



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
FEELT

**ANÁLISE DE ONDAS NÃO SENOIDAIS - LÂMPADAS
(CARGAS NÃO LINEARES)**

Relatório da Disciplina de Experimental de Circuitos Elétricos II
por

Lesly Viviane Montúfar Berrios
11811ETE001

Prof. Wellington Maycon Santos Bernardes
Uberlândia, Dezembro / 2019

Sumário

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Objetivos | 2 |
| 2 | Introdução teórica | 2 |
| 3 | Preparação | 3 |
| 3.1 | Materiais e ferramentas | 3 |
| 3.2 | Montagem | 4 |
| 3.2.1 | Lâmpadas (Cargas não lineares) | 4 |
| 3.2.2 | Medições em ambiente com $f \neq 60Hz$ | 5 |
| 4 | Dados Experimentais | 6 |
| 4.0.1 | Lâmpadas (Cargas não lineares) | 6 |
| 4.0.2 | Medições em ambiente com $f \neq 60Hz$ | 7 |
| 5 | Análise sobre segurança | 8 |
| 6 | Análise e discussão | 8 |
| 6.0.1 | Descrição da corrente sobre as lâmpadas em série Fourier . . . | 8 |
| 6.0.2 | Comparação do valor RMS obtido com o experimental | 8 |
| 6.0.3 | Espectro harmônico da corrente | 8 |
| 6.0.4 | Sobre a Distorção Harmônica Total (DHT) | 8 |
| 7 | Simulação computacional | 8 |
| 8 | Conclusões | 8 |

1 Objetivos

Pretende-se verificar experimentalmente conceitos teóricos de sinais não senoidais, obtendo os coeficientes da série de Fourier pelo método analítico e usando uma rotina computacional (como Matlab, Python). Aqui também é investigada a determinação do valor eficazes (rms) da tensão e corrente, bem como as potências associadas das formas de onda não senoidais.

2 Introdução teórica

Ondas não senoidais na rede são bastante comuns e surgem da presença de cargas não-lineares na rede (proporção tensão e corrente não é constante). Alguns exemplos de cargas geradoras de correntes harmônicas são geradores e motores CA, transformadores, lâmpadas de descarga, retificadores/motores CC controlados, inversores/motores de indução, ciclo-conversores/motores síncronos, cargas de aquecimento controladas por tiristores, reguladores de tensão a núcleo saturado, computadores etc [1].

Na Figura 1 observa-se uma característica importante para ondas com distorção harmônica. A corrente fundamental vai da fonte para a carga, enquanto que as de ordem harmônica vão da carga para a fonte (sentido oposto). Além disso, a Figura 2 ilustra como é feita a análise da onda não senoidal, por meio da descrição em séries de Fourier, para assim poder construir seu espectro de frequências.

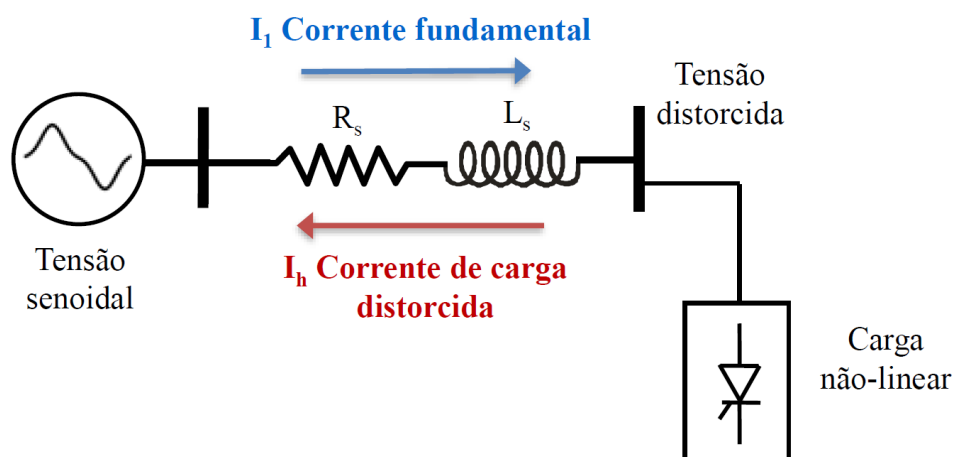


Figura 1: Figura ilustrativa de harmônicos na rede [1].

