

SEL 329 – CONVERSÃO ELETROME CÂNICA DE ENERGIA

Aula 11: Considerações Finais em Transformadores

Conteúdo:

Defasagem em transformadores trifásicos

É possível ter transformadores trifásicos usando dois transformadores monofásicos?

Pode-se operar o transformador a condições diferentes da nominal?

Transformadores de medida

Dados de placa

Resumo da aula

**Relembrando a aula
passada**

Defasagem em transformadores trifásicos

Defasagem em transformadores trifásicos

Ligação Y Y

Ligação $\Delta\Delta$

Ligação ΔY

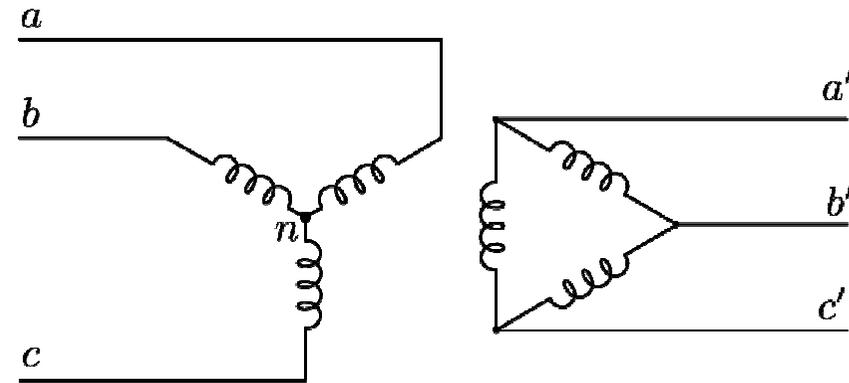
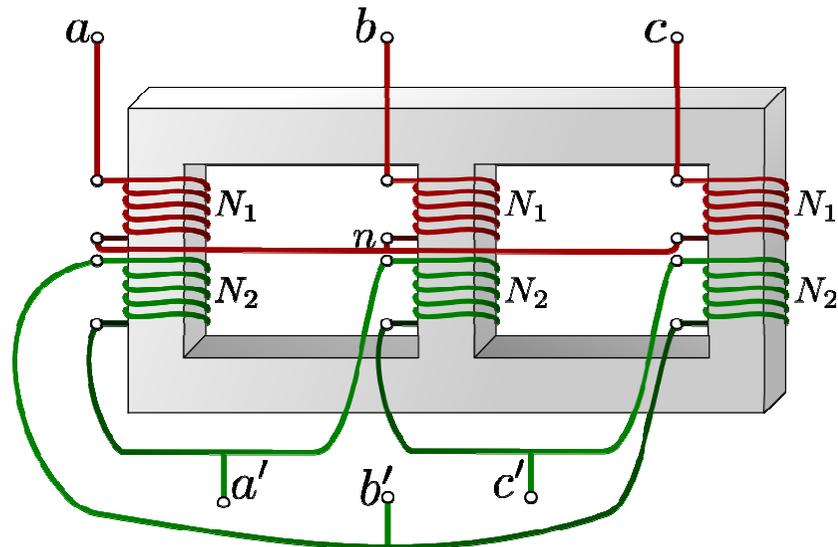
Ligação ΔY

Não há defasagem entre a tensão de linha do primário e secundário

Há defasagem

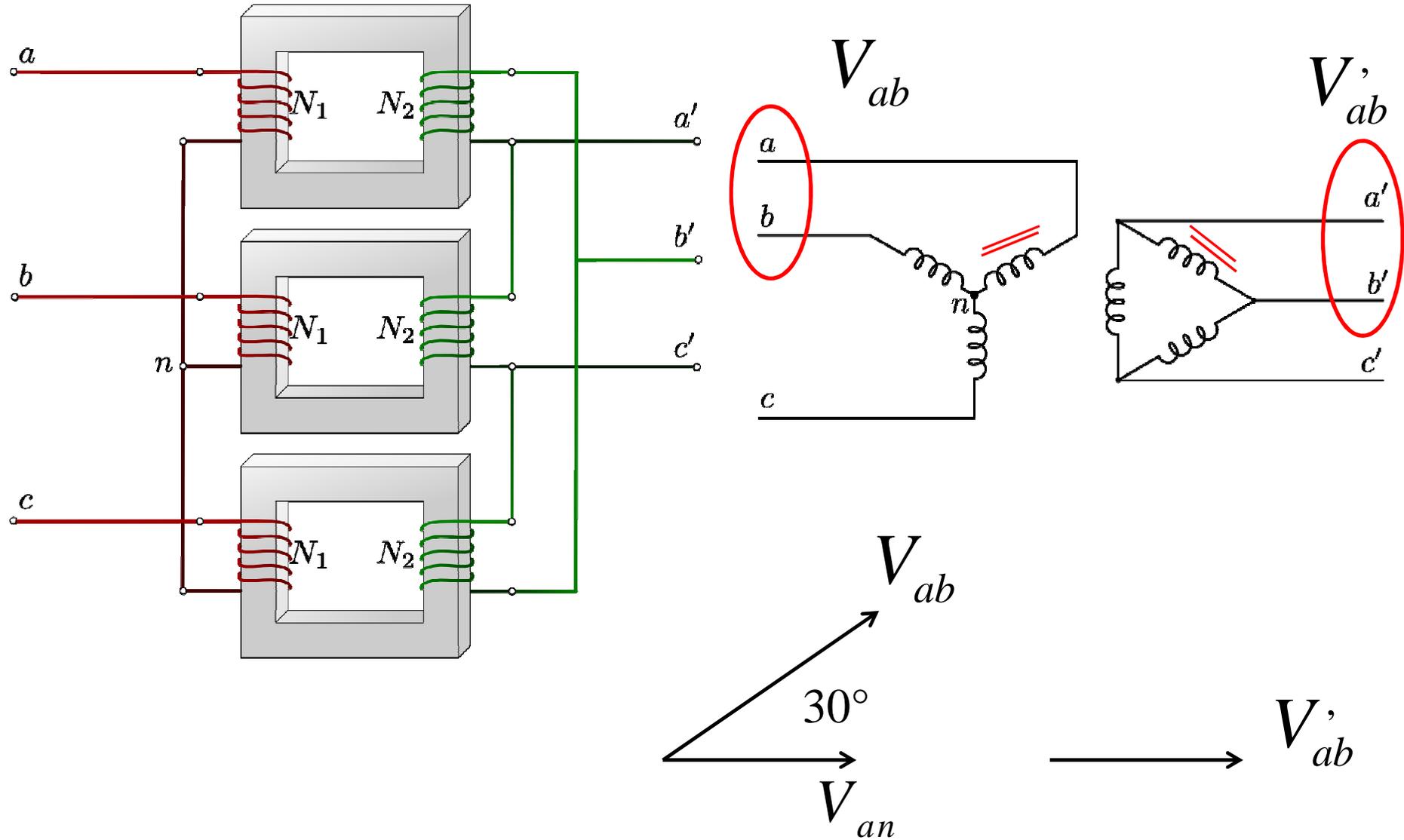
Transformadores trifásicos

Exemplo de conexão Y- Δ em um único núcleo com três pernas



Transformadores trifásicos

Exemplo de conexão Y- Δ com três transformadores monofásicos



Conclusão

Na ligação Y - Δ ou Δ - Y

O tensão de linha do lado em estrela adianta à tensão de linha da tensão em delta.

**Problemas nas ligações
Y-Y
dos transformadores
trifásicos**

Problemas nas ligações Y-Y

- 1) Se as cargas forem desequilibradas, as tensões de fase sofrerão grande desequilíbrio
- 2) Tensões de terceira harmônica podem ser elevadas
 - As componentes de terceira harmônica estão em fase
 - Há três componentes de terceira harmônica para cada frequência fundamental
 - As terceiras harmônicas estão sempre presente no transformador devido à não linearidade do núcleo.

Solução

1) Aterrar **solidamente** os neutros dos transformadores (em especial primário)

- As correntes aditivas de terceira harmônica causam uma corrente circulante que escoia pelo neutro ao invés de somar.

- Resolve o problema de desequilíbrio

2) Acrescentar um terceiro enrolamento (terciário em Delta).

