

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA - UTFPR

Gustavo Pereira Trudes

Jonathan Alves Batista

Juliana Machado de Araujo

Thales Miqueias dos Santos

RELATÓRIO FONTE LINEAR REGULADA

ELETRÔNICA I

Ponta Grossa, 2014

Gustavo Pereira Trudes
Jonathan Alves Batista
Juliana Machado de Araujo
Thales Miqueias dos Santos

RELATÓRIO FONTE LINEAR REGULADA

Relatório apresentado ao professor Elói Agostini como requisito parcial de nota na disciplina de Eletrônica 1, no curso de Engenharia Eletrônica, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa.

Ponta Grossa, 2014

RESUMO

O objetivo deste trabalho é projetar, construir e constatar o funcionamento de uma fonte de tensão contínua, visualizando assim a aplicação prática de diversos componentes eletrônicos como transistores, capacitores, resistores e outros estudados ao longo do semestre. Um breve histórico da ciência da eletricidade será apresentado além da descrição dos componentes básicos que compõem o projeto. Os cálculos de cada componente da fonte será mostrado bem como o funcionamento de cada estágio da mesma. Os softwares utilizados no projeto, o modo como foi montado, uma estimativa de custos, uma estimativa de tempo gasto, os resultados obtidos nos softwares e no projeto pronto também serão apresentados. Por fim, buscar-se-á explicar de forma clara o funcionamento e como se projeta a fonte desenvolvida pelo grupo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3 BREVE EXPLANAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES UTILIZADOS.....	6
3.1 ELEMENTOS ATIVOS E PASSIVOS	6
3.1.1 Resistores	7
3.1.2 Capacitores	8
3.1.3 Indutores	8
3.1.4 Diodo Retificador	8
3.1.5 Diodo Zener.....	9
3.1.6 Transistor Bipolar de Junção.....	10
3.1.7 Transformador.....	11
3.1.8 Termistor NTC.....	11
3.2 SOFTWARES.....	12
3.2.1 Orcad.....	12
3.2.2 Proteus	12
3.2.2.1 ISIS.....	13
3.2.2.2 ARES.....	13
4 DESENVOLVIMENTO	13
4.1 OBJETIVO GERAL	13
4.2 DEFINIÇÕES DE CIRCUITO	14
4.2.1 Circuito Básico	14

4.2.2 Definição de Componentes	15
4.2.2.1 Estágio de Retificação.....	15
4.2.2.2 Ramo de Regulação.....	17
4.2.2.3 Estágio de Potência.....	18
4.2.2.4 Estágio de Proteção Contra Curto-Circuito	20
4.2.2.5 Filtro de Saída	21
4.2.2.6 Circuito projetado	22
5 EXECUÇÃO	22
5.1 SIMULAÇÕES.....	22
5.1.2 Simulações no Orcad	22
5.2 MONTAGEM	22
6 RESULTADOS.....	24
6.1 TESTES DE CONTINUIDADE DAS TRILHAS.....	25
6.2 TESTE DE TENSÃO MÁXIMA, MÍNIMA E DE CURTO CIRCUITO	26
6.3 TESTES COM OSCILOSCÓPIO.....	30
6.4 TESTES ADICIONAIS.....	22
7 CONCLUSÃO	32
8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

A ciência tal como se conhece no século XXI é relativamente nova, dando seus primeiros passos na física e na matemática com os gregos Euclides e Arquimedes. Sabia-se que muito antes de Cristo os egípcios já detinham muito conhecimento da Matemática e os babilônios, cerca de 600 anos a. C., possuíam um sistema numérico bem complexo e semelhantes ao que se tem hoje, sendo os indianos os responsáveis por uma convenção que parece banal, mas que gerou um grande salto na matemática, o número zero. Os números tal qual conhecemos hoje se devem aos árabes e indianos, por isso recebem o nome de algarismos indo-arábicos. A Europa usava o sistema romano até meados do século XIV, quando as grandes navegações possibilitaram grandes trocas de conhecimentos.

Com Galileu no século XV a ciência moderna dava seus primeiros passos, tendo como carros chefes a Física e a Matemática. O estudo da eletricidade iniciou-se com o advento de um estranho equipamento que gerava o que se pensava na época, uma espécie de fluido, equipamento este conhecido como garrafa de Leyden, por conta da cidade onde fora originalmente feita na Holanda. Um grande salto talvez, na teoria de circuitos elétricos e da engenharia elétrica, se deu em 20 de março de 1800 [1] com Alexandre Volta inventando a bateria elétrica. A partir de então se tornou possível construir circuitos e fazer a energia elétrica gerar trabalho.

Muito tempo depois, por volta de 1900 travou-se a chamada Guerra das Correntes entre Nikola Tesla e o grande inventor Thomas Alva Edison. A corrente alternada foi adotada como padrão e é utilizada até os dias de hoje. A eletrônica dos semicondutores surgiu nos laboratórios da Bell Labs na década de 1950 e possibilitou um avanço tecnológico como nunca houve na história. A grande maioria dos equipamentos ultra modernos que utilizam semicondutores trabalham com tensão contínua, porém precisam ser alimentados na rede elétrica com tensão alternada. Assim sendo, é inegável a necessidade de uma fonte de alimentação que não só converta tensão alternada para contínua, mas mantenha também uma alimentação confiável e proteja os equipamentos a serem alimentados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A grande maioria dos dispositivos eletrônicos do século XXI funcionam em tensão contínua mas precisam ser alimentados ou carregados direto na tomada. A tensão da rede elétrica brasileira é alternada e varia em valor eficaz de região para região, em geral o que se encontra são tensões de 127 V e/ou 220 V. A frequência da rede elétrica brasileira é de 60 Hz, isto é, uma tensão senoidal completa um ciclo inteiro 60 vezes por segundo, o que resulta em 120 oscilações por segundo.

Michael Faraday (1791 – 1867) foi quem descobriu o fenômeno da indução eletromagnética ao constatar que o movimento de um ímã através de uma bobina de fio de cobre causava o fluxo de uma corrente elétrica no fio [1]. A tensão alternada que chega nas residências é produzida se valendo do mesmo princípio. Nas hidrelétricas por exemplo, grandes turbinas contendo em seu eixo poderosos ímãs, giram com o movimento da água, criando um fluxo variável de campo magnético e induzindo uma tensão alternada nas bobinas estacionárias. Existem outros métodos de se gerar energia que fogem do escopo deste trabalho.

Para a alimentação dos equipamentos eletrônicos que são projetados para trabalharem em tensão contínua, se faz necessário o uso de uma fonte de alimentação CC. As fontes que alimentam tais equipamentos podem ser construídas em diversos tamanhos, valores de tensão, potência, princípio de funcionamento entre outros.

O projeto descrito neste trabalho consiste numa fonte transistorizada regulável linear com proteção e indicação de curto-circuito. Deseja-se que a tensão de alimentação da fonte seja de 127 V e saída 15 V e 1 A, isto é, uma fonte de 15 W de potência, a proteção deve agir quando a corrente ultrapassar 1,2 A.

Basicamente a fonte consiste em seis estágios, sendo eles: Estágio de transformação, estágio de retificação, estágio de regulação, estágio de potência, estágio de proteção de sobrecorrente e filtros de saída.

O estágio de transformação consiste em um transformador que rebaixará a tensão de 127 V para 18 V, que é a entrada de alimentação da fonte, a Figura 2.a mostra a forma de onda de entrada e a de saída esperada após este estágio. Já na retificação, a tensão alternada senoidal será transformada em uma tensão contínua pulsante (Figura 2.b). O estágio de regulação terá como função manter constante a tensão na base do transistor que fará a modulação da tensão de saída através de um diodo Zener. O estágio de potência, consiste em dois transistores em configuração Darlington, para aumento de ganho, que serão os responsáveis por manter uma tensão constante na saída. A proteção de sobrecorrente protegerá o circuito de uma corrente maior que um valor previamente estipulado, que neste caso será em torno de 1,2 A como mencionado. O último estágio, tem como finalidade impedir que a proteção atue quando houver a necessidade de se alimentar uma carga que demande um breve pico de corrente.

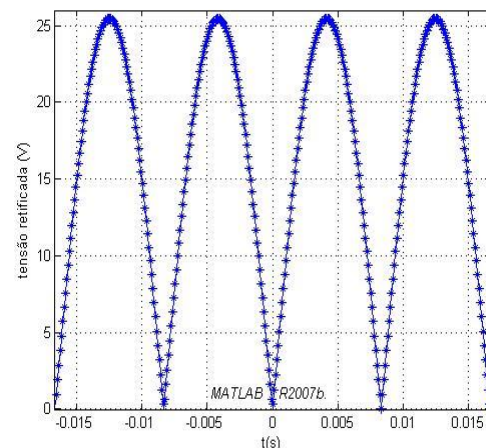
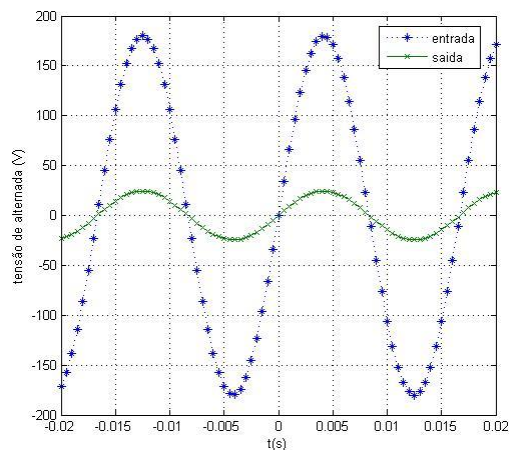


Figura 2.a - Formas de Onda da Entrada e Saída do Transformador. **Figura 2.b - Forma de Onda da Tensão após o Estágio de Retificação.**

3 BREVE EXPLANAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES UTILIZADOS

3.1 ELEMENTOS ATIVOS E PASSIVOS

Os elementos dos circuitos podem ser classificados em dois grandes grupos: ativos e passivos. Os elementos ativos são aqueles que fornecem energia ao circuito, os passivos são aqueles que convertem a energia em trabalho, isto é, a energia total entregue a ele pelo resto do circuito é sempre

positiva [1]. A equação (3.1) refere-se aos componentes ativos e passivos por meio da energia total entregue a eles.

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(t) dt = \int_{-\infty}^t vi dt \quad (3.1)$$

Onde $w(t)$ é a energia dada ao elemento, $p(t)$ é a potência desenvolvida pelo elemento, v é a tensão e i a sua corrente. Se $w(t) < 0$ então o elemento é ativo, pois fornece energia ao circuito, se $w(t) > 0$ o elemento é então passivo pois consome energia.

Elementos ativos geralmente são geradores, fontes de corrente, fontes de tensão e outros. Elementos passivos são os resistores, diodos, transístores, displays de LCD entre outros.

3.1.1 Resistores

Resistores são elementos passivos com dois terminais cuja função é basicamente limitar a corrente em um circuito. De acordo com a lei de Ohm, a resistência elétrica de um resistor é a razão entre tensão e corrente. Ele dissipa energia por efeito Joule (térmico) e é geralmente o primeiro elemento componente que um estudante de engenharia tem contato em circuitos.

Geralmente pode formar circuitos paralelos, séries e misto, porém, é comumente encontradas associações em estrela e triângulo que fornecem uma topologia complicada. Os resistores são encontrados em diversos tamanhos e potência (Figura 3.1) e também em valores.



Figura 3.1 - Resistores.

3.1.2 Capacitores

É um dispositivo constituído por dois terminais ligados em duas placas metálicas chamadas de armaduras, as quais ficam separadas por um material isolante chamado dielétrico. Sua relação tensão-corrente é modelada por uma equação diferencial. O capacitor hora armazena energia e hora fornece energia, por isso pode ser tratado como ativo ou passivo dependendo da situação. O capacitor é capaz de armazenar cargas elétricas devido à atração de cargas de sinais opostos através do campo elétrico desenvolvida por estas. A corrente neste elemento é dada pela equação (3.2) e o que se pode notar, é que a corrente no capacitor é diretamente proporcional à taxa de variação da tensão sobre este e também à capacitância C , medida em Faradays (F) em homenagem ao inglês Michael Faraday, um dos maiores experimentalistas de todos os tempos [1].

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (3.2)$$

Os capacitores de maiores capacitâncias podem armazenar mais cargas, geralmente se usa os capacitores eletrolíticos em circuitos com corrente contínua.

3.1.3 Indutores

Um indutor também é um elemento armazenador de energia. É constituído também de dois terminais e geralmente constitui-se de um fio longo enrolado formando várias espiras. Sua relação tensão-corrente também é modelada por uma equação diferencial, (equação (3.3)). A tensão sobre o indutor é diretamente proporcional à indutância (quantidade de fluxo produzido por unidade de corrente [2]) e também à taxa de variação da corrente.

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (3.3)$$

3.1.4 Diodo Retificador

O diodo retificador é um dispositivo passivo de dois terminais, chamados de catodo e anodo, que bloqueia a corrente elétrica no sentido positivo

(polarização direta) e impede no outro (polarização reversa) [3]. É considerado talvez o elemento semiconductor mais básico da eletrônica por ser constituído de apenas dois cristais, um P e outro N, que formam a base para a eletrônica dos semicondutores.

A Figura 3.2 apresenta o símbolo elétrico de um diodo retificador. Os diodos de silício e de germânio são os mais difundidos, porém os de germânio estão caindo em desuso rapidamente. Os diodos possuem uma queda de tensão quando polarizados diretamente, que é de 0,7 V e 0,3 V para os de silício e germânio respectivamente.

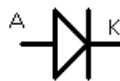


Figura 3.2 - Símbolo do Diodo.

3.1.5 Diodo Zener

O diodo Zener nada mais é do que um diodo retificador comum exceto que ele é preparado para trabalhar numa região chamada de ruptura. Nesta região ele pode sofrer uma variação de corrente sem alterar substancialmente o valor da tensão Zener sobre seus terminais. Esta tensão Zener é um valor de tensão de ruptura que quando se polariza o diodo Zener reversamente e sua corrente atinge um certo valor, a tensão sobre seus terminais se torna praticamente constante e igual à V_z (Tensão Zener). A Figura 3.3 apresenta a região de operação do diodo Zener e seu símbolo esquemático que é geralmente utilizado.

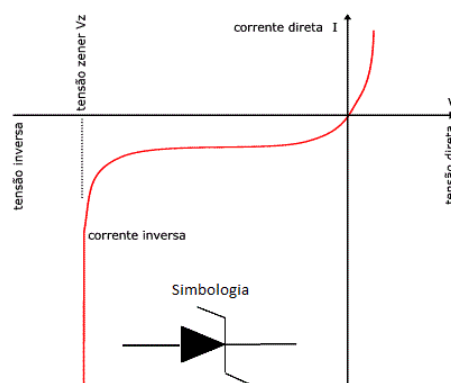


Figura 3.3 - Região de Operação do Diodo Zener e sua Simbologia.

3.1.6 Transistor Bipolar de Junção

É um dispositivo eletrônico composto por três terminais sendo a impedância de entre dois deles (emissor e coletor), controlada por um terceiro (base).

O TBJ constitui-se de três regiões semicondutoras: a região do emissor, da base e do coletor. Constitui-se de três pastilhas formando duas junções pn: junção base-emissor e junção base-coletor. De acordo com o tipo de material usado na fabricação dos cristais que compõem o transistor, pode ser do tipo PNP ou NPN. No NPN o emissor é fabricado em material do tipo n, a base com material do tipo p e o coletor com material do tipo n. O transistor PNP é o dual do NPN [3]. A Figura 3.4 apresenta um esquema da estrutura simplificada e o respectivo símbolo para um TBJ do tipo NPN.

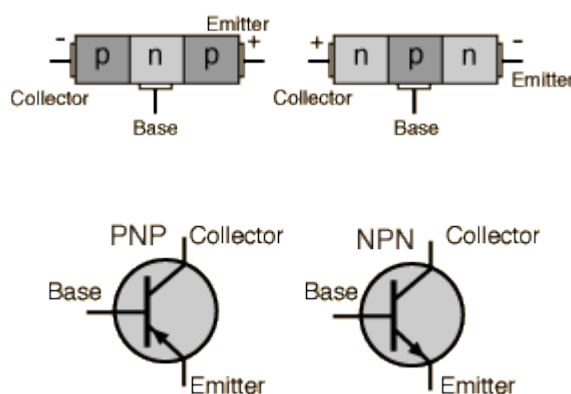


Figura 3.4 - Estrutura Simplificada do TBJ NPN. Símbolo Esquemático.

Será descrito o funcionamento TBJ NPN, pois o modelo PNP é dual e ambos podem ser facilmente encontrados na literatura listada como referência [3].

O TBJ pode operar em três regiões: região de corte, região ativa e região de saturação. A região de corte ocorre quando a corrente de coletor, de base e de emissor são todas iguais a zero, além disso a tensão entre a base e o coletor são menores que 0,7 V. Neste caso o transistor pode ser considerado como uma chave aberta. De fato para se trabalhar com o transistor como uma chave eletrônica, o circuito de polarização deve ser projetado de modo que

este trabalhe na região de corte ou na saturação. Na região de saturação o transistor trabalha como uma chave fechada, neste caso ele dissipa uma potência muito menor que na região ativa. Para a região de saturação, a tensão entre coletor e emissor deve ser aproximadamente igual à tensão de saturação, em torno de 0,2 V e a tensão entre base e emissor, deve ser de aproximadamente 0,7 V.

Na região ativa o TBJ opera como um amplificador, isto é, o componente possui um ganho β (beta) que representa a proporção de amplificação da corrente que entra na base e que sai no coletor. Se o transistor possui um ganho de 100, quer dizer que a corrente de coletor será cem vezes maior que a corrente de base quando o elemento estiver na região ativa. A equação (3.4) apresentam as condições elétricas para que o TBJ opere na região ativa.

$$I_c = \beta I_b = \frac{\beta}{\beta + 1} I_e \quad V_{be} = 0,7V \quad V_{ce} > V_{cesat} \quad (3.4)$$

O transistor de junção revolucionou o mundo da eletrônica e foi criado pela Bell para substituir as válvulas termiônicas.

3.1.7 Transformador

Consiste geralmente em dois núcleos de bobinas cuja finalidade é elevar ou rebaixar tensão alternada. O transformador possui uma relação de transformação que é proporcional à quantidade de espinhas no núcleo primário e no núcleo secundário. Uma tensão é inserida no primário uma outra tensão é induzida no secundário, se o número de espiras do secundário for maior que o número de espiras do primário, diz-se que este é um transformador elevador de tensão, caso contrário, é um transformador rebaixador.

3.1.8 Termistor NTC

Um elemento semicondutor que possui um coeficiente resistivo negativo em relação à temperatura. Quando a temperatura está baixa ele possui um certo valor de resistência, de acordo com o modelo. Quando a corrente aumenta, a temperatura sobe e a resistência do termistor NTC diminui até um valor estipulado pelo fabricante. É usado nas entradas das fontes para proteger contra surtos de tensão e principalmente corrente quando a fonte é ligada.

3.2 SOFTWARES

Os softwares de simulação e layout são indispensáveis nos projetos de eletrônica. A plataforma SPICE foi criada na universidade de Berkeley na Califórnia na busca para diminuir o dispendioso trabalho de um engenheiro de realizar inúmeros cálculos e analisar inúmeras malhas, fazendo-o se desviar do seu foco, o projeto. Os softwares auxiliam o engenheiro a detectar erros de projeto na sua fase inicial e permitem a fácil mudança dos parâmetros do circuito sem causar danos físicos ao projeto e ao próprio projetista [4].

Dois softwares muito utilizados são os pacotes Proteus da LabcenterElectronics e o Orcad da Cadence. Ambos são softwares poderosos para simulação e design, cada qual com suas vantagens e desvantagens. O Proteus conta a seu favor o ambiente intuitivo e didático, além de um ferramental que não deixa muito a desejar para projetos de média ou até uma certa complexidade. Sua principal vantagem é no trabalho com circuitos digitais. O Orcad por sua vez é um pacote extremamente poderoso que considera modelos extremamente precisos em seus cálculos, neste sentido ele é muito superior ao Proteus. Uma outra opção para layout de PCBs é o pacote Eagle, que fornece várias vantagens aos usuários que o adotam.

3.2.1 Orcad

Software com um alto poder de precisão em simulações de circuitos complexos. Possui diversas funções para simulações e configurações que podem ser ajustadas de acordo com o projeto. Os modelos usados pelo Orcad são muito fiéis aos componentes da vida real, as equações que descreve cada componente levam em conta uma grande quantidade de variáveis.

Existe uma versão LITE que pode ser baixada gratuitamente no site da Cadence, a empresa responsável pelo software.

3.2.2 Proteus

O Proteus é um pacote de softwares pagos utilizados na simulação de circuitos analógicos e digitais, cotando com um poderoso spice e também para

elaboração de projetos com alto grau de complexidade e precisão para placas de circuito impresso, inclusive para montagem SMD.

Os programas mais utilizados e conhecidos do pacote são o ISIS e o Ares.

3.2.2.1 ISIS

Software do pacote Proteus utilizado para montagem esquemática e simulações de circuitos eletrônicos analógicos e digitais. Com este programa é possível simular desde transístores, diodos, flipflops, registradores de deslocamento, LEDs, circuitos RLC até circuitos com microcontroladores, tais como a família 8051, PIC, ARM e muitos outros.

O software conta com uma aparência muito agradável e uma interface intuitiva de se usar. Sua grande vantagem reside no fato de que se pode facilmente montar um circuito com alto grau de complexidade, contendo uma biblioteca exorbitantemente grande de componentes, e através de um clique exportar o projeto para o seu irmão ARES, para realizar o projeto da PCB.

3.2.2.2 ARES

Software utilizado em conjunto com o ISIS para a confecção do layout de placas de circuito impresso. Possui interface e comandos muito inteligentes e intuitivos. Realiza projetos com uma grande precisão e facilidade.

É um software extremamente indicado na confecção de placas PCB. Existem também outros concorrentes de peso, como o caso do software Eagle que é muito poderoso e bate de frente com Proteus.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é projetar, construir e constatar o funcionamento de uma fonte de tensão contínua. Visualizando assim a aplicação prática de diversos componentes eletrônicos como transistores, capacitores, resistores e outros estudados ao longo do semestre.

Uma fonte de alimentação é geralmente composta de um transformador que pode aumentar ou reduzir a tensão de entrada, um circuito retificador, um filtro capacitivo e um regulador de tensão.

Para a especificação de tensão e corrente de saída optou-se pela tensão de 15 V e corrente de 1 A, ambas contínuas, essa decisão deve-se à sua usualidade e baixo custo, idealizou-se também que a tensão seja controlada através de um trimpot e a mesma tenha uma proteção caso a corrente ultrapasse 1 A, evitando assim um curto-circuito e protegendo a fonte. Não se estipulou nenhuma especificação de tamanho e peso.

4.2 DEFINIÇÕES DE CIRCUITO

O projeto foi requerido pelo professor Elói Agostini na disciplina de Eletrônica 1 como quesito para obtenção de nota. O circuito foi passado pelo professor bem como uma demonstração em sala dos cálculos dos componentes para uma fonte de 15V por 1 A, cabendo posteriormente aos grupos, executar os cálculos de seus respectivos projetos.

Nesta seção será feita uma descrição de cada parte do projeto, especificamente todos os componentes serão calculados e suas escolhas serão justificadas para que resultados muito próximos possam ser obtidos por qualquer pessoa que desenvolver este trabalho.

4.2.1 Circuito Básico

O circuito apresentado à turma pelo professor está esquematizado Figura 4.1. Deseja-se encontrar os valores de cada componente para construir uma fonte funcional como descrito anteriormente.

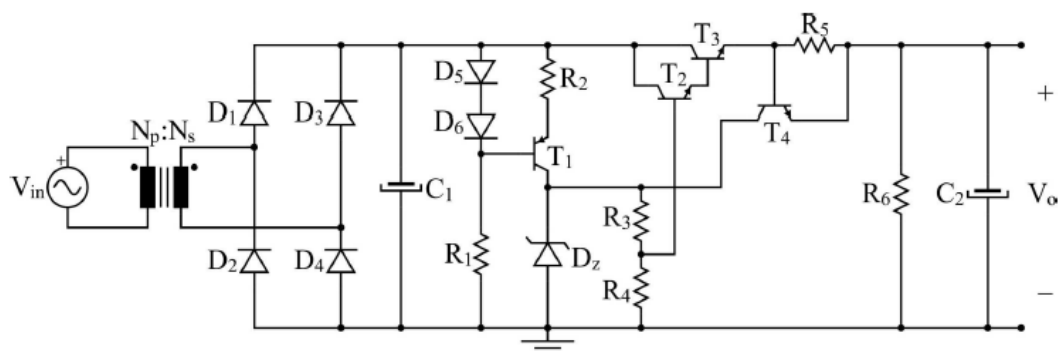


Figura 4.1 - Esquemático da Fonte.

Posteriormente o circuito da Figura 4.1 será discutido em detalhes. À priori pode-se adiantar que o esquema será dividido em estágios (blocos), são eles:

- Estágio de retificação;
- Estágio de regulação;
- Estágio de potência;
- Estágio de proteção contra curto-circuito;
- Filtro de saída.

Apresenta-se a seguir a metodologia para obtenção dos componentes.

4.2.2 Definição de Componentes

4.2.2.1 Estágio de Retificação

Este estágio é mostrado na Figura 4.2 onde se observa um transformador, quatro diodos retificadores ligados em ponte e um capacitor em paralelo com a saída dos diodos.

O transformador utilizado terá entrada de 127 V e saída de 18 V para 1 A. Este elemento foi escolhido de acordo com os requisitos mínimos do projeto e será levado em consideração que a fonte trabalhará com 1 A ou um pouco acima desse valor em situações restritas. Deve-se lembrar que os fabricantes de transformadores geralmente levam em conta um possível regime de trabalho um pouco superior ao nominal.

O modelo de diodo utilizado para a retificação é o 1n4007 que de acordo com o fabricante, ele opera em até 1 A e pode suportar uma tensão reversa de 1000 V. Levando em conta que a tensão reversa máxima será a tensão de pico de aproximadamente 25,45 V, é justificável a escolha de tal componente pelo baixo custo e também pela facilidade de se encontra-lo.

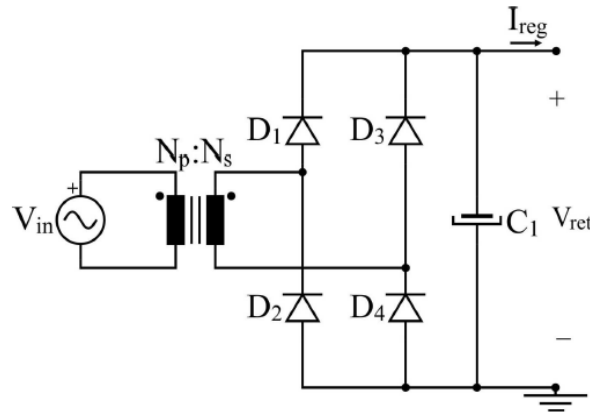


Figura 4.2 - Estágio de Retificação.

Por fim, o capacitor de saída foi calculado com base em uma equação sugerida pelo professor. A equação (4.1) nos fornece o valor do capacitor.

$$C1 = \frac{I_{reg}}{2f\Delta V_{ret}} \quad (4.1)$$

Onde a variação da tensão retificada máxima (ΔV_{ret}) é dada pela equação (4.2).

$$\Delta V_{ret} = 0,1V_{pc} \quad (4.2)$$

V_{pc} é a tensão de pico no capacitor descontando a queda de tensão sobre os dois diodos.

$$V_{pc} = V_p - 1,4 = \sqrt{2} \cdot V_{ef} = \sqrt{2} \cdot 18 - 1,4 = 24,05 \text{ V}$$

$$\text{Assim temos: } \Delta V_{ret} = 24,05 \cdot 0,1 = 2,405 \text{ V}$$

Logo:

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot 60 \cdot 2,405} = 3465 \mu F$$

Como não existem capacitores no mercado com tal capacitância, será adotado um de 4700 μF e tensão de 35 V que não é muito difícil de ser encontrada.

4.2.2.2 Ramo de Regulação

Os diodos D5 e D6 da Figura 4.3 foram escolhidos de modo que haja uma queda de tensão de 0,7 V no resistor R2, considerando que tal resistor está em série com a junção base emissor do transistor T1, e esta configuração está em paralelo com os diodos, ocorrendo uma queda de tensão de 0,7 V na junção base-emissor do transistor.

Os diodos escolhidos foram os de modelo 1n4148 que devem ser percorridos por uma corrente de aproximadamente 5 mA de acordo com o fabricante para que haja uma queda de tensão de 0,7 V em cada componente. O transistor escolhido foi o modelo PNP BC 557. A corrente de base do referido transistor será de ordem bem menor que os 5 mA que circulará pelos diodos, de forma que a corrente sobre o resistor R1 será aproximadamente os mesmos 5 mA. A resistência deste componente será calculada levando-se em conta que a tensão sobre ele é $V_{ret} - 1,4$ V e portanto a resistência, é encontrada por:

$$R1 = \frac{24,05}{0,005} = 4810 \, \Omega$$

Por conveniência a partir deste ponto será adotada a letra R para expressar resistência elétrica ao invés da letra Ω .

O valor escolhido para R1 foi de 4,7 KR pelo fato de ser um valor comercial facilmente encontrado, além disso, tal valor será um pouco abaixo do calculado que compensará a corrente drenada pela base do transistor.

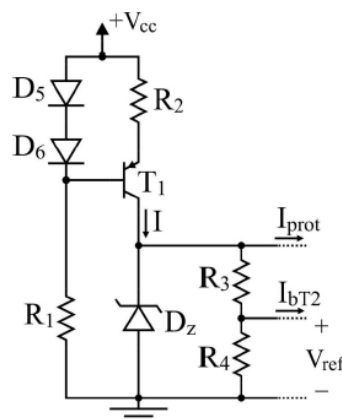


Figura 4.3 - Estágio de Regulação.

O diodo Zener a ser escolhido depende da tensão de saída desejada. Como se deseja 15 V e o diodo está em série com duas junções base-emissor referentes aos transistores do estágio de potência (discutido posteriormente), será preciso levar em consideração uma queda de 1,4 V referentes às tais junções. Assim a tensão Zener V_Z do diodo é de 16,4 V.

Os diodos da série 1n47xx são indicados para este projeto por possuírem potências compatíveis e tensões Zener aproximadas. Porém o que esta série oferece são tensões de 16 V ou 18 V que estão mais próximas. Seria indicado colocar um diodo polarizado diretamente em série com o Zener caso o de 16 V fosse escolhido para que a tensão de regulação fosse 16,7 V, ocasionando uma tensão de saída máxima de 15,3 V. Neste projeto porém, optou-se pelo diodo Zener 1n4746A que possui uma tensão Zener de 18 V, resultando numa tensão de saída máxima de 16,6 V.

A corrente de teste estipulada pelo DATASHEET para garantir a tensão Zener foi de 14 mA. Sabe-se que este valor é mais que o necessário devido ao fato de que o diodo Zener possui uma curva característica reversa exponencial. Considerou-se para este projeto uma corrente Zener de 10 mA para que não houvesse consumo de potência desnecessária. Assim sendo o valor do resistor R2 que está em série com o diodo Zener é dado simplesmente dividindo-se sua tensão (0,7 V) pela corrente de 10 mA escolhida, obtendo-se um valor de 70 R. O valor comercial mais próximo é de 68 R, sendo este o escolhido para o projeto.

Os resistores R3 e R4 correspondem ao trimpot cuja função é variar a tensão de saída de 0 V até seu valor máximo de 16,6 V. Seu valor escolhido foi de 5 KR que permitirá que sua corrente seja muito menor que a corrente de base do transistor T2 que faz parte do estágio de potência discutido posteriormente.

4.2.2.3 Estágio de Potência

A Figura 4.4 apresenta o estágio de potência do projeto que será discutido neste tópico. O transistor T3 escolhido foi o TIP 31c que pode operar com uma corrente de coletor de até 5 A, bem acima do necessário para fazer a fonte

funcionar. Seu ganho segundo o DATASHEET possui um valor mínimo de 25 (um valor baixo para a aplicação).

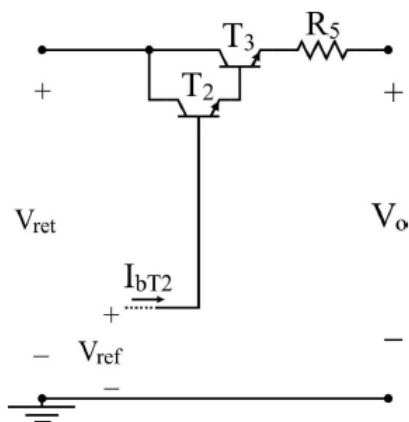


Figura 4.4 - Estágio de potência.

O transistor T2 foi ligado de forma que formasse uma configuração Darlington com o transistor T3, o que praticamente multiplica os ganhos. O transistor T2 escolhido foi o BC 547 que é facilmente encontrado e possui um ganho elevado e corrente de coletor de até 100 mA. O problema nesta configuração é a determinação do ganho. Tanto o TIP 31c quanto o BC 547 não possuem um valor bem definido de ganho em seus respectivos DATASHEETS. O BC 547 por exemplo possui ganho estimado num intervalo que vai de 110 a 800, o TIP 31c só possui ganho mínimo indicado.

Para efeito de estimativa, serão considerados ganhos que se consideram razoáveis para os desenvolvedores deste projeto para a determinação da corrente de base, porém, este passo não acarretará um impacto muito significativo para o projeto.

Supondo um ganho de 200 para o BC 547 e 40 para o TIP 31, o ganho da configuração é de aproximadamente 8000. Assim, a corrente máxima de 1 A no coletor do TIP 31 produziria uma corrente de 0,125 mA na base. O potenciômetro foi escolhido para ter uma corrente superior a este valor, então os requisitos foram satisfeitos. Com este valor de corrente de base, pode-se facilmente verificar que um potenciômetro da ordem de até 144 KR satisfaria o projeto. Porém o ganho da configuração Darlington foi estipulado quase de

maneira arbitrária, numa faixa de valores compreendida a partir de 3300, que é a multiplicação dos ganhos mínimos de ambos os transistores.

4.2.2.4 Estágio de Proteção Contra Curto-Circuito

A Figura 4.5 enfoca uma parte de proteção extremamente útil da fonte. O funcionamento deste circuito é muito simples e certamente será acionado diversas vezes. O resistor R5 foi escolhido de forma que quando a corrente de saída ultrapassar um valor limite, a queda de tensão sobre ele é suficiente para colocar o transistor T4 em estado de saturação, drenando a corrente excessiva do diodo Zener que seria usada para alimentar o estágio de potência. A corrente limite escolhida foi de 1,2 A e o transistor precisa de aproximadamente 0,7 V na junção base emissor para entrar em saturação.

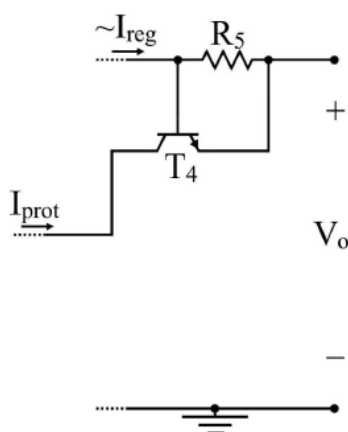


Figura 4.5 – Proteção de Curto Circuito

O resistor a ser inserido no circuito então deveria possuir resistência de 0,58 R. A potência do componente é um parâmetro importante neste caso, até agora não foi considerada para os outros resistores pois eram componentes de sinais, com potências muito baixas e sendo adotados para este projeto potências de 1/8 W ou 1/4 W. Neste caso a Potência deverá ser de pelo menos 0,84 W. Comercialmente os resistores próximos encontrados foram de 1 W e 0,68 R ou 0,62 R. Entretanto por problemas de logística foram usados dois resistores de 1 W e 1 R em paralelo para desempenharem a função do R5. A

resistência da associação ficou em torno de $0,5 R$, o que faz com que a corrente limite suba para 1,3 A ou 1,4 A aproximadamente.

Ainda foi adicionado um diodo vermelho para indicação de curto-circuito no coletor do transistor de proteção, desta forma, quando a saída for curto circuitada ou houver uma demanda grande por corrente, acima do limite, o LED deverá acender para sinalização.

4.2.2.5 Filtro de Saída

O filtro de saída (Figura 4.6) tem como finalidade evitar a atuação da proteção quando cargas indutivas ou capacitivas demandarem um pico inicial de corrente. A proteção sofrerá um retardo para atuar sobre correntes de curto circuito.

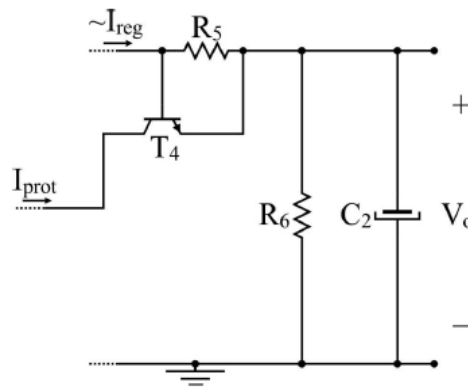


Figura 4.6 - Esquema do Filtro de Saída.

A determinação do resistor $R6$ e do capacitor $C2$ é simples. Através das equações (4.3) e (4.4) é possível determinar os valores dos componentes.

$$R6 = \frac{(V_{omax})^2}{0,01 \cdot P_o} \quad (4.3)$$

$$C2 = 10^{-5} \cdot V_{omax} \quad (4.4)$$

De forma que V_{omax} é a máxima tensão de operação da fonte, usou-se o valor de 15 V, ainda, tomou-se a potência como sendo $P_o = 1,2 \cdot 15 = 18 \text{ W}$. Com as equações (4.3) e (4.4) obteve-se para o resistor e o capacitor

respectivamente os valores de 1250 R e 150 uF. Os valores utilizados foram 1,2 KR e 47 uF por conveniência, como será visto, os resultados foram bons.

4.2.2.6 – Circuito projetado

Com os cálculos realizados foi possível montar um esquema do que se deseja obter como resultado final para realizar as simulações. A Figura 4.7 apresenta o resultado do dimensionamento dos componentes.

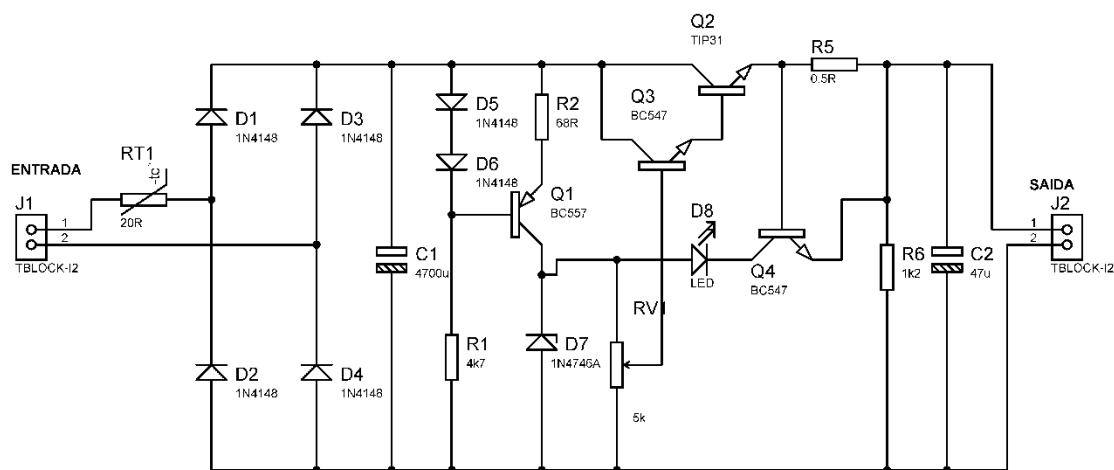


Figura 4.7 - Circuito Projetado com os Valores dos Componentes.

5 EXECUÇÃO

5.1 SIMULAÇÕES

Foram utilizados dois softwares para simulação, o CADCIS da plataforma Orcad 16.6 e o Ares da plataforma Proteus 7.8. O Orcad foi utilizado para simular os parâmetros elétricos de operação do circuito e o Proteus para verificar o resultado final da PCI.

As simulações foram divididas em duas etapas principais: simulações de circuito e projeções de PCI. A primeira parte foi mais importante pois permitiu verificar a funcionalidade do projeto e testar diversos parâmetros: valores de tensão e resistência além de diferentes componentes. A segunda parte deu aos projetistas uma boa noção de como a parte física ficaria, permitindo comprar os componentes e a placa de fenolite do tamanho certo, além de permitir a otimização do espaço na placa.

5.1.2 Simulações no Orcad

Seria possível também realizar as simulações de circuito no ISIS pois possui uma vasta biblioteca e um conjunto spice muito bom. Entretanto o CAPTURECIS do Orcad é um software mais poderoso para esta tarefa, pois considera muito mais variáveis e leva em conta várias equações em seus modelos de componentes que o ISIS não leva, além disso, viu-se a oportunidade de se aprender a utilizar tal software.

Após o dimensionamento dos componentes, foi montado no Orcad o mesmo circuito da figura 4.7. Foram tomadas medidas em três pontos distintos do circuito em duas situações diferentes. Nas duas situações as medidas tomadas consistiram na tensão de saída ($V(R6)$), corrente sobre o capacitor ($I(C1)$) e corrente sobre a fonte ($I(R8)$). Os termos entre parênteses são as medidas a serem identificadas nos gráficos contidos em Anexos.

Foi modelado um termistor NTC ligado em série com o secundário do transformador exatamente como no esquema do projeto, porém na primeira simulação colocou-se um resistor de 20 Ω para que o circuito experimentasse os efeitos do termistor frio, que possui este valor de resistência. Quando o termistor real esquenta sua resistência vai à quase zero, então foi colocado um curto no componente para tirar ele fora do circuito, com isto foi possível verificar ainda o que aconteceria com a fonte sem o termistor.

O Anexo 1 mostra os resultados da primeira situação, isto é, com um resistor de 20 Ω modelando um termistor. Percebe-se que a tensão demora um pouco para subir mas as correntes sobre o capacitor C1 e e da entrada da fonte não possuíram picos acentuados, pelo contrário, foram diminuindo em amplitude com o passar do tempo.

O Anexo 2 apresenta simulação onde se desconsidera o termistor, esta simulação tem dois objetivos: verificar o que aconteceria com o circuito sem o componente e verificar o comportamento do circuito quando na prática o termistor esquentar, o qual ficaria com resistência próxima de zero. Nesta simulação pode-se verificar que sem o termistor na entrada do circuito, poderia haver um pico de corrente de quase 40 A no capacitor, isto poderia facilmente destruí-lo ou diminuir substancialmente seu tempo de vida útil. Pode-se verificar ainda que a tensão de saída estabilizou em um valor um pouco acima de 16 V, como era previsto no projeto.

As simulações no ARES não serão mostradas pois não traz contribuição significativa à compreensão do funcionamento do projeto, apenas se pode salientar que sua contribuição foi essencial na confecção do layout da PCI.

5.2 MONTAGEM

A elaboração do Projeto se deu através estágios que serão percorridos abaixo.

A primeira parte consistiu em realizar simulações de modo que fosse possível identificar possíveis problemas oriundos de erros de cálculos, componentes, etc. Para isso foi usado o pacote Proteus de modo que todo o circuito mostrado na Figura 4.7 foi esquematizado para ser posteriormente testado.

O pacote Proteus discutido na Sessão 3.2.2 possui dois softwares que permitem simulação e elaboração do layout da placa, ISIS e ARES, respectivamente. O esquemático elaborado no ISIS permitiu a simulação de todos os componentes do projeto, bem como a identificação e correção de erros.

Em seguida, utilizou-se o software ARES, por meio do mesmo foi elaborado o layout PCB, sendo este um passo importante, pois definiu a disposição dos componentes na placa de circuito impresso que foi posteriormente montada.

Com o layout PCB elaborado se fez necessário a escolha do papel de impressão, pois este é de grande importância para o sucesso do projeto, uma vez que a qualidade do mesmo influencia o resultado final do circuito impresso, evitando assim futuros problemas nas trilhas. Dessa forma, escolheu-se papel transfer por atender os requisitos citados.

A impressão se deu utilizando impressora a laser pois a jato de tinta não possibilita a transferência por meios térmicos, como em processos rudimentares como a utilização de ferros de passar roupa.

Na sequência efetuou-se a corrosão da placa, nesta etapa utilizou-se ferro de passar roupa, ao passar o ferro ocorre o desprendimento da impressão do papel transfer para a PCI. Depois que a impressão foi transferida para a placa de fenolite cobreada, uma solução com perclorato de ferro foi feita. Por fim, a montagem foi concluída realizando a solda dos componentes na placa já confeccionada, esta etapa foi de suma importância, pois oriundos da má soldagem poderiam acarretar em problemas nos testes, influenciando diretamente o resultado que se almejava.

6 RESULTADOS

A montagem da placa se concluiu no dia 18/12/2014 e na mesma data foram realizados testes sugeridos pelo professor. Depois de todos os

procedimentos descritos no tópico de montagem, a placa montada é apresentada na Figura 6.1. Foi necessário conferir cada trilha da placa para verificar se estas não estavam fechando curto-circuito. De fato, a verificação constatou várias falhas de isolamento entre trilhas de potência e de sinais. Foi utilizado um estilete para resolver o problema, passando-o entre as trilhas, como citado abaixo.

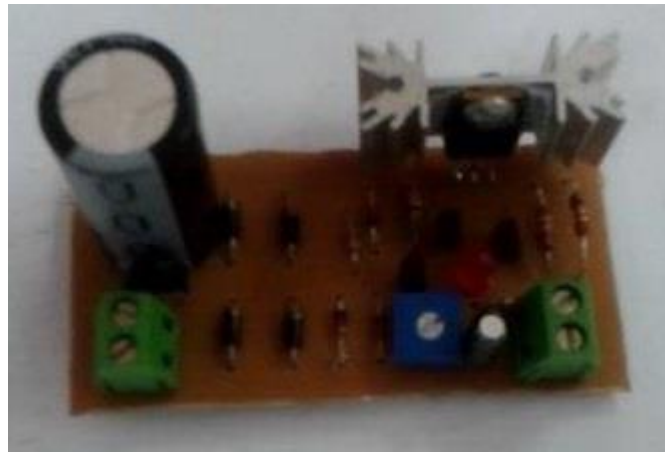


Figura 6.1 - Fonte Montada.

Foram realizadas cinco medidas com o osciloscópio do laboratório de eletrônica e testes de curto circuito com a fonte. Testou-se a tensão máxima e mínima com um multímetro digital e com o osciloscópio.

Os resultados obtidos dos testes realizados serão divididos em tópicos para melhor explanação e organização dos resultados.

6.1 TESTES DE CONTINUIDADE DAS TRILHAS

O layout da placa foi feito utilizando-se o comando do ARES de plano de aterramento, porém sem conexões com as trilhas na parte cobreada da placa. A distância entre o plano e as trilhas ficou muito pequena, como o Percloroeto de ferro não conseguiu correr todas as partes devido a pequenas falhas de impressão, que é normal acontecerem, algumas trilhas ficaram em contato umas com as outras ou com o plano de aterramento.

Testou-se continuidade com um multímetro digital e foi então possível localizar cada parte que estava com problema, passando-se um estilete entre

as trilhas e o plano foi possível eliminar todos os curto circuitos indesejáveis entre as trilhas.

Na hora de soldar os componentes, também houvera desafios, as soldas em geral ficara boas mas algumas fecharam curto e foi necessário novamente entrar em ação com o multímetro e o estilete.

6.2 TESTE DE TENSÃO MÁXIMA, MÍNIMA E DE CURTO CIRCUITO

A medida de tensão máxima na saída com multímetro foi de 17,3 V e a mínima foi da ordem de 100 mV. Esperava-se obter 16,6 V como tensão máxima, mas isso não é um problema pois essa tensão pode ser regulada pelo trimpot instalado no circuito cuja função é justamente esta, ajustar a tensão de saída da fonte para o valor desejado.

Vários testes de curto circuito foram realizados, sendo que em nenhum deles o sistema de proteção falhou. Inseriu-se as pontas de prova do multímetro diretamente na saída com escala de corrente para 20 A e constatou-se uma corrente máxima de aproximadamente 1,35 A, que era o valor esperado. O transistor esquentou razoavelmente (sem estimativas de temperatura) após cerca de 10 segundos de curto circuito. Como se sabe o valor da resistência equivalente colocada na junção base-emissor do transistor é possível determinar sua tensão V_{be} quando a corrente atingiu seu valor máximo, como segue:

$$V_{be} = I_{reg} \cdot R_5 = 1,35 \cdot 0,5 = 0,675 \text{ V}$$

Assim como se esperava, o aumento da corrente de saída provocou uma queda de tensão na junção base-emissor do transistor de proteção, este foi ativado drenando a corrente da base da configuração darlington limitando a própria corrente de saída. Além disso tudo, a corrente drenada pelo circuito de proteção foi suficiente para acender um led vermelho que indicou quando a saída entrou em curto circuito. Este led ainda possibilitou averiguar em um dos testes realizados com uma resistência de 15 R, uma pequena deficiência nos filtros de saída. Como o capacitor instalado tinha um valor abaixo do calculado, o circuito de proteção atuava por um breve momento quando se inseria a carga

no circuito. Porém isso durava pouquíssimo tempo, cerca de meio segundo, fazendo o circuito estabilizar-se em seguida.

6.3 TESTES COM OSCILOSCÓPIO

Com o osciloscópio foram tiradas inicialmente cinco medidas de forma de onda: a tensão do secundário do transformador, a tensão retificada, a tensão Zener, a tensão de saída máxima e a tensão de saída mínima.

Foi utilizado nas cinco primeira medidas um resistor de 250 R por 3 W na saída do circuito. A primeira medição tomada apresentou a forma de onda da saída do secundário do transformador (Figura 6.2), cujas características forma de 18 V de tensão eficaz, o que resultaria em aproximadamente 25,45 V de tensão de pico.

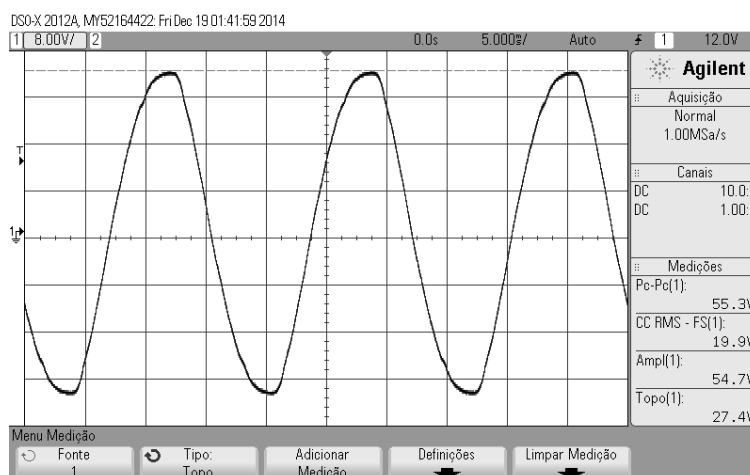


Figura 6.2 - Tensão do Secundário, Entrada de Alimentação da Fonte.

Como se pode ver na figura 5.2 a forma de onda da entrada estava um pouco distorcida, não sendo, deste modo, introduzida no circuito uma tensão senoidal perfeita. A tensão estava um pouco acima de 18 V também, tendo um valor eficaz de 19,9 V e a tensão de pico estava em 27,7 V aproximadamente, o que não resultou em problemas.

A segunda medição com osciloscópio tomada foi do circuito retificador (Figura 6.3). Pode-se verificar que a tensão ficou bem linearizada já neste estágio, esta tensão corresponde à tensão de pico a menos de uma queda de

tensão em dois diodos 1,4 V do estágio de retificação. Uma dúvida natural que pode surgir é, o porquê de a queda tensão ter sido tão abaixo do esperado, obtendo-se 27,7 de tensão de pico no secundário, descontados 1,4 V dos diodos esperava-se obter 26,3 V no estágio de retificação.

Não se deve esquecer entretanto, que foi instalado um elemento de proteção na entrada da fonte, entre o transformador e o circuito de retificação, o termistor NTC. Este termistor estava sendo percorrido por uma baixa corrente, logo sua temperatura demorava a aumentar fazendo sua resistência baixar muito lentamente. Para valores maiores de corrente observou-se uma diminuição considerável da queda de tensão sobre o termistor NTC.

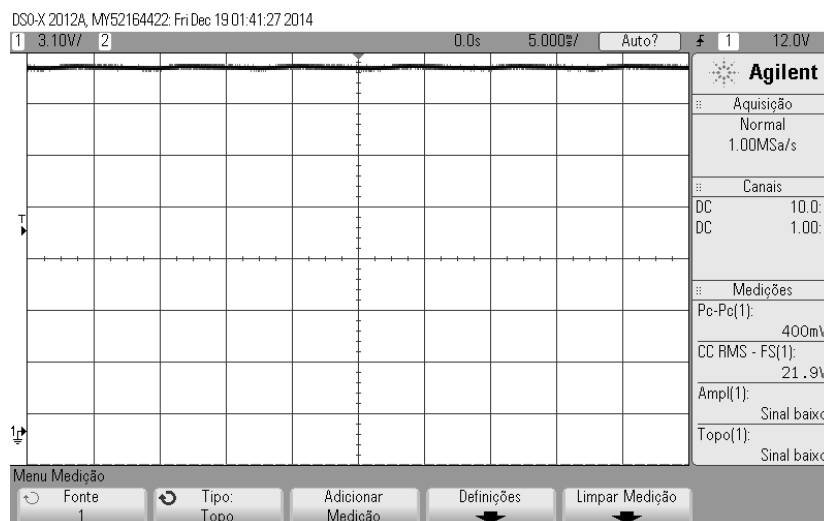


Figura 6.3 - Tensão de Retificação.

A mínima tensão mostrada no osciloscópio foi de 87,4 mV (Figura 6.4). Tal tensão correspondia ao valor do trimpot ajustado para seu valor mínimo.

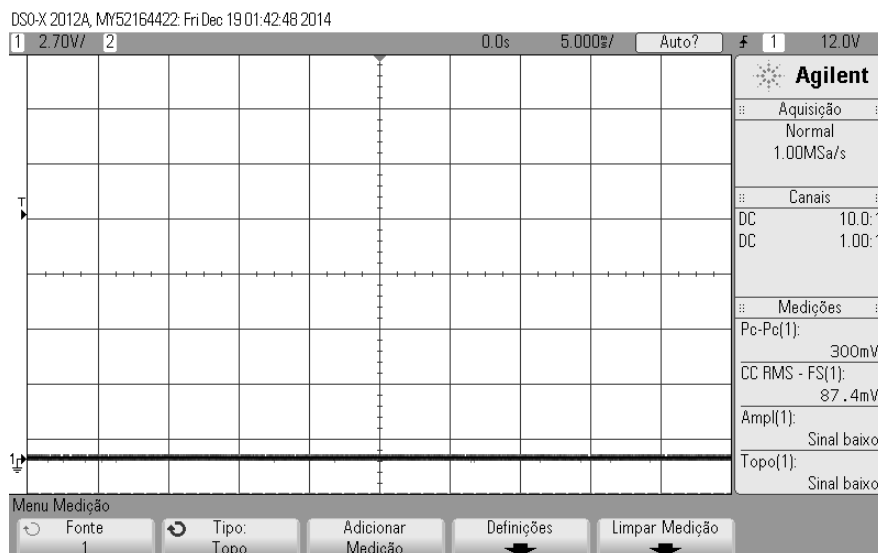


Figura 6.4 - Tensão Mínima de Saída da Fonte.

A tensão máxima de saída (Figura 6.5) ficou em torno de 17,3 V. Levando-se em conta que a tensão de entrada estava mais alta do que a considerada no projeto, tal valor é aceitável.

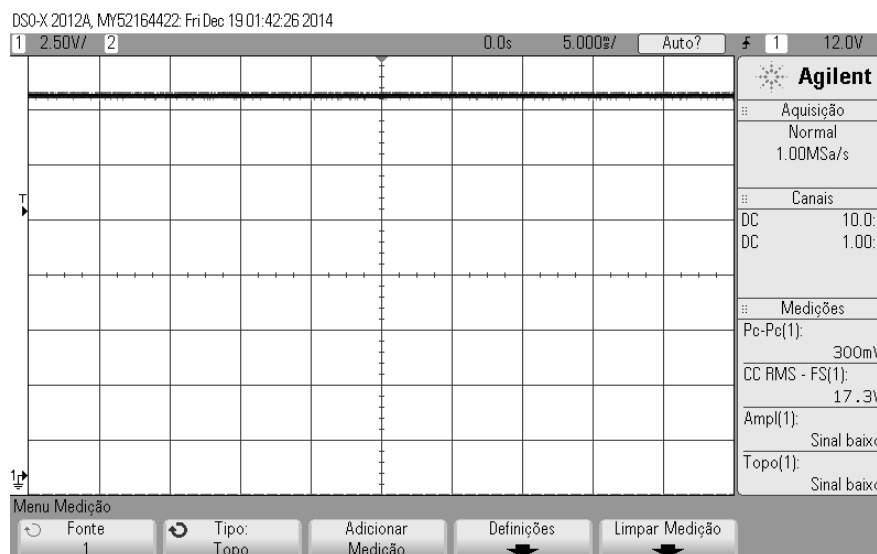


Figura 6.5 - Tensão Máxima de Saída.

A Figura 6.6 por sua vez, apresenta a tensão sobre o diodo Zener que mostra ser um pouco maior do que a tensão esperada de 18 V. Isto indica que a corrente que percorre o diodo é um pouco maior que o considerado no DATASHEET. Provavelmente o aumento na tensão Zener se deve ao aumento da tensão provocada pelo transformador na fonte, ao invés de 25,43 V de

tensão de pico esperado, o transformador alimentava a fonte com uma tensão 27,4 V de pico, o que resultando no aumento da tensão Zener.

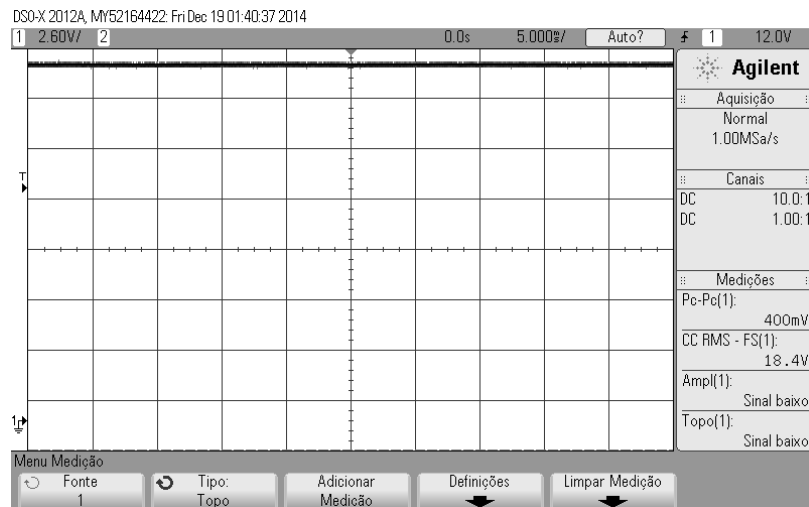


Figura 6.6 - Tensão sobre o diodo zener.

6.4 TESTES ADICIONAIS

Além dos testes sugeridos pelo professor, o grupo realizou um teste para verificar o desempenho da fonte sobre condições críticas de trabalho. Foi feita uma associação de resistores de modo a obter 15 R e testar a fonte para verificar suas características nominais.

Primeiro ajustou-se a fonte para se valor máximo de tensão. Após isso foi inserida a carga na saída do circuito. O que se verificou é que a tensão caiu bastante, mais especificamente 11,44 V (Figura 6.7). O que se percebeu é que a tensão aumentava lentamente, então foi sugerido que isso poderia ser causado pelo termistor NTC. O termistor foi curto circuitado e efetuou-se uma nova medição, a nova tensão foi de 13,5 V, ainda assim muito abaixo.

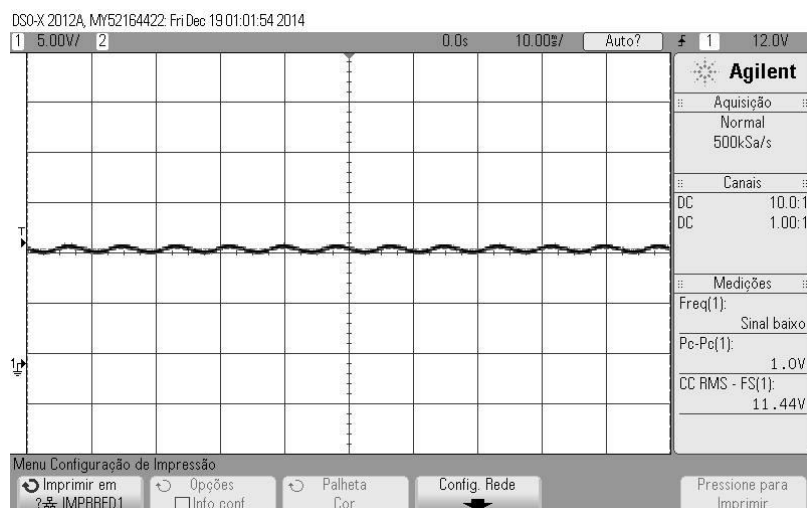


Figura 6.7 - Tensão de Saída em Teste com Carga.

Para verificar se o problema era oriundo de possíveis falhas de projeto, mediu-se a tensão de entrada do transformador, que por sinal estava quente. O resultado obtido na forma de onda é mostrado na Figura 6.8. A tensão eficaz máxima de entrada com a saída em aberto é de 20,5 V.

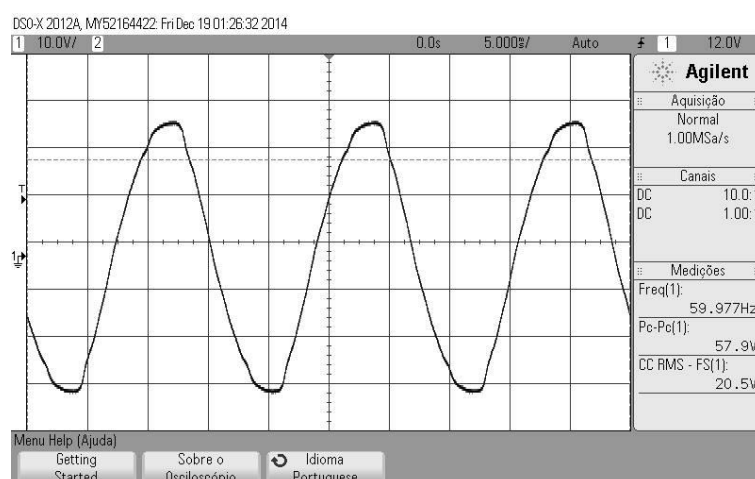


Figura 6.8 - Tensão no Secundário, Entrada da Fonte.

Com o termistor inda fora do circuito, inseriu-se a carga no circuito enquanto se verificava a entrada com o osciloscópio. O que se viu foi a tensão diminuir sua amplitude, e após cerca de 1 segundo, se estabilizou no que aparece na figura 6.9. Assim ficou constatado que o problema não era de projeto, visto que as simulações apresentaram ótimos resultados bem como a montagem do projeto e o dimensionamento dos componentes foram cuidadosamente executados. O transformador deveria ser capaz de fornecer 18 V e 1 A, porém não foi o que ocorreu. Foi realizado um teste idêntico com

um outro transformador de mesmo fabricante e o resultado foi praticamente o mesmo.

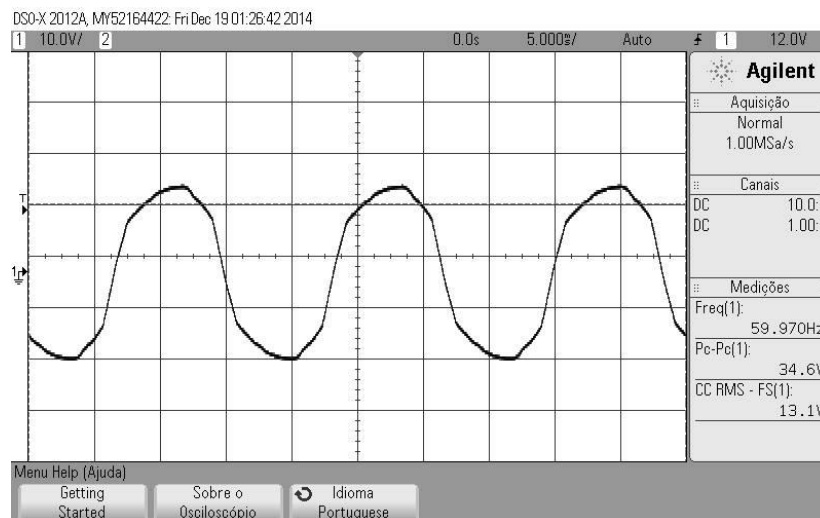


Figura 6.9 - Tensão do Secundário, Carga de 15 R Inserida na Saída.

7 CONCLUSÃO

Os principais objetivos deste trabalho, projetar, construir e constatar o funcionamento de uma fonte, foram alcançados, não só isso, os projetistas da fonte desenvolveram diversas habilidades de cooperação em grupo, resolução de problemas, execução de projetos, dimensionamento e simulação de circuitos.

Os cálculos foram embasados nos conhecimentos teóricos adquiridos na disciplina e sugestões do professor. A simulação trouxe uma grande perspectiva do que poderia dar certo e errado no projeto, ajudando assim a mudar alguns componentes e confirmar a importância de outras, como foi o caso do termistor. A montagem trouxe muitas coisas boas para o grupo, foi necessário cuidar da parte logística do projeto nesta etapa, comprando componentes, estudando prazos de entrega e se reunindo com outros grupos para economia de materiais. O estágio de testes proporcionou verificar a importância e um bom software de simulação, pois não houveram imprevistos nos resultados, apenas alguns ajustes e leves mudanças que as situações exigiram.

Não foram documentados grandes problemas e imprevistos no decorrer do projeto, todas as etapas ocorreram bem, entretanto exigiram muito esforço e dedicação. Os custos são detalhados no Anexo 3.

Os resultados esperados foram obtidos e os objetivos alcançados.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] JOHNSON, David E.; HILBURN, John L.; JOHNSON, Johnny R. Fundamentos de análise de circuitos elétricos. Livros Tecnicos e Científicos, 1994.

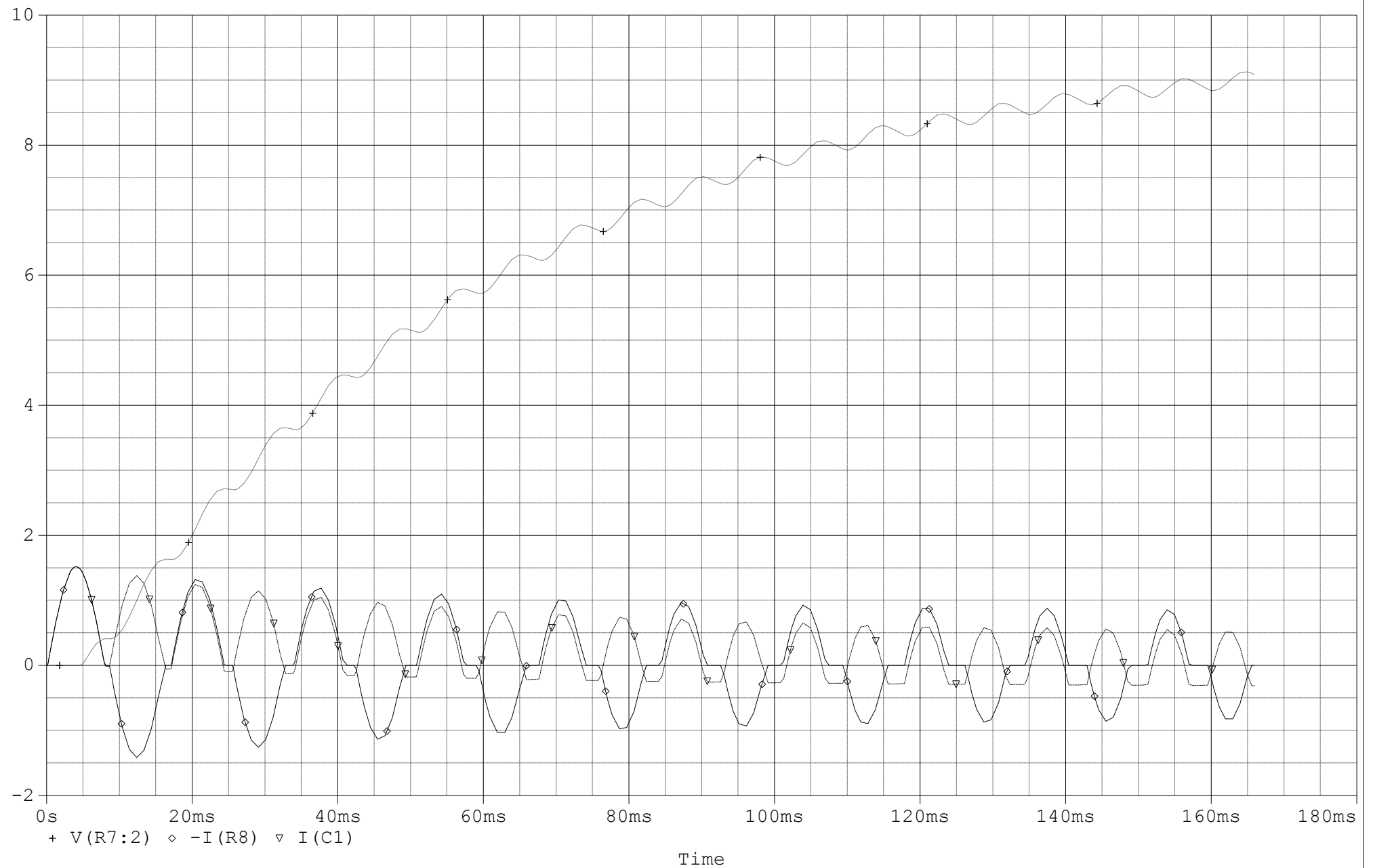
- [2] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentals of physics, vol 3. LTC, 2012.

- [3] SMITH, Kenneth C.; SEDRA, Adel S. Microeletrônica. 4ª edição. Rio de Janeiro: Editora Makron Books, 1999.

- [4] Melo, José Altino T. Spice Simulando Projetos Eletrônicos no Computador. São Paulo: ed. Érica Ltda., 1998.

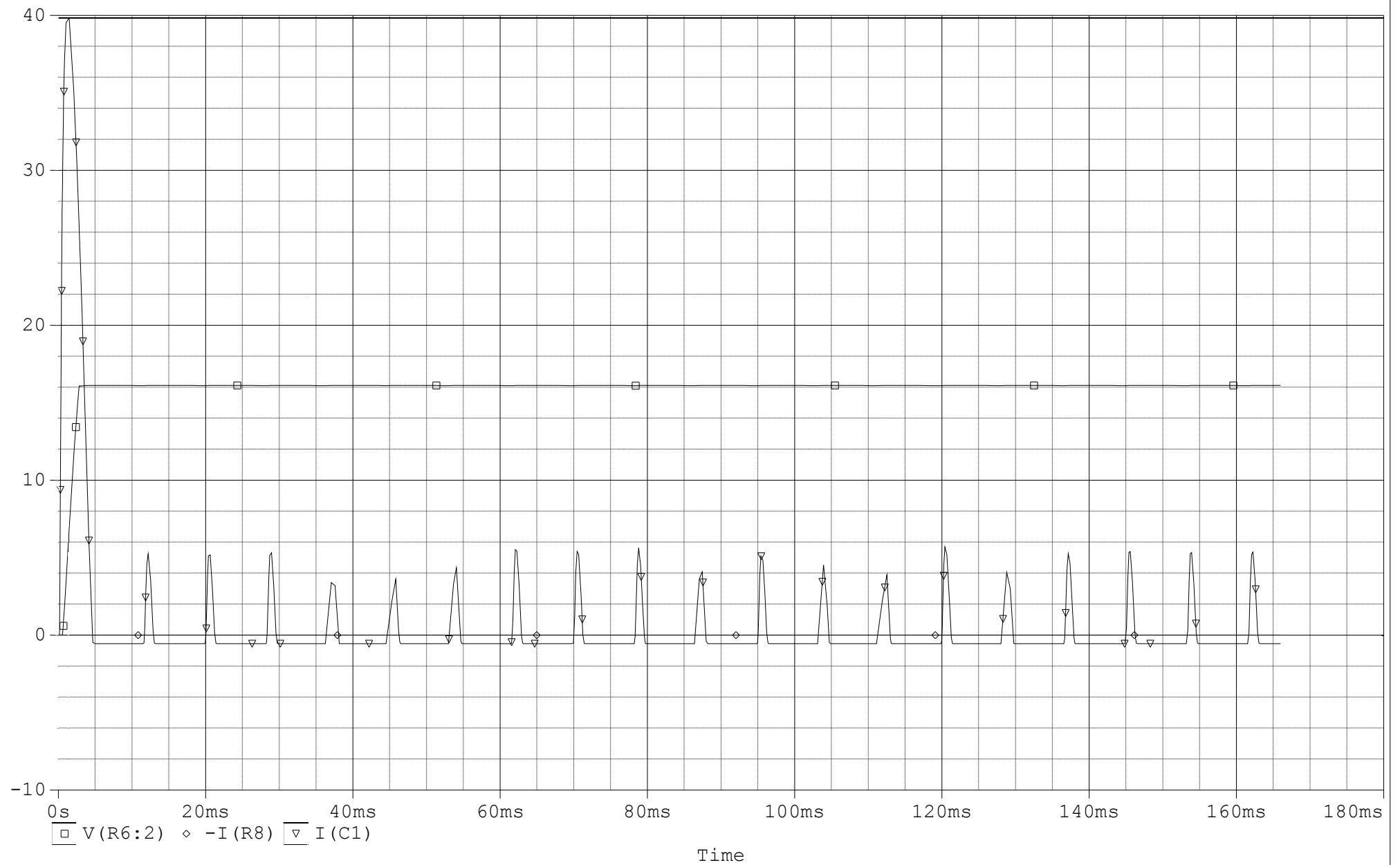
ANEXO 1

(A) Fonte (active)



ANEXO 2

(A) Fonte (active)



A1: (1.4798m, 39.833) A2: (0.000, 952.0E-27) DIFF(A): (1.4798m, 39.833)

ANEXO 3

Tabela 1: Custos dos componentes utilizados no projeto.

MATERIAL	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO
Capacitor eletrolítico radial 4700uF / 35V	1	R\$ 2,90	R\$ 2,90
Diodo retificador 1N4148	6	R\$ 0,08	R\$ 0,50
Diodo Zener 1N4746	1	R\$ 1,25	R\$ 1,25
Resistor 4K7 / 1/8W	5	R\$ 0,06	R\$ 0,30
Resistor 68R / 1/8W	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
Resistor 0,68R / 1W	1	R\$ 0,13	R\$ 0,13
Resistor 1K2 / 1/8W	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
Transistor bipolar NPN BC 547	10	R\$ 0,30	R\$ 3,00
Transistor bipolar PNP BC 557	10	R\$ 0,10	R\$ 1,00
Transistor NPN TIP 31C	2	R\$ 0,87	R\$ 1,74
TRIMPOT 5K modelo 3386F	2	R\$ 0,98	R\$ 1,96
Resistores tipo NTC 15R / 1,8A	1	R\$ 1,00	R\$ 1,00
Fusível	1	R\$ 0,22	R\$ 0,22
Porta fusível	1	R\$ 1,64	R\$ 1,64
Placa de fenolite cobreada 10x10cm	1	R\$ 7,00	R\$ 7,00
Transformador 18V / 1A	1	R\$ 16,92	R\$ 16,92
TOTAL			R\$ 40,16