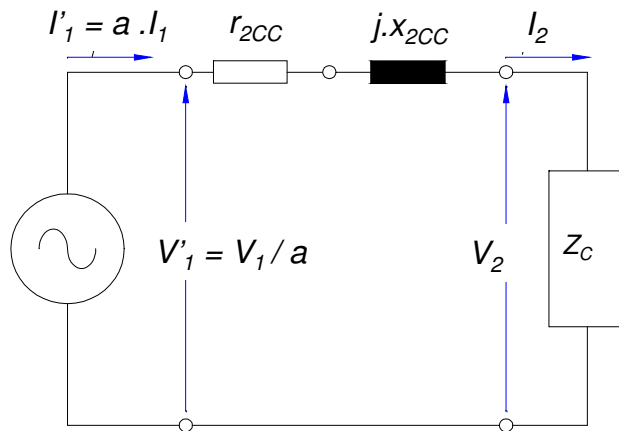


REGULAÇÃO DE TENSÃO DO TRANSFORMADOR EM CARGA

REGULAÇÃO → “VARIAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA SOB CARGA, A PARTIR DE VAZIO”

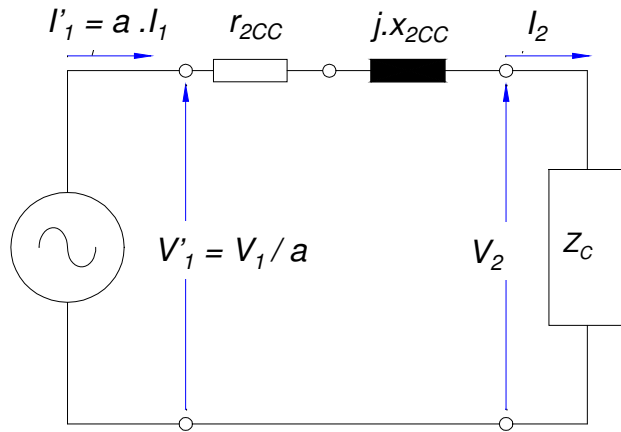
$$\text{DEFINIÇÃO FORMAL : } R = (|V_{20}| - |V_{2C}|) / |V_{2C}|$$

 V_{20} : TENSÃO SECUNDÁRIA EM VAZIO ; V_{2C} : TENSÃO SECUNDÁRIA EM CARGA


→ $V_{2C} = V_2$: TENSÃO SECUNDÁRIA IMPOSTA EM SEU VALOR NOMINAL POR V_1 PARA OPERAÇÃO SOB CARGA

→ $V_{20} = V_1 / a$: TENSÃO RESULTANTE EM VAZIO NO SECUNDÁRIO, PARA ALIMENTAÇÃO DO PRIMÁRIO COM V_1

$$R = [(V_1 / a) - V_2] / V_2$$



CIRCUITO EQUIVALENTE REFERIDO AO 2ºÁRIO

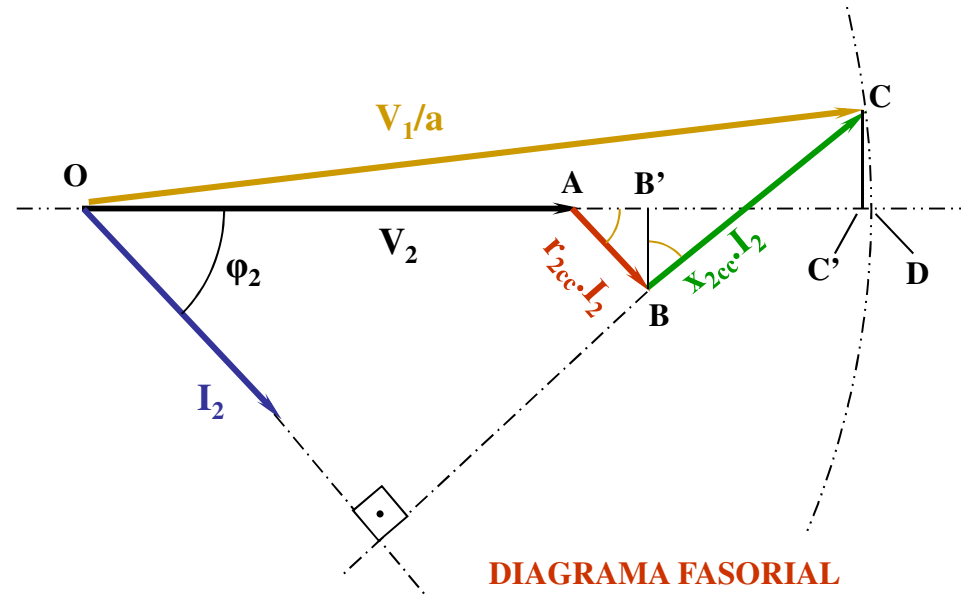


DIAGRAMA FASORIAL

$$R = \frac{|\dot{V}_1/a| - |\dot{V}_2|}{|\dot{V}_2|} = \frac{\overline{OC} - \overline{OA}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{OD} - \overline{OA}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{AD}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{AB'} + \overline{B'C'} + \overline{C'D}}{\overline{OA}}$$

PARA VALORES USUAIS DOS PARÂMETROS →

$$\frac{\overline{C'D}}{\overline{OA}} \ll 1 \cong 0$$

$$R \cong \frac{\overline{AB'} + \overline{B'C'}}{\overline{OA}} = \frac{r_{2CC} \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + x_{2CC} \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2}{V_2}$$

$$R = r_{2CC} \cdot \frac{I_2}{V_2} \cdot \cos \varphi_2 + x_{2CC} \cdot \frac{I_2}{V_2} \cdot \sin \varphi_2 = \frac{r_{2CC}}{Z_{B2}} \cdot \cos \varphi_2 + \frac{x_{2CC}}{Z_{B2}} \cdot \sin \varphi_2$$

