

Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

Medidor de Potência Elétrica

Curitiba

2012

Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

Cesar Augusto Corsico
Guilherme Hatschbach Glir

Medidor de Potência Elétrica

Projeto realizado sob a orientação do Prof. Marlio J. do C. Bonfim, Dr., como requisito para obtenção de nota parcial da disciplina TE-149 – Instrumentação Eletrônica – do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Curitiba

2012

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	4
2.1 Princípios de sensoriamento.....	4
2.1.1 Tratamento elétrico do sinal.....	5
2.1.2 Conversão Analógico/Digital.....	6
2.2 Princípios de medição de potência elétrica.....	7
3 PROJETO	10
3.1 Definições de operação.....	11
3.2 Critérios de escolha dos sensores.....	11
3.3 Circuitos de condicionamento de sinais.....	13
4 CÁLCULOS DE PROJETO	19
5 PROPOSTAS DE MELHORIAS E OBSERVAÇÕES	25
CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
ANEXO A	28
ANEXO B	29
ANEXO C	34
ANEXO D	35

INTRODUÇÃO

A medição da energia elétrica se torna necessária para permitir à concessionária de energia local cobrar de cada usuário a quantidade de energia elétrica consumida dentro de uma tarifa estabelecida. Mais do que a obrigação do pagamento da fatura por parte dos usuários, é um direito de todo consumidor fazer o controle de seu próprio consumo, evitando assim desperdícios que possam acarretar em um aumento na cobrança ou até mesmo na identificação dos equipamentos que mais consomem energia.

Não apenas por questões econômicas, mas principalmente ambientais, o controle do consumo de energia elétrica se torna necessário a fim de garantir a continuidade da distribuição com os menores danos ambientais possíveis. O uso consciente traz inúmeras vantagens aos usuários – evitando-se o desperdício, a concessionária de distribuição é capaz de manter as tarifas a um preço justo por serviços de qualidade.

Há duas formas de potência que normalmente são mensuradas e tarifadas: *potência ativa (P)*, medida em *watts* e *potência reativa (Q)*, medida em *Var*. Clientes residenciais e comerciais são normalmente cobrados apenas pela potência ativa consumida – isso significa que apenas a potência que efetivamente realiza trabalho é tarifada. Isto se deve ao fato de que por conta da natureza dos equipamentos instalados nessas unidades o consumo de potência reativa é muito baixo comparado ao de potência ativa, inviabilizando a instalação de medidores de potência reativa. A potência reativa consumida por equipamentos tais como motores só é medida em consumidores industriais, visto que o volume de consumo é alto e o consumo excessivo de potência reativa pode trazer inúmeros problemas à rede elétrica e ao sistema

em geral. A quantidade de potência ativa consumida e a *potência total aparente (S)*, medida em VA, entregue ao consumidor estão relacionadas ao *fator de potência (FP)*. Para cargas resistivas, tensão e corrente estão em fase e, portanto, não há potência reativa sendo consumida. Neste caso, o fator de potência é unitário. Cargas indutivas ou capacitivas atrasam ou adiantam, respectivamente, a onda de corrente em relação à onda de tensão. Em outras palavras, nem toda potência entregue pela fonte é consumida, sendo parte devolvida ao final de cada ciclo. Essa potência devolvida é definida como potência reativa. O cosseno do ângulo formado pela tensão e corrente é numericamente igual ao *fator de potência*, o qual é adimensional e varia entre zero e um.

O consumo excessivo de potência reativa pode causar afundamentos de tensão na rede, instabilidade geral do sistema, mau funcionamento de outros equipamentos conectados à mesma rede, necessidade de cabos com maior diâmetro e transformadores mais robustos.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece pelo artigo número noventa e cinco da resolução número quatrocentos e catorze de nove de setembro de dois mil e dez que o fator de potência nas unidades consumidoras deve ser superior a zero vírgula noventa e dois capacitivo durante seis horas da madrugada e zero vírgula noventa e dois indutivo durante as outras dezoito horas do dia. Caso descumprido, multas são aplicadas ao consumidor levando em conta o valor do fator de potência e a energia consumida ao longo de um mês.

