

defendida por MARCOS HENRIQUE MAMORU
OTSUKA HAMANAKA e aprovada pela Comissão
Julgada em 19 / 08 / 2002
Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO SIQUEIRA DIAS JSQ
UNICAMP/FEEC/DEMIC Orientador

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

DEPARTAMENTO DE MICROELETRÔNICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE CIRCUITO DE
CONTROLE PARA CADEIRA DE RODAS

MARCOS HENRIQUE MAMORU OTSUKA HAMANAKA

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO SIQUEIRA DIAS

Dissertação apresentada como parte dos pré-
requisitos exigidos para obtenção do TÍTULO
DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias - (DEMIC/FEEC/UNICAMP)
Prof. Dr. Wilmar Bueno de Moraes - (DEMIC/FEEC/UNICAMP)
Prof^a. Dra. Maria Nídia Ramos Daoud Yacoub - (UNISAL)
Prof. Dr. Alberto Martins Jorge - (DEMIC/FEEC/UNICAMP)

Campinas

19 de agosto de 2002

UNICAMP
BIBLIOTECA

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Resumo

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um circuito controlador dos motores de cadeiras de rodas. O circuito tem como características principais a simplicidade e o baixo custo, o que o torna acessível, independente da condição financeira, a todos os usuários que necessitem deste meio de locomoção.

O projeto foi dividido e desenvolvido em blocos e sub-blocos:

- Fonte de alimentação:
 - Circuito carregador da bateria;
 - Circuito indicador do nível de tensão da bateria;
 - Circuito regulador de tensão.
- Controle de motores da cadeira de rodas:
 - Circuito gerador do sinal PWM, de referência;
 - Circuito modulador do sinal PWM;
 - Circuito de comutação dos motores.
- Interface do usuário com a cadeira de rodas:
 - Circuito de interface de comandos do usuário e a cadeira de rodas;
 - Circuito lógico de comando.
- Motor e redutor em nível básico de conhecimento em forma de apêndice.

Os resultados, obtidos experimentalmente, mostram que os objetivos propostos foram alcançados, resultando num circuito simples, de baixo custo, reproduzível, pois utiliza componentes facilmente encontrados no mercado nacional e que atende as necessidades básicas do usuário.

Abstract

This Work describes the development of a DC motor control circuit to be used in wheel chairs. The main characteristics of the circuit are low cost and complexity. The objective of the development was to obtain a simple, low cost wheel chair control module, which can be built and manufactured in our country, thus making the product accessible to all handicapped people, independently of their financial condition.

The design was divided into blocks and subblocks

- Power Source:
 - Battery charge circuit;
 - Battery level indicator circuit and
 - Voltage regulator circuit.
- Control of Wheel chairs:
 - PWM generator circuit;
 - PWM modulator circuit and
 - Engines switch circuit.
- Interface user versus Wheel chairs:
 - The interface Circuit between users command and Wheel chairs and the basics of motor and reducer characteristics are explained in the appendix.

The experimental results are in agreement with the initial goals, resulting in a simple, low cost, good manufactured circuit. Since the final circuit uses only electronics components easily found in the Brazilian market.

Dedico este trabalho a minha esposa Andréia Lyna Akita Hamanaka e a minha mãe Kiyomi Otsuka pelo apoio e carinho em todos os momentos importantes de minha vida.

Quem ama a educação ama o saber...

PROVÉRBIOS 12:1

Agradecimentos

Aos meus pais, Kiyomi e Maurício, aos meus irmãos Ricardo, Claudia e Cristian e aos meus sobrinhos Karina, Vinícius e Thiago, pelo apoio, incentivo e pela infra-estrutura que proporcionaram.

A minha amada esposa Andréia e seus irmãos Márcio, Hilton e Monica pelo apoio e motivação.

Ao Prof. Dr. José Antônio Siqueira Dias pela orientação, compreensão, idéias, incentivo e tempo despendidos.

Ao Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes, da Universidade Estadual de Maringá, pelos ensinamentos, incentivo e correção de alguns conceitos da Física.

Ao meu amigo Wellington Romeiro de Melo pelas idéias e colaboração com este projeto.

