

Centro Universitário Senac (Santo Amaro)

Engenharia da Computação

Fundamentos de Telecomunicações

Professor: Sérgio Tavares

Retificadores de Meia Onda e Onda Completa

Nomes: Alessandro da Costa Silva Kantousian

Luiz Guilherme das Chagas

São Paulo (2018)

## Objetivo

Através do software Multisim fazer a simulação dos retificadores de meia onda e onda completa utilizando o transformador center tape e onda completa com ponte de diodos e fazer as análises em V1, V2 e VS com os multímetros e o osciloscópio.

## Teoria & Prática

Transformadores são dispositivos elétricos capazes de transformar tensões, correntes e impedâncias. Trata-se de um dispositivo de corrente alternada que opera baseado nos princípios da Lei de Faraday. Consiste de duas ou mais bobinas e um "caminho", ou circuito magnético, que "acopla" essas bobinas.

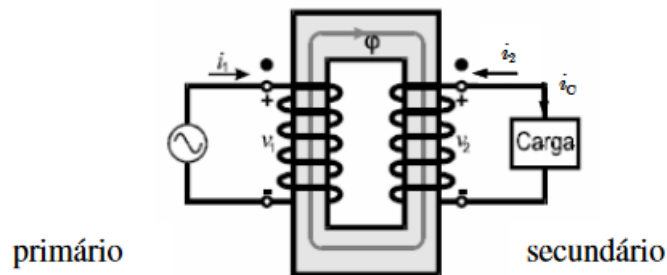


Figura 1: Estrutura de um transformador monofásico utilizado neste experimento.

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/349452/mod\\_resource/content/2/Transformadores\\_Teo\\_2014%20%281%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/349452/mod_resource/content/2/Transformadores_Teo_2014%20%281%29.pdf)

Na *figura 1*, o enrolamento conectado à fonte (cujas grandezas levam o índice 1) é, por convenção, de enrolamento primário. Já o enrolamento que é conectado à carga (e cujas grandezas levam o índice 2) é denominado de enrolamento secundário.

O que determina a tensão obtida no secundário de um transformador (em função da tensão aplicada ao primário desse mesmo transformador), é a relação entre o número de espiras existente nos dois enrolamentos.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Onde V é a tensão nos enrolamentos e N, o número de enrolamentos;

### Retificadores de onda

Dispositivo ou circuito elétrico, normalmente composto por diodos, que convertem corrente alternada (CA) para contínua (CC). Dos diversos tipos de

retificadores os mais simples são os de meia-onda e onda completa em ponte. Capacitores são adicionados ao circuito para impedir quedas na tensão e mantê-la constante.

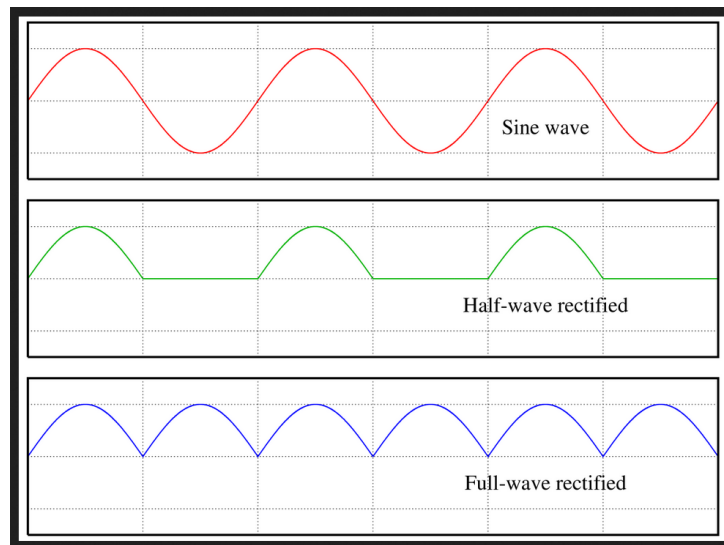


Figura 2: Onda alternada, meia-onda retificada e onda completa - [https://pt.wikipedia.org/wiki/Retificador#/media/File:Rectified\\_waves.png](https://pt.wikipedia.org/wiki/Retificador#/media/File:Rectified_waves.png)

### Retificadores de meia-onda

O retificador possui um diodo em série com uma resistência e, opcionalmente, em paralelo com um capacitor. A forma de onda de saída é igual à segunda forma da figura 2 sem capacitor.

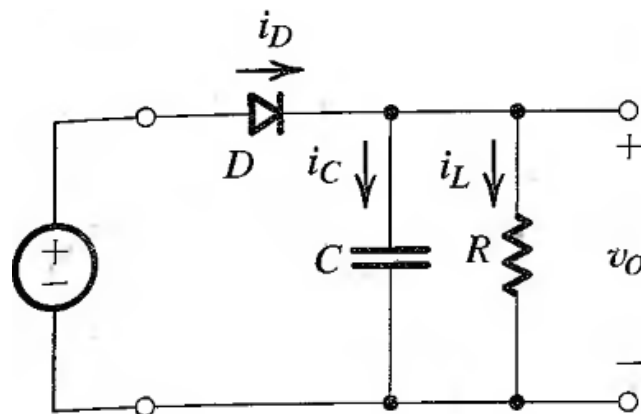


Figura 3: Circuito retificador de meia-onda com capacitor – <http://controleeautomacao.blogspot.com.br/2011/08/o-diodo.html>

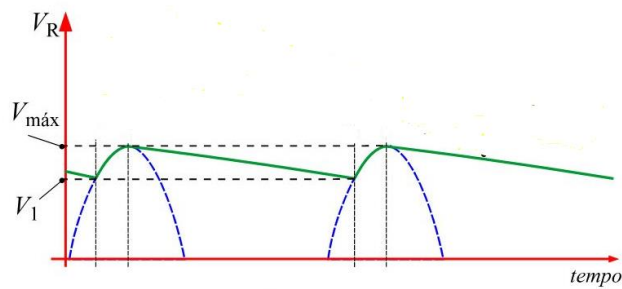


Figura 4: meia onda retificada com capacitor – <http://eletronicanoel.blogspot.com.br/2015/09/filtro-capacitivo.html>

