

Aula 4: Retificadores a Diodos

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org

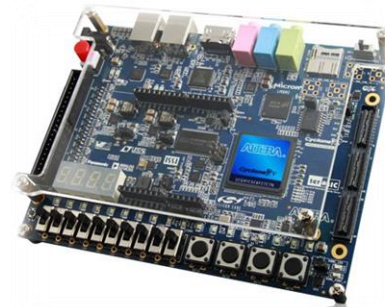


Conteúdo

Aula	Conteúdo
Aula 1	Conceitos Básicos de Semicondutores
Aula 2	Diodos de potência
Aula 3	Associação de diodos e circuitos RLC chaveados
Aula 4	Retificadores a diodos
Aula 5	Transistores de potência - parte 1
Aula 6	Transistores de potência - parte 2
Aula 7	Conversores c.c./c.c.
Aula 8	Tiristores
Aula 9	Retificadores controlados
Aula 10	Conversores c.c./c.a.
Aula 11	Conversores c.a./c.a.
Aula 12	Conversores ressonantes

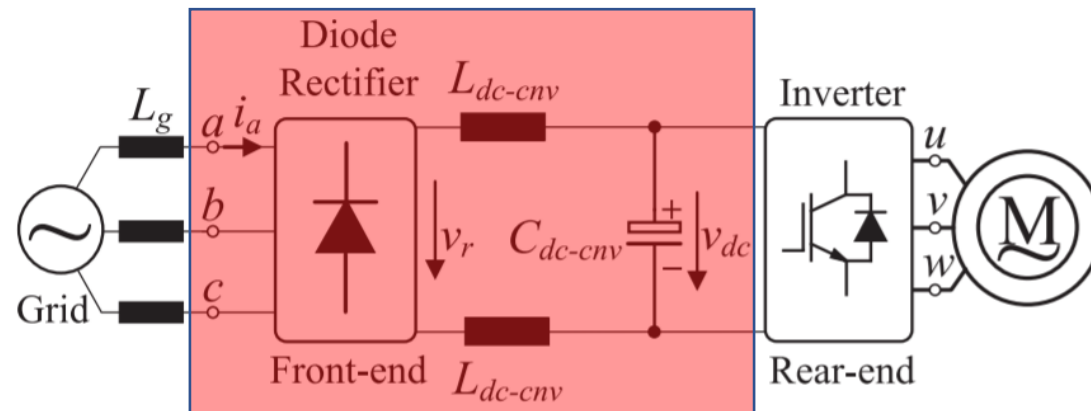


Considerações práticas



Escolha dos componentes de um circuito retificador

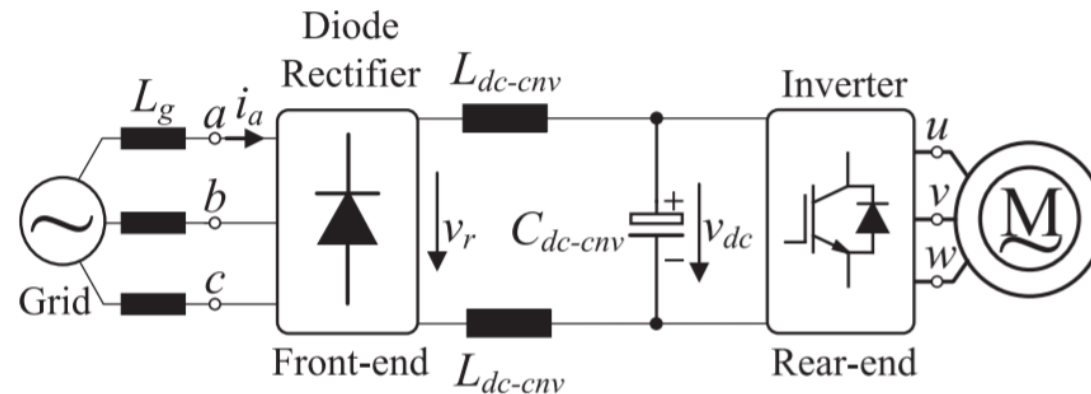
- ❑ Diodos: Como escolher?
- ❑ Capacitores: Como projetar o valor da capacitância? Qual tecnologia de capacitor utilizar?
- ❑ Indutores: Como projetar o valor da indutância? Qual tecnologia de indutor utilizar?



Fonte: Rik W. De Doncker, "Electric Drives and Batteries for Plug-in Hybrid and Electric Vehicles"

Escolha dos diodos

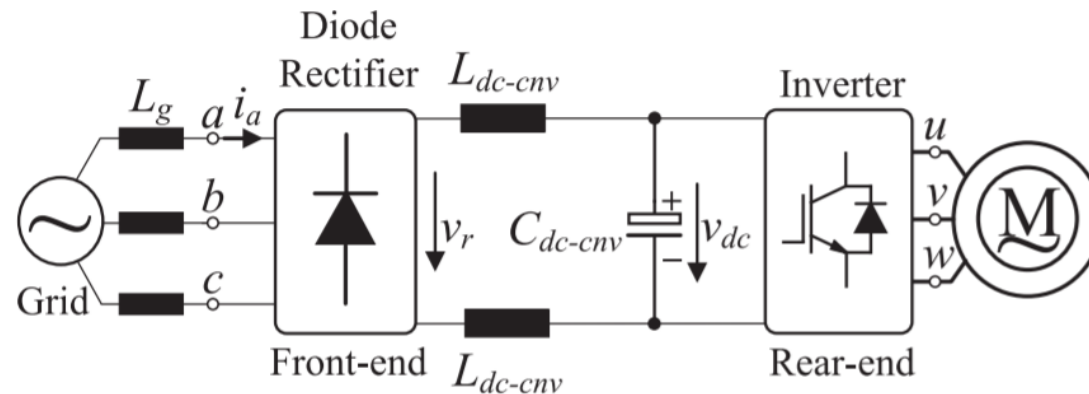
- ❑ A função do circuito define o tipo de diodo a ser utilizado:
 - Em aplicações de retificação lenta (60 Hz), os diodos devem ser otimizados para reduzir perdas de condução (visto que as perdas de comutação serão desprezíveis);
 - Em aplicações de retificação altas frequências maiores, o efeito da recuperação reversa pode ser importante e diodos rápidos (otimizados para comutação) devem ser considerados;
- ❑ Na maioria das vezes, mais de um part number deve ser analisado!



Fonte: Rik W. De Doncker, "Electric Drives and Batteries for Plug-in Hybrid and Electric Vehicles"

