

MOTORES DE PASSO



Ricardo Alexandre de Andrade Queiroz

Orientação: Prof. Augusto Loureiro da Costa
Universidade Salvador - Unifacs
Núcleo de Pesquisa em Redes de Computadores

1. MOTORES DE PASSO

O motor de passo é um dispositivo empregado na conversão de pulsos elétricos em movimentos rotativos e possui três estágios : parado , ativado com o rotor travado ou girando em etapas. São utilizados cada vez mais em áreas como informática e robótica pois possuem uma alta precisão em seu movimento, além de serem rápidos, confiáveis e fáceis de controlar.

Os mais usados são os motores Unipolares que possuem 2 ou 4 bobinas. Nestes, cada fase consiste de um enrolamento com derivação central ou mesmo de dois enrolamentos separados, de forma que o campo magnético possa ser invertido sem a necessidade de se inverter o sentido da corrente. Já os Bipolares (ilustrado na figura abaixo) exigem circuitos mais complexos por possuírem muitas bobinas na mesma carcaça. Sua grande vantagem é prover maior torque, além de ter uma menor proporção no tamanho. Fisicamente este motor tem enrolamentos separados, sendo necessário uma polarização reversa durante a operação para o passo acontecer.

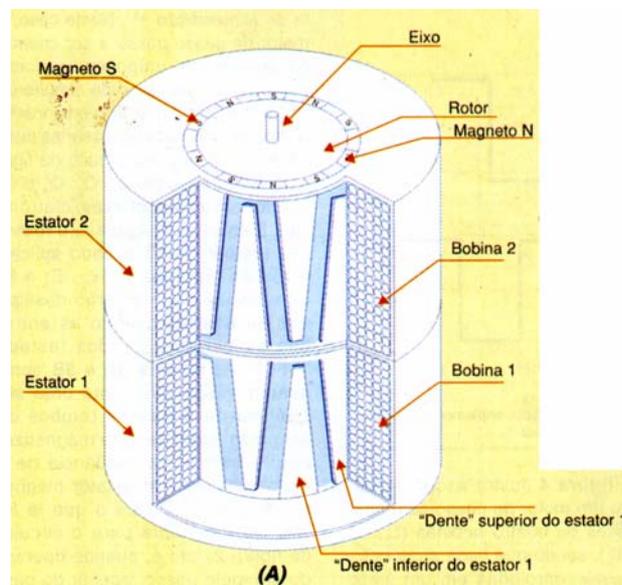


Fig.3.1.Motor de passo bipolar com duas fases e dois estatores.

Existem 3 tipos básicos de motores de passo: relutância variável , ímã permanente e híbrido.

A) Relutância Variável

Possui um rotor com várias polaridades feito com ferro doce e um estator laminado. Geralmente operam com ângulos de passo de 5 a 15 graus, a taxas de passo relativamente altas e, por não possuir ímã, quando energizado apresenta torque estático nulo. Na figura 3.1.1, quando a fase A é energizada, quatro dentes de rotor se alinham com os quatro dentes do estator da fase A através de atração magnética. O próximo passo é dado quando a fase A é desligada e na fase B é energizada fazendo o rotor girar 15 graus à direita. Continuando a seqüência, a fase C é energizada e depois a fase A novamente.

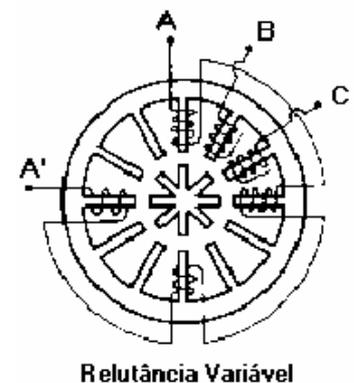


Figura 1.1

B) Ímã Permanente

Possui rotores de material alnico ou ferrite sem dentes e magnetizado perpendicularmente ao eixo. Seu torque estático não é nulo. Energizando as quatro fases em seqüência, o rotor gira, pois é atraído aos polos magnéticos. O motor mostrado na Figura 3.1.2 dará um passo de 90 graus quando os enrolamentos ABCD forem energizados em seqüência. Geralmente tem ângulos de passo de 45 ou 90 graus a taxas de passo relativamente baixas, mas eles exibem torque alto.

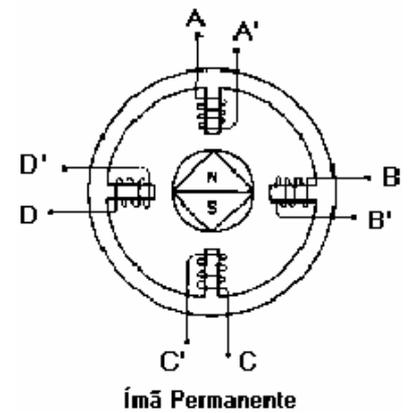


Figura 1.2

C) Híbrido

Possui algumas das características desejáveis de cada um. Têm alto torque, não apresenta torque estático nulo e podem operar em velocidades de passo altas. Têm ângulos de passo que variam de 0.9 a 5 graus. São providos de pólos que são formados por dois enrolamentos (como mostrado na figura ao lado), de forma que uma única fonte pode ser usada. Se as fases são energizadas uma de cada vez, na ordem indicada, o rotor gira em incrementos de 1.8 graus. Este motor também pode ser controlado de forma a usar duas fases de cada vez, para obter maior torque, ou alternadamente, ora uma ora duas fases de cada vez, a fim de produzir meio-passos ou incrementos de 0.9 grau.

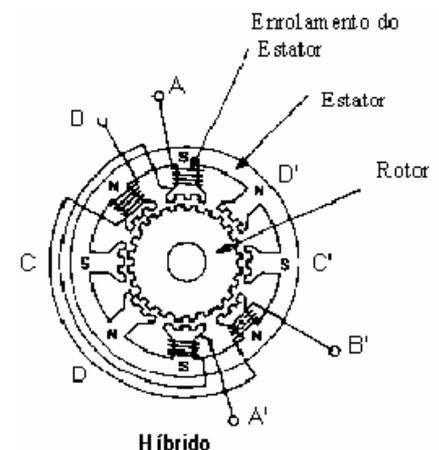


Figura 1.3

O motor pode mover rotações específicas de um certo grau, apenas calculando o número de rotações por pulsos. Existem também 3 tipos básicos de movimento : passo normal, com excitação única e dual, e meio passo tanto para o unipolar como o bipolar.