### Retificadores de onda completa

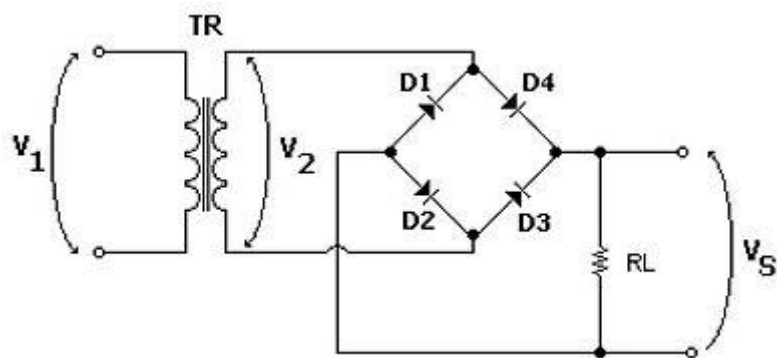


Figura 5: Retificador de onda completa tipo ponte FONTE: GOZZI, Giuseppe Giovanni Massimo. Circuitos com diodos. CEETEPS: Projeto INCOM, 1999

No semiciclo positivo, D2 e D4 estão diretamente polarizados, enquanto D1 e D3 estão inversamente polarizados. Já no semiciclo negativo acontece o contrário. A forma de onda de saída é igual à terceira forma da figura 2 sem capacitor.

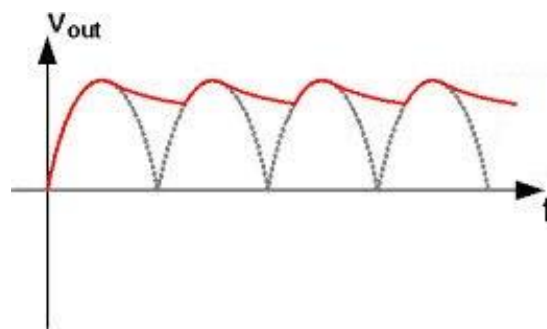


Figura 6: Onda completa retificada com capacitor – [https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito\\_retificador](https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_retificador)

### Cálculo de retificadores

Tensão de pico na carga (e capacitor): valor máximo que tensão atinge num semiciclo, seja ele positivo seja negativo.

$$\text{Meia onda: } V_{rlp} = V_{cp} = V_{pp} - V_y$$

$$\text{Onda completa: } V_{rlp} = V_{cp} = \frac{V_{pp}}{2} - V_y$$

Onde:

$V_{rlp}$  e  $V_{cp}$ : tensão de pico na carga e capacitor respectivamente;

$V_{pp}$ : tensão de pico a pico;

$V_y$ : tensão de pico num semiciclo;

Tensão média na carga: valor médio da tensão num semiciclo.

$$\text{Meia onda: } V_{cc} = V_{rlp} * 0,318$$

$$\text{Onda completa: } V_{cc} = V_{rlp} * 0,636$$

Onde:

$V_{cc}$ : tensão média na carga;

$V_{rlp}$ : tensão de pico na carga;

Tensão Eficaz RMS na Carga: representa o valor de uma tensão contínua que produz a mesma dissipação de potência que a tensão periódica.

$$\text{Meia onda: } V_{rms} = \frac{V_{rlp}}{2}$$

$$\text{Onda completa: } V_{rms} = \frac{V_{rlp}}{\sqrt{2}}$$

Onde:

$V_{rms}$ : tensão eficaz;

Os círculos de cor preto, foram indicados para as medições de V1, V2 e VS. A tensão de entrada para todos os experimentos é de 120V em V1 e 12V em V2. Foram usados para simulação o resistor de 1k ( $\Omega$ ) e capacitor de 100 ( $\mu$ F) para observar a tensão de ripple.

#### Etapa 1: Circuito Retificador de Meia Onda.

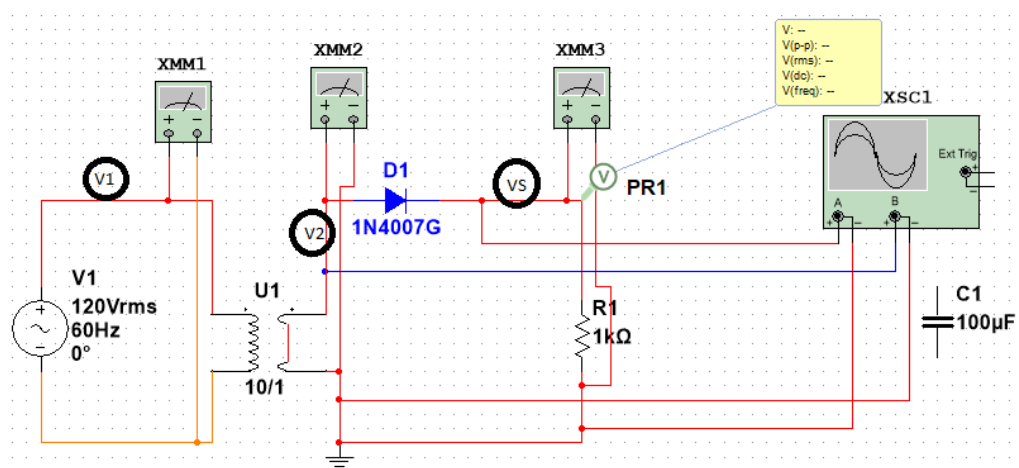


Figura 7: Circuito Retificador de Meia Onda Sem Capacitor. Software Multisim.

A Tabela 1 indica os valores dos cálculos teóricos para um circuito retificador de meia onda sem capacitor e a Tabela 2, os valores simulados.

Tabela 1: Cálculo Teórico p/ Retificador de Meia Onda Sem Capacitor.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)	Tensão Média na Carga (V)
Valores	12	16,27	8,135	5,17

Tabela 2: Valores extraídos da Simulação no Multisim p/ Circuito Retificador de Meia Onda.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)	Tensão Média na Carga (V)
Valores	11,9	16,2	8,05	5,07

Podemos observar que os valores foram próximos do cálculo teórico, a pequena diferença ocorre pelas perdas que na simulação são consideradas e no cálculo teórico é voltado ao ideal. Abaixo segue a imagem, *Figura 2*, das medições dos equipamentos na simulação. Observação: os multímetros na imagem segue a sequência V1, V2 e VS.

