

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
FABIO IVO PEREIRA DE OLIVEIRA JUNIOR

CIRCUITOS ELETRÔNICA BÁSICA – M1

Relatório apresentado como requisito parcial para a obtenção da M1 da disciplina de Eletrônica básica do curso de Engenharia de Computação pela Universidade do Vale do Itajaí da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia.

Prof. Walter Antonio Gontijo

Itajaí
2022

1. OBJETIVO

O relatório tem como objetivo a simulação, representação e cálculos dos circuitos apresentados em sala durante a M1 da disciplina de eletrônica básica do curso de Engenharia de computação.

Serão demonstrados cálculos relativos aos conteúdos e as simulações realizadas no software NI Multisim e a comparação dos valores entre a teoria e a simulação, para que assim seja possível ver o quão correto estão os cálculos realizados em sala.

2. INTRODUÇÃO

Um diodo é um componente elétrico que permite a passagem de uma corrente elétrica em apenas um sentido. Este componente possui dois terminais com polaridades opostas e nele a corrente flui do anodo ao catodo, uma de suas principais funcionalidades é atuar como retificador e quando diretamente polarizado, tem uma queda de tensão padrão de 0,7 V, diodos inversamente polarizados não conduzem corrente.

Neste relatório, além dos diodos convencionais, sendo eles virtuais ou reais, são utilizados os diodos Zener, que tem como diferença de propriedade a tensão de ruptura sendo reduzida, fazendo com que seu efeito seja mais visto em tensões relativamente baixas. Em alguns circuitos também são inseridos transformadores.

Aqui, serão apresentados circuitos das aulas da disciplina de Eletrônica Básica, dentre eles retificadores, filtros capacitivos e circuitos com Zener. Para cada circuito são apresentados seus cálculos, simulações e suas devidas comparações.

3. CIRCUITOS

3.1 – REVISÃO DE ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

3.1.1- RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

Encontre a Req dos circuitos abaixo:

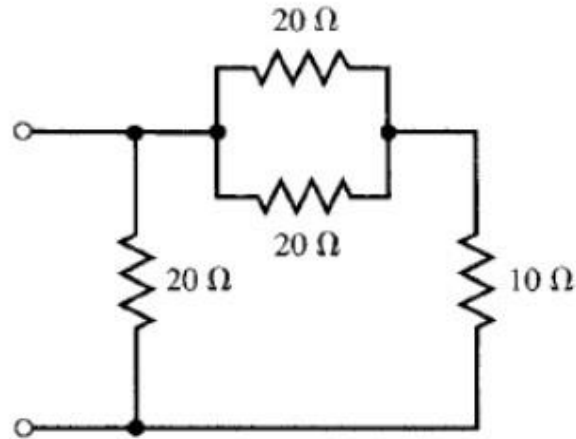


Figura 1 - Circuito 3.1.1 exercício proposto

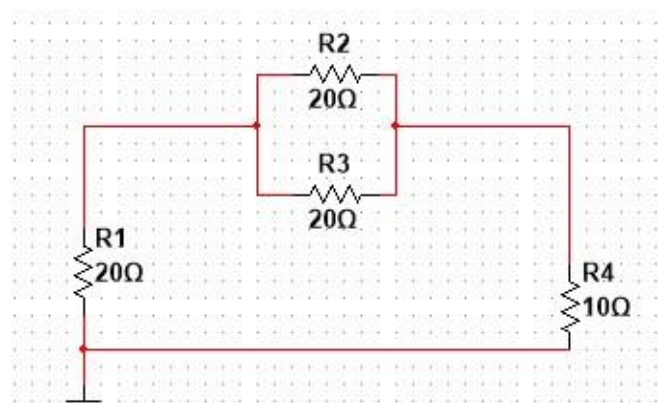


Figura 2 - Circuito 3.1.1 simulação

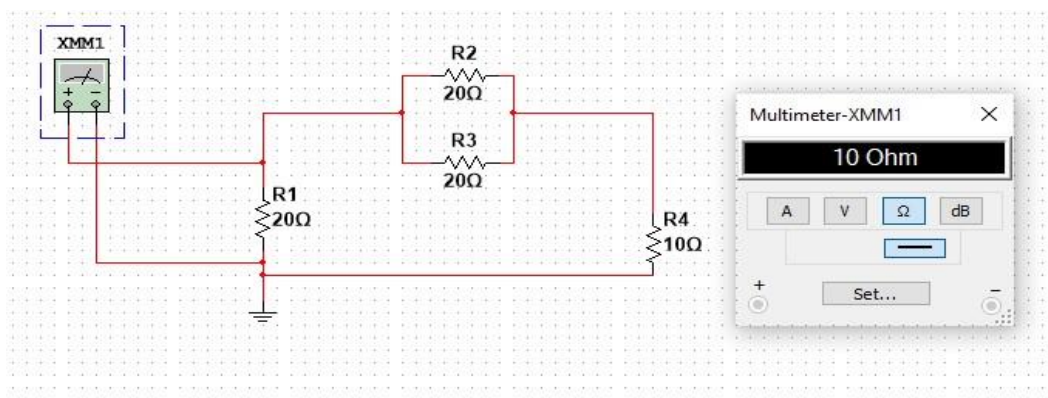


Figura 3 – Req do circuito 3.1.1 no Multisim

CÁLCULOS

$$20\,\Omega || 20\,\Omega + 10 =$$
$$\frac{20 * 20}{20 + 20} =$$
$$\frac{400}{40} =$$
$$10\,\Omega$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Req.	10 Ω	10 Ω

3.1.2- RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

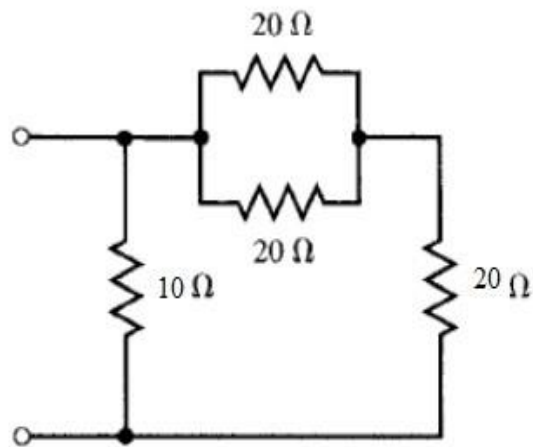


Figura 4 - Circuito 3.1.2 proposto

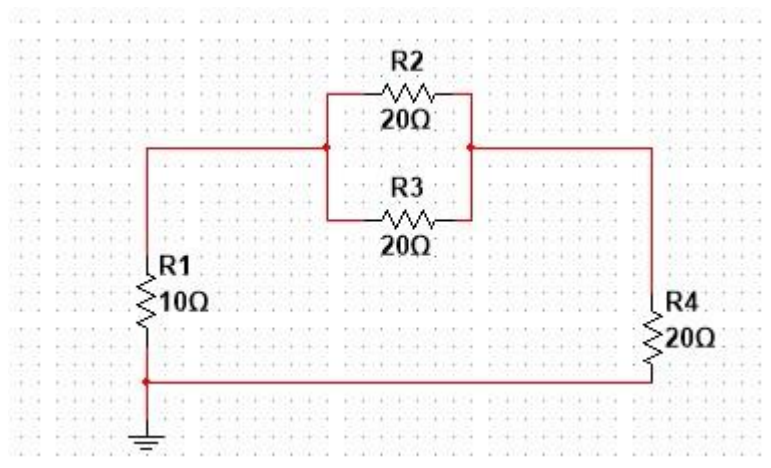


Figura 5 - Circuito 3.1.2 simulado

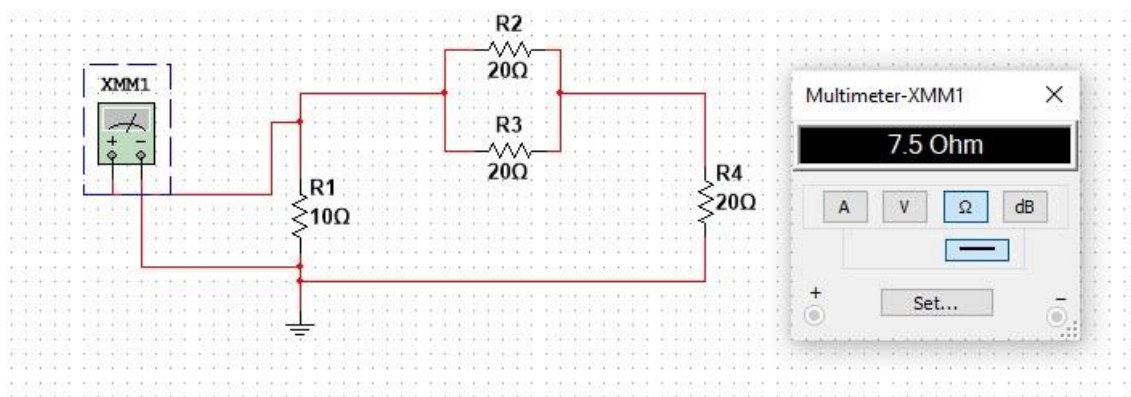


Figura 6 - Resistência equivalente do circuito 3.1.2 mensurada

CÁLCULOS

$$20\,\Omega || \frac{20\,\Omega + 20\,\Omega}{\frac{20 * 20}{20 + 20}} =$$
$$\frac{400}{40} =$$
$$10\,\Omega + 20\,\Omega =$$
$$30\,\Omega || 10\,\Omega = 7,5\,\Omega$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Req.	7,5 Ω	7,5 Ω

3.1.3 - MALHA SIMPLES

Encontre V_3 e sua polaridade, a corrente $I = 0,40 \text{ A}$.

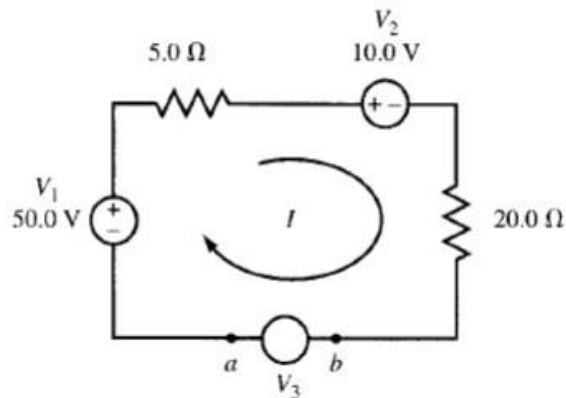


Figura 7 - Circuito 3.1.3 proposto

CÁLCULOS

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 20 \, \Omega + 5 \, \Omega = 25 \, \Omega \\ -50V + 25i + 10 \, V &= 0 \\ -40 \, V &= -25 \, i \\ i &= \frac{40}{25} = 1,6A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= R * I \\ V_{ab} &= 25 * 0,4A \\ V_{ab} &= 10V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_x &= 25 * 1,6A \\ V_x &= 40V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_3 &= V_x - V_{ab} \\ V_3 &= 30V \end{aligned}$$

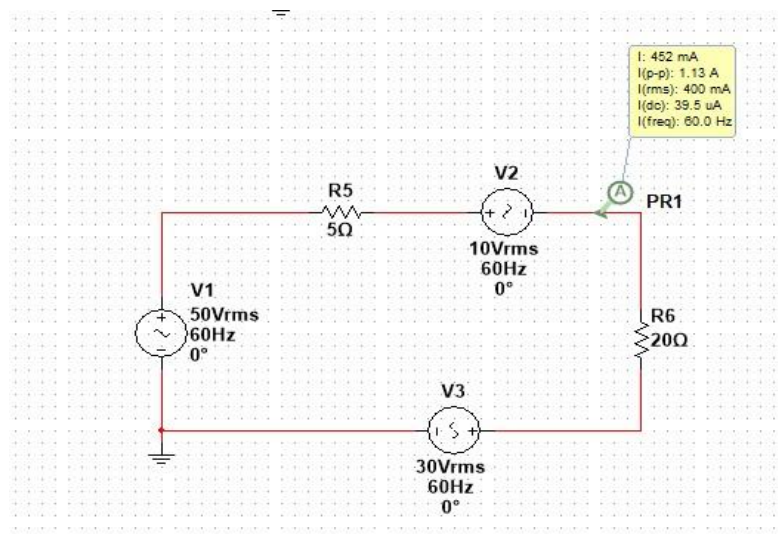


Figura 8 - Circuito 3.1.3 simulado

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Corrente no circuito	0,4 A	0,4 A
V3	30 V	30 V

3.1.14 – MALHAS

Encontre os valores de I no circuito a seguir:

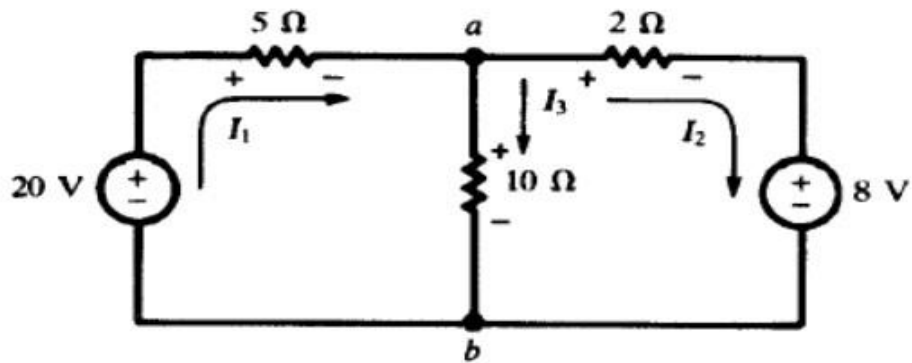


Figura 9 - Circuito 3.1.4 proposto

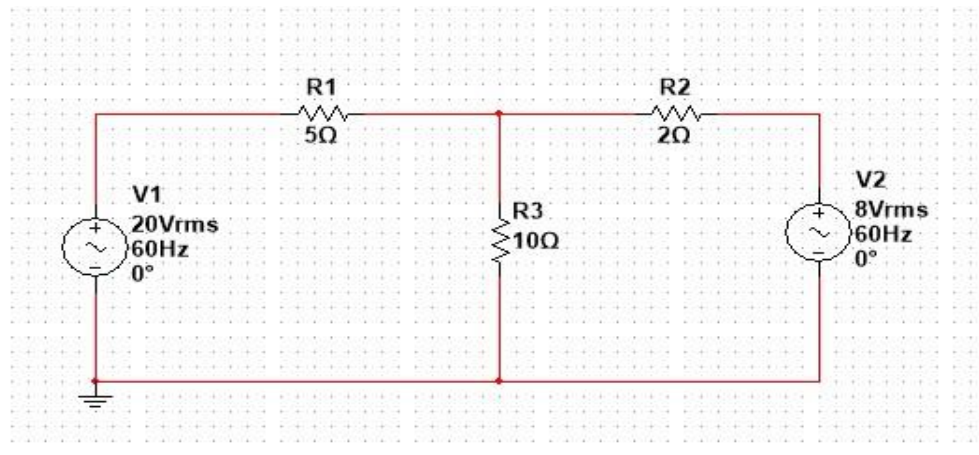


Figura 10 - Circuito 3.1.4 simulado

CÁLCULOS

Malha 1:

$$-20V + 5i_1 + 10(i_1 - i_2) = 0$$

$$5i_1 + 10i_1 - 10i_2 = 20$$

$$15i_1 - 10i_2 = 20$$

Malha 2:

$$8V - 10(i_1 - i_2) + 2i_2 = 0$$

$$-10i_1 + 10i_2 + 2i_2 = -8V$$

$$\begin{cases} 15i_1 - 10i_2 = 20 & * (12) \\ -10i_1 + 10i_2 + 2i_2 = -8 & * (10) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 180i_1 - 120i_2 = 240 \\ -100i_1 + 100i_2 + 20i_2 = -80 \end{cases}$$

$$180i_1 - 100i_1 - 120i_2 + 120i_2 = 240 - 80$$

$$80i_1 = 160$$

Subs. na M1:

$$15 * 2 - 10i2 = 20$$

$$30 - 10i2 = 20$$

$$-10i2 = -10 I2 = 1 A$$

$$I3 = I1 - I2$$

$$I3 = 2 - 1$$

$$I3 = 1A$$

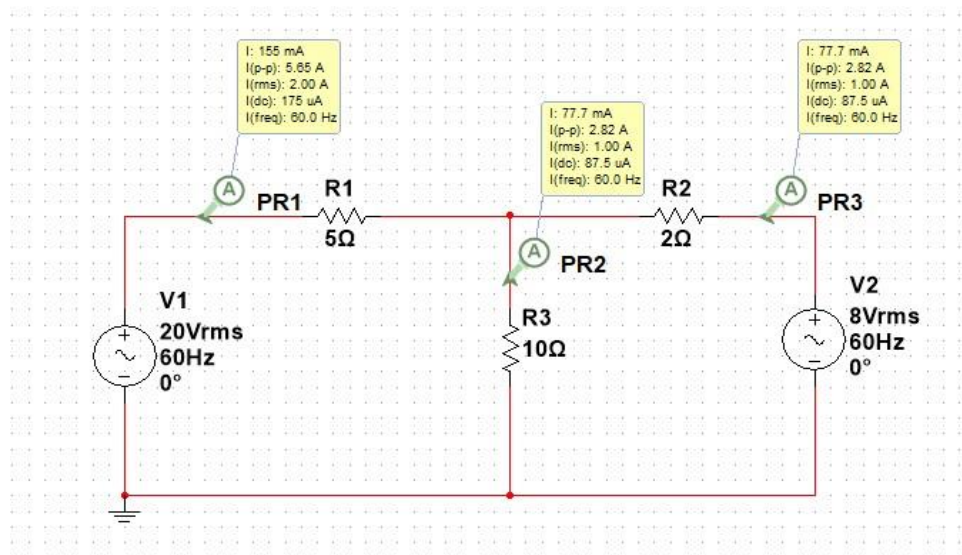


Figura 11 - Mensuração no circuito 3.1.4

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
I1	2 A	2 A
I2	1 A	1 A
I3	1 A	1 A

3.1.5 - SUPERPOSIÇÃO

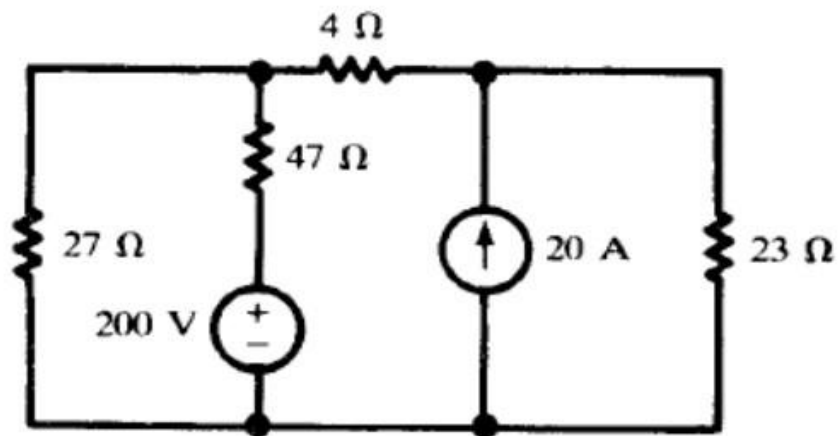
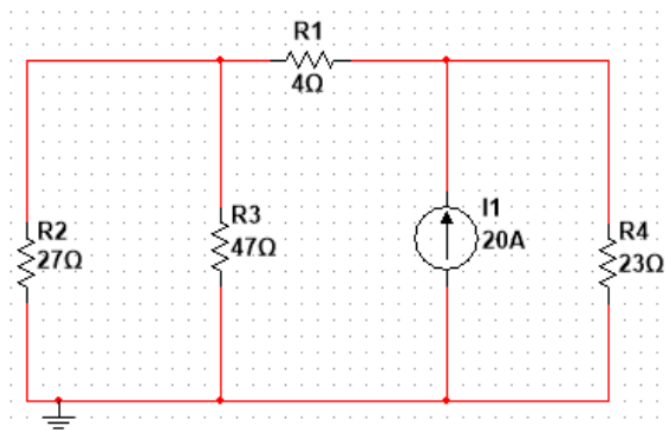


Figura 12 - Circuito 3.1.5 proposto

CÁLCULOS

V1 inativo e V2 ativo:



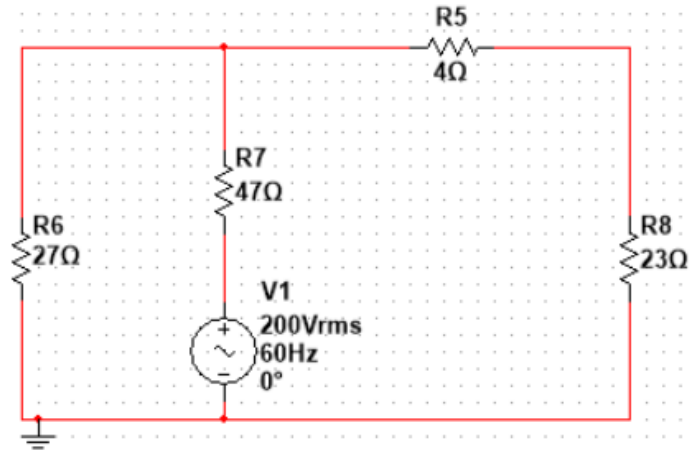
$$\begin{aligned} R_{eq} &= (27 || 47) + 4 \\ &= \frac{27 * 47}{27 + 47} + 4 \\ &= 21,15 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{eq} &= (21,15 || 23) \\ &= \frac{21,15 * 23}{21,15 + 23} \\ &= 11,02 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{20 * 23}{44,15} \\ &= -10,42A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V1 &= 4 * (-10,42) \\ &= 41,68V \end{aligned}$$

V1 ativo e V2 inativo:



$$\begin{aligned} R_{eq} &= (27 \parallel 27) + 47 \\ &= \frac{27 * 27}{27 + 27} + 47 \\ &= 60,5 \, \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{200}{60,5} \\ &= 3,31A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{27 * 3,31}{27 + 27} \\ &= \frac{89,37}{54} \\ &= 1,65A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 4 * 1,65 \\ &= 6,62V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_x &= 6,62 + (-41,68) \\ &= -35,06V \\ &= 35,06V \end{aligned}$$

3.1.6 - THÉVENIN E NORTON

Calcule o eq. de Thévenin e o eq. de Norton:

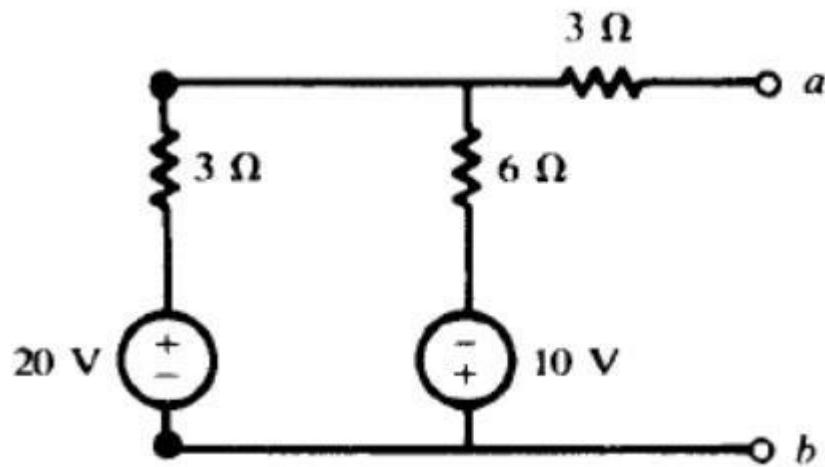


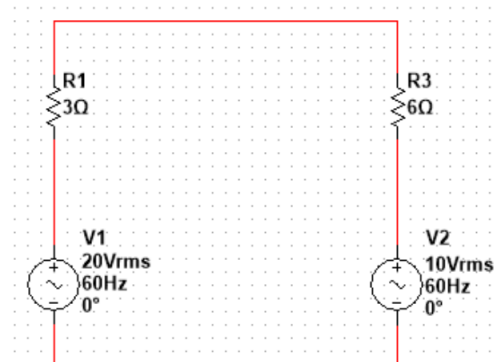
Figura 13 - Circuito 3.1.6 proposto

CÁLCULOS

Thévenin:

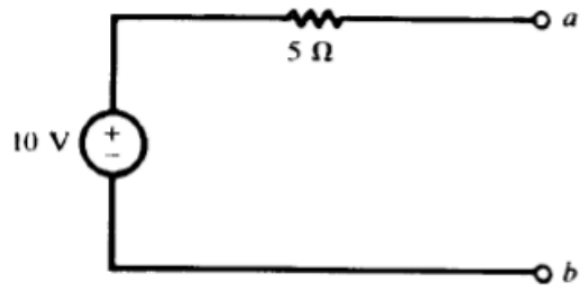
$$\begin{aligned} R_{th} &= 6 \parallel 3 \\ &= \frac{6 * 3}{6 + 3} \\ &= 2\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{th} &= 2 + 3 \\ &= 5\Omega \end{aligned}$$



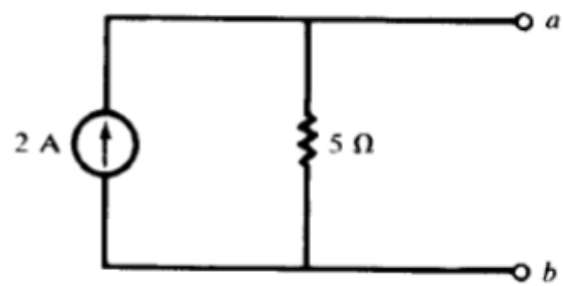
$$\begin{aligned} 3i + 6i - 10V - 20V &= 0 \\ 9i &= 30V \\ I &= 3.33A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{th} &= R3 * I \\ &= 6 * 3,33 - 10 \\ &= 9,98 \end{aligned}$$



Norton:
 $R_{th} = R_n$
 $R_n = 5\Omega$

$$\begin{aligned}
 I_n &= \frac{V_{th}}{R_{th}} \\
 &= \frac{9,98}{5} \\
 &= 2A
 \end{aligned}$$



(b) Norton Equivalent

3.2 – DIODOS

3.2.1 – DIODO IDEAL

Calcule I_D , I_R , V_D e V_R , para $E = 11\text{V}$. Considere o diodo ideal.

