

Comparação de ligação de condensadores a supremacia da tecnologia de diodo

Transientes de ligação de condensadores

Ao nível da distribuição, são necessárias baterias de condensadores de derivação para garantir a qualidade da energia, em termos de estabilidade de tensão e eficiência de rede. As utilidades normalmente necessitam de condensadores para fornecer energia elétrica aos seus clientes através de uma rede estável, enquanto as indústrias necessitam de condensadores para aumentar a eficiência das suas máquinas elétricas e para terem um fator de potência adequado, evitando assim as penalidades impostas pelas utilidades.

No entanto, trocar as baterias de condensadores é uma operação delicada devido à natureza especial desses componentes de rede. De fato, a característica base dos condensadores é que a tensão não pode ser alterada de forma instantânea; fechar uma bateria de condensadores é quase como fechar um curto-circuito inicialmente. Assim, quando um condensador está ligado à rede elétrica, a tensão de rede será diminuída até perto de zero durante um certo intervalo de tempo. Irá ocorrer um pico de alta corrente, nomeadamente uma corrente de irrupção, quando o condensador está a carregar. Ao mesmo tempo, a tensão do condensador irá começar a recuperar e exceder a tensão de rede. A tensão do condensador tenderá então a oscilar em torno da onde fundamental até estabilizar após cerca de um ciclo. Estas oscilações normalmente causam um cruzamento multi-zero da tensão de rede.

Caso seja ligada uma segunda bateria de condensadores em paralelo à que já está ligada, nomeadamente ligações back-to-back, a bateria carregada emite um pico de alta frequência à bateria não carregada. A corrente de irrupção resultante do fecho do back-to-back é muito superior em magnitude e frequência ao fecho de uma única bateria.

Além destes fenómenos transitórios, a ligação de baterias de condensadores com tecnologia de vácuo apresenta problemas adicionais derivantes da sua própria natureza. De facto, durante uma operação de fecho, pode ocorrer uma descarga de energia antes de os contactos do interruptor de vácuo serem completamente fechados, nomeadamente um pré-golpe, o que resulta na pré-ignição do sistema, maior corrente de irrupção e eventualmente união de contactos de vácuo, o que coloca em risco a próxima abertura do interruptor de vácuo.

No que se refere à operação de abertura, a tecnologia de vácuo sofre o risco de possível descarga de energia após a separação dos contactos, nomeadamente um novo golpe, que resulta na sobretensão e sobrecarga do condensador.

Estes transientes de condensadores, buracos de tensão, ultrapassagens de tensão, correntes de irrupção de alta frequência, pré-golpes e novos golpes prejudicam a estabilidade da rede bem como a sua fiabilidade devido a avarias do equipamento elétrico, tanto para utilidades como para indústrias. Além disso, os transientes de ligação de condensadores afetam a vida útil do próprio condensador e podem causar danos fatais inesperados.

Comparação de tecnologias

Tal como acima referido, os transientes de ligação de condensadores são basicamente dados por indutância de curto-circuito (L) e capacitância (C) da bateria que forma um circuito LC. Em particular, um pico de corrente de irrupção (I_{peak}) é dado por:

$$I_{peak} = U \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Em que U é a diferença entre tensão de rede e tensão do condensador. Considerando que as baterias de condensadores são quase sempre autorizadas a descarregar quando estão desligadas, a tensão do condensador é considerada como zero. Assumindo que C e L são constantes, a magnitude do pico de corrente de irrupção depende da tensão de rede no momento da ligação. O pior caso é se o fecho ocorrer no pico da tensão de rede. Para mitigar os transientes de ligação de condensadores e, como tal, os seus efeitos sobre a qualidade da energia, existem vários métodos para controlar os parâmetros da equação, a saber:

- Aumentar a indutância do circuito: reatores de irrupção ou reatores de dessintonização (os últimos são normalmente usados para evitar a ressonância harmónica).
- Diminuir a diferença de tensão na energização inserindo uma resistência na série: tecnologia de resistência pré-inserção.
- Minimizar a tensão de rede na energização: ligação sincronizada (fecho de cruzamento de tensão zero).