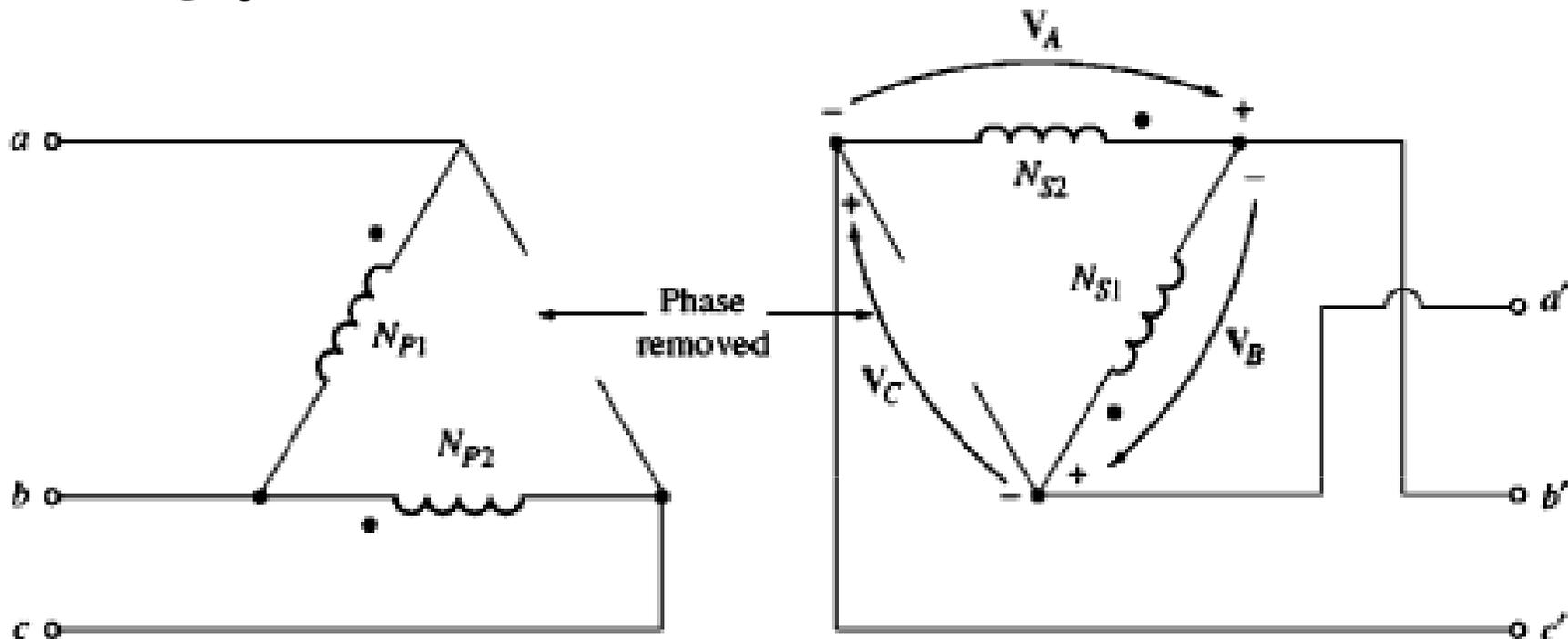
- As terceiras harmônicas de tensão da ligação delta vão se somar causando um fluxo de corrente que circula dentro do enrolamento.

- Isso suprime as terceiras harmônicas ao igual que o aterramento do neutro.

**É possível ter transformadores trifásicos
usando dois transformadores
monofásicos?**

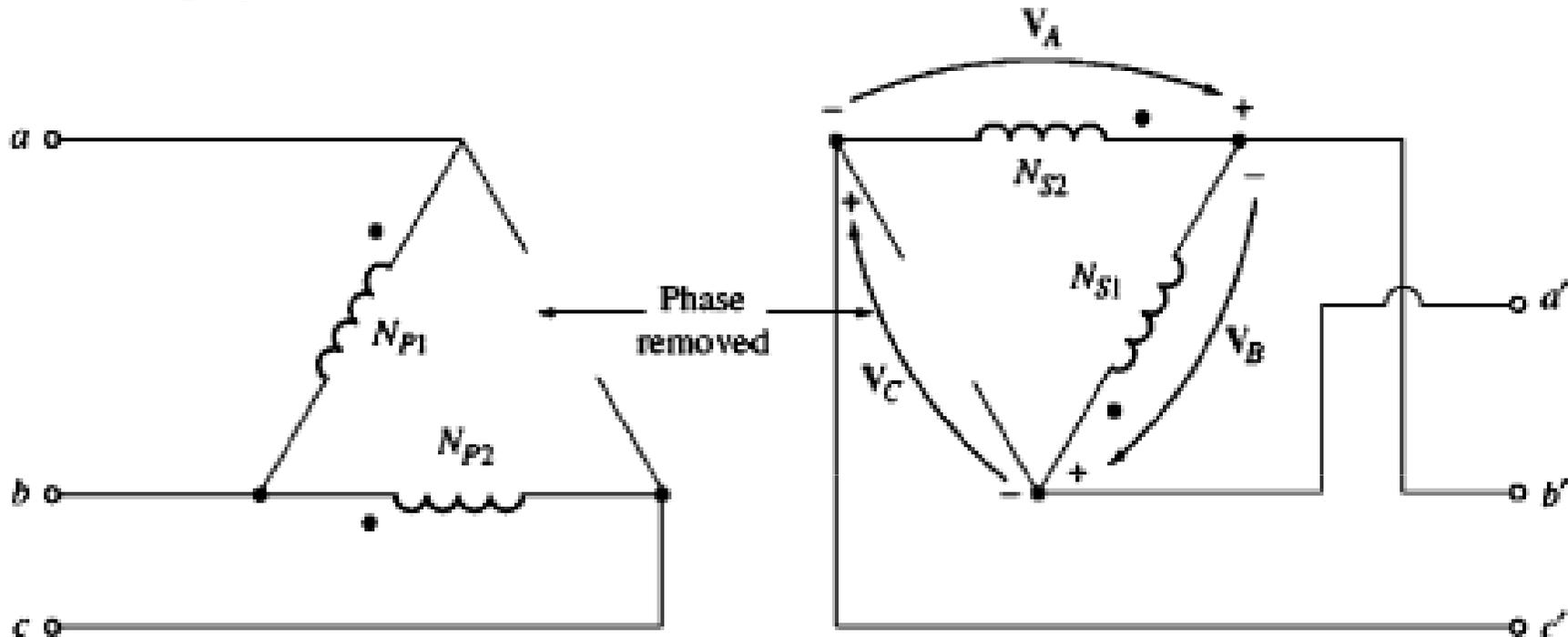
Transformação trifásica usando dois transformadores monofásicos

