

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA - IFSC
CURSO DE ENGENHARIA-ELETRÔNICA

NOME: LEOCARDIA JANICE SZESKOSKI KOSUHOVSKI

NOME: GEAN LUCAS RAFAEL ESPÍNDOLA

NOME: PAULO JOSÉ DA ROSA NETO

Projeto de uma Fonte Linear Regulada

FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2020

NOME: LEOCARDIA JANICE SZESKOSKI KOSUHOVSKI

NOME: GEAN LUCAS RAFAEL ESPÍNDOLA

NOME: PAULO JOSÉ DA ROSA NETO

Projeto de uma Fonte Linear Regulada Simétrica

Relatório técnico apresentado como requisito
para aprovação na disciplina de eletrônica
analógica I.
Prof. Daniel Lohmann.

FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2020.

1 INTRODUÇÃO

Nesse relatório descreveremos o projeto de uma fonte linear ajustável, utilizando os conhecimentos adquiridos na disciplina de Eletrônica Analógica I do curso de engenharia eletrônica do Instituto Federal de Santa Catarina.

Os requisitos do projeto foram elaborados pelo professor da disciplina com o intuito de colocar alguns de problemas vistos no conteúdo estudado para a compreensão e resolução dos problemas pertinentes na criação de um projeto como esse. O relatório é dividido entre teoria, simulação e prática, passos necessários para o desenvolvimento de um projeto. No final é feita uma comparação entre os resultados com a teoria e simulação para verificar a procedência dos resultados.

Os estudos práticos foram interrompidos devido á COVID-19, porém, apresentaremos os estudos relacionados à teoria e simulação.

2 FONTE LINEAR REGULADA

Esse relatório está dividido em quatro partes, a primeira aborda os objetivos do projeto, apresentando os requisitos da fonte, a segunda apresenta a metodologia deste projeto. A terceira parte contém um breve comentário de cada circuito composto na fonte linear, assim como seu equacionamento e os parâmetros mínimos para escolha das componentes e, por fim, apresentaremos os resultados simulados.

2.1 OBJETIVO GERAL

O projeto semestral tem por objetivo consolidar os conhecimentos obtidos na disciplina de Eletrônica I na implementação de uma aplicação na área estudada.

Além disso, visa motivar os estudantes para a área de eletrônica, provocando o interesse pelas tecnologias empregadas.

2.1.1 Objetivos específicos

O objetivo deste trabalho é projetar e montar um protótipo de uma fonte linear regulada que atenda os seguintes requisitos mínimos listados abaixo:

- Tensão de entrada de 220 Volts e frequência 60 Hertz;
- Tensão de saída de 15V;
- Tensão de saída do trafo de 12V;
- Tensão de ripple pós retificador de 1V;
- Corrente de saída de 1A;
- Queda de tensão nos diodos de 0,7V;

2.2 METODOLOGIA

A parte teórica do conteúdo para a montagem do circuito proposto foi adquirida durante o curso, consultando o professor para o esclarecimento de dúvidas e ideias. Algumas topologias foram obtidas de estudos e outros relatórios técnicos.

Definida os blocos de retificação, ajuste e proteção contra sobre corrente, foi realizado o cálculo dos componentes para obter as características esperadas. A partir disso, foi feita a simulação com as topologias, com os componentes comerciais mais próximos dos calculados para assegurar o desempenho do circuito.

2.3 ETAPAS DE PROJETO DA FONTE LINEAR REGULADA

Nesta parte do relatório será apresentado, o esquemático do circuito que utilizamos como base do projeto e o esquemático do circuito projetado. Além disso, esse tópico apresenta as principais partes para o projeto de uma fonte linear, explicando, brevemente, sua função e apresenta o equacionamento das topologias utilizadas, assim como, os parâmetros mínimos para cada componente utilizado.

2.3.3 Transformador

O primeiro bloco de uma fonte CC é o transformado de potência. Ele é constituído de duas bobinas enroladas em um ferro que acopla magneticamente os dois enrolamentos. Assim por meio da relação entre espiras dessas bobinas, ele consegue abaixar ou aumentar a tensão no secundário.

Além de proporcionar uma tensão adequada para a fonte de alimentação, o transformador promove um isolamento elétrico entre o equipamento e o circuito de potência da linha, evitando o risco de choque elétrico.

Para este projeto utilizou-se um transformador com derivação central de 220V / ± 12 V.