Aos meus amigos, colegas e profissionais que colaboraram de alguma forma com este projeto, Patricia Serazzi, Ademilde, Noêmia, Maurício Gomes Duarte, Helmann, José Carlos da Silva, Fabiano, Iguatemi, Moisés e Edson.

Ao CenPRA (Centro de Pesquisas Renato Archer), em especial à prof.^a Dra. Alaide Mammana e ao Laboratório de Tecnologia de Mostradores de Informações pela colaboração.

À CAPES pelo apoio financeiro.

ÍNDICE

RESUMO	III
ABSTRACT	III
Lista de Símbolos.....	VIII
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1	5
Princípio de funcionamento da cadeira de rodas elétrica.....	5
CAPÍTULO 2	9
Projeto do controle de cadeiras de rodas.....	9
Controle do motor.....	10
Circuito de geração do sinal PWM.....	13
Modulador.....	18
Joystick.....	21
Dispositivo de comutação.....	24
Comparador.....	30
Esquema elétrico do controle de cadeira de rodas.....	31
CAPÍTULO 3	33
Projeto dos circuitos paralelos do sistema.....	33
Fonte de alimentação.....	33
Circuito carregador de bateria.....	33
Circuito indicador do nível de tensão.....	37
Circuito regulador de tensão.....	40
Circuito opcional do relógio digital.....	41
CAPÍTULO 4	42
Resultados experimentais.....	42
Circuito indicador do nível de tensão da bateria.....	42
Controle do motor.....	42
Controle do Joystick.....	48
Relógio digital.....	53
CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE 1	62
Motor	62
Torque e Potência	66
Redutor de velocidade.....	68
APÊNDICE 2	71
Fonte de alimentação do sistema da cadeira de rodas.....	71
Fonte de alimentação.....	71
Carregamento das baterias.....	73
APÊNDICE 3	74
Mostrador de cristal líquido.....	74
APÊNDICE 4	77
Circuito do relógio digital.....	77
Descrição do funcionamento dos contadores e decodificadores..	79

Lista de Símbolos

A	Ganho da malha do circuito
a^-	Dimensão linear
a^*	Segmento do dígito
b^-	Dimensão linear
b^*	Segmento do dígito
c^-	Dimensão linear
c^*	Segmento do dígito
CL	Cristal líquido
CV	Cavalo Vapor
CVD	Deposição química a vapor
d	Distância
d^*	Segmento do dígito
D	Ciclo de trabalho
Dn	Diodo do componente n
DC	Corrente direta
ΔV	Diferença de potencial
e^*	Segmento do dígito
e^-	Elétron
F	Força de atrito (Nm)
f	Frequência
f^*	Segmento do dígito
fc	Fator de serviço
f.e.m	Força eletro motriz
g	Constante gravitacional (m/s^2)
H	Hidrogênio
h	Altura
HP	Horse Power
In	Corrente do componente n
Jx	Momento de inércia (kgm^2)
kgfm	Kilograma força metro
kgm^2	Kilograma metro quadrado
Km/h	Kilômetros por hora
μ^*	Coefficiente de atrito
m^*	Massa
Ma	Momento de saída (Nm)
Mx	Momento de carga (kgfm)
η	Redimento do redutor
na	Velocidade de saída (rpm)
Nm	Newtom metro
O	Oxigênio
Pc	Potência efetiva (CV)
Pe	Potência equivalente (CV)
Pn	Portas paralelas do componente 4029

Pm	Potência do motor
Pb	Chumbo
PVA	Álcool polivinílico
PWM	Modulador de largura de pulso
Px	Potência do motor (kW)
Qn	Entradas do componente 4055
Rn	Resistor do componente n
rpm	Rotações por minuto
S	Enxofre
SCRn	Retificador controlado a silício do componente n
SnO ₂	Óxido de estanho
T	Período
ton	Tempo de acionamento
tperíodo	Período de duração do sinal
θ	Ângulo em graus
V	Volts
v	Velocidade (m/s)
VAC	Tensão de corrente alternada
Vbat	Tensão da bateria
VDC	Tensão de corrente constante
Vn	Tensão no componente n
Vsat	Tensão de saturação
Vth	Tensão de threshold
W	Tempo de carregamento do capacitor
x	Eixo paralelo ao centro das rodas
y	Eixo perpendicular ao centro das rodas

