



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Dispositivo para Monitoramento e Determinação da Vida Útil Remanescente de Baterias Chumbo-ácido Estacionárias

Marcio E. C. Brito		Heldemarcio L. Ferreira
CELPE		CELPE
Autor 1 – marcioecb@celpe.com.br		Autor 2– heldemarcio@celpe.com.br

Palavras-chave

Banco de baterias

Degradação

Determinação da vida Útil

Dispositivo eletrônico

Manutenção preditiva

Resumo

Este trabalho apresenta um dispositivo eletrônico desenvolvido pelos autores para monitoramento de bancos de baterias chumbo-ácido estacionárias. O objetivo é determinar a vida útil remanescente e quais os pontos de melhoria, para se obter o maior tempo de utilização possível. Maximizar o tempo de uso dos bancos de baterias, não gera apenas ganho financeiro, resulta também na preservação dos recursos naturais e de energia, uma vez que até o processo de reciclagem produz um impacto significativo no meio-ambiente. Por outro lado os dados gerados pelo sistema serviram de base para o desenvolvimento de técnicas preditivas.

Nos últimos quatro anos cerca de 33 bancos de baterias, utilizados em sistemas de alimentação auxiliar de subestações da CELPE foram substituídos com um tempo de utilização que não excedeu três anos, embora tenham sido projetados para uso por no mínimo 10 anos, são 1800 baterias descartadas prematuramente. É importante salientar que a falha do banco resulta na falha do sistema de proteção da subestação, o que constituiu um risco para os equipamentos, para as pessoas e para o sistema elétrico.

1. Introdução

A Celpe conta atualmente com 124 subestações de distribuição nas tensões de 13.8, 69 e 138kV, todas estão automatizadas. Cerca de 95% destas SE's contam com sistema de serviço auxiliar alimentados em corrente contínua na tensão de 125V, todos eles utilizam banco de baterias chumbo-ácido estacionárias, do tipo VLRA, ou seja, geleadas reguladas por válvula. Cada banco destes é composto por 60 células nos casos de células individuais (96%) ou 10 baterias de 12V.

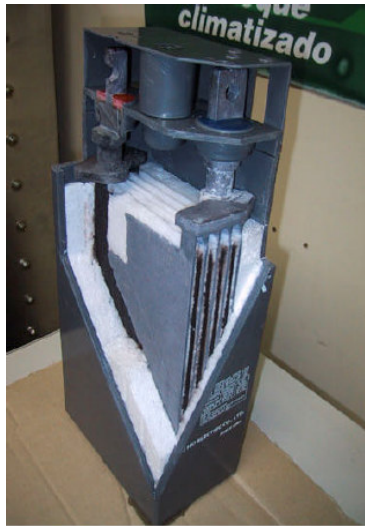


Fig. 1 - Célula de 2V

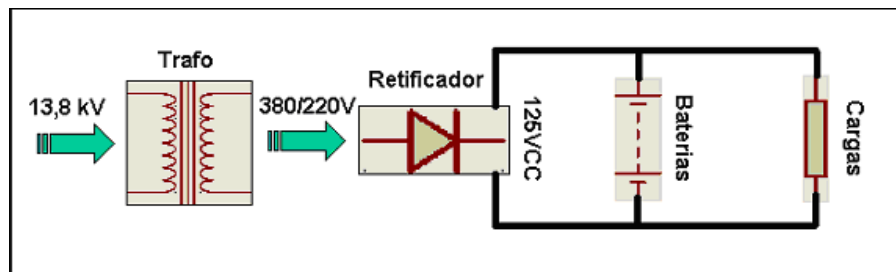


Fig. 2 – Sistema de serviço auxiliar

O sistema de serviço auxiliar é essencial para a operação da subestação (S.E.) uma vez que provê alimentação para todos os relês de proteção, para todo o sistema de automação da SE e para todos os circuitos de manobra, ou seja, uma falha neste sistema paralisa completamente a SE. Além dos aspectos operativos o mais importante é o aspecto de segurança, pois o sistema de proteção pode ficar inoperante, o que gera um grande risco para as instalações, o sistema elétrico, os funcionários e os clientes. Em função do exposto anteriormente fica claro que o sistema de serviço auxiliar deve ter elevada disponibilidade e confiabilidade, o que advém de seus componentes. Neste intere o banco de baterias deve ser tratado como um elemento chave do sistema e todos os esforços devem ser enveredados no sentido de sua utilização adequada. Por outro lado um banco de baterias não é um elemento barato tendo um custo médio em torno de R\$ 8.000,00, no caso de bancos de 75Ah e de cerca de R\$17.000,00 para os de 150Ah. Além do custo direto com o banco há também os custos envolvidos na substituição do banco, bem como o custo intangível à imagem da empresa.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é o aspecto ambiental, cada vez mais presente e importante. Tendo-se em mente que as baterias são compostas por elementos perigosos tais como

chumbo e ácido sulfúrico, fica claro que a produção, transporte e reciclagem das baterias geram riscos e impactos ambientais consideráveis. Desta forma a melhor forma de mitigar estes riscos e impactos é utilizar as baterias da melhor forma possível, até o final de sua vida útil projetada.