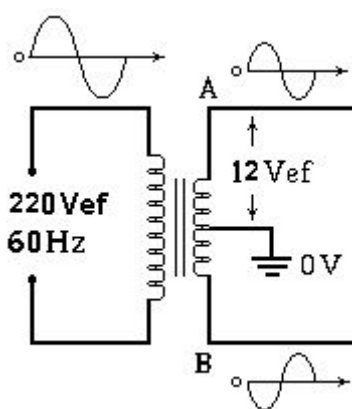


Figura 1 - Transformador 220/12 Vef com tap central

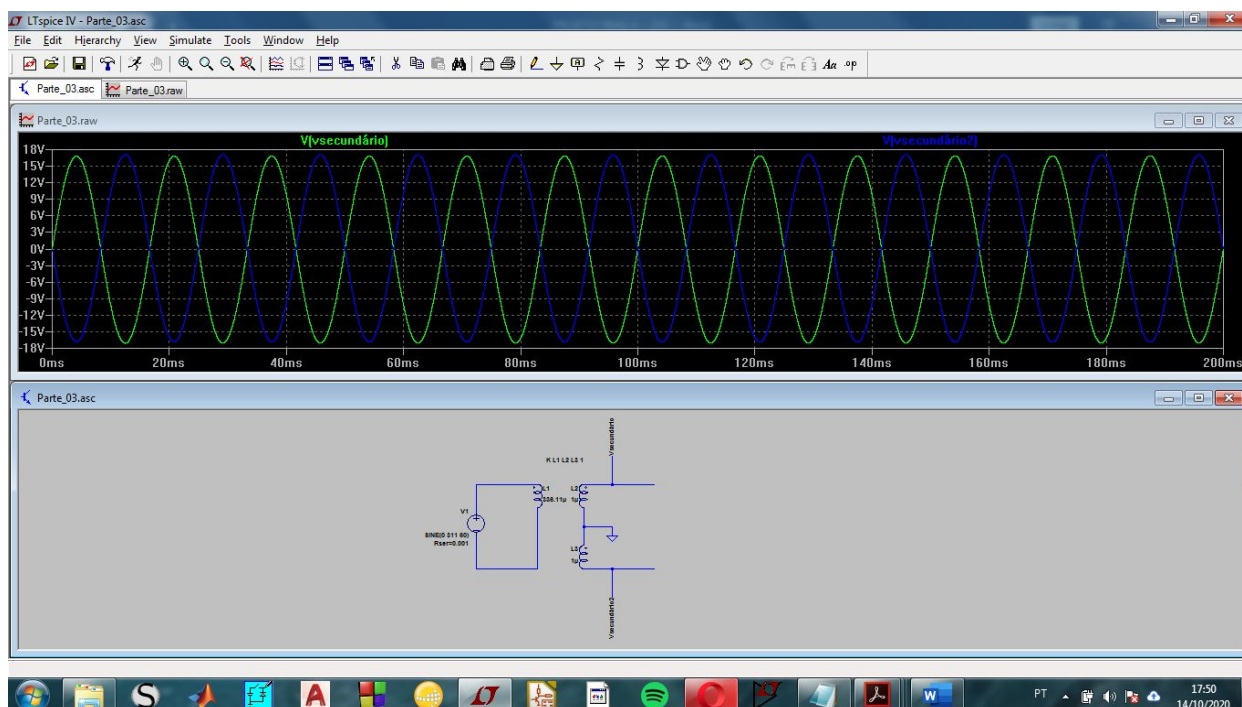


Figura 2 – Simulação do transformador

2.3.4 Circuito Retificador com filtro capacitivo

Um circuito retificador, é um bloco essencial no projeto de uma fonte CC exigida para alimentar um equipamento eletrônico. Ela é construída a partir de diodos retificadores, os quais, convertem uma entrada senoidal em uma onda pulsante, com um valor médio diferente de zero. Para minimizar essa ondulação após o estágio de filtragem, utiliza-se um capacitor de filtro. (SEDRA, 2007, p.106).

O circuito retificador utilizado nesse projeto, tem como base o circuito a ilustrado na Figura 3.

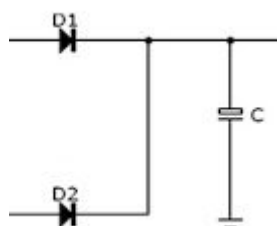


Figura 3 – Retificador com filtro capacitivo.

Para obter a tensão de *ripple* foi utilizada a equação abaixo:

$$V_{ripple} = (V_{entrada} - V_d) \cdot \text{porcentagem do ripple}$$

Onde:

V_d , é a queda de tensão no diodo;

Como era requisito do projeto uma tensão de *ripple* máxima de 1V pós retificador, calculamos o valor do capacitor de filtro conforme a equação abaixo.

$$C = I_L / (2 \cdot f \cdot V_R)$$

Onde:

C: Valor da capacitância [F];

$$C = 1,1 / (2 \cdot 60 \cdot 1) = 9,16 \text{ mF}$$

Consideramos que os componentes consomem 0,1 A.

Para um projeto mais próximo a realidade o possível, iremos optar por ajuste de valores a fim de valores comerciais. Então:

$$C = 9,1 \text{ mF}$$

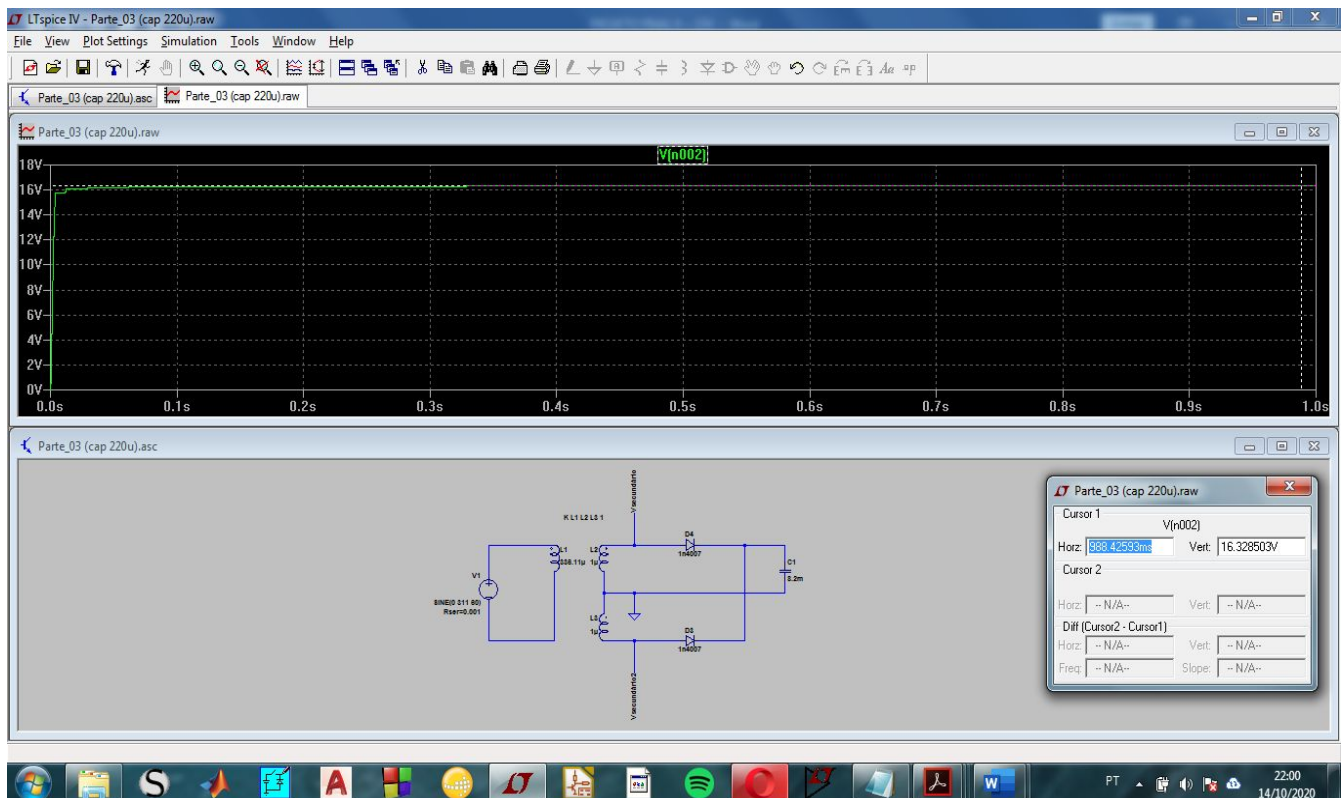
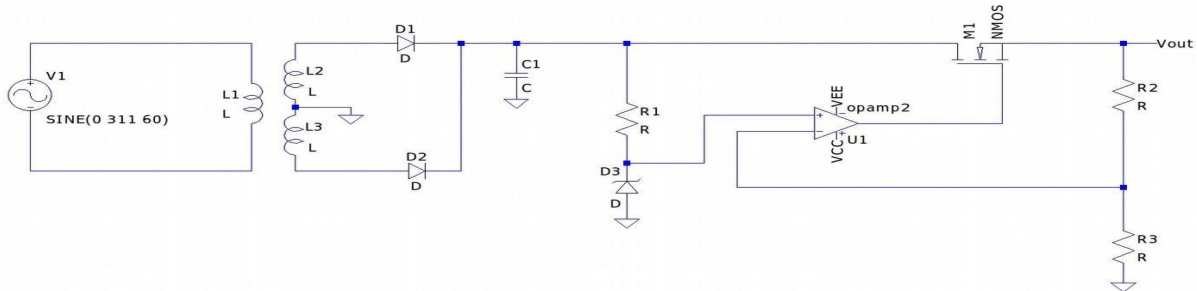