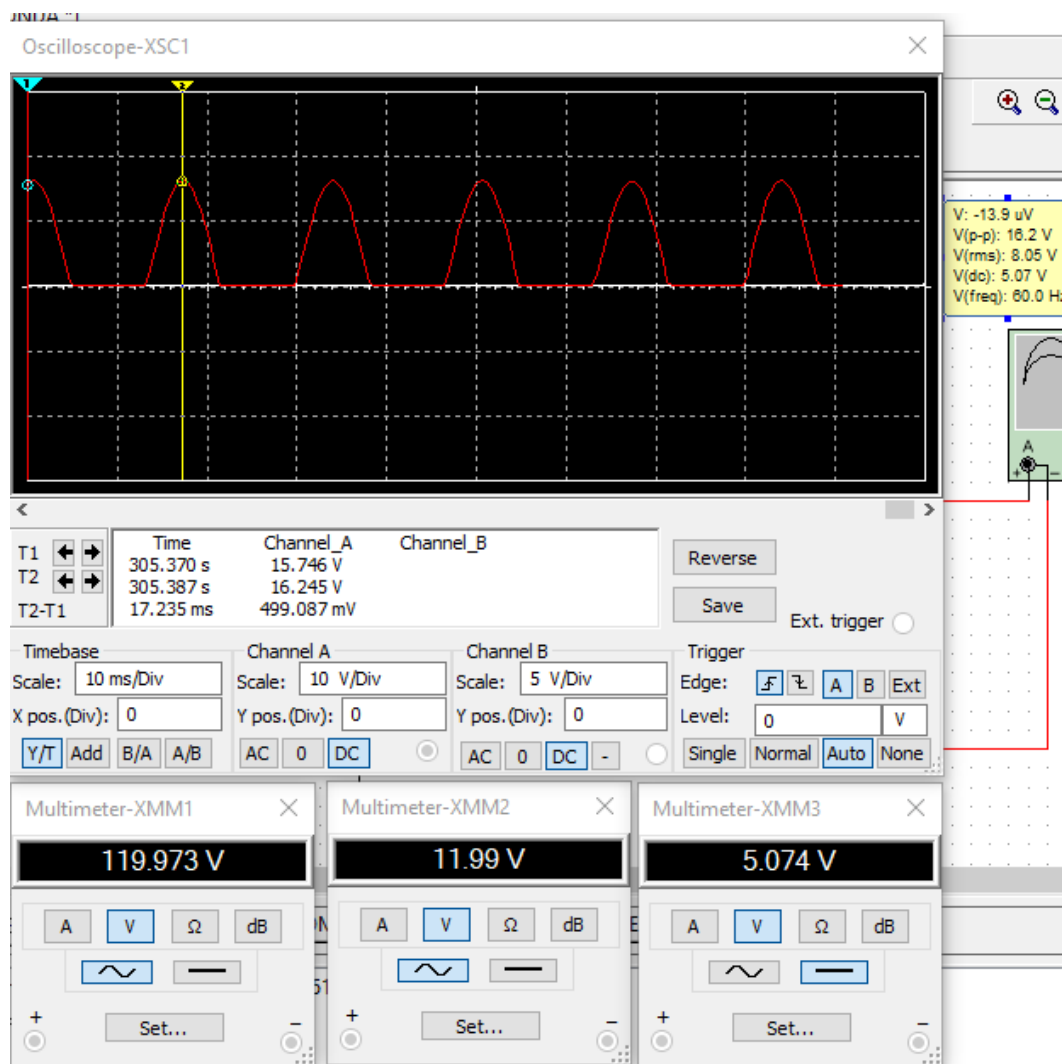


Figura 8: Resultados mostrados pelos equipamentos na simulação.

Nesta próxima etapa do experimento, adicionamos um capacitor para observar a tensão de ripple.

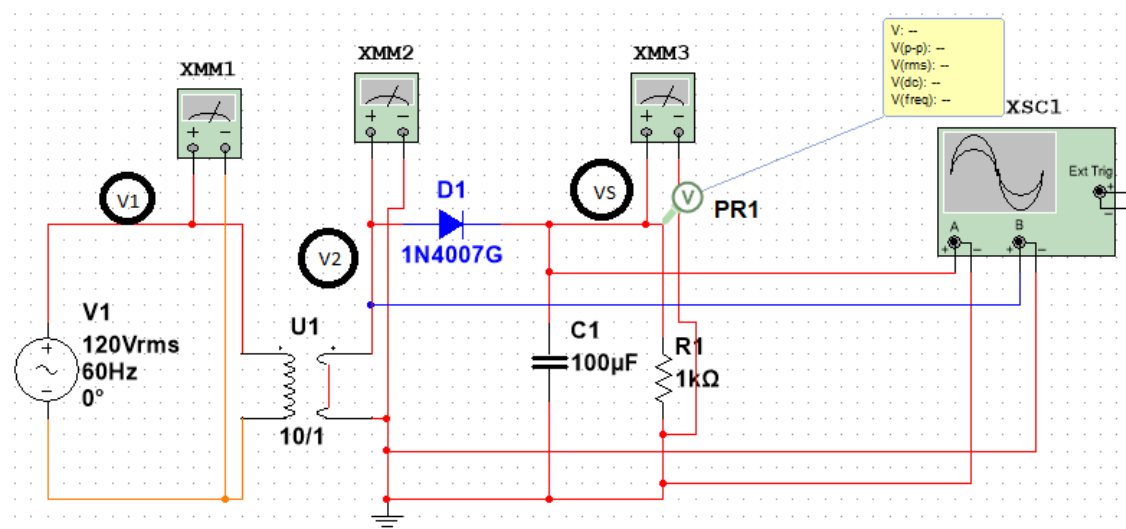


Figura 9: Circuito Retificador de Meia Onda Com Capacitor. Software Multisim.



A *Tabela 3* indica os valores dos cálculos teóricos para um circuito retificador de meia onda com capacitor e a *Tabela 4*, os valores simulados.

