Guia de Aplicação de Qualidade de Energia

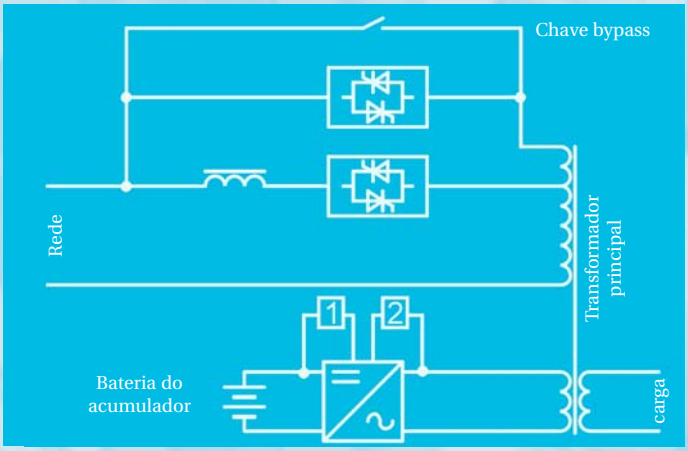
Education and Culture

Leonardo da Vinci

Resiliência

Aumentando a confiabilidade com fontes de reserva

4.3.1



PRO COBRE Connects Life.™

COPPER

Resiliência

Resiliência

Aumentando a confiabilidade com fontes de reserva

Prof Henryk Markiewicz & Dr Antoni Klajn
Wroclaw University of Technology
June 2003

Este Guia foi produzido como parte do Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), um programa de educação e treinamento europeu apoiado pela Comissão Européia (sob o Programa Leonardo da Vinci) e pelo International Copper Association (ICA). Para informação adicional sobre o LPQI visite www.lpqi.org.

European Copper Institute (ECI)

O European Copper Institute (ECI) (Instituto de Cobre Europeu) é uma joint venture entre o ICA (International Copper Association) e os fabricantes europeus. O ECI representa os maiores produtores de cobre do mundo e os fabricantes europeus mais importantes para promover o cobre na Europa. Criado em janeiro de 1996, o ECI é apoiado por uma rede de onze Associações de Desenvolvimento do Cobre (‘CDAs‘) em Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polônia, Rússia, Escandinávia, Espanha e Reino Unido.

Instituto Brasileiro do Cobre - PROCOBRE

É uma instituição sem fins lucrativos, constituída por empresas produtoras e transformadoras de cobre no Brasil com a missão de estimular o uso técnico e econômico do metal, promovendo sua utilização correta e eficiente. Desenvolve projetos nas várias áreas de aplicação do metal, divulgando as vantagens da utilização do cobre na energia elétrica, nas instalações hidráulicas e de gás, na arquitetura, no design e decoração de interiores, na saúde e muitas outras.

Aviso de Isenção de Responsabilidades

O conteúdo deste documento não necessariamente reflete a posição da Comunidade Européia, nem implica nenhuma responsabilidade por parte da Comunidade Européia. O European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko e Copper Development Association negam qualquer responsabilidade por qualquer dano direto, indireto, conseqüente ou incidental que possa resultar pelo uso da informação, ou pela impossibilidade do uso da informação ou dos dados contidos nesta publicação.

Copyright© European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko and Copper Development Association.

Reprodução autorizada desde que o material esteja completo e a fonte mencionada.

Aumentando a confiabilidade com fontes de reserva

Introdução

O projeto de sistemas de alimentação de energia elétrica é um compromisso entre os interesses de consumidores - confiabilidade e qualidade de alimentação - e os das concessionárias - níveis de investimento realistas nivela e custos de operação. A flexibilidade permitida para divergir da qualidade de energia "perfeita" deveria ser usada para permitir sistemas de alimentação mais simples e mais baratos.

Um equipamento elétrico é projetado para operar otimamente sob condições normais, ou seja, com uma tensão de alimentação que está dentro das tolerâncias da tensão nominal e da freqüência com baixa distorção de tensão e bom equilíbrio entre fases e dentro das condições ambientais especificadas pelo fabricante. A operação fora destes limites pode resultar em aumento das perdas, baixa eficiência e operação imprevisível. Grandes desvios podem causar aberturas devido à falsa operação de dispositivos de proteção.

A qualidade da tensão tem uma influência decisiva na operação do equipamento. A qualidade da tensão na origem da instalação (o ponto de acoplamento comum) é reduzida mais adiante pelos efeitos de outras cargas na instalação e pela resistência do cabeamento, de modo que a qualidade de tensão nos terminais do equipamento é muito mais pobre. Isto é especialmente verdade nos casos onde existem cargas com características de tensão e correntes não lineares.

A ruptura causada pela interrupção de energia ou pela baixa qualidade da tensão é sempre inconveniente e pode ser séria. Em hospitais há um risco óbvio a pacientes que sofrem operações ou que estão sob cuidado intensivo. Edifícios públicos, como cinemas, teatros, salas de exibição, etc., onde as pessoas se concentram em áreas relativamente confinadas, existe um risco específico durante um falta de energia. Indústrias, especialmente aquelas de processo contínuo (papel, aço) ou de alta tecnologia (semicondutores), sofrem ciclos de recuperação longos após a falta de energia.

Categoria	Requisitos de confiabilidade	Solução possível	Tipos de consumidor
I Básica	Interrupções e falhas na alimentação podem ser relativamente longas, por ex., muitos minutos.	Uma linha da rede de distribuição. Alimentação de reserva não é necessária.	Habitações unifamiliares, blocos de apartamentos de baixa altura.
II Intermediária	Interrupções e falhas na alimentação deveriam ser limitadas a poucas dezenas de segundos.	Conjunto gerador diesel-elétrico.	Blocos de apartamentos de grande altura.
III Alta	Interrupções e falhas na alimentação deveriam ser limitadas à duração na faixa de dezenas de ms até 1s	Duas linhas independentes da rede de distribuição. Sistema de alimentação de reserva equipada com chaveamento automático.	Grandes hotéis, hospitais, estações de rádio e TV, aeroportos.
IV Muito alta	Alimentação permanente. Falha na alimentação de cargas selecionadas não é permitida.	Sistema de reserva com tempo de transferência zero, gerador diesel-elétrico de longa duração.	Bancos, corretoras de valores.

Tabela 1 - Categorias de consumidores de energia elétricos em relação à confiabilidade de fornecimento de energia [5].

Virtualmente todos os usuários comerciais e industriais de eletricidade terão cargas individuais ou grupos de cargas que precisam de melhor qualidade ou confiabilidade da alimentação do que aquelas disponíveis diretamente da alimentação pública. Freqüentemente, os requisitos de potência destas cargas são relativamente pequenos e podem ser atendidos facilmente pelo uso de fontes auxiliares e/ou fontes ininterruptas. Há uma grande variedade de dispositivos e fontes de alimentação de reserva disponíveis no mercado e a escolha dependerá das características da carga e do tipo, duração e severidade das perturbações de energia que podem ser tolerados.

A disponibilidade de um sistema de alimentação de energia é determinada por:

onde:

$$\text{Disponibilidade} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{Fi}}{\sum_{i=1}^{m} t_{Bi} + \sum_{i=1}^{n} t_{Fi}} \qquad (1)$$

t_{Bi} = tempo de operação i entre falhas;

t_{Fi} = duração da falta de energia i;

m = número de períodos de operação entre falhas;

n = número de falhas no tempo observado.

Os tempos de duração das falhas de energia têm que incluir o tempo necessário para recuperar da parada, reiniciar o processo e atingir a capacidade de saída plena. O re-início de um processo raramente é instantâneo. Alguns processos dependem de outros e assim não podem reiniciar até que a seqüência seja restabelecida.

A Figura 1 ilustra um possível cenário onde:

t_a = tempo da falta de energia;

t_{ae} = tempo equivalente da falta de energia estimada a partir dos valores de perda de saída;

t_s = tempo necessário para re-início da saída;

E_e = eficiência padrão.

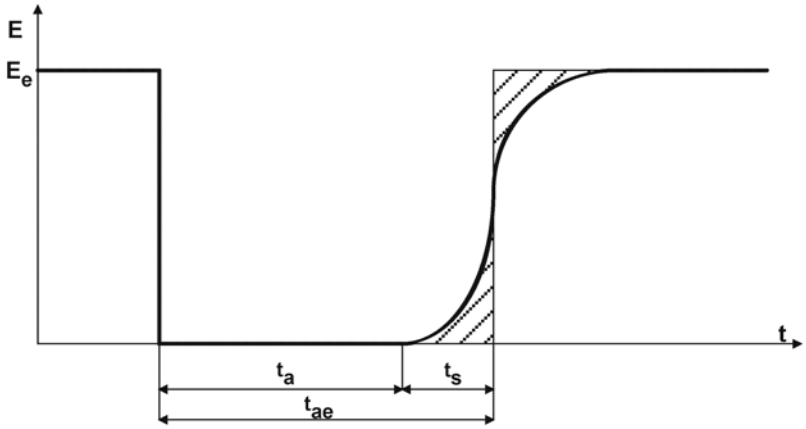


Figura 1 - Eficiência da saída de acordo com uma falha de energia.

O verdadeiro tempo da interrupção deveria incluir a área sombreada total. O custo de uma falha de energia não está necessariamente relacionado com a duração do evento. A Figura 2 ilustra vários exemplos.

