

Universidade Federal De Santa Maria

Campus Cachoeira do Sul

Engenharia Elétrica

Conversão Eletromecânica de Energia I

Prof. Nelson Knak Neto

Doc. Orient. Émerson Rafael da Silva

**VASCO**

**Material Descritivo**

Arthur Cordeiro Andrade  
Ingridi dos Santos Kremer  
João Gabriel Silva de Avellar

Cachoeira do Sul, 2021

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
2.1	Tipo de Transformadores . . . . .	2
2.1.1	Transformador de corrente . . . . .	2
2.1.2	Transformadores de potência . . . . .	2
2.1.3	Transformador de distribuição . . . . .	3
2.1.4	Transformadores de Força . . . . .	3
2.1.5	Transformador elevador e abaixador de tensão . . . . .	3
2.2	Ensaio a Vazio . . . . .	3
2.3	Ensaio Curto-Circuito . . . . .	4
2.4	Sistema pu . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Software</b>	<b>5</b>
3.1	Interface . . . . .	5
3.1.1	Entradas . . . . .	5
3.1.2	Circuito Equivalente . . . . .	7
3.1.3	Regulação de Tensão e Eficiência . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>8</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>9</b>

# 1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um software capaz de realizar uma rotina de cálculos e apresentar resultados para dados valores do ensaio de um transformador.

## 2 Introdução

Os transformadores são dispositivos que são utilizados para abaixar ou aumentar a tensão e a corrente elétrica consistem em dois enrolamentos de fios, primário e secundário, envolvidos em um núcleo metálico. O princípio de funcionamento de um transformador é baseado nas leis de Faraday e Lenz, as leis do eletromagnetismo e da indução eletromagnética, Um ponto importante é que, segundo as Leis de Faraday e de Lenz, para induzir uma corrente elétrica em um circuito a partir de um campo eletromagnético é necessário que o campo seja variável. Um campo eletromagnético variável é gerado por uma corrente alternada. Portanto, os transformadores só funcionam com corrente alternada. Dessa forma, um transformador não funcionará em corrente contínua, a eletricidade passará por ele como se ele fosse um condutor comum.

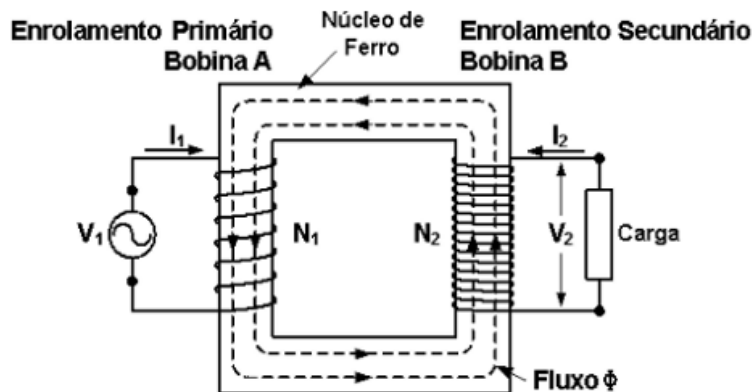


Figura 1: Transformador.

O transformador basicamente consiste em abaixar ou aumentar as tensões e correntes elétricas em circuitos de consumo ou transmissão de energia elétrica, a passagem de uma corrente elétrica alternada no enrolamento primário induz à formação de uma corrente elétrica alternada no enrolamento secundário. A proporção entre as correntes primária e secundária depende da relação entre o número de voltas em cada um dos enrolamentos. Se um

transformador abaixa uma tensão elétrica, ele automaticamente aumenta a intensidade da corrente elétrica de saída e vice-versa, mantendo sempre constante a potência transmitida, dada pelo produto da corrente pela tensão.

Número de bobinas: O transformador mais comum é o de duas bobinas, nesse caso chamamos de bobina primária e secundária; existe também transformador possui apenas uma bobina que é no caso do autotransformador e também o que possui três bobinas que é denominada bobina terciária.

Transformadores monofásicos, trifásicos e polifásicos: O transformador monofásico é próprio para alimentação de circuitos de comando ou de uso industrial. Esse transformador utilizamos algumas vezes em nossas residências ele transforma de 127v para 220v ou vice e versa. O transformador trifásico é o modelo que vimos nas ruas o qual recebe a tensão da subestação de distribuição em tensão de 13800V e transforma para 127 V ou 220V dependendo da tensão de nossa residência. Já o transformador polifásico é o transformador que trabalha em alta ele fornecem a tensão para sistemas que necessitam de mais fases através do sistema trifásico. Esse tipo de transformador varia de 3 a 6 fases. Esses sistemas que necessitam de mais fases são especialmente para retificação de medida de onda completa devido aos seus componentes.

## **2.1 Tipo de Transformadores**

Apesar dos transformadores terem as mesmas funções (funções parecidas), existem diversos tipos de transformadores que atendem a diferentes necessidades, podem ser classificados de acordo com vários parâmetros, tais como finalidade, tipo, material do núcleo, quanto ao número de fases.

### **2.1.1 Transformador de corrente**

Transformador de corrente (TC), tem por finalidade detectar ou medir a corrente elétrica que circula em um cabo ou barra de alimentação, e transforma-la em outra corrente de valor menor, para ser transmitida a um instrumento de medição ou circuito eletrônico. O TC é muito usado para abaixar a corrente elétrica da rede para alimentar dispositivos eletrônicos que não suportam grandes níveis de corrente.

### **2.1.2 Transformadores de potência**

É o tipo mais comum de transformador, o transformador de potência (TP) pode abaixar ou aumentar o potencial elétrico de acordo com a demanda e com o número de enrolamentos na bobina primária e secundária. faz com que a “máquina” muda os valores de potência, mas na real ela não muda

a potência e sim os valores de tensão que entram na bobina primária. A espira primária recebe a tensão primária e conduz uma corrente primária. Por essa corrente ser alternada, ela gera uma variação no fluxo magnético no seu interior. Esse fluxo é canalizado pelo núcleo ferromagnético, e na espira secundária, induzindo uma tensão nesta espira. Se não houver um circuito fechado ligado à espira secundária, uma corrente induzida será estabelecida.

### 2.1.3 Transformador de distribuição

Esse tipo de transformador é empregado principalmente pelas concessionárias distribuidoras de energia e em usinas geradoras de energia. São usados para distribuir a energia gerada até os consumidores, com valores diferentes do que o gerado, adequado a cada tipo de consumidor. Podem ser auto protegidos contra sobrecargas e curto circuitos.

### 2.1.4 Transformadores de Força

Esse tipo de transformador opera com altíssimos níveis de potencial elétrico e corrente elétrica. São usados para geração e distribuição de energia por concessionárias e usinas, e subestações de distribuição de energia elétrica, e subestações de grandes indústrias.

### 2.1.5 Transformador elevador e abaixador de tensão

O valor a qual a tensão será após sair do transformador está diretamente ligado ao número de espiras que cada bobina possui. No caso de um transformador elevador de tensão o número de espiras da segunda bobina é maior do que o número de espiras da primeira bobina. E no transformador abaixador, o número de espiras da segunda bobina é menor do que o número de espiras na primeira bobina.

## 2.2 Ensaio a Vazio

Com o ensaio a vazio é possível obter os valores de resistência e reatância do núcleo de um transformador, referidos ao lado em que foi realizado o ensaio.

Resistência do Núcleo:

$$R_c = \frac{V_{vz}^2}{P_{vz}}$$

Impedância  $\Phi$  do Núcleo:

$$|Z_\Phi| = \frac{V_{vz}}{I_{vz}}$$

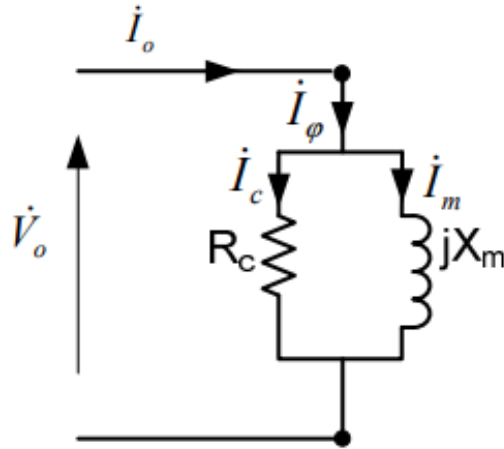


Figura 2: Circuito equivalente ensaio à vazio.

