

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA

Gean Lucas Rafael Espindola
Leocardia Szeskoski
Paulo José da Rosa Neto

Departamento Acadêmico de Eletrônica
Eletrônica Analógica I
Professor Daniel Lohmann

ESTUDO DE RETIFICADORES

Florianópolis
2020

1. Objetivos

- Estudar retificadores, medindo as principais grandezas nos circuitos montados;
- Verificar o funcionamento dos retificadores;
- Implementar filtros capacitivos nos retificadores e verificar seu funcionamento com a presença destes elementos.

2. Introdução

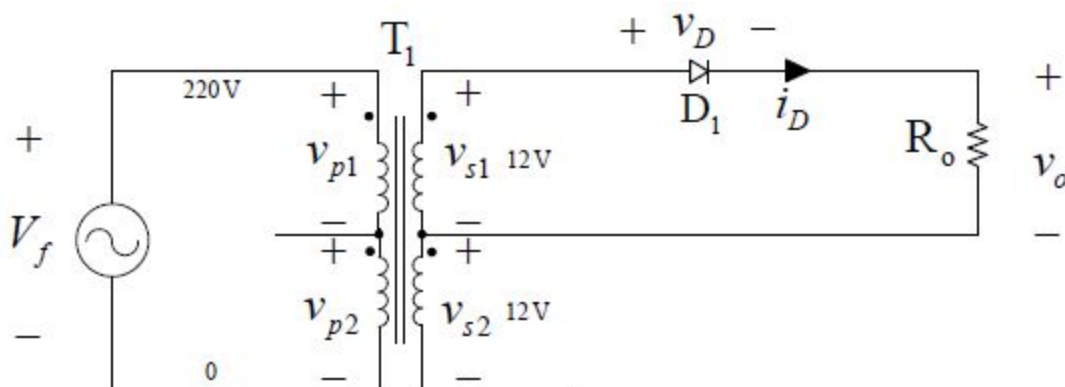
Neste relatório será apresentado os resultados obtidos nas simulações dos projetos retificadores, os projetos que serão abordados são: retificador de meia onda, onda completa em ponte e onda completa com derivação central.

3. Circuito Retificador de Meia Onda sem capacitor de filtro

O retificador de meia onda utiliza metade dos semiciclos da tensão senoidal de entrada. Esse circuito retificador é utilizado para converter um sinal de entrada AC (corrente alternada) em um sinal de saída CC (corrente contínua).

Com o auxílio do software de simulação LTSpice, utilizando diodo da série 1N4007 e um resistor de 270Ω como carga, montou-se um circuito retificador de meia onda. Alimentou-se à entrada (V_f) com um transformador fornecido em sala, conforme figura 1 abaixo:

Figura 1 – Circuito retificador de meia onda sem capacitor de filtro



Fonte: Esquemático fornecido em aula

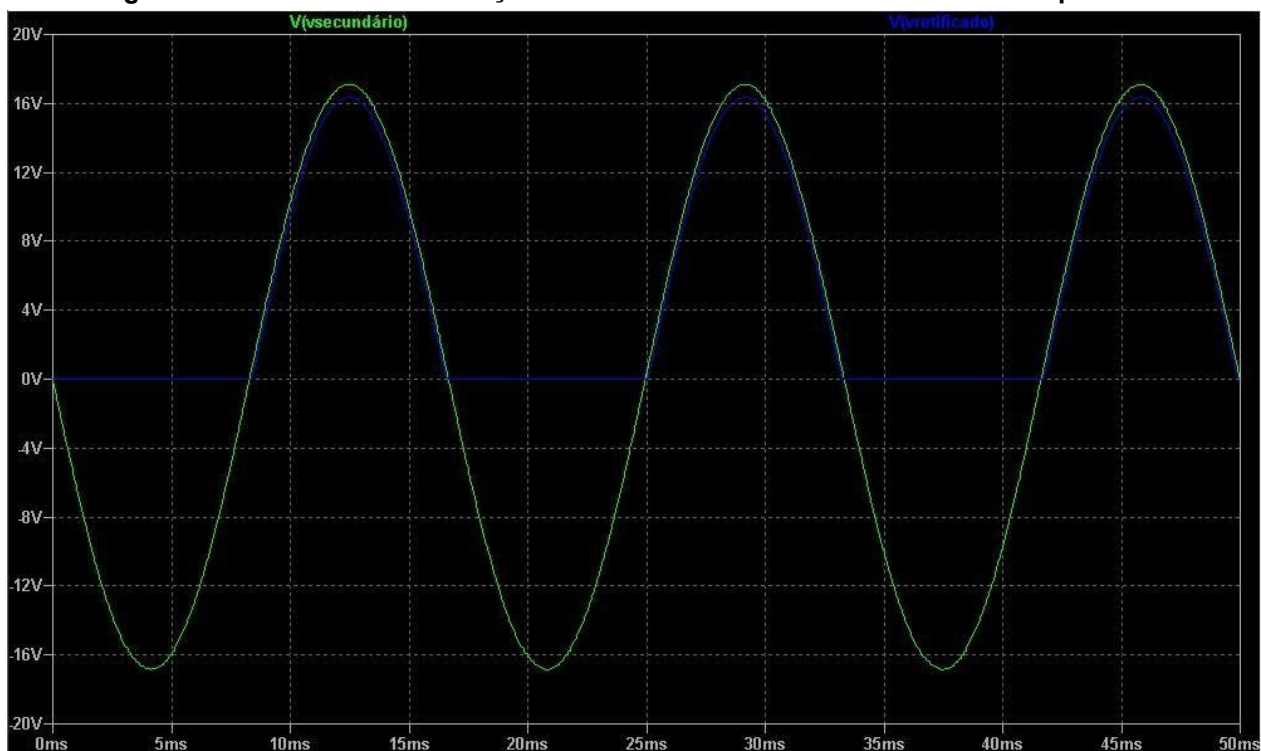
Os resultados obtidos com a simulação do circuito retificador de meia onda sem capacitor de filtro, pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1 – Circuito retificador de meia onda sem capacitor de filtro

Elemento	Grandeza	Resultados
Secundário 1	Tensão de pico	17,09 V
	Tensão eficaz	12,08 V
	Tensão média	0
Carga	Tensão máxima	16,33 V
	Tensão média	10,40 V
	Tensão eficaz	8,17 V

Durante os semiciclos positivos, da entrada senoidal V_f , a corrente circula pelo diodo no sentido direto, havendo apenas a queda de tensão V_o . Porém durante os semiciclos negativos, o diodo não conduz, comportando-se como um circuito aberto. A Figura 2 mostra esse comportamento, conforme já era esperado.