PASSO NORMAL

Há dois tipos de passo normal :

a) Única excitação de fase – motor operado com só uma fase energizada de cada vez. Só deve ser usada onde o torque e a velocidade não são importantes. Problemas de ressonância podem impedir operação em baixa velocidade. Este modo requer uma quantia de potência menor do que os demais modos de excitação.

b) Excitação dual – o motor é operado com as fases energizadas duas de cada vez. Proporciona bom torque e velocidade com poucos problemas de ressonância. Provê aproximadamente 30 a 40% de mais torque do que a excitação única mas requer o dobro da fonte.

MEIO PASSO

É a excitação única e dual alternada que resulta em passos com a metade de um tamanho de um passo normal. Esse modo dobra a resolução. O torque no motor varia a alternar

o passo, isto é, compensado pela necessidade de se usar um passo com metade do ângulo normal. Este modo reduz a ressonância do motor, mas pode fazer este protelar em frequências ressonantes particulares. Pode operar motores em uma grande faixa de velocidade e com quase qualquer carga encontrada comumente.

O maior inconveniente do motor de passo é a perda de passo devido a uma sobrecarga ou perturbação

1.1 MOTOR UNIPOLAR

Os motores de passo unipolares mais comuns possuem 2 bobinas com 6 fios. Cada bobina consiste de um enrolamento com derivação central chamado de “center-tape”, ilustrado na figura abaixo:

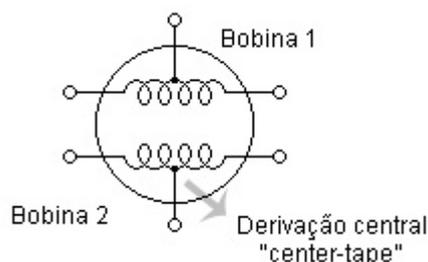


Fig 1.1.1 Motor Unipolar com 2 bobinas.

O center-tape, tem como função alimentar o motor, enquanto que os terminais quando aterrados, efetuam o controle do movimento. Ao submeter uma das bobinas a uma tensão, o campo magnético induzido no estador, figura abaixo, provoca um movimento de rotação no rotor de motor até atingir um determinado ponto de equilíbrio. Este movimento é possível pois as bobinas do motor são isoladas umas das outras. Então, ao aplicar-se uma tensão na bobina 1 e 2, o campo magnético é invertido sem a necessidade de se inverter o sentido da corrente para efetuar a rotação no eixo do motor. Esta característica permite que o circuito de ativação seja simples e direta, diferente dos motores bipolares.

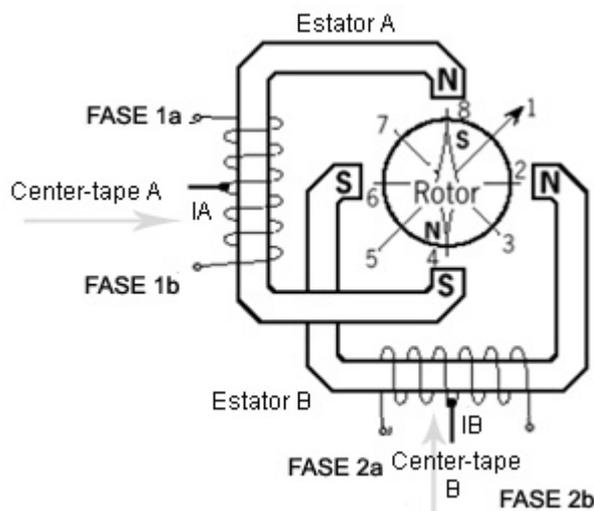


Fig 1.1.2 Motor Unipolar – Ilustração do rotor

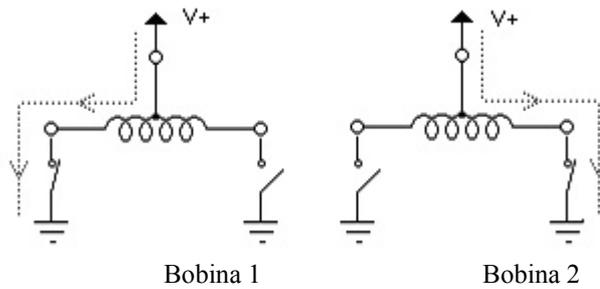


Fig 1.1.3 Sentido da corrente nas bobinas 1 e 2

Como existem duas bobinas e duas direções em que a corrente pode fluir no motor, figura 1.1.3, se diz que este possui 4 Fases (1A, 1B, 2A e 2B). É necessário então saber qual a seqüência correta que deve-se aterrar os terminais para fazer o motor girar continuamente, ou seja, saber qual a ordem correta dos fios que a corrente fluirá para produzir um campo magnético que atrairá o rotor do motor para que ele gire em seqüência como mostra a figura a seguir:

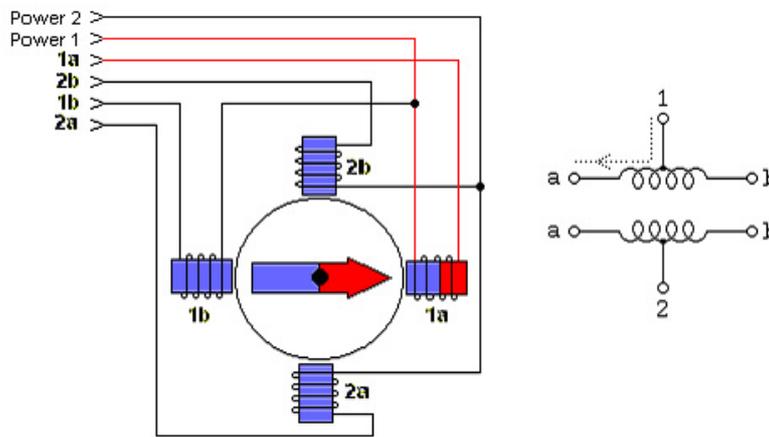


Fig 1.1.4 Modelo conceitual do motor de passo Unipolar – ângulo de fase 90 graus.

Para identificar quais os fios pertencem as respectivas bobinas e seus center-tapes utiliza-se de um instrumento de medição, multitest por exemplo, para medir a resistência ôhmica nos terminais como mostra a ilustração :

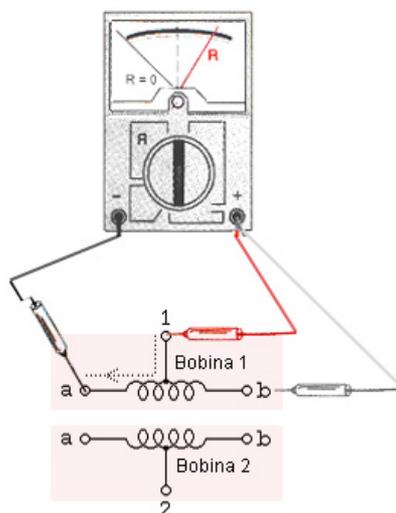


Fig 1.1.5 Identificação dos fios do motor de passo Unipolar.