INTRODUÇÃO

O Brasil, como todo país em desenvolvimento, tem vários problemas sérios relacionados à educação e à saúde. Um dos problemas vivenciados por praticamente todos os países em desenvolvimento, e que também afeta o Brasil de maneira significativa, é a precariedade da atenção dispensada às pessoas portadoras de deficiência física, vítimas de problemas congênitos, enfermidades ou causas traumatológicas. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas e da Organização Mundial de Saúde, a população brasileira possui um contingente de 10% de portadores de deficiência, o que significa um número aproximado de 17 milhões de pessoas, 1 milhão das quais vivem em São Paulo. Os portadores de limitações físicas severas de locomoção e que fazem uso de equipamentos como cadeiras de rodas, andadores e muletas são estimados em 3 milhões de pessoas [46, 47, 48, 49, 50].

Possuir um defeito físico que obrigue o uso de uma cadeira de rodas geralmente significa ser alijado da sociedade, estar cerceado do direito de se sustentar com o fruto do próprio trabalho. A sociedade não sabe conviver com essas pessoas e ainda não conseguiu entender que o maior potencial humano é a mente.

O cérebro humano é capaz de criar e inventar objetos que facilitam a vida das pessoas, como foi o caso da primeira cadeira de rodas. Era uma espécie de triciclo, usado por Stephen Farfler, um homem com as duas pernas amputadas, que viveu em Nurembergue, na Alemanha, por volta de 1650. Era movida por manivelas que acionavam a roda dianteira por meio de uma corrente dentada interna. Acredita-se que foi construída por Johann Haustach,

que projetara uma cadeira "movidada a mão" para seu próprio uso, cerca de dez anos antes [40]. Atualmente existem as cadeiras de rodas manuais e também cadeiras de rodas muito mais avançadas, que são as cadeiras de rodas elétricas (motorizadas). Na figura 1 estão exemplificados alguns produtos que existem atualmente [39].