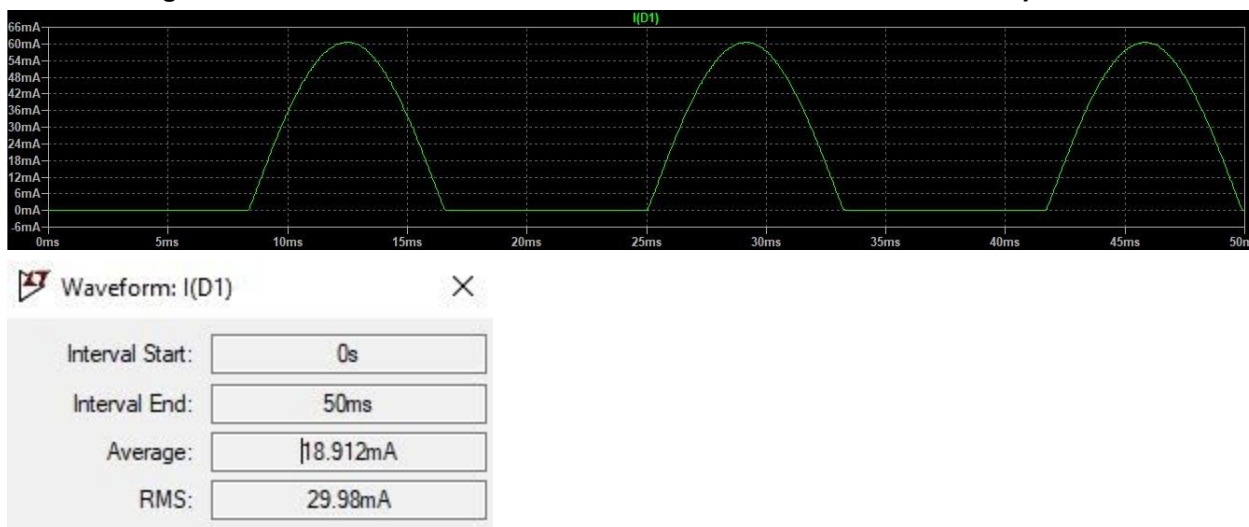
Figura 2 – Resultado da simulação do retificador de meia onda sem filtro capacitivo



Fonte: Compilação do próprio autor

Qual a corrente sobre o diodo?

Figura 3 – Corrente do diodo do retificador de meia onda sem filtro capacitivo



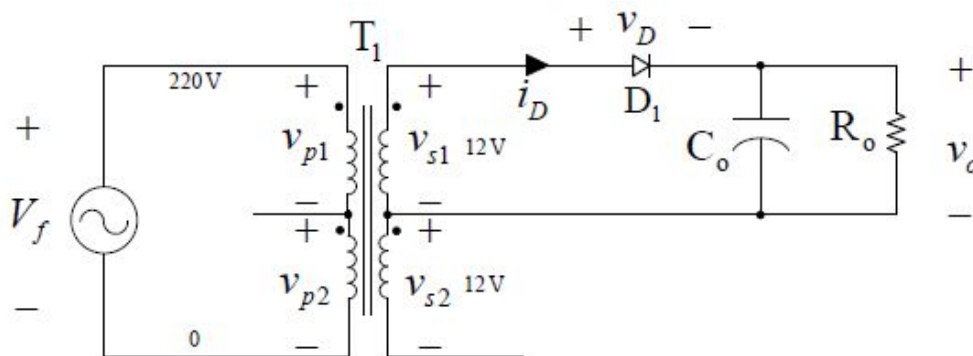
Fonte: Compilação do próprio autor

O valor máximo da corrente foi de 60,49mA, o valor médio foi de 18,912mA e o valor eficaz foi de 29,98mA.

3.1 – Circuitos Retificador de Meia Onda com capacitor de filtro.

Na sequência, outras medições foram realizadas no circuito retificador de meia onda, desta vez, com a inserção de um capacitor de filtro, como podemos verificar na Figura 4. Inicialmente foi adicionado um capacitor de 330 μ F e analisado o comportamento do circuito, conforme serão mostradas na Tabela 2 e na Figura 5. Em seguida, foi retirado o capacitor de 330 μ F e adicionado um capacitor de 2.200 μ F, a Tabela 2 e a Figura 6, mostram como o circuito se comporta com a implementação do capacitor de um capacitor maior que o primeiro:

Figura 4 – Circuito retificador de meia onda com capacitor de filtro



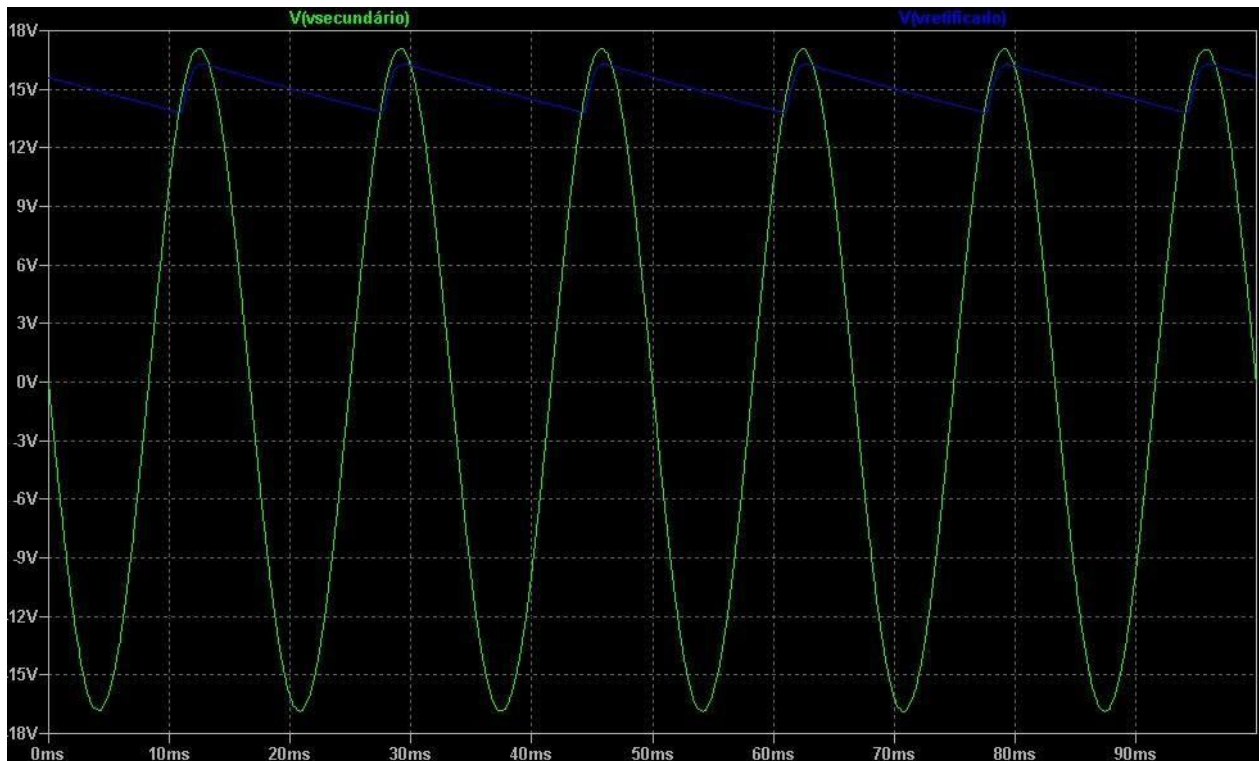
Fonte: Esquemático fornecido em aula.

Tabela 2 – Circuito retificador de meia onda com capacitor

Elemento	Grandeza	capacitor de 330 μ F	capacitor de 2200 μ F
Carga	Tensão máxima	16,30 V	16,22 V
	Tensão média	15,05 V	16,01 V
	Tensão eficaz	15,05 V	16,01 V

