

PARTE 2

REGULADORES DE INDUÇÃO

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

DIVERSOS SISTEMAS INDUSTRIAIS OU DO SISTEMA ELÉTRICO DEMANDAM VARIAÇÃO E / OU REGULAÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO

→ SISTEMAS TÉRMICOS DE AQUECIMENTO CONTROLADO:

FORNOS PARA FABRICAÇÃO DE VIDRO – ATÉ 6 MW – 10 kA – TENSÕES VÁRIÁVEIS ENTRE 120 E 250 V
FUSÃO DE SAIS DE SÓDIO, LÍTIO E ENXOFRE NA INDÚSTRIA QUÍMICA - ATÉ 1,5 MW - 400 A 600 V

→ ELETRÓLISE E GALVANOPLASTIA:

ELETRODEPOSIÇÃO DE METAIS - ATÉ 400 kW - 0 A 500 V
FABRICAÇÃO DE CAPACITORES - ATÉ 400 kW - 0 A 500 V

→ LABORATÓRIOS DE ENSAIOS DE MOTORES, TRANSFORMADORES E CABOS DE FORÇA:

POTÊNCIAS ATÉ 3.500 kVA - TENSÕES VARIÁVEIS DE 0 A 1200 V

→ ESTABILIZAÇÃO DE TENSÃO EM RAMAIS INDUSTRIAIS OU INSTALAÇÕES DE GRANDE PORTE:

POTÊNCIAS ATÉ 2.000 kVA - TENSÕES DE SAÍDA REGULADAS ENTRE 400 E 500 V

→ REGULADORES DE TENSÃO EM LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIAS DE 13,8 kV

POTÊNCIAS ATÉ 3.000 kVA - TENSÕES REGULADAS NA FAIXA DE 13.800 V \pm 15%

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

APLICAÇÕES TÍPICAS SE CARACTERIZAM POR:

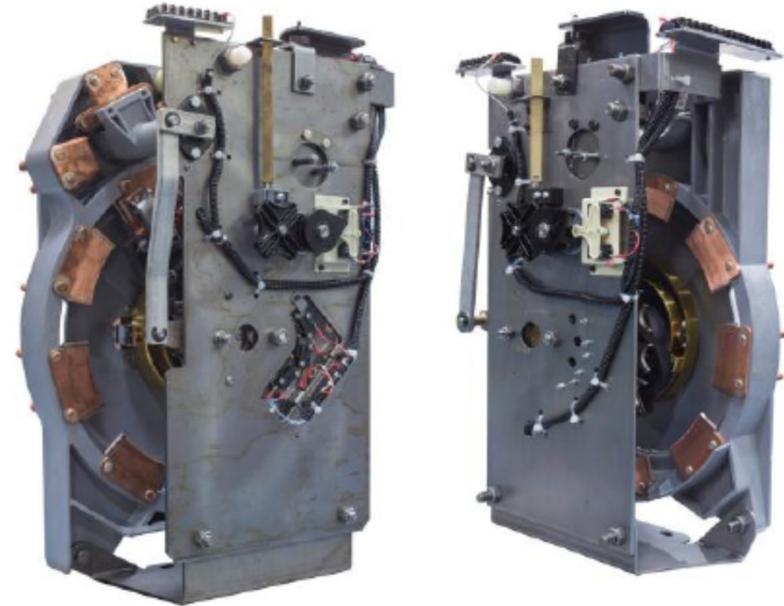
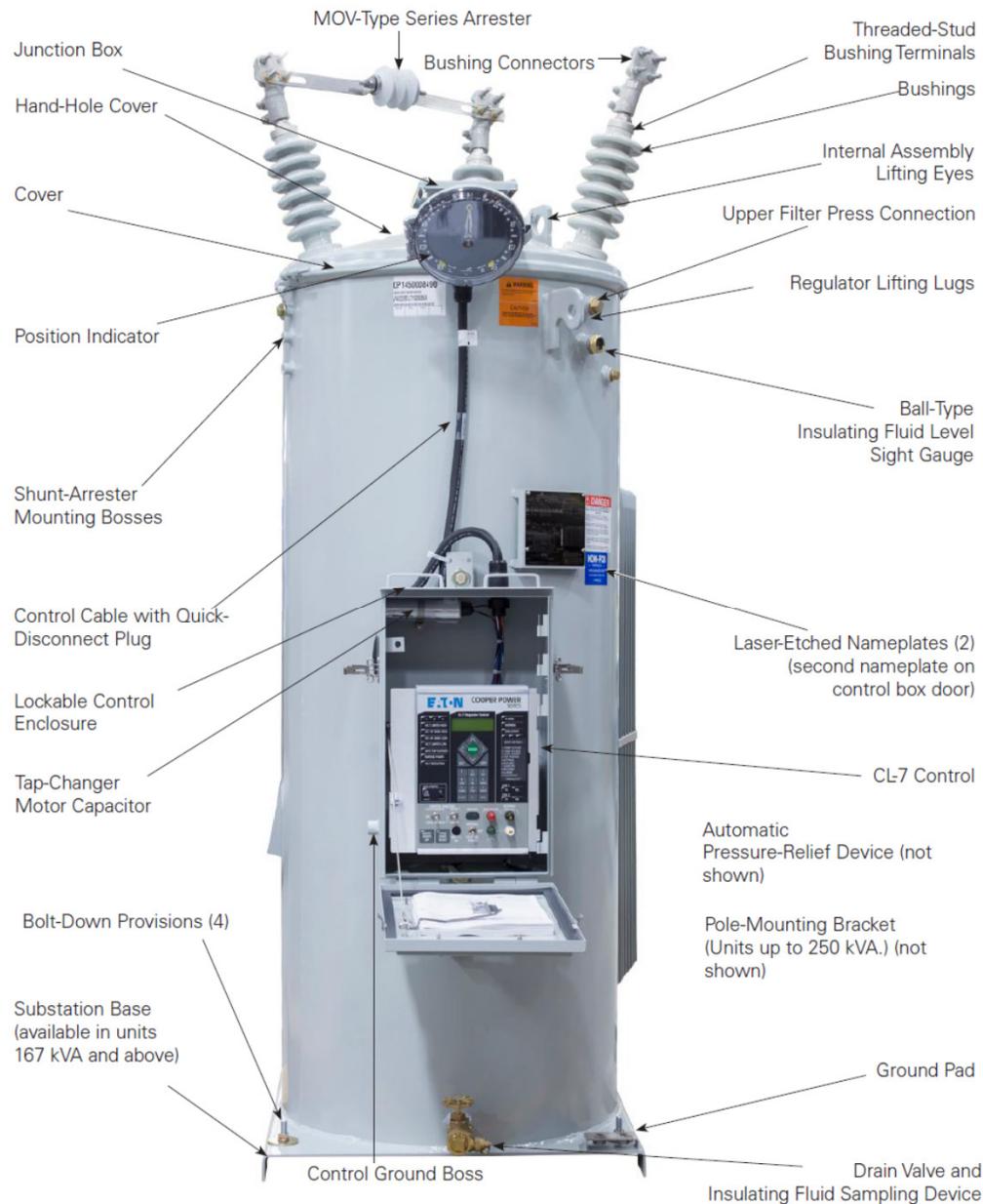
- NECESSIDADE DE VARIAÇÃO CONTÍNUA DA TENSÃO DE SAÍDA
- LARGA FAIXA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA, A PARTIR DE TENSÃO DE ENTRADA CONSTANTE
- ELEVADA POTÊNCIA – DE CENTENAS ATÉ MILHARES DE kW
- ROBUSTEZ E CONFIABILIDADE
- SUJEIÇÃO A SOBRECARGAS E EVENTUAIS CURTO-CIRCUITOS

TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA O CUMPRIMENTO DAS FUNÇÕES REQUERIDAS:

- VARIADORES DE DERIVAÇÕES COMUTÁVEIS SOB CARGA
- VARIADORES DE ESCOVAS DESLIZANTES TRANSVERSAIS “VARIAC”
- VARIADORES DE ESCOVAS DESLIZANTES HELICOIDAIS “VARIVOLT”
- TRANSFORMADORES ASSOCIADOS A RECORTADORES DE TENSÃO ESTÁTICOS
- VARIADORES DE INDUÇÃO

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

SISTEMAS ALTERNATIVOS DE REGULAÇÃO DE TENSÃO

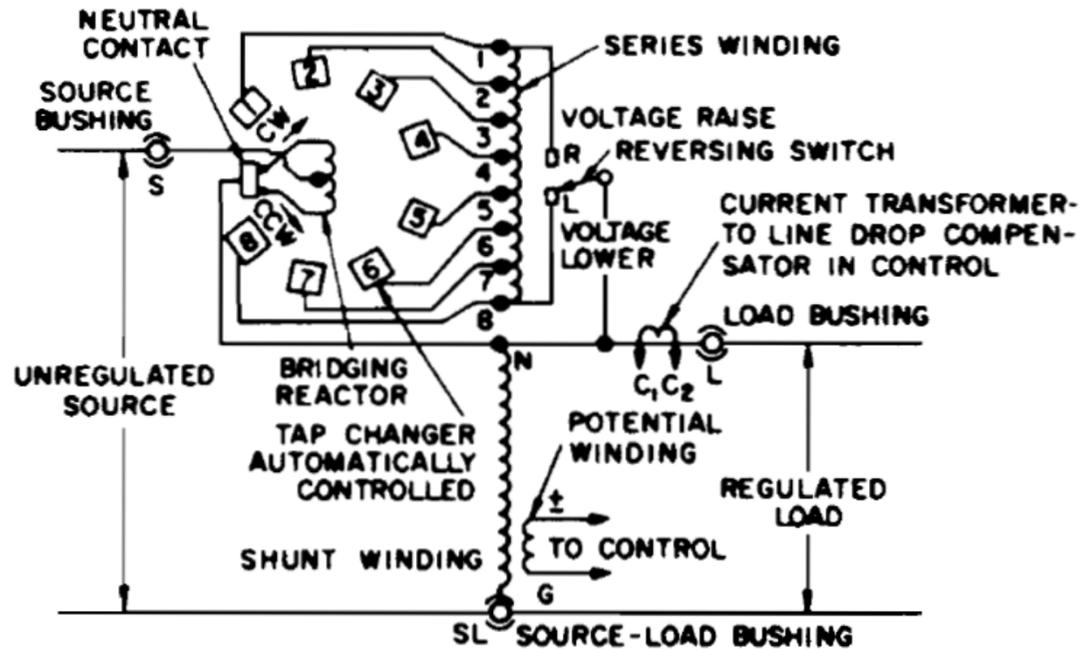


REGULADOR DE DERIVAÇÕES COMUTÁVEIS SOB CARGA

APLICAÇÃO TÍPICA NA REGULAÇÃO DE TENSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

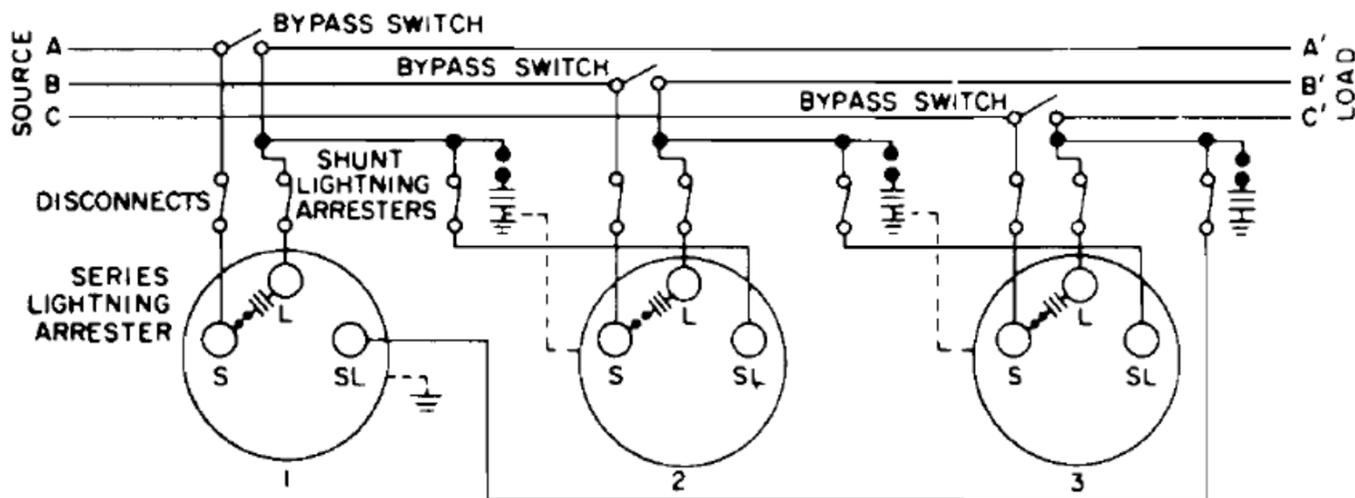
PEA - 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

SISTEMAS ALTERNATIVOS DE REGULAÇÃO DE TENSÃO



REGULADOR DE DERIVAÇÕES
COMUTÁVEIS SOB CARGA

ESQUEMA GERAL DO SISTEMA



REGULAÇÃO DE SISTEMA
TRIFÁSICO COM TRÊS
UNIDADES MONOFÁSICAS

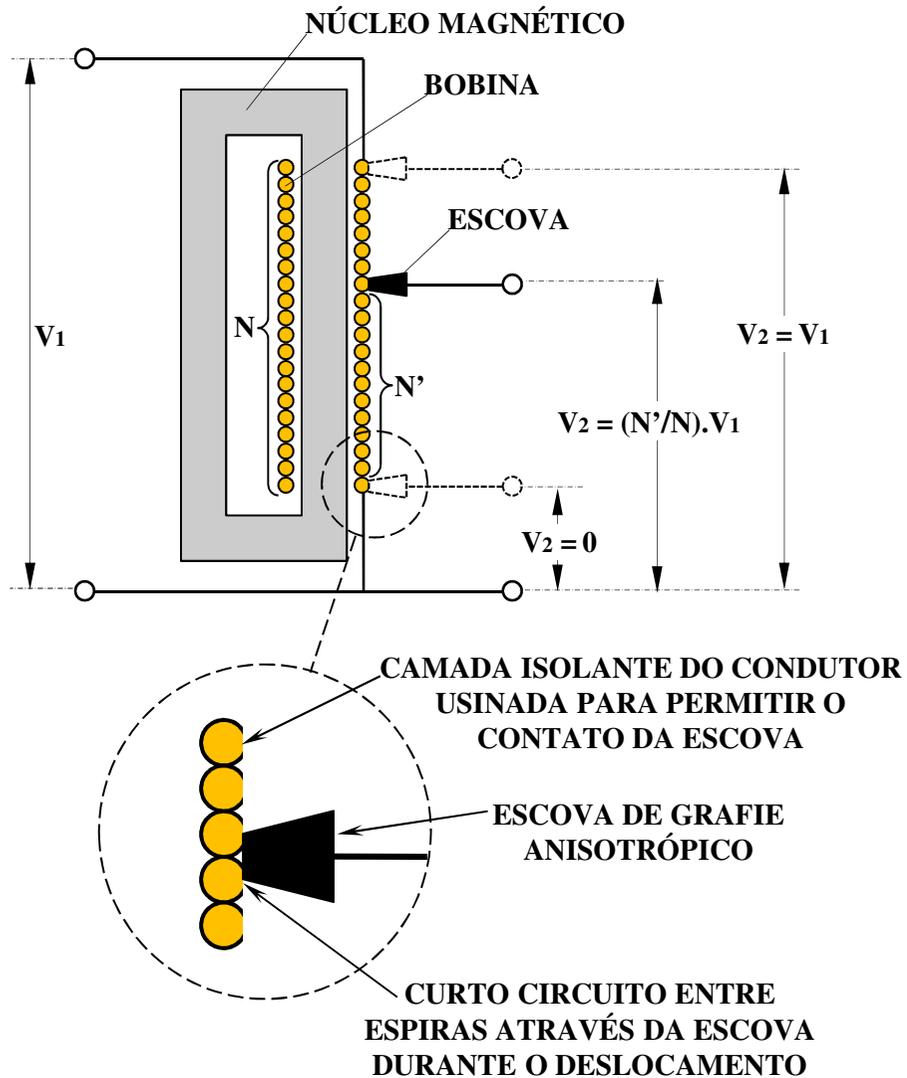
PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

PROBLEMAS ASSOCIADOS À OPERAÇÃO DO REGULADOR COM COMUTADOR SOB CARGA:

- VARIAÇÃO EM DEGRAU (Não é problema crítico na aplicação em geral)
- FAIXA DE VARIAÇÃO ESTREITA DE TENSÃO (Usualmente $\pm 10\%$)
- DESGASTE DOS CONTATOS DEVIDO A UM CERTO GRAU DE CENTELHAMENTO NAS COMUTAÇÕES
- TRANSITÓRIOS DE COMUTAÇÃO DURANTE A MUDANÇA DE DERIVAÇÃO
- RETARDO NA ATUAÇÃO PARA EVITAR COMUTAÇÕES EM VARIAÇÕES DE CURTA DURAÇÃO
- VIDA LIMITADA (Notadamente em sistemas em que a variação de tensão é muito frequente → geração distribuída)
- CUSTO OPERACIONAL ELEVADO EM SISTEMAS COM COMUTAÇÃO MUITO FREQUENTE
- DETERIORAÇÃO DOS CONTATOS NA OCORRÊNCIA DE CURTO-CIRCUITOS

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

VARIADOR DE ESCOVAS DESLIZANTES TRANSVERSAIS – “VARIAC”:



CARACTERÍSTICAS DO VARIADOR DE ESCOVAS:

- **VARIAÇÃO PRATICAMENTE CONTÍNUA**
- **LARGA FAIXA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO**
- **BAIXA CAPACIDADE DE SOBRECARGA**
- **BAIXA CAPACIDADE DE CURTO CIRCUITO**
- **EM GERAL, LIMITADO A BAIXAS POTÊNCIAS**

PROBLEMAS ASSOCIADOS AO VARIADOR:

- **CURTO CIRCUITO ENTRE ESPIRAS DURANTE O DESLOCAMENTO DA ESCOVA – LIMITADO PELA RESISTÊNCIA TRANSVERSAL DA ESCOVA**
- **OPERAÇÃO POR LONGO TEMPO EM UMA MESMA POSIÇÃO PROVOCA AQUECIMENTO LOCALIZADO NAS ESPIRAS EM CONTATO E DEPRESSÃO NA SUPERFÍCIE DA BOBINA**
- **MANUTENÇÃO FREQUENTE / BAIXA ROBUSTEZ**

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

SISTEMAS ALTERNATIVOS DE REGULAÇÃO DE TENSÃO

SCHÉMA V3

Circuit magnétique

- 1 _ culasse supérieure
- 2 _ culasse inférieure
- 3 _ noyau

Paliers

- 4 _ supérieur de guidage
- 5 _ inférieur de butée

Enroulement

- 6 _ primaire

Enroulement de réglage

- 7 _ demi-supérieur
- 8 _ sortie
- 9 _ curseur
- 10 _ glissière
- 11 _ couronne
- 12 _ frotteur
- 13 _ demi-inférieur
- 14 _ sortie
- 15 _ curseur
- 16 _ glissière
- 17 _ couronne
- 18 _ frotteur

Tête de commande

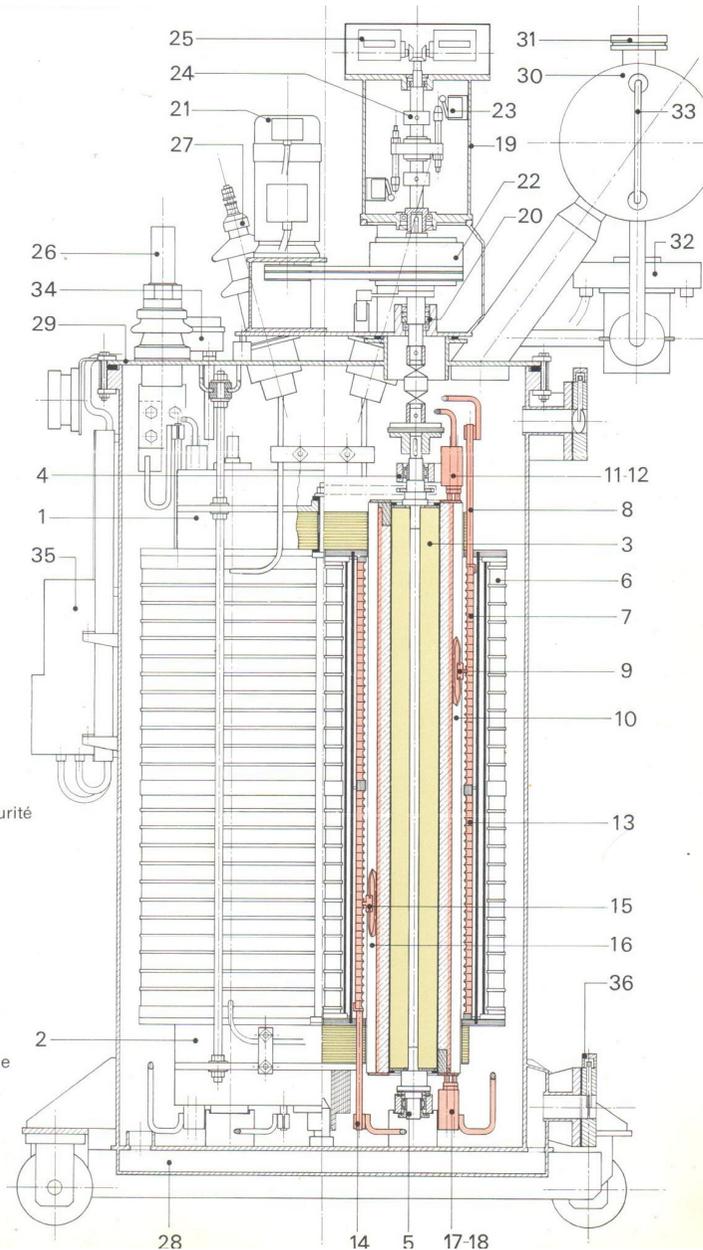
- 19 _ carter
- 20 _ joints d'étanchéité
- 21 _ moteur frein
- 22 _ poulie réductrice
- 23 _ contacts de fin de course
- 24 _ butées mécaniques de sécurité
- 25 _ compteurs

Bornes

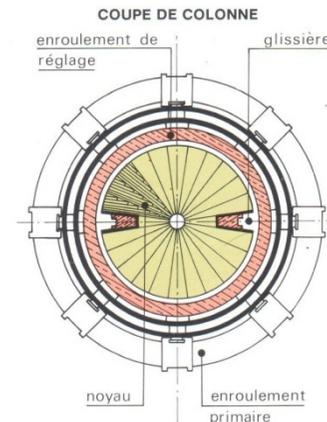
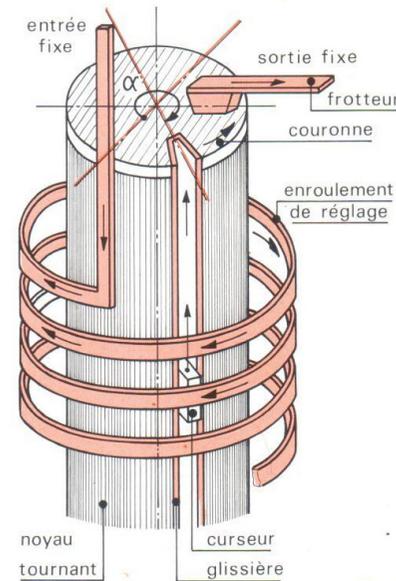
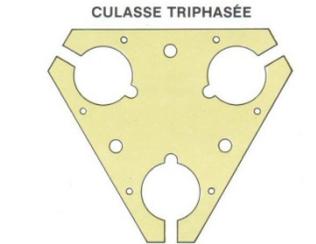
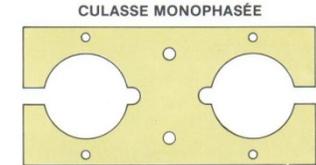
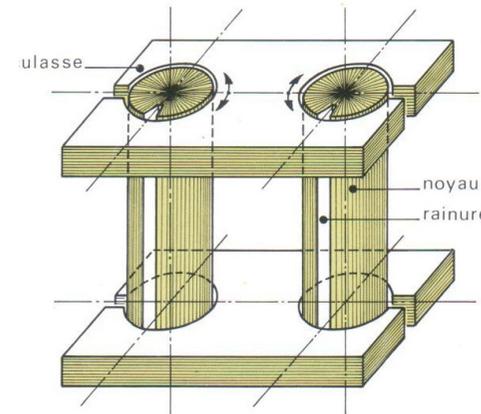
- 26 _ B.T.
- 27 _ H.T.

Cuve

- 28 _ avec châssis et galets orientables
- 29 _ plateau
- 30 _ réservoir d'expansion
- 31 _ soupape d'explosion
- 32 _ relais Buchholz
- 33 _ indicateur de niveau d'huile
- 34 _ thermostats "alarme" et "déclanchement"
- 35 _ coffret bornier
- 36 _ vannes d'arrêt d'huile.



REGULADOR COM ESCOVAS DE DESLOCAMENTO HELICOIDAL "VARIVOLT"



PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO VARIADOR DE ESCOVAS DE DESLOCAMENTO HELICOIDAL - “VARIVOLT” :

- VARIAÇÃO CONTÍNUA DA TENSÃO DE SAÍDA
- LARGA FAIXA DE VARIAÇÃO
- DESGASTE DOS CONTATOS A LONGO PRAZO
- CONSTRUÇÃO COMPLEXA
- EM GERAL CONSTRUÍDO PARA BAIXAS TENSÕES E ELEVADAS CORRENTES DE SAÍDA
- FLUÊNCIA DO COBRE DO CONDUTOR PARA OPERAÇÃO PROLONGADA NA MESMA TENSÃO
- DETERIORAÇÃO DOS CONTATOS NA OCORRÊNCIA DE CURTO-CIRCUITOS



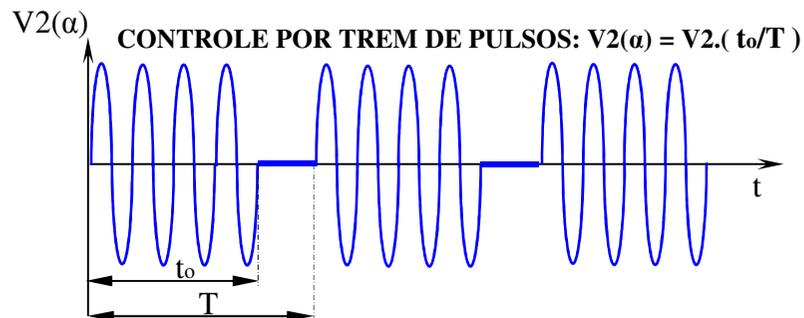
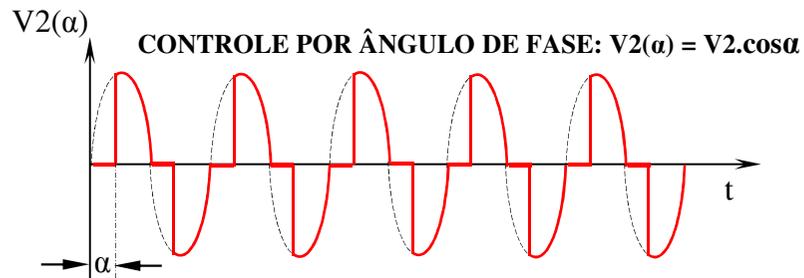
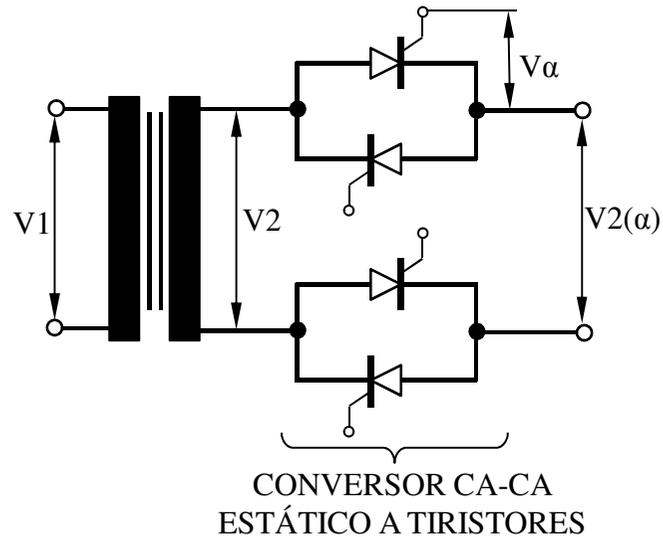
EXEMPLO DE FALHA NO

CONTATO ESCOVA / BOBINA

DO REGULADOR “VARIVOLT”

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

VARIADORES ESTÁTICOS BASEADOS EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA



CARACTERÍSTICAS DO VARIADOR RECORTADOR DE TENSÃO

→ VARIAÇÃO CONTÍNUA DA TENSÃO DE SAÍDA

→ LARGA FAIXA DE VARIAÇÃO

→ GERAÇÃO DE HARMÔNICOS DE TENSÃO

→ REDUZIDA CAPACIDADE DE CURTO CIRCUITO

→ FATOR DE POTÊNCIA REDUZIDO NO CONTROLE POR
ÂNGULO DE FASE

→ EVENTUAL CINTILAÇÃO ("FLICKER") NO CONTROLE POR

TREM DE PULSOS

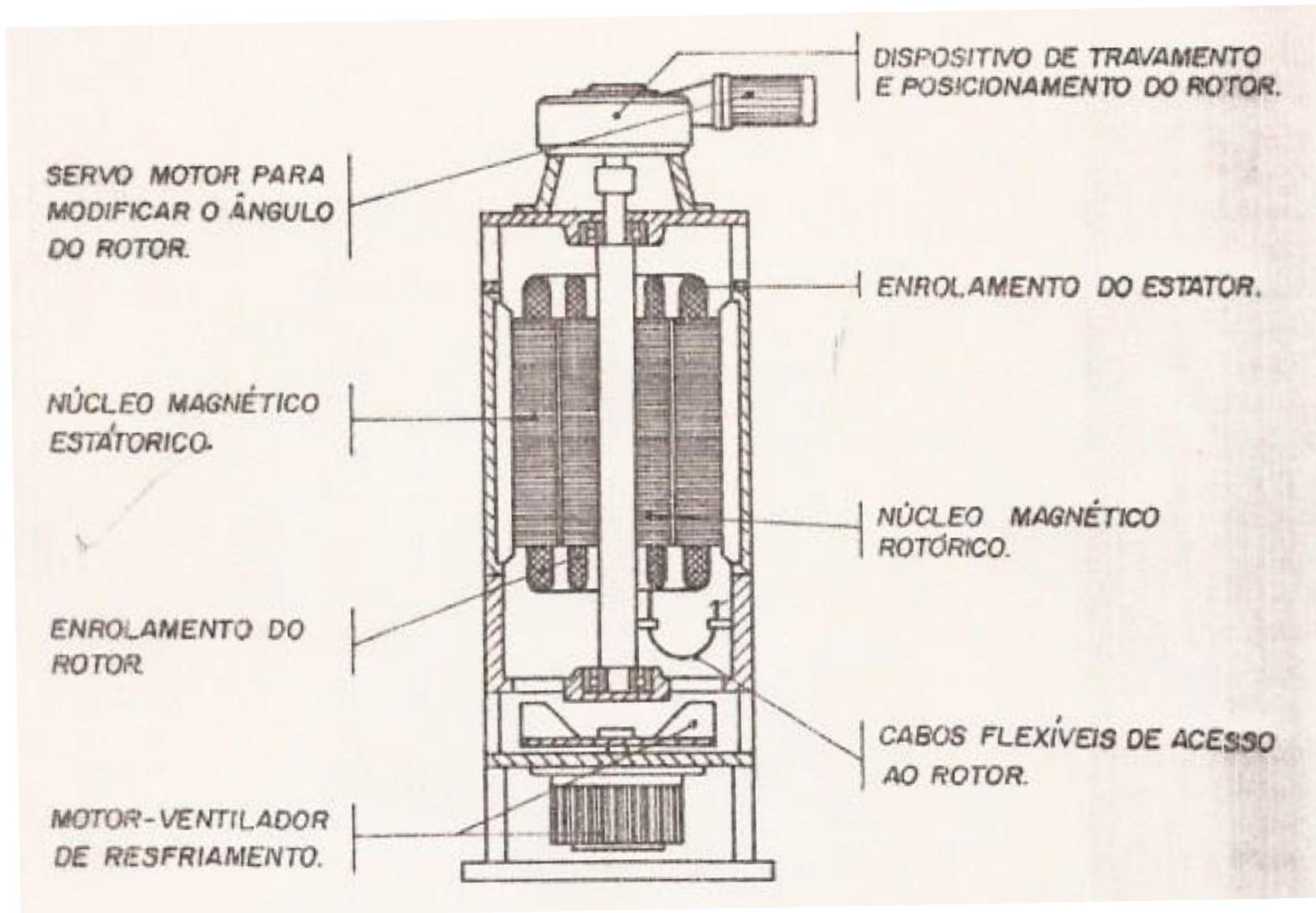
→ FALHAS FREQUENTES DAS CHAVES ELETRÔNICAS

VARIADOR DE TENSÃO DE INDUÇÃO

- VARIAÇÃO CONTÍNUA DA TENSÃO DE SAÍDA
- LARGA FAIXA DE VARIAÇÃO (Usualmente variação de zero ao dobro da tensão de entrada)
- INEXISTÊNCIA DE CONTATOS OU ESCOVAS DE QUALQUER NATUREZA
- CONSTRUÇÃO SIMILAR À MÁQUINA DE INDUÇÃO DE ROTOR BOBINADO
- ELEVADA CAPACIDADE DE SOBRECARGA E DE CURTO CIRCUITO
- POTÊNCIAS ATÉ 10 MVA – TENSÕES ATÉ 13,8 kV
- PRESENÇA DE ENTREFERRO – MAIOR CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO
- COMPETITIVO COM OS OUTROS EQUIPAMENTOS PARA POTÊNCIAS MÉDIAS E ELEVADAS

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

CORTE TÍPICO DE REGULADOR DE INDUÇÃO RESFRIADO A AR



PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

CONSTRUÇÃO DO REGULADOR DE INDUÇÃO

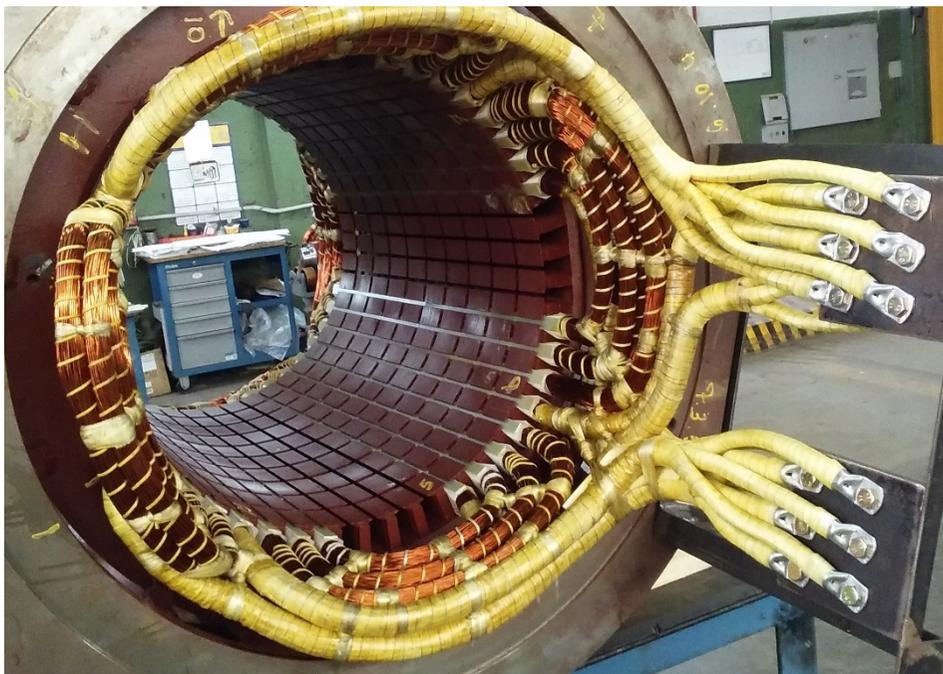


ESTATOR COM AS LÂMINAS DO
NÚCLEO MAGNÉTICO MONTADAS



NÚCLEO DO ROTOR PREPARADO
PARA O PROCESSO DE ENROLAMENTO

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO



REGULADOR MONOFÁSICO EM
BANHO DE ÓLEO PARA ELEVADA
CORRENTE DE SAÍDA – 6500 A

ESTATOR COM
ENROLAMENTO
CONCLUÍDO

ROTOR COM ENROLAMENTO
CONCLUÍDO



PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

REGULADOR MONOFÁSICO EM BANHO DE ÓLEO: 50 / 250V – 6.500 A - BANCO 3 ϕ – 4.600 kVA



REGULADOR TRIFÁSICO RESFRIADO A AR: 0 / 760V – 1.500 A - 2.000 kVA

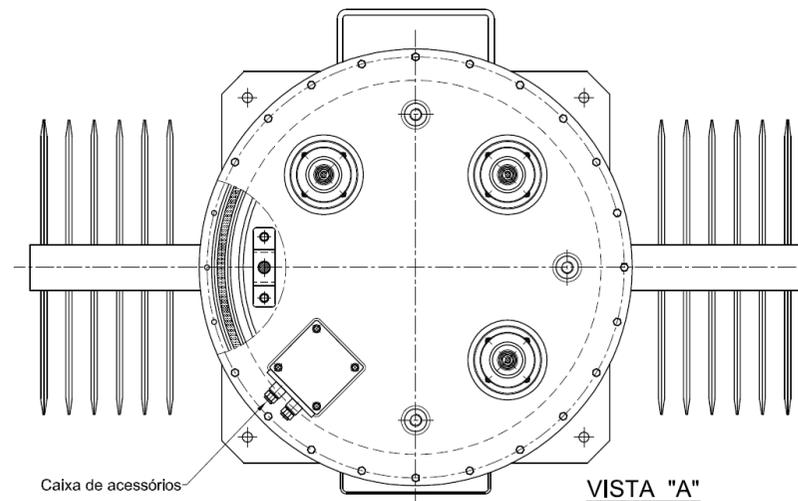
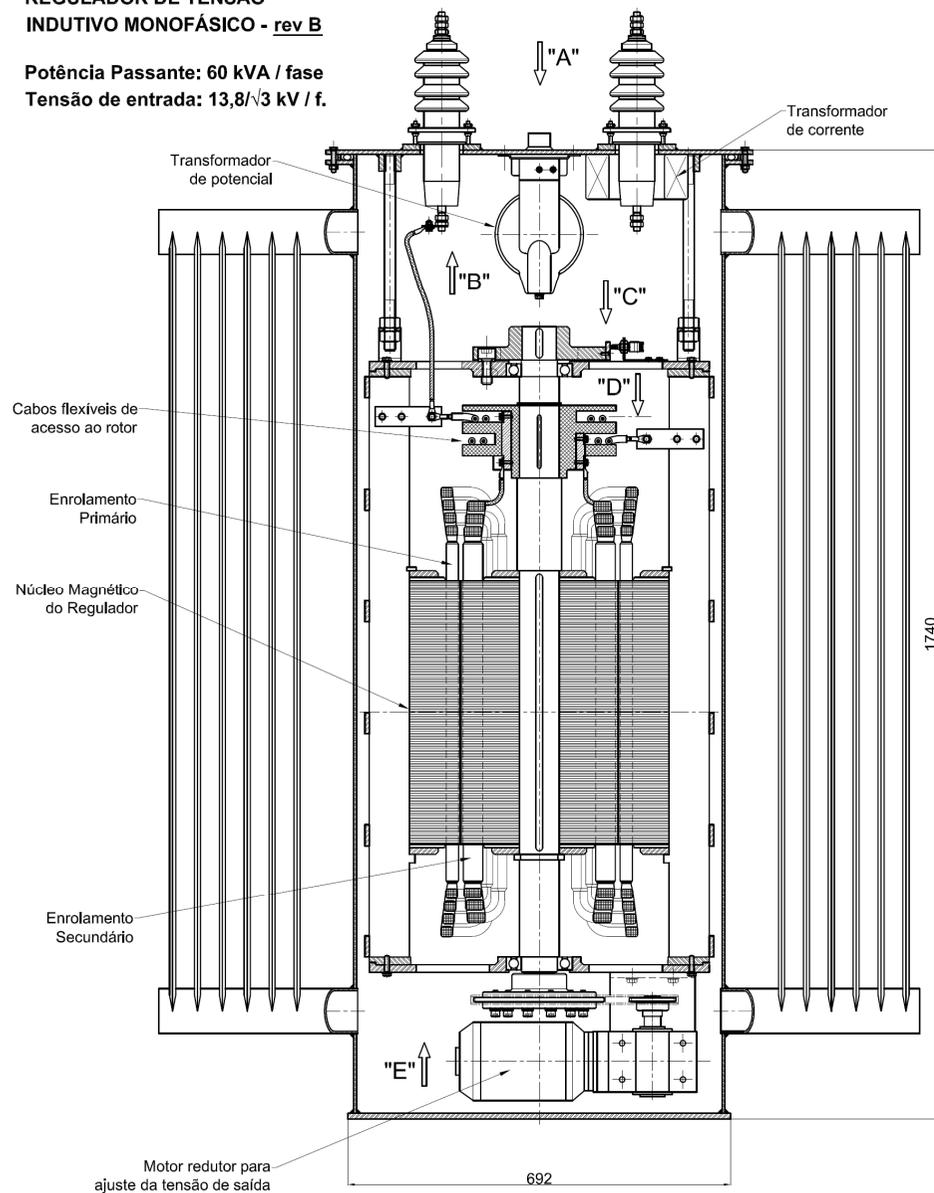


PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

REGULADOR MONOFASICO PROPOSTO PARA REGULAÇÃO DE TENSÃO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM MÉDIA TENSÃO

REGULADOR DE TENSÃO
INDUTIVO MONOFÁSICO - rev B

Potência Passante: 60 kVA / fase
Tensão de entrada: $13,8/\sqrt{3}$ kV / f.



POTÊNCIA TOTAL: 1.200 kVA EM BANCO TRIFÁSICO

TENSÃO 13,8 kV

FAIXA DE REGULAÇÃO DA TENSÃO: $\pm 15 \%$

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

REGULADOR MONOFÁSICO PARA REGULAÇÃO DE TENSÃO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM MÉDIA TENSÃO - PROJETO EPUSP / EDP / ANEEL



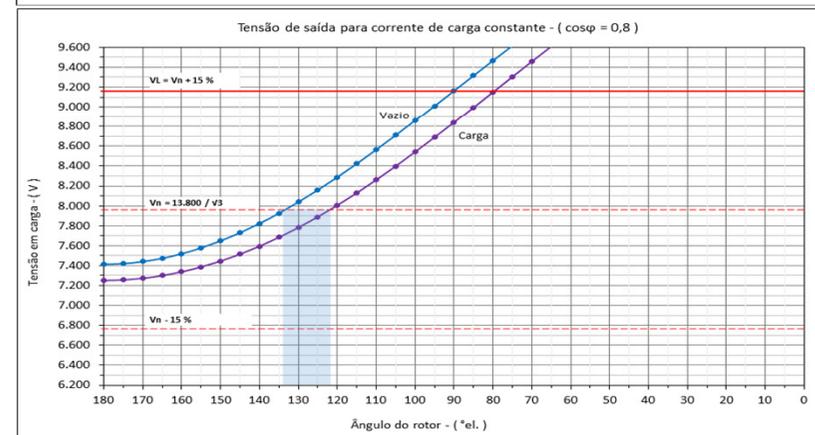
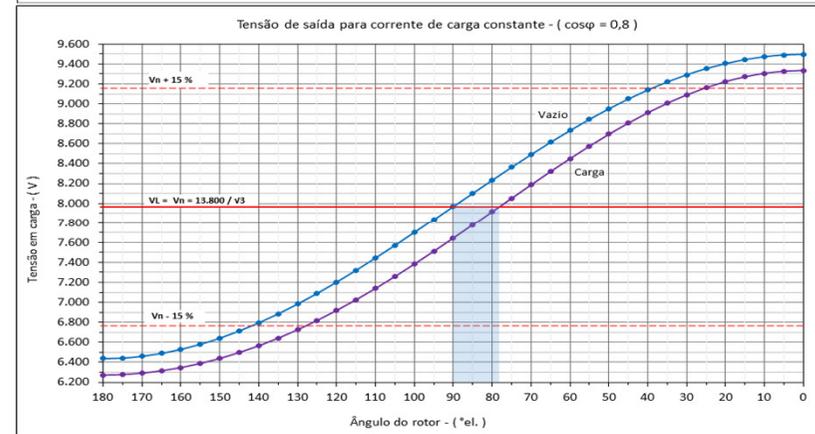
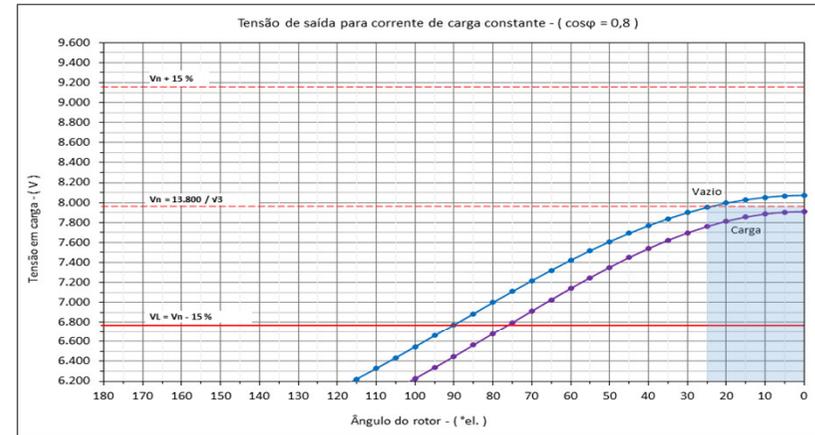
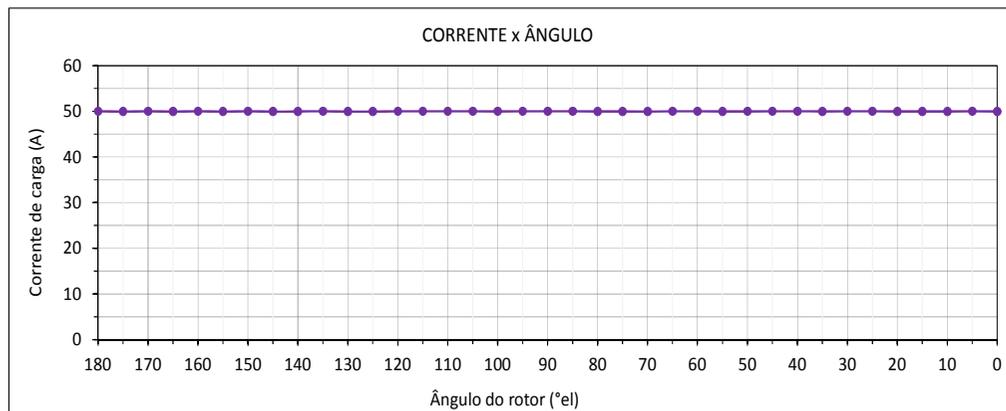
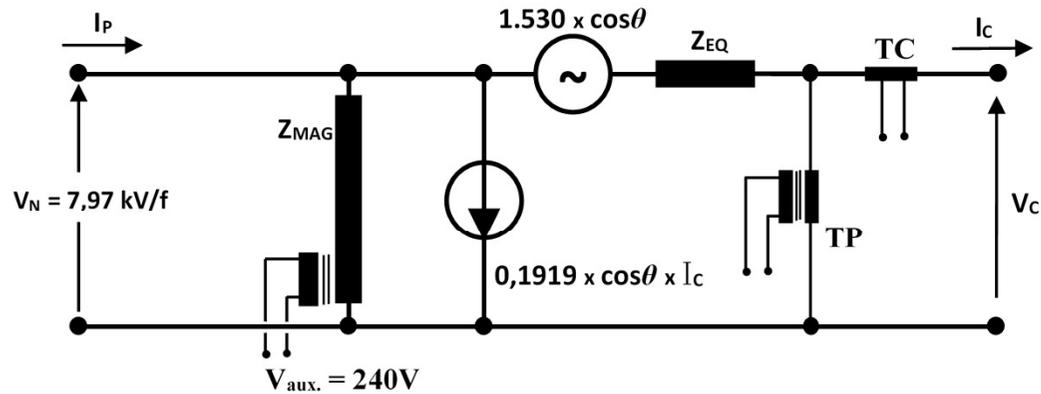
PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

MODELO DE CIRCUITO EQUIVALENTE E

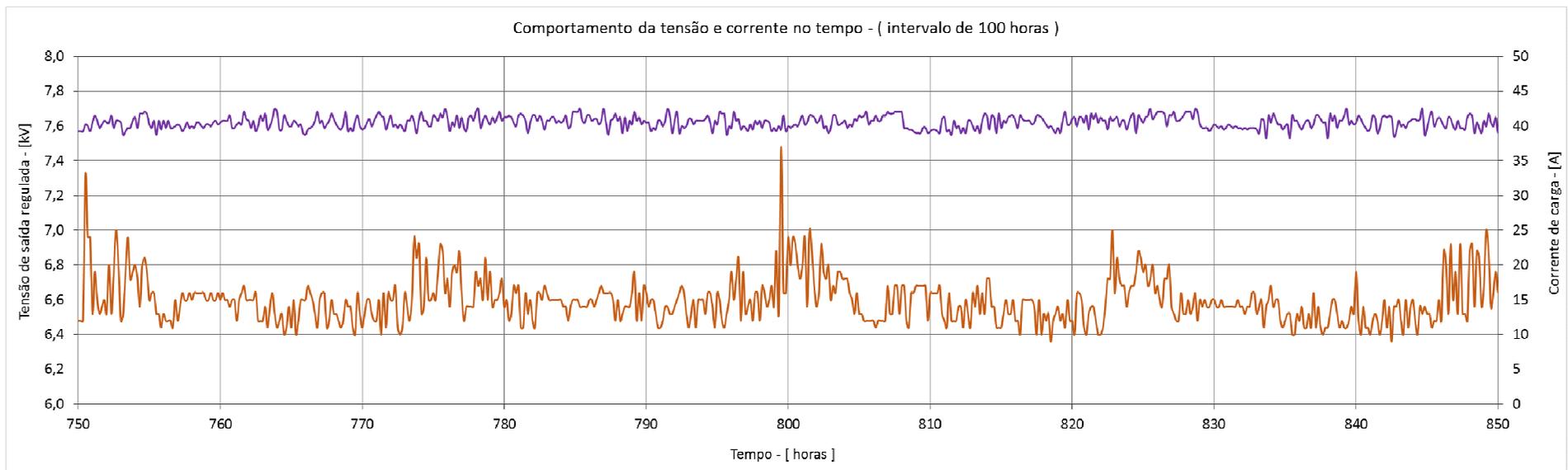
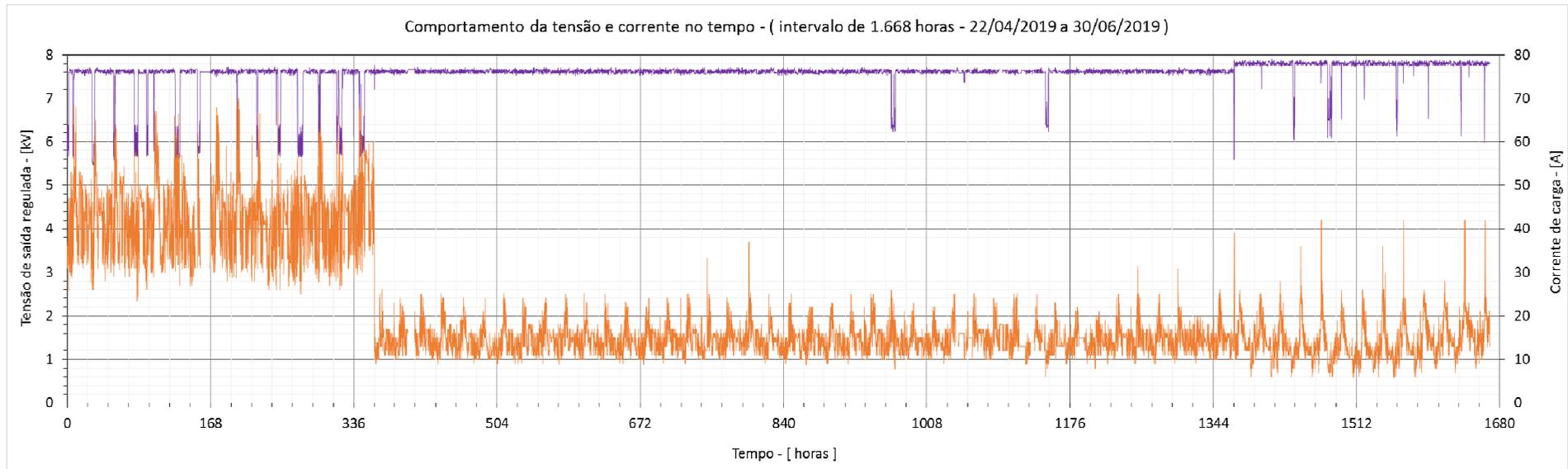
CARACTERÍSTICAS DE REGULAÇÃO

REGULADOR PROPOSTO PARA SISTEMAS DE

DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

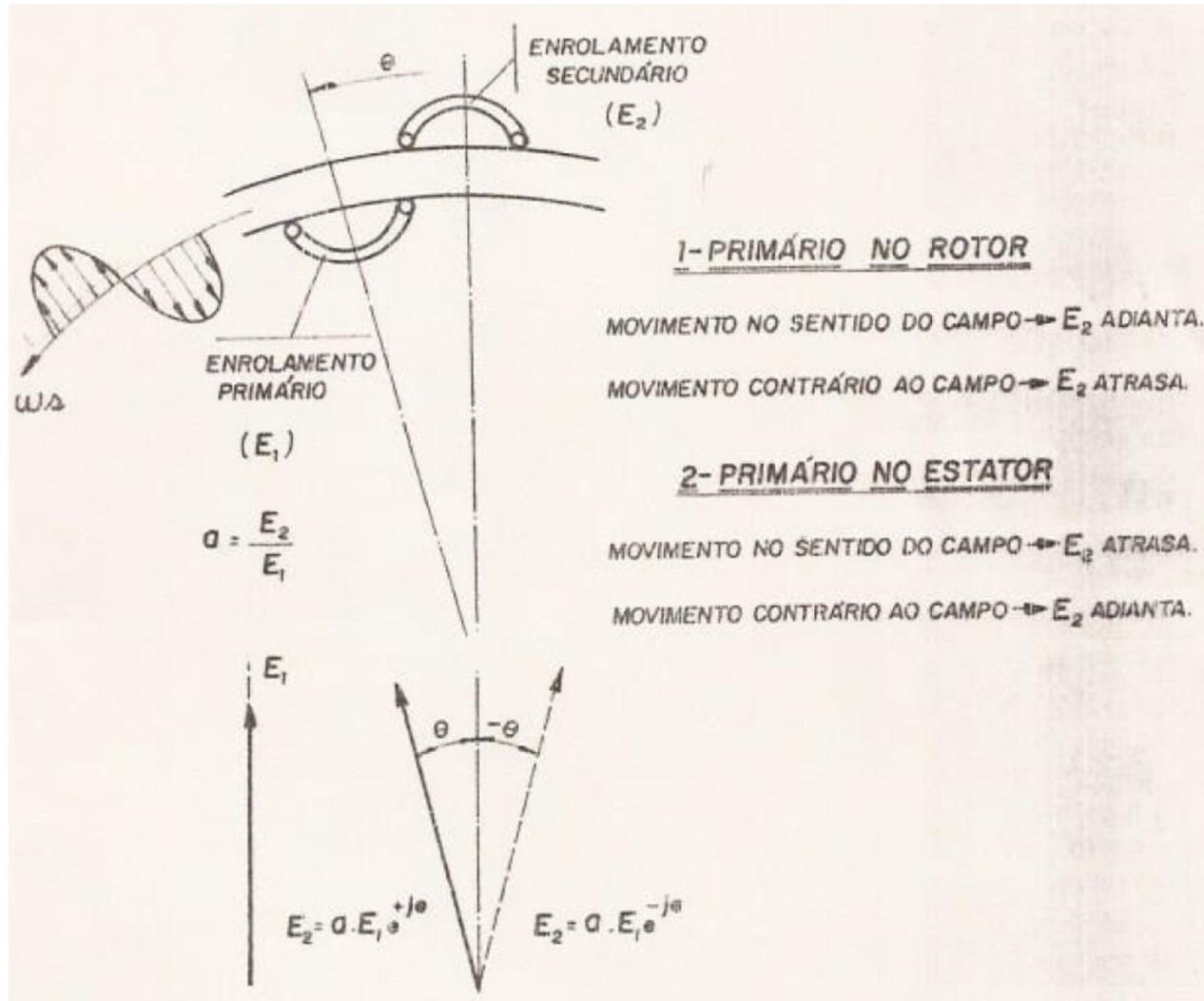


PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO



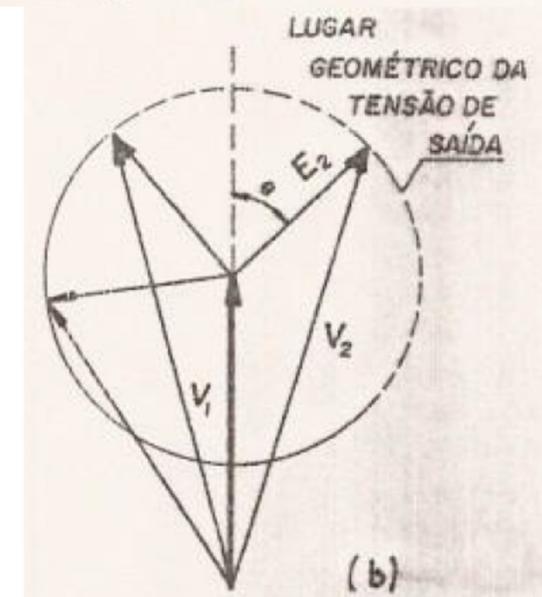
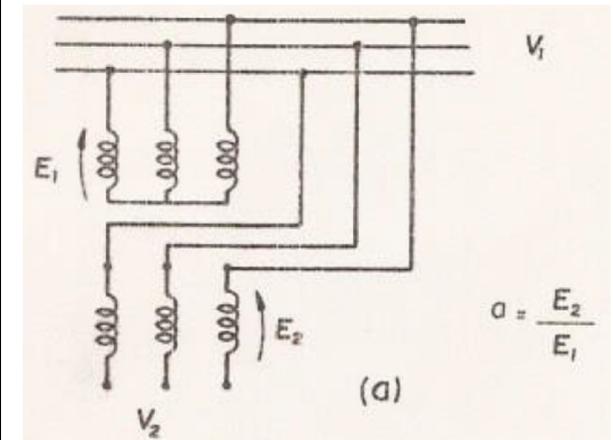
PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

FUNCIONAMENTO DO REGULADOR TRIFÁSICO



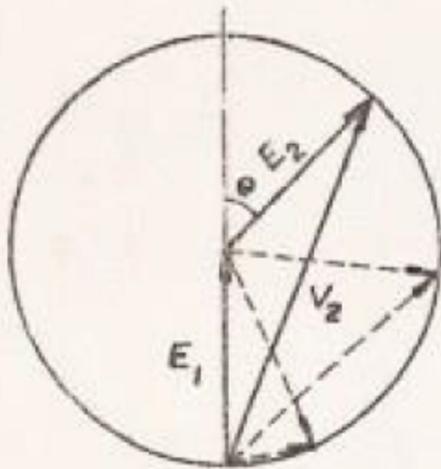
TENSÃO SECUNDÁRIA DE FASE VARIÁVEL, INDUZIDA PELO CAMPO ROTATIVO NO ENTREFERRO

CONEXÃO COMO AUTO-TRANSFORMADOR
 \rightarrow TENSÃO RESULTANTE DE MÓDULO VARIÁVEL



PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

FAIXA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO: DETERMINADA PELA RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

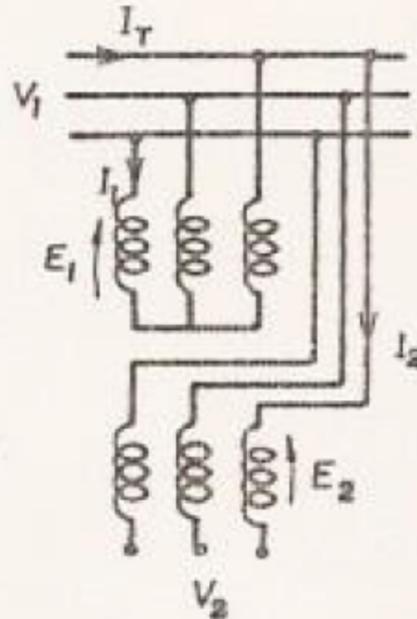


$$\sigma = \frac{E_2}{E_1} = 1 = \frac{I_1}{I_2}$$

FAIXA:
$$\begin{cases} V_2 = 0 \text{ (min)} \\ V_2 = 2V_1 \text{ (max)} \end{cases}$$

$$S_1 = V_1 I_1 ; S_2 = 2V_1 I_2$$

POT. TRANSFERIDA:
$$S_{tr} = \frac{1}{2} S_2$$

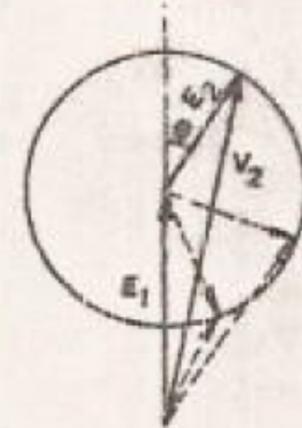


$$\sigma = \frac{E_2}{E_1} = 0,5 = \frac{I_1}{I_2}$$

FAIXA:
$$\begin{cases} V_2 = 0,5V_1 \text{ (min)} \\ V_2 = 1,5V_1 \text{ (max)} \end{cases}$$

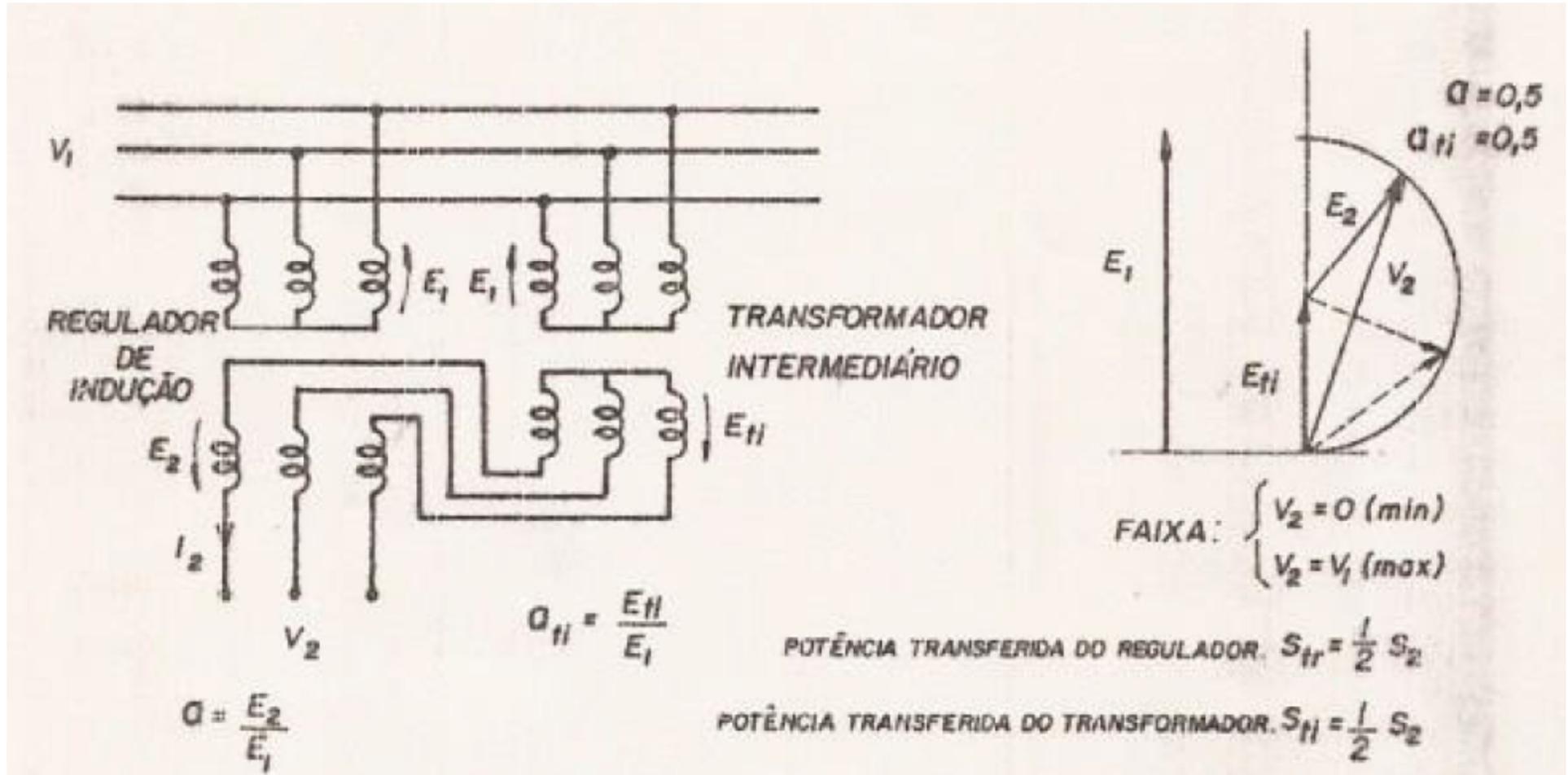
$$S_1 = V_1 I_1 ; S_2 = 1,5V_1 I_2$$

POT. TRANSFERIDA:
$$S_{tr} = \frac{1}{3} S_2$$



PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

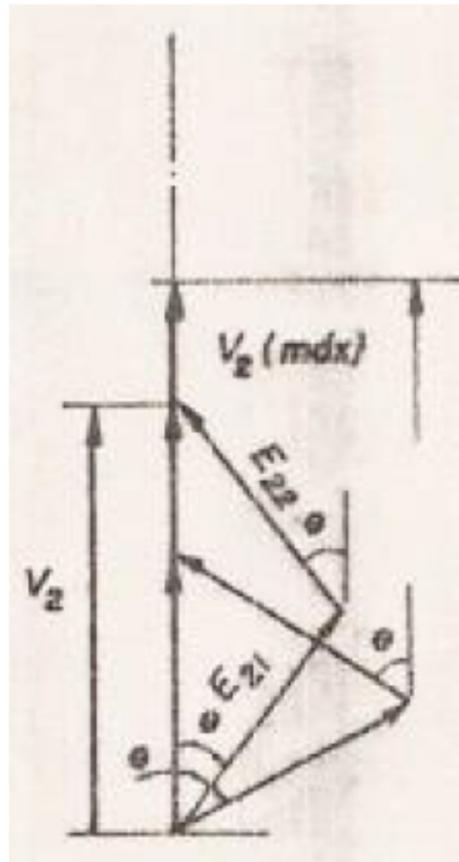
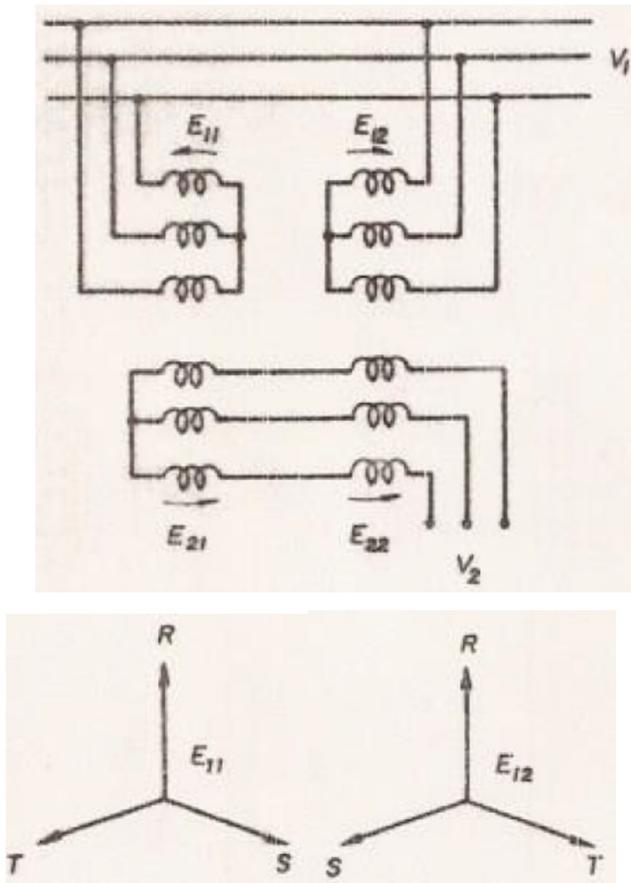
ADAPTAÇÃO DA FAIXA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO COM O USO DE TRANSFORMADOR INTERMEDIÁRIO AUXILIAR



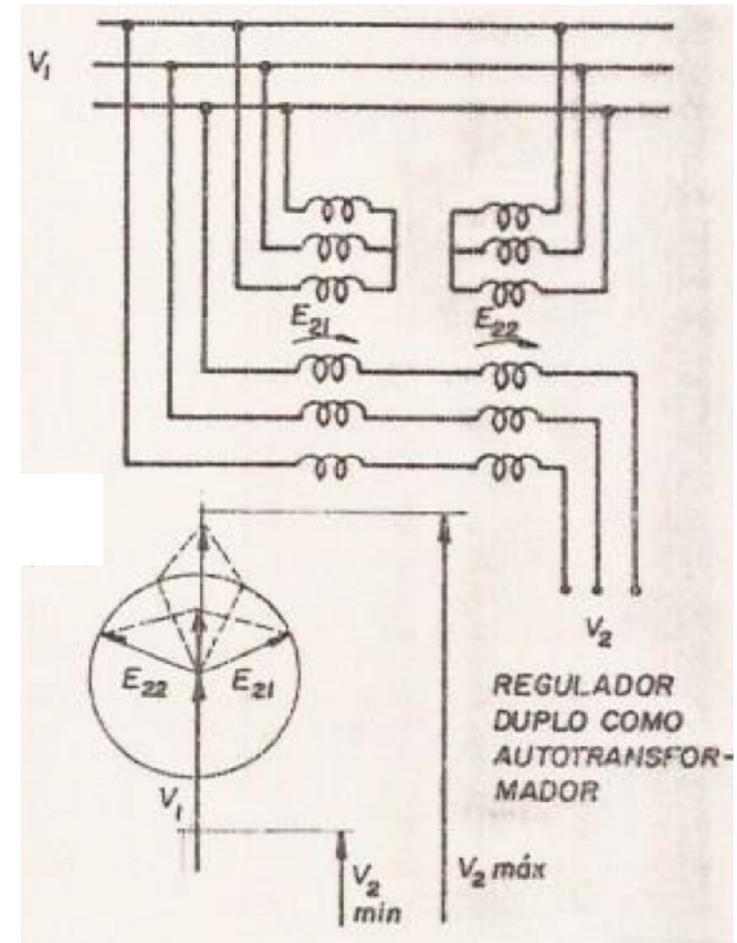
PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

VARIANTES DE CONFIGURAÇÃO DO REGULADOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

REGULADOR TRIFÁSICO DE CORPO DUPLO:
SECUNDÁRIO ISOLADO E TENSÃO DE SAÍDA
EM FASE COM A TENSÃO DE ENTRADA

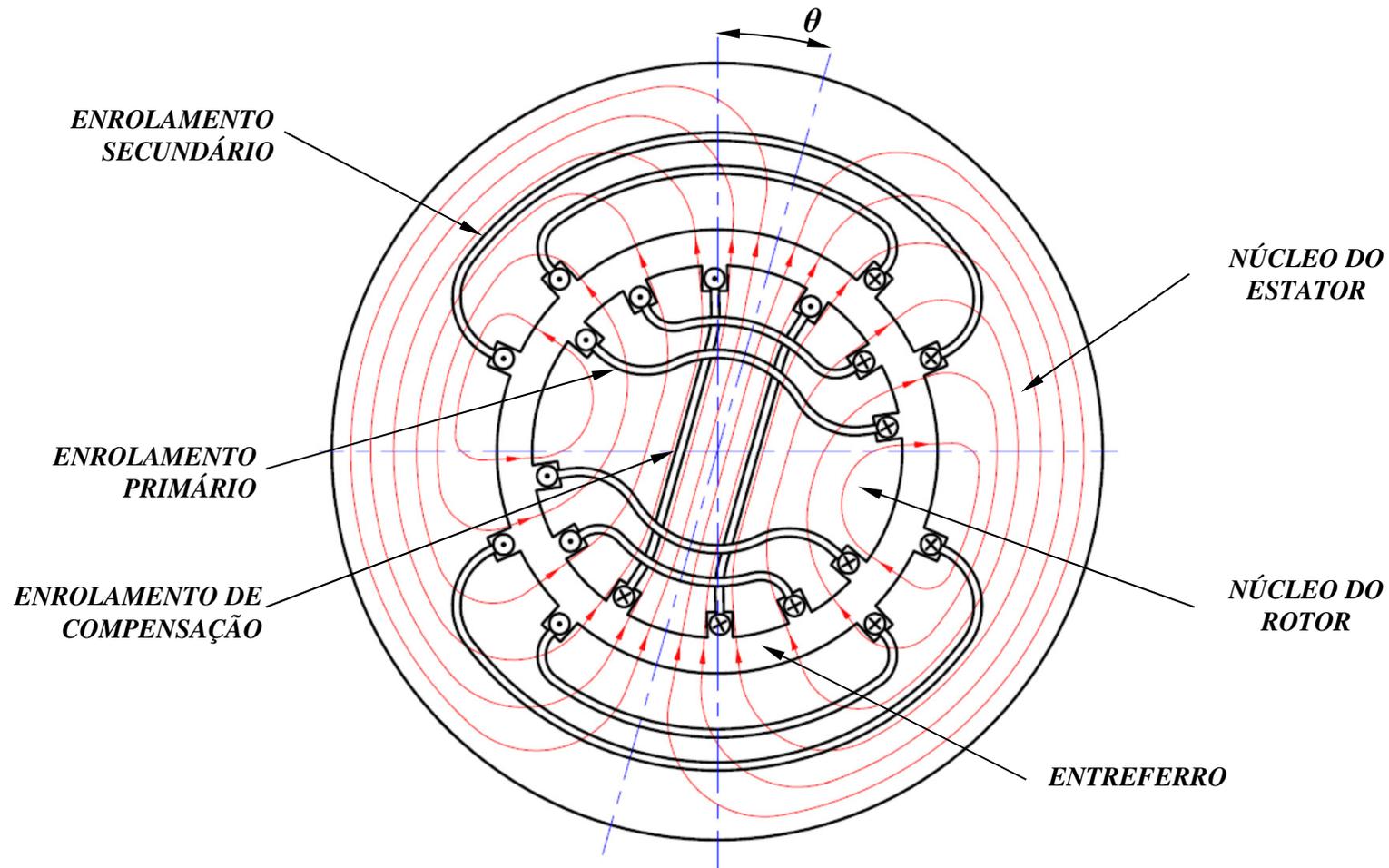


REGULADOR DUPLO COMO AUTO-
TRANSFORMADOR:
TENSÃO DE SAÍDA SEM DEFASAGEM
EM RELAÇÃO À TENSÃO DE ENTRADA



PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

REGULADOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO - PRINCÍPIO CONSTRUTIVO



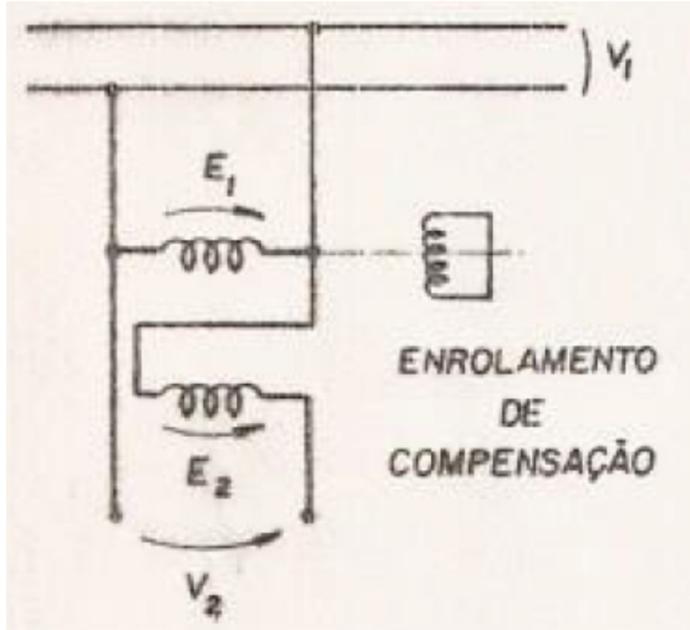
θ : ÂNGULO DE DESLOCAMENTO ENTRE ROTOR E ESTATOR ($^{\circ}el$)

REGULADOR DE 2 POLOS: $0 < \theta < 180^{\circ}$ - REGULADOR DE 4 POLOS: $0 < \theta < 90^{\circ}$

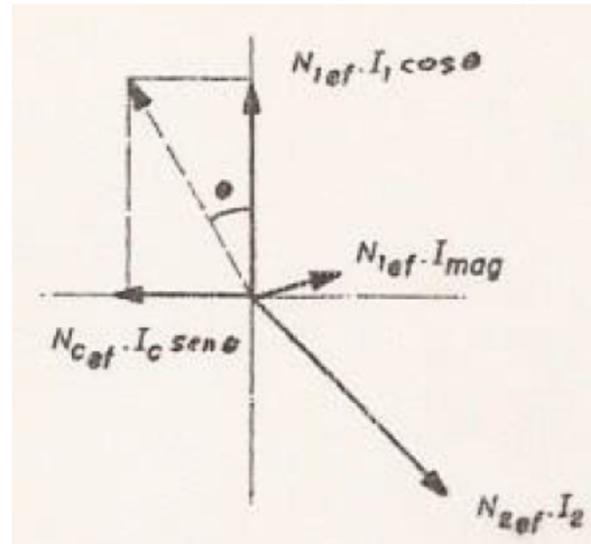
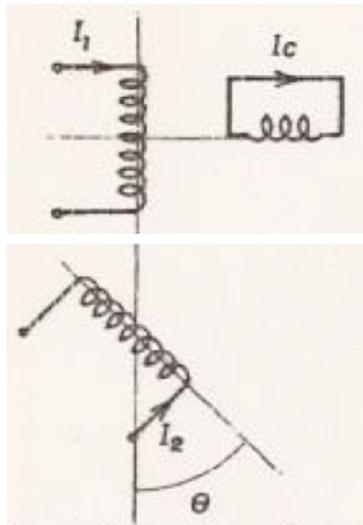
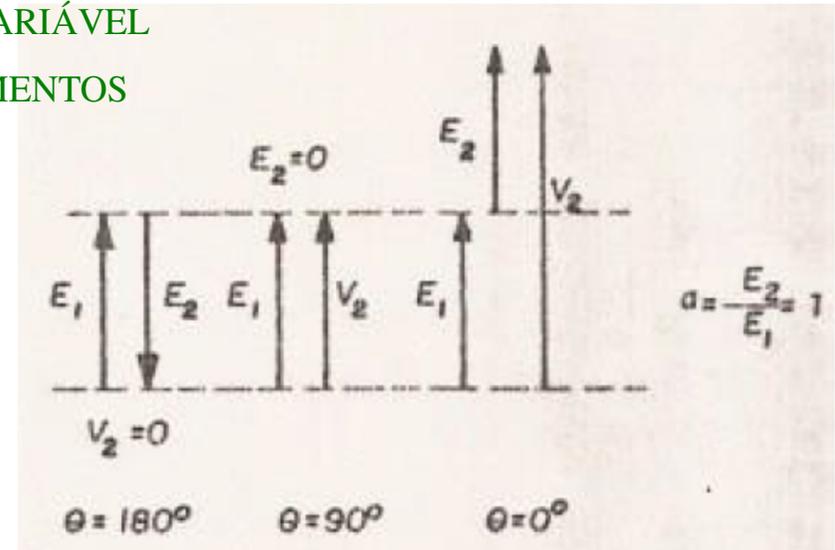
DESLOCAMENTO ANGULAR AJUSTADO POR MEIO DE SERVO MOTOR

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

FUNCIONAMENTO DO REGULADOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO



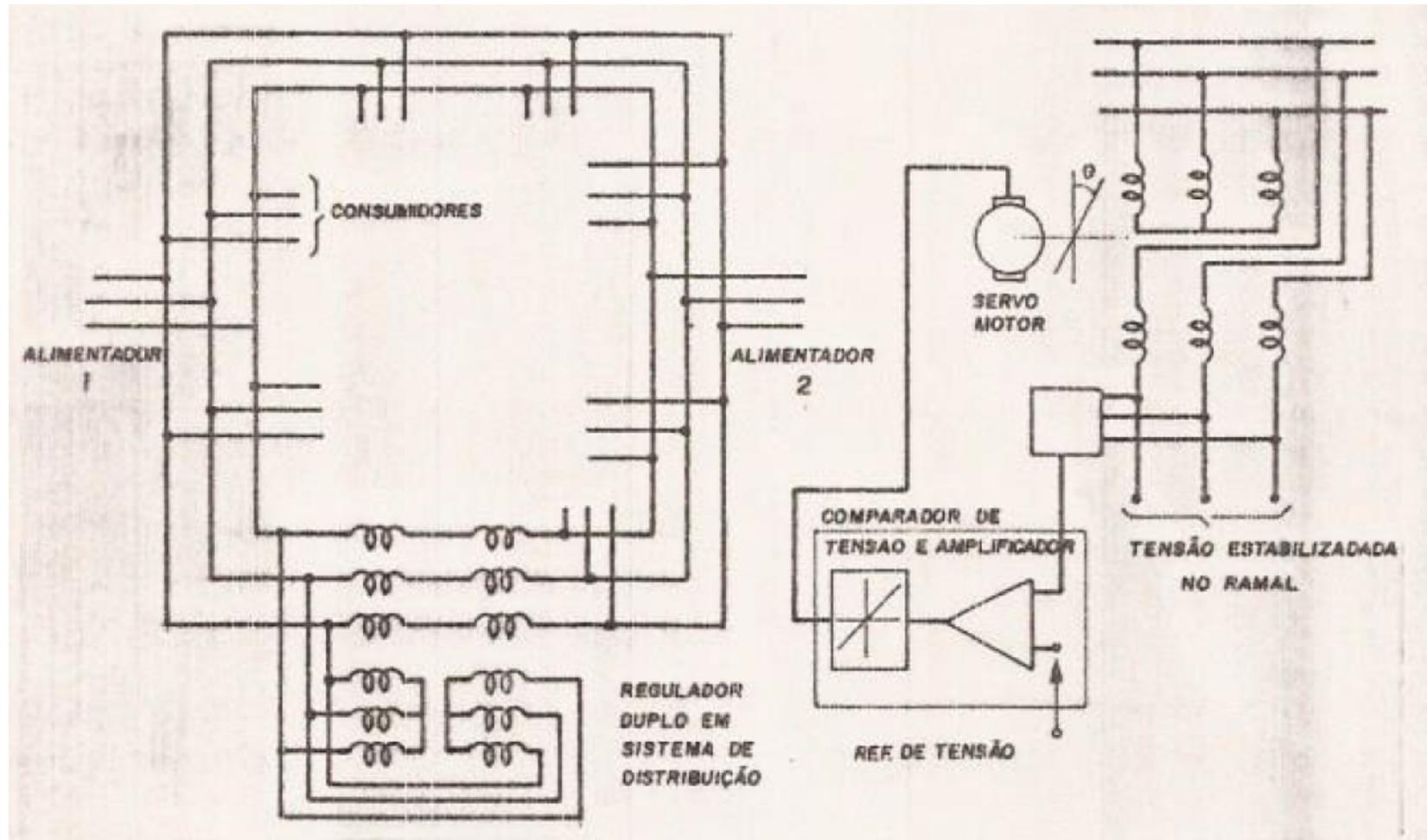
ACOPLAMENTO VARIÁVEL
ENTRE ENROLAMENTOS



EFEITO DO ENROLAMENTO DE
COMPENSAÇÃO NO EQUILÍBRIO TOTAL
DE FORÇAS MAGNETOMOTRIZES

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE REGULADORES DE INDUÇÃO EM SISTEMAS DE ENERGIA

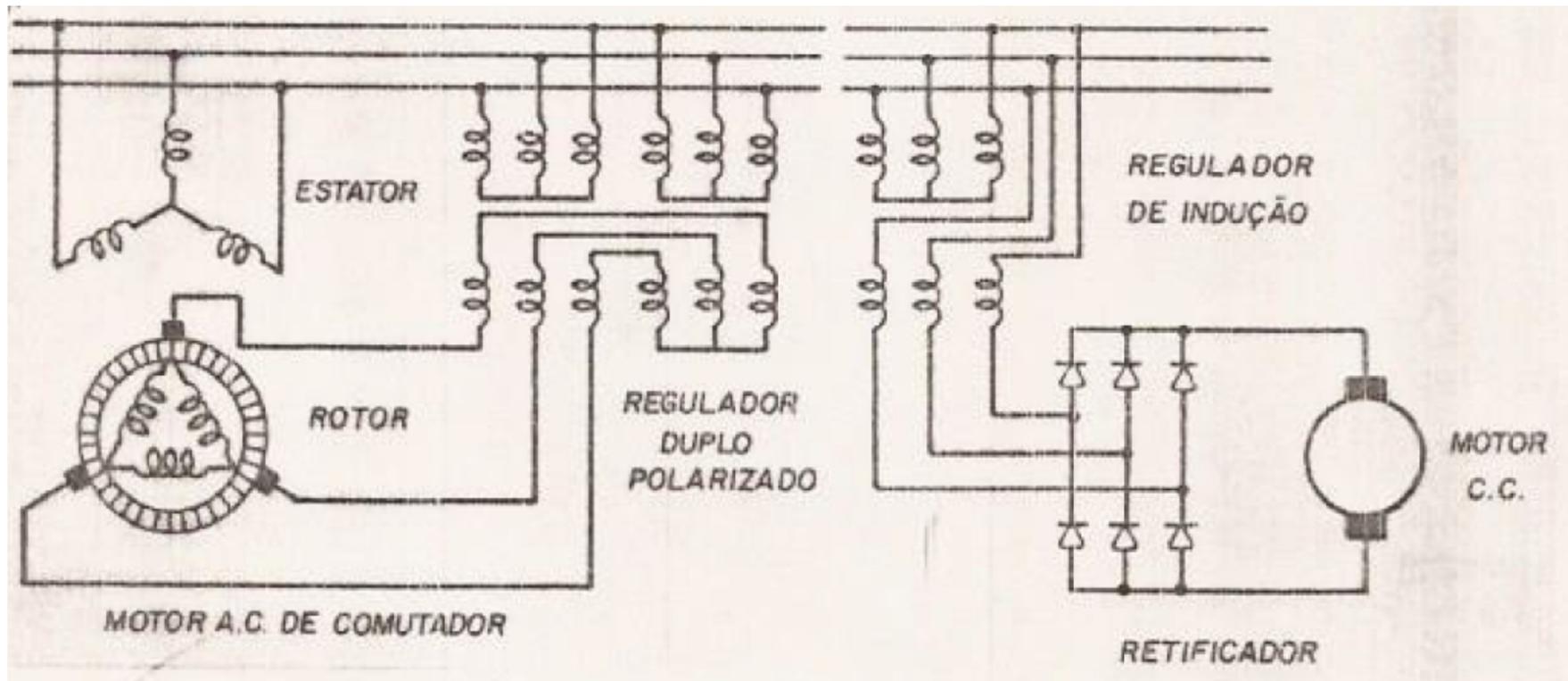


DIVISÃO DE CARGA ENTRE ALIMENTADORES
EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO EM ANEL

ESTABILIZAÇÃO DE TENSÃO EM RAMAIS COM
FORTE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO DA REDE

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE REGULADORES DE INDUÇÃO EM ACIONAMENTOS

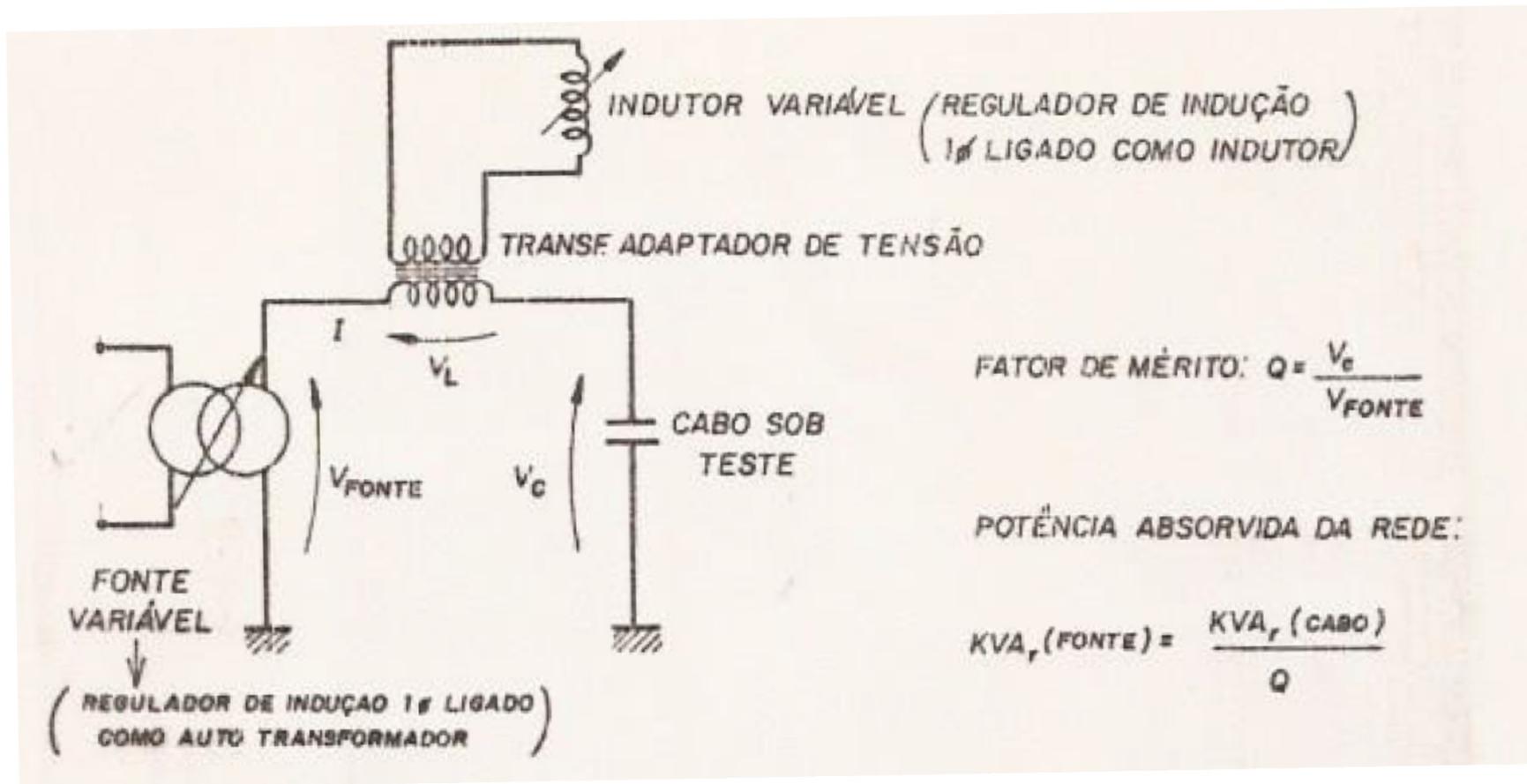


ACIONAMENTO DE MOTORES C.A. DE COMUTADOR (EM DESUSO)

ACIONAMENTO DE MOTORES C.C. COM VARIAÇÃO DO LADO ALTERNADO

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

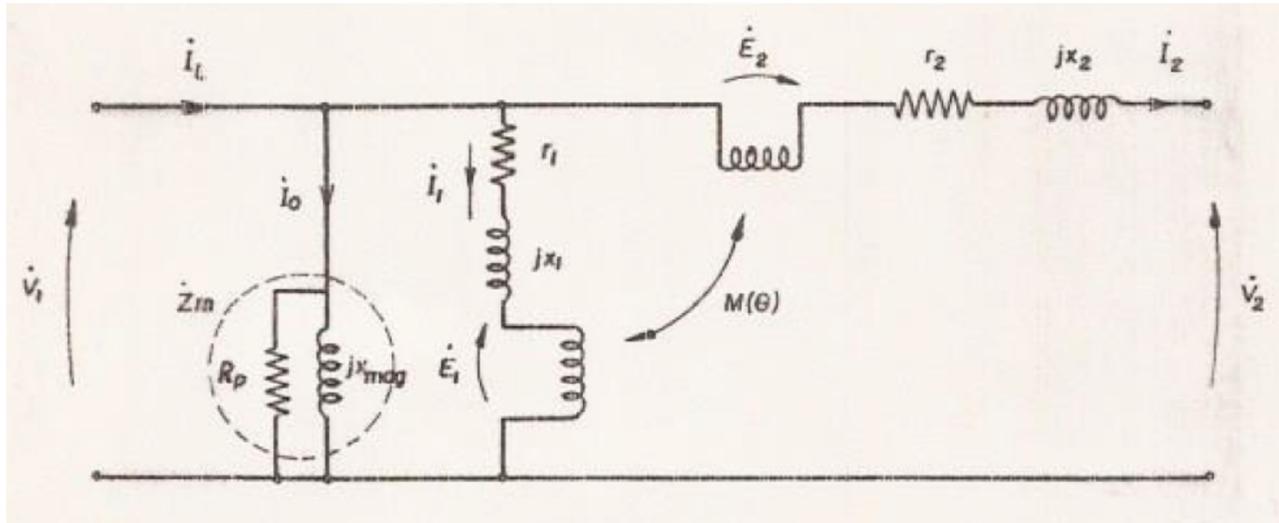
EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE REGULADORES DE INDUÇÃO EM LABORATÓRIOS DE ENSAIOS



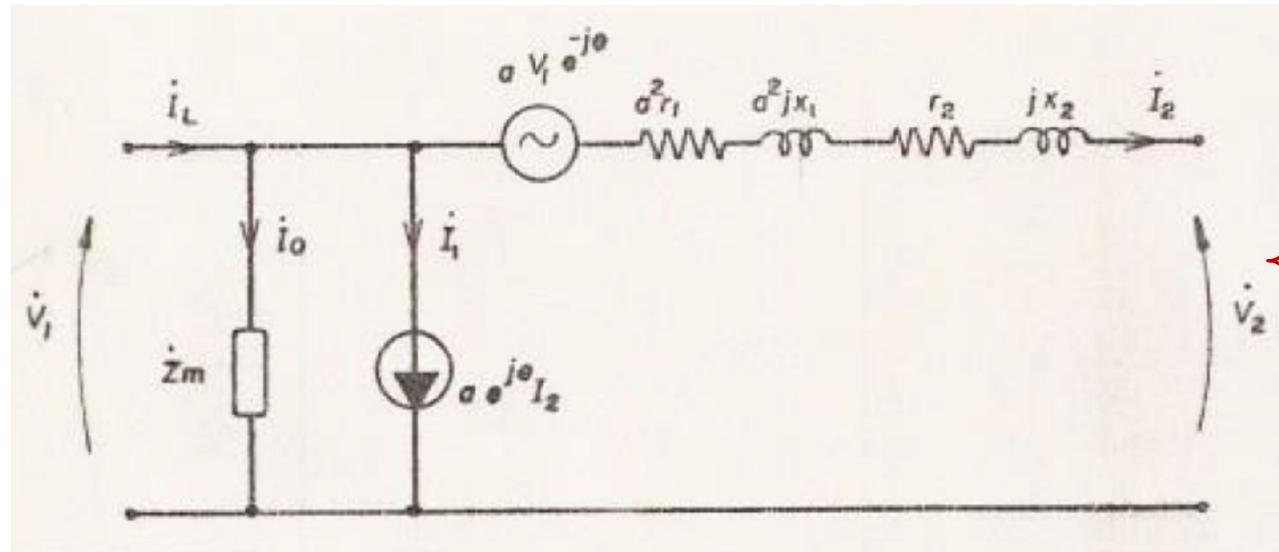
USO COMO FONTE DE TENSÃO E COMO INDUTOR VARIÁVEL PARA
RESSONÂNCIA SÉRIE COM CARGAS FORTEMENTE CAPACITIVAS

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

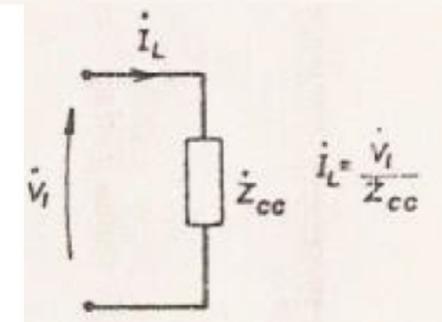
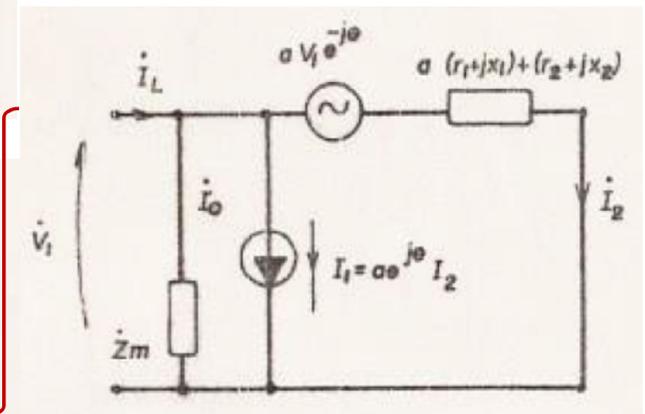
MODELO DIRETO DO REGULADOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO



MODELO “CONVENCIONAL”
CONECTADO COMO AUTO-
TRANSFORMADOR



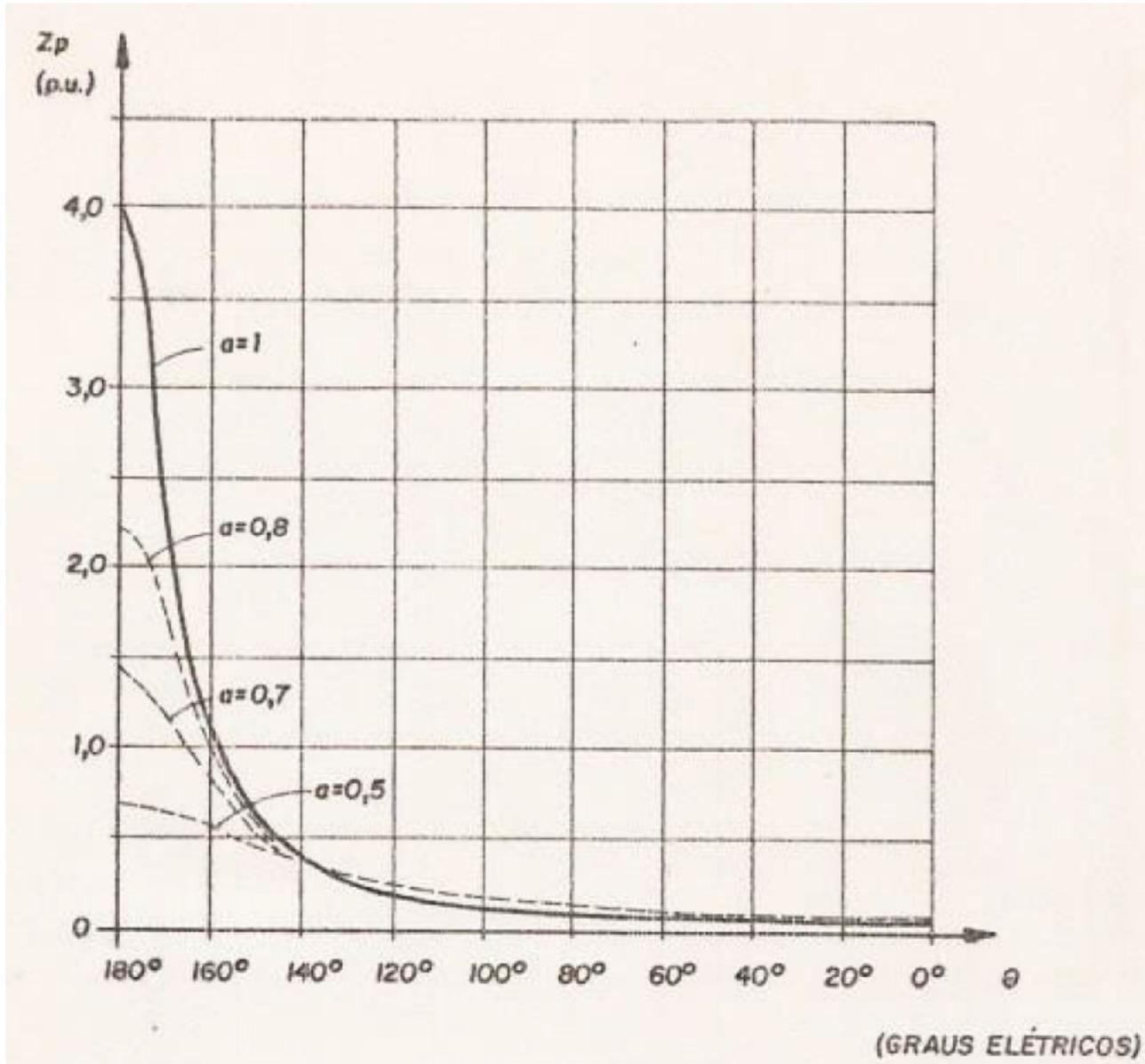
MODELO RESULTANTE, COM FONTES VINCULADAS



IMPEDÂNCIA VISTA PELA LINHA

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

CARACTERÍSTICA TÍPICA DE IMPEDÂNCIA DE CURTO CIRCUITO DO REGULADOR DE INDUÇÃO



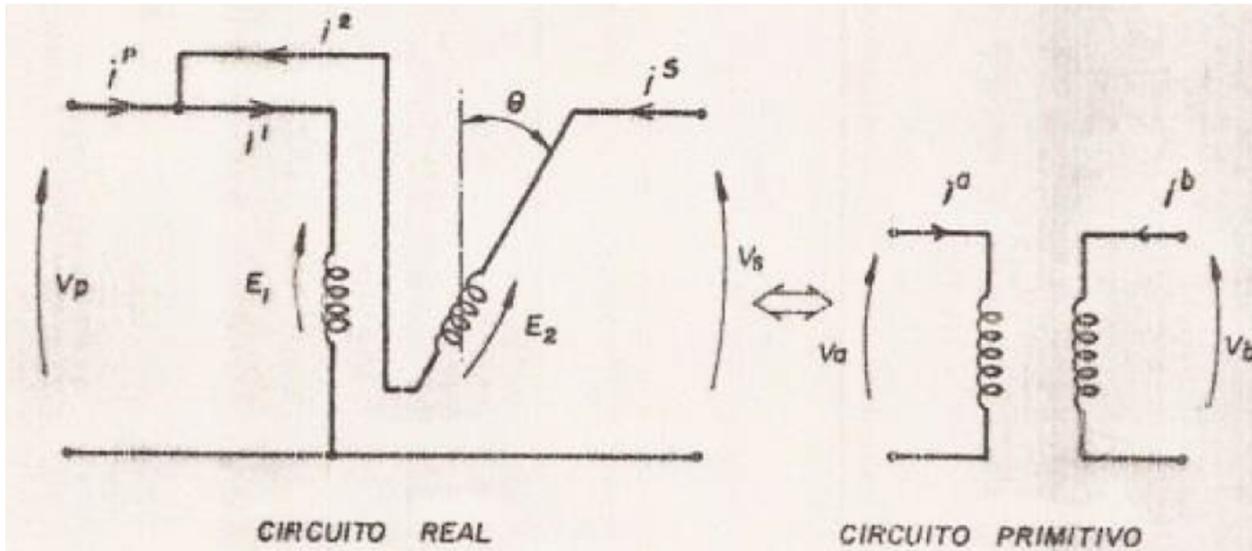
$$z_1 = 0,1 \text{ p.u.}$$

$$z_2 = 0,1 \text{ p.u.}$$

$$Z_{\text{mag}} = 4 \text{ p.u.}$$

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

MODELO POR FASE A PARTIR DA ANÁLISE TENSORIAL – REGULADOR TRIFÁSICO



MODELOS REAL E
PRIMITIVO POR FASE

$$Z_{\mu' \nu'} = \begin{bmatrix} Z_a & | Z_a + a Z_m e^{j\theta} \\ Z_a + a Z_m e^{-j\theta} & | Z_a + Z_b + 2a Z_m \cos \theta \end{bmatrix}$$

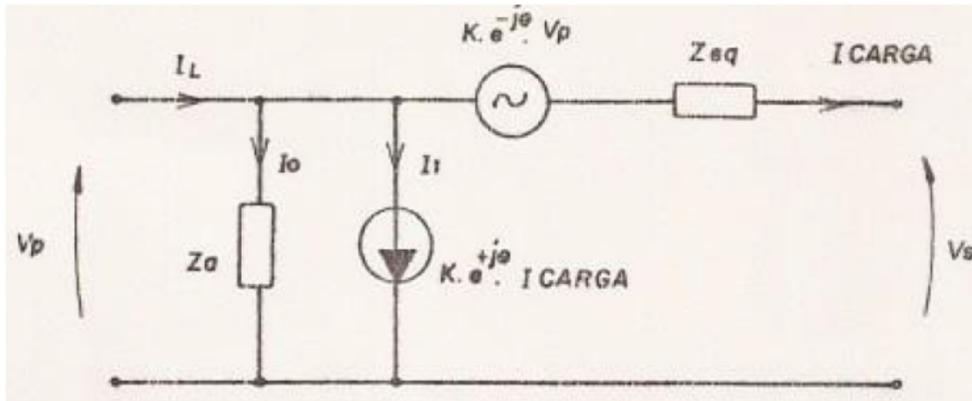
TENSOR DE IMPEDÂNCIAS GERAL
DO REGULADOR TRIFÁSICO

$$\begin{cases} V_p = Z_a i^p + (Z_a + a Z_m e^{j\theta}) i^s \\ V_s = (Z_a + a Z_m e^{-j\theta}) i^p + (Z_a + Z_b + 2a Z_m \cos \theta) i^s \end{cases}$$

EQUAÇÕES GERAIS
DO REGULADOR
TRIFÁSICO

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

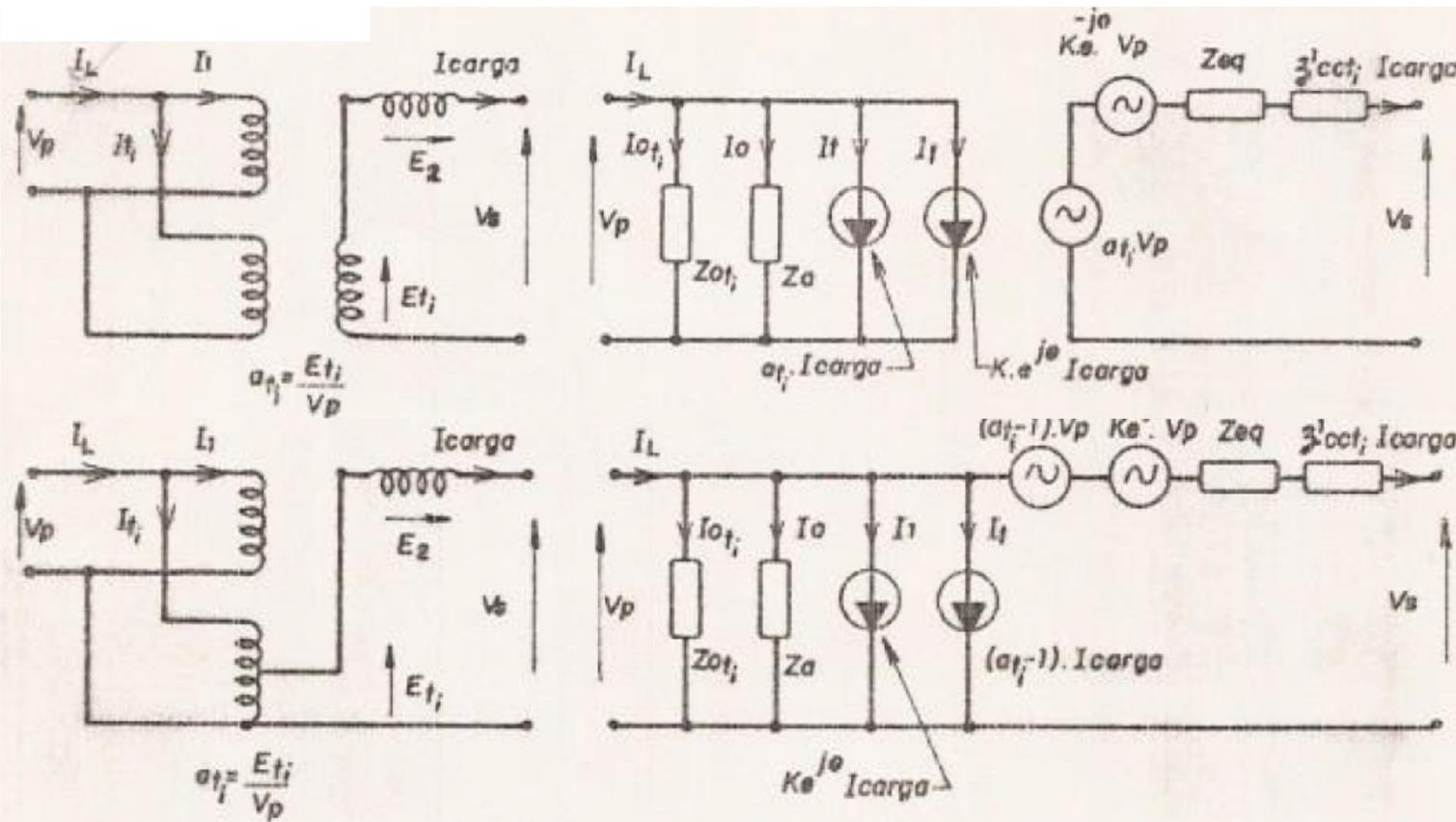
MODELO FINAL – REGULADOR TRIFÁSICO



$$k = \frac{a \cdot Z_m}{Z_a} = \frac{a \cdot Z_m}{z_a + Z_m}$$

$$Z_{eq} = \frac{z_a \cdot z_b + Z_m \cdot z'_{2cc}}{z_a + Z_m}$$

REGULADOR TRIFÁSICO

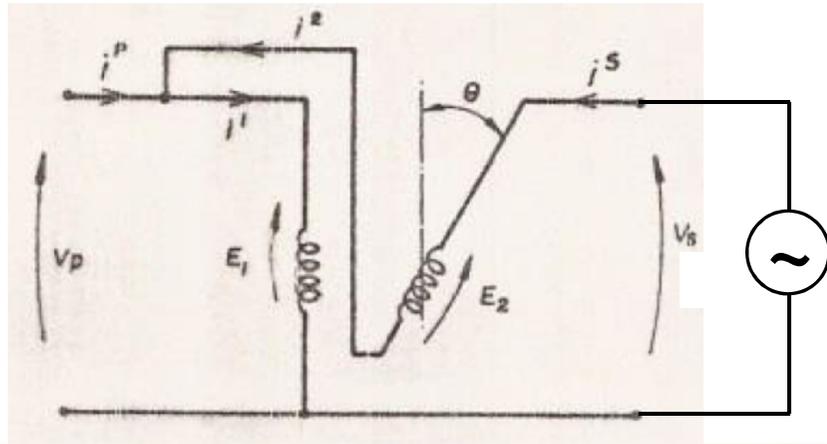


REGULADOR TRIFÁSICO COM TRANSFORMADOR AUXILIAR ISOLADOR

REGULADOR TRIFÁSICO COM AUTO TRANSFORMADOR AUXILIAR

PEA - 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

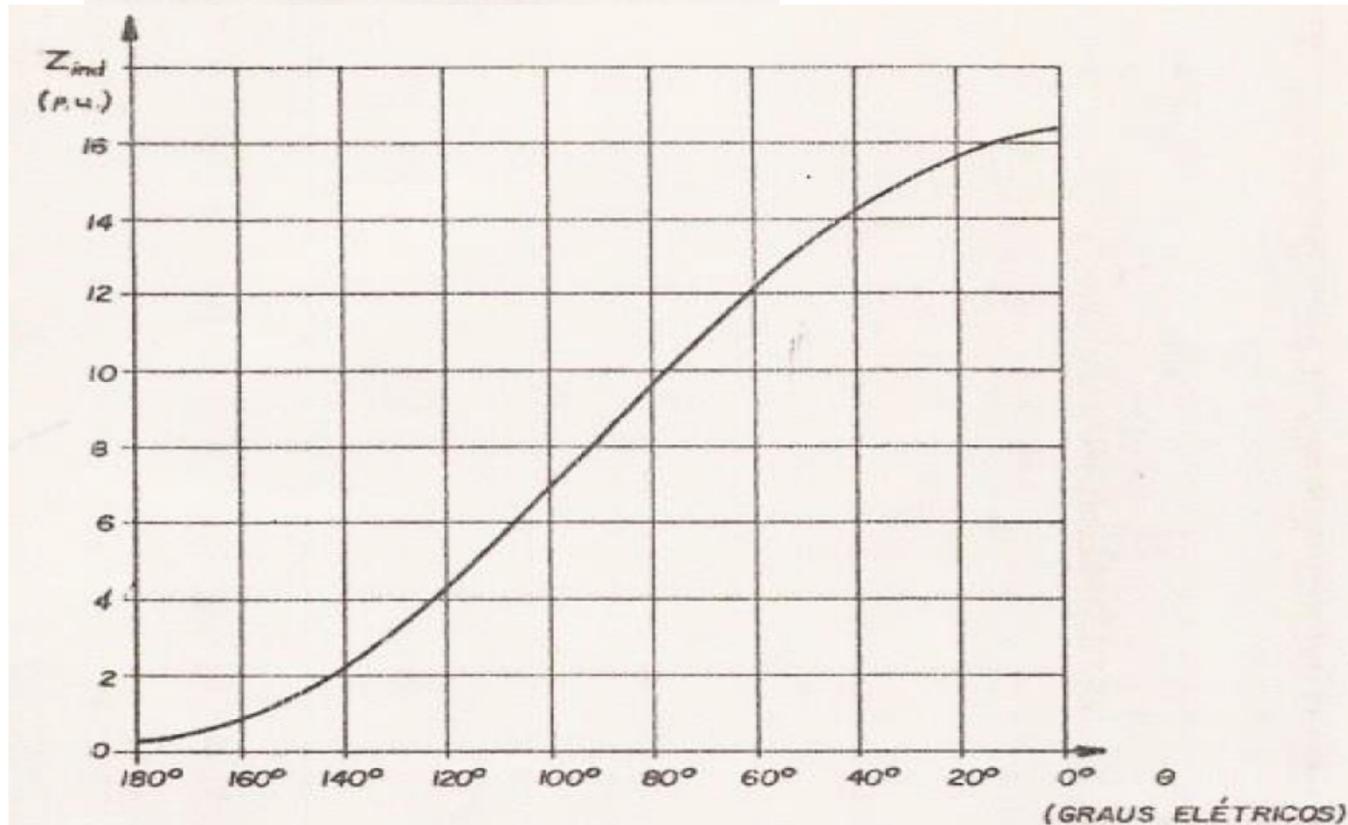
REGULADOR TRIFÁSICO OPERANDO COMO INDUTOR VARIÁVEL



ALIMENTAÇÃO PELO SECUNDÁRIO
PRIMÁRIO EM ABERTO

$$Z_{ind} = \frac{V_s}{I_s} \rightarrow I^p = 0 \text{ nas equações gerais}$$

$$Z_{ind} = z_a + z_b + Z_m \cdot (1 + a^2 + 2 \cdot a \cdot \cos\theta)$$



$$z_a = 0,1 \text{ p.u.}$$

$$z_b = 0,1 \text{ p.u.}$$

$$Z_m = 4 \text{ p.u.}$$

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

REGULADOR MONOFÁSICO: MODELO A PARTIR DA ANÁLISE TENSORIAL

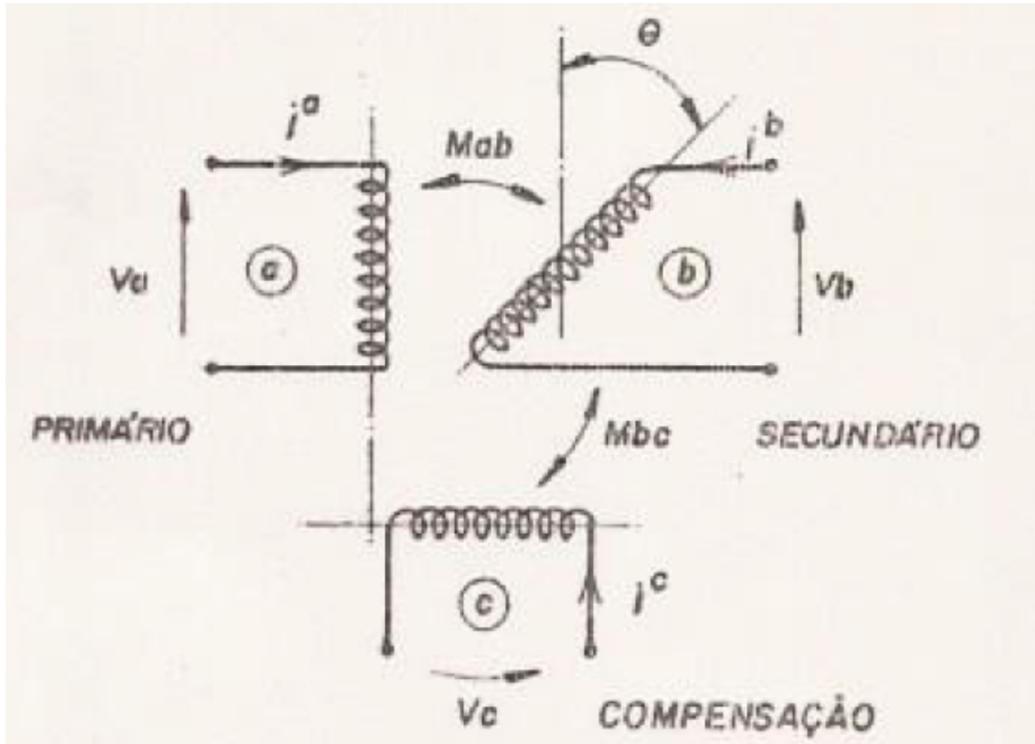


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO
REGULADOR MONOFÁSICO

$$j \omega M_{ob} = a Z_m$$
$$j \omega M_{bc} = a^2 b Z_m$$

CARACTERIZAÇÃO DAS INDUTÂNCIAS
MÚTUAS ENTRE ENROLAMENTOS

RELAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO:

SECUNDÁRIO / PRIMÁRIO

$$a = V_b / V_a = N_{2ef} / N_{1ef}$$

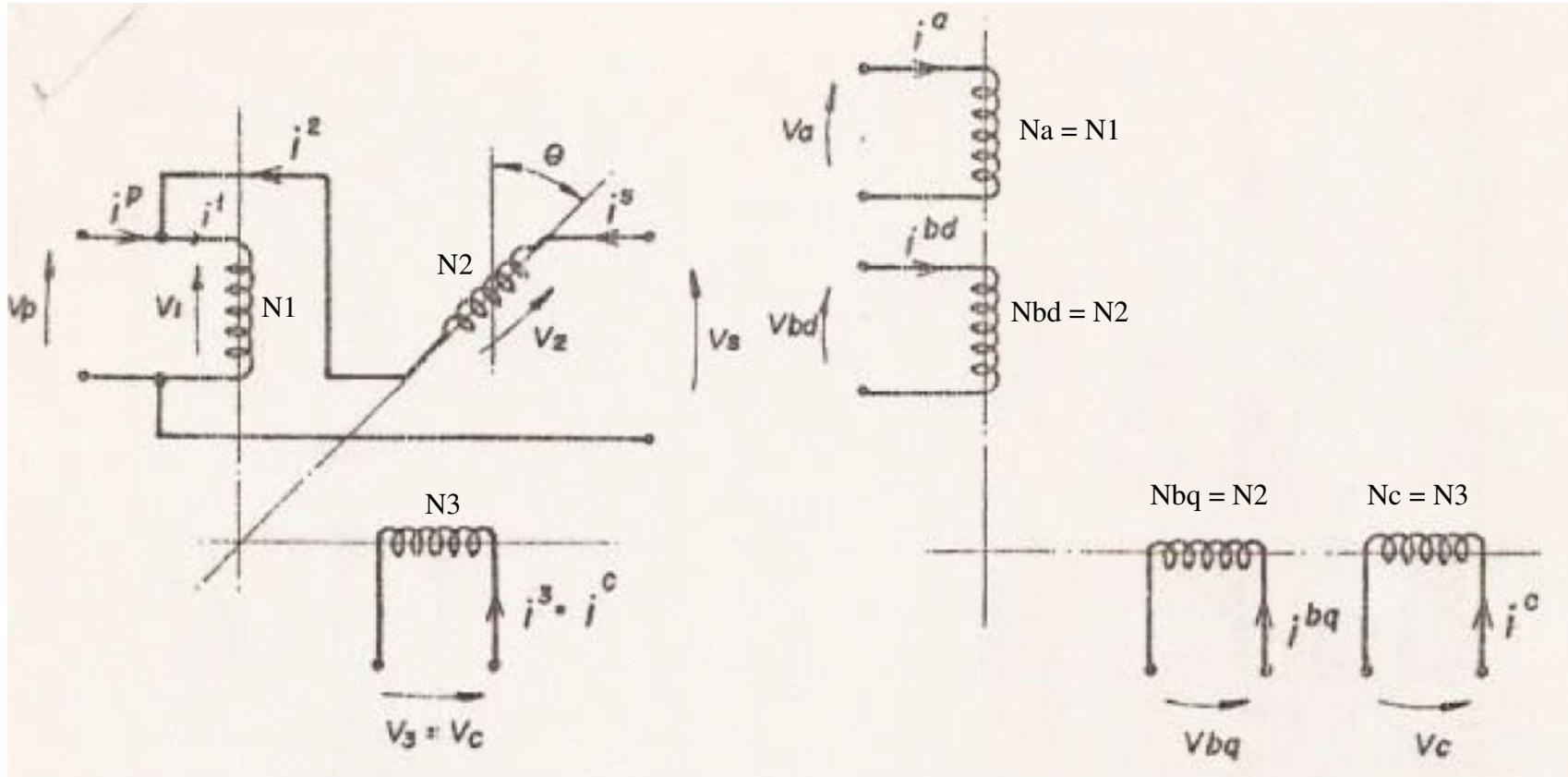
COMPENSAÇÃO / SECUNDÁRIO

$$b = V_c / V_b = N_{3ef} / N_{2ef}$$

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

CIRCUITOS EQUIVALENTES ASSOCIADOS À ANÁLISE TENSORIAL

REGULADOR CONECTADO COMO AUTO-TRANSFORMADOR



CIRCUITO REAL

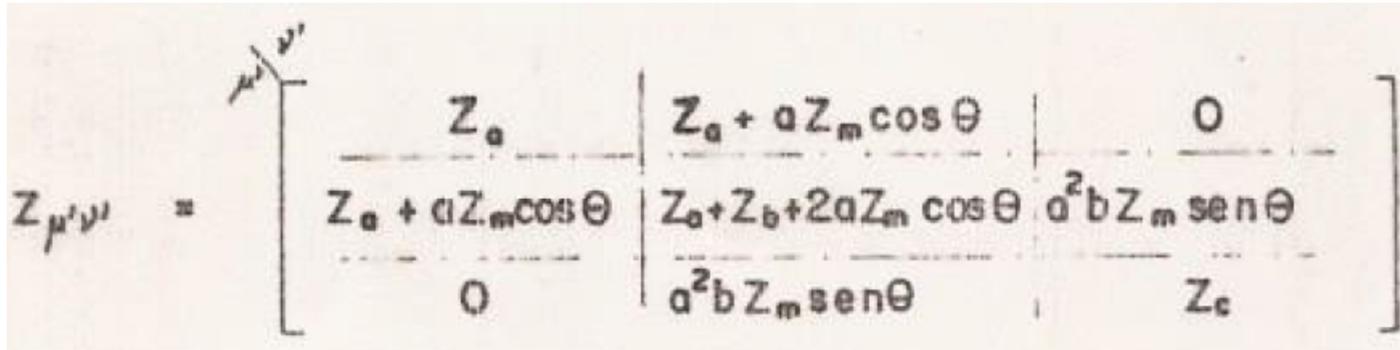
$$a = \frac{N_{2ef}}{N_{1ef}} = \frac{E_2}{E_1}$$

CIRCUITO PRIMITIVO

$$b = \frac{N_{3ef}}{N_{2ef}} = \frac{E_3}{E_2}$$

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

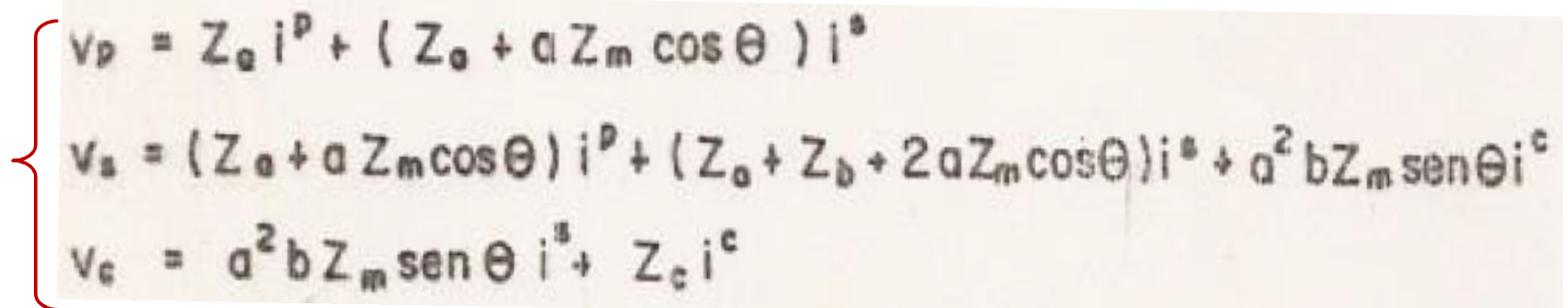
EQUAÇÕES GERAIS DO REGULADOR MONOFÁSICO



The image shows a handwritten impedance matrix $Z_{p'q'}$ for a monophase regulator. The matrix is a 3x3 block with a diagonal structure. The top-left element is Z_a . The middle-left element is $Z_a + aZ_m \cos \theta$. The bottom-left element is 0. The top-middle element is $Z_a + aZ_m \cos \theta$. The middle-middle element is $Z_a + Z_b + 2aZ_m \cos \theta$. The bottom-middle element is $a^2 b Z_m \sin \theta$. The top-right element is 0. The middle-right element is $a^2 b Z_m \sin \theta$. The bottom-right element is Z_c . The matrix is enclosed in large square brackets.

$$Z_{p'q'} = \begin{bmatrix} Z_a & Z_a + aZ_m \cos \theta & 0 \\ Z_a + aZ_m \cos \theta & Z_a + Z_b + 2aZ_m \cos \theta & a^2 b Z_m \sin \theta \\ 0 & a^2 b Z_m \sin \theta & Z_c \end{bmatrix}$$

TENSOR DE IMPEDÂNCIAS GERAL DO REGULADOR MONOFÁSICO



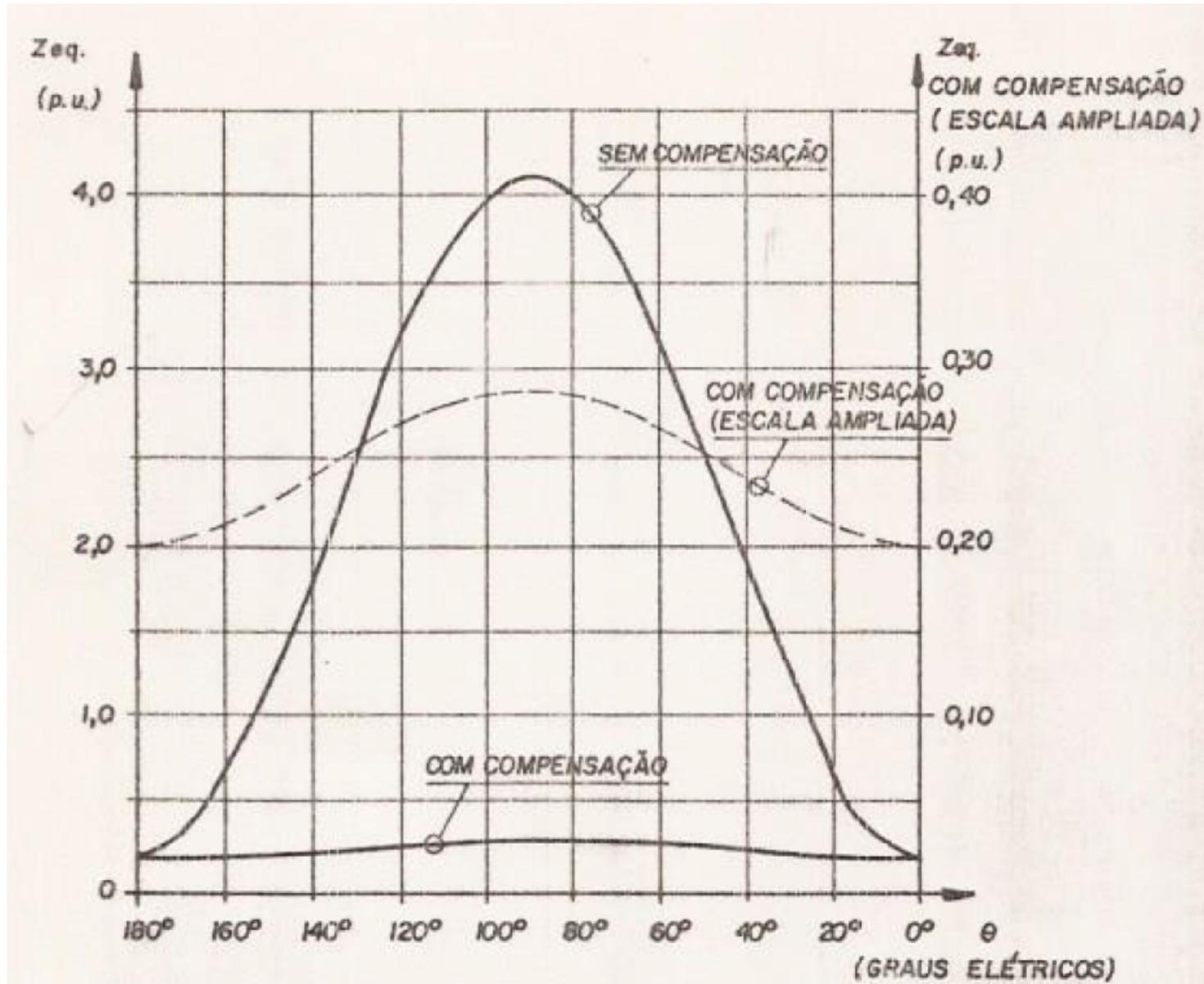
The image shows three handwritten voltage equations for a monophase regulator, grouped by a large red curly brace on the left. The equations are:

$$\begin{cases} v_p = Z_a i^p + (Z_a + aZ_m \cos \theta) i^s \\ v_s = (Z_a + aZ_m \cos \theta) i^p + (Z_a + Z_b + 2aZ_m \cos \theta) i^s + a^2 b Z_m \sin \theta i^c \\ v_c = a^2 b Z_m \sin \theta i^s + Z_c i^c \end{cases}$$

EQUAÇÕES GERAIS DO REGULADOR MONOFÁSICO

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

COMPORTAMENTO DA IMPEDÂNCIA EQUIVALENTE DO REGULADOR MONOFÁSICO



$$a = 1$$

$$b = 0,5$$

$$z_a = 0,1 \text{ p.u.}$$

$$z_b = 0,1 \text{ p.u.}$$

$$z_c = 0,05 \text{ p.u.}$$

$$Z_m = 4 \text{ p.u.}$$

PEA – 5728 - Parte 2: REGULADORES DE INDUÇÃO

CARACTERÍSTICAS
TÍPICAS DE SAÍDA
DE REGULADOR
MONOFÁSICO
ASSOCIADO A
TRANSFORMADOR

DADOS NOMINAIS

POR FASE:

$S = 325 / 1.625 \text{ kVA}$

$V = 50 / 250 \text{ V}$

$I = 6.500 \text{ A}$

