

ACIONAMENTO MULTINÍVEL DE MOTORES ELÉTRICOS UTILIZANDO MICROCONTROLADOR.

Caíque Torres Santos¹
Marcelo Semensato²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia/Campus Jataí/Engenharia Elétrica/ PIBITI-IFG,
caique.jc.santos@gmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia/Campus Jataí/Área de Indústria/
semensato@ymail.com

Resumo

O objetivo do referido projeto foi realizar acionamento multinível, com um baixo custo, de 3 motores elétricos sendo a potência individual igual a 5,0 cv, segundo exigência da concessionária local. Para tal finalidade foi utilizado, como unidade de controle, um microcontrolador PIC 16F877A, devido a elevada gama de aplicações e custo reduzido. Já para aquisição de sinais fora utilizado o sensor ACS-712.

Inicialmente o microcontrolador, quando alimentado, envia um sinal para o acionamento do primeiro motor. Durante esse processo o sensor envia os dados de corrente do motor ao PIC que analisa o valor RMS da corrente. Se o valor eficaz da corrente de partida decair para o valor eficaz da corrente em regime permanente, o microcontrolador aciona o próximo motor. Esse processo se repete até o acionamento do terceiro motor. Caso alguma etapa do processo não ocorra como o previsto, o sistema será desligado.

Palavras-chave: Partida sequencial, motores de indução trifásico, microcontrolador, sensor de corrente.

INTRODUÇÃO

Considerando o cenário energético brasileiro, é cada vez mais comum a utilização de técnicas automatizadas para melhorar a eficiência do sistema elétrico. Devido este fato a preocupação com a qualidade de energia se aprimora cada vez mais e visa reduzir distúrbios na rede, como por exemplo, a entrada de motores elétricos no sistema causando um grande pico de corrente.

Para reduzir distúrbios causados por acionamentos de máquinas elétricas, utilizam-se métodos de partidas para reduzir a corrente característica do regime transitório. Porém, essas técnicas de acionamento são de um custo muito elevado. Neste cenário surge a proposta da partida direta, segundo as ressalvas da concessionária, fazendo-a com uma configuração multinível e utilizando somente um microcontrolador. Dessa maneira é possível reduzir os custos de partida e concentrar toda a unidade de controle de acionamento em uma só unidade de controle.

MATERIAIS E MÉTODOS

■ MATERIAIS

Software Proteus Design Suite version 8.1 – Labcenter Eletronics.
 Software PIC C Compiler - CCS Compilers.

■ MÉTODOS

Pra o desenvolvimento do projeto foi necessário o estudo e compreensão da linguagem de programação utilizada nos microcontroladores da Microchip®. Também foi necessário consultar junto às normativas da concessionária as especificações permitidas para o acionamento do motor, segundo a partida que seria utilizada que está prevista na figura (1). Foi necessário buscar junto ao catálogo do fabricante os dados de tempo de partida do motor e a relação IP/IN (corrente de partida sobre corrente em regime permanente). Após as pesquisas realizadas foi então possível dar início ao algoritmo.

DISPOSITIVOS DE PARTIDA DE MOTORES TRIFÁSICOS

TIPO DE PARTIDA	TIPO DE CHAVE	POTÊNCIA DO MOTOR P (cv)	TIPO DE MOTOR	TIPO DE ROTOR	TENSÃO DA REDE (V)	TENSÃO DE PLACA DO MOTOR (V)	NÚMERO DE TERMINAIS	TAPS	TAP DE PARTIDA
DIRETA	--x--	≤ 5	INDUÇÃO	GAIOLA	220/127	380/220 V (a)	-- 6Δ	-- x --	-- x --
		≤ 7,5			220 V	3λ ou 3Δ			
	ESTRELA TRIÂNGULO	5 < P ≤ 15 7,5 < P ≤ 25			380/220	380/220 V (b)	6λ --	-- x --	-- x --
					380 V	3λ ou 3Δ			
INDIRETA MANUAL	SÉRIE PARALELO	5 < P ≤ 25 7,5 < P ≤ 25	INDUÇÃO	GAIOLA	220/127	380/220 V (c)	6λ 6Δ	-- x --	-- x --
					380/220	660/380 V	6λ 6Δ		
	CHAVE COMPENSADORA	5 < P ≤ 25 7,5 < P ≤ 25	INDUÇÃO	GAIOLA	220/127	220/380/440/760 V	12Δs 12Δ//	-- x --	-- x --
					380/220	220/380/440/760 V	9λs 9λ// 12λs 12λ//		
	RESISTÊNCIA OU REATÂNCIA DE PARTIDA				220/127	380/220 V	6λ ou 6Δ	50, 65 e 80	50
INDIRETA AUTOMÁTICA	ESTRELA TRIÂNGULO	5 < P ≤ 30 7,5 < P ≤ 30				A TENSÃO DEVE SER REDUZIDA EM 65%, NO MÍNIMO, DO VALOR NOMINAL			
		5 < P ≤ 30 7,5 < P ≤ 30							
		5 < P ≤ 30 7,5 < P ≤ 30							
	CHAVE COMPENSADORA	5 < P ≤ 40 7,5 < P ≤ 40							
AS OUTRAS CARACTERÍSTICAS SÃO IDÉNTICAS ÀS DAS CHAVES MANUAIS									

Figura 1

Para realizar a análise harmônica foi necessário entender o que estas distorções causavam no motor elétrico e de que maneira identifica-las. Pode-se constatar que com a presença de harmônicas no sistema de alimentação de motores o fator de distorção passa a ser um valor diferente de um e logo o fator de potência torna-se diferente do fator de deslocamento. Já não se pode calcular de maneira eficiente o fator de potência utilizando a potência ativa sobre a potência aparente (P/S), ou seja, utilizando as ondas fundamentais de tensão e corrente conforme a figura (2).

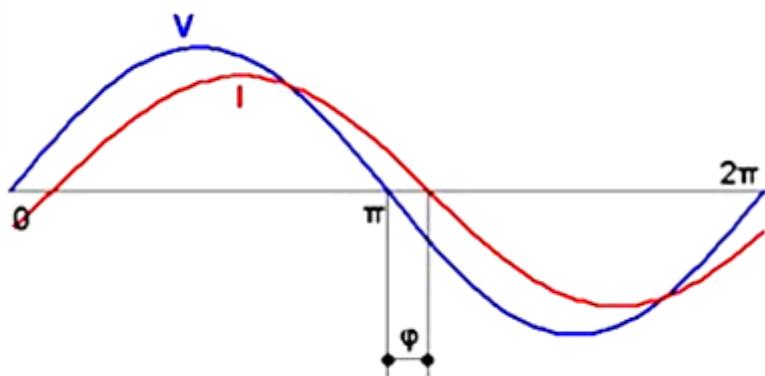


Figura 2

Dessa maneira, foi utilizada a Fast Fourier Transform (FFT) para obter a decomposição da onda e dessa maneira identificar a influência da terceira e quinta harmônica. É sabido também, segundo análise literária que as distorções harmônicas aumentam:

- A perda no ferro magnético,
- Diminuem o torque fornecido pelo motor,
- Aumenta a vibração da máquina
- Nível de ruídos é maior.

O Sistema de proteção do motor seria simplificado, uma vez que se pode monitorar a corrente do motor em tempo real, sabendo assim a carga que o motor está submetido.

▪ **Aquisição de sinais**

Para esta finalidade foi preciso escolher um sensor que atendesse os dados de projetos e que comunicasse com o PIC 16F877A. Para atender essas características foi escolhido sensores que utilizassem para a aquisição de sinal o *efeito Hall*. Esse sensor também promove o isolamento entre o circuito de potência e o circuito de controle, dando assim maior confiabilidade ao sistema.

O efeito hall garante que na presença de fluxo de corrente passando pelo condutor sob um campo magnético, a corrente tende a se deslocar para a extremidade do condutor, obedecendo a regra da mão esquerda representado na figura (3), provocando uma diferença de potencial no condutor.

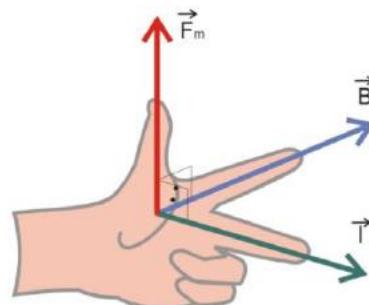


Figura 3

A equação (1) demonstra o princípio de funcionamento do sensor. Uma vez que ocorre o aumento da corrente a intensidade da força magnética é aumentada e por consequência aumenta a diferença de potência no sensor. E essa diferença de potencial é programada para que cada 1 A percorrido no sensor gere a 66mV entre seus terminais, de acordo com a folha de dados do ACS 712.

F_m = intensidade da força magnética que age sobre o fio

B =intensidade do campo magnético

I =corrente elétrica no fio

$$F_m = B * i * l * \sin\theta$$

Equação 1

A figura (4) mostra o sensor ACS 712:

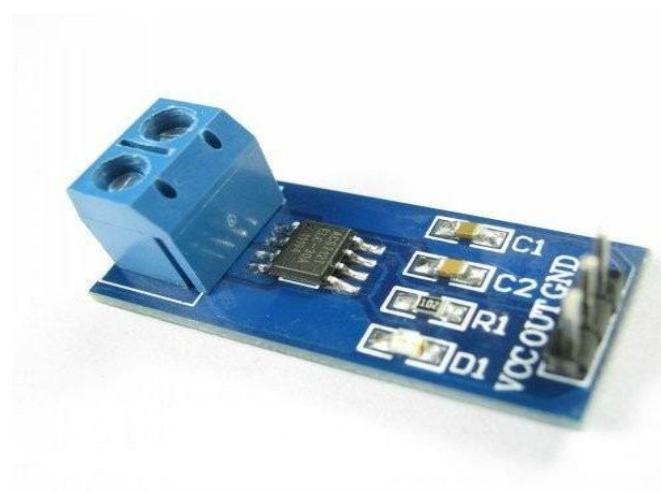


Figura 4: Sensor ACS 712

O referido sensor mede corrente de até 30 A. Mas, quando não há corrente circulando o mesmo envia um sinal de tensão para o sistema de controle de 2,5V. Segundo os dados do catálogo do sensor podemos concluir que 2,5 indica o ponto zero, já que o sensor envia um sinal alternado. De posse de tal informação, podemos equacionar um modelo para o sensor segundo a equação (2).

$$V_{Sensor} = 0,066 * I_{corrente} + 2,5$$

Equação 2

No entanto o PIC 16F877A não consegue compreender sinais analógico em sua maneira natural. Para adquirir tal sinal é usado o conversor analógico digital A/D do PIC para que esses sinais possam ser entendidos. O microcontrolador em questão possui uma resolução de 10 bits

em seu conversor A/D. Isso demonstra que teremos 1024 níveis para a porta de entrada, que possui um *range* de 0 a 5 V. Para melhor exemplificar temos a equação (3).

$$N=2^b$$

$$N=2^{10}=1024$$

Equação 3

Onde N é o numero de níveis e b o número de Bits.

Logo, se a porta analógica possui um range de 0 a 5 V e o microcontrolador possui 1024 níveis para uma aquisição de sinal digital, podemos concluir que a porta A/D será sensibilizada por uma variação de no mínimo 4,883mV. Esses dados estão de acordo com a equação (4).

$$\frac{V_{Porta}}{N_{níveis}} = \frac{5}{1024} = 4,883mV$$

Equação 4

Para obter um processo de digitalização de sinal adequado, devemos seguir algumas instruções para que o valor eficaz da corrente seja realmente verdadeiro. Segundo o teorema de Nyquist temos:

“a frequência de amostragem de um sinal analógico, para que possa posteriormente ser reconstituído com o mínimo de perda de informação, deve ser igual ou maior a duas vezes ao espectro do sinal original.”

Dessa forma optou-se por realizar 4320 amostras, que representa 360 amostras por ciclo em um total de 12 ciclos. Considerando ainda que um período completo da onda senoidal possui 360 graus, a amostragem é equivalente a uma aquisição de dados por grau. Para também garantir que essa característica o sensor possui um range de leitura de 0 a 80kHz e a atribuição de um cristal de 20MHz ao PIC 16F877A. Essas atribuições são mais que capazes de adquirir os sinais provenientes da rede de 60Hz e suas oscilações. A figura (5) mostra o processo de conversão analógica digital:

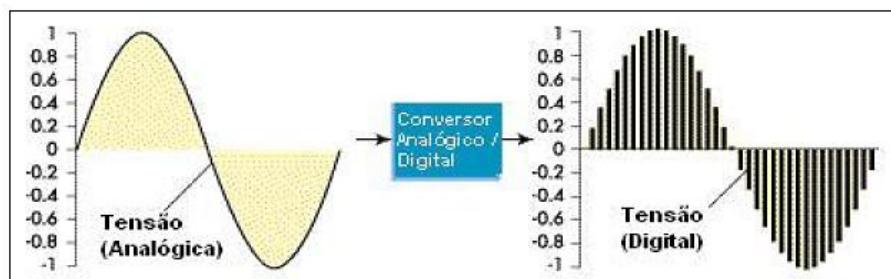


Figura 5: Conversão de sinal analógico para digital.
(Fonte: ISONI,2009)

- **Módulo Relé**

Devido as características físicas do 16F877A, tem-se uma limitação quanto ao fornecimento de corrente para acionar os motores elétricos. Faz-se necessário a utilização de um circuito para amplificar a corrente elétrica e isolar o circuito de potência do circuito de controle. A opção mais robusta seria a utilização de relés eletromecânicos, porém o mesmo possui uma limitação quanto ao tempo de chaveamento. Há no mercado um módulo relé que é chamada de relé de estado sólido. Ao invés de utilizar uma bobina para atrair a armadura para energizar um contato, utiliza-se transistores de potência que possuem uma capacidade de condução de corrente elétrica elevada e é capaz de chavear quase que instantaneamente, com a ausência do barulho do movimento da armadura. A figura (6) exemplifica uma placa de relés de estado sólido de 8 canais.



Figura 6: Relés de estado sólido

- **Compilador C CCS[®]**

Para que o microcontrolador execute as funções desejadas é necessário que o mesmo receba as instruções adequadas e obedeça ao código hexadecimal. Sabendo que a programação em hexadecimal é muito complexa e dispendiosa, utilizamos uma IDE (Integrated Development Environment) que suporta a linguagem de médio nível C. Tal ferramenta possibilita a conversão da linguagem computacional C de médio nível para uma linguagem de máquina hexadecimal de baixo nível. A figura (7) mostra a interface dessa IDE.