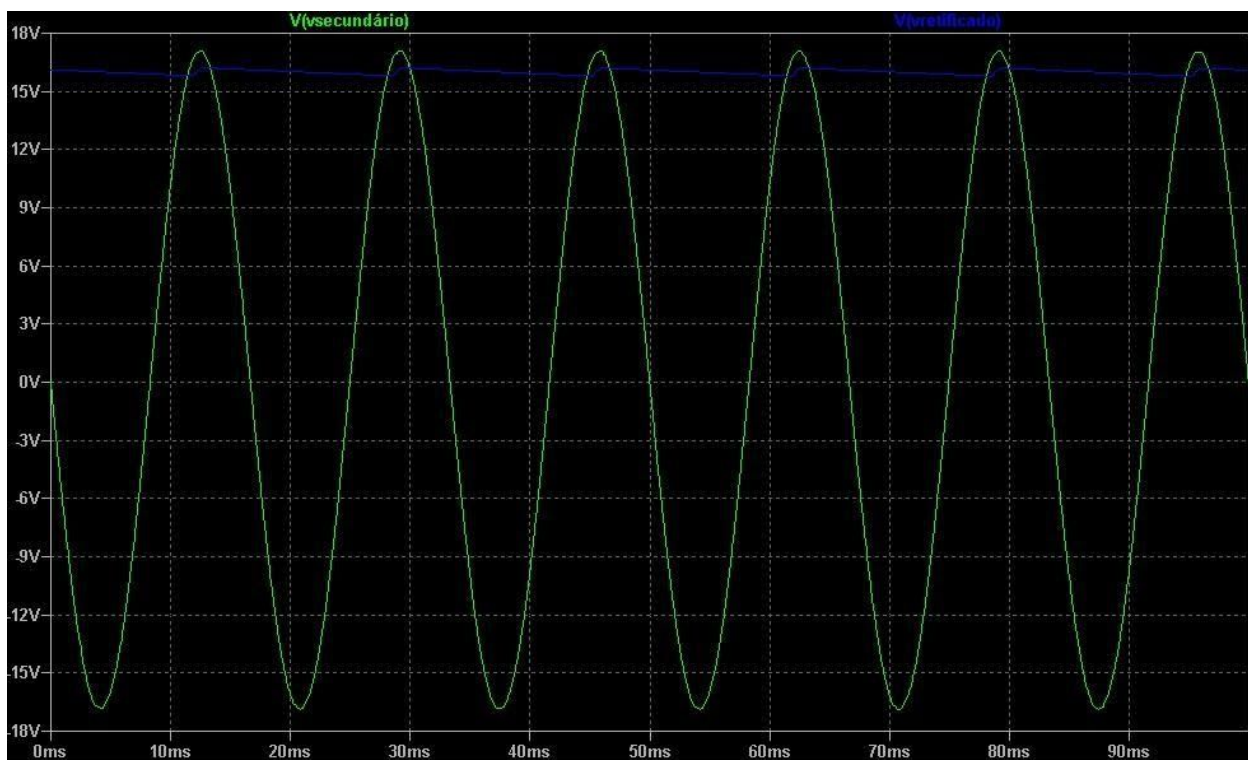
Os Capacitores são elementos elétricos capazes de armazenar carga elétrica e consequentemente, armazenam energia potencial elétrica. Os filtros capacitivos têm como objetivo à eliminação da componente AC (corrente alternada) do circuito, embora com oscilações. Usando-se um capacitor em paralelo com a carga, tem-se o efeito de manter a tensão na carga próxima ao valor de pico por mais tempo. As Figuras 5 e 6 abaixo, exemplificam as formas de ondas com os capacitores de 330 μ F e 2.200 μ F respectivamente.

Figura 5 – Resultados de simulação do retificador de meia onda com capacitor de 330 μ F de filtro no LTSpice



Fonte: Compilação do próprio autor

Figura 6 – Resultados de simulação do retificador de meia onda com capacitor de 2.200 μ F de filtro no LTSpice

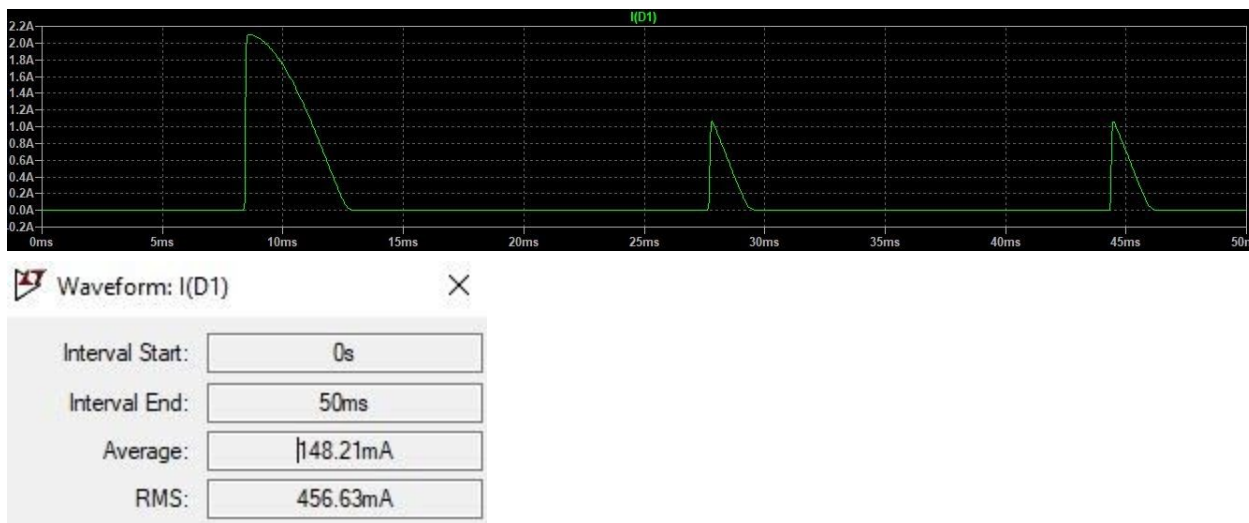


Fonte: Compilação do próprio autor

Quando a tensão do sinal cai, o capacitor começa a se descarregar, de modo que a tensão nos terminais da carga é superior à tensão fornecida pela fonte. O diodo retificador entra em corte, até que a tensão vinda da fonte supere novamente a tensão no capacitor. Quanto maior a constante RC, maior o tempo de queda da tensão do capacitor, e por consequência a tensão na carga é mantida bem próxima do valor de pico da tensão da fonte. Logo é possível observar que a constante RC quando utilizado o capacitor 2.200 μ F em paralelo com o resistor de 270 Ω é maior que a constante RC quando utilizado um capacitor de 330 μ F em paralelo com o resistor de 270 Ω , e por consequência o filtro capacitivo na figura 5 é mais eficiente do que na figura 4, pois a tensão na carga é mantida próxima a tensão de pico da fonte, tendo uma eficiência melhor. A tensão de ripple é uma variação a cada ciclo, e com a utilização do capacitor de 2.200 μ F essa tensão é menor do que com a utilização do capacitor de 330 μ F, tornando o circuito mais eficiente.

Qual a corrente sobre o diodo? Com o capacitor de 330 μ F:

Figura 7 – Corrente do diodo do retificador de meia onda com filtro capacitivo

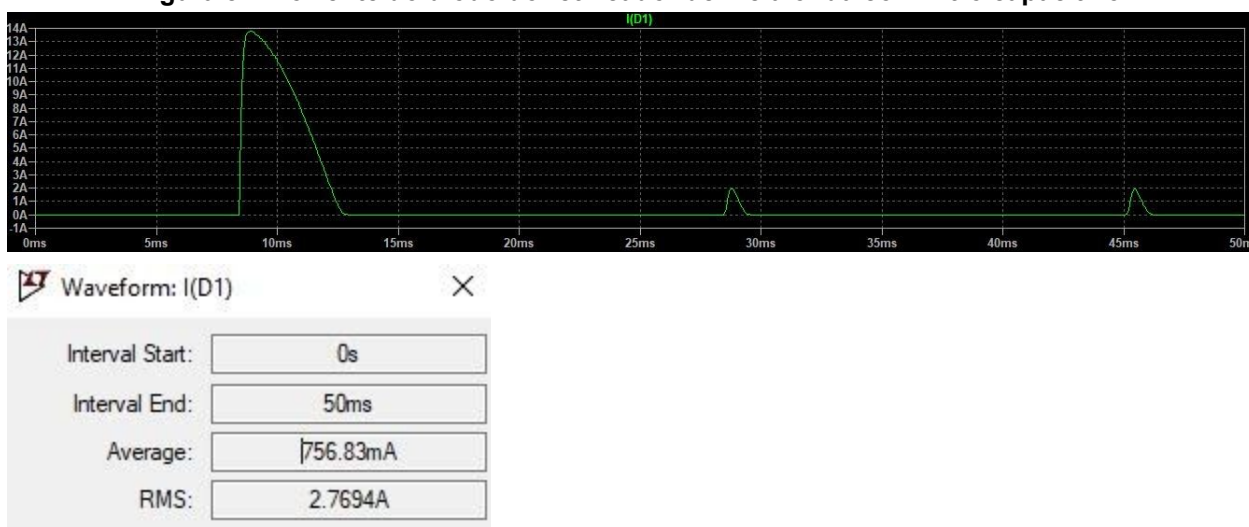


Fonte: Compilação do próprio autor

O valor máximo da corrente foi de 2,1A, o valor médio foi de 148,21mA e o valor eficaz foi de 456,63mA.