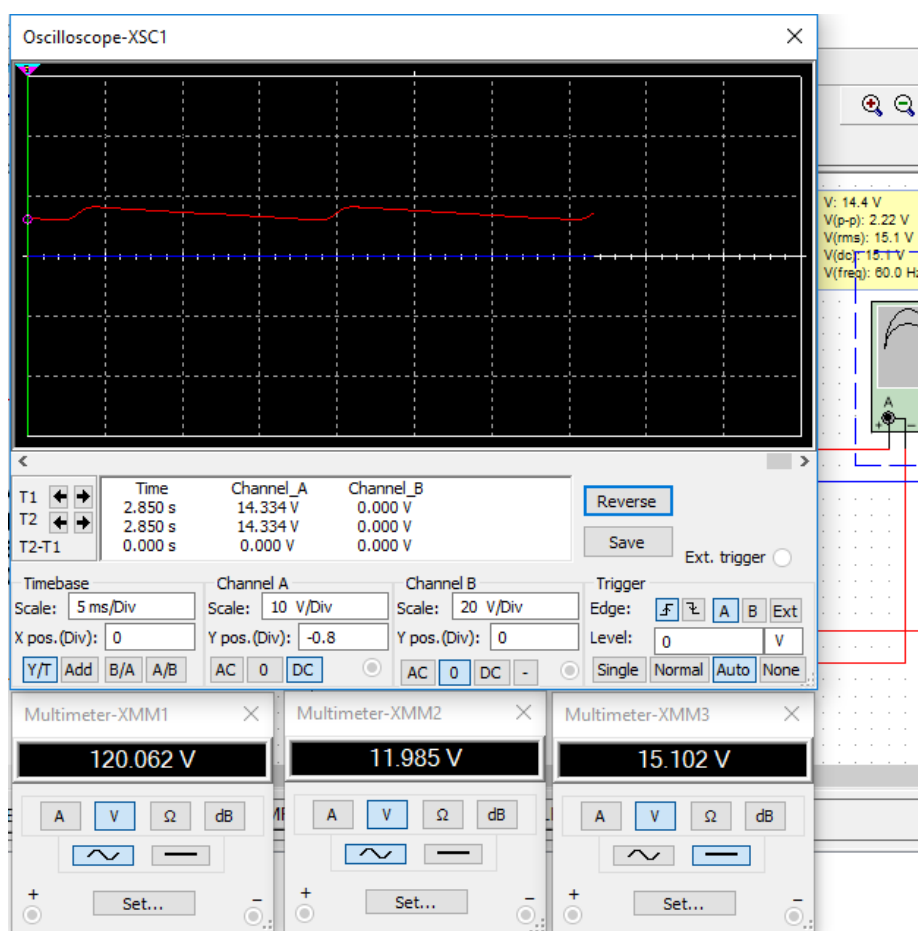
*Tabela 3: Cálculo Teórico p/ Retificador de Meia Onda Com Capacitor.*

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V) (Vond)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)
Valores	12	16,27	2,71	14,92

*Tabela 4: Valores extraídos da Simulação no Multisim p/ Circuito Retificador de Meia Onda Com Capacitor.*

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V) (Vond)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)
Valores	11,985	16,2	2,2	15,1

Podemos observar que os valores foram próximos do cálculo teórico, a pequena diferença ocorre pelas perdas que na simulação são consideradas e no cálculo teórico é voltado ao ideal. Abaixo segue a imagem, *Figura 4*, das medições dos equipamentos na simulação. Observação: os multímetros na imagem seguem a sequência V1, V2 e VS.



*Figura 10: Simulação da Tensão de Ripple p/ Circuito Retificador de Meia Onda.*

Etapa 2: Circuito Retificador Onda Completa usando Center Tape do Transformador.

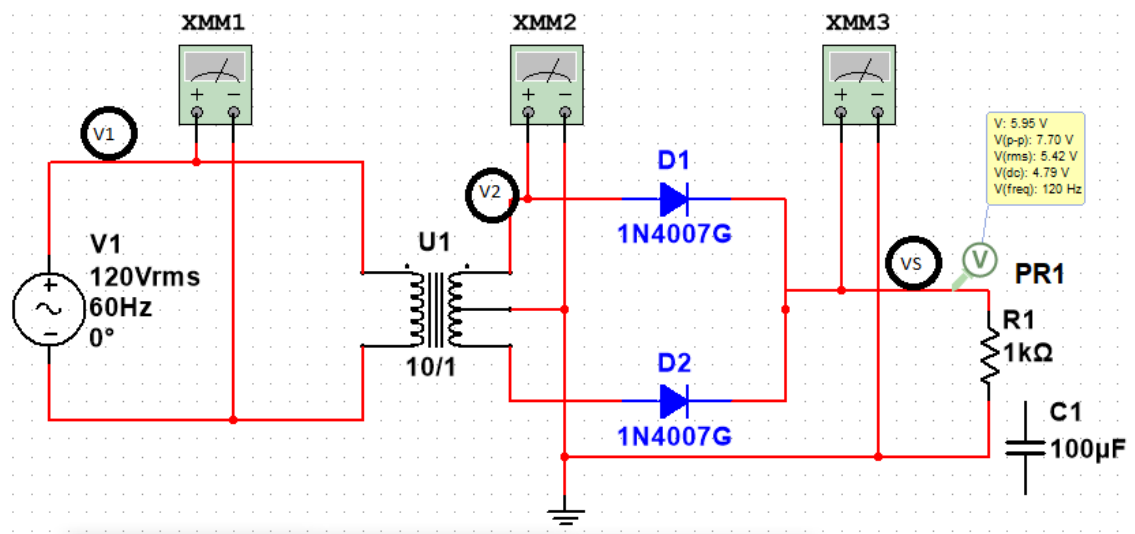


Figura 11: Circuito Retificador de Onda Completa Sem Capacitor Usando Center Tape. Software Multisim.

A Tabela 5 indica os valores dos cálculos teóricos para um circuito retificador de onda completa com center tape sem capacitor e a Tabela 6 os valores simulados.

Tabela 5: Cálculo Teórico p/ Retificador Onda Completa Usando Center Tape Sem Capacitor.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)	Tensão Média na Carga (V)
Valores	6	7,985	5,504	4,95

Tabela 6: Valores extraídos da Simulação no Multisim p/ Circuito Retificador Onda Completa Usando Center Tape Com Capacitor.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)	Tensão Média na Carga (V)
Valores	5,999	7,83	5,43	4,79

Podemos observar que os valores foram próximos do cálculo teórico, a pequena diferença ocorre pelas perdas que na simulação são consideradas e no cálculo teórico é voltado ao ideal. Abaixo segue a imagem, Figura 6, das medições dos equipamentos na simulação. Observação: os multímetros na imagem segue a sequência V1, V2 e VS.

