

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
EEL 7074 -ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

PATRIK LOFF PERES
20103830
PEDRO AFONSO V. ROLIM
19100422

Aula 3 - Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo

FLORIANÓPOLIS
2023

1. Introdução

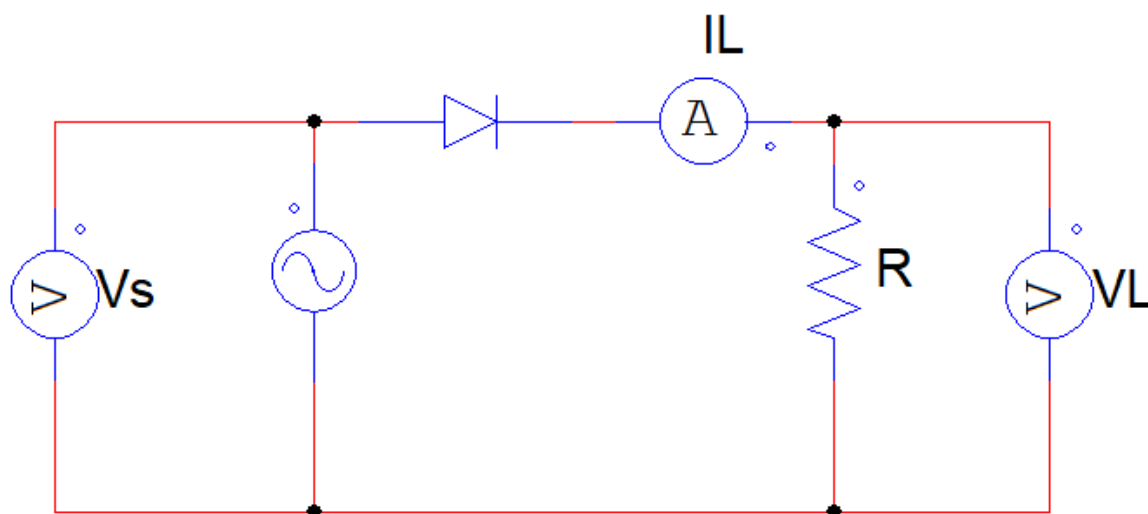
Neste relatório serão apresentados os resultados de experiências de retificadores monofásicos a diodo em três circuitos diferentes, carga R pura, carga RL e carga RL com diodo roda livre. Para comparação e validação dos resultados, além da parte prática feita no Módulo para Experiências em Eletrônica de Potência (MEP), também será apresentado uma análise teórica dos circuitos propostos além da simulação destes no *software* PSIM.

Em todas as experiências foi usado como fonte 110V do secundário do transformador do MEP

2. Circuito 1 - Carga R

Para a carga puramente resistiva foi considerado o circuito abaixo

Figura 1 - Circuito 1



As equações utilizadas para fazer as previsões teóricas foram:

$$V_{sp} = \sqrt{2}V_{sef}$$

$$V_{Lmed} = 0,45V_{sef}$$

$$I_{Lmed} = \frac{0,45V_{sef}}{R} = \frac{V_{Lmed}}{R}$$

$$I_{Lef} = \frac{V_{sp}}{2R}$$

$$V_{Lef} = \frac{V_{sp}}{2}$$

$$V_{Lp} = \sqrt{2}V_{sef}$$

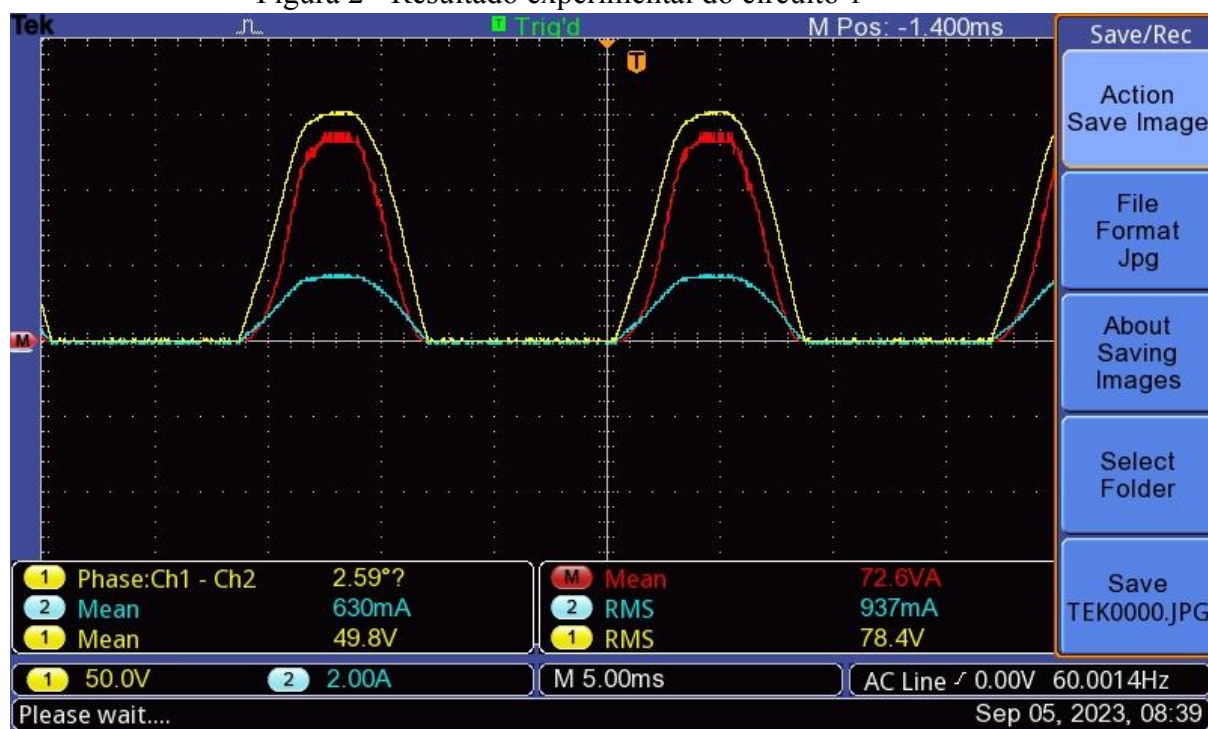
$$I_{Lp} = \frac{V_{sp}}{R}$$

$$P = V_{Lef}I_{Lef} = \frac{V_{Lef}^2}{R}$$

considerando que $V_{sef} = 110V$

Do procedimento experimental obteve-se as tensões, correntes e potências da carga e da fonte, como ilustra a figura 2:

Figura 2 - Resultado experimental do circuito 1



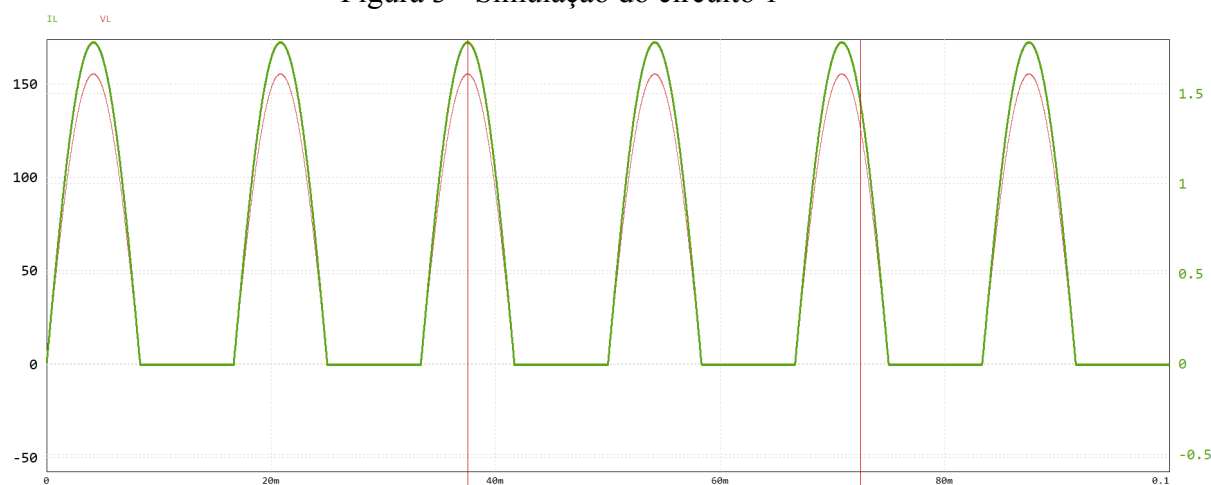
Pelo fato da forma de onda na carga não ser mais uma senóide por conta da retificação, o osciloscópio não consegue fazer a medição de ângulo de defasagem, portanto se faz necessário a medição indireta do fator de potência usando a potência aparente da fonte, segundo as equações:

$$S = V_{sef} I_{sef}$$

$$FP = \frac{P}{|S|}$$

Simulando o circuito da figura 1 para os valores nominais de carga e fonte (e considerando o diodo ideal) obtivemos a seguinte forma de onda:

Figura 3 - Simulação do circuito 1



Como o circuito é de malha única, para fins de análise considerou-se que a corrente na carga é igual a corrente na fonte.

Sendo assim, para a carga de $R=87,5\Omega$ obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 1 - Dados do circuito 1

	Teórico	Simulado	Experimental
V_{sef}	110V	111,42V	113V
V_{sp}	155,56V	157,57V	154V
I_{sef}	0,889A	0,946A	0,936A
I_{smed}	0,566A	0,622A	0,626A
I_{sp}	1,78A	1,79A	1,84A
V_{Lef}	77,78V	82,3V	78,3V
V_{Lp}	155,56V	155,56V	152V
V_{Lmed}	49,5V	54,09V	49,7V
I_{Lef}	0,889A	0,946A	0,936A
I_{Lmed}	0,566A	0,622A	0,636A
I_{Lp}	1,78A	1,79A	1,84A
S	97,79VA	105,92VA	105,77VA
P_L	69,15W	77,92W	72,3W
FP	0,707	0,736	0,683

Aplicando o mesmo método (mas sem a parte teórica), no mesmo circuito, mas agora com uma carga de $R=37,5\Omega$ obtivemos o seguinte resultado:

Figura 4 - Resultado Experimental do circuito 1 para $37,5\Omega$

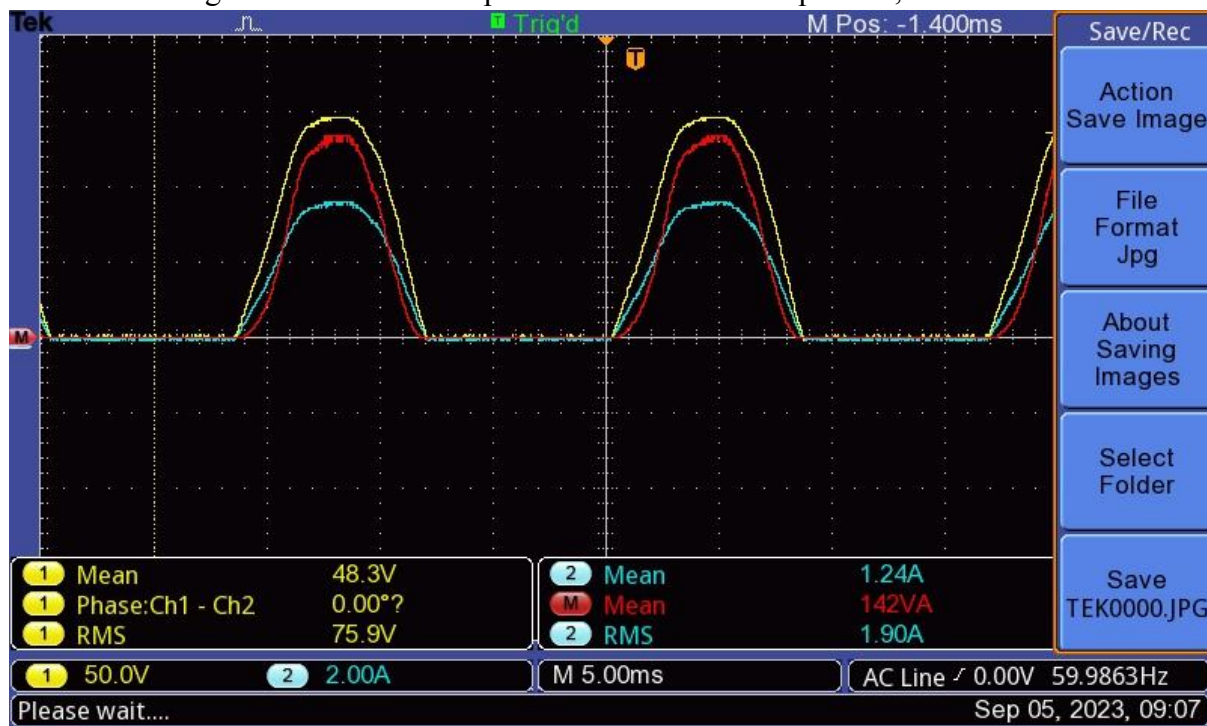


Figura 5 - Circuito 1 para carga $37,5\Omega$

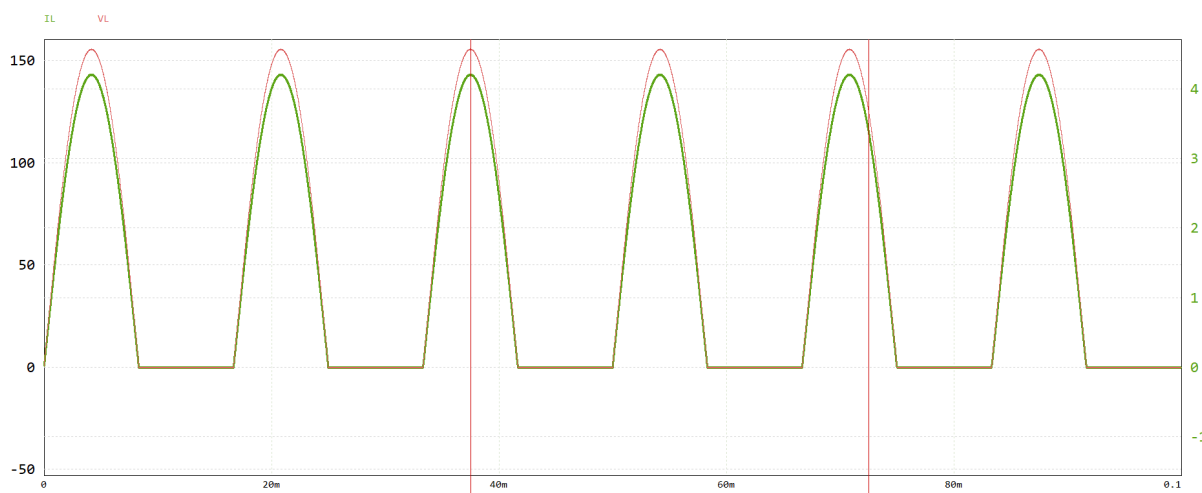


Tabela 2 - Dados do circuito 1 para carga $37,5\Omega$

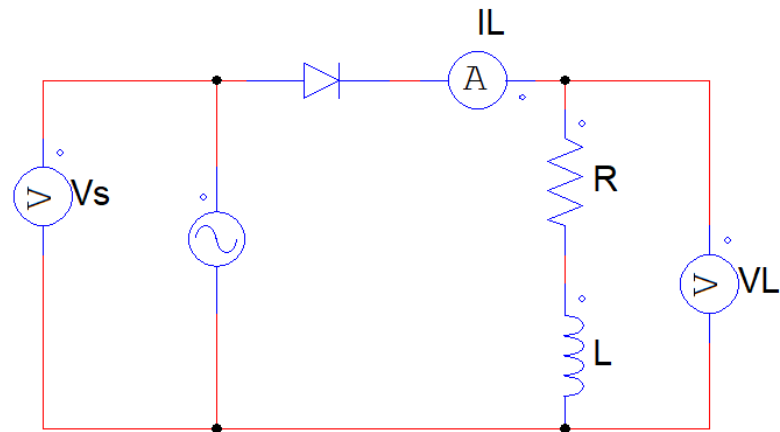
	Simulado	Experimental
V_{sef}	111,96V	111V
I_{sef}	2,08A	1,9A
V_{Lef}	77,01V	76,2V
V_{Lmed}	48,54V	48,5V
I_{Lef}	2,08A	1,9A
I_{Lmed}	1,31A	1,24A
S	232,87VA	210,9VA
P_L	160,18W	142W
FP	0,688	0,673

Como esperado de uma carga puramente resistiva, as formas de onda de tensão e corrente estão em fase, porém observa-se fator de potência diferente de 1 por conta dos diodos fazendo a retificação de meia onda, que deformam a forma de onda senoidal.

3. Circuito 2 - Carga RL

Para a carga RL foi adicionado um indutor em série com o resistor do circuito 1, como na figura abaixo

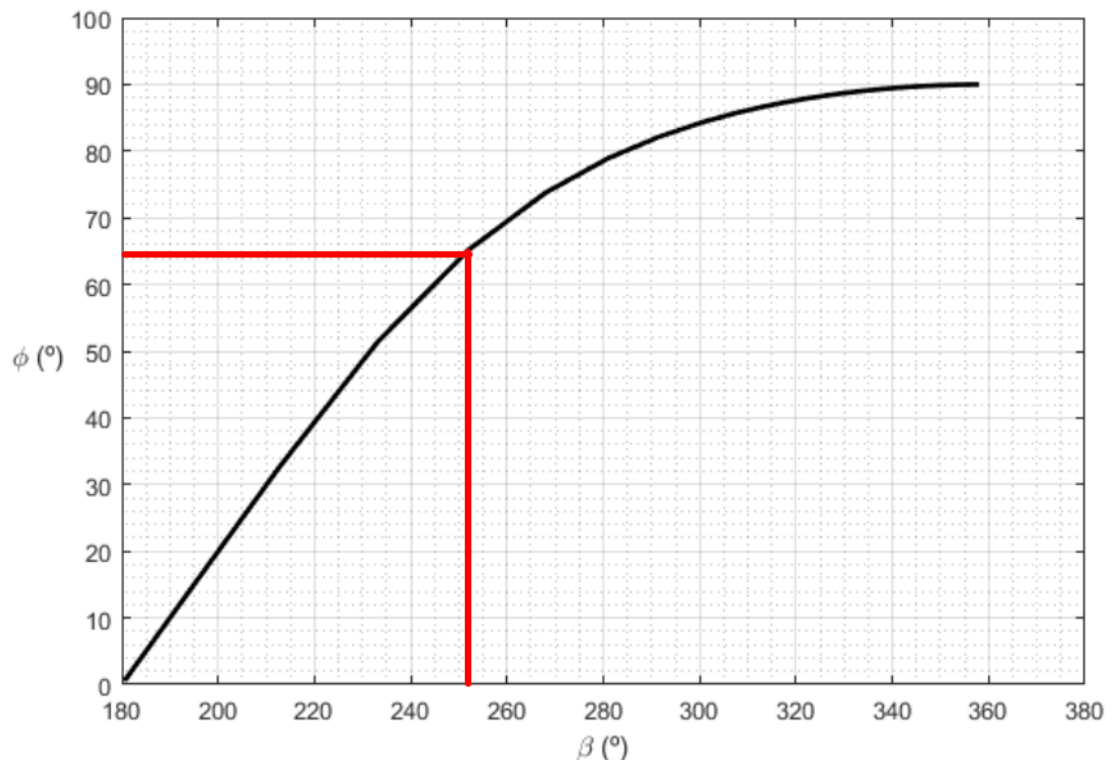
Figura 6 - Circuito 2



Para os cálculos do circuito acima, é necessário determinar o ângulo β ($^\circ$ em que o diodo bloqueia a corrente, tendo em vista que ela é defasada por causa do indutor). Porém β só é possível ser determinado por métodos numéricos aproximados, neste relatório será usado o gráfico da figura 7 que aproxima o valor de β em função do ângulo ϕ (ângulo da impedância complexa). Portanto, calculando ϕ :

