

Aplicação de VSC em Sistemas de Potência Modernos

Edson H. Watanabe

Programa de Engenharia Elétrica

COPPE/UFRJ

watanabe@coppe.ufrj.br

Os **IGBT** (\approx 1985) baseado em **Si** é a chave do desenvolvimento de **VSC** (Voltage Source Converter) que permitiu a conexão de fontes renováveis **eólicas** e **solares** à rede garantindo **energia limpa**, de **baixo custo**, mas altamente **variável**.

Os principais **VSCs** são:

- (i) de **2 níveis**;
- (ii) de **3 níveis** e
- (iii) **MMC** (Multilevel Modular Converter).

Objetivos

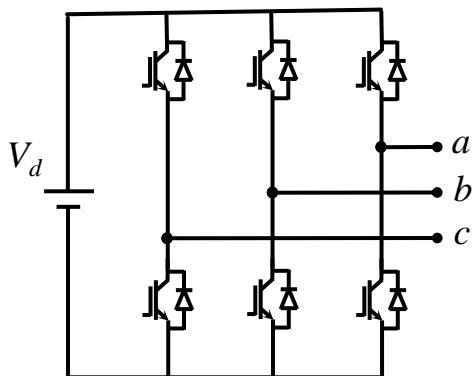
- Mostrar possíveis exemplos de aplicações desses conversores no sistema elétrico brasileiro.

Conversores VSC



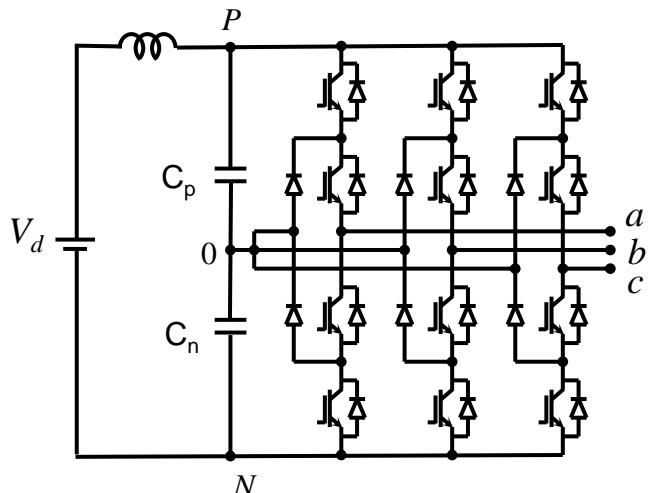
COPPE
UFRJ

VSC 2 níveis



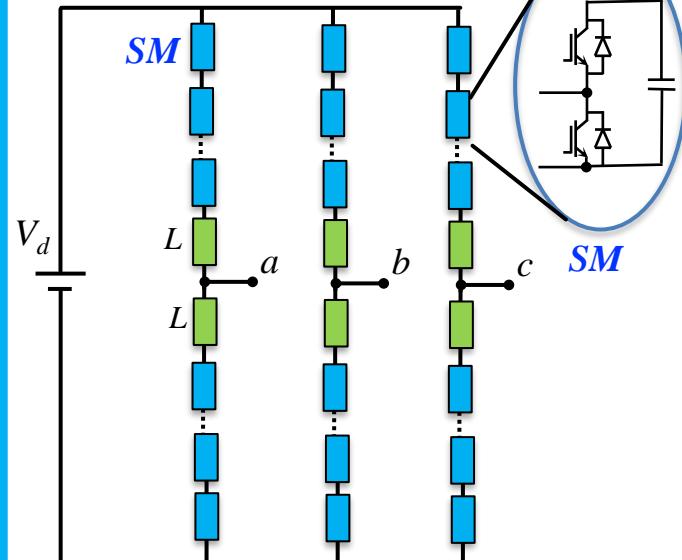
$P_{\text{máx}}$ até 2 - 3MW
 $V_d = 1,5\text{kV}$
Solar / Eólica / Bateria

VSC 3 níveis



$P_{\text{máx}}$ até 5MW
 $V_d = 3\text{kV}$
Solar / Eólica / Bateria

MMC



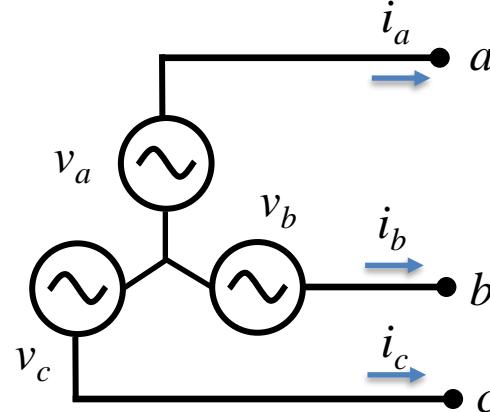
$P_{\text{máx}}$ até 5GW (2GW)
 $V_d = 525\text{kV}$
HVDC / STATCOM

SM: Submódulo

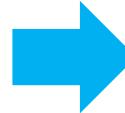
Objetivo original do VSC: produzir fonte de tensão trifásica, mas para garantir robustez e melhor controle de potência eles são controlados como fonte de corrente:

- **GFL:** Grid Follower (seguidor de rede)
- **GFM:** Grid Former (formador de rede) em estudo mundo afora

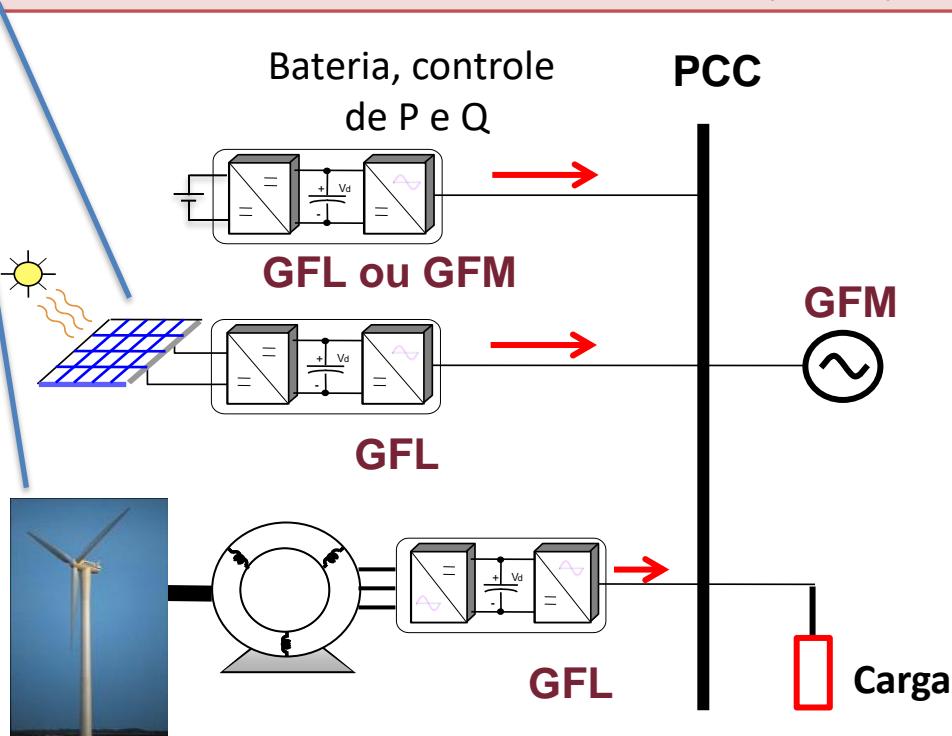
Controle de corrente: mede-se as correntes e controla-se as tensões (**GFL**)



VSC



Os **VSC** operam operaram controlando a **corrente** (**Seguidores de Rede - GFL**) e garantem **Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT)**.



Operação do **GFL**:

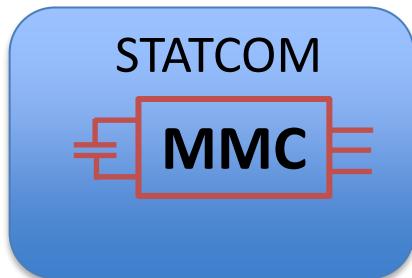
- Controle de **corrente**;
- **Não** dá **suporte à rede**;
- **Não** tem **inércia** e nem reserva de **potência** ou **energia**.

- Para se aumentar a geração renovável, fontes **GFM** devem ser **aumentadas**.
- Estudos sobre **controle híbrido** GFL e GFM de VSC.

STATCOM - MMC

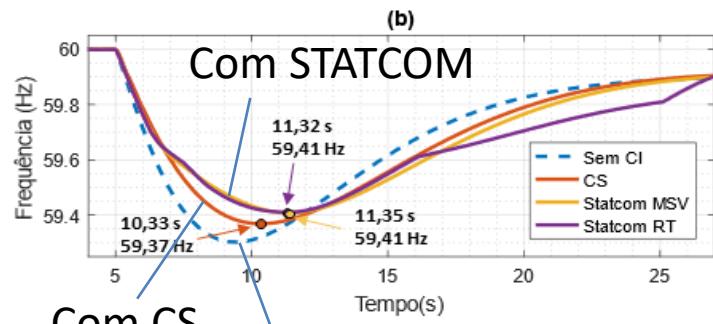
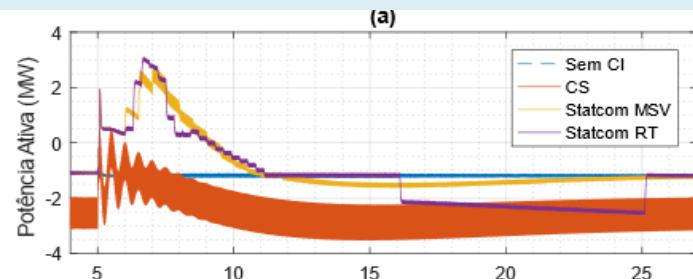


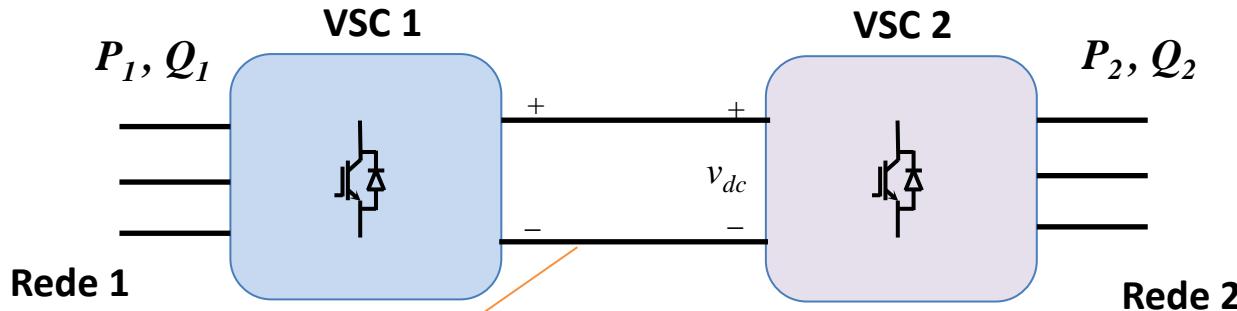
- VSC controla **potência reativa** (tensão no PCC);
- Com **supercapacitor** pode operar como **Compensador Síncrono com inércia** – Corrente de curto-circuito limitada;
- Pode **balancear carga** desequilibrada.



Pode dar suporte à rede

Suporte à frequência





- Se for com **linha aérea**: **SM de ponte completa**;
- Se **VSC 1** controla P_1 , **VSC 2** controla v_{dc} para que $P_1 = P_2$ (ou vice-versa);
- Q_1 e Q_2 têm controle independente e podem ser **capacitivo** ou **indutivo**;
- **Zero falha de comutação**, típico de HVDC LCC (tiristores);
- **Multi-terminal**;
- Solução para **eólica offshore** a mais de 50 km da costa (Projeto em desenvolvimento).

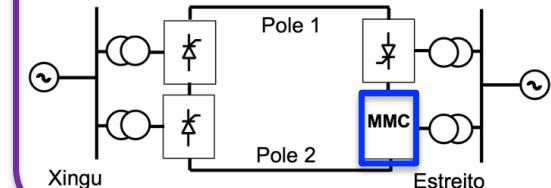
Déficit de energia devido
a falta em Fernão Dias

Barra do Inversor	Estreito
Nº MMC	Deficit (GWs)
0	0,38
1	0,07
2	0,03
4	0,01

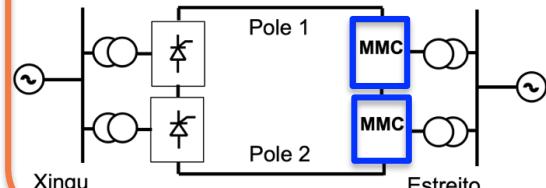
0 MMC

Caso base: **4 LCC**
Todos LCC com CFPREV

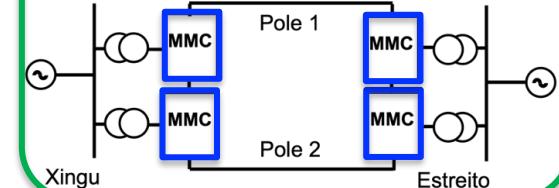
1 MMC



2 MMC



4 MMC



Um MMC em Estreito pode melhorar muito o desempenho do elo CCAT
Xingu-Estreito (Projeto P&D – SGBH - ANEEL)

Os **VSC*** serão em breve os **principais “geradores”** do sistema elétrico (**Bateria, Solar e Eólica**), também poderão ser o principal compensador de potência reativa e ativa de curto tempo (**STATCOM**) e conversor para **transmissão CCAT**.

* os **VSC*** para conexão de fontes à rede também são chamados de IBR (Inverter Based Resource).

Muito Obrigado!

Edson H Watanabe
Programa de Engenharia Elétrica
Coppe/UFRJ
watanabe@coppe.ufrj.br