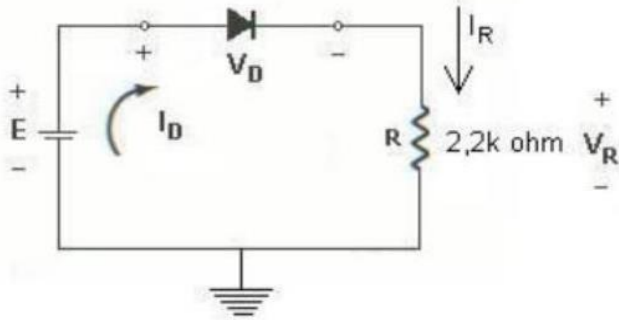


Figura 14 - Circuito 3.2.1 proposto

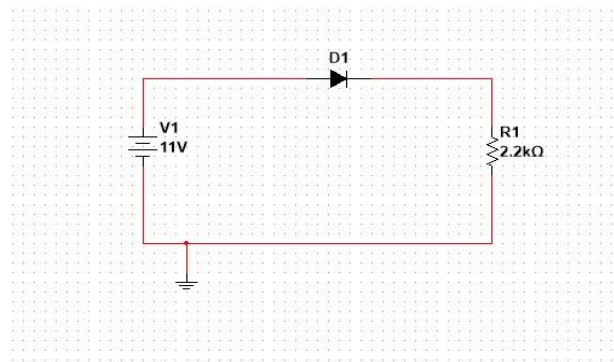


Figura 15 - Circuito 3.2.1 simulado

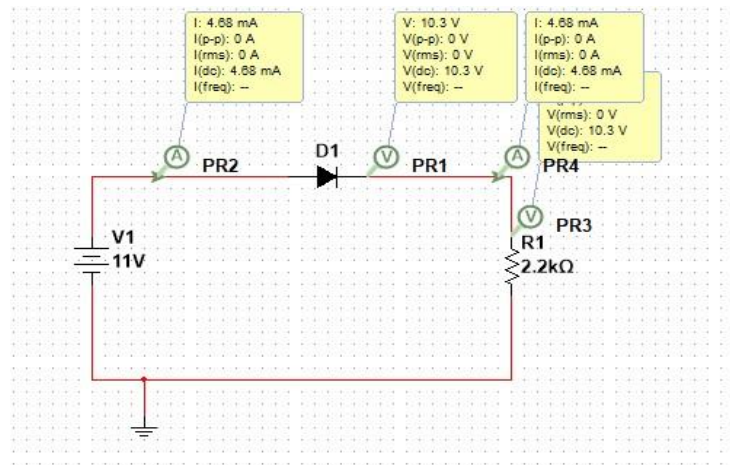


Figura 16 - Mensuração circuito 3.2.1

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
I_D	4,68 mA	5 mA
I_R	4,68 mA	5 mA
V_D	10,3 V	10 V
V_R	10,3 V	10 V

CÁLCULOS

$$E - V_d - i * R = 0$$

$$E = V_d + i * R$$

$$I = \frac{11V}{2,2k\Omega}$$

$$= 0,005$$

$$= 5mA$$

$$11 = V_D + 0,005 * 2,2k$$

$$V_D = 11 - 0,005 * 2,2k$$

$$V_D = 11 - 1,1$$

$$V_D = 9,9 V$$

$$V_D = V_R$$

$$V_R = 10 V$$

Repita o exercício anterior considerando que a polaridade da fonte E foi invertida.

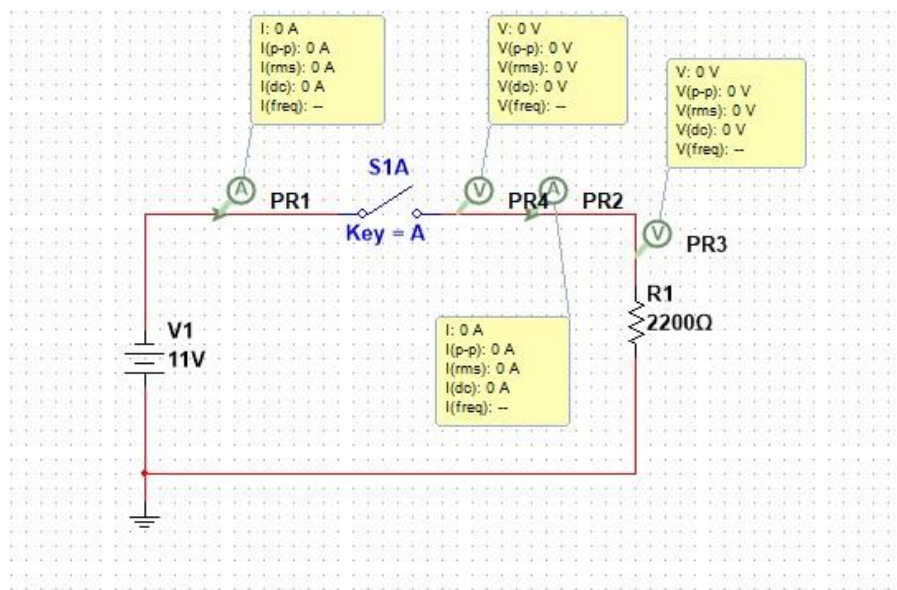


Figura 17 - Circuito 3.2.1 com a fonte invertida polarmente

3.2.2 – DIODO IDEAL

Calcule I_D , V_o e V_{D2} . Considere diodo ideal.

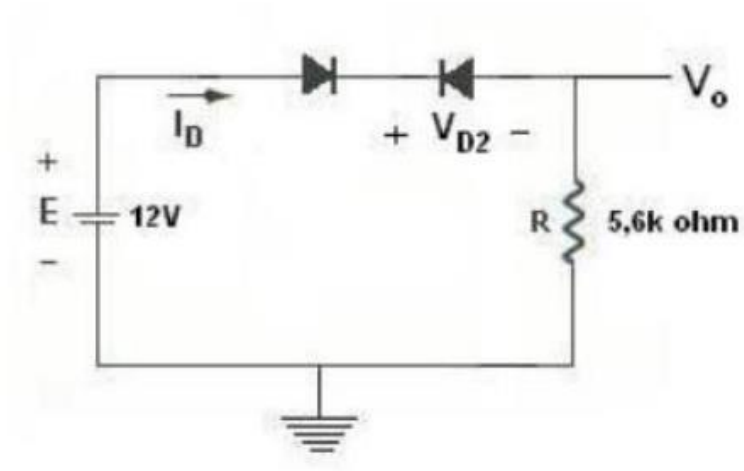


Figura 18 - Circuito 3.2.2 proposto

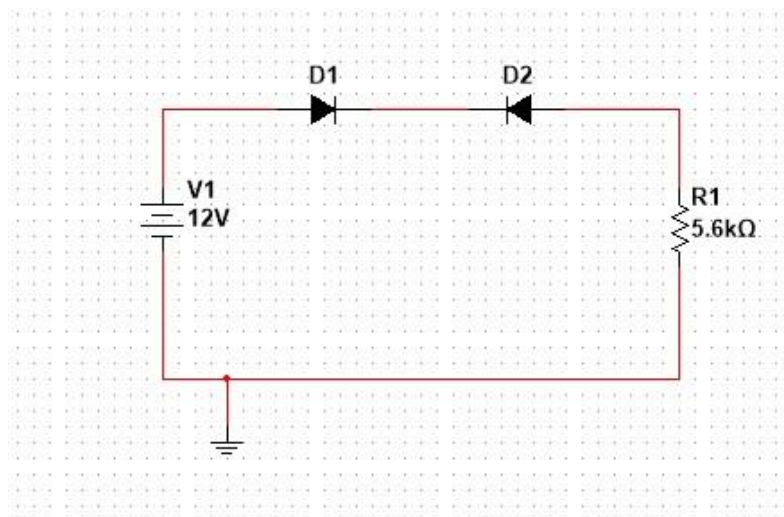


Figura 19 - Circuito 3.2.2 simulado

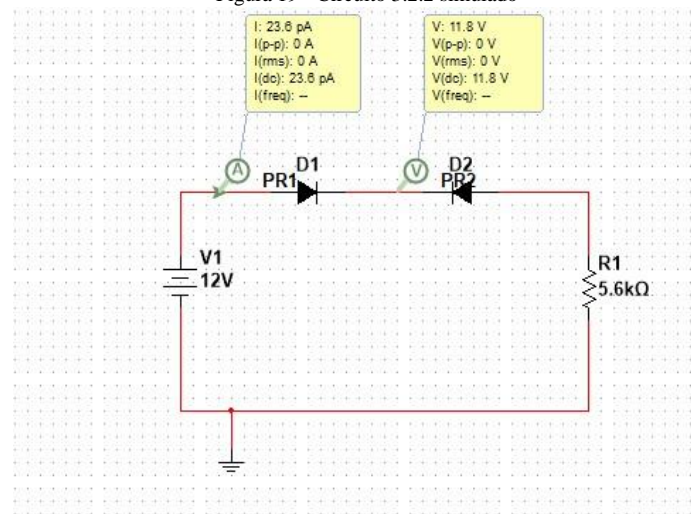


Figura 20 - Circuito 3.2.2 medido

CÁLCULOS

$$I_d = \frac{12}{5,6k}$$
$$= 0,002143A$$
$$= 0,214mA$$

$$V_0 = 0$$

$$V_{d2} = 12V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Id	0,0023 A	0,0021 A
V0	0	0
Vd2	11,8 V	12 V

3.2.3 – DIODO IDEAL

Calcule I , V_A , V_R e V_o . Considere diodo ideal.

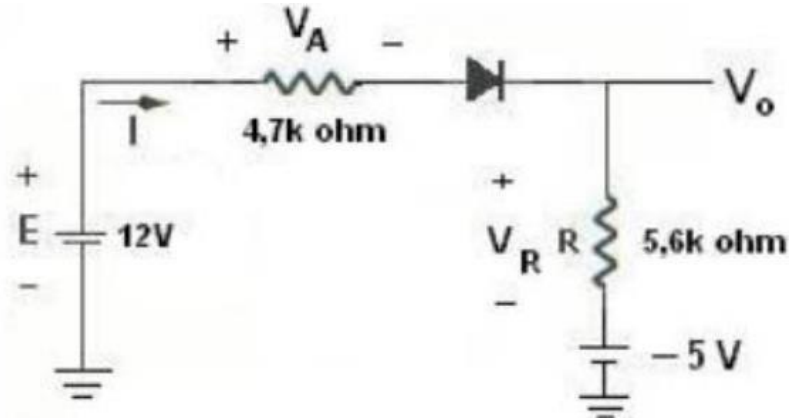


Figura 21 - Circuito 3.2.3 proposto

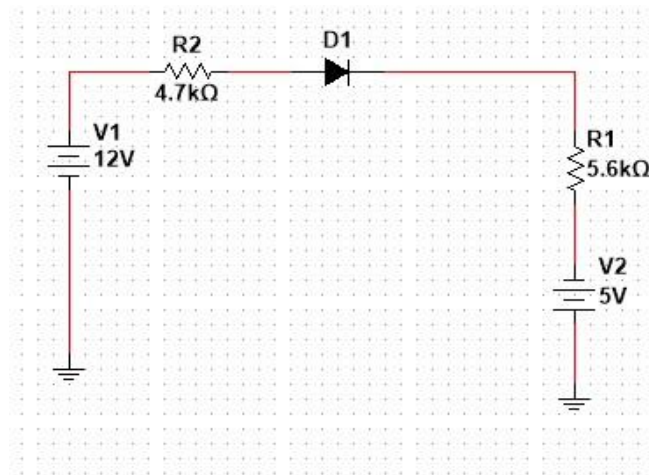


Figura 22 - Circuito 3.2.3 simulado

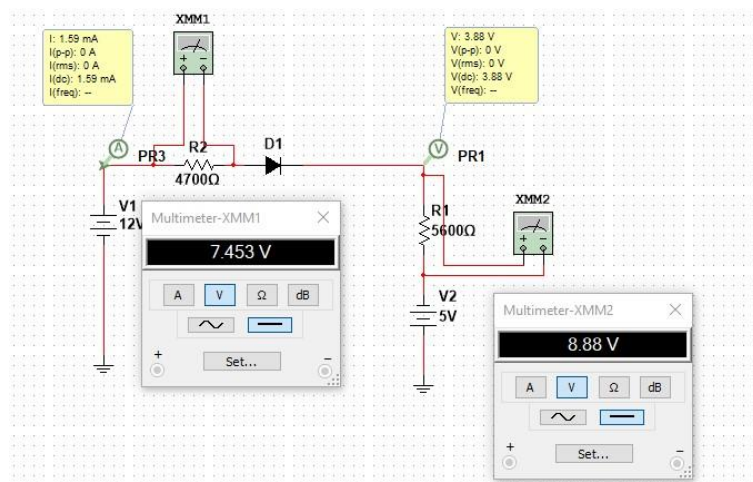


Figura 23 - Circuito 3.2.3 medido

CÁLCULOS

$$I = \frac{12 + 5}{4,7k + 5,6k}$$
$$= \frac{17}{10,3k}$$
$$= 0,0016A$$
$$= 1,6mA$$

$$Va = R * I$$
$$= 4,7k * 0,0016$$
$$= 7,52V$$

$$Vr = 5,6k * 0,0016$$
$$= 8,96V$$

$$V0 = 10,3k * 0,0016$$
$$= 16,48V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
I	1,59 mA	1,6 mA
Va	7,453 V	7,52 V
Vr	8,8 V	8,96 V
V0	16V	16,48V

3.2.4 – FORMA DE ONDA

Obtenha a forma de onda v_O para a entrada mostrada. Considere diodo ideal

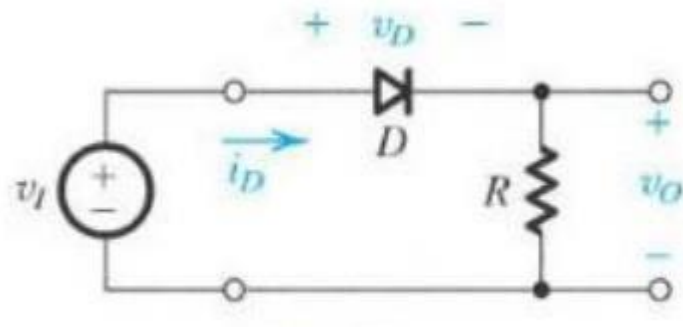


Figura 24 - Circuito 3.2.4 proposto

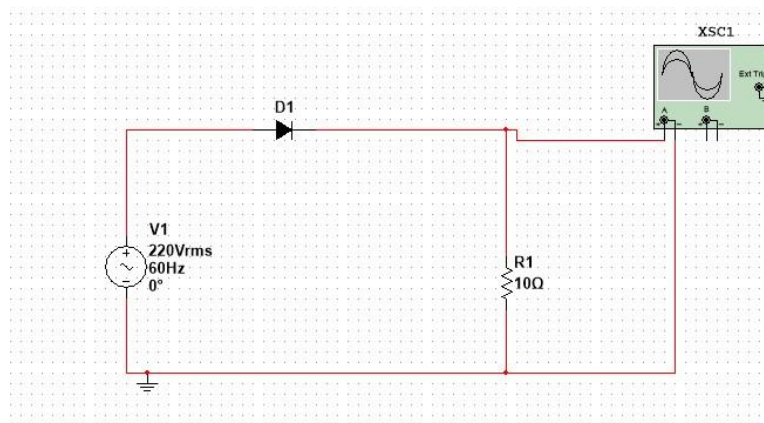


Figura 25 - Circuito 3.2.4 simulado

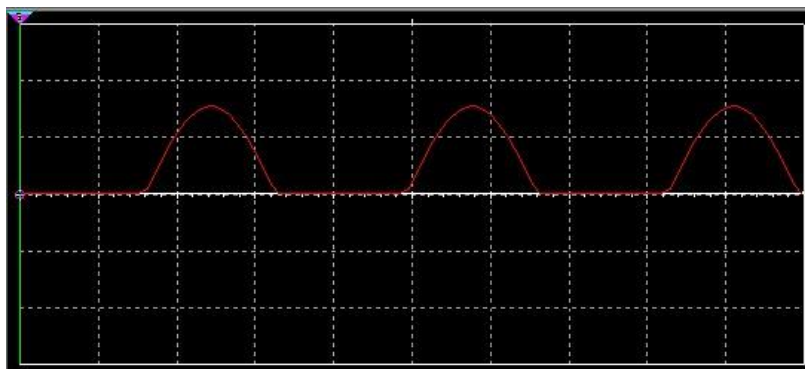


Figura 26 - Circuito 3.2.4 forma de onda

3.2.5 – FORMA DE ONDA CHAVE ABERTA E FECHADA

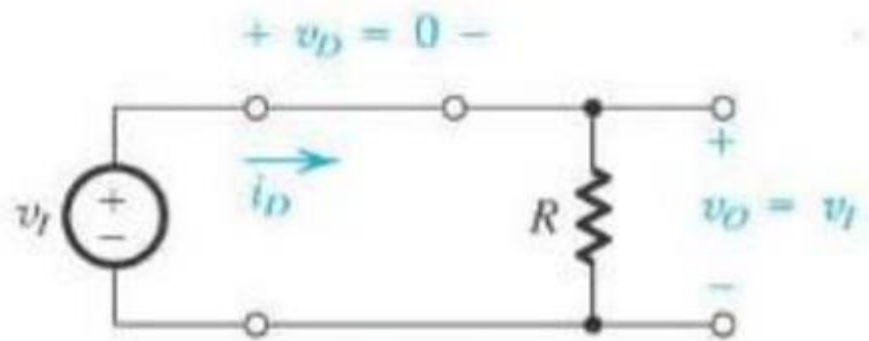


Figura 27 - Circuito 3.2.5-1 proposto

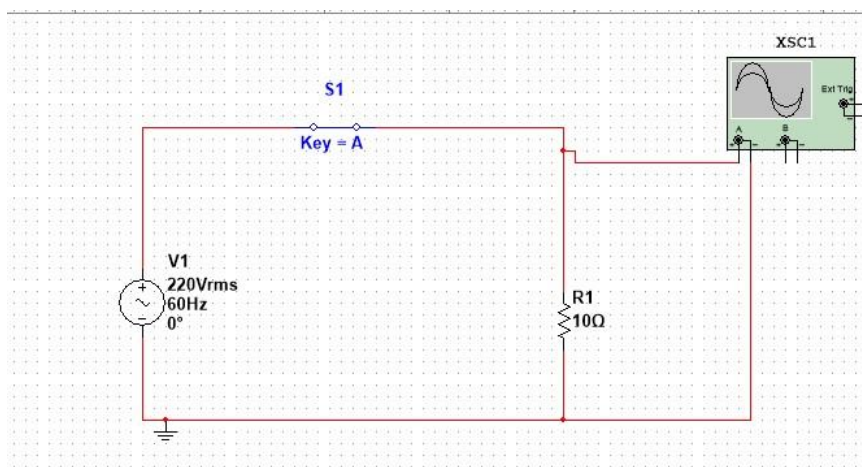


Figura 28 - Circuito 3.2.5 -1 simulado

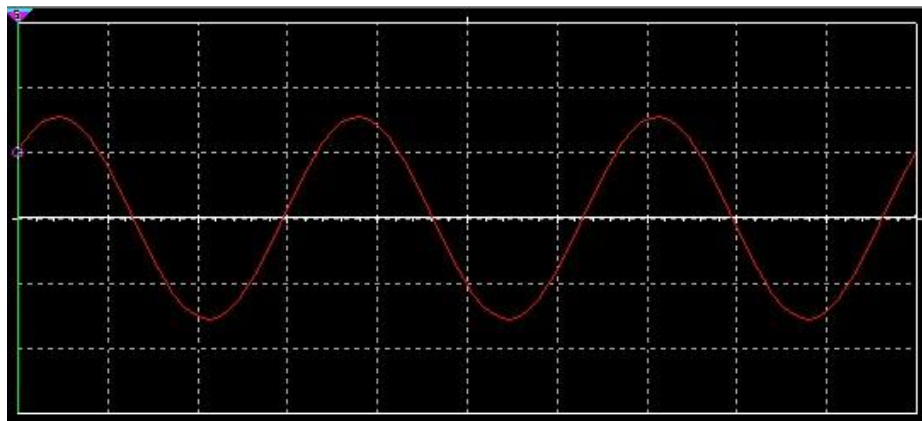


Figura 29 - Circuito 3.2.5-1 forma de onda

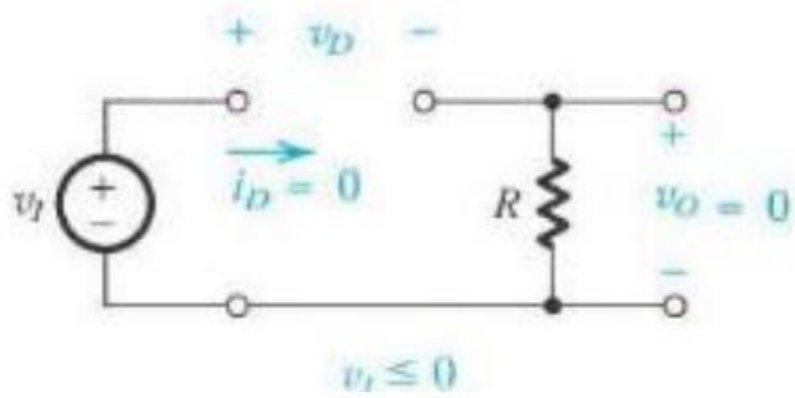


Figura 30 - Circuito 3.2.5-2

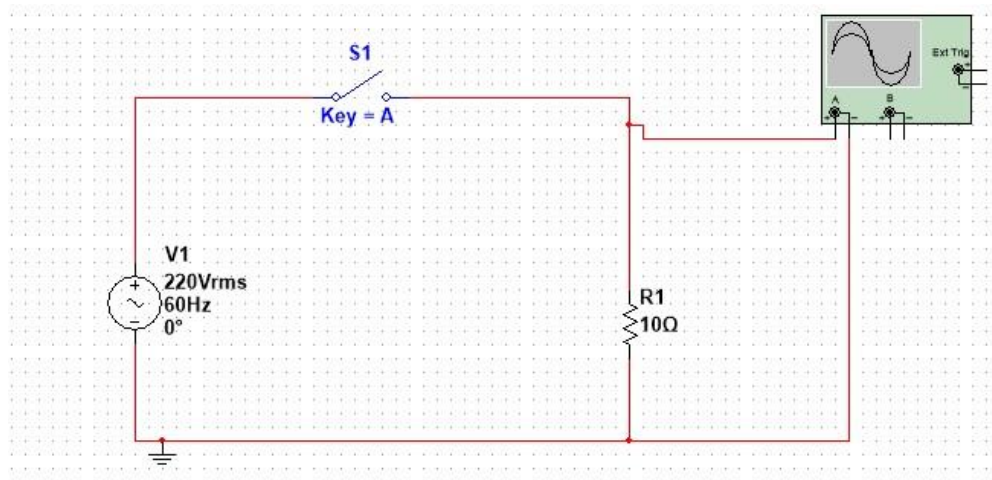


Figura 31 - Circuito 3.2.5 - 2 simulado

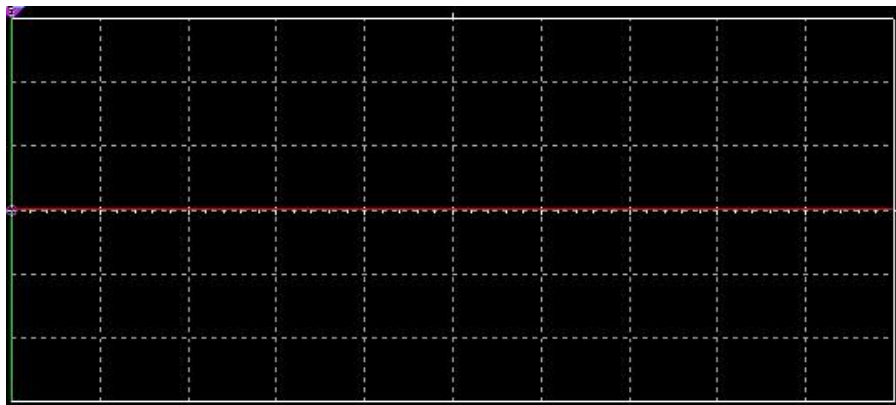


Figura 32 - Circuito 3.2.5-2 forma de onda

3.2.6 – DC SWEEP

Gerar a curva de um ou mais diodos utilizando a ferramenta DC Sweep.

