

COMPENSAÇÃO DE REATIVOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO COMPENSADORES ESTÁTICOS FIXOS

Paulo H. O. Rezende, Fabrício P. Santilho, Lucas E. Vasconcelos, Thiago V. Silva
Faculdade de Engenharia Elétrica, Av. João naves de Ávila, 2121- Bloco 3N, CEP: 38402-902, Uberlândia-MG – Brasil,
paulohenrique16@gmail.com, fabricio.qee@gmail.com, lucasevasconcelos@gmail.com, tvsilva@gmail.com,

Resumo – Este artigo tem como ponto central descrever sobre compensação de reativos em linhas de transmissão, utilizando compensadores estáticos fixos. O trabalho se inicia abordando uma ideia geral sobre o assunto a ser tratado. Para realizar as simulações na plataforma computacional ATPDraw, os parâmetros de uma linha real foram utilizados. Destes parâmetros foram encontrados as constantes de quadripolo da linha onde posteriormente os cálculos dos compensadores foram feitos. Foram simulados oito casos de diferentes arranjos de compensação e monitorando a tensão RMS do receptor, com o intuito de eliminar ou diminuir o Efeito Ferranti.

Palavras-Chave – ATPDraw, Capacitor série, Compensação de reativos, Compensadores em derivação, Quadripolo, Efeito Ferranti.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica, bem como a maioria das cargas das unidades consumidoras, como motores, lâmpadas de descarga, fornos de indução, etc. consomem energia reativa. Como se sabe da teoria de circuitos elétricos, a potência aparente, medida em [VA], é constituída de dois tipos de potência:

- **Potência Ativa:** medida em [W]. Está é a potência que efetivamente realiza trabalho, gerando calor, luz, movimento, etc.
- **Potência reativa:** medida em [Var]. Esta potência é usada para criar e manter os campos eletromagnéticos.

Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um “espaço” no sistema elétrico, que poderia ser utilizado para fornecer energia ativa.

O “triângulo das potências” ilustra a relação entre as potências ativa (P), reativa (Q) e aparente (S).

À razão entre as potências ativa e aparente de uma determinada carga denomina-se de “fator de potência”.

O fator de potência indica qual porcentagem da potência total fornecida (kVA) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW). Assim, o fator de potência indica o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de

fator de potência (próximos de 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representar uma sobrecarga para todo o sistema elétrico.

Baixos FP's resultam em aumento na corrente total que circula nas redes de distribuição de energia elétrica da concessionária e das unidades consumidoras. Isso pode sobrecarregar as subestações bem as linhas de transmissão e distribuição, prejudicando os níveis de tensão bem como a estabilidade e as condições de aproveitamento dos sistemas elétricos, trazendo inconvenientes diversos, mas focando nos objetivos desde artigo somente os efeitos provocados por elevação de tensão e potência transmissível em linhas de transmissão [1],[4].

II. OPERAÇÃO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO

Nos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, o controle de reativo, em geral, é feito com a ajuda de dispositivos conectados em paralelo e que tenham a característica de gerar e/ou absorver reativos.

O termo compensação de linha está relacionado à propriedade natural das linhas de transmissão, que requerem energia reativa em maior ou menor quantidade, para efetivarem o transporte da potência ativa. A condição ideal de transporte de energia através de uma linha é aquela em que ela transporta uma potência ativa de valor correspondente à sua Potência Natural, P_0 .

A figura 1.1 ilustra a potência reativa adicional que deve ser gerada ou absorvida, em derivação (shunt), a cada 100 km de linha, para linhas de diversas classes de tensão. Assim, observa-se que, a única condição em que uma linha não requer reativo adicional é quando a mesma está transportando a potência natural “ P_0 ”.

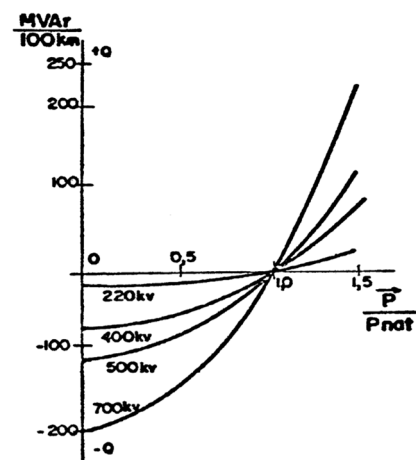


Fig. 1. Solicitação de potência reativa por linhas de transmissão, para vários níveis de tensão.



Quando a linha transporta potências ativas inferiores a “P0”, a mesma estará gerando mais reativo do que ela realmente necessita para efetuar o transporte da potência ativa. Isso está representado, na figura 1.1, pela região de reativo negativo (-Q).

Esse reativo adicional (que é gerado pela linha) cresce com o nível de tensão e o comprimento da linha. Se esse reativo excedente não for absorvido por algum banco de reatores em derivação, máquina síncrona ou mesmo pelo sistema, então a tensão ao longo da linha irá aumentar (“Efeito Ferranti”), podendo até atingir níveis proibitivos.

Por outro lado, se a linha estiver transmitindo potência ativa superior a “P0”, a figura 1.1 indica que a linha terá necessidade de receber reativo adicional àquele que ela gera (o qual seria suficiente apenas para o transporte de “P0”). Se isso não ocorrer, a tensão ao longo da linha irá decrescer. Esse reativo adicional, em geral, é proporcionado por bancos de capacitores em derivação.

De uma maneira geral, diz-se que uma linha de transmissão recebeu uma compensação em derivação quando algum banco de reatores ou de capacitores nela foi instalado com a finalidade de absorver ou gerar reativo adicional àquele que as capacitâncias shunt (entre condutores e entre condutores e o solo) da linha gera.

Existem problemas também relacionados com a reatância indutiva série de uma linha. Seja, por exemplo, uma linha longa que esteja operando com ângulos de potência grandes, que estejam comprometendo a estabilidade estática da transmissão. Esse problema, via de regra, é uma consequência da alta reatância indutiva série da linha. Para decrescê-la, uma boa alternativa é a inserção de bancos de capacitores em série. Assim, uma linha de transmissão que tiver um banco de capacitores assim instalado, terá recebido uma compensação série.

De uma maneira geral, uma linha de comprimento entre 300 km e 500 km já requer compensação em derivação. Pode-se também afirmar que uma linha de transmissão que requer compensação série, certamente necessitará de compensação em derivação [2].

III. PARAMETRIZAÇÃO DA LINHA DE TRANSMISSÃO

O ATPDraw foi a plataforma computacional escolhida para obter os resultados propostos no trabalho.

Para o devido fim, uma linha de transmissão seccionada em dois trechos com comprimentos iguais, alimenta uma carga representando uma cidade. Para um estudo mais coerente, uma linha de transmissão que interliga duas cidades no estado de Mato Grosso com nível de tensão 230 kV foi utilizado. Para a representação da mesma no ATPDraw, o modelo de linha com parâmetros distribuídos transposta trifásica foi utilizado, devido a simplicidade dos dados de entrada necessários e o objetivo do estudo, que se resume em analisar a compensação de reativos.

A Tabela I mostra os parâmetros elétricos da linha de transmissão e necessários pelo ATPDraw para representar a linha de transmissão.

TABELA I
Parâmetros elétricos da linha utilizada

	Resistência(Ω)	Indutância(mH)	Cap. Shunt(μF)
Seq. (+)	0,0819	1,31496	0,00889
Seq. Zero	0,4611	4,43687	0,00625

Como explicado anteriormente, a linha possui dois trechos, com 200 km cada um, totalizando 400 km da fonte geradora de tensão até a carga supridora.

Para dar continuidade nos estudos, será necessário a representação da linha por um Quadripolo modelo ABCD, ou “constantes generalizadas” das linhas de transmissão. É praticamente o único utilizado, pelas características de simplicidade de cálculo e versatilidade que oferecem.

O modelo ABCD, ilustrado na Figura 2, é definido a partir das equações de tensão e corrente como segue:

$$\hat{U}_1 = \hat{A}\hat{U}_2 + \hat{B}\hat{I}_2 \quad (1)$$

$$\hat{I}_1 = \hat{C}\hat{U}_2 + \hat{D}\hat{I}_2 \quad (2)$$

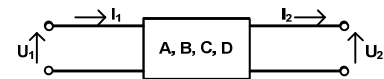


Fig. 2. Quadripolo típico de linha de transmissão

Para o cálculo das constantes de quadripolo, deve-se levar em consideração a classificação da linha como, curta, média ou longa. Para o caso estudado, a linha de comporta como linha longa devido sua classe de tensão e sua extensão física.

Devido o quadripolo ser uma representação monofásica, o circuito equivalente π pode ser obtido utilizando os dados de sequência positiva para representar a impedância série da linha e os dados de sequência zero para representar a admitância shunt para terra. A Figura 3 ilustra o circuito equivalente bem com seus valores apropriados por km.

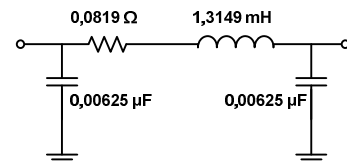


Fig. 3. Circuito elétrico equivalente

A impedância série e a admitância shunt são escritas como:

$$Z = (0,0819 + j0,4957) \Omega/km \quad (3)$$

$$Y = -j0,00000235625 \text{ MHO}/km \quad (4)$$

A impedância característica e a constante de propagação foram obtidas das seguintes expressões:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = (461,77 \angle -4,69^\circ) \Omega \quad (5)$$

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y} = (0,001088 \angle 85,30^\circ) (\text{m}^{-1}) \quad (6)$$

As constantes do quadripolo foram calculadas para linha longa conforme a matriz abaixo:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma & Z_c \sinh \gamma \\ 1/Z_c \sinh \gamma & \cosh \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

Resultando nos seguintes valores para a metade da linha, ou seja, para cada trecho de 200 km:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0,976 \angle 0,22^\circ) & (99,701 \angle 80,68^\circ) \\ (0,000467 \angle 90,06^\circ) & (0,976 \angle 0,22^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

Para os dois trechos da linha, totalizando o comprimento total de 400 km, as constantes de quadripolo assumem os valores de:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0,908 \angle 0,94^\circ) & (194,76 \angle 80,90^\circ) \\ (0,000913 \angle 90,28^\circ) & (0,908 \angle 0,94^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

IV. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A metodologia aplicada ao estudo consiste em simular a linha de transmissão caracterizada anteriormente, em algumas situações de carregamento, rejeição de carga e a vazio. Primeiro será analisado a linha sem nenhum tipo de compensação e posteriormente serão testadas várias configurações de compensação em derivação, série e total, com a finalidade de comparar a eficiência de cada caso em particular. A figura 4 mostra uma ideia geral do circuito total montado no simulador ATPDraw.

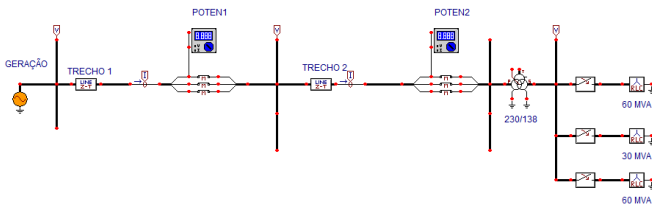


Fig. 4. Sistema montado do ATPDraw

Todas simulações feitas possuíram tempo total de 4 segundos, sendo que a carga utilizada foi de 60 MVA, f.p.=0,92 em 138kV, enquanto que a potência natural da linha é da ordem de $P_0=115$ MVA.

Os tempos foram divididos da seguinte forma:

- T= 0 a 1 s.: Carga de 60 MVA presente;
- T= 1 a 2 s.: Carga de 30 MVA presente;
- T= 2 a 3 s.: Carga de 60 MVA presente;
- T= 3 a 4 s.: Operação a vazio.

A. Compensação em Derivação

Visa neutralizar o efeito das reatâncias em derivação das linhas de transmissão através de elementos em derivação absorvendo energia reativa de sinal oposto. Em outras palavras, empregam-se reatores indutivos para compensar as reatâncias capacitivas naturais das linhas. Com essa compensação procura-se, principalmente, a neutralização do *Efeito Ferranti*, ligando-se a ambas as extremidades das linhas reatores indutivos.

De acordo com equação (1) a neutralização do *Efeito Ferranti* (para uma linha a vazio, pior caso) se dá quando a constante A for igual a 1. Portanto esse é o critério para dimensionamento do compensador em derivação.

Caso 1: Compensação em derivação nas duas extremidades.

A figura 5 ilustra o arranjo do quadripolo total da linha e o posicionamento dos dois reatores em derivação.

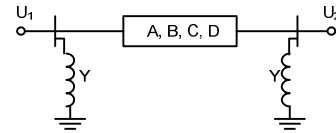


Fig. 5. Representação de uma linha por quadripolo com seus compensadores em derivação

Com o auxílio de [2], encontrou-se um valor de $Y = -j0,0004787$ [MHO] para cada extremidade da linha.

A Figura 6 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação em derivação.

Lembrando que a tolerância de tensão permitido pelo ONS para essa classe de tensão é +/- 5%, resultando em 219KV e 242 KV.

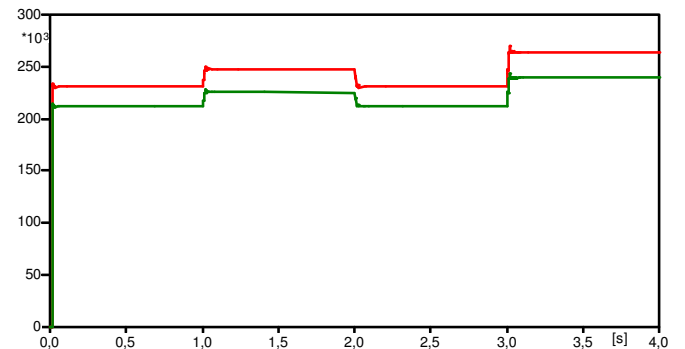


Fig. 6. Tensão RMS no receptor sem e com compensação

A Tabela II resume os valores encontrados na Figura 6.

TABELA II
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verme.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	211 kV	225 kV	211 kV	239 kV

B. Compensação Série

Os parâmetros série das linhas de transmissão, reatância indutiva e resistência, são os responsáveis pelas grandes quedas de tensão nas linhas. A reatância indutiva, além do mais, é também responsável pelo ângulo de potência da linha, portanto, pelo seu grau de estabilidade, tanto estática como dinâmica. Para manutenção do seu campo magnético, necessita da energia reativa que absorve do sistema alimentador. Seus efeitos são proporcionais à corrente na linha. A compensação poderá então ser feita através de capacitores ligados em série, capaz de reduzir e mesmo anular os efeitos da indutância da linha, quando vistos de seus terminais.

A compensação série está intrinsecamente relacionada com a constante B . Além disso, sua parte real não pode ser compensada. Logo, o critério matemático para determinação do compensador série partirá da consideração de se obter uma diminuição da parte imaginária de B . Para uma compensação total $B_I = 0$.

Caso 2: Capacitor série no meio da linha.

A figura 7 ilustra o arranjo dos quadripolo de cada trecho de 200 km da linha e o posicionamento do capacitor no meio da linha.

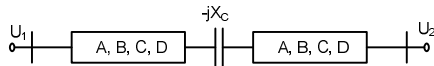


Fig. 7. Quadripolos de cada trecho da linha com compensador série

O valor da reatância capacitiva calculada para uma compensação total no meio da linha foi de $X_c = -j201,59 \Omega$.

A Figura 8 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação série no meio da linha.

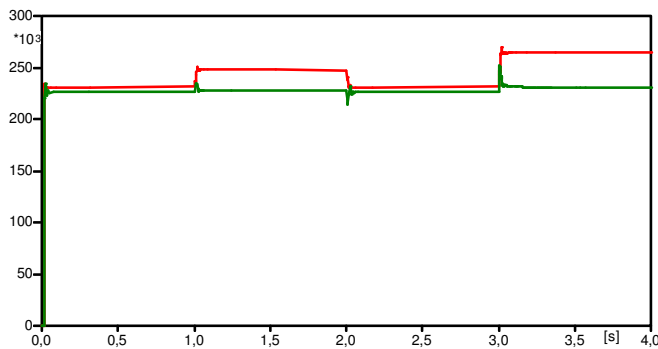


Fig. 8. Tensão RMS no receptor sem e com compensação.

A Tabela III resume os valores encontrados na Figura 8.

TABELA III
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verm.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	226 kV	227 kV	226 kV	230 kV

Caso 3: Capacitor série no lado do transmissor da linha.

A figura 9 ilustra o arranjo do quadripolo total da linha e o posicionamento do capacitor série no lado do transmissor da linha.



Fig. 9. Quadripolo total com o capacitor série no transmissor.

O valor da reatância capacitiva calculada para uma compensação total no transmissor foi de $X_c = -j211,81 \Omega$.

A Figura 10 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação série no transmissor da linha.

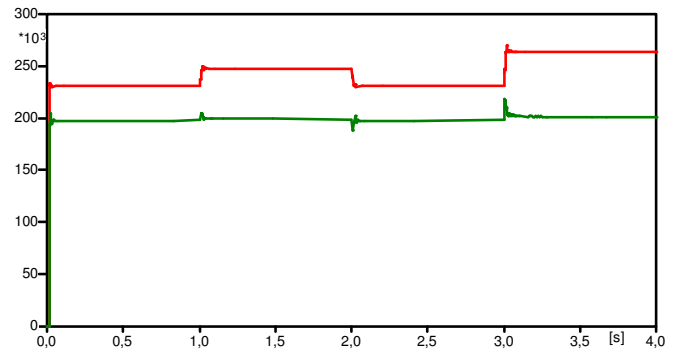


Fig. 10. Tensão RMS no receptor sem e com compensação.

A Tabela IV resume os valores encontrados na Figura 10.

TABELA IV
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verm.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	197 kV	199 kV	197 kV	201 kV

Caso 4: Capacitor série no lado do receptor da linha.

A figura 11 ilustra o arranjo do quadripolo total da linha e o posicionamento do capacitor série no lado do receptor da linha.

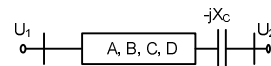


Fig. 11. Quadripolo total com o capacitor série no receptor.

O valor da reatância capacitiva calculada para uma compensação total no receptor foi de $X_c = -j211,81 \Omega$. Como $A=D$ as reatâncias dos compensadores série nas duas extremidades são iguais, porém com resultados finais diferentes observados na sequência.

A Figura 12 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação série no receptor da linha.

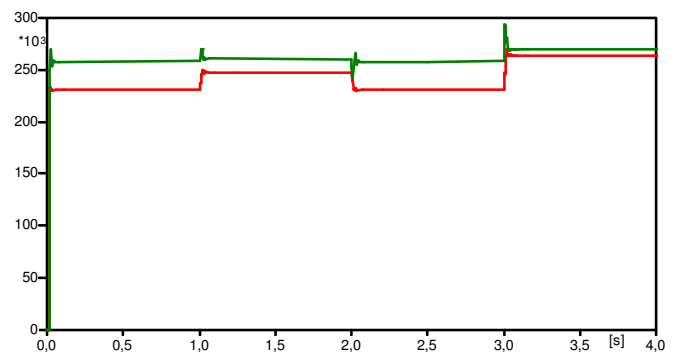


Fig. 12. Tensão RMS no receptor sem e com compensação.

A Tabela V resume os valores encontrados na Figura 12.

TABELA V
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verm.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	257 kV	260 kV	257 kV	269 kV

Caso 5: Capacitor série no lado do transmissor e receptor da linha.

A figura 13 ilustra o arranjo do quadripolo total da linha e o posicionamento do capacitor série no lado do transmissor e receptor da linha.



Fig. 13. Quadripolo total com o capacitor série no transmissor e receptor.

O valor da reatância capacitiva calculada para uma compensação total foi de $X_c = -j100,79 \Omega$ de cada lado do transmissor e receptor da linha.

A Figura 14 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação série no transmissor e receptor da linha.

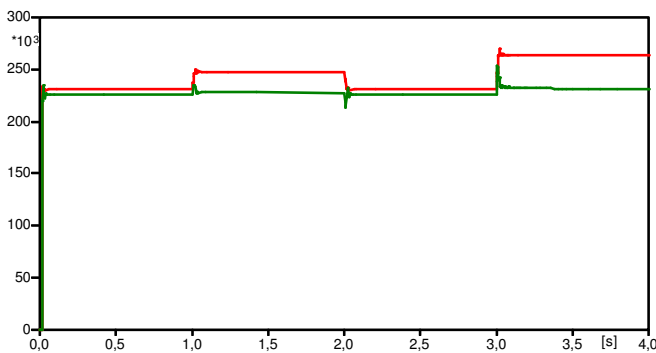


Fig. 14. Tensão RMS no receptor sem e com compensação.

A Tabela VI resume os valores encontrados na Figura 14.

TABELA VI
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verme.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	225 kV	227 kV	225 kV	231 kV

C. Compensação Total.

A compensação total constitui-se, pode-se dizer, na combinação da compensação série com a compensação derivação. Algumas vezes já é incluída, no seu todo, no planejamento da linha de transmissão. Outras vezes, contudo, é providenciada pela necessidade de aumentar a capacidade de transmissão de linhas já incluindo compensação em derivação, através da instalação de capacitores série. Basicamente, os reatores em derivação corrigem o efeito Ferranti, enquanto os capacitores série aumentam a capacidade da transmissão da linha. Na verdade, porém, quando da combinação de ambos, há uma interdependência intrínseca entre as duas compensações, de forma que uma chega a influir sobre o efeito da outra. Isto significa dizer que o efeito dos reatores derivação antes e após a instalação de capacitores série é diferente, podendo ser no sentido de aumentar ou diminuir a eficiência, conforme as circunstâncias envolvidas entre os parâmetros da linha e dos compensadores. A recíproca desta influência, também é verdadeira.

Caso 6: Compensadores em derivação nas extremidades da linha e capacitor série na metade do trecho.

A figura 15 ilustra o arranjo dos quadripolo de cada trecho de 200 km da linha e o posicionamento do capacitor no meio da linha e os reatores nas extremidades da mesma.

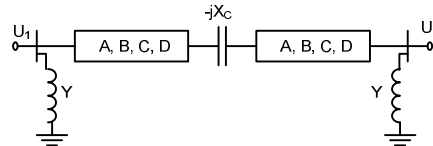


Fig. 15. Quadripolos de cada trecho da linha com compensador série no meio e os reatores em derivação nas extremidades.

Da teoria de compensação encontrou-se um valor de admitância $Y = -j0,0004785$ [MHO] para cada extremidade da linha. Para a reatância capacitiva no meio da linha, os cálculos indicaram um $X_c = -j201,59 \Omega$.

A Figura 16 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação total da linha.

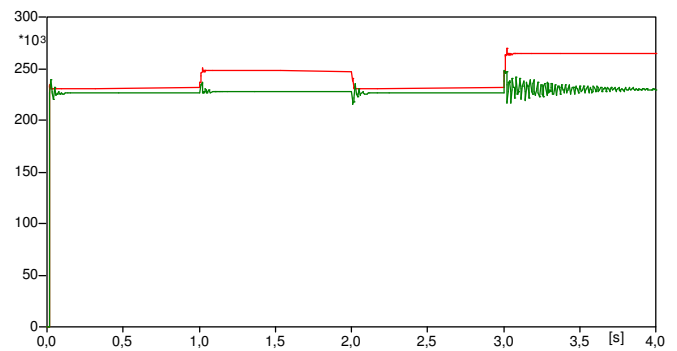


Fig. 16. Tensão RMS no receptor sem e com compensação.

A Tabela VII resume os valores encontrados na Figura 16.

TABELA VII
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verme.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	226 kV	227 kV	226 kV	230 kV

Caso 7: Compensadores em derivação e capacitores série nas extremidades da linha – Modelo A.

A figura 17 ilustra o arranjo do quadripolo total da linha e o posicionamento dos compensadores em derivação seguido do capacitor série em cada extremidade da linha, arranjo esse nomeado neste trabalho de “Modelo A”.

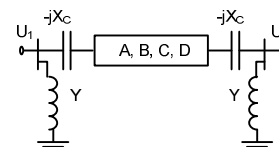


Fig. 17. Quadripolo total da linha representando o Modelo A de compensação total.

Os cálculo para os reatores em derivação resultaram em uma admitância $Y = -j0,0000043591$ [MHO] e uma reatância capacitiva $X_c = -j100,79 \Omega$ para cada extremidades da linha.

A Figura 18 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação total da linha.

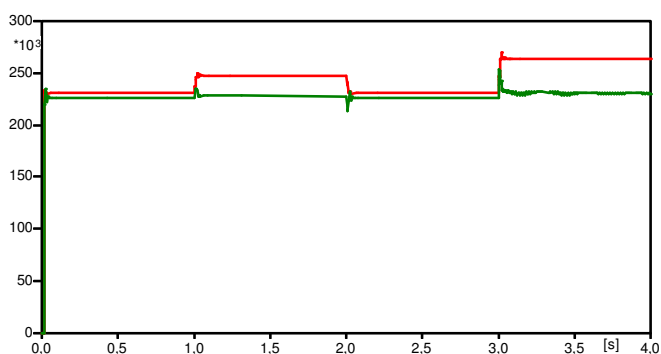


Fig. 18. Tensão RMS no receptor sem e com compensação.

A Tabela VIII resume os valores encontrados na Figura 18.

TABELA VIII
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verm.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	225 kV	227 kV	225 kV	232 kV

Caso 8: Compensadores em derivação e capacitores série nas extremidades da linha – Modelo B.

A figura 19 ilustra o arranjo do quadripolo total da linha e o posicionamento do capacitor série seguidos dos compensadores em derivação em cada extremidade da linha, arranjo esse nomeado neste trabalho de “Modelo B”.

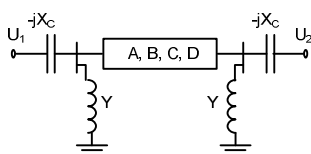


Fig. 19. Quadripolo total da linha representando o Modelo B de compensação total.

Os valores numéricos da admitância do compensador em derivação e a reatância do capacitor série para esse Modelo B, foram os mesmo adotado para o Modelo A.

A Figura 20 mostra a tensão RMS no receptor sem (vermelho) e com (verde) a compensação total da linha.

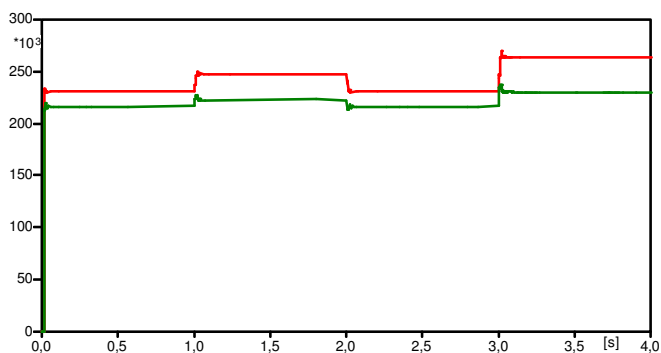


Fig. 20. Tensão RMS no receptor sem e com compensação.

A Tabela IX resume os valores encontrados na Figura 20.

TABELA IX
Tensão RMS no receptor da linha.

	T= 0 a 1 s.	T= 1 a 2 s.	T= 2 a 3 s.	T= 3 a 4 s.
Sem(Verm.)	230 kV	247 kV	230 kV	264 kV
Com(Verde)	216 kV	222 kV	216 kV	230 kV

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente a linha sem compensação nenhuma, com carga de 60 MVA apresentou um nível de tensão no receptor bastante satisfatório mantendo o mesmo valor do transmissor. Fato este que não se repetiu quando saiu metade da carga, elevando a tensão a acima do limite tolerado, repetindo quando a linha operou a vazio, evidenciando o *Efeito Ferranti* na linha.

Para a compensação do caso 1 e caso 8, nota-se que a plena carga a queda de tensão foi muito grande, resolvendo o problema apenas para o instante com metade da carga e a vazio. Observa-se também que os transitórios não foram elevados ao ponto de preocupar a operação da linha e da carga.

Para os caso 2, caso 5, caso 6 e caso 7 as compensações se mostram bastante eficazes, mantendo a tensão, inclusive a vazio, dentro de uma faixa aceitável para este nível de tensão. O que necessita de maior atenção foi o transitório para a tensão a vazio observada no caso 6, em que a mesma demorou mais de 0,8 segundos para estabilizar, mais não alcançando valores que poderiam prejudicar a operação.

Os caso 3 e caso 4 mostraram uma compensação não satisfatória, para o primeiro, os valores de tensões ficaram todos abaixo da faixa permitida, enquanto o caso 4 as tensões ultrapassaram os limites admissíveis. Os transitórios para o caso 4, principalmente quando de perdeu toda carga, atingiu valores consideráveis, podendo afetar a operação do sistema.

VI. CONCLUSÕES

O artigo abordou 8 formas de compensação de reativos em linhas de transmissão, tendo como foco principal eliminar o *Efeito Ferranti*, presente principalmente quando a linha supri uma carga inferior a sua potência natural. Todos os compensadores foram calculados para uma compensação total. Observou-se que alguns arranjos cumpriram o esperado, outros em parte e alguns não se mostram satisfatório para nenhuma situação proposta para o estudo. Como trabalhos futuros, a simulação de compensadores estáticos chaveados seria uma opção bastante interessante de ser estuda, principalmente em aspectos de transitórios de energização dos compensadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. W. Resende, “Introdução a Compensação Reativa”, Apostila da Disciplina Carga Elétricas não Convencionais na Rede Elétrica, UFU.
- [2] R. D. Fuchs, “Transmissão de Energia Elétrica” Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1979.
- [3] Naturesa, J.S.: “A Influência de Compensadores Estáticos de Reativos na Estabilidade de Tensão de Sistemas de Energia Elétrica”. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2001, Campinas – SP;
- [4] A. Monticelli, A. Garcia, “Introdução a Sistemas de Energia Elétrica”, Editora da UNICAMP. São Paulo, 251p, 1999.
- [5] Stevenson, W.D.Jr.; “Elementos de Análise de Sistemas de Potência”: Ed.McGraw-Hill do Brasil, 1978;
- [6] *Alternative Transients Program (ATP) Rule Book*, Julho 1987.