



São Paulo 2004

Fonte PWM Estabilizada em Corrente e Sistema de Medidas de Potencial baseado em Microcontrolador para aplicações em Geoeletrica.

Francisco Yukio Hiodo, Kleiton Blane, Nilton P. Silva, Luiz Galhardo Filho
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP)
E-mail: francisc@iag.usp.br, nilton@iag.usp.br

Copyright 2004, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do I SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo

No presente trabalho foi projetado uma fonte de potência usando o conceito de chaveamento por PWM (*pulse width modulation*) de alto rendimento para uso em prospecção geoeletrica, tanto para sondagens elétricas verticais quanto caminhamento dipolo-dipolo. Ela pode operar nos modos de corrente ou tensão estabilizadas, com flutuação menor que $\pm 1\%$. Os dados aqui apresentados referem-se a um protótipo de fonte de potência e de dimensões reduzidas, formado de um módulo de potência de 100W, que poderá fazer parte de um sistema de maior potência constituído de unidades similares a esta.

Para aumentar a performance do sistema e agilizar as medidas foi construído um milivoltímetro digital com cancelamento rápido do potencial eletroquímico eletrodo-solo residual, usando microcontrolador de 8 bits e armazenamento dos dados em memória não volátil.

Introdução

Os métodos geoeletricos e eletromagnéticos são muito usados na localização de descontinuidades laterais tais como fraturas, na prospecção mineral, em sondagens elétricas verticais, para pesquisa da profundidade do nível freático. Também são utilizados em trabalhos de Geotecnia, Arqueologia, e no mapeamento de contaminantes na área de poluição ambiental. Apesar do método eletromagnético ter maior rendimento de campo, o método geoeletrico é mais acessível no Brasil atualmente, de menor custo e o software para tratamento dos dados é de domínio público.

O método geoeletrico necessita de uma fonte de potência para injeção de corrente no solo por meio de 2 eletrodos e de um milivoltímetro para medida de potenciais elétricos na superfície, decorrentes da corrente aplicada. Apesar de sua aparente simplicidade, os equipamentos geoeletricos pouco evoluíram desde o seu surgimento no Brasil.

Geralmente estas fontes são constituídas de módulos internos que ligadas em série num total de até 4 podem atingir a tensão de 1.000 Vdc, necessária para grande parte das sondagens elétricas.

Alguns equipamentos geoeletricos importados têm ótimas performances, mas são de custo muito elevado. Eles já contém sistemas digitais de aquisição de dados para controle de chaveamento de corrente, e para cálculo de resistividade elétrica aparente e da polarização induzida em tempo real, para diferentes aberturas do arranjo adotado. Isto auxilia o trabalho do operador nas interpretações geofísicas e nas tomadas de decisão, no campo. Os microcontroladores destes equipamentos usam programas residente específicos, que não são fornecidos pelo fabricante. No caso de avaria ou de danos no sistema, a sua manutenção torna-se um problema sério.

Para suprir parte desta lacuna nos equipamentos nacionais, partiu-se para um projeto inovador que viabilizasse a construção de circuitos de comutação de alto desempenho usando componentes de fácil aquisição no mercado, e permitisse a utilização de baterias gell-cell mais leves. O equipamento desenvolvido utiliza técnicas modernas de comutação muito difundido na indústria, tal como as usadas em fontes de microcomputadores. Estes circuitos de frequência elevada (até 300 kHz), operam na faixa de maior rendimento das ferrites industriais, permitindo conversão de tensão de baixa para alta ou vice-versa, com alto rendimentos.

Para agilizar a aquisição dos dados coletados foi desenvolvido um milivoltímetro DC dotado de circuito de cancelamento do potencial (residual) de polarização do eletrodo, baseado em moderno microcontrolador RISC. Os conversores AD e DA de 10 bits deste microcontrolador permitem medidas de potencial e simplificam o circuito de cancelamento de potencial eletroquímico eletrodo-solo antes de cada medida. Além da aquisição temos a armazenagem dos valores medidos em memória não volátil, para posterior processamento em microcomputadores. Estes circuitos digitais dão grande confiabilidade aos dados adquiridos no campo.

Descrição do equipamento.

O equipamento desenvolvido consiste basicamente de uma fonte de corrente e um sistema de medida digital, conforme figuras 1 e 2 respectivamente.