Escolha dos diodos

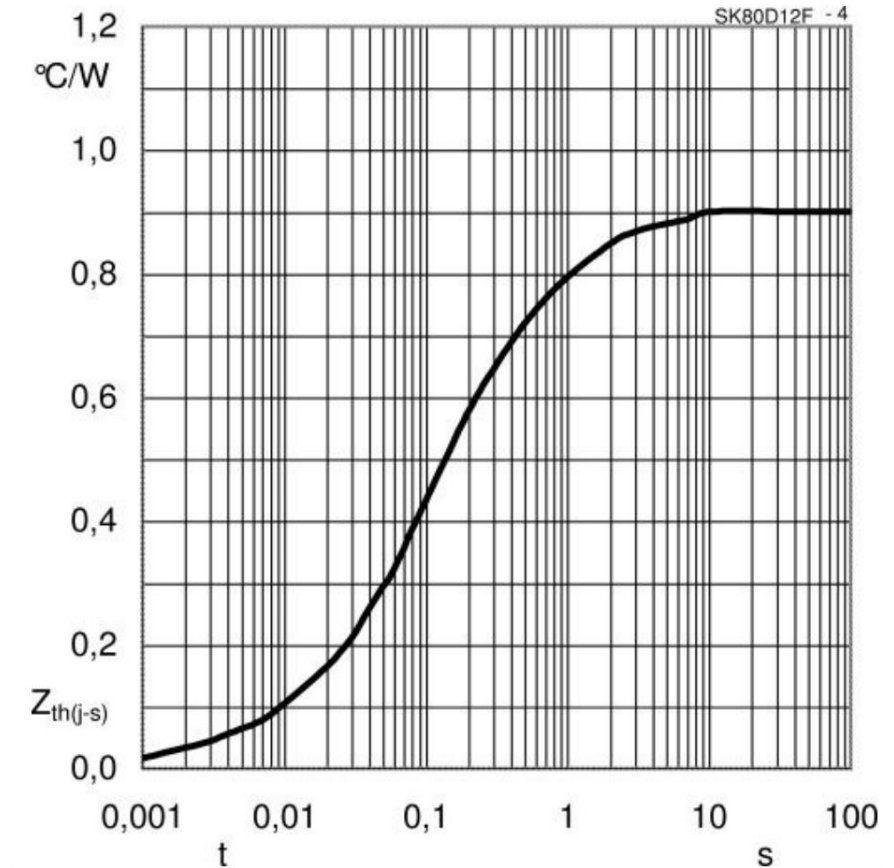
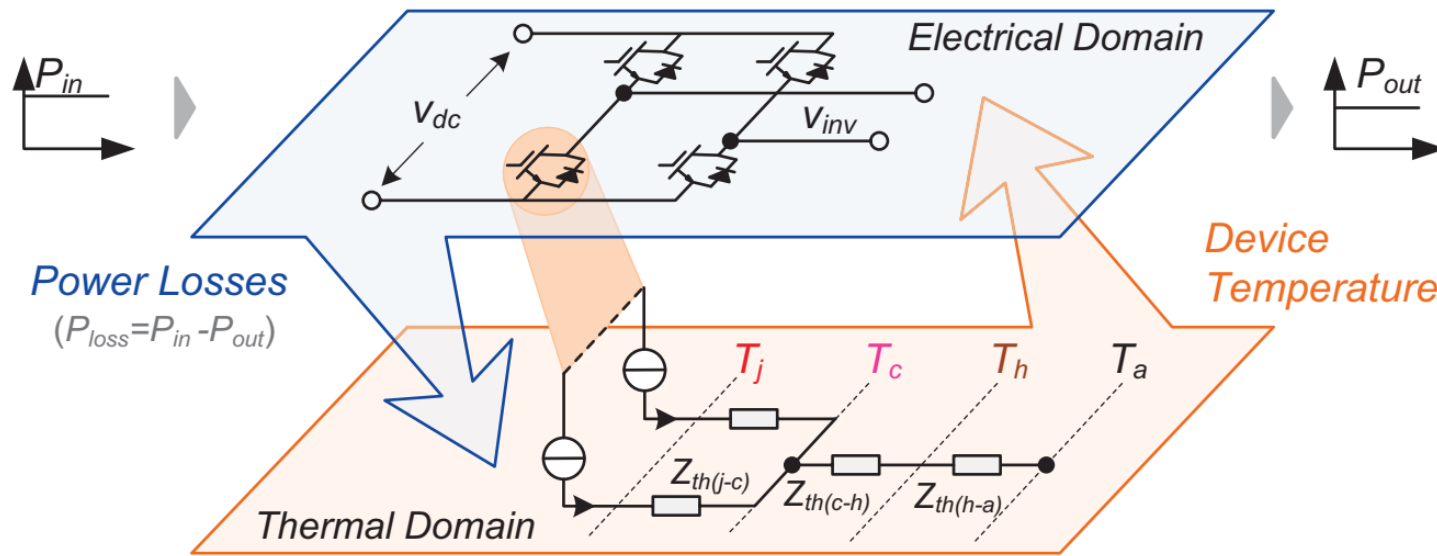
- ❑ Tensão de bloqueio: é recomendado que o estresse máximo de tensão do diodo não supere 60 % da sua capacidade de bloqueio nominal;
- ❑ Corrente: A corrente eficaz, a corrente média e a corrente de pico nos diodos são variáveis importantes para a escolha do dispositivo;
- ❑ Diodo deve suportar o pico de corrente no processo de carga do barramento cc.
- ❑ O **projeto térmico** (dissipador) tem um papel importante na seleção da corrente dos diodos;



Fonte: Rik W. De Doncker, "Electric Drives and Batteries for Plug-in Hybrid and Electric Vehicles"

Projeto Térmico → Importantíssimo

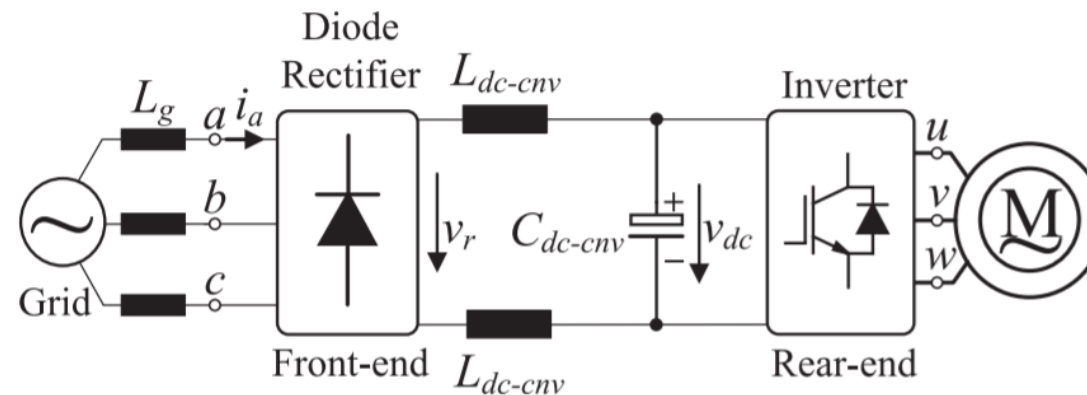
- ❑ Define os limites do equipamento;
- ❑ Relacionado com a confiabilidade do equipamento.



Fonte: Y. Yang, "Advanced Control Strategies to Enable a More Wide-Scale Adoption of Single-Phase Photovoltaic Systems". PhD Thesis, Aalborg University

Capacitores e indutores

- ❑ A capacitância é calculada de acordo com a ondulação de tensão máxima admissível no projeto do retificador;
- ❑ A indutância é calculada de acordo com a ondulação de corrente máxima admissível;
- ❑ A indutância também ajuda na redução da distorção de corrente na rede elétrica;
- ❑ O projeto depende da topologia!!!



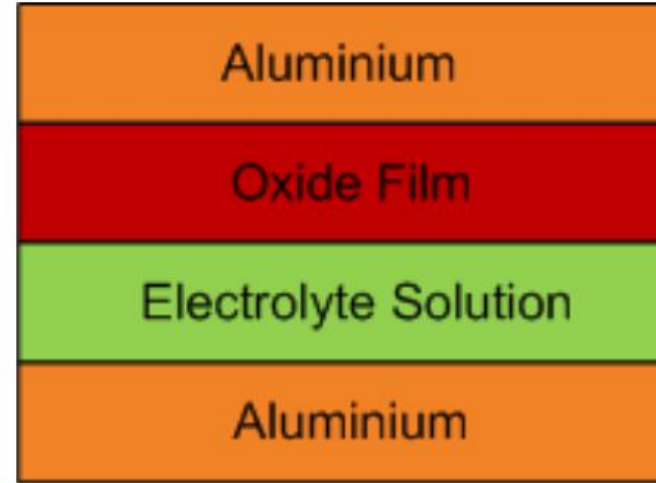
Fonte: Rik W. De Doncker, "Electric Drives and Batteries for Plug-in Hybrid and Electric Vehicles"

Capacitores



Sandwich

(Source: http://www.jhdeli.com/Templates/Cold_Sandwich.html)



Aluminum Electrolytic Capacitor

Capacitance

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

Ripple current rating

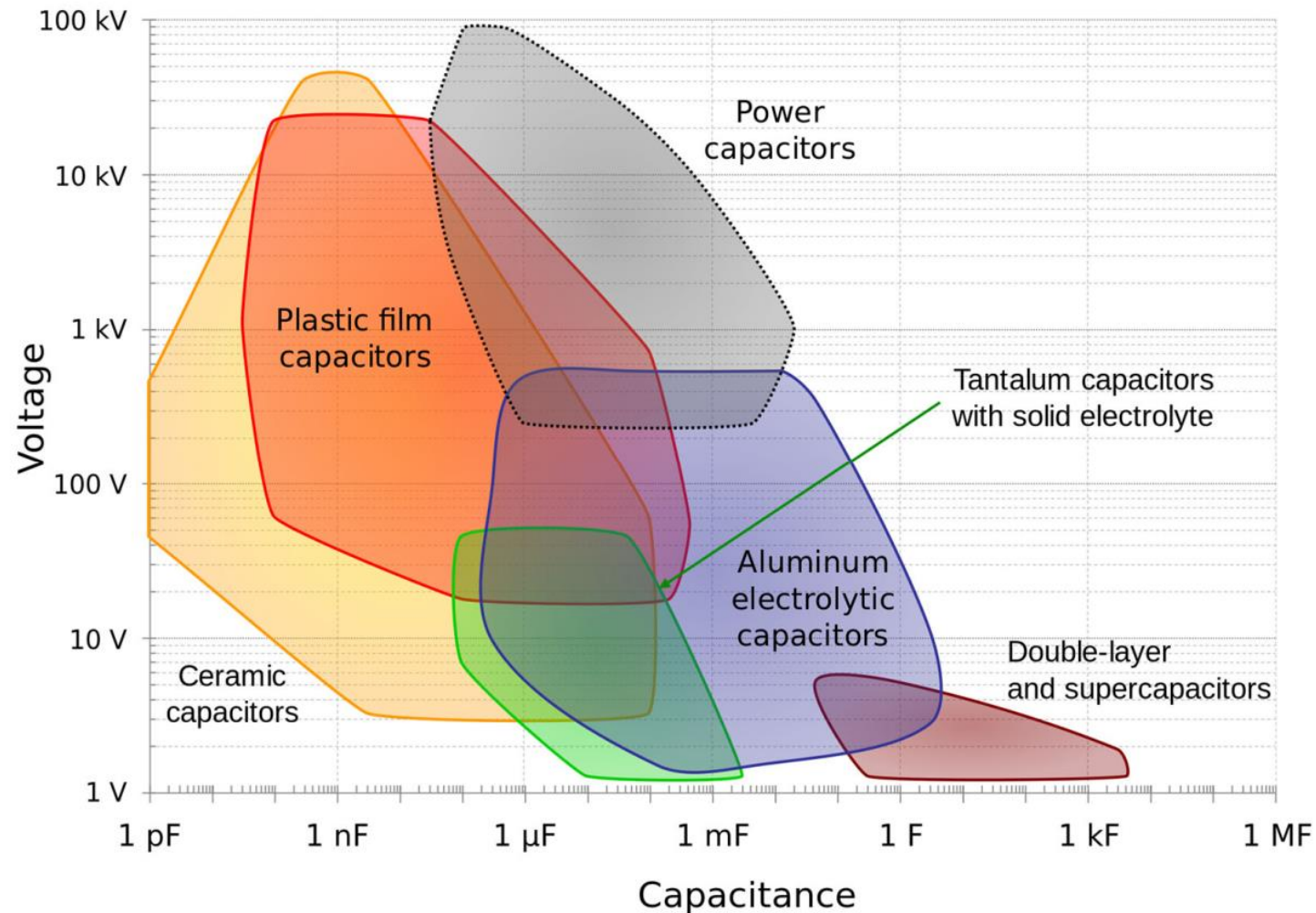
$$I_r = \sqrt{\frac{P_d}{R_s}} = \sqrt{\frac{hA\Delta T}{R_s}}$$

Volumetric efficiency

$$\eta_v = \frac{CV}{\text{volume}}$$

Fonte: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/243654015/IECON_2016_Cap_HW.pdf

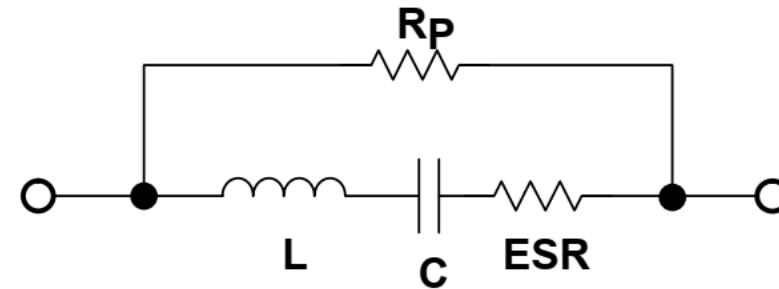
Tecnologias de Capacitores



Fonte: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/243654015/IECON_2016_Cap_HW.pdf

Capacitores: Comportamento elétrico

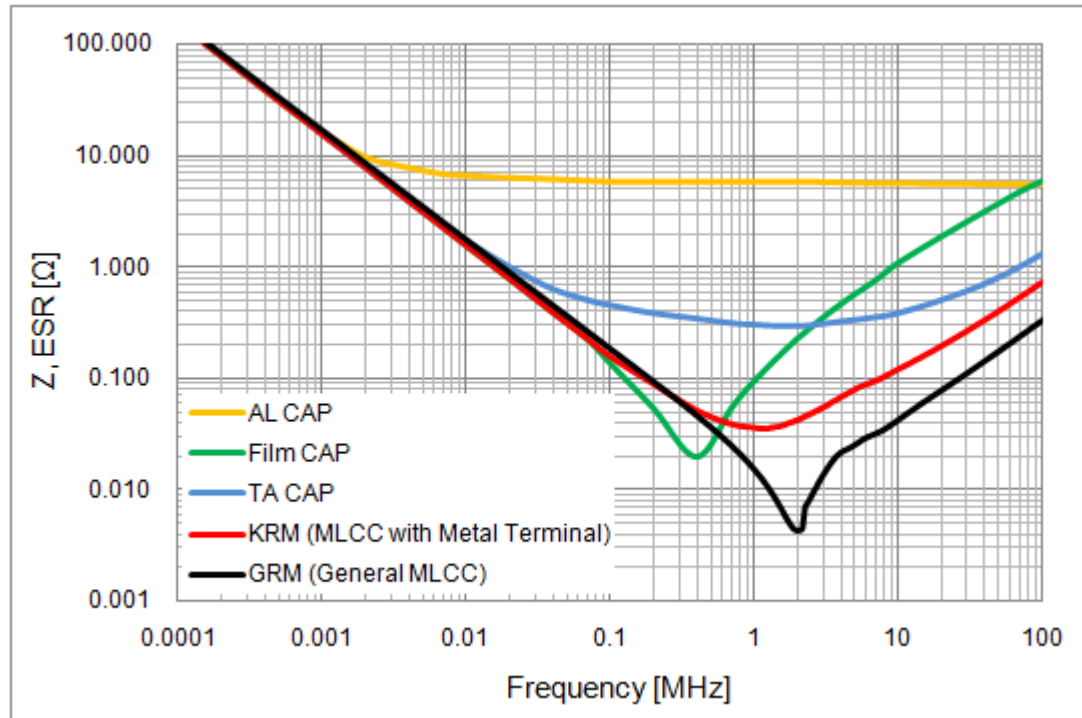
Capacitores:



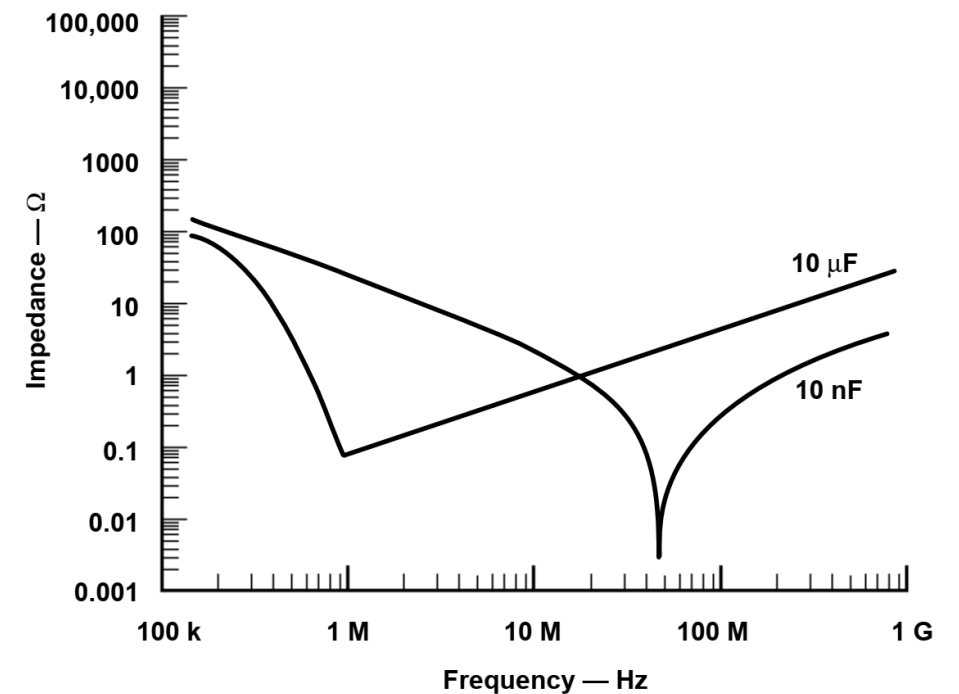
Fonte: Texas instruments. "Op Amps for Everyone"

- ❑ Efeito indutivo limita a utilização do capacitor;
- ❑ ESR é a mínima impedância do capacitor (Por quê?);
- ❑ Os pinos dos capacitores tem uma grande influência na indutância do capacitor.

Efeito da frequência na impedância do capacitor

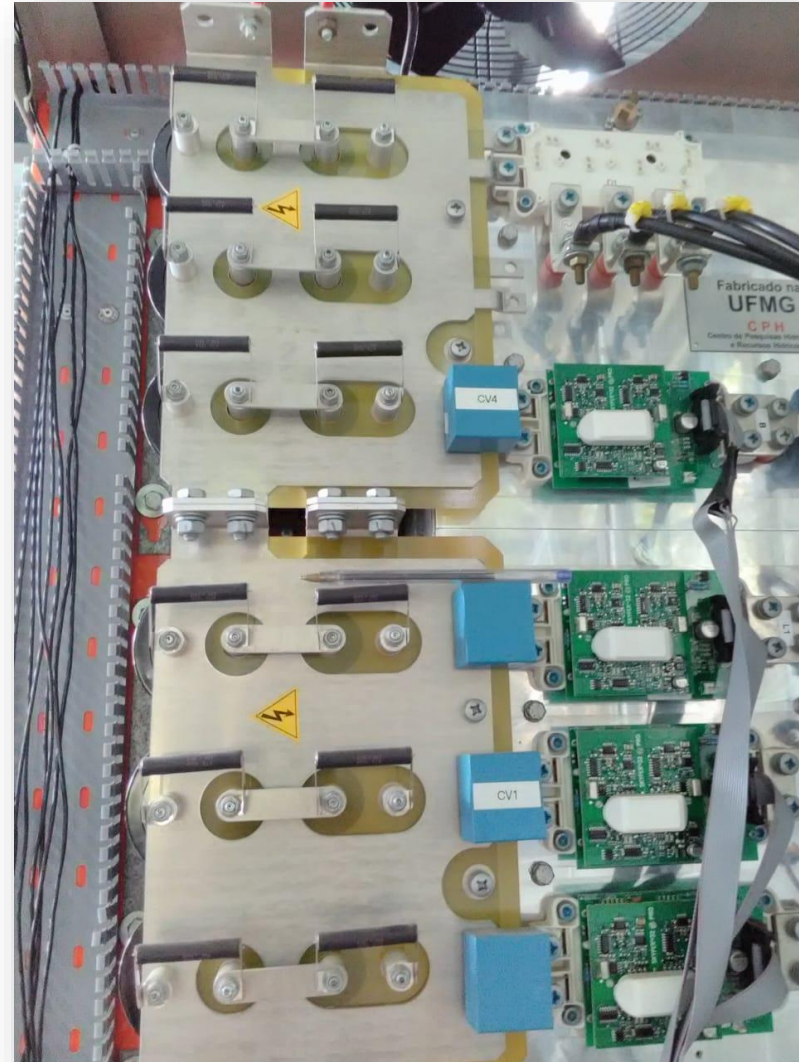
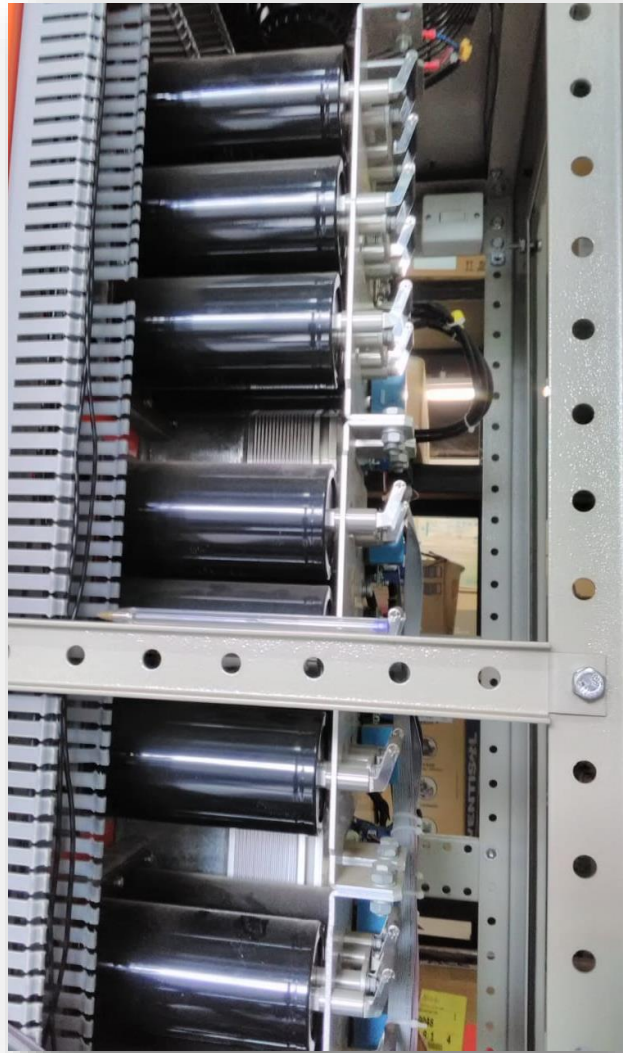


