

Linhas de Transmissão CA X CC

Gustavo Henrique Matias de Lima ¹

Ericveiber de Lima Dias Clemente²

RESUMO

No final do século 19, quando houve a guerra das correntes entre os dois maiores inventores, Nikola Tesla e Thomas Edison, foi determinado que a corrente alternada era mais eficiente na transmissão de energia elétrica, não se imaginava que agora mais de 100 anos depois, a demanda de carga seria tão diferente que causaria perdas maiores que as linhas de transmissão de rede contínua, sendo assim precisamos saber o porquê dessas perdas tão elevadas, quais as vantagens de se utilizar corrente contínua na transmissão e como ficaremos no futuro, com a previsão de utilizarmos cada vez mais energia elétrica já que os combustíveis fósseis estão quase esgotando.

Palavras-chave: Energia, Transmissão, Corrente.

INTRODUÇÃO

Durante o período de popularização da energia elétrica, o mundo se viu dividido entre duas formas de transmitir e distribuir energia, por meio de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC), depois de intensas brigas em busca da concessão de Niágara Falls, para suprir a necessidade elétrica da cidade Buffalo, a Westinghouse Electric venceu a concorrência da General Electric de Thomas Edison e começou a transmitir energia elétrica de maneira alternada.

A maior vantagem da corrente alternada se dava as invenções de Nikola Tesla, o transformador por exemplo, poderia elevar e abaixar a tensão elétrica, quanto maior a tensão menor é a corrente elétrica, com baixa corrente se tem perdas menores por efeito joule nas linhas de transmissão e distribuição, logo podendo instalar as linhas por grandes distâncias, algo que fez o valor da concessão ser substancialmente menor do que a concorrência. A energia contínua não possuía algo tão avançado na época, a solução seria colocar subestações durante todo o percurso, encarecendo o projeto, logo era mais caro transmitir energia elétrica de maneira contínua.

¹ Gustavo Henrique Graduando do Curso de **engenharia elétrica** do centro universitário vale do ipojuca - Unifavip, ghml2009@hotmail.com;

²Ericveiber de Lima Dias Clemente Graduando do Curso de **engenharia elétrica** do centro universitário vale do ipojuca - Unifavip, ericveiber@gmail.com.

A derrota na chamada “batalha das correntes” não fez com que a corrente contínua deixa-se de existir, continuou muito utilizado em lâmpadas incandescentes, baterias e eletrônicos, basicamente todo aparelho eletrônico quando ligado na tomada alternada, faz uma conversão para corrente contínua.

A corrente alternada possui um problema, a sua alternância é dada por um modelo senoidal, logo qualquer perturbação na rede pode causar a variação dessa senoide, dá-se o nome para essas perturbações de harmônicas.

Devido a esses problemas, a linha CC passou a ser observada e melhor estudada para ser colocada em prática, não para substituir totalmente as linhas CA e sim para criar um sistema misto.

A utilização das linhas de transmissão CA necessita de muitos ajustes na demanda, para evitar ao máximo suas perdas, sendo assim cada vez mais se vem utilizando a corrente contínua para a transmissão de energia, este artigo tem o objetivo de mostrar o por que as linhas de transmissão CA vem perdendo mercado e as linhas contínuas vem sendo utilizadas.

METODOLOGIA

Para este artigo foi feita uma extensa pesquisa em livros e outros artigos da internet, na busca de melhor entendimento sobre o funcionamento das linhas de transmissão em corrente contínua e alternada e de seus métodos de utilização.

Focado na busca das falhas que ocorrem nas linhas alternadas, para justificar a implementação das linhas contínuas, mesmo tendo sido provado no passado a suprioridade da primeira em termos de transmissão de energia.

DESENVOLVIMENTO

O sistema elétrico de potência para sistemas em corrente alternada se divide em geração, transmissão e distribuição, no Brasil, a maior parte da geração é feita em locais distantes da zona urbana, como usinas hidrelétricas, ao sair da subestação geradora a energia se encontra em um nível de tensão muito alto(138 à 700 kv) e baixa corrente e então é conduzida pelas linhas de transmissão para locais proximos as cidades, onde uma nova subestação fará a redução da tensão para valores menores que 138kv até os consumidores finais.

A Potência elétrica de uma instalação se divide em 2 partes, a potência ativa é a energia utilizada diretamente, ou seja é convertida em trabalho e utilizada, a outra parte é a potência

reativa, ela é o resultado da utilização de energia elétrica em cargas indutivas e capacitivas, nessas cargas a corrente elétrica causa um campo magnético e assim armazena energia descarregando na rede e causando harmônicas, o equilíbrio entre as cargas indutivas e capacitivas beneficia o sistema de transmissão, fazendo funcionar com maior eficiência.

A potência reativa é prevista pelas equações de Maxwell, onde foi unificado o campo elétrico com o campo magnético, as equações são amplamente usadas para descrever diversos efeitos da corrente alternada, graças a elas os transformadores, motores e geradores são possíveis.

$$\nabla \cdot E = \rho \quad (1)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times B = \frac{\partial E}{\partial t} + J \quad (4)$$

Equação 1 - Equações de Maxwell

O fator de potência aponta a proporção entre as potências ativas e reativas, sendo que a ANEEL (órgão regulador do sistema elétrico de potência do Brasil) determina um fator máximo de 0,92 para a indústria, ao exceder isso a empresa passa a pagar uma multa, como a maior parte da indústria utiliza motores, esse fator de potência é indutivo, para contrabalancear, muitas empresas se utilizam de bancos capacitivos para não pagar multas.

O cálculo para o fator de potência:

$$FP = \frac{KW}{KVA} = \cos\phi$$

Equação 2 – Fator de Potência

Onde, KW representa a potência ativa, KVA a potência aparente e ϕ é a diferença de fase entre a corrente e a tensão do sistema.

O acúmulo de potência reativa causa danos nas redes de transmissão, podendo ocasionar distorções na frequência elétrica da rede, variações de valores na tensão e perda de energia por efeito joule, além de possíveis quedas de energia, por fim as unidades consumidores são afetadas pela baixa qualidade da energia elétrica fornecida.

Os motores elétricos das indústrias passam a demandar maior corrente elétrica para operar, além de possíveis danos causados pela falha na frequência podendo esquentar o entreferro do motor, aparelhos sensíveis a harmônicas como os de comunicação passam a operar com capacidade reduzida, ou com baixa eficiência.

Nos transformadores de potência, umas das principais causas de perdas é o efeito Skin, ou efeito peculiar, a corrente elétrica percorre o cabo e produz um campo magnético em seu interior que por sua vez joga a corrente elétrica para a parte externa do cabo, ou a “pele”, assim a corrente passa a ser conduzida em uma área menor do cabo, aumentando a resistência elétrica, consequentemente suas perdas por efeito joule e surgimento de harmônicas.

Uma das formas de combater o efeito skin é utilizar a mitigação, processo onde os condutores do cabo são trançados para poder unir a todos e assim tentar manter uniforme a passagem de corrente pelo cabo, porém esse método é caro, pois seus fios condutores precisam de uma preparação melhor.

Outro efeito causador de harmônicas é o efeito corona, causado pelo contato do campo elétrico elevado com partículas de água e poeira presentes no ar, o resultado são quedas na capacidade energética, podendo resultar na perda de centenas de quilowatts por quilômetro de condutor elétrico. Isso acontece principalmente em linhas de transmissão expostas a chuvas e garoas.

Já as linhas de transmissão CC não possuem esses problemas, sua corrente é uniforme por todo o fio, logo não havendo surgimento de campos magnéticos nas linhas como o efeito skin ou corona, na sua implantação se faz necessário o uso de comutadores para conversão da corrente alternada em contínua e o inverso também, suas perdas basicamente se dão por efeito joule, na resistência natural que os cabos de cobre, alumínio ou aço causam.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Brasil, atualmente existem alguns sistemas alternam alternada com contínua, a mais recente é a linhas de transmissão CC que sai da usina de Belo Monte no Pará até São Paulo, onde a geração é alternada na hidrelétrica de lá, passa pela subestação elevadora, então passa por uma subestação que converte a energia em contínua, sua tensão é superior a 800 kv, fazendo dela a primeira de ultra-tensão (UHDVC) da América do Sul, a distância percorrida é superior a 2000 km, por fim é novamente convertida para alternada e distribuída novamente.



Figura 1 – Linha de transmissão de Belo Monte

Caso essa linha de transmissão fosse de corrente Alternada, a potência não poderia ser tão elevada, as perdas por efeito skin seriam enormes devido a acumulatividade durante todo o percurso da rede, no final acabaria saindo mais caro manter a rede em Continua.

No mundo, as linhas de corrente continua são altamente utilizadas principalmente nos países nórdicos, onde existe até redes submarinas, atravessando da noruega até a suécia.

A instalação da redes CC também são mais fáceis.

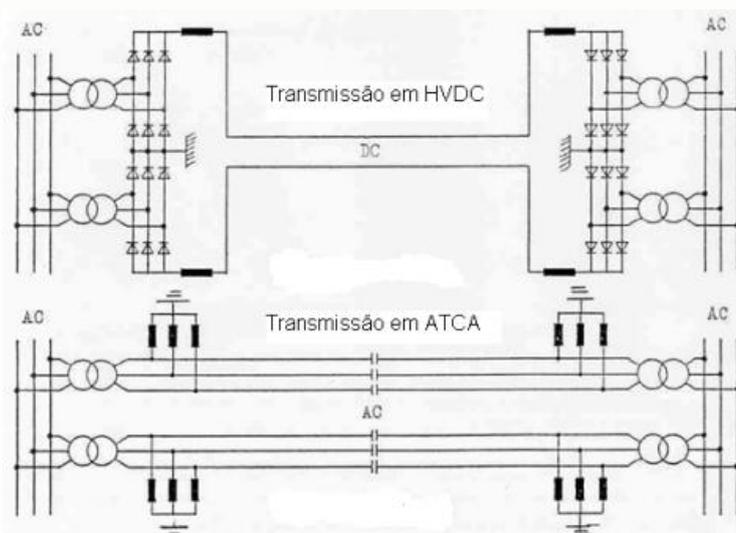


Figura 2: Plantas de esquemas típicos de transmissão CC e CA.

A figura 2 apresenta um esquema genérico de duas linhas de transmissão, uma em corrente contínua (HVDC) outra em alternada (ATCA), as duas plantas tem em comum sua geração em corrente alternada, porém para a transmissão em CC somente é necessário um par de cabos e dispositivos para controlar a corrente como: válvulas retificadoras e reatores. Já para a transmissão CA são necessários no mínimo três cabos para transmitir a energia e também são necessários reatores “shunt” para evitar a sobretensão devido à alta capacitância ocasionado por chaveamentos na linha.

Conforme a demanda de energia elétrica aumenta, o perfil das cargas também estão mudando, se na época da batalha das correntes, a eletricidade era utilizada basicamente para iluminação, hoje boa parte da carga é reativa e produz ruído para o sistema alternado, fazendo dele mais custoso, nesse momento se torna mais vantagem implementar uma subestação CC, pois os de CA estão cada vez mais caros.

No gráfico abaixo podemos observar a comparação econômica entre as linhas:

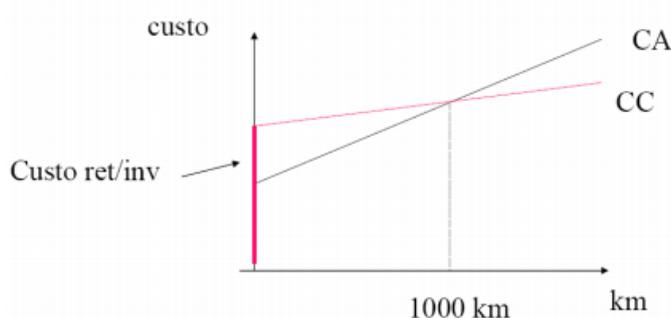


Figura 3 – Custo X Distância

Observamos que quando as linhas de transmissão ultrapassam 1000km torna-se mais vantajoso utilizar CA, pois para uma mesma potência transmitida as linhas utilizam equipamentos com menos tensão, ou seja, menor custo e também ocorre uma redução significativa na utilização de cabos e de estruturas para suportar as linhas. Com isso os impactos ambientais também são menores para as linhas CA.

**Faixa de servidão
Estruturas típicas da transmissão CC e CA
para aprox. 2000 MW**

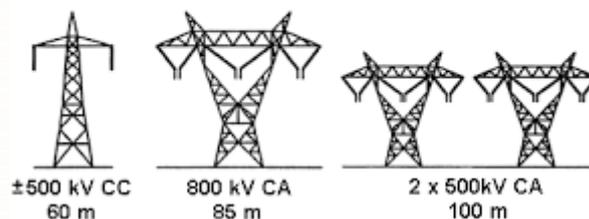


Figura 4 – Diferença das linhas CC e CA

A subestação de Ibiúna é muito importante para o sistema elétrico de potência (SEP) do Brasil por ser a subestação que recebe parte da energia de ITAIPU realizando o maior transporte de energia do país. Portanto essa unidade também serve de pesquisa para a implementação de linhas de CC por possuir alguns equipamentos, como conversores, transformadores que deixam os níveis de tensão da saída compatíveis com os existentes no SEP, bancos de filtros para harmônicos para eliminar todas as imperfeições ocasionadas durante a conversão de energia de CC para CA e bancos de filtros para passar alta que eliminam os harmônicos de ordem elevada.

Segundo Andre Kiyoshi (2013), a cada 100 km de linha CA em ITAIPU ocorrem 1,03 faltas por ano. Já para as linhas CC esse valor desce para 0,714 faltas por ano, logo as linhas CC são ligeiramente melhores. De certa forma as linhas CC também geram mais confiabilidade. É importante lembrar que as duas formas de transmissão possuem ótimos desempenhos e um nível de confiabilidade excelente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi visto então, que as linhas de transmissão CA possuem muitos problemas para manutenção, operação e instalação, devido ao novo modelo de demanda de carga empregado, onde as cargas reativas causam prejuízo e desordem ao Sistema Elétrico de Potência, as linhas de Transmissão CC apesar de mais caras e de suas altas perdas, acabam vencendo quando se necessita facilitar o processo.

No futuro, conforme a demanda por energia aumenta e passamos a utilizar cada vez mais cargas indutivas, a utilização da corrente contínua passará a ser maior no setor de transmissão, principalmente em sistemas mistos como funciona em Belo Monte.

Conforme o mundo vai mudando, a matriz energética mundial também mudará, logo os combustíveis fósseis passaram a ser utilizados menos, o setor de transporte que é muito grande, terá que passar a utilizar eletricidade, os carros elétricos já são uma realidade.

REFERÊNCIAS

Hayt, William (1981), Engineering Electromagnetics (4th ed.)

Jordan, Edward Conrad (1968), Electromagnetic Waves and Radiating Systems, Prentice Hall

GLOVER, J. D; SARMA M. S.; OVERBYE T. J. POWER SYSTEM ANALYSIS AND DESIGN: Cengage Learning. 5º ed. Stamford, USA: 2012. 828p.

Sato, Andre; TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA EM CORRENTE CONTÍNUA E CORRENTE ALTERNADA: ESTUDO COMPARATIVO; 2013.

Aneel: Regulamentação de linhas de Transmissão, Acessado em: 10/07/2019.

<<http://www.aneel.gov.br/transmissao3>>

Tractebel: Linha de transmissão de Belo Monte, Acessado em 15/07/2019.

<<https://tractebel-engie.com.br/pt/referencias/linha-de-transmissao-uhe-belo-monte>>