A fonte de corrente é uma fonte chaveada PWM (*pulse width modulation*) operando no modo *flyback*, que permite conversão de baixa tensão (24 Vdc) de duas baterias de gell-cell de 12 Vdc e 8 Ah em série, para tensões de até 400 Volts estabilizada em corrente alto rendimento. A flutuação máxima de corrente é inferior a 1%.

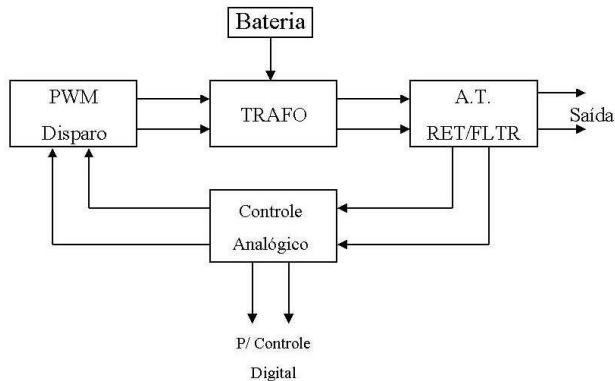


Figura 1. Diagrama em blocos da Fonte de Corrente e Tensão.

A tecnologia PWM empregada consiste na modulação de um pulso digital de período fixo, ou seja, o tempo de duração da fase alta ('1') do sinal digital pode variar de 0 a 100% do período. Este sinal aplicado ao transistor de disparo faz com que circule corrente elétrica pelo primário do transformador durante a fase alta do sinal. O controle da modulação, ou variação, do sinal digital é feito por uma amostra do sinal de saída realimentada negativamente no circuito PWM.

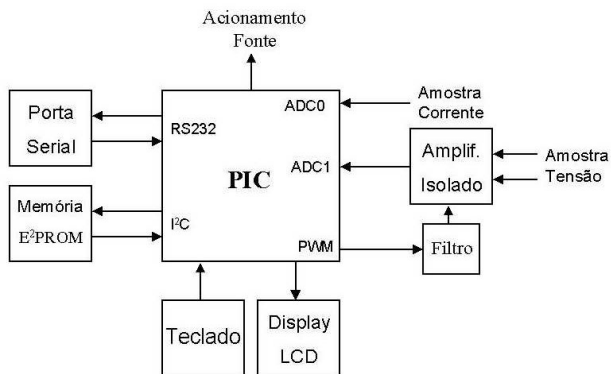


Figura 2: Diagrama de blocos do Controle Digital e Medida.

Assim, quando a amostra da saída cai, o circuito PWM aumenta a largura da fase alta do sinal, que comanda o disparo de corrente no primário do transformador, aumentando a corrente no primário e, conseqüentemente, a potência de saída da fonte.

Um controle analógico se incumbem de selecionar qual das amostras; tensão ou corrente, será controlada dentro de limites ajustáveis pelo operador. Assim a nem a tensão de saída nem a corrente de saída excedem os valores ajustados. Em casos onde a saída fique em aberto ou em casos de curto-circuito este módulo de estabilização e limitação atua, protegendo, com segurança toda a fonte. Também são emitidos sinais luminosos e sonoros para advertir o operador de situações críticas. Cada modo de operação, tensão ou corrente estabilizada, são indicados por diodos luminosos LED dispostos no painel de controle.

Associado a fonte de corrente foi desenvolvido um circuito de medida e controle digital, onde tem-se um display de cristal líquido de 2 linhas com 16 caracteres/linha e 3 botões (teclado) para navegação no menu de configuração do sistema, figura 3.

No módulo digital, figura 2, há duas entradas analógicas que são conversores analógico digitais (ADC0 e ADC1) internos ao microcontrolador PIC, para as medidas da tensão nos eletrodos e de corrente fornecida pela fonte. Este microcontrolador faz o processamento e armazenagem em memória não volátil EEPROM de todas medidas realizadas além de gerenciar o teclado e o display.

Para as medidas de potencial espontâneo e potencial devido a injeção de corrente no solo (sondagem ou caminhamento geolétrico), o circuito digital mede o potencial espontâneo, com a fonte de corrente desativada, e faz a compensação do mesmo, zerando a entrada do sistema de medida através de um conversor digital analógico (DAC, que consiste de um PWM, interno ao microcontrolador, associado a um filtro passa baixas), veja figura 3 do fluxograma da rotina de medida e figura 2 do PWM interno ao microcontrolador.