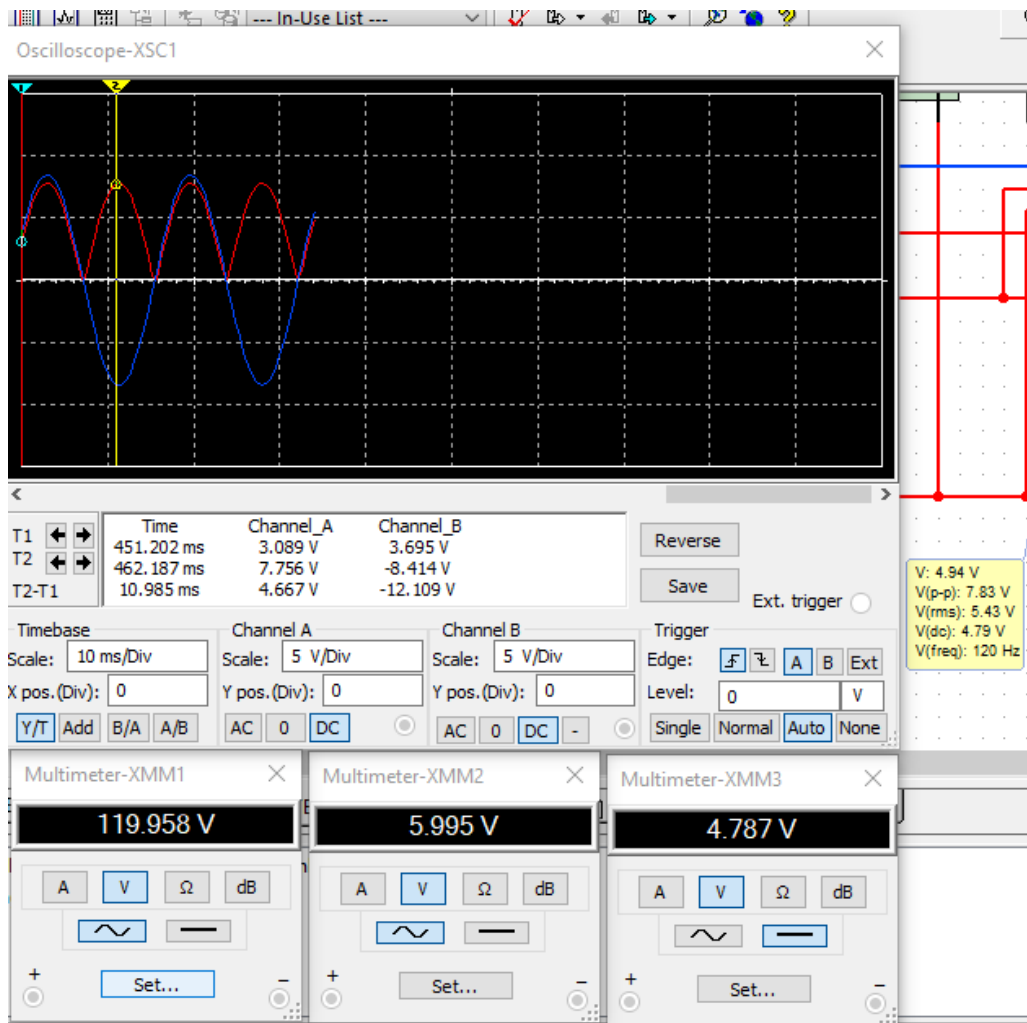


Figura 12: Resultados mostrados pelos equipamentos na simulação.

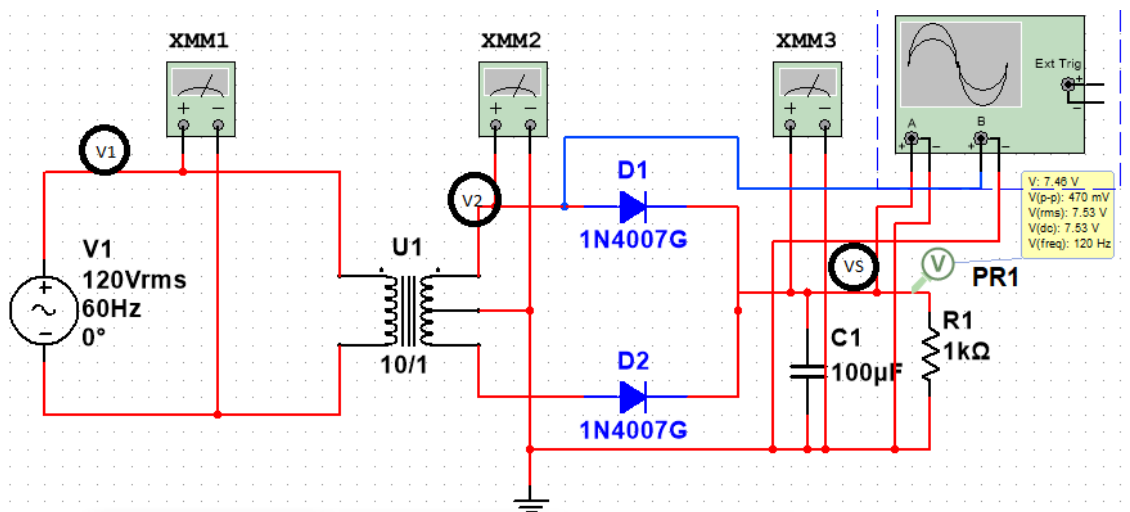


Figura 13: Circuito Retificador de Onda Completa Com Capacitor Usando Center Tape. Software Multisim.

A Tabela 7 indica os valores dos cálculos teóricos para um circuito retificador de onda completa com center tape e capacitor e a Tabela 8, os valores simulados.

Tabela 7: Cálculo Teórico p/ Retificador Onda Completa Usando Center Tape Com Capacitor.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V) (Vond)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)
Valores	6	7,785	648 (mV)	8,533

Tabela 8: Valores extraídos da Simulação no Multisim p/ Retificador Onda Completa Usando Center Tape Com Capacitor.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V) (Vond)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)
Valores	5,999	7,83	501 (mV)	7,54

Podemos observar que os valores foram próximos do cálculo teórico, a pequena diferença ocorre pelas perdas que na simulação são consideradas e no cálculo teórico é voltado ao ideal. Abaixo segue a imagem, *Figura 8*, das medições dos equipamentos na simulação. Observação: os multímetros na imagem segue a sequência V1, V2 e VS.

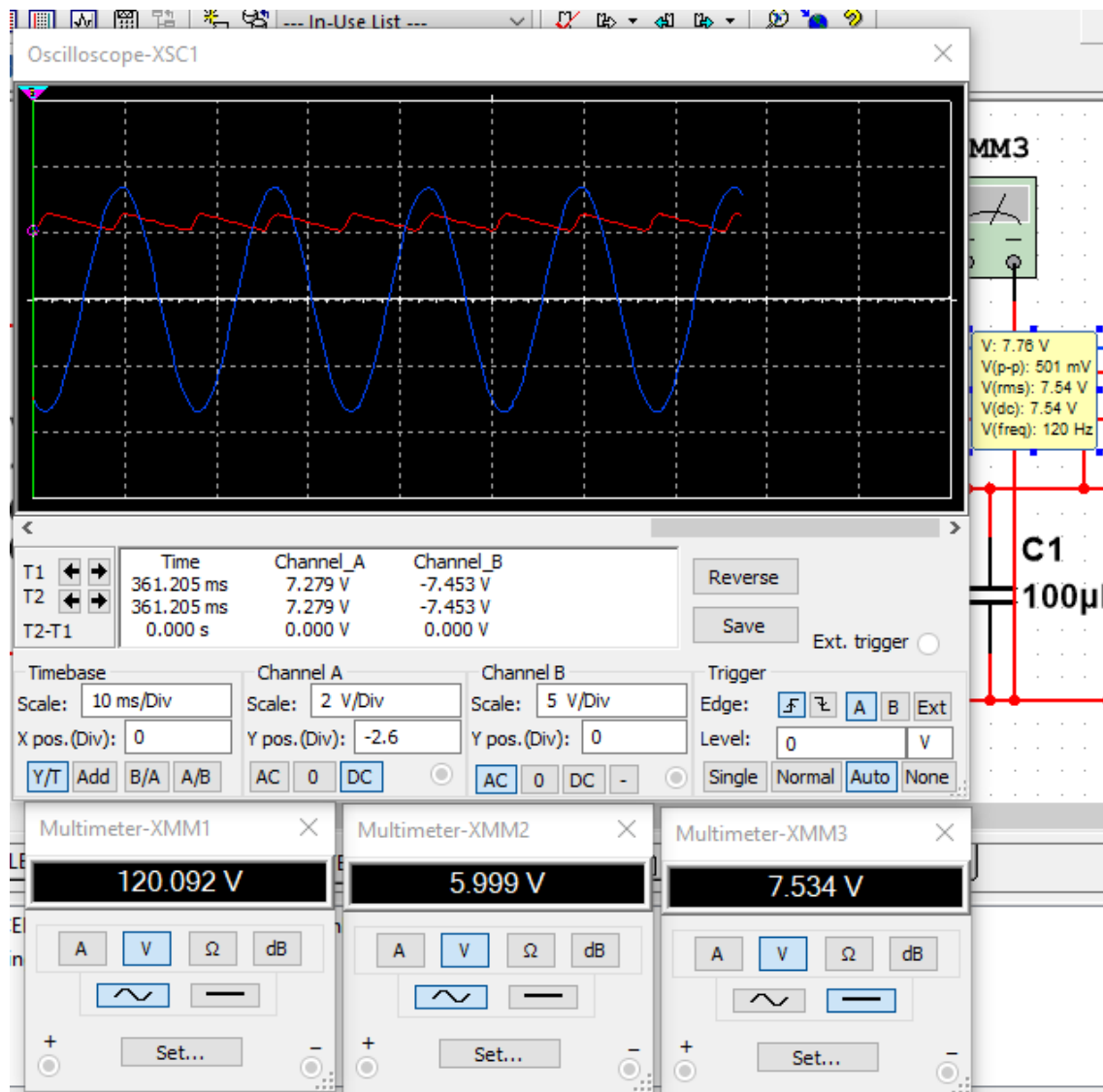


Figura 14: Simulação da Tensão de Ripple p/ Circuito Retificador Onda Completa com Center Tape.

### Etapa 3: Circuito Retificador Onda Completa com Ponte de Diodos.

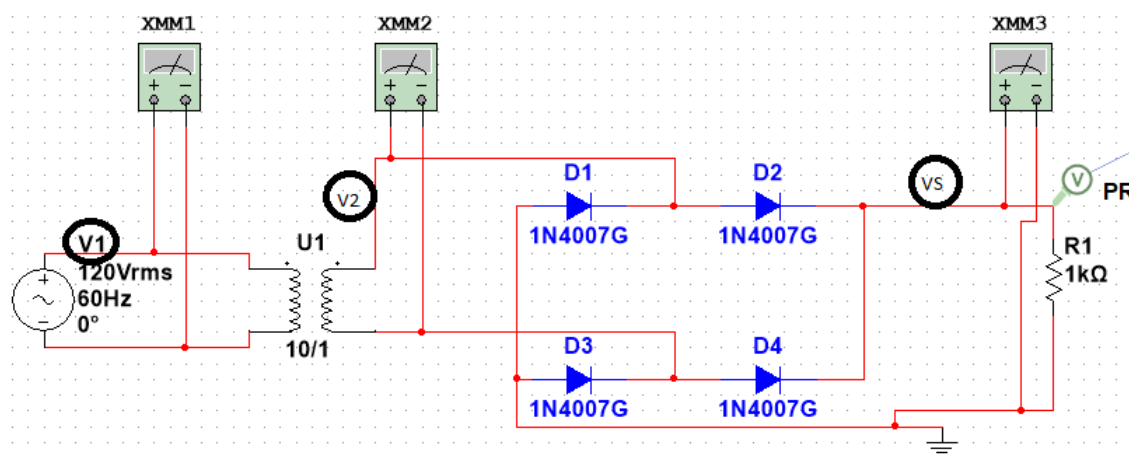


Figura 15: Circuito Retificador de Onda Completa Com Ponte de Diodo Sem Capacitor. Software Multisim.

A *Tabela 9* indica os valores dos cálculos teóricos para um circuito retificador de onda completa com ponte de diodos sem capacitor e a *Tabela 10* os valores simulados.

*Tabela 9: Cálculo Teórico p/ Retificador Onda Completa Com Ponte de Diodo Sem Capacitor.*

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)	Tensão Média na Carga (V)
Valores	12	16,27	10,92	9,29

*Tabela 10: Valores extraídos da Simulação no Multisim p/ Retificador Onda Completa Com Ponte de Diodo Sem Capacitor.*

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)	Tensão Média na Carga (V)
Valores	11,981	15,4	10,8	9,52

Podemos observar que os valores foram próximos do cálculo teórico, a pequena diferença ocorre pelas perdas que na simulação são consideradas e no cálculo teórico é voltado ao ideal. Abaixo segue a imagem, *Figura 10*, das medições dos equipamentos na simulação. Observação: os multímetros na imagem segue a sequência V1, V2 e VS.

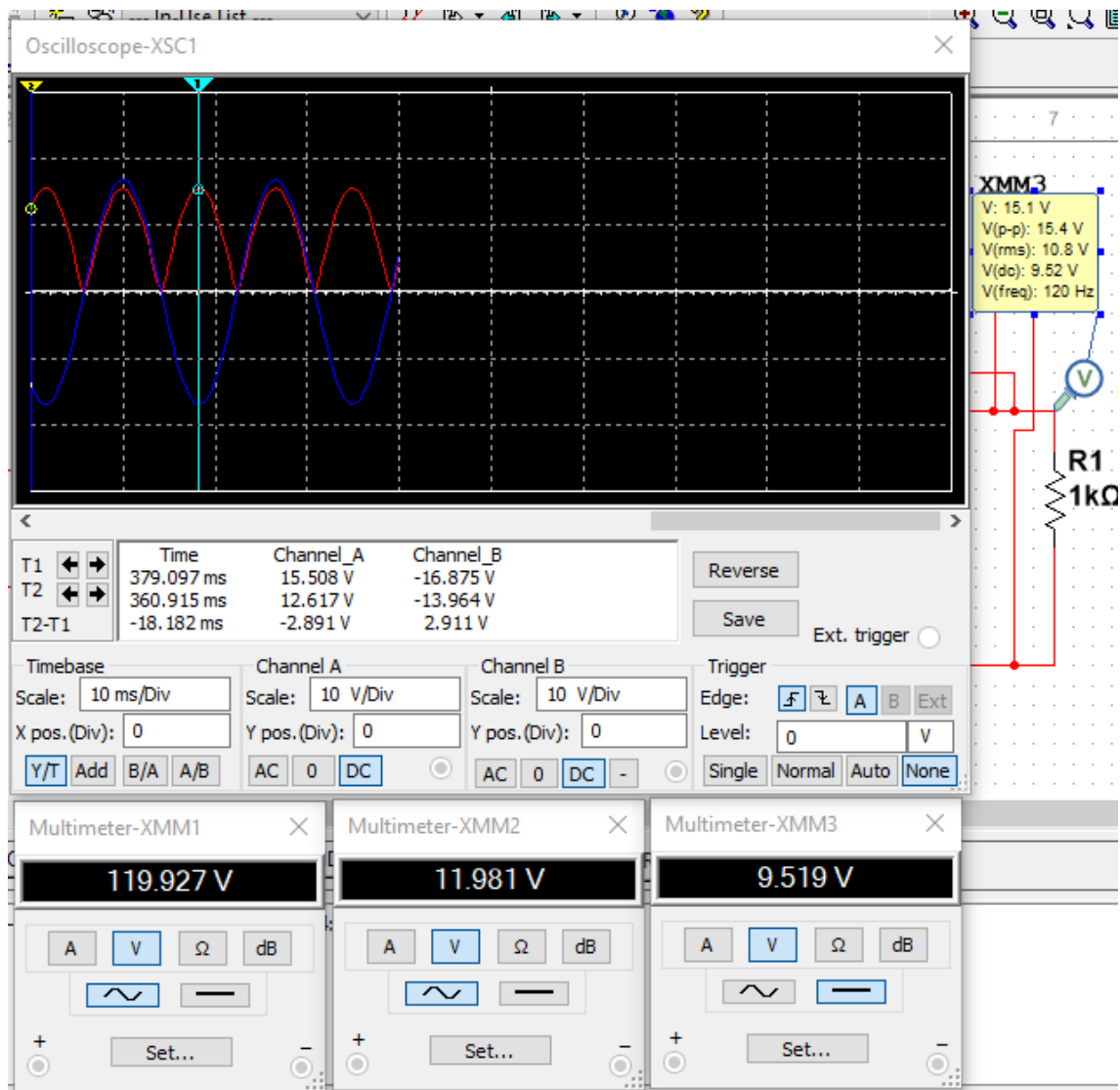


Figura 16: Resultados mostrados pelos equipamentos na simulação.

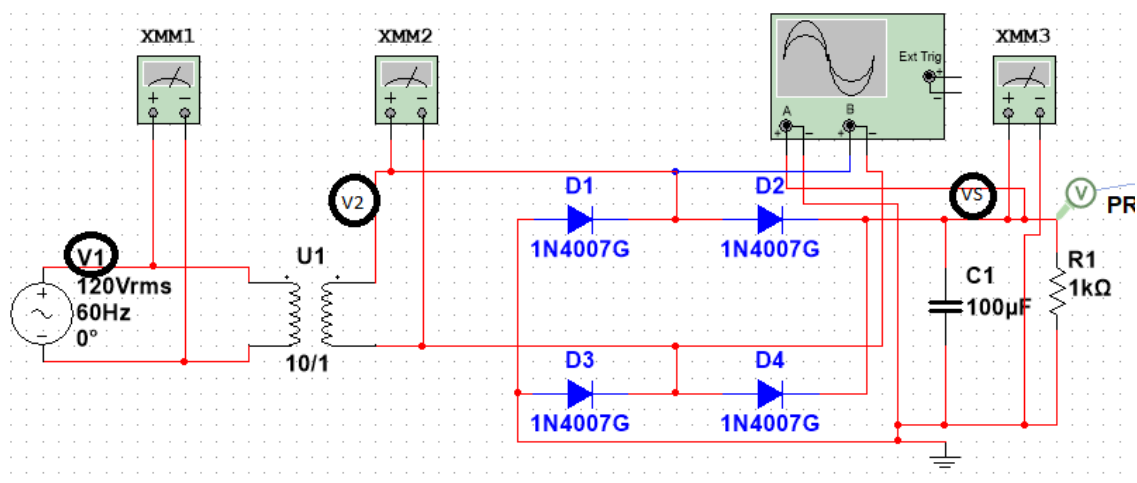


Figura 17: Circuito Retificador de Onda Completa Com Ponte de Diodo Com Capacitor. Software Multisim.