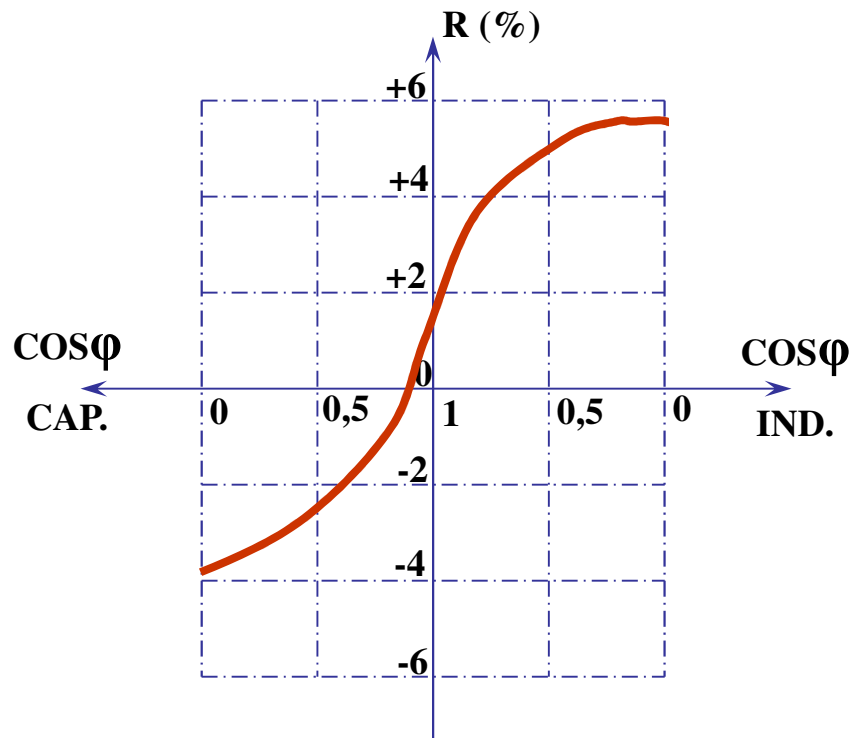
$V_2 / I_2 = Z_{B2} \rightarrow$ IMPEDÂNCIA DE BASE DO SECUNDÁRIO ; $r_{2CC} / Z_{B2} = (r_{2CC})_{p.u.}$; $x_{2CC} / Z_{B2} = (x_{2CC})_{p.u.}$

REGULAÇÃO DO TRANSFORMADOR EM p.u. \Rightarrow $R = (r_{2CC})_{p.u.} \cdot \cos \varphi_2 + (x_{2CC})_{p.u.} \cdot \sin \varphi_2$

$\cos \varphi_2 = 1 \rightarrow R = (r_{2CC})_{p.u.}$: REGULAÇÃO NUMERICAMENTE IGUAL À RESISTÊNCIA EM p.u. PARA CARGA *PURAMENTE ATIVA*

$\cos \varphi_2 = 0 \rightarrow R = (x_{2CC})_{p.u.}$: REGULAÇÃO NUMERICAMENTE IGUAL À REATÂNCIA EM p.u. PARA CARGA *PURAMENTE REATIVA*

COMPORTAMENTO DA REGULAÇÃO COM O FATOR DE POTÊNCIA DA CARGA



COS ϕ CAPACITIVO TAL QUE : $R = 0$

$$\rightarrow \phi \cong \arctg (r_{2CC} / x_{2CC})$$

VALORES USUAIS DE PARÂMETROS:

$$r_{2CC} : 0,005 - 0,03 \text{ p.u.}$$

$$x_{2CC} : 0,02 - 0,1 \text{ p.u.}$$

$$z_{2CC} = \sqrt{(r_{2CC})^2 + (x_{2CC})^2} \cong x_{2CC}$$

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 NO FERRO (revisão)

$$p_{FE} = \frac{1}{\gamma_{FE}} \cdot (k_H \cdot B_{FE}^\alpha \cdot f + k_F \cdot B_{FE}^2 \cdot f^2 \cdot e^2) \cdot G_{FE}$$

PERDA ESPECÍFICA NO FERRO (W / kg)

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_{FE} = \text{DENSIDADE DO FERRO} \\ G_{FE} = \text{MASSA DE FERRO DO NÚCLEO} \end{array} \right\}$$

PERDA POR HISTERÉSE: $p_H = \frac{G_{fe}}{\gamma_{fe}} \cdot k_H \cdot B_{fe}^\alpha \cdot f \rightarrow \alpha \cong 2 \rightarrow p_H = \frac{G_{fe}}{\gamma_{fe}} \cdot k_H \cdot B_{fe}^2 \cdot f = K \cdot B_{fe}^2$

PERDA POR CORRENTES PARASITAS: $p_F = \frac{G_{fe}}{\gamma_{fe}} \cdot k_F \cdot B_{fe}^2 \cdot f^2 \cdot e^2 = K' \cdot B_{fe}^2$

PERDA NO FERRO TOTAL: $p_{Fe-tot} = p_H + p_F = K'' \cdot B_{fe}^2$

$\rightarrow B_{fe} = \frac{\phi}{S_{fe}} \rightarrow V \approx E = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi \rightarrow B_{fe} = k \cdot V \rightarrow p_{Fe-tot} = k \cdot V^2$

PERDA NO FERRO DEPENDE APENAS DA TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO

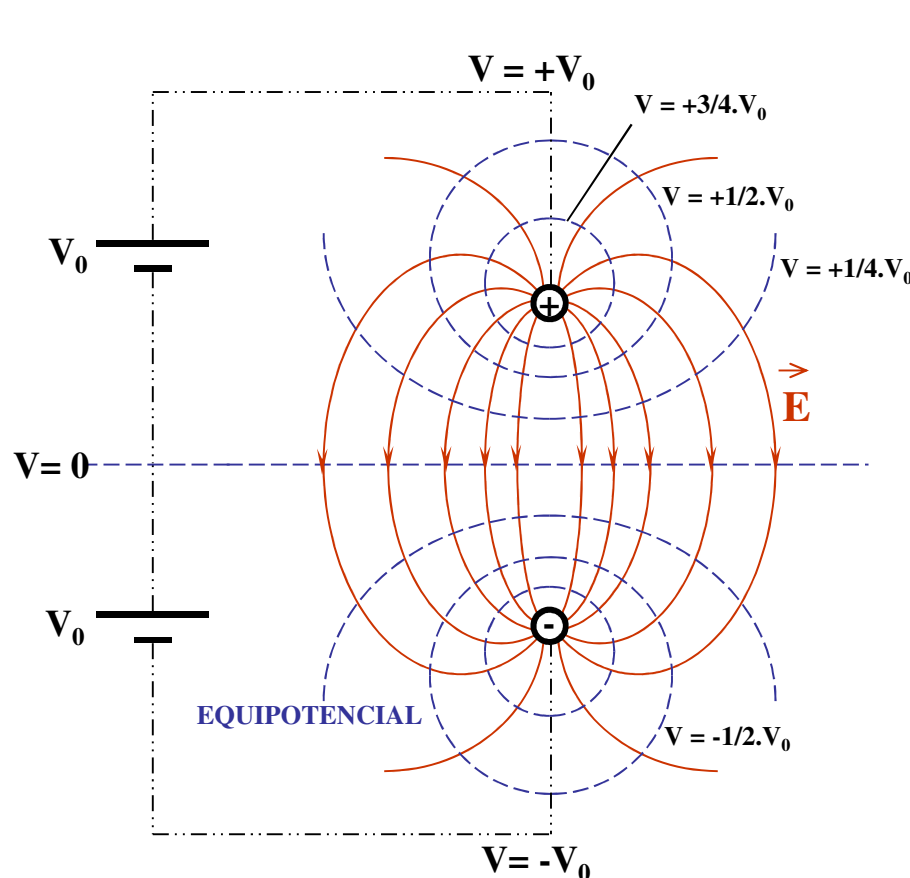
INDEPENDE PORTANTO DA CARGA DO TRANSFORMADOR \rightarrow PERDA CONSTANTE

CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS DIELÉTRICAS**O SISTEMA ISOLANTE – MATERIAIS DIELÉTRICOS**

CONDUTORES SUBMETIDOS A DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO “V” [V] IMPOSTA POR FONTES ADEQUADAS:

→ **AFLUXO DE CARGAS ELÉTRICAS DE SINAIS OPOSTOS ACUMULADAS NO MATERIAL DE CADA CONDUTOR**

→ **ESTABELECIMENTO DE CAMPO ELÉTRICO “E” [V/m] NO ESPAÇO EM TORNO DOS CONDUTORES**



$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l} \Rightarrow \vec{E} = -\text{grad} \cdot \vec{V}$$

RELAÇÃO ENTRE POTENCIAL E CAMPO ELÉTRICO É NO CASO GERAL COMPLEXA

→ **DETERMINAÇÃO ANALÍTICA É POSSÍVEL EM CASOS DE GEOMETRIAS SIMPLES**

→ **PLACAS PARALELAS AFASTADAS DE DISTÂNCIA “d”**

$$\rightarrow E = V / d \rightarrow E = k \cdot V$$

RELAÇÃO ENTRE CARGAS ELÉTRICAS ACUMULADAS E O POTENCIAL QUE AS ESTABELECE DEFINE :

→ **CAPACITÂNCIA DO SISTEMA:**

$$C = q / V = \epsilon \cdot f(\text{GEOMETRIA}) = \epsilon \cdot (A_{\text{eq}} / d_{\text{eq}}) \quad [\text{F}]$$

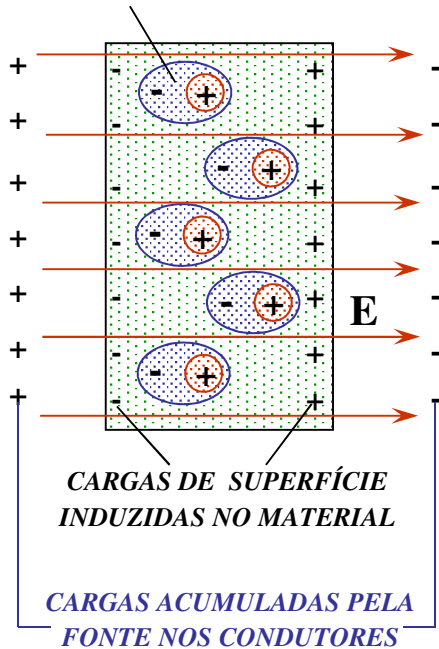
ϵ : PERMISSIVIDADE OU CONSTANTE DIELÉTRICA DO MEIO

$$\text{PARA O VÁCUO: } \epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\text{PARA ÓLEO MINERAL: } \epsilon \sim 4,5 \cdot \epsilon_0$$

RESPOSTA DOS MATERIAIS DIELÉTRICOS NA PRESENÇA DE CAMPO ELÉTRICO

ESTRUTURAS MOLECULARES DO MATERIAL POLARIZADAS



POLARIZAÇÃO :