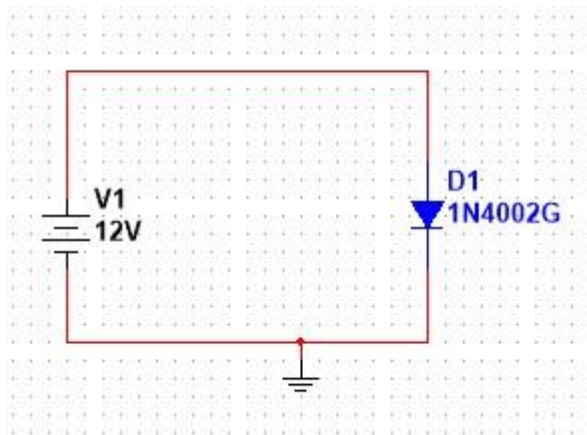


Figura 33 - Diodo número 1

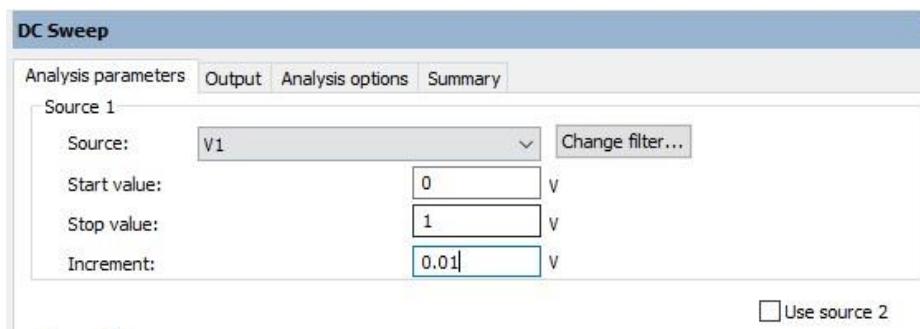


Figura 34 - Configurações DC Sweep

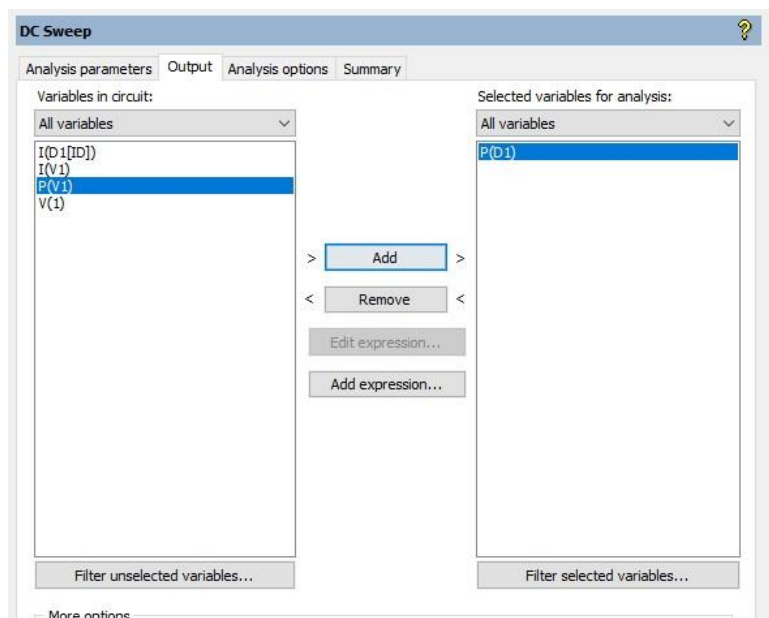


Figura 35 - Configurações de saída DC Sweep

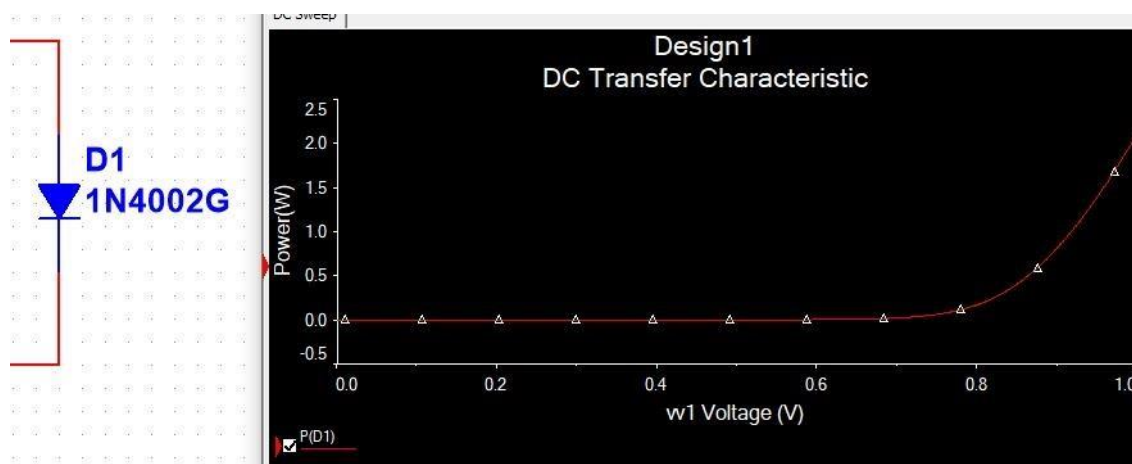


Figura 36 - Curva do diodo 1N4002G

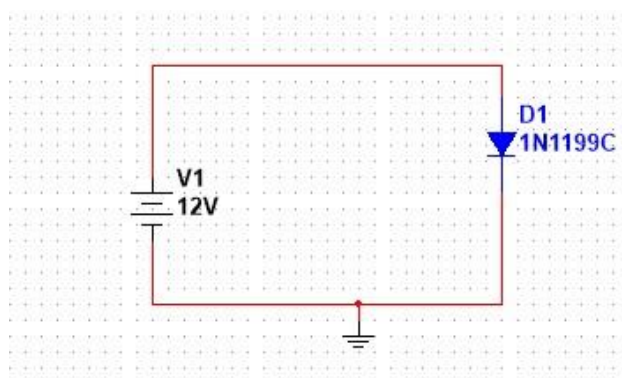


Figura 37 - Diodo número 2

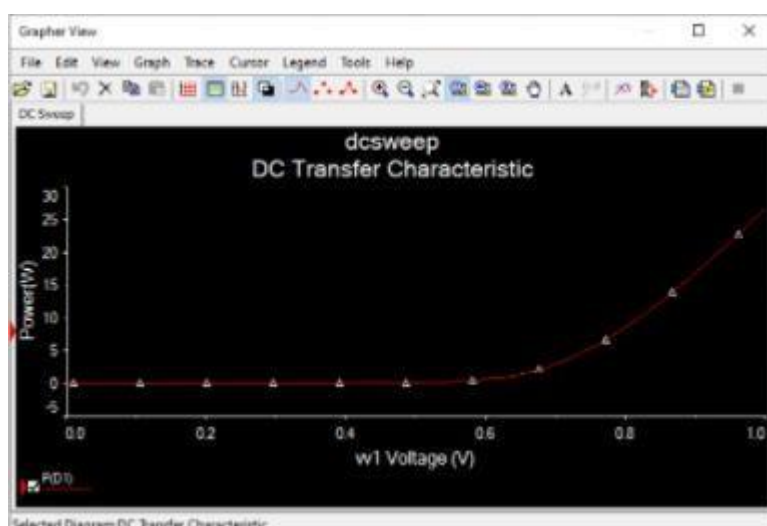


Figura 38 - Curva do diodo 1N1199C

3.3 – DIODO REAL X DIODO IDEAL

3.3.1 – DIODO IDEAL

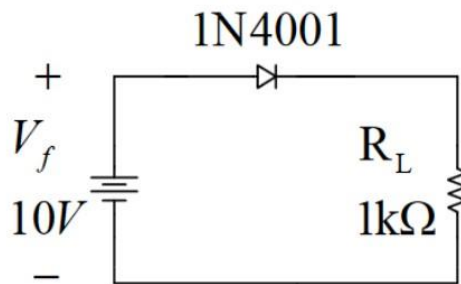


Figura 39 - Circuito 3.3.1 proposto

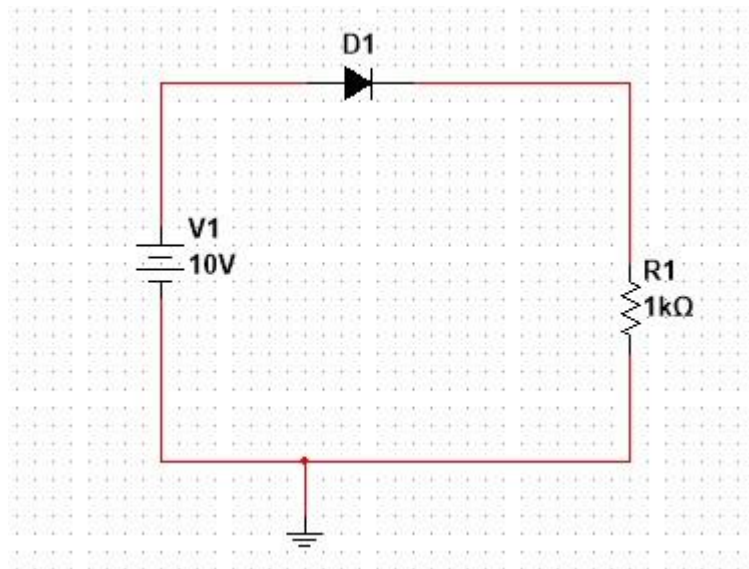


Figura 40 - Circuito 3.3.1 simulado

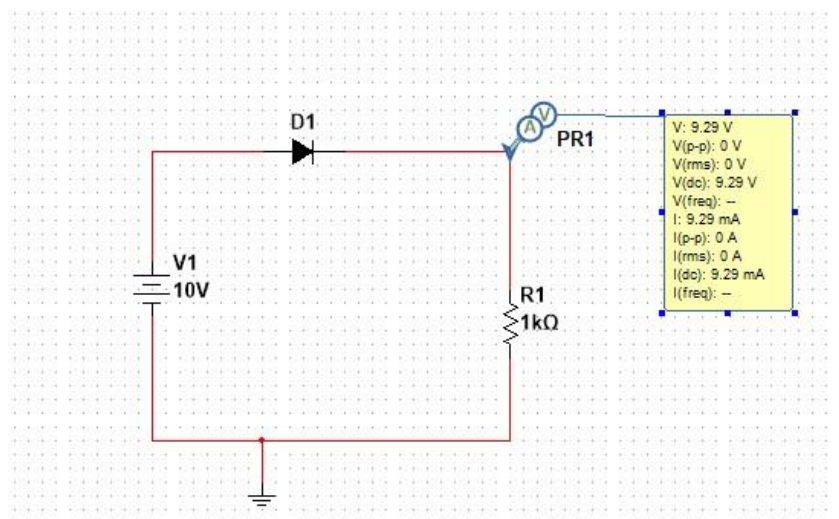


Figura 41 - Circuito 3.3.1 medido

CÁLCULOS

$ID = 1mA$
$VD = 0V$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Id	9,29 mA	1 mA
Vd	0 V	0 V

3.3.2 - MODELO IDEAL

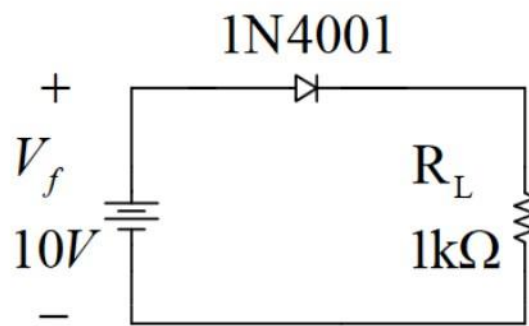


Figura 42 - Circuito 3.3.2 proposto

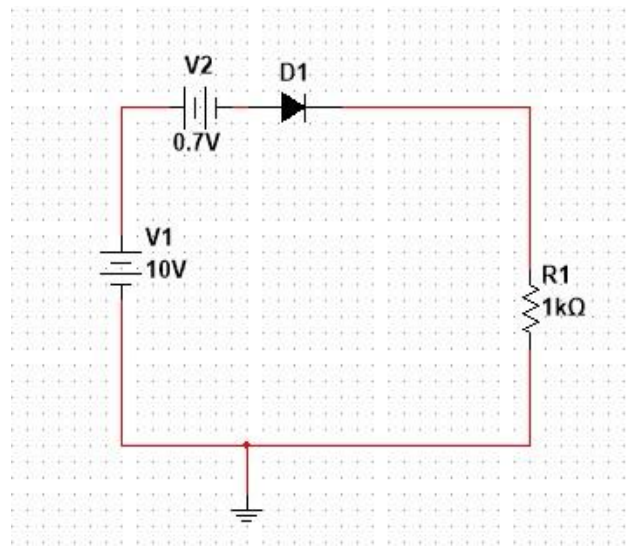


Figura 43 - Circuito 3.3.2 simulado

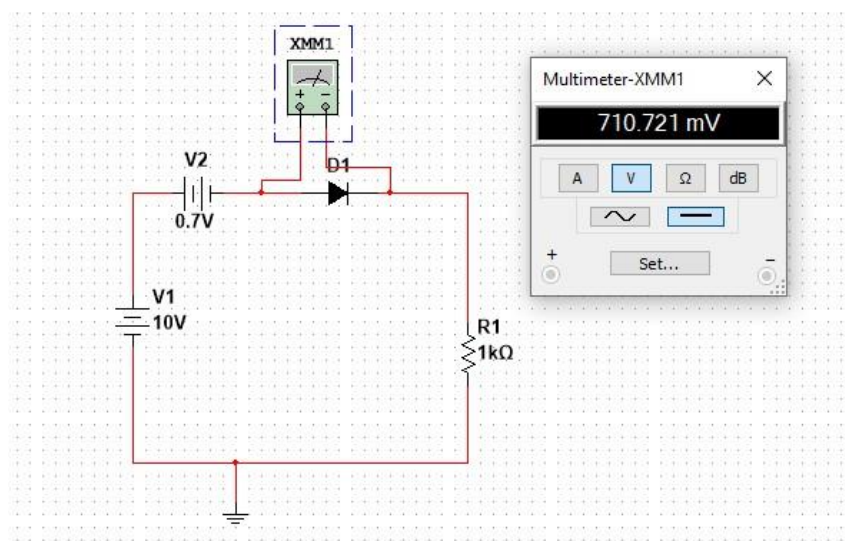


Figura 44 - Circuito 3.3.2 mensurado em VD

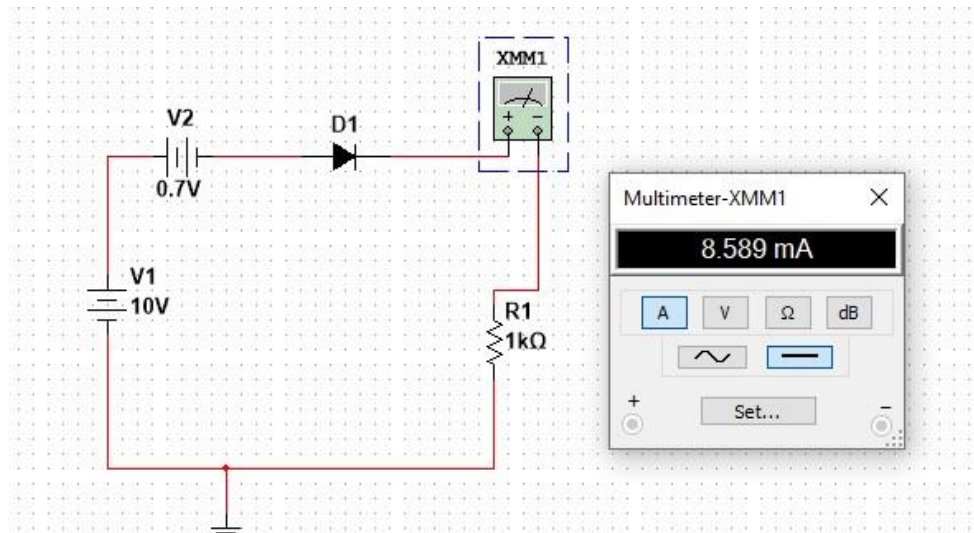


Figura 45 - Circuito 3.3.2 mensurado em ID

CÁLCULOS

$$I = V * R$$

$$Id = 10V - 0.7V$$

$$= 9.3V$$

$$9.3V * 1k\Omega = 9.3mA$$

$$Vd = 0.7V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Id	8,59 mA	9,3 mA
Vd	0,710 V	0,7 V

3.3.3 – MODELO LINEAR – Considere que $R_{avg} = 10R$

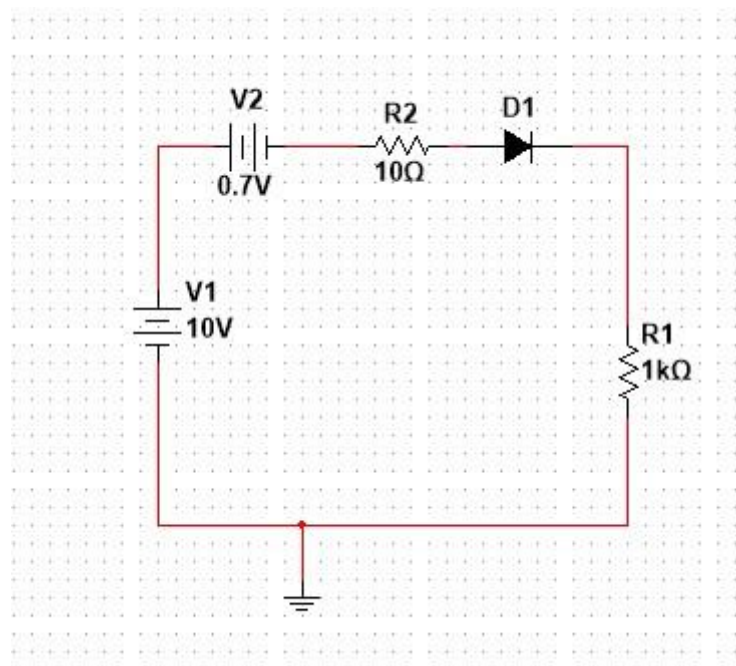


Figura 46 - Circuito 3.3.3 proposto

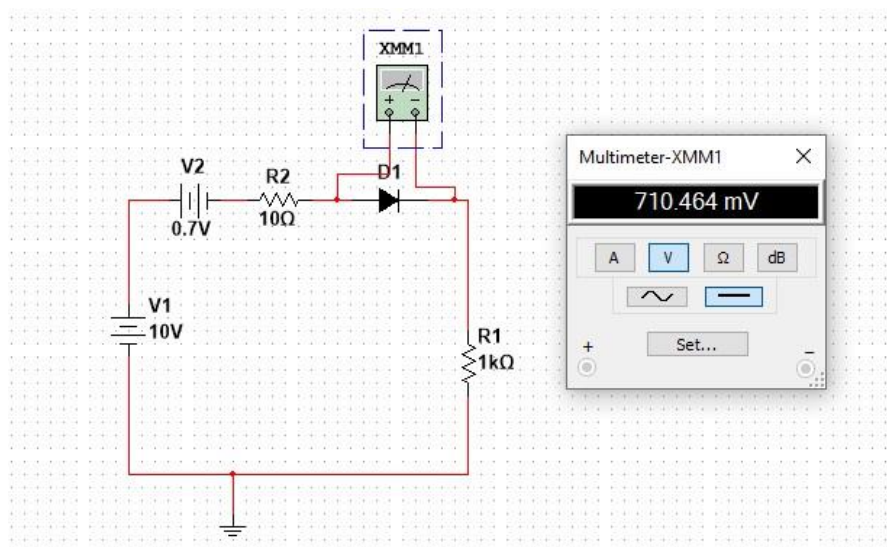


Figura 47 - Circuito 3.3.3 com VD medido

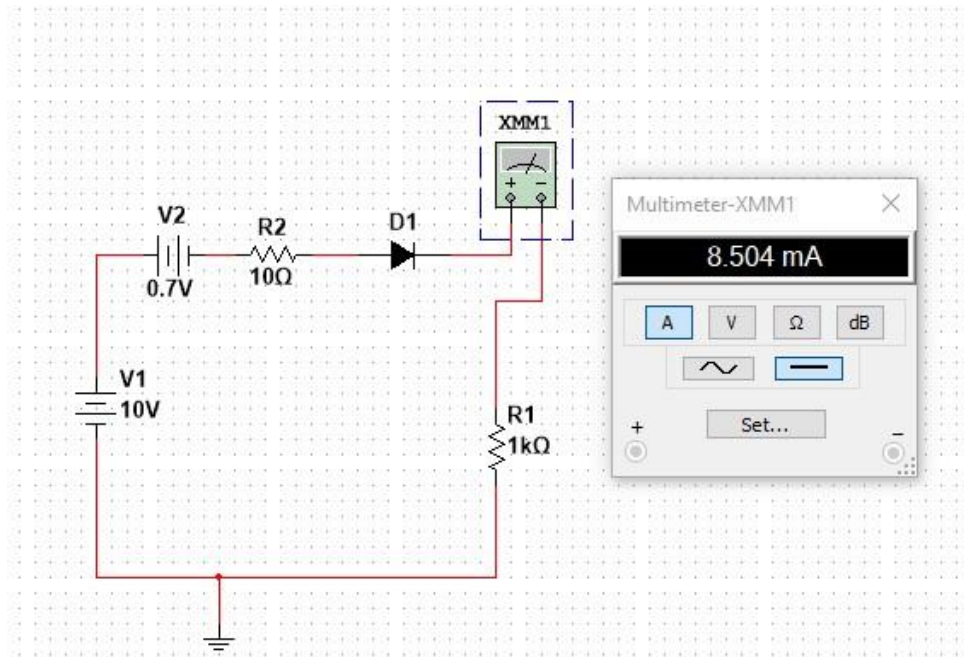


Figura 48 - Circuito 3.3.3 com ID mensurado

CÁLCULOS

$$\begin{aligned}
 V_f &= V_d + I_d * R_{av} + I_d * V_l \\
 10 &= 0,7 + I_d * (R_{av} + V_L) \\
 10 &= 0,7 + I_d * (10 + 1000) \\
 1010 I_d &= 10 - 0,7 \\
 I_d &= \frac{9,3}{1010} \\
 &= 9,2 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{med} &= 9,2 \text{ mA} * 10 \\
 &= 0,092 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= 0,7 + 0,092 \\
 &= 0,792 \text{ V}
 \end{aligned}$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Id	8,5 mA	9,2 mA
Vd	0,71 V	0,792 V

