



## ACIONAMENTO MULTINÍVEL DE MOTORES ELÉTRICOS UTILIZANDO MICROCONTROLADOR.

Caíque Torres Santos<sup>1</sup>  
Marcelo Semensato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia/Campus Jataí/Engenharia Elétrica/ PIBITI-IFG,  
[caique.jc.santos@gmail.com](mailto:caique.jc.santos@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia/Campus Jataí/Área de Indústria/  
[semensato@ymail.com](mailto: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	-- x --	-- x --	220/127	380/220 V (a)	-- 6Δ	-- x --	-- x --
		220 V				3λ ou 3Δ			
		≤ 7,5			380/220	380/220 V (b)	6λ --		
						380 V	3λ ou 3Δ		
INDIRETA MANUAL	ESTRELA TRIÂNGULO	5 < P ≤ 15 7,5 < P ≤ 25	INDUÇÃO	GAIOLA	220/127	380/220 V (c)	6λ 6Δ	-- x --	-- x --
					380/220	660/380 V	6λ 6Δ		
	SÉRIE PARALELO	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// ou 12λs 12λ//		
	CHAVE COMPENSADORA	5 < P ≤ 25 7,5 < P ≤ 25	INDUÇÃO	GAIOLA	220/127	380/220 V	6λ ou 6Δ	50, 65 e 80	50
					380/220	220/380/440/760 V	12Δ// ou 12λ//		
		RESISTÊNCIA OU REATÂNCIA DE PARTIDA	A TENSÃO DEVE SER REDUZIDA EM 65%, NO MÍNIMO, DO VALOR NOMINAL						
INDIRETA AUTOMÁTICA	ESTRELA TRIÂNGULO	5 < P ≤ 30 7,5 < P ≤ 30	AS OUTRAS CARACTERÍSTICAS SÃO IDÊNTICAS ÀS DAS CHAVES MANUAIS						
	SÉRIE PARALELO	5 < P ≤ 30 7,5 < P ≤ 30							
	CHAVE COMPENSADORA	5 < P ≤ 40 7,5 < P ≤ 40							

**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).

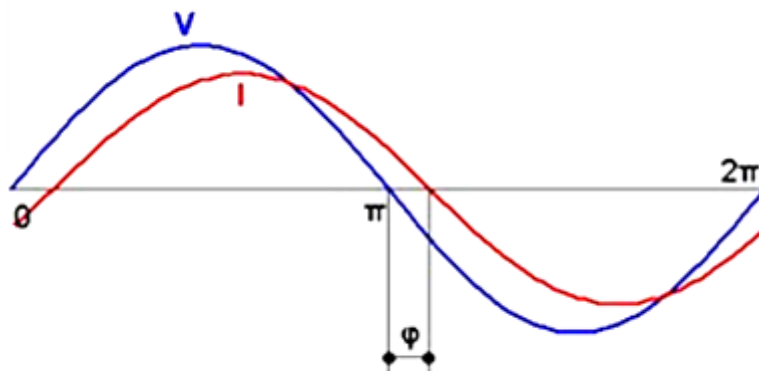


Figura 2

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. Par atender essas características fora 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.

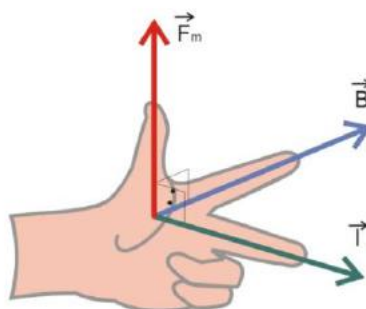


Figura 3



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

$$F_m = B * i * l * \text{sen}\theta$$

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).

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

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).

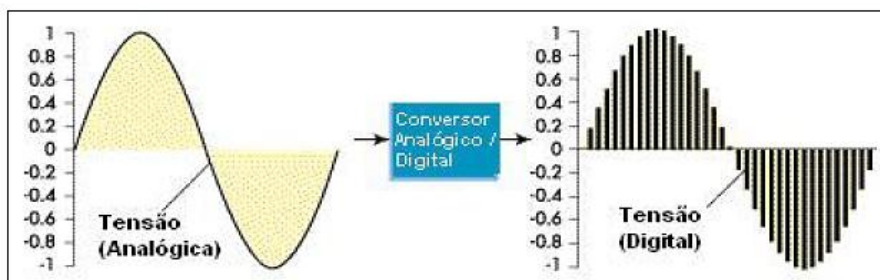
$$\frac{V_{Porta}}{N_{níveis}} = \frac{5}{1024} = 4,883mV$$

**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<sup>®</sup>

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.



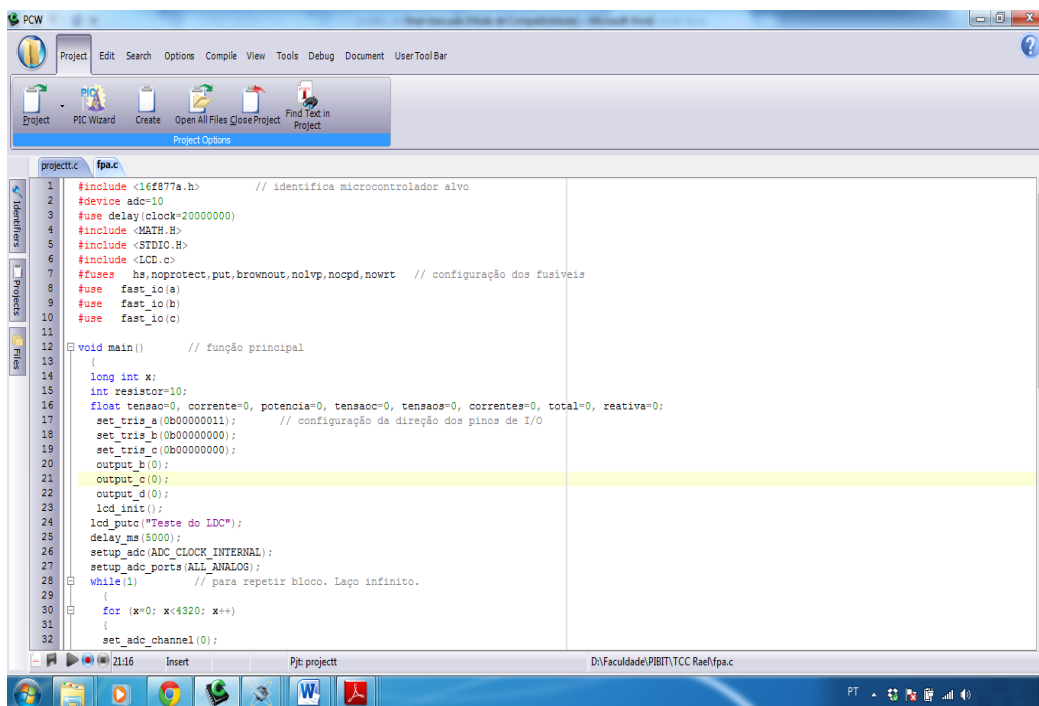


Figura 7: IDE do compilador CCS®

## ■ 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 ocorresse alguma avaria no circuito, e poupando tempo. A figura (8) exemplifica a IDE do software tratado.

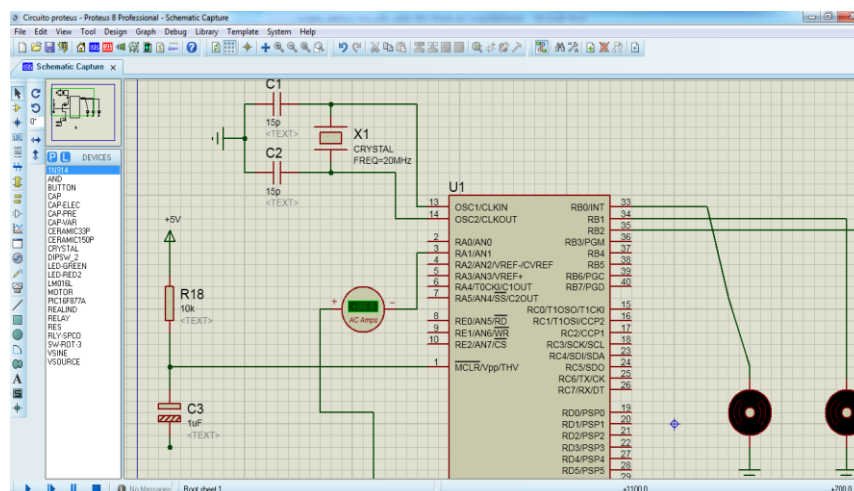


Figura 8: Proteus Professional®

## ▪ **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/%7BAE43DA-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 ANNUNCIACÃO, Luiz. ESTUDO DO IMPACTO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO 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](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](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;
}
}
}
```