DESLOCAMENTO DOS CENTROS DE CARGA ATÔMICOS OU MOLECULARES DO MATERIAL

MATERIAL DIELÉTRICO SUBMETIDO A CAMPO ELÉTRICO EXTERNO “E” :

→ POLARIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS MOLECULARES DO MATERIAL

→ FORMAÇÃO DE DIPOLos ELÉTRICOS NO MEIO MATERIAL

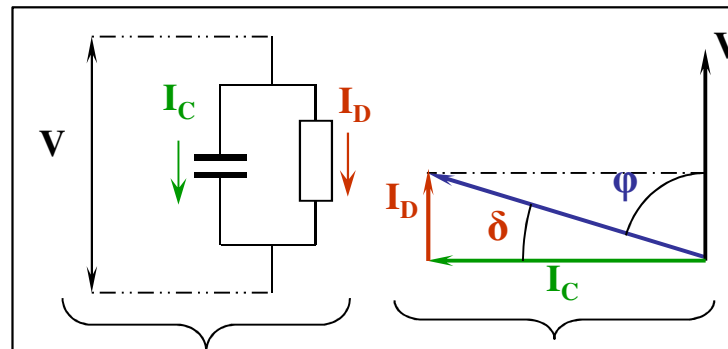
SISTEMA ISOLANTE SOB TENSÃO ALTERNADA (CAMPO ELÉTRICO VARIÁVEL) :

POLARIZAÇÃO CÍCLICA DO MEIO ISOLANTE

→ CORRENTES DE DESLOCAMENTO DE REGIME

→ ABSORÇÃO DE CORRENTE CAPACITIVA - I_C

→ MANIFESTAÇÃO DE PERDAS DIELÉTRICAS → CORRENTE ATIVA DE PERDAS - I_D



MODELO APROXIMADO DO SISTEMA ISOLANTE

DIAGRAMA DE FASORES DO SISTEMA ISOLANTE

C: CAPACITÂNCIA EQUIVALENTE DO SISTEMA ISOLANTE

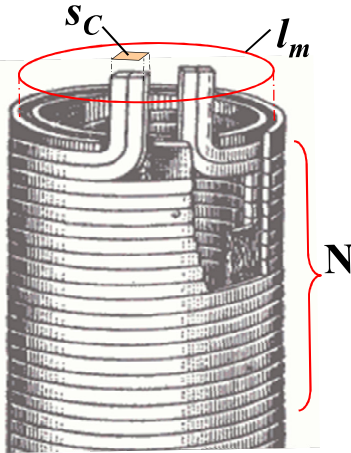
R_D : RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE PERDAS DIELÉTRICAS

$$I_D = V / R_D ; I_C = V / X_C = V \cdot \omega \cdot C$$

FATOR DE PERDAS DIELÉTRICAS: $I_D / I_C = \tan \delta$

PERDA DIELÉTRICA: $P_d = \frac{V^2}{R_D} = k \cdot V^2$

PERDA DIELÉTRICA DEPENDE APENAS DA TENSÃO → PERDA CONSTANTE

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

RENDIMENTO DO TRANSFORMADOR \rightarrow PERDAS JOULE REFERIDAS A UMA TEMPERATURA PADRÃO: 75°C OU 90°C

EXEMPLO: { RESISTÊNCIA ÔHMICA MEDIDA A 25°C: $R_{25} = 0,0150 \Omega$ $\rightarrow I = 600 \text{ A}$ $\rightarrow P_J = 5400 \text{ W}$

{ RESISTÊNCIA ÔHMICA REFERIDA A 75°C: $R_{75} = 0,0179 \Omega$ $\rightarrow I = 600 \text{ A}$ $\rightarrow P_J = 6440 \text{ W}$ \rightarrow 19,3% MAIOR !!

$P_J = k \cdot I^2$ \rightarrow PERDA JOULE FUNÇÃO DA CORRENTE \rightarrow DEPENDE DA CARGA \rightarrow PERDA VARIÁVEL

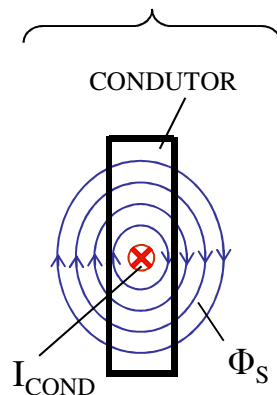
CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS SUPLEMENTARES – RESISTÊNCIAS EM C.A.

EFEITOS ADICIONAIS DA CORRENTE – ADENSAMENTO NAS EXTREMIDADES DO CONDUTOR

CONDUTOR CONDUZINDO CORRENTE ALTERNADA (I_{COND}):

- FLUXO MAGNÉTICO ALTERNADO DISTRIBUÍDO DENTRO E FORA DO CONDUTOR, “NORMAL” AO PLANO DO MESMO (Φ_S)
- **VARIAÇÃO DO FLUXO NO TEMPO** → TENSÕES INDUZIDAS AO LONGO DO CONDUTOR (LEI DE FARADAY)
- CORRENTES INDUZIDAS IMPOSTAS NO PLANO DO CONDUTOR, EM OPOSIÇÃO À VARIAÇÃO DO FLUXO (LEI DE LENZ) (I_{IND})