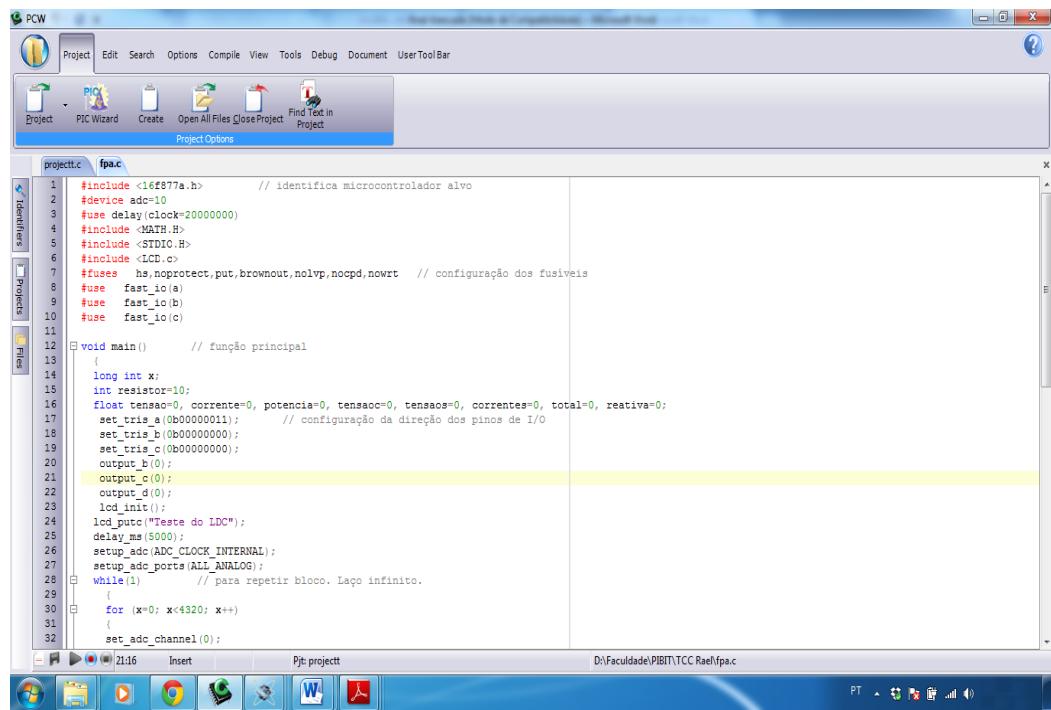


Figura 7: IDE do compilador CCS®

■ Proteus Professional®

O software de desenvolvimento Proteus VSM é uma suíte que agrega o ambiente de simulação de circuitos eletrônicos *ISIS* e o programa para desenho de circuito impresso *Ares professional*. Através do mesmo foi possível simular e testar as simulações acima propostas e fazer a aquisição de alguns resultados, conforme as limitações do ambiente virtual. É importante destacar aqui a grande aplicação do software Proteus para a utilização de microcontroladores, já que o mesmo possui uma extensa biblioteca principalmente da família PIC. Dessa forma foi possível executar diversos testes sem a necessidade de montar um circuito físico, garantindo assim uma economia financeira caso acorresse alguma avaria no circuito, e poupando tempo. A figura (8) exemplifica a IDE do software tratado.

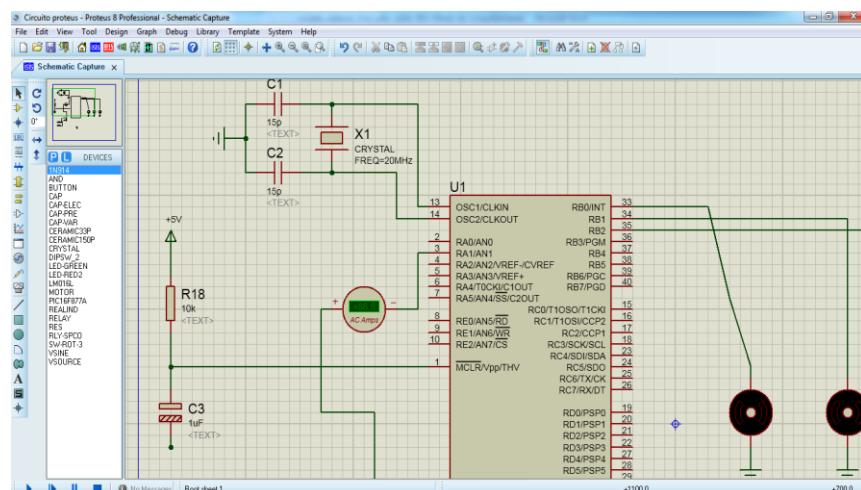


Figura 8: Proteus Professional®

■ **Conclusão**

A automatização de processos se destaca ao longo do tempo por oferecer redução de custos e a aceleração do processo produtivo. Tornou-se presente no dia-a-dia das pessoas, desde um simples aparelho eletroeletrônico até sistemas industriais complexos. Nesse cenário a utilização de microcontroladores se torna uma opção atrativa ao ramo automação.