Para avaliar a eficácia da tecnologia de ligação dos métodos acima, foi construído um modelo de fase única para simular baterias únicas e transientes de ligação de condensadores back-to-back. O modelo é essencialmente composto por dois condensadores 2.5 MVAR em paralelo a 6.9 kVrms e 60 Hz, cada um operado por um interruptor (BRK1 e BRK2).

Comparação de ligação de condensadores a supremacia da tecnologia de diodo

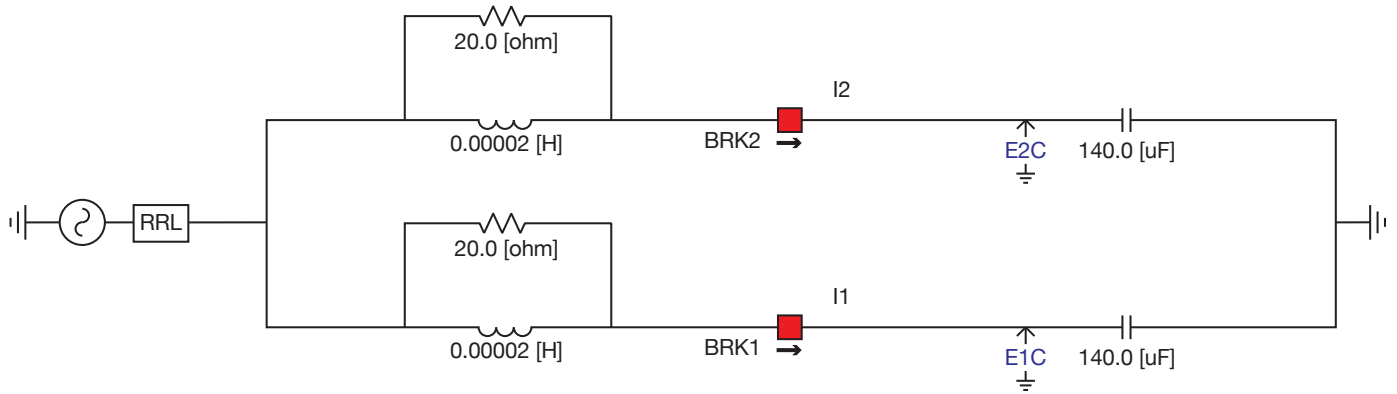


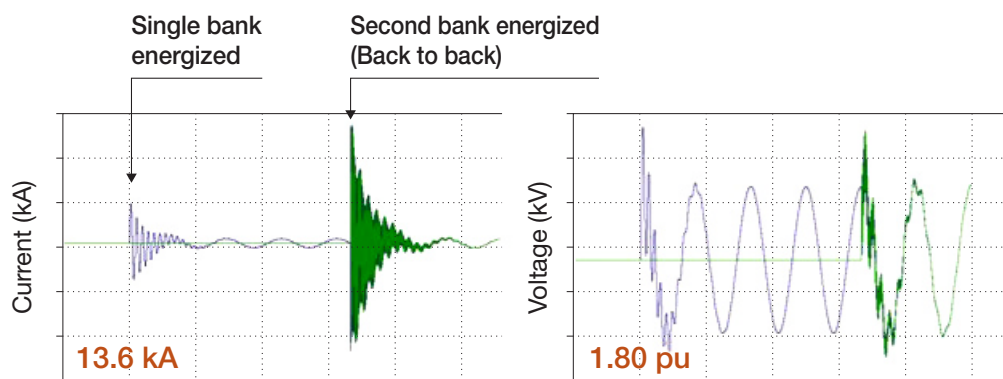
Figura 1 - Modelo de fase única PSCAD.