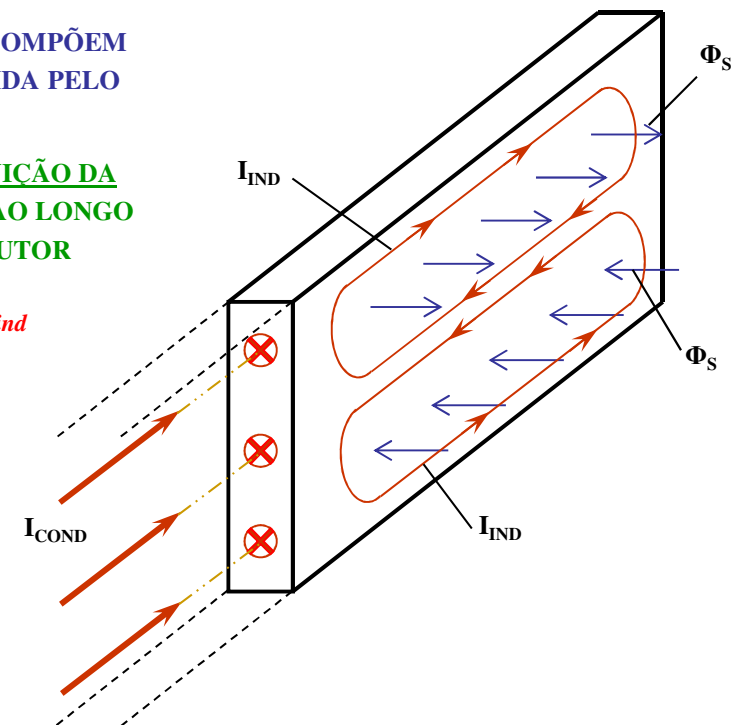
DISTRIBUIÇÃO “APROXIMADA” DO FLUXO
CRIADO PELA PRÓPRIA CIRCULAÇÃO DA
CORRENTE NO CONDUTOR



CORRENTES INDUZIDAS SE COMPÕEM
COM A CORRENTE CONDUZIDA PELO
CONDUTOR

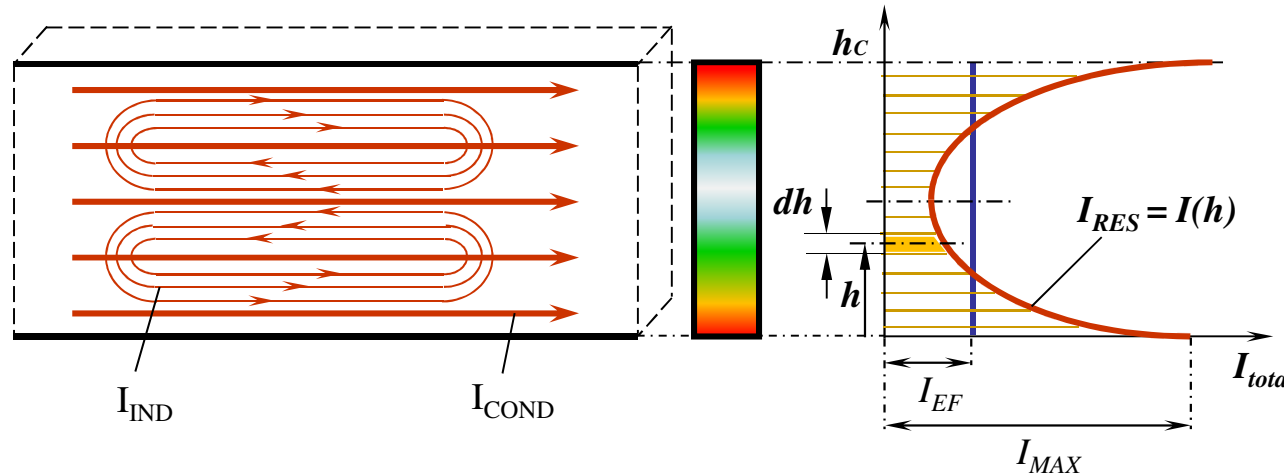
→ DISTORÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA
CORRENTE RESULTANTE AO LONGO
DA SEÇÃO DO CONDUTOR

$$\rightarrow I_{total} = I_{cond} + I_{ind}$$



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

CORRENTE ADENSADA NO CONDUTOR → MAIOR CONCENTRAÇÃO NAS EXTREMIDADES



DISTRIBUIÇÃO DA CORRENTE AO LONGO DA ALTURA DO CONDUTOR

→ AFETA A DISTRIBUIÇÃO DA PERDA JOULE NO CONDUTOR

PERDA JOULE SEM ADENSAMENTO: $p_{Jdc} = r_{dc} \cdot I_{EF}^2$

r_{dc} : RESISTÊNCIA “DC” DO CONDUTOR - $r_{dc}/h \rightarrow$ “densidade de resistência do condutor”

PARA CORRENTE CONTÍNUA IGUAL À CORRENTE ALTERNADA EM VALOR EFICAZ ($I_{dc} = I_{ac} = I_{ef}$) → $P_{jac} > P_{jdc}$

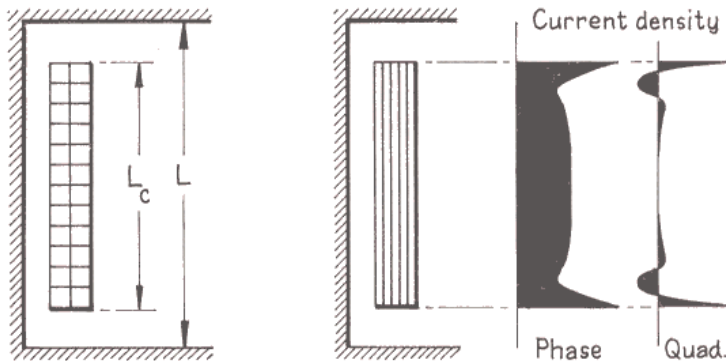
$$p_{Jac} = \int_0^{h_c} \frac{r_{dc}}{h} \cdot I^2(h) \cdot dh = r_{ac} \cdot I_{EF}^2 > p_{Jdc}$$

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

PERDA JOULE COM ADENSAMENTO DE CORRENTE

r_{ac} : RESISTÊNCIA APARENTE EM “AC”

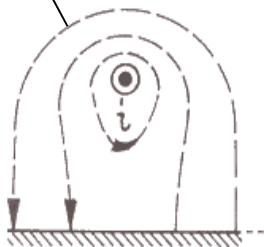
ρ_c : RESISTIVIDADE DO MATERIAL DO CONDUTOR - $g(h)$: FUNÇÃO COMPLEXA DA GEOMETRIA DO CONDUTOR



ADENSAMENTO DA DENSIDADE DE CORRENTE VARIA EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NA BOBINA E DA CONSTRUÇÃO DA MESMA

→ INTENSA NAS BOBINAS FEITAS EM FOLHA CONDUTORA CONTÍNUA

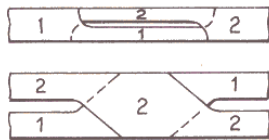
FLUXO DISPERSO IMERSO NA ESTRUTURA



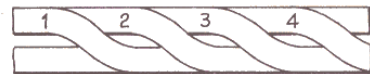
PARTE ESTRUTURAL EM MATERIAL FERROMAGNÉTICO

CORRENTES INDUZIDAS NA ESTRUTURA DO TRANSFORMADOR:

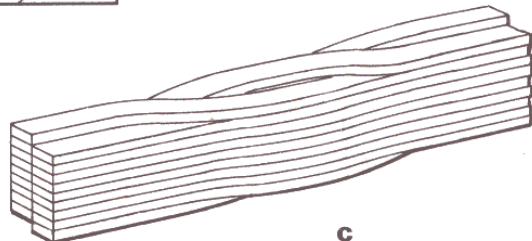
- BOBINAS GERAM FLUXO DISPERSO (FORA DO NÚCLEO)
- CONDUTORES, CABOS OU BARRAS DE CONEXÃO PRODUZEM FLUXO MAGNÉTICO NO SEU ENTORNO
- FLUXOS ENLACAM PARTES ESTRUTURAIS EM MATERIAL FERROMAGNÉTICO, COMO TANQUE, VIGAS DE APERTO, TIRANTES DE FIXAÇÃO, ETC
- FLUXOS ALTERNATIVOS CONCATENADOS NA ESTRUTURA INDUZEM CORRENTES PARASITAS
- GERAÇÃO DE PERDAS POR EFEITO JOULE NESSAS PARTES



a



b



c

ADENSAMENTO DE CORRENTE NOS CONDUTORES E CORRENTES INDUZIDAS NA ESTRUTURA MECÂNICA → CARACTERIZADAS COMO PERDAS SUPLEMENTARES

$$P_{supl} = k \cdot I^2 \rightarrow \text{PERDAS VARIÁVEIS COM A CARGA}$$

MECANISMOS PARA LIMITAR EFEITOS DO ADENSAMENTO:

- SUBDIVISÃO DE CONDUTORES DE SECÇÃO 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]**

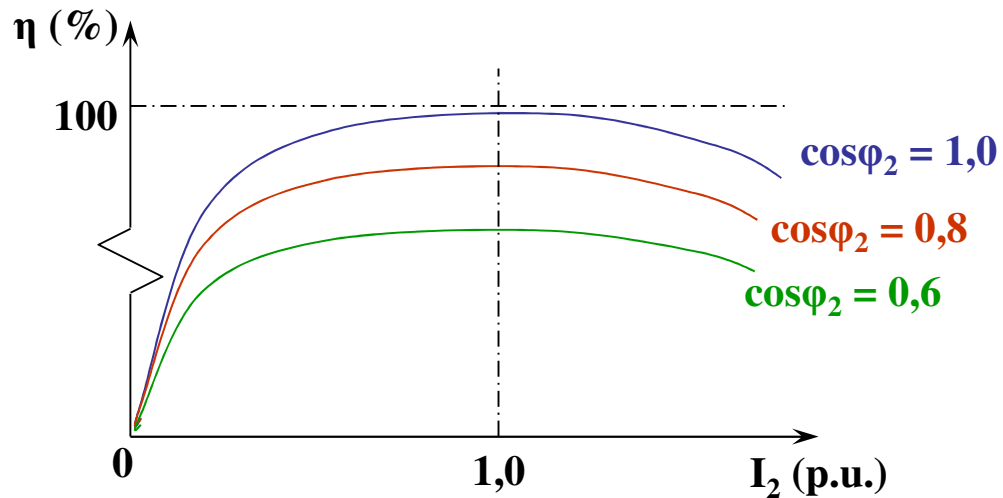
$$\eta = P_U / P_{ABS} = P_U / (P_U + \Sigma p) = P_U / (P_U + p_C + p_V)$$

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

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

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

COMPORTAMENTO DO RENDIMENTO COM A CARGA DO TRANSFORMADOR E COM O FATOR DE POTÊNCIA



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

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

→ EXISTE PORTANTO UM PONTO DE MÁXIMO

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

PREFERENCIALMENTE PARA: $I_2 \cong I_{2N}$

(QUANDO O TRANSFORMADOR OPERA COM CARGA CONSTANTE AO LONGO DO TEMPO)

CONDIÇÃO DE MÁXIMO RENDIMENTO NO TRANSFORMADOR:

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

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

$$\frac{df(I_2)}{dI_2} = \frac{d}{dI_2} \left(\frac{p_{FE}}{V_2 \cdot \cos\phi_2} \cdot \frac{1}{I_2} + \frac{r_{2cc}}{V_2 \cdot \cos\phi_2} \cdot I_2 \right) = 0 \rightarrow -\frac{1}{I_2^2} \cdot \frac{p_{FE}}{V_2 \cdot \cos\phi_2} + \frac{r_{2cc}}{V_2 \cdot \cos\phi_2} = 0$$

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

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

CONDIÇÃO DE PERDA CONSTANTE = PERDA VARIÁVEL GARANTE RENDIMENTO MÁXIMO EM QUALQUER FATOR DE POTÊNCIA DA CARGA

\rightarrow PARA FATOR DE POTÊNCIA UNITÁRIO O RENDIMENTO SERÁ O MÁXIMO ABSOLUTO

CARGA VARIÁVEL NO TEMPO (tipicamente transformadores de distribuição) :

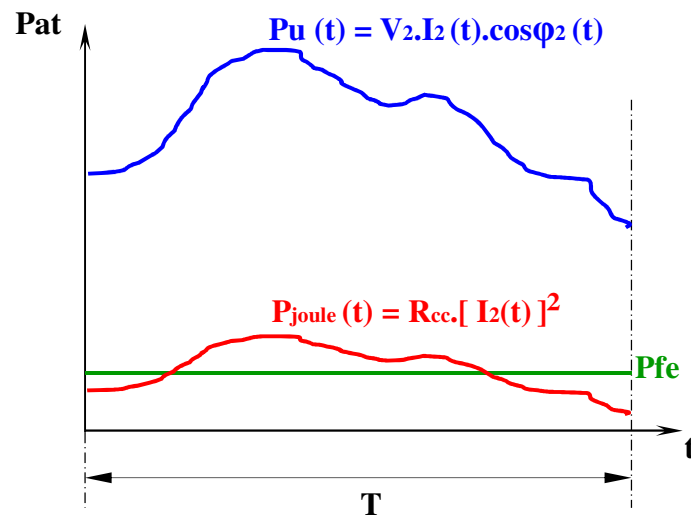
→ **OBJETIVA-SE MINIMIZAR A POTÊNCIA DE PERDAS AO LONGO DO TEMPO**

→ **RENDIMENTO EM ENERGIA**

E_{FORN} : ENERGIA FORNECIDA NUM PERÍODO T

E_{ABS} : ENERGIA ABSORVIDA NO MESMO PERÍODO T

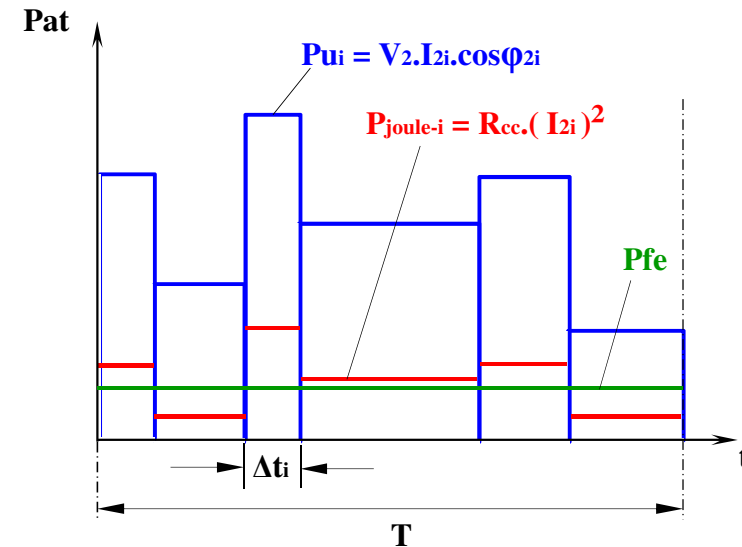
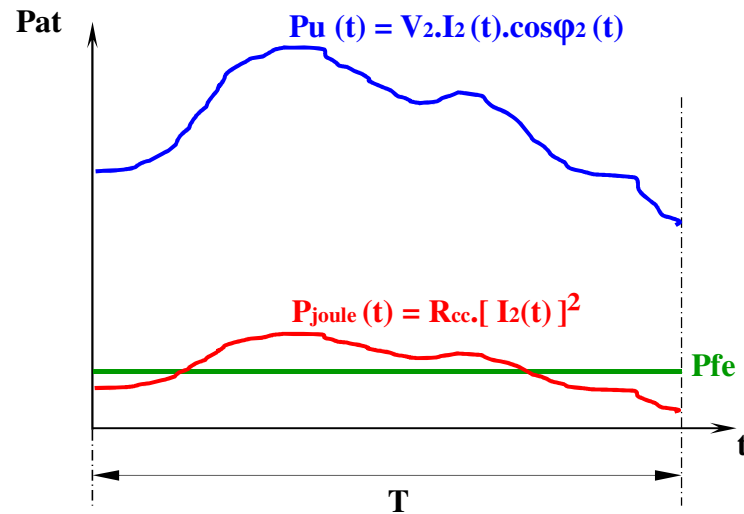
$$\rightarrow \eta_E = E_{\text{FORN}} / E_{\text{ABS}}$$



ANDAMENTO GENÉRICO, AO LONGO DO TEMPO, DAS POTÊNCIAS ÚTIL ENTREGUE À CARGA E DA PERDAS CORRESPONDENTES

T: PERÍODO EM QUE O PERFIL DE CARGA SE REPETE (24 horas tipicamente para distribuição)

RENDIMENTO EM ENERGIA $\rightarrow \eta_e = \frac{\text{ENERGIA FORNECIDA NO PERÍODO } T}{\text{ENERGIA ABSORVIDA NO MESMO } T}$



$$\eta_e = \frac{\int_0^T P_u(t) \cdot dt}{\int_0^T P_u(t) \cdot dt + P_{fe} \cdot T + \int_0^T P_{joule}(t) \cdot dt}$$

$$\eta_e = \frac{V_2 \cdot \int_0^T I_2(t) \cdot \cos\varphi_2(t) \cdot dt}{V_2 \cdot \int_0^T I_2(t) \cdot \cos\varphi_2(t) \cdot dt + P_{fe} \cdot T + V_2 \cdot \int_0^T R_{cc} \cdot I_2^2(t) \cdot dt}$$

$$\eta_e = \frac{\sum_i P_{ui} \cdot \Delta t_i}{\sum_i P_{ui} \cdot \Delta t_i + P_{fe} \cdot T + \sum_i P_{joulei} \cdot \Delta t_i}$$

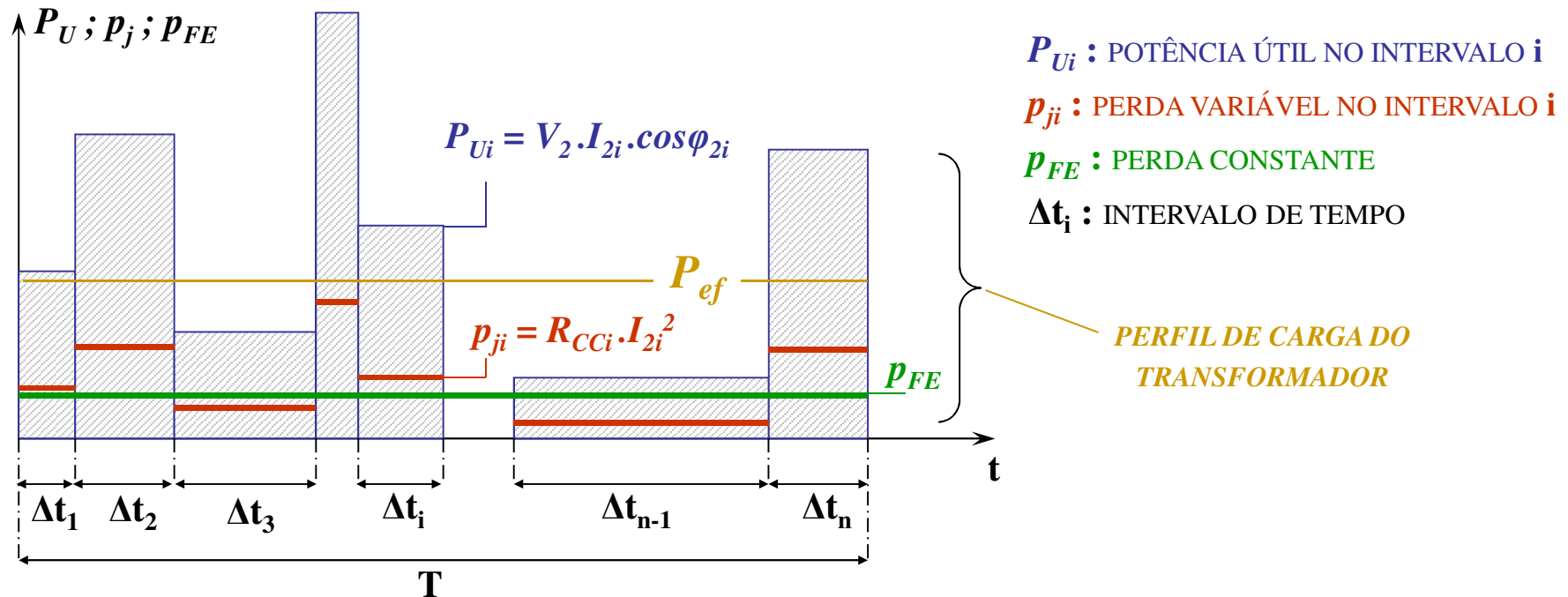
$$\eta_e = \frac{V_2 \sum_i I_{2i} \cdot \cos\varphi_{2i} \cdot \Delta t_i}{V_2 \sum_i I_{2i} \cdot \cos\varphi_{2i} \cdot \Delta t_i + P_{fe} \cdot T + \sum_i R_{cc} \cdot I_{2i}^2 \cdot \Delta t_i}$$

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

$$P_{EF} < P_N$$

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

CARACTERIZAÇÃO DA POTÊNCIA EFICAZ NO PERÍODO, PARA CARGA VARIÁVEL NO TEMPO



PERDA JOULE (VARIÁVEL COM A CARGA) → $p_{Vi} = r_2 \cdot I_{2i}^2 = r_2 \cdot \left(\frac{P_{U_i}}{V_2 \cdot \cos \varphi_{2i}} \right)^2 = k \cdot P_{U_i}^2$

POTÊNCIA EFICAZ → POTÊNCIA CONTÍNUA EQUIVALENTE QUE PRODUZ A MESMA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA DO REGIME REAL INTERMITENTE → MESMA PERDA MÉDIA → MESMA ENERGIA TÉRMICA

ENERGIA DAS PERDAS DO REGIME
REAL INTERMITENTE

ENERGIA DAS PERDAS DO REGIME
CONTÍNUO EQUIVALENTE

$$p_{FE} \cdot T + k \cdot \sum P_{Ui}^2 \cdot \Delta t_i = p_{FE} \cdot T + k \cdot P_{ef}^2 \cdot T$$

POTÊNCIA EFICAZ DO
REGIME INTERMITENTE

$$P_{ef} = \sqrt{\frac{\sum P_{Ui}^2 \cdot \Delta t_i}{T}}$$

TRANSFORMADOR PARA REGIME INTERMITENTE OU VARIÁVEL

→ DIMENSIONADO PELA POTÊNCIA EFICAZ