Esse tipo de motor, possui três movimentos básicos de acordo com a tensão aplicada nos terminais das bobinas :

1) “Wave drive” – Apenas uma das bobinas encontra-se energizada por vez. Seu consumo é baixo e assegura precisão.

Bobinas	1A	2A	1B	2B
01	1	0	0	0
02	0	1	0	0
03	0	0	1	0
04	0	0	0	1

Posição 8 → 2 → 4 → 6 da figura 1.1.2

2) “Full Step Drive” – Esta seqüência energiza duas fases adjacentes simultaneamente, desempenhando uma melhor relação torque-velocidade. Também é conhecida como Hi Torque.

Bobinas	1^a	2A	1B	2B
01	1	1	0	0
02	0	1	1	0
03	0	0	1	1
04	1	0	0	1

Posição 1 → 3 → 5 → 7 da figura 1.1.2

3) “Half Step Drive” – combinação dos dois modos anteriores, Wave Drive e Full Step Drive, permitindo uma rotação de meio passo.

Bobinas	1A	2A	1B	2B
01	1	1	0	0
02	0	1	0	0
03	0	1	1	0
04	0	0	1	0
05	0	0	1	1
06	0	0	0	1
07	1	0	0	1
08	1	0	0	0

Posição 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 da figura 1.1.2

Existem outros tipos de motores unipolares encontrados no mercado que possuem uma quantidade de fios diferente, são eles :

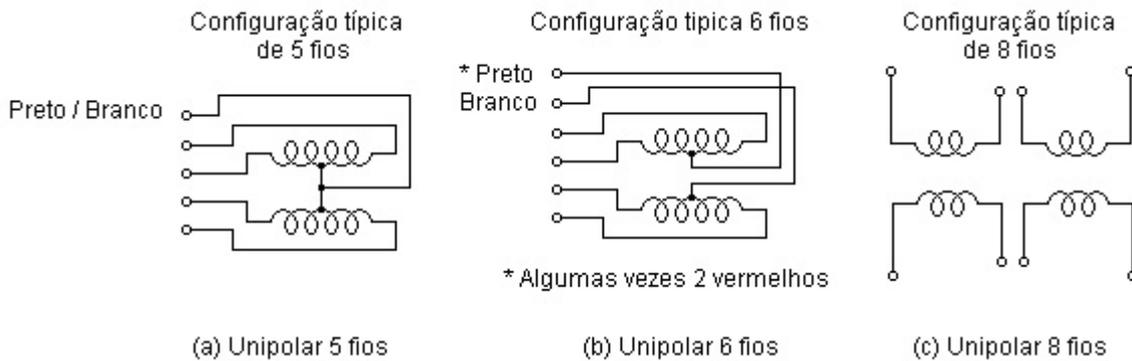


Fig 1.1.6 – Tipos de motores unipolares

1.2 MOTOR BIPOLAR

Os motores de passo bipolar utilizam um circuito de controle mais complexo que os unipolares. São conhecidos pela sua excelente relação tamanho/torque no qual proporcionam um torque superior comparado a um motor unipolar de mesmo tamanho.

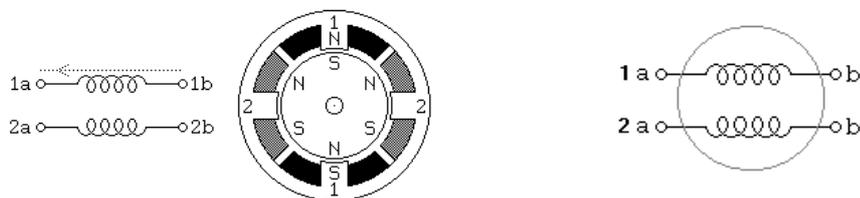


Figura 1.2.1 (a) Motor Bipolar

(b) Enrolamento

Estes motores são constituídos por enrolamentos separados, sem *center-tape*, que devem ser acionados em ambas direções para permitir o avanço de um passo, ou seja, a polaridade deve ser invertida durante o funcionamento. Por esta característica, o motor foi chamado de bipolar. Diferentes dos unipolares, possuem 4 fios em sua maioria, onde um simples teste de resistência mostra qual dos fios pertence a sua respectiva bobina.

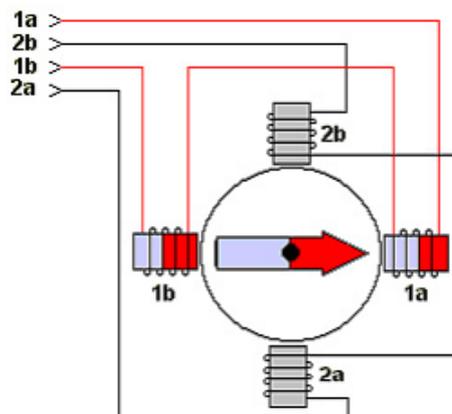


Figura 1.2.2 Modelo do motor de passo bipolar

O circuito que controla o motor de passo tem que ser capaz de inverter a polaridade de tensão por qualquer bobina, deixando a corrente fluir nas diversas direções como mostra a figura abaixo:

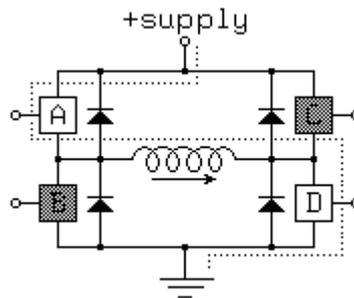


Figura 1.2.3. Mecanismos de funcionamento

Este tipo de circuito é chamado *H-Bridge* e aciona o motor numa determinada direção de acordo com o sentido da corrente. Pode ser utilizado não só em motores de passo como também em motores de corrente contínua, solenóides e muitas outras aplicações onde a polaridade reversa é o “ponto chave” para o acionamento.

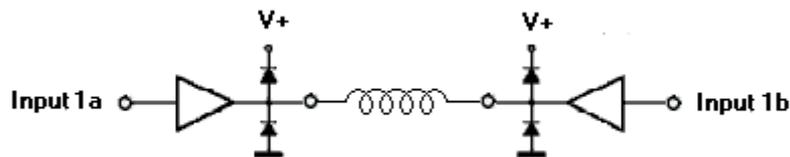


Figura 1.2.4. Mecanismos de proteção.

Por medidas de segurança, é necessário o uso de diodos no enrolamento de cada bobina, para evitar que correntes reversas venham prejudicar o sistema como um todo.

As bobinas no motor de passo bipolar, são acionadas na mesma lógica que os motores unipolares, porém em vez de níveis lógicos “0’s” e “1’s”, temos polaridades “+’s” e “-’s”. A seguir é ilustrada uma tabela comparativa entre as seqüências de passos na bobina do motor.

Tabela de seqüência de passos										
Seqüência de pulsos Unipolar					Polaridade Bipolar					Descrição
Bobinas	1	2	1	2	Bobinas	1	2	1	2	
	A	A	B	B		A	A	B	B	
01	1	0	0	0	01	+	-	-	-	
02	0	1	0	0	02	-	+	-	-	
03	0	0	1	0	03	-	-	+	-	
04	0	0	0	1	04	-	-	-	+	
“Wave drive”					“Wave drive”					

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bobinas</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Full – Setp</i></p>	Bobinas	1	2	1	2		A	A	B	B	01	0	0	1	1	02	0	1	1	0	03	1	1	0	0	04	1	0	0	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bobinas</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>+</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>-</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Full - Setp</i></p>	Bobinas	1	2	1	2		A	A	B	B	01	-	-	+	+	02	-	+	+	-	03	+	+	-	-	04	+	-	-	+	<p><u>Torque alto</u> – Esta seqüência energiza duas fases adjacentes desempenhando uma melhor relação torque-velocidade.</p>																																								
Bobinas	1	2	1	2																																																																																																		
	A	A	B	B																																																																																																		
01	0	0	1	1																																																																																																		
02	0	1	1	0																																																																																																		
03	1	1	0	0																																																																																																		
04	1	0	0	1																																																																																																		
Bobinas	1	2	1	2																																																																																																		
	A	A	B	B																																																																																																		
01	-	-	+	+																																																																																																		
02	-	+	+	-																																																																																																		
03	+	+	-	-																																																																																																		
04	+	-	-	+																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bobinas</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Half – Setp</i></p>	Bobinas	1	2	1	2		A	A	B	B	01	1	0	0	0	02	1	1	0	0	03	0	1	0	0	04	0	1	1	0	05	0	0	1	0	06	0	0	1	1	07	0	0	0	1	08	1	0	0	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bobinas</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>-</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>-</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>+</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>+</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Half - Setp</i></p>	Bobinas	1	2	1	2		A	A	B	B	01	+	-	-	-	02	+	+	-	-	03	-	+	-	-	04	-	+	+	-	05	-	-	+	-	06	-	-	+	+	07	-	-	-	+	08	+	-	-	+	<p><u>Meio passo</u> – Efetivamente dobra a sua precisão, porém o torque não é uniforme a cada passo. Esta seqüência de passos reduz a ressonância do motor, mas pode fazer o motor protelar em freqüências ressonantes particulares.</p>
Bobinas	1	2	1	2																																																																																																		
	A	A	B	B																																																																																																		
01	1	0	0	0																																																																																																		
02	1	1	0	0																																																																																																		
03	0	1	0	0																																																																																																		
04	0	1	1	0																																																																																																		
05	0	0	1	0																																																																																																		
06	0	0	1	1																																																																																																		
07	0	0	0	1																																																																																																		
08	1	0	0	1																																																																																																		
Bobinas	1	2	1	2																																																																																																		
	A	A	B	B																																																																																																		
01	+	-	-	-																																																																																																		
02	+	+	-	-																																																																																																		
03	-	+	-	-																																																																																																		
04	-	+	+	-																																																																																																		
05	-	-	+	-																																																																																																		
06	-	-	+	+																																																																																																		
07	-	-	-	+																																																																																																		
08	+	-	-	+																																																																																																		

Tabela 1.2.5 – Tabela de seqüência dos passos

O circuito de controle de motor de passo utilizado para inverter a polaridade, pode acionar tanto motores bipolares como unipolares. Os motores bipolares são simplesmente motores unipolares sem os center-tapes. Abaixo segue 2 maneiras de adaptar os motores unipolares ao circuito de inversão de fase :

1 – Ignora-se os fios ligados aos *center-tape* (dois dos seis fios).

2 – Utiliza-se os fios de um dos seus terminais e um dos fios do *center-tape*. Este tipo de configuração produzirá menos torque, porém permitirá velocidades de topo mais altas por causa da baixa indutância.

Um exemplo desta aplicação pode ser encontrada na figura 1.7 que segue logo abaixo:

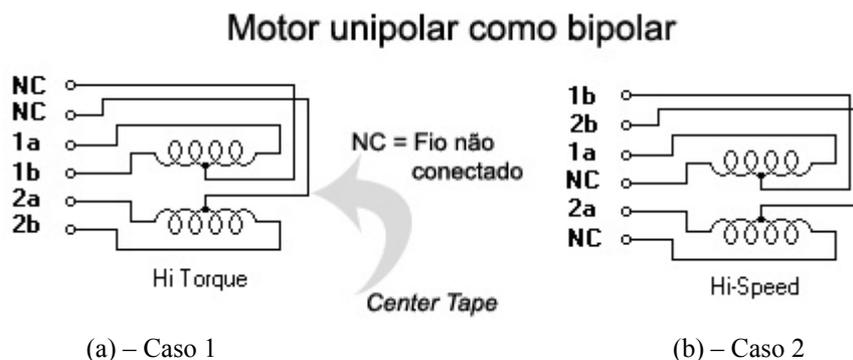


Figura 1.2.6 Unipolar como Bipolar

1.3. ANÁLISE PRÁTICA

A análise prática tem como ênfase obter a função de transferência dos motores de passo, modelo 103G775-254, STH-56D101 e 57BYG08, através dos dados obtidos experimentalmente em laboratório, além de desenvolver um dispositivo para o acionamento dos mesmos.

1.3.1 CARACTERÍSTICAS

Os motores possuem tais características :

I) Modelo Bipolar : 103G775-2540

Número de Fases	2
Voltagem	7.2 V
Corrente	0.6 A
Resistência	
Indutância	
Torque de travamento	
Momento Torque	
Inércia do Rotor	
Ângulo	1,8°
Peso	0.4 Kg

II) Modelo Bipolar : STH-56D101

Número de Fases	2
Voltagem	7.2V
Corrente	0.6A
Resistência	
Indutância	
Torque de travamento	
Momento Torque	
Inércia do Rotor	
Ângulo	1,8°
Peso	0.4 Kg

III)Motor Unipolar : 57BYG08

Número de Fases	4
Voltagem	12 V
Corrente	0.6 A
Resistência	20 Ω
Indutância	22 mH
Torque de travamento	58.8 N.cm
Momento Torque	7.06 N.cm
Inércia do Rotor	145 g.cm ²
Peso	0.65 Kg

1.3.2. DIAGRAMA ELÉTRICO

Abaixo seguem os circuitos desenvolvido para a ligação dos motores :

I – Diagrama Unipolar

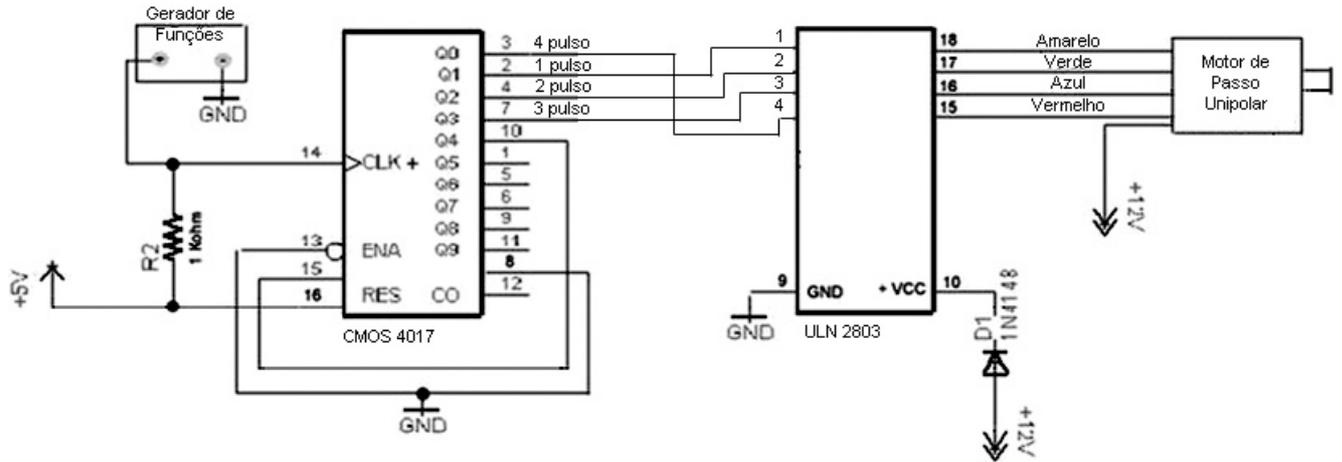


Figura 1.3.2.1 . Diagrama elétrico – Motor unipolar

II – Diagrama Bipolar

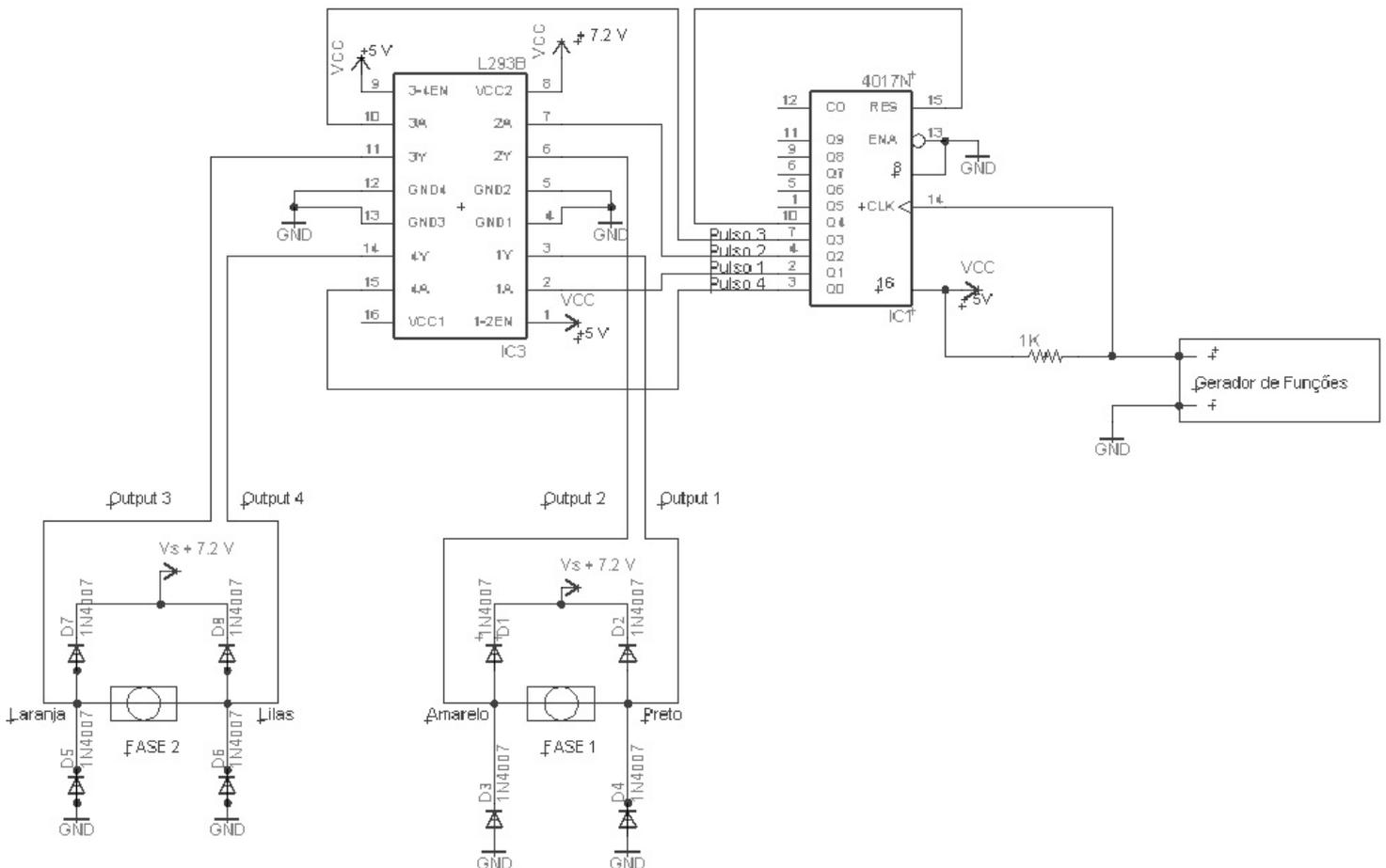


Figura 1.3.2.2 . Diagrama elétrico – Inversão de fase

O funcionamento do circuito para acionamento tanto dos motores bipolares como unipolares são simples. Possuem um chip CMOS 4017 responsável em transformar um pulso TTL gerado pelo gerador de funções em outros quatro pulsos (CMOS) seqüenciados como segue na figura abaixo :

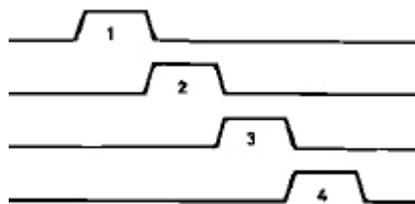


Fig. 1.3.2.3 Seqüência de pulsos na saída do CMOS 4017.

No caso do motor bipolar, estes pulsos são introduzidos no chip L293B (1A de corrente por canal), figura 1.3.2.4, que é responsável em efetuar a inversão de fase nas bobinas no motor. Este modo, energiza apenas uma fase por vez como mostrado na tabela 1.2.4 (seqüência de passos).

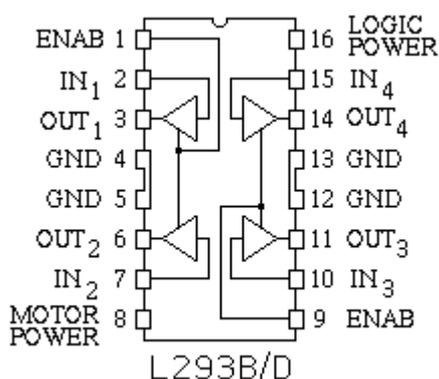


Fig. 1.3.2.4 – L293B/D

Já no motor unipolar, os pulsos são introduzidos no chip ULN2803 . Este é responsável em aterrar as bobinas do motor de passo na mesma seqüência em que os pulsos são inseridos. O chip suporta 500 mA com tensão de entrada de até 30 volts. A temperatura de operação vai de -20°C a $+85^{\circ}\text{C}$, suporta uma freqüência de operação de até 10Ghz e tensão de pulso 5V CMOS / TTL.

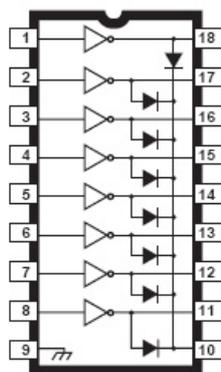


Fig 1.3.2.5 – ULN 2803

1.3.3. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para o funcionamento do circuito, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 1) Gerador de funções modelo Minipa 2Mhz MFG-4201
- 2) Tacômetro Photo/Contact Minipa MDT – 2238
- 3) Fonte de Alimentação MPS - 3006D
- 4) Pannel para ligação do circuito – Protoboard MSB300
- 5) Resistor de 1 K Ω
- 6) Multímetro Digital ET – 2060
- 7) 16 Diodos 1N4007
- 8) Chip L293B e ULN 2803
- 9) Conexões de fios com pinos

Através do gerador de funções, foi aplicado uma determinada faixa de frequência no motor de passo, onde sua resposta foi coletada utilizando-se de um tacômetro.

É importante salientar que quanto maior a frequência aplicada na alimentação, menor é o torque do motor. Isto ocorre porque o rotor possui um tempo menor para mover-se de um ângulo para o outro.

A faixa de frequência inserida com suas respectivas rotações por minuto e segundo, são mostradas nas tabelas abaixo :

1) Motor Bipolar : 103G775-2540

Frequência HZ	Rpm	Rps
24	4.7	0.07833
26	5.5	0.09167
32	10.5	0.17500
40	14.4	0.24000
44	22	0.36667
71	44	0.73333
84	24.8	0.41333
88	25.7	0.42833
92	26.6	0.44333
96	27.8	0.46333
101	29.4	0.49000
104	30.1	0.50167
108	31.6	0.52667
111	32.4	0.54000
119	35	0.58333
122	35.5	0.59167
126	37	0.61667
128	38	0.63333
131	38.4	0.64000
135	39.3	0.65500
139	41	0.68333
148	43	0.71667
150	43.9	0.73167
156	45	0.75000
163	47.4	0.79000
167	48	0.80000

Frequência	Rpm	Rps
241	70.6	1.17667
250	73.3	1.22167
257	74.6	1.24333
262	76.5	1.27500
270	78.7	1.31167
275	80.4	1.34000
284	83.3	1.38833
296	86.7	1.44500
300	87.5	1.45833
311	91.2	1.52000
323	94.6	1.57667
338	98.9	1.64833
347	101.5	1.69167
355	104.2	1.73667
368	107.9	1.79833
375	110	1.83333
397	116.9	1.94833
410	120.3	2.00500
424	124.6	2.07667
435	127.2	2.12000
446	130.3	2.17167
457	133.6	2.22667
471	138.3	2.30500
482	140.9	2.34833
503	146.6	2.44333
537	156.7	2.61167

171	49.8	0.83000
175	50.6	0.84333
180	51.3	0.85500
184	52.6	0.87667
187	54.2	0.90333
194	56.2	0.93667
204	59.6	0.99333
211	61.7	1.02833
219	63.8	1.06333
223	64.1	1.06833
230	66.6	1.11000
234	67.8	1.13000

566	165	2.75000
579	168.6	2.81000
592	171.1	2.85167
603	175	2.91667
625	180.4	3.00667
640	185	3.08333
648	186.2	3.10333
652	186.5	3.10833
657	187.8	3.13000
661	196.5	3.27500
665	198.1	3.30167
Limite : 670	200.8	3.34667

Tabela 1.3.3.1 Dados do motor modelo : 103G775-2540

2) Motor Bipolar : STH-56D101

Frequência	Rpm	Rps
55	10.8	0.18000
67	13.9	0.23167
83	14.7	0.24500
93	23	0.38333
107	28.1	0.46833
119	34	0.56667
127	36.7	0.61167
140	39.4	0.65667
143	40.5	0.67500
152	43.2	0.72000
169	47.5	0.79167
182	51.2	0.85333
187	52.1	0.86833
202	57.5	0.95833
218	62.9	1.04833
232	68	1.13333
241	70.2	1.17000
254	73	1.21667
269	77.9	1.29833
285	82.3	1.37167
293	86.2	1.43667
300	87.4	1.45667
303	88.4	1.47333
319	92.7	1.54500
335	98	1.63333
358	104	1.73333

Frequência	Rpm	Rps
375	106.8	1.78000
392	114.1	1.90167
405	118.5	1.97500
414	122.2	2.03667
438	128.4	2.14000
448	131.1	2.18500
460	134.5	2.24167
488	143.5	2.39167
509	149.8	2.49667
520	153.4	2.55667
542	159.3	2.65500
554	164.2	2.73667
576	170.5	2.84167
592	174.9	2.91500
605	178.5	2.97500
620	183.5	3.05833
641	190	3.16667
651	192.9	3.21500
667	198.7	3.31167
680	201.3	3.35500
704	208.7	3.47833
712	210.2	3.50333
719	212.2	3.53667
730	216.1	3.60167
Limite : 743	219.5	3.65833

Tabela 1.3.3.2 Dados do motor modelo : STH-56D101

3) Motor Unipolar : 57BYG08

Frequência	Rpm	Rps
220	64.1	1.06833
230	67.7	1.12833
240	71	1.18333
250	74	1.23333
260	76.8	1.28000
270	79.6	1.32667
280	83.1	1.38500
290	86	1.43333
300	89.1	1.48500
310	91.9	1.53167
320	95.1	1.58500
330	98.1	1.63500
340	100.6	1.67667
350	103.9	1.73167
360	106.6	1.77667

Frequência	Rpm	Rps
370	109.6	1.82667
380	113	1.88333
390	116.2	1.93667
400	119	1.98333
410	121.9	2.03167
420	125.1	2.08500
430	128.1	2.13500
440	130.9	2.18167
450	133.6	2.22667
460	136.9	2.28167
470	139.9	2.33167
480	143.2	2.38667
490	146.3	2.43833
500	148.8	2.48000
Limite : 715	213,1	3.55166

Tabela 1.3.3.3 Dados do motor modelo : STH-56D101

Analisando-se graficamente os dados, figura 1.3.3.4, 1.3.3.5 e 1.3.3.6, os motores exibem uma relação “linear” entre as frequências aplicadas em hz e as rotações por segundo.

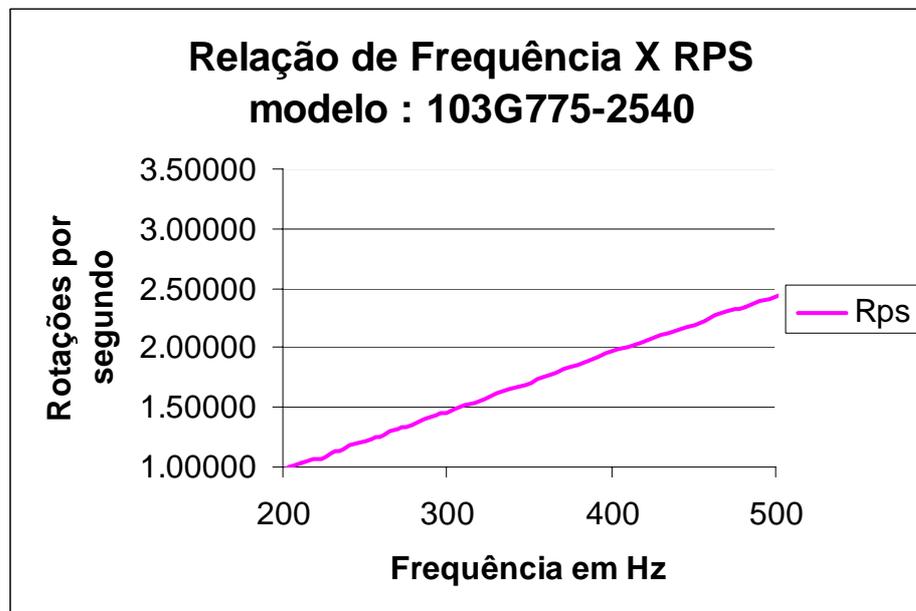


Figura 1.3.3.4 – Gráfico obtido através dos dados experimentais

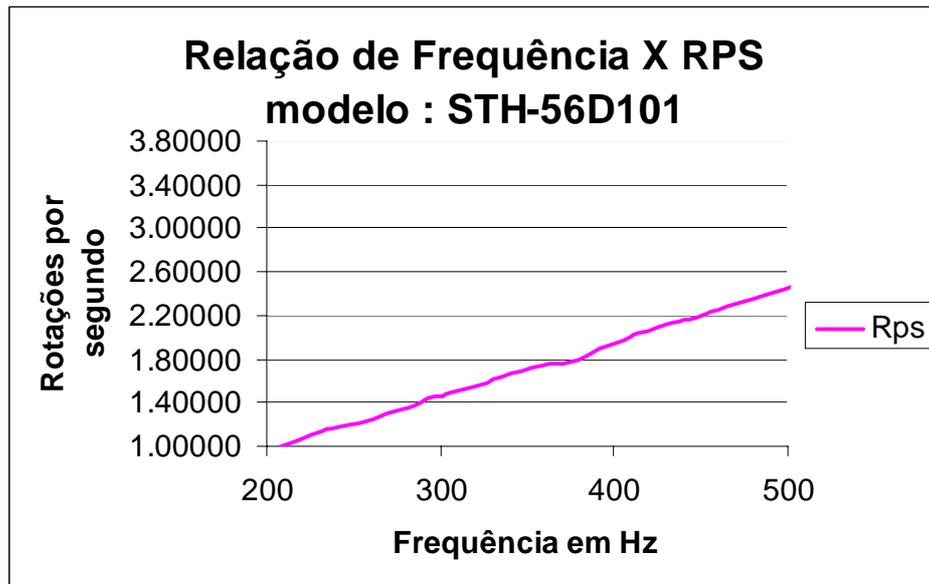


Figura 1.3.3.5 – Gráfico obtido através dos dados experimentais

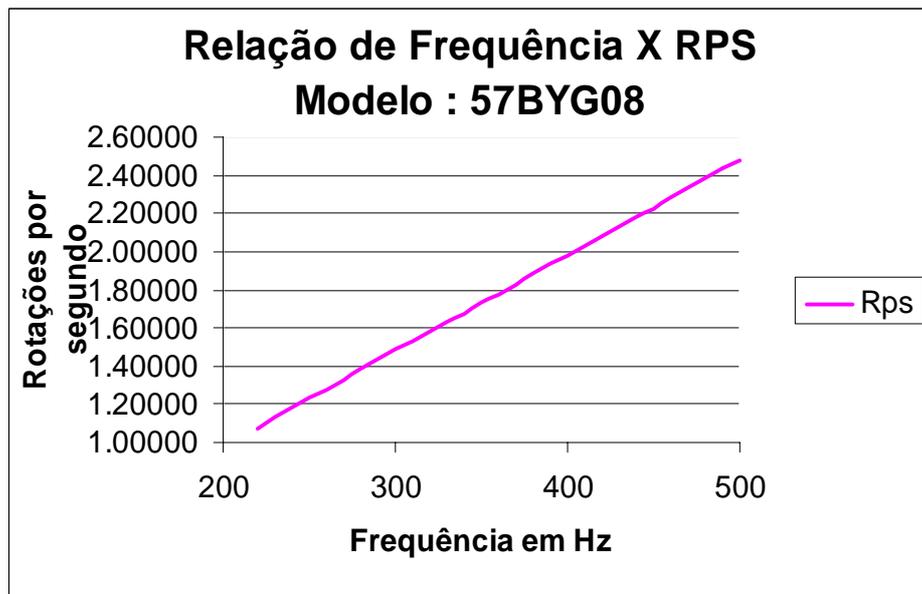


Figura 1.3.3.6 – Gráfico obtido através dos dados experimentais

Como o objetivo principal é obter a função de transferência dos motores em análise, utilizou-se o teorema do método dos mínimos quadrados que relaciona os gráficos aos parâmetros a e b nas seguintes fórmulas matemáticas :

$$S_y = a \cdot S_x + b$$

$$S_{xy} = a \cdot S_{x^2} + b \cdot S_x$$

Onde :

$$S_y \rightarrow y_1 + y_2 + y_3 + \dots y_n$$

$$S_x \rightarrow x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n$$

$$S_{xy} \rightarrow x_1 \cdot y_1 + x_2 \cdot y_2 + x_3 \cdot y_3 + \dots x_n \cdot y_n$$

$$S_{x^2} \rightarrow x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots x_n^2$$

Para os modelos temos os seguintes resultados:

I) 103G775-2540

Sx ²	Sy	Sx	Sxy
9170899.9321	107.926627	21951.39	44628.0567967

Função de Transferência :

$$F(y) = 0,00475348492631 * x - 0,0471187568861$$

II) STH-56D101

Sx ²	Sy	Sx	Sxy
9634010	96.64502	19418	47421.03053

Função de Transferência :

$$F(y) = 0,00474133302982 * x + 0,089761082883$$

III) 57BYG08

Sx ²	Sy	Sx	Sxy
3961400	51.65868	10440	19615.55

Função de Transferência :

$$F(y) = 0,0050168935 * x - 0,02474790$$

Por se tratar de um método de aproximação, sabe-se que não se pode garantir com total segurança que uma dada frequência venha corresponder fielmente a um dado rps. Porém com esta equação tem-se condições de se prevê a velocidade máxima, média ou mínima que o motor possa atingir.

1.4 CONCLUSÃO

Após analisar os motores de passo bipolares e unipolares, foi possível verificar que os bipolares possuem realmente uma relação tamanho/torque bastante apreciável quando comparado aos motores unipolares. O modelo 57BYG08, unipolar, chega a ser 38% mais pesado que os modelos bipolares, STH-56D101 e 103G775-2540. Outra observação importante é que o motor bipolar possui uma tensão de alimentação 40% menor que o unipolar para obter o mesmo torque, sendo o consumo de corrente iguais para ambos. Já o circuito de controle do motor de passo unipolar é mais simples e mais barato em relação ao bipolar.

Os motores analisados suportam uma faixa de frequência que quando aplicadas acima de um determinado valor, perdem passo e torque. Frequências baixas também provocam ressonâncias nos motores, porém este fator pode ser contornado simplesmente alterando-se a lógica de ativação. Nos testes práticos, os motores bipolares mostraram-se um pouco mais rápido em relação ao unipolar.

Do ponto de vista do futebol de robôs, a melhor opção a implantar no agente autônomo são os motores de passo bipolares por sua relação tamanho/torque e tensão de alimentação. Já os unipolares, poderiam ser inseridos nos robôs goleiros, uma vez que estes agentes autônomos não necessitam ter altas velocidades em seu movimento (apenas horizontal). Além disto, o peso e o alto torque de travamento do motor ajuda evitar que o oponente empurre a bola para dentro do gol a qualquer custo.

A função de transferência obtida na análise dos dados, permite saber qual a velocidade que o robô atingirá de acordo com a frequência em hertz aplicadas.

A velocidade do motor e o tamanho da roda são fatores preponderantes no desempenho e atuação do futebol de robô. Este assunto será abordado com maiores detalhes no próximo tópico.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Máquinas Elétricas e Transformadores, Irving I. Kosow, 14ª edição, editora Globo

Máquinas Elétricas Rotativas volume 2, Aurio Gilberto Falcone, editora Edgard Blucher Ltda.

“Motores DC e Caixas de Redução”, publicado na Revista Saber Eletrônica, ano 36, no 335, dezembro/2000, data 29/03/2002.

“Controle de mesa XY utilizando motor de passo”, publicado na Revista Mecatrônica Atual, ano 1, no 02, fevereiro/2002, data 29/03/2002.

Revista Saber Eletrônica, disponível na internet via WWW, URL : <http://www.sabereletronica.com.br>, data 29/03/2002

Specifications for 57BYG-SPEC
<http://www.tlinternational.com/steppingmotors/57byg-sp.htm>

Datasheet HCF4017B

http://www.naald.net/users/zanco/datasheets/h_datasheets/hcf4017.pdf

Datasheet ULN2803

<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/ULN2803-D.PDF>

How to use disk drive stepper-motor

<http://www.hut.fi/Misc/Electronics/circuits/diskstepper.html>

Control of Stepping Motors, a tutorial

<http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/>

Stepper Motor System Basics

<http://www.ams2000.com/stepping101.html>

Outros sites :

<http://www.geocities.com/CollegePark/Dorm/8863/> , data 28/03/2002 ,

http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/motor/ , data 28/03/2002 ,

<http://www.mrshp.hpg.ig.com.br/> , data 28/03/2002 .

http://diana.ee.pucrs.br/~terroso/Dicas_de_HW/Motor_de_Passo/motor_de_passo.html

<http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/control2/connect.html>

<http://users.hotlink.com.br/rmenezes/informa/mpasso/mpasso.htm>