

Distribuição de Energia Elétrica

Regulação de Tensão

Lucas S Melo

Universidade Federal do Ceará

Julho de 2021

Regulação de Tensão

A regulação de tensão é uma importante função de um sistema de distribuição.

Os meios mais comuns de se realizar regulação de tensão são:

- Uso de reguladores de tensão;
- Uso de transformadores com comutador de derivação sobcarga;
- Uso de banco de capacitores.

Níveis padrões de tensão

O PRODIST em seu módulo 8 sobre qualidade de energia define três níveis de tensão no sistema, são eles:

- adequada;
- precário;
- crítico;

Níveis de padrões de tensão

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Tabela 5 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(348 \leq TL \leq 396)/(201 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(327 \leq TL < 348$ ou $396 < TL \leq 403)/$ $(189 \leq TL < 201$ ou $231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 327$ ou $TL > 403)/(TL < 189$ ou $TL > 233)$

Regulador de tensão

Um método muito comum de realizar regulação de tensão em um alimentador é a utilização de **reguladores de tensão** que podem ser trifásicos ou monofásicos, conectados em estrela, delta ou delta aberto.

Um regulador de tensão nada mais é que um **autotransformador**, com um mecanismo de **mudança de tap** do enrolamento série. A tensão é então modificada de acordo com a **variação do número de espiras** do enrolamento do autotransformador.

Regulador de tensão



Figura: Instalação comum de reguladores de tensão

Regulador de tensão

Um **autotransformador** pode ser visto como um transformador de dois enrolamentos, em que existe uma conexão elétrica entre um dos terminais do primário a um dos terminais do secundário.

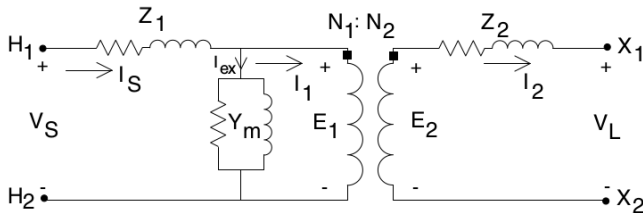
Em comparação ao transformador usual, o autotransformador tem:

- menor impedância de dispersão, o que resulta em quedas de tensão série menores e maiores correntes de curto-circuito;
- menos perdas totais;
- menor corrente de excitação;
- menor custo, se a relação de transformação for pequena.

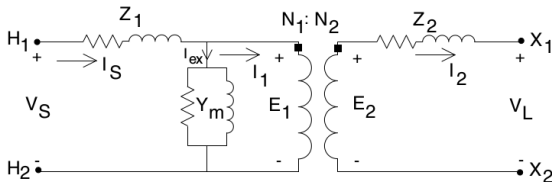
Transformador monofásico

Para um maior entendimento do autotransformador vamos rever um pouco da teoria de **transformadores monofásicos**.

Na figura é mostrado o modelo de um transformador monofásico simples:



Transformador monofásico

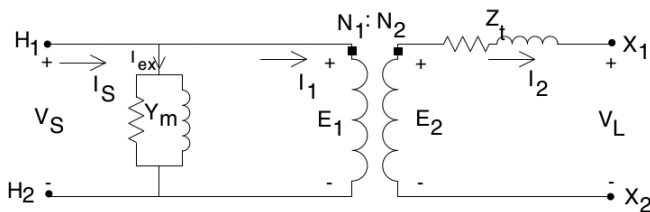


Neste modelo estão representados os seguintes **efeitos**:

- A **resistência dos enrolamentos** do transformador;
- O **valor finito da permeabilidade magnética μ_c** do núcleo do transformador, ou seja a relutância do circuito magnético é diferente de zero;
- O **fluxo magnético não está totalmente confinado no núcleo** do transformador;
- Existem **perdas ativas e reativas no núcleo** do transformador.

Transformador monofásico

Referindo a impedância do primário para o lado secundário:



Com:

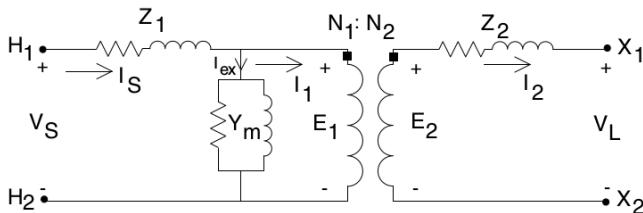
$$Z_t = n^2 \cdot Z_1 + Z_2 \quad (1)$$

Em que:

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (2)$$

Transformador monofásico

De acordo com este modelo:

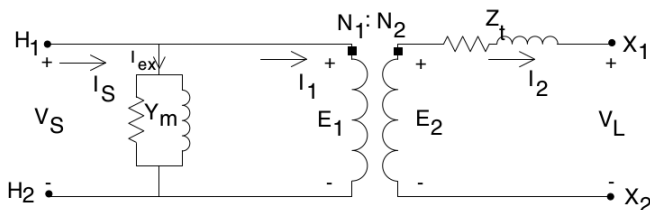


$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot E_1 = n \cdot E_1 \quad (3)$$

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 = n \cdot I_2 \quad (4)$$

Transformador monofásico

Aplicando a Lei de Kirchhoff no secundário do transformador:



$$E_2 = V_L + Z_t \cdot I_2 \quad (5)$$

$$V_S = E_1 = \frac{1}{n} \cdot E_2 = \frac{1}{n} \cdot V_L + \frac{Z_t}{n} \cdot I_2 \quad (6)$$

Transformador monofásico

$$V_S = \frac{1}{n} \cdot V_L + \frac{Z_t}{n} \cdot I_2 \quad (7)$$

De forma geral:

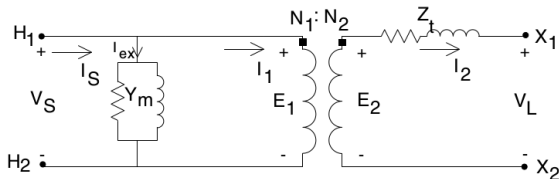
$$V_S = a \cdot V_L + b \cdot I_2 \quad (8)$$

Em que:

$$a = \frac{1}{n} \quad (9)$$

$$b = \frac{Z_t}{n} \quad (10)$$

Transformador monofásico



A corrente de entrada do transformador é dada por:

$$I_S = Y_m \cdot V_S + I_1 \quad (11)$$

Substituindo o termo V_S e I_1 encontrados anteriormente:

$$I_S = Y_m \cdot \frac{1}{n} V_L + Y_m \cdot \frac{Z_t}{n} \cdot I_2 + n \cdot I_2 \quad (12)$$

$$I_S = \frac{Y_m}{n} \cdot V_L + \left(\frac{Y_m \cdot Z_t}{n} + n \right) \cdot I_2 \quad (13)$$

Transformador monofásico

$$I_S = \frac{Y_m}{n} \cdot V_L + \left(\frac{Y_m \cdot Z_t}{n} + n \right) \cdot I_2 \quad (14)$$

Escrevendo na forma geral:

$$I_S = c \cdot V_L + d \cdot I_2 \quad (15)$$

Em que:

$$c = \frac{Y_m}{n} \quad (16)$$

$$d = \frac{Y_m \cdot Z_t}{n} + n \quad (17)$$

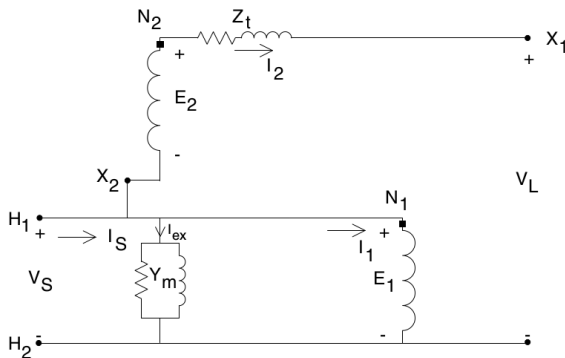
Transformador monofásico

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_L \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

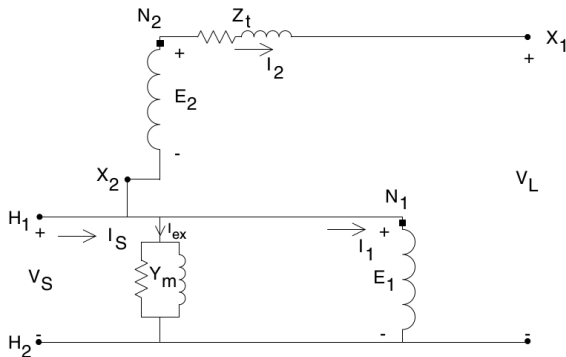
Essas equações para cálculo de tensões e correntes no lado da fonte em função das tensões e correntes no lado da carga têm aspecto muito semelhante ao desenvolvido nas equações que modelam linhas de distribuição, conforme visto em aulas anteriores.