Figura 4 – Circuito retificador com filtro capacitivo

3 PROJETO DO REGULADOR

4 Parte 01

Considerando o circuito da figura 01 que representa uma fonte linear com regulador MOSFET, temos o seguinte problema: Qual relação entre a tensão de alimentação do ampop e a tensão de saída? O que devemos considerar para esse circuito operar como um LDO? Como obter as tensões de alimentação para o AmpOp (VCC e VEE)?



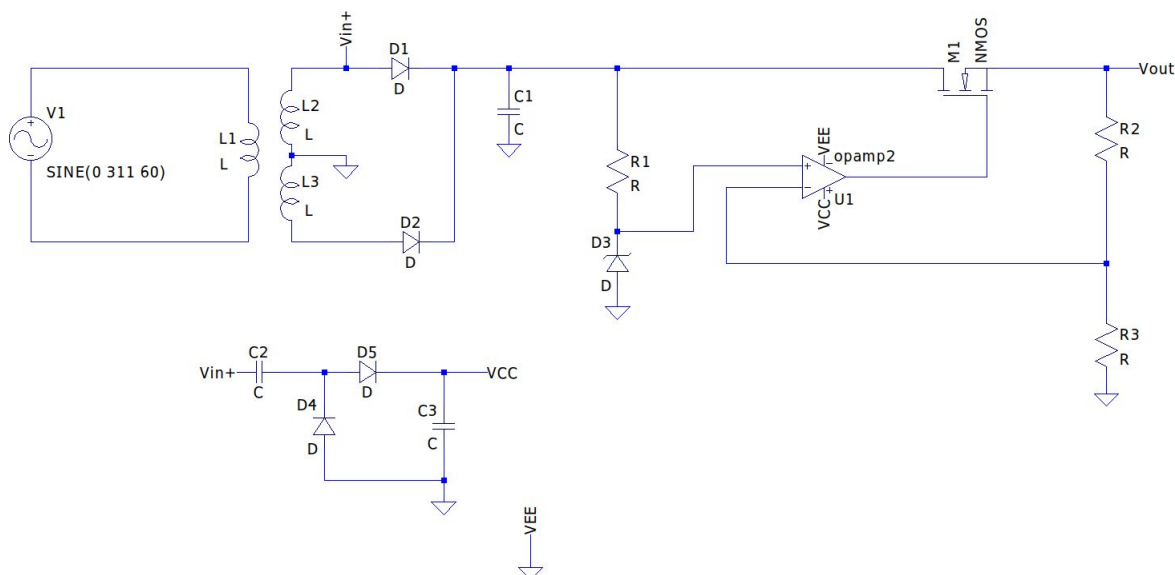
R: Nos AmpOps, a máxima tensão possível de saída é o valor da sua própria tensão de alimentação, então existe um limite na qual o AmpOp consegue amplificar a tensão de entrada.

Um regulador linear de tensão tem como objetivo fornecer uma tensão de saída estável e constante independente de variações na tensão de entrada, na temperatura e na carga.

Para operar como LDO (*low-dropout*), o circuito deve fornecer uma tensão regulada e estável mesmo quando houver oscilações na tensão de entrada.

Temos que $V_{out} = V_{ref} \cdot (1 + R1/R2)$, e que o AmpOP LM324N pode ser alimentado com uma tensão máxima $(VCC-VEE) = 32V$, segundo leitura no datasheet do fabricante. Então, optamos por utilizar a topologia do dobrador de tensão sendo que, primeiramente será dobrada a tensão de saída do trafo, e, após isto, esta tensão passará por uma retificação e por um filtro para termos uma tensão de alimentação do AmpOp com um menor ripple.

Circuito proposto (01) para a alimentação do AmpOp:



Utilizando o circuito dobrador de tensão, qual valor de VCC você obtém para um sinal V_{in+} de 12Vrms? Quais problemas apresentam esse circuito? Podemos melhorar?

R: Este circuito ainda terá um valor de ripple alto, partindo do princípio de que o circuito dobrador aumentou a tensão e retificou novamente. Entretanto, calcularemos o valor de capacitância de C2 e de C3 para filtrarmos uma parte deste ripple. Mesmo que coloquemos capacitores com valores altos, ainda sim existirá a presença de um ripple que atrapalhará nos resultados finais.

Para melhorar este circuito e estabilizar ainda mais a tensão de alimentação do AmpOp, iremos propor a colocação de um transistor NPN na saída da regulação de tensão, e logo colocar mais um capacitor para filtrar ainda mais o ripple e chegarmos em uma tensão mais próximo de uma CC pura.

Considerando que a alimentação do AmpOP consome 0,5 A de corrente e que temos uma tensão de pico de 32,6 V, calculamos:

$$C = I / (V_r(10\%)) * f = 0,5 / 3,26 * 60 = 2,55 \text{ mF}$$

A fim de usar valores comerciais de componentes, usaremos capacitores de 2,7 mF.

Analisando a figura XXXX, temos que o valor de VCC para um sinal de entrada de 12 Vrms foi de 28,82 Vp, sendo tivemos um ripple de 2,85 Vr, um valor abaixo do calculado, que era de 3,26 Vr.

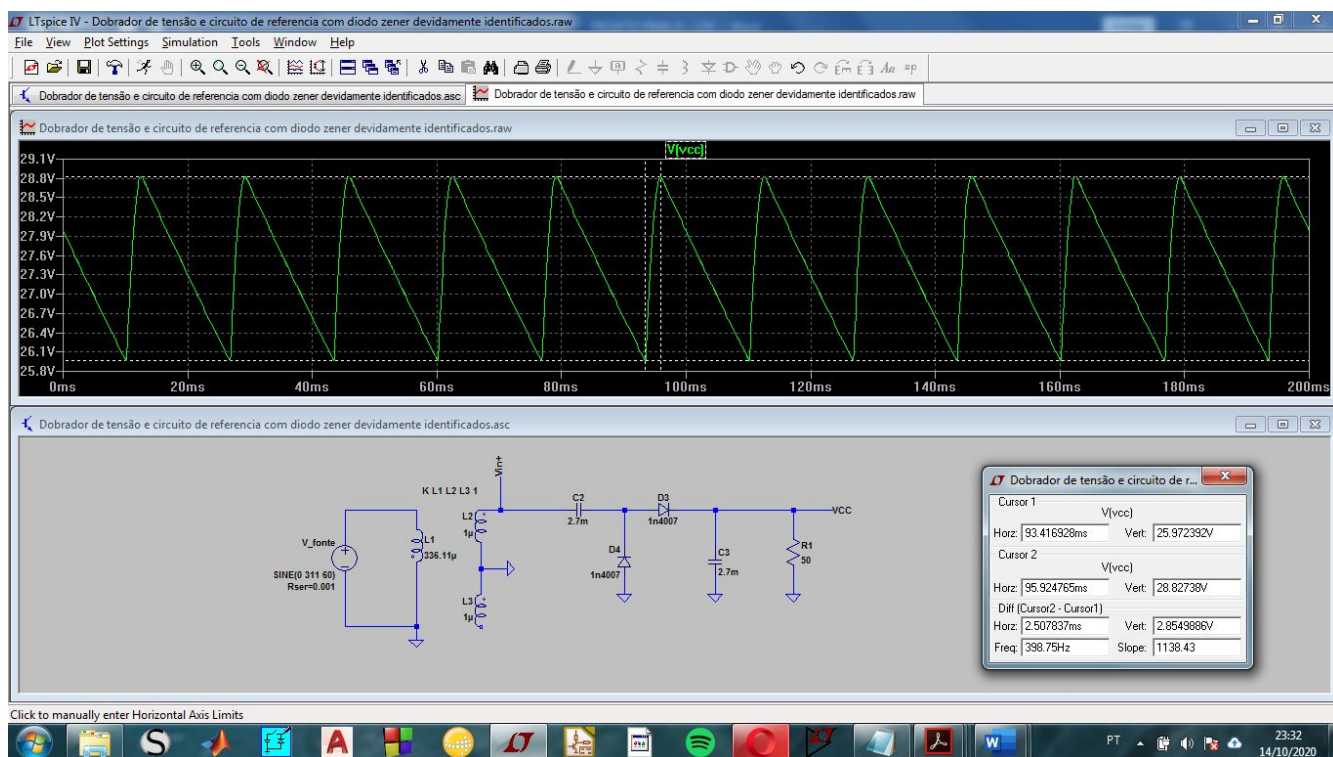
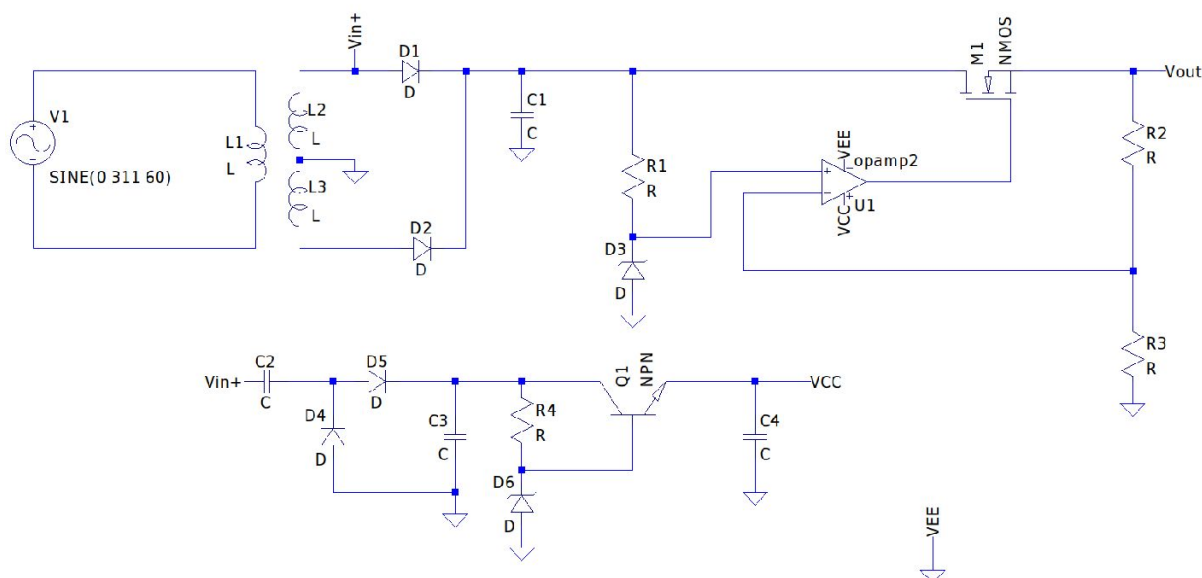