O presente trabalho visa à construção de um medidor de potência eletrônico de baixo custo capaz de mensurar a quantidade de potência ativa e reativa consumida por uma carga de até mil VA além de informar o fator de

potência da referida carga. Os valores de tensão e corrente instantâneos são obtidos através de um *hardware* próprio, a conversão analógica/digital é realizada pela plataforma de desenvolvimento Arduíno com um microcontrolador *Atmel328* e o tratamentos dos dados é realizado por um código próprio escrito no *software Matlab*.

Por fim os resultados são discutidos e melhorias e previsões para a construção de medidores mais precisos e confiáveis são apresentadas.

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 Princípios de sensoriamento

A eletrônica permite a manipulação de grandezas físicas a fim de observar fenômenos e até mesmo permitir a conversão de um sinal elétrico em uma grandeza física para o controle de processos. O elemento básico da conversão de grandezas físicas em elementos passíveis de serem aproveitados pela eletrônica é chamado de transdutor/sensor. Exemplos de transdutores são os termopares (os quais convertem temperatura em uma diferença de potencial), sensores piezoelétricos (os quais convertem deformação mecânica em uma diferença de potencial), termistores (os quais tem sua resistência variada em função da temperatura), entre outros.

Além dos elementos de conversão apresentados, torna-se necessária a aquisição destes dados e seu tratamento a fim de permitir o processamento posterior para que medidas possam ser realizadas e decisões tomadas sobre determinado processo caso haja necessidade.

A instrumentação eletrônica trabalha justamente nesta área de aquisição de dados oriundos de sensores e na manipulação destes dados, como amplificação, filtragem, processamento e transmissão.

2.1.1 Tratamento elétrico do sinal

Os sinais elétricos oriundos de um transdutor podem sofrer tratamento a nível de *hardware* e a nível de *software*.

Considerando o tratamento a nível de *hardware*, um transdutor que tem como sinal de saída uma diferença de potencial em função da grandeza que deseja ser medida, o sinal elétrico deve ser tratado de forma a ser melhor interpretado pelos elementos de aquisição de dados. Normalmente transdutores trabalham com pequenas variações de saída em relação à variação da grandeza de entrada. Sendo esta grandeza de saída de natureza elétrica, é de se esperar que a tensão em seus terminais seja da ordem de amplitude do ruído térmico ou eletromagnético. Desta forma, é necessária a realização de uma filtragem a fim de eliminar componentes de ruído e deixar o sinal o mais limpo possível. Este tipo de filtragem é normalmente realizada pela aplicação de filtros passivos ou ativos de primeira ordem (para os casos mais simples).

Outro tipo de tratamento de sinal a nível de *hardware* normalmente empregado é a amplificação do sinal. Variações muito pequenas de um sinal elétrico são passíveis de erro na hora da aquisição por um conversor analógico/digital. Portanto, faz-se necessária uma amplificação deste sinal de forma a excursioná-lo por toda a faixa dinâmica do conversor. Juntamente com a amplificação do sinal pode-se citar a aplicação de *offset's* aos sinais, no qual se aplica uma componente *DC* ao sinal – pode-se entender o *offset* como um deslocamento vertical de toda a forma de onda. *Offset's* normalmente são aplicados quando transdutores fornecem uma tensão alternada em sua saída, sendo necessário o deslocamento de seu nível médio a fim de permitir a

correta leitura pelos conversores analógico/digitais, os quais em sua maioria lêem apenas valores positivos de tensão.

Já o tratamento do sinal a nível de *software* é realizado após uma conversão analógico/digital. Este tipo de tratamento normalmente é composto por cálculos numéricos que incluem o cálculo de médias, variância, correção de *offset's*, reconstituição dos sinais pelo ganho dos amplificadores, etc.

2.1.2 Conversão analógico/digital

Uma das etapas mais importantes na aquisição de dados para serem tratados a nível de *software* é a conversão analógica/digital. Esta conversão se dá pela aplicação do sinal analógico do transdutor na porta de entrada analógica de um conversor A/D. Este conversor transformará este sinal elétrico em um sinal discreto no tempo de acordo com o número de *bits* do conversor. Considerando um conversor A/D de n *bits*, o sinal de entrada analógico será amostrado pela frequência de amostragem definida no conversor e convertido em um valor binário de n *bits* que representará o valor lido na entrada. Considerando um conversor A/D com faixa dinâmica de V^- a V^+ *volts* e n *bits* de resolução, as saídas desse conversor podem variar de um a 2^n valores. Isto significa que o conversor pode diferenciar 2^n níveis diferentes de tensão e, portanto, a variação de tensão na entrada que será percebida pelo conversor se dá pela equação 01.

$$V = \frac{V^+ - V^-}{2^n} \quad \text{eq. 1}$$

Pela aplicação da equação 1 para um conversor de dez *bits* e para $V^+ - V^- = 5V$, definida como *faixa dinâmica do conversor*, pode-se perceber que a cada incremento de $4,88\text{ mV}$ na entrada do conversor será compreendido como um novo nível de tensão em sua saída.