As tecnologias de ligação simuladas são:

- A. Ligação padrão sem amortecimento
- B. Ligação padrão com reatores de dessincronização
- C. Resistência de pré-inserção
- D. Vácuo sincronizado
- E. Diodos

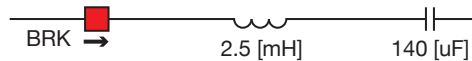
Configuração A: sem amortecimento

Os transientes descritos são claramente visíveis nos gráficos de simulação. Em particular, o pico de corrente de irrupção alcança o máximo a 13.6 kA quando a segunda bateria é ligada, enquanto a ultrapassagem de tensão alcança o máximo a 1.80 pu (por unidade) quando a primeira bateria é ligada.

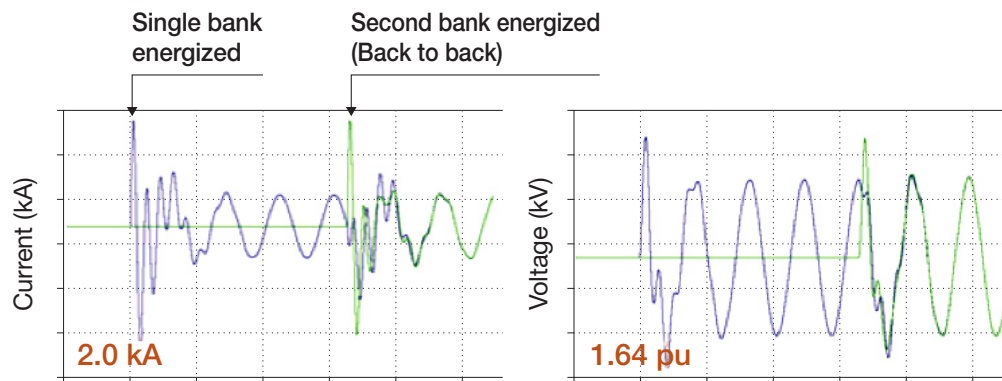


Configuração B: reatores dessincronizados

Para reduzir o pico de irrupção e evitar a ressonância, é ligado um reator em série com o condensador para aumentar a indutância do circuito. Isto modifica a frequência de ressonância do circuito e normalmente a indutância dos reatores é escolhida para evitar a 3.^a e 5.^a harmônica. Neste caso, é colocada uma indutância de 2.5 mH em série em cada condensador.

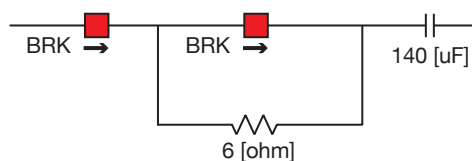


Nesta configuração, os efeitos do transiente das operações de fecho é reduzido, tanto para a corrente de irrupção (pico de 2 kA) como para a sobretensão da voltagem (1.64 pu).



Configuração C: resistência de pré-inserção

Tal como descrito acima, uma resistência é inserida na energização para limitar a corrente de irrupção; neste caso, uma resistência de 6 Ohm, que depois é bypassada (BRK verde) para evitar perdas de energia e sobreaquecimento.



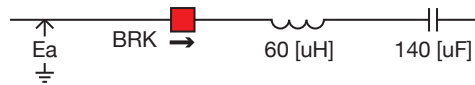
Com a tecnologia de resistência de pré-inserção, a irrupção na energização é significativamente reduzida; apesar disso, o bypass da resistência provoca um pico de alta irrupção, especialmente quando é energizada uma segunda bateria (4.5 kA). Por outro lado, podem ser obtidos bons resultados no lado da tensão com um pico de 1.18 pu.



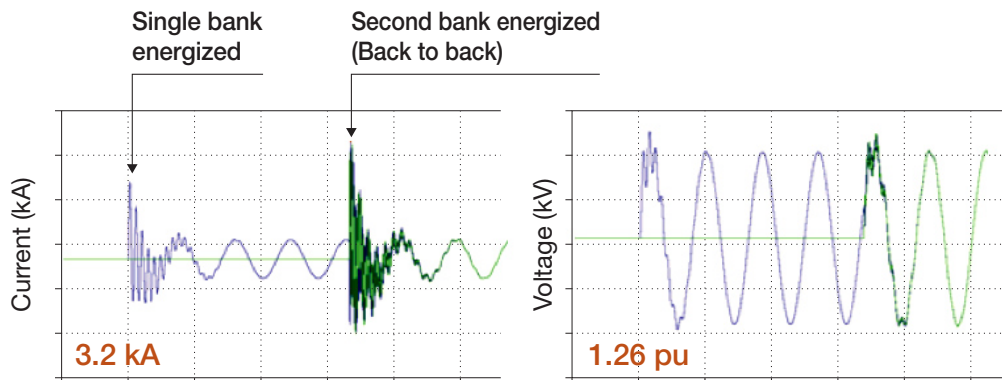
Comparação de ligação de condensadores a supremacia da tecnologia de diodo

Configuração D: vácuo sincronizado

Nesta configuração, o interruptor de vácuo é equipado com um relé de sincronização capaz de medir a tensão de rede e acionar o fecho de contactos para obter o fecho total com tensão zero. No entanto, os contactos não se devem mover demasiado antes do cruzamento da tensão zero, pois isto causaria um pré-golpe que comprometeria os contactos de vácuo. Assim, é necessário um certo atraso, normalmente de 1 ms. Neste caso, de um sistema com 6.9 kVrms e 60 Hz, a diferença de tensão a 1 ms após o cruzamento a zero é cerca de 3.6 kVp, o que causaria um pico de irrupção. Para o mitigar, é adicionada uma indutância de 60 μH ao circuito.

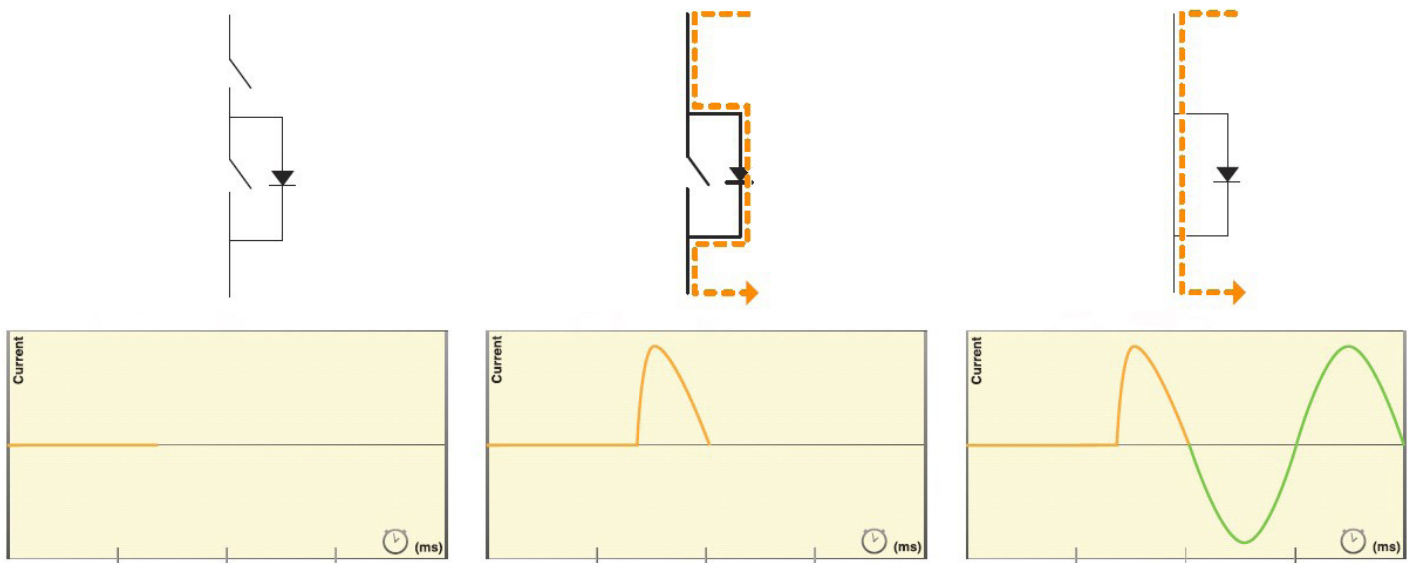


O vácuo sincronizado mitiga o pico de corrente de irrupção (3.2 kA) ligeiramente mais do que a tecnologia de resistência de pré-inserção, enquanto a sobretensão é maior (1.26 pu).