Qual a corrente sobre o diodo? Com o capacitor de 2200 μ F:

Figura 8 – Corrente do diodo do retificador de meia onda com filtro capacitivo



Fonte: Compilação do próprio autor

O valor máximo da corrente foi de 13,72A, o valor médio foi de 756,83mA e o valor eficaz foi de 2,76A.

3.2 – Circuitos Retificador de Meia Onda com e sem capacitor de filtro - PARTE B

Adicione um circuito para medir a corrente. Lembre-se na aula anterior foi estudados os circuitos com Ampop que são utilizados para medir a corrente em um circuito.

Pesquise sobre resistores shunt, respondendo as perguntas:

O que são?

Uma resistência shunt tem um valor muito baixo, com o objetivo de, ao fazer a inserção de um resistor shunt em série com uma carga, é possível determinar a corrente que circula sobre ele, através da sua queda de tensão.

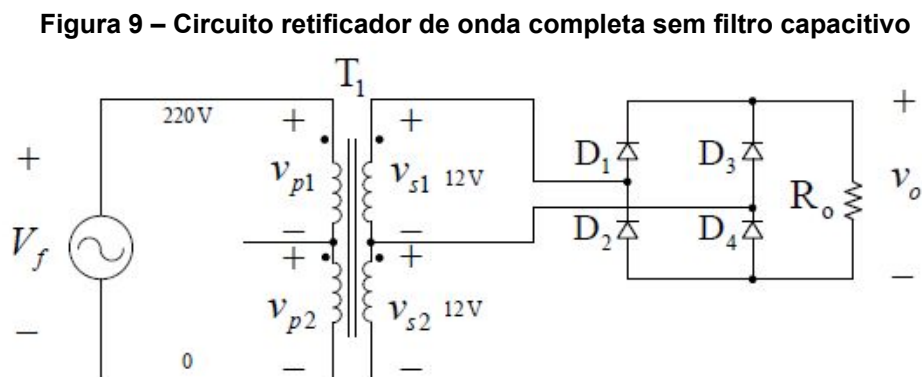
Como determinar o valor do resistor para o circuito?

Para determinar o valor da resistência shunt, o mesmo deve ser colocado em série com a carga, assim calcula-se seus valores utilizando a lei de Ohm, onde $V=R \cdot I$.

4. Circuito Retificador de Onda Completa sem capacitor de filtro:

O retificador de onda completa utiliza os semiciclos (positivos e negativos) da tensão senoidal de entrada, e converte em semiciclos positivos. Esse circuito retificador é utilizado para converter um sinal de entrada AC (corrente alternada) em um sinal de saída CC (corrente contínua), embora com oscilações.

Com o auxílio de uma matriz de contatos, utilizando quatro diodos da série 1N4007 e um resistor de 270Ω como carga, montou-se um circuito retificador de onda completa. Alimentou-se à entrada (V_f) com um transformador, conforme Figura 9 abaixo:



Fonte: Esquemático fornecido em aula

Diferente do circuito retificador de meia onda que durante os semiciclos negativos, o diodo não conduz, o circuito de onda completa se difere, pois com a utilização de quatro diodos (ponte retificadora), os dois semiciclos (positivo e negativo) conseguem ter a passagem de corrente por conta do modo de ligação dos 4 diodos utilizados, o que causa um rebatimento da parte negativa da senoide para cima, conforme é possível verificar na Figura 10.

Figura 10 – Resultado de simulação do retificador de onda completa sem filtro capacitivo no LTSpice



Fonte: Compilação do próprio autor

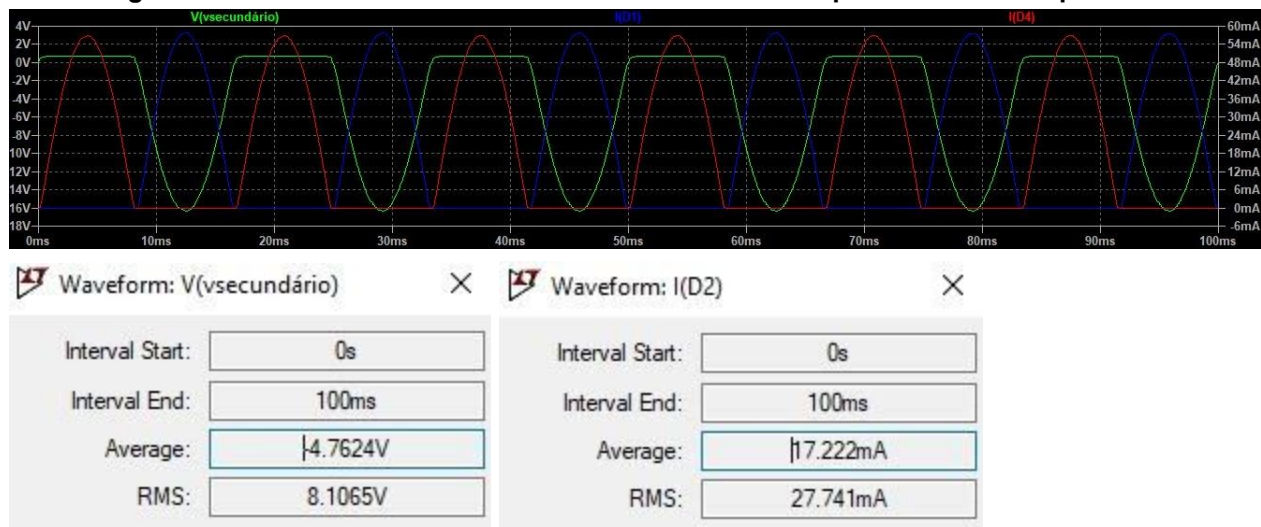
Os resultados obtidos com a simulação do circuito retificador de onda completa sem capacitor de filtro, pode-se observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Circuito retificador de onda completa sem capacitor de filtro

Elemento	Grandeza	Resultados
Secundário 1	Tensão de pico	16,32 V
	Tensão eficaz	11,54 V
	Tensão média	3,47 V
Carga	Tensão máxima	15,58 V
	Tensão média	9,92 V
	Tensão eficaz	11,02 V

Em todos os circuitos verifique a tensão reversa nos diodos e a corrente média e máxima nos diodos.

Figura 11 – Corrente do diodo do retificador de onda completa sem filtro capacitivo



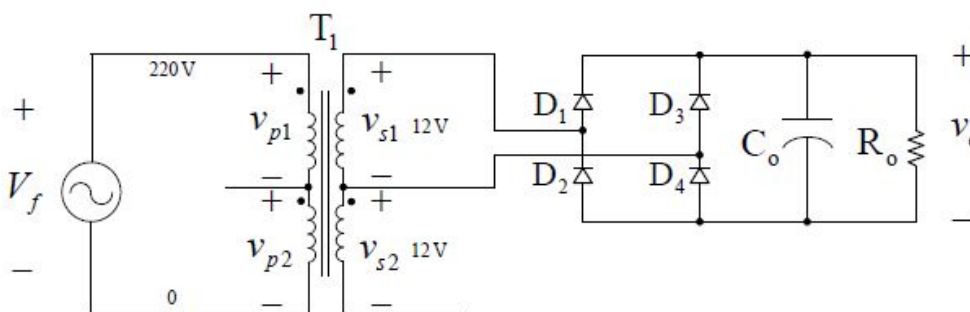
Fonte: Compilação do próprio autor

O valor médio foi de 17,22mA e o valor eficaz foi de 27,74mA e a tensão reversa foi de -16,17 V.

4.1 - Circuito Retificador de Onda Completa com capacitor de filtro:

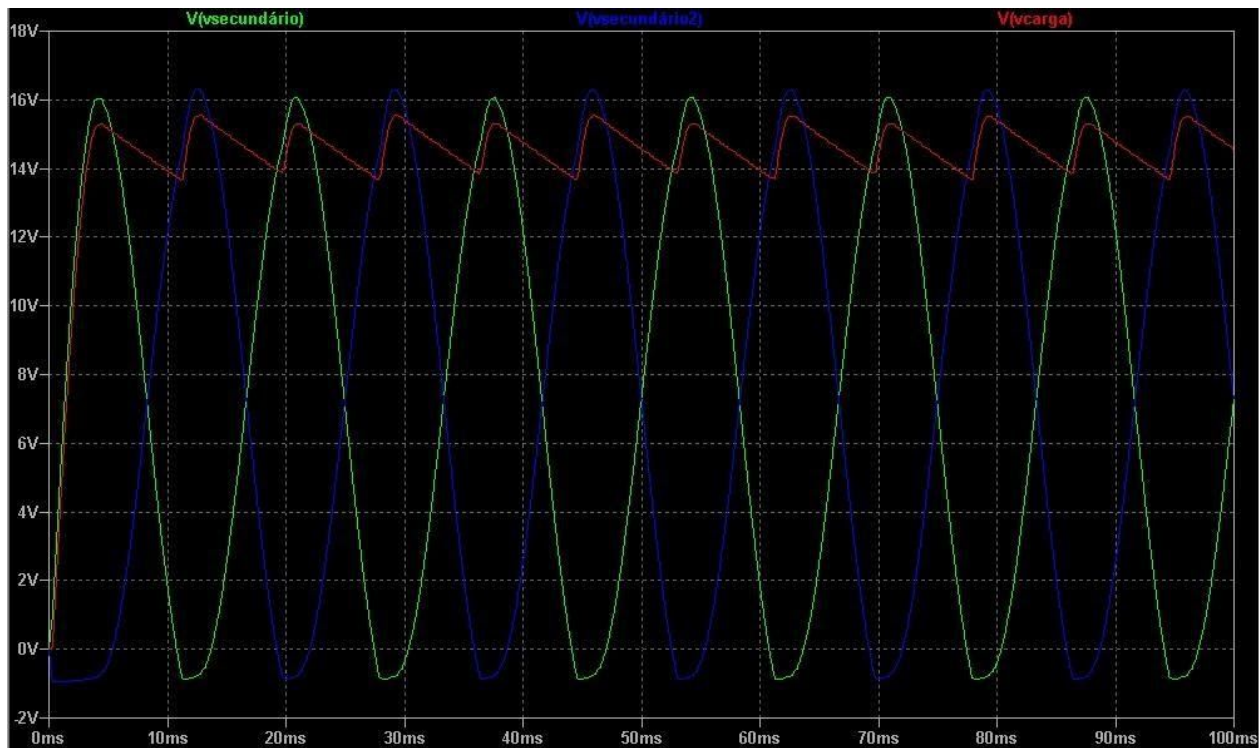
Em seguida, outras duas medições foram realizadas no circuito retificador de onda completa com capacitor de filtro, conforme Figura 12. Inicialmente foi adicionado um capacitor de 220 μ F e analisado o comportamento do circuito, conforme pode-se observar na Figura 13. Após foi retirado o capacitor de 220 μ F e adicionado um capacitor de 1.000 μ F, conforme pode-se observar na Figura 14.

Figura 12 – Circuito retificador de onda completa com filtro capacitivo



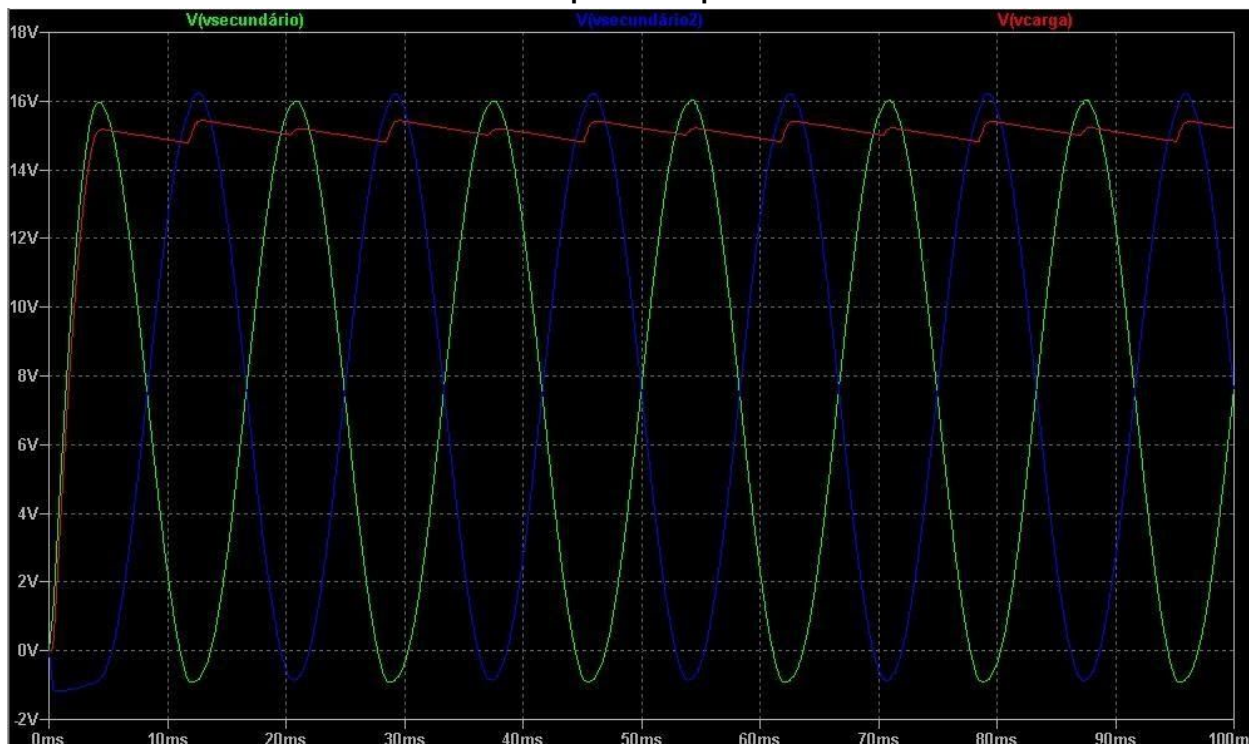
Fonte: Esquemático fornecido em aula

Figura 13 – Resultado do retificador de onda completa com capacitor de 220 μ F de filtro no LTSpice



Fonte: Compilação do próprio autor

Figura 14 – Resultados de simulação do retificador de onda completa com capacitor de filtro de 1.000 μ F no LTSpice



Fonte: Compilação do próprio autor

Adicionando um filtro capacitivo nesse circuito é possível estabilizar a corrente. O filtro é um capacitor ligado em paralelo à carga, que carrega durante o semiciclo positivo e descarrega na carga durante o semiciclo negativo, fazendo com que o sinal fique mais estável, com tensão V_o muito próxima a tensão de pico da fonte, mas tem uma pequena variação a cada ciclo, chamada de “tensão de Ripple” que é gerada por consequência do tempo de carga e descarga do capacitor, que se difere no valor da constante RC do circuito. Desse modo, a tensão de saída não está totalmente retificada, mas a variação é muito pequena.

Quanto maior a constante RC, maior o tempo de queda da tensão do capacitor, e por consequência a tensão na carga é mantida bem próxima do valor de pico da tensão da fonte. A tensão de ripple é uma variação a cada ciclo, e com a utilização do capacitor de 1.000 μ F essa tensão é menor do que com a utilização do capacitor de 220 μ F, tornando o circuito mais eficiente, pois a tensão na carga é mantida próxima a tensão de pico da fonte.

Os resultados obtidos com a simulação do circuito retificador de onda completa com capacitor de filtro, pode-se observar na Tabela 4.

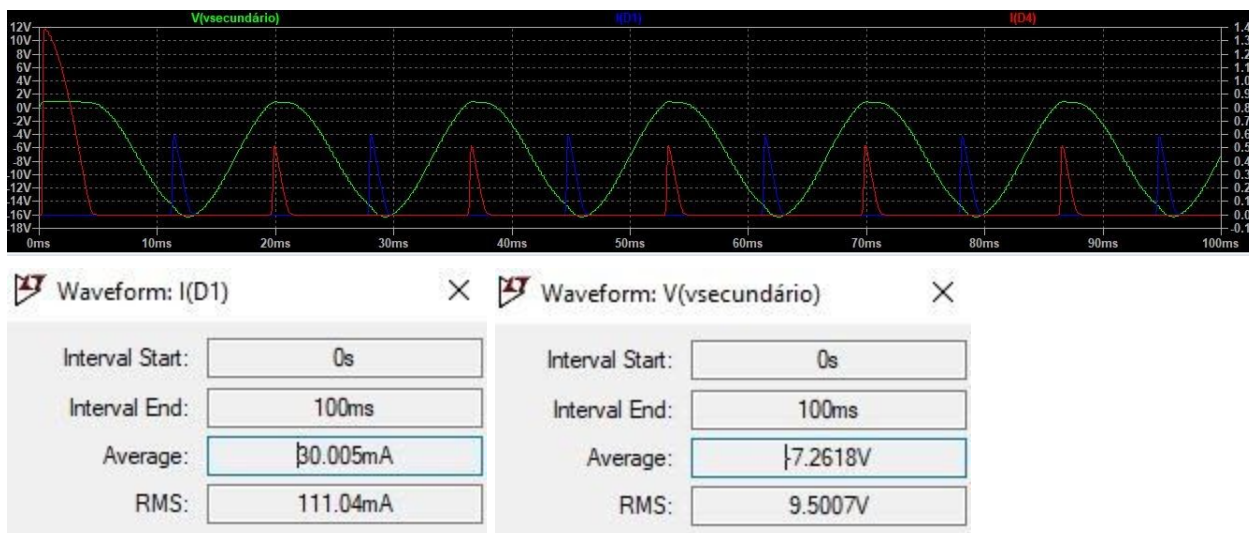
Tabela 4 – Circuito retificador de meia onda com capacitor

Elemento	Grandeza	capacitor de 220 μ F	capacitor de 1000 μ F
	Tensão máxima	15,53 V	15,42 V

Carga	Tensão média	14,60 V	15,12 V
	Tensão eficaz	14,60 V	15,12 V

Em todos os circuitos verifique a tensão reversa nos diodos e a corrente média e máxima nos diodos.

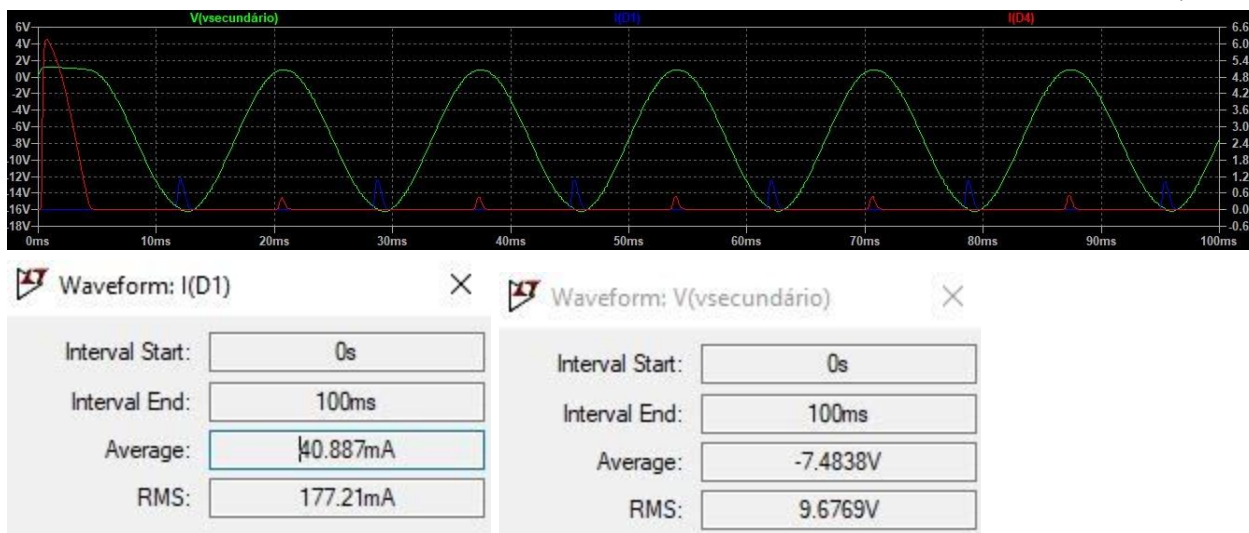
Figura 15 – Corrente do diodo do retificador de onda completa com filtro capacitivo: 220 μ F



Fonte: Compilação do próprio autor

O valor médio foi de 30,00mA e o valor eficaz foi de 111,04mA e a tensão reversa foi de -16,30 V.

Figura 16 – Corrente do diodo do retificador de onda completa com filtro capacitivo: 1000 μ F



Fonte: Compilação do próprio autor

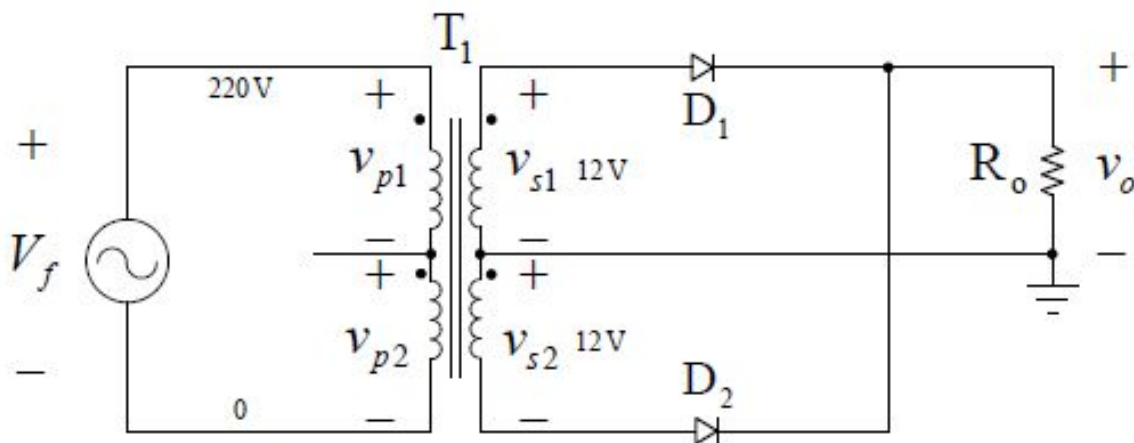
O valor médio foi de 40,887mA e o valor eficaz foi de 177,21mA e a tensão reversa foi de -16,15 V.

5. Circuito Retificador de Onda Completa com Transformador em Derivação sem capacitor de filtro:

Esse circuito, o transformador possui uma derivação no meio do secundário, com dois diodos colocados de maneira que, tanto no semiciclo positivo como no negativo, a tensão na saída está sempre no mesmo sentido, isso é possível pois o transformador possui uma derivação central.

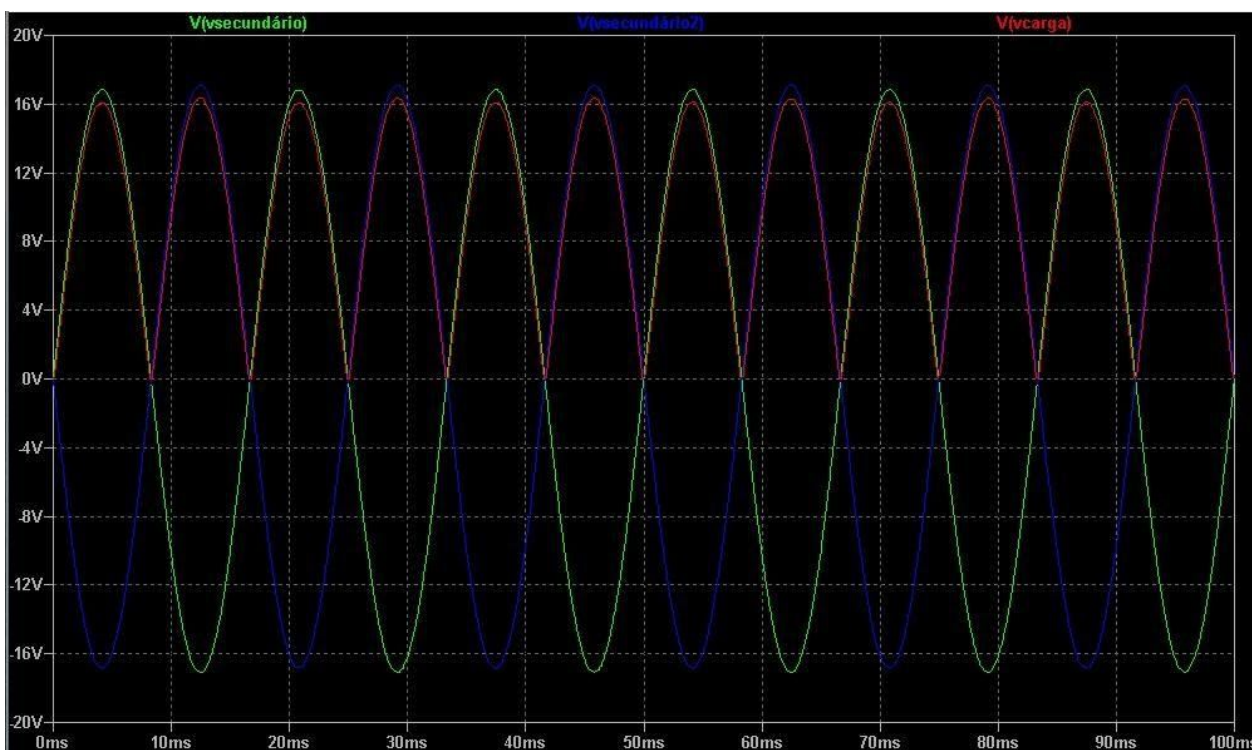
Com o auxílio de uma matriz de contato, utilizando dois diodos da série 1N4007 e um resistor de 270Ω como carga, montou-se um circuito retificador de onda completa com transformador em derivação. Alimentou-se à entrada (Vf) com um transformador, conforme figura 17 abaixo:

Figura 17 – Circuito retificador de onda completa sem capacitor de filtro com transformador em derivação



Fonte: Esquemático fornecido em aula

Figura 18 – Resultado de simulação do circuito retificador de onda completa sem filtro capacitivo com transformador em derivação



Fonte: Compilação do próprio autor

De modo geral, um transformador com um primário e dois secundários ligados em série, sendo o ponto de ligação destes a derivação central. Desta forma, cada enrolamento fornecerá corrente para um semiciclo da onda senoidal. Há uma defasagem de 180° entre as tensões de saída do transformador, V_{s1} e V_{s2} . As tensões V_{s1} e V_{s2} são medidas em relação a referência (terra). Quando V_{s1} for positivo, V_{s2} será negativo, a corrente sai de V_{s1} passa por D1 e R_o e chega na referência (terra). Quando V_{s1} for negativo, V_{s2} será positivo, a corrente sai de V_{s2} passa por D2 e R_o e chega na referência (terra). Para qualquer polaridade de V_{s1} ou de V_{s2} a corrente circula num único sentido em R_o e por isto, a corrente em R_o é contínua, é possível verificar na figura 18. Os resultados obtidos com a simulação do circuito retificador de onda completa sem capacitor de filtro com transformador em derivação, pode-se observar na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do circuito retificador de onda completa sem capacitor de filtro com Transformador em Derivação

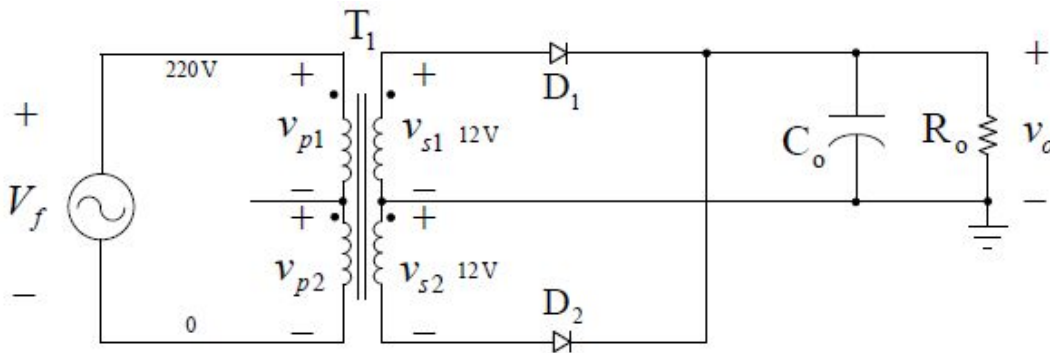
Elemento	Grandeza	Resultados
Secundário 1	Tensão de pico	16,85 V
	Tensão eficaz	11,91 V
	Tensão média	0 V
Carga	Tensão máxima	16,32 V
	Tensão média	10,40 V

	Tensão eficaz	11,54 V
--	---------------	---------

5.1 - Circuito Retificador de Onda Completa com Transformador em Derivação com capacitor de filtro:

Em seguida, outras duas medições foram realizadas no circuito retificador de onda completa com transformador em derivação com capacitor de filtro, inicialmente foi adicionado um capacitor de $220\mu\text{F}$ e analisado os comportamentos do circuito, conforme serão mostradas nas imagens retiradas de um osciloscópio utilizado no experimento. Após, foi retirado o capacitor de $220\mu\text{F}$ e adicionado um capacitor de $1.000\mu\text{F}$. A figura 19 abaixo, mostra como o circuito ficará com a implementação do capacitor.