Analisando-se o histórico de substituições de bancos de baterias dos últimos cinco anos verificou-se um grande número de substituições de bancos de baterias, com idades não superiores a três anos, ou seja, com morte prematura, e foi justamente esta constatação que motivou o desenvolvimento deste trabalho.

2. Desenvolvimento

Vamos agora abordar o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico e de um software que permitam o monitoramento do estado de degradação das baterias e dos fatores ambientais e de uso que influenciam em sua vida útil, gerando previsões de tempo de vida remanescente, bem como apontando pontos de melhoria com o intuito de maximizar o tempo de utilização. Este dispositivo deve gerar alarmes de condições críticas e permitir a integração com o sistema de automação de subestações.

2.1. Parâmetros relevantes

Vamos agora relacionar todos os parâmetros que são relevantes na vida útil da bateria, a fim de implementar o monitoramento dos mesmos:

- Temperatura de operação – A temperatura tem uma influência extremamente expressiva na vida útil das baterias.
- Profundidade de descarga – Está diretamente relacionada ao número de ciclos de carga e descarga que a bateria pode suportar durante o tempo de vida. Na figura abaixo vemos esta relação:

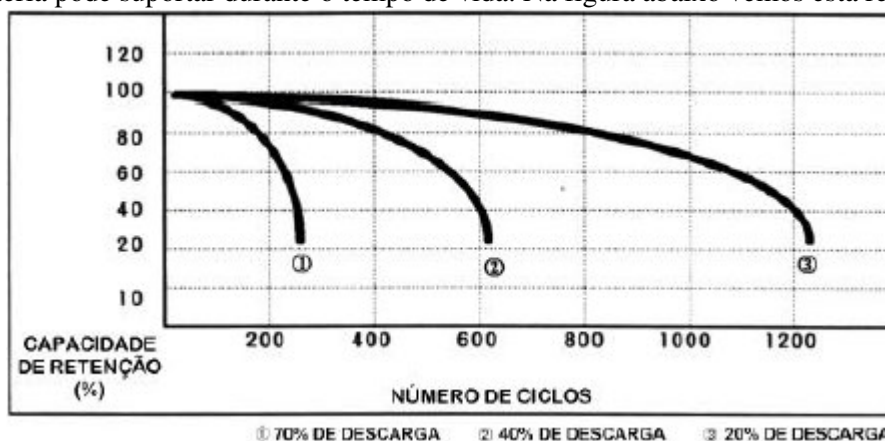
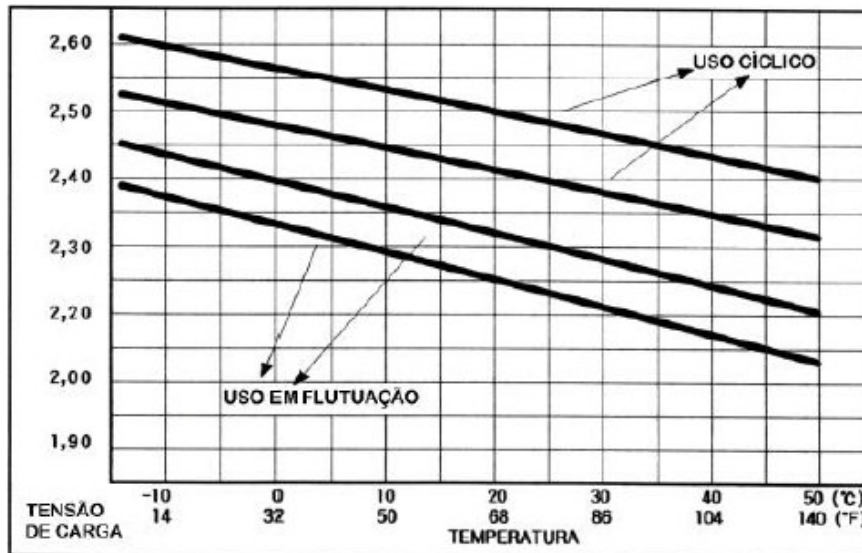


Fig. 3 – Profundidade de descarga X Número de ciclos

É importante lembrar que a vida útil da bateria termina quando ela atinge uma capacidade de retenção de carga de 80% da inicial.

- Tensão de flutuação – Está diretamente relacionada com a produção de gases na bateria. As baterias reguladas por válvulas produzem internamente hidrogênio e oxigênio durante a carga e sobrecarga. Estes gases são liberados na forma de uma mistura explosiva em baterias convencionais chumbo-ácidas, portanto, não podem ser acumulados em um recipiente hermético, poderia ocorrer uma explosão se uma faísca entrasse em contato com este ambiente. Para evitar isso nas baterias VRLA o oxigênio é recombinado nos eletrodos, desde que sejam utilizadas as taxas recomendadas de carga e sobrecarga, deste modo não ocorre saída deste gás. Já o hidrogênio é liberado em baixa quantidade o que é essencial a cada ciclo para assegurar a continuidade do equilíbrio químico interno. O modelo de bateria utilizado na CELPE opera com uma tensão de 2,23V por elemento e apresenta um volume de gás emitido de aproximadamente 0,25ml/dia/Ah/Elemento.

A quantidade diminuta de gases que são liberados da bateria nas tensões recomendadas de carga dissipa-se normal e rapidamente na atmosfera. O hidrogênio apresenta dificuldade de ser mantido em recipientes herméticos, a não ser que estes sejam de metal ou de vidro, ou seja, podem atravessar recipientes de plástico de forma razoavelmente rápida. Pelas características destes gases e pela dificuldade de mantê-los contidos, a maioria das aplicações que os envolve permitirá que sejam liberados para a atmosfera. Por isso nossas baterias não devem ser utilizadas em ambientes herméticos. Por outro lado a tensão de flutuação também é afetada pela temperatura que deve ser corrigida, conforme o gráfico abaixo:



TEMPERATURA (°C)	0	10	20	25	30	35	40	50
TENSÃO/ELEMENTO	2,32	2,28	2,25	2,23	2,21	2,20	2,19	2,18

Fig. 4 – Influencia da temperatura na tensão de flutuação por elemento

No gráfico abaixo vemos como a compensação da tensão de flutuação influencia a expectativa de vida da bateria:

Temperatura (° C)	Expectativa de Vida (Anos)	
	Sem Compensação	Com Compensação
20	11	12
25	10	10
30	5	7,0
35	4	5,0
40	3	3,5
45	2	2,5
50	>1	<1,0

Fig. 5 – Expectativa de vida da bateria com e sem correção da tensão de flutuação

- Corrente máxima de carga – A corrente máxima a que a bateria deve ser submetida durante o processo de carga deve ser limitada, pois uma corrente superior à recomendada provoca um aumento excessivo na produção de gases e conseqüentemente a diminuição da vida útil. Nas baterias utilizadas pela CELPE este valor não deve exceder 0,25C10, ou seja, 25% da corrente

nominal no regime de carga de 10 horas. Por exemplo, para uma bateria de 75Ah em C10 a corrente máxima é de 18,75A.

- Resistência Interna – Neste projeto utilizamos as medidas de resistência interna de duas fontes distintas, a primeira é um medidor de condutância comercial da Midtronics e a outra é a medição através de nosso dispositivo, que utiliza uma corrente alternada para realizar a medida, entretanto não a injeta, ela é produzida através da modulação de uma carga posta nos terminais da bateria ou do banco. Este método permite um monitoramento automático e constante.
- Ciclo de carga e descarga – A vida útil da bateria esta relacionada a ciclos de carga e descarga, bem como a profundidade de descarga. Vamos monitorar estes ciclos, considerando como ciclo uma descarga de profundidade mínima de 20% e a condição de carga completa quando a corrente da bateria permanecer constante durante no mínimo 3 horas.

2.2 Projeto

Neste tópico vamos abordar o projeto do dispositivo propriamente dito. Mas antes vamos fazer algumas considerações básicas sobre o projeto.

O dispositivo objeto deste trabalho, deve ser capaz de realizar a leitura da tensão de flutuação com resolução de 10mV, ler a corrente que circula pela bateria, medir a temperatura das baterias com resolução de 0,1°C, registrar a profundidade de descarga e o numero de ciclos de carga e descarga e finalmente ler e armazenar a resistência interna da bateria. Por outro lado este dispositivo deve prover 5 saídas digitais através de contatos secos livres de potencial, acionados por condições de alarme. Utilizaremos um contato para alarme de temperatura > 30°C, outro para corrente de carga > 0,25C, outro para tensão de flutuação > 2,32V por elemento, outro para resistência interna elevada e finalmente um para autonomia do banco < 4 horas. O objetivo destes contatos é permitir a integração do dispositivo com o sistema de automação de subestações. Além disso devera ser constituído pela menor quantidade de componentes possível, com elevada confiabilidade. O software deve ser o mais curto, rápido e confiável possível e o custo extremamente baixo. Após a definição das características pretendidas iniciou-se o projeto dividido em duas partes, modulo de monitoramento e modulo de medição da resistência interna os quais descreveremos a seguir.