$Z = R + jX$, onde $X = 2\pi fL = 188,5\Omega$
 $Z = 87,5 + j188,5 = 207,82 \angle 65,1^\circ$
 portanto, $\phi = 65,1^\circ$

Figura 7 - Gráfico aproximado de β em função de ϕ



Do gráfico podemos inferir que $\beta = 252^\circ$

As equações utilizadas para fazer as previsões teóricas foram:

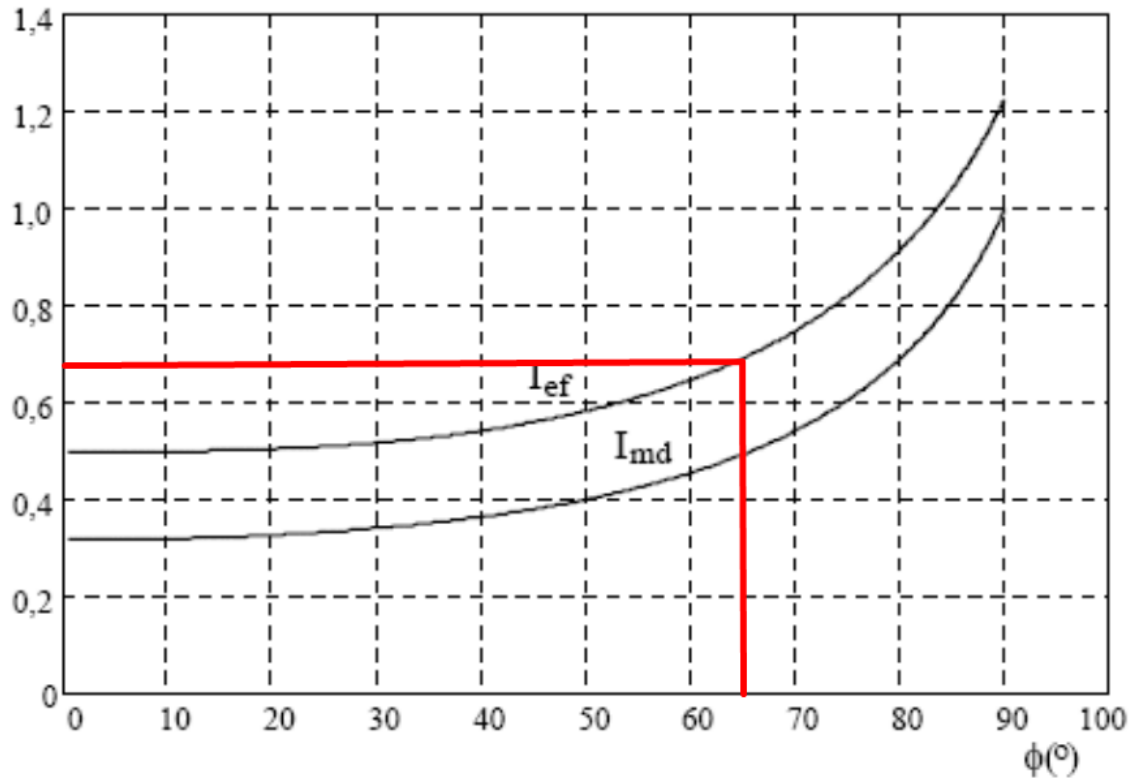
$$V_{sp} = \sqrt{2}V_{sef}$$

$$V_{Lmed} = 0,225V_{srms}(1 - \cos(\beta))$$

$$I_{Lmed} = \frac{V_{Lmed}}{R}$$

Para calcular a corrente eficaz do circuito, é necessário determinar uma corrente parametrizada I_{ef} a partir do ângulo ϕ através de métodos numéricos. Com a aplicação de um desses métodos se gerou o gráfico da figura 8

Figura 8 - Gráfico aproximado de I_{ef} em função de ϕ



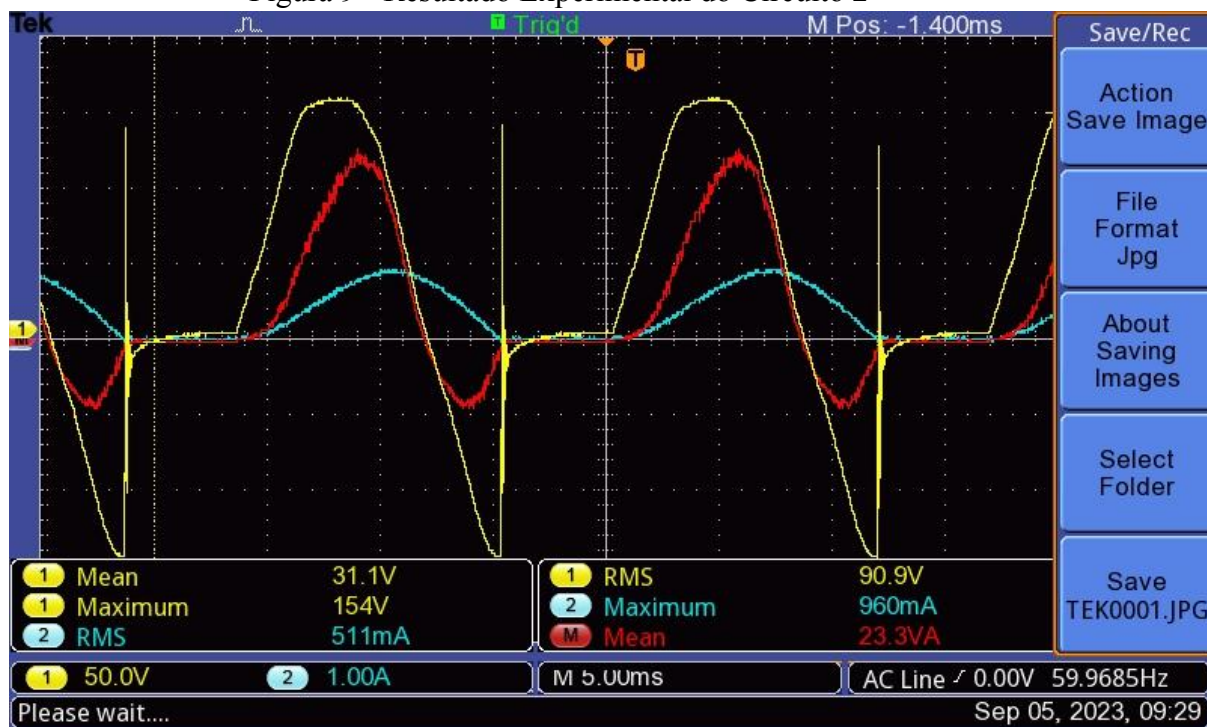
Portanto, $I_{ef} \simeq 0,68A$. Sendo assim, a corrente eficaz do circuito pode ser determinada por:

$$I_{Lef} = \frac{\sqrt{2}V_{sef}}{|Z|} I_{ef}$$

$$P = I_{Lef} * I_{Lef} * R$$

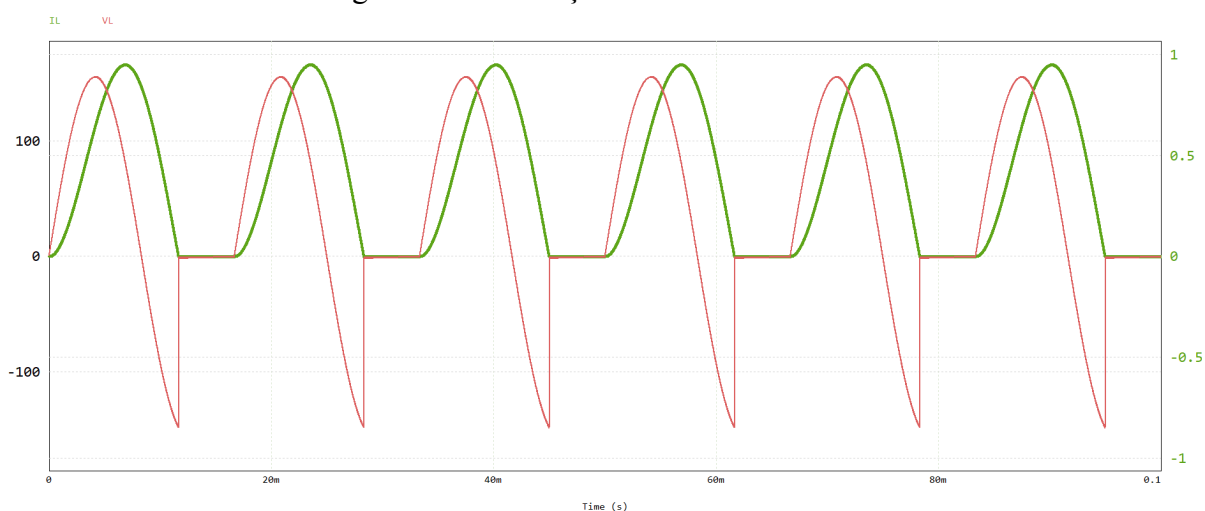
Experimentalmente obtivemos a forma de onda (de tensão, corrente e potência) na carga:

Figura 9 - Resultado Experimental do Circuito 2



Através da simulação obtivemos o seguinte resultado:

Figura 10 - Simulação do Circuito 2



Nota-se nas formas de onda claramente a tensão negativa na carga por conta do desfasamento na corrente causado pelo indutor que faz com que o diodo conduza além do semiciclo positivo, e o corte abrupto que ocorre em β° .

Os resultados do circuito 2 foram expressos na tabela 3:

Tabela 3 - Dados do circuito 2

	Teórico	Simulado	Experimental
V_{sef}	110V	109,26V	113V
V_{sp}	155,56V	154,52	156V
I_{sef}	0,509A	0,546A	0,514A
I_{smed}	0,37A	0,403A	0,382A
V_{Lp}	143,95V	138,08V	154V
V_{Lmed}	32,4V	31,08V	31,2V
I_{Lef}	0,509A	0,546A	0,514A
I_{Lmed}	0,37A	0,403A	0,382A
S	55,99	60,86VA	58,08VA
P_L	22,67W	25,03W	22,2W
FP	0,405	0,411	0,382

4. Circuito 3 - Carga RL com Diodo Roda Livre

Para este experimento foi adicionado um diodo em paralelo com a carga que faz com que o diodo em paralelo conduza no semiciclo negativo da fonte, quando o indutor descarregar a energia que foi armazenada no semiciclo positivo da fonte.

Figura 11 - Circuito 3

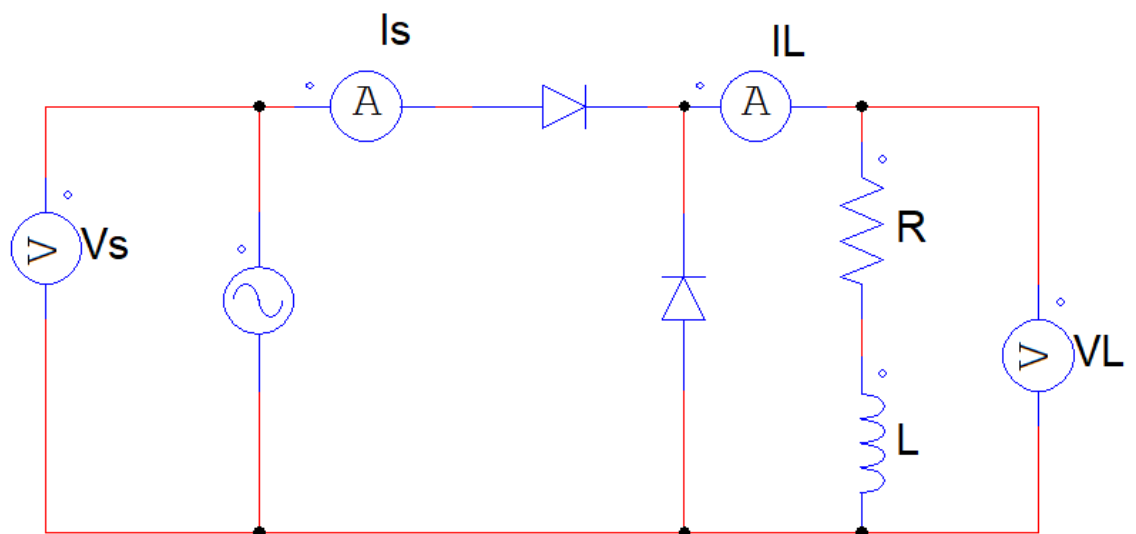


Figura 12 - Resultado Experimental do Circuito 3

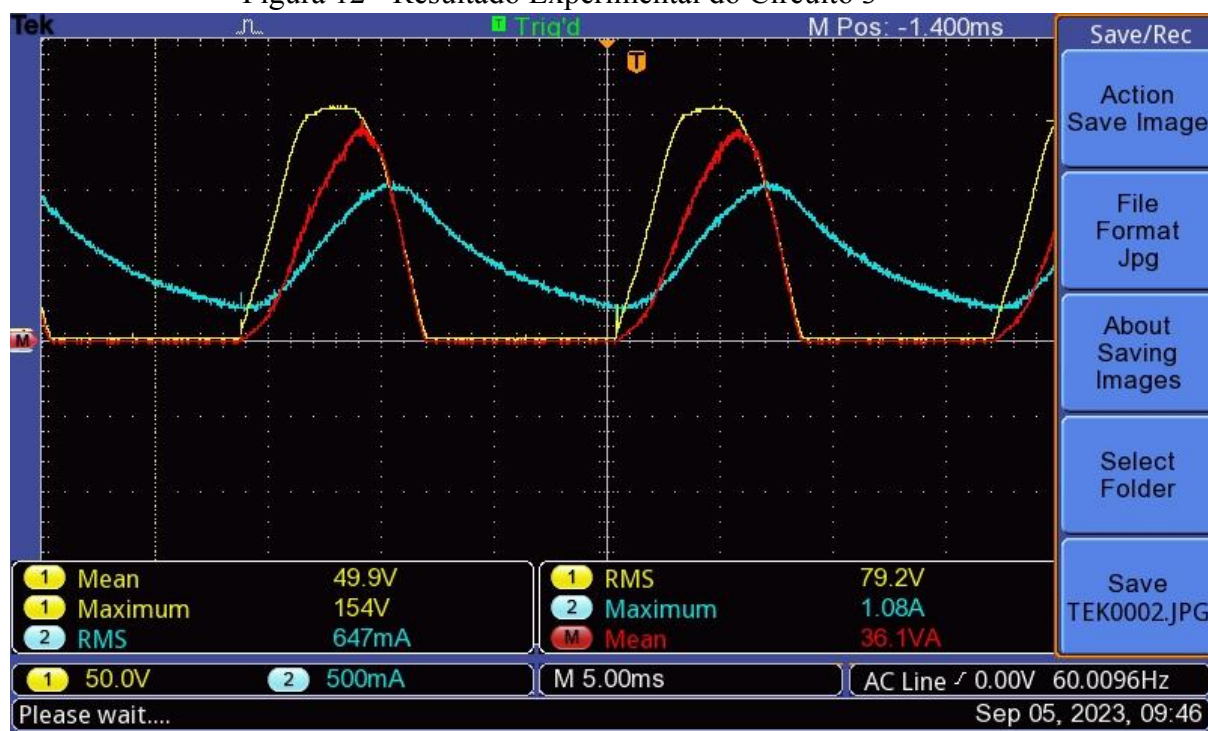


Figura 13 - Tensão e corrente da fonte

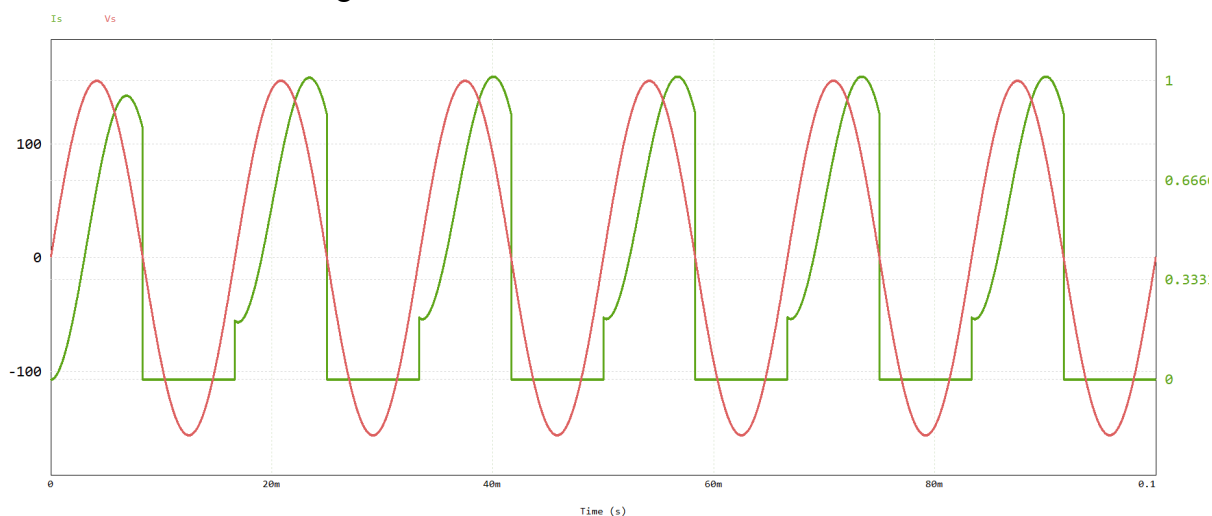
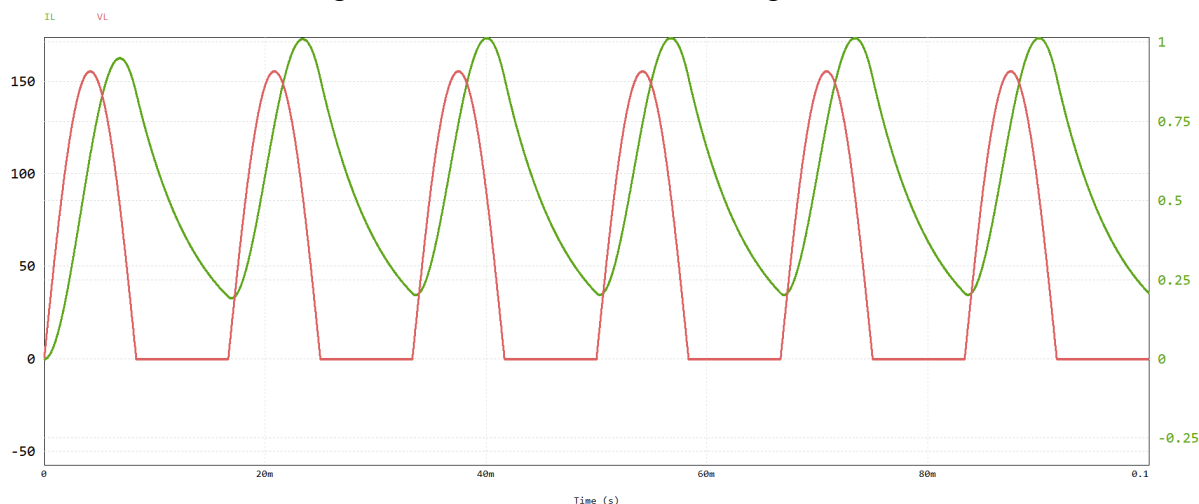


Figura 14 - Tensão e corrente na carga



Como é possível observar pelas formas de onda de tensão e corrente na carga (tanto simulada como experimental), por conta da constante de tempo suficientemente alta, a corrente na carga se torna constante, no sentido de não voltar a zero entre um ciclo e outro.

Tabela 4 - Dados do circuito 3

	Simulado	Experimental
V_{sef}	111,41V	113V
I_{sef}	0,539A	0,535A
V_{Lef}	78,78V	79,2V
V_{Lmed}	50,26V	49,9V
I_{Lef}	0,655A	0,648A
I_{Lmed}	0,598A	0,589A
S	60,15VA	60,45VA
P_L	36,54W	36,1W
FP	0,607	0,597