Autotransformador

Um transformador de dois enrolamentos pode ser conectado como um autotransformador, por exemplo conectando o terminal H_1 ao terminal X_2 , conforme mostrado na figura:

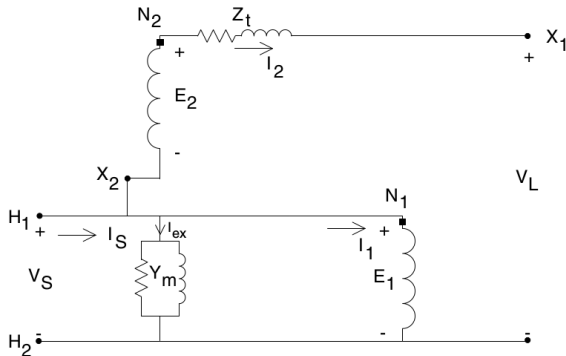


Autotransformador



Conforme mostrado na figura o enrolamento secundário será chamado de **enrolamento série**, enquanto o enrolamento primário será chamado **enrolamento em derivação**.

Autotransformador



Com base no modelo do transformador monofásico:

$$E_1 + E_2 = V_L + Z_t \cdot I_2 \quad (19)$$

Autotransformador

$$E_1 + E_2 = V_L + Z_t \cdot I_2 \quad (20)$$

Utilizando a relação de tensão no transformador monofásico:

$$E_1 + n \cdot E_1 = (1 + n) \cdot E_1 = V_L + Z_t \cdot I_2 \quad (21)$$

Uma vez que a tensão $V_S = E_1$ e $I_2 = I_L$. Então:

$$V_S = \frac{1}{1 + n} \cdot V_L + \frac{Z_t}{1 + n} \cdot I_L \quad (22)$$

Autotransformador

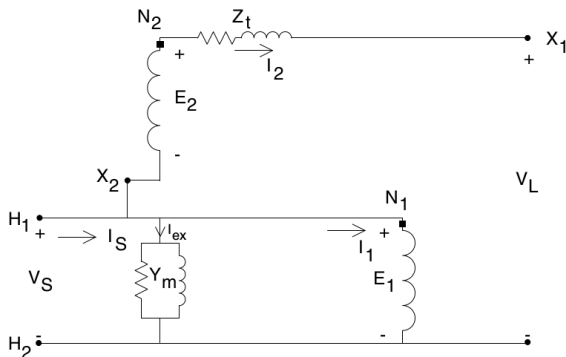
Na forma geral:

$$V_S = a \cdot V_L + b \cdot I_L \quad (23)$$

$$a = \frac{1}{1+n} \quad (24)$$

$$b = \frac{Z_t}{1+n} \quad (25)$$

Autotransformador



Agora, aplicado lei de Kirchhoff das correntes no nó H_1 :

$$I_S = I_1 + I_2 + I_{ex} \quad (26)$$

$$I_S = (1 + n) \cdot I_2 + Y_m \cdot V_S \quad (27)$$

Autotransformador

$$I_S = (1 + n) \cdot I_2 + Y_m \cdot V_S \quad (28)$$

Substituindo V_S nessa equação:

$$I_S = (1 + n) \cdot I_2 + Y_m \cdot \left(\frac{1}{1 + n} \cdot V_L + \frac{Z_t}{1 + n} \cdot I_2 \right) \quad (29)$$

$$I_S = \frac{Y_m}{1 + n} \cdot V_L + \left(\frac{Y_m \cdot Z_t}{1 + n} + n + 1 \right) \cdot I_2 \quad (30)$$

$$I_S = c \cdot V_L + d \cdot I_2 \quad (31)$$

Com:

$$c = \frac{Y_m}{1 + n} \quad (32)$$

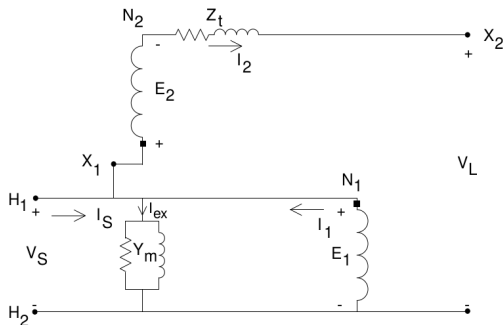
$$d = \frac{Y_m \cdot Z_t}{1 + n} + n + 1 \quad (33)$$

Novamente, temos:

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_L \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (34)$$

Autotransformador

Caso o terminal do primário H_1 for conectado no terminal secundário X_1 ao invés do terminal X_2 , a conexão será do tipo subtrativa:



$$E_1 - E_2 = V_L + Z_t \cdot I_2 \quad (35)$$

Autotransformador

Se desenvolvermos chegaremos a equações bem semelhantes da conexão aditiva. De forma geral as equações para conexão aditiva e subtrativa ficam:

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_L \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$a = \frac{1}{1 \pm n} \quad (37)$$