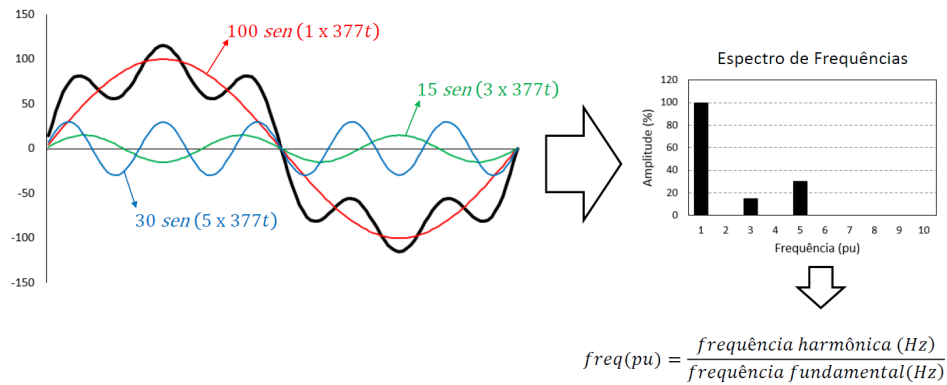


Figura 2: Descrição em série de Fourier e análise espectro de frequências [1].

3 Preparação

3.1 Materiais e ferramentas

- 1 - **Fonte:** Alimentará todo o circuito. Possui frequência de 60 Hz .
- 2 - **Regulador de tensão (Varivolt):** Também chamado de autotransformador, permitirá obter o valor desejado de corrente a partir da regulação correta da tensão fornecida pela fonte.
- 3 - **Conectores:** Para as conexões no circuito foi utilizado majoritariamente cabos banana-banana.
- 4 - **Medidor eletrônico KRON Mult K:** Possibilita encontrar a medição da potência real (P) - vatímetro, reativa (Q) e aparente (S) do circuito. Ele também possui função de cofasímetro, instrumento elétrico que mede o fator de potência (fp , $\cos\theta$) ou o ângulo da impedância θ do circuito, para um circuito com a impedância $Z = Z \angle \theta$.
- 5 - **Lâmpadas:** Foram utilizadas lâmpadas LED e incandescente, para investigar o carácter não linear dessas cargas e seu efeito na rede.
- 6 - **Reostato:** Carga resistiva para evitar dano na lâmpada LED. Foi setado para 10Ω .
- 7 - **Reator:** Para a segunda montagem utilizou-se um indutor na carga de 166 mH.

3.2 Montagem

3.2.1 Lâmpadas (Cargas não lineares)

A montagem realizada observa-se na Figura 3, na qual são empregados medidores de tensão e de corrente digitais (*Kron Mult-K Série 2*). A configuração usada no medidor *Kron* foi TL = 0000 (3 ϕ com Neutro - Carga Desequilibrada) e valor para a resistência medida foi de $R = 10.1\Omega$ e foi aplicada uma tensão de fase $V_F = V_{AN}$ que variou de 10 a 100V. Lembrando que as lâmpadas a LED ou fluorescente compacta normalmente acendem após certo valor de tensão.

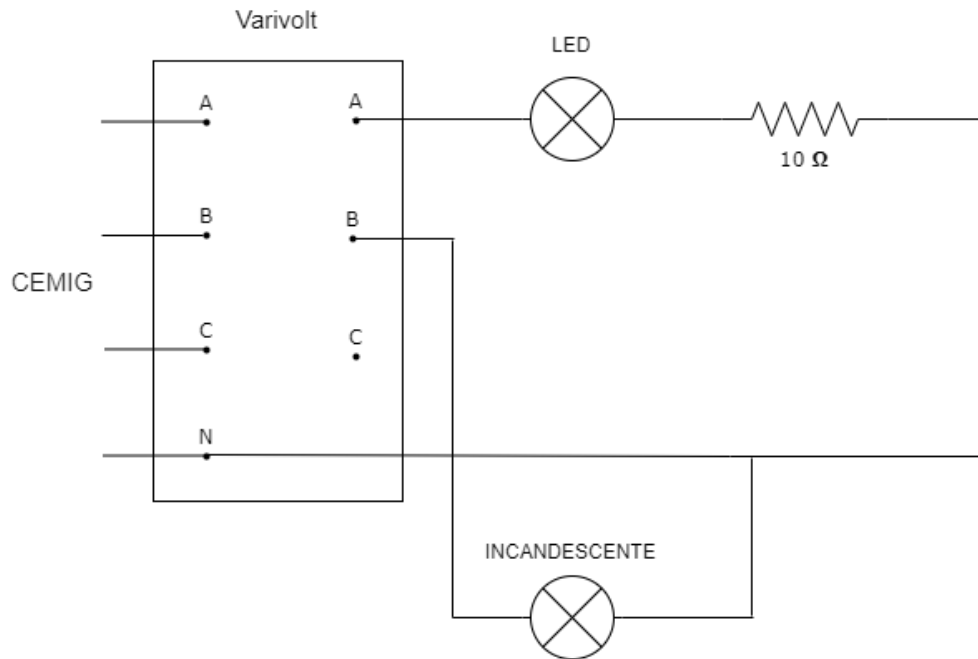


Figura 3: Montagem realizada para verificação de espectro para cargas não-lineares.

3.2.2 Medições em ambiente com $f \neq 60Hz$

Como na Figura 4, nessa etapa é utilizado um retificador de onda completa para representar uma onda não-senoidal. O intuito dessa montagem é medir as grandezas de tensão e corrente nos terminais da carga utilizando-se de distintos medidores, inclusive não True RMS, para assim intuir a importância da utilização de equipamento de medição True RMS.

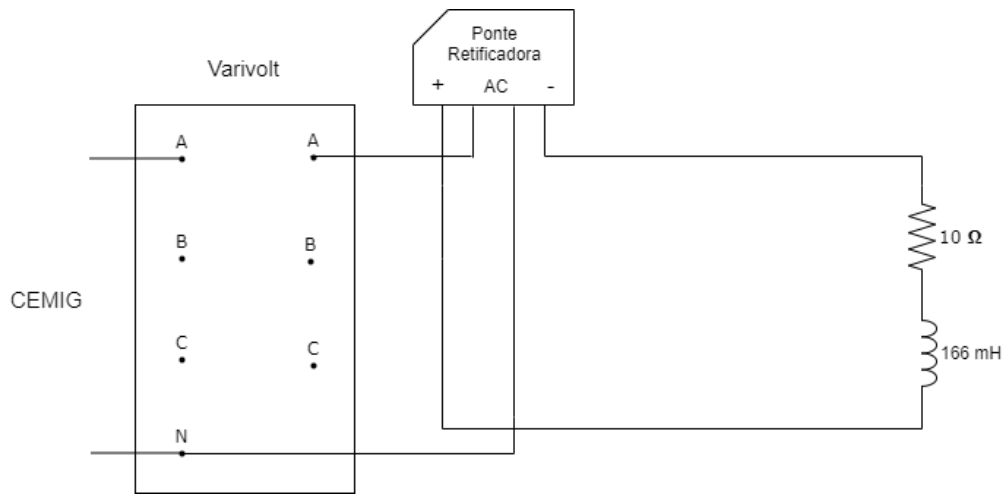


Figura 4: Montagem para experimento de ambiente com $f \neq 60Hz$.

4 Dados Experimentais

4.0.1 Lâmpadas (Cargas não lineares)

Do experimento para análise de tensão e corrente em cargas não lineares tem-se do dados contemplados na Tabela 1 obtidos com o medidor *Kron*. Já na Tabela 2 estão os valores de tensão obtidos com o multímetro True RMS.

Tabela 1: Dados experimentais para o experimento com lâmpadas como carga.

| V_F (V) | Fase | V_F (V) | I_L | P (W) | Q (VAr) | S (VA) | FP | DTT (%) | DTI (%) |
|-----------|------|-----------|-------|-------|---------|--------|-------|---------|---------|
| 10,0 | A | 10,47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,73 | 0 |
| | B | 10,67 | 0,112 | 1,182 | 1,156 | 1,194 | 0,991 | 4,09 | 9,08 |
| 20,0 | A | 20,35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,36 | 0 |
| | B | 20,86 | 0,14 | 2,907 | 0,287 | 2,92 | 0,995 | 3,36 | 6,51 |
| 30,0 | A | 30,84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,97 | 0 |
| | B | 31,14 | 0,164 | 5,09 | 0,422 | 5,118 | 0,996 | 2,52 | 5,94 |
| 40,0 | A | 40,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,85 | 0 |
| | B | 40,64 | 0,181 | 7,388 | 0,555 | 7,426 | 0,997 | 2,63 | 5,05 |
| 50,0 | A | 50,02 | 0,127 | 5,037 | 3,862 | 6,338 | 0,792 | 2,820 | 31,29 |
| | B | 50,15 | 0,203 | 10,15 | 0,715 | 10,19 | 0,998 | 2,58 | 4,390 |
| 60,0 | A | 60,01 | 0,135 | 5,99 | 5,436 | 8,086 | 0,744 | 2,56 | 39,20 |
| | B | 60,32 | 0,223 | 13,45 | 0,853 | 13,45 | 0,998 | 2,59 | 4,340 |
| 70,0 | A | 70,12 | 0,143 | 7,097 | 7,069 | 10,03 | 0,704 | 2,7 | 46,75 |
| | B | 70,09 | 0,241 | 16,88 | 1,030 | 16,93 | 0,998 | 2,62 | 3,46 |
| 80,0 | A | 80,23 | 0,148 | 8,048 | 8,603 | 11,75 | 0,680 | 2,74 | 53,49 |
| | B | 79,82 | 0,258 | 20,60 | 1,202 | 20,77 | 0,998 | 2,53 | 3,370 |
| 90,0 | A | 90,32 | 0,144 | 8,764 | 9,454 | 12,79 | 0,679 | 2,51 | 60,16 |
| | B | 89,80 | 0,275 | 24,67 | 1,374 | 24,65 | 0,998 | 2,5 | 3,17 |
| 100,0 | A | 100,0 | 0,141 | 9,478 | 10,22 | 13,81 | 0,680 | 2,67 | 66,94 |
| | B | 100,1 | 0,291 | 29,21 | 1,540 | 29,14 | 0,999 | 2,33 | 2,92 |

Tabela 2: Tensões True RMS para a fase A (LED) e fase B (Incandescente)

| | V_A (V) | V_B (V) |
|------|-----------|-----------|
| 10V | 10,49 | 10,62 |
| 20V | 20,59 | 20,99 |
| 30V | 31,13 | 30,80 |
| 40V | 40,60 | 40,47 |
| 50V | 49,62 | 51,00 |
| 60V | 60,4 | 61,9 |
| 70V | 69,5 | 71,1 |
| 80V | 80,3 | 81,7 |
| 90V | 90,65 | 90,99 |
| 100V | 100,0 | 101,2 |

4.0.2 Medições em ambiente com $f \neq 60Hz$

Da montagem da Figura 4 pode-se retirar dados com o osciloscópio, tanto de imagem conforme a Figura 5, quanto de CSV, no qual são discretizados os dados de tensão obtidos numa determinada frequência de amostragem F_S . Como o arquivo CSV obtido é demasiadamente extenso não será mostrado aqui.

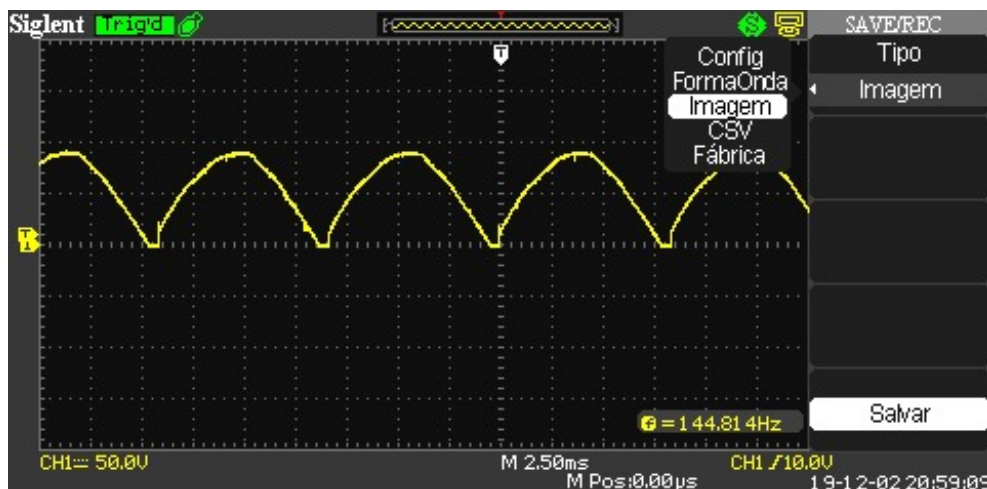


Figura 5: Dado de imagem retirado do osciloscópio.

5 Análise sobre segurança

Os óculos de segurança são Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e são utilizados para a proteção da área ao redor dos olhos contra qualquer tipo de detrito estranho, que possa causar irritação ou ferimentos. Também protegem contra faíscas, respingos de produtos químicos, detritos, poeira, radiação e etc [2]. É importante a utilização desse equipamento durante os experimentos a fim de evitar qualquer dano, além de preparar o profissional para o manejo correto e seguro de qualquer equipamento. Além disso, foi de extrema importância a presença do professor ou técnico na verificação da montagem do circuito antes de energizá-lo. Assim, reduziu-se riscos de curtos-circuitos ou sobrecarga na rede.

6 Análise e discussão

6.0.1 Descrição da corrente sobre as lâmpadas em série Fourier

6.0.2 Comparação do valor RMS obtido com o experimental

6.0.3 Espectro harmônico da corrente

6.0.4 Sobre a Distorção Harmônica Total (DHT)

7 Simulação computacional

8 Conclusões

Equipamentos não lineares são bastante comuns na rede, e interferem por meio do aparecimento de harmônicos na rede.

Referências

- [1] P. H. O. Rezende, "Ondas Não Senoidais", 2018.
- [2] SafetyTrabi, "Óculos de segurança: Saiba quando utilizar este EPI", SafetyTrab, 2019. Disponível em: <https://www.safetytrab.com.br/blog/oculos-de-seguranca/>. Acesso em: ago. 2019.