

## Capítulo VI

# Serviços auxiliares

Por Cláudio Mardegan\*

O objetivo deste capítulo é demonstrar a importância de utilizar um sistema de alimentação auxiliar confiável, bem como descrever os mais utilizados. Também será mostrado um diagrama funcional típico de uma proteção atuando sobre um disjuntor.

### Características das grandezas elétricas durante um curto

Quando ocorre um curto-circuito, observam-se variações significativas em duas grandezas elétricas:

- Corrente: cujo valor tem um aumento abrupto;
- Tensão: cujo valor apresenta uma queda acentuada (próximo de 0 V no ponto de curto).

### Alimentação das cargas essenciais (relés, disjuntores, sinalizações, sinóticos, etc.)

O circuito de comando dos disjuntores deve ser capaz de fazer o disjuntor mudar de estado de ligado para desligado quando houver atuação de um relé de proteção. Assim, se for utilizado um circuito em corrente alternada derivado diretamente do barramento por meio de um TP, na ocorrência de um curto-circuito a tensão primária do TP cai e, conseqüentemente, também a secundária, não havendo, desta forma, tensão de comando suficiente para fazer atuar a bobina de abertura do disjuntor.

Desse modo, é prática efetuar a alimentação do circuito de comando de disjuntores por um nobreak DC ou AC. Vide diagrama funcional típico na Figura 1.

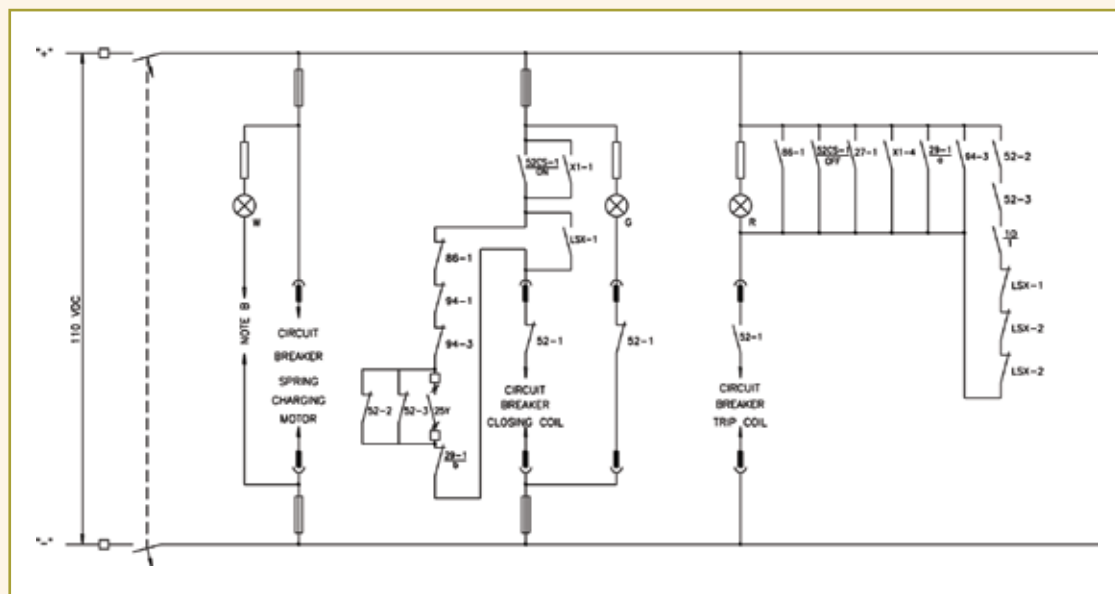


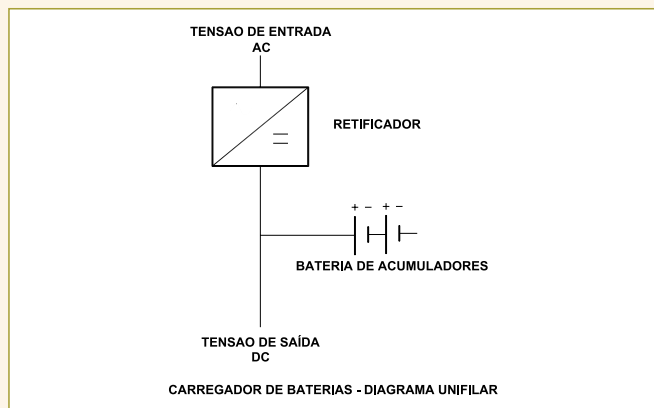
Figura 1 – Diagrama funcional típico de um disjuntor.

### **Nobreak DC (Carregador de baterias)**

O carregador de baterias é composto de dois conjuntos fundamentais:

- Retificador;
- Bateria de acumuladores.

Veja o esquema unifilar do carregador de baterias na Figura 2.



**Figura 2 – Esquema unifilar de um retificador (carregador de bateria).**

A entrada do retificador vem normalmente de um transformador auxiliar ou de comando em corrente alternada. O retificador transforma a tensão de entrada AC em tensão de saída DC (ou seja,

retifica a onda de entrada).

O retificador é projetado para manter uma tensão maior que a de descarga das baterias, conhecida como tensão de flutuação, de forma que, em condições normais, a bateria não descarrega, apenas mantém sua carga.

Na ocorrência de um curto-circuito na linha, a tensão no sistema cai próximo de zero e, conseqüentemente, cai a tensão AC de entrada. A tensão na saída do retificador também cai e a tensão da bateria passa a ser maior que na saída do retificador, passando a assumir a carga desse sistema auxiliar e permitindo manter a tensão para:

- Comando de disjuntores/chaves e telecomandos;
- Alimentação de sistemas de sinalização;
- Alimentação auxiliar de relés/sistemas de proteção;
- Alimentação de painéis sinóticos;
- Iluminação de emergência;
- Alimentação de sistemas de medição/telemetria.

Ao retornar a tensão AC, o retificador reconhece e pode colocar a bateria em recarga.

A bateria de acumuladores deve permitir a alimentação das cargas essenciais durante o período de tempo suficiente para efetuar todas as atuações e as manobras necessárias. Este intervalo de tempo em que a bateria mantém a tensão mínima por

elemento (normalmente 90% da tensão nominal) necessária ao bom funcionamento do sistema é conhecido como autonomia da bateria.

Os principais tipos de bateria utilizados atualmente são:

- Chumbo-ácido;
- Alcalinas (níquel/cádmio).

A capacidade das baterias chumbo-ácidas é, geralmente, de 10 horas, ao passo que as alcalinas podem ser de 3, 5 ou 10 horas.

### Principais características elétricas das baterias

#### Tensão nominal ( $V_n$ )

As tensões DC normalmente utilizadas são 12 Vdc, 24 Vdc, 48 Vdc, 60 Vdc, 110 Vdc, 125 Vdc, 220 Vdc e 250 Vdc.

#### Tensão máxima do equipamento ( $V_{m\acute{a}x}$ )

Este valor de tensão depende dos equipamentos que serão ligados na saída da bateria e, normalmente, é de 10% acima da tensão nominal (110%  $V_n$ ). Entretanto, também são encontrados valores de 5% (105%  $V_n$ ) e 20% (120%  $V_n$ ).

#### Tensão mínima do equipamento ( $V_{m\acute{i}n}$ )

Este valor de tensão depende dos equipamentos que serão ligados na saída da bateria e é de 10% abaixo da tensão nominal (90%  $V_n$ ), porém, também são encontrados valores de 5% (95%  $V_n$ ) e 20% (80%  $V_n$ ).

#### Tensão de flutuação por elemento

A bateria trabalha na maior parte do tempo em flutuação, entrando em descarga apenas quando cessa a tensão na entrada do retificador. Assim, a tensão na saída do retificador deve ficar acima deste valor.

Para baterias chumbo-ácidas, este valor fica na faixa de 2.15 V a 2.2 V, mas o valor mais comum é de 2.2 V/elemento. Para baterias alcalinas, este valor fica na faixa de 1.38 V a 1.42 V, sendo comum o valor de 1.4 V/elemento.

#### Tensão final de descarga do elemento ( $V_{fd}$ )

Uma bateria de acumuladores após sair da flutuação vai descarregando lentamente (e linearmente) e quando a tensão atinge um ponto de inflexão denominado tensão final que, após ultrapassado, a tensão cai abruptamente e não consegue mais suprir a carga com energia necessária.

Os valores de tensão final por elemento para baterias chumbo-ácidas variam de 1.6 V a 1.85 V/elemento (valores usuais 1.6 V/1.65 V/1.75 V/1.8 V/1.85V), sendo de 1.8V/elemento, um valor tipicamente adotado para os cálculos.

Já as baterias alcalinas possuem um valor de tensão final dentro da faixa de 0.95 a 1.15 V/elemento (valores usuais 1 V/1.05 V/1.10 V/1.14 V), sendo o valor de 1.05 V/elemento, um valor tipicamente adotado para os cálculos.

### Tensão de equalização ( $V_{eq}$ )

A carga de equalização é aplicada nas baterias de forma a restabelecer a capacidade máxima da bateria. A tensão de equalização por elemento de baterias chumbo-ácidas é da ordem de 2.2 V a 2.5 V/elemento, sendo o valor mais comum 2.33 V/elemento.

A tensão de equalização por elemento de baterias alcalinas é da ordem de 1.4 V a 1.7 V/elemento, sendo o valor mais comum de 1.55 V/elemento.

Assim, a tensão total de equalização é o produto do número de acumuladores (n) vezes o valor da tensão de equalização ( $V_{eq}$ ).

### Faixas de tensão utilizadas para bateria de acumuladores

Constam na Tabela 1, as faixas de tensão comumente utilizadas no dimensionamento de bateria de acumuladores/carregadores.

TABELA 1 – FAIXAS DE TENSÃO PARA BATERIA DE ACUMULADORES				
Descrição	Tipo de bateria	Nomenclatura	Faixa aceita	Valor mais comum
Tensão nominal do equipamento	-	$V_n$	12V – 24V – 48V – 60V – 110V – 125V – 220V – 250V	125 V
Tensão máxima do equipamento	-	$V_{m\acute{a}x}$	$V_n + (5\% \text{ ou } 10\% \text{ ou } 20\%)$	$V_n + 10\%$
Tensão mínima do equipamento	-	$V_{m\acute{i}n}$	$V_n - (5\% \text{ ou } 10\% \text{ ou } 20\%)$	$V_n - 10\%$
Tensão de flutuação/elemento	Chumbo-ácido	$V_{fl}$	2.15 V a 2.20 V	2.2 V
Tensão de flutuação/elemento	Alcalina	$V_{fl}$	1.38 V a 1.42 V	1.40 V
Tensão final de descarga	Chumbo-ácido	$V_{fd}$	1.6 V a 1.85 V	1.80 V
Tensão final de descarga	Alcalina	$V_{fd}$	0.95 V a 1.15 V	1.05 V
Tensão de equalização	Chumbo-ácido	$V_{eq}$	2.20 V a 2.50 V	2.33 V
Tensão de equalização	Alcalina	$V_{eq}$	1.40 V a 1.70 V	1.55 V

### Determinação do número de elementos de uma bateria

Na determinação do número de acumuladores ou elementos que compõem uma bateria, utilizam-se como critério as variações máximas de tensão permitidas pelos equipamentos.

Dispõe-se de três critérios.

#### 1º critério

Visto que a tensão máxima deve ser  $n \times V_{eq}$ , temos:

$$n \geq V_{m\acute{a}x} / V_{eq}$$

#### 2º critério

Visto que a tensão mínima deve ser  $n \times V_{fd}$ , temos:

$$n \leq V_{m\acute{i}n} / V_{fd}$$

#### 3º critério

Visto que a tensão nominal deve ser  $n \times V_{fl}$ , temos:

$$n = V_n / V_{fl}$$

Idealmente, o valor de n deveria ser o mesmo nos três critérios. Como isso praticamente não ocorre, faz-se necessário verificar qual

o melhor valor de  $n$  que atenda aos três critérios, ou seja, situações de flutuação, carga e descarga.