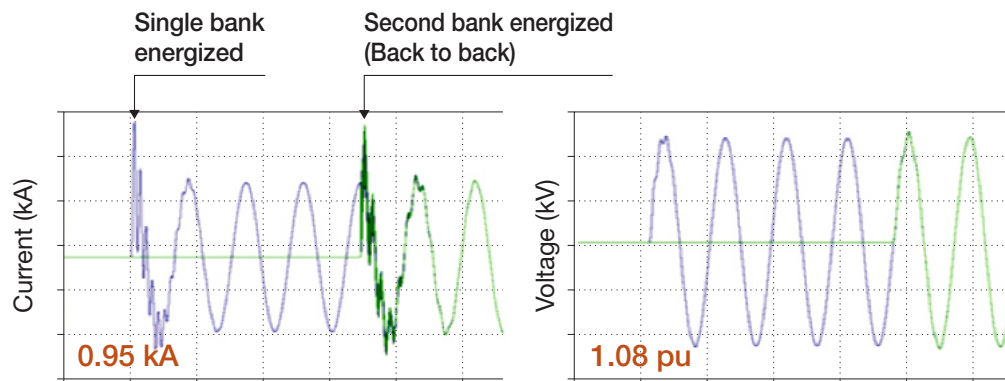


Configuração E: díodos

A tecnologia de díodos usa díodos para energizar naturalmente as baterias de condensadores com tensão de rede, começando exatamente pelo cruzamento a zero graças à sincronização de tensão de rede. Os díodos são depois bypassados após um quarto de ciclo, nomeadamente no cruzamento de tensão zero, para evitar perdas de energia e sobreaquecimento.



O interruptor baseado em díodos consegue reduzir drasticamente os transientes de ligação, limitando o pico de corrente de irrupção a menos de 1 kA e a sobretensão a menos de 10%.

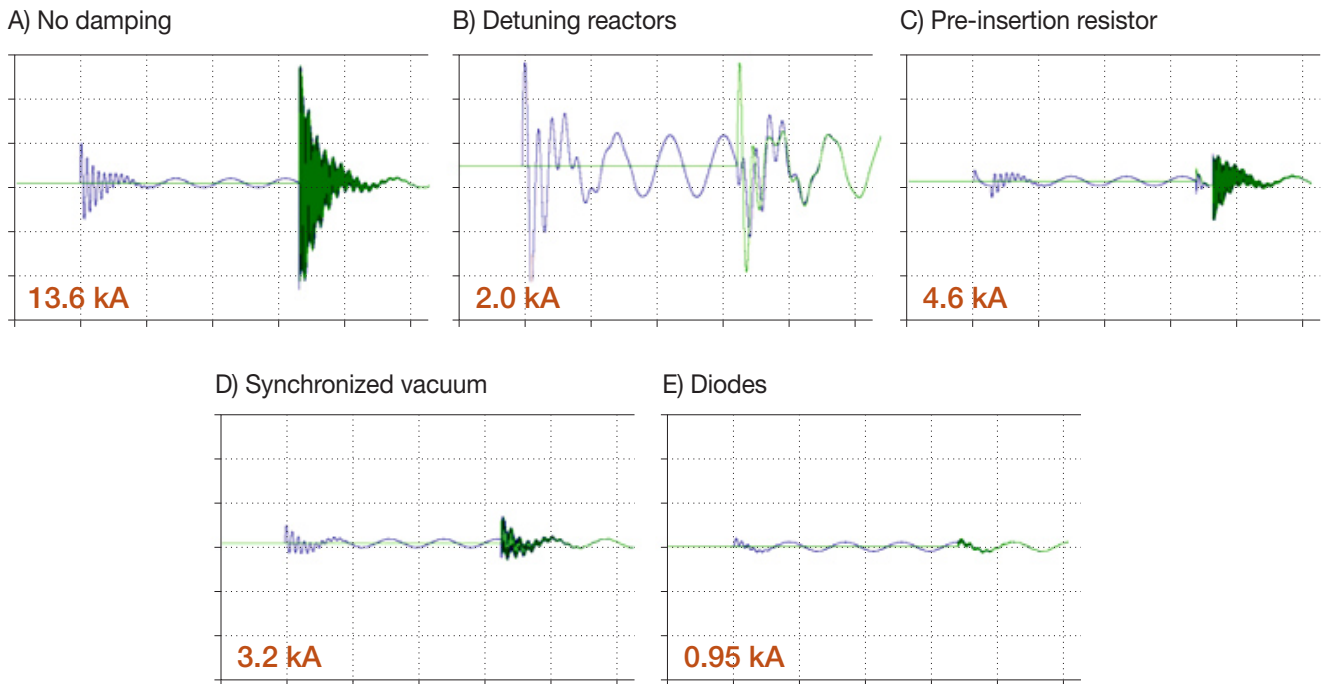


Comparação de ligação de condensadores a supremacia da tecnologia de diodo

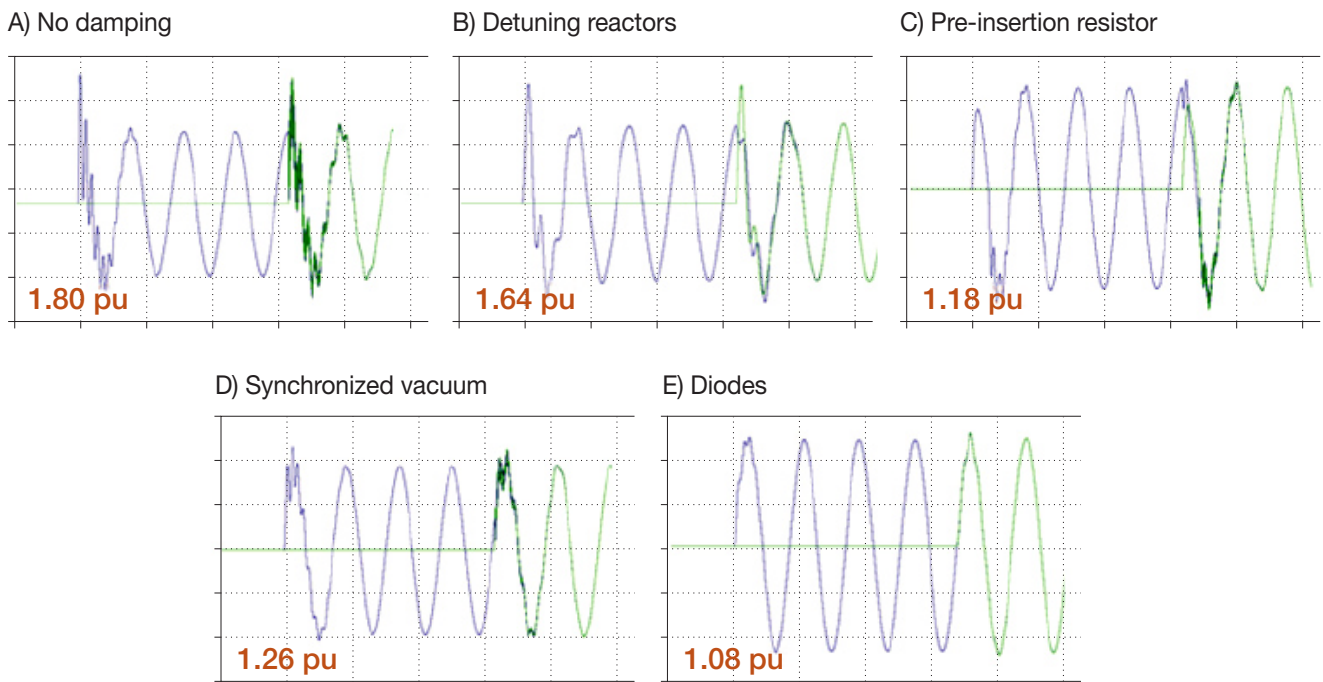
Conclusões

Uma comparação entre tecnologias de ligação de condensadores foi realizada através de simulações de um modelo de fase única. Para cada tecnologia foram simuladas operações de passo único e back-to-back. Os resultados são resumidos abaixo.

Corrente de irrupção



Sobretensão



Configuração	Indutância adicionada	Pico de corrente de irrupção máx [kA]	Pico do sobretensão máx [pu]
Sem amortecimento	-	13.60	1.80
Reatores de dessincronização	2.5 mH	2.00	1.64
Resistência de pré-inserção	-	4.50	1.18
Vácuo sincronizado	60 μ H	3.20	1.26
Díodos	-	0.95	1.08

Apesar da tensão nominal (6.9 kV rms) e potência do condensador (2.5 MVAR) bastante baixas, a ligação das baterias de condensadores com tecnologias padrão e sem qualquer amortecimento resulta em alta corrente de irrupção e sobretensão, que provavelmente causarão instabilidade de rede.

Por este motivo, uma solução comum é adicionar reatores de dessincronização entre o interruptor e os condensadores. Esta solução produz resultados muito melhores em termos de corrente de irrupção, enquanto a sobretensão ainda é crítica para a estabilidade de rede. Os reatores de dessincronização também ocupam espaço e causam altas perdas de energia. Considerando as soluções de mitigação de transientes, a tecnologia de resistência pré-inserção fornece bons resultados em termos de sobretensão, mas a corrente de irrupção é ainda maior do que a resultante da solução com reatores de dessincronização. Isto deve-se sobretudo ao bypass requerido da resistência para evitar perdas de energia e sobreaquecimento. Consequentemente, a estabilidade de rede é melhorada comparada com outras soluções mas a pressão no interruptor e no condensador ainda é elevada.

A tecnologia de vácuo sincronizado consegue diminuir ligeiramente a corrente de irrupção comparada com a resistência de pré-inserção, mas isto é de qualquer forma crítico devido ao problema de união de contactos. O nível de sobretensão é novamente muito alto.

A tecnologia de diodo fornece os melhores resultados tanto em termos de corrente de irrupção e sobretensão e é consequentemente a melhor solução para a ligação de baterias de condensadores. De facto, graças à sua capacidade de realizar a ligação de forma perfeita, a tecnologia de diodo consegue proteger a estabilidade de rede e a vida do condensador.

É importante notar que, em caso de baterias de condensadores maiores ou maior tensão de rede, o fenómeno dos transientes é geralmente maior e como tal pode causar problemas mais graves às utilidades e indústrias. No entanto, a capacidade de ligação da tecnologia de diodo não é afetada pela potência do condensador ou tensão de rede. Assim, os benefícios da tecnologia de diodo são maiores com maiores condensadores e níveis de tensão.

Consulte o [site da ligação de condensadores sem transientes baseada em díodos DS1](#) para saber mais sobre a aplicação da tecnologia de diodo por parte da ABB!

ABB S.p.A.

**Power Products Division
Unità Operativa Sace-MV**

Via Friuli, 4

I-24044 Dalmine

Tel: +39 035 6952 111

Fax: +39 035 6952 874

E-mail: info.mv@it.abb.com

ABB AG

Calor Emag Medium Voltage Products

Oberhausener Strasse 33 Petzower Strasse 8

D-40472 Ratingen D-14542 Glindow

Phone: +49(0)2102/12-1230

Fax: +49(0)2102/12-1916

E-mail: powertech@de.abb.com

www.abb.com

Os dados e ilustrações não são vinculativos. Reservamo-nos o direito de fazer modificações após desenvolvimentos técnicos do produto.

© Copyright 2015 ABB.
All rights reserved.