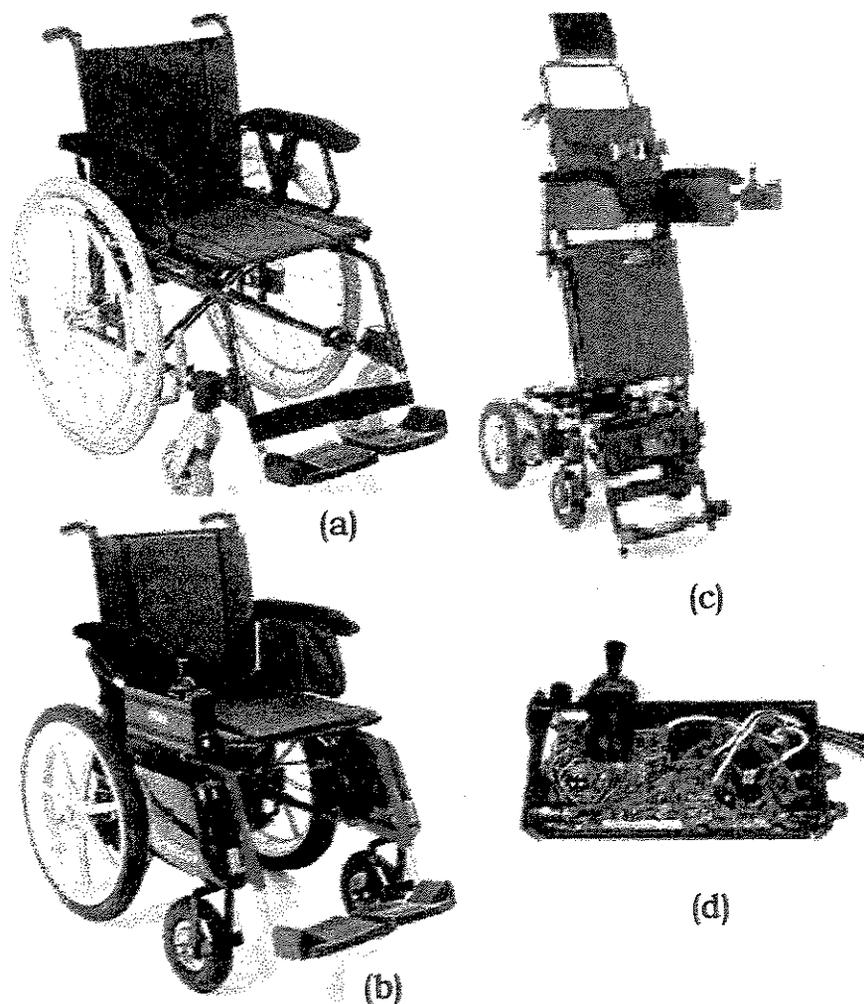


Figura 1 – a) cadeira de rodas manual, b) cadeira de rodas elétrica, c) cadeira de rodas elétrica, modelo “stand-up”, d) joystick de cadeira de rodas.

Os usuários de cadeiras de rodas sofrem algumas restrições que impõem limites à sua ação e a seu alcance manual e visual, conforme a figura 2(a) e 2(b). Observe que a pessoa é dependente das dimensões físicas da cadeira.

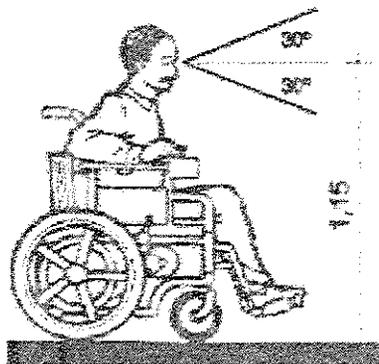


Figura 2a – Limite do alcance visual em cadeiras de rodas [51].

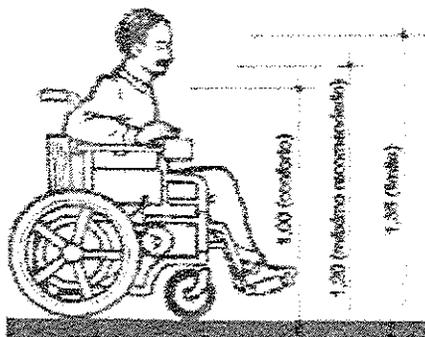


Figura 2b - Alcance de objetos para atividades que não exigem coordenação motora fina [51].

O objetivo deste trabalho é desenvolver um circuito de controle para movimentar uma cadeira de rodas, baseado em um circuito PWM (Pulse Width Modulator), ou modulador de largura de pulso, controlado por um *joystick*. Dentre as principais características do controlador, deseja-se que possua um

baixo custo, de forma a facilitar sua aquisição, e que seja eficiente quando incorporado a uma cadeira de rodas motorizada.

Futuramente pode-se pensar no projeto de um Circuito Integrado (CI) que realize todas as funções, já que, para produção em média escala, o custo final de um CI pode ser muito baixo.

No primeiro capítulo desta dissertação, são apresentadas a estrutura de blocos e o princípio de funcionamento da cadeira de rodas elétrica. O segundo capítulo apresenta o desenvolvimento do projeto dos circuitos de controle e suas aplicações específicas, isto é, circuito de geração do PWM; modulador, joystick, dispositivo de comutação e o comparador. No terceiro capítulo observa-se o projeto dos circuitos paralelos do sistema. No quarto capítulo tem-se os resultados obtidos através de simulações e medidas experimentais e por último, as conclusões e as propostas de continuação deste trabalho. Nos apêndices foram incluídas algumas informações detalhadas sobre algumas partes do projeto que podem ser úteis a pessoas interessadas em desenvolver este projeto. Os apêndices englobam os seguintes itens: motor; bateria; mostrador de cristal líquido e circuito do relógio digital.

Capítulo 1

Princípio de funcionamento da cadeira de rodas elétrica

A cadeira de rodas será particionada em uma macro-estrutura que será subdividida em estruturas menores nos próximos capítulos. Inicialmente será apresentado um diagrama de blocos de menor complexibilidade para facilitar a compreensão das características gerais. Observa-se, na figura 3, o diagrama de blocos. O sistema é controlado pelo usuário através de um joystick que é a interface com o circuito controlador, sendo este responsável pelo gerenciamento dos dois motores DC independentes que devem ser acoplados aos redutores de velocidade, diretamente fixados nas rodas. Todo o sistema é alimentado por duas baterias recarregáveis de 12 Vdc, o que garante a sua autonomia e a mobilidade.

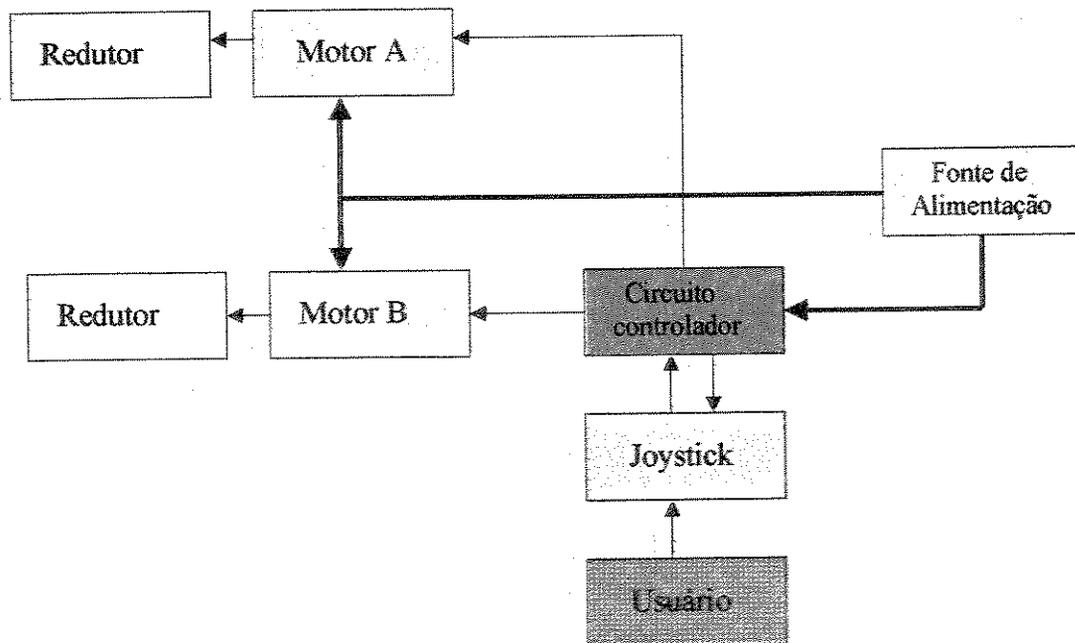


Figura 3 - Diagrama de blocos da estrutura da cadeira de rodas

O princípio de funcionamento consiste na transformação de energia elétrica em propulsão mecânica. Uma forma simples e barata de se obter essa propulsão é utilizar um motor de corrente contínua, que possui uma região de potência constante e uma rápida aceleração e desaceleração [9]. Buscou-se um motor que possuísse como característica a velocidade(rpm) versus o torque linear, para evitar variações abruptas no deslocamento da cadeira, como está ilustrado na figura 4.

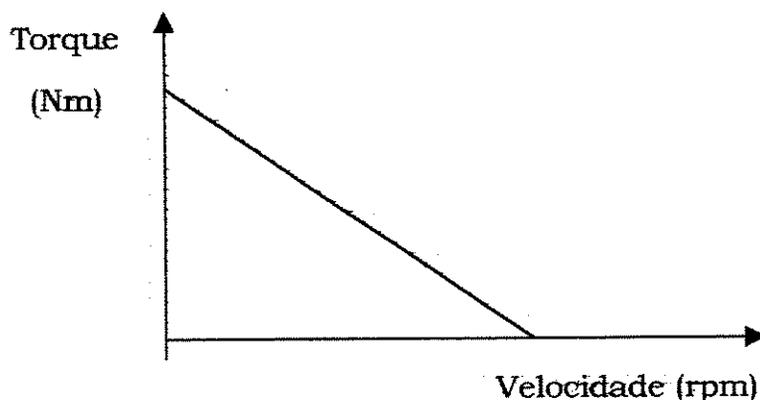


Figura 4 – Curva característica do motor DC utilizado no projeto.