Uma vez zerada a entrada analógica do sistema, o microcontrolador trava o valor de saída do DAC, transferindo a entrada do ADC1 para leitura da diferença de potencial (V) dos eletrodos porosos. Então a fonte chaveada de potência é acionada para introdução de corrente (I) no solo. Conhecendo-se os valores da diferença de potencial nos eletrodos, a corrente injetada no solo, e também o fator geométrico do arranjo utilizado, o programa residente do microcontrolador calcula o valor da resistividade elétrica aparente, apresentando-o em seguida, no visor LCD, além de armazenar os dados brutos na memória, ver figura 3.

Como todo o controle de compensação do potencial espontâneo é digital e automático, os problemas de fuga de corrente e de deriva de tensão que ocorrem em circuitos analógicos de servocontrole desaparecem, permitindo medidas precisas de potenciais espontâneos durante qualquer período de tempo, sem nenhum ajuste manual.

Ao final de cada medida o microcontrolador dá a opção de gravar os dados brutos numa memória não

volátil E²PROM através de protocolo I²C, esta memória tem capacidade gravar cerca de 16000 dados discretos. Também estes dados podem ser transferidos diretamente para um computador comum ou notebook via comunicação serial RS232.

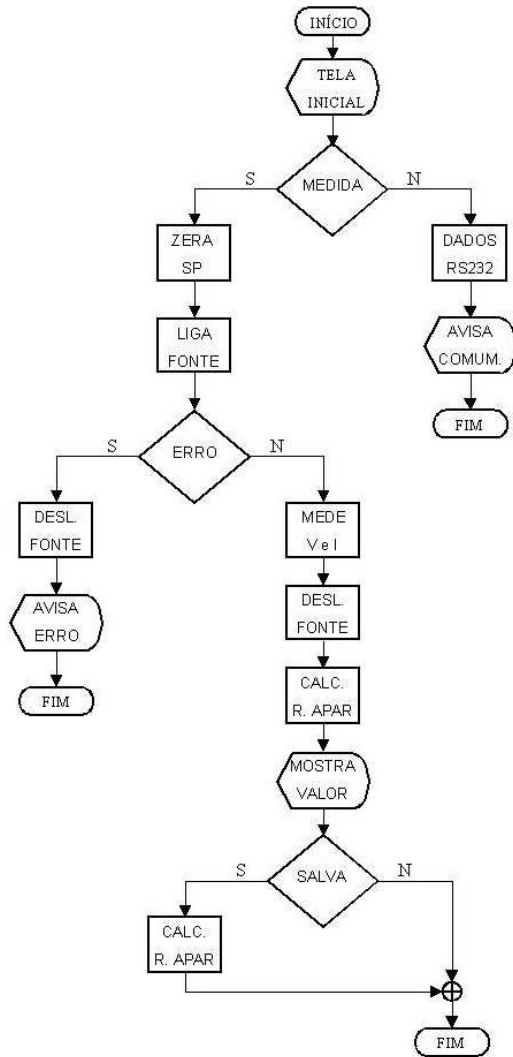


Figura 3 : Fluxograma do Controle Digital.

Resultados preliminares obtidos

No primeiro teste de bancada foram levantadas as curvas teórica (equação do modo flyback abaixo) e experimental, figura 4, da corrente de saída da fonte contra o ciclo de trabalho definido como a porcentagem do período que o circuito PWM aplica corrente ao primário do transformador de ferrite, tudo isso com uma carga fixa na saída de 3750 Ohms.

A equação do flyback:

$$I_{saída} = \frac{N2}{N1} \times \frac{Ve}{3750} \times \frac{\delta}{1-\delta}$$

Onde:

I é a corrente de saída fonte.

N2 é o nro de espira secundário do transformador.

N1 é o nro de espira primário do transformador.

Ve é tensão de entrada da fonte (24Vdc).

3750 é o valor da Carga.

δ é o ciclo de trabalho em %.

A freqüência de operação adotada do oscilador do PWM foi de 30 kHz. Nota-se que para a região de ciclo de trabalho menor que 50%, a curva medida supera a teórica para o mesmo ciclo de trabalho visualizado em osciloscópio digital, mas com um rendimento muito baixo (veja figura 5). Este ciclo é automaticamente ajustado pela realimentação do PWM.