2.2.1 Modulo de monitoramento

Este modulo é composto por 4 sub-modulos detalhados abaixo.

2.2.1.1 Medição de temperatura

Para realizar a medição de temperatura vamos utilizar o consagrado LM35, que prover uma medição de temperatura bastante precisa com uma relação de 10mV/ °C, a saída deste circuito é aplicada na entrada do conversor A/D AN1 do microcontrolador. A utilização deste chip é bastante simples como indicado abaixo:

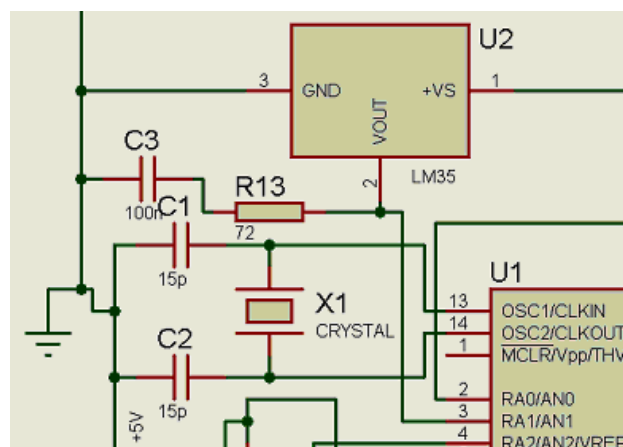


Fig. 6 – Circuito para medição de temperatura

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	8K
Data Memory (bytes)	368
EEPROM Data Memory	256
Interrupts	14
I/O Ports	Ports A,B,C,D,E
Timers	3
Capture/Compare/PWM modules	2
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions

Fig. 9 – Características do PIC16F877

Este microcontrolador é o cérebro deste módulo, realizando todas as aquisições de dados, operações matemáticas, tratamento dos dados e armazenamento dos dados coletados, além disso ele possui uma porta de comunicação serial (USART) nativa para realizar comunicação com um computador que coletará os dados, ou será utilizada na implementação de um protocolo de comunicação (DNP 3.0 ou MODBUS). Há também uma outra porta de comunicação implementada por software que tem por objetivo, integrar o módulo de monitoramento com o módulo de medição de resistência de interna. O microcontrolador é responsável ainda por gerenciar o teclado, o display serial 16X2 e acionar os módulos de saída quando uma condição de alarme for detectada. Para realizar todas estas tarefas foi desenvolvido um software (firmware) em linguagem assembly, escolhida por permitir um desempenho muito superior em um espaço de memória muito menor do que se fosse utilizada outra linguagem. Além destas funções existe ainda um relógio de tempo real implementado por software que registra a data e a hora de cada leitura armazenada.