Resistência  $\Phi$  do Núcleo:

$$R_{\Phi} = \frac{P_{vz}}{I_{vz}^2}$$

Reatância  $\Phi$  do Núcleo:

$$X_{\Phi} = \sqrt{|Z_{\Phi}|^2 - R_{\Phi}^2}$$

Reatância do Núcleo:

$$X_m = \frac{R_{\Phi}^2 + X_{\Phi}^2}{X_{\Phi}}$$

### 2.3 Ensaio Curto-Circuito

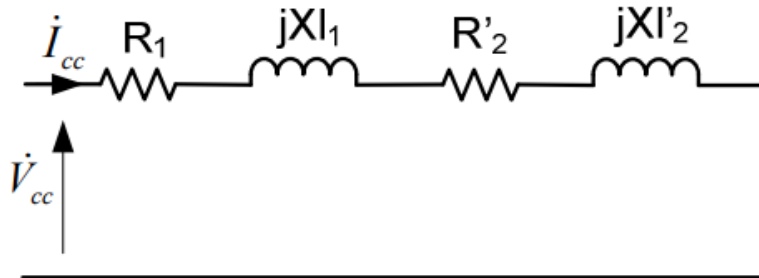


Figura 3: Circuito equivalente curto-circuito.

Com o ensaio de curto-circuito é possível obter os valores de resistência e reatância equivalente de um transformador, referidos ao lado em que foi realizado o ensaio.

Resistência Equivalente:

$$R_{eq} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2}$$

Impedância Equivalente:

$$|Z_{cc}| = \frac{V_{cc}}{I_{cc}}$$

Reatância Equivalente:

$$X_{eq} = \sqrt{|Z_{cc}|^2 - R_{eq}^2}$$

## 2.4 Sistema pu

O sistema pu, também conhecido como valores por unidade e é uma possibilidade de análise que pode ser utilizada também. Uma vantagem dessa representação é que, como os valores são baseados em uma relação percentual, logo, esses valores não se alteram entre lados do transformador, facilitando assim os cálculos envolvidos. Uma grande utilidade disso é em um sistema elétrico de potência, por exemplo, pois possui diversos transformadores nem sempre de características idênticas, com isso o cálculo por valores pu pode facilitar a leitura de grandezas que se aplicam universalmente em todos os transformadores durante o sistema.

## 3 Software

VASCO é um acrônimo de "variable transformer calculator" que em tradução do inglês significa "calculadora de transformadores variáveis". Foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python e a interface gráfica TkInter.

### 3.1 Interface

#### 3.1.1 Entradas

Como demonstrado pela Figura 4, o software possui na coluna da esquerda as opções de entradas, sendo elas:

- Potência Nominal
- Tensão Primário

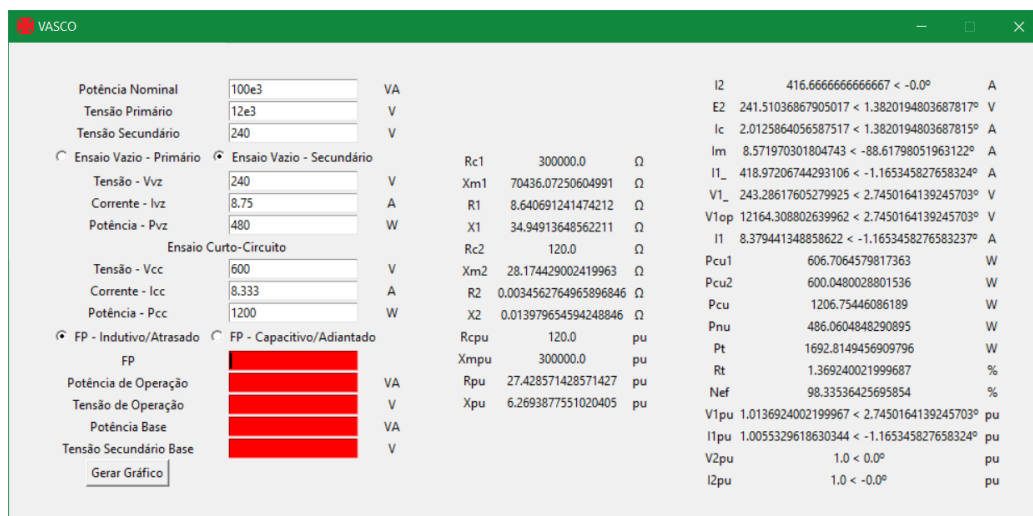


Figura 4: Interface VASCO

- Tensão Secundário
- Tensão - Vz (Tensão do ensaio a vazio)
- Corrente - Ivz (Corrente do ensaio a vazio)
- Potência - Pvz (Potência do ensaio a vazio)
- Tensão - Vcc (Tensão do ensaio de curto-circuito)
- Corrente - Icc (Corrente do ensaio de curto-circuito)
- Potência - Pcc (Potência do ensaio de curto-circuito)
- FP (Fator de Potência)
- Potência de Operação
- Tensão de Operação
- Potência Base
- Tensão Secundário Base

Na mesma coluna à esquerda também possui as opções de seleção, sendo elas:

- Ensaio Vazio - Primário



- Ensaio Vazio - Secundário
- FP - Indutivo/Atrasado
- FP - Capacitivo/Adiantado
- Gerar Gráfico

As opções de seleção "Ensaio Vazio" ao selecionar determina em qual dos lados do transformador os valores fornecidos são de ensaio a vazio, subsequentemente o outro lado será o de ensaio de curto-circuito. Já vem configurado por padrão o ensaio a vazio para o lado secundário por ser mais usual.

As opções de seleção "FP" determinam o tipo de carga que é utilizado para os cálculos de regulação de tensão e eficiência.

A opção de entrada "FP" caso não seja fornecido nenhum valor, utilizará 1 por padrão, já as entradas "Potência de Operação" e "Potência Base" utilizarão da potência nominal caso nenhum valor seja fornecido e as entradas "Tensão de Operação" e "Tensão Secundário Base" utilizarão da tensão secundário por padrão caso nenhum valor seja fornecido.

O botão "Gerar Gráfico" gera os gráficos de regulação de tensão e eficiência em função da carga de saída utilizando como referência os valores de "FP", "Potência de Operação" e "Tensão de Operação".

### 3.1.2 Circuito Equivalente

Na coluna do meio da interface, como demonstrado na Figura 4, temos os resultados do circuito equivalente do transformador.

Os valores "Rc", "Xm", "R" e "X" representam a resistência do núcleo, a reatância do núcleo, a resistência e a reatância referida ao lado primário quando terminados por "1" e secundário quando terminador em "2". Vale ressaltar que pelo ensaio de curto-circuito temos a resistência e a reatância equivalente, portanto  $R1 = R2'$  e  $R2 = R1'$ .

Outros valores são os mesmos "Rc", "Xm", "R" e "X" só que em pu, com valores base das entradas "Potência Base" e "Tensão Secundária Base". Os valores se referem tanto ao lado primário quanto ao lado secundário.

### 3.1.3 Regulação de Tensão e Eficiência

Na coluna da direita, temos os resultados de valores utilizados para calcular a regulação de tensão ( $R_t$ ) e a eficiência ( $\eta$ ), tanto em valores reais, com valores de operação da carga referente os valores de "FP", "Potência de Operação" e "Tensão de Operação", quanto em valores pu, com valores base das entradas "Potência Base" e "Tensão Secundária Base".

## 4 Conclusões

Transformadores são essenciais para o mundo moderno, pois são uma das máquinas que permitem a melhor distribuição da energia elétrica, quando estudamos esse assunto, principalmente a parte de circuitos equivalentes de um transformador através do ensaio de curto-circuito e ensaio à vazio, podemos utilizar o software desenvolvido, VASCO, que foi concebido visando a fácil utilização, tanto para demonstrar o funcionamento de um transformador quanto para verificar exercícios sobre o assunto. O software está disponível sobe licença Beerware no link: <https://github.com/ArthurCoAnd/VASCO>.

## Bibliografia

FITZGERALD, A. E., KINGSLEY JR, C., UMANS, S. D. Máquinas Elétricas. Porto alegre. BOOKMAN, 2006.

LANGSDORF, A. S., Theory of Alternating-Current Machinery, 2a. Edição, McGraw-Hill Book Company. New York, 1955.

SIMONE, G. A. Transformadores. Érica, São Paulo, 1998.