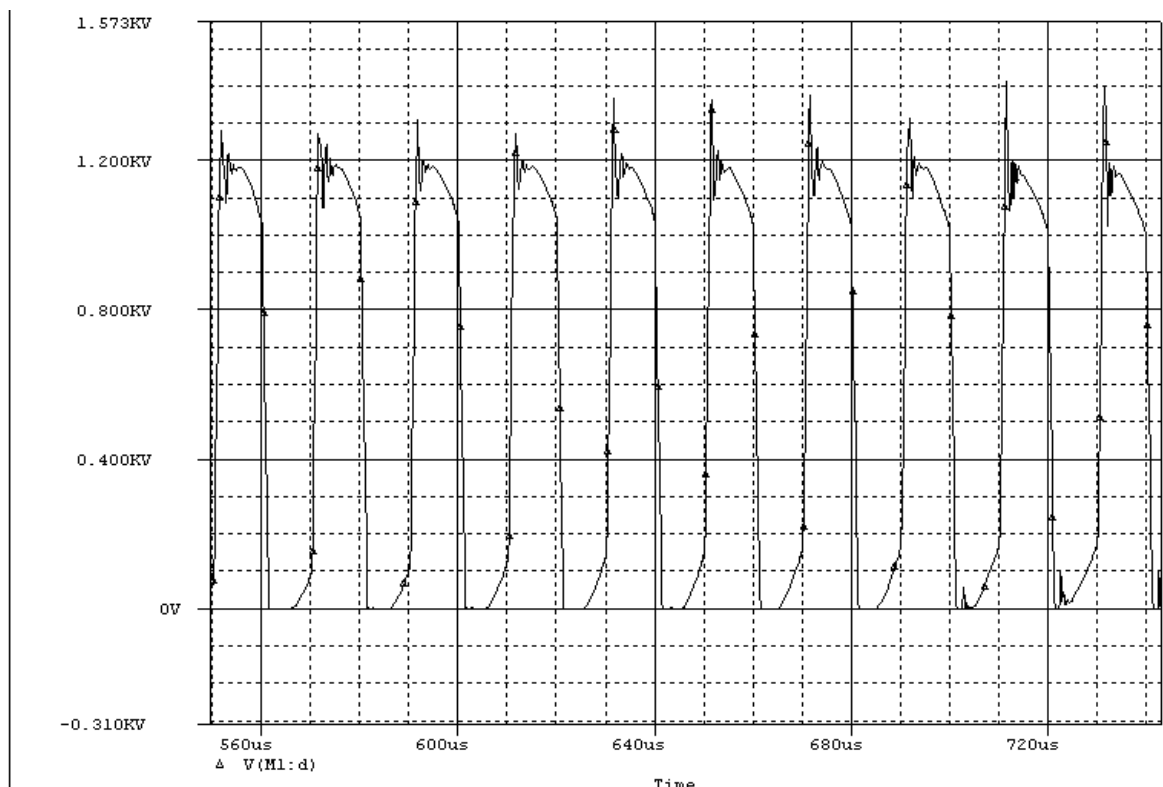
۱ برای حداکثر

ولتاژ ورودی

(۵۹۱ ولت) و

جریان خروجی

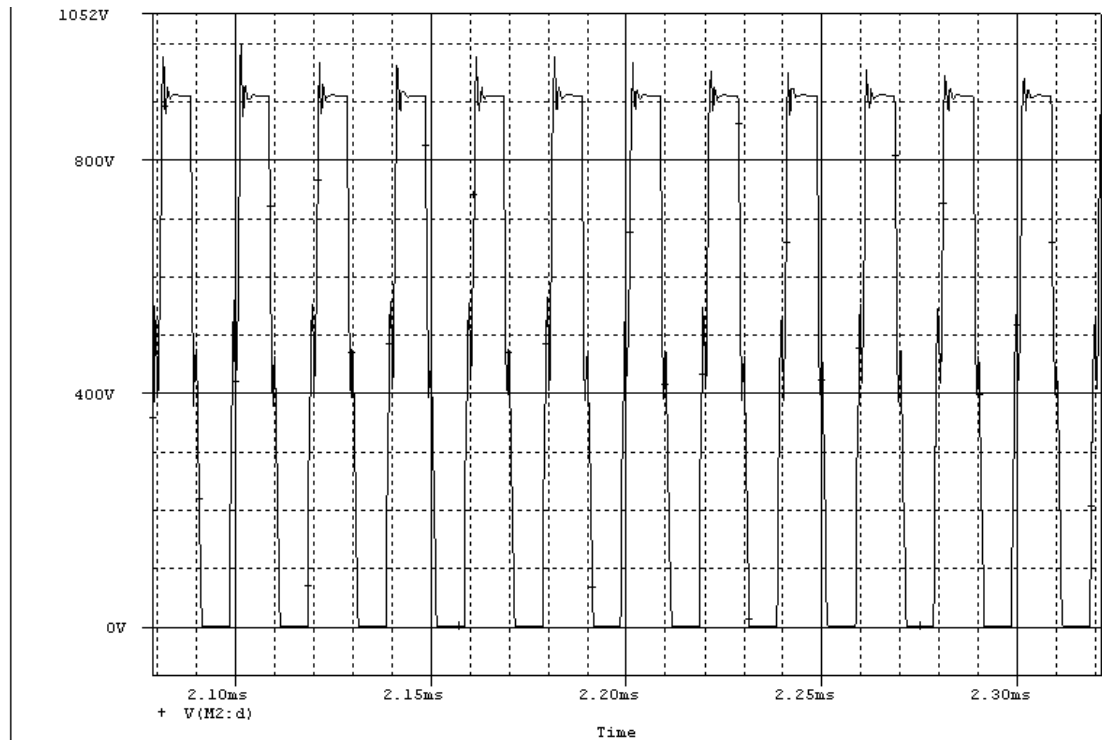
نامی (۲۰ آمپر)



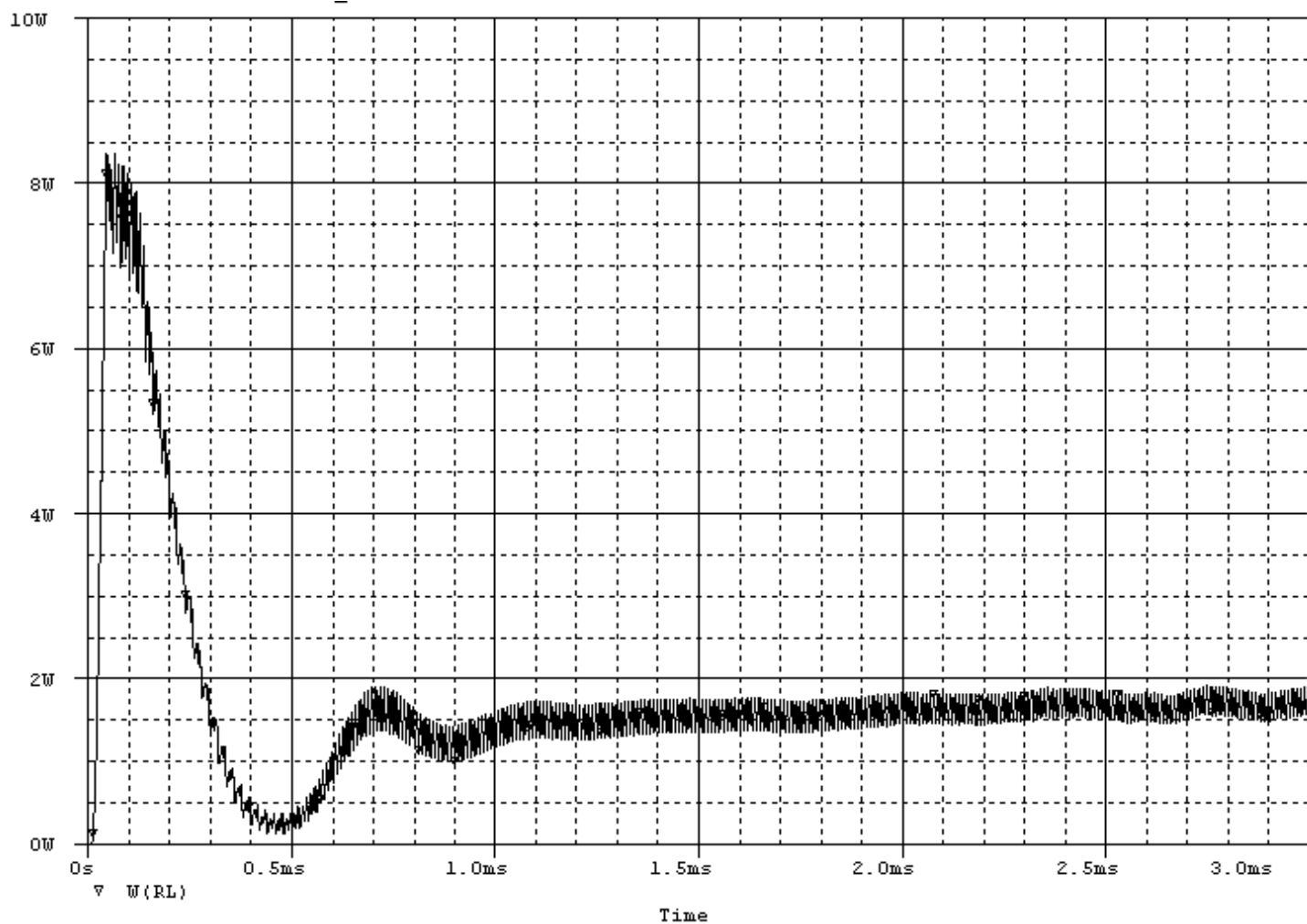
WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۲۶): ولتاژ کلید ۱ برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و حداقل جریان خروجی (۲ آمپر)



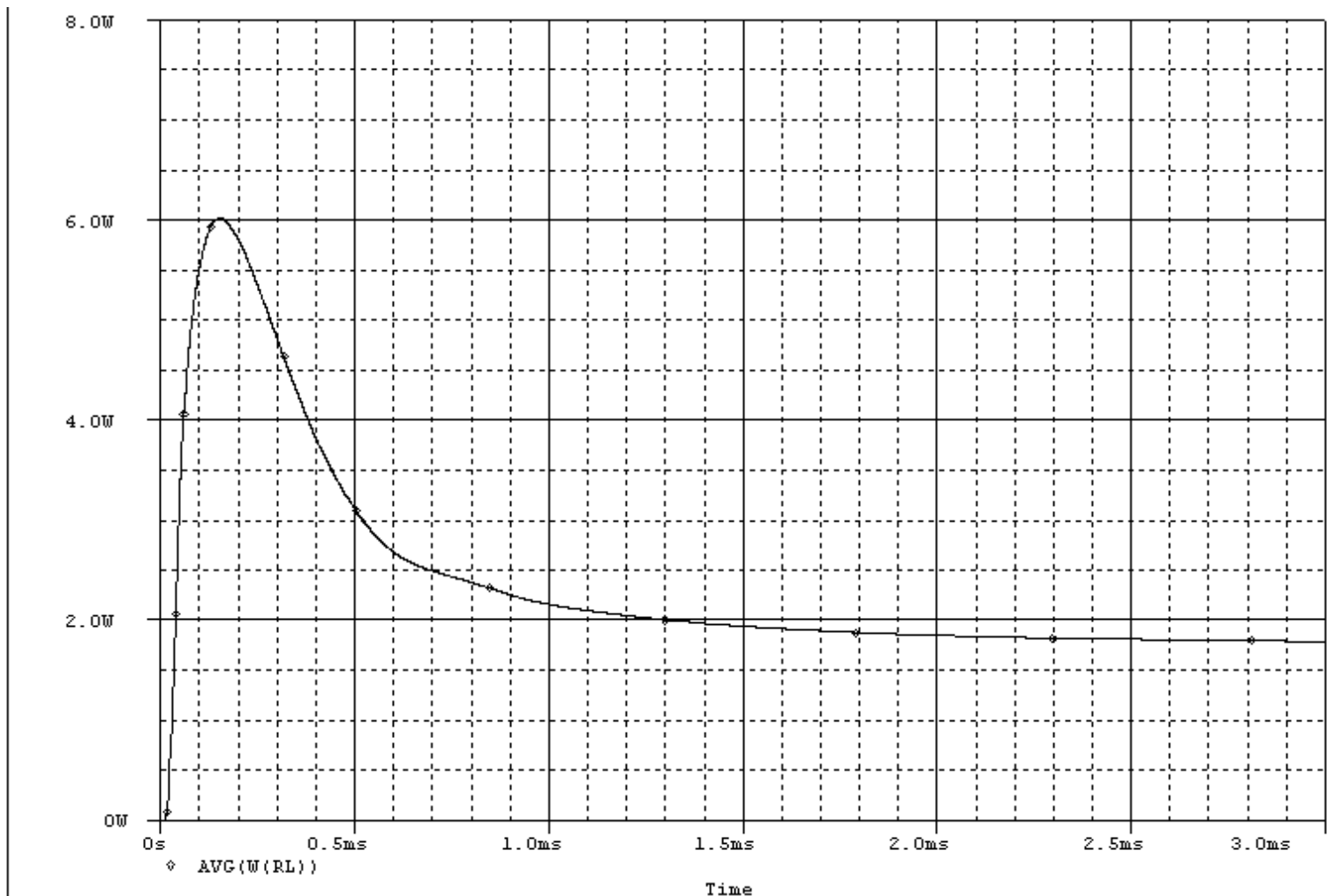
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۶-۲۷): ولتاژ کلید ۲ برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و حداکثر جریان خروجی (۲۰ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۲۸): تلفات سلف خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰)

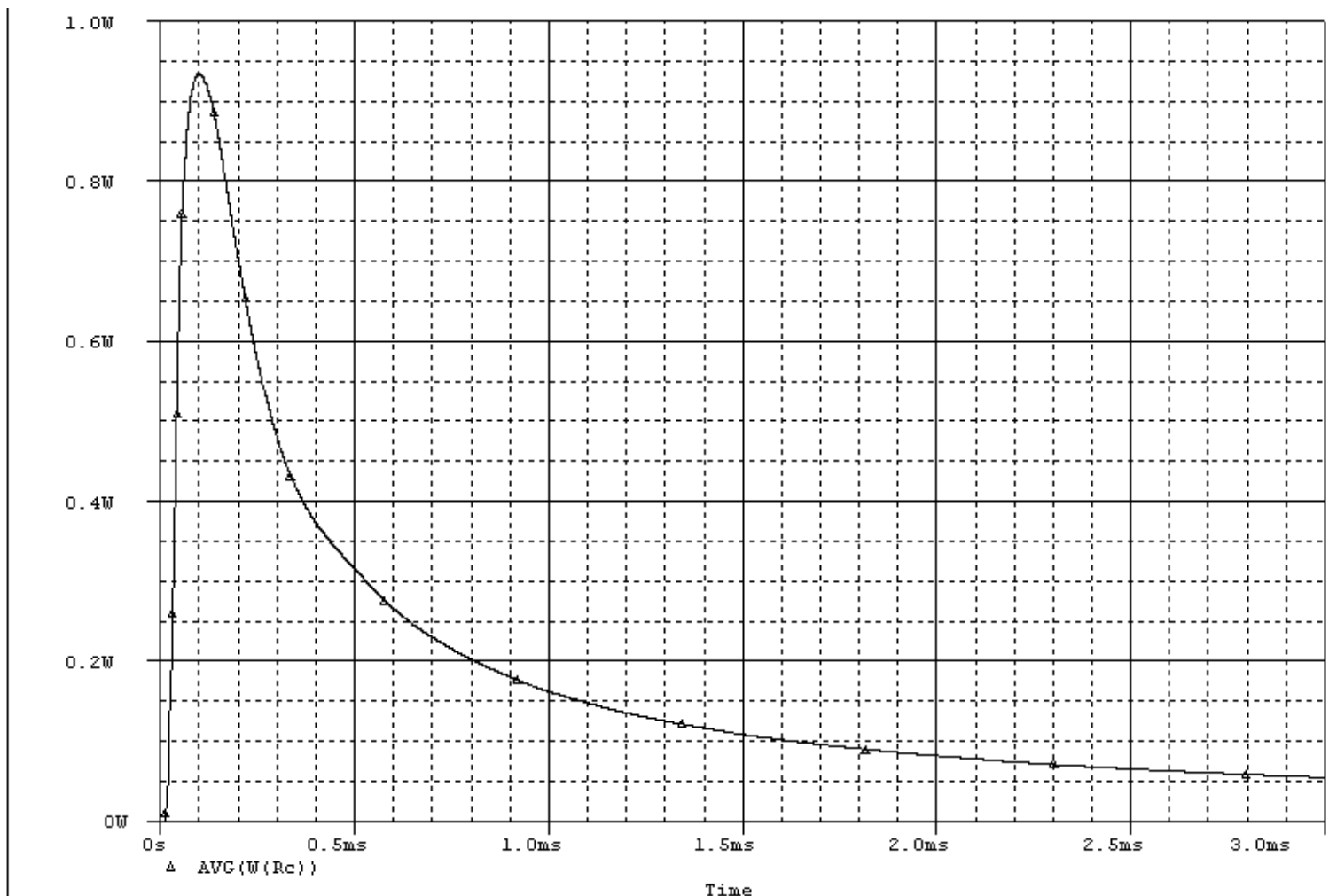


آمپر)



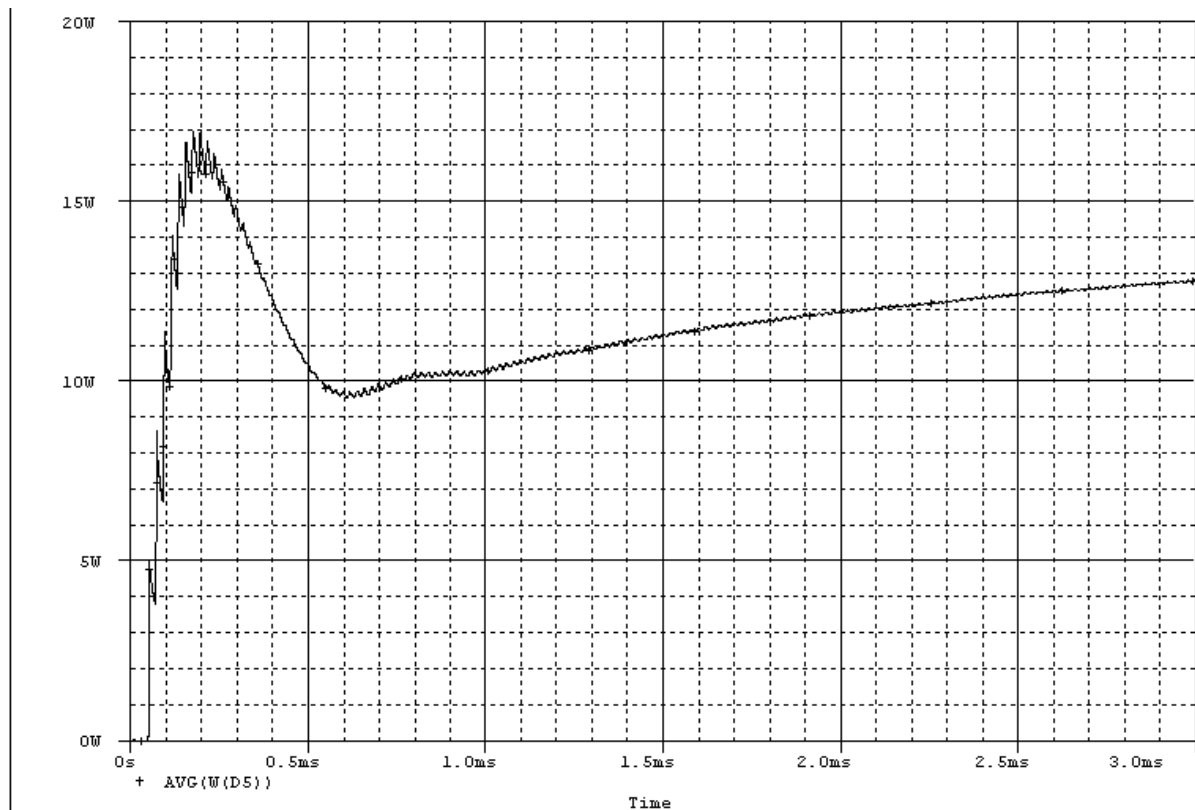
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۶-۲۹): میانگین تلفات سلف خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی



(۲۰ آمپر)

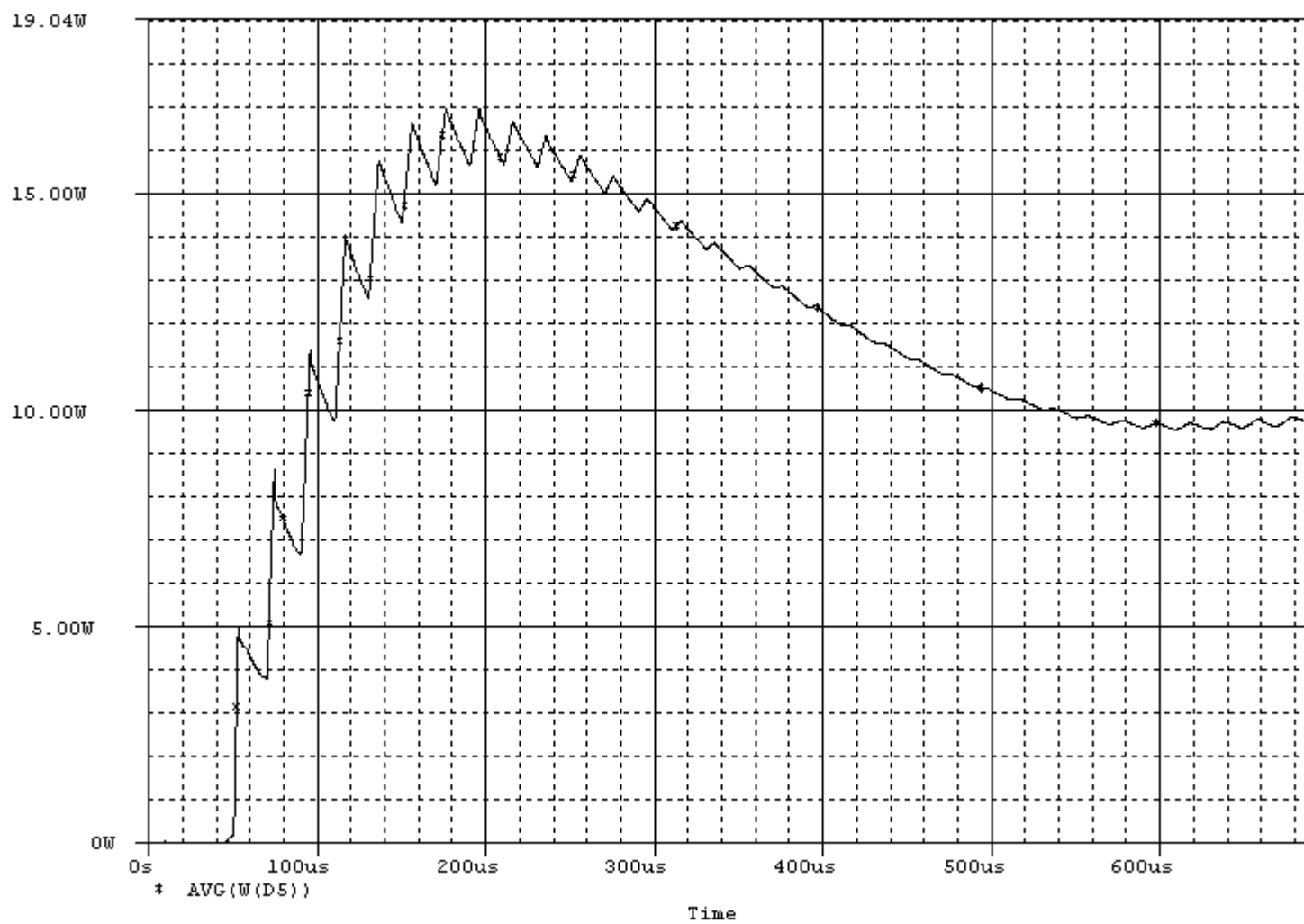
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۶-۳۰): میانگین تلفات خازن خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)

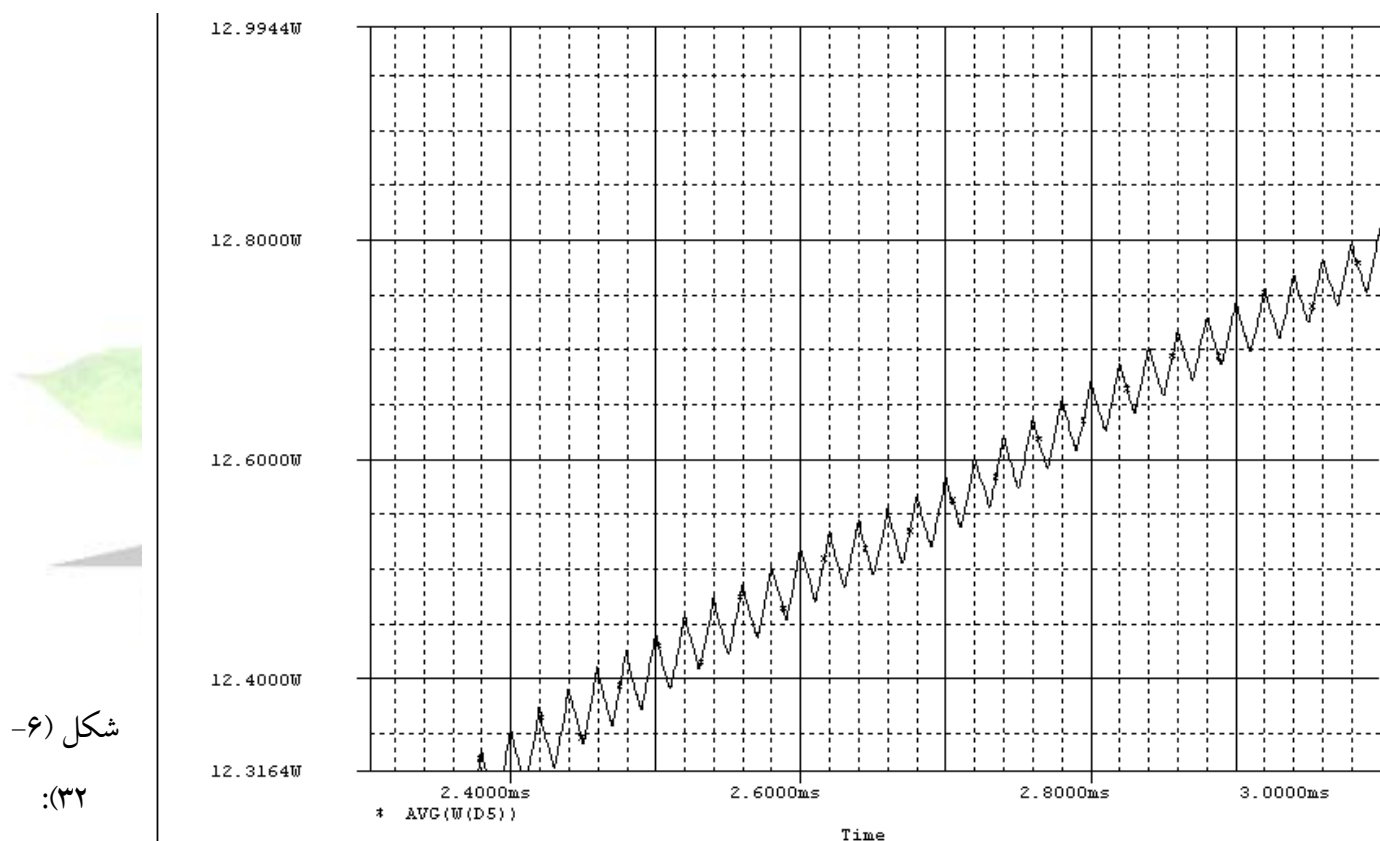
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۶-۳۱): میانگین تلفات دیودهای خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی



نامی (۲۰ آمپر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۶)-  
:۳۲

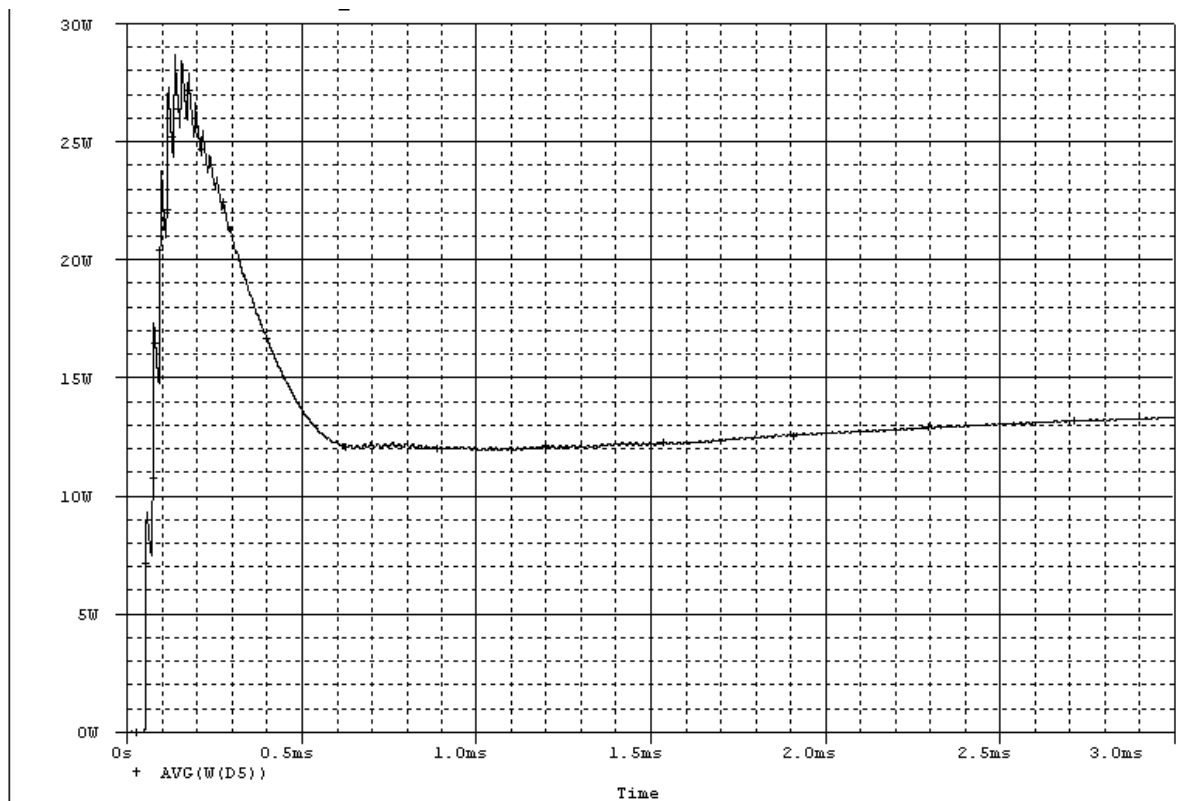
میانگین تلفات دیودهای خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی نامی (۲۰ آمپر)

در شروع کار مبدل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۶-۳۳): میانگین تلفات دیودهای خروجی برای حداقل ولتاژ ورودی (۴۵۷ ولت) و جریان خروجی

نامی (۲۰ آمپر)  
در حالت کار  
پایدار مبدل



شکل (۶-۳۴): میانگین تلفات دیودهای خروجی برای حداکثر ولتاژ ورودی (۵۹۱ ولت) و جریان خروجی

نامی (۲۰ آمپر)