Para muitas situações pode haver um custo devido a um elemento independente do tempo que ocorre assim que o evento acontece. Um exemplo é a fabricação de papel, onde a polpa é convertida em papel em um processo contínuo que envolve muitos estágios de cilindros e calandras que requerem um controle de tensão muito bom. Uma falha no controle do processo resulta em parada do processo de saída, e todo produto parcialmente processado tem que ser removido e descartado - uma tarefa que pode ocupar muitos homens-horas. Este caso é representado através da linha 1 na Figura 2. O custo de uma falha é relativamente independente do tempo e muito alto.

O outro extremo pode ser representado por um varejista de bens não perecíveis. A falta de energia resulta em uma pausa no comércio, parte do qual é recuperável quando a energia é restabelecida. Isto é representado pela linha 2 na Figura 2. O custo inicial é baixo, mas aumenta na medida em que o comércio é perdido por tempos mais longos, embora, se a duração não é muito longa, uma parte das vendas simplesmente será deslocada no tempo ao invés de ser perdida.

A linha 3 representa um centro de dados. Tal local terá alguma forma de alimentação de energia ininterrupta (UPS) provendo, pelo menos, um auxilio em curto prazo, de modo que o custo inicial é pequeno. Porém, uma vez que o tempo de reserva é limitado, alguma outra ação deve ser tomada para assegurar a continuidade da operação. Há muitas opções. A linha 3 supõe que um outro local remoto reserva seja alertado para se preparar para uma possível transferência de operações. Passado algum tempo

previsto, assumindo que a energia não foi restabelecida, o local remoto é colocado on-line, incorrendo então custos dependentes do tempo. Após a falha, haveria um custo adicional para o restabelecimento da operação no local original.

No outro extremo da escala tecnológica, a linha 4 representa a situação em uma fazenda de aves. Para uma pequena falha de duração não há nenhum efeito, entretanto a falta de ventilação forçada resulta na sufocação das aves, resultando em custos rapidamente acelerados.

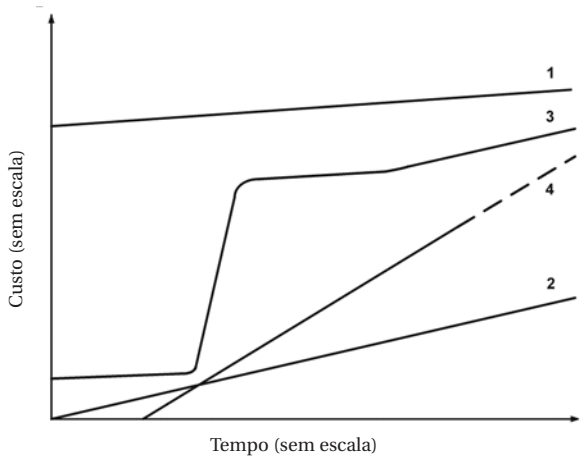


Figura 2 - Características típicas de custo-tempo.

Estes cenários representam indústrias muito diferentes embora com algumas características comuns. Primeiramente, se uma falha é de uma duração suficiente, é possível que os custos das perdas alcancem níveis comparáveis aos recursos disponíveis da organização, colocando o futuro da operação em risco. Segundo, durante uma falha e o período de recuperação subseqüente, a organização pode não ser capaz de satisfazer as necessidades de seus clientes, resultando em uma perda de confiança no futuro. Isto se aplica especialmente para arranjos do tipo "*just in time*", como, por exemplo, a impressão de jornais, que são fabricados, impressos, lidos e descartados em poucos dias.

A falha completa - caracterizada pela falta total de tensão - é apenas uma das muitas manifestações de distúrbios de tensão. São discutidos outros assuntos no Fascículo 5 desta Coleção.

Dispositivos de alimentação de energia de reserva

Introdução

As características importantes de uma alimentação de energia de reserva são:

- capacidade de energia e energia armazenada;
- tempo de transferência;
- duração máxima da geração;
- eficiência;
- custo de instalação e manutenção.

O dispositivo ideal teria capacidade de energia infinita e infinita energia armazenada, assim como um tempo de transferência zero, duração infinita de geração e baixo custo. Uma vez que tal um dispositivo não existe, várias abordagens de compromisso devem ser usadas. A escolha do dispositivo depende da aplicação e dos requisitos. Por exemplo, um equipamento de TI exige uma alimentação realmente contínua, ou seja, tempo de transferência zero a fim de assegurar que os dados não sejam perdidos. Após a transferência, o equipamento pode precisar de alimentação apenas para um desligamento ordenado (digamos, 20 minutos), ou pode exigir uma alimentação contínua de forma que o trabalho possa prosseguir. No primeiro caso, um UPS seria suficiente, mas no segundo caso uma fonte de energia adicional, como um gerador a diesel, seria requerida como uma fonte em longo prazo, como também um UPS para cobrir o tempo de partida do gerador. Alternativamente, uma planta de fabricação de papel, que tem uma grande carga de motores, não pode ser alimentada por um UPS durante qualquer tempo razoável, então aqui uma conexão dupla à rede poderia ser justificada.

Este artigo trata dos métodos e dispositivos de alimentação de energia de reserva. O agrupamento destes métodos está mostrado na Tabela 2 e na Figura 3. Eles podem ser caracterizados por vários parâmetros dados na Tabela 2.

Dupla alimentação da rede

Onde a exigência de energia é alta e o custo se justifica, como no caso de plantas de operação contínua, tais como fabricação de papel ou aço, podem ser alimentadas duas conexões independentes com a rede de distribuição. Esta abordagem só é efetiva se as duas conexões são eletricamente independentes, ou seja, uma única falha previsível não causará a falha simultânea de ambas conexões com a rede. Isto depende da estrutura da rede e, freqüentemente, este requisito não pode ser satisfeito sem o uso de linhas muito longas (e caras).

Tipo	Capacidade de potência	Tempo de transferência	Custo
Alimentador duplicado da rede	Infinita	Muito curto	Muito alto
Grupos motores-geradores	Infinita efetivamente	De longo para muito curto	Médio para alto
Baterias	Média	Muito curto	Baixo
Sistemas UPS	Média	Muito curto	Médio para alto
Armazenamento de energia por ar comprimido (CAES)	Baixa para média	Muito curto	Médio para alto

Tabela 2 - Características de aplicação dos métodos e dispositivos de alimentação de energia de reserva.

O uso de duas conexões independentes com a rede de distribuição não significa que outras fontes de reserva não sejam necessárias. É improvável que este tipo de medida reduza o número ou a severidade das perturbações de tensão, porém, por causa da natureza reticulada do sistema de distribuição, permite que os mergulhos - o efeito das faltas - se propaguem por áreas muito extensas.

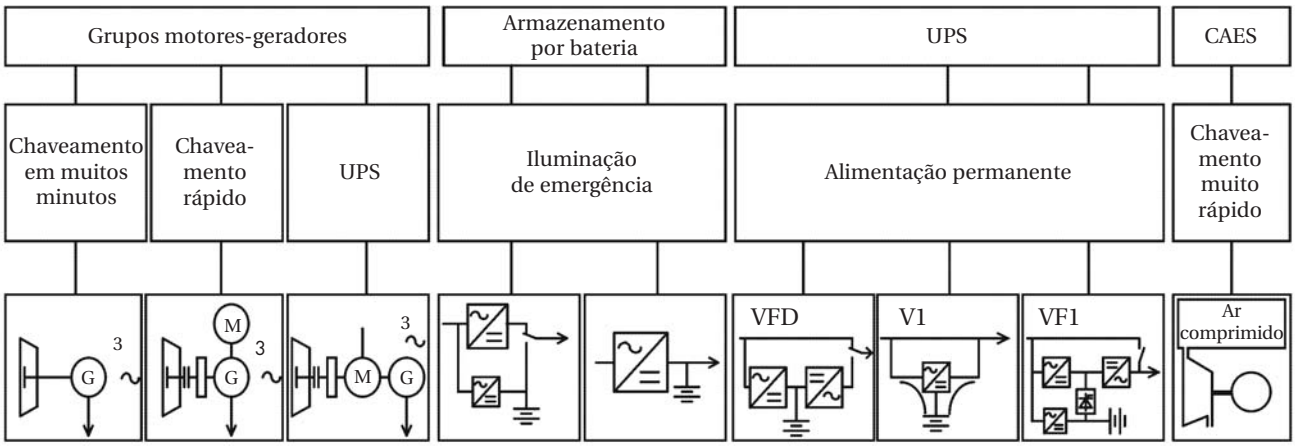


Figura 3 - Tipos de dispositivos de alimentação de reserva.

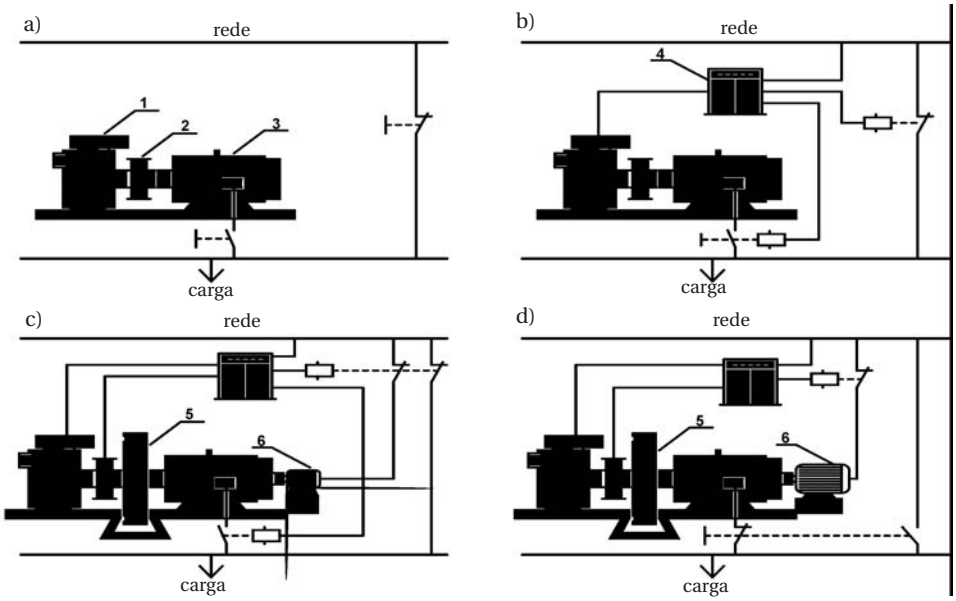
Grupos motores-geradores (GMG)

Grupos motores-geradores normalmente consistem de um ou mais motores de combustão interna a diesel como fontes de energia mecânica, um gerador para converter a energia mecânica em elétrica, aceleradores, sistemas de controle e regulação e painéis. Este tipo de equipamento pode ser projetado para operações relativamente de longo prazo, digamos até várias horas ou dias, ou pode ser projetado para operação contínua. GMGs estão disponíveis em uma ampla fama de potências nominais, normalmente de algumas dezenas de kW até uns poucos MW. Turbinas a gás são freqüentemente usadas onde grandes potências, na faixa de alguns MW ou mais, são necessárias, por exemplo, em plantas de cogeração.

GMGs também são usados para aplicações especiais onde nenhuma rede de energia está disponível, como aplicações navais, ou onde existe uma exigência de alta demanda a curto prazo, como em eventos de esporte televisados.

GMGs podem operar de dois modos diferentes, distinguidos aqui como grupo I e grupo II.

GMGs do grupo I partem no momento da falha de energia (4a, b). A partida do motor diesel é feita por baterias secundárias. Neste arranjo há claramente um atraso entre a falha de energia e o tempo que o gerador alimenta a carga. No arranjo mais simples, o GMG é chaveado manualmente (Figura 4a). Porém, normalmente os grupos são chaveados automaticamente (Figura 4b), com tempos de chaveamento típicos na faixa de 6-15 segundos para unidades pequenas e até aproximadamente 180 segundos para grandes grupos.



1. Motor de combustão com dispositivo de partida;
2. Embreagem;
3. Gerador;
4. Painel de seccionamento;
5. Volante;
6. Motor elétrico para acionar o volante e o gerador:

a) Com chaveamento manual

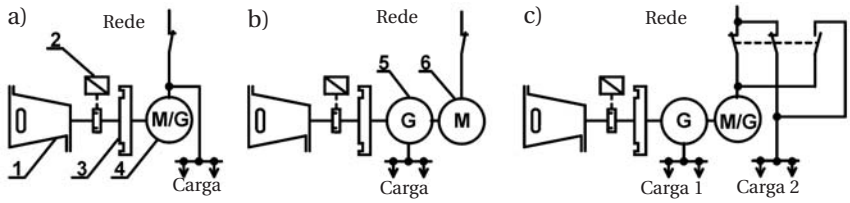
b) Com partida automática do gerador, retardo de poucos segundos até cerca de 180s

c) e d) com um volante acionado por um motor elétrico, retardo de 0,5-2s e zero, respectivamente.

Figura 4 - Grupos motores-geradores.

GMGs do grupo II têm tempos de transferência menores do que aproximadamente 2 segundos (Figura 4c) ou tempo de transferência zero (Figura 4d). Estes arranjos são equipados com um volante de alta inércia conectado mecanicamente com o gerador. Enquanto a energia está disponível, o volante e o gerador são levados à velocidade correta por um motor elétrico. No arranjo de Figura 4c, quando uma falta de energia acontece, a embreagem eletromagnética conecta o volante com o motor, que parte e aciona o gerador. A partida do motor e a alimentação da carga são feitas automaticamente dentro de 0.5 - 2 segundos.

No arranjo mostrado na Figura 4d, durante a operação normal do sistema, a energia não é fornecida pela rede de distribuição, mas pelo gerador que é acionado por um motor elétrico alimentado pela rede. No caso de falha da alimentação, a inércia do volante provê a energia para partir o motor por meio de uma embreagem eletromagnética. Assim, o motor de combustão aciona o gerador que fornece então energia elétrica com tempo de transferência zero. A Figura 5 mostra algumas possíveis implementações dos conceitos ilustrados nas Figuras 4c e 4d.



1. Motor/turbina a combustão;
2. Embreagem eletromagnética;
3. Volante;
4. Gerador adaptado também para operação como motor elétrico;
5. Gerador;
6. Motor elétrico.

Figura 5 - Grupos motores-geradores equipados com volantes, para tempos de transferência zero.

a) Com gerador que opera sob condições de alimentação normal como um motor;

b) Com gerador continuamente acionado por um motor;

c) Com gerador acionado em condições de alimentação normal através de motor/gerador:
Carga 1 - alimentada sem interrupção, Carga 2 - alimentada com uma interrupção pequena durante a troca da alimentação de reserva de motor para gerador ou durante o retorno da alimentação para a rede.

GMGs adequadamente projetados podem atender a maioria das exigências para fontes de energia de reserva como também para alimentações permanentes. Tempos de transferência zero podem ser obtidos e a qualidade de energia pode ser alta se o gerador é adequado para a carga pretendida (ou seja, a impedância de fonte é suficientemente baixa).

Por outro lado, GMGs, especialmente os de altas potências, têm algumas desvantagens. Eles são ruidosos (a média de nível de ruído é de 70 - 95 dB), grandes e pesados, e requerem grande armazenamento de combustível, entrada de ar e sistemas de exaustão. Por conseguinte, estes geradores normalmente são instalados em áreas separadas, relativamente distantes dos edifícios ocupados.

Bateria

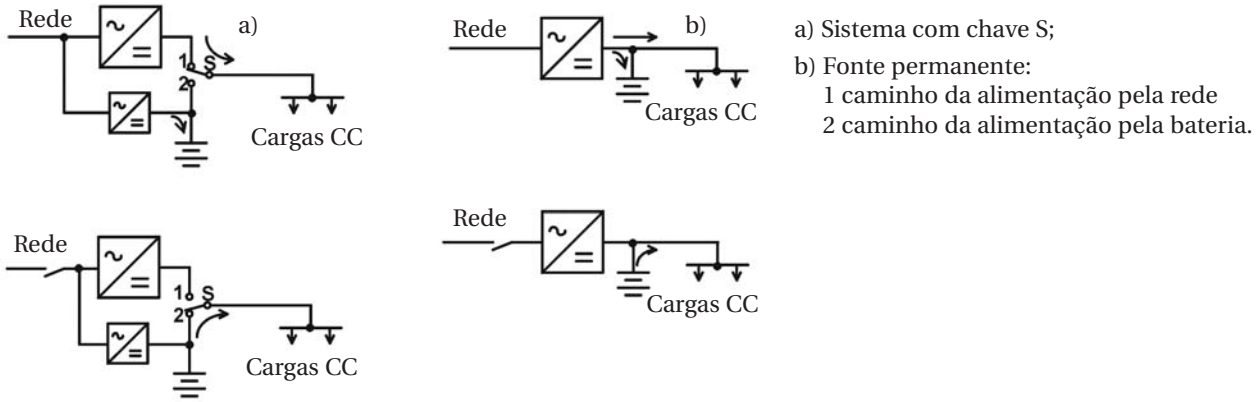
Baterias secundárias são usadas em sistemas de UPS eletrônicos e, como descrito anteriormente, em alguns tipos de grupos geradores diesel-elétricos para partir o motor diesel e alimentar os circuitos de controle. Eles também são largamente usados em unidades auto-suficientes como blocos de iluminação de emergência, equipamentos de segurança, computadores e telecomunicações. Baterias são principalmente usadas para alimentar cargas em CC ou cargas que podem operar tanto em circuitos CC quanto CA, por exemplo, em iluminação. Baterias usadas para alimentar cargas CA são equipadas com conversores CC/CA. Baterias de alta capacidade podem ser utilizadas como reservas de energia para cobrir demandas de energia de pico na rede de alimentação em média tensão. No entanto, esta aplicação não será discutida aqui.

Há duas filosofias de projeto básicas para soluções de armazenamento de energia por bateria. Na primeira, a carga pode ser suprida pela alimentação principal até que ela falhe, após o que a carga é trocada para a alimentação pela bateria (Figura 6a). Na segunda solução, a carga sempre é alimentada pela bateria que constantemente é carregada pela alimentação principal sempre que está disponível (Figura 6b).

Na Figura 6a, a carga CC é normalmente suprida pela alimentação principal por meio do retificador principal, enquanto a bateria é carregada continuamente por um segundo retificador separado. Quando a alimentação principal falha, ou a tensão está fora da tolerância, a carga é trocada para a bateria por meio de uma chave com um tempo de transferência pequeno, mas não zero. Este tipo de sistema é satisfatório para iluminação de emergência e evacuação.

Os arranjos na Figura 6b mostram uma carga CC que é alimentada diretamente pelo retificador principal em paralelo com a bateria. Quando a alimentação principal está disponível, ela é usada para alimentar a carga e carregar a bateria.

Quando a alimentação principal não está disponível, a bateria alimenta a carga. O tempo de transferência é zero, tornando este arranjo satisfatório para suportar a memória volátil em equipamentos computadorizados. De fato, este arranjo também é usado comumente por razões funcional e de conveniência em equipamentos de consumidores, por exemplo, para manter o relógio de tempo de gravadores de vídeo e alarmes de relógios. O tempo de transferência zero é uma evidente vantagem desta solução. Porém, a confiabilidade do grupo mostrada na Figura 6a é mais alta do que a da Figura 6b, porque, no primeiro caso, a bateria é alimentada por um retificador independente. A eficiência da bateria secundária é estimada ao redor de 90-97%.



a) Sistema com chave S;

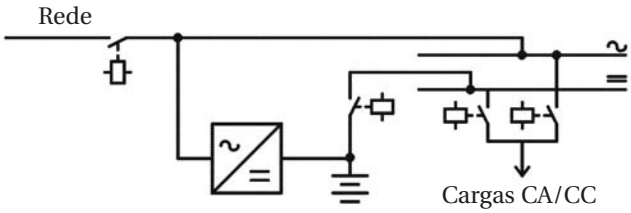
b) Fonte permanente:
1 caminho da alimentação pela rede
2 caminho da alimentação pela bateria.

Figura 6 - Diferentes opções de alimentação de reserva de cargas CC usando conversores CA/CC e bateria de acumulador.

A capacidade da bateria deve ser suficiente para prover energia até que a alimentação principal esteja novamente disponível ou que a função exigida - evacuação, desligamento de segurança - esteja completa. Geralmente, os tempos de carga da bateria largamente excedem os tempos de descarga, e assim o ciclo de trabalho destes sistemas é baixo. O sistema deveria ser projetado de tal forma que uma bateria completamente descarregada é recarregada em no máximo 6 horas.

A iluminação de emergência é particularmente importante em edifícios públicos, tais como salas de exibição e ginásios de esportes, teatros, cinemas, grandes edifícios de escritório, etc. Dispositivos projetados para iluminação de emergência normalmente têm uma fonte de alimentação de reserva embutida. Salas de cirurgia em hospitais têm requisitos similares, porém mais restritivos. Fontes de luz podem ser freqüentemente alimentadas tanto por corrente alternada quanto por corrente contínua, sendo que a continuidade de alimentação é mais importante do que a sua qualidade. Um exemplo deste sistema de alimentação de energia é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Sistema de alimentação de cargas que pode operar em CA e CC; a bateria de acumulador é usada como fonte de energia de reserva; o chaveamento acontece com uma interrupção pequena.



Sistemas de alimentação de energia ininterrupta (UPS)

Classificação dos UPS

Sistemas UPS são usados comumente como fontes de reserva para cargas críticas onde o tempo de transferência tem que ser muito pequeno ou zero. Sistemas UPS estáticos estão facilmente disponíveis em potências de 200 VA até 50 kVA (monofásicos) e de 10 kVA até aproximadamente 4000 kVA (trifásicos). Além de fornecer uma alimentação de reserva no evento de uma falta de energia, os UPS também melhoram localmente a qualidade de energia. A eficiência dos UPS é muito alta, com perdas de energia que variam de 3% a 10%, dependendo do número de conversores utilizados e do tipo de bateria secundária.

A classificação básica de sistemas UPS é determinada pela norma IEC 62040-3 publicada em 1999 e adotada pela CENELEC como norma EN 50091-3 [1]. A norma distingue três classes de UPS, indicando a dependência da tensão de saída e freqüência de saída nos parâmetros de entrada:

- VFD (Tensão e Freqüência de saída Dependentes da alimentação principal);
- VI (Tensão de saída Independente da alimentação principal);
- VFI (Tensão e Freqüência de saída Independentes da alimentação principal).

Entretanto, na prática, esta classificação corresponde de perto à classificação em função da estrutura interna:

- Reserva passiva;
- Interativo de linha;
- Conversão dupla. A Tabela 3 mostra as propriedades principais destas classificações e uma pequena descrição das três classes de UPS são apresentadas a seguir.

Classificação pela EM 50091-3	**VFD**	**VI**	**VFI**
	Reserva passiva	**Interativo de linha**	**Conversão dupla**
Custo	Menor	Médio	Maior
Regulação de tensão	Nenhum	Limitado	Sim
Regulação de freqüência	Nenhum	Nenhum	Sim
Tempo de transferência	Outro	Zero	Zero

Tabela 3 - Classificação e características de classes normalizadas de UPS.

Reserva passiva (VFD)

Este tipo de UPS (Figura 8) tem dois modos de operação. Normalmente, a energia para a carga é fornecida pela entrada principal, opcionalmente por meio de um filtro/condicionador para remover os transitórios ou prover uma medição da regulação de tensão. O retificador fornece a corrente de carregamento da bateria. No modo "energia armazenada", a energia para a carga é fornecida pela bateria via inversor.

A comutação de modo "normal" para "energia armazenada" acontece quando a tensão de alimentação principal está fora da tolerância por meio de uma chave com um tempo de transferência pequeno (mas não normalizado). Tipicamente, a duração máxima da bateria é de aproximadamente 3 horas, exigindo 6 horas para recarregar.

Esta é a topologia mais simples, mais compacta e menos cara, mas tem algumas desvantagens sérias. Ela não provê nenhum isolamento da carga de perturbações ocorridas no lado da fonte e nem regulação de tensão ou freqüência. Seu tempo de transferência diferente de zero significa que existe uma interrupção curta de energia no momento do chaveamento, tornando esta topologia inadequada para muitas aplicações, especialmente em sistemas de tecnologia da informação.

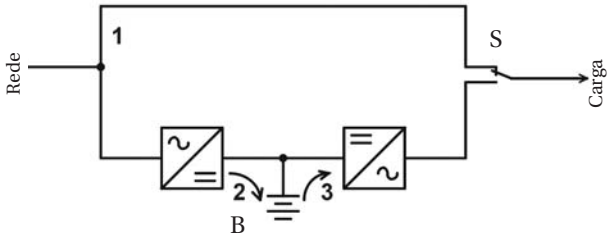


Figura 8 - Diagrama de bloco que ilustra o princípio do UPS VSD.

S - Chave;

B - Bateria do acumulador;

1 - Condições normais;

2 - Carga da bateria sob condições normais;

3 - Fluxo de energia quando a alimentação é pela bateria.

Interativo de linha (VI)

A topologia interativa de linha é mostrada na Figura 9. O inversor é bidirecional, ou seja, atua como um retificador para carregar a bateria quando a alimentação normal está disponível, mas atua como um inversor para produzir energia de reserva da bateria quando a alimentação normal não está disponível.

O UPS interativo de linha tem três modos de operação. No modo normal, a carga e alimentada com energia condicionada por meio de uma chave estática. O inversor opera para fornecer o condicionamento da tensão de saída e para carregar a bateria secundária. A freqüência de saída é igual à freqüência da alimentação normal. No modo de energia armazenada, a carga é alimentada com energia da bateria através do inversor. A chave estática abre para prevenir que a energia retorne para a alimentação normal. Este tipo de UPS também pode ter um modo bypass no qual se permite conectar a carga diretamente com a alimentação normal no caso de um UPS falhar ou para propósitos de manutenção.

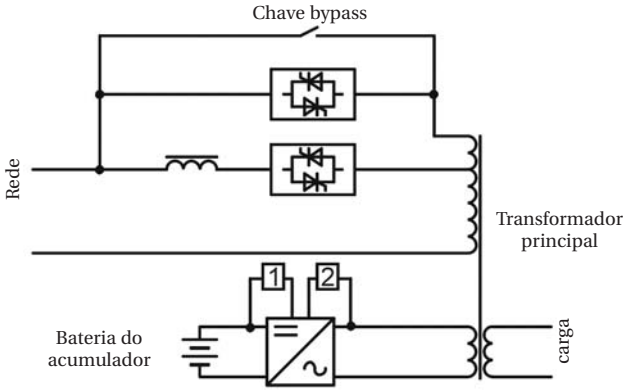


Figura 9 - Estrutura do UPS VI com a conversão de energia simples.

1 - Laço de controle da modulação de fase e amplitude;

2 - Laço de controle do carregamento da bateria do acumulador.

O UPS interativo de linha apresenta menor custo do que a topologia de conversão dupla, mas tem várias desvantagens. O controle de freqüência não é possível, ocorrem defeitos de isolamento da alimentação normal, tais como transientes e sobretensões, e o grau de condicionamento que pode ser obtido é limitado, porque é um dispositivo em paralelo.

Uma variação do UPS interativo de linha é o chamado projeto-Delta, mostrado na Figura 10.

O UPS-Delta é equipado com dois inversores CC/CA: o inversor-delta (1) (Figura 10) e o inversor principal (2). Ambos inversores são conectados à mesma bateria secundária (B). A potência nominal do inversor-delta é de cerca de 30% da potência da carga, enquanto que a do inversor principal é de 100% da potência da carga. O inversor-delta é ligado ao secundário do transformador (Tr), sendo o primário ligado em série entre a rede e a saída do UPS.

O inversor principal (2) é a fonte de tensão fixa e controla a amplitude e forma de onda da tensão de saída no ponto de equilíbrio de energia (PBP) (Figura 10). Assim, a tensão no primário do transformador é o resultado da diferença entre a tensão de rede efetiva na entrada do UPS e a tensão fixa no PBP.

A tensão no enrolamento primária controla a tensão no enrolamento secundário. O papel do inversor-delta é produzir a corrente no enrolamento secundário, que induz no enrolamento primário uma corrente de tal valor que ela compensa a diferença de potência entre as tensões na rede e no PBP. Além disso, o conversor-delta corrige o fator de potência com o objetivo de mantê-lo próximo à unidade o inversor principal compensa as harmônicas da corrente de carga. Assim, a corrente fornecida pela rede tem uma forma senoidal e está em fase com a tensão de alimentação. Os cinco modos de operação típicos do UPS-Delta são mostrados na Figura 11.

Em operação normal, quando a tensão de alimentação é igual à do PBP, a tensão no primário do transformador é igual a zero (Figura 11a). Ambos os inversores, (1) e (2), estão funcionando e a carga é alimentada apenas pela rede. Para cargas reativas e para correntes de carga não-senoidais, ambos inversores trabalham juntos para corrigir o fator de potência e as harmônicas da corrente fornecida pela rede.

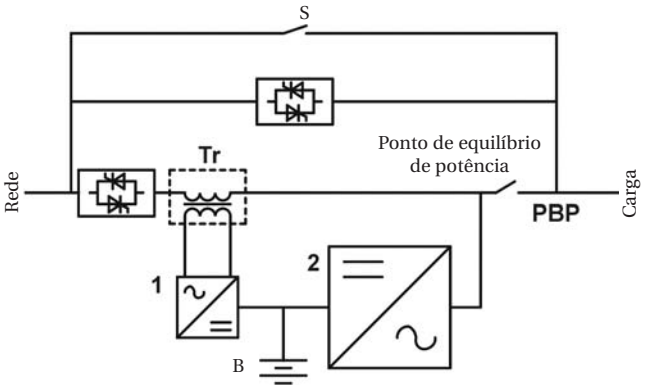


Figura 10 - O diagrama de bloco do UPS tipo Delta.

1, 2 - Conversores;
S - Chave bypass;
Tr - Transformador;
B - Bateria do acumulador;
PBP - Ponto de equilíbrio de potência.

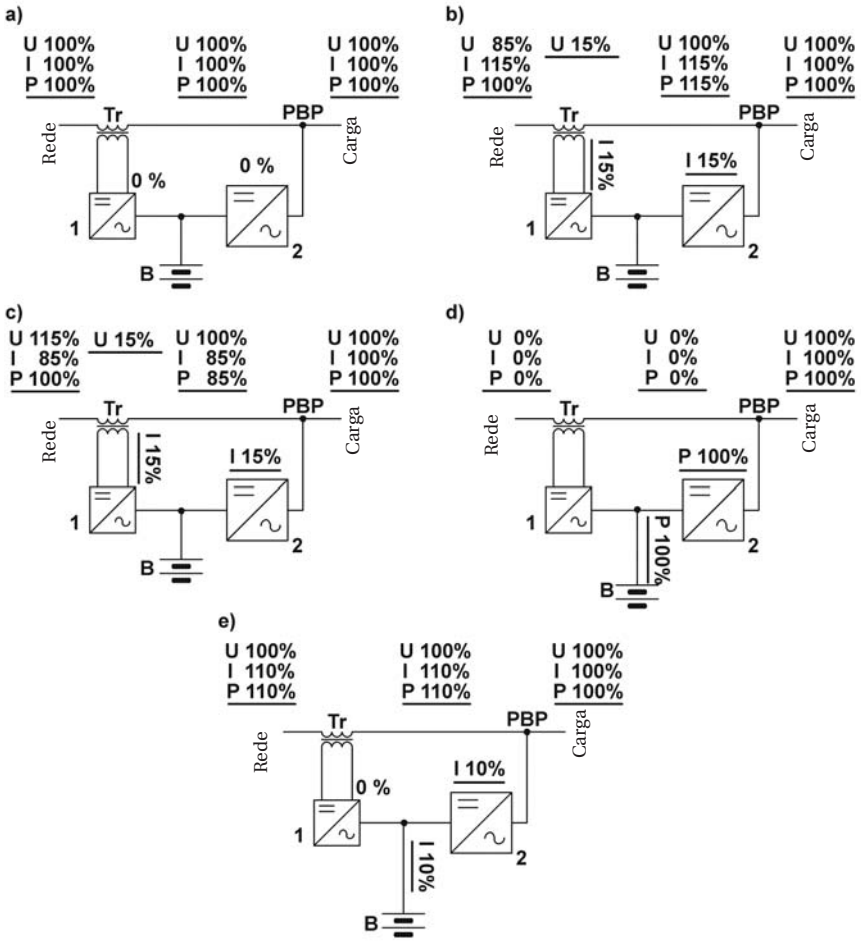


Figura 11 - Ilustração de vários modos de operação do UPS-Delta.

Se a tensão de alimentação é mais baixa do que aquela no PBP, a tensão no primário do transformador (Tr) é diferente de zero (Figura 11b). O inversor principal (2) penaliza a rede com uma corrente adicional e o inversor-delta (1) gera a corrente no secundário do transformador para induzir no primário uma corrente mais alta que, multiplicada pela tensão de rede, resulta na potência de demanda. Assim, uma corrente mais alta é solicitada da alimentação para compensar sua tensão menor, e os 100% da potência da carga são alimentados pela rede (Figura 11b).

Se a tensão da rede é mais alta do que a tensão fixa no PBP (Figura 11c), a polaridade da diferença da tensão no primário do transformador (Tr) é oposta aquela no caso anterior mostrado na Figura 11b. O inversor-delta (1) solicita uma menor corrente da rede de alimentação, enquanto que uma corrente adicional é fornecida ao PBP pelo inversor-delta (1) e pelo inversor principal (2) para estabilizar a corrente de carga no valor da demanda (Figura 11c). A tensão primária do transformador é controlada pela tensão da rede e é mantida a tensão de saída no PBP no valor nominal, fixo, pelo inversor principal.

No caso de falta de energia, o UPS-Delta opera no modo de alimentação de energia armazenada (Figura 11d) com toda a carga sendo alimentada pela bateria através do inversor principal (2).

Em condições operacionais normais, independentemente do valor da tensão de alimentação, a bateria secundária (B) é continuamente carregada (Figura 11e). Após a operação em modo de energia armazenada, a bateria é recarregada pelo inversor principal (2) que drena uma corrente adicional da alimentação para este propósito.

Conversão dupla (VFI)

A topologia de conversão dupla é mostrada na Figura 12. Ela é conectada em série e a potência total da carga é suprida pelo inversor de saída.

Em modo normal, a carga é alimentada pela combinação de retificador/carregador/inversor - daí o nome "conversão dupla". A bateria é ligada ao link de CC e é carregada continuamente.

No modo de energia armazenada, o inversor alimenta a carga com energia da bateria. Sob o ponto de vista da carga nada mudou - a energia é fornecida pelo inversor, mas agora a fonte de energia para o inversor é diferente. Há um tempo de transferência absolutamente zero e, assim, esta topologia é ideal para cargas sensíveis.

No modo bypass, a chave estática conecta a carga diretamente com a alimentação normal, no caso de falha do UPS.

As vantagens da conversão dupla são: muito bom isolamento em relação à fonte a montante, boa regulação de tensão, boa regulação de freqüência (se apropriado) e o tempo de transferência zero entre as fontes de energia. Note que, se for utilizado o bypass, a freqüência de saída deve estar sincronizada com a da alimentação normal, negando a capacidade de controle da freqüência e, se a tensão de saída nominal é diferente da fonte, será necessário um transformador no bypass.

As desvantagens da conversão dupla são: custo mais alto e menor eficiência marginal.

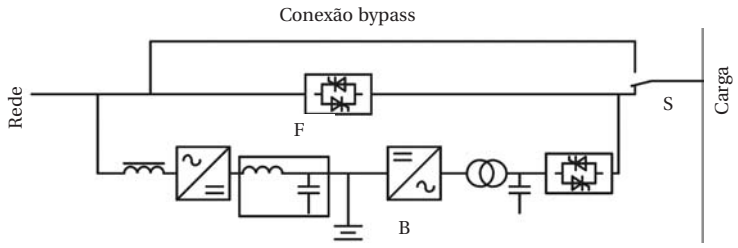


Figura 12 - A estrutura básica de um UPS de conversão de energia dupla.

B - Bateria do acumulador
F - Filtro
S - Chave

Mitigação de perturbações usando UPS

Os sistemas de UPS também podem ser caracterizados pelo grau de isolamento que provêem entre o lado da alimentação e o lado da carga e a melhoria de qualidade de energia potencial conseguida. A Figura 13 ilustra dez tipos de perturbações que podem ser reduzidas quando se usam classes particulares de sistemas UPS.

Os dispositivos UPS mais simples pertencem à classe VFD e limitam as três primeiras perturbações de energia. São dispositivos reservas do tipo mostrado na Figura 8, havendo um tempo de transferência pequeno durante a transferência. Assim, são limitados para uso com cargas que podem tolerar pequenas faltas de energia.

Cargas que exigem um nível mais alto de estabilidade de tensão precisam de dispositivos da classe VI, os quais limitam cinco perturbações. Estes normalmente são UPS interativos de linha (por exemplo, aqueles mostrados na Figura 9).

Cargas que demandam a melhor qualidade de energia e a maior confiabilidade de alimentação requerem UPS da classe VFI, eliminando ou limitando todos os dez tipos de perturbações. Eles normalmente são dispositivos on-line, com a conversão dupla.

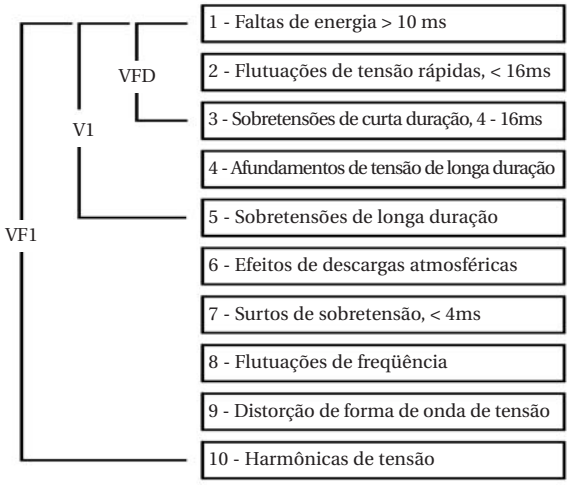


Figura 13 - Classificação de UPS de acordo com seus efeitos de mitigação de perturbações

Aumentando a disponibilidade do sistema com o uso de UPS

Sistemas de UPS estáticos são muito confiáveis, mas, no caso de uma falha, as conseqüências podem ser muito sérias. Para proteger a carga contra esta falha, uma chave bypass é utilizada para ligar a carga diretamente com a alimentação normal. Obviamente, enquanto o UPS é contornado, a carga não está protegida contra perturbações ou faltas de energia.

A maioria dos UPS é equipada com um circuito *bypass* ou com uma chave *bypass* (Figura 14), a qual fornece caminhos alternativos para a energia circular pelo UPS. Esta chave normalmente é operada manualmente para alimentar cargas diretamente da rede quando a manutenção do UPS é necessária.

A disponibilidade do sistema é aumentada dramaticamente pela instalação de unidades redundantes adicionais. O conceito de redundância é explicado no Fascículo 4.1 desta Coleção. Em geral, a carga esperada é servida por unidades menores que operam em paralelo, como mostrado na Figura 15. Se N unidades são necessárias para alimentar a carga, então, pelo menos N+1 unidades seriam instaladas. Como resultado, uma unidade pode falhar sem afetar a operação.

Se a carga aumenta acima da capacidade das unidades instaladas, simplesmente adiciona-se uma outra unidade de mesma potência nominal.

Fontes de energia

Introdução

De acordo com os dados estatísticos [6], aproximadamente 97% de todas as faltas de energia na rede alimentação em média tensão duram menos do que 3 segundos. Estas faltas são causadas, principalmente, por descargas atmosféricas e auto-religamentos que ocorrem após 0,3 a 3 segundos. Faltas de energia mais longas do que 3 segundos só acontecem em aproximadamente 3% de todos casos, e, normalmente, são causadas por uma falta num equipamento da rede. A duração de tais eventos é significativamente maior, na faixa de minutos, horas ou dias. Há, portanto, duas exigências distintas para as fontes de energia. A primeira é para longa duração - talvez até várias horas - com potência moderada, enquanto a segunda é para tempos muito curtos - até alguns minutos - com níveis de potência muito altos. Ambos os tipos de armazenamento de energia deveriam também satisfazer os seguintes requisitos adicionais:

- Alto armazenamento de energia;
- Baixa taxa de autodescarga;
- Rápida taxa de recarga;
- Baixa exigência de manutenção;
- Alta confiabilidade;
- Rápida taxa de fornecimento de energia.

Para motores de combustão, a fonte de energia é claramente alguma forma de combustível fóssil que tem as vantagens de possuir alta densidade de energia, recarga "instantânea" por meio de reabastecimento e um fornecimento praticamente infinito.

Para sistemas UPS estáticos, o armazenamento de energia habitual é a bateria secundária. Porém, nos últimos anos, novos sistemas de armazenamento de energia, tais como volantes, supercapacitores e armazenamento de energia magnético por supercondutor (SMES) foram desenvolvidos com viabilidade comercial. A principal diferença entre as baterias secundárias e os novos sistemas é o período no qual a energia armazenada pode ser fornecida.

Baterias secundárias são capazes de fornecer energia por pequenos tempos, digamos dezenas de segundos ou poucos minutos, ou também durante tempos mais longos como, por exemplo, algumas horas ou dezenas de horas. Porém, os novos sistemas de armazenamentos são projetados principalmente para períodos pequenos, digamos, segundos até dezenas de segundos, para cobrir faltas de energia muito curtas ou reduzir o impacto de afundamentos de tensão.

O sistema de armazenamento de energia é mantido em um estado completamente carregado enquanto a energia normal está disponível e então é descarregado quando falta a alimentação. Idealmente, o sistema de armazenamento deve ser capaz de ser recarregado muito rapidamente depois que a alimentação normal é restabelecida de forma a ficar novamente disponível.

As características principais dos sistemas de armazenamento de energia são discutidos nas sub-seções seguintes.

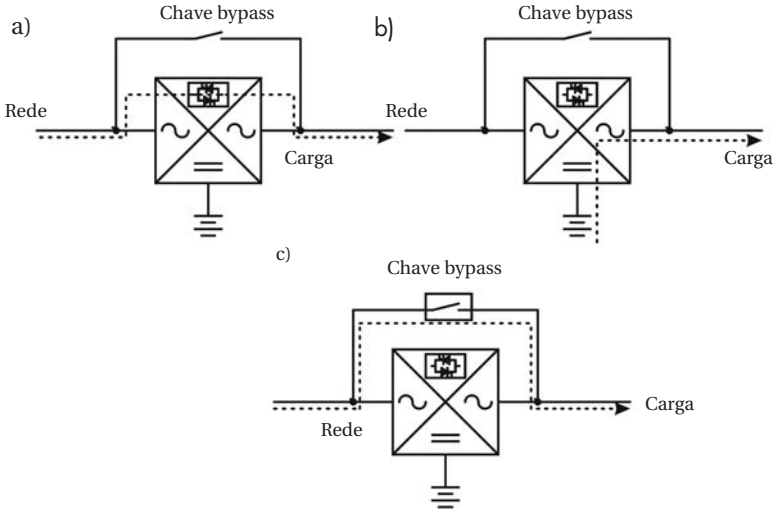


Figura 14 - Diagramas de três rotas de fluxo de potência através de um UPS em várias condições operacionais.

a) Energia da rede através de chave estática - operação normal;
b) Energia da bateria do acumulador - operação de fonte de reserva;
c) Energia da rede através de chave de bypass.

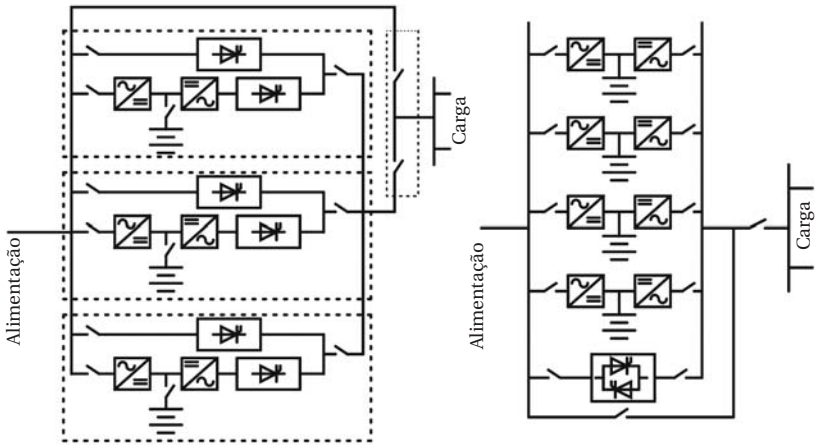


Figura 15 - Sistemas UPS operando em paralelo.

a) Com bypass e chave estática no UPS;
b) Com um bypass principal e uma chave estática principal.

Baterias secundárias (acumuladores)

A escolha do tipo de bateria normalmente é feita pelo fornecedor do equipamento, mas os usuários devem estar atentos ao tipo de bateria usada e aos procedimentos de manutenção requeridos - estes parâmetros podem influenciar a escolha do equipamento. Os tipos principais de baterias secundárias e suas propriedades básicas estão mostrados na Tabela 4.

Onde o peso não tem importância, as baterias estacionárias normalmente são do tipo chumbo-ácido por causa dos seus custos menores.

	Chumbo-ácido selada	NiCd	NiMH	Ion Li
Custo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Densidade de energia (Wh/kg)	30	50	75	100
Tensão por célula (V)	2,27	1,25	1,25	3,6
Corrente de carga	Baixo	Muito alta	Moderado	Alta
Número de ciclos carga/descarga	200 - 2.000	1.500	500	300 - 500
Autodescarga	Baixo	Moderado	Alto	Baixo
Tempo de recarga mín. (horas)	8 -16	1,5	2 - 3	3 - 6
Exercício requerido	180 dias	30 dias	90 dias	Nenhum
Exercício requerido	Alto	Alto	Baixo	Alto

Tabela 4 - Os tipos principais de baterias secundárias e algumas de suas características genéricas.

Volantes

Volantes são usados em alguns grupos motores-geradores convencionais para armazenar a energia mecânica necessária para partir um motor de combustão no caso de falta da energia normal. Neste caso, apenas aproximadamente 5% da energia do volante pode ser usada para produzir energia elétrica diretamente porque a mudança na velocidade e, conseqüentemente, na freqüência, é muito grande.

Quando usado como fonte de energia, o conceito de volante é totalmente diferente. O volante é "carregado" - pela manutenção de sua velocidade de rotação - pela alimentação normal. Quando a alimentação falha, a energia do volante é usada para gerar energia elétrica com freqüência e tensão variáveis, que são convertidas em freqüência e tensão padronizadas por um inversor eletrônico. Uma vez que a energia armazenada é proporcional ao quadrado da velocidade de rotação, cerca de 50% da variação de velocidade pode ser utilizada. Construções de volantes são caracterizadas como de alta ou baixa velocidade [7].

Volantes de alta velocidade são construídos com fibra de vidro ou de carbono, que são aproximadamente 5 vezes mais leves do que o aço. Devido a razões térmicas e forças centrífugas altas, o volante/rotor do gerador é um imã permanente. O volante/rotor gira no vácuo. Volantes de alta velocidade operam na faixa de velocidade de rotação entre 10.000 e 100.000 rotações por minuto. São construídos atualmente com potências de saída acima de 250 kW e com energia armazenada de 8 MW.

Volantes de baixa velocidade operam na faixa de até 6.000 rpm. Por causa da baixa velocidade rotacional, comparada com os volantes de alta velocidade, um momento de inércia consideravelmente maior é necessário nestas construções, resultando assim em maiores pesos. O volante é feito de aço e não é necessário operar no vácuo, mas um vácuo parcial ou um gás de baixa densidade pode ser usado reduzir as perdas por fricção. O motor/gerador é uma máquina síncrona com bobinas de excitação no rotor. Essas bobinas têm perdas e aquecem, mas a vantagem em relação ao gerador com volante de alta velocidade é a possibilidade de regulagem da excitação. Os sistemas de volante de baixa velocidade podem ser fabricados com potências nominais de até 2 MVA e são capazes de fornecer energia por 1-30 segundos.

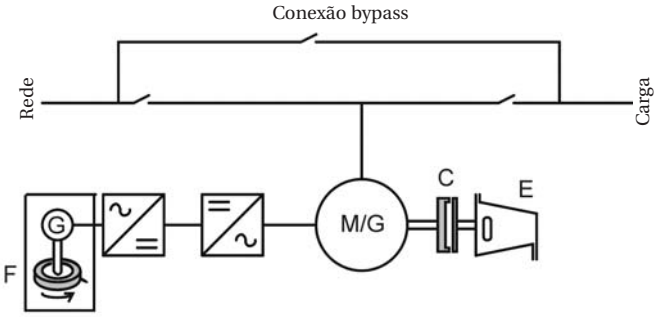


Figura 16 - Diagrama de um sistema combinado de volante com grupo motor-gerador.

F - Sistema de volante para armazenamento de curta duração;

G - Motor/gerador do sistema de armazenamento com volante;

M/G - Motor/gerador;

C - Embreagem eletromagnética;

E - Motor diesel turbina a gás.

Volantes de baixa velocidade são freqüentemente usados em sistemas combinados com grupos motores-geradores tradicionais. Um exemplo típico é apresentado na Figura 16. O volante fornece energia

durante o período entre a perda da energia da concessionária e o seu retorno ou a partida de um sistema de energia de reserva (ou seja, grupo motor-gerador).

Supercapacitores

Supercapacitores (também conhecidos como ultracapacitores) têm capacitância extremamente alta obtida pelo uso de carbono ativo, fibras de carbono ativado ou óxido de rutênio (RuO_2) como materiais de eletrodo. Eletrodos feitos destes materiais têm uma superfície elétrica ativa muito maior quando comparadas com os filmes de metal clássicos. Supercapacitores atuam no sistema como fontes de energia CC, fornecendo energia durante interrupções de curta duração e afundamentos de tensão. Através da combinação de um supercapacitor e um UPS com bateria, o ciclo das baterias é reduzido, porque elas só provêem energia durante as interrupções mais longas e suas vidas são mais longas.

Supercapacitores pequenos são comumente usados para aumentar a vida da bateria de equipamentos eletrônicos, enquanto que grandes supercapacitores ainda estão em desenvolvimento. É esperado que eles se tornem viáveis para armazenamento de energia num futuro muito próximo.

Armazenamento de energia magnética por supercondutor (SMES)

Os sistemas de armazenamento por supercondutor armazenam energia no campo magnético de uma grande bobina que conduz corrente contínua, a qual pode ser convertida em CA quando necessário. SMES em baixa temperatura, resfriado por hélio líquido, está comercialmente disponível. SMES de alta temperatura, resfriado por nitrogênio líquido, ainda está em desenvolvimento e poderá ficar viável comercialmente no futuro.

No dispositivo SMES, um campo magnético é criado pela circulação de uma corrente CC por uma bobina feita com fio supercondutor. As perdas elétricas são desprezíveis. Para obter a energia, o caminho da corrente é repetidamente aberto e fechado por uma chave de sólido-estado. Devido a sua alta indutância, a bobina se comporta como uma fonte de corrente que pode ser usada para carregar um capacitor, o qual fornece a tensão de entrada CC em um inversor que produz a tensão CA necessária. Os sistemas SMES são grandes e podem ter potências de 1 até 100 MW, mas geralmente são usados para tempos muito curtos, na faixa de 0,1-1 segundo.

Armazenamento de energia por ar comprimido (CAES)

No CAES, a energia armazenada em ar comprimido é usada para acionar sistemas de geradores elétricos por turbinas a ar. Dependendo da potência e da quantidade de energia armazenada, os sistemas CAES podem ser usados para alimentação de reserva e atendimento de demanda de pico. A filosofia de tais dispositivos é semelhante a dos grupos motores-geradores. O sistema de armazenamento de ar é mantido sob pressão por um compressor que funciona intermitentemente enquanto a energia está disponível. A faixa de potência disponível é de algumas dezenas a algumas centenas de kVA.

Os sistemas CAES usados como alimentação de reserva são equipados com tanques de ar, enquanto que, nas aplicações para alimentação de picos de demanda, são usadas cavidades naturais como aqüíferos, ou cavidades feitas pelo homem, tais como minas escavadas em pedras ou cavernas de sal. Porém, este tipo de CAES não é discutido neste artigo.

Comparação entre vários sistemas de armazenamento de energia

Os sistemas de armazenamento de energia podem ser usados em sistemas UPS em várias combinações. Como mencionado anteriormente, podem ser usados supercapacitores junto com as baterias secundárias para atender a demandas de energia de curto prazo e aumentar a vida útil das baterias. Cada fonte de energia é caracterizada pela capacidade de energia armazenada e pela potência elétrica disponível.

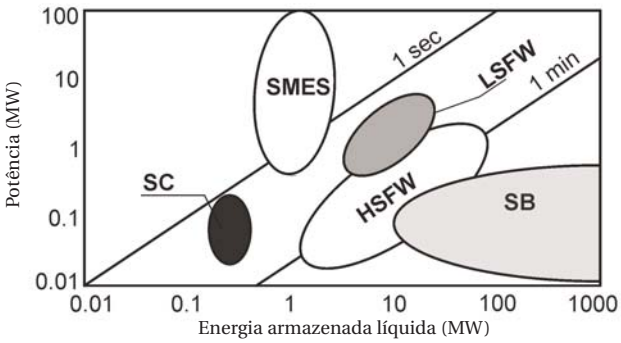


Figura 17 - Características potência x energia de diferentes sistemas de armazenamento de energia [7].

Ver Tabela 5 para definições de abreviações.

A Figura 17 resume estes parâmetros para vários sistemas de armazenamento de energia [7].

As fontes de energia de curta duração ainda estão em fase de desenvolvimento e os custos de investimento ainda são relativamente altos (Figura 18). Porém, no futuro, com melhorias de projeto e fabricação e aumentos de volume de produção, o custo destes dispositivos diminuirá.

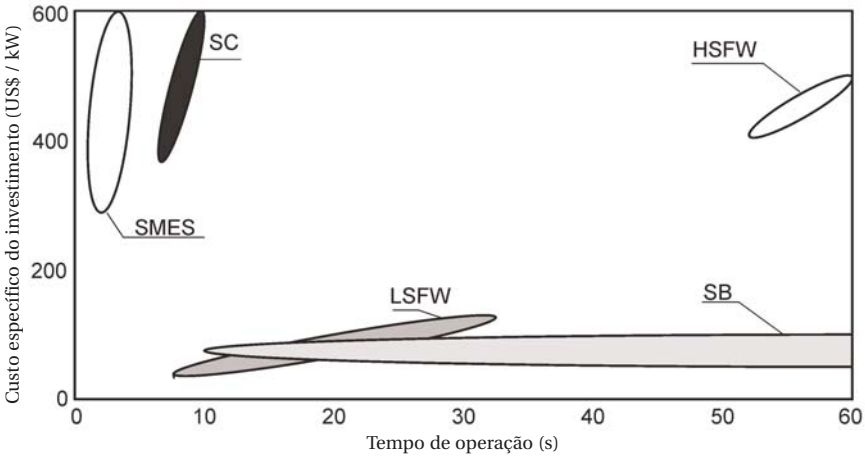


Figura 18 - Custo específico de investimento para diferentes dispositivos de armazenamento de energia versus seus tempos de alimentação [7].

Ver Tabela 5 para definições de abreviações.

A eficiência dos sistemas de armazenamento de energia usados em UPS depende não só da operação de carga e descarga, mas também das perdas em vazio. Na prática, as perdas em vazio são dominantes, porque o sistema UPS opera na maioria do tempo em modo de espera. Assim, as perdas específicas por watt-hora dos dispositivos de armazenamento são o fator significativo da eficiência dos sistemas de armazenamento de energia. Atualmente, as perdas das fontes de energia de curta duração são muito altas em comparação com as perdas dos sistemas de armazenamento tradicionais. Só supercapacitores são comparáveis com as baterias secundárias em termos de perda específica. Perdas específicas de vários sistemas de armazenamento de energia são mostradas na Tabela 5.

Tipo de dispositivo para armazenamento de energia	Perdas específicas por Wh	Tempo de autodescarga
Armazenamento de energia magnético por supercondutor (SMES)	35 W	1,7 min
Volantes de baixa velocidade (LSFW)	2,2 W	30 min
Volantes de alta velocidade (HSFW)	1,2 W	50 min
Supercapacitores (SC)	0,026 W	1,6 dias
Baterias secundárias (SB)	0,023 W	Muito longo,alguns meses

Tabela 5 - Perdas específicas de diferentes dispositivos de armazenamento de energia [7].

Example of a practical emergency supplying solution

As operações de chaveamento em circuitos tais como o da Figura 19 são feitas por meio de sistemas de comutação automática de fontes (ASCS). Um exemplo de uma solução prática de ASCS é mostrado na Figura 20. As partes básicas e o diagrama de operação do ASCS são descritos a seguir.

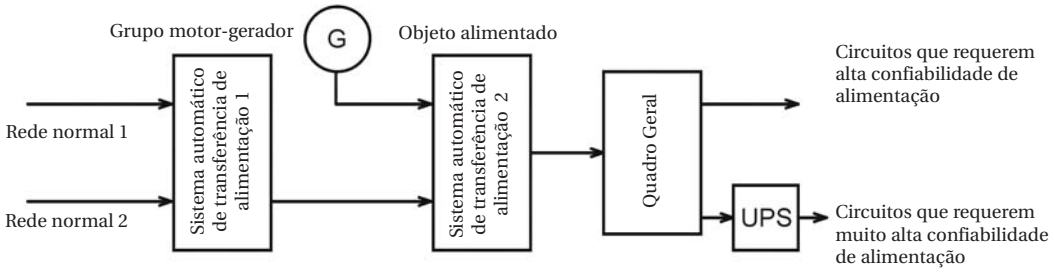


Figura 19 - Exemplo de alimentação de alta disponibilidade.

As operações de chaveamento em circuitos tais como o da Figura 19 são feitas por meio de sistemas de comutação automática de fontes (ASCS). Um exemplo de uma solução prática de ASCS é mostrado na Figura 20. As partes básicas e o diagrama de operação do ASCS são descritos a seguir.

O controlador de entrada mede as tensões da seqüência de fontes básica e de reserva dos sinais de controle mostrados no diagrama de tempo na parte de baixo da Figura 20.

Conclusões

A maioria dos consumidores industriais e comerciais opera muitas cargas que requerem uma qualidade de energia mais alta do que a disponível diretamente na rede de alimentação. Melhorar o desempenho da rede é difícil e caro, e assim, este assunto é deixado por conta do consumidor para mitigar os efeitos da baixa qualidade de energia.

Não há uma única solução. A solução mais apropriada será determinada pelo nível de potência envolvida, pelo nível de qualidade e de confiabilidade necessários, pela qualidade e confiabilidade da energia recebida, pela localização geográfica e custo.

Soluções estão disponíveis para todos os cenários, sendo que é necessária uma análise detalhada para selecionar a solução correta e mais econômica para cada aplicação específica e ambiente de trabalho.

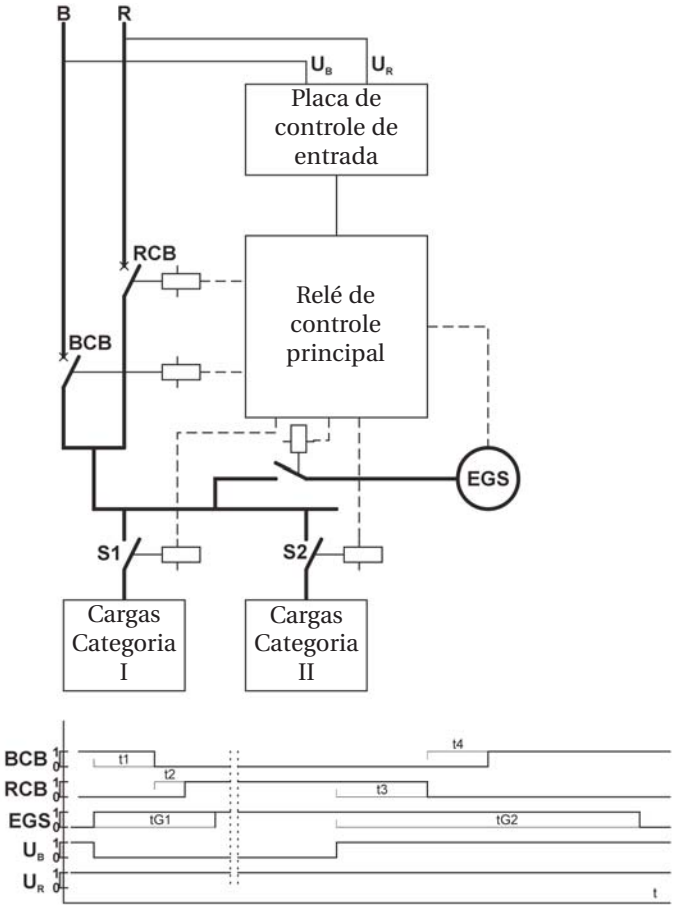


Figura 20 - Diagrama de bloco de sistema de chaveamento automático de baixa tensão e diagrama de tempo de sua operação.

B - Fonte normal;
R - Fonte alternativa (rede separada);
BCB, RCB - Disjuntores operados nas fontes normal e alternativa, respectivamente;
S1, S2 - Chaves de categorias mais alta e mais baixa, respectivamente;
GMG - Grupo motor-gerador;
UB, UR - Tensões medidas normal e alternativa, respectivamente.

Explicação sobre os símbolos de tempo no texto

Referências

1. *EN 50091 (IEC 62040) Un-interruptible power systems.*
2. *Elektronizacja 11/2001.*
3. *EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.*
4. *ABB Switchgear Manual, 10th edition, Dusseldorf, Cornelsen Verlag 1999.*
5. *Seip G.: Elektrische Installationstechnik. T1. Berlin - Munchen, Siemens Aktiengesellschaft 1993.*
6. *UNIPEDE DISDIP, Measuring of power failures in MV grid in Europe.*
7. *Darrelmann H.: Comparison of alternative short time storage systems. Piller GmbH - www.piller.de, 2002.*

Referências & Membros Fundadores

European Copper Institute* (ECI) *www.eurocopper.org*	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid *www.etsii.upm.es*	LEM Instruments *www.lem.com*
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) *www.agh.edu.pl*	Fluke Europe *www.fluke.com*	MGE UPS Systems *www.mgeups.com*
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) *www-citcea.upc.es*	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) *www.htw-saarland.de*	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg *www.uni-magdeburg.de*
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) *www.ceiuni.it*	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH *www.pih.be*	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) *www.miedz.org.pl*
Copper Benelux* *www.copperbenelux.org*	International Union for Electricity Applications (UIE) *www.uie.org*	Università di Bergamo* *www.unibg.it*
Copper Development Association* (CDA UK) *www.cda.org.uk*	ISR - Universidade de Coimbra *www.isr.uc.pt*	University of Bath *www.bath.ac.uk*
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) *www.kupferinstitut.de*	Istituto Italiano del Rame* (IIR) *www.iir.it*	The University of Manchester *www.manchester.ac.uk*
Engineering Consulting & Design* (ECD) *www.ecd.it*	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) *www.kuleuven.ac.be*	Wroclaw University of Technology* *www.pwr.wroc.pl*
EPRI Solutions Inc *www.epri.com/eprisolutions*	Laborelec *www.laborelec.com*	

Conselho Editorial

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof. Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr. Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof. Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr. Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof. Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof. Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr. ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr. Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof. Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	LEM Instruments	sho@lem.com
Dr. Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof. Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof. Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI Solutions	mmcgranaghan@eprisolutions.com
Dr. Jovica Milanovic	The University of Manchester	jovica.milanovic@manchester.ac.uk
Dr. Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr. ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof. Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	sumper@citcea.upc.edu
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl

Prof Henryk Markiewicz

Wroclaw University of Technology
Wybrzeze Wyspianskiego 27
50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 3203 424
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl

Dr Antoni Klajn

Wroclaw University of Technology
Wybrzeze Wyspianskiego 27
50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 3203 920
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl

PRO COBRE Connects Life.™

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128-cj.203
Cep 01451-903
São Paulo - SP
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383
e-mail: procobrebrasil@copper.org
Internet: www.procobre.org

European COPPER

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
e-mail: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org