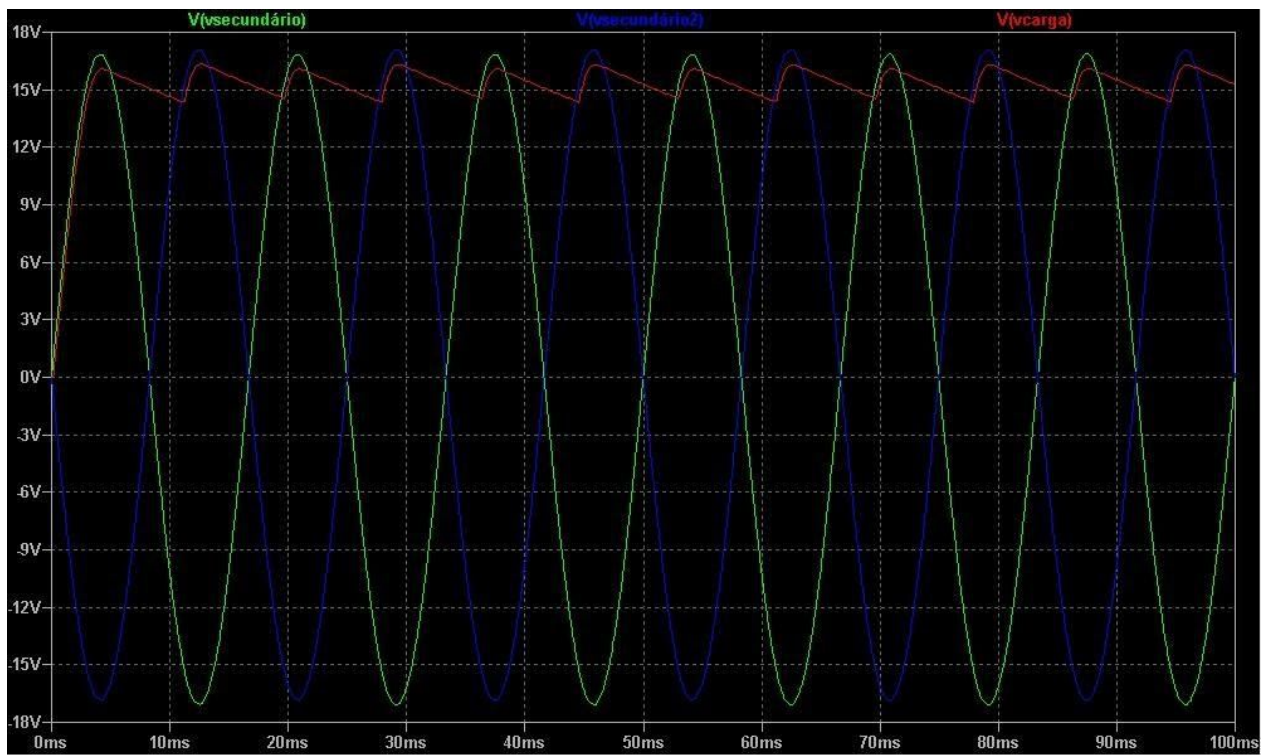
Figura 19 – Circuito retificador de onda completa com capacitor de filtro com Transformador em Derivação



Fonte: Esquemático fornecido em aula

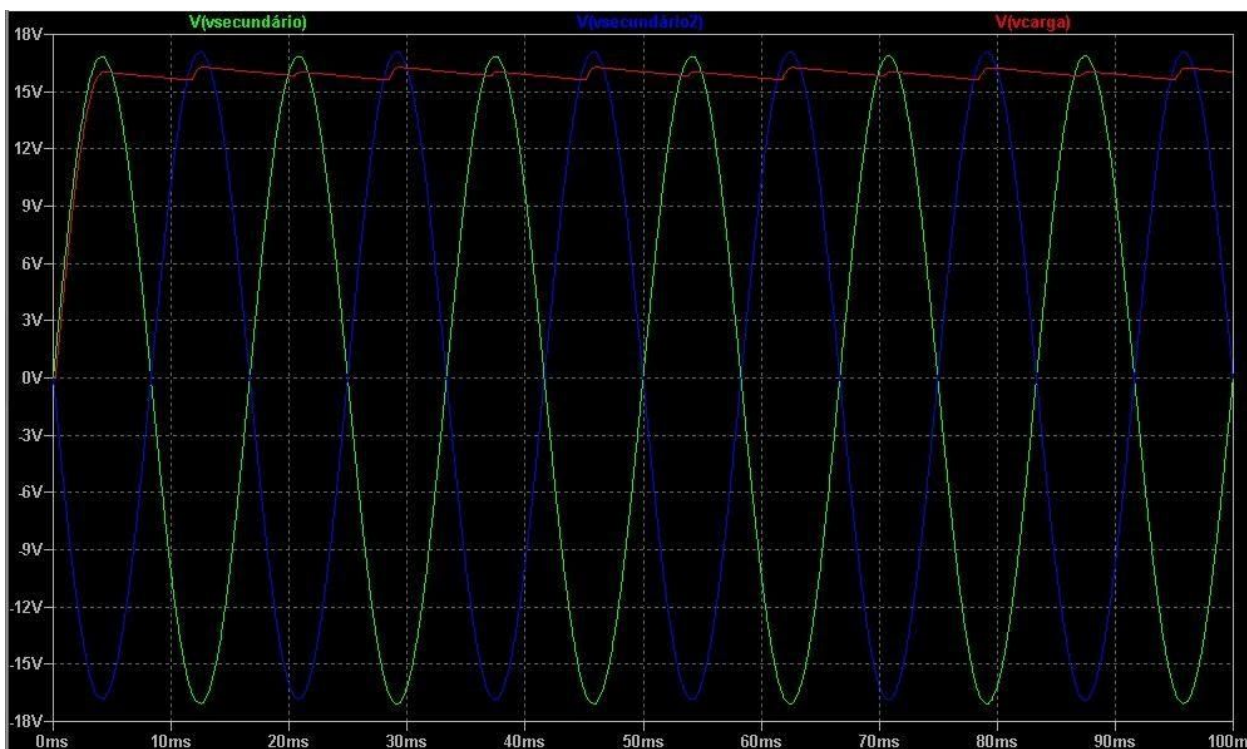
Os filtros capacitivos têm como objetivo a eliminação da componente AC (corrente alternada) do circuito, embora com oscilações. Usando-se um capacitor em paralelo com a carga, tem-se o efeito de manter a tensão na carga próxima ao valor de pico por mais tempo. É possível verificar na Figura 20 com capacitor de $220\mu\text{F}$ e na Figura 21 com capacitor de $1000\mu\text{F}$.

Figura 20 – Resultado de simulação do circuito retificador de onda completa com capacitor $220\mu\text{F}$ de filtro com transformador em derivação



Fonte: Compilação do próprio autor

Figura 21 – Resultado de simulação do circuito retificador de onda completa com capacitor 1000 μ F de filtro com transformador em derivação



Fonte: Compilação do próprio autor

É possível verificar que quanto maior o valor do capacitor, mais próximo a tensão V_o fica da tensão de pico da fonte.

Os resultados obtidos com a simulação do circuito de onda completa com capacitor de filtro com Transformador em Derivação, pode-se observar na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do circuito retificador de onda completa com filtro capacitivo e com transformador em derivação

Elemento	Grandeza	capacitor de 220 μ F	capacitor de 1000 μ F
Carga	Tensão máxima	16,31 V	16,26 V
	Tensão média	15,33 V	15,93 V
	Tensão eficaz	15,33 V	15,93 V

5. Conclusão

O relatório proporcionou a compreensão da funcionalidade dos circuitos retificadores estudados. Nota-se que para cada circuito, além da retificação de onda, proporcionada pela característica de funcionamento do(s) diodo(s), a presença do capacitor, agindo como filtro em paralelo a carga, proporciona melhor uniformidade no sinal, mantendo o valor de tensão próximo do valor de pico por mais tempo, e quanto maior o valor de capacitância, mais uniforme é o sinal de saída.

6. Bibliografia

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. Microeletrônica. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.