A cadeira de rodas possui dois motores sincronizados por um sistema de controle que evita variações na velocidade, mantendo-os dentro de um limite aceitável.

A velocidade do motor é diretamente proporcional ao “duty cycle” do sinal de referência. Quanto maior a “duty cycle” do sinal de referência, maior será a velocidade do motor. Implementou-se um modulador de frequência na saída do gerador de pulsos, para variar a velocidade do motor.

Uma característica importante de um motor é o torque. Aplicando-se o princípio da alavanca, observa-se que a “força” que o motor pode exercer quando gira depende não só de suas características, mas também do diâmetro da roda. O torque é definido como o produto vetorial da força (\vec{F}) e do raio vetor (\vec{r}); a intensidade da força aplicada será proporcionalmente menor, para que o módulo de $\vec{\tau}$ se mantenha constante.

Os motores DC encontrados no mercado são motores de alta rotação e pequeno torque, o que impediria sua utilização neste trabalho. Quando acopla-se uma roda diretamente ao eixo de um motor DC comum, para movimentar a cadeira, tem-se duas possibilidades: a cadeira disparará em alta velocidade se for suficientemente leve, ou o motor não terá força para movimentá-la.

Para empregar um motor DC comum nesta aplicação, é preciso reduzir sua velocidade e, ao mesmo tempo, aumentar seu torque. Isso é feito acoplando-se ao motor algum sistema mecânico que possa realizar essas operações, ou seja: um redutor. O sistema mais indicado é por meio de engrenagens.

A relação entre os tamanhos e o número de dentes das engrenagens fornece a taxa de redução da velocidade e também de aumento da força obtida. Por exemplo, acopla-se ao motor uma engrenagem com 10 dentes e nela uma maior com 50 dentes, obtendo-se uma taxa de redução de 1:5. Pode-se aumentar a taxa, acoplando-se sucessivamente outras engrenagens.

O aumento do torque e a redução da velocidade, nessas taxas, são teóricas, pois é necessário considerar uma pequena perda que ocorre pelo atrito das partes mecânicas.

Os motores são responsáveis pelos movimentos da cadeira de rodas. A relação entre eles fornece a sua direção e o sentido, sendo possível girar 360° graus sobre o próprio eixo, sem que ocorra deslocamento, como pode ser observado na figura 5 [51]. Todos os comandos do usuário são coordenados pela caixa de controle e serão discutidos detalhadamente no próximo capítulo. Para selecionar as funções desejadas é necessário uma interface com o controle de cadeiras de rodas; neste caso utiliza-se o “joystick”.

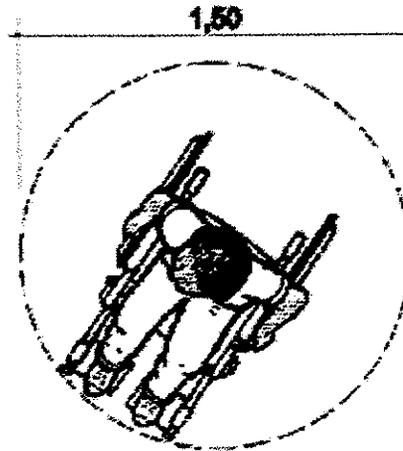


Figura 5 – A cadeira de rodas apresenta uma rotação de 360° sobre o seu eixo.

O “joystick” possui um funcionamento muito simples, sendo normalmente constituído de quatro entradas analógicas (ou convertidas pelo sistema em palavras de oito bits, 256 níveis de tensão). Cada entrada representa um eixo de coordenada x e y. Em alguns casos possui apenas os eixos; em outros mais sofisticados, como os simuladores de avião, possuem x, y, “tail” e “rudder” [41].

A fonte de tensão é uma peça fundamental do sistema. Para garantir a mobilidade, a versatilidade da cadeira e principalmente a sua autonomia, utilizam-se duas baterias móveis recarregáveis de 12 Vdc.