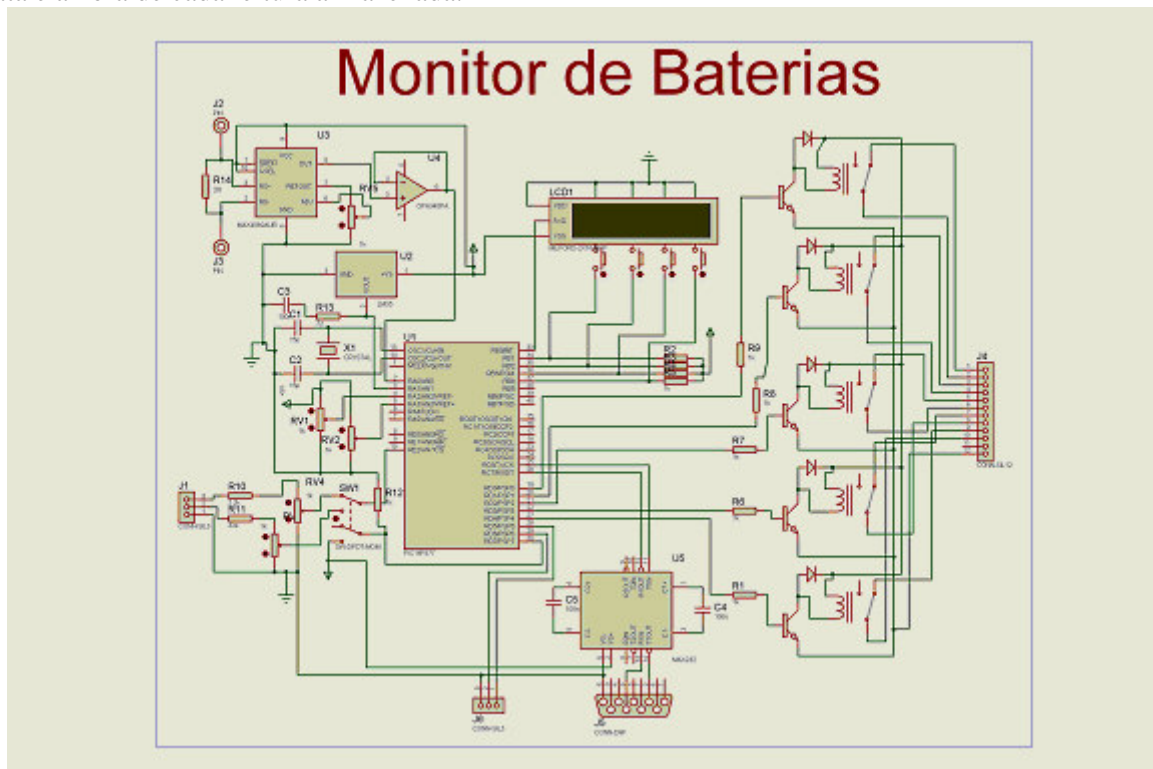


Fig. 10 – Diagrama do módulo monitor

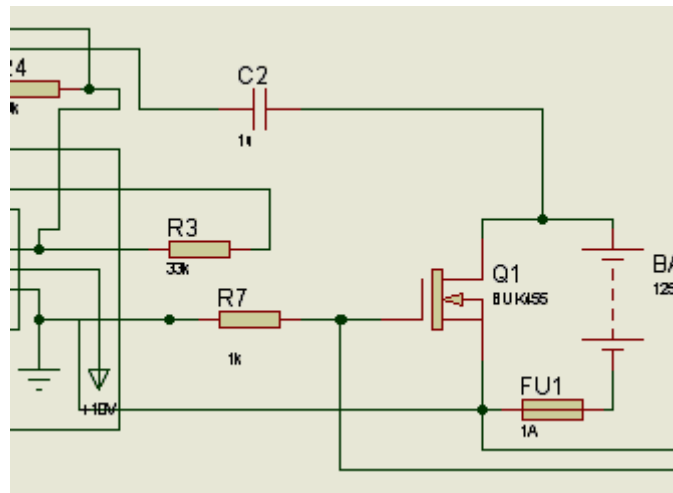


Fig. 12 – Carga modulada

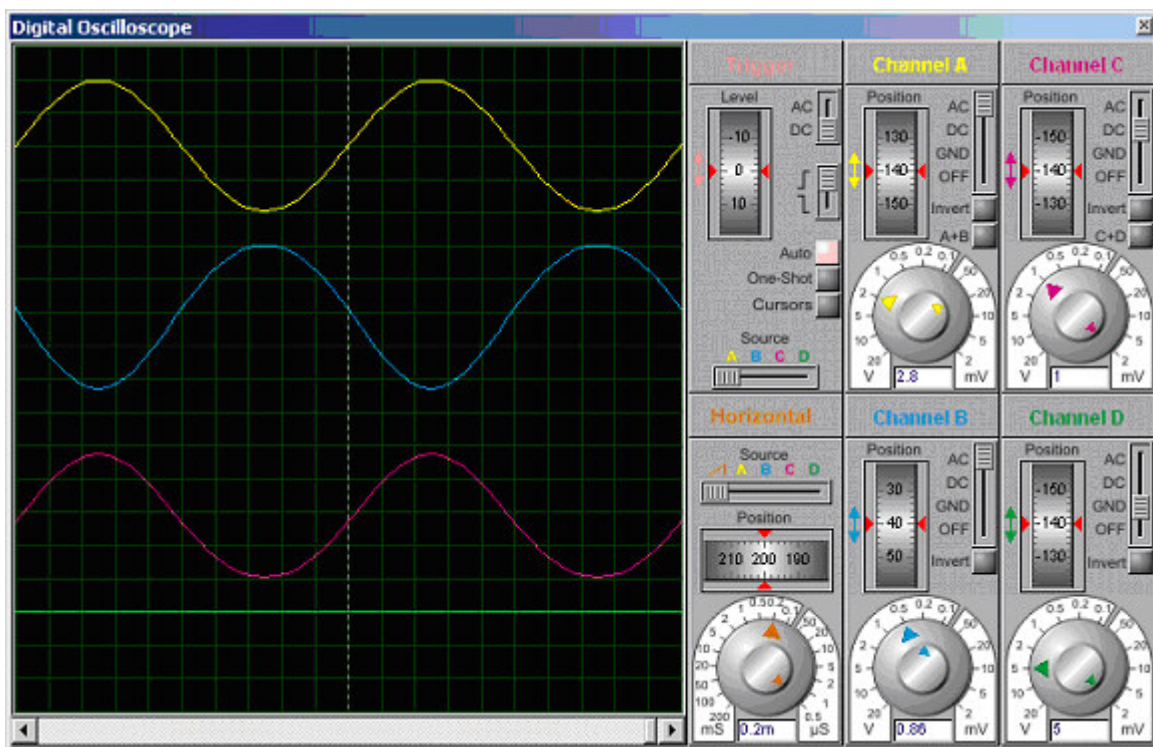


Fig. 13 – Oscilograma da corrente de carga e queda de tensão na bateria

Na figura 13 vemos as formas de ondas geradas pela carga modulada. A onda amarela representa a tensão aplicada a entrada do modulador de carga. A onda azul representa a queda de tensão nos terminais da bateria provocada pela circulação corrente, devido a sua resistência interna. A onda vermelha representa a corrente que a bateria está fornecendo a carga, e a linha verde representa a referencia ou seja, zero Ampere. Note que a corrente produzida pela carga é continua pulsante, ou seja, com uma forte componente alternada que é posteriormente isolada da onda de tensão pelo modulo de filtro.

2.2.2.3 Filtro passa faixa

Este modulo tem o objetivo de isolar as perturbações de tensão provocadas pela corrente fornecida pela bateria ao modulo, de carga de sinais espúrios, essencial para se obter uma leitura precisa, uma vez que a tensão a ser medida é da ordem de poucos milivolts. Neste projeto vamos utilizar o circuito integrado MF8CCN da National, para realizar esta função. Trata-se de um filtro passa-faixa Butterworth de 4ª ordem.