A explicação para este fenômeno é que a configuração flyback não é recomendada para uso em ciclo abaixo de 50%, pois opera como abaixador de tensão, uma rápida inspeção na equação acima demonstra isso. Além disso o rendimento desta faixa é baixo, ver figura 5.

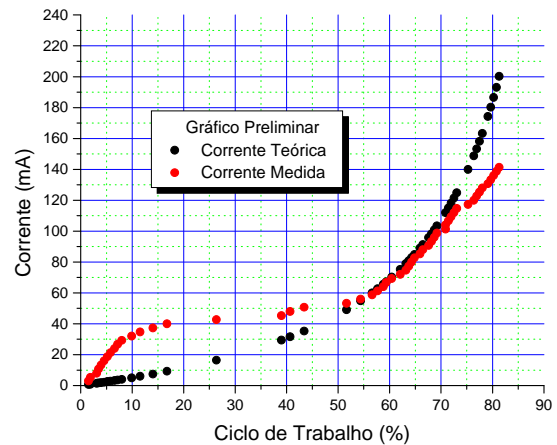


Figura 4. Corrente de saída contra ciclo de trabalho.

Para valores maiores que 50%, as curvas se sobrepõem até 75%, com rendimento de alto (figura 5). Acima dos 75% do ciclo de trabalho a curva teórica fica acima da medida devido a problemas com dissipação de calor no estágio de disparo do transistor do primário.

Na figura 5 é apresentada a curva de rendimento em função do ciclo de trabalho do PWM, nota-se claramente que o rendimento cresce rapidamente com o aumento do ciclo de trabalho, como discutido acima.

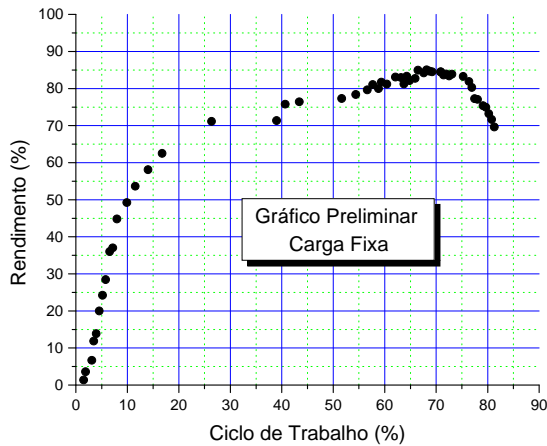


Figura 5. Rendimento contra ciclo de trabalho.

Discussão Final

O protótipo da fonte desenvolvido pode ser melhorado com respeito ao rendimento, principalmente na faixa de ciclo de trabalho superior aos 75% melhorando as condições mecânicas da dissipação e/ ou empregando-se mais de um transistor no disparo.

Para maiores potências, na faixa de equipamentos comerciais, pode-se lançar mão de múltiplos módulos, como este, para se atingir tensões da ordem de 1000 Vdc e potências da ordem de 400W.

O sistema analógico de controle da fonte mostrou-se bastante confiável e pode operar em qualquer sistema independentemente das potências solicitadas. Também o sistema de controle digital mostrou bastante eficaz em termos de operacionabilidade, mas ainda são possíveis melhoras na rotina de aquisição em campo.

Há também de se ressaltar que em todos os estágios foram aplicados módulos de isolamento para segurança dos operadores.

Embora não haja qualquer sistema similar no mercado nacional para comparações, pode-se afirmar que o rendimento do protótipo será bastante satisfatório em campo, principalmente nas questões de peso, volume, economia de baterias e praticidade.

Bibliografia

- 1) Doebelin E. O.-1983-, Measurement Systems Applications and Design. - McGRAW-HILL, 3ª Ed.,pp.876
- 2) Hiodo F. Y.,Ellis, V.R.,Galhardo, L.,Silva N.,Silva, J.E.-2001-Projeto de um sistema semi-automático de medidas de potencial elétrico natural ou induzido do solo para aplicações geolétricas. 7º Congresso Intern. Da Soc. Bras. de Geofísica.
- 3) Mello L.F.P.,-1990-Projeto de Fontes Chaveadas- Ed. Érica,pp296
- 4) Pomilio J. A.-1997- Fontes Chaveadas.-UNICAMP-(FEE 13/95), Apostila do Curso de Pós-Graduação: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/ãntenor/fontchav.html>