Capítulo 2

Projeto do controle de cadeiras de rodas

Neste capítulo, a macro-estrutura definida no capítulo anterior será subdividida em estruturas menores, detalhando-se a característica do seu funcionamento. O conjunto destes circuitos compõe a eletrônica da cadeira de rodas motorizada. Observa-se na figura 6, a subdivisão através do diagrama de blocos e posteriormente, no final deste capítulo, o esquema elétrico com todas as estruturas interligadas.

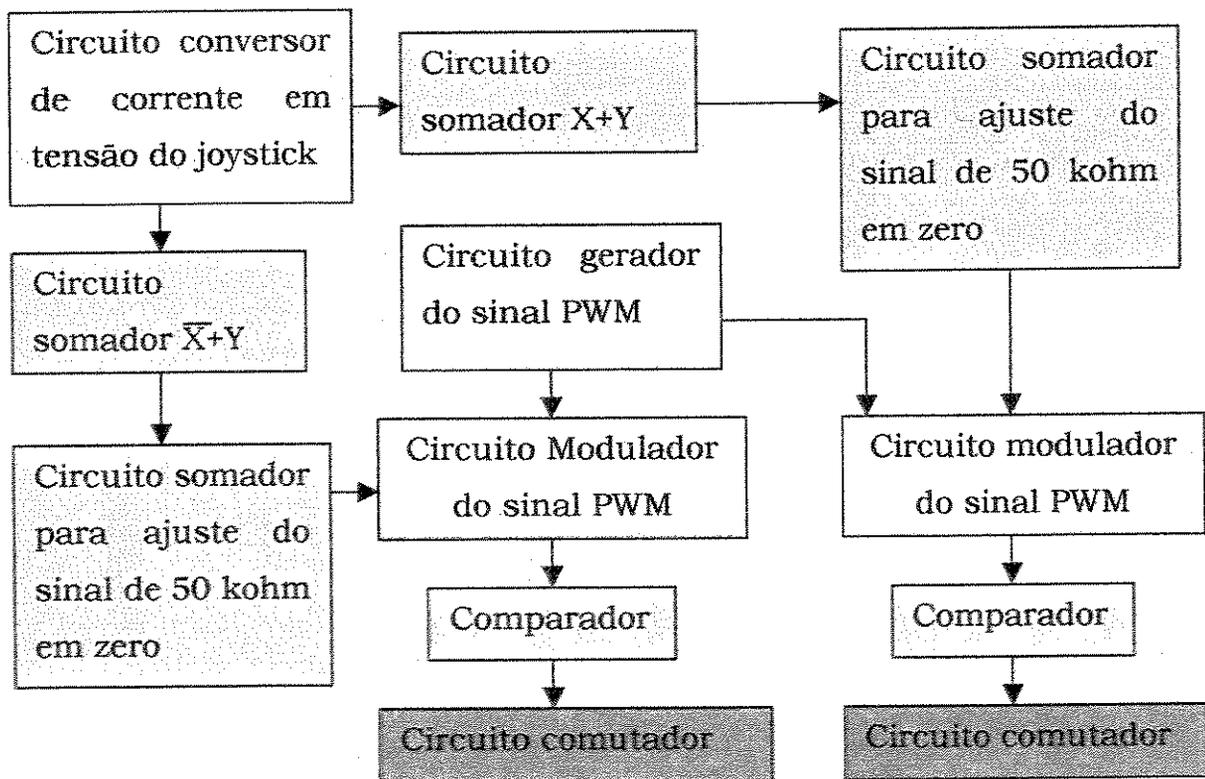


Figura 6 - Diagrama de blocos do controle da cadeira de rodas.

O circuito de controle funciona da seguinte maneira: ajusta-se o gerador PWM para fornecer um sinal no modulador, que varia o "duty cycle" de acordo com a diferença de potencial originada do conversor de corrente em tensão do joystick. Observa-se que o sinal que controla a modulação é tratado do seguinte modo: X e Y são somados, resultando num sinal R menor ou igual a zero e o sinal é somado novamente para calibrar o sistema, obedecendo a seguinte condição: quando $X = 50 \text{ Kohm}$ e $Y = 50 \text{ Kohm}$ $R_2 = 0$. O comparador tem a função de criar o estado parado da cadeira de rodas e os comutadores, de girar os motores nos dois sentidos.

Controle do motor

Uma maneira simples de se controlar uma carga de potência no motor é utilizar um reostato em série [32].

Variando-se a resistência do reostato, pode-se modificar a corrente na carga e, portanto, a potência aplicada a ela. A grande desvantagem deste tipo de controle, denominado linear, é que a queda de tensão no reostato, multiplicada pela corrente que ele controla, gera uma grande quantidade de calor [32].

O controle passa a dissipar e pedir mais potência que a aplicada na própria carga em determinadas posições do ajuste. Outra possibilidade é o emprego de um dispositivo de potência (normalmente um transistor) que é controlado por um potenciômetro. Embora o potenciômetro usado no controle dissipe pequena potência, pois a corrente nele é menor, a potência dissipada pelo dispositivo que controla a corrente principal é elevada.

Na eletrônica moderna, o rendimento com pequenas perdas e a ausência de grandes dissipadores que ocupem espaço é fundamental, principalmente quando circuitos de alta potência estão sendo controlados.

Desta forma, este tipo de controle de potência linear não é conveniente, sendo requisitadas outras configurações de maior rendimento, como as que

fazem uso das tecnologias do PWM (Pulse Width Modulation) ou modulação da largura de pulso.

O princípio é uma antiga idéia, que foi utilizada no passado em sistemas de telecomunicações e depois para controlar acionamentos de inversores e motores [7].

PWM (pulse width modulation) é um tipo de modulação no tempo, que consiste na codificação de um determinado sinal num trem de pulsos de largura variável, onde a informação do sinal está contida na largura dos pulsos [7].

O valor médio (DC) da forma de onda é dado pela área calculada, dividida pelo período. No caso de uma forma retangular, a tensão V_{dc} é expressa por [7]:

$$V_{dc} = \frac{t_{on} * V_{pk}}{t_{período}} \quad (1)$$

A figura 7 ilustra três casos de PWM.

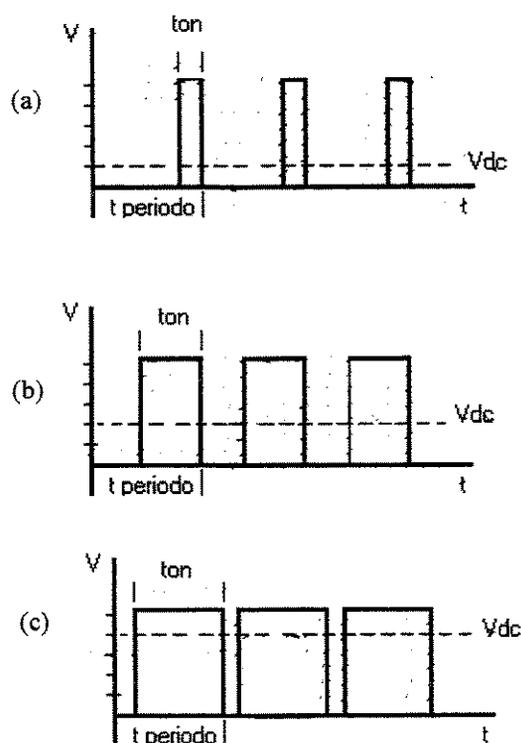


Figura 7 – a) Largura de pulso estreita, b) Largura de pulso 50%, c) Largura de pulso ampla.

Observando-se esta seqüência de ilustrações, verifica-se que, mudando a largura de pulso (t_{on}), e mantendo-se constante o período ($t_{período}$) e a amplitude V_{pk} , é possível controlar o valor médio do sinal de saída (V_{dc}).

O sinal PWM é geralmente obtido pela comparação de um sinal de controle modulante com uma onda periódica (portadora), a qual pode ser uma onda triangular ou dente-de-serra. Nota-se que a freqüência da onda portadora é a freqüência do sinal PWM [7, 5].

O circuito de controle por modulação de largura de pulso pode ser implementado com um número pequeno de componentes discretos e circuitos semicondutores, ou por um circuito integrado dedicado a esta finalidade [7].

O circuito de geração de sinais PWM é