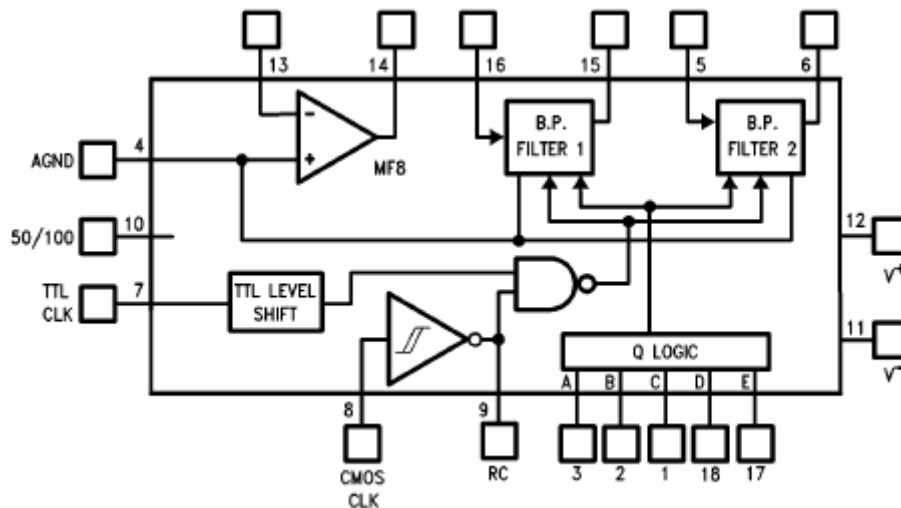


Fig. 14 – Diagrama de blocos simplificado do MF8

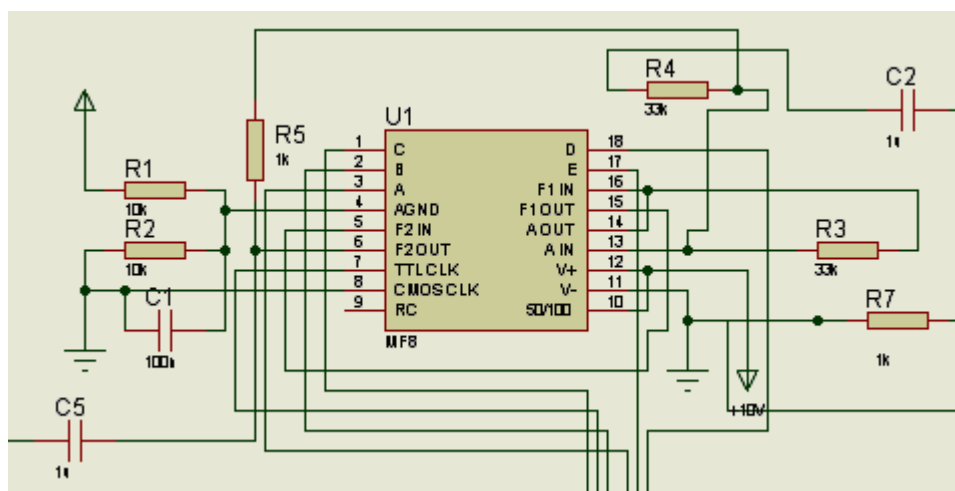


Fig. 15 – Filtro passa-faixa de 4ª ordem

2.2.2.4. Microcontrolador PIC16F876

O microcontrolador PIC16F876, que tem arquitetura idêntica ao PIC16F877, porém com um número menor de I/O's e A/D's. Este microcontrolador tem a função de adquirir as ondas de tensão e corrente, submeter os dados de tensão a um filtro digital de mediana e calcular os valores eficazes true-rms, que serão utilizados para calcular o valor da resistência interna. A resistência interna final é calculada a partir da média de 50 leituras consecutivas de resistência, isto é feito para minimizar as interferências provocadas por sinais espúrios, segundo Huet [6] para manter a linearidade das leituras o valor da queda de tensão provocada pela resistência interna da bateria não deve ultrapassar 10mV. Este módulo também dispõe de duas portas de comunicação (USART), sendo, uma para comunicar com o módulo de monitoramento e outra para comunicar com o módulo gerador de ondas aleatórias.