É importante lembrar que o número de elementos que leve a uma menor tensão final conduz ao cálculo de uma bateria de menor capacidade devido ao melhor aproveitamento (solução mais econômica). O número de elementos que ultrapasse o valor da tensão máxima durante a carga impõe soluções mais onerosas e menos confiáveis, tais como chaves de transferência, Unidades de Diodos de Queda (UDQ), etc.

### Exemplo

Um sistema de 125 Vdc deve trabalhar com uma bateria chumbo-ácida. Sabendo que a tensão máxima do sistema não deve ultrapassar 140 V e a mínima não deve ser inferior a 105 V, determinar o número de elementos desta bateria para uma tensão de flutuação ( $V_{fl}$ ) de 2.16 V/elemento, tensão final de descarga ( $V_{fd}$ ) de 1.75 V/elemento e para uma tensão de equalização de 2.33 V/elemento.

### Solução

1º critério  $\rightarrow n = V_{m\acute{a}x} / V_{eq} \rightarrow n = 140 / 2.33 \rightarrow n = 60$  elementos  
 2º critério  $\rightarrow n = V_{m\acute{i}n} / V_{fd} \rightarrow n = 105 / 1.75 \rightarrow n = 60$  elementos  
 3º critério  $\rightarrow n = V_n / V_{fl} \rightarrow n = 125 / 2.16 \rightarrow n = 58$  elementos

### Verificação

Adotando  $n = 60$

Tensão máxima  $\rightarrow V_{m\acute{a}x} = 60 \times 2.33 = 139.8$  V

Tensão mínima  $\rightarrow V_{m\acute{i}n} = 60 \times 1.75 = 105.0$  V

Tensão flutuação  $\rightarrow V_{flutua\c{c}\tilde{a}o} = 60 \times 2.16 = 129.6$  V

### Cálculo da capacidade de uma bateria

A capacidade de um acumulador é a quantidade de eletricidade em ampère-hora, corrigida para a temperatura de referência fornecida pelo acumulador em determinado regime de descarga até atingir a tensão final de descarga. A capacidade de uma bateria é a soma das capacidades individuais de cada acumulador e é normalmente expressa em Ah (Ampère-hora).

Assim, para o correto dimensionamento da bateria, se faz necessário atender a cada etapa a seguir:

- Definir a tensão nominal do sistema auxiliar;
- Determinar o tipo de bateria a ser utilizado (chumbo-ácido/alcalina, tipo, fabricante, etc.);
- Determinar a tensão final por elemento;
- Determinar o número de elementos;
- Definir as cargas a serem supridas pelo serviço auxiliar;
- Determinar a característica de descarga (ciclo de descarga);
- Obter do fabricante a curva do fator  $K$  ( $K=C/I$ ), em função do tempo para as tensões finais por elemento ( $V_{fe}$ ) previstas para o tipo de bateria escolhido. A Figura 3 mostra uma curva típica;
- A partir da  $V_{fe}$  e dos respectivos tempos, obter a constante da bateria para a curva de descarga dos elementos;

- Calcular a capacidade da bateria.

$$C_{TOTAL} = K_1 \times I_1 + K_2 \times (I_2 - I_1) + K_3 \times (I_3 - I_2) + \dots + K_N \times (I_N - I_{N-1})$$

Em que  $N$  é o número de trechos da curva. No caso da Figura 3,  $N = 12$ .

### Correção do valor da capacidade

O valor calculado deve ser corrigido considerando os fatores a seguir:

Temperatura	$\rightarrow$ Fator = 1.050
Envelhecimento (idade)	$\rightarrow$ Fator = 1.100
Fator de carga	$\rightarrow$ Fator = 1.060
Fator de projeto	$\rightarrow$ Fator = 1.050
Fator de correção total	$\rightarrow$ Fator = 1.286

### Exemplo

Dimensionar um sistema de corrente contínua em 125 VCC de forma a atender o perfil de mínima tensão de 90% (112.5 VCC) e máxima tensão de 110% (137.5 VCC). As baterias devem ser alcalinas, com uma tensão final por elemento de 1.14 V e a autonomia do sistema deve ser dimensionada e atender a um ciclo de descarga para cinco horas. As cargas a serem alimentadas por esse sistema são:

### Disjuntores de MT

Consumo bobina de abertura: 250 W – 1 s

Consumo motor de carregamento de mola: 140 W

Ciclo de operação: CO – 15 s – CO

Quantidade: 18

### Disjuntores de BT

Consumo bobina de abertura: 180 W – 1.6 A ( $V_{m\acute{i}n} = 112.5$  V)

Consumo bobina de fechamento: 180 W – 1.6 A ( $V_{m\acute{i}n} = 112.5$  V)

Consumo motor de carregamento de mola: 400 W – 3.5 A ( $V_{m\acute{i}n} = 112.5$  V)

Ciclo de operação: CO – 15s – CO

Quantidades:

- Disjuntor completo (motor, bobinas abertura e fechamento): 13

(50% dos motores de carregamento de mola operam simultaneamente e 30% das bobinas de abertura)

- Disjuntor somente com bobina de abertura: 23

(30% das bobinas de abertura operam simultaneamente)

### Carga de sinalização

Consumo das lâmpadas: 6 W

Carga constante: 83 lâmpadas

Quantidade de lâmpadas: 157

### Iluminação de emergência

Locais: SE principal, casa de controle e sala do gerador de emergência

Potência das lâmpadas: 100 W

Quantidade de lâmpadas: 50

**Relés**

Potência máxima de cada relé: 8 W

Quantidade de relés: 20

**Determinação do consumo das cargas****- Disjuntores de MT**

Quantidade de motores a serem ligados simultaneamente: 9

Consumo dos motores:

$$I = \frac{140W \times 9}{112.5V} = 11.2A$$

Consumo das bobinas de abertura:

$$I = \frac{250W \times 9}{112.5V} = 20A$$

**- Disjuntores de BT**

Consumo dos motores:

$$I = \frac{400W \times (13 \times 0.5)}{112.5V} = 3.55 \times 7 = 24.9A$$

Consumo das bobinas de abertura:

$$I = \frac{180W \times [(13 + 23) \times 0.3]}{112.5V} = 1.6 \times 11 = 17.6A$$

Carga de sinalização:

$$I = \frac{6W \times 83}{112.5V} = 4.5A$$

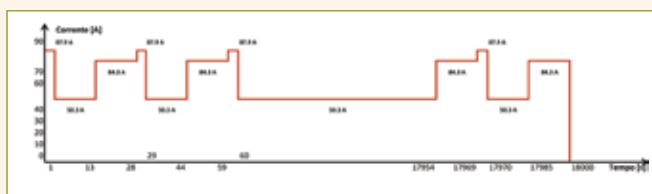
Iluminação de emergência:

$$I = \frac{100W \times 50}{112.5V} = 44.5A$$

**Relés:**

$$I = \frac{8W \times 18}{112.5V} = 1.3A$$

A curva de descarga adotada é a apresentada na Figura 3.

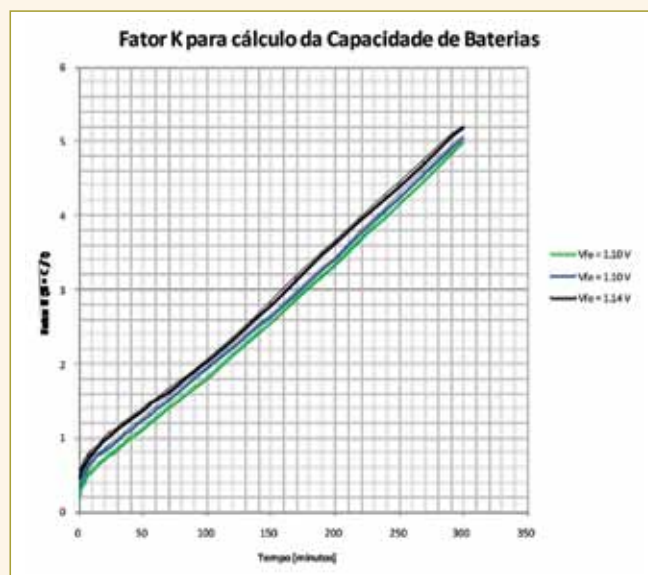
**Figura 3 – Característica de descarga da bateria de acumuladores.**

A partir da característica de descarga apresentada na Figura 3 e da curva do fator K do fabricante apresentada na Figura 4 (que é uma curva típica; o correto é consultar sempre a curva do fabricante), podemos construir a Tabela 2, que divide a curva acima em 12 trechos, lembrando que a capacidade da bateria é calculada como segue:

$$C_{TOTAL} = K_1 \times I_1 + K_2 \times (I_2 - I_1) + K_3 \times (I_3 - I_2) + \dots + K_N \times (I_N - I_{N-1})$$

TABELA 2 – DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DA BATERIA												
Trecho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Autonomia restante	05:00:00	04:59:45	04:59:30	04:59:29	04:59:14	00:01:00	00:00:59	00:00:44	04:59:29	00:00:28	00:00:13	00:00:01
Corrente (A)	84.3	50.3	87.9	84.3	50.3	87.9	84.3	50.3	84.3	84.3	50.3	87.9
K da bateria	5.2	5.18	5.18	5.18	5.18	0.5	0.5	0.5	5.18	0.46	0.46	0.46
Capacidade por trecho	438.4	-176.1	194.8	-18.6	-176.1	18.8	-1.8	-17.0	-18.6	-1.7	-15.6	17.3
Capacidade da bateria (AH)	281.0											

Nota: O valor do K da bateria deve ser retirado da curva do fabricante.

**Figura 4 – Fator K para a determinação da capacidade de baterias alcalinas.**

Ao dimensionar a bateria, é preciso levar em conta uma correção por idade (~10%) e também uma reserva para expansões futuras (~15%).

Assim, o valor calculado deve ser corrigido para:

$$C_{sh} = 281.0 \times 1.10 \times 1.15 = 355.5 \text{ Ah}$$

A bateria adotada será de 400 Ah / cinco horas.

**Dimensionamento da capacidade do retificador**

A capacidade nominal de um carregador, em ampères, é calculada, segundo a norma Nema, pela seguinte equação:

$$I_C = I_{CP} + I_{RB}$$

Em que:

 $I_C$  = Capacidade do retificador $I_{CP}$  = Corrente máxima de consumo permanente $I_{RB}$  = Corrente de recarga máxima da bateria (0.25xC para chumbo-ácido e 0.4xC para alcalinas).

Segundo a norma IEC, a capacidade nominal de um carregador de bateria (retificador), em ampères, é calculada, pela equação:

$$A = L + \frac{K \times C}{H}$$

Em que:

A = Corrente nominal de saída do retificador.

L = Consumo de carga permanentemente conectada aos terminais da bateria.

C = Capacidade total da bateria em Ah (Ampères-hora).

H = Tempo para recarregar a bateria.

K = Constante que para baterias alcalinas vale 1.4 e para baterias chumbo-ácidos vale 1.25.

As capacidades nominais padronizadas (correntes de saída do retificador) normalmente encontradas para os carregadores são: 5 A, 10 A, 15 A, 25 A, 35 A, 50 A, 75 A, 100 A, 150 A, 200 A, 400 A, 600 A, 800 A, 1000 A e 1200 A.

### **Ventilação da sala de baterias**

Quando a bateria não é selada se faz necessária a exaustão da sala de baterias, visto que há liberação de hidrogênio no processo de eletrólise.

A vazão do sistema de exaustão é calculada como segue:

$$Q = 55 \times N \times I [\text{litros / hora}]$$

Em que:

Q = Vazão do sistema de exaustão (em litros / hora = l/h)

N = Número de elementos da bateria de acumuladores

I = Corrente de recarga da bateria (os valores normalmente considerados são  $I = 0.4 \times C$  – para baterias alcalinas e  $I = 0.25 \times C$  para baterias chumbo-ácido)

### **Unidade de Diodo de Queda (UDQ)**

Em sistemas em que os valores de tensão mínima não são atingidos, normalmente é necessário acrescentar um ou mais elementos. Nessa nova situação o(s) valor(es) de tensão(ões) máxima permissível(eis) nos equipamentos pode ser ultrapassada. Para contornar esta situação, é usual instalar unidades de diodo de queda em série com o retificador, de forma que a tensão fique dentro dos limites permissíveis pelo equipamento.

Vale a pena lembrar que os diodos tem baixa suportabilidade térmica quanto ao curto-circuito e, dessa maneira, especial atenção deve ser dada se a capacidade das baterias (ou dos conjuntos de baterias, caso hajam retificadores em paralelo) é elevada. Como estimativa de primeira aproximação para ordem de grandeza da corrente de curto-circuito de um sistema de baterias, o valor da corrente de curto-circuito é de  $10 \times C$ . Assim, temos um conjunto de baterias de 2.000 Ah e a corrente de curto-circuito da bateria será de 20.000 A. É preciso sempre efetuar o cálculo correto da corrente de curto-circuito.

O valor de queda de tensão em cada UDQ é de 0.8 V por diodo. É importante lembrar também que, como o diodo de queda não possui boa suportabilidade quanto ao curto-circuito, deve sempre ter junto dele um fusível ultra-rápido.

A Figura 5 mostra uma aplicação de um sistema de 24 Vcc que utiliza UDQs.

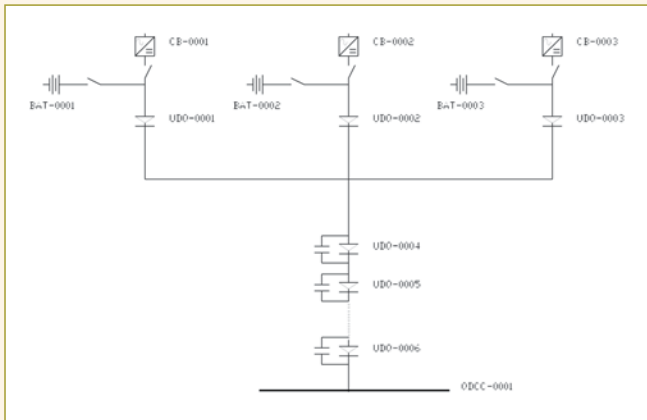


Figura 5 – Sistema de corrente contínua com aplicação de UDQ.

**Nobreak AC**

O nobreak AC é semelhante ao carregador da bateria, porém possui mais um conjunto e, dessa forma, é possível dividi-lo em três módulos:

- Retificador;
- Bateria de acumuladores;
- Inversor.

Veja o esquema unifilar do nobreak AC na Figura 6.

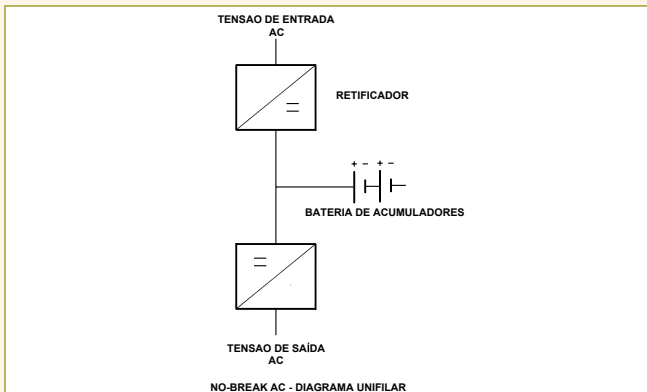


Figura 6 – Esquema unifilar de um nobreak AC.

A diferença, em relação ao carregador de bateria, é que a saída é transformada em corrente alternada para ser utilizada pelos equipamentos essenciais.

É apresentado nas Figuras 7, 8, 9 e 10 algumas configurações dessas UPS (nobreaks AC).

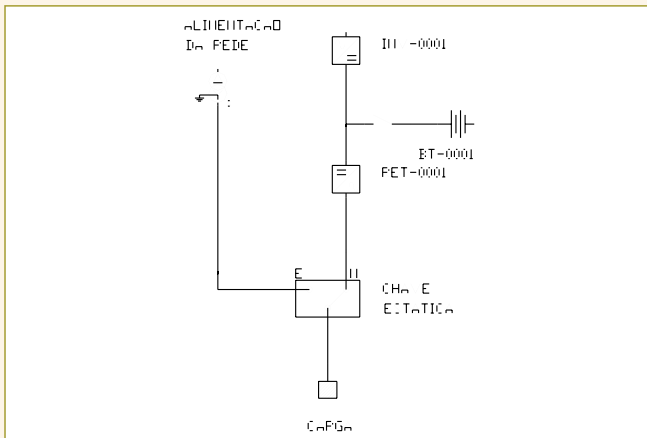


Figura 7 – UPS singular.

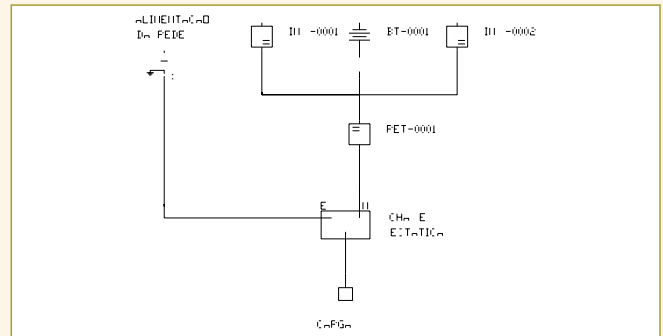


Figura 8 – UPS singular com dois retificadores.

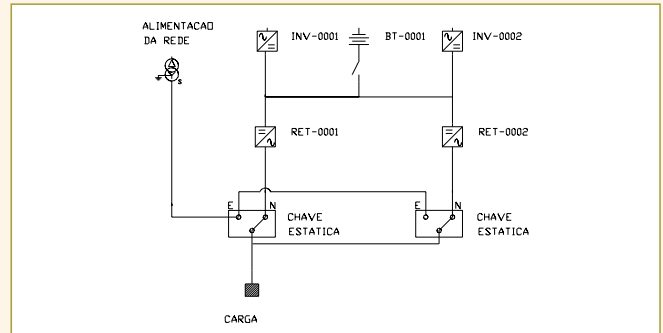


Figura 9 – UPS Dual Redundante.

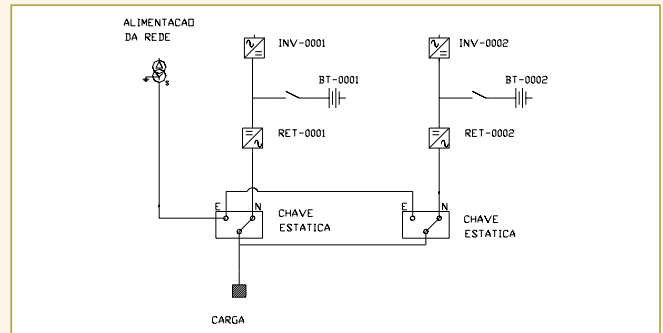


Figura 10 – UPS Paralelo Redundante.

**Confiabilidade entre o nobreak DC e o nobreak AC**

O nobreak AC, por ter o inversor de saída, apresenta por si só um componente a mais em série, e mesmo que tivesse um MTTF igual ao do retificador, apresentaria menor disponibilidade. Entretanto, o MTTF do nobreak AC é muito menor que o MTTF do nobreak DC (retificador) e, assim, a disponibilidade diminui ainda mais. Conseqüentemente, a confiabilidade do nobreak AC é menor, vindo daí a preferência pelos especialistas de proteção a utilização do nobreak DC ou carregador de bateria.

*\*CLÁUDIO MARDEGAN é engenheiro eletricista formado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (atualmente Unifei). Trabalhou como engenheiro de estudos e desenvolveu softwares de curto-circuito, load flow e seletividade na plataforma do AutoCad®. Além disso, tem experiência na área de projetos, engenharia de campo, montagem, manutenção, comissionamento e start up. Em 1995 fundou a empresa EngePower® Engenharia e Comércio Ltda, especializada em engenharia elétrica, benchmark e em estudos elétricos no Brasil, na qual atualmente é sócio diretor. O material apresentado nestes fascículos colecionáveis é uma síntese de parte de um livro que está para ser publicado pelo autor, resultado de 30 anos de trabalho.*

**CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO**

Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail [redacao@atitudeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeditorial.com.br)