

Gisele Ribeiro Gomes
Gabriel Marques de Silva Abreu
Matheus Paolo dos Anjos Mourão
Paulo Chaves dos Santos Júnior

Relatório III

Rio Branco, Acre

2017

Gisele Ribeiro Gomes
Gabriel Marques de Silva Abreu
Matheus Paolo dos Anjos Mourão
Paulo Chaves dos Santos Júnior

Relatório III

Relatório de Laboratório de Eletrônica I, entregue para a composição parcial da nota da N1. Orientador : Elmer Osman Hancoco

Universidade Federal do Acre - UFAC

Bacharelado em Engenharia Elétrica

Laboratório de Eletrônica I

Rio Branco, Acre

2017

Resumo

Nesse relatório, foi estudada e implementada a aplicação de diodos e transformadores para circuitos de retificação de onda, bem como a obtenção e análise das diferentes formas de ondas geradas por esses circuitos. Foram também realizadas simulações através do software *Multisim* para a comparação dos valores experimentais, com os valores obtidos na simulação.

Palavras-chaves: diodo, retificador de onda, multisim

Abstract

This report studied and implemented the application of diodes and transformers for grinding circuits, as well as the collection and analysis of different forms of waves generated by these circuits. Simulations were also performed through the Multisim software for comparison between the experimental values and the values obtained in the simulation.

Keyword: diode, rectifier circuit, multisim

Lista de ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Simbologias de transformadores | 9 |
| Figura 2 – Transformador com Núcleo de Ferrite | 10 |
| Figura 3 – Transformador Monofásico Simples | 10 |
| Figura 4 – Princípio de funcionamento do transformador elétrico | 11 |
| Figura 5 – Características construtivas de um transformador | 12 |
| Figura 6 – A figura 5a traz o diagrama esquemático deste circuito com uma carga resistiva e a figura 5b as formas de onda em cada elemento. | 13 |
| Figura 7 – Retificador de onda completa em ponte. | 14 |
| Figura 8 – Retificador de onda completa com trafo de derivação central. | 15 |
| Figura 9 – Circuito com tensão contínua a ser simulado. | 17 |
| Figura 10 – Circuito com diodo em condução | 17 |
| Figura 11 – Circuito com diodo em condução. | 18 |
| Figura 12 – Simulação do circuito 1 | 18 |
| Figura 13 – Simulação circuito 2 | 20 |
| Figura 14 – Simulação do circuito 3 | 21 |
| Figura 15 – Circuito retificador de meia onda | 23 |
| Figura 16 – Simulação retificador de meia onda | 23 |
| Figura 17 – Retificador de meia onda (Osciloscópio) | 24 |
| Figura 18 – Onda de saída com o simulador | 25 |
| Figura 19 – Onda de saída com o osciloscópio | 25 |
| Figura 20 – Circuito retificador em ponte com transformador. | 26 |
| Figura 21 – Onda de entrada (amarela) e onda na carga (azul). | 27 |
| Figura 22 – Simulação do circuito retificador de onda completa | 28 |
| Figura 23 – Circuito retificador de onda completa com tap central. | 28 |
| Figura 24 – Fonte | 30 |
| Figura 25 – Secundário (T1) | 30 |
| Figura 26 – Secundário (T2) | 30 |
| Figura 27 – Diodo (D1) | 31 |
| Figura 28 – Carga | 31 |
| Figura 29 – 60 Hz - Senoidal | 32 |
| Figura 30 – 60 Hz - Senoidal | 32 |
| Figura 31 – 60 Hz - Quadrada | 32 |
| Figura 32 – 60 Hz - Quadrada | 32 |
| Figura 33 – 1 kHz - Senoidal | 33 |
| Figura 34 – 1 kHz - Senoidal | 33 |
| Figura 35 – 1 kHz - Quadrada | 33 |

| | |
|--|----|
| Figura 36 – 1 kHz - Quadrada | 33 |
| Figura 37 – 10 kHz - Senoidal | 33 |
| Figura 38 – 10 kHz - Senoidal | 33 |
| Figura 39 – 10 kHz - Quadrada | 34 |
| Figura 40 – 10 kHz - Quadrada | 34 |
| Figura 41 – 100 kHz - Senoidal | 34 |
| Figura 42 – 100 kHz - Senoidal | 34 |
| Figura 43 – 100 kHz - Quadrada | 34 |
| Figura 44 – 100 kHz - Quadrada | 34 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Dados do circuito 1 (Simulação) | 19 |
| Tabela 2 – Dados do circuito 1 (Experimento) | 20 |
| Tabela 3 – Dados do circuito 2 (Simulação) | 21 |
| Tabela 4 – Dados do circuito 2 (experimento) | 21 |
| Tabela 5 – Dados circuito 3 (Simulação) | 22 |
| Tabela 6 – Dados do circuito 3 (Experimento) | 22 |
| Tabela 7 – Dados retificador de meia onda (simulação) | 24 |
| Tabela 8 – Dados Retificador de meia onda (Experimento) | 25 |
| Tabela 9 – Dados do circuito retificador onda completa em ponte com transformador. | 27 |
| Tabela 10 – Dados do circuito 1 (Simulação) | 29 |
| Tabela 11 – Dados do circuito 1 (Simulação) | 30 |
| Tabela 12 – Dados obtidos no osciloscópio | 31 |

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Introdução | 8 |
| 1 | INTRODUÇÃO TEÓRICA | 9 |
| 1.1 | Simbologia | 9 |
| 1.2 | Características construtivas de um Trafo | 10 |
| 1.3 | Perdas no transformador | 11 |
| 1.4 | Retificador | 12 |
| 1.4.1 | Retificador de Meia Onda | 12 |
| 1.4.1.1 | Funcionamento do circuito | 13 |
| 1.4.2 | Retificador de onda completa em ponte | 13 |
| 1.4.2.1 | Funcionamento do circuito | 14 |
| 1.4.3 | Retificador de onda completa com trafo de derivação central | 15 |
| 1.4.3.1 | Funcionamento do circuito | 16 |
| 2 | PROCEDIMENTOS E RESULTADOS | 17 |
| 2.1 | Tarefa I | 17 |
| 2.1.1 | Procedimento | 17 |
| 2.1.2 | Resultado | 18 |
| 2.2 | Tarefa II | 22 |
| 2.2.1 | Procedimento | 22 |
| 2.2.2 | Resultado | 23 |
| 2.3 | Tarefa III | 26 |
| 2.3.1 | Procedimento | 26 |
| 2.3.2 | Resultado | 26 |
| 2.4 | Tarefa IV | 28 |
| 2.4.1 | Procedimento | 28 |
| 2.4.2 | Resultado | 28 |
| 2.5 | Tarefa V | 31 |
| 2.5.1 | Procedimento | 31 |
| 2.5.2 | Resultado | 31 |
| 3 | CONCLUSÃO | 35 |
| | REFERÊNCIAS | 36 |

Introdução

Os circuitos retificadores servem para a conversão de corrente alternada em corrente contínua. Utiliza-se para este processo elementos semicondutores, tais como os diodos e transistores, além de um transformador, que pode ser simples ou com derivação central. Os experimentos a serem detalhados a seguir foram realizados mediante a utilização de software simulador de circuitos elétricos (Multisim), que foram em seguida comparados aos valores experimentais em laboratório. Compreender todos os estágios envolvidos em um circuito retificador é de extrema importância para o processo de geração e aproveitamento da energia elétrica, posto que grande parte dos componentes eletrônicos modernos funcionam apenas alimentados por corrente contínua.

1 Introdução teórica

Os transformadores (chamados também de trafos) são utilizados numa gama muito variada de aplicações de processamento de informação e de energia eléctrica. Salientam-se, entre outras, a elevação e a redução da tensão e do número de fases em redes de transporte e distribuição de energia eléctrica, a redução da tensão ou da corrente em instrumentos de medida, a adaptação de impedâncias em amplificadores sintonizados em aplicações de radiofrequência e frequência intermédia, a adaptação de resistências em aplicações áudio, ou simplesmente o isolamento galvânico entre partes de um mesmo circuito eléctrico. O princípio básico de funcionamento de um transformador é o fenómeno conhecido como indução eletromagnética: quando um circuito é submetido a um campo magnético variável, aparece nele uma corrente eléctrica cuja intensidade é proporcional às variações do fluxo magnético.

1.1 Simbologia

Tradicionalmente, quando representados em diagramas eléctricos, os transformadores possuem simbologias que expressam seus dois enrolamentos (primário e secundário) como pode-se observar na ilustração a seguir:

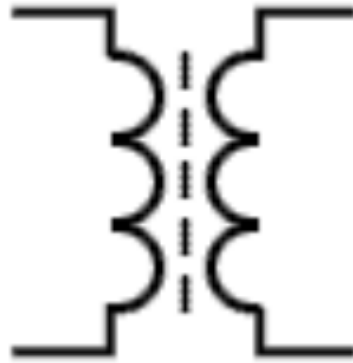
Outras simbologias são apresentadas em diversas literaturas disponíveis, no entanto, as simbologias acima apresentadas são as mais usuais para transformadores monofásicos.
//

Figura 1 – Simbologias de transformadores



Fonte:([MORAES](#),)

Figura 2 – Transformador com Núcleo de Ferrite

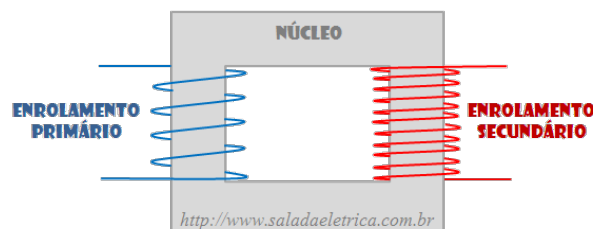
Fonte:([CIRCUITOAMIGO](#),)

1.2 Características construtivas de um Trafo

Um transformador simples pode ser dividido em três principais partes:

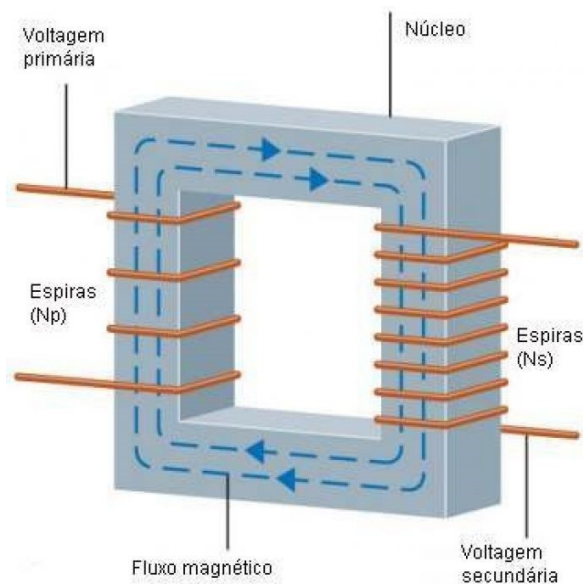
- Enrolamento Primário;
- Enrolamento Secundário;
- Núcleo.

Figura 3 – Transformador Monofásico Simples

Fonte:([MORAES](#),)

Os transformadores, na sua forma mais simples (figura 3), consistem de dois enrolamentos de fio (o primário e o secundário), que geralmente envolvem os braços de um quadro metálico (o núcleo). Quando uma corrente alternada é aplicada ao primário produz um campo magnético proporcional à intensidade dessa corrente e ao número de espiras do enrolamento (número de voltas do fio em torno do braço metálico). Através do metal, o fluxo magnético quase não encontra resistência e, assim, concentra-se no núcleo, em grande parte, e chega ao enrolamento secundário com um mínimo de perdas. Ocorre, então, a indução eletromagnética: no secundário surge uma corrente elétrica, que varia de acordo com a corrente do primário e com a razão entre os números de espiras dos dois enrolamentos. //

Figura 4 – Princípio de funcionamento do transformador elétrico



Fonte: (SIGMATRANSFORMADORES,)

A relação entre as tensões no primário e no secundário, bem como entre as correntes nesses enrolamentos, pode ser facilmente obtida: se o primário tem N_p espiras e o secundário N_s , a tensão no primário (V_p) está relacionada à tensão no secundário (V_s) por $V_p/V_s = N_p/N_s$, e as correntes por $N_p/N_s = I_s/I_p$. Por esta proporcionalidade concluímos que um transformador reduz a tensão se o número de espiras do secundário for menor que o número de espiras do primário e vice-verso.

Além das simbologias apresentadas, temos os tipos mais comuns de transformadores com configurações de bobinas: //

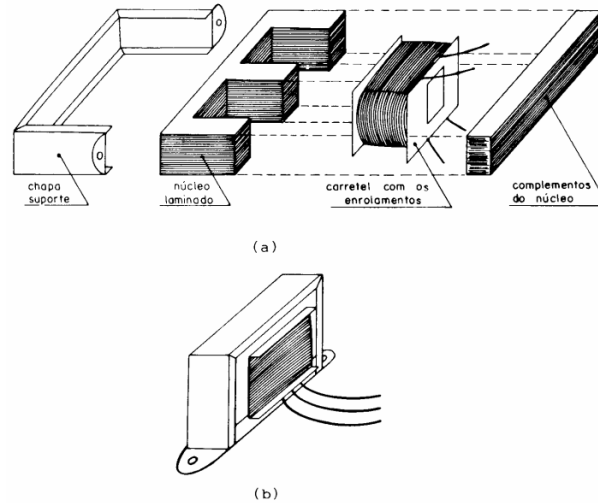
***** tabelão ***** //

1.3 Perdas no transformador

As principais perdas em um transformador ocorrem nos enrolamentos e no núcleo. Nos enrolamentos, devido à resistência ôhmica do fio, parte da energia é convertida em calor por Efeito Joule, causando perdas denominadas perdas no cobre. No núcleo, temos perdas causadas pela reversão magnética cada vez que a corrente muda de sentido (Ciclo de Histerese), pela dispersão de linhas de campo magnético e pelas correntes parasitas de Foucault, que induzidas no núcleo o aquecem, reduzindo o campo principal. Para evitar as correntes de Foucault, o núcleo é constituído por chapas laminadas, isoladas por um verniz e solidamente agrupadas. Para diminuir as perdas por Histerese o material das chapas é composto de aço-silício. Para reduzir a dispersão de fluxo, todo o conjunto tem um formato apropriado, onde os enrolamentos primário e secundário são, através de um carretel,

colocados na parte central, concentrando dessa maneira as linhas de campo magnético. A Figura 4 mostra um transformador com as características construtivas citadas.

Figura 5 – Características construtivas de um transformador



Fonte:([ARAÚJO](#),)

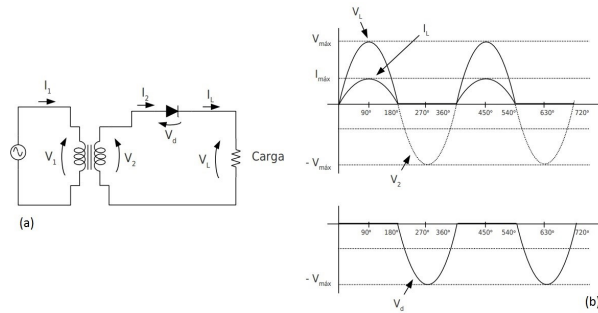
1.4 Retificador

O circuito que transforma a CA em CC, se chama de retificador, ou seja, faz com que a corrente na carga circule em um único sentido. Existem dois tipos de retificadores: Retificador de meia onda e retificador de onda completa.

1.4.1 Retificador de Meia Onda

O diodo tem a característica de conduzir corrente somente num sentido e devido a esta característica unidirecional, o mesmo é utilizado para retificar. O diodo ideal com polarização direta comporta como uma chave fechada e com polarização reversa comporta como uma chave aberta. O diodo tem resistência direta muito baixa e resistência reversa muito alta.

Figura 6 – A figura 5a traz o diagrama esquemático deste circuito com uma carga resistiva e a figura 5b as formas de onda em cada elemento.



Fonte: (MELO,)

1.4.1.1 Funcionamento do circuito

Como a corrente está no sentido do diodo, ele estará polarizado diretamente e conduz. Tendo assim que a corrente circula passando pelo diodo e carga. Na parte negativa, a corrente inverte o sentido, fazendo com que o diodo esteja polarizado inversamente e não conduz. Tem-se corrente na carga somente nos semiciclos positivos de entrada. Os semiciclos positivos passam para a saída e os semiciclos negativos ficam no diodo. A frequência de ondulação na saída é igual à frequência de entrada. O retificador de meia onda tem baixa eficiência.

Para este circuito podemos escrever algumas expressões importantes para a determinação das características do nosso diodo. Muitas delas não serão demonstradas e simplesmente apresentadas, pois suas demonstrações necessitam de técnicas matemáticas mais avançadas. As expressões são:

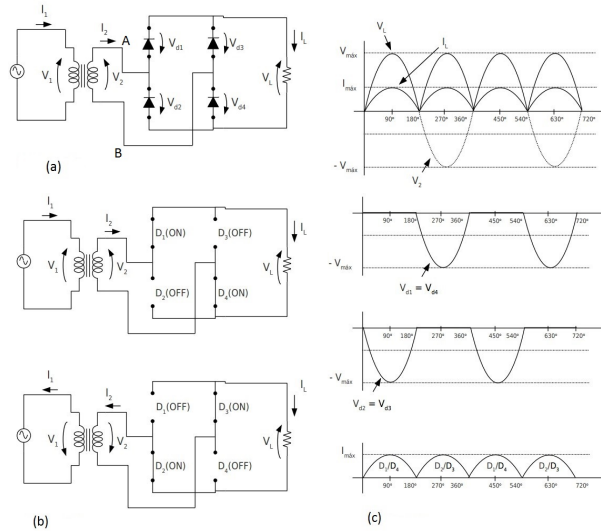
| | |
|---------------------------------|--|
| Corrente secundária | $I_2 = \frac{V_{max}}{R_L}$ |
| Tensão média na carga | $V_{med} = \frac{V_{max}}{\pi}$ |
| Corrente média na carga | $I_{cc} = \frac{I_{max}}{\pi} = \frac{V_{max}}{R_L \cdot \pi}$ |
| Tensão inversa média no diodo | $V_{dmed} = -\frac{V_{max}}{\pi}$ |
| Tensão de pico inversa no diodo | V_{max} |
| Corrente média no diodo | I_{cc} |

1.4.2 Retificador de onda completa em ponte

O circuito em ponte utiliza quatro diodos ligados conforme mostra a figura 6a. Este circuito utiliza uma transformador de secundário simples, tendo como vantagem a não

utilização de um transformador com tape central ou center tape. Na figura 6b temos a sequência de condução dos diodos, e na figura 6c as principais formas de onda no circuito. Observe que neste circuito o diodo não possui mais como tensão reversa $2V$ máx, e sim a metade deste valor, que em alguns casos é essencial esta situação, pois quanto maior a tensão reversa do diodo mais oneroso pode se tornar o circuito.

Figura 7 – Retificador de onda completa em ponte.



Fonte: (MELO,)

1.4.2.1 Funcionamento do circuito

O retificador em ponte dispensa o uso do transformador com tomada central. Com isto, pode-se ter um retificador de onda completa ligado diretamente à rede elétrica. Quando A é positivo em relação a B, a corrente sai de A passa por D_1 , R_L , D_3 e chega ao ponto B. Quando A é negativo em relação a B, a corrente sai de B passa por D_2 , R_L , D_4 e chega ao ponto A. Conduzem somente dois diodos de cada vez. Quando o ponto A é positivo D_1 e D_3 conduzem. Quando o ponto A é negativo D_2 e D_4 conduzem. Para qualquer polaridade de A ou de B a corrente I_L circula num único sentido em R_L e por isto, a corrente em R_L é contínua. Temos somente os semiciclos positivos na saída. A frequência de ondulação na saída é o dobro da frequência de entrada.

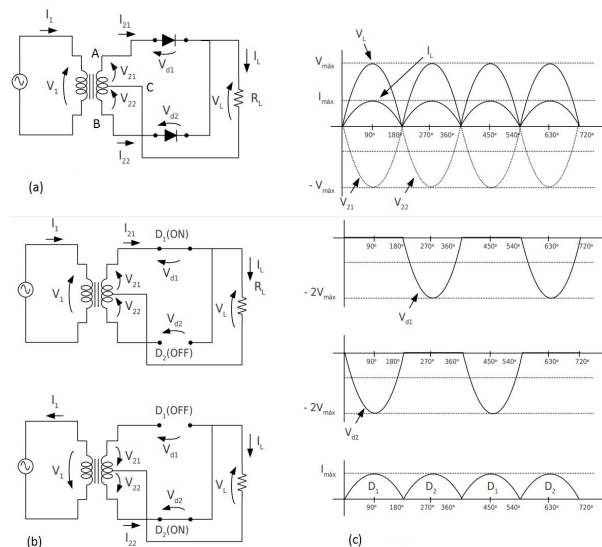
As expressões para as tensões e correntes nos elementos do circuito e na carga são dadas na tabela a seguir.

| | |
|---------------------------------|--|
| Corrente secundária | $I_2 = \frac{V_{max}}{R_L}$ |
| Tensão média na carga | $V_{med} = \frac{2V_{max}}{\pi}$ |
| Corrente média na carga | $I_{cc} = \frac{2I_{max}}{\pi} = \frac{2V_{max}}{R_L \cdot \pi}$ |
| Tensão eficaz na carga | $V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$ |
| Corrente eficaz na carga | $I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$ |
| Tensão inversa média no diodo | $V_{d_{med}} = -\frac{V_{max}}{\pi}$ |
| Tensão de pico inversa no diodo | V_{max} |
| Corrente média no diodo | $\frac{I_{cc}}{2}$ |

1.4.3 Retificador de onda completa com trafo de derivação central

Este circuito, é apresentado no circuito da figura 7a. Neste circuito temos apenas dois diodos, onde um dos diodos conduz um semiciclo da corrente e o outro diodo conduz o outro semiciclo da corrente. Isto só é possível porque o transformador possui uma derivação central ou center tape – CT. Na realidade é como se fosse um transformador com uma primário e dois secundários ligado em série, sendo o ponto de ligação destes o CT. Desta forma, cada enrolamento irá fornecer corrente para um semi ciclo da onda. A figura 7b traz a sequência de condução dos diodos como sendo ON para diodo conduzindo e OFF para diodo não conduzindo, e a figura 7c as formas de ondas nos elementos do circuito.

Figura 8 – Retificador de onda completa com trafo de derivação central.



Fonte: (MELO,)

1.4.3.1 Funcionamento do circuito

Este circuito é também denominado de retificador de onda completa convencional. Há uma defasagem de 180° entre as tensões de saída do transformador, VA e VB. As tensões VA e VB são medidas em relação ao ponto C (0V). Quando A é positivo, B é negativo, a corrente sai de A passa por D1 e RL e chega ao ponto C. Quando A é negativo, B é positivo, a corrente sai de B passa por D2 e RL e chega ao ponto C. Para qualquer polaridade de A ou de B a corrente IL circula num único sentido em RL e por isto, a corrente em RL é contínua. Temos somente os semiciclos positivos na saída. A frequência de ondulação na saída é o dobro da frequência de entrada. Da mesma forma podemos escrever as expressões para as tensões e correntes nos elementos do circuito e na carga:

| | |
|---------------------------------|--|
| Corrente secundária | $I_2 = \frac{V_{max}}{R_L}$ |
| Tensão média na carga | $V_{med} = \frac{2V_{max}}{\pi}$ |
| Corrente média na carga | $I_{cc} = \frac{2I_{max}}{\pi} = \frac{2V_{max}}{R_L \cdot \pi}$ |
| Tensão inversa média no diodo | $V_{d_{med}} = -\frac{2V_{max}}{\pi}$ |
| Tensão de pico inversa no diodo | $2V_{max}$ |
| Corrente média no diodo | $\frac{I_{cc}}{2}$ |

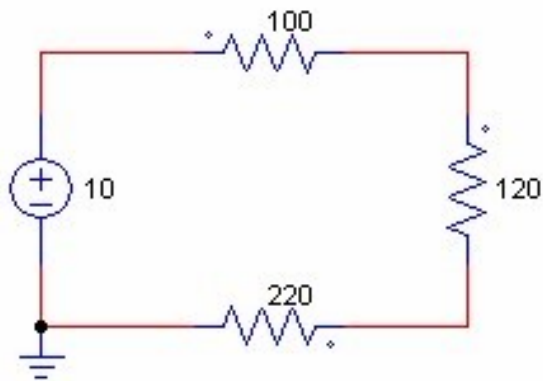
2 Procedimentos e resultados

2.1 Tarefa I

2.1.1 Procedimento

- a) Para iniciar a simulação de circuitos com o Multisim sugere-se que seja simulado um circuito com tensão contínua e resistores, mostrado na figura 1. Simule o circuito e obtenha os valores solicitados na tabela.

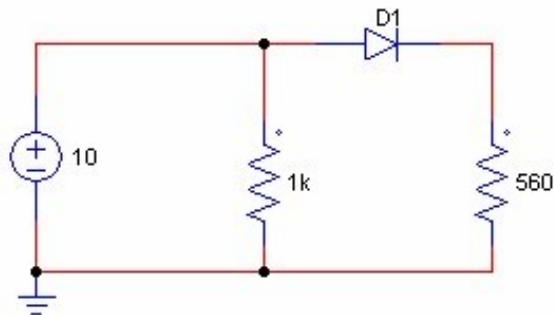
Figura 9 – Circuito com tensão contínua a ser simulado.



Fonte:([INSTRUMENTS](#),)

Inicialmente simular o circuito da figura 2 e verificar se o diodo está em condução, além de determinar as grandezas solicitadas na tabela 2.

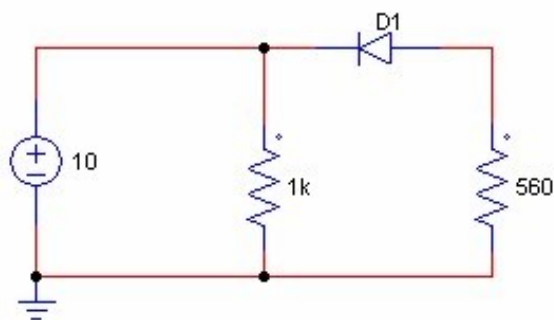
Figura 10 – Circuito com diodo em condução



Fonte:([INSTRUMENTS](#),)

- b) A seguir, simule o circuito da figura 3, no qual o diodo deve estar bloqueado. Verifique se isto é verdadeiro e, além disso, anote as grandezas solicitadas na tabela 3.

Figura 11 – Circuito com diodo em condução.

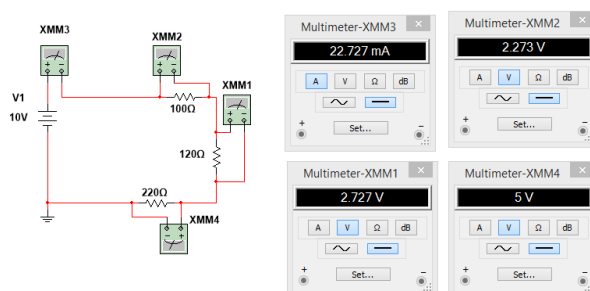


Fonte:(INSTRUMENTS,)

2.1.2 Resultado

a) A simulação foi realizada usando o software Multisim, como segue na figura.

Figura 12 – Simulação do circuito 1



Fonte:(INSTRUMENTS,)

A tabela foi construída com base dos valores da simulação.

Tabela 1 – Dados do circuito 1 (Simulação)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor obtido</i> |
|------------------|-----------------|---------------------|
| Fonte | Corrente (mA) | 22,727 |
| | Potencia (W) | 0,227 |
| | Tensão (V) | 2,273 |
| Resistor de 100Ω | Potência (W) | 0,052 |
| | Corrente (mA) | 22,727 |
| | Tensão (V) | 2,727 |
| Resistor 120Ω | Potência (W) | 0,062 |
| | Corrente (mA) | 22,727 |
| | Tensão (V) | 5 |
| Resistor 220Ω | Potência (W) | 0,114 |
| | Corrente (mA) | 22,727 |
| | Tensão (V) | |

A próxima tabela refere-se aos dados obtidos com a construção do circuito 1. Tal construção foi realizada com o auxílio de uma protoboard. Nota-se que os valores obtidos da corrente de todos os elementos foi o mesmo, isso se deu porque tratava-se de um circuito em série. A potência foi obtida (tanto na simulação, quanto no experimento) por meio da formula abaixo.

$$P = U \cdot i \quad (2.1)$$

Onde P é a potência (em Watts), U é a tensão (em Volts) e i é intensidade de corrente (em Amperes).

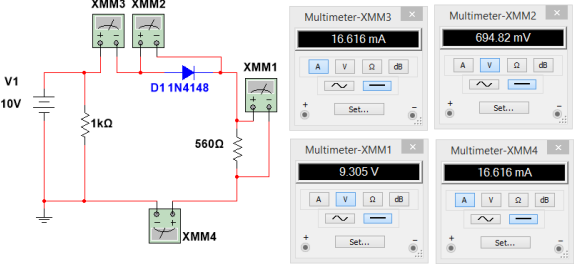
Tabela 2 – Dados do circuito 1 (Experimento)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor obtido</i> |
|-------------------------|-----------------|---------------------|
| Fonte | Corrente (mA) | 23 |
| | Potencia (W) | 0,2 |
| Resistor de 100Ω | Tensão (V) | 2,269 |
| | Potência (W) | 0,052 |
| | Corrente (mA) | 23 |
| Resistor 120Ω | Tensão (V) | 2,732 |
| | Potência (W) | 0,063 |
| | Corrente (mA) | 23 |
| Resistor 220Ω | Tensão (V) | 5,013 |
| | Potência (W) | 0,115 |
| | Corrente (mA) | 23 |

Comparando as Tabelas 1 e 2, constatou-se que os valores obtidos foram muito próximos e estão de acordo com o esperado.

- b) A simulação do circuito 2 foi realizada usando o software Multisim, como segue na figura. O diodo em questão está polarizado, ou seja, há condução de corrente.

Figura 13 – Simulação circuito 2



Fonte:(INSTRUMENTS,)

Os dados contidos na Tabela 3 foram obtidos com a simulação do circuito.

Tabela 3 – Dados do circuito 2 (Simulação)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor Obtido</i> |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Diodo D1 | Estado (condução ou bloqueado) | Condução |
| | Corrente (mA) | 16,616 |
| | Tensão direta (mV) | 694,82 |
| Resistor de 560Ω | Corrente (mA) | 16,616 |
| | Tensão (V) | 9,305 |

Na Tabela 4 encontram-se os dados obtidos com a construção do circuito 2. Tal construção foi realizada com o auxílio de uma protoboard.

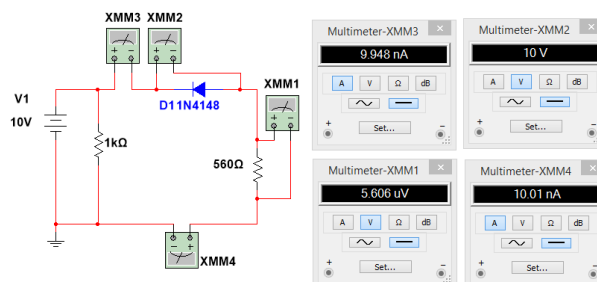
Tabela 4 – Dados do circuito 2 (experimento)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor Obtido</i> |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Diodo D1 | Estado (condução ou bloqueado) | Condução |
| | Corrente (mA) | 17 |
| | Tensão direta (mV) | 767 |
| Resistor de 560Ω | Corrente (mA) | 17 |
| | Tensão (V) | 9,25 |

É válido ressaltar neste circuito que os valores da corrente são os mesmo, apesar de o circuito possuir uma resistência em paralelo, isso se deu porque a corrente sempre “procura” o lugar de menor resistência para passar, logo, há um desvio insignificante de corrente. Ao comparar Tabelas 3 e 4, nota-se que os dados obtidos foram satisfatórios ao experimento.

- c) A simulação do circuito 3 foi realizada usando o software Multisim, como segue na figura. O diodo encontra-se no estado bloqueado, ou seja, não há condução de corrente.

Figura 14 – Simulação do circuito 3



Fonte:(INSTRUMENTS,)

Os dados abaixo, da tabela 3, foram obtidos com a simulação do circuito 3.

Tabela 5 – Dados circuito 3 (Simulação)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor Obtido</i> |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Diodo D1 | Estado (condução ou bloqueado) | Bloqueado |
| | Corrente (nA) | 9,948 |
| | Tensão direta (reversa) | 10 |
| Resistor de 560Ω | Corrente (nA) | 10,01 |
| | Tensão (uV) | 5,606 |

Na tabela abaixo encontram-se os dados obtidos com a construção do circuito 3. Tal construção foi realizada com o auxílio de uma protoboard.

Tabela 6 – Dados do circuito 3 (Experimento)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor Obtido</i> |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Diodo D1 | Estado (condução ou bloqueado) | Bloqueado |
| | Corrente | 0 |
| | Tensão direta (reversa) | 10,02 |
| Resistor de 560Ω | Corrente | 0 |
| | Tensão | 0 |

Na tabela 5, temos os valores de corrente na ordem de 10^{-9} ou seja, é um valor muito pequeno, e experimentalmente na tabela 6, obteve-se tal valor igual a 0, isso se deu devido a precisão do Multímetro utilizado. No mais, os valores obtidos foram satisfatórios.

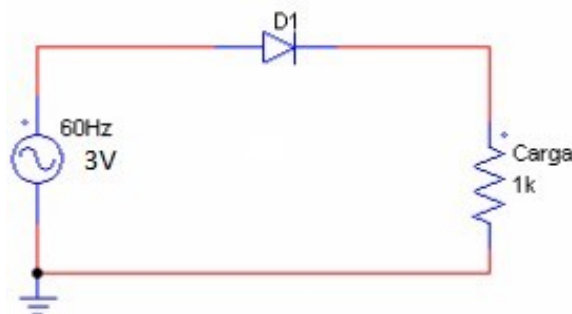
2.2 Tarefa II

2.2.1 Procedimento

Realizar todas as atividades simuladas e compará-las com os valores experimentais.

- a) Simule o circuito retificador de meia onda mostrado na figura 4 e anote os valores solicitados na tabela 4.

Figura 15 – Circuito retificador de meia onda



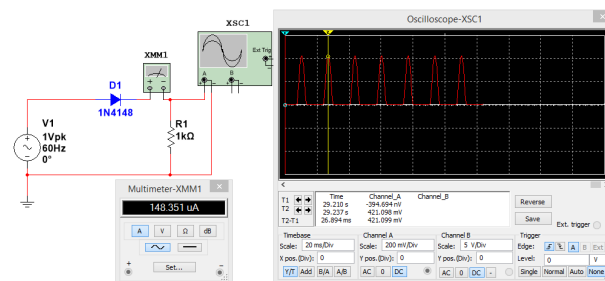
Fonte:([INSTRUMENTS](#),)

- b) Desenhe as formas de onda da tensão na entrada do retificador (fonte) e após o diodo, ou seja, na carga.

2.2.2 Resultado

- a) A simulação foi realizada usando o software Multisim, como segue na figura:

Figura 16 – Simulação retificador de meia onda



Fonte:([INSTRUMENTS](#),)

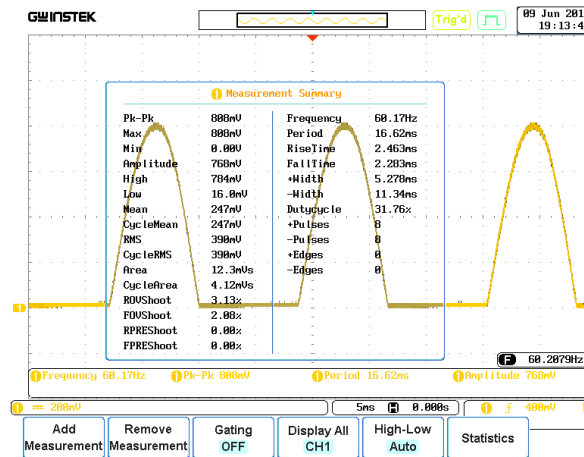
Para a construção da Tabela 7, fez-se uso dos dados da Figura 8.

Tabela 7 – Dados retificador de meia onda (simulação)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor obtido</i> |
|-----------------|----------------------------|---------------------|
| Fonte | Tensão de pico | 0,94 |
| | Tensão eficaz | 0,664 |
| | Tensão media | 0,299 |
| Diodo D1 | Corrente direta media (uA) | 146, 351 |
| | Tensão reversa máxima | - |
| Carga | Tensão máxima (mV) | 421, 098 |
| | Tensão media (mV) | 131, 328 |
| | Corrente media (uA) | 146, 351 |

Após a construção do circuito, com auxílio do osciloscópio fez-se as seguintes medições (Figura 9) e montou-se a tabela 8. E a medição da corrente foi feita usando o multímetro.

Figura 17 – Retificador de meia onda (Osciloscópio)



Fonte:(GWINSTEK,)

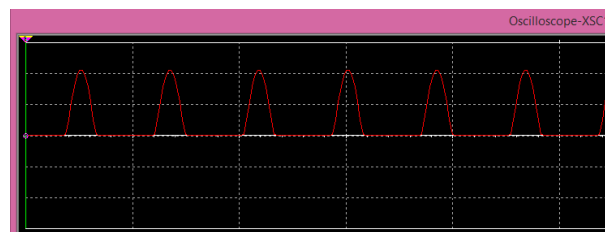
Tabela 8 – Dados Retificador de meia onda (Experimento)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor obtido</i> |
|-----------------|----------------------------|---------------------|
| Fonte | Tensão de pico | 0,94 |
| | Tensão eficaz | 0,664 |
| | Tensão media | 0,299 |
| Diodo D1 | Corrente direta media (uA) | 136 |
| | Tensão reversa máxima | - |
| Carga | Tensão máxima (mV) | 404 |
| | Tensão media (mV) | 128,472 |
| | Corrente media (uA) | 126 |

Comparando os dados da tabela, observa-se que os resultados foram satisfatórios. E as discrepâncias existentes são devido à pouca precisão do equipamento ou a complicações no manuseio.

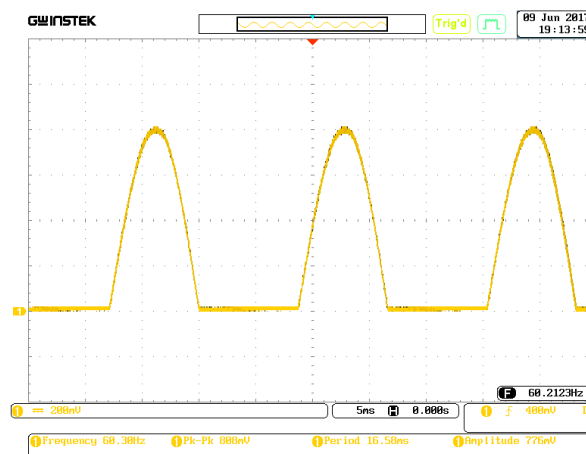
b) As formas de ondas de saída são similares, como representado nas imagens a seguir:

Figura 18 – Onda de saída com o simulador



Fonte:([INSTRUMENTS](#),)

Figura 19 – Onda de saída com o osciloscópio



Fonte:([GWINSTEK](#),)

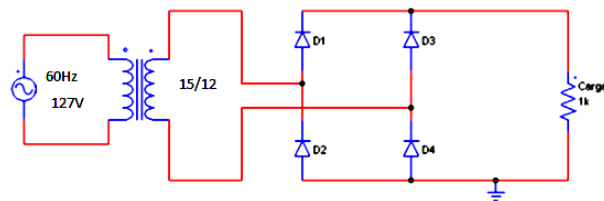
Portanto, obteve-se o resultado esperado.

2.3 Tarefa III

2.3.1 Procedimento

- a) Utilize um transformador de laboratório e meça a relação de transformação de $V_p/V_s = N_p/N_s$ = relação de transformação, sendo V_p = tensão na bobina primária, V_s = tensão na bobina secundária, N_p = numero de espiras na bobina primária e N_s = numero de espiras na bobina secundária. Assim antes realizar a simulação meça o valor da tensão de saída do transformador) A seguir simule o circuito retificador de onda completa em ponte usando transformador, conforme mostrado na tabela 5.

Figura 20 – Circuito retificador em ponte com transformador.



Fonte:(INSTRUMENTS,)

- b) Desenhe as formas de onda da tensão na entrada do retificador (fonte) e após os diodos, ou seja, na carga.

2.3.2 Resultado

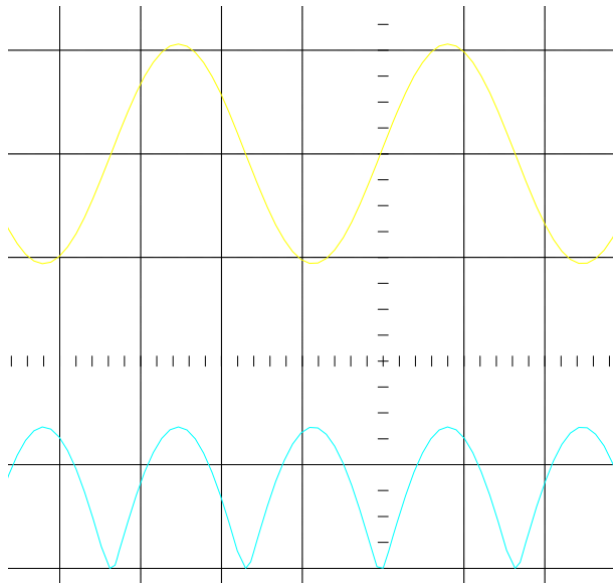
- a) Os dados encontrados estão na tabela abaixo:

Tabela 9 – Dados do circuito retificador onda completa em ponte com transformador.

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor obtido</i> |
|------------------|-----------------------|---------------------|
| Primário de T1 | Tensão de pico | 23V |
| | Tensão eficaz | 15,9V |
| | Tensão media | 16,4V |
| Secundário de T1 | Tensão de pico | 18V |
| | Tensão eficaz | 12,10V |
| | Tensão media | 12,72V |
| Diodo D1 a D4 | Corrente media direta | 6,18 |
| | Tensão reversa | 6,34/6,18/7,31/7,68 |
| Carga | Tensão máxima | 22V |
| | Tensão media | 11V |
| | Corrente media(mA) | 8,27 |

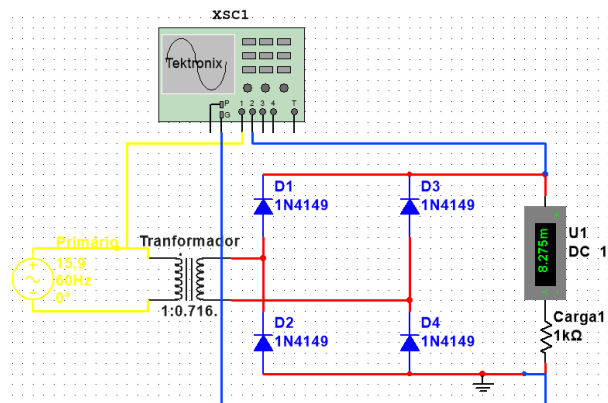
b) As formas de onda estão nas imagens abaixo:

Figura 21 – Onda de entrada (amarela) e onda na carga (azul).



Fonte:(INSTRUMENTS,)

Figura 22 – Simulação do circuito retificador de onda completa



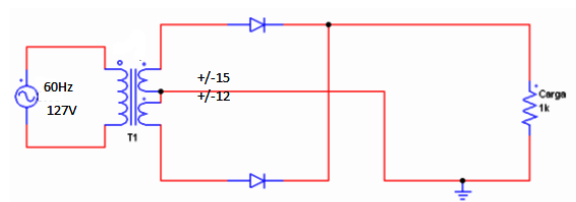
Fonte:(INSTRUMENTS,)

2.4 Tarefa IV

2.4.1 Procedimento

- a) O último circuito a ser simulado é o retificador de onda completa usando transformador com derivação central (center tap), meça a relação de transformação de tensão entre cada derivação, mostrado na figura 6. Os dados solicitados devem ser anotados na tabela 6.

Figura 23 – Circuito retificador de onda completa com tap central.



Fonte:(INSTRUMENTS,)

- b) Desenhe as formas de onda da tensão na entrada do retificador (fonte) e após os diodos, ou seja, na carga. Desenhe também a forma de onda da tensão sobre o diodo D1.

2.4.2 Resultado

- a) Os dados encontrados estão nas tabelas abaixo:

Tabela 10 – Dados do circuito 1 (Simulação)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor obtido</i> |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| Primário de T1 | Tensão de pico | Igual a questão anterior |
| | Tensão eficaz | |
| | Tensão media | 0 |
| Secundário 1 de T1 | Tensão de pico (V) | 1,15 |
| | Tensão eficaz (V) | 0,81 |
| | Tensão media (V) | 0,730 |
| Secundário 2 de T1 | Tensão de pico (V) | 1,15 |
| | Tensão eficaz (V) | 0,81 |
| | Tensão media (V) | 0,729 |
| Diodo D1 a D4 | Corrente media direta | $350,8 \cdot 10^{-6}$ |
| | Tensão reversa | -0,78 |
| Carga | Tensão máxima (V) | 1,08 |
| | Tensão media (V) | 0,68 |
| | Corrente media (A) | $702 \cdot 10^{-6}$ |

Tabela 11 – Dados do circuito 1 (Simulação)

| <i>Elemento</i> | <i>Grandeza</i> | <i>Valor obtido</i> |
|--------------------|---------------------------|---------------------|
| Primário de t1 | Tensão de pico (V) | 120 |
| | Tensão eficaz (V) | 84,85 |
| | Tensão media (V) | 0 |
| Secundário 1 de T1 | Tensão de pico (V) | 1,3 |
| | Tensão eficaz (V) | 0,91 |
| | Tensão media (V) | 0.83 |
| Secundário 2 de T1 | Tensão de pico (V) | 1.3 |
| | Tensão eficaz (V) | 0,91 |
| | Tensão media (V) | 0.83 |
| Diodo D1 a D4 | Corrente media direta (V) | $308 \cdot 10^{-6}$ |
| | Tensão reversa (V) | -0.83 |
| Carga | Tensão máxima (V) | $711 \cdot 10^{-3}$ |
| | Tensão media (V) | 0.45 |
| | Corrente media | $452 \cdot 10^{-6}$ |

b) As formas de onda observadas no simulador estão nas imagens abaixo:

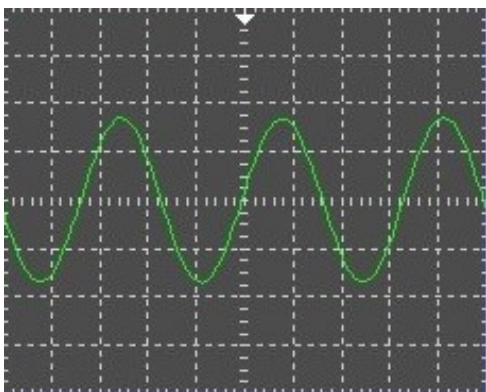


Figura 24 – Fonte

Fonte:(INSTRUMENTS,)

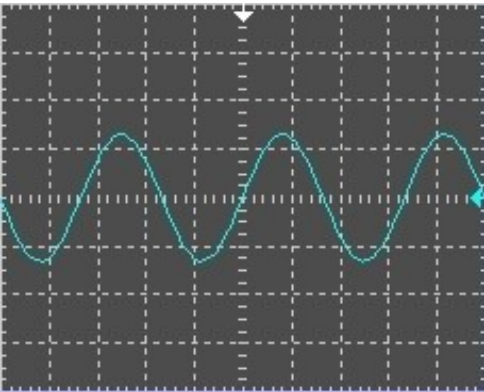


Figura 25 – Secundário (T1)

Fonte:(INSTRUMENTS,)

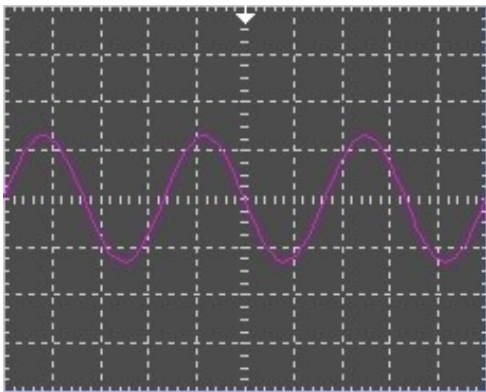


Figura 26 – Secundário (T2)

Fonte:(INSTRUMENTS,)

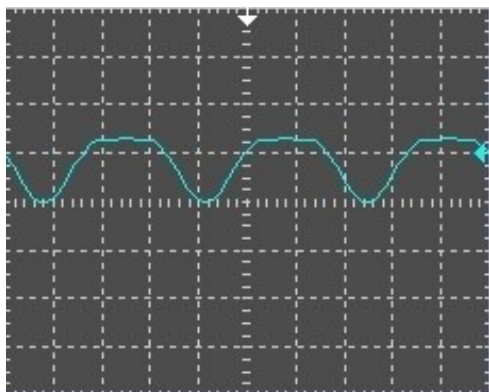


Figura 27 – Diodo (D1)

Fonte:(INSTRUMENTS,)

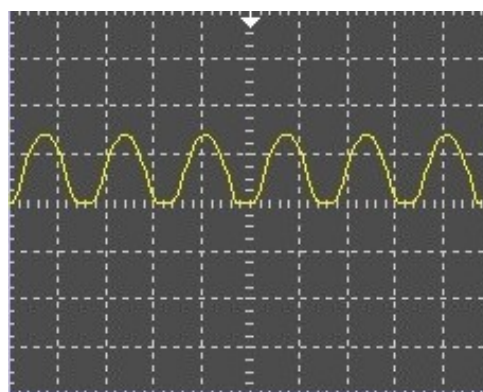


Figura 28 – Carga

Fonte:(INSTRUMENTS,)

2.5 Tarefa V

2.5.1 Procedimento

Aplicar na bobina primária do transformador um sinal com o gerador de funções com frequência de 60Hz, 1kHz e 10kHz, 100kHz com amplitude de 3 Volts, meça os valores de amplitude de tensão na bobina secundária do transformador e preencha a tabela 7 (comente os resultados obtidos).

2.5.2 Resultado

Primeiramente, o gerador de funções foi ligado diretamente no osciloscópio, para que a tensão e frequência pudessem ser ajustadas de forma precisa para os valores desejados. Após ajustados os valores, o gerador de funções foi ligado na entrada da bobina primária, e a saída da bobina secundária foi ligada no osciloscópio para a análise de onda. O mesmo procedimento foi realizado para todas as frequências desejadas. Com a bobina secundária ligada no osciloscópio, foram medidas as tensões para cada uma das frequências abaixo e para as formas de ondas senoidal e quadrada:

Tabela 12 – Dados obtidos no osciloscópio

| <i>Frequência</i> | <i>Senoidal</i> | <i>Quadrada</i> |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| 60Hz | 6,56 | 6,52 |
| 1kHz | 6,88 | 6,88 |
| 10kHz | 6,76 | 6,84 |
| 100kHz | 6,64 | 6,68 |

Percebe-se que os valores de tensão resultante para todas as frequências estão bastante próximos, e que todas as frequências resultantes são muito próximas de 60 Hz. Logo, fica bem demonstrado o funcionamento do transformador, o qual para todas as formas de entrada na bobina primária, gerou uma mesma saída na bobina secundária.

Abaixo, temos as formas de onda obtidas para cada medição:

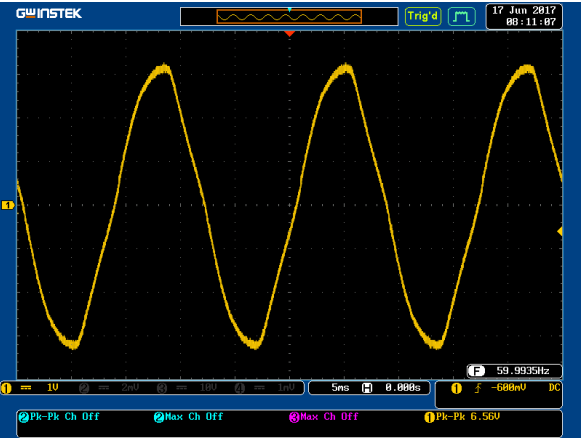


Figura 29 – 60 Hz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

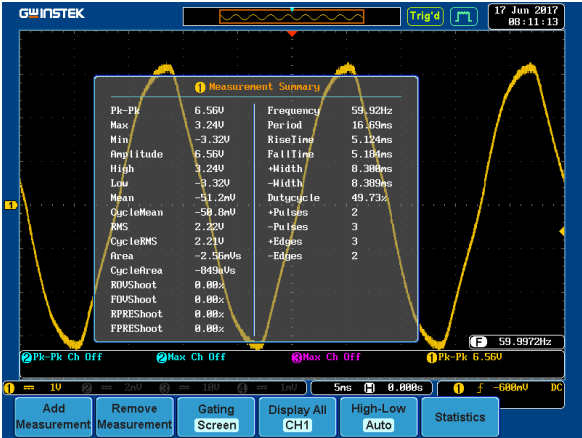


Figura 30 – 60 Hz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

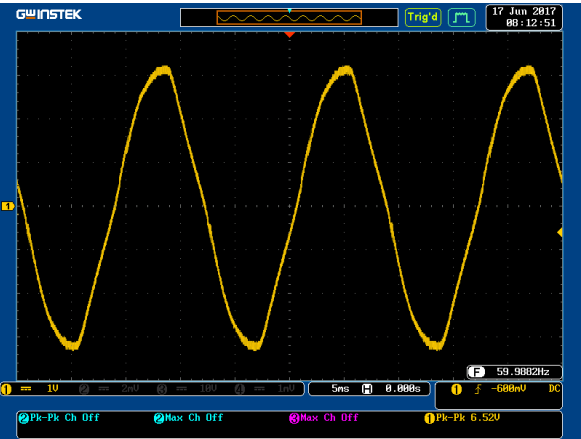


Figura 31 – 60 Hz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

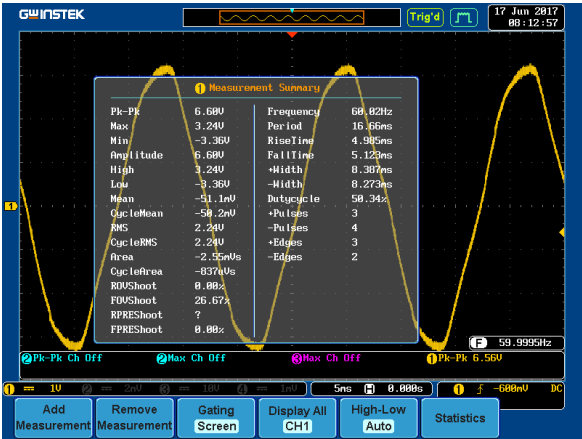


Figura 32 – 60 Hz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

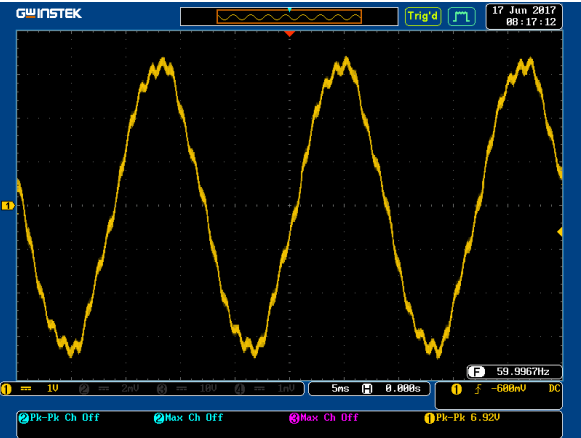


Figura 33 – 1 kHz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

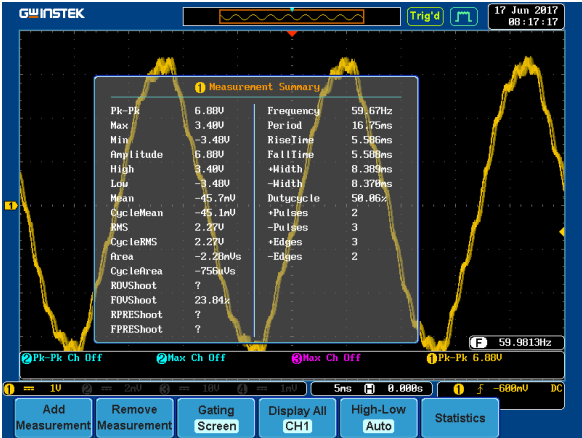


Figura 34 – 1 kHz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

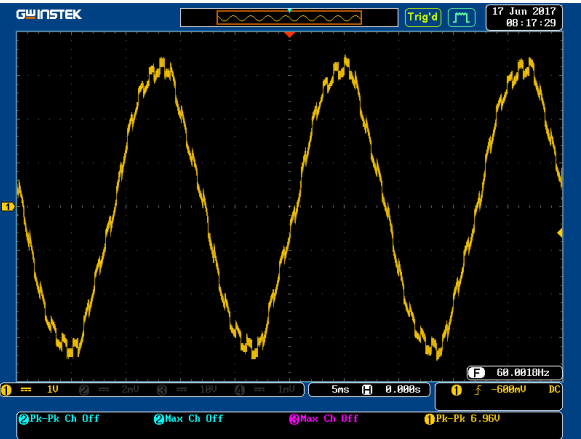


Figura 35 – 1 kHz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

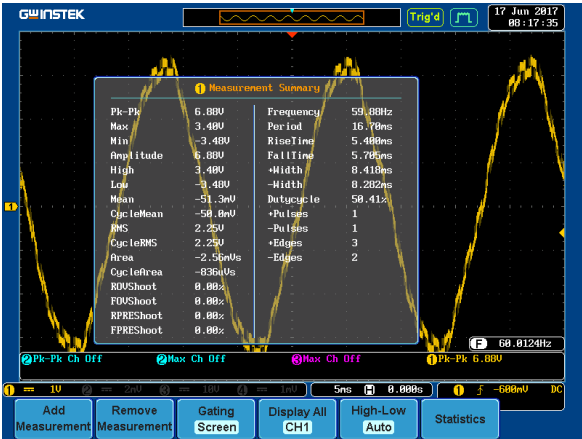


Figura 36 – 1 kHz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

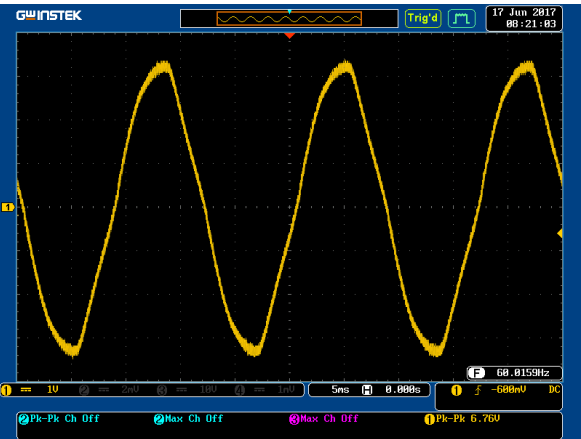


Figura 37 – 10 kHz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

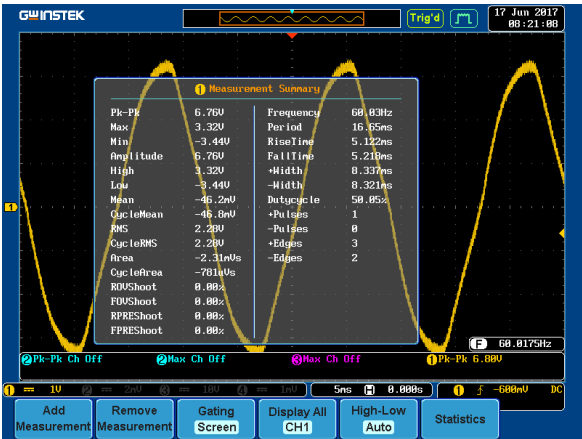


Figura 38 – 10 kHz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

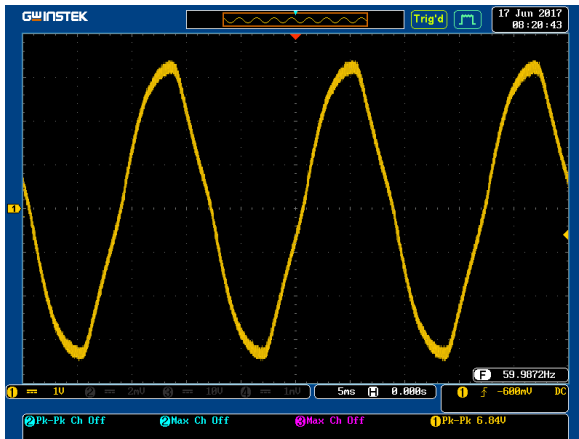


Figura 39 – 10 kHz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

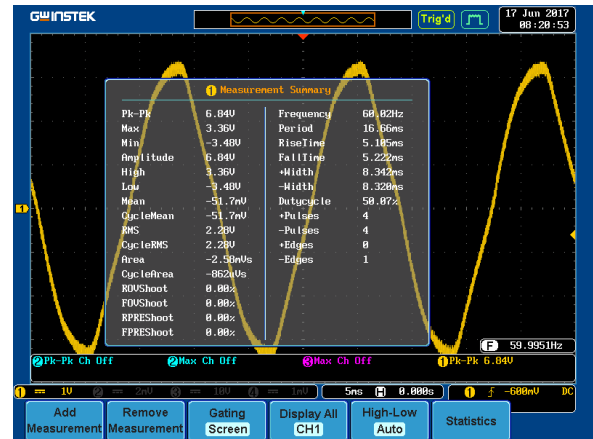


Figura 40 – 10 kHz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

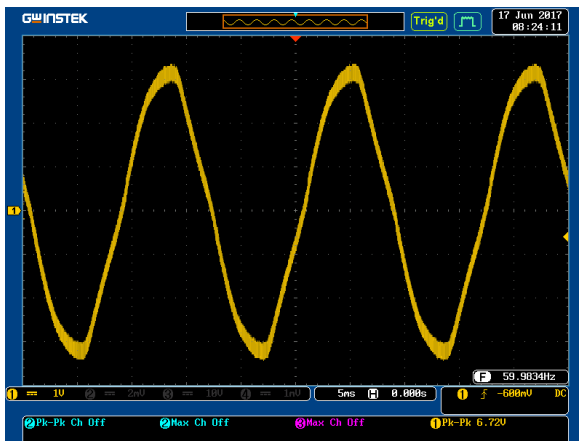


Figura 41 – 100 kHz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

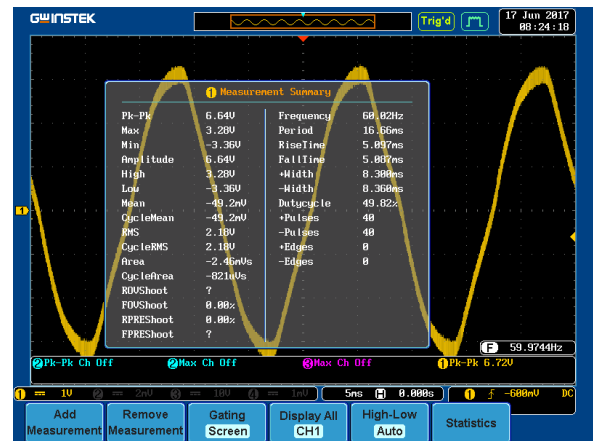


Figura 42 – 100 kHz - Senoidal

Fonte:(GWINSTEK,)

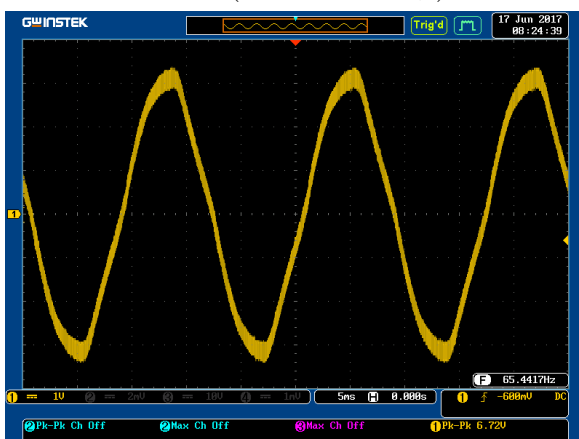


Figura 43 – 100 kHz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

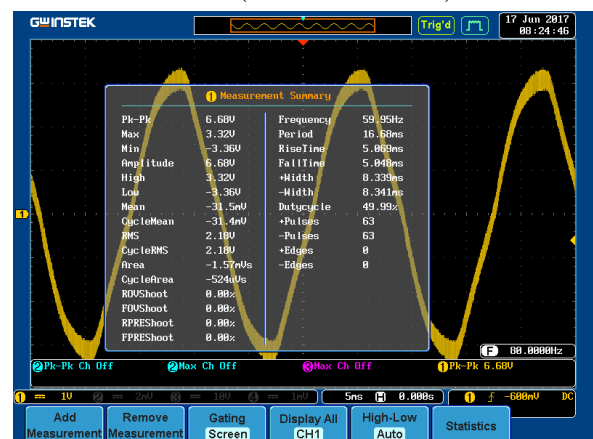


Figura 44 – 100 kHz - Quadrada

Fonte:(GWINSTEK,)

3 Conclusão

Referências

ARAÚJO, C. J. F. de. *O Transformador*. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/joaquim/materiais/Transformador.pdf>>. Acesso em: 22 de junho de 2017. Citado na página 12.

CIRCUITOAMIGO. *Transformadores e Bobinas*. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/circuitoamigotecnologia/componentes-eletronicos/transformadores-e-bobinas>>. Acesso em: 22 de junho de 2017. Citado na página 10.

GWINSTEK. *Osciloscópio*. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_diode>. Acesso em: 22 de junho de 2017. Citado 5 vezes nas páginas 24, 25, 32, 33 e 34.

INSTRUMENTS, N. *MultiSim (Version 14.0)*. Citado 11 vezes nas páginas 17, 18, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 30 e 31.

MELO, P. V. S. de. *Circuitos Retificadores*. Disponível em: <http://www.almhpg.com/view/downloads/apostilas/03_retificadores.pdf>. Acesso em: 22 de junho de 2017. Citado 3 vezes nas páginas 13, 14 e 15.

MORAES, E. *Trafo Monofásico*. Disponível em: <<https://www.saladaeletrica.com.br/trafo-monofasico/>>. Acesso em: 22 de junho de 2017. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.

SIGMATRANSFORMADORES. *O transformador*. Disponível em: <<http://www.sigmatransformadores.com.br/o-transformador/>>. Acesso em: 22 de junho de 2017. Citado na página 11.