Fonte: <https://www.murata.com/en-eu/support/faqs/products/capacitor/mlcc/char/0027>

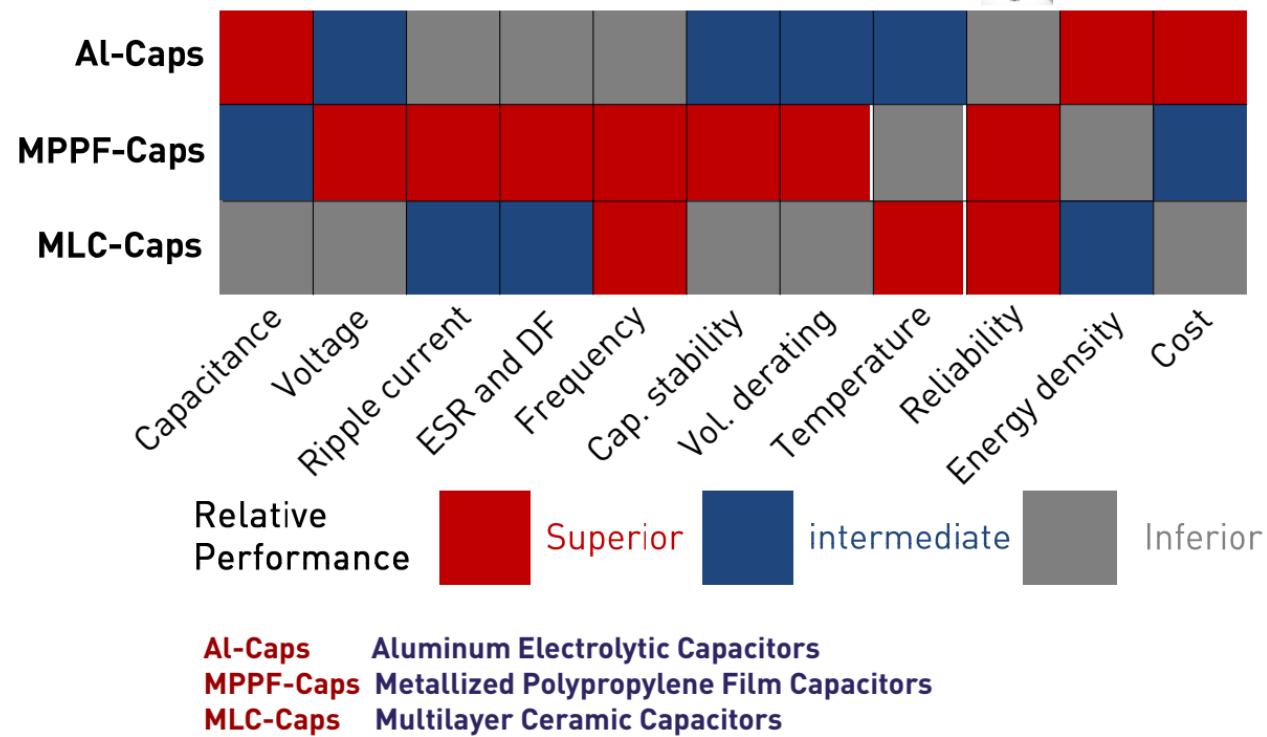


Fonte: Texas instruments. "Op Amps for Everyone"

Exemplo: Inversor de 100 kVA



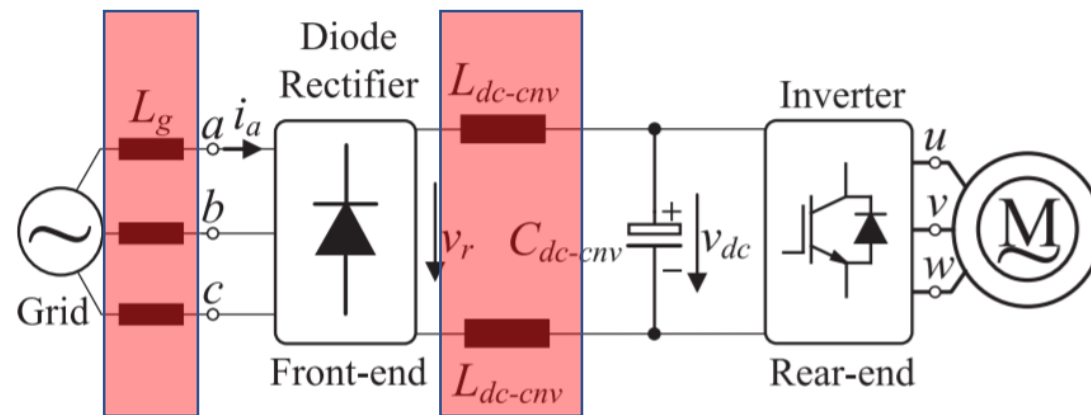
Comparação das tecnologias mais utilizadas em EP



https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/243654015/IECON_2016_Cap_HW.pdf

Indutores

- ❑ Indutores podem ser instalados do lado CA ou do lado CC do inversor;
- ❑ Indutores CC apresentam maior fluxo magnético e portanto utilizam mais material magnético;
- ❑ Indutores CA apresentam menor volume e custo;
- ❑ Algumas vezes a própria indutância de dispersão do transformador pode ser utilizada.



Fonte: Rik W. De Doncker, "Electric Drives and Batteries for Plug-in Hybrid and Electric Vehicles"

Exemplos de filtros indutivos



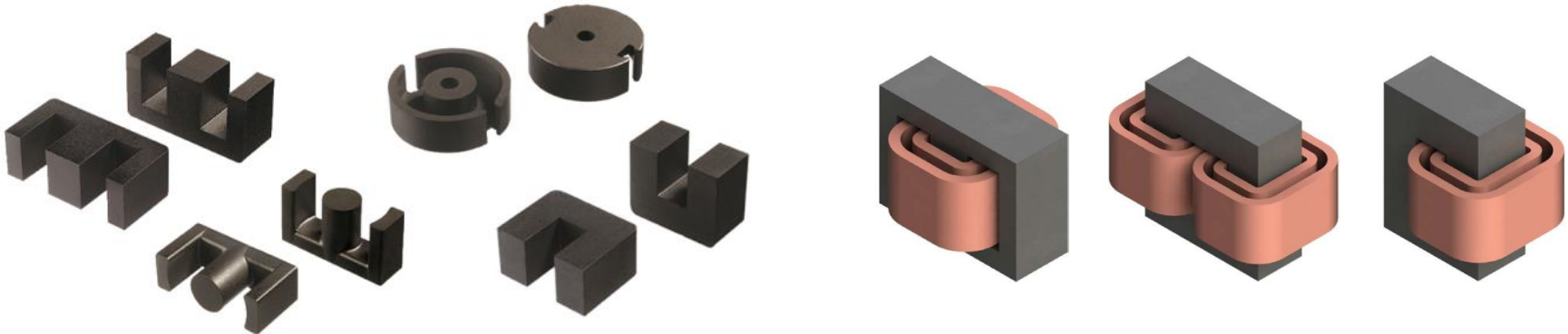
Fonte: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/234M.PDF>



<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1214M.PDF>

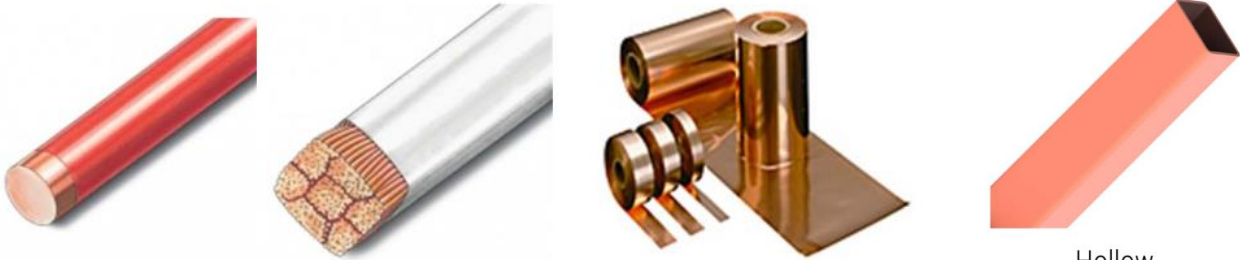
Algumas realizações possíveis

Core Shapes



www.ferroxcube.com

Conductor Shapes

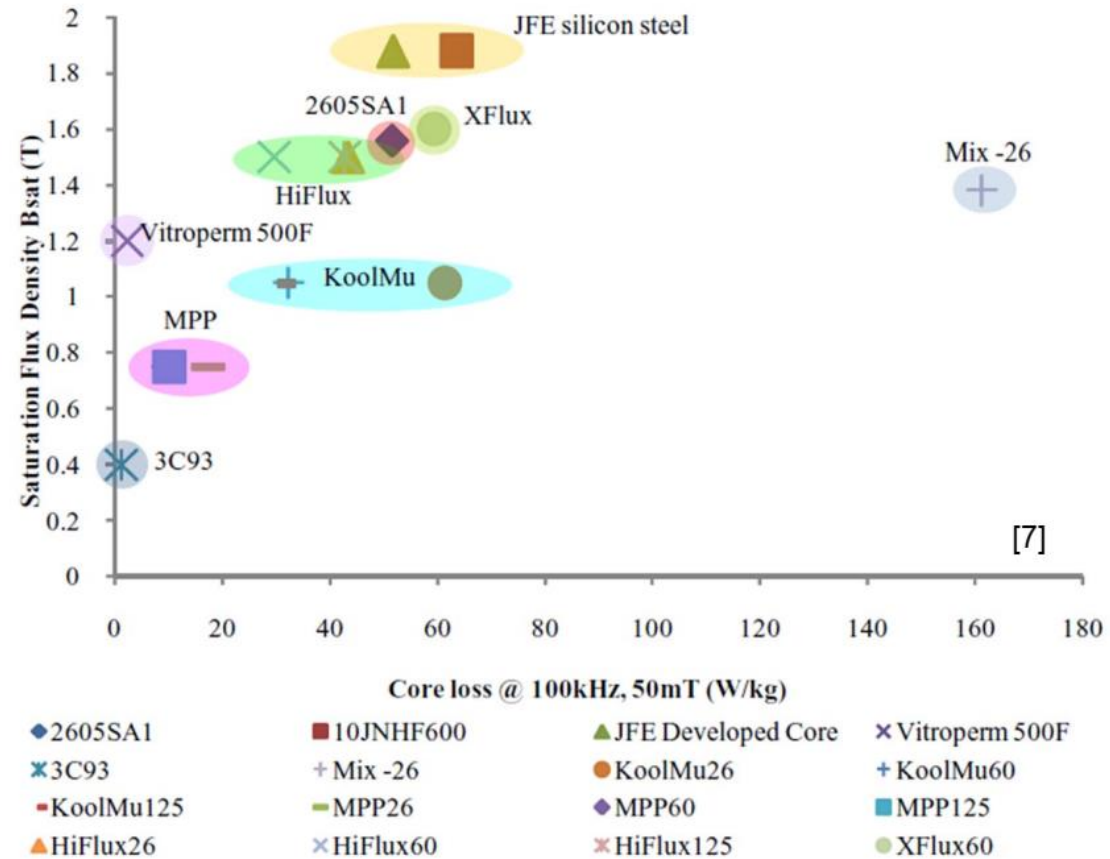


Hollow

www.pack-feindraehnte.de, www.jiricek.de

D. Dujic. "Medium Frequency Transformer Design Optimisation for Solid State Transformers".

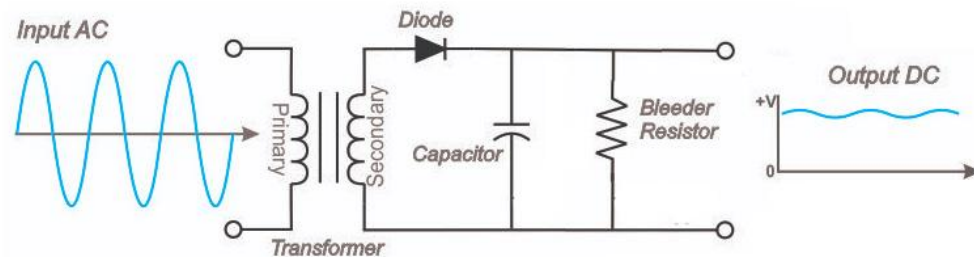
Alguns materiais



[7] M. S. Rylko, K. J. Hartnett, J. G. Hayes, M.G. Egan, “Magnetic Material Selection for High Power High Frequency Inductors in DC-DC Converters”, in Proc. of the APEC 2009.

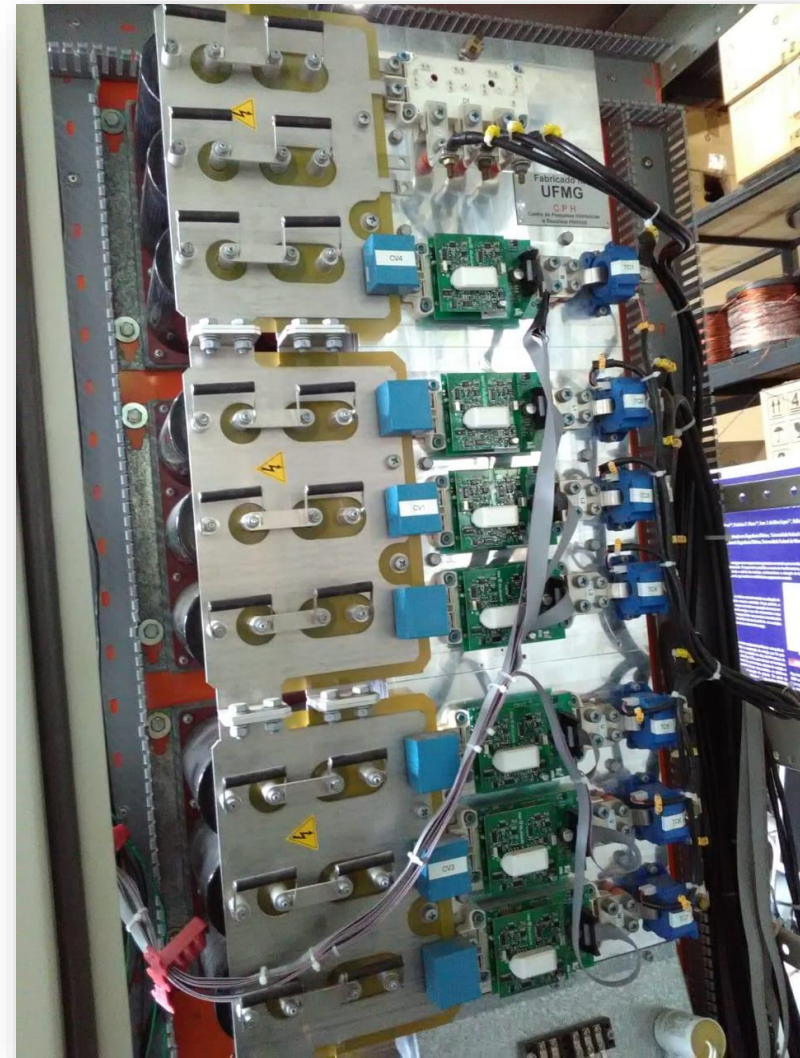
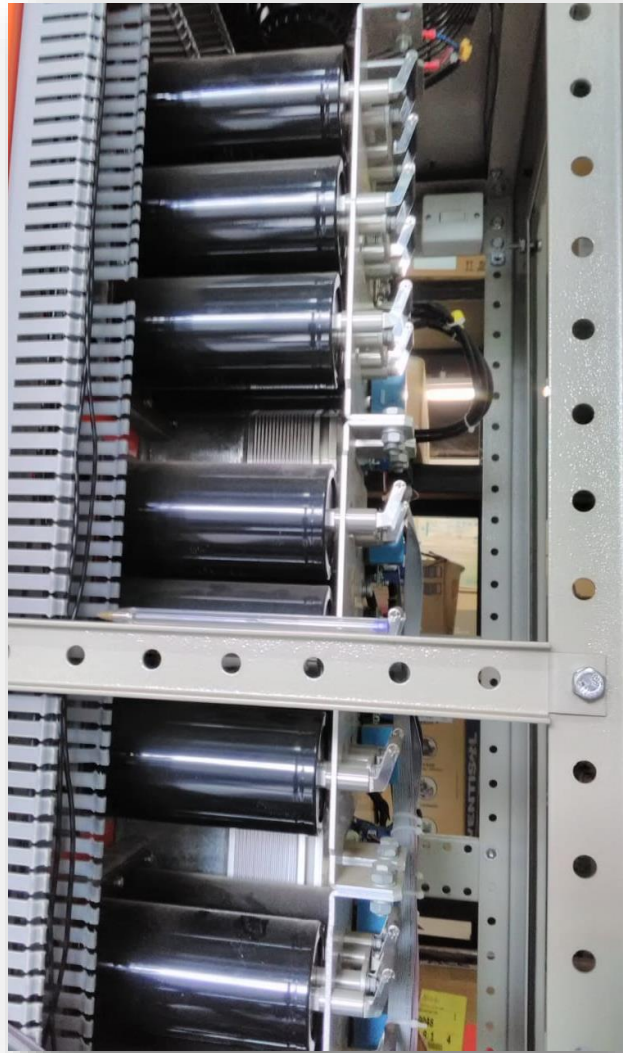
Resistores de descarga (Bleeder resistors)

- ❑ Resistores instalados em paralelo com o barramento CC para descarregar o mesmo durante operações de manutenção;
- ❑ Devem apresentar resistência elevada para garantir baixas perdas em regime permanente (crítico em sistemas de alta potência);
- ❑ Geralmente calculadas para descarregar o capacitor em alguns minutos (1 a 5 minutos);
- ❑ Resistores de balanceamento podem ser utilizados quando a conexão série de capacitores é necessária.



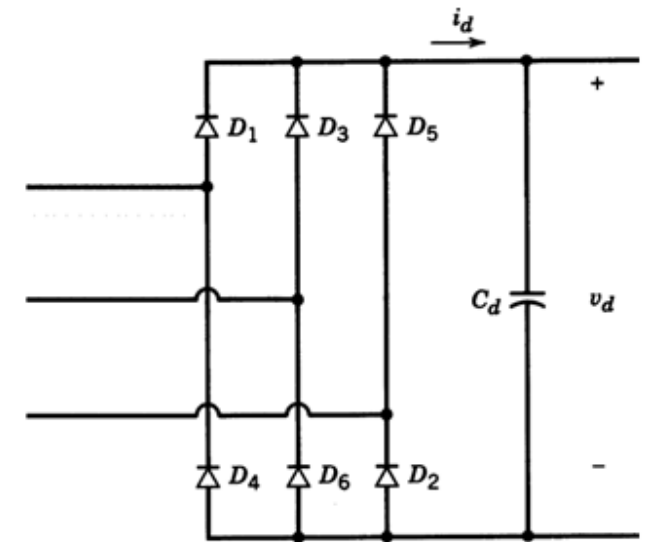
Fonte: <https://socratic.org/questions/5800ebb17c01490835a82b8e>

Exemplo: Inversor de 100 kVA



Corrente de *inrush*

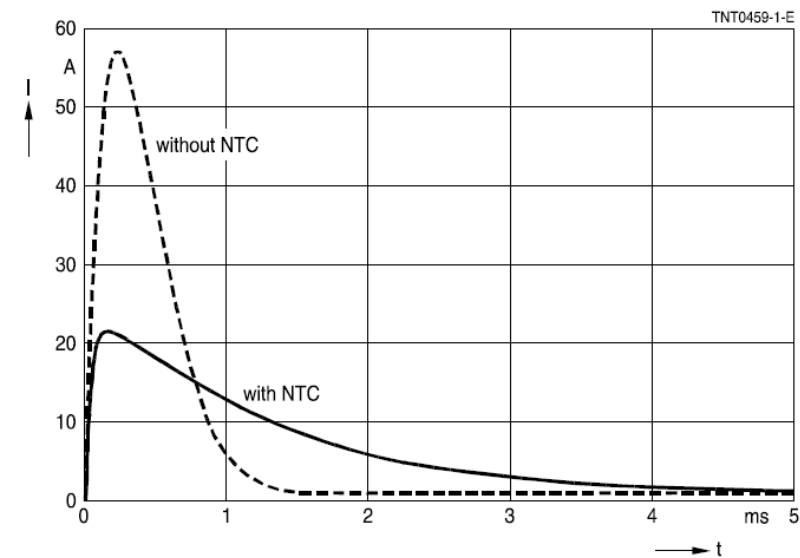
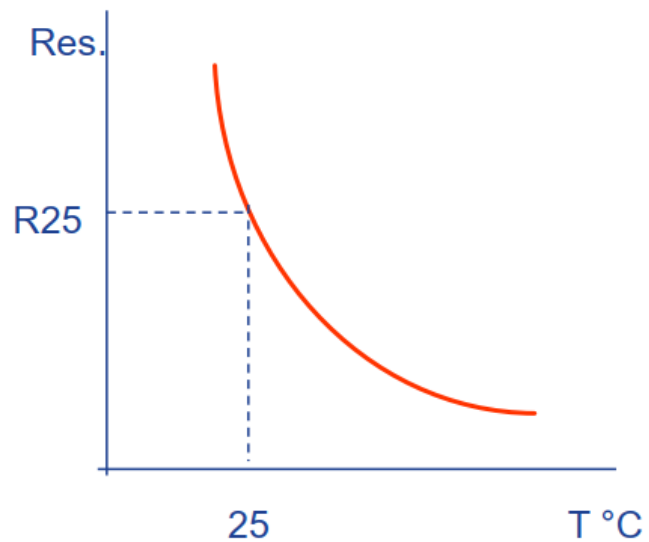
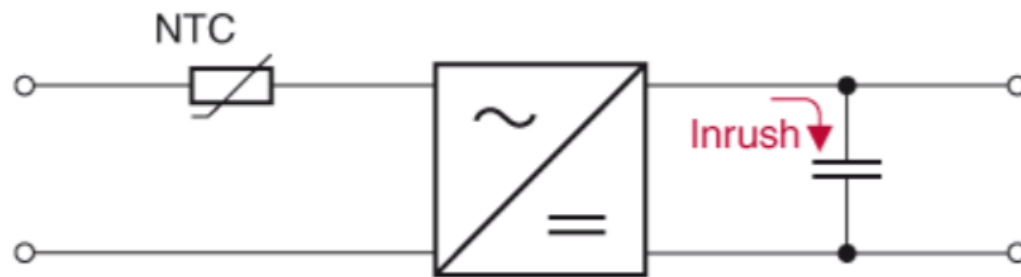
- ❑ Capacitor inicialmente descarregado: comporta-se como um curto circuito;
- ❑ Alto pico de corrente na carga do capacitor;
- ❑ Pode-se escolher diodos que suportam o pico da corrente de pré-carga;
- ❑ Contudo esta abordagem é prejudicial para o circuito que alimenta o retificador.



Fonte: Mohan, Undeland and Robbins: Power Electronics: Converters, Applications and Design. 2nd. Edition, John Wiley, 1994.

Estratégias de limitação da corrente de inrush

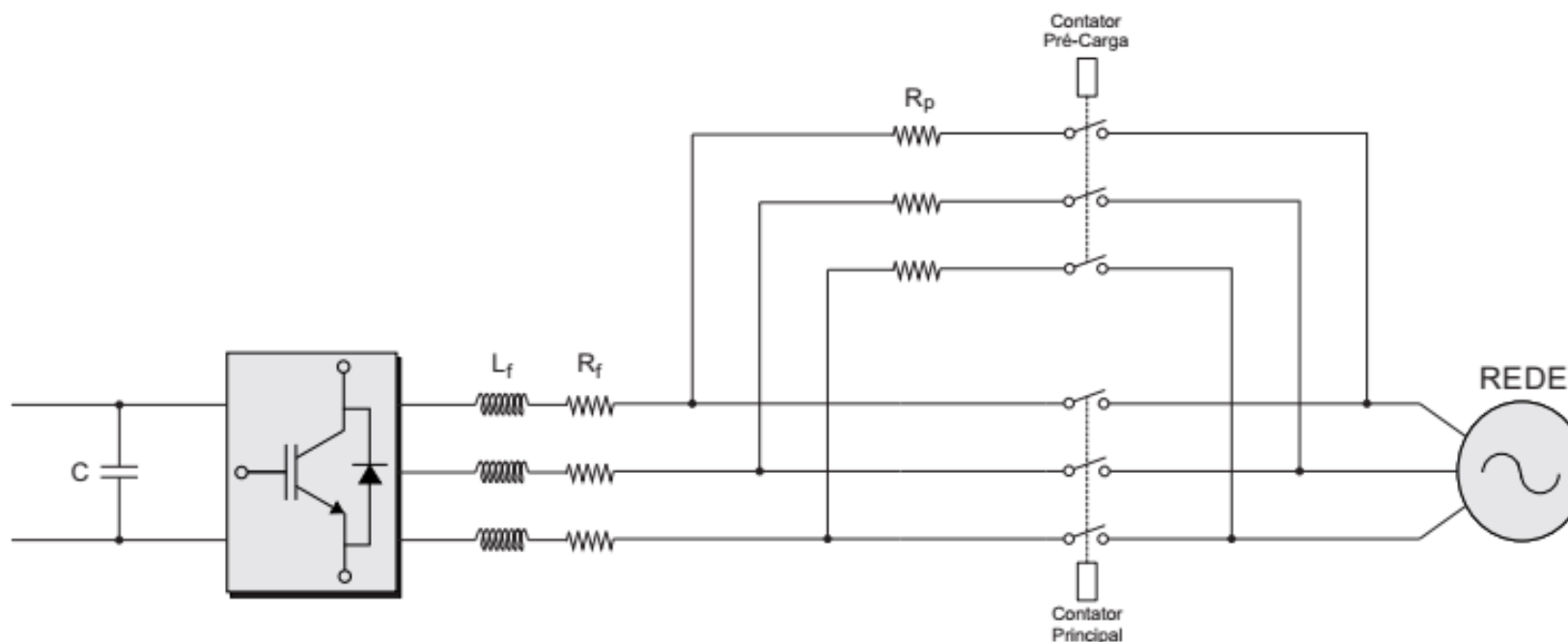
- Abordagem usada em fontes chaveadas → Uso de termistores NTC



M. P. Ulhôa. Projeto de inversor de frequência monofásico de baixo custo. Trabalho de conclusão de curso. CEFET-MG. 2017.

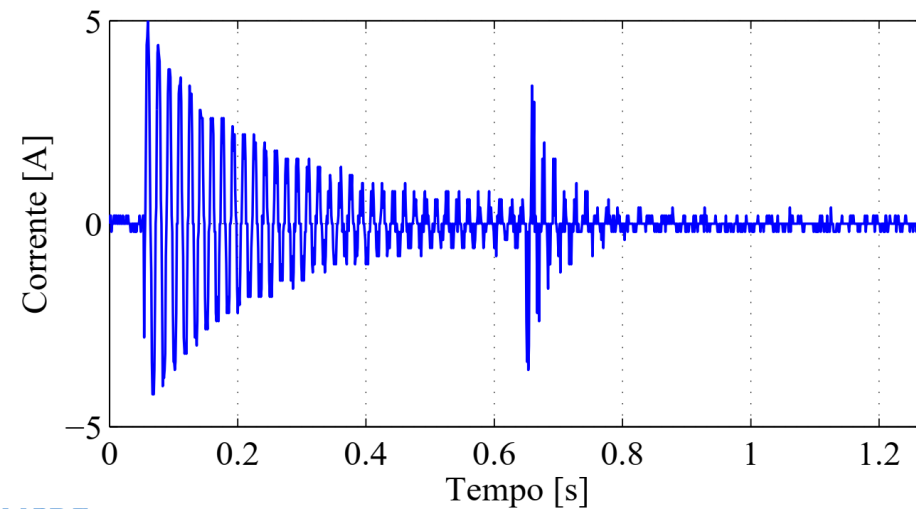
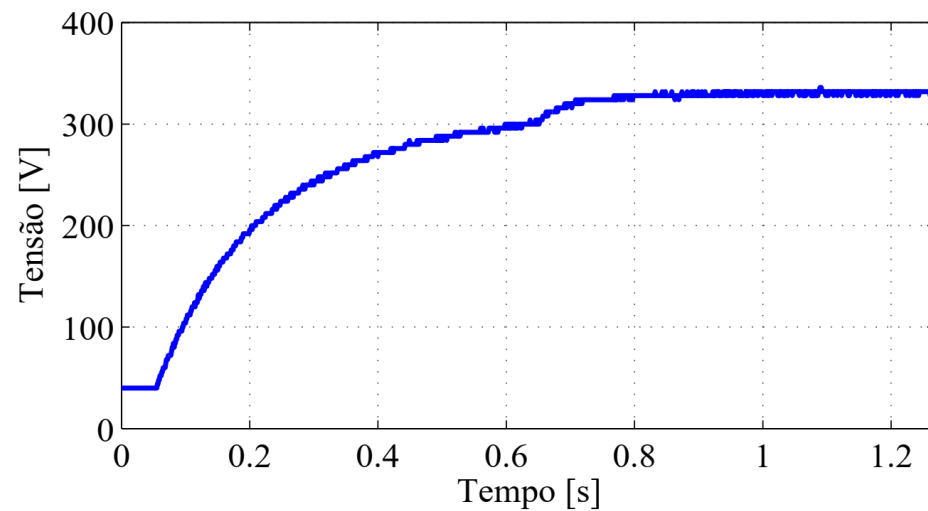
Estratégias de limitação da corrente de inrush

- Abordagem em sistemas de alta potência → Resistores de pré-carga



<https://www.ppgce.ufmg.br/defesas/1214M.PDF>

Transitório com resistor de pré-carga



<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1214M.PDF>

Obrigado pela Atenção



www.gesep.ufv.br



<https://www.facebook.com/gesep>



https://www.instagram.com/gesep_vicosa/



https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh_hDBIcxMU2Nw



Estimate - Sistemas
Fotovoltaicos



<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate>