

# TRANSFORMADOR DE ESTADO SÓLIDO, UM NOVO CONCEITO DE DISTRIBUIÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

## Filipe G. Carloto

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria  
Email: filipe\_carloto@hotmail.com

## Theyllor H. de Oliveira

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria  
Email: theyllor@gedre.ufsm.br

## João G. P. Roncalio

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria  
Email: joaogilberto@gedre.ufsm.br

## André L. Kirsten

Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria  
Email: andre@gedre.ufsm.br

## Marco A. Dalla Costa

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria  
Email: marcodc@gedre.ufsm.br

**Resumo.** *Este documento apresenta uma revisão teórica sobre transformadores de estado sólido ou SST's (Solid State Transformer). Serão abordadas suas características, mostrando as diferenças quanto a um transformador tradicional e seu papel nas Smart Grids. Apresentando as topologias utilizadas em sua implementação e a escolha de uma topologia que mais se adeque com a finalidade desejada.*

**Palavras-chave:** *Transformador de Estado Sólido. Smart Grid. Distribuição.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em um mundo onde a implementação de energias limpas se torna uma realidade, entramos em uma abordagem de como melhorar a distribuição desta energia e em maneiras de descentralizar o fornecimento aos consumidores, fazendo com que estes também gerem e contribuam com o fornecimento. Tais sistemas podem ser observados em um sistema de grande potencial, as *Smart Grids*, ou Redes Inteligentes de Distribuição, que basicamente mantém uma comunicação

entre todos os elementos pertencentes a ela (HUANG, A.Q. et al., 2011).

Um componente que pode ser a peça chave para a implementação das *Smart Grids*, é o transformador de estado sólido, um transformador que serve não somente para substituir os atuais, mas também para ter um maior controle sobre o gerenciamento de consumo e distribuição da energia (JIANHUA, Z. et al., 2012).

Dessa forma, este artigo busca apresentar as características de um SST, suas vantagens e desvantagens em relação ao tradicional, sua aplicação em *Smart Grids*, algumas topologias para implementação e definir o modelo mais adequado para a finalidade desejada.

## 2. DESENVOLVIMENTO

O SST é um transformador baseado em semicondutores e outros elementos magnéticos, seu funcionamento está fundamentado na comutação em alta frequência e no controle digital. Este transformador pode ser concebido de forma a possibilitar o controle bidirecional do fluxo de energia, a regulação de tensão, o controle sobre harmônicas e mudanças bruscas de

carga, o monitoramento dos sinais de tensão e de corrente assim como a comunicação em tempo real com uma central de controle.

A operação básica de um SST é utilizar a transformação CA-CA para aumentar a frequência do sinal proveniente da rede e, em seguida, realizar a transformação de tensão, tanto elevando quanto rebaixando-a, por um transformador de alta frequência. O sinal de tensão modificado é adequado novamente a sua frequência original, possibilitando assim, inúmeras vantagens viabilizadas com sinais em alta frequência.

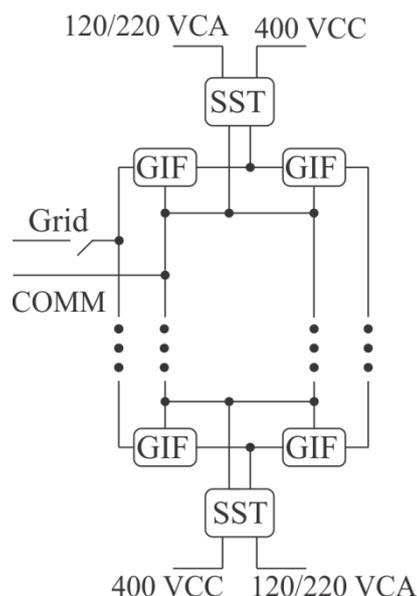
O volume e o peso do equipamento são bastante reduzidos, quando comparados com os transformadores tradicionais 50/60 Hz, uma vez que a frequência é inversamente proporcional ao volume dos magnéticos (SEON-HWAN et al., 2013).

Além de possuir as características supracitadas o SST possui diversas funcionalidades que não são encontradas nos transformadores tradicionais.

### 3. APLICAÇÕES DO SST

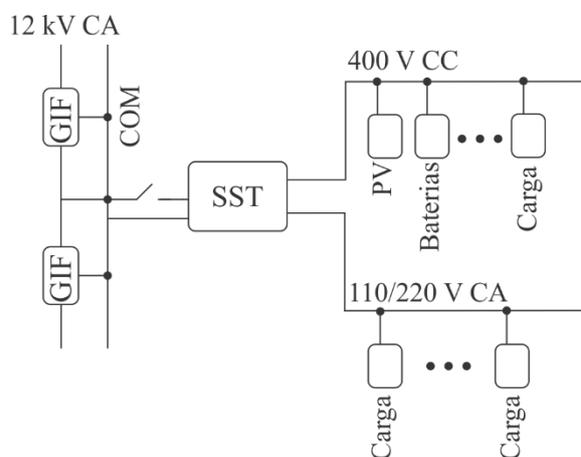
As *Smart Grids* propõem uma ideia de descentralização da distribuição de energia, sistemas completamente gerenciáveis e com a capacidade de monitoramento em tempo real. Inserido neste conceito, o SST tem o papel de controlar o fluxo de potência, desde a entrada de energia em alta tensão advinda da rede convencional e em baixa tensão, proveniente de fontes renováveis, dispositivos de armazenamento de energia, entre outros, até sua saída para distribuição.

Uma das aplicações do SST pode ser visualizada na rede da Fig. 1 a qual demonstra uma forma inteligente de controle e distribuição, contando com uma comunicação (COM), dispositivos de gerenciamento inteligentes de falhas (GIF) e com o SST, capaz de distribuir saídas CA e CC.



**Figura 1** – Rede proposta com SST.

Um dos grandes benefícios do SST é a capacidade de operação com diferentes sinais de tensão e fluxo bidirecional, que permite tanto receber quanto injetar energia na rede. A Fig. 2 apresenta a integração do SST dentro da rede, exemplificando sua aplicação bidirecional.



**Figura 2** – Integração do SST.

O SST possibilita a integração tanto com dispositivos de geração distribuída quanto com dispositivos de armazenamento de energia. A energia gerada por uma fonte renovável, por exemplo, um painel fotovoltaico (PV), pode ser injetada na rede, através de um barramento CC presente no SST.

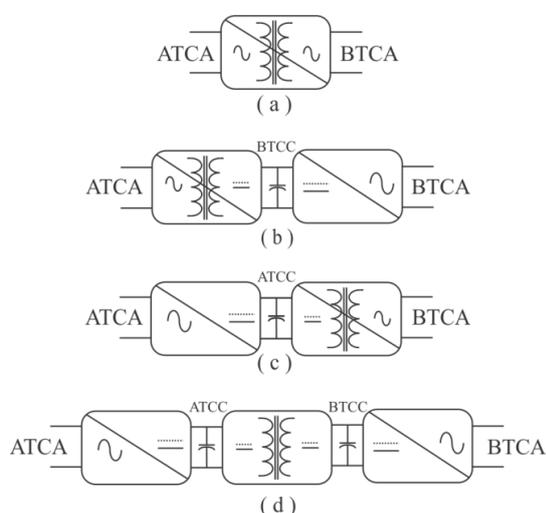
As baterias são pontos importantes dentro do contexto, pois elas armazenam a energia em momentos de grande produção de energia e podem suprir a demanda na falta da mesma. A saída em 110 /220 V, da Fig.2, pode ser utilizada para alimentar cargas residenciais e comerciais.

#### 4. TOPOLOGIAS

As implementações viáveis para o SST são amplas, uma vez que este permite acoplamentos de distribuição em diferentes níveis de tensão, que podem agregar diversos dispositivos usufruindo dessas tensões CC e CA.

Dentre as topologias, podem ser utilizados conversores unidirecionais, mais simples, ou bidirecionais, que podem ser aplicados com fontes alternativas de energia.

Considerando os possíveis estágios de conversão, os conversores podem ser distribuídos em quatro configurações de topologias bases, conforme a Fig. 3 (FALCONES, S. et al., 2010).



**Figura 3 – Estruturas**

A configuração de estágio único Fig.3(a) é mais simples, por possuir menos componentes, no entanto apresenta pouca flexibilidade, apenas transforma alta tensão CA em baixa tensão, também CA. Mantendo consigo qualquer distúrbio presente na rede.

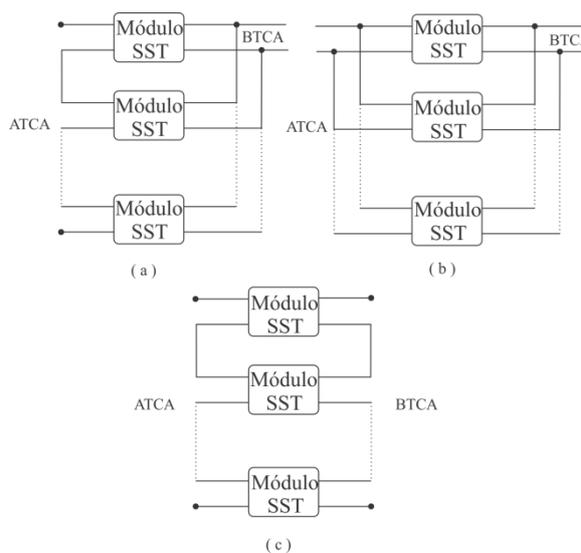
Nas estruturas de dois estágios, há dois modelos, o primeiro mostrado na Fig.3(b),

possui isolamento em alta tensão e um barramento CC em baixa tensão sem compensação de reativos e a topologia demonstrada na Fig.3(c) possui isolamento no lado de baixa tensão e com barramento em alta tensão CC, apresentando compensação de reativos.

Já a estrutura com três estágios Fig.3(d), apresenta uma enorme flexibilidade e inúmeras topologias para serem empregadas. Sua desvantagem é dada devido ao grande número de componentes.

As estruturas da Fig.3(b) e Fig.3(d) apresentam barramentos CC em baixa tensão, o que se torna uma atratividade vinculada às fontes renováveis de energia.

Quanto à forma de conexão, as topologias podem ser conectadas de diversas maneiras possibilitando sua aplicação em alta tensão e alta potência, conforme ilustrado na Fig. 4.



**Figura 4 - Tipos de conexões**

As ligações em paralelo servem para a divisão da corrente, do fluxo de potência, entre os módulos.

A ligação em série na entrada possibilita a divisão da tensão de entrada entre os módulos, o que pode ser um artifício quanto à escolha de semicondutores para trabalharem no lado de alta tensão. Já a ligação série na saída possibilita a soma das tensões de saída de cada módulo que se

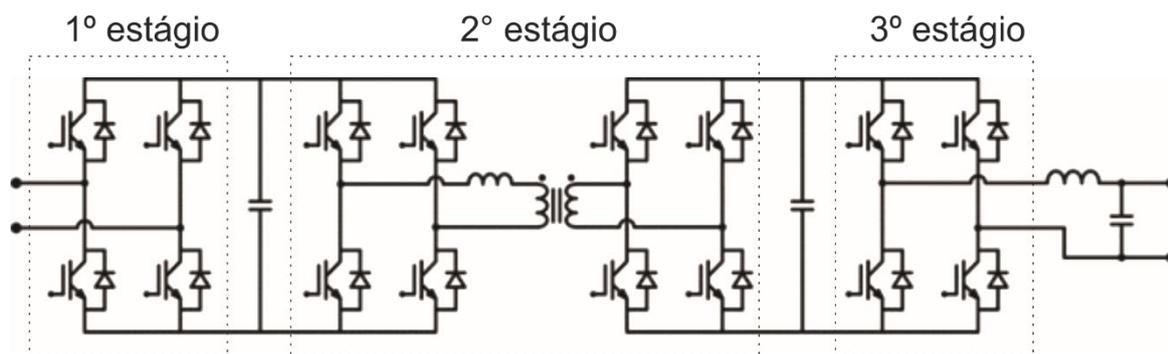


Figura 5 - Topologia Proposta

torna pouco provável já que as tensões serão anteriormente rebaixadas, no sentido de fluxo da esquerda para direita.

## 5. TOPOLOGIA ESCOLHIDA

Uma célula é proposta na Fig. 5, qual faz parte de uma topologia proposta com mais alguns módulos.

Por ser uma topologia modular, bidirecional, faz uso de células com semicondutores de baixa tensão, dentre outras características desejáveis para um transformador de estado sólido.

O 1° e 3° estágios são compostos por um inversor de ponte completa.

No 2° estágio é utilizado um conversor *dual active bridge* (DAB), amplamente empregado em sistemas com elevada potência, garantindo a isolação galvânica (DONCKER et al., 1991).

As células são conectadas conforme a Figura 4(a) com a entrada conectada em série, possibilitando a operação com tensões reduzidas em cada célula, e a saída em paralelo.

## 6. CONCLUSÕES

Neste artigo foi proposta uma revisão teórica sobre SST, características de sua aplicação em Smart Grids e algumas topologias para sua implementação, propondo um sistema que melhor se adapte a funcionalidade que se deseja.

Assim se considera válido o estudo e aprimoramento da tecnologia tendo em vista

sua aplicabilidade em um futuro sistema de distribuição sustentável.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DE DONCKER, R.W.A.A., D.M. DIVAN, AND M.H. KHERALUWALA, A three-phase soft-switched high-power-density DC/DC converter for high-power applications. **Industry Applications, IEEE Transactions on**, 1991. 27(1): p. 63-73.
- Falcones, S., M. Xiaolin, and R. Ayyanar. Topology comparison for Solid State Transformer implementation. in **Power and Energy Society General Meeting**, 2010 IEEE. 2010.
- HUANG, A.Q., et al., The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System: The Energy Internet. **Proceedings of the IEEE**, 2011. 99(1): p. 133-148.
- JIANHUA, Z., W. WENYE, AND S. BHATTACHARYA. Architecture of solid state transformer-based energy router and models of energy traffic. in **Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)**, 2012 IEEE PES. 2012.
- SEON-HWAN, H., et al., Distributed Digital Control of Modular-Based Solid-State Transformer Using DSP+FPGA. **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, 2013. 60(2): p. 670-680.
- XIANG, L., et al. Talk to transformers: An empirical study of device communications for the FREEDM system. in **Smart Grid Communications (SmartGridComm)**, 2011 **IEEE International Conference on**. 2011.