A utilização do PIC 16F877A possibilitou intervir no sistema de proteção da máquina elétrica reduzindo o custo. Permitiu ainda, por meio do acionamento multinível amenizar os distúrbios causados na rede elétrica.

É importante tornar evidente que devido ao tempo de desenvolvimento do projeto ter sido reduzido em seis meses, não foi possível: corrigir alguns erros de simulação, implementar a análise harmônica utilizando a Fast Fourier Transform (FFT) e realizar a montagem física do protótipo.

■ **Referências**

[1]-FRANCHI, Claiton Moro. Acionamentos elétricos. 2. ed. São Paulo: Érica, 2007. 250 p.

[2]-Atuação da Eletrobrás, através do Procel, na Eficiência Energética de Indústrias Brasileiras. Disponível em:
<<http://www.eletrobras.com/elb/data/documents/storedDocuments/%7BAE8E43DA-69AD-4278-B9FC-41031DD07B52%7D/%7BE338A9B4-F851-4C4A-A853-6DA690C76B7A%7D/Atua%E7%E3o%20da%20Eletrobras%20atrav%E9s%20do%20Procel.pdf>>
Acesso em 30 de abril de 2014.

[3]-DE ANNUNCIAÇÃO, Luiz. ESTUDO DO IMPACTO DO SISTEMA DE AÇÃOAMENTO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO – ELEVADOR DE CANECAS. 2011.126 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato-Grosso, Cuiabá, 2011.

Disponível em:< <http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/33.pdf>> Acesso em 30 de abril de 2014.

[4]-Motor de Indução trifásico- Seleção e Aplicação. Disponível em:

<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/textos/MI_sel&aplic.pdf> Acesso em 29 de abril de 2014

[5]-ESTUDO DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL: AUDITORIA ENERGÉTICA E ANÁLISES ECONÔMICAS. Disponível em:

<http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/65_446_706.pdf> Acesso em 5 de Março de 2014.

Apêndice 1 –Código para o controle do PIC, ainda em fase de desenvolvimento.

```
#include <16f877a.h>
#device adc=10
#use delay(clock=20000000)
#include <MATH.H>
#include <STDIO.H>
#include <LCD.c>
#fuses xt,noprotect,put,brownout,nolvp,nocpd,nowrt
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)

void main()
{
    long int x;
    int corrente_nominal=10, num_maquinas;
    float corrente=0, correntes=0, corrente_anterior=0;
    set_tris_a(0b00000011);
    set_tris_b(0b00000000);
    set_tris_c(0b00000000);
    output_b(0);
    output_c(0);
    output_d(0);
    lcd_init();
    delay_ms(5000);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
    num_maquinas = 1;
    output_high(pin_b0);
    while(num_maquinas <= 3 )
    {
        for (x=0; x<4320; x++)
        {
            set_adc_channel(1);
            delay_us(20);
            corrente=read_adc();

            corrente=(corrente-512);
            corrente=((5*corrente)/67.584);
            correntes=(correntes+(corrente*corrente));

            if (corrente<0.01 && corrente>-0.01 && (corrente-corrente_anterior)>0)
//identificando onde a onda é "0"
            {
                set_adc_channel(1);
            }
        }
    }
}
```

```
delay_ms(4.16667);
corrente=read_adc();
}
corrente_anterior=corrente;
}

corrente=sqrt(correntes/4320);
if (corrente>corrente_nominal)
{
    output_low(pin_b0);
    delay_ms(200);
    break;
}
if (corrente<=corrente_nominal)
{
    if(num_maquinas == 1)
    {
        output_high(pin_b0);
        output_high(pin_b1);
    }
    if(num_maquinas == 2)
    {
        output_high(pin_b0);
        output_high(pin_b1);
        output_high(pin_b2);
    }
    num_maquinas = num_maquinas + 1;
}
}
```