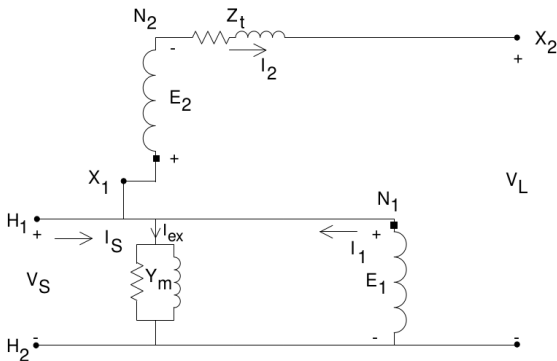
$$b = \frac{Z_t}{1 \pm n} \quad (38)$$

$$c = \frac{Y_m}{1 \pm n} \quad (39)$$

$$d = \frac{Y_m \cdot Z_t}{1 \pm n} + n \pm 1 \quad (40)$$

Valores nominais de um autotransformador

A potência nominal de um autotransformador é dada pelo produto da tensão no primário pela corrente no primário, ou pelo produto da tensão no secundário pela corrente no secundário.



Valores nominais de um autotransformador

Relacionando as potências de um autotransformador com as potências de um transformador simples de dois enrolamentos, teremos:

$$V_{autoL} = E_1 \pm E_2 = (1 \pm n) \cdot E_1 \quad (41)$$

A potência de saída fica:

$$S_{auto} = V_{autoL} \cdot I_2 = (1 \pm n) \cdot E_1 \cdot I_2 \quad (42)$$

Agora como $I_2 = \frac{I_1}{n}$, então:

$$S_{auto} = \frac{1 \pm n}{n} \cdot E_1 \cdot I_1 \quad (43)$$

Já que $S_{trafo} = E_1 \cdot I_1$, então:

$$S_{auto} = \frac{1 \pm n}{n} \cdot S_{trafo} \quad (44)$$

Valores nominais de um autotransformador

$$S_{auto} = \frac{1 \pm n}{n} \cdot S_{trafo} \quad (45)$$

Essa equação dá a relação entre as potências de um transformador monofásico quando tem seus terminais conectados como autotransformador.

O que se pode constatar é que:

Quando se tem $n \rightarrow \infty$ então $S_{auto} \approx S_{trafo}$.

Quando, $n \rightarrow 0$, então $S_{auto} \rightarrow \infty$

Em geral nos **autotransformadores o valor de n é pequeno**, então:

$$S_{auto} \gg S_{trafo} \quad (46)$$

Valores nominais de um autotransformador

Por exemplo, se tivermos um transformador de 150 kVA 13,8kV : 380V, conectado como autotransformador, então:

$$n = \frac{380}{13,8 \cdot 10^3} = 0,0275 \quad (47)$$

Este, quando conectado como autotrafo elevador terá relação 13,8 kV : 14,2 kV e será capaz de entregar uma potência de:

$$S_{auto} = \frac{1+n}{n} \cdot S_{trafo} = \frac{1+0,0275}{0,0275} \cdot 150 \cdot 10^3 \approx 5,6 \text{ MVA} \quad (48)$$

A corrente de linha suportada por este autotransformador será de:

$$I_{linha} = \frac{5 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 13,8 \cdot 10^3} = 234,56 \text{ A} \quad (49)$$

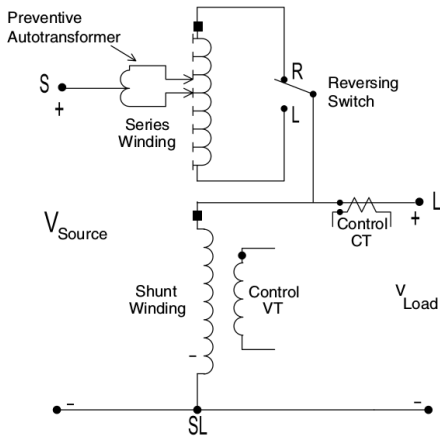
Regulador de tensão

O **regulador de tensão** consiste de um **autotransformador** e de um **comutador de derivação sob-carga**.

Assim, o nível de tensão é modificado por meio da **mudança dos taps** do enrolamento série do autotransformador, em que a posição do tap é definida por um **controlador automático**.

Em geral estes equipamentos permitem uma faixa de ajuste de $\pm 10\%$ na tensão, em até 32 passos e podem ser conectados tanto para **eleva**r a tensão quanto para **rebaixá-la**. Logicamente, sua **maior aplicação é na elevação de tensão**.

Regulador de tensão



Regulador de tensão

Alguns ajustes típicos necessários à configuração do regulador de tensão são:

- **Nível de tensão** desejado na carga;
- **Faixa de variação da tensão:** por exemplo se o nível de tensão desejado for 120,0V, e a faixa de variação for de 2,0V, então o regulador de tensão fará mudança nos taps até que a tensão fique dentro da faixa de 119-121V;
- **Atraso na atuação:** tempo de atraso na atuação para evitar mudanças em transitórios ou alterações de corrente de curta duração;
- **Compensação de linha:** impedância total da linha entre o regulador e a carga com tensão a ser ajustada.

Regulador de tensão

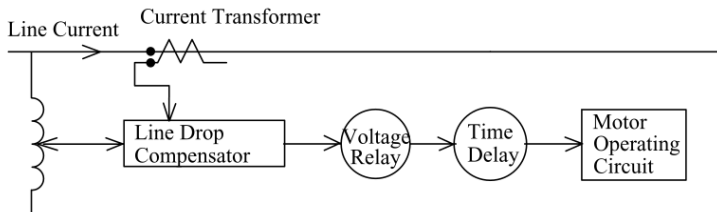


Figura: Componentes de um regulador de tensão.

Regulador de Tensão Monofásico Tipo A

O Regulador tipo A tem seu enrolamento em derivação ligado ao circuito primário e o enrolamento série é ligado ao enrolamento em derivação e à carga. Nesse tipo de ligação a corrente de excitação do autotransformador varia.

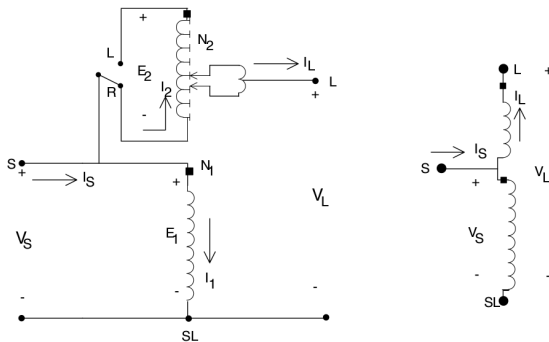


Figura: Regulador de tensão tipo A em ligação elevadora.

Regulador de Tensão Monofásico Tipo A

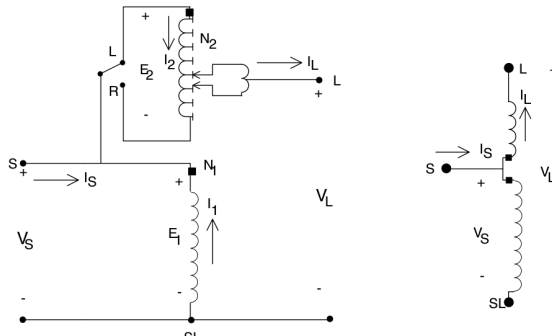


Figura: Regulador de tensão tipo A em ligação rebaixadora.

Regulador de Tensão Monofásico Tipo B

O regulador tipo B tem o enrolamento tipo série ligado ao circuito primário e ao enrolamento em derivação, que é ligado diretamente à carga. Nesse caso a corrente de excitação do autotrafo não varia pois ele está ligado a um circuito regulado.

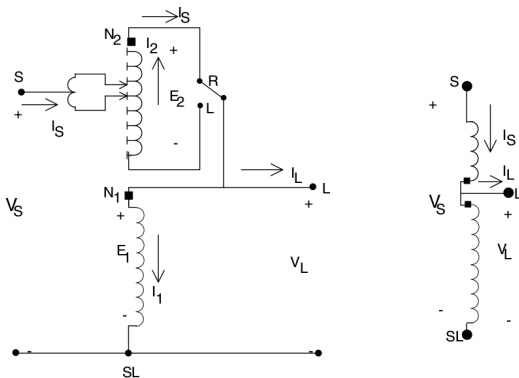


Figura: Regulador de tensão tipo B em ligação elevadora.

Regulador de Tensão Monofásico Tipo B

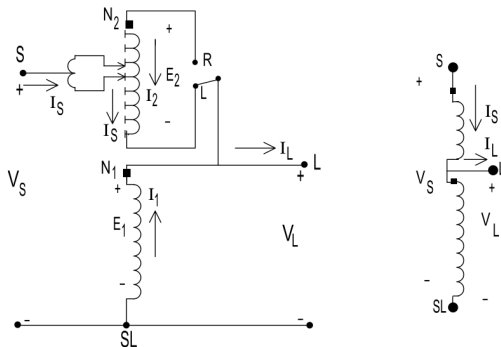


Figura: Regulador de tensão tipo A em ligação rebaixadora.

Regulador de Tensão Monofásico Tipo B

As equações de tensão que modelam o comportamento do **regulador tipo B elevador** são:

$$\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} \quad (50)$$

$$V_s = E_1 - E_2 \quad (51)$$

$$V_L = E_1 \quad (52)$$

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot E_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_L \quad (53)$$

$$V_S = \left(1 - \frac{N_2}{N_1}\right) \cdot V_L \quad (54)$$

$$V_S = a_R \cdot V_L \quad (55)$$

$$a_R = 1 - \frac{N_2}{N_1} \quad (56)$$

Regulador de Tensão Monofásico Tipo B

As equações de corrente que modelam o comportamento do **regulador tipo B elevador** são:

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \quad (57)$$

$$I_L = I_S - I_1 \quad (58)$$

$$I_2 = I_S \quad (59)$$

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_S \quad (60)$$

$$I_L = \left(1 - \frac{N_2}{N_1}\right) \cdot I_S \quad (61)$$

$$I_L = a_R \cdot I_S \quad (62)$$

$$a_R = 1 - \frac{N_2}{N_1} \quad (63)$$

Constantes Generalizadas

Colocando as equações de tensão e corrente do **regulador tipo B elevador de tensão** é possível encontrar suas constantes generalizadas, *abcd*:

$$V_S = \frac{1}{a_R} \cdot V_L \quad (64)$$

$$I_S = a_R \cdot I_L \quad (65)$$

Dessa forma:

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a_R} & 0 \\ 0 & a_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_L \\ I_L \end{bmatrix} \quad (66)$$

Compensador de Linha

Muitos reguladores têm são configurados sem o ajuste de um **compensador de linha**.

Caso isso seja realizado, e seja ajustada uma tensão de 120V, será necessário mais de um regulador no alimentador para que o nível de tensão fique dentro dos limites estabelecidos.

Caso seja ajustada uma tensão de 126V, não seria necessário a utilização de mais reguladores, mas em condições de carga leve isso poderia causar sobre tensões na linha, principalmente se houverem bancos de capacitores no alimentador.

Com a utilização de compensadores de linha, é possível ter um maior aumento na tensão em situação de carga pesada enquanto que para condições de carga leve, esse aumento seria contido.

Compensador de Linha

A mudança dos TAPes de um regulador de tensão são controladas por um compensador de linha.

O objetivo do compensador de linha é modelar a queda de tensão entre regulador e carga.

Isso é feito por meio do ajuste dos parâmetros R e X , forçando com que a impedância em pu da impedância de compensação seja igual a impedância da linha em pu.

Compensador de Linha

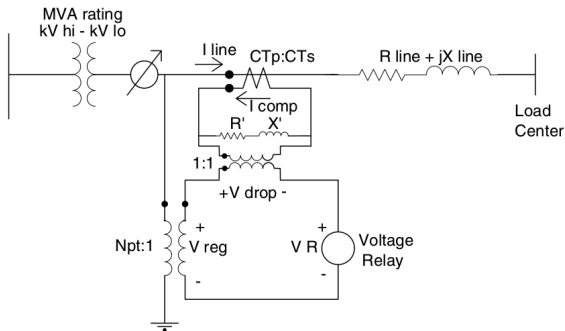


Figura: Regulador de tensão com compensador de linha.

Compensador de Linha

Tabela de bases do compensador de linha:

Table of Base Values

Base	Line Circuit	Compensator Circuit
Voltage	V_{LN}	$\frac{V_{LN}}{N_{PT}}$
Current	CT_P	CT_S
Impedance	$Z_{base_{line}} = \frac{V_{LN}}{CT_P}$	$Z_{base_{comp}} = \frac{V_{LN}}{N_{PT} \cdot CT_S}$

Figura: Regulador de tensão com compensador de linha.

Compensador de Linha

V_{LN} : Tensão de fase na linha;

N_{PT} : Relação de transformação do TP do compensador;

CT_P : Corrente nominal do primário do TC do compensador;

CT_S : Corrente nominal do secundário do TC do compensador;

Compensador de Linha

Aplicando os valores encontrados na tabela de bases para calcular as impedancias de base do sistema:

$$R_{pu} + jX_{pu} = \frac{R_{line} + jX_{line}}{Z_{base_{line}}} \quad (67)$$

$$= R_{line} + jX_{line} \cdot \frac{CT_p}{V_{LN}} \quad (68)$$

Compensador de Linha

Com os valores em pu podemos encontrar os valores, em Ω , da impedância de compensação do regulador:

$$R_{comp} + jX_{comp} = (R_{pu} + jX_{pu}) \cdot Z_{base_{comp}} \quad (69)$$

$$= (R_{line} + jX_{line}) \cdot \frac{CT_p}{V_{LN}} \cdot \frac{V_{LN}}{N_{PT} \cdot CT_S} \quad (70)$$

$$= (R_{line} + jX_{line}) \cdot \frac{CT_p}{N_{PT} \cdot CT_S} \quad (71)$$

Compensador de Linha

O ajuste da impedância de compensação do regulador é feito em *Volts*, assim, precisamos multiplicar o valor da impedância em Ω pela corrente nominal do secundário do TC.

$$R' + jX' = (R_{comp} + jX_{comp}) \cdot CT_S \quad (72)$$

$$= (R_{line} + jX_{line}) \cdot \frac{CT_p}{N_{PT} \cdot CT_S} \cdot CT_S \quad (73)$$

$$= (R_{line} + jX_{line}) \cdot \frac{CT_p}{N_{PT}} \quad (74)$$

Ultrapassagem de tensão

A maioria dos controladores de tensão possuem uma configuração para limitar o valor de tensão nos terminais do regulador, mesmo que a tensão na carga não seja regualda.

Esta configuração também é conhecida como **proteção de primeira casa**.

Alocação do regulador de tensão

Para um alimentador com distribuição uniforme de carga, é recomendável que o regulador de tensão seja posicionado na posição de $3/8$ do alimentador.

Caso sejam necessários dois reguladores no alimentador, é recomendável que estejam situados a uma distância de **20%** e **50%**, respectivamente, do comprimento do alimentador.

Também caso exista mais de um regulador em um alimentador é conveniente que seja realizada uma coordenação de tempo entre eles, ajustando um tempo de delay maior para o regulador mais distante da subestação.

Reguladores de tensão trifásicos

Três reguladores de tensão monofásicos podem ser conectados em uma ligação trifásica, sendo assim, cada regulador terá seu próprio mecanismo de regulação de tensão e irá alterar os taps do transformador individualmente.

As ligações comuns de reguladores de tensão são:

- Ligação estrela;
- Ligação Delta;
- Ligação Delta-aberto;
- Ligação Estrela-aberta;

Reguladores de tensão trifásicos: Ligação Y

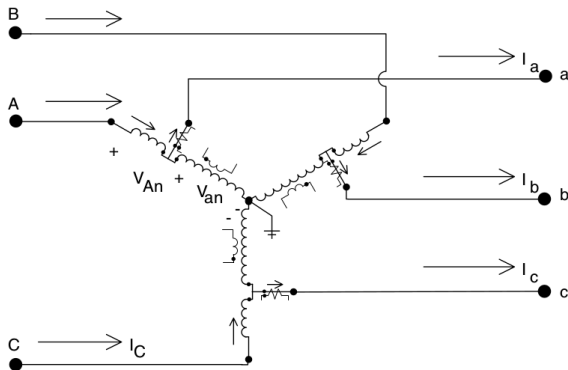


Figura: Ligação Estrela de reguladores de tensão monofásicos

Reguladores de tensão trifásicos: Ligação Y

Para a ligação em Y de três reguladores de tensão tipo B, aplica-se a seguinte equação matricial de tensões:

$$\begin{bmatrix} V_{An} \\ V_{Bn} \\ V_{Cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{Ra} & 0 & 0 \\ 0 & a_{Rb} & 0 \\ 0 & 0 & a_{Rc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (75)$$

Essa equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mathbf{V}_{ABC} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{V}_{abc} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{I}_{abc} \quad (76)$$

Reguladores de tensão trifásicos: Ligação Y

Para a ligação em Y de três reguladores de tensão tipo B, aplica-se a seguinte equação matricial de correntes:

$$\begin{bmatrix} I_{An} \\ I_{Bn} \\ I_{Cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a_{Ra}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{a_{Rb}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{a_{Rc}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{an} \\ I_{bn} \\ I_{cn} \end{bmatrix} \quad (77)$$

Essa equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mathbf{I}_{ABC} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{V}_{abc} + \mathbf{d} \cdot \mathbf{I}_{abc} \quad (78)$$

Reguladores de tensão trifásicos: Ligação Y

Assim para a ligação em Y de reguladores de tensão tipo B, as matrizes generalizadas são definidas por:

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{Ra} & 0 & 0 \\ 0 & a_{Rb} & 0 \\ 0 & 0 & a_{Rc} \end{bmatrix} \quad (79)$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{0}_{3 \times 3} \quad (80)$$

$$\mathbf{c} = \mathbf{0}_{3 \times 3} \quad (81)$$

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a_{Ra}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{a_{Rb}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{a_{Rc}} \end{bmatrix} \quad (82)$$

Reguladores de tensão trifásicos

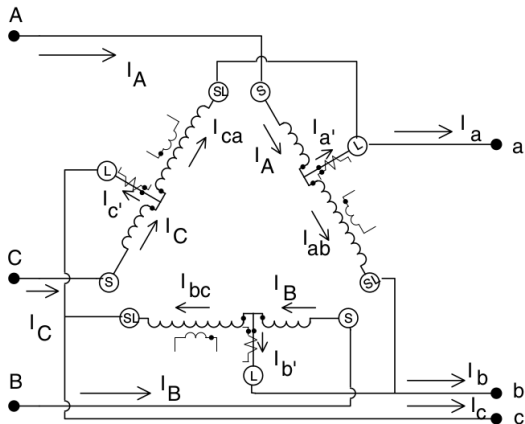


Figura: Ligação Delta completo de reguladores de tensão monofásicos

Reguladores de tensão trifásicos

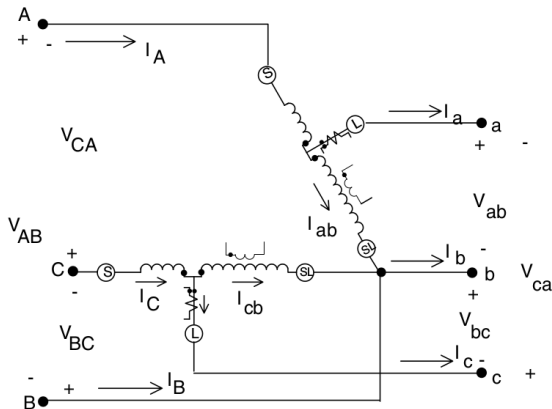


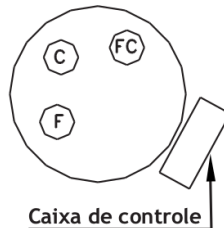
Figura: Ligação Delta aberto de reguladores de tensão monofásicos

Itens a serem verificados antes do regulador ser ligado

- Nível de óleo;
- Porcelana das buchas;
- Rigidez dielétrica do óleo (se estiver abaixo de 30kV será necessário filtrá-lo);
- Megar as buchas de fonte, carga e neutro (Valor mínimo de resistência entre as buchas curto-circuitadas deve ser de $2.000M\Omega$)

Nomenclatura das buchas

ISOLADORES	NOMENCLATURA	
	ANSI	ABNT
FONTE	"S"	"F"
CARGA	"L"	"C"
NEUTRO	"SL"	"FC"



Disposição dos isoladores na tampa do regulador

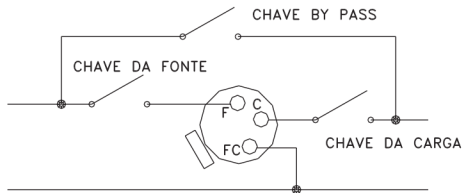


Figura 42 - MONOFÁSICO
Conexão de um regulador monofásico em uma linha monofásica.

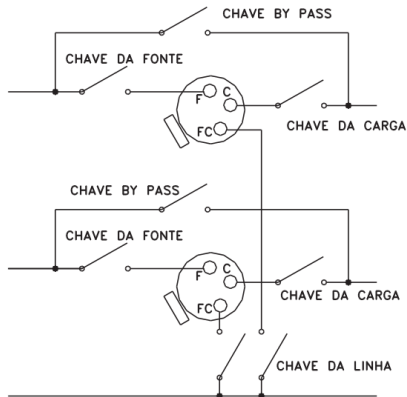


Figura 43 - DELTA ABERTO
Conexão de dois reguladores monofásicos em uma linha trifásica em delta aberto fornecendo ao sistema 10% de faixa de regulação nas 3 (três) fases.

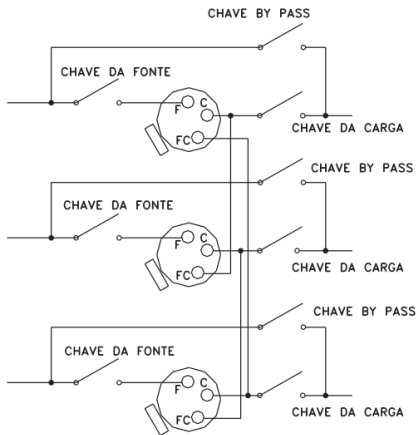


Figura 44 - DELTA FECHADO

Conexão de três reguladores monofásicos em uma linha trifásica em delta fechado fornecendo ao sistema 15% de faixa de regulação.

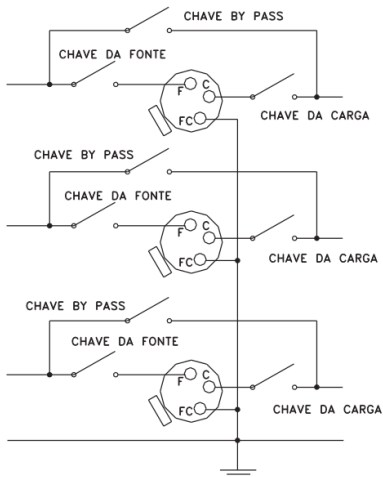


FIGURA 45 - CONECTADO EM ESTRELA

Conexão de três reguladores monofásicos em estrela em uma linha trifásica com neutro aterrado fornecendo ao sistema 10% de faixa de regulação.