UM ESTUDO SOBRE A VIABILIDDE DE IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS CONTROLADORES DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Amine Youssef Helou[1], *Antonio Alves Ferreira Júnior*[2]

Abstract — *Currently the power consumption is an issue that being discussed by too many areas of knowledge. The control of electric energy consumption is an important factor achieves an economy of energy and is directly related to the value of the monthly bill. So, reducing the electric energy consumption, saves money which can be used as investment in others strategy areas in an industry, for example. The purpose of this work is show a circuit that can measure the power consumption and controlling this parameter.*

Index terms — electric energy measurement, RC filter, resistive attenuator, power consumption.

INTRODUÇÃO

Atualmente o consumo de energia elétrica é um assunto que está sendo discutido excessivamente por diversas áreas do conhecimento. O controle do consumo é um facilitador para atingir determinada economia de energia elétrica e está diretamente ligado ao valor da fatura mensal. Assim, reduzindo-se o consumo economiza-se dinheiro o qual poderá ser aplicado como investimento em outras áreas estratégicas de uma determinada indústria, por exemplo. Propõe-se neste trabalho o estudo de um medidor de energia elétrica digital (wattímetro digital) que será instalado na entrada de energia da planta industrial. Este equipamento possuirá comunicação com um computador através de uma interface USB, sendo que o consumo de energia será gerenciado por um programa computacional. É apresentada a proposta do circuito, o estudo e as características de cada bloco deste circuito, bem como resultados obtidos através de simulação.

Descreve-se o funcionamento do bloco medido de tensão (Figura 1), integrante de diversos circuitos de instrumentação. Foram estudados os conceitos como atenuação e filtragem de sinais alternados (AC) provenientes da rede elétrica, Através das simulações e obtenção dos resultados, podem-se gerar curvas e esquemas elétricos do circuito como um todo. As simulações foram geradas através do programa computacional ISIS integrante do pacote PROTEUS v7.4 SP3 do fabricante *Labcenter Electronics*.

REDE DE ENERGIA ELÉTRICA

O padrão da rede de energia elétrica da maioria dos países no mundo é 127Vrms/60Hz. Geralmente, o único parâmetro que pode é alterado, sendo uma questão regional no Brasil, é a amplitude do sinal, havendo casos em que a rede é de 220Vrms/60Hz ou 380Vrms/60Hz. Em alguns países, o padrão de freqüência é de 50Hz. A medida rms foi inventada para manter a equivalência com os valores dc, que era o padrão de alimentação algumas décadas atrás. Quando se usa o termo rms, significa o valor eficaz do sinal e não o seu valor máximo, o qual é conhecido como valor de pico.

Para converter um sinal rms em valor de pico, multiplica-se o valor rms pela raiz quadrada de dois. Por exemplo, o valor de pico de um sinal de 127Vrms é de 180Vp. Dessa forma, escreve-se

$$v(t) = 180\cos(\omega t) \tag{1}$$

onde $\omega = 2\pi f$ rad/s é a freqüência angular, sendo f a freqüência de operação que no caso é igual a 60Hz. A Figura 2 ilustra a amplitude deste sinal em função do tempo.

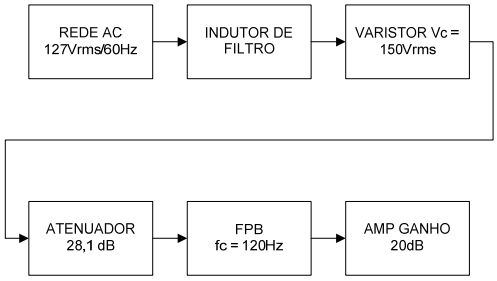

FIGURA 1
DIAGRAMA EM BLOCOS CIRCUITO MEDIDOR DE TENSÃO.