Considerando um sinal analógico alternado na entrada do conversor, faz-se necessária a aplicação de um *offset* a fim de transformar o sinal variante no tempo em um sinal puramente positivo. Isto se deve ao fato de a maioria dos conversores A/D só aceitarem em sua entrada tensões positivas. Além disso, a discretização do sinal deve ser feita a uma frequência de amostragem de pelo menos o dobro da maior frequência contida no sinal para que o sinal construído após sua amostragem não difira do sinal original, fenômeno conhecido como *aliasing*. Esta mínima frequência de amostragem é conhecida como *frequência de Nyquist*.

2.2 Princípios de medição de potência elétrica

A potência instantânea consumida por um dispositivo é dada pelo produto da diferença de potencial aplicada sobre o dispositivo e a corrente que passa através do mesmo. Sendo assim, podemos definir potência instantânea pela equação 2.

$$P_{inst} = V \cdot I \quad \text{eq. 2}$$

onde V e I são os valores instantâneos de tensão e corrente dados em *volts* e *ampères*, respectivamente, e P_{inst} é então dado em *watts*.

Em sistemas que tensão e corrente são variantes no tempo é possível determinar a potência média desenvolvida durante um intervalo de tempo a partir da integração temporal da potência instantânea, dada pela equação 3.

$$P_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt \quad \text{eq. 3}$$

onde $v(t)$ e $i(t)$ são os valores de tensão e corrente, respectivamente, no mesmo instante.

Pela equação 3 percebe-se que para o cálculo da potência média pode ser feito com um número finito de pontos com espaçamento temporal conhecido entre eles.

Considerando que tensão e corrente estejam defasado entre si, tem-se então a potência reativa. A potência reativa Q pode ser calculada pela equação 4.

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \text{sen}\theta \quad \text{eq. 4}$$

onde V_{rms} e I_{rms} são a tensão e a corrente eficazes, respectivamente, que circulam pela carga e θ o ângulo entre tensão e corrente. A equação 4 é válida somente para formas de onda senoidais.

Conhecendo-se as potências média e reativa pode-se determinar a potência aparente S do sistema, definida pela equação 5.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{eq. 5}$$

Valores médios quadráticos (*rms*) podem ser definidos, matematicamente, pela equação 6.

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad \text{eq. 6}$$

onde x são valores discretos e n o número de pontos.

Considerando um processo de amostragem de um sinal contínuo, pode-se determinar os valores *rms* de um conjunto de pontos pela equação 6. Sendo estes pontos formando dois vetores, um com amostras de tensão e outro com amostras de corrente, podemos definir o fator de potência pela equação 7.

$$FP = \frac{P_{med}}{V_{rms} \cdot I_{rms}} \quad \text{eq. 7}$$

Portanto, pelas equações de 2 a 7 percebe-se que são necessárias amostras de tensão, de corrente e do tempo entre amostras para determinar a potência elétrica ativa, reativa e o fator de potência de uma carga. O tempo

entre amostras é definido pela frequência de amostragem do conversor A/D, a qual se denomina por f_s . Sendo assim, o período é dado pela equação 8 e o tempo entre amostras pela equação 9.

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad \text{eq. 8}$$

$$t_s = \frac{T_s}{n_s} \quad \text{eq. 9}$$

onde n_s é o número de amostras.

3 PROJETO

O projeto de um medidor de potência elétrica foi concebido com o objetivo de construir um aparelho confiável para a leitura de consumo de equipamentos residenciais de baixa potência, como aquecedores, lâmpadas incandescentes e eletrônicas, computadores, secadores de cabelo, etc.

Pelo desenvolvimento teórico pode-se perceber a necessidade da obtenção de valores discretos de tensão e corrente para determinada carga. Para tanto, neste projeto são necessários dois sensores: um para monitorar a tensão sobre a carga e outro para monitorar a corrente.

3.1 Definições de operação

De acordo com o objetivo do projeto, foram definidos limites de operação para o circuito de forma a atender as necessidades para as quais este trabalho foi proposto. Reconhecendo-se o tipo de carga normalmente encontrada em residências, definiu-se como potência máxima a ser medida 1500 *watts* em uma rede elétrica operando com tensão de 127 *V* e 60 *Hz*. Isto limita a corrente de operação do equipamento a aproximadamente 12 *A*. Visto que o projeto foi executado para fins educacionais, considerou-se um erro máximo de 10% para mais ou para menos dos valores reais.

3.2 Critérios de escolha dos sensores

São vários os critérios utilizados para determinar os tipos de sensores a serem utilizados no projeto. Primeiramente deve-se definir o tipo de variável física a ser medida (temperatura, luz, pressão, etc). Outra definição importante é a faixa de medição requerida (de 0°C a 100°C para um transdutor de temperatura, por exemplo) e a exatidão requerida – a qual está relacionada com o desvio do valor medido em relação ao valor exato. Outras características como sensibilidade, resolução, precisão e condições ambientais tais como temperatura e vibração devem ser levadas em conta.

A fim de simplicidade e custo, o sensor escolhido para monitoramento de tensão foi um divisor resistivo conforme a figura 1.

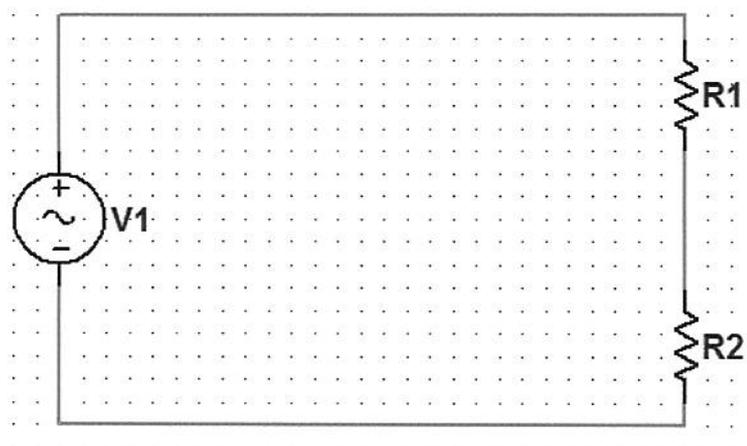


Figura 1 - Divisor resistivo.

onde V_1 representa a tensão da rede elétrica de 127 V e o ponto de conexão entre R_1 e R_2 a tensão proporcional a $\frac{R_2}{R_1+R_2}$.

Para o monitoramento da corrente foi escolhido um *resistor shunt*, o qual é uma resistência de valor baixo e capaz de suportar correntes de dezenas de *ampères*. O *shunt* sofre uma queda de tensão entre seus terminais de acordo com a corrente que circula sobre ele, de acordo com a *Lei de Ohm*, descrita pela equação 10.

$$V = R \cdot I \quad \text{eq. 10}$$

onde V é a diferença de potencial sobre o elemento dada em *volts*, R sua resistência dada em *ohms* (Ω) e I a corrente que o atravessa dada em *ampère* (A).

O *shunt* foi escolhido de forma a suportar até 20 A de corrente e fornecer em seus terminais uma diferença de potencial de 75 mV para a referida corrente.

3.3 Circuitos de condicionamento de sinais

A utilização de um divisor resistivo para amostra de tensão e de um *resistor shunt* para amostra de corrente fornece pequenos valores de tensão proporcionais às grandezas medidas, porém continuam a ser sinais alternados devidos à natureza da rede elétrica. A utilização de um conversor analógico/digital com faixa dinâmica definida para operar de 0 V a 5 V torna necessária a aplicação de um *offset* para ambos os sensores.

Um circuito para aplicar *offset* ao divisor resistivo referente ao sensor de tensão está indicado na figura 2.

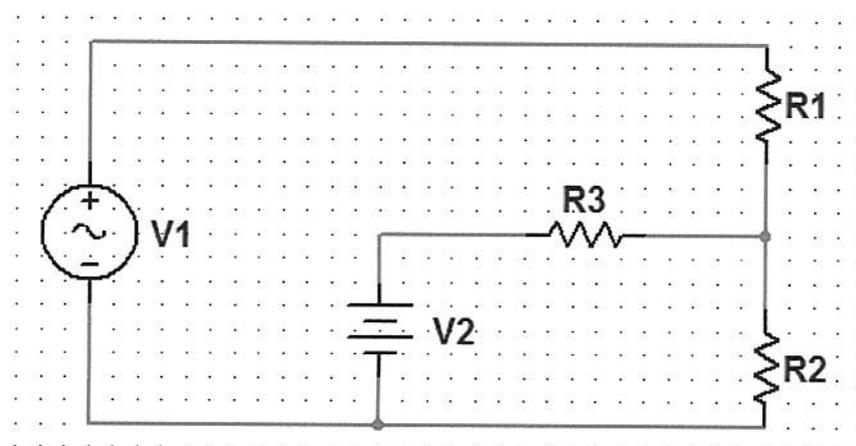


Figura 2 - *Offset* aplicado ao divisor resistivo.

onde R_1 e R_2 representam o divisor resistivo de tensão, V_1 a rede elétrica, V_2 uma fonte de tensão contínua e R_3 um resistor que definirá a tensão contínua que será aplicada no ponto central. Considerando a análise de resistência equivalente, as fontes de tensão são curto circuitadas e percebe-se facilmente que para a aplicação de um *offset* de metade do valor da fonte contínua o valor de R_3 é dado pela equação 11.

$$R_3 // R_2 = R_1 \quad \text{eq. 11}$$

Pela aplicação do *offset*, o valor da divisão resistiva é alterado de acordo com a equação 12.

$$V_{out} = \frac{R_2 // R_3}{R_1} \cdot V_1 \quad \text{eq. 12}$$

Portanto, a tensão da rede elétrica dada por V_1 será dividida pela relação dada na equação 12, acrescida de um valor DC médio de valor igual à metade da fonte de tensão contínua. No caso do sensor de tensão, os resistores R_1 , R_2 e R_3 são escolhidos de forma a obtermos um sinal elétrico variante de 0 V a 5 V e nível médio DC de 2,5 V.

Igualmente para o sensor de corrente, a natureza senoidal de saída deve ser transformada em um valor de polaridade única. Considerando a baixa resistência do *resistor shunt* (igual a 3,75 mΩ) e uma corrente máxima de 12 A, é de se esperar que a queda de tensão sobre o *shunt* seja de no máximo 45 mV

(de acordo com a equação 10). Considerando a faixa dinâmica do conversor A/D de 0 V a 5 V, deve-se amplificar esta tensão para uma variação de mesma magnitude, permitindo a excursão do sinal por toda a faixa de operação do conversor. Sendo assim, um amplificador não-inversor executa esta função, apresentada na figura 3.

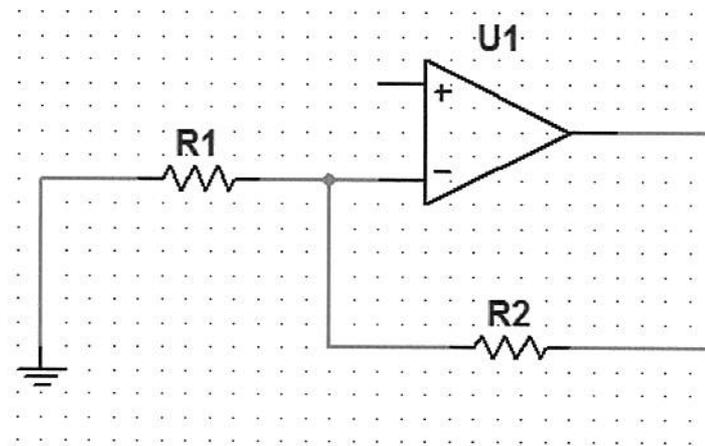


Figura 3 - Amplificador não-inversor.

onde U_1 representa um amplificador operacional LM324, R_1 e R_2 definem o ganho do amplificador, a tensão a ser amplificada é aplicada na entrada não inversora do amplificador (+) e a tensão amplificada é obtida no terminal de saída.

O ganho do amplificador não-inversor é dado pela equação 13.

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{eq. 13}$$

Considerando o nível de tensão de pico na entrada possível de saída do *resistor shunt*, dado pela equação 14, pode-se definir o ganho do amplificador de acordo com o valor máximo desejado na entrada do conversor, dado pela equação 15.

$$V_p = V_{rms} \cdot \sqrt{2} \quad \text{eq. 14}$$

onde esta equação é válida para formas de onda senoidais e V_{rms} é igual a 45 mV para o referido caso.

$$A_v = \frac{V_o^{m\acute{a}x}}{V_{in}^{m\acute{a}x}} \quad \text{eq. 15}$$

onde $V_o^{m\acute{a}x}$ é igual à metade da faixa dinâmica do conversor A/D e $V_{in}^{m\acute{a}x}$ é igual ao valor de pico calculado pela equação 14.

Considerando que deve ser aplicada uma tensão de *offset* ao sinal referente à corrente, neste caso também igual a $2,5 \text{ V}$, o sinal pode ser aplicado diretamente à entrada não inversora do amplificador operacional através de um divisor resistivo de uma fonte de 5 V e respeitando-se o ganho do amplificador. Sendo assim, a tensão de entrada DC do amplificador é dada pela equação 16 a fim de se obter $2,5 \text{ V}$ na saída do amplificador.

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{A_v} \quad \text{eq. 16}$$

onde V_{in} é a tensão a ser aplicada na entrada do amplificador, V_{out} a tensão desejada na saída e A_v o ganho do amplificador. A figura 4 ilustra o uso de um potenciômetro conectado a uma fonte de tensão contínua de 5 V e um divisor resistivo a fim de controlar o nível DC na saída do amplificador.

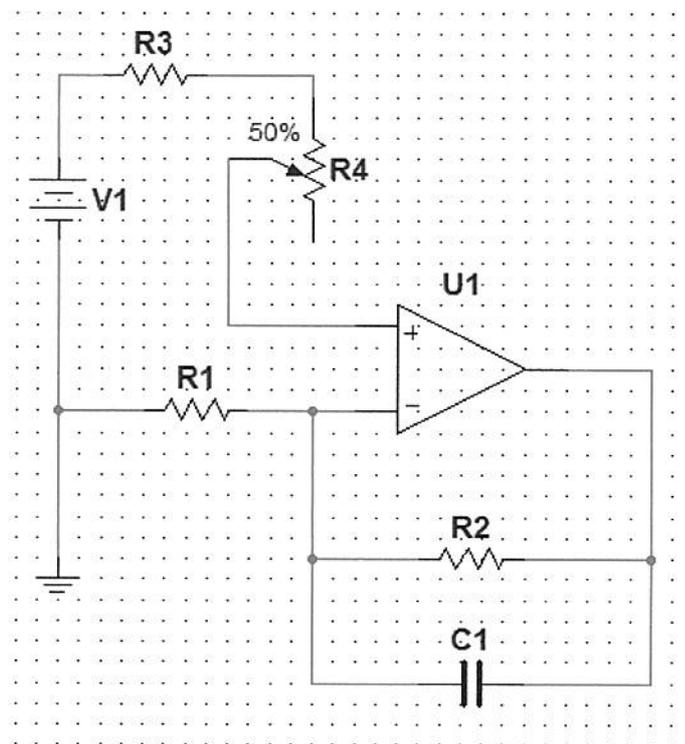


Figura 4 - Controle de *offset* na entrada do amplificador não-inversor.

onde o terminal extremo do potenciômetro é a entrada do sinal de tensão originário do *resistor shunt*.

Os amplificadores operacionais são limitados em banda, ou seja, componentes de frequência acima da banda de passagem do amplificador sofrem um decaimento na constante de amplificação. Para evitar este tipo de problema, um capacitor em paralelo com o resistor R_2 da figura 3 forma um filtro ativo de primeira ordem, a fim de limitar as componentes de alta

frequência na entrada do amplificador. A frequência de corte deste filtro é dada pela equação 17.

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R_2 \cdot C_1}} \quad \text{eq. 17}$$

de acordo com a figura 5.

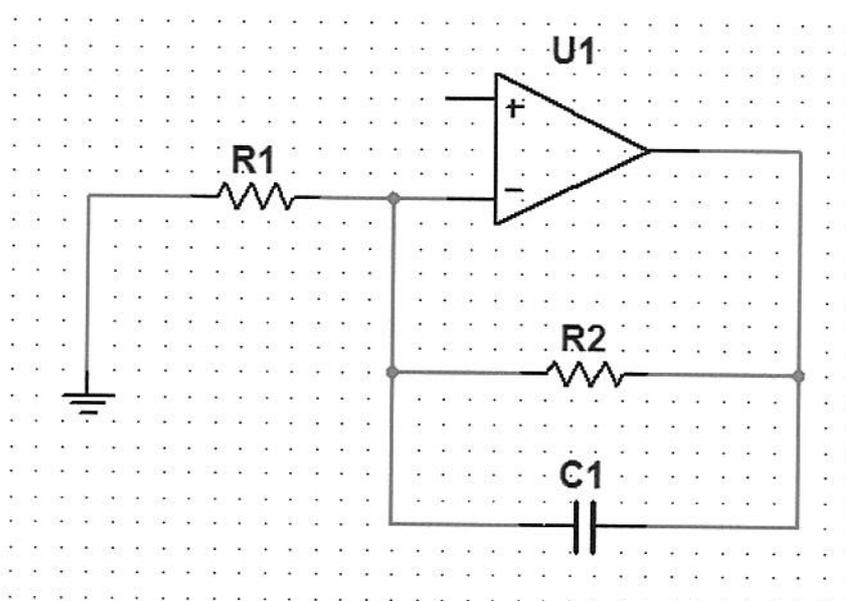


Figura 5 - Amplificador não-inversor com filtro ativo de primeira ordem.

Considerando a frequência da rede igual a 60 Hz e a frequência da vigésima primeira harmônica igual a $1,2 \text{ kHz}$, o filtro é calculado a fim de eliminar componentes superiores a 2 kHz .

4 CÁLCULOS DE PROJETO

Considerando a tensão eficaz da rede elétrica como sendo 127 V, passível de uma variação especificada pela concessionária de energia entre 119 V e 133 V, o valor máximo eficaz da rede é calculado pela equação 18.

$$V_{m\acute{a}x} = 133 \cdot \sqrt{2} = 188 \text{ V} \quad \text{eq. 18}$$

Levando em conta um fator de segurança, levou-se em consideração uma tensão máxima de 190 V.

Sendo a entrada analógica do conversor suportando uma tensão máxima de 5 V, então pode-se aplicar o divisor resistivo:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{in}$$

$$5 = \frac{R_2}{R_1} \cdot 190$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{190} = 0.0263$$

Considerando $R_1 = 1.98 M\Omega$, tem-se que $R_2 = 11.97k\Omega$.

Sendo uma fonte contínua de $5 V$ para a aplicação de um *offset* de $2,5 V$ na amostra de tensão, calcula-se o valor do resistor R_3 pela equação 11.

$$R_3 // R_2 = R_1 = 1.98M // 11.97k = 11.89k\Omega$$

De acordo com a teoria apresentada, o novo valor do divisor resistivo é dado por:

$$R_{virtual} = R_2 // R_3 = 5.96k\Omega$$

Assim, o fator de divisão do sensor de tensão pode ser calculado como sendo:

$$\frac{R_1}{R_{virtual}} = \frac{1.98M}{5.96k} = 332.21$$

já considerado o *offset* de $2,5 V$.

Para o sensor de corrente, considerou-se o valor nominal do *resistor shunt*.

$$R_{shunt} = 0.00375\Omega$$

Sendo uma corrente de pico máxima de $16,97 A$, ou seja, o valor *rms* da corrente especificada ($12 A$) multiplicado por $\sqrt{2}$ (válido para formas de onda senoidais).

Desta forma, construiu-se um amplificador não inversor com ganho definido pela equação 13, levando em conta que se deseja uma saída com valor de pico de $2,5 V$.

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$A_v = \frac{2,5}{16,97 \cdot 0.00375} = 39,28$$

Sendo assim, fixando-se o valor de R_2 em $79,6 k\Omega$ e o valor de C_1 em $1 nF$ a fim de obter uma frequência de corte para o filtro de $2 kHz$ através da equação 17, pode-se calcular o valor de R_1 .

$$R_1 = \frac{R_2}{A_v - 1} = \frac{79,6 k}{39,28 - 1} = 2,08 k\Omega$$

Levando em conta o ganho do amplificador A_v , para uma tensão DC de $2,5\text{ V}$ na saída do amplificador deve-se ter uma tensão de $63,4\text{ mV}$ na entrada, calculada de acordo com a equação abaixo:

$$V_{in} = \frac{2.5}{39,28} \cong 63,4\text{ mV}$$

Esta tensão pode ser obtida através de uma fonte de tensão contínua de 5 V e um divisor resistivo com um resistor com $R = 90,1\text{ k}\Omega$ e um potenciômetro de $1\text{ k}\Omega$, cujo sinal é aplicado diretamente na porta não-inversora do amplificador.

Obtidos ambos os sinais de tensão e corrente, devidamente ajustados para variar de 0 V a 5 V , estes sinais são aplicados em duas entradas analógicas de um conversor analógico/digital da plataforma Arduino.

A plataforma Arduino utilizada é constituída de um microcontrolador *Atmel328*, cujo conversor analógico/digital trabalha através do sistema de aproximações sucessivas e com resolução de 10 bits . As informações relevantes referentes ao microcontrolador estão inclusas no anexo A deste trabalho.

Os sinais são amostrados com uma frequência de $4,5\text{ kHz}$, definida via *software*. A frequência dos sinais de entrada é de 60 Hz – sendo assim, a frequência de amostragem obedece à taxa de amostragem de *Nyquist*.

São obtidos 150 pontos referentes à tensão e 150 pontos referentes à corrente. As amostras são obtidas através de uma multiplexação, onde cada porta analógica faz a leitura de um ponto de cada vez, comutando com a outra

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] http://pt.wikipedia.org/wiki/Pot%C3%Aancia_el%C3%A9trica
- [2] http://pt.wikipedia.org/wiki/Fator_de_pot%C3%Aancia
- [3] http://pt.wikipedia.org/wiki/Tri%C3%A2ngulo_de_pot%C3%Aancias
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion
- [5] <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000368.pdf>
- [6] http://pt.wikipedia.org/wiki/Medidor_de_energia_el%C3%A9trica

ANEXO B

1 Programa do Arduíno

```

// Medidor de Potencia Eletrica
// desenvolvedor 1 Cesar Corsico
// desenvolvedor 2 Guilherme Glir
// orientador 1 Marlio Jose do Couto Bonfim
// orientador 2 James Alexandre Baraniuk
// Universidade Federal do Parana
// Last Version Alpha 27-06-2012
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // configuracao dos pinos do lcd
int t,pa; // variaveis do lcd
float c,fp; // variaveis do lcd
void setup() {
  Serial.begin(115200); // inicia comunicacao serial
  lcd.begin(16, 2); // inicia display de lcd 16x2
  lcd.clear(); // limpa display lcd
  lcd.print(" Aguardando "); // escreve no diplay lcd
  lcd.setCursor(0,1); // muda cursor do display lcd
  lcd.print(" MATLAB "); // escreve no display lcd
}
void loop() {
  byte i; // variavel de controle
  int amostras = 150; // quantidade de amostras
  int ten[amostras]; // vetor de tensao
  int cor[amostras]; // vetor de corrente
  for(i=0; i<amostras; i++){
    // porta analogica 0 não usada pois é dedicada ao keypadlcd
    ten[i]= analogRead(A1); // leitura da porta analogica 1
    cor[i]= analogRead(A2); // leitura da porta analogica 2
  }
  Serial.println("0000000000"); // identificacao de inicio da sequencia de
  amost
  Serial.println("1111111111"); // identificacao de inicio da sequencia de
  tensa
  for(i=0; i<amostras; i++){
    Serial.println(ten[i]); // envio da tensao para serial
  }
  Serial.println("2222222222"); // identificacao de inicio da sequencia de
  corre
  for(i=0; i<amostras; i++){
    Serial.println(cor[i]); // envio da corrente para serial
  }
  if (Serial.available()) { // verifica se existe informacao sendo recebi na
  ser
  delay(100);
  lcd.clear(); // limpa display lcd
  while (Serial.available() > 0) { // loop de recebimento de informacao
  t= Serial.read(); // armazena valor da serial na variavel t
  c= Serial.read(); // armazena valor da serial na variavel c
  pa= Serial.read(); // armazena valor da serial na variavel pa
  fp= Serial.read(); // armazena valor da serial na variavel fp
  lcd.setCursor(0, 0); // muda cursor do display lcd

```