A Tabela 11 indicada os valores dos cálculos teórico para um circuito retificador de onda completa com ponte de diodos e capacitor e a Tabela 12 os valores simulados.

Tabela 11: Cálculo Teórico p/ Retificador Onda Completa Com Ponte de Diodo Com Capacitor.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V) (Vond)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)
Valores	12	14,6	1,35	16,98

Tabela 12: Valores extraídos da Simulação no Multisim p/ Retificador Onda Completa Com Ponte de Diodo Com Capacitor.

Descrição	Tensão em V2 (V)	Tensão de Pico na Carga (V)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V) (Vond)	Tensão Eficaz RMS na Carga (V)
Valores	11,988	15	991 (mV)	15

Podemos observar que os valores foram próximos do cálculo teórico, a pequena diferença ocorre pelas perdas que na simulação são consideradas e no cálculo teórico é voltado ao ideal. Abaixo segue a imagem, *Figura 12*, das medições dos equipamentos na simulação. Observação: os multímetros na imagem segue a sequência V1, V2 e VS.

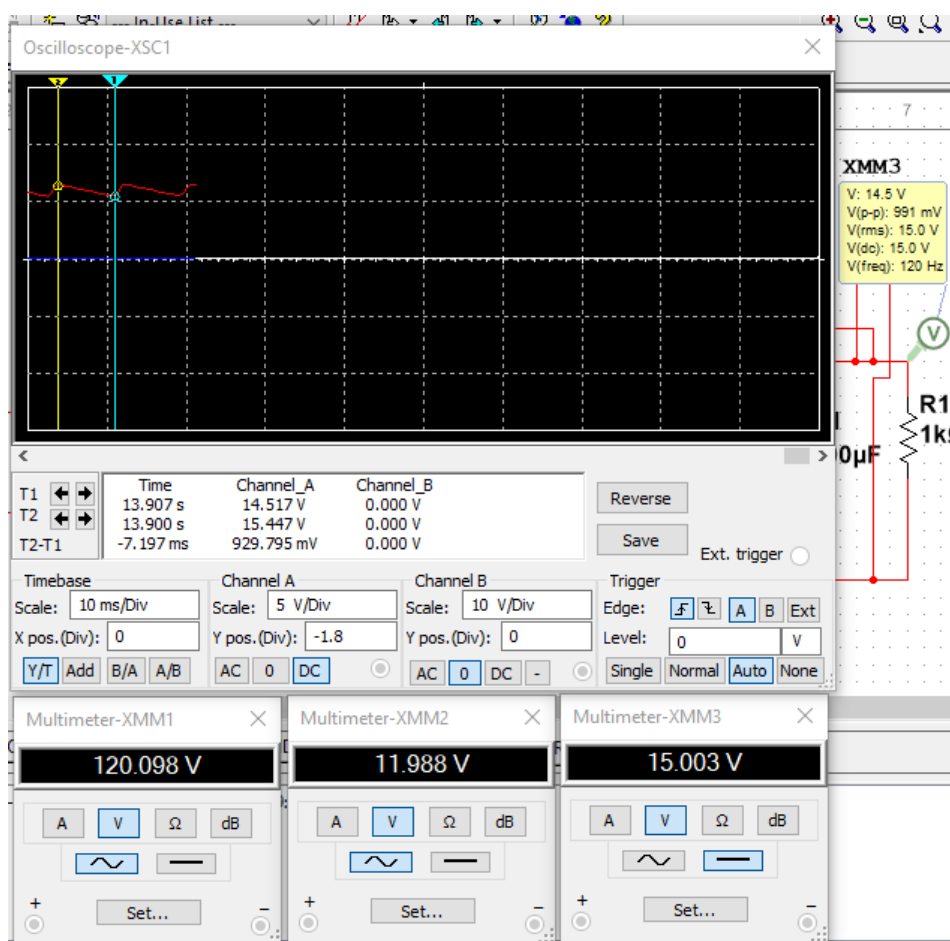


Figura 18: Simulação da Tensão de Ripple p/ Circuito Retificador Onda Completa com Ponte de Diodo.



## Conclusão

Os resultados obtidos para verificação e validação da teoria com a simulação através do software Multisim, trouxeram valores próximos ao calculado. A pequena diferença entre o cálculo e a simulação ocorre que no cálculo os valores são ideais sem perdas, e a simulação o software considera as perdas que ocorreria no sistema físico. Podemos observar que para os diferentes circuitos o diodo retifica as ondas seja parcialmente seja completa e o capacitor torna o sinal oscilatório em contínuo.

## Bibliografia

RETIFICADOR. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Retificador>; <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito\\_retificador](https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_retificador); >. Acesso em: 03 set. 2018.

CÁLCULO DE RETIFICADORES. Disponível em: <[https://www.gvensino.com.br/wp-content/uploads/2017/01/formulas\\_passos.pdf](https://www.gvensino.com.br/wp-content/uploads/2017/01/formulas_passos.pdf)>. Acesso em: 03 set. 2018.

RETIFICADO EM PONTE E MEIA ONDA COM FILTRO. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3474125/mod\\_resource/content/7/PSI3321-A12.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3474125/mod_resource/content/7/PSI3321-A12.pdf)>. Acesso em: 03 set. 2018.

INTRODUÇÃO AO MULTISIM. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/12692/pt/>>. Acesso em: 02 set. 2018.

BOYLESTAD, ROBERT, L; NASHELSKY, LOUIS. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos: 11. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2013.

TRANSFORMADORES. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Transformador>; [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/349452/mod\\_resource/content/2/Transformadores\\_Teo\\_2014%20%281%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/349452/mod_resource/content/2/Transformadores_Teo_2014%20%281%29.pdf)>. Acesso em: 04 set. 2018