Ligação Delta Aberta ou V-V



Transformação trifásica usando dois transformadores monofásicos

Ligação Delta aberta ou V-V



$$V_A = V \angle 0^\circ \text{ V}$$

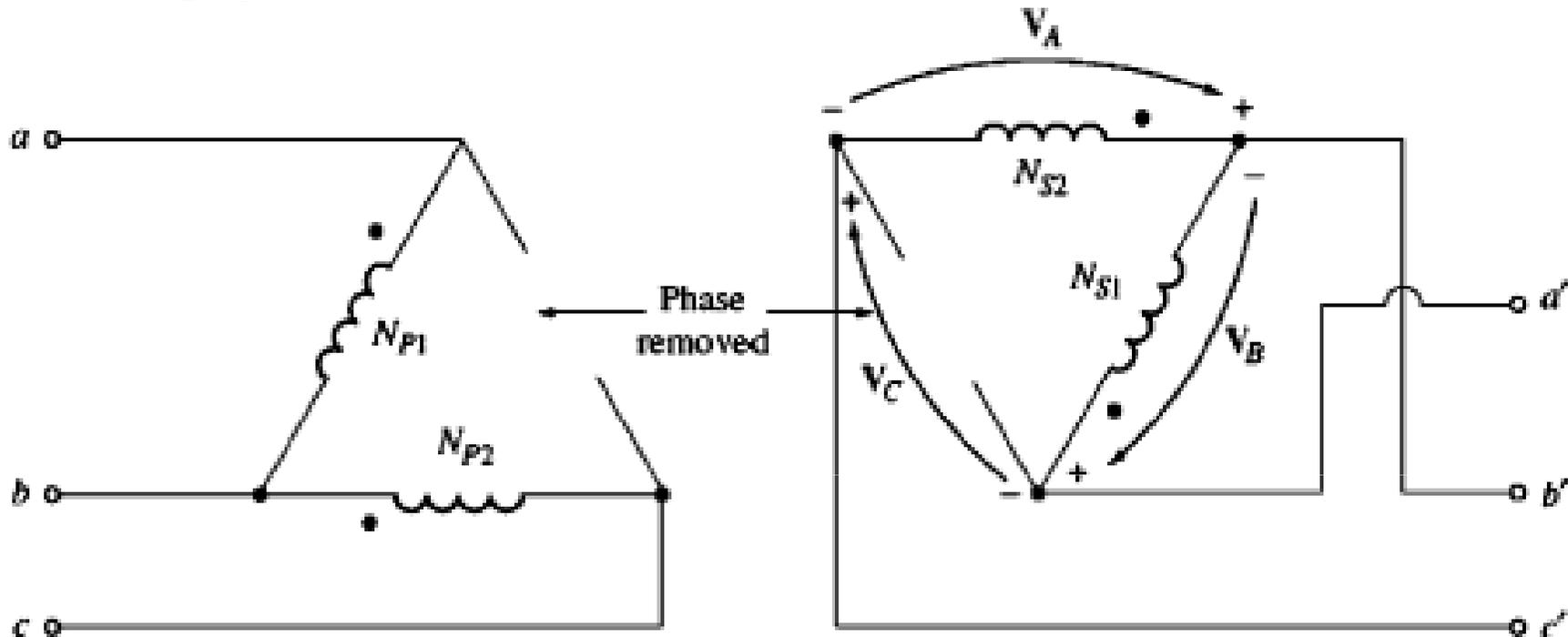
$$V_B = V \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$V_C = -V_A - V_B$$

$$V_C = V \angle 120^\circ$$

Transformação trifásica usando dois transformadores monofásicos

Ligação Delta aberto ou V-V



Entrada trifásica



$$V_A = V \angle 0^\circ \text{ V}$$

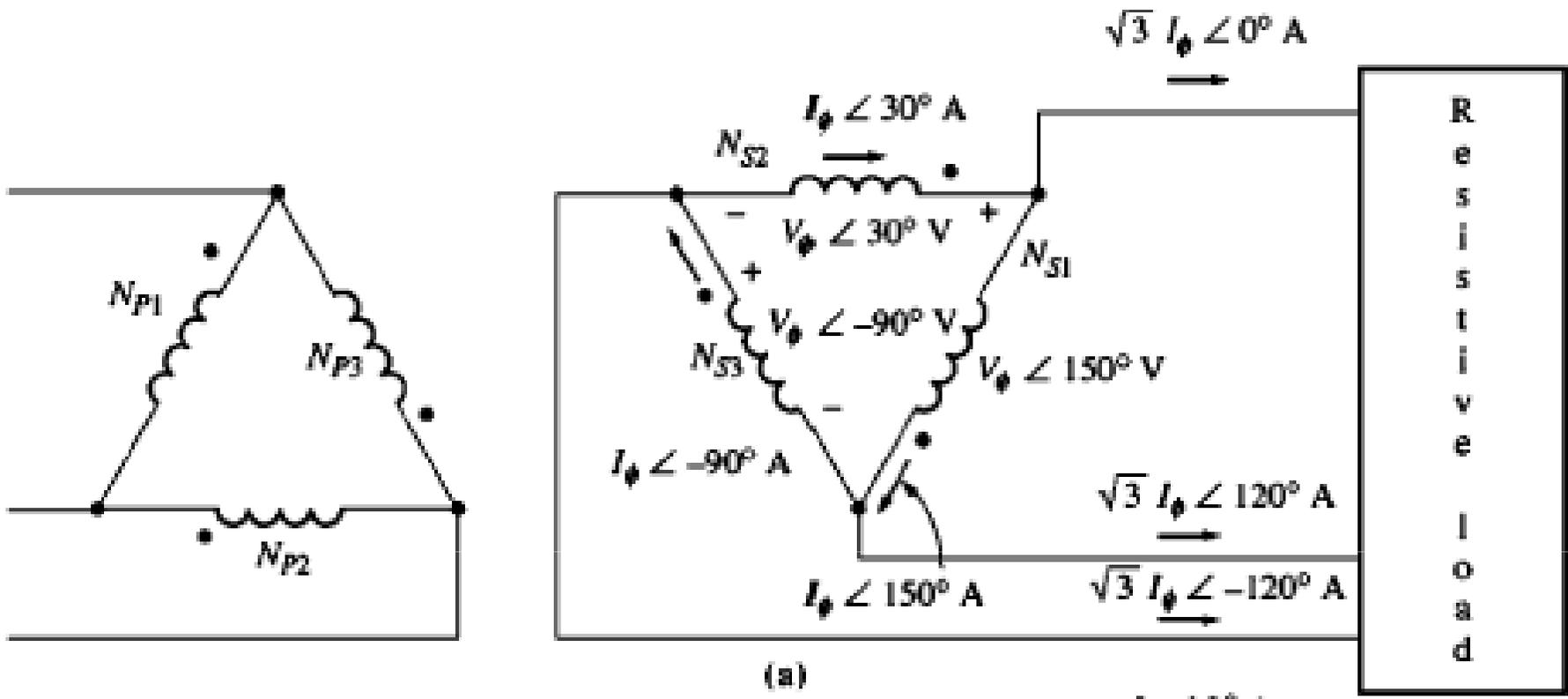
$$V_B = V \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$V_C = -V_A - V_B$$

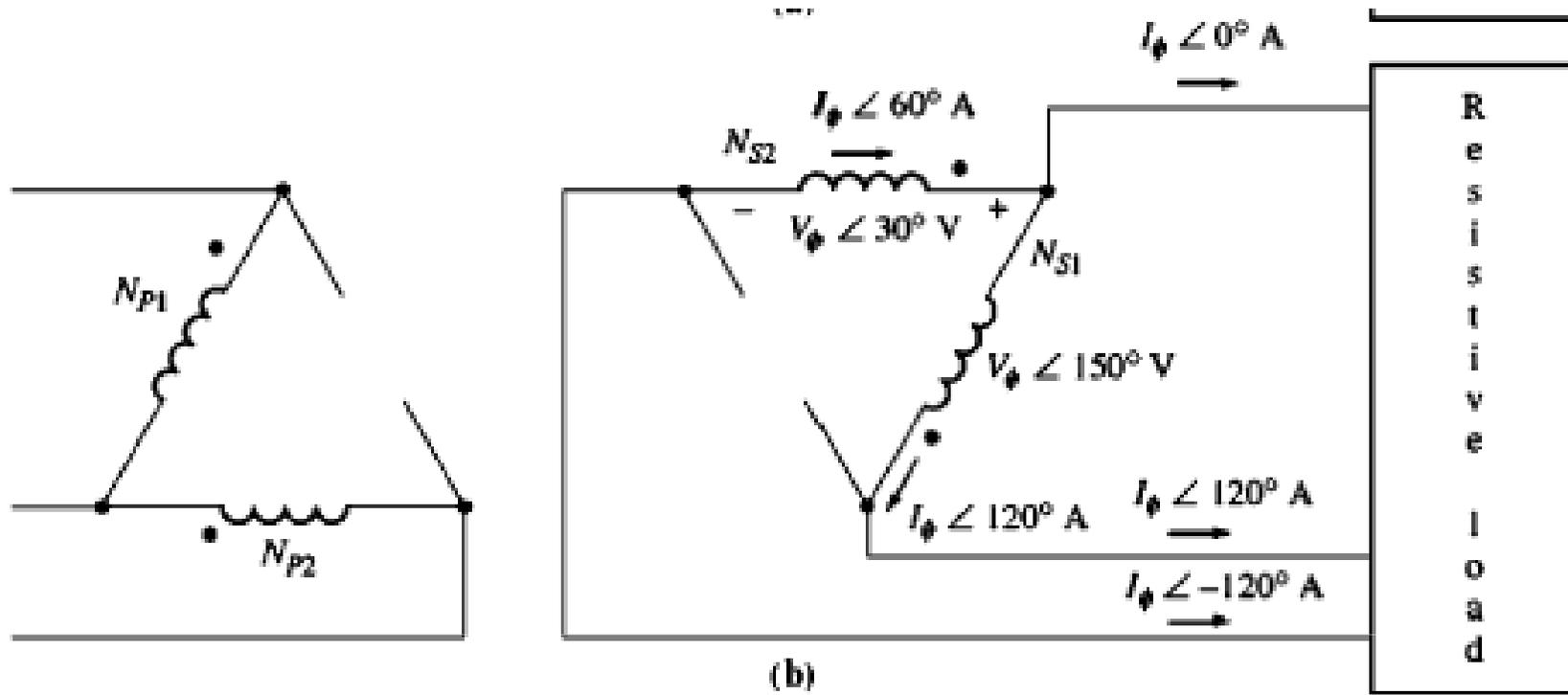
$$V_C = V \angle 120^\circ$$

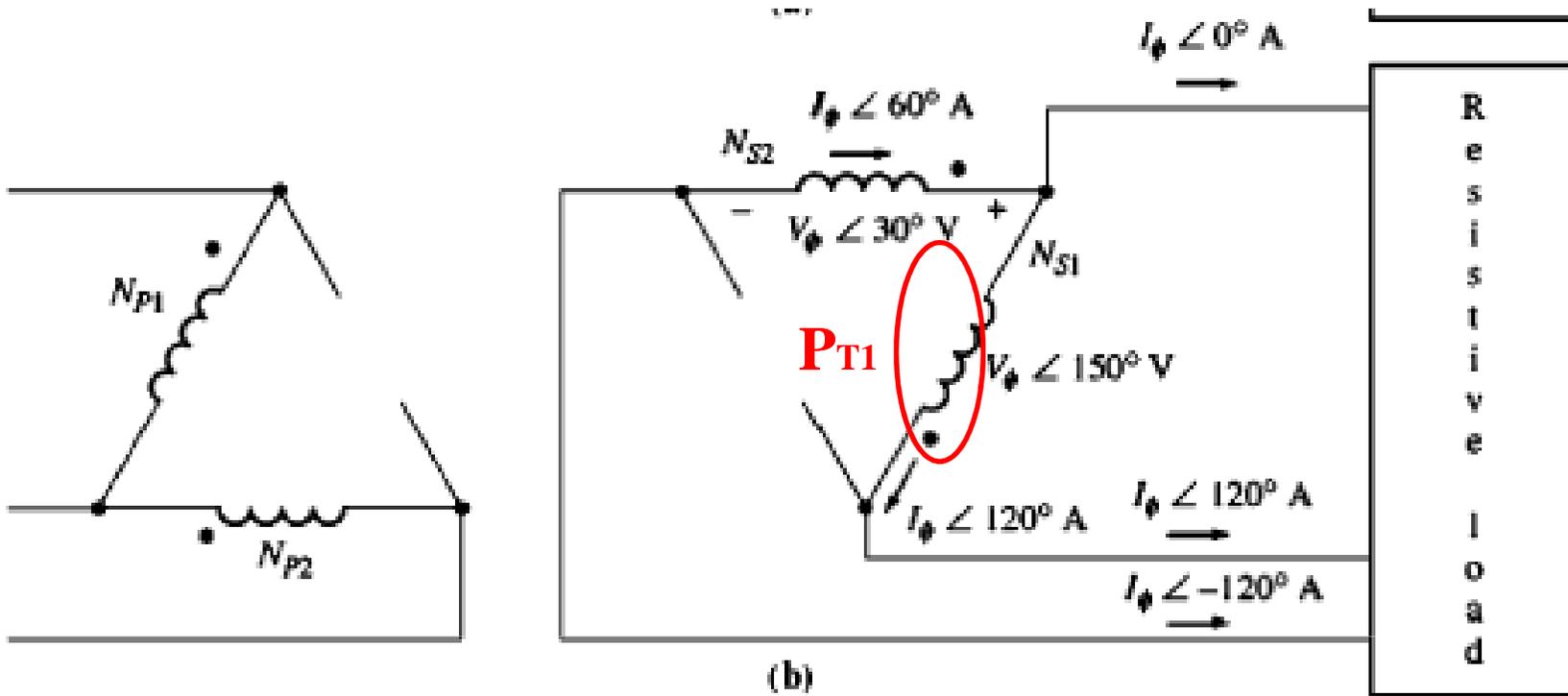
Saída trifásica





$$P_{trifasico} = 3V_\phi I_\phi$$





$$P_{T1} = V_{\phi} I_{\phi} \cos(150^{\circ} - 120^{\circ})$$

$$P_{T1} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{\phi} I_{\phi}$$

$$P_{T2} = V_{\phi} I_{\phi} \cos(30^{\circ} - 60^{\circ})$$

$$P_{T2} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{\phi} I_{\phi}$$

Delta aberto ou Ligação V-V

$$P_{\Delta aberto} = P_{T1} + P_{T2}$$

$$P_{\Delta aberto} = \sqrt{3}V_{\phi}I_{\phi}$$

Comparando o trifásico com a ligação delta aberto

$$\frac{P_{\Delta aberto}}{P_{trifásico}} = \frac{\sqrt{3}V_{\phi}I_{\phi}}{3V_{\phi}I_{\phi}} = 0,577 \quad (\text{ou } 57,7\% \text{ do original trifásico})$$

Pergunta:

Não deveria ser 2/3 ou 0,667 (ou 66,7%) do original trifásico?

$$\frac{0,57}{0,66} = 0,867 \quad (\text{ou } 86,7\% \text{ de dois transformadores monofásicos})$$

A potência reativa na configuração Delta aberto:

$$Q_{T1} = V_{\phi} I_{\phi} \text{sen}(150^{\circ} - 120^{\circ})$$

$$Q_{T2} = V_{\phi} I_{\phi} \text{sen}(30^{\circ} - 60^{\circ})$$

$$Q_{T1} = \frac{1}{2} V_{\phi} I_{\phi}$$

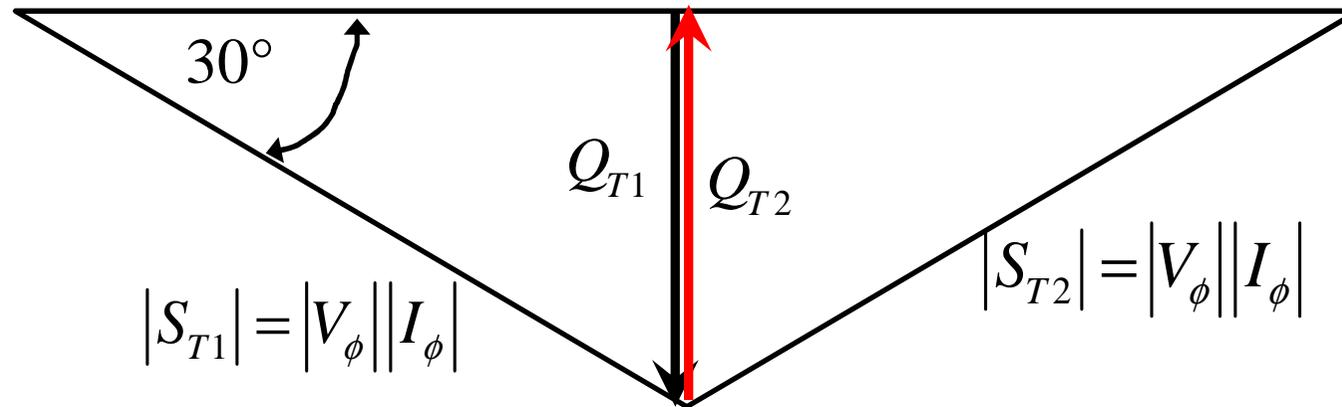
$$Q_{T2} = -\frac{1}{2} V_{\phi} I_{\phi}$$

$$P_{\Delta\text{aberto}} = \sqrt{3} V_{\phi} I_{\phi}$$



$$P_{T1} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{\phi} I_{\phi}$$

$$P_{T2} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{\phi} I_{\phi}$$



Ligação Delta abeto ou V-V

Aplicações?

Operar uma carga trifásica com apenas dois transformadores monofásicos

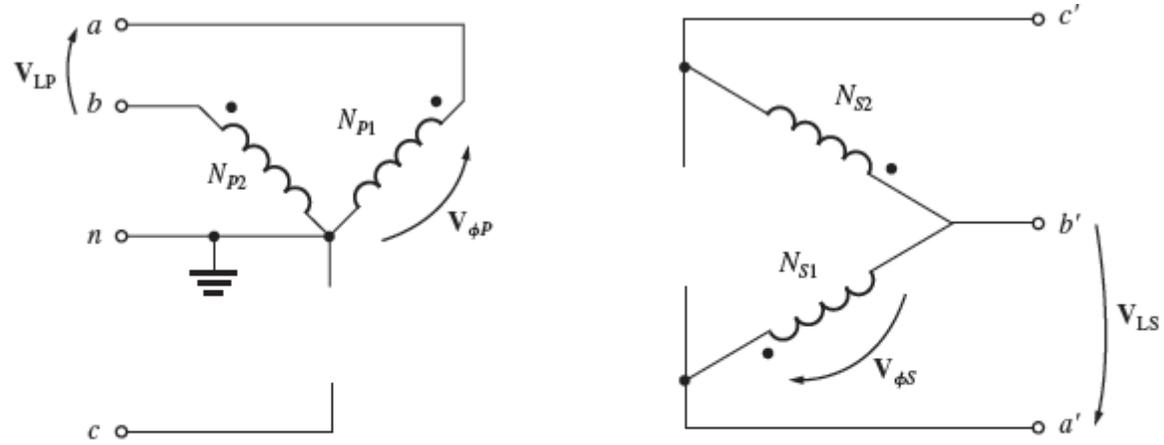
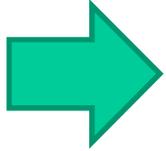
Observações?

A potência ativa fornecida pelos transformadores é limitado em 57,7% do original trifásico ou 86,6% considerando apenas dois transformadores

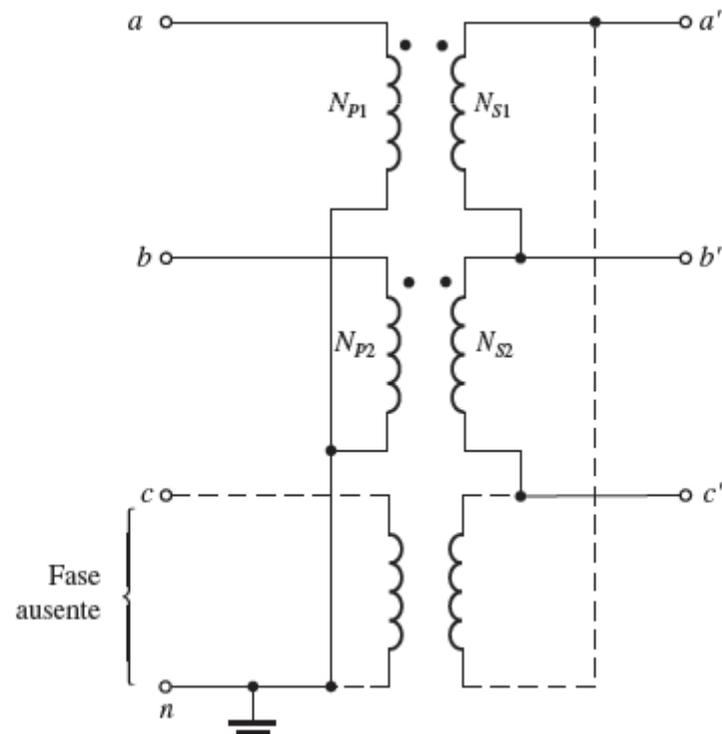
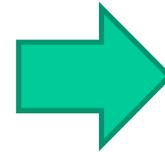
Precisa entrada trifásica

Ligação estrela aberta- triângulo aberto

Entrada
bifásica



Saída
Trifásica



Ligação estrela aberta- triângulo aberto

As tensões primárias são derivados de duas fases e do neutro.

Aplicações:

Alimentar cargas trifásica com apenas duas fases e neutro.

Observações:

A corrente de retorno que flui no neutro é grande

O que ocorre se operar um transformador a tensão, frequência e potência diferente da nominal?

Especificações nominais do transformador

Tensão e frequência nominal

A tensão nominal

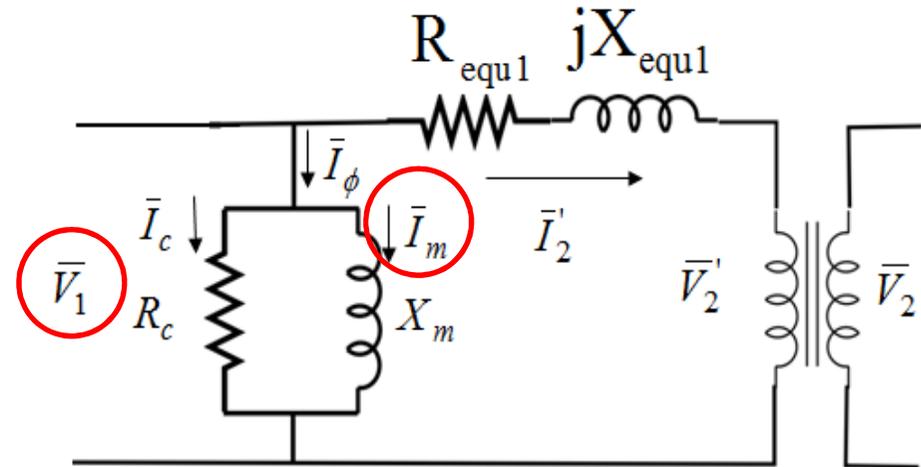
Isolamento ✓

Limitar a corrente de magnetização ✓ ✓

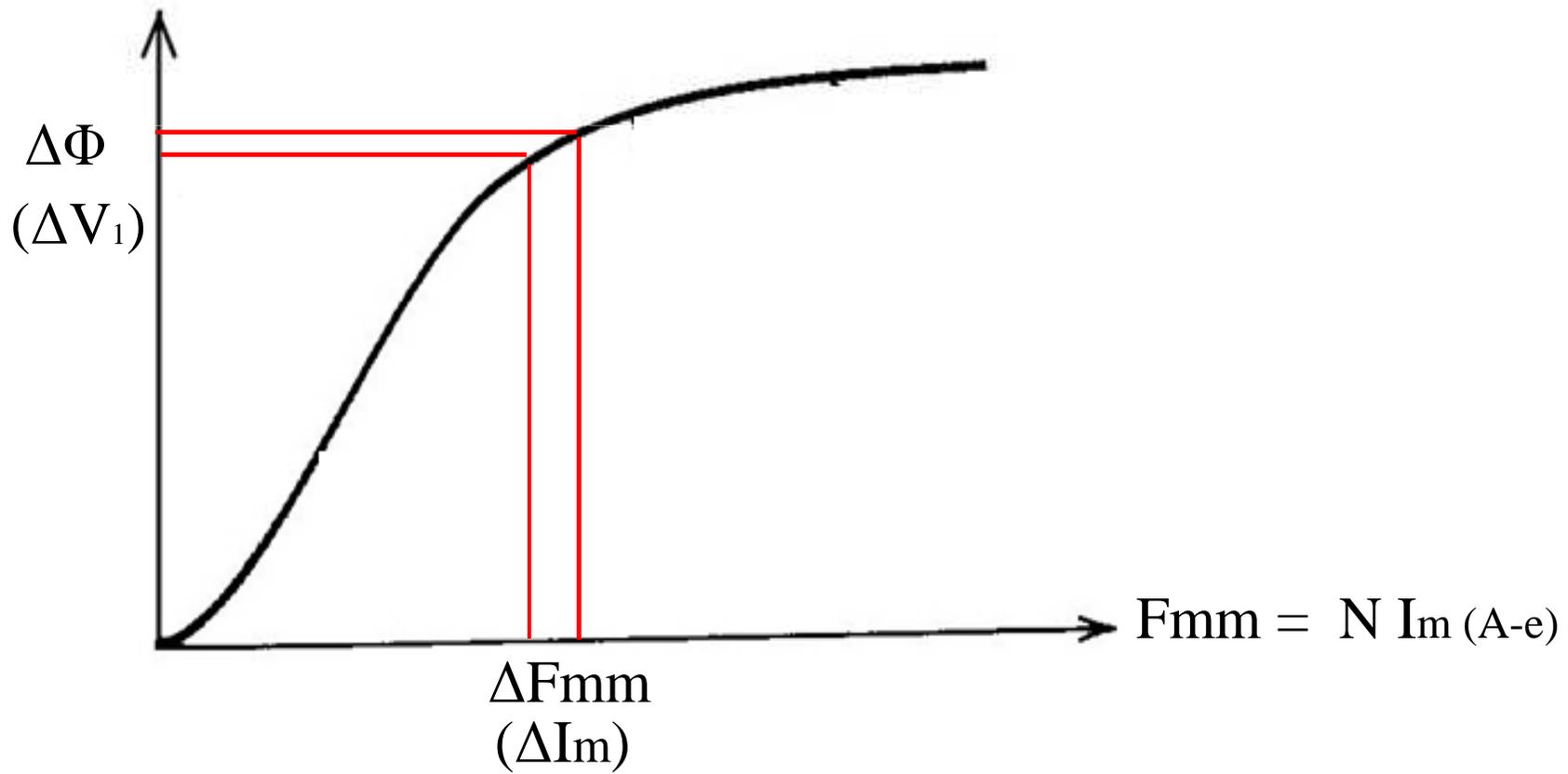
$$V(t) = V_{\max} \text{sen}(\omega t)$$

$$\phi(t) = \frac{V_{\max}}{\omega N} \cos(\omega t)$$

$$\phi_{\max} = \frac{V_{\max}}{\omega N}$$



Φ (wb)



Especificações nominais do transformador

$$\phi_{\max} = \frac{V_{\max}}{\omega N} \quad \omega = 2\pi f$$

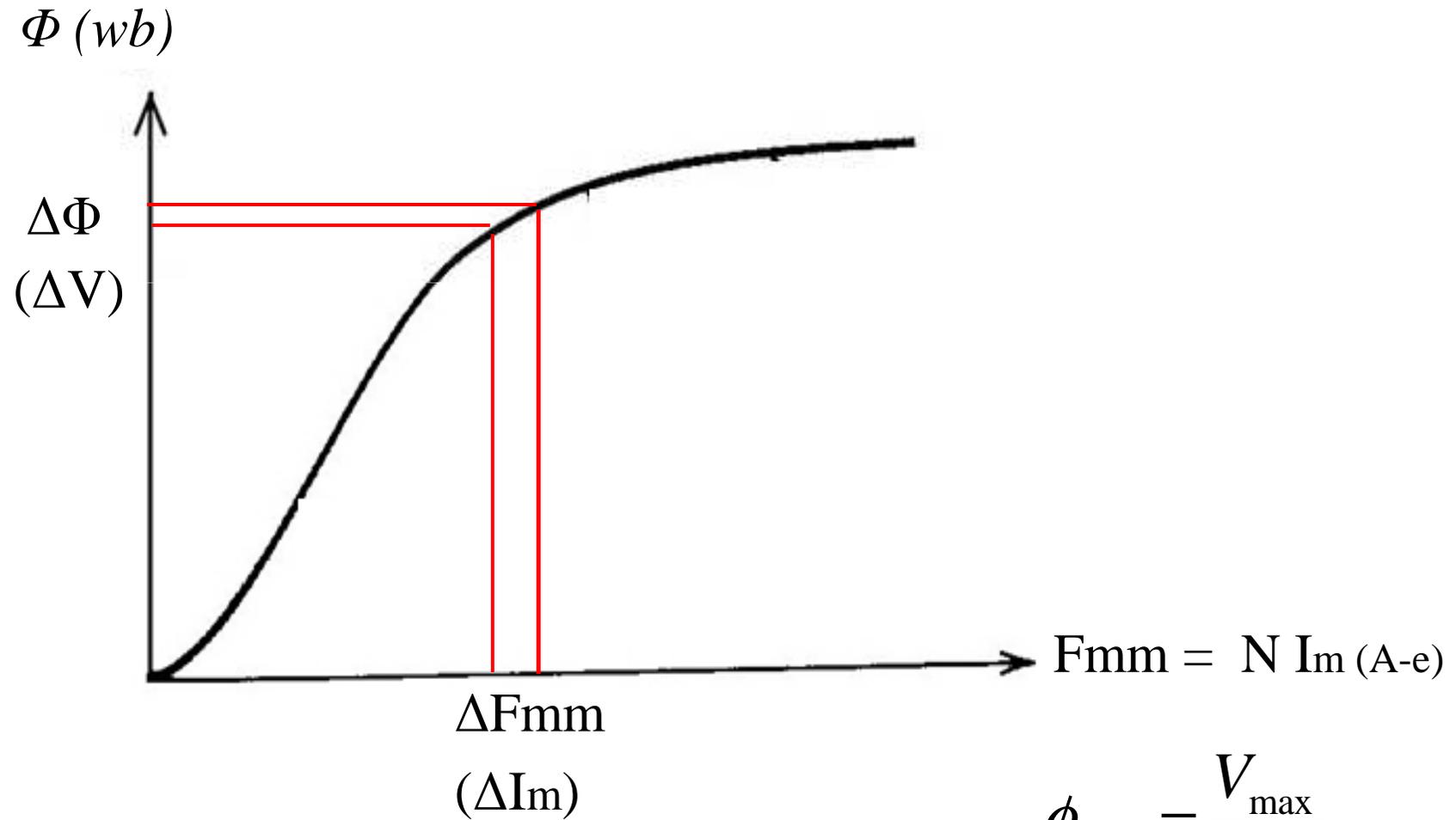
**Frequencia
nominal**

**Limita o fluxo máximo, portanto a corrente
de magnetização**

**A frequencia é inversamente proporcional
ao fluxo máximo**

Se $f \downarrow \Rightarrow \phi_{\max} \uparrow$

$$S_e \phi_{\max} \uparrow \Rightarrow I_m \uparrow$$



$$\phi_{\max} = \frac{V_{\max}}{\omega N}$$

Para evitar esses problemas mantém-se a relação:

$$\frac{V}{\omega} = cte \quad \text{ou} \quad \frac{V}{f} = cte$$

$$\phi_{\max} = \frac{V_{\max}}{\omega N} \quad (\text{não muda})$$

Se $f \uparrow$ mantendo a relação $\frac{V}{f} = cte \implies V_{\max} \uparrow$

-Deve-se verificar se o isolamento dos enrolamentos suporta o aumento da tensão.

Potência Nominal do Transformador

Especificações nominais do transformador

$$S_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \quad \text{Perdas} = I_L^2 R \quad (\text{aquecimento})$$

Potência
Aparente

Vida útil das bobinas do transformador

Se a tensão da carga for diminuída e a potência da carga não for alterada o que ocorrerá?

Resp: A corrente de carga aumentará sobrecarregando o transformador.

**Corrente
Transitória Inicial
(Inrush current)**

Corrente Transitória Inicial (Inrush current)

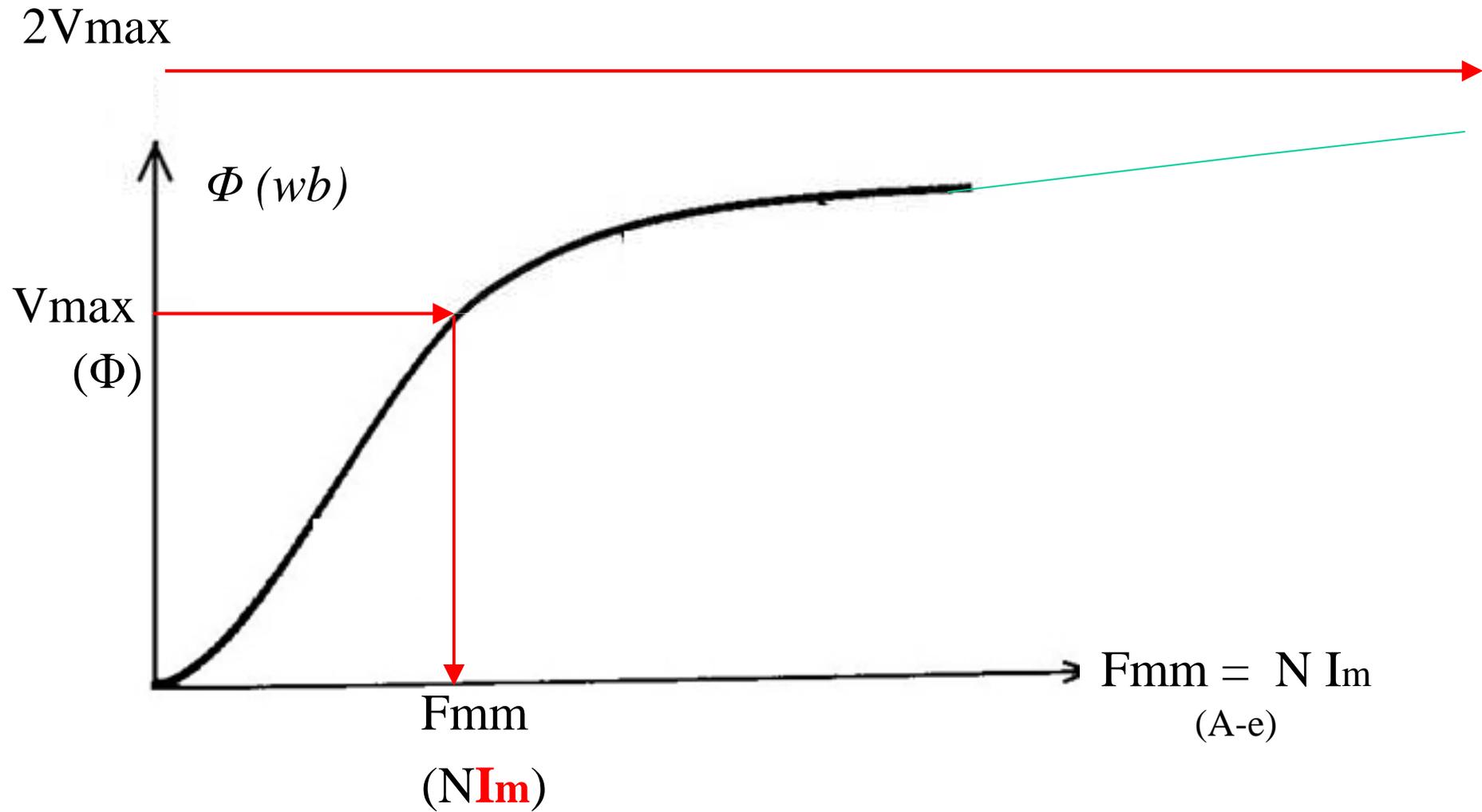
$$V(t) = V_{\max} \text{sen}(\omega t + \theta) \quad \phi(t) = \frac{1}{N} \int_{t_1}^{t_2} V_M \text{sen}(\omega t + \theta) dt$$

Se $\theta = 0$ No primeiro semiciclo: $t_1 = 0$ $t_2 = \frac{\pi}{\omega}$

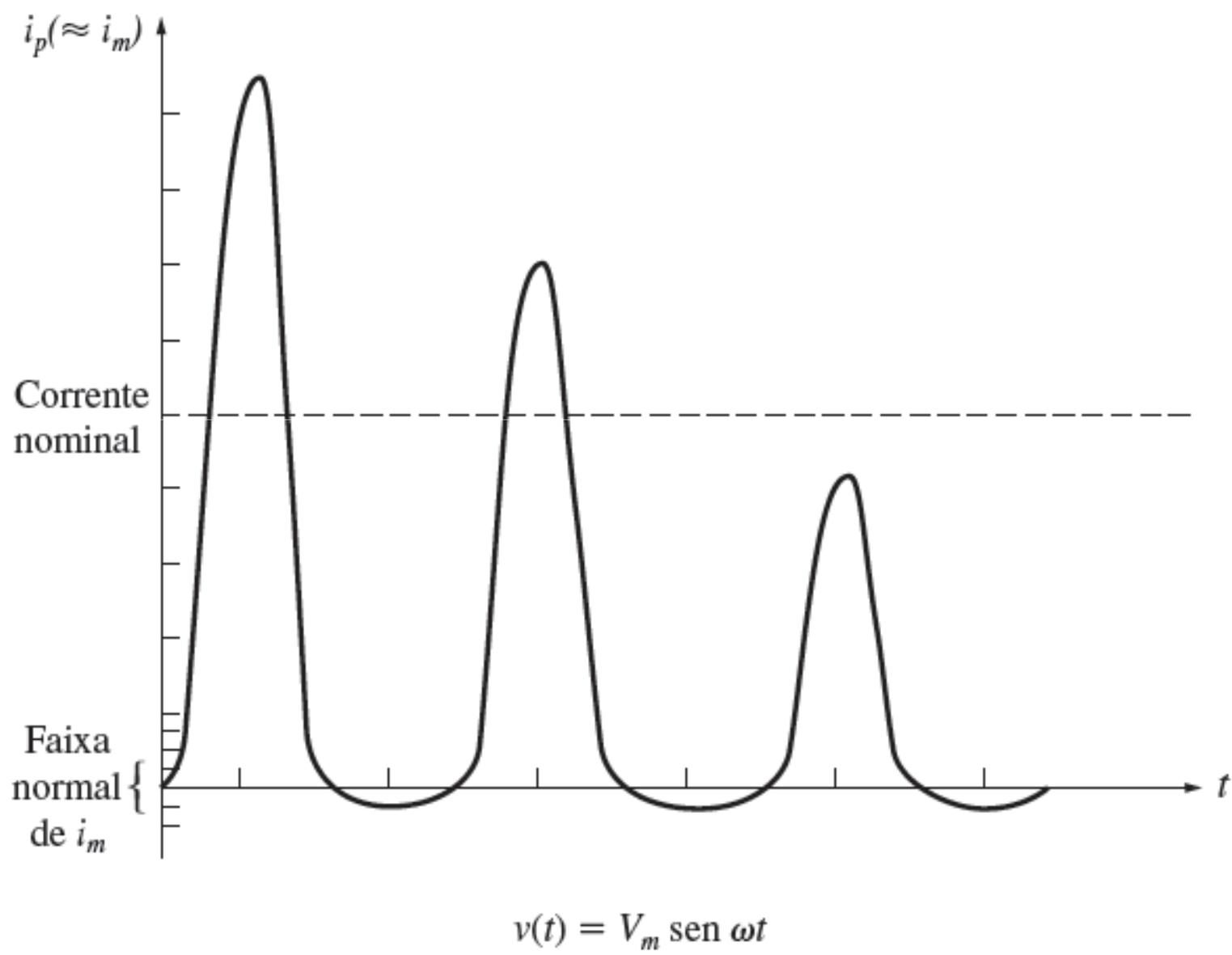
$$\phi_{\max} = \frac{2V_{\max}}{\omega N}$$

O fluxo máximo é o dobro do fluxo normal no primeiro semiciclo. Portanto a corrente de magnetização atinge valores muito elevados

Corrente de magnetização para duas vezes a tensão máxima



Corrente Transitória Inicial (Inrush current)

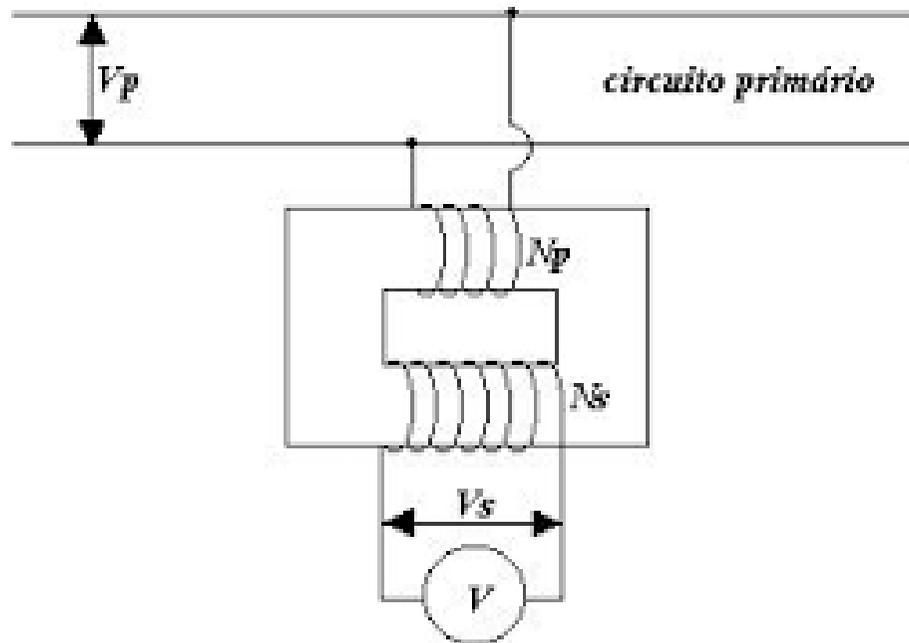


**Transformadores
de Medida e/ou
Proteção**

Transformadores de Medidas

Transformadores de potencial

Seu uso é amostrar de tensões. Possui alta tensão do primário e baixa tensão do secundário e possui potência nominal muito baixa.



Transformadores de Medidas

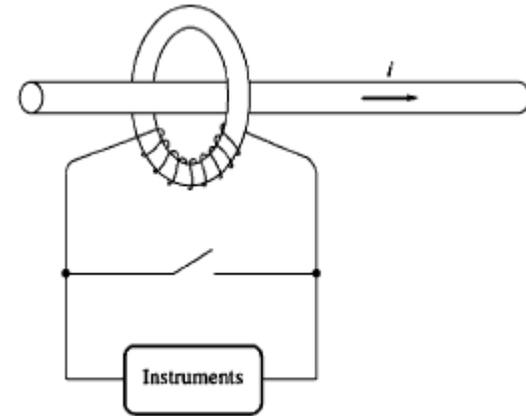
Transformadores de corrente

Seu uso é reduzir as correntes de linha a níveis baixos para amostragem. O primário é apenas um anel por onde passa a corrente de linha.

O fluxo mútuo é menor que o fluxo de dispersão. Por este motivo as equações normais do transformador (tensão e corrente não se aplicam a este transformador.

A corrente do secundário é proporcional à corrente do primário.

É importante curto-circuitar o secundário do transformador quando não tem carga por segurança.



Dados de Placa

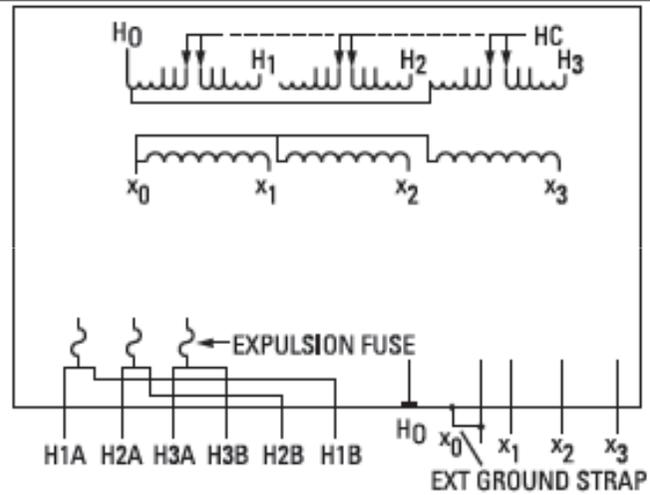
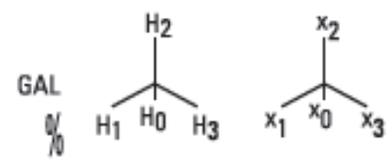
GENERAL ELECTRIC

0 10-25-82
 MADE 10-25-82
 ISSUED
 ROUTING 1A,REQ
 HICKORY
 NP 3101A6481E718P00

3 PHASE	CLASS 0 A	CAUTION—BEFORE OPERATING READ INSTRUCTIONS GEI-79025	65°C RISE	60 HERTZ
SOURCE	K V A	HV	LV	MFG DATE

BASIC IMPULSE LEVEL
 HV WINDING KV
 LV WINDING KV
 WEIGHTS IN POUNDS
 INTERIOR
 TANK
 LIQUID
 TOTAL
 OIL
 IMPEDENCE 85°C
 RATED VOLTS

VOLTS	TAP
14400	1
14100	2
13800	3
13500	4
13200	5
AT RATED KVA	



DISTRIBUTION TRANSFORMER
CONTAINS NON-PCB AT TIME OF MANUFACTURE-CERTIFICATION AVAILABLE

NOTES: 1. FOR MATERIAL AND NOTES USE A214K001P23
 2. JIS MUST BE MAINTAINED FROM EDGE OF BAND TO EDGE OF PLATE.
 TITLE NAMEPLATE
 FIRST MADE FOR DTBD

HICKORY, NC MADE IN USA



transformateur
BEMAG
 transformer
 www.bemag.ca

EFFICIENCY PER CSA C802.2 / EFFICACITE SELON C802.2

UA3075V 75 KVA 3 Phase

Prim : 600 H NS A70516S04-40 CSA ENCL 2

Sec : 120 / 208 X IMP. 4.8 % 60 HZ

ELEV 150 TEMPERATURE RISE 220 CLASS 511 LBS

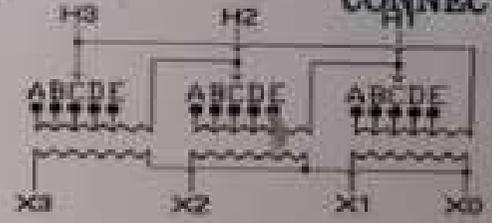
CU/AL CONNECTIONS

POS	A	B	C	D	E	F	G
VOLTS	630	615	600	585	570		

VECT. DIAGRAM.

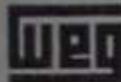


CONNECTIONS



NE PAS INSTALLER SUR OU AU-DESSUS DE SURFACES COMBUSTIBLES
 DO NOT INSTALL ON OR OVER COMBUSTIBLE SURFACES



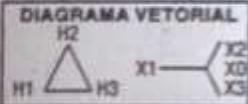


WEG TRANSFORMADORES LTDA
 BLUMENAU - SC CGCMF 82.642.521/0001-07
 TRANSFORMADOR

N° 111782 ANO 1986 TIPO 3003 - 0877

FASES 3 FREQ.: 60 Hz POTENCIA 2000 KVA REFRIG: ONAN

TENSÕES SUPORTÁVEIS (KV)	AT	BT
FREQ. INDUSTRIAL	34	
IMPULSO ATMOSFÉRICO	95	—



IMPEDANCIA % A 75°C EM 13.8 KV E 2000 KVA

TIPO ÓLEO ISOLANTE

VOLUME l MANUAL N° 751

ELEVAÇÃO MÉDIA DE TEMPERATURA NOS

ENROLAMENTOS/LIQ. ISOL. / °C

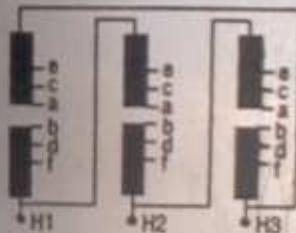
NORMAS ABNT NBR 5350/1993

MASSAS APROX.

LIQ. ISOLANTE	<u>1045</u> Kg
PARTE ATIVA	<u>1705</u> Kg
TANQUE / ACES.	<u>1660</u> Kg
TOTAL	<u>4410</u> Kg

ALTA TENSÃO

TERMINAIS H1 H2 H3			
POS.	LIGA	V	A
1	a b	13800	
2	b c	13200	
3	c d	12600	
4	d e	12000	
5	e f	11400	



BAIXA TENSÃO

TERMINAIS X0 X1 X2 X3			
<u>440/255</u> V	<u>9</u> B	<u>9</u> B	<u>9</u> A



INDÚSTRIA BRASILEIRA

0119 0008

Resumo

**Aula que vem:
Princípios de conversão
Eletromecânica**