3.3.4 DIODO REAL – Análise pela reta de carga

```
import matplotlib.pyplot as plt
import math
import numpy as np

IS = 1*10**(-16)
Vt = .0025
passo = .001
i = .0

# calc de ID
VD = np.arange(0,.8,passo)
ID = IS*(np.exp(VD/Vt)-1)

#reta de carga
Vcc = 10
rs = 2000
id = (-VD+Vcc)/rs
print(VD.shape)
plt.plot(VD[:-720],ID[:-720])
plt.plot(VD[:-720],id[:-720], 'r')
plt.grid()
plt.show()
```

Figura 49 - Código em Python para a impressão da curva do diodo e reta da carga

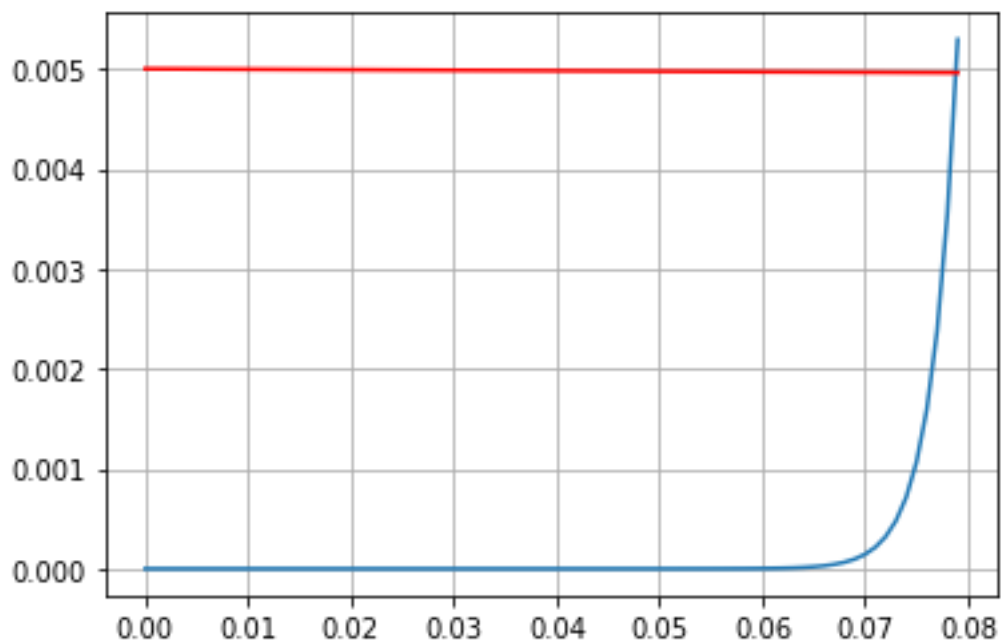


Figura 50 - Curva do diodo e reta da carga plotados

3.4 – CEIFADORES

Circuitos ceifadores são circuitos que tem a capacidade de cortar (ceifar) uma parte do sinal, esses podem ser em série ou em paralelo.

3.4.1– CEIFADOR EM SÉRIE COM FONTE

Ceifador série com fonte, exemplo:

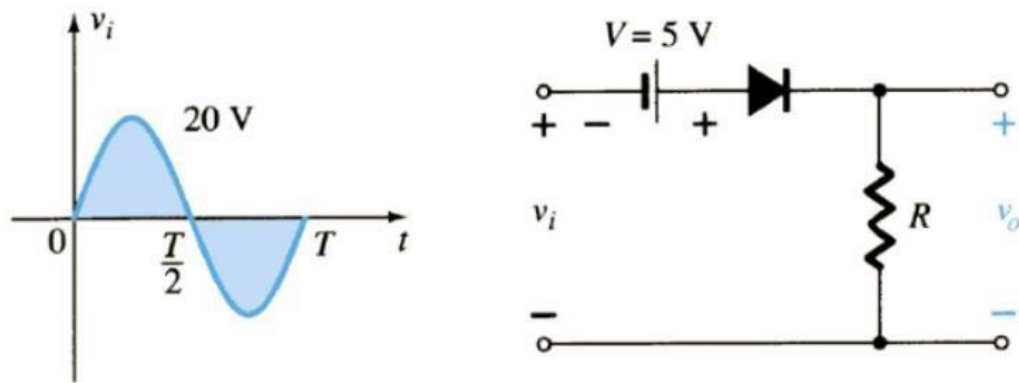


Figura 69 - Ceifador 1 em série

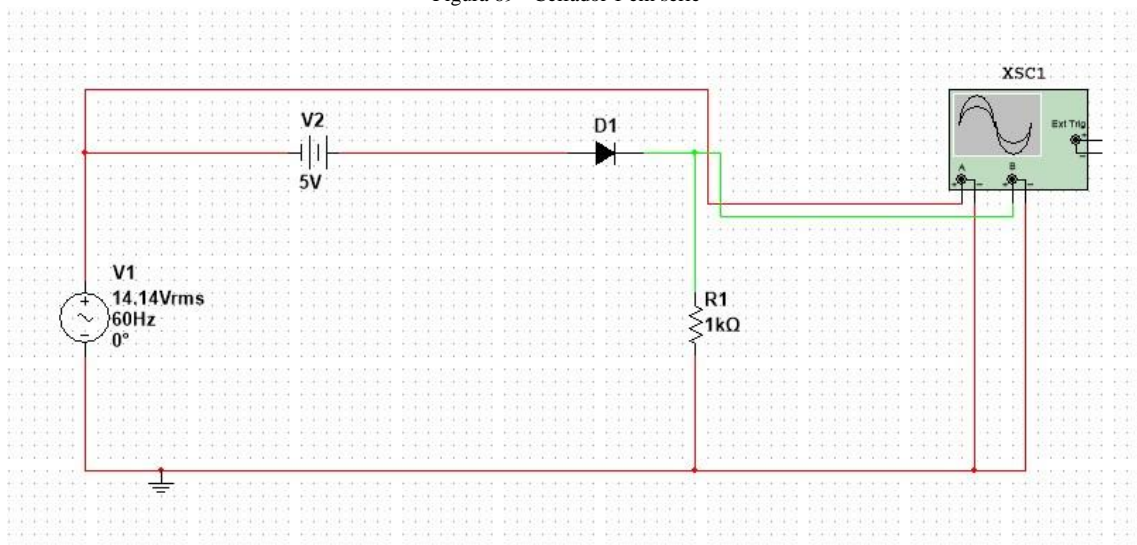


Figura 70 - Ceifador 1 simulado

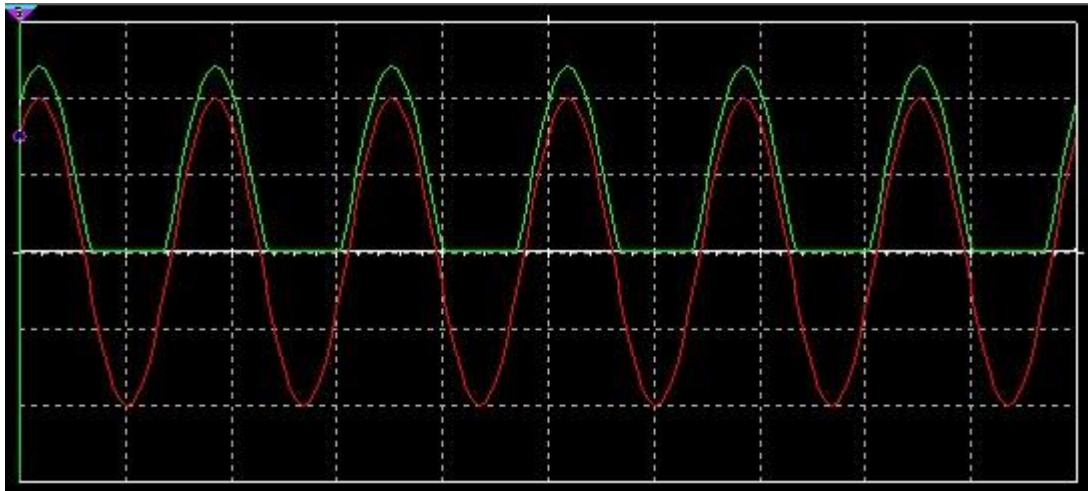


Figura 71 - Forma de onda ceifador 1

Fica visível que a onda em verde possui um pico maior que a onda em vermelho, porém ela não possui valores negativos, isso ocorre devido ao circuito ceifador cortar a onda parcialmente quando a fonte V1 atinge valores abaixo de 5V. A soma das fontes V1 e V2 faz com que o diodo seja inversamente polarizado e não permita a passagem de corrente para V0.

3.4.2 – CEIFADOR EM SÉRIE COM FONTE

Ceifador série com fonte:

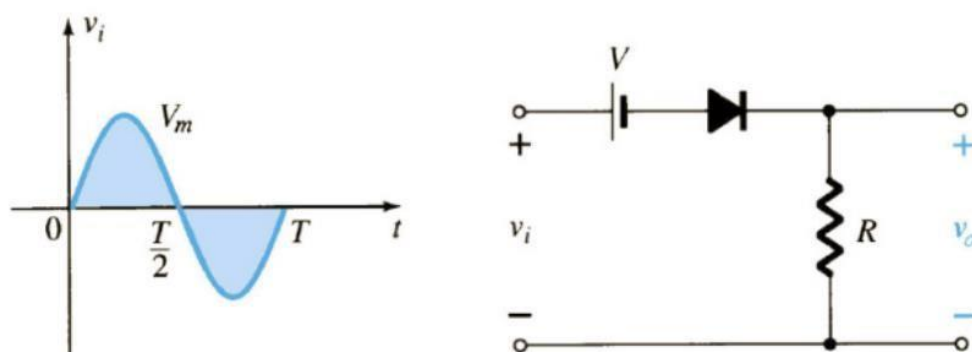


Figura 72 - Ceifador proposto 2

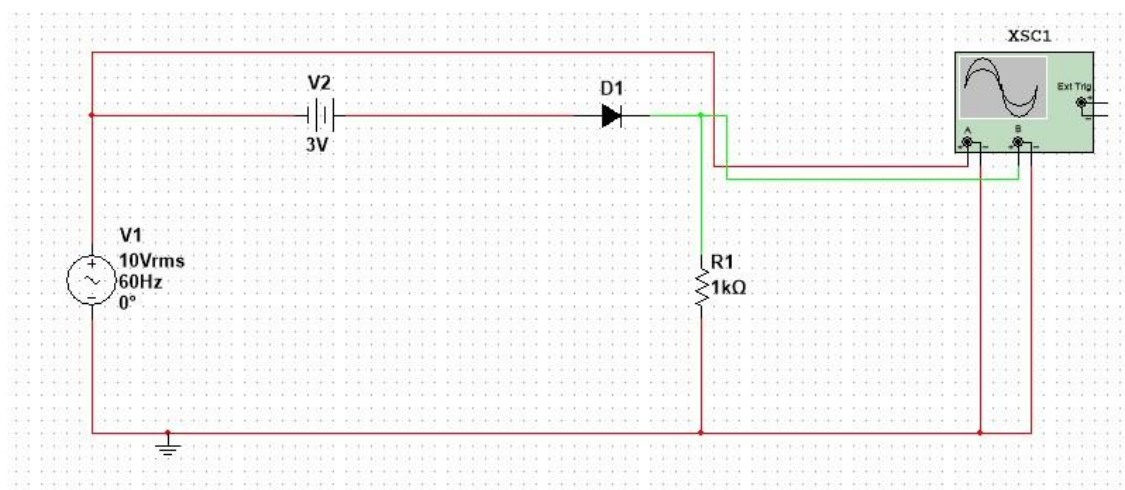


Figura 73 - Ceifador em série com fonte 2 simulado

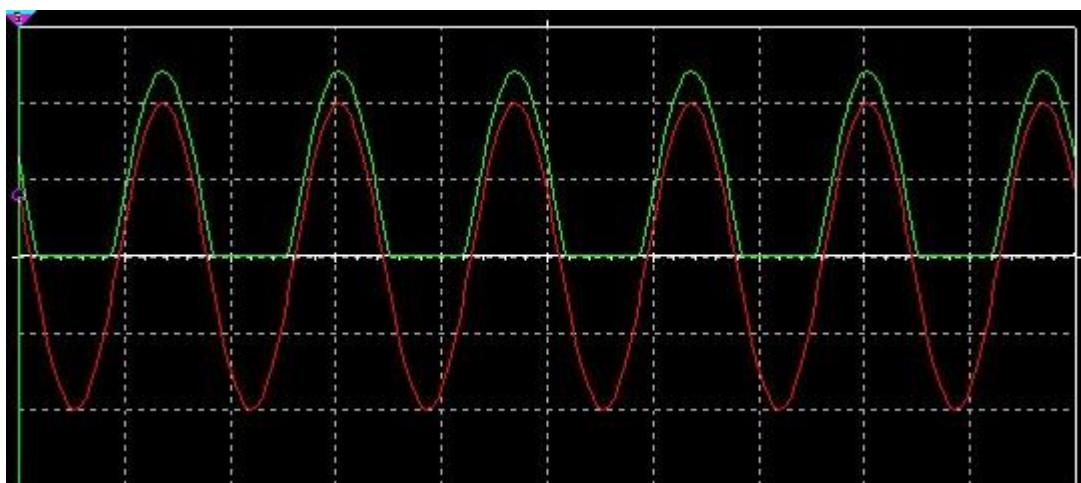


Figura 74 - Circuito ceifador em série simulado

A diferença a ser realçada entre o ceifador 1 e o ceifador 2 é apenas dada pelos valores de fonte de tensão presentes no circuito.

3.4.3 – CEIFADOR PARALELO COM FONTE

Ceifador paralelo com fonte, exemplo:

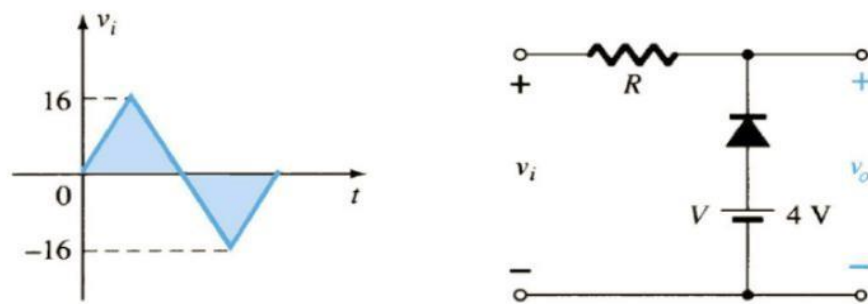


Figura 75 - Ceifador paralelo com fonte proposto

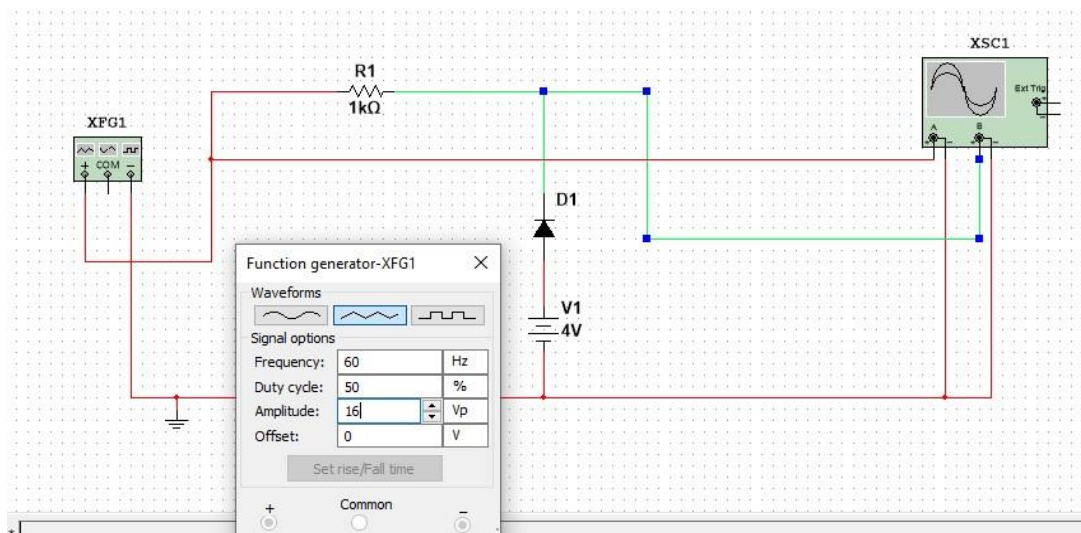


Figura 76 - Ceifador paralelo simulado

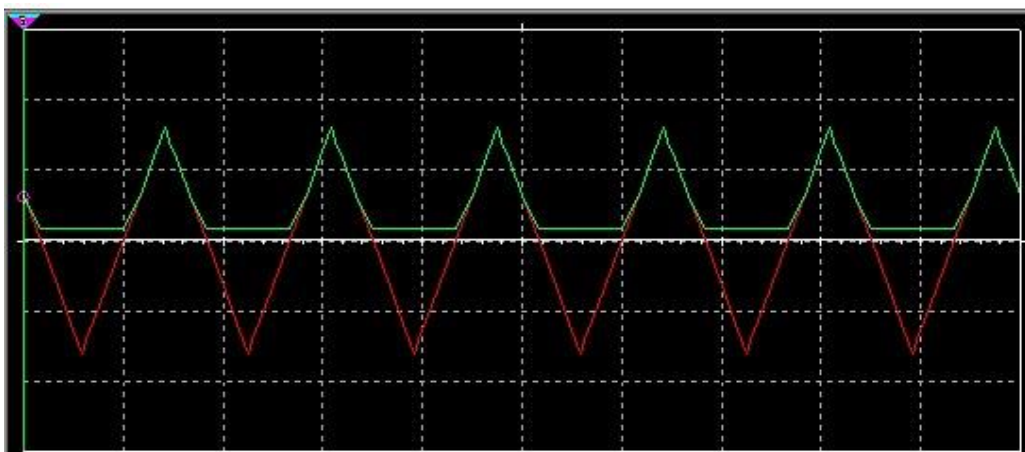


Figura 77 - Circuito ceifador paralelo simulado

Com a forma de onda acima podemos observar que quando a tensão gerada pelo gerador de funções é inferior a 4V, V_0 torna-se constantemente 4V, tornando o diodo polarizado diretamente e permitindo a passagem de corrente por ele.

3.4.4 – CEIFADORES

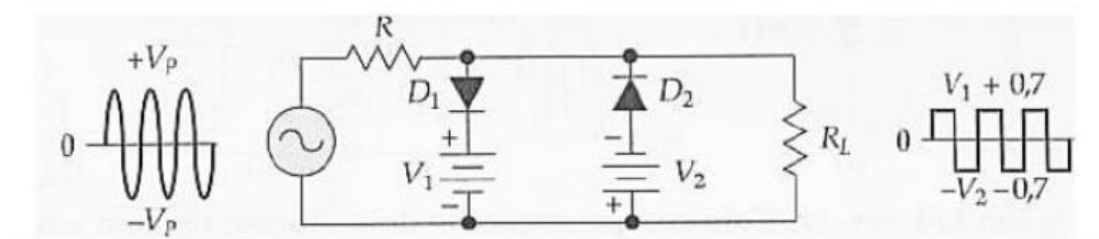


Figura 78 - Ceifadores propostos

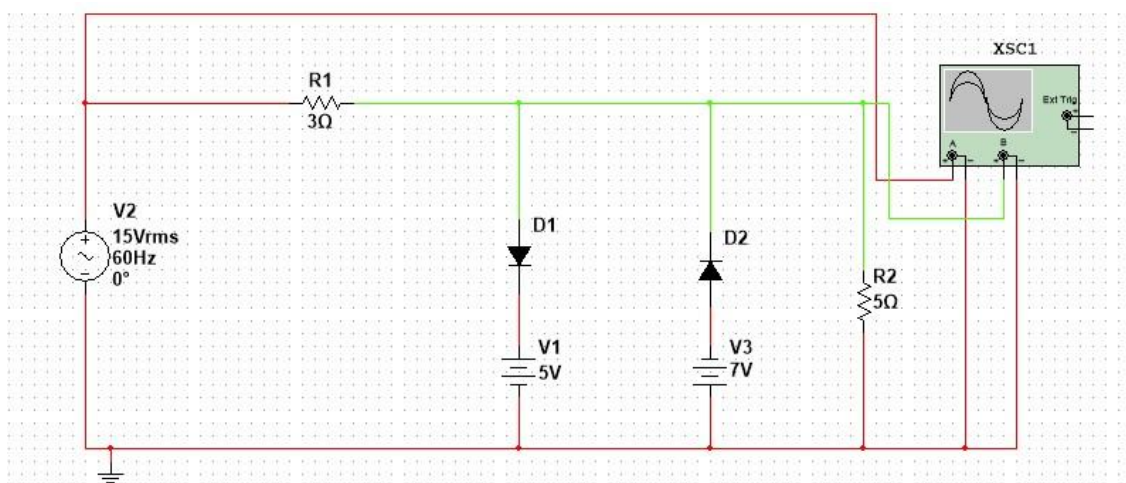


Figura 79 - Ceifador 3.4.4 simulado

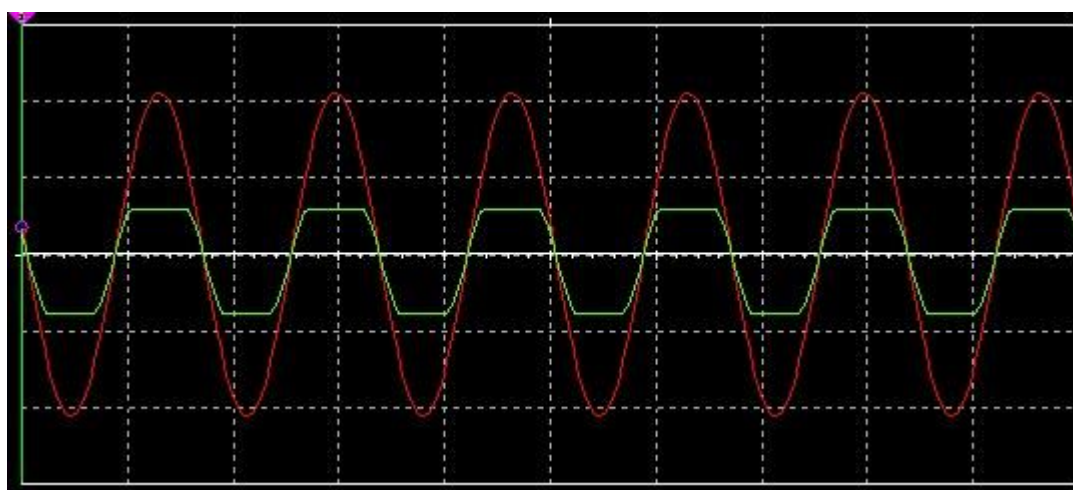


Figura 80 - Ceifador 3.4.4 forma de onda

No circuito ceifador 3.4.4 podemos observar a presença de dois ceifadores opostos um ao outro, desta maneira, quando a fonte de tensão possui um valor de saída positivo sua saída é definida pelo valor de v_1 , polarizando diretamente a passagem pelo diodo D_1 . Já quando V_2 possui valor negativo, o diodo D_1 será polarizado inversamente, fazendo com que a passagem da corrente seja bloqueada e polarizando diretamente D_2 , permitindo neste ponto a passagem de corrente.

3.4.5 – GRAMPEADORES

Circuitos grampeadores:

- Tem a capacidade de grampear um sinal em um valor cc diferente.

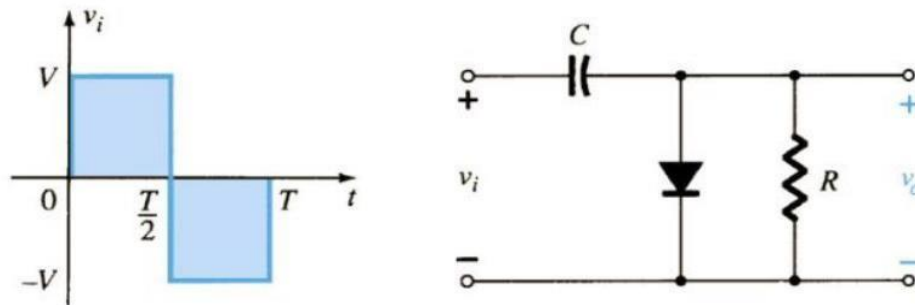


Figura 81 - Circuito grampeador proposto

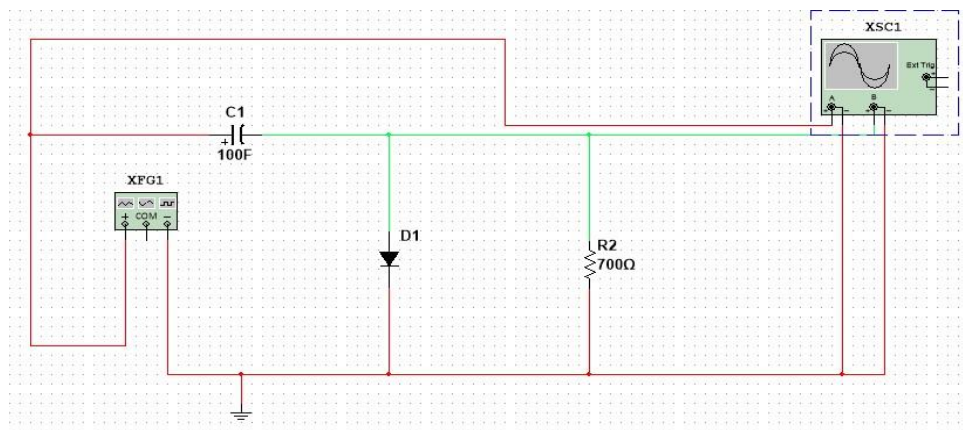


Figura 82 - Circuito grampeador simulado

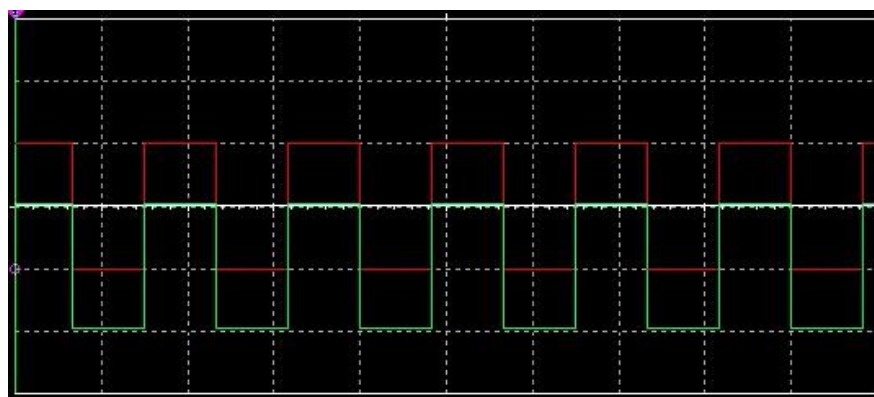


Figura 83 - Circuito grampeador forma de onda

No presente circuito, quando o valor da fonte é negativo o valor da tensão na saída do circuito é equivalente ao dobro da tensão de entrada em função do capacitor presente no circuito.

3.4.6 – GRAMPEADORES

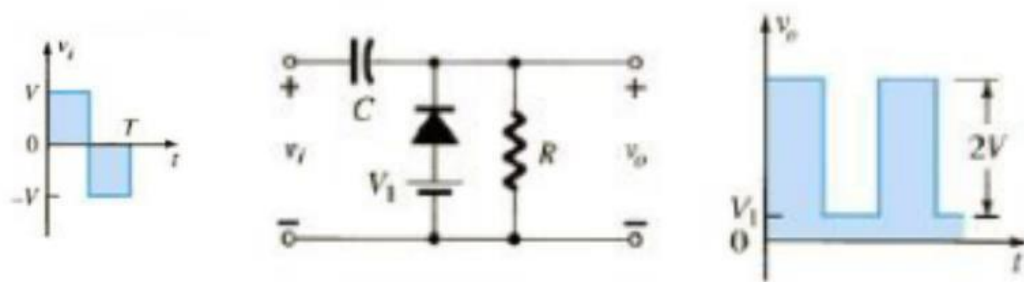


Figura 84 - Circuito 3.4.6 proposto

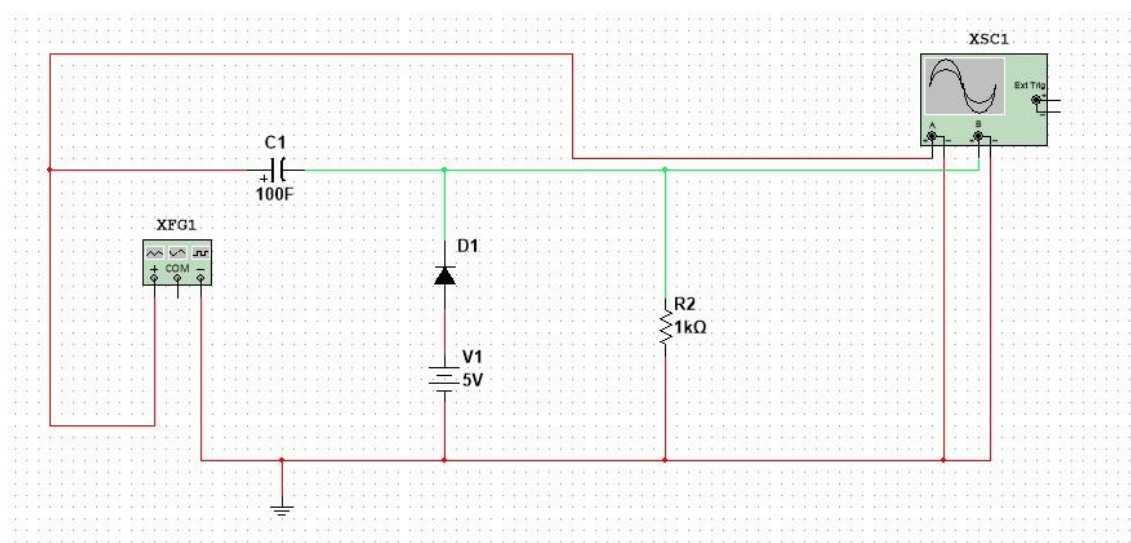


Figura 85 - Circuito 3.4.6 simulado

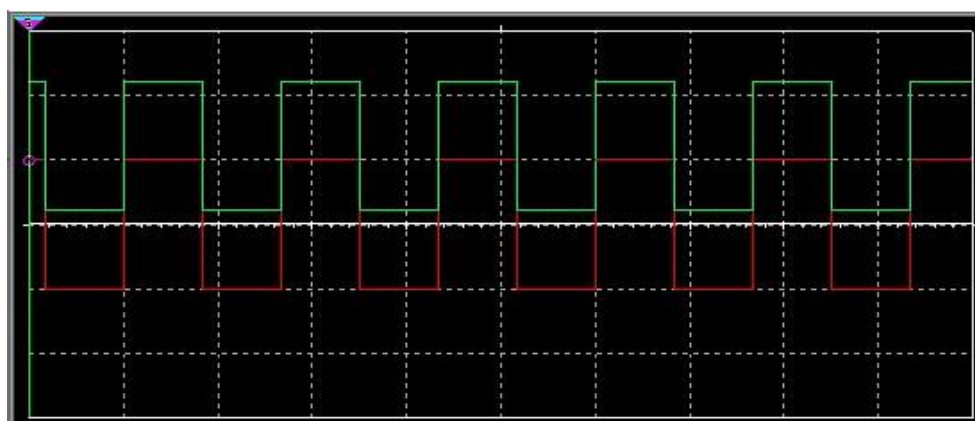


Figura 86 - Circuito 3.4.6 forma de onda

Este último circuito grameador possui uma fonte DC adicionada no valor de 5V, diferindo do anterior, além de um resistor de maior valor. Como o diodo é diretamente polarizado, a saída se dará pela tensão do gerador de funções juntamente com a tensão gerada pela fonte DC.

3.5 – RETIFICADORES

3.5.1 – RETIFICADOR – MEIA-ONDA

Calcule a tensão eficaz na entrada, de pico e média na saída do circuito abaixo:

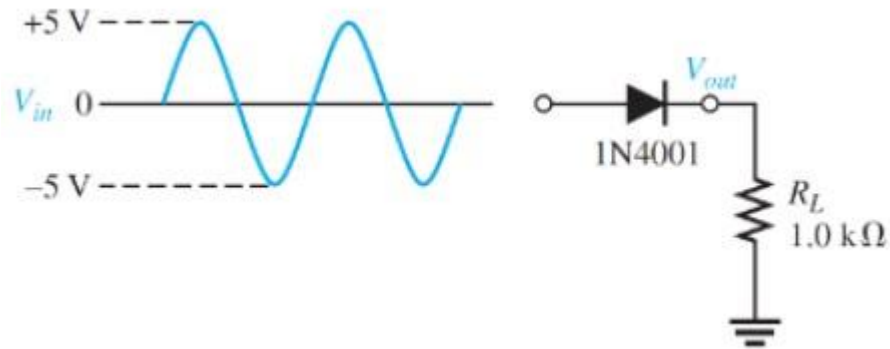


Figura 87 - Circuito 3.5.1 proposto

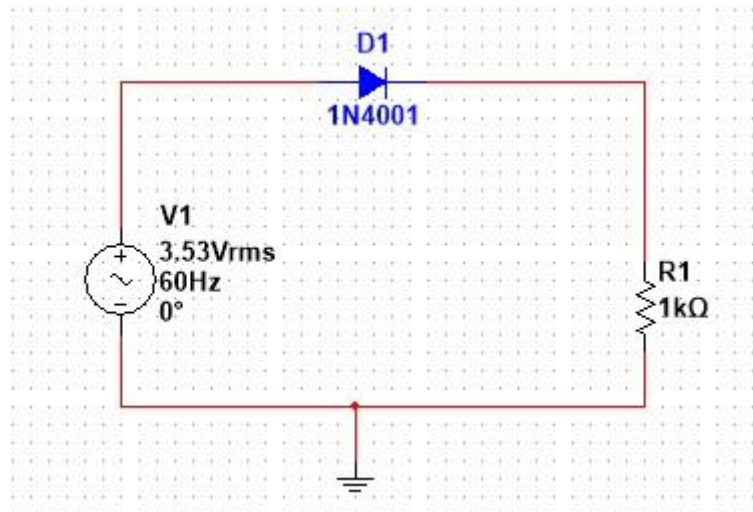


Figura 88 - Circuito 3.5.1 simulado

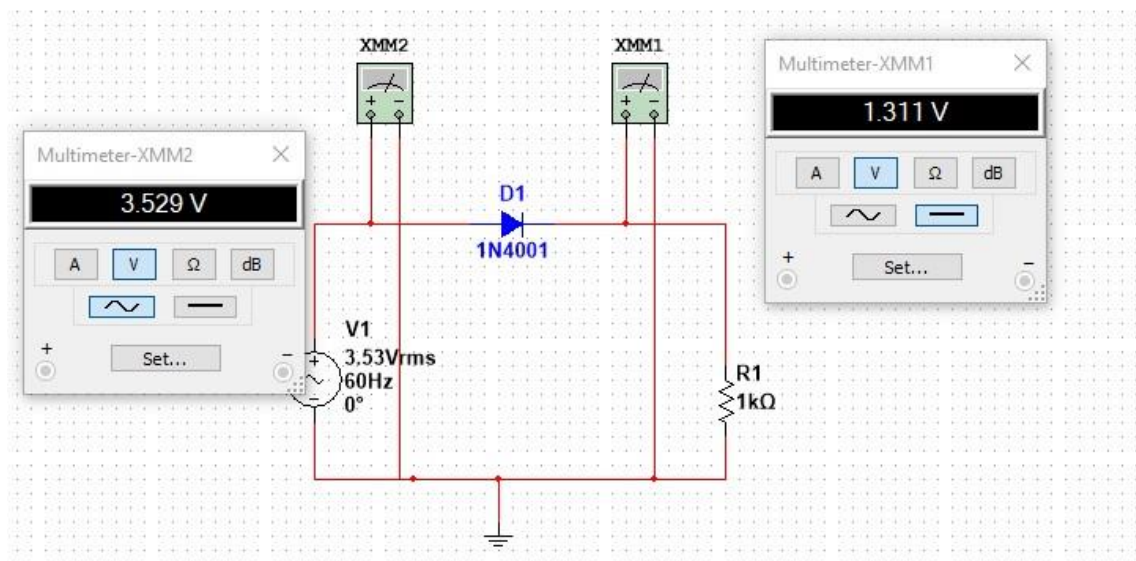


Figura 89 - Circuito 3.5.1 com tensões medidas

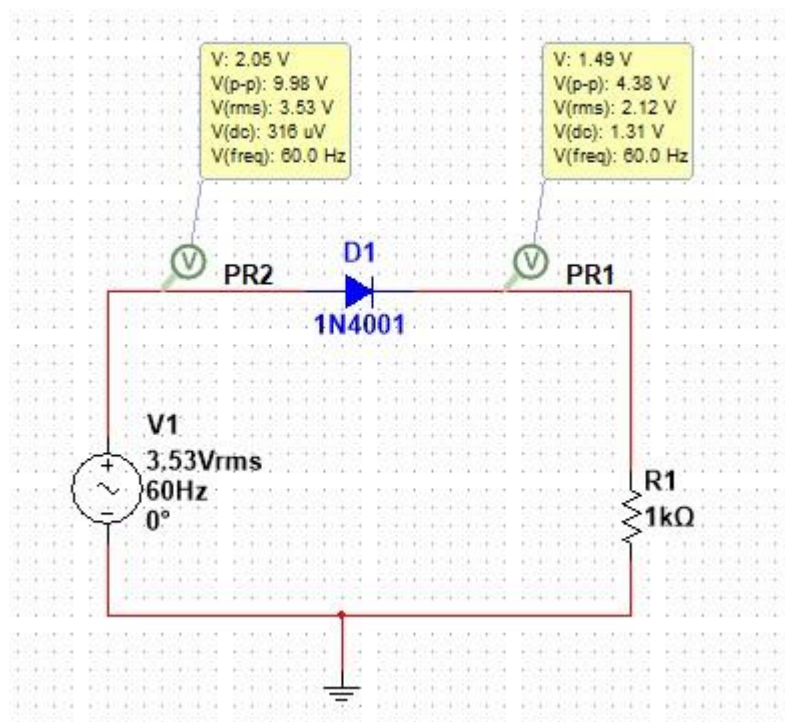


Figura 90 - Circuito 3.5.1 medido

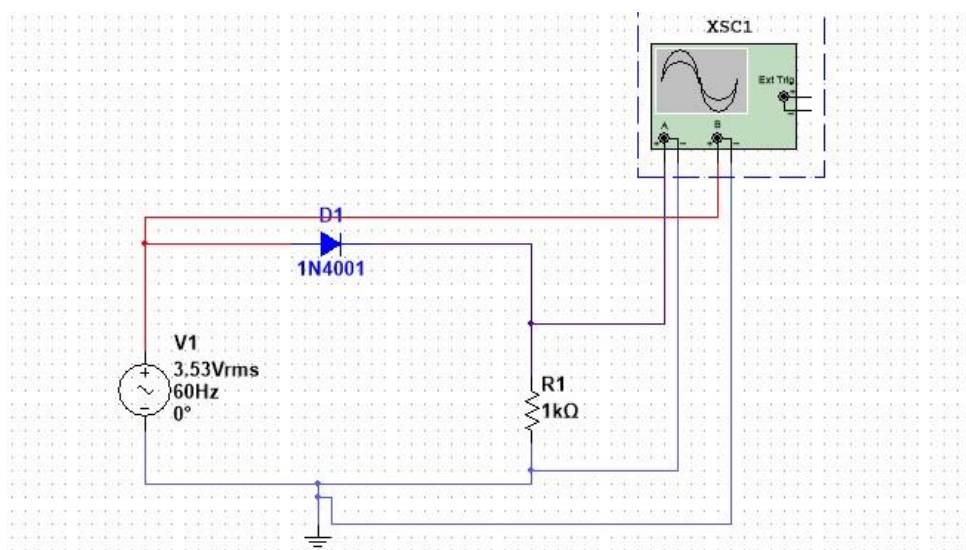


Figura 91 - Circuito 3.5.1 osciloscópio

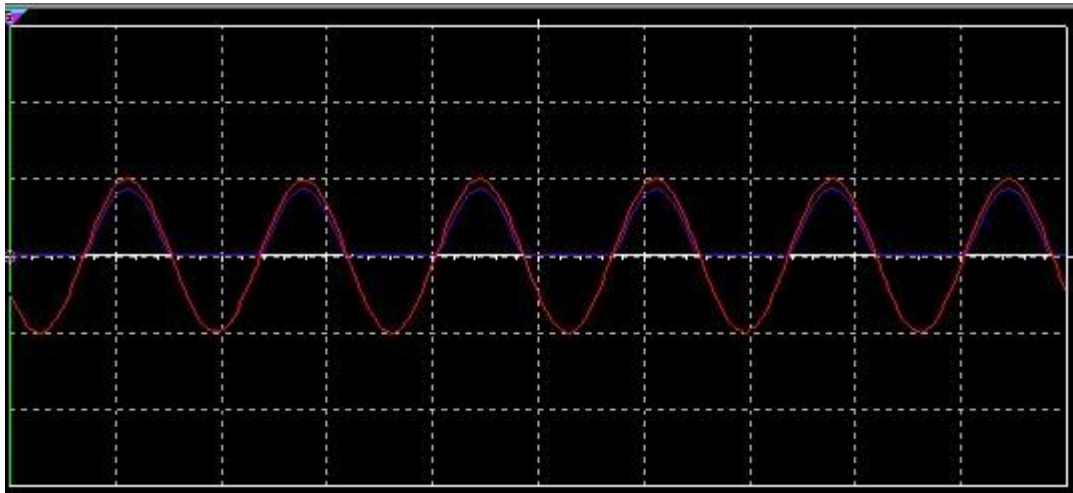


Figura 92 - Circuito 3.5.1 forma de onda

CÁLCULOS

$$V_{rms} = V_{pk} * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= 5 * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= 3,53V$$

$$V_{pk}(s) = 5 - 0,7$$

$$= 4,3V$$

$$V_{dc}(s) = \frac{V_{pk}}{\pi}$$

$$= \frac{4,3}{\pi}$$

$$= 1,36V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Vrms	3,53 V	3,53 V
VPK (saída)	4,38 V	4,3 V
VDC (saída)	1,31 V	1,36 V

3.5.2 – RETIFICADOR MEIA-ONDA

Calcule a tensão eficaz na entrada, de pico e média na saída do circuito abaixo:

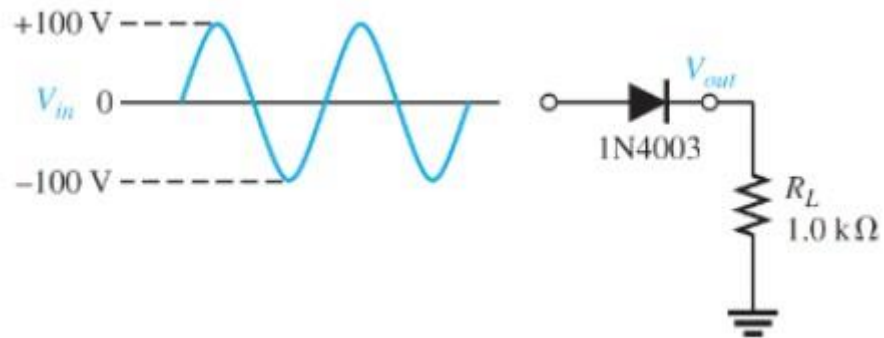


Figura 93 - Circuito 3.5.2 proposto

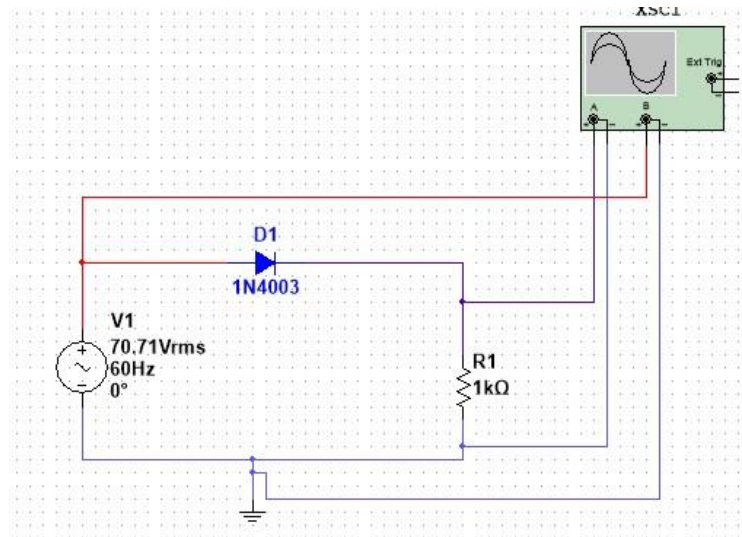


Figura 94 - Circuito 3.5.2 simulado

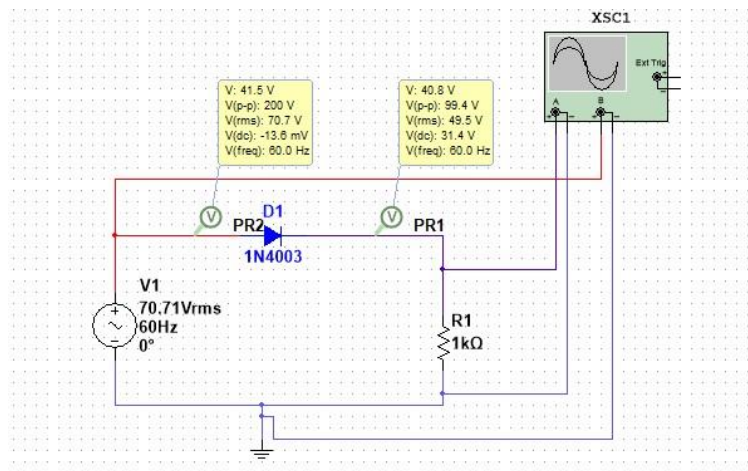


Figura 95 - Circuito 3.5.2 medido

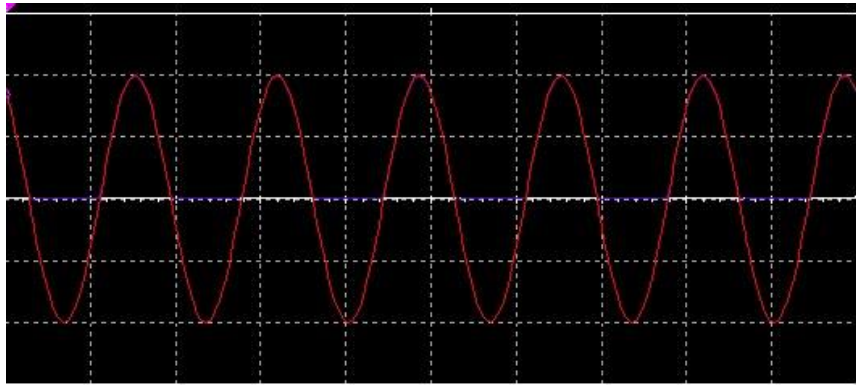


Figura 96 - Forma de onda circuito 3.5.2

CÁLCULOS

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= V_{pk} * \frac{1}{\sqrt{2}} \\
 &= 100 * \frac{1}{\sqrt{2}} \\
 &= 70,71V
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pk}(s) &= 100 - 0,7 \\
 &= 99,3V
 \end{aligned}$$

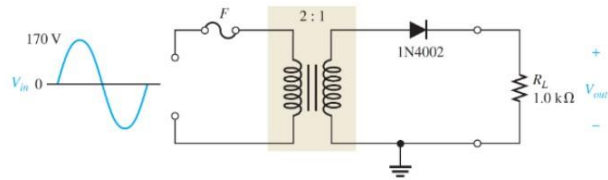
$$\begin{aligned}
 V_{dc}(s) &= \frac{V_{pk}}{\pi} \\
 &= \frac{99,3}{\pi} \\
 &= 31,60V
 \end{aligned}$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Vrms	70,7 V	70,71 V
VPK (saída)	99,4 V	99,3 V
VDC (saída)	31,4 V	31,6 V

3.5.3 – RETIFICADOR MEIA ONDA

Determine a tensão de pico da saída.



