

Conversão eletromecânica de energia A - Lab

R. S. Salgado

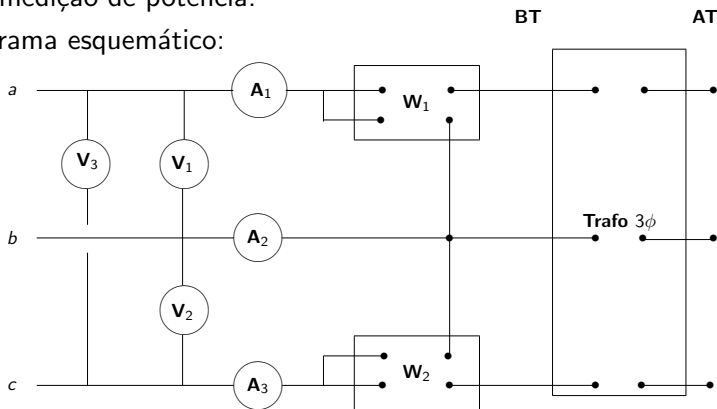
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Elétrica
Florianópolis, SC, Brasil

16 de abril de 2021

Ensaio de Circuito Aberto - Transformador Trifásico

- ▶ Ensaio de Ca e CC dos trafos 3ϕ 's são realizados sob condições análogas as dos trafos 1ϕ 's.
- ▶ o método dos dois wattímetros é geralmente utilizado para a medição de potência.

Diagrama esquemático:



Ensaio de Circuito Aberto

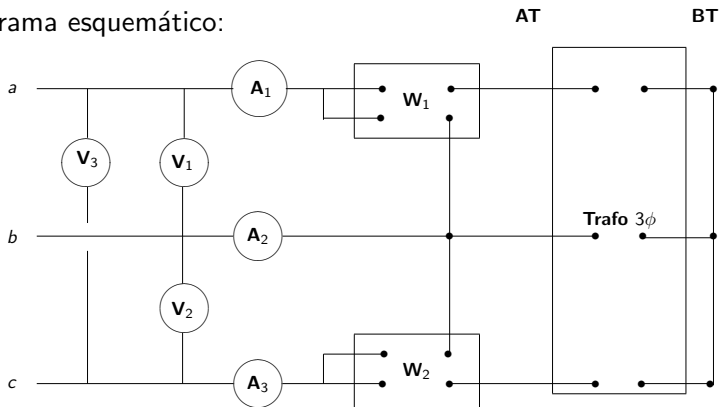
► Observações:

- Soma da potência medida pelos dois wattímetros: corresponde a potência total P_0 consumida pelo transformador a vazio;
- Amperímetros e voltímetros: correntes e tensões de linha.
- Cálculo dos parâmetros por fase:
 - requer o conhecimento do tipo de conexão Δ ou Y do lado de BT.
 - usa-se os valores da tabela mostrada a seguir.

BT em Δ	BT em Y
$P_0/3$	$P_0/3$
V_n	$V_n/\sqrt{3}$
$I_0/\sqrt{3}$	I_0

Ensaio de Curto Circuito - Transformador Trifásico

Diagrama esquemático:



Ensaio de Curto Circuito

► Observações:

- Os wattímetros lêem a potência total do curto-circuito P_{cc} ;
- os amperímetros lêem as correntes de linha nominais, e os voltímetros indicam as tensões de linha do curto-circuito.
- Cálculo dos parâmetros por fase:
 - requer o conhecimento do tipo de conexão Δ ou Y do lado de BT.
 - usa-se os valores da tabela mostrada a seguir.

AT em Δ	AT em Y
$P_{cc}/3$	$P_{cc}/3$
V_{cc}	$V_{cc}/\sqrt{3}$
$I_n/\sqrt{3}$	I_n

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

- ▶ $\mathbf{W}_1 = V_{ab} I_a \cos \alpha_1;$

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

- ▶ $\mathbf{W}_1 = V_{ab} I_a \cos \alpha_1;$

- ▶ $\mathbf{W}_2 = V_{cb} I_c \cos \alpha_2;$

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

- ▶ $\mathbf{W}_1 = V_{ab} I_a \cos \alpha_1;$

- ▶ $\mathbf{W}_2 = V_{cb} I_c \cos \alpha_2;$

- ▶ V_{ab} e V_{cb} : magnitude das tensões de linha \mathbf{V}_{ab} e \mathbf{V}_{cb} ;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

- ▶ $W_1 = V_{ab} I_a \cos \alpha_1;$

- ▶ $W_2 = V_{cb} I_c \cos \alpha_2;$

- ▶ V_{ab} e V_{cb} : magnitude das tensões de linha V_{ab} e V_{cb} ;

- ▶ I_a e I_c : magnitude das correntes de linha I_a e I_c ;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

- ▶ $W_1 = V_{ab} I_a \cos \alpha_1;$

- ▶ $W_2 = V_{cb} I_c \cos \alpha_2;$

- ▶ V_{ab} e V_{cb} : magnitude das tensões de linha V_{ab} e V_{cb} ;

- ▶ I_a e I_c : magnitude das correntes de linha I_a e I_c ;

- ▶ α_1 é o ângulo entre V_{ab} e I_a ;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

- ▶ $W_1 = V_{ab} I_a \cos \alpha_1$;

- ▶ $W_2 = V_{cb} I_c \cos \alpha_2$;

- ▶ V_{ab} e V_{cb} : magnitude das tensões de linha V_{ab} e V_{cb} ;

- ▶ I_a e I_c : magnitude das correntes de linha I_a e I_c ;

- ▶ α_1 é o ângulo entre V_{ab} e I_a ;

- ▶ α_2 é o ângulo entre V_{cb} e I_c ;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

- ▶ $W_1 = V_{ab} I_a \cos \alpha_1;$

- ▶ $W_2 = V_{cb} I_c \cos \alpha_2;$

- ▶ V_{ab} e V_{cb} : magnitude das tensões de linha V_{ab} e V_{cb} ;

- ▶ I_a e I_c : magnitude das correntes de linha I_a e I_c ;

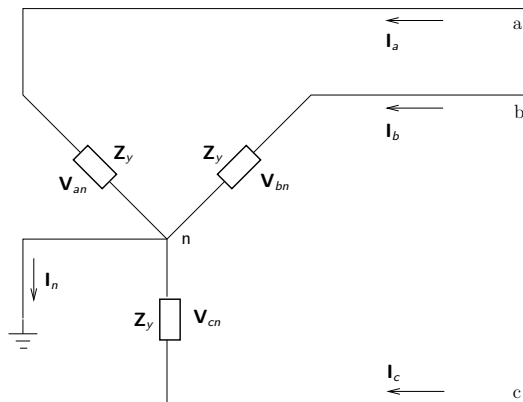
- ▶ α_1 é o ângulo entre V_{ab} e I_a ;

- ▶ α_2 é o ângulo entre V_{cb} e I_c ;

- ▶ Os ângulos α_1 e α_2 podem ser identificados com o auxílio do diagrama fasorial;

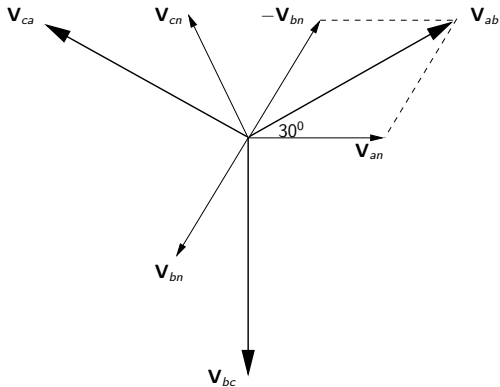
Sistemas trifásicos balanceados

► Conexão Y:



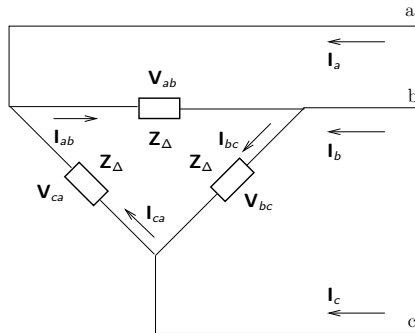
Sistemas trifásicos balanceados

- Diagramas fasoriais das tensões:



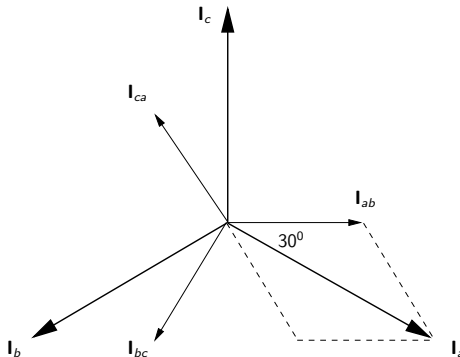
Sistemas trifásicos balanceados

► Conexão Δ :



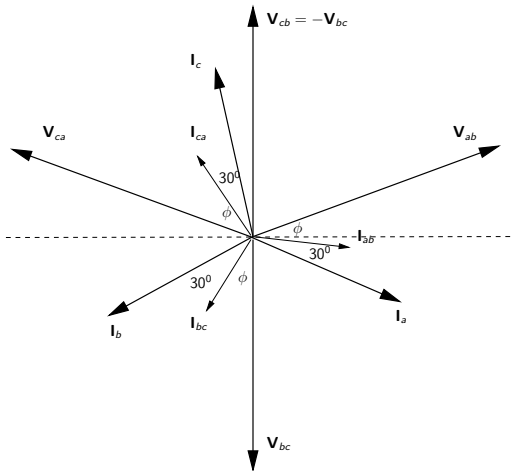
Sistemas trifásicos balanceados

- ▶ Diagramas fasoriais das correntes:



Método dos dois wattímetros

- Diagrama fasorial das tensões e correntes:



Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi;$

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi$;
 - ▶ e $\alpha_2 = 30^\circ - \phi$;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi$;
 - ▶ e $\alpha_2 = 30^\circ - \phi$;
 - ▶ ϕ é o ângulo do fator de potência do transformador;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi$;
 - ▶ e $\alpha_2 = 30^\circ - \phi$;
 - ▶ ϕ é o ângulo do fator de potência do transformador;
 - ▶ tal que; $\cos \alpha_1 = \cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi$;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi$;
 - ▶ e $\alpha_2 = 30^\circ - \phi$;
 - ▶ ϕ é o ângulo do fator de potência do transformador;
 - ▶ tal que; $\cos \alpha_1 = \cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi$;
 - ▶ e $\cos \alpha_2 = \cos 30^\circ \cos \phi + \sin 30^\circ \sin \phi$;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi$;
 - ▶ e $\alpha_2 = 30^\circ - \phi$;
 - ▶ ϕ é o ângulo do fator de potência do transformador;
 - ▶ tal que; $\cos \alpha_1 = \cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi$;
 - ▶ e $\cos \alpha_2 = \cos 30^\circ \cos \phi + \sin 30^\circ \sin \phi$;
 - ▶ então, $\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2 = V_L I_L (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi$;
 - ▶ e $\alpha_2 = 30^\circ - \phi$;
 - ▶ ϕ é o ângulo do fator de potência do transformador;
 - ▶ tal que; $\cos \alpha_1 = \cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi$;
 - ▶ e $\cos \alpha_2 = \cos 30^\circ \cos \phi + \sin 30^\circ \sin \phi$;
 - ▶ então, $\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2 = V_L I_L (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$;
 - ▶ e portanto $\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2 = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$;

Método dos dois wattímetros

- ▶ Observações:
 - ▶ Do diagrama fasorial:
 - ▶ $\alpha_1 = 30^\circ + \phi$;
 - ▶ e $\alpha_2 = 30^\circ - \phi$;
 - ▶ ϕ é o ângulo do fator de potência do transformador;
 - ▶ tal que; $\cos \alpha_1 = \cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi$;
 - ▶ e $\cos \alpha_2 = \cos 30^\circ \cos \phi + \sin 30^\circ \sin \phi$;
 - ▶ então, $\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2 = V_L I_L (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$;
 - ▶ e portanto $\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2 = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$;
 - ▶ Adicionalmente, $\mathbf{W}_2 - \mathbf{W}_1 = V_L I_L \sin \phi$;

Ensaaios de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:

Ensaaios de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:

Ensaio de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA

Ensaio de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ

Ensaio de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A

Ensaio de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CA - medidas realizadas:

Ensaio de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CA - medidas realizadas:
 - ▶ 415,69 V; $W_1 = -474,72$ W e $W_2 = 1503,70$ W; 4,97 A;

Ensaio de Circuito Aberto e Curto Circuito - Exemplo

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CA - medidas realizadas:
 - ▶ 415,69 V; $W_1 = -474,72$ W e $W_2 = 1503,70$ W; 4,97 A;
 - ▶ $W_1 + W_2 = 1029,30$ W $W_{3\phi}$;
 - ▶ $\sqrt{3}(W_2 - W_1) = 3426,20$ VA $r_{3\phi}$;
 - ▶ $Y_m = 0,0060 - j0,0198$ S (BT).

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CC - medidas realizadas:

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CC - medidas realizadas:
 - ▶ 60 V; $W_1 = 721,43$ W e $W_2 = 2128,60$ W; 36,08 A;

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CC - medidas realizadas:
 - ▶ 60 V; $W_1 = 721,43$ W e $W_2 = 2128,60$ W; 36,08 A;
 - ▶ $W_1 + W_2 = 2850$ $W_{3\phi}$;
 - ▶ $\sqrt{3}(W_2 - W_1) = 2437,28$ $VA_{r_{3\phi}}$;

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CC - medidas realizadas:
 - ▶ 60 V; $W_1 = 721,43$ W e $W_2 = 2128,60$ W; 36,08 A;
 - ▶ $W_1 + W_2 = 2850$ $W_{3\phi}$;
 - ▶ $\sqrt{3}(W_2 - W_1) = 2437,28$ $VA_{r_{3\phi}}$;
 - ▶ $Z_{eq} = 0,7328 + j0,6268 \Omega$ (AT, em Y);

Ensaio de Curto Circuito

- ▶ Transformador trifásico convencional:
- ▶ Placa:
 - ▶ 150 kVA
 - ▶ 415,69 V (Y) : 2400 V Δ
 - ▶ 208,33: 36,08 A
- ▶ Ensaio de CC - medidas realizadas:
 - ▶ 60 V; $W_1 = 721,43$ W e $W_2 = 2128,60$ W; 36,08 A;
 - ▶ $W_1 + W_2 = 2850$ $W_{3\phi}$;
 - ▶ $\sqrt{3}(W_2 - W_1) = 2437,28$ $VA_{r_{3\phi}}$;
 - ▶ $Z_{eq} = 0,7328 + j0,6268 \Omega$ (AT, em Y);
 - ▶ $Z_{eq} = 2,188 + j1,871 \Omega$ (AT, em Δ).

- ▶ Autotransformador trifásico:

- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:

- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:
 - ▶ 54,62 kVA

- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:
 - ▶ 54,62 kVA
 - ▶ 220 V(Y):380 V(Y)

- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:
 - ▶ 54,62 kVA
 - ▶ 220 V(Y):380 V(Y)
 - ▶ 143,76: 83 A

- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:
 - ▶ 54,62 kVA
 - ▶ 220 V(Y):380 V(Y)
 - ▶ 143,76: 83 A
 - ▶ Medidas feitas nos ensaios de CA e CC:

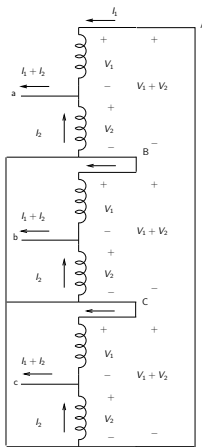
- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:
 - ▶ 54,62 kVA
 - ▶ 220 V(Y):380 V(Y)
 - ▶ 143,76: 83 A
- ▶ Medidas feitas nos ensaios de CA e CC:
 - ▶ CA: 220 V; 0,90 A; 30 W e 190 W;

- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:
 - ▶ 54,62 kVA
 - ▶ 220 V(Y):380 V(Y)
 - ▶ 143,76: 83 A
- ▶ Medidas feitas nos ensaios de CA e CC:
 - ▶ CA: 220 V; 0,90 A; 30 W e 190 W;
 - ▶ CA: 5,70 V; 83 A; -170 W e 100 W;

- ▶ Autotransformador trifásico:
- ▶ Placa:
 - ▶ 54,62 kVA
 - ▶ 220 V(Y):380 V(Y)
 - ▶ 143,76: 83 A
- ▶ Medidas feitas nos ensaios de CA e CC:
 - ▶ CA: 220 V; 0,90 A; 30 W e 190 W;
 - ▶ CA: 5,70 V; 83 A; -170 W e 100 W;
- ▶ Diagrama esquemático: ver figura mostrada a seguir.

Autotransformador trifásico

- Diagrama esquemático - conexão $Y - \Delta$ (exemplo):



Autotransformador trifásico

- Diagrama esquemático - conexão $Y - Y$:

