

Transmissão de potência supercondutora

Matthew Yankowitz
24 de outubro de 2010

Submetido como curso para [Física 240](#), Universidade de Stanford, Outono de 2010

Noções básicas de supercondutividade

Até a descoberta da supercondutividade, acreditava-se amplamente que todos os materiais exibiam pelo menos alguma resistividade elétrica. Para os metais, a resistividade diminui em função da temperatura devido ao acalmar das vibrações da rede que impedem o fluxo de elétrons. No entanto, as impurezas de rede e outros defeitos no material impedem que o material atinja a resistividade zero. Isso, claro, não é verdade em materiais supercondutores. A resistência de um material cai abruptamente para zero quando é resfriado abaixo de sua temperatura crítica (TC), embora nem todos os materiais sejam capazes de supercondutor. Na teoria BCS, que descreve com sucesso a maioria dos materiais supercondutores, dois elétrons se condensam em um estado bosônico chamado de par de Cooper [1].

Existem duas classes conhecidas de supercondutores: Tipo I e Tipo II. Os supercondutores do tipo I são explicados perfeitamente pela teoria do BCS. Quando supercondutores, exibem resistividade zero e expõem todos os campos magnéticos. Em contraste, os supercondutores Tipo II permitem que os campos magnéticos penetrem em uma pequena distância em seu interior abaixo da temperatura TC2. Abaixo da temperatura TC1, onde TC1 é menor que TC2, nenhum fluxo pode penetrar e o material age como se fosse um supercondutor Tipo I. Há um análogo direto disso para os supercondutores Tipo I e Tipo II com campo magnético. Se um supercondutor for colocado em um campo acima de seu campo crítico, ele retornará ao seu estado normal, mesmo que sua temperatura esteja abaixo da temperatura crítica. A importância dos supercondutores do Tipo II é que nem todos podem ser explicados pela teoria do BCS. Onde a teoria BCS prevê um TC máximo para qualquer material como 30K, os supercondutores Tipo II exibiram temperaturas críticas bem acima disso. Recentemente, supercondutores do Tipo II com temperaturas críticas acima de 77K foram descobertos [2]. A importância, é claro, é que tal material possa ser resfriado abaixo de sua temperatura crítica por nitrogênio líquido (LN2), um criogênio relativamente barato e fácil de manusear, em vez do hélio líquido, mais caro e de difícil controle.

Cabos de Transmissão Convencionais

Em qualquer linha de transmissão, a energia elétrica valiosa é perdida, não importando o quanto os engenheiros e físicos trabalhem para minimizar as perdas. A perda mais óbvia (embora não necessariamente a maior) nas linhas de transmissão convencionais vem da resistência da linha. Poder vai como o quadrado dos tempos atuais a resistência, resultando em uma perda fracionária de energia em qualquer distância do cabo. Há também perdas na bainha ou no metal ao redor do cabo devido ao campo magnético alternado da onda EM que passa pelo cabo. As perdas são proporcionais ao quadrado da corrente. A última grande perda nas linhas de transmissão é a perda do material isolante

que envolve o cabo. Idealmente, o cabo seria cercado por um isolador elétrico perfeito que não admite nenhum campo eletromagnético. Na vida real, não existe tal material, e os campos sempre penetram um pouco nos isoladores circundantes a uma profundidade caracterizada pela profundidade da pele. O campo de ruptura dielétrico do isolador limita a quantidade de energia que pode ser passada através da linha, aumentando assim a perda. Para um cabo trifásico padrão de um núcleo com carga total de 132kV, as perdas totais em um cabo de transmissão convencional são estimadas na ordem de 30 a 40 W / m para cada fio [3].

Cabos de Transmissão Supercondutores

A vantagem óbvia das linhas de transmissão supercondutoras é que elas não têm perdas resistivas no volume. Se as linhas de transmissão supercondutoras não tivessem outras fontes de dissipação de energia, a escolha entre tipos de linhas de transmissão seria fácil. Nós simplesmente calcularíamos o custo das linhas de energia convencionais e subtrairíamos o custo da energia que é dissipada no transporte da eletricidade. Então, compararíamos com o custo de fabricação e refrigeração de linhas de transmissão supercondutoras.

Naturalmente, os cabos supercondutores reais têm outras fontes de perda que também devem ser consideradas. Existem várias fontes importantes de perdas em linhas de transmissão supercondutoras, muitas delas fundamentalmente diferentes daquelas em linhas de transmissão convencionais. Há um número de perdas relativamente pequenas devido à necessidade de resfriar a linha. Nenhum sistema de resfriamento é perfeitamente eficiente, portanto, há alguma perda de nitrogênio líquido necessária para resfriar a linha. Valores típicos para a eficiência de resfriamento são estimados na ordem de 10% [3]. Além disso, há perdas devido à eficiência imperfeita do próprio sistema de bombeamento de nitrogênio líquido, bem como perdas hidráulicas devido ao atrito de fluxo no nitrogênio líquido circulante.

Similar às linhas de transmissão convencionais, as linhas de transmissão supercondutoras também têm perdas de blindagem e dielétricas, que podem ser calculadas usando os mesmos modelos físicos. Ao contrário das linhas convencionais, as linhas de transmissão supercondutoras apresentam perdas de CA no condutor. Não existe um modelo físico geralmente aceito para descrever essas perdas, portanto muitos dos dados são empíricos. Há também perdas devido ao isolamento térmico imperfeito do cabo supercondutor. O resultado é um vazamento térmico entre o nitrogênio líquido frio e o ambiente quente. As perdas podem ser reduzidas, mas não eliminadas, criando um vácuo entre o cabo supercondutor e o isolante térmico. Finalmente, há pequenas perdas devido a juntas e terminações de cabos.

Conclusão

Em plena carga, e dividindo as ineficiências de resfriamento, as linhas de transmissão supercondutoras mostraram uma perda total de cerca de 15 W / m para cada fio, menos da metade da sua contraparte convencional [3]. A carga colocada na linha é de particular importância. A maioria das perdas em linhas de transmissão supercondutoras é independente da carga colocada na linha e, portanto, a perda total na linha é amplamente independente da carga, variando de cerca de 5 W / m sem carga a 15 W / m no máximo carga para cada fio. O mesmo não é certamente o caso das linhas

de transmissão convencionais. Uma grande razão para isso é que a energia é dissipada à medida que o quadrado da corrente passa pela linha. À medida que a carga é aumentada, as perdas na linha aumentam quadraticamente. O ponto de equilíbrio dos dois sistemas está em torno de uma carga de 33% [3].

Neste ponto, as linhas supercondutoras só poderiam ser uma alternativa sensata às linhas convencionais se fossem colocadas em um ambiente de alta carga. As grandes cidades oferecem o cenário perfeito para linhas supercondutoras, já que muitas vezes exigem grandes quantidades de energia elétrica. A American Superconductor e a Consolidated Edison concordaram em construir e testar protótipos de cabos de transmissão supercondutores na infra-estrutura da cidade de Nova York [4]. Houve conversas sobre o acoplamento das linhas supercondutoras com um gasoduto de hidrogênio líquido, reduzindo assim o dinheiro gasto no resfriamento das linhas. A implementação desses planos ainda está a décadas de distância [5]. Linhas de transmissão supercondutoras são difíceis de implementar, já que muitas vezes custam mais para financiar e manter as linhas que as empresas de energia perdem em perdas elétricas em linhas convencionais. Contudo,

© 2010 Matthew Yankowitz. O autor concede permissão para copiar, distribuir e exibir este trabalho de forma inalterada, com atribuição ao autor, apenas para fins não comerciais. Todos os outros direitos, incluindo direitos comerciais, são reservados ao autor.

Referências

[1] LN Cooper, "Pares de elétrons ligados em um gás fermentado degenerado", *Phys. Rev. Lett.* **104**, 1189 (1956).

[2] MK Wu *et al.*, "Supercondutividade a 93 K em um sistema composto de Y-Ba-Cu-O em fase mista Mew a pressão ambiente," *Phys. Rev. Lett.* **58**, 908 (1987).

[3] J. Oestergaard *et al.*, "Perdas de energia de cabos de transmissão de energia supercondutores na rede", *Supercondutividade aplicada, IEEE Transactions on* **11**, 2375 (2001).

[4] "[Linha de força supercondutora para ancorar a rede de Nova York](#)", *New Scientist*, 22 de maio de 2007.

[5] PM Grant, C. Starr e TJ Overbye, "[A Power Grid para a Economia do Hidrogênio](#)", *Scientific American*, 26 jun 06.