- $n = \frac{1}{2} = 0.5$
- $V_{p(sec)} = nV_{p(pri)} = 0.5 \times 170 = 85 \text{ V}$
- $V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 0.7 = 84.3 \text{ V}$
- $PIV = V_{p(sec)} = 85 \text{ V}$

Figura 97 - Circuito 3.5.3 proposto

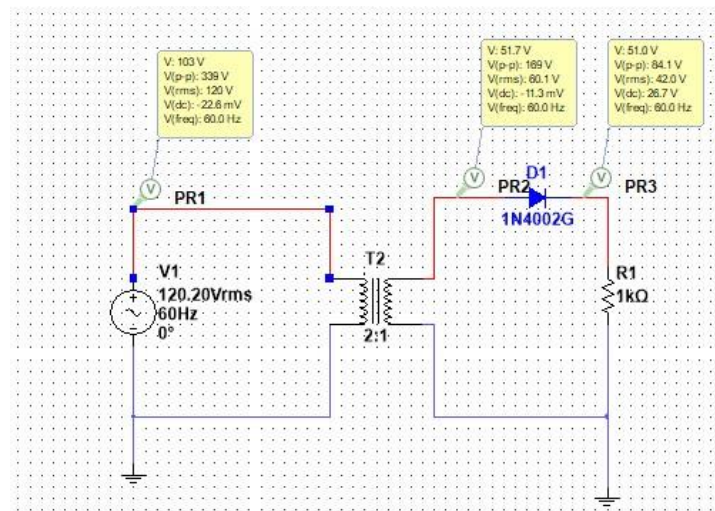


Figura 98 - Circuito 3.5.3 simulado

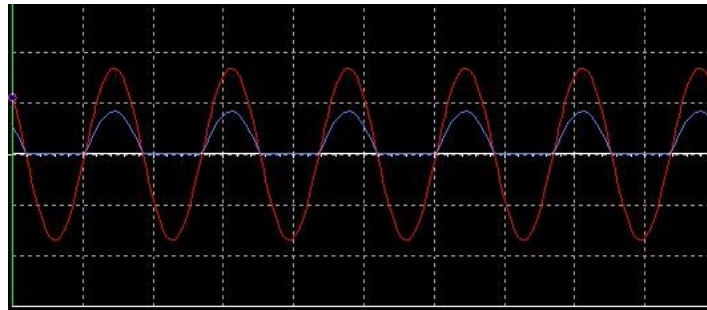


Figura 99 - Circuito 3.5.3 forma de onda

CÁLCULOS

$$\begin{aligned}V_{rms} &= V_{pk} * \frac{1}{\sqrt{2}} \\&= 170 * \frac{1}{\sqrt{2}} \\&= 120,20V\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}V_{pk(sec)} &= 170 - 0,7 \\&= 85V\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}V_{pk(s)} &= 85 - 0,7 \\&= 84,3V\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}V_{dc(s)} &= \frac{V_{pk}}{\pi} \\&= \frac{84,3}{\pi} \\&= 26,83V\end{aligned}$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
Vrms	120,20 V	120,20 V
Vpk(sec)	169 V	85 V
Vpk (saída)	84,1 V	84,3 V
Vdc (saída)	26,7 V	26.83 V

3.5.4- MEIA ONDA

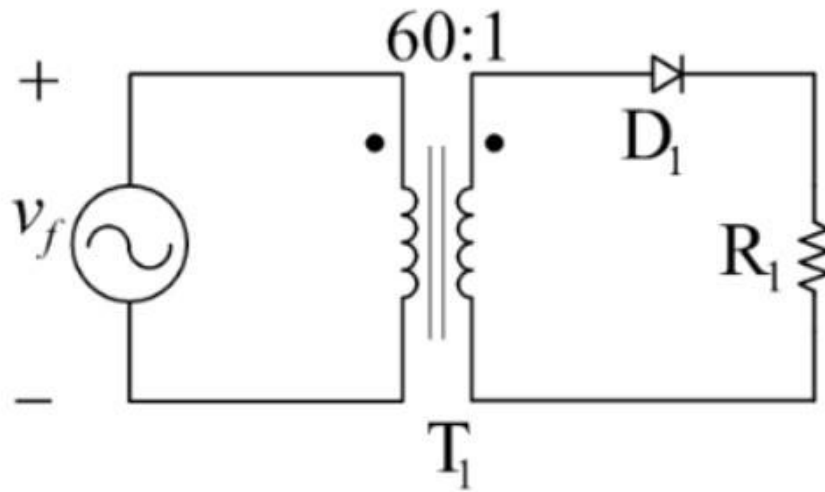


Figura 100 - Circuito 3.5.4 proposto

Considerando os dados ao lado, determine:

- Tensão eficaz no primário de T_1 ;
- Tensão eficaz no secundário de T_1 ;
- Tensão média na saída;
- Tensão de pico na saída;
- Tensão reversa sobre o diodo;
- Corrente média na saída.

Figura 101 - Enunciado

DADOS

$$\begin{aligned}V_f &= 311 * \text{sen}(337 * t)V \\t &= 1 \\V_f &= 311 * \sqrt{2} \\V_f &= 220V \\D1 &= \text{Ideal} \\R1 &= 5\Omega \\T1: &60:1\end{aligned}$$

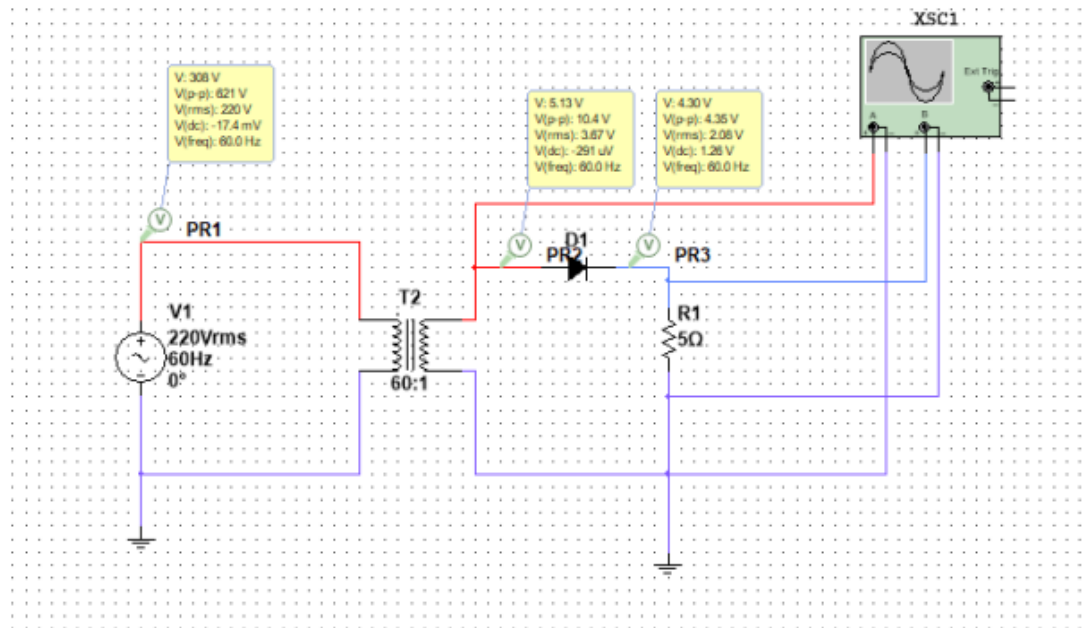


Figura 102 - Circuito 3.5.4 simulado

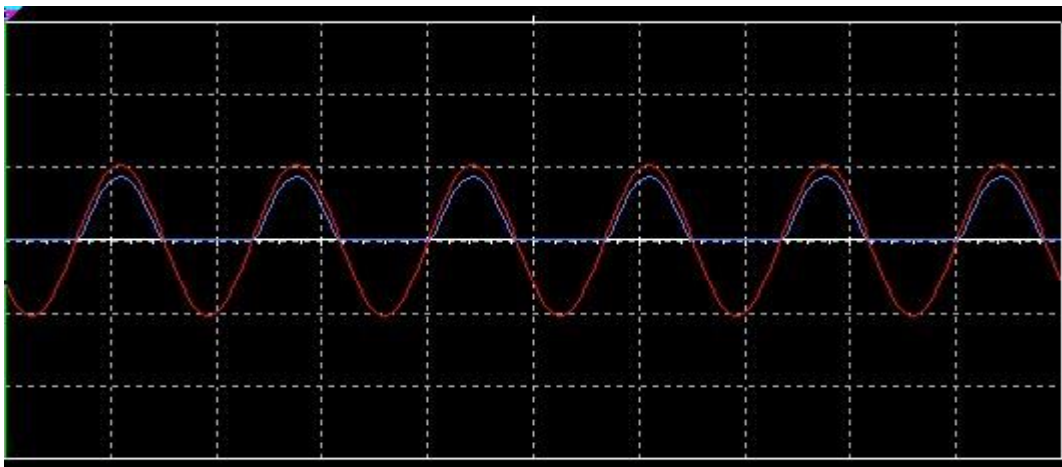


Figura 103 - Forma de onda circuito 3.5.4

CÁLCULOS

$$V_{pk(sec)} = 311 * \frac{1}{60}$$

$$= 5,18V$$

$$V_{pk(s)} = 5,18 - 0,7$$

$$= 4,48V$$

$$V_{dc(s)} = \frac{4,48}{\pi}$$

$$= 1,43V$$

$$Tens. de reversao no diodo = 3,7V$$

$$V_{rms no sec.} = \frac{220}{60}$$

$$= 3,7V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
VRMS no primário	220 V	220 V
VPK(sec)	10,4 V	5,18 V
VPK (saída)	4,35 V	4,48 V
VDC (saída)	1,26 V	1,43 V
VRMS no secundário	3,67 V	3,7 V

3.5.5– ONDA COMPLETA – CENTER TAP

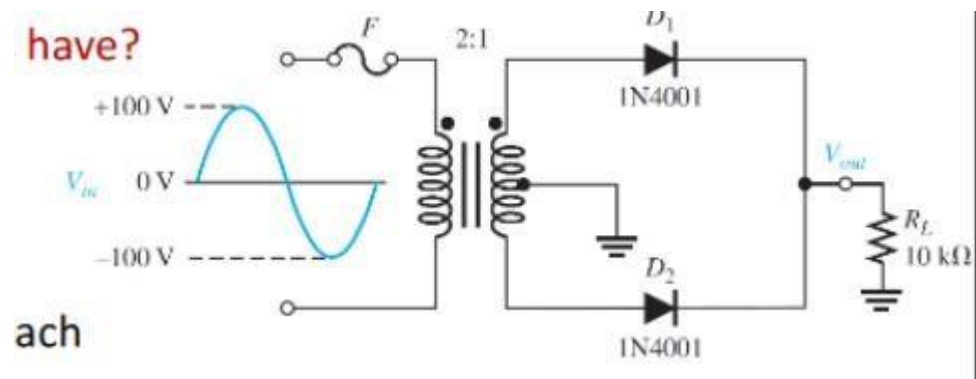


Figura 104 - Circuito 3.5.6 proposto

DADOS

$$V_{rms} = 100 * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= 70,71V$$

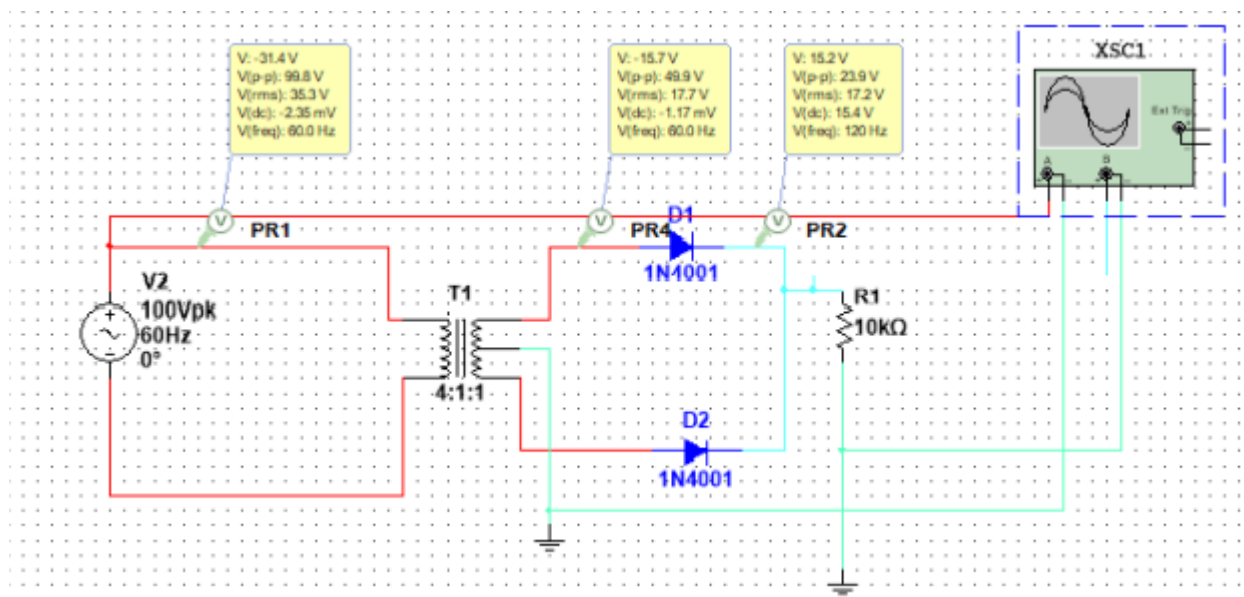


Figura 105 - Circuito 3.5.5 simulado

A escolha do transformador com TAP central de 4:1:1 se deu para que a tensão passada fosse em proporção 4:1, fazendo com que cada transformação recebesse 25 V, como o proposto no enunciado.

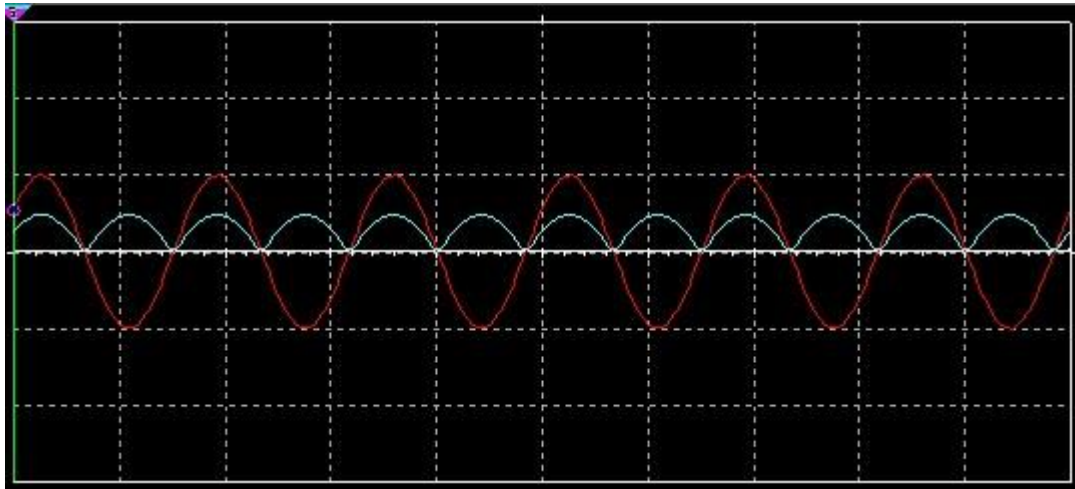


Figura 106 - Forma de onda do circuito 3.5.5

CÁLCULOS

$$Piv = Vp(sec) - 0,7$$

$$Vpk(sec - entr) = 100 * \frac{1}{2}$$

$$= 50V$$

$$Piv = 50 - 0,7$$

$$= 49,3V$$

$$Vpk(sec - saida) = \frac{50}{2} - 0,7$$

$$= 24,3V$$

$$Vdc(saida) = \frac{2*24,3}{\pi}$$

$$= 15,47V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
VPK(sec) – Entrada	49,9 V	50 V
VPK (sec) - Saída	23,3 V	24,3 V
VDC (saída)	15, 4 V	15,47 V
Piv	49,8 V	49,3 V

3.5.6 – ONDA COMPLETA – CENTER TAP

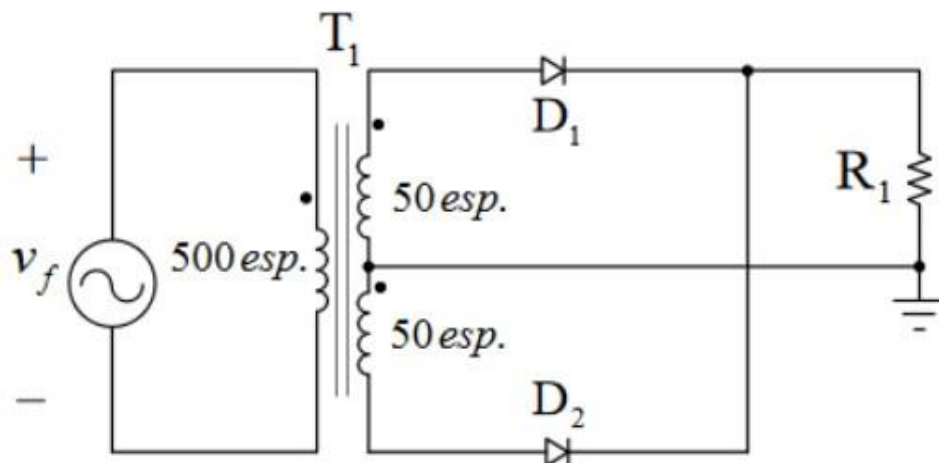


Figura 107 - Circuito 3.5.6 proposto

Considerando os dados ao lado, determine:

- Tensão eficaz no primário de T_1 ;
- Tensão eficaz no secundário de T_1 ;
- Tensão média na saída;
- Tensão de pico na saída;
- Tensão reversa sobre os diodos;
- Corrente média na saída.

$$v_f(t) = 311 \cdot \sin(377 \cdot t) \text{ V};$$

$$R_1 = 5 \Omega;$$

$$D_{1,2} = \text{ideais};$$

$$T_1 = \begin{cases} 10:1 \\ 10:1 \end{cases}$$

Figura 108 - Dados e questionamentos circuito 3.5.6

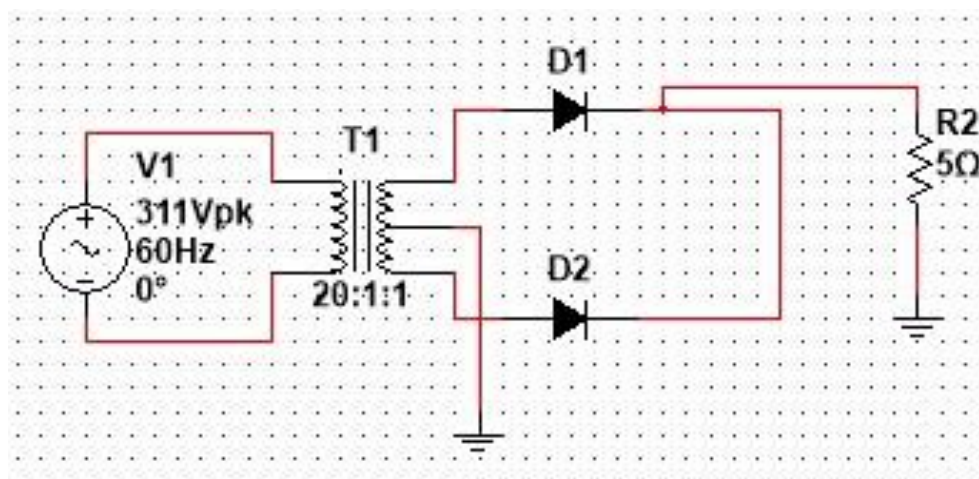


Figura 109 - Circuito 3.5.6 simulado

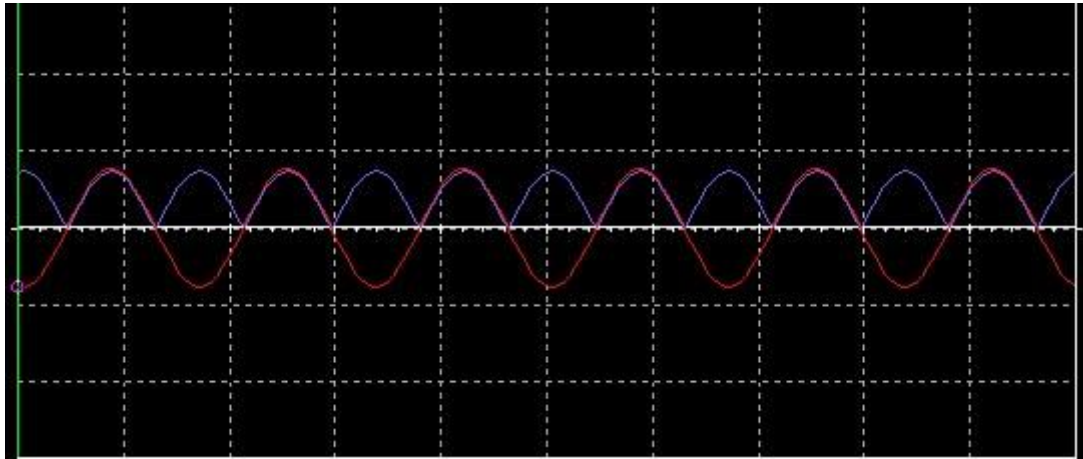


Figura 110 - Forma de onda circuito 3.5.6

CÁLCULOS

$$V_{rms} = 220V$$

$$V_{pk(sec)} = 311 * \frac{1}{10}$$

$$= 31,1V$$

$$V_{pk(saída)} = \frac{31,1}{2} - 0,7$$

$$= 14,85V$$

$$V_{dc(saída)} = \frac{2*14,85}{\pi}$$

$$= 9,45V$$

$$P_{iv} = 31,1 - 0,7$$

$$= 30,4V$$

$$V_{rms(sec)} = \frac{220}{20}$$

$$= 11V$$

$$I_{avg} = \frac{9,45}{5}$$

$$= 1,89A$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
VPK(sec)	31,1 V	31,1 V
VPK (saída)	14,85 V	14,7 V
VDC (saída)	9,07 V	9,45 V
Piv	31,1 V	30,4 V
Iavg	1 A	1,89 A

3.5.7 - PONTE DE DIODOS (ONDA COMPLETA)

Obtenha PIV, tensão de pico na saída e tensão de pico secundária.

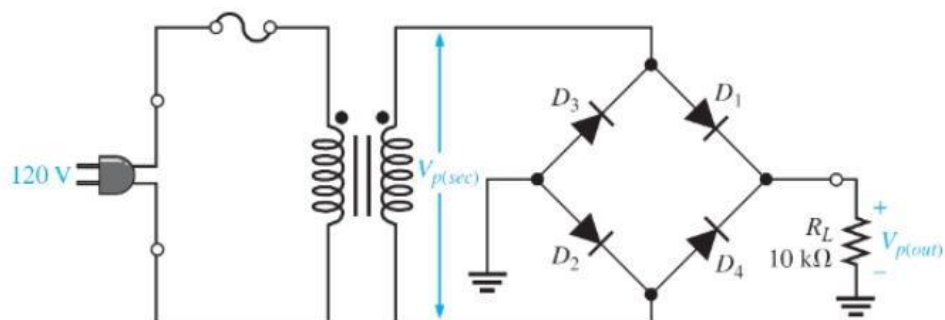


Figura 111 - Circuito 3.5.7 proposto

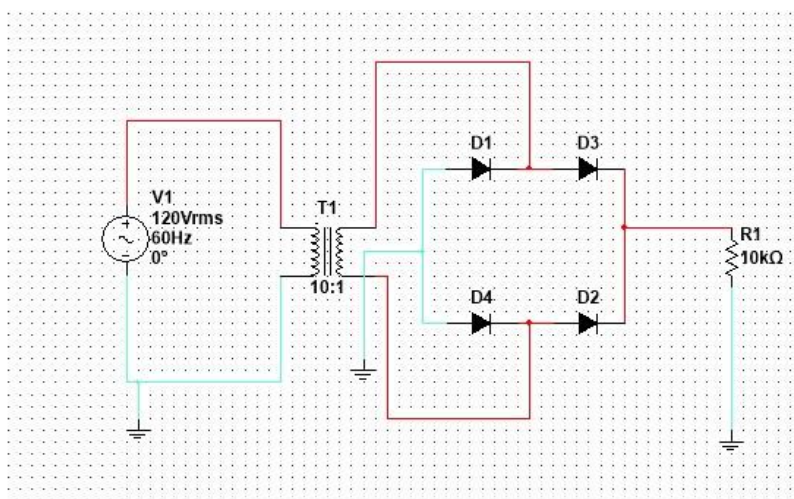


Figura 112 - Circuito 3.5.8 simulado

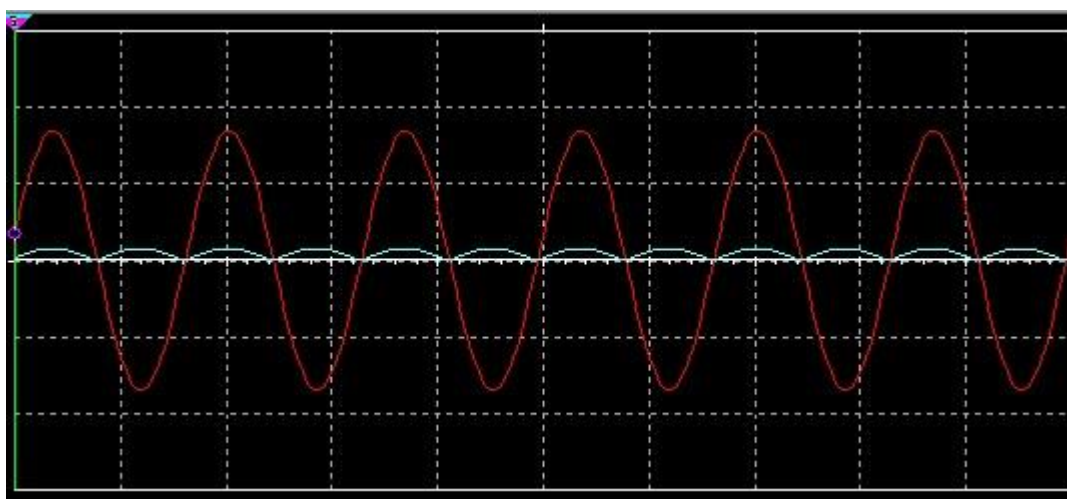


Figura 113 - Circuito 3.5.8 forma de onda

CÁLCULOS

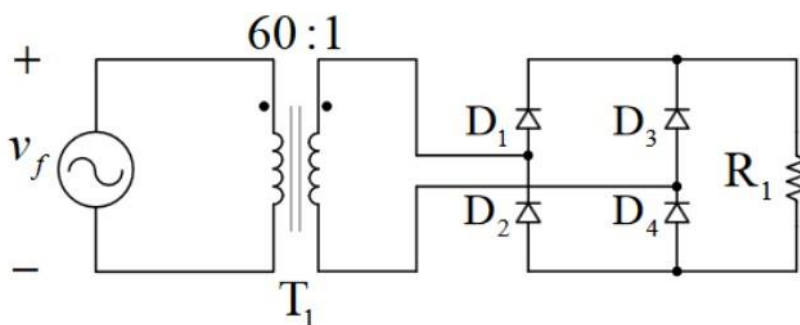
$$\begin{aligned} Vp(sec) &= \sqrt{2} * Vrms \\ &= \sqrt{2} * 12 \\ &= 17V \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} Vp(saida) &= Vp(sec) - 1,4 \\ &= 15,6V \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} Piv &= Vp(saida) + 0,7 \\ &= 16,3V \end{aligned}$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
VP(sec)	16,9 V	17 V
VP (saída)	15,6V	15,6 V
PIV	16,9 V	16,3 V

3.5.8 – PONTE DE DIODOS EXERCÍCIO

Considerando o circuito abaixo:



Considerando os dados ao lado, determine:

- Tensão eficaz no primário de T_1 ;
- Tensão eficaz no secundário de T_1 ;
- Tensão média na saída;
- Tensão de pico na saída;
- Tensão reversa sobre os diodos;
- Corrente média na saída.

$$v_f(t) = 311 \cdot \sin(377 \cdot t) V;$$

$$R_1 = 5 \Omega;$$

$$D_{1-4} = \text{ideais};$$

$$T_1 = 60:1.$$

Figura 114 - Enunciado e circuito 3.5.8 proposto

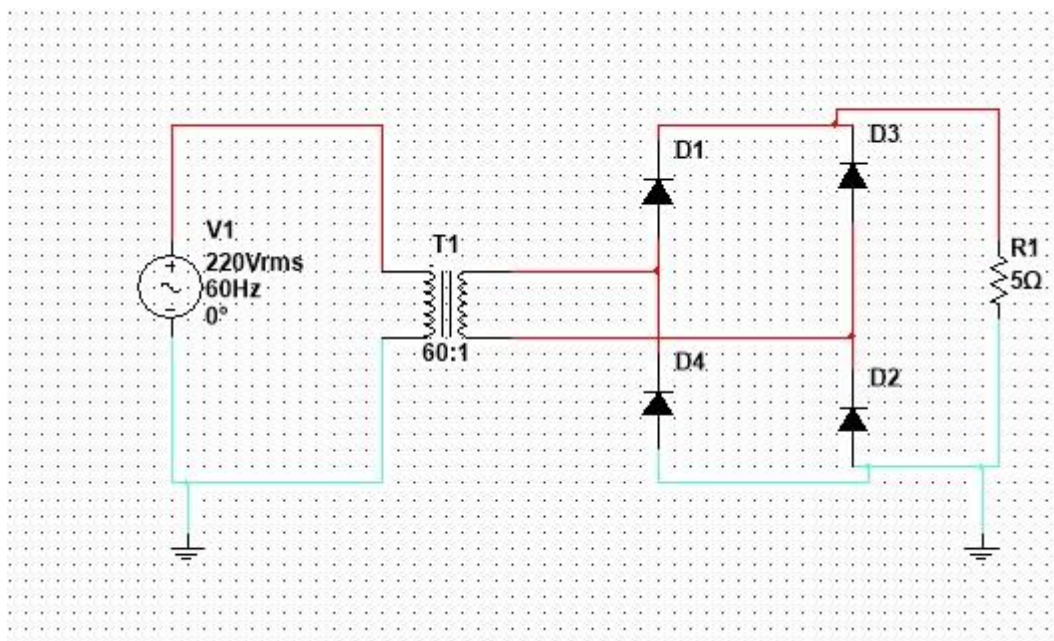


Figura 115 - Circuito 3.5.8 simulado

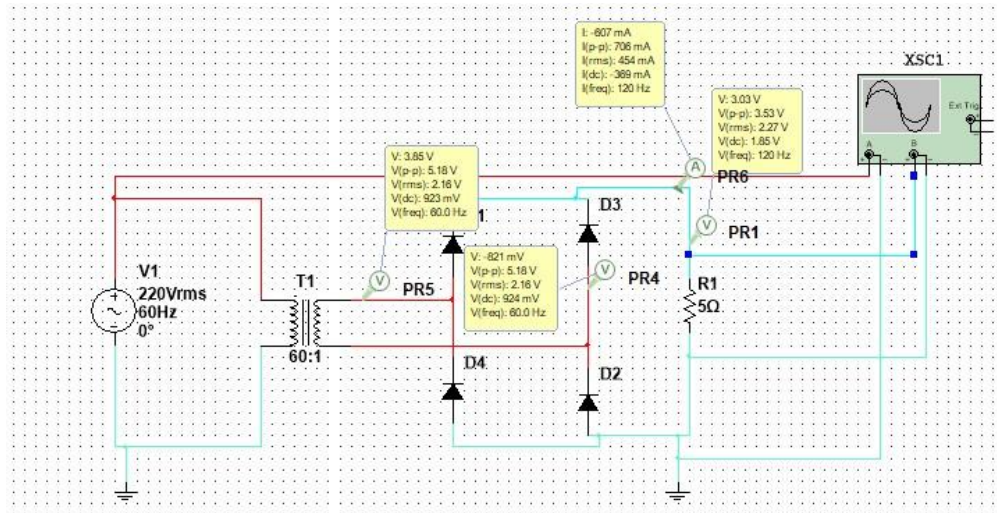


Figura 116 - Circuito 3.5.8 simulado

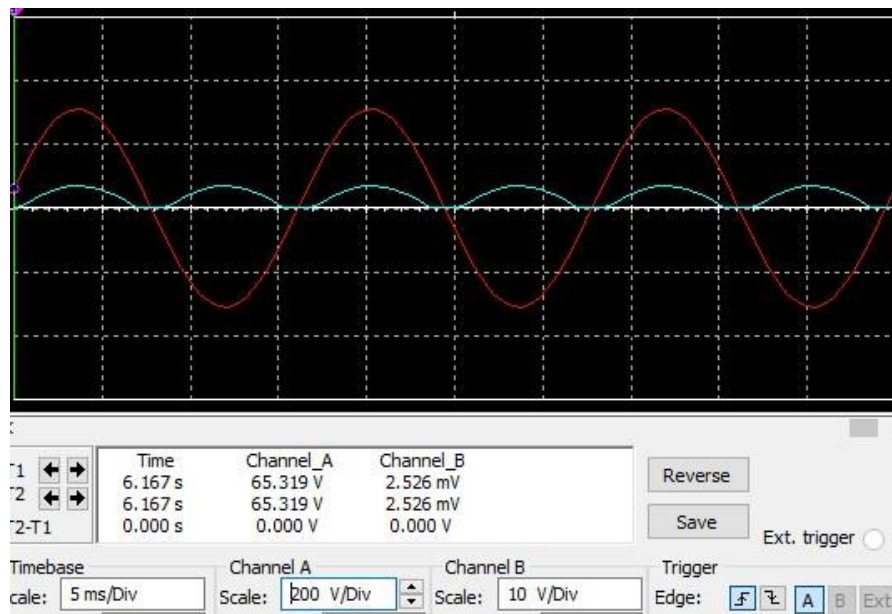


Figura 117 - Forma de onda circuito 3.5.8

CÁLCULOS

$$V_{rms}(\text{primario}) = 311 * \sqrt{2}$$

$$= 220V$$

$$V_{rms}(\text{sec}) = \frac{220}{60}$$

$$= 3,67V$$

$$V_{pk}(\text{sec} - \text{entrada}) = 311 * \frac{1}{60}$$

$$= 5,18V$$

$$V_{pk}(\text{sec} - \text{saida}) = 5,18 - 1,4$$

$$= 3,73V$$

$$V_{dc}(saida) = \frac{2 \cdot 3,73}{\pi}$$

$$= 2,37V$$

$$P_{iv} = V_{pk}(sec) + 0,7$$

$$= 5,18 + 0,7$$

$$= 5,88V$$

$$I_{avg} = \frac{2,37}{5}$$

$$= 0,47A$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
VRMS(sec)	2,16 V	3,67 V
VPK(sec)	5,18 V	5,18 V
VPK(saída)	3,53V	3,73 V
VDC(saída)	1,85 V	2,37 V
Piv	5,18 V	5,88 V
Iavg	0,45 A	0,47 A

3.6 – FILTROS CAPACITIVOS

3.6.1 – COM CARGA

Considere um retificador meia onda com v_i de 100V pico, frequência de 60Hz, C 100 μ F e R 10k. Calcule:

- A) A tensão de pico na saída
- B) A tensão de ripple .
- C) A tensão média na carga

Figura 118 - Enunciado

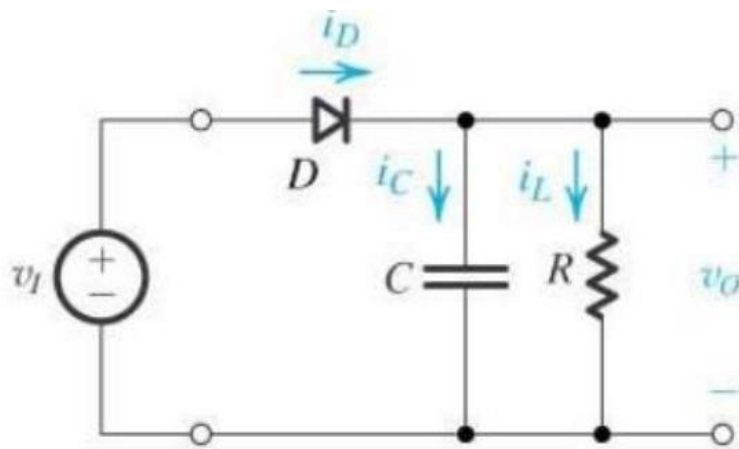


Figura 119 - Circuito 3.6.1

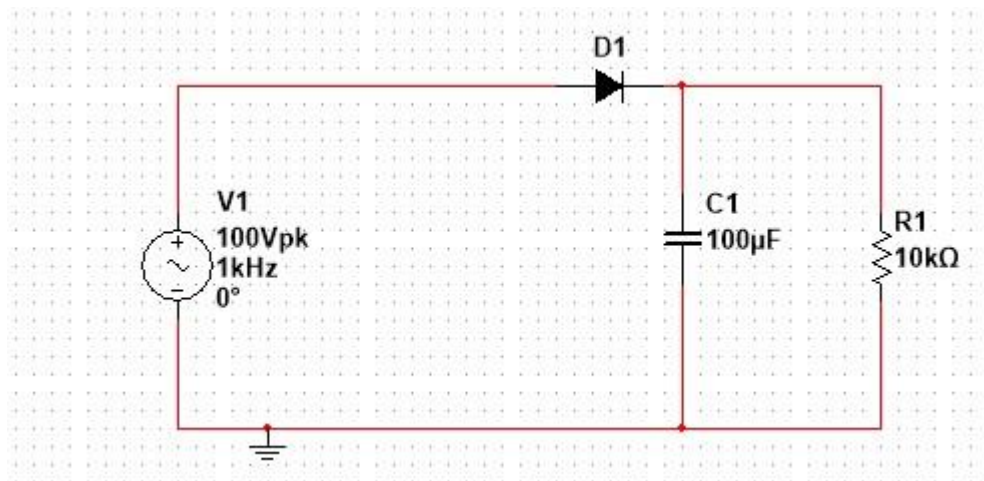


Figura 120 - Circuito 3.6.1 simulado

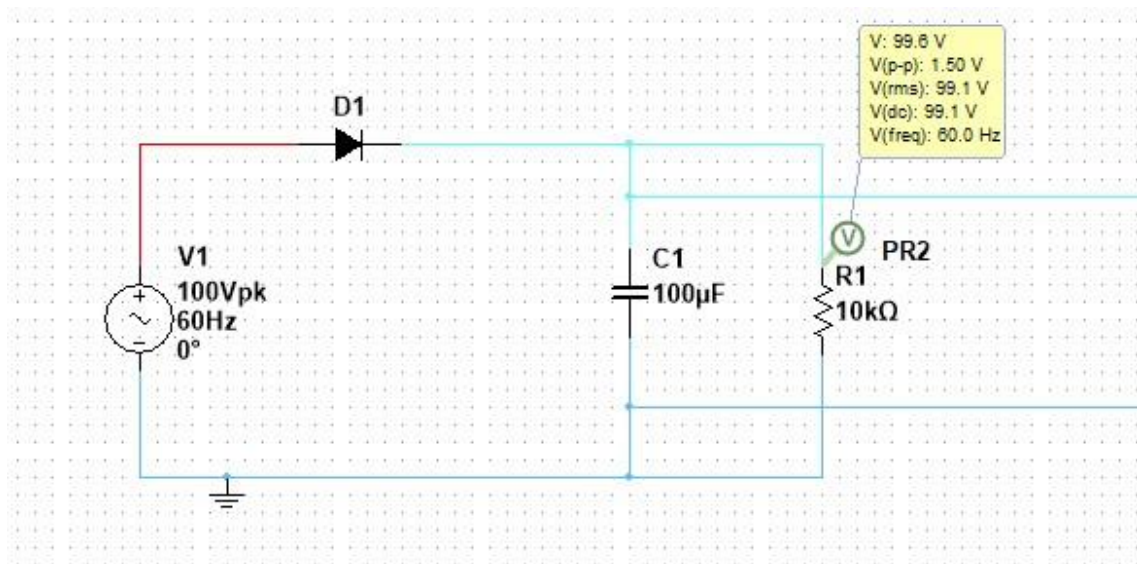


Figura 121 - Circuito 3.6.1 medido

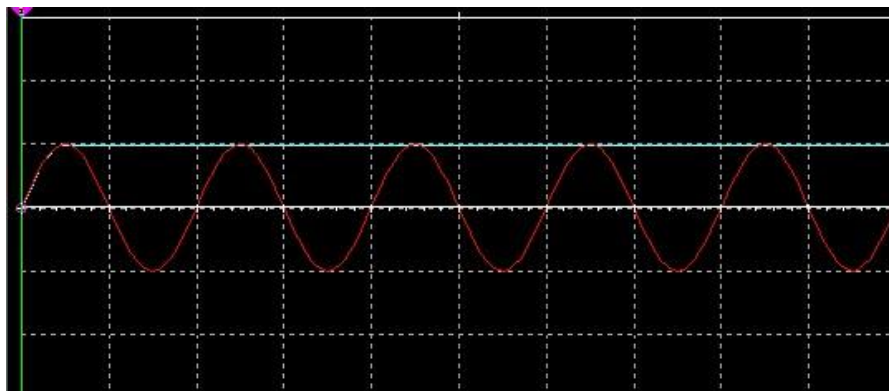


Figura 122 - Circuito 3.6.1 forma de onda

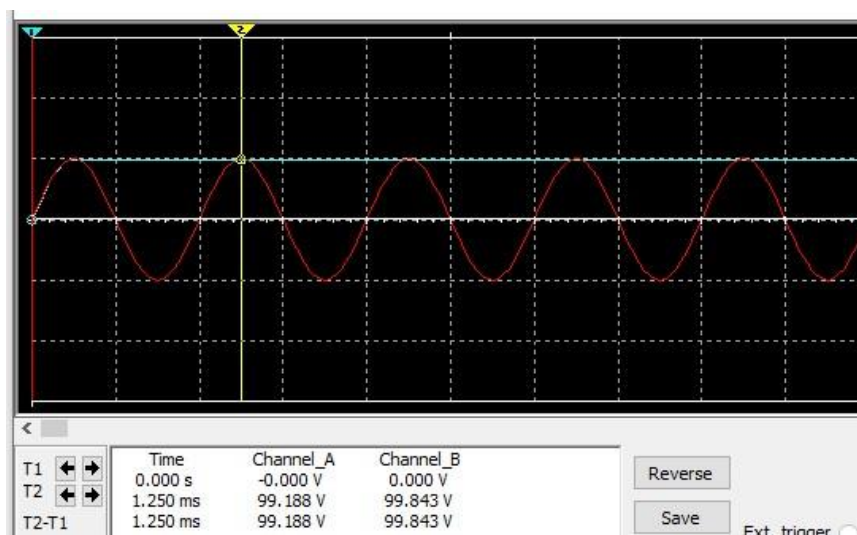


Figura 123 - Obtenção da tensão de ripple

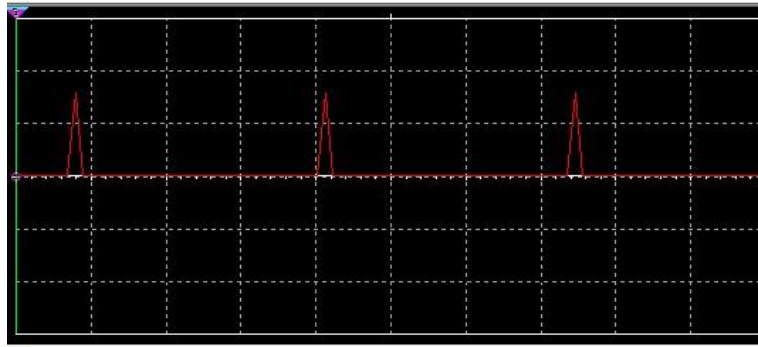


Figura 124 - Forma de onda corrente no diodo

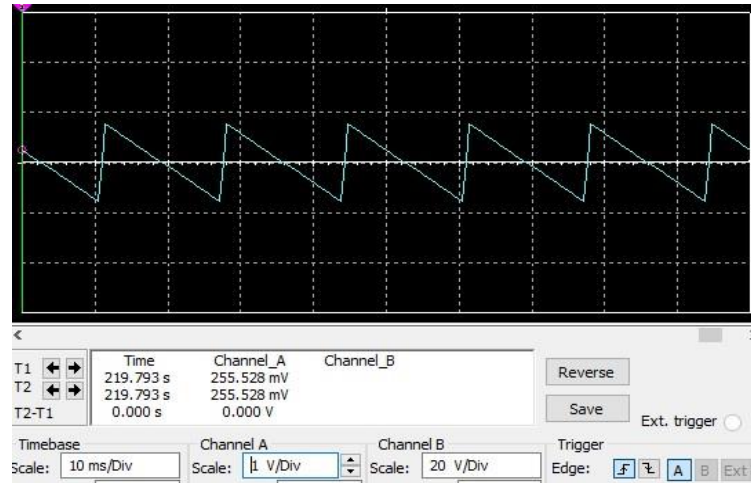


Figura 125 - forma de onda tensão de ripple

Para a mensuração da forma de onda da tensão de ripple, o canal A do osciloscópio foi modificado para a medição de tensão AC (alternada).

CÁLCULOS

$$V_{pk}(saida) = 100 - 0,7$$

$$= 99,3V$$

$$V_{ripple} = \frac{V_p}{fR_c}$$

$$= \frac{99,3}{60 \cdot 10000 \cdot 0,00010}$$

$$= 1,65V$$

$$V_{dc}(carga) = v_P - \frac{V_{ripple}}{2}$$

$$= 99,3 - \frac{1,65}{2}$$

$$= 98,47V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
VP(saída)	98,4 V	99,3V
Vripple	1,53 V	1,65 V
VDC (carga)	98,4 V	98,47 V

3.6.2 – FILTRO CAPACITIVO – EXERCÍCIOS

Repita o exercício anterior utilizando um retificador de onda completa.

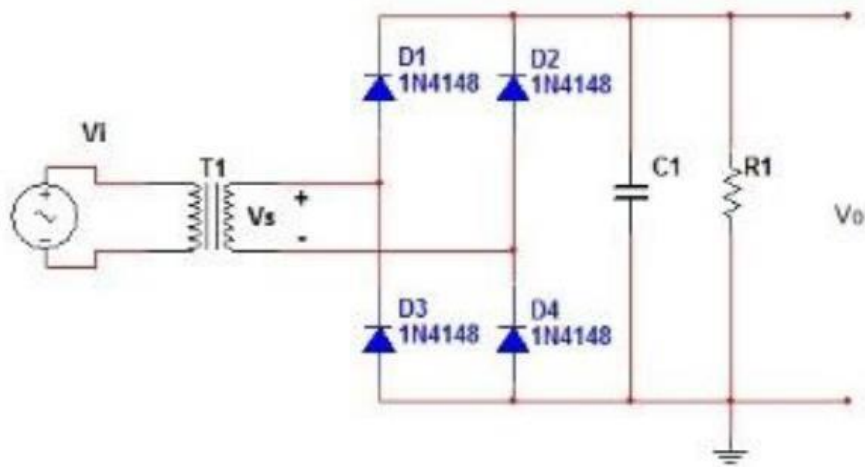


Figura 126 - Circuito 3.6.2 proposto

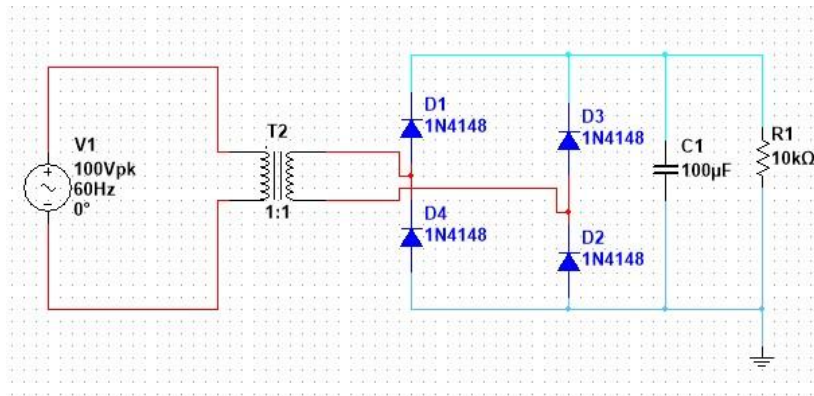


Figura 127 - Circuito 3.6.2 simulado

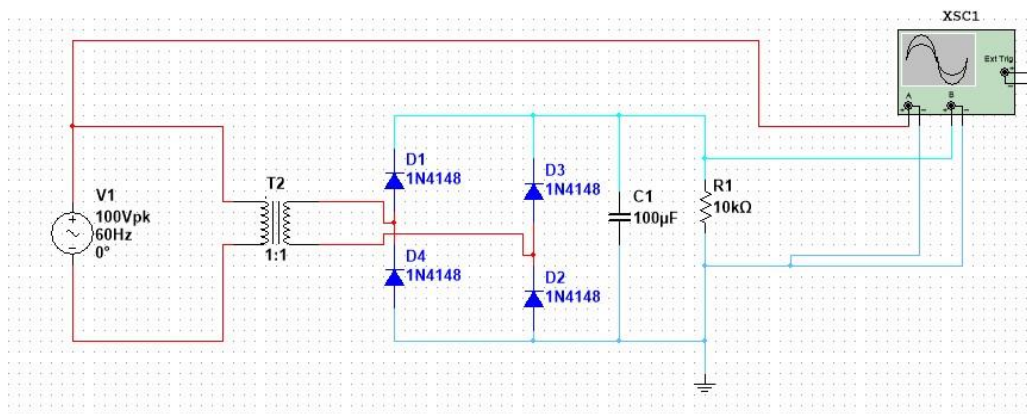


Figura 128 - Osciloscópio para forma de onda das tensões

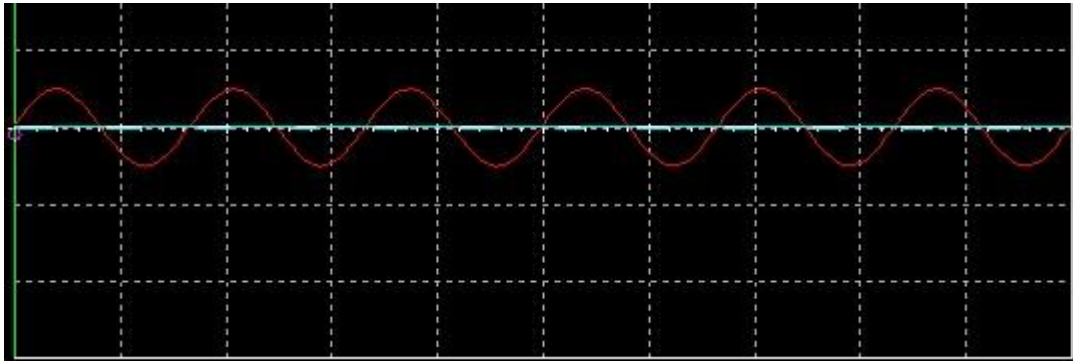


Figura 129 - Forma de onda da tensão de entrada e saída

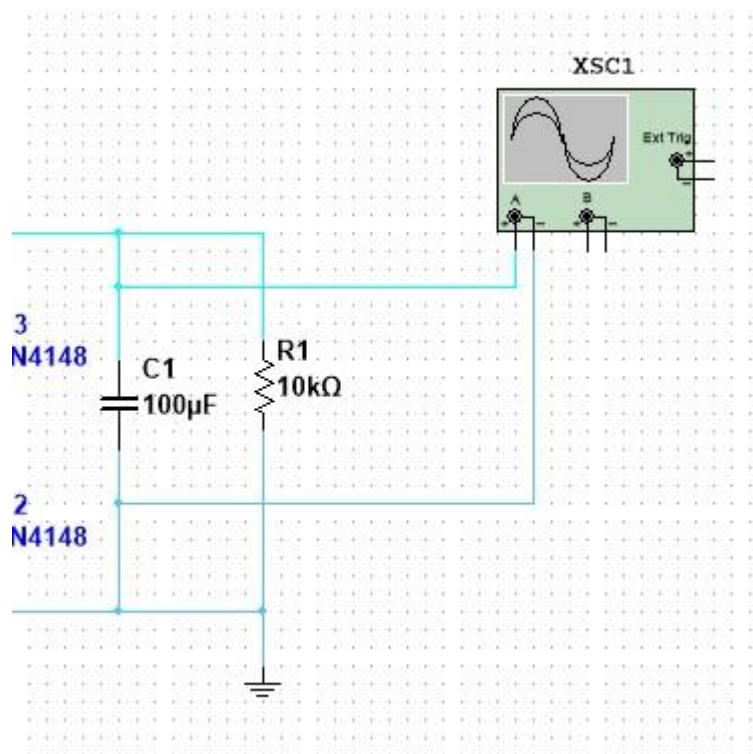


Figura 130 - Osciloscópio para a forma de onda da tensão de ripple

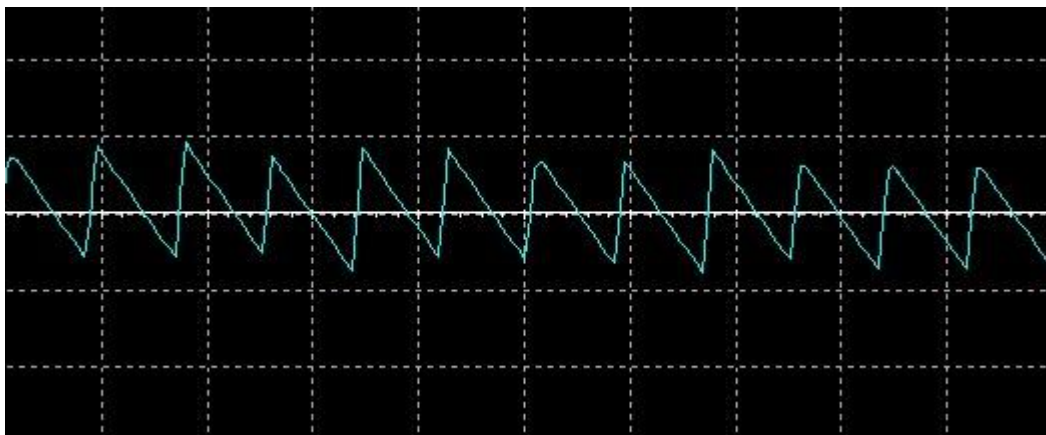


Figura 131 - Forma de onda da tensão de ripple

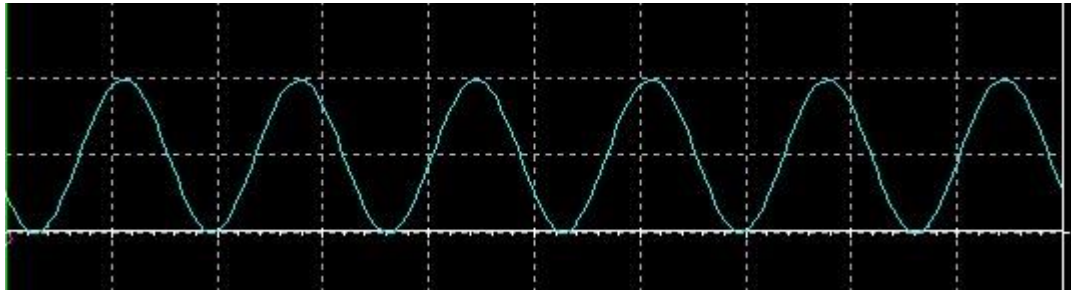


Figura 132 - Forma de onda da corrente no diodo

CÁLCULOS

$$VPK(saída) = 100 - 1,4 = 98,6 V$$

$$V_{ripple} = \frac{V_p}{fRC} = \frac{98,6}{2 * (60 * 10000 * 0,00010)} = 0,82 V$$

$$VDC(carga) = V_p - \frac{V_{ripple}}{2} = 98,6 - \frac{0,82}{2} = 98,19 V$$

TABELA COMPARATIVA

	Simulado	Teórico
VP(saída)	98,1V	98,6V
Vripple	0,75 V	0,82 V
VDC (carga)	97,9 V	98,19 V

3.7 – DIODO ZENER

3.7.1 – MODELO SIMPLIFICADO

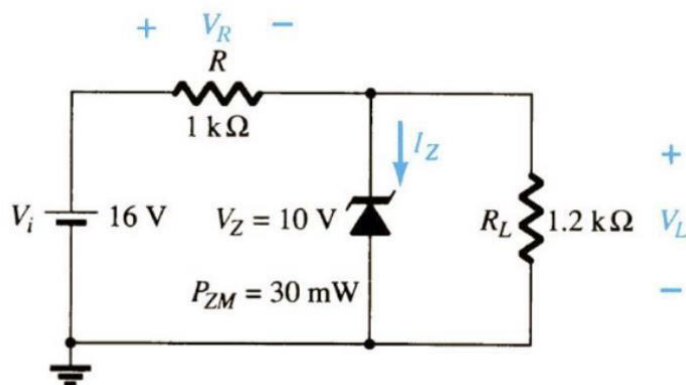


Figura 133 - Circuito 3.7.1 proposto

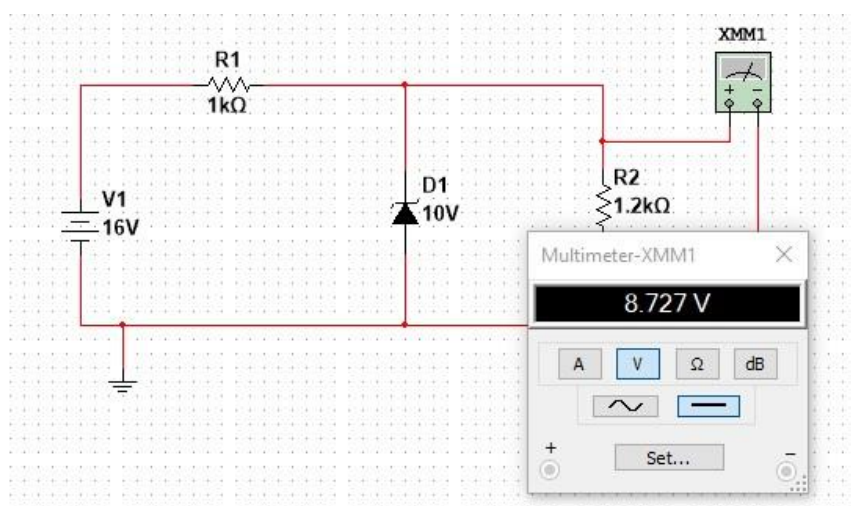


Figura 134 - Circuito 3.7.1 simulado

CÁLCULOS

$$V = \frac{R_L \cdot V_i}{R + R_L}$$

$$= \frac{1,2k \cdot 16}{1k + 1,2k}$$

$$= 8,727V$$

$$V = V_L$$

$$V_L < V_Z$$

Considerando que o valor de V_L é menor do que o valor de V_Z , isso significa que o diodo Zener está bloqueado no circuito.

	Simulado	Teórico
V_L	8,727 V	8,727 V

3.7.2 – REGULADOR ZENER

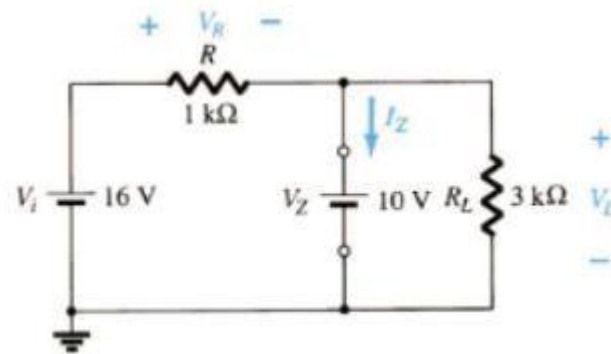


Figura 135 - Circuito 3.7.2 proposto

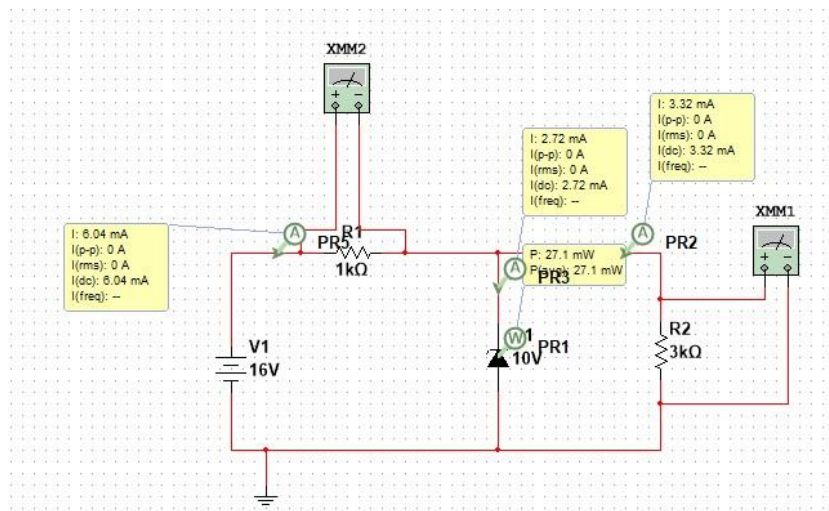


Figura 136 - Circuito 3.7.2 simulado e mensurado

CÁLCULOS

$$V = \frac{R_L \cdot V_i}{R + R_L}$$

$$= \frac{3k \cdot 16}{1k + 3k}$$

$$= 12V$$

$$V_r = V_i - V_l$$

$$= 16V - 10V$$

$$= 6V$$

$$I_l = \frac{V_l}{R_L}$$

$$= \frac{10}{3k}$$

$$= 3,33mA$$

$$= \frac{6}{1k}$$

$$= 6mA$$

$$I_z = I_r - I_l$$

$$= 6mA - 3,33mA$$

$$= 2,67mA$$

$$P_z = V_z * I_z$$

$$= 10 * 2,67$$

$$= 26,7mW$$

Uma vez que VL é maior que Vz, 12 > 10, o diodo Zener está conduzindo.

	Simulado	Teórico
V	12 V	9,96V
Vr	6 V	6,04 V
Il	3,32 mA	3,33 V
Ir	6,04 mA	6mA
Iz	2,72 mA	2,67 mA
Pz	27,1 mW	26,7 mA

3.7.3 – MODELO LINEAR

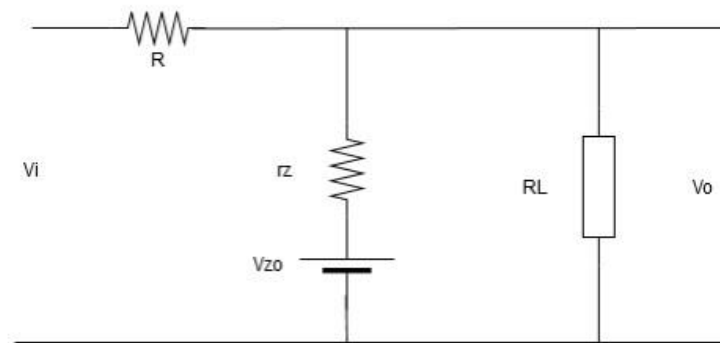


Figura 137 - circuito 3.7.3 proposto

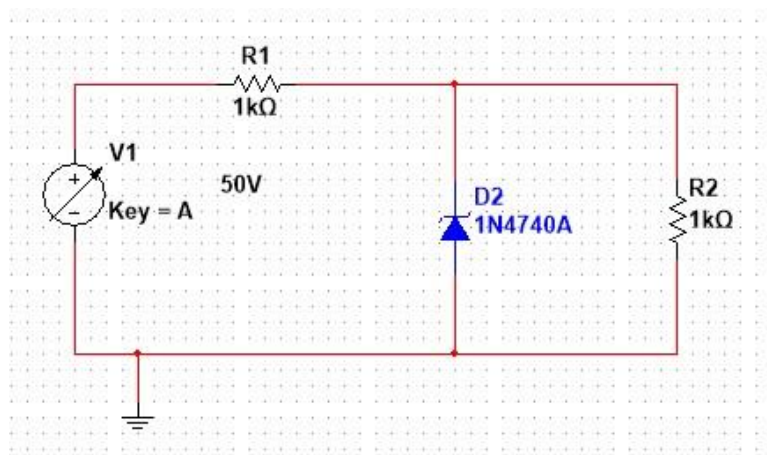


Figura 138 - Circuito 3.7.3 simulado

Considerando o diodo Zener 1N4740A em seu datasheet, temos que:

$V_z = 10V$ para $I_{zt} = 25mA$ e $r_z = 7\Omega$ e por fim consideramos que $V_z = V_{z0} + I_z * r_z$.

CÁLCULOS

$$V_{z0} = V_z - I_z * R_{z0}$$

$$V_{z0} = 10 - (0,025 * 7)$$

$$V_{z0} = 9,825 V$$

Para $V_i = 50 \text{ V}$:

$$\begin{aligned}
 \frac{V_i - V_z}{R} &= \frac{V_z - V_{z0}}{R_z} + \frac{V_z}{R_L} \\
 \frac{50 - V_z}{50} &= \frac{V_z - 0,825}{7} + \frac{V_z}{1000} \\
 \frac{1000}{50} - \frac{1000}{V_z} &= \frac{7}{V_z} - \frac{7}{-0,825} + \frac{1000}{V_z} \\
 \frac{1000}{50} - \frac{1000}{V_z} - \frac{1000}{V_z} &= \frac{7}{V_z} - \frac{7}{-0,825} \\
 \frac{1000}{-2V_z} - \frac{1000}{V_z} - \frac{1000}{-0,825} &= \frac{7}{50} \\
 \frac{1000}{2V_z * 7} - \frac{7}{V_z * 1000} &= \frac{1000}{7} \\
 -\frac{7000}{1500V_z} - \frac{7000}{7000} &= -0,62 \\
 \frac{1500V_z}{7000} &= 0,62 \\
 1500V_z &= 0,62 * 7000 \\
 V_z &= \frac{0,62 * 7000}{1500} \\
 &= 4,340 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Para $V_i = 55 \text{ V}$:

$$\begin{aligned}
 \frac{V_i - V_z}{R} &= \frac{V_z - V_{z0}}{R_z} + \frac{V_z}{R_L} \\
 \frac{55 - V_z}{55} &= \frac{V_z - 0,825}{7} + \frac{V_z}{1000} \\
 \frac{1000}{55} - \frac{1000}{V_z} &= \frac{7}{V_z} - \frac{7}{-0,825} + \frac{1000}{V_z} \\
 \frac{1000}{55} - \frac{1000}{V_z} - \frac{1000}{V_z} &= \frac{7}{V_z} - \frac{7}{-0,825} \\
 \frac{1000}{-2V_z} - \frac{1000}{V_z} - \frac{1000}{-0,825} &= \frac{7}{55} \\
 \frac{1000}{2V_z * 7} - \frac{7}{V_z * 1000} &= \frac{1000}{7} \\
 -\frac{7000}{1500V_z} - \frac{7000}{7000} &= -0,667 \\
 \frac{1500V_z}{7000} &= 0,667 \\
 1500V_z &= 0,667 * 7000 \\
 V_z &= \frac{0,667 * 7000}{1500} \\
 &= 4,675 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Reg &= \frac{4,67 - 4,340}{4,675} * 100 \\
 &= 7,16\%
 \end{aligned}$$

4. CONCLUSÃO

Com o presente relatório foram consolidados os conhecimentos adquiridos ao longo de sete aulas de Eletrônica Básicas equivalentes a M1. Foram visualizados na prática o funcionamento de diodos, zeners, transformadores e retificadores de meia onda e onda completa. Além do aprendizado sobre curvas de diodos e retas de carga.

Através dos cálculos e comparações com as simulações foram vistos resultados semelhantes e positivos, indicando que o uso dos componentes e das fórmulas estavam corretos e contribuindo ainda mais para a aprendizagem.