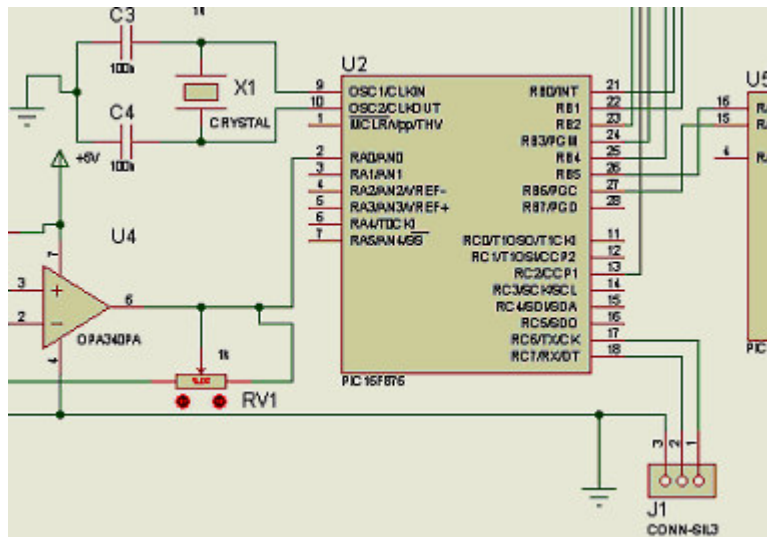


Fig. 16 - Microcontrolador

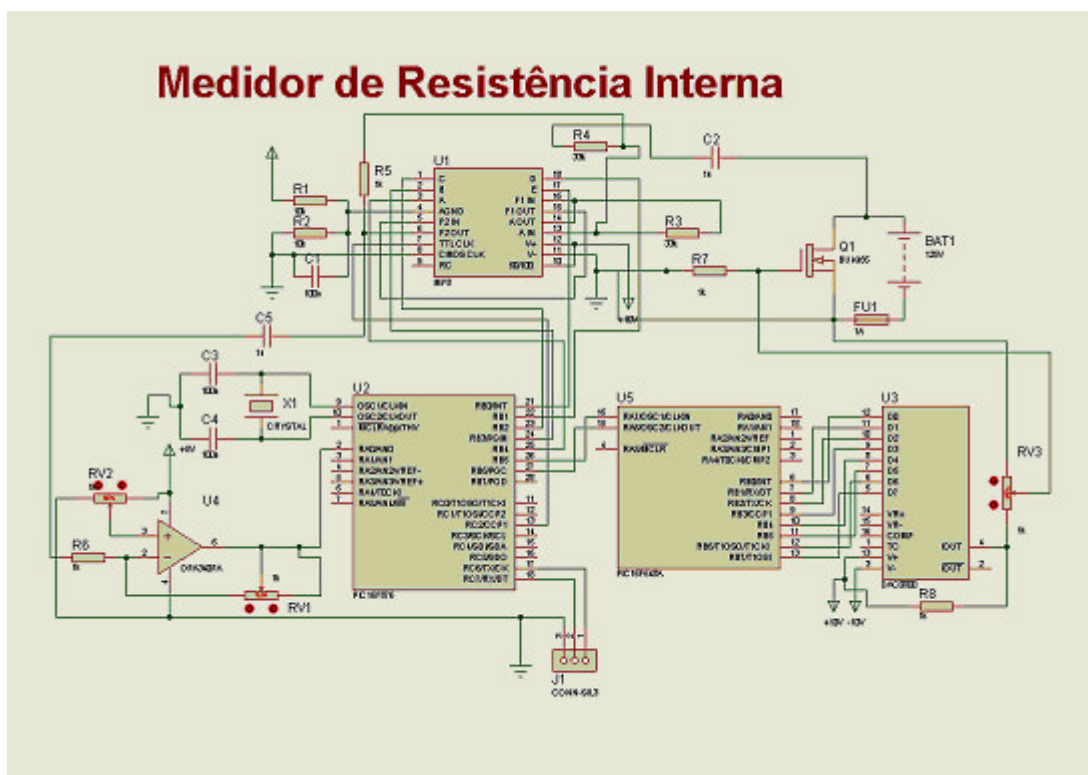


Fig. 17 – Diagrama do modulo medidor de resistência interna

A medição da resistência interna é um processo iniciado por de uma requisição do modulo de monitoramento, feita através da porta de comunicação. Após receber o valor requisitado, este é armazenado em sua memória EEPROM. Para garantir a integridade dos dados trocados entre o modulo de monitoramento e o modulo de medição de resistência, foi desenvolvido um protocolo de comunicação cujo datagrama pode ser vislumbrado abaixo.

ID	Endereço	Dado	Espelho	CRC		
5	6	5	1	254	15	130
00000101	00000110	00000101	00000001	11111110	00001111	10000010

Fig. 18 – Exemplo de um datagrama de comunicação entre módulos

3. Conclusão

O dispositivo objeto deste trabalho demonstrou condensar a metodologia de monitoramento e determinação da resistência interna que nos permite estimar o estado de degradação de uma bateria de forma bastante eficaz. A implementação deste trabalho traz retorno financeiro de cerca de R\$ 17.000,00 por subestação, pois garante o uso e acondicionamento correto das baterias permitindo que as mesmas sejam utilizadas durante toda a vida útil projetada, ou seja, pelo menos 10 anos o triplo do tempo de utilização observado em alguns bancos de baterias utilizados em subestações.

Entretanto seu maior impacto foi o aumento da confiabilidade do sistema de serviço auxiliar da subestação que se reflete diretamente na disponibilidade e confiabilidade da mesma. Outro ganho auferido foi a implementação do alarme relacionado a autonomia do banco o que permitiu um melhor planejamento das ações de manutenção. Finalmente e não menos importante houve também um ganho para o meio ambiente, uma vez que reduziu-se a quantidade de recursos naturais utilizados, e conseqüentemente o impacto ambiental já que tanto o processo de fabricação quanto o de reciclagem utilizam energia e recursos naturais. Foi montado um protótipo dos módulos de medição e monitoramento, que se encontra em fase de homologação. A utilização destes módulos automatiza o monitoramento resultando em uma melhor manutenção e com certeza agregando valor ao sistema.

4. Referencias

- 1 - Cardoso, P. E. R. – “Estudo de correlação de parâmetros elétricos terminais com características de desempenho em baterias”, dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 30 de Agosto de 2005;
- 2 - Davis, E.; Funk, D. And Johnson, W., “Internal Ohmic Measurements and Their Relationship to Battery Capacity”, BATTCON 2002 – EUA;
- 3 - Takasaki, T.; Takano, K. and Ichimura, M., “Deterioration Measuring Method of VRLA Battery Used in UPS Systems”, Intelec’96, Boston – USA;
- 4 - Huet, F., “A Review of Impedance Measurements for Determination of the State-of-Charge or State-of-Health of Secondary Batteries”, J. Power Sources 70 (1998) 59-69;
- 5 - Microchip, PIC16F87X Data sheet DS30292B, 1999;
- 6 - Microchip, PIC16F62X Data sheet DS40300C, 2003;
- 7 - Newmax, Manual Técnico (serie 2V), São Paulo, 2005;
- 8 - NBR 14205 - “Acumulador Chumbo-ácido Estacionário Regulado por Válvula - Ensaios”, emissão outubro 1998.
- 9 - IEEE Std 450-2002 - IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications