

Capítulo IV

Aplicação de UPS de dupla conversão em missão crítica

FUNCIONAMENTO GERAL E DETALHAMENTOS DO RETIFICADOR E DA CHAVE ESTÁTICA

Luis Tossi e Henrique Braga*

Após abordarmos o inversor do equipamento, neste capítulo, falaremos sobre os diferentes tipos de retificadores e as influências sobre o dimensionamento do grupo gerador. Finalizaremos com o detalhamento da chave estática do UPS.

Nossa análise dos diferentes tipos de retificadores trifásicos abordará as seguintes topologias:

- 6 pulsos (SCR);
- 6 pulsos (SCR) com filtro;
- 12 pulsos (SCR);
- 6 pulsos (SCR) com booster;
- IGBT.

Retificador de 6 pulsos (SCR)

O retificador de 6 pulsos a SCR ou a diodos é o modelo comercialmente mais utilizado em UPS. Este tipo de retificador gera harmônicos de 5ª e 7ª ordens,

sendo a THDi total em torno de 27% e seu fator de potência, na melhor condição, perto de 0,85.

Retificador 6 pulsos (SCR) com filtro

Trata-se de um retificador convencional de 6 pulsos, em cuja entrada se instala um filtro sintonizado na 5ª harmônica (300 Hz), assim se reduz a THDi para 8%, permanecendo o fator de potência inalterado.

Como o filtro de 5ª harmônica é dimensionado para quando a UPS estiver trabalhando com 100% de carga, quando ela opera com carga inferior a 50% da nominal, o fator de potência de entrada da UPS pode ficar com características altamente capacitivas, o que pode trazer problemas à operação de geradores a diesel de emergência.

A Figura 2 mostra um retificador trifásico de 6 pulsos com filtro e sua forma de onda de entrada.

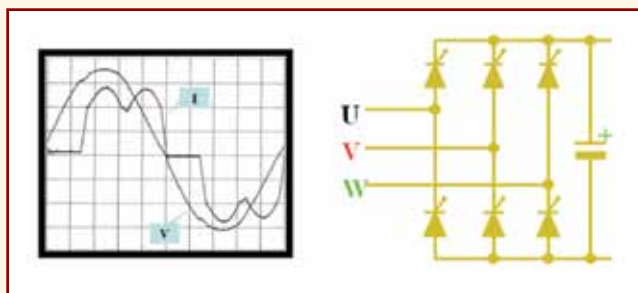


Figura 1 – Retificador de 6 pulsos (SCR)

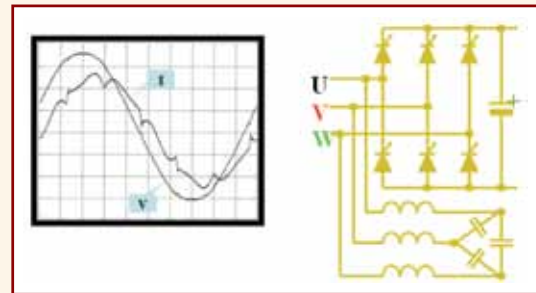


Figura 2 – Retificador de 6 pulsos (SCR) com filtro.

Retificador a SCR de 6 pulsos com booster

Este retificador com booster possui um conjunto de 6 pulsos semelhante às topologias discutidas anteriormente. Como diferencial, na saída do retificador, é instalado um circuito semelhante ao de fontes chaveadas elevadoras (boost), composto por um conjunto de transistores (IGBT) e um oscilador LC que têm a função de elevar a tensão retificada pelo conjunto de SCRs de entrada. O circuito Booster, quando programado para a função PFC (Power Factor Correction ou Correção de Fator de Potência), aumenta o período de condução dos SCRs, já que precisa carregar e descarregar constantemente o circuito LC, colocando tensão e corrente de entrada praticamente em fase, elevando assim o fator de potência de entrada da UPS para 0,95 e, principalmente, reduzindo o THDi (em torno de 8%).

Além disso, com a tensão DC elevada acima de 700VDC é possível construir um UPS com inversor sem a necessidade de transformador em sua saída para elevar a tensão AC fornecida para a carga.

Em algumas séries, o booster pode não estar configurado para redução de distorção harmônica e pode haver na entrada do equipamento um filtro de harmônicos, que reduz o THDi, que, nesta condição, seria de um retificador de 6 pulsos comum, para 10%.

Um UPS com booster não oferece para a carga isolamento galvânica com a rede e o barramento DC devido à ausência do transformador isolador elevador de saída e obrigatoriamente necessita de neutro de entrada (referência para o circuito de potência), que é o mesmo neutro que será conectado à carga.

A Figura 3 mostra um retificador trifásico de 6 pulsos com booster e sua forma de onda de entrada.

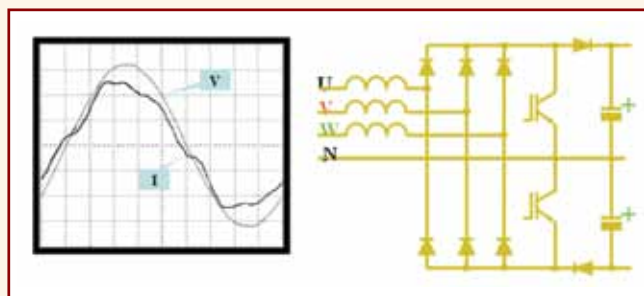


Figura 3 – Retificador a SCR de 6 pulsos com booster.

Retificador a SCR de 12 pulsos

O retificador de 12 pulsos é composto por dois retificadores de 6 pulsos, sendo cada um com metade da capacidade total do UPS, com suas saídas ligadas em paralelo, mas com suas entradas defasadas em 30° elétricos por meio de um transformador Δ -Y em um dos ramos. Dessa forma, reduzimos o THDi para 5% e elevamos o fator de potência, que, em alguns UPSs, pode chegar entre 0,90 e 0,92 (no modo PFC).

Um UPS com este tipo de retificador tem um rendimento um pouco inferior ao UPS de 6 pulsos, mas melhora muito o THDi de entrada e ainda continua oferecendo isolamento galvânica entre rede e carga, devido à necessidade de transformador o isolador de saída.

A Figura 4 mostra um retificador trifásico de 12 pulsos e sua forma de onda de entrada.

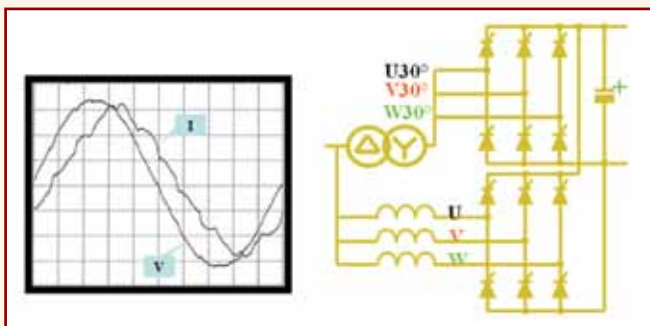


Figura 4 – Retificador a SCR de 12 pulsos.

Retificador a IGBT

O retificador com IGBT é a tecnologia mais recente de todas expostas anteriormente, com uso comercial há alguns anos. Aparentemente, o retificador nada mais é que o inversor do UPS rebatido, alimentado com AC e fornece em sua saída tensão DC já amplificada. O IGBT tem a mesma função que o booster, pois também eleva a tensão DC enquanto retifica, e possui um controle mais complexo, já que equilibra as correntes de entrada e as sincroniza com a tensão. Dessa maneira, tal topologia diminui o THDi de entrada geralmente para 3%. Além disso, o fator de potência de entrada pode chegar até a 0,99.

Como já informado, o retificador com IGBT também eleva a tensão DC de saída a níveis suficientes para que o inversor da UPS não necessite de transformador elevador de saída, o que também elimina a possível isolamento galvânica entre entrada e saída.

Da mesma forma que um UPS com booster, este tipo de UPS necessita obrigatoriamente de neutro em sua entrada, sendo que este neutro também deve estar conectado à carga.

Observamos ainda que este tipo traz o melhor rendimento em comparação com as outras já discutidas, devido não só à eliminação de componentes dissipadores de potência (transformadores, etc.), como também ao desempenho do seu controle.

Outro ponto importante a ser comentado é que os retificadores com IGBT têm seu fator de potência de entrada com características capacitivas (alimentado com tensão de até 5% de THDv – tal reatância geralmente não ultrapassa 5% da potência aparente nominal do equipamento), ou seja, os geradores precisam ter uma regulação (controle microprocessado) e um dimensionamento apropriado a alimentar cargas capacitivas.

A Figura 5 mostra um retificador trifásico com IGBT e sua forma de onda de entrada.

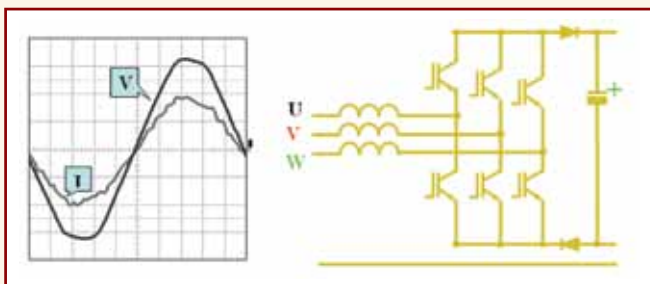


Figura 5 – Retificador a IGBT.

Comparação de resultados

Compilando os dados apresentados anteriormente, teremos a seguinte tabela:

| Retificador | THDi | PF |
|--|------|------|
| Retificador 6 pulsos (SCR) | 27% | 0,85 |
| Retificador 6 pulsos (SCR) com filtro | 8% | 0,85 |
| Retificador a SCR 6 pulsos com Booster | 8% | 0,95 |
| Retificador a SCR de 12 pulsos | 5% | 0,92 |
| Retificador a IGBT | 3% | 0,99 |

Figura 6 – Tabela de resumo do desempenho de retificadores.

Entre todos os tipos de retificadores apresentados podemos ver que sempre existirá a geração de harmônicos para a rede de alimentação.

Na escolha do UPS a ser utilizado devem ser levados em consideração alguns fatores que influenciarão diretamente o custo da instalação, bem como a eficiência e a confiabilidade de todo o sistema.

Abordando apenas o lado da qualidade de energia, deve-se levar em conta os parâmetros de THDi de entrada do UPS e seu fator de potência. Estas grandezas são de extrema importância quando um UPS precisar ser inserido em uma instalação elétrica, pois influenciará de maneira direta o dimensionamento de potência de condutores, transformadores e geradores.

Também é importante lembrar que todas as características apresentadas são para UPSs trabalhando próximos à potência nominal. Para UPS trabalhando abaixo de 25% de carga, as grandezas de entrada são muito inferiores às nominais apresentadas anteriormente e os fabricantes devem ser consultados.

Influência do tipo de retificador no dimensionamento do GMG

Para calcularmos a potência do GMG (Grupo Motor Gerador), são utilizadas fórmulas e fatores de multiplicação fornecidos pelo fabricante dos UPSs. Entretanto, não podemos esquecer que as características elétricas do motor a diesel, do alternador, do tipo de regulação e do regime de trabalho são as grandezas mais importantes e devem ser plenamente conhecidas.

A Figura 7 mostra a fórmula de dimensionamento:

$$R_{dim} = \frac{S_{min}^{GMG}}{S_{max}^{UPS}} \geq \frac{X_d''_{Ger} \times Kups}{THDv\%}$$

Figura 7 – Fórmula para dimensionamento de GMG.

Em que:

R_{dim} : Fator de dimensionamento.

S_{min}^{GMG} : Potência aparente mínima do GMG em regime contínuo.

S_{max}^{UPS} : Potência aparente máxima na entrada da UPS (incluindo recarga de bateria).

$X_d''_{Ger}$: Impedância subtransitória de eixo direto do alternador. Esta grandeza indica a capacidade do circuito magnético do alternador, ou seja, a qualidade do ferro magnético utilizado na construção do alternador. Quanto menor este valor, melhor é a qualidade do gerador.

THDv% : Distorção harmônica de tensão máxima admitida pelo gerador. Quanto maior o THDv% admitido, melhor será a regulação do gerador. Este valor também deve ser limitado pelas demais cargas instaladas à jusante do UPS, ou seja, que também serão alimentadas pelo gerador. Normalmente este valor varia de 5% a 8%.

Kups : Fator dado pela Figura 8 e é proporcional ao tipo de retificador. Este fator também é extremamente importante, pois influencia bastante o dimensionamento do conjunto.

A Figura 8 mostra o fator de multiplicação a ser utilizado no dimensionamento de GMG.

| Tipo de Retificador | Kups |
|----------------------|------|
| 6 pulsos | 1,5 |
| 6 pulsos com filtro | 1,0 |
| 6 pulsos com booster | 0,8 |
| 12 pulsos | 0,8 |
| IGBT | 0,7 |

Figura 8 – Kups para diferentes retificadores.

Estes fatores serão utilizados na fórmula junto com os demais fatores de dimensionamento explicados a seguir.

A fórmula seguinte é um exemplo de cálculo com valores comerciais de X^od e demais grandezas.

$$R \text{ dim} = \frac{X_d^o \text{Ger} \times Kups}{\text{THDv}\%} = \frac{0,12 \times Kups}{0,08} = 1,5 \times Kups$$

Em que:

X^od Ger : 12%

THDv% : 8%

Kups : Fator dado pela Figura 8 e é proporcional ao tipo de retificador.

A Figura 9 mostra o fator multiplicador de cada tipo de UPS.

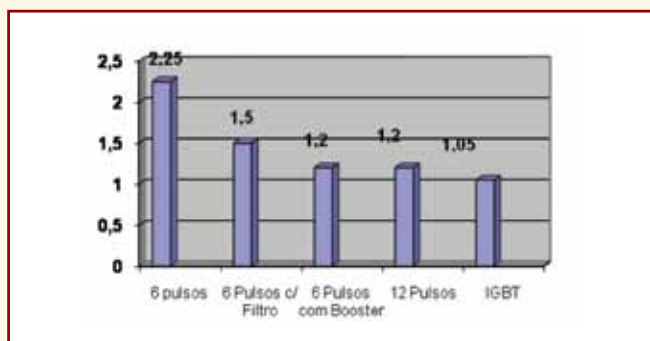


Figura 9 – Multiplicador para cada tipo de UPS do exemplo.

Para um UPS de potência máxima de entrada de 110 kVA e com um adicional na entrada para recarga de baterias de, no máximo, 10 kVA, teremos:

$$S_{\text{max}}^{\text{UPS}} = 110 + 10 = 120,0 \text{ kVA}$$

Ou seja,

$$S_{\text{min}}^{\text{GMG}} = 120,0 \times R \text{ dim}$$

Para um UPS de 6 pulsos, o gerador deve ser de 270 kVA ou de 144 kVA para um UPS de 12 pulsos.

Portanto, este cálculo deve ser feito para achar a relação custo/benefício/eficiência ideal no dimensionamento de toda a instalação.

Chave estática

Com o objetivo de aumentar a disponibilidade e confiabilidade de energia na saída do UPS, foram adicionadas chaves estáticas ao equipamento com a finalidade de comutar a sua alimentação da saída entre o inversor e a rede reserva (by-pass), como indicado na Figura 10, a qual pode ser a mesma que alimenta o retificador ou uma distinta.

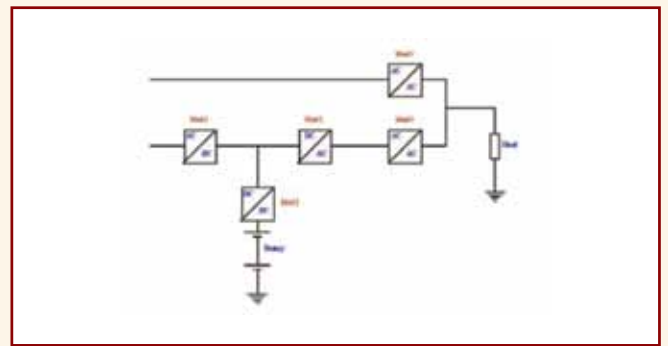


Figura 10 – Aplicação de chave estática em UPS.

Geralmente, os SCRs são utilizados devido à robustez e à capacidade de curto-circuito em antiparalelo para cada fase. Além disso, o seu controle preocupa-se com o tempo e com o tipo de comutação: síncrona ou assíncrona. Na primeira, o tempo de transferência é praticamente nulo (as fontes chegam a operar em paralelo até no máximo meio ciclo), pois o inversor está sincronizado com a rede reserva, enquanto, na transferência assíncrona, é dado um intervalo na transferência maior ou igual a meio ciclo, assim, a corrente é zerada e eliminam-se os riscos de ser gerado componente DC, pois o inversor está defasado.

Existem diversos tipos de configuração de chaves estáticas, podendo combinar com contadoras, eliminar circuitos, etc. Veremos agora os principais tipos e suas características.

Contadora em paralelo

Nesta configuração é instalada uma contadora em paralelo com uma das chaves eletrônicas. Dessa maneira, pode-se aumentar a eficiência η do sistema e reduzir custos com o subdimensionamento dos SCRs, pois eles funcionarão apenas no início da operação de assumir potência, o que é importante devido à sua maior velocidade em relação à contadora.

Entretanto, pode haver correntes maiores de comutação e a contadora possui uma confiabilidade e uma capacidade de curto-circuito menor que os SCRs. Nas Figuras 11 e 12, podemos visualizar estas configurações.

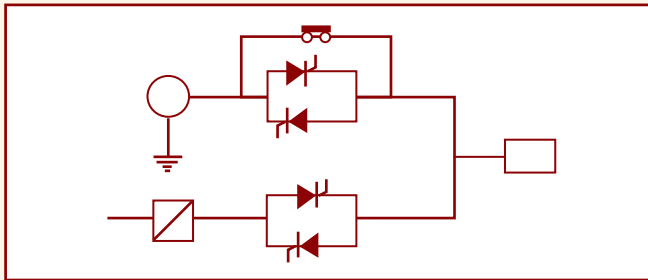


Figura 11 – Contatora em paralelo no ramo do by-pass.

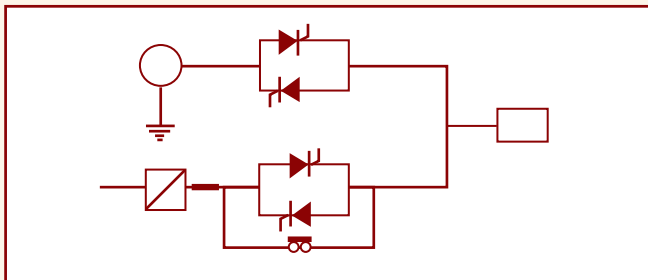


Figura 12 – Contatora em paralelo no ramo do inversor.

Repare que quando existe contatora no ramo do inversor é necessária a existência de fusíveis na sua saída, com o objetivo de extinguir falhas nos circuitos anteriores (inversor, por exemplo) com maior velocidade (a contato é lenta), garantindo a operação do by-pass. Caso ainda houvesse algum curto-circuito,

a proteção do ramo do by-pass poderia abrir, contaminando a alimentação da carga.

Contato pura

Nesta configuração é instalado no ramo do inversor em combinação com fusíveis, pelos motivos já descritos, uma contatora com basicamente as mesmas vantagens e desvantagens também já mencionadas. A Figura 13 mostra o esquema desta configuração.

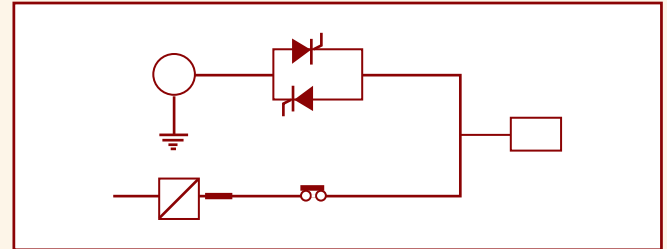


Figura 13 – Apenas contatora no ramo do inversor.

Chaves eletrônicas

Nessa configuração, ambos os ramos possuem chaves eletrônicas com SCRs e, apesar de possuírem um custo mais elevado, apresentam ótimo desempenho devido à alta velocidade de comutação, à capacidade de curto-circuito e à maior durabilidade dos SCRs em relação à contatora. Na Figura 14, temos o esquema desta configuração.

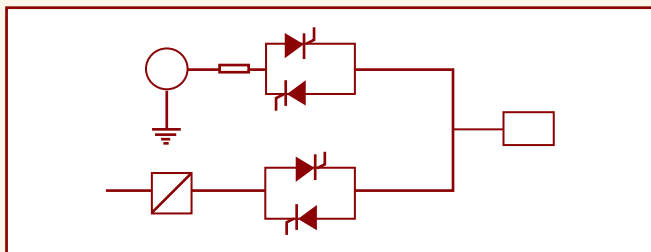


Figura 14 – Chaves eletrônicas.

Chave única

O ramo do inversor é ligado diretamente à saída nessa configuração, havendo apenas uma única chave eletrônica no ramo do by-pass. Dessa maneira, são agregadas todas as vantagens já relatadas anteriormente, reduzindo ainda mais os custos e a confiabilidade, com a exclusão de praticamente um bloco. Como desvantagem, existe o possível aumento de potência na operação pelo by-pass.

Nessa configuração, os circuitos de controle e/ou as manobras no sistema deverão ter um maior cuidado, pois a operação da chave de by-pass com o circuito DC, anterior ao inversor, desenergizado (capacitores eletrolíticos), pode acarretar em sobrecorrente no ramo. Confira a configuração na Figura 15.

Referências

- Liebert, UPS NX series. Disponível em: <<http://www.liebert.com/>>

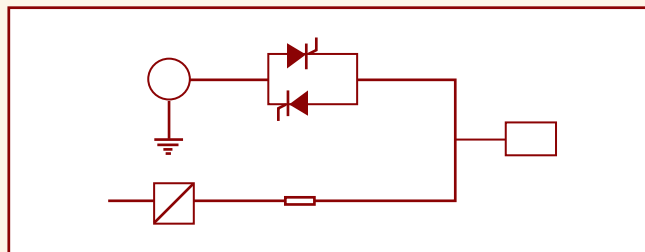


Figura 15 – Chave única.

dynamic/displayproduct.asp?id=1119&cycles=60hz.

- Powerware 9390 UPS. Disponível em: <http://www.powerware.com/Italia/UPS/It_9390_UPS.asp>.
- Chloride UPSs. Disponível em: <<http://www.chloridepower.com/Brazil/>>.

ERRATA: O CAPÍTULO III DESTE FASCÍCULO, PUBLICADO NA EDIÇÃO ANTERIOR (Ed 62 – MARÇO/2011) TAMBÉM É CO-ASSINADO PELO ENGENHEIRO HENRIQUE BRAGA.

**LUIS TOSSI é engenheiro eletricitista e diretor-geral da Chloride Brasil. Atua na área de condicionamento de energia e aplicações de missão crítica há 23 anos, com larga experiência em produtos, aplicações e tecnologias de ponta.*

HENRIQUE BRAGA é engenheiro eletricitista pela Fundação Educacional Inaciana Pe. Saboia de Medeiros (FEI) e, desde 2001, atua na área de sistemas para cargas de missão crítica. Atualmente, é gerente de serviços da Masterguard do Brasil.

Continua na próxima edição
Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br