

CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS E RENDIMENTO NO TRANSFORMADOR EM CARGA:

PERDAS CONSTANTES: p_C

→ INDEPENDENTES DA
CARGA

PERDAS NO FERRO (HISTERÉTICA E FOUCAULT)

EFEITO DO CAMPO MAGNÉTICO NO NÚCLEO → $p_{FE} \approx V^2$

PERDAS DIELÉTRICAS (POLARIZAÇÃO DOS ISOLANTES)

EFEITO DO CAMPO ELÉTRICO NO SISTEMA ISOLANTE → $p_{DIEL} \approx V^2$

PERDAS VARIÁVEIS: p_V

→ DEPENDENTES DA
CARGA

PERDAS NO COBRE (EFEITO JOULE)

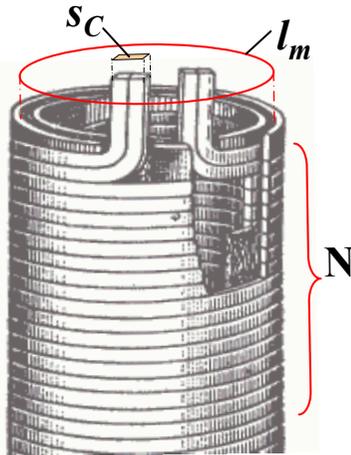
EFEITO DAS CORRENTES NOS CONDUTORES → $p_{JOULE} \approx I^2$

PERDAS SUPLEMENTARES (EFEITO JOULE)

EFEITO DOS FLUXOS DISPERSOS NA ESTRUTURA → $p_{SUP} \approx I^2$

PERDAS TOTAIS EM CARGA : $\Sigma p = p_C + p_V$

CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS JOULE – RESISTÊNCIAS EM C.C.

RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS : (RESISTÊNCIA “C.C.” OU EM *CORRENTE CONTÍNUA*)

$$R = \frac{\rho \cdot l_m \cdot N}{S_C}$$

ρ : RESISTIVIDADE DO COBRE $\rightarrow 1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ @ 20°C

l_m : COMPRIMENTO MÉDIO DO CONDUTOR

N : Nº DE ESPIRAS EM *SÉRIE* DA BOBINA

S_C : SECÇÃO RETA DO CONDUTOR *EQUIVALENTE*

$$p_J = R \cdot I^2$$

\rightarrow PERDA JOULE PRIMÁRIA : $p_{J1} = m \cdot r_1 \cdot I_1^2$

\rightarrow PERDA JOULE SECUNDÁRIA : $p_{J2} = m \cdot r_2 \cdot I_2^2$

m : Nº DE FASES DOS ENROLAMENTOS

RESISTÊNCIAS ÔHMICAS E PERDAS JOULE DEPENDEM DA TEMPERATURA DO ENROLAMENTO

$$r_{T_2} = r_{T_1} \cdot \frac{234,5 + T_2}{234,5 + T_1}$$

r_{T_2} : RESISTÊNCIA NA TEMPERATURA DE REFERÊNCIA T_2

r_{T_1} : RESISTÊNCIA NA TEMPERATURA DE MEDIÇÃO T_1

$234,5 = 1 / \alpha_{\text{COBRE}}$

α_{COBRE} = COEFICIENTE DE VARIAÇÃO TÉRMICA DA RESISTIVIDADE

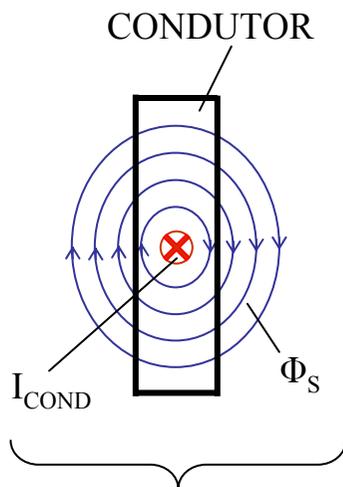
EFEITOS ADICIONAIS DA CORRENTE – ADENSAMENTO - PERDAS SUPLEMENTARES

CONDUTOR CONDUZINDO CORRENTE ALTERNADA (I_{COND}):

→ FLUXO MAGNÉTICO ALTERNADO DISTRIBUÍDO DENTRO E FORA DO CONDUTOR, “NORMAL” AO PLANO DO MESMO (Φ_S)

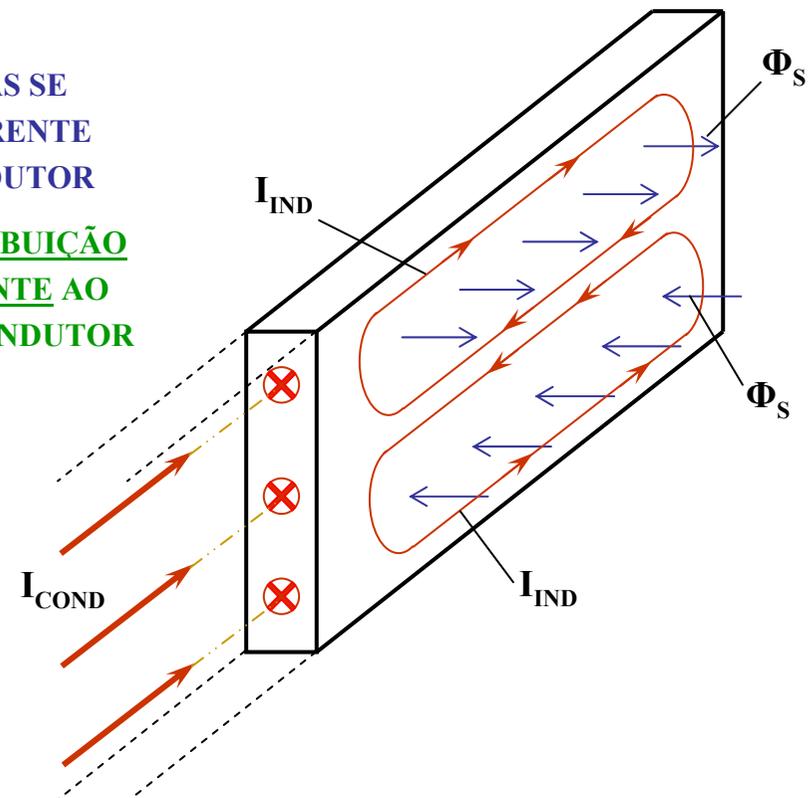
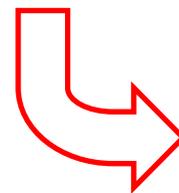
→ VARIACÃO DO FLUXO NO TEMPO → TENSÕES INDUZIDAS AO LONGO DO CONDUTOR (LEI DE FARADAY)

→ CORRENTES INDUZIDAS IMPOSTAS NO PLANO DO CONDUTOR, EM OPOSIÇÃO À VARIACÃO DO FLUXO (LEI DE LENZ) (I_{IND})

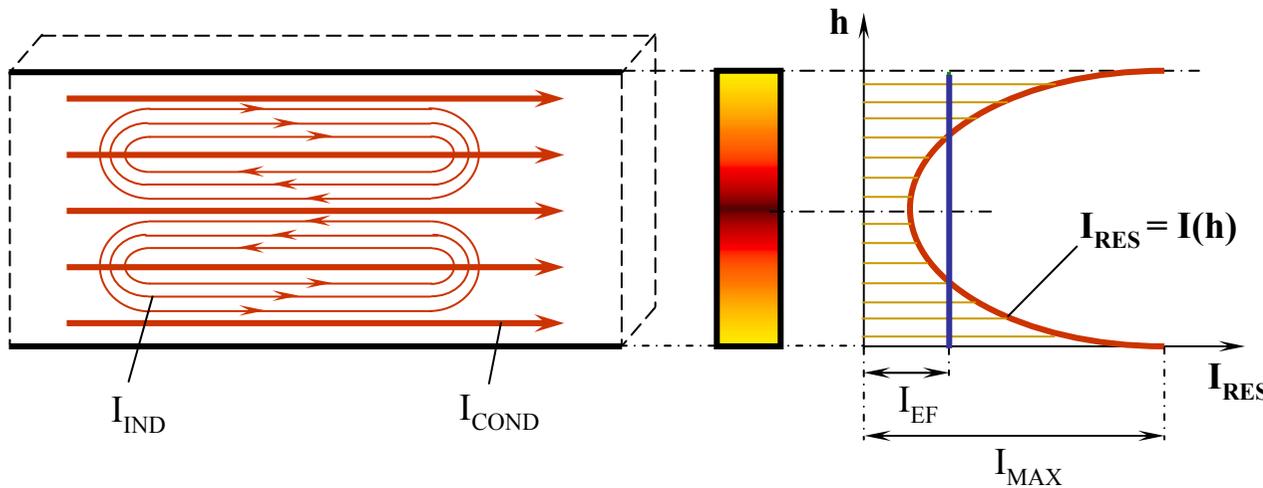


DISTRIBUIÇÃO “APROXIMADA” DO
FLUXO CRIADO PELA PRÓPRIA
CIRCULAÇÃO DA CORRENTE NO
CONDUTOR

CORRENTES INDUZIDAS SE
COMPÕEM COM A CORRENTE
CONDUZIDA PELO CONDUTOR
→ DISTORÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO
DA CORRENTE RESULTANTE AO
LONGO DA SECÇÃO DO CONDUTOR



CORRENTE ADENSADA NO CONDUTOR → MAIOR CONCENTRAÇÃO NAS EXTREMIDADES



DISTRIBUIÇÃO DA CORRENTE AFETA A DISTRIBUIÇÃO DA PERDA JOULE

$$p_{Jdc} = r_{dc} \cdot I_{EF}^2$$

PERDA JOULE SEM ADENSAMENTO

DISTRIBUIÇÃO DA CORRENTE AO LONGO DA ALTURA DO CONDUTOR

r_{dc} : RESISTÊNCIA “DC” DO CONDUTOR

$$p_{Jac} = \int_0^{h_c} \frac{r_{dc}}{h} \cdot I^2(h) \cdot dh = r_{ac} \cdot I_{EF}^2 > p_{Jdc}$$

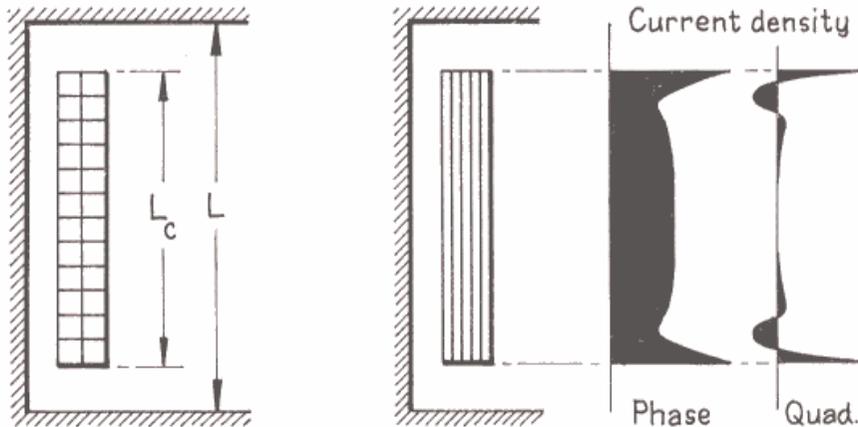
$$r_{ac} > r_{dc} \Rightarrow r_{ac} = r_{dc} \cdot \left[g(h) \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot f}{\rho_c}} \right]$$

PERDA JOULE COM ADENSAMENTO DE CORRENTE

r_{ac} : RESISTÊNCIA APARENTE EM “AC”

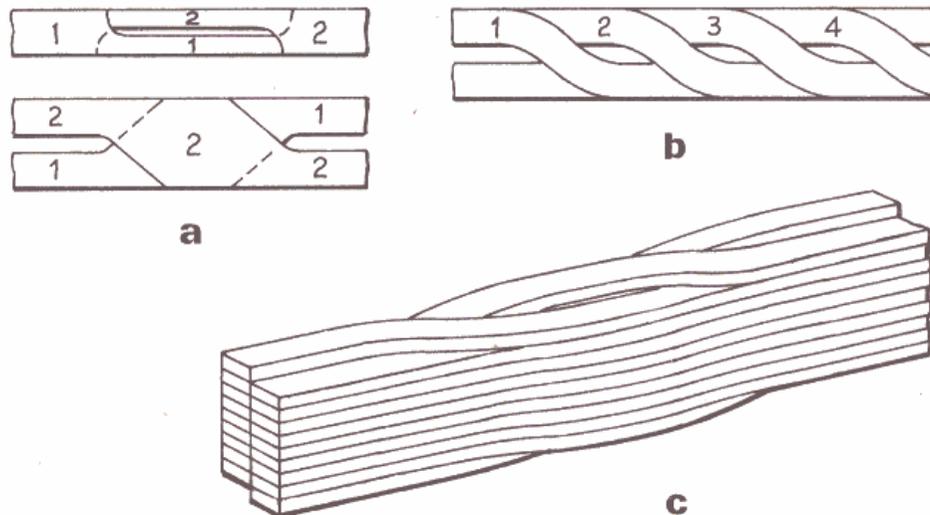
ρ_C : RESISTIVIDADE DO MATERIAL DO CONDUTOR - g(h) : FUNÇÃO COMPLEXA DA GEOMETRIA DO CONDUTOR

ADENSAMENTO DE CORRENTE OCORRE TAMBÉM DEVIDO À IMERSÃO DO CONDUTOR NO FLUXO DE DISPERSÃO PRESENTE NA VIZINHANÇA DAS BOBINAS



DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE DE CORRENTE VARIA EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NA BOBINA

→ **INTENSA NAS BOBINAS FEITAS EM FOLHA CONDUTORA CONTÍNUA**



MECANISMOS PARA LIMITAR EFEITOS DO ADENSAMENTO:

→ **SUBDIVISÃO DE CONDUTORES DE SEÇÃO ELEVADA**

→ **DISTRIBUIÇÃO DE BOBINAS EM PARALELO ADEQUADAMENTE CONECTADAS**

→ **USO DE CONDUTORES OU BARRAS COM TRANSPOSIÇÃO**

RENDIMENTO EM POTÊNCIA DO TRANSFORMADOR

P_U : POTÊNCIA ÚTIL (ATIVA) FORNECIDA PELO SECUNDÁRIO [kW]

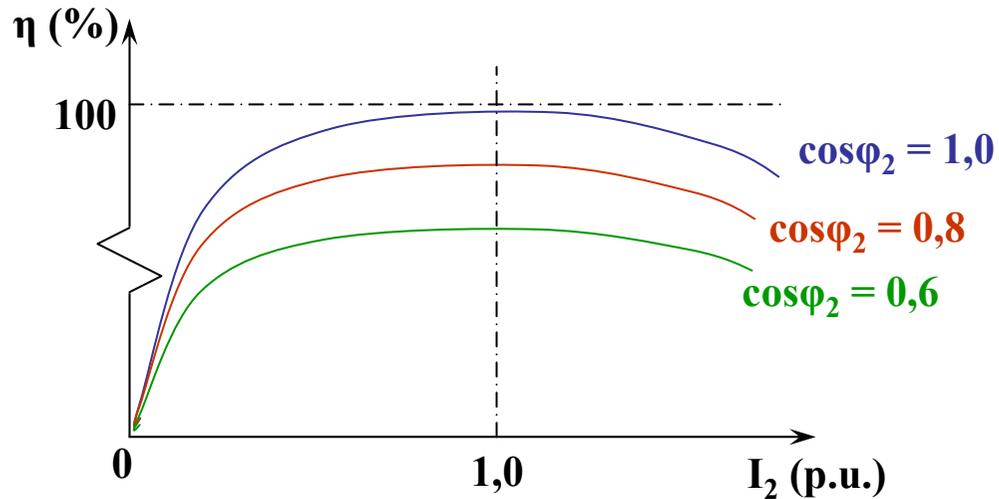
P_{ABS} : POTÊNCIA TOTAL ABSORVIDA (ATIVA) PELO PRIMÁRIO [kW]

$$\eta = P_U / P_{ABS} = P_U / (P_U + \Sigma p) = P_U / (P_U + p_C + p_V)$$

$$p_C \cong p_{FE} \quad ; \quad p_V = r_{2CC} \cdot I_2^2$$

r_{2CC} : RESISTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO EQUIVALENTE, COM PERDAS SUPLEMENTARES INCLUÍDAS, REFERIDA AO SECUNDÁRIO

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + p_{FE} + r_{2CC} \cdot I_2^2}$$



$I_2 = 0 \rightarrow \eta = 0$ (VAZIO)

$I_2 = I_{CC} \rightarrow \eta = 0$ (CURTO - $V_2 = 0$)

$\eta_{MAX} \rightarrow 0 < I_2 \cong I_{2N} < I_{CC}$

PREFERENCIALMENTE

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + p_{FE} + r_{2CC} \cdot I_2^2} = \frac{1}{1 + \frac{p_{FE}}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2} + \frac{r_{2CC} \cdot I_2}{V_2 \cdot \cos \varphi_2}}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + f(I_2)} \therefore \eta_{MAX} \Rightarrow [f(I_2)]_{MIN.} \Rightarrow \frac{df(I_2)}{dI_2} = 0$$

$$\frac{d}{dI_2} \left(\frac{1}{1 + \frac{p_{FE}}{V_2 \cdot \cos \varphi_2} \cdot \frac{1}{I_2} + \frac{r_{2CC}}{V_2 \cdot \cos \varphi_2} \cdot I_2} \right) = 0 \Rightarrow -\frac{1}{I_2^2} \cdot \frac{p_{FE}}{V_2 \cdot \cos \varphi_2} + \frac{r_{2CC}}{V_2 \cdot \cos \varphi_2} = 0$$

$$r_{2CC} \cdot I_2^2 = p_{FE}$$

CONDIÇÃO PARA MÁXIMO RENDIMENTO: $p_V = p_C$

OPERAÇÃO DO TRANSFORMADOR COM CARGA CONSTANTE, I_{2N} (NOMINAL):

PROJETADO PARA $r_{2CC} \cdot (I_{2N})^2 = p_{FE} \rightarrow$ MAXIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO EM POTÊNCIA

CARGA VARIÁVEL NO TEMPO :

→ OBJETIVA-SE MINIMIZAR A POTÊNCIA DE PERDAS AO LONGO DO TEMPO

→ *RENDIMENTO EM ENERGIA*

E_{FORN} : ENERGIA FORNECIDA NUM PERÍODO T

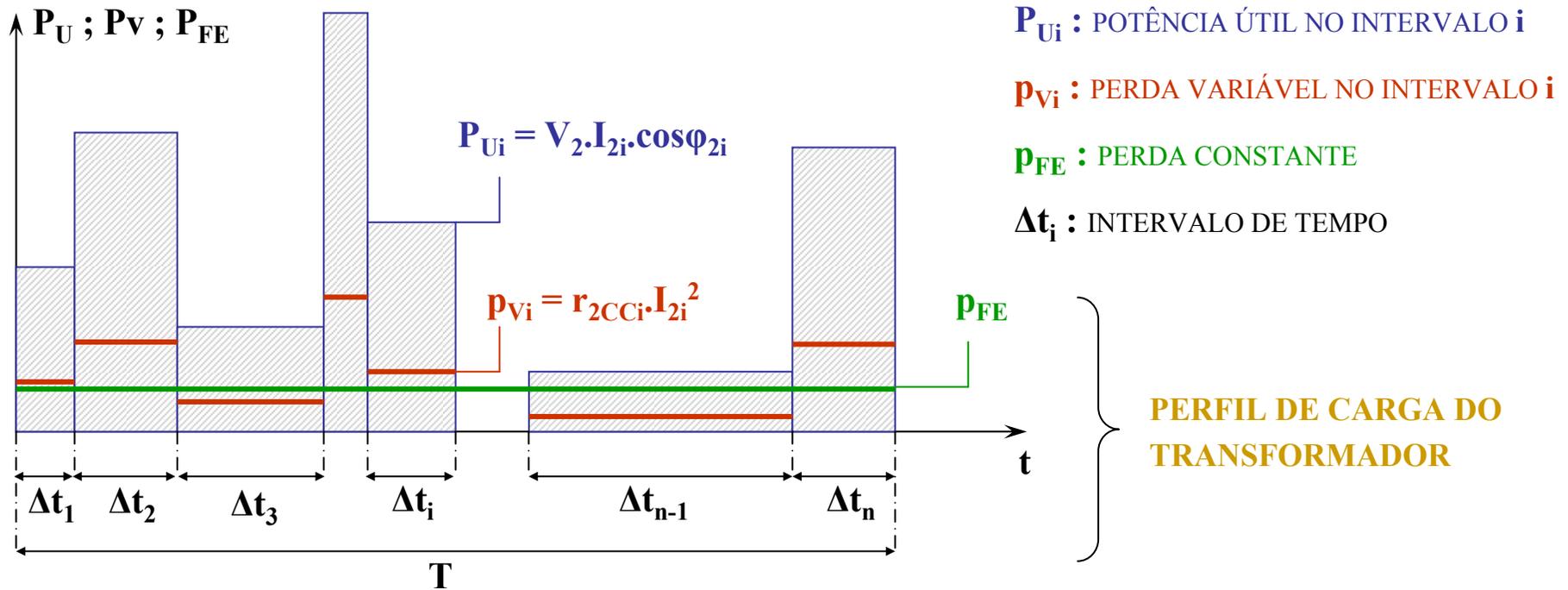
E_{ABS} : ENERGIA ABSORVIDA NO MESMO PERÍODO T

$$\rightarrow \eta_E = E_{\text{FORN}} / E_{\text{ABS}}$$

MAXIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DEVE SE DAR EM UMA *POTÊNCIA ÚTIL EFETIVA NO PERÍODO*:

$$P_{\text{EF}} < P_{\text{N}}$$

→ $[p_V]_{\text{Pef}} = p_C$: IGUALDADE ENTRE *PERDA VARIÁVEL* E *PERDA CONSTANTE* DEVE SE DAR PARA A POTÊNCIA EFETIVA E NÃO PARA A NOMINAL

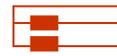
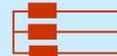
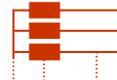


$$\eta_E = \frac{\sum_{i=1}^n P_{U_i} \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n P_{U_i} \cdot \Delta t_i + p_{FE} \cdot T + \sum_{i=1}^n p_{V_i} \cdot \Delta t_i} = \frac{\int_0^T P_U \cdot dt}{\int_0^T P_U \cdot dt + p_{FE} \cdot T + \int_0^T p_V \cdot dt}$$

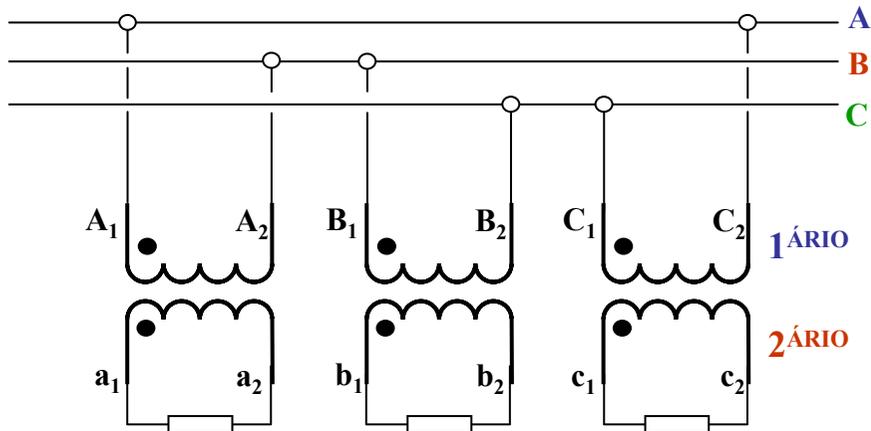
TRANSFORMADORES EM SISTEMAS TRIFÁSICOS

SISTEMAS DE POTÊNCIA → GRANDES BLOCOS DE ENERGIA → GRANDES DISTÂNCIAS

*SISTEMA DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO TRIFÁSICO*ADOÇÃO DO SISTEMA TRIFÁSICO → MAIS ECONÔMICO GLOBALMENTEGERADOR: $1\emptyset$ → VOLUME ELETROMAGNÉTICO: $D^2 \cdot L$ → GERA POTÊNCIA: P_1 GERADOR: $m\emptyset$ → DE MESMO VOLUME → GERA POTÊNCIA: $P_m = P_1 \cdot m \cdot \text{sen} [\pi / (2 \cdot m)]$

Nº DE FASES m	POTÊNCIA P_m	Nº DE <u>CONDUTORES NA LINHA</u>	
1	P_1	2	
2	$1,41 \cdot P_1$	3	
3	$1,50 \cdot P_1$	3	
4	$1,53 \cdot P_1$	4	
5	$1,55 \cdot P_1$	5	
∞	$1,57 \cdot P_1$	∞	

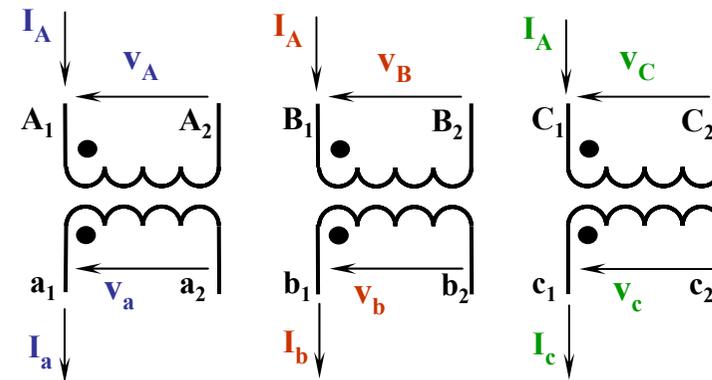
O TRANSFORMADOR NO SISTEMA TRIFÁSICO



**TRANSFORMADOR TRIFÁSICO OU BANCO
DE TRES TRANSFORMADORES
MONOFÁSICOS**

**CARGAS INDIVIDUAIS EQUILIBRADAS OU
CONECTADAS EM CONEXÃO PADRÃO**

**POLARIDADES RELATIVAS E CONVENÇÕES
PARA TENSÕES E CORRENTES EM CADA LADO**



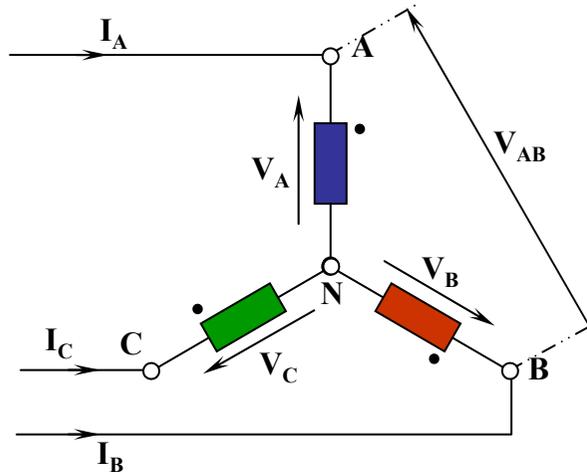
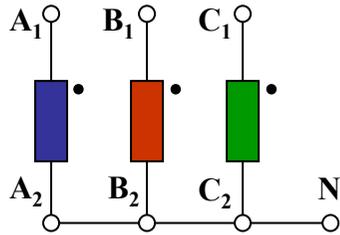
**FASES INDIVIDUAIS CONECTADAS
ENTRE SI EM LIGAÇÕES PADRÃO DO
SISTEMA TRIFÁSICO:**

Y - ESTRELA - Δ - TRIÂNGULO

LIGAÇÕES ESPECIAIS:

ZIG-ZAG - TRIÂNGULO ESTENDIDO

CONEXÃO TRIFÁSICA EM ESTRELA - Y



TENSÕES DE FASE:

$$V_A = V_{A-N} = V_A \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$$

$$V_B = V_{B-N} = V_A \cdot e^{-j \cdot 120^\circ}$$

$$V_C = V_{C-N} = V_A \cdot e^{-j \cdot 240^\circ}$$

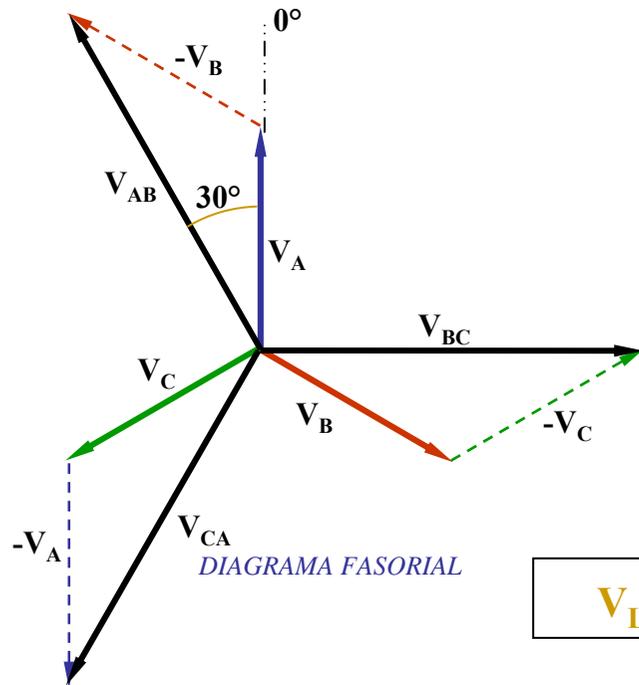
NEUTRO PODE SER OU NÃO ACESSÍVEL
 ACESSÍVEL $\rightarrow I_N = I_A + I_B + I_C$ SEQUENCIA ZERO
 SISTEMA EQUILIBRADO $\rightarrow I_N = 0$

TENSÕES DE LINHA:

$$V_{AB} = V_A - V_B = V_A \cdot e^{j \cdot 0^\circ} - V_A \cdot e^{-j \cdot 120^\circ} = \sqrt{3} \cdot V_A \cdot e^{+j \cdot 30^\circ}$$

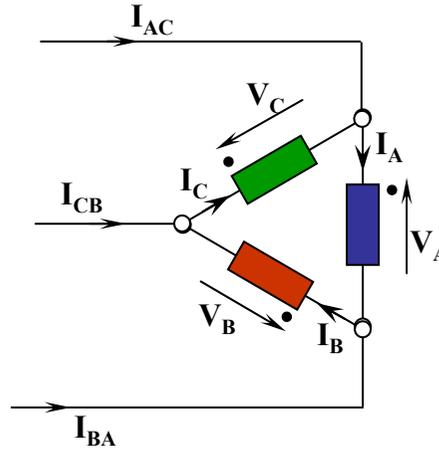
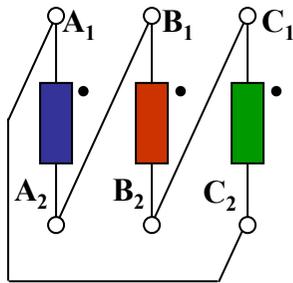
$$V_{BC} = V_B - V_C = V_A \cdot e^{-j \cdot 120^\circ} - V_A \cdot e^{-j \cdot 240^\circ} = \sqrt{3} \cdot V_A \cdot e^{-j \cdot 90^\circ}$$

$$V_{CA} = V_C - V_A = V_A \cdot e^{-j \cdot 240^\circ} - V_A \cdot e^{j \cdot 0^\circ} = \sqrt{3} \cdot V_A \cdot e^{-j \cdot 210^\circ}$$



$$V_{LINHA} = \sqrt{3} \cdot V_{FASE} \rightarrow \text{ADIANTADA } 30^\circ - I_{LINHA} = I_{FASE}$$

CONEXÃO TRIFÁSICA EM TRIÂNGULO - Δ



CORRENTES DE FASE:

$$I_A = I_A \cdot e^{j \cdot (0^\circ - \varphi)}$$

$$I_B = I_A \cdot e^{-j \cdot (120^\circ + \varphi)}$$

$$I_C = I_A \cdot e^{-j \cdot (240^\circ + \varphi)}$$

CORRENTES DE LINHA:

$$I_{AC} = I_A - I_C = \sqrt{3} \cdot I_A \cdot e^{-j \cdot (30^\circ + \varphi)}$$

$$I_{BA} = I_B - I_A = \sqrt{3} \cdot I_A \cdot e^{-j \cdot (150^\circ + \varphi)}$$

$$I_{CB} = I_C - I_B = \sqrt{3} \cdot I_A \cdot e^{-j \cdot 270^\circ + \varphi}$$

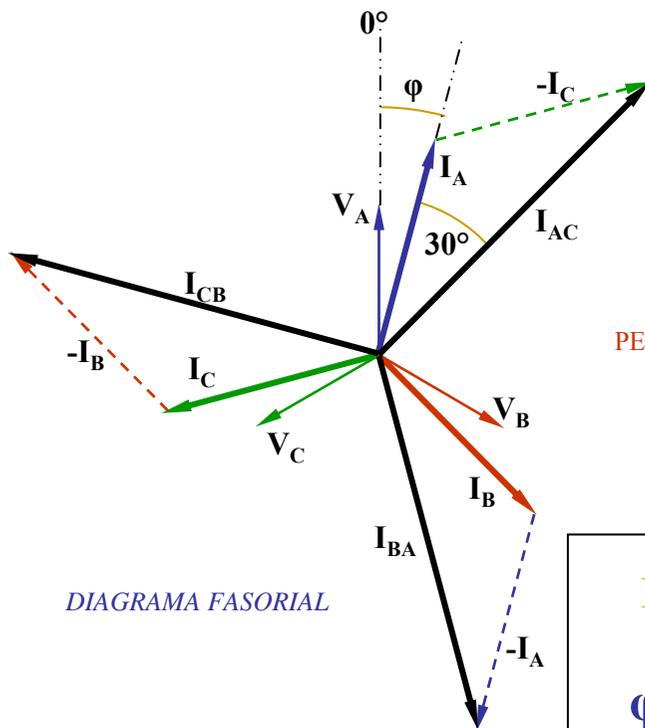


DIAGRAMA FASORIAL

PERMITE CIRCULAÇÃO INTERNA NO Δ DE CORRENTES DE SEQUENCIA ZERO

$$I_{LINHA} = \sqrt{3} \cdot I_{FASE} \rightarrow \text{ATRASADA } 30^\circ - V_{LINHA} = V_{FASE}$$

φ : ANGULO DE FASE DA CORRENTE EM RELAÇÃO À TENSÃO

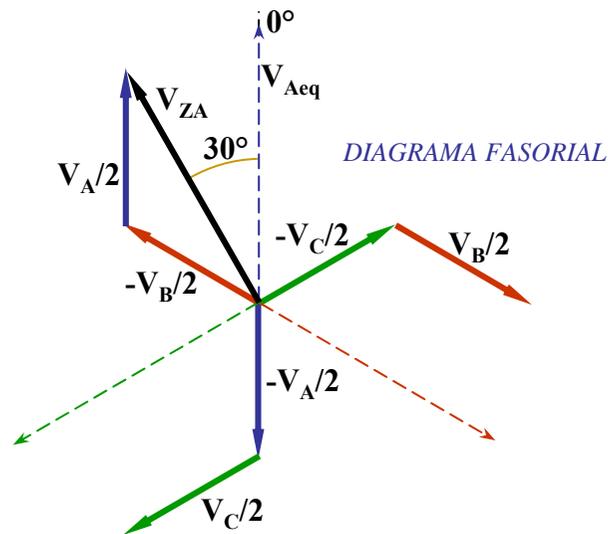
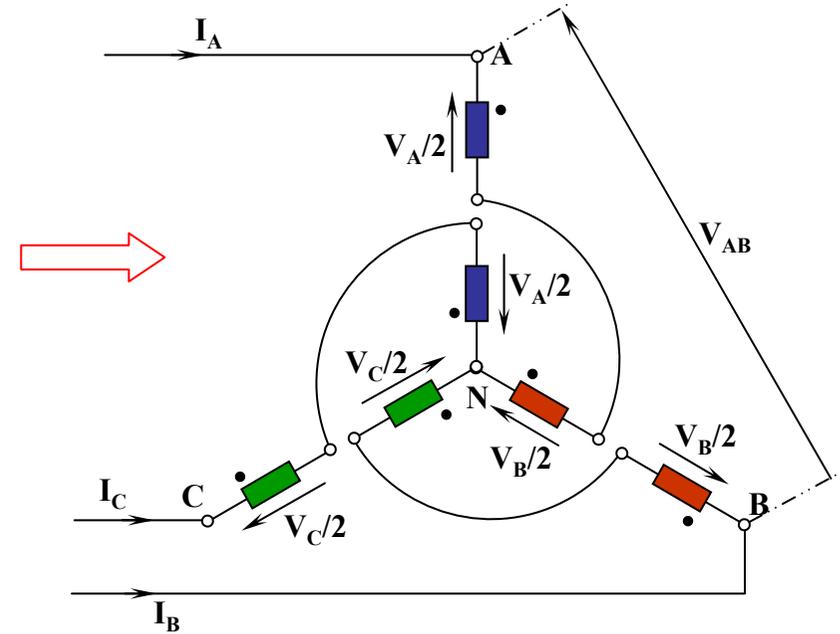
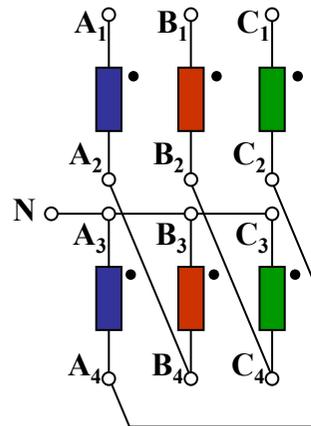
CONEXÃO TRIFÁSICA EM “ZIG – ZAG” - Z

TENSÕES DE FASE:

$$V_{ZA} = V_{A-N}$$

$$V_{ZB} = V_{B-N}$$

$$V_{ZC} = V_{C-N}$$



TENSÕES DE FASE:

$$V_{ZA} = V_{A-N} = V_A/2 - V_B/2 = V_A/2 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} - V_A/2 \cdot e^{-j \cdot 120^\circ}$$

$$V_{ZA} = (\sqrt{3})/2 \cdot V_A \cdot e^{+j \cdot 30^\circ}$$

LIGAÇÃO Z : ELIMINAÇÃO DE HARMÔNICAS TRIPLAS DA TENSÃO TOTAL DE FASE

UTILIZAÇÃO EM CARGAS DESEQUILIBRADAS E RETIFICADORES

$$V_{FASE - Z} = (\sqrt{3})/2 \cdot V_{FASE - eq} \text{ (DA ESTRELA CONVENCIONAL)}$$

$$V_{AB} = \sqrt{3} \cdot V_{ZA} = \sqrt{3} \cdot (\sqrt{3})/2 \cdot V_{Aeq} = 1,5 \cdot V_{A-ESTRELA CONVENCIONAL}$$

COMBINAÇÕES DE CONEXÕES ENTRE PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO - DEFASAGEM

COMBINAÇÕES MAIS COMUNS → Y/Y - Δ/Δ - Δ/Y - Y/Δ - Y/Z - Δ/Z

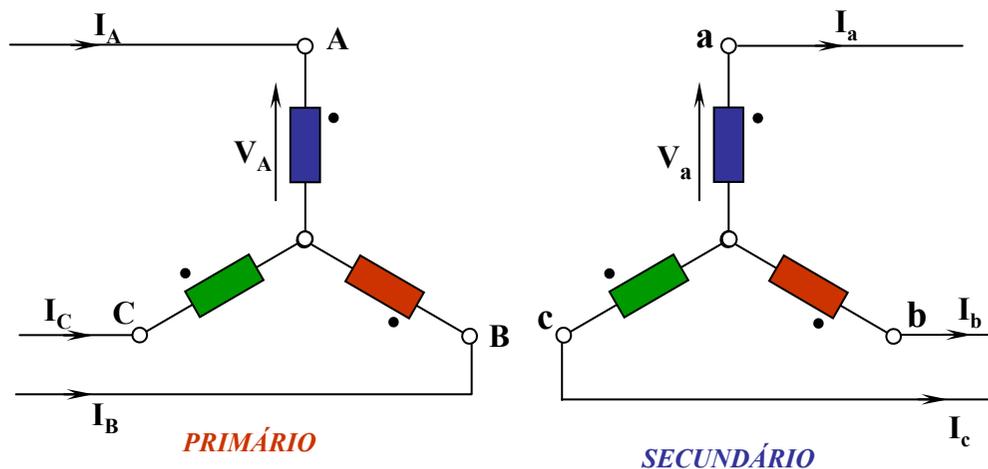
COMBINAÇÕES INTRODUZEM DEFASAGEM ENTRE TENSÕES DE LINHA DO 1^{ÁRIO} E DO 2^{ÁRIO}

GRUPOS DE DEFASAGEM → PADRONIZADOS E INDICADOS POR SEMELHANÇA COM OS PONTEIROS DO RELÓGIO

USO DO NEUTRO NAS CONEXÕES ESTRELA → ASSOCIADO À CIRCULAÇÃO DE CORRENTES HARMÔNICAS DE 3^a ORDEM E CORRENTES DE SEQÜÊNCIA ZERO DURANTE FALTAS ASSIMÉTRICAS

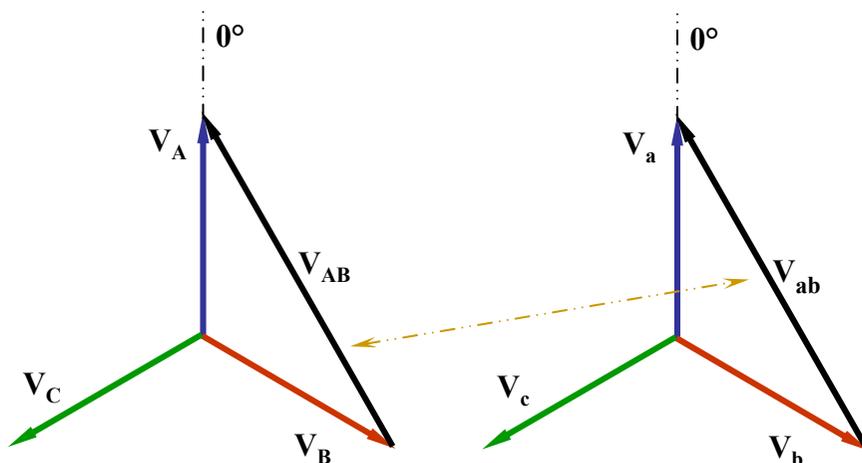
COMBINAÇÕES ENTRE PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO - DEFASAGEM

CONEXÃO Y / Y



$$V_A / V_a = a = V_{AB} / V_{ab}$$

V_{ab} EM FASE COM V_{AB}



DEFASAGEM NULA ENTRE TENSÕES
DE LINHA DO 1.º E DO 2.º

DESLOCAMENTO DE FASE: **Yy0**

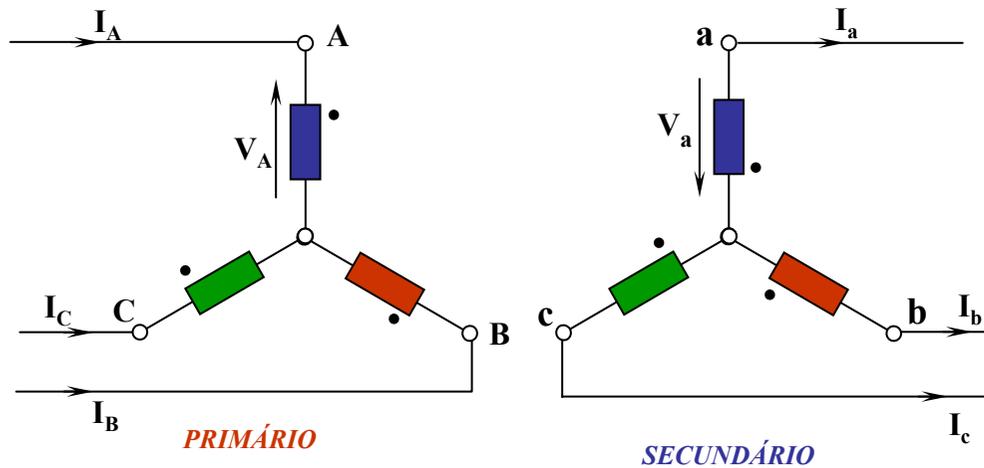
Y → PRIMÁRIO

y → SECUNDÁRIO

0 → 0° DE DEFASAGEM

COMBINAÇÕES ENTRE PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO - DEFASAGEM

CONEXÃO Y / Y - ALTERNATIVA



$$V_A / V_a = a = V_{AB} / V_{ab}$$

V_{ab} EM OPOSIÇÃO DE FASE COM V_{AB}

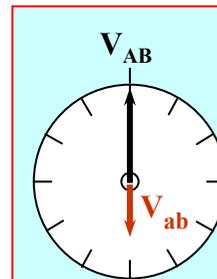
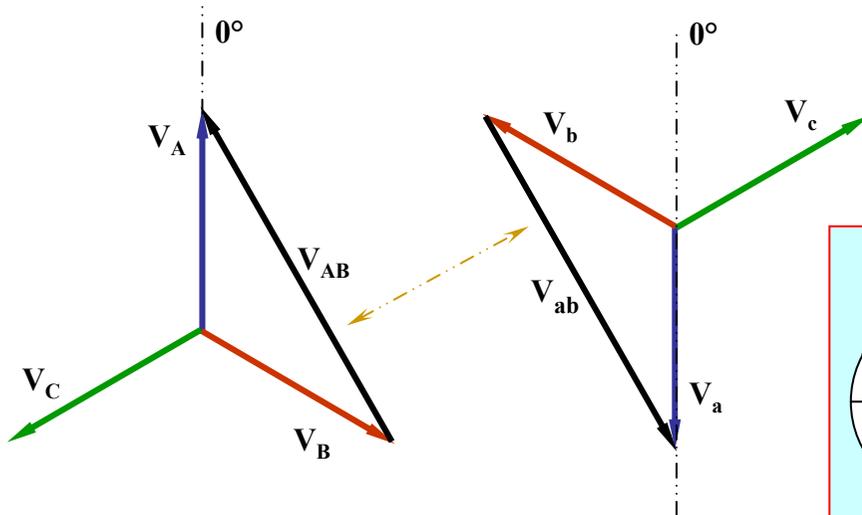
DEFASAGEM DE 180° ENTRE TENSÕES DE LINHA DO 1ºÁRIO E DO 2ºÁRIO

DESLOCAMENTO DE FASE: **Yy180**

Y → PRIMÁRIO

y → SECUNDÁRIO

180 → 180° DE DEFASAGEM



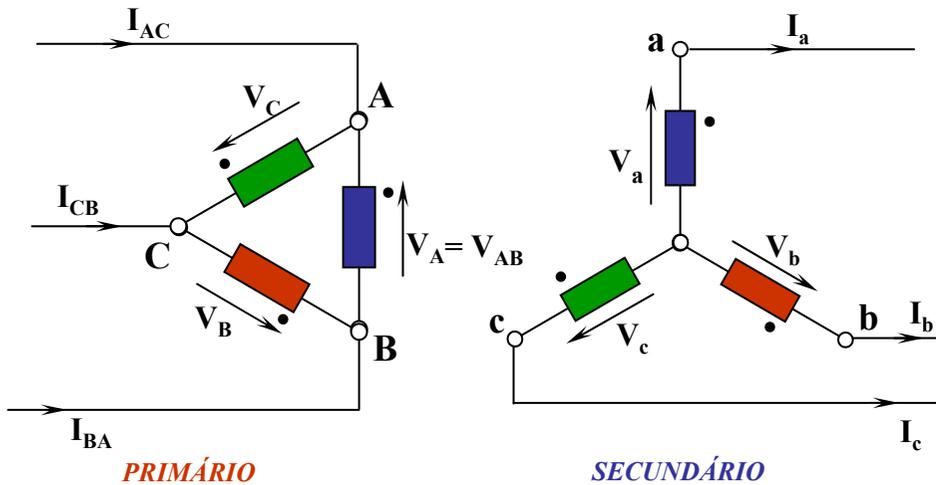
DESLOCAMENTO DE FASE: **Yy 6**

Y → 1ºÁRIO V_{AB} “0” MINUTOS (SEMPRE)

y → 2ºÁRIO V_{ab} “6” HORAS (180°)

COMBINAÇÕES ENTRE PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO - DEFASAGEM

CONEXÃO Δ / Y



$$V_A / V_a = a - V_{AB} / V_{ab} = a / \sqrt{3}$$

V_{ab} ADIANTADO EM RELAÇÃO A V_{AB}

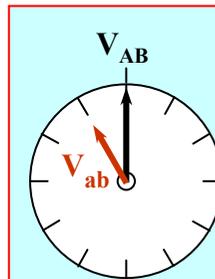
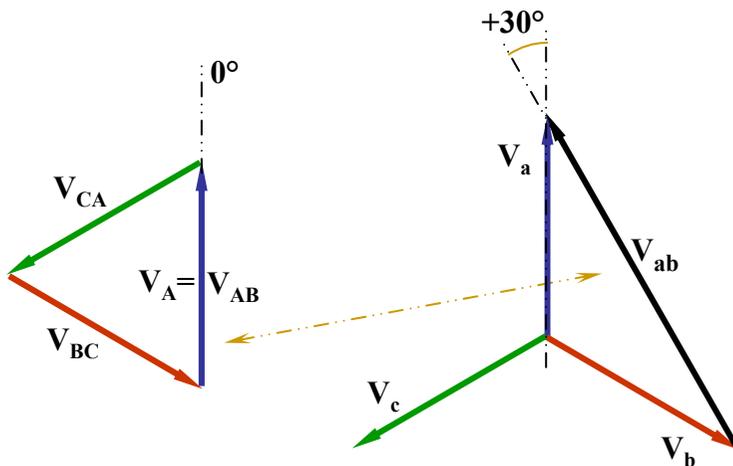
DEFASAGEM DE 30° ENTRE TENSÕES DE LINHA DO 1ºÁRIO E DO 2ºÁRIO

DESLOCAMENTO DE FASE: **Dy+30**

D → PRIMÁRIO

y → SECUNDÁRIO

+30 → 30° DE DEFASAGEM EM AVANÇO



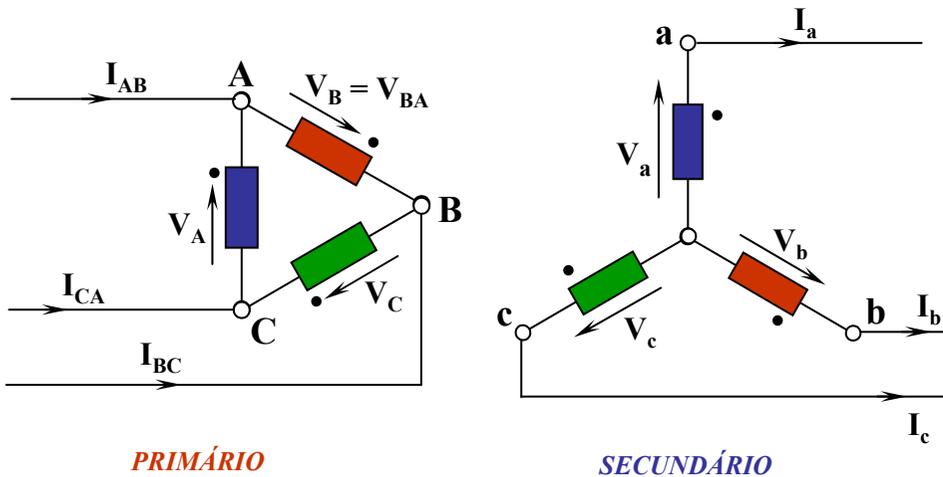
DESLOCAMENTO DE FASE: **Dy 11**

D → 1ºÁRIO V_{AB} "0" MINUTOS (SEMPRE)

y → 2ºÁRIO V_{ab} "11" HORAS (+30°)

COMBINAÇÕES ENTRE PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO - DEFASAGEM

CONEXÃO Δ / Y - ALTERNATIVA COM ROTAÇÃO DE FASE



$$V_A / V_a = a - V_{BA} / V_{ba} = a / \sqrt{3}$$

V_{ba} ATRASADA EM RELAÇÃO A V_{BA}

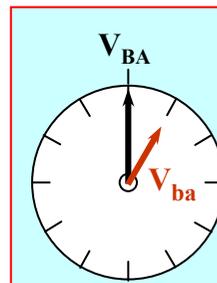
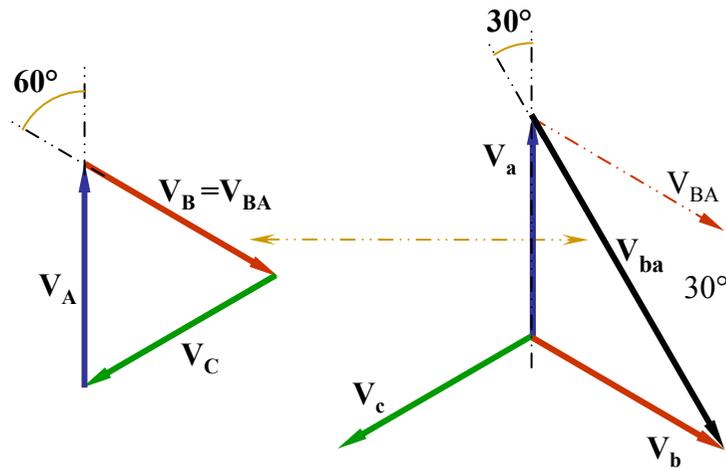
DEFASAGEM DE 30° ENTRE TENSÕES DE LINHA DO 1ºÁRIO E DO 2ºÁRIO

DESLOCAMENTO DE FASE: **Dy-30**

D → PRIMÁRIO

y → SECUNDÁRIO

-30 → 30° DE DEFASAGEM EM ATRASO



DESLOCAMENTO DE FASE: **Dy1**

D → 1ºÁRIO V_{BA} “0” MINUTOS (SEMPRE)

y → 2ºÁRIO V_{ba} “1” HORA (- 30°)

COMBINAÇÕES ENTRE PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO - DEFASAGEM**COMBINAÇÕES Δ/Δ E Y/Y → DEFASAGENS PARES**

$Dd0$ - $Dd2$ - $Dd4$ - $Dd6$ - $Dd8$ - $Dd10$ E $Yy0$ - $Yy2$ - $Yy4$ - $Yy6$ - $Yy8$ - $Yy10$

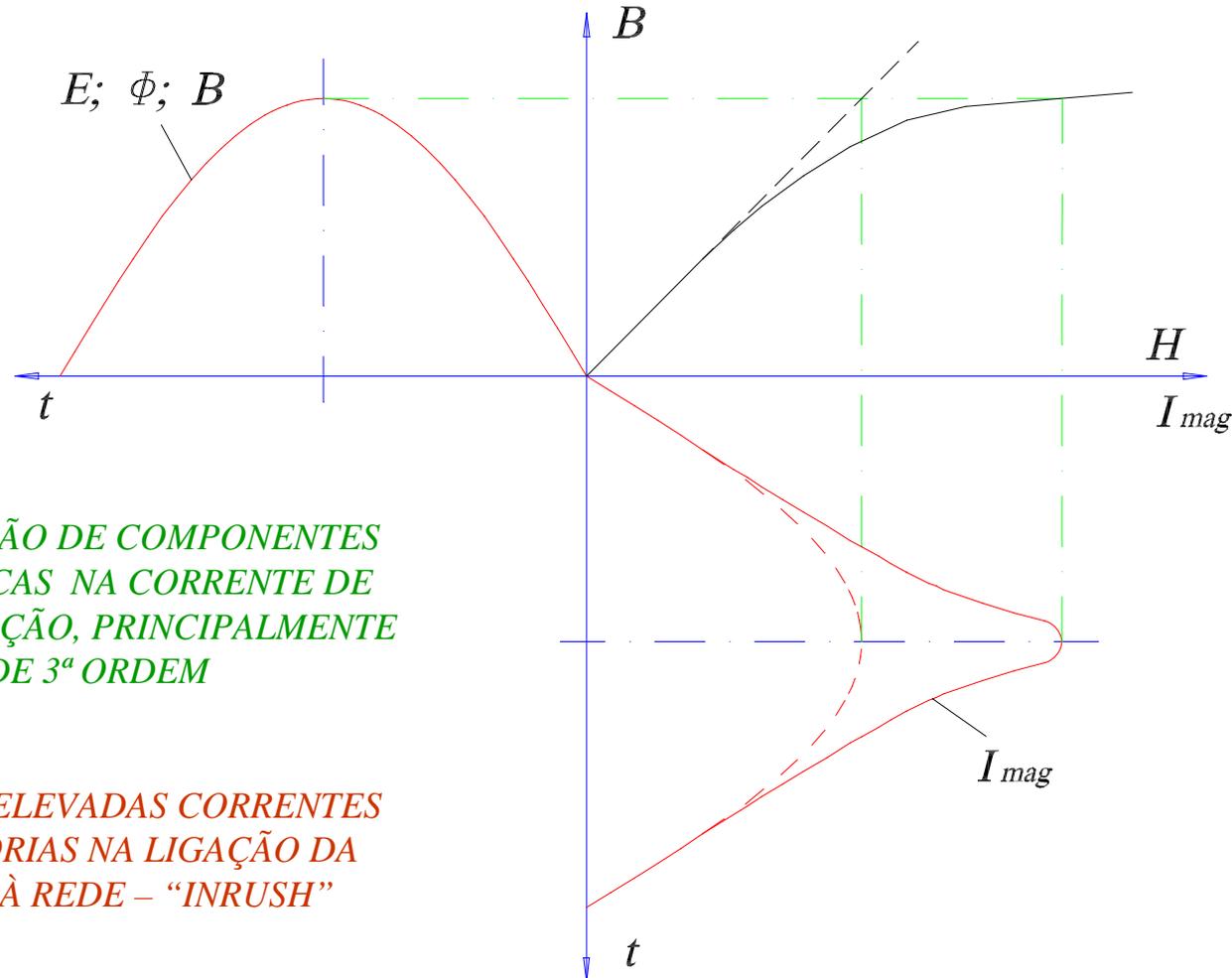
COMBINAÇÕES Δ/Y E Y/Δ → DEFASAGENS IMPARES

$Dy1$ - $Dy3$ - $Dy5$ - $Dy7$ - $Dy9$ - $Dy11$ E $Yd1$ - $Yd3$ - $Yd5$ - $Yd7$ - $Yd9$ - $Yd11$

HARMÔNICAS EM TRANSFORMADORES

EFEITOS DA SATURAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO DO CIRCUITO MAGNÉTICO:

→ **DISTORÇÃO DA FORMA DE ONDA DA CORRENTE DE EXCITAÇÃO, PARA ALIMENTAÇÃO COM TENSÃO SENOIDAL**



*INTRODUÇÃO DE COMPONENTES
HARMÔNICAS NA CORRENTE DE
MAGNETIZAÇÃO, PRINCIPALMENTE
DE 3ª ORDEM*

*PROVOCA ELEVADAS CORRENTES
TRANSITÓRIAS NA LIGAÇÃO DA
BOBINA À REDE – “INRUSH”*

CORRENTES HARMÔNICAS E DE SEQUÊNCIA ZERO EM TRANSFORMADORES

CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO → FORTE COMPONENTE DE 3ª HARMÔNICA PARA FLUXO SENOIDAL NO NÚCLEO E TENSÃO INDUZIDA SENOIDAL

NO SISTEMA TRIFÁSICO → HARMÔNICAS DE 3ª ORDEM ESTÃO EM FASE NO TEMPO E CONSTITUEM CORRENTES DE SEQUÊNCIA ZERO DE FREQUÊNCIA TRIPLA

CORRENTES DE FALTA → CURTO-CIRCUITO ASSIMÉTRICO OU CARGAS DESEQUILIBRADAS PROVOCAM CORRENTES DE SEQUÊNCIA ZERO DE FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL

CIRCULAÇÃO DE COMPONENTES DE SEQUÊNCIA ZERO → DEPENDENTE DA LIGAÇÃO DO TRANSFORMADOR

CORRENTES HARMÔNICAS E DE SEQUÊNCIA ZERO EM TRANSFORMADORES

CONEXÕES: Y / Y COM NEUTROS ISOLADOS → NÃO PROVÊM CAMINHO PARA CIRCULAÇÃO DE COMPONENTES DE CORRENTE DE SEQUÊNCIA ZERO. → RESULTA:

DISTORÇÃO DO FLUXO NO NÚCLEO EM VAZIO → TENSÕES INDUZIDAS POR FASE NÃO

SENOIDAIS (COMPONENTE DE FREQUÊNCIA TRIPLA DE TENSÃO) → FLUTUAÇÃO DO NEUTRO

FORTE DESEQUILÍBRIO DA TENSÃO DE FASE PARA OPERAÇÃO COM CARGA DESEQUILIBRADA

CONEXÕES: $\Delta / \Delta - \Delta / Y - Y / \Delta$ COM NEUTROS ISOLADOS → PERMITEM A CIRCULAÇÃO DE HARMÔNICAS DE 3ª ORDEM NO CIRCUITO FECHADO DO LADO COM LIGAÇÃO Δ . → RESULTA:

RECUPERAÇÃO DO FLUXO SENOIDAL NO NÚCLEO E DA TENSÃO DE FASE TAMBÉM SENOIDAL E

LIMITAÇÃO DA FLUTUAÇÃO DO NEUTRO

AINDA NÃO PERMITEM CIRCULAÇÃO DE CORRENTES DE SEQUÊNCIA ZERO DE FALTA →

EXCETO SE O NEUTRO ESTIVER ATERRADO E A FALTA OCORRER NO LADO CONECTADO EM Y

ENROLAMENTO TERCIÁRIO NOS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

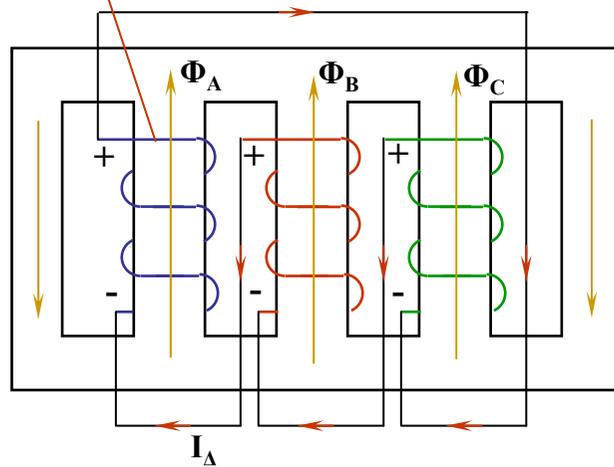
MESMO EM LIGAÇÕES QUE PERMITEM A CIRCULAÇÃO DE SEQUÊNCIA ZERO ($Y/Y - \Delta/Y - Y/\Delta$ COM NEUTRO ATERRADO) → A IMPEDÂNCIA DE SEQUÊNCIA ZERO DO TRANSFORMADOR PODE LIMITAR ESSAS CORRENTES → MANIFESTAÇÃO DOS PROBLEMAS JÁ MENCIONADOS → COMPROMETIMENTO DAS PROTEÇÕES DO SISTEMA

→ PROBLEMA MAIS GRAVE EM BANCOS TRIFÁSICOS COMPOSTOS DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS E EM TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DO TIPO ENCOURAÇADO (5 COLUNAS)

→ USO DE TRANSFORMADORES COM ENROLAMENTO TERCIÁRIO, OU ENROLAMENTO DE ESTABILIZAÇÃO

→ CONSTITUI-SE DE UM TERCEIRO ENROLAMENTO, MONTADO NAS COLUNAS JUNTO COM O 1^{ÁRIO} E O 2^{ÁRIO} E CONECTADO EM TRIÂNGULO → FORMA UM CAMINHO PARA A CIRCULAÇÃO INTERNA DE CORRENTES DE SEQUÊNCIA ZERO → IMPOSTAS PELO FLUXO HOMOPOLAR CRIADO NO NÚCLEO DO TRANSFORMADOR

ENROLAMENTO TERCIÁRIO NOS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

ENROLAMENTO TERCIÁRIO EM Δ 

→ CORRENTES DE SEQUENCIA ZERO TEM MESMA FASE NO TEMPO

→ PRODUZEM FLUXOS MAGNÉTICOS HOMOPOLARES NO NÚCLEO

→ INDUZ TENSÕES SIMULTÂNEAS NAS 3 FASES

→ TERCIÁRIO EM Δ FORMA CAMINHO FECHADO PARA CIRCULAÇÃO DE CORRENTES

→ REDUÇÃO DA IMPEDÂNCIA DE SEQUENCIA ZERO

CIRCUITOS DE SEQUENCIA ZERO COM E SEM TERCIÁRIO