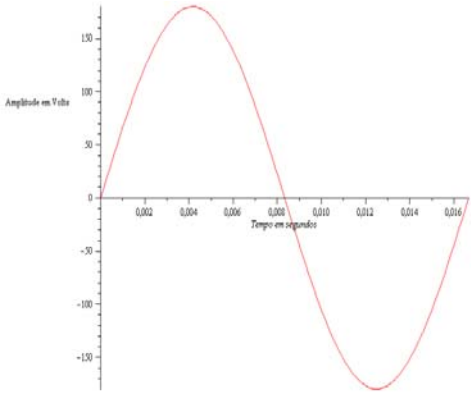

FIGURA 2
SINAL DA REDE ELÉTRICA.

1 Amine Youssef Helou, Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Departamento de Engenharia Elétrica, Avenida João de Camargo, 510, CEP 37540-000, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil, amine@amma.ind.br
2 Antonio Alves Ferreira Júnior, Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Departamento de Engenharia Elétrica, Avenida João de Camargo, 510, CEP 37540-000, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil, antonioa@inatel.br

INDUTOR DE FILTRO

O indutor é um componente reativo e que apresenta uma característica conhecida como reatância indutiva, a qual é dependente da freqüência de operação, sendo dada por

$$X_L = \omega L \tag{2}$$

onde L é a indutância em H. Através de (2), quanto maior for a freqüência, maior será a reatância indutiva. Assim, o indutor se comporta como um circuito aberto para freqüências muito elevadas e dependendo do seu valor de indutância. Dessa forma, sua função no circuito medidor de tensão é evitar que componentes de freqüências altas interfiram no circuito, ou seja, os ruídos de alta freqüência.

VARISTOR

Um varistor ou VDR (*Voltage Dependent Resistor*) é um componente eletrônico cujo valor de resistência elétrica é uma função da tensão aplicada nos seus terminais. Isto é, a medida que a diferença de potencial sobre o varistor aumenta, a sua resistência diminui. Os VDRs são geralmente utilizados como elemento de proteção contra transientes de tensão em circuitos elétricos, tal como em filtros de linha. São associados em paralelo com o circuito que se deseja proteger. Apresentam uma característica de limitador de tensão, impedindo que surtos de pequena duração cheguem ao circuito, e no caso de picos de tensão de maior duração, a alta corrente que circula pelo dispositivo faz com que o dispositivo de proteção (disjuntor ou fusível) desarme, desconectando o circuito da fonte de alimentação [1].

ATENUADOR RESISTIVO

Para efetuar a medida de tensão é necessária a diminuição do nível de sinal da rede, pois os componentes eletrônicos operam com tensões geralmente menores que 12V. No caso da tensão da rede o nível eficaz é de 127V alternado. Para podermos medir este sinal é necessário atenuarmos sua amplitude em aproximadamente 50 vezes e remover o semi-ciclo negativo, ou seja, retificando o sinal. Então o fator linear de atenuação é $k = 50$, que em decibel resulta em aproximadamente 34dB.

Existem diversos modelos de atenuadores que são utilizados em sinais de áudio e também em sinais de baixa freqüência. Além de atenuarem o nível de tensão, também são utilizados para efetuam o casamento de impedância entre a entrada e a saída do circuito. Realizar o casamento de impedâncias do lado da rede é um pouco complicado visto que a impedância da rede, o gerador no caso, sofre diversas variações não-lineares. Por este motivo, este assunto não será abordado neste trabalho.

Os modelos de atenuadores mais utilizados são nas configurações em L (*pads*), H, Pi e T. Quando a carga for desbalanceada, a configuração mais indicada é a configuração em T. Caso a carga seja balanceada, a configuração em H é mais comum. As Figuras, 3, 4, 5 e 6 ilustram estas configurações [2].

O dispositivo utilizado no projeto é uma associação de dois atenuadores L em cascata (Figura 7). Ao se aplicar uma tensão de 127Vrms na entrada, obtemos uma tensão na saída de aproximadamente 5Vrms. O ganho linear total deste circuito é de aproximadamente $39{,}4\times10^{-3}$ na escala linear, e em decibel igual a -28,1dB. Para $R_1 = R_3 = 100\text{k}\Omega$ e $R_2 = R_3 = 470\text{k}\Omega$, a resistência equivalente será igual a 555,07kΩ. A função de transferência deste circuito é dada por

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\dfrac{(R_3 + R_4)R_2}{R_2 + R_3 + R_4}}{\dfrac{(R_3 + R_4)R_2}{R_2 + R_3 + R_4} + R_1} \tag{3}$$

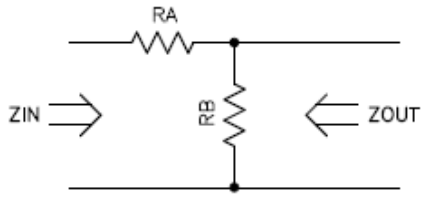

FIGURA 3
ATENUADOR EM L (*PADS*).

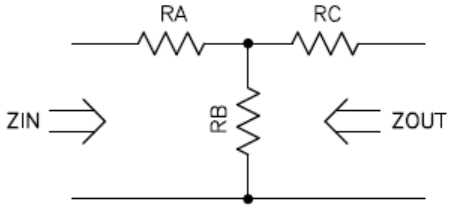

FIGURA 4
ATENUADOR EM T.

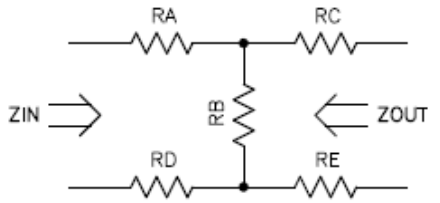

FIGURA 5
ATENUADOR EM H.

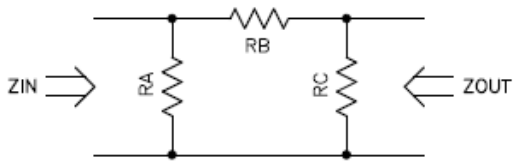

FIGURA 6
ATENUADOR EM PI.

O circuito foi simulado aplicando-se um sinal de entrada de 127V/60Hz e utilizando os valores propostos para os componentes, sendo apresentado na Figura 8. As Figuras 9 e 10 mostram, respectivamente o sinal de entrada e o sinal de saída atenuado, em função do tempo.

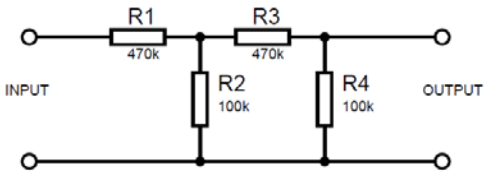

FIGURA 7
ATENUADOR EM CASCATA.

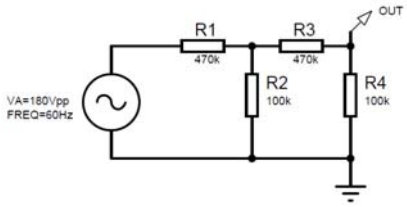

FIGURA 8
CIRCUITO UTILIZADO PARA A SIMULAÇÃO DO ATENUADOR.

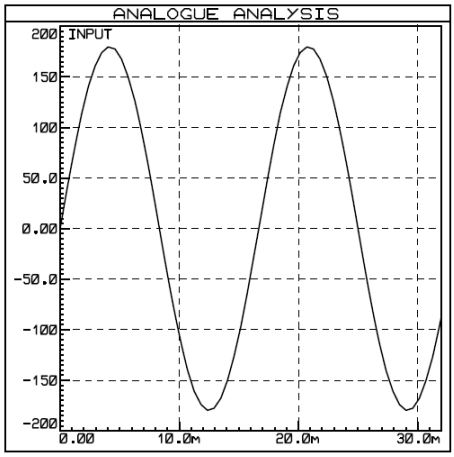

FIGURA 9
SINAL DE ENTRADA DE 127V/60HZ.

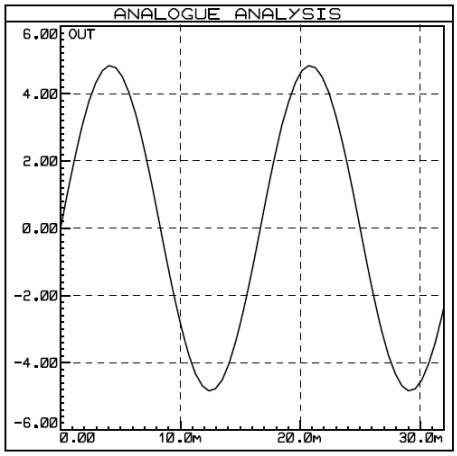

FIGURA 10
SINAL DE SAÍDA ATENUADO DE 28,1DB.

FILTRO PASSA-BAIXAS

A Figura 11 ilustra o circuito para o filtro passa-baixas do tipo RC de primeira ordem. A freqüência de corte deste circuito é calculada por

$$f_C = \frac{1}{2\pi RC} \tag{4}$$

Ao se calcular uma determinada freqüência de corte, normalmente os valores encontrados para os componentes não são comerciais. Assim, escolhe-se um valor comercial para o capacitor e calcula-se o valor do resistor, que dependendo da precisão pode ficar mais fácil de ser encontrado. Caso o valor fique muito fora do comercial, utilizam-se arranjos paralelos e/ou em série para obter o valor desejado.

Desejando uma freqüência de corte em 120Hz e adotando-se um capacitor comercial de 100nF, encontra-se uma resistência de 13,26kΩ. O valor comercial mais próximo é de 13kΩ. As Figuras 12 e 13 ilustram o circuito utilizado na simulação e a curva da resposta em freqüência do dispositivo. A região plana do gráfico é conhecida como faixa de passagem. A freqüência de corte é definida como sendo a freqüência diminui de 3dB em relação ao seu valor máximo. Uma queda de 3dB na escala logarítmica equivale a metade da amplitude na escala linear em termos de potência e a 0,707 em termos de tensão. Na curva apresentada, ocorre em torno de 120Hz como era esperado. Tal freqüência já é considerada ruído para um sinal de 60Hz.

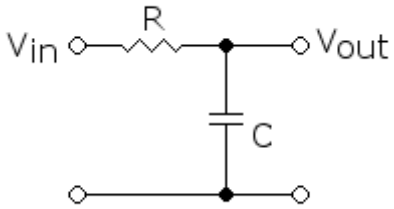

FIGURA 11
FILTRO PASSA BAIXAS RC DE 1ª ORDEM.

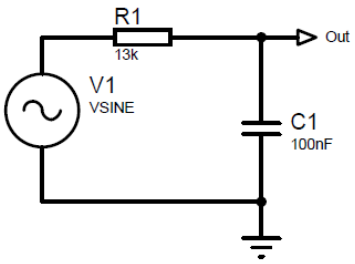

FIGURA 12
CIRCUITO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO.

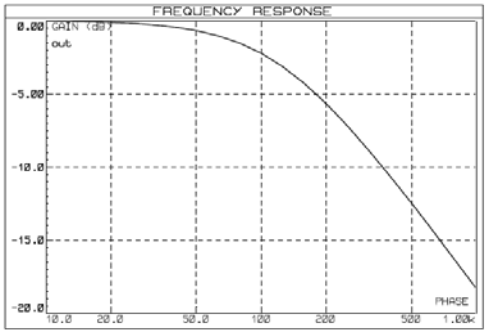

FIGURA 13
RESPOSTA EM FREQÜÊNCIA DO FILTRO PASSA BAIXAS.

CIRCUITO DO MEDIDOR DE TENSÃO

Com todos os blocos apresentados anteriormente dimensionados, o próximo passo é definir o restante dos componentes que compõem o esquema elétrico do circuito de medição de tensão. Utiliza-se um indutor de 10uH na entrada do circuito para evitar que freqüências muito elevadas passem para o circuito. Para proteger o circuito contra sobre-tensão (transientes) é necessário o uso de um varistor em paralelo com a rede, sendo sua tensão de corte igual a 150Vrms. Para valores maiores que 150Vrms o varistor protegerá o circuito, enviando o surto para o neutro [3]-[4]. Após o sinal ser atenuado e filtrado faz-se uso de um amplificador operacional na configuração diferencial com ganho igual a 20dB. Como o sinal será tratado por um dispositivo digital, não pode haver sinais com polaridade negativa em seus terminais. A solução foi somar um nível de 2,4Vdc ao sinal alternado (*offset*) medido, eliminando a parte negativa do sinal. A função na entrada do conversor analógico-digital é

$$v(t) = 2{,}4 + A\cos(\omega t) \qquad (5)$$

Para recuperar o sinal lido corretamente utiliza-se um algoritmo bem simples. Lê-se o valor máximo e subtrai-se o valor fixo de 2,4Vdc. A Figura 14 mostra o fluxograma da seqüência de operações. Como exemplo, caso o valor de pico do sinal medido for igual a 3,5Vdc, o resultado final apresentado pelo algoritmo será igual a 1,1Vdc. A Figura 15 mostra de forma mais completa o esquema elétrico do circuito medidor de tensão.

CONCLUSÃO

Ao concluir este estudo foram adquiridos conhecimentos relevantes na parte de instrumentação. O fato de medir um sinal AC através de um dispositivo DC abre novas possibilidades de aplicações no âmbito da instrumentação e na automação industrial e de outras naturezas. O uso de filtros e de dispositivos de proteção não é apenas uma opção e sim uma necessidade em várias áreas, principalmente nos setores de telecomunicações e da engenharia biomédica.

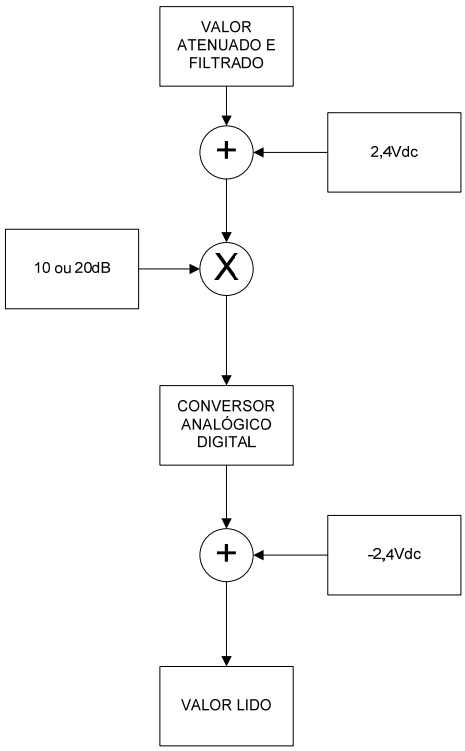

FIGURA 14
FLUXOGRAMA DE AMOSTRAGEM DE TENSÃO.

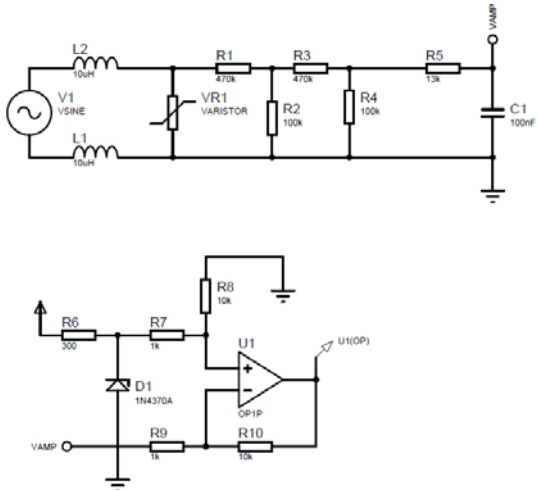

FIGURA 15
CIRCUITO COMPLETO DO MEDIDOR DE TENSÃO.

REFERÊNCIAS

[1] Bertini, L, A, "Fontes Chaveadas e Conversores DC-DC", 1 ed., Antenna, 2007.

[2] Dorf, R, C, Svoboda, J, A, "Introdução aos Circuitos Elétricos", 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

[3] King, C, "Application Note AN994", Disponível em: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en024058.

[4] Rajbharti, N, "Application Note AN833", Disponível em: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en011993.