



DESENVOLVIMENTO DE UMA FONTE LINEAR SIMÉTRICA DE CUSTO ACESSÍVEL PARA ATIVIDADE INTEGRADORA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4915

Autores: IGOR FORCELLI SILVA, ADELSON ATAIDE DOS SANTOS NETO, HELDER ROLIM FLORENTINO, ARTHUR BERNARDO BARBOSA, CAIO CUNHA REGO DE OLIVEIRA, SUZETE ÉLIDA NÓBREGA CORREIA

Resumo: A necessidade de utilizar fontes de alimentação que convertem e transferem energia elétrica aumentou com o avanço tecnológico, elevando a relevância da eletrônica e suas derivações nas aplicações atuais, e nos currículos de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos, onde são analisadas as topologias básicas de conversão. Visando aumentar a participação dos discentes no processo de ensino como também formar profissionais mais capacitados, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo didático de custo acessível de uma fonte linear simétrica variável que consiga fornecer 12 V e 1 A. Para sua construção foi utilizada uma carcaça reciclada de fonte ATX e desenvolvido um circuito impresso com a utilização dos reguladores LM317, LM337 e LM7805. Para aferir os resultados foram realizados testes iniciando com 2 V e variando a cada 2 V até chegar em 12 V, e sempre ajustando a carga para garantir 1 A de corrente, e obteve-se valores máximos de ondulação e queda de tensão de 2,13% e 12,62%, respectivamente.

Palavras-chave: Interdisciplinaridade. Metodologia Educacional. Protótipo didático. Regulador. Retificador.

DESENVOLVIMENTO DE UMA FONTE LINEAR SIMÉTRICA DE CUSTO ACESSÍVEL PARA ATIVIDADE INTEGRADORA

1 INTRODUÇÃO

Todos os circuitos eletrônicos necessitam de energia elétrica para funcionar. Desse modo, levando em conta que a maioria dos circuitos eletrônicos opera com baixo nível de tensão contínua, é necessário encontrar um meio de conversão da energia da rede, para utilização desses circuitos. Nessa conversão de corrente alternada (CA) para corrente contínua (CC), são usadas configurações específicas que recebem o nome de “fontes de alimentação”. Elas são usadas onde houver a necessidade de uma alteração na forma de energia elétrica que deve ser utilizada por um circuito eletrônico (Braga, 2017).

A necessidade de utilizar essas fontes de alimentação que convertem e transferem energia elétrica aumentou com o avanço tecnológico, elevando também a relevância da eletrônica e suas derivações nas aplicações atuais. Como resultado, a eletrônica é atualmente uma disciplina muito importante nos currículos de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos, onde são analisadas as topologias básicas de conversão (Delgado; Trejo, 2010).

Coutinho (2021) analisou por seis anos no curso de Engenharia Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Pará, especificamente a disciplina Eletrônica Analógica 1. Com essa análise o autor percebeu que a disciplina quando ministrada no formato tradicional, a maioria dos alunos apresentaram dificuldades nos projetos de circuitos eletrônicos, até mesmo os que obtiveram notas muito altas na disciplina. Este problema motivou a aplicação de uma metodologia híbrida, caracterizada por aulas expositivas e a metodologia de Aprendizagem Baseada em Projeto, com avaliação por competências. Obteve como consequência dessas aplicações, melhor desempenho dos alunos durante as montagens dos circuitos eletrônicos.

Segundo Pandolfo, Shibukawa e Andreola (2017) os cursos de engenharia estão entre os que possuem maiores índices de evasão e retenção dentre os cursos de ensino superior do Brasil. Sendo um dos fatores para evasão dos alunos, aulas demasiadamente teóricas em disciplinas como: circuitos elétricos, programação e eletrônica, que demandam um conhecimento prático. Visando minimizar os problemas relatados, os autores propuseram desenvolver *kits* didáticos de baixo custo para o auxílio à iniciantes em eletrônica e eletricidade básica.

É possível observar dentro das graduações de engenharia, uma grande reincidência na utilização de aulas práticas que estão limitadas a atividades simples, como simulações virtuais. Estas atividades por vez acabam sendo insuficientes didaticamente, por não trabalhar com sistemas reais e suas características, o que leva a perda do desempenho na aprendizagem. A utilização de protótipos reais em aulas práticas de eletrônica tem como papel proporcionar a análise prática do funcionamento do circuito desenvolvido, levando uma visão mais realística do processo estudado. Professores citam que é uma alternativa bem aceita pelos discentes, já que o processo possibilita uma interação mais real com o que é estudado. Logo, o desenvolvimento e a aplicação de protótipos em sala de aula permitem explorar com melhor resultado o ensino e pesquisa (Mazzoni *et al.*, 2023).

De acordo com Maina, Muhia e Opondo (2016) é importante que as diversas disciplinas de Engenharia Elétrica apresentem metodologias que possibilitem o desenvolvimento de laboratórios de baixo custo, e que estes possam ser usados para

melhorar a compreensão de conceitos importantes da Engenharia Elétrica através de exercícios práticos com equipamentos de custo acessível.

Sabe-se que dentro das áreas da engenharia há uma dificuldade muito grande no aprendizado de disciplinas como: circuitos elétricos e eletrônica. Faz-se necessário, portanto, a utilização de uma abordagem didática que torne estas disciplinas mais atrativas. É possível através de circuitos integrados (CI's), microcontroladores e *kits* didáticos desenvolver, idealizar e montar circuitos elétricos e eletrônicos possibilitando a observação, de uma forma sólida, dos fenômenos que tais disciplinas abordam (Brid *et al.*, 2013).

Visando a praticidade da alimentação dos circuitos elétricos e eletrônicos e a compreensão dos fenômenos da eletrônica, Braga (2017) diz que não adianta projetar uma fonte sofisticada, que além de ser onerosa, emprega componentes e tecnologias que não estão ao alcance dos estudantes. O autor sugere projetos de fontes lineares (analógica), pois são mais simples na montagem e as mais empregadas nas aplicações práticas da eletrônica, além de, utilizar componentes comuns, apresentam funcionamento de fácil entendimento, o que é muito importante para quem deseja ter uma fonte viável, acessível e maximizar o aprendizado em eletrônica. As fontes lineares podem ser utilizadas embutidas em um equipamento, ou podem ser equipamentos isolados para uso em bancadas de reparos, desenvolvimento e testes.

Diante dos estudos apresentados, percebe-se que existe uma dificuldade no aprendizado das disciplinas de grande importância do curso de Engenharia Elétrica, dificuldades que podem ser trabalhadas através do desenvolvimento de *kits* didáticos e equipamentos acessíveis. Desta forma pretende-se desenvolver um protótipo de uma fonte linear simétrica com ajuste individual por canal, que forneça no máximo 16 V na saída, para auxiliar na formação do estudante de Engenharia Elétrica, permitindo o desenvolvimento de práticas fora do laboratório da instituição de ensino.

Sendo assim, este artigo objetiva apresentar o desenvolvimento de um protótipo de uma fonte linear simétrica com ajuste individual por canal, de custo reduzido utilizando componentes de fácil aquisição, permitindo os discentes visualizar de forma sólida, os fenômenos abordados nas disciplinas de engenharia elétrica e proporcionar acesso fácil a uma fonte linear para realização de testes futuros durante a jornada no curso de Engenharia Elétrica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fontes de Alimentação

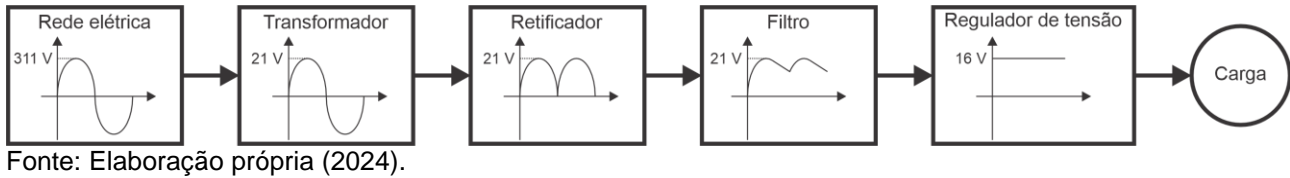
As tecnologias que predominam na construção de fontes de alimentação são basicamente três: ferro-ressonante, chaveada e linear. Cada uma dessas tecnologias tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre elas depende das necessidades da aplicação (Kujoji, 2004).

Para este estudo foi escolhida a fonte de alimentação linear, pois dentre as três tecnologias de fontes de alimentação existentes, a proposta da fonte linear apresenta: simplicidade (de fácil montagem), operação silenciosa, resposta dinâmica rápida, baixo custo, robustez e confiabilidade (Petry, 2007). Observou-se que estas características atendem completamente ao propósito desta pesquisa.

O desenvolvimento do circuito da fonte de alimentação linear proposto é construído usando transformador, retificadores, filtros e reguladores de tensão. Através de uma tensão CA abaixada pelo transformador, obtém-se uma tensão CC estável por meio da retificação desse sinal de entrada. Em seguida, realiza-se a filtragem para aquisição de um valor CC e, por fim, o sinal é regulado para uma tensão CC desejada (Boylestad; Nalhelksy, 2013).

A Figura 1 ilustra o diagrama de blocos que contém os estágios de uma fonte de alimentação típica e a forma de onda de tensão nos vários pontos do circuito.

Figura 1 – Diagrama de blocos mostrando os estágios de uma fonte de alimentação linear.

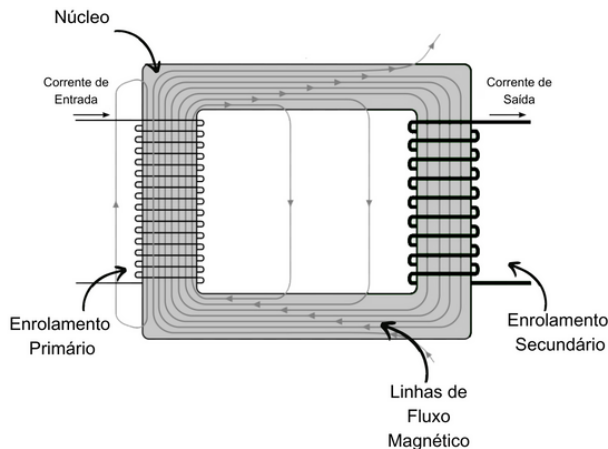


2.2 Transformador

A finalidade mais comum dos transformadores nas fontes lineares é alterar a tensão alternada da entrada, para um valor que possa ser melhor usado pelos circuitos eletrônicos. Na maioria dos casos é utilizado um transformador abaixador de tensão (Braga, 2017).

Os transformadores têm um núcleo por onde o fluxo magnético percorre e dois enrolamentos: enrolamento primário e enrolamento secundário. Quando a corrente alternada de entrada é ligada no enrolamento primário, é gerado um campo magnético proporcional ao número de voltas do fio em volta do núcleo. O fluxo magnético produzido chega ao núcleo, que apresenta alta permeabilidade magnética, permitindo a este fluxo chegar sem perdas ao enrolamento secundário, conforme ilustra a Figura 2 (Reis *et al.*, 2011).

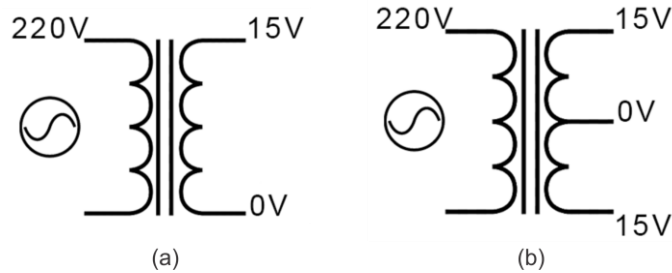
Figura 2 – Transformador simples.



No momento em que o fluxo magnético chega ao enrolamento secundário, cria-se uma corrente elétrica por indução magnética, esta segunda corrente tem variação de acordo com a corrente que entra no enrolamento primário e com o número de espiras de ambos os enrolamentos. Dessa maneira, obtém-se um novo valor de tensão, fornecido através do fluxo magnético criado pelo primeiro enrolamento (Reis *et al.*, 2011).

Para selecionar o melhor transformador para a fonte de alimentação, deve-se ter em mente que tipo de retificação será usada, já que existem características específicas de transformadores, que devem ser levadas em consideração, pois garantem um funcionamento esperado da fonte de alimentação projetada. Assim, é comum que sejam empregados transformadores com enrolamentos simples e transformadores dotados de um enrolamento com tomada central ou *center tape* (CT) conforme ilustrado na Figura 3 (Braga, 2017).

Figura 3 – Representação de um transformador. (a) Transformador com enrolamento simples. (b) Transformador com tomada central.



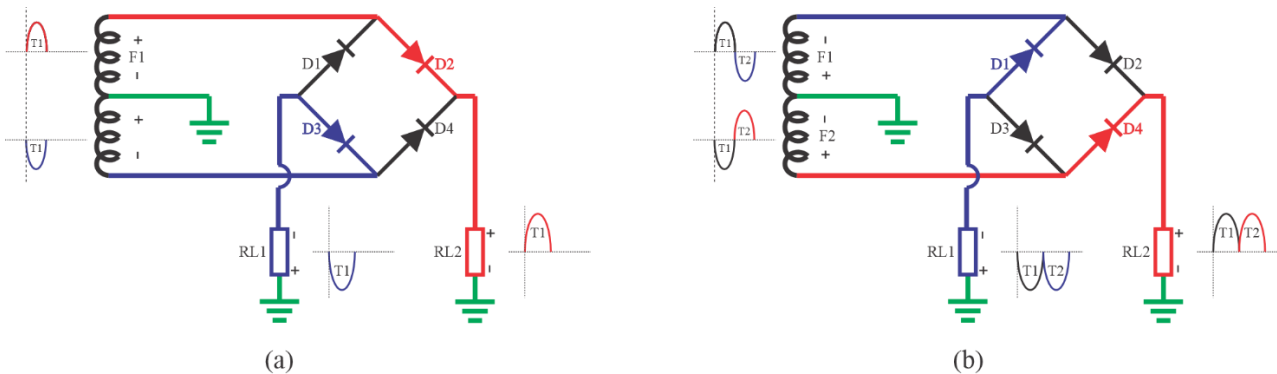
Fonte: Elaboração própria (2024).

Para o desenvolvimento deste protótipo o transformador com tomada central é a configuração ideal, visto que a retificação que se deseja é de uma onda completa, além da obtenção de uma saída simétrica. Esta configuração *center tape*, utiliza uma tomada central que é ligada na referência (*ground* ou terra), portanto, as tensões encontradas nas extremidades dos dois enrolamentos estarão em oposição de fase. Essa oposição de fase é fundamental para o processo de retificação (Braga, 2017).

2.3 Retificadores

Os circuitos chamados retificadores são formados por um ou mais diodos, estes circuitos originam uma forma de onda, que possui valor médio de uso particular no processo de conversão CA-CC. Os retificadores mais comuns utilizados nas aplicações eletrônicas básicas são os: retificadores de meia-onda e os retificadores de onda completa. O processo de remoção da metade do sinal da entrada CA, para estabelecer um nível CC é denominado retificação de meia-onda e utiliza apenas um diodo. O retificador de onda completa utiliza quatro diodos em uma configuração em ponte, garantindo um sinal de saída puramente positivo ou totalmente negativo. A configuração do retificador de onda completa em ponte é a mais empregada na construção de fontes lineares, já que o objetivo é obter uma corrente contínua na saída, que alimente os circuitos eletrônicos. Na Figura 4 é ilustrada a configuração utilizada para este projeto e sua respectiva forma de onda na saída (Boylestad; Nalhelksy, 2013).

Figura 4 – (a) Meia senoide retificada. (b) Senoide completa retificada.



Fonte: Elaboração própria (2024).

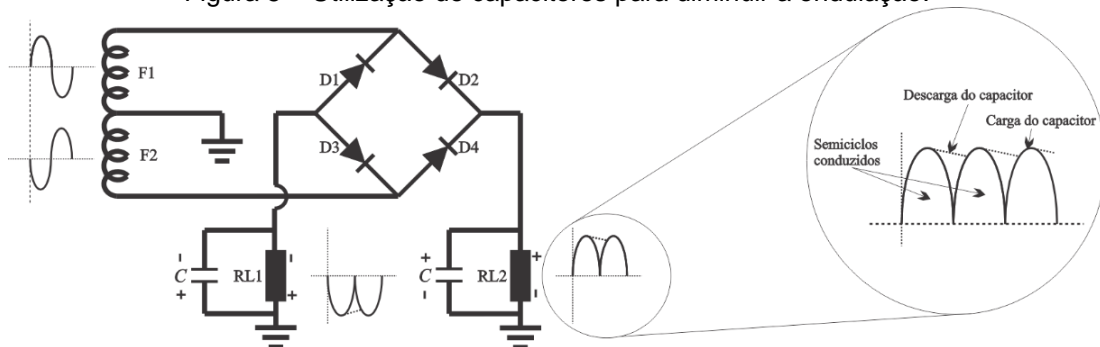
No tempo T1 (Figura 4 (a)) a fonte F1 está no semiciclo positivo, polarizando o diodo D2 e alimentando a carga RL1, conforme o caminho descrito na cor vermelha. Concomitantemente a fonte F2 está no semiciclo negativo, polarizando o diodo D3 e alimentando a carga RL2, conforme o caminho descrito na cor azul. Ao passar para o tempo

T2 (Figura 4 (b)) a fonte F1 passa para o semiciclo negativo, polarizando o diodo D1, assim alimentando a carga RL1, conforme o caminho descrito na cor azul. E por fim, a fonte F2 passa para o semiciclo positivo polarizando o diodo D4, assim alimentando a carga RL2, conforme o caminho descrito na cor vermelha. Desta forma, a carga RL1 sempre será alimentada por tensão negativa, enquanto a carga RL2 por tensão positiva.

2.4 Filtragem

A tensão obtida após o sistema retificador, quando aplicada em uma carga resistiva, resulta em uma corrente contínua pulsante. Para as aplicações práticas, entretanto, é necessário aplicar uma tensão que seja o mais estável possível, livre de qualquer variação. É preciso, então, usar capacitores para amenizar a ondulação e assim obter sobre a carga uma corrente contínua constante. A filtragem nas fontes de alimentação lineares comuns, são feitas de diversas formas, porém, o modo mais simples é o que faz uso de um capacitor, conforme exibe a Figura 5 (Braga, 2017).

Figura 5 – Utilização de capacitores para diminuir a ondulação.



Fonte: Elaboração própria (2024).

O capacitor selecionado deve ter um valor suficientemente elevado, pois quando os pulsos que saem da ponte retificadora carregam o capacitor de grande valor de capacitância, a descarga deste capacitor é mais demorada entre os semiciclos, assim obtendo uma pequena variação de tensão, como ilustrado na Figura 5 (Braga, 2017).

Esta pequena variação de tensão é denominada ondulação ou *ripple*. O *ripple* de uma fonte deve ser o menor possível, pois uma fonte com a ondulação muito elevada, quando alimenta por exemplo um circuito de áudio, como um amplificador, apresenta ruído na sua saída (Braga, 2017).

2.5 Regulador de Tensão

A tensão obtida sobre a carga após o filtro já se encontra contínua, porém, devido as características do capacitor e da própria corrente pulsante, a tensão sobre a carga vai variar conforme ela exija mais ou menos corrente, ou seja, esta tensão ainda não é regulada ou estabilizada (Braga, 2017).

Os reguladores são dispositivos que tende a linearizar o máximo a saída da fonte na tensão desejada. Em outras palavras, mesmo que haja uma variação na tensão de entrada, este deve manter um valor de saída constante e estável. Além disso, deve ser capaz de lidar com variações na corrente de carga (Reis *et al.*, 2011).

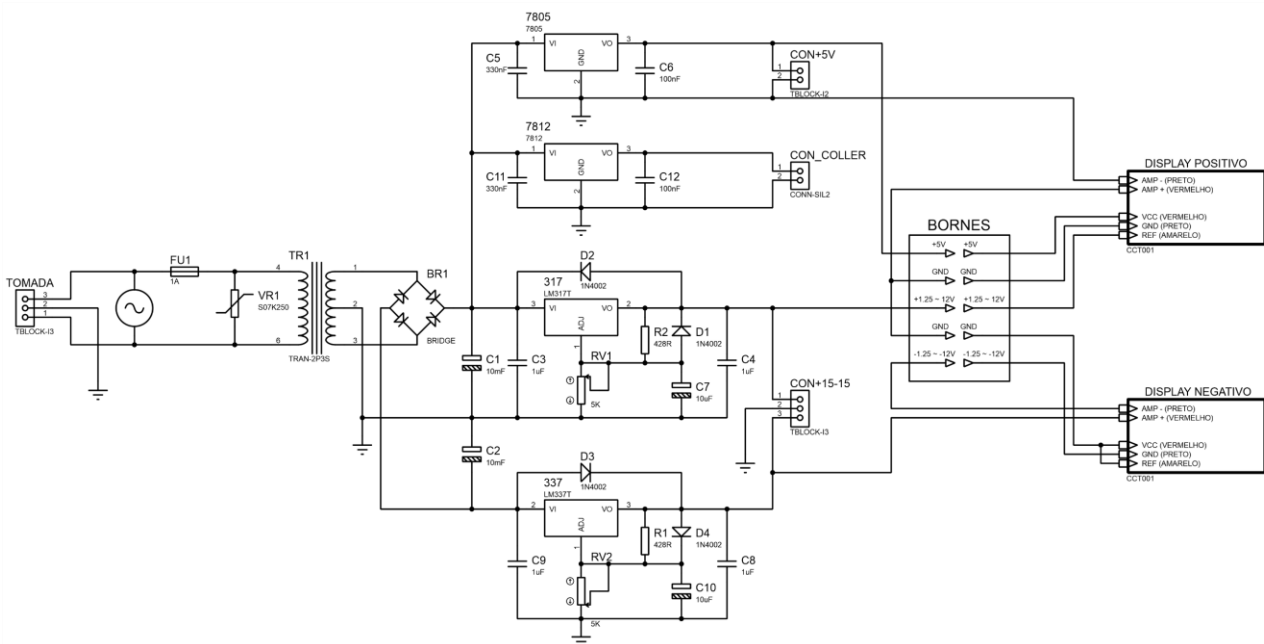
Estes dispositivos podem ser implementados como componentes discretos ou podem ser obtidos através de circuitos integrados (CI's). Existem vários tipos de reguladores de tensão, entre eles alguns são usados para gerar uma saída fixa ou saída variável. Dentro dos circuitos integrados de saída fixa pode-se citar os da série LM78XX para tensão positiva e os LM79XX para tensões negativas, onde XX refere-se ao valor de

tensão que se deseja fixar na saída. Para os reguladores de tensão variável é utilizado o CI LM 317 para tensões positivas e o LM 337 para tensões negativas, tendo em vista que são capazes de ajustar a tensão de saída variando apenas o valor da resistência nos terminais de um potenciômetro, e conseqüentemente variando a tensão entre a série do resistor com o potenciômetro (Pozzati, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 6 é ilustrado o circuito eletrônico do protótipo desenvolvido, o qual foi utilizado um transformador (TR1) com *tap* central para abaixar a tensão alternada de 220 V para 15 V, em seguida foi utilizada uma ponte retificadora (BR1) utilizando 4 diodos para efetuar a retificação de onda completa, dois capacitores (C1 e C2) de 10 mF são utilizados para amenizar o *ripple* (ondulação) de tensão, em seguida, o sinal contínuo alimentou quatro circuitos reguladores. O primeiro regulador LM7805 foi utilizado como saída de tensão fixa para alimentação dos *displays* e uma das saídas da fonte. O segundo regulador LM7812 foi utilizado apenas para alimentar o cooler para refrigeração da fonte. O terceiro regulador LM317 foi utilizado para fornecer uma tensão de saída variável entre 1,25 V e 16 V. Por fim o quarto regulador LM337 foi utilizado para fornecer uma tensão de saída variável entre -1,25 V e -16 V.

Figura 6 – Circuito eletrônico desenvolvido para o protótipo da fonte simétrica.



Fonte: Elaboração própria (2024).

O valor do capacitor foi determinado utilizando a Equação 1 (Sedra, 2005).

$$C = \frac{I_{carga}}{V_{ondulação} \cdot f}, \quad (1)$$

em que, I_{carga} é a máxima corrente solicitada pela carga; f é a frequência do sinal de saída do retificador e $V_{ondulação}$ é a máxima ondulação permitida na entrada dos reguladores.

Na Equação 2 é apresentado os parâmetros utilizados para determinar a capacitância.

$$C = \frac{I_{carga}}{V_{ondulação} \cdot f} \rightarrow C = \frac{2}{1,8 \cdot 120} \rightarrow C \cong 9,26 \text{ mF} \quad (2)$$

O valor adotado para a frequência foi em função do retificador de onda completa apresentar o dobro da frequência da rede elétrica convencional, nesse caso, 120 Hz. A corrente máxima (2 A) admitida pela carga está relacionada a máxima corrente que pode ser fornecida pelo transformador utilizado no protótipo. A tensão de ondulação foi determinada subtraindo a tensão máxima fornecida pelo transformador (21,21 V) pela queda de tensão em dois diodos (1,4 V) e a tensão mínima para o bom funcionamento dos reguladores LM317 e LM337 (18 V), resultando em 1,8 V.

Para determinar os potenciômetros de ajuste da tensão dos reguladores LM317 e LM337 foi fixado o valor de R2 (Figura 7) para 5 kΩ e utilizada a Equação 3 que é apresentada no *datasheet* do fabricante (Texas, 2024).

$$V_0 = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + (I_{ADJ} \cdot R2) \quad (3)$$

em que, V_{REF} é apresentado no *datasheet* do fabricante como 1,25 V para o sinal positivo e -1,25 V para o sinal negativo; I_{ADJ} típico apresentado pelo fabricante é 50 μA; R1 foi determinado em 428 Ω; R2 representa o valor do potenciômetro que é responsável pelo ajuste da tensão, com valor aproximado de 5 kΩ; e V_0 representa a tensão de saída dos reguladores.

Utilizando os valores apresentados foi possível determinar a tensão V_0 de saída dos reguladores, conforme apresentado na Equação 4.

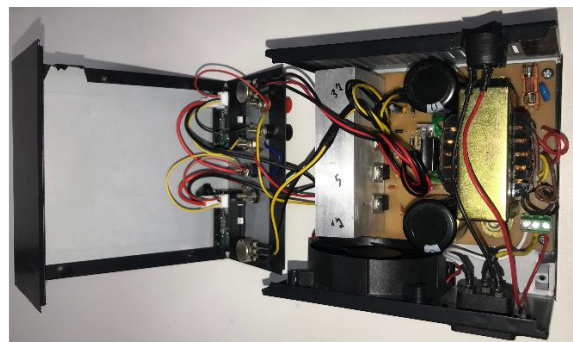
$$V_0 = \pm 1,25 \left(1 + \frac{5000}{428} \right) + (50 \mu \cdot 5000) \rightarrow V_0 \cong \pm 16,1 \text{ V} \quad (4)$$

A Figura 7 ilustra os componentes e ligações internas do protótipo desenvolvido.

Figura 7 – Visualização interna do protótipo da fonte simétrica desenvolvido. (a) Vista da tampa utilizada para acomodação do display. (b) Vista interna total do protótipo.



(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria (2024).

Na Tabela 1 são apresentados os materiais utilizados para construção do protótipo e o seu respectivo custo.

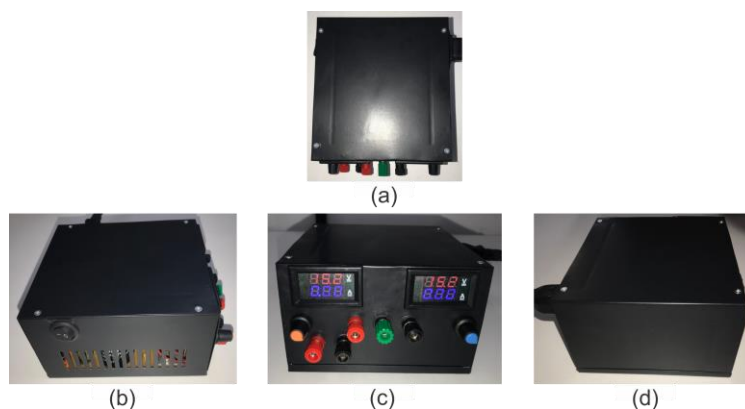
Tabela 1 - Custo dos materiais utilizados para construção do protótipo.

Descrição	Quantidade	Valor (R\$)
Bornes	3	Reciclado
Cabo de Força	1	Reciclado
Caixa de Fonte ATX	1	Reciclado
Cooler	1	Reciclado
Conector KRE 2 pinos	1	1,20
Conector KRE 3 pinos	2	3,60
Capacitor Cerâmico 100 nF x 50 V	2	0,20
Capacitor Cerâmico 330 nF x 50 V	2	0,20
Capacitor Cerâmico 1 uF x 50 V	4	0,40
Capacitor Eletrolítico 10 uF x 50 V	2	0,20
Capacitor Eletrolítico 10 mF x 50 V	2	16,00
Display Voltímetro/Amperímetro	2	60,00
Dissipador	2	Reciclado
Diodo 1N4002	4	2,00
Fusível 250 mA	1	0,50
LM7805	1	2,00
LM7812	1	2,00
LM317	1	2,00
LM337	1	2,00
Placa de Fenolite	1	Reciclado
Ponte Retificadora RS407	1	5,00
Potenciômetro Linear 5K	2	4,00
Resistor 430 Ω x 1/4W	2	0,20
Transformador 15+15 2 A	1	59,90
Varistor 7D391K	1	1,00
Total		162,40

Fonte: Elaboração própria (2024).

É ilustrado na Figura 8 as vistas referentes ao protótipo da fonte simétrica desenvolvido neste estudo.

Figura 8 – Protótipo da fonte simétrica desenvolvido. (a) Vista superior. (b) Vista lateral esquerda. (c) Vista frontal. (d) Vista lateral direita.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Conforme ilustrado na Figura 8 o protótipo desenvolvido foi construído em uma carcaça reciclada de fonte ATX, cujas dimensões foram de 150 × 86 × 140 mm, sendo assim, foi desenvolvido um circuito impresso com dimensões de 110 × 45 mm, utilizando o esquemático apresentado na Figura 6. Foram feitos furos na carcaça para colocar os bornes, potenciômetros, *displays* e botão de ligar. Em seguida a fonte foi envelopada com papel vinílico e todos os componentes foram encaixados.

Os medidores de corrente e tensão presentes nos *displays* do protótipo da fonte simétrica (7) foram calibrados utilizando um multímetro Minipa ET-1002. Para a realização dos ensaios foram utilizados quatro multímetros de mesmo modelo, sendo dois multímetros para medição de corrente (1) e tensão (2) do canal variável positivo, e dois para medição de corrente (3) e tensão (4) do canal variável negativo. Como cargas foram utilizados dois reostatos (5)(6) que apresentam resistências e correntes máximas de 50 Ω e 5 A, respectivamente. Os componentes descritos para realização dos ensaios são ilustrados na Figura 9.

Figura 9 – Equipamentos utilizados para realização dos ensaios.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Adicionalmente foi utilizado um osciloscópio Agilent de modelo DSO-X 2012A, para verificar a ondulação do sinal de saída dos canais ao aplicar a carga resistiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados testes iniciando com 2 V e variando a cada 2 V até chegar em 12 V, e sempre ajustando a carga para garantir 1 A de corrente, objetivando a medição da ondulação de tensão para cada canal de saída da fonte, visando verificar se o protótipo desenvolvido consegue fornecer os parâmetros de projeto definidos inicialmente, que foram 1 A de corrente e 12 V de tensão na saída de cada canal variável. O canal fixo foi ajustado para 0,72 A, visto que, valores superiores não garantiam a estabilidade na tensão fornecida pelo regulador. Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados com o protótipo desenvolvido.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios realizados com o protótipo desenvolvido.

Medição Canal	Display			Multímetro			Ondulação (%)	Queda de tensão (%)
	Tensão sem carga (V)	Tensão com carga (V)	Corrente (A)	Tensão sem carga (V)	Tensão com carga (V)	Corrente (A)		
Positivo	2	1,9	1,01	2,14	1,87	1,04	2,13	12,62
	4	3,6	1,01	4,02	3,7	1,04	1,23	7,96
	6	5,8	1,03	6,09	5,75	1,07	0,62	5,58
	8	7,6	1,03	8,1	7,73	1,07	0,55	4,57
	10	9,7	1,02	10,14	9,73	1,06	0,36	4,04
	12	11,7	1,03	12,09	11,72	1,08	0,28	3,06
Negativo	-----	-----	-----	2,08	1,86	1,04	1,81	10,58
	4	3,8	1,03	4,09	3,8	1,1	0,92	7,09
	6	5,7	1,03	6,07	5,7	1,09	0,71	6,10
	8	7,7	1,03	8,08	7,66	1,08	0,47	5,20
	10	9,5	1,03	10,07	9,6	1,09	0,38	4,67
	12	11,6	1,02	12,1	11,57	1,08	0,30	4,38
Fixo (5 V)				4,98	5,02	0,72	0,38	0,8

Fonte: Elaboração própria (2024).

Percebeu-se que tanto a ondulação quanto a queda de tensão diminuiu com o aumento da tensão na saída, isto ocorreu pelo fato de que a tensão aplicada aos reguladores para os canais positivo e negativo ser 21,21 V, logo quanto menor for a tensão na saída do canal maior será a potência dissipada pelo regulador, visto que, a diferença entre a tensão aplicada no regulador e a tensão fornecida no canal, diminui com o aumento na tensão de saída do canal desejado.

Em relação à ondulação, o valor obtido para todos os canais é aceitável, visto que, são inferiores a 2,5%. Para o ajuste realizado para o amperímetro/voltímetro no canal negativo, ao utilizar os dois canais simultaneamente, apenas o *display* do canal negativo registra o valor de corrente e o valor mínimo de tensão registrado no display é 3 V.

Por fim, apesar do valor calculado para a saída dos reguladores ser por volta de $\pm 16,1$ V (Equação 4), por conta da diferença dos valores dos potenciômetros e resistores utilizados no circuito, obteve-se para o canal positivo variável tensão entre 1,25 V e 16,4 V e para o canal negativo variável tensão entre -1,25 V e -15,3 V. Foi calculado um valor maior para a saída dos canais visando minimizar a queda de tensão quando aplicada uma carga que demandasse 1 A de corrente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um protótipo didático de uma fonte simétrica para utilização em práticas de laboratório. Neste contexto, foi utilizado um transformador com *tap* central para abaixar a tensão da fonte de alimentação convencional e permitir a simetria, para retificação em onda completa foi utilizada uma ponte de diodos e para amenizar a ondulação capacitores, por fim, foram utilizados reguladores ajustáveis para valor positivo e negativo de tensão. De forma geral, os resultados alcançados neste estudo indicam que o protótipo desenvolvido pode ser utilizado em laboratório ou mesmo em casa para a realização de experimentos nas disciplinas de circuitos elétricos e eletrônica. O protótipo apresenta vantagens como custo acessível e interdisciplinaridade, visto que, são necessários conhecimentos de eletrônica e circuitos elétricos para o seu desenvolvimento. Estes resultados indicam que o protótipo de fonte simétrica desenvolvido

possibilita o aumento da expectativa dos discentes em estudos envolvendo eletrônica, assim, tornando-o viável para utilização em atividades integradoras.

Acredita-se que algumas melhorias podem ser realizadas em trabalhos futuros visando aumentar a capacidade de corrente fornecida pelo canal fixo e minimizar a queda de tensão do canal negativo. Essas melhorias incluem:

- I. Diminuir a tensão aplicada ao LM7805 visando diminuir a potência dissipada sobre o componente;
- II. Utilizar outro *display* que possibilite a medição de tensão negativa;
- III. Utilizar um amperímetro que possua terminal de referência isolado da alimentação.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, do Campus João Pessoa e Itabaiana, e ao PETEE-IFPB (Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba), pelo apoio técnico e financeiro.

REFERÊNCIAS

BRAGA, C. N. **Fontes de alimentação – Volume 1**. Editora Newton C. Braga, 2017.

BRIDI, E. *et al.* **Oficina de Arduíno como ferramenta interdisciplinar no curso de engenharia elétrica da UFMT: A experiência do PET-Elétrica**. In: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE 2013). 2013.

BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, 11a ed, Prentice-Hall do Brasil, 2013.

COUTINHO, R. F. **UMA NOVA MANEIRA DE ENSINAR ELETRÔNICA ANALÓGICA UTILIZANDO AVALIAÇÃO POR COMPETÊNCIAS**. In: Educação em Engenharia: Aplicações no Ensino em Engenharia. Editora IFPB, 2021.

DELGADO, C. D. U.; TREJO, E. D. R. **Educational experiments in power electronics and control theory: Dc switched power supplies**. International Journal of Electrical Engineering Education, v. 47, n. 4, p. 430-447, 2010.

KOFUJI, S. T. **Fontes chaveadas**. In: Apostila teórica do curso de eletrônica experimental. Apostila do curso oferecido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAINA, W. C.; MUHIA, A.; OPONDO, J. **A low cost laboratory for enhanced electrical engineering education**. In: 2016 IST-Africa Week Conference. IEEE, 2016. p. 1-8.

MAZZONI, F. M. *et al.* **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE TAMBOREAMENTO AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO, UTILIZANDO A PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ELETRÔNICA ARDUÍNO**.

<https://dspace.doctum.edu.br/>: DOCTUM, 2023.

PANDOLFO, G. E. E.; SHIBUKAWA, H. G.; ANDREOLA, R. **KIT DIDÁTICO DE BAIXO CUSTO PARA LECIONAR ELETRÔNICA E PROGRAMAÇÃO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO**. In: X EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica (24 à 26 de Outubro de 2017). 2017.

PETRY, C. A. **Fontes lineares x Fontes chaveadas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis. fev. 2007. 19 slides. Apresentação em Power-point.

POZZATI, E. **Projeto e análise de uma fonte chaveada em alta frequência para laboratório de ensino com saídas: $\pm 12\text{ v}$, $\pm 5\text{ v}$, $\pm 3,3\text{ v}$ e variável até 25 v** . Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

REIS, A. L. E. *et al.* **Teoria Geral das Fontes de Alimentação**. Tutorial: Fonte Linear de Tensão. 2011. Disponível em < <https://acesse.dev/36nD8>>. Acesso em: 14 mar. 2024.

SEDRA, S.; SMITH, K.. **Microeletrônica**. 4ª. Edição, Pearson Makron Books, São Paulo, Brasil, 2005.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM317** Datasheet. Disponível em:< <https://www.ti.com/product/LM317>>. Acesso em: 14 mar. 2024.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM337** Datasheet. Disponível em:< <https://www.ti.com/product/LM337>>. Acesso em: 14 mar. 2024.

TEXAS INSTRUMENTS. **7805** Datasheet. Disponível em:< <https://www.ti.com/product/LM7800/part-details/LM7805CT/NOPB>>. Acesso em: 14 mar. 2024.

TEXAS INSTRUMENTS. **7812** Datasheet. Disponível em:< <https://www.ti.com/product/LM7800/part-details/LM7812S/NOPB>>. Acesso em: 14 mar. 2024.

DEVELOPMENT OF A COST-AFFORDABLE SYMMETRIC LINEAR SOURCE FOR INTEGRATIVE ACTIVITY

Abstract: *The need to use power supplies that convert and transfer electrical energy has increased with technological advancement, increasing the relevance of electronics and its derivations in current applications, and in the curricula of Electrical and Electronic Engineers, where basic conversion topologies are analyzed. Aiming to increase student participation in the teaching process as well as train more qualified professionals, this work proposes the development of an affordable didactic prototype of a variable symmetric linear source that can supply 12 V and 1 A. For its construction, a recycled ATX power supply housing was used and a printed circuit was developed using the LM317, LM337 and LM7805 regulators. To evaluate the results, tests were carried out starting with 2 V and varying every 2 V until reaching 12 V, and always adjusting the load to guarantee 1 A of current, and maximum ripple and voltage drop values of 2.13% and 12.62%, respectively.*

Keywords: *Interdisciplinarity. Educational Methodology. Didactic prototype. Regulator. Rectifier.*