Figura 5 – Simulação do circuito proposto 01

Considere: AmpOp LM324, MOSFET IRF540, $V_{OUT} = 15V$, $I_{OUT} = 1A$, $v_{in+} = 12V_{rms}$, $v_{ripple_pós_retificador} = 1V$, considere as quedas de tensão nos diodos de 0,7V. (Circuito proposto 02)



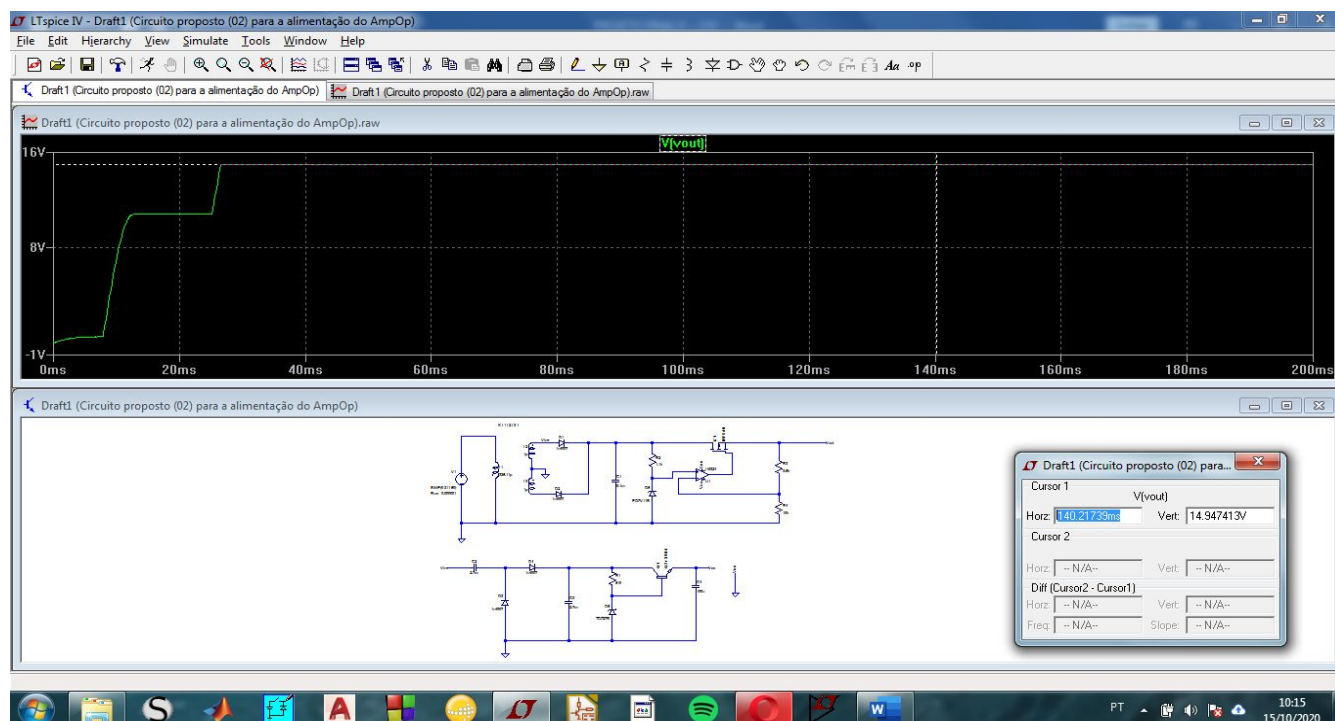


Figura 6 – Simulação do circuito proposto 02

A tensão V_{out} está praticamente estabilizada em 14,94V, porém ainda há algumas oscilações não visíveis na simulação, mas ao percorrer com o cursor percebe-se essas oscilações.

Para praticamente acabar com essas oscilações, poderíamos aumentar o valor dos capacitores afim de diminuir o ripple, porém o tempo de simulação e de prática seria maior devido á demora para alcançar regime permanente.

5 Parte 02

Calculando e dimensionando os componentes:

a) Para o primeiro bloco (D1, D2 e C1) considere $v_{in+} = 12V_{rms}$, $v_{ripple_pós_retificador} = 1V$ e $I_{carga} = 1,1A$. (Vide roteiro 02)

R: Os diodos D1 e D2 usaremos o modelo 1N4007, assim como orientado pelo professor, e C1 utilizaremos o valor comercial de 9,1 mF, como calculado anteriormente.

b) Circuito referência de tensão zener (R1 e D3): Ver roteiro 03. Podemos melhorar esse circuito? Quais problemas podemos identificar nesta topologia?

R: Nesta topologia temos que a tensão que entra pelo terminal positivo do AmpOp está mais estabilizada, porém, para fim de uma eletrônica de precisão podemos estabilizar essa tensão ainda mais, até para que essa tensão não tenha uma influência muito grande em eventuais oscilações de V_{out} .

$$R1 = V_{be} / I_z$$

$$R1 = 0,7 / 5m$$

$$R1 = 140 \Omega$$

$$R2 = (V_p - 2 \cdot V_{be}) / (I_e / h_{FE})$$

$$R2 = (16,3 - 1,4) / (5m / 300)$$

$$R2 \leq 894 k\Omega$$

Para o resistor R1 deixamos o próprio valor de 140 Ω mesmo sabendo que não é um valor comercial, porém, se fossemos montar este circuito na prática, adotaríamos 2 resistores associados em série para ter o valor de resistência de 140 Ω .

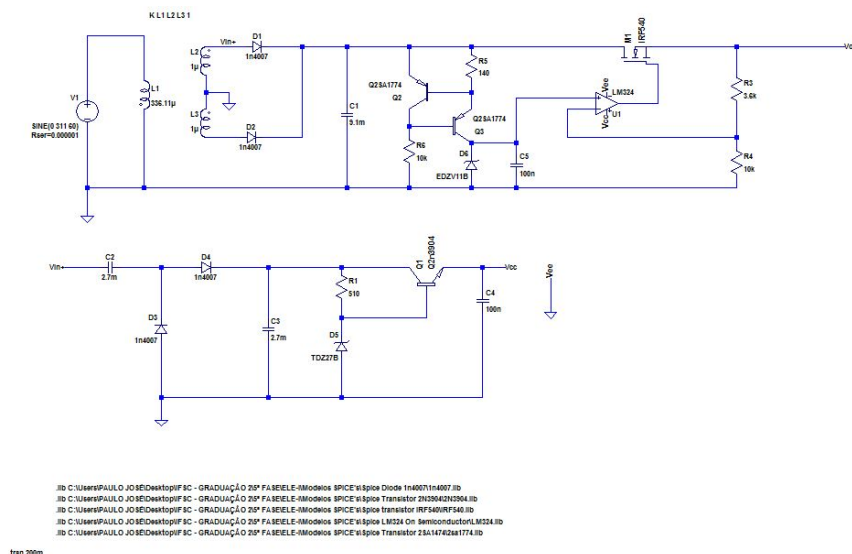


Figura 7 – Esquemático do circuito da fonte

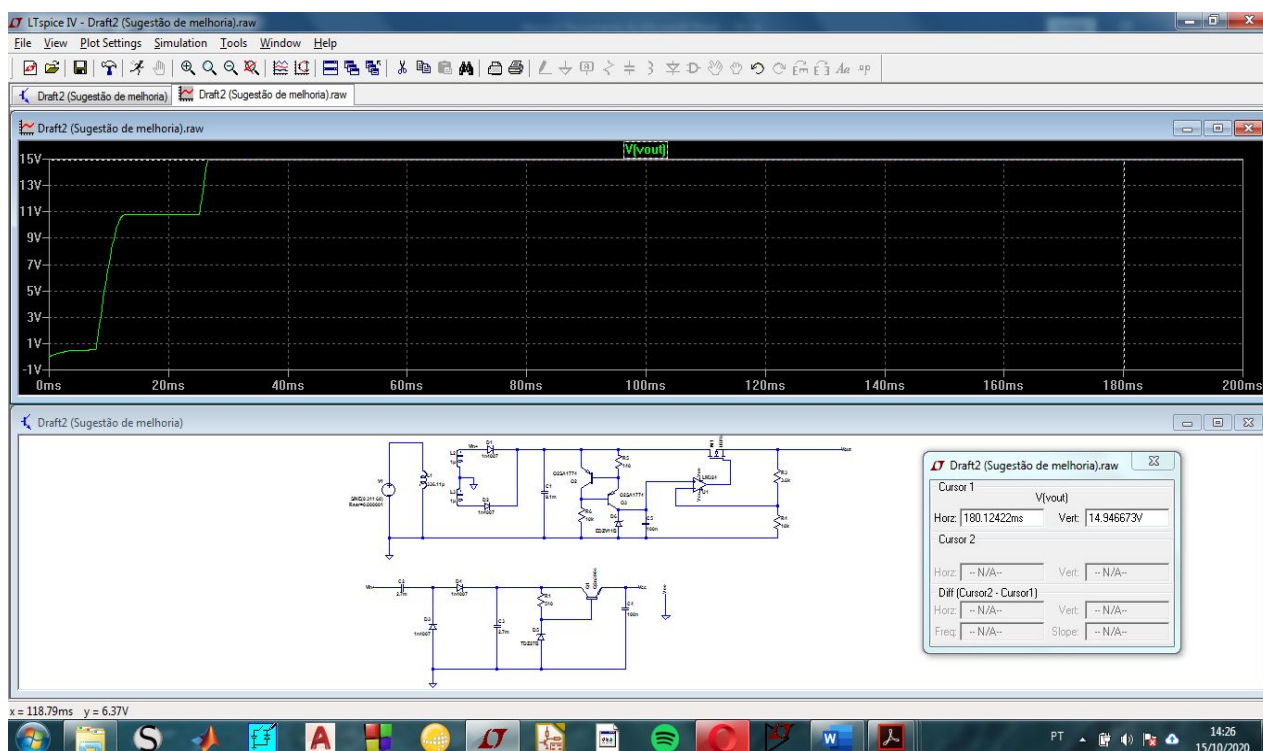


Figura 8 – Simulação do circuito da fonte (Análise de Vout)

Então, até aqui já temos a fonte regulada e estabilizada com 15V e alcançamos o nosso principal desafio: este projeto. Logo iremos simular essa fonte trabalhando com uma carga de 15 ohms para verificar a corrente de 1A.

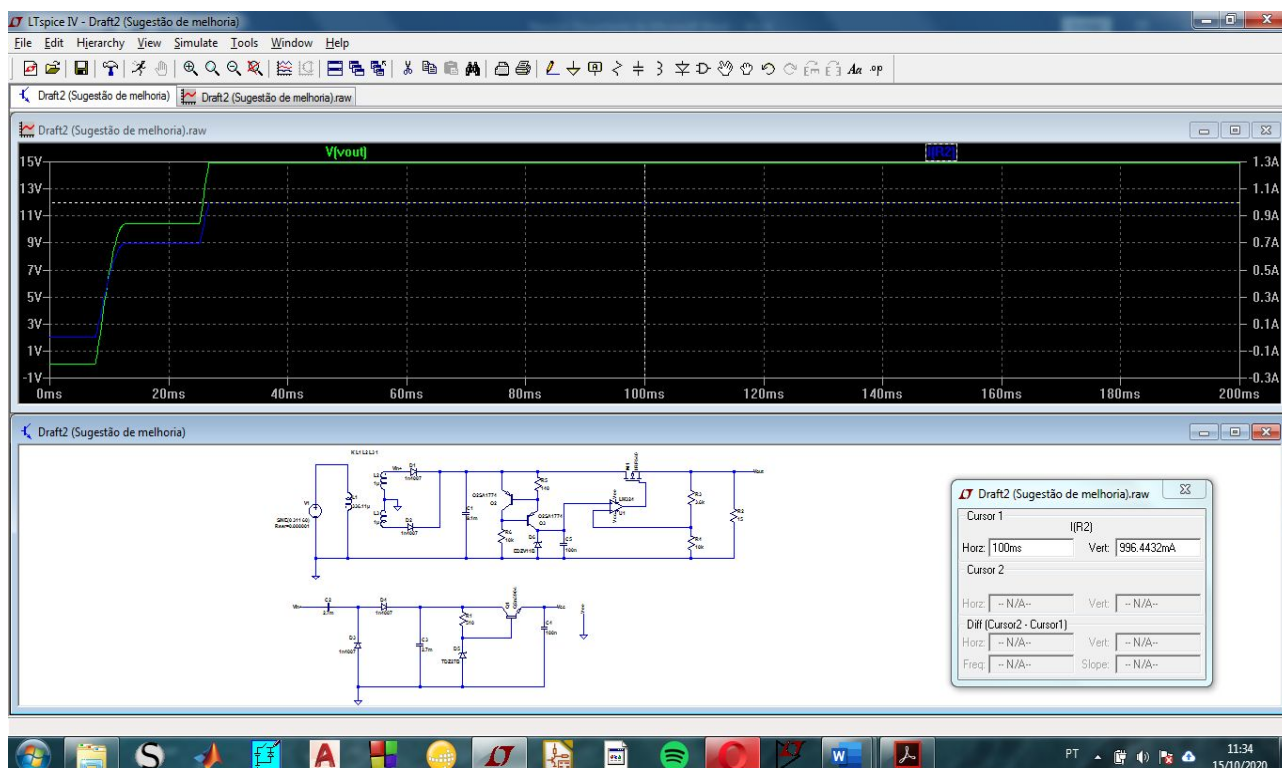


Figura 8 – Simulação do circuito da fonte (Análise da corrente)

As figuras 7 e 8 mostram a tensão e corrente de saída, tudo como havíamos projetado: com praticamente 15V na saída e uma corrente de aproximadamente 1A para uma carga de 15 ohms. As imperfeições e as não idealidades fazem com que sempre tenhamos valores não exatos, mas muito próximos e, mesmo que não pareça, sempre teremos um pequeno ripple na saída, isso é inevitável.

No qual o circuito com R1, R5, Q2 e Q3 é uma fonte de corrente constante para polarizar o diodo zener D3. Vamos projetar?

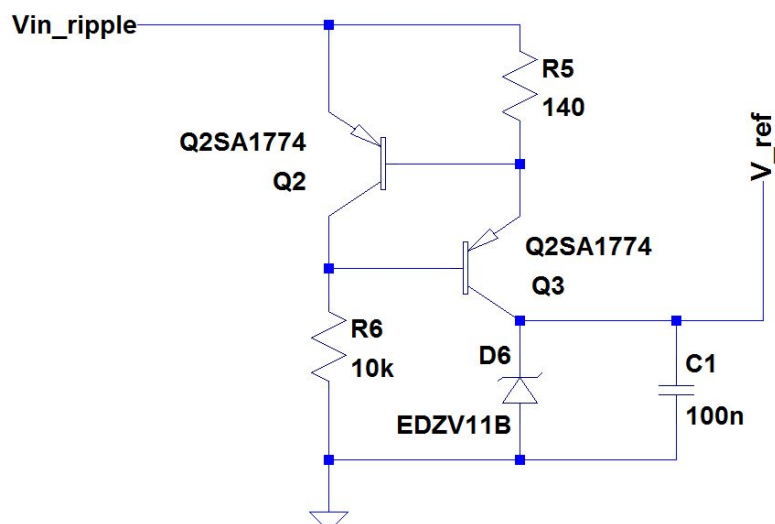


Figura 9 – Circuito de polarização do Zener

O transistor 2SA1774 da fabricante ROHM foi escolhido por possuir o valor de β alto e por condizer com as características do circuito.

Já o diodo zener foi escolhido por sua tensão, sendo este um diodo de 11V com pequenas variações para mais e para menos.

Podemos melhorar mais ainda? Que tal deixar essa fonte com valor ajustável? Como fazer isso?

R: Para deixar essa fonte ajustável outros componentes teriam de ser instalados nela, como um transistor com alto hFE e um capacitor ainda menor, além de um potenciômetro em paralelo com o diodo

6 Parte 03

Adicionando um circuito de proteção de sobre corrente ao regulador linear.

Primeiramente reflita e pesquise sobre o que é sobrecorrente? Quais os impactos neste circuito? O que deve fazer um circuito de proteção de sobrecorrente? O que é a proteção foldback?

R: Sobrecorrente significa corrente elevada, ou seja, é uma corrente elétrica que percorre determinado equipamento com um valor mais alto do que o valor garantido pelo fabricante.

A sobreccorrente pode promover a queima do equipamento, sendo na maioria das vezes provocada por um curto.

Um circuito de proteção de sobrecorrente deve logicamente proteger este circuito para que esta corrente a mais não chegue na carga.

Proteção contra curto-circuito foldback: é um método usado em fontes de alimentação para protegê-las de situações atuais, como curto-circuito na saída com um fio ou conexão de muitos equipamentos à fonte de alimentação.

Pesquise as topologias disponíveis, caso deseja-se fazer um circuito LDO, o o que devemos levar em consideração para o regulador?

R: Para a proteção da fonte optamos por implemetar um AmpOp subtrator e um resistor shunt, para que a corrente passe pelo shunt a assim aumente a queda de tensão na saída do AmpOp. Um resistor de 10 mΩ foi destinado para ser o resistor shunt, haja vista que este é um valor comercial. Desejamos que a corrente limite seja 1,2 A no máximo e também uma tensão de 4,4 V no divisor de tensão, então:

$$V_{rshunt} = 1,2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 12 \text{ mV}$$

$$\text{Ganho do Subtrator} = 4,4 / 12 \text{ m} = 366,6$$

Com essa análise, optamos pelo resistor R10 = 3,6 kΩ e R9 = 10 Ω, assim a relação fica igual a 360, valor muito próximo ao desejado. Várias outras possibilidades poderiam ser escolhidas, já que $V_{sub} = (R10 / R9) \cdot (V_a - V_b)$, então o ganho se caracteriza pela divisão do valor dos resistores.

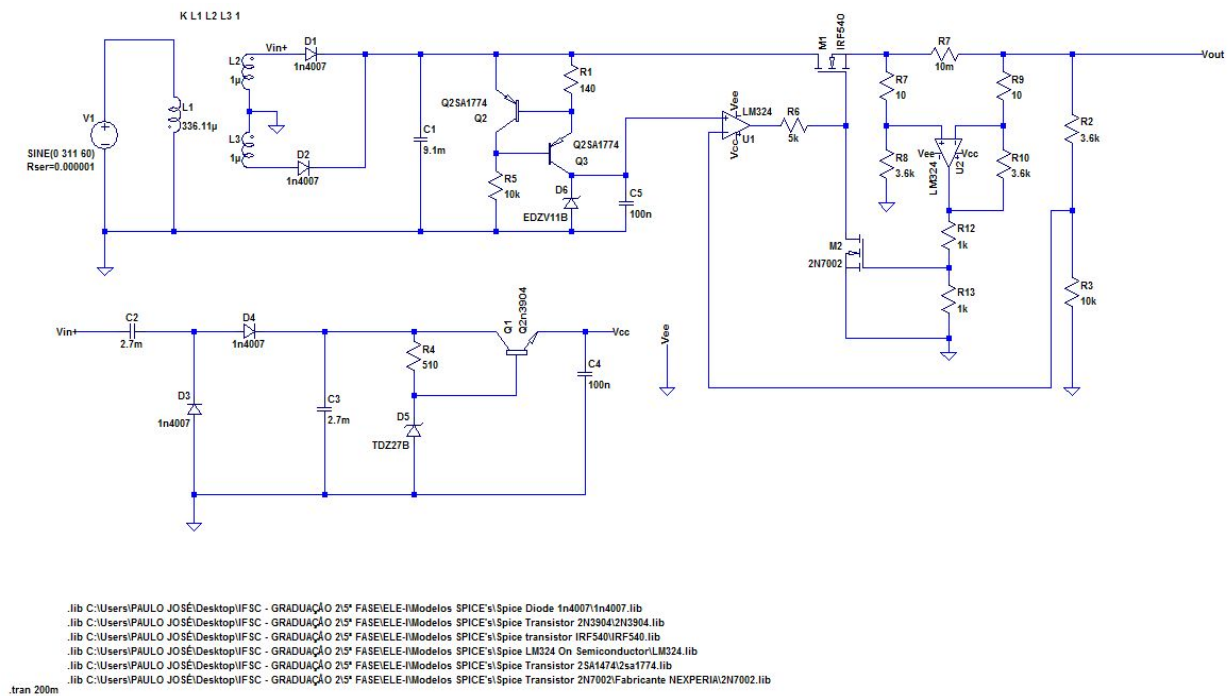


Figura 10 – Circuito da fonte completa com proteção de sobrecorrente

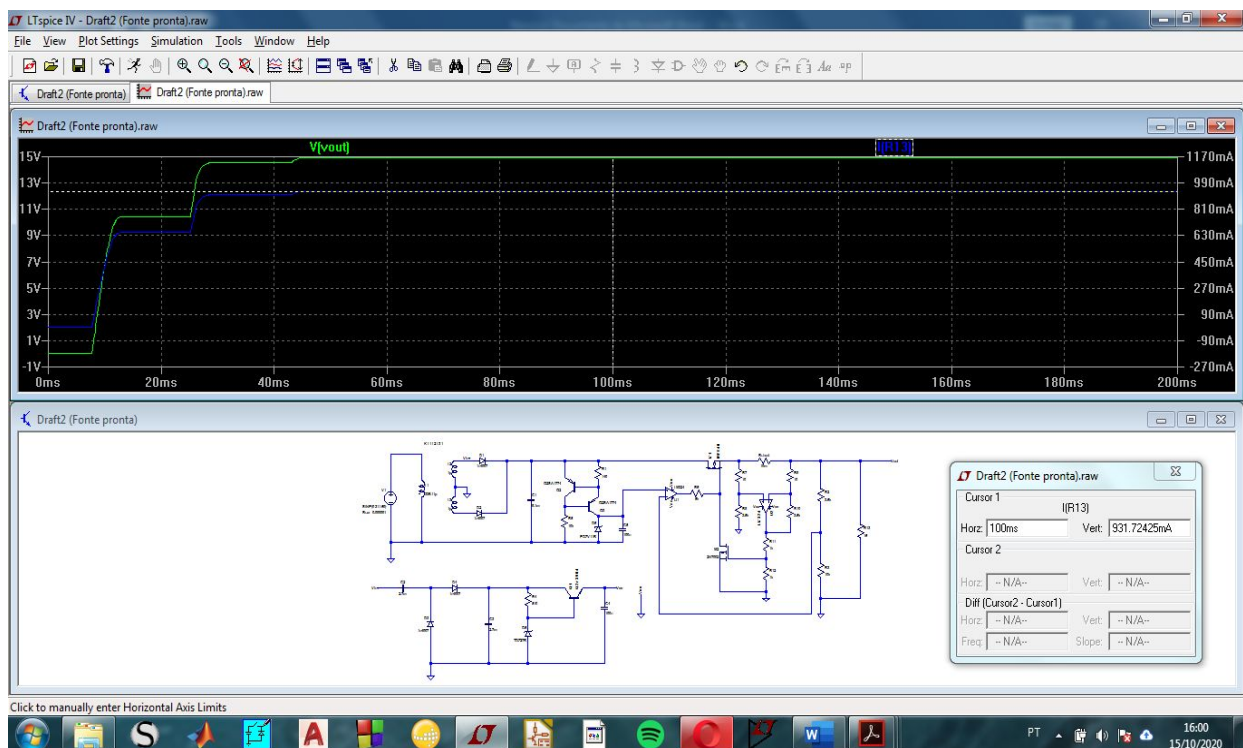


Figura 10 – Simulação do circuito da fonte completa

CONCLUSÃO

Assim, concluímos nosso trabalho final com êxito para conseguirmos aprovação. Conseguimos construir nossa fonte e chegamos o mais próximo dos 15 V possível, com uma corrente nominal de saída de 1 A e todas as correntes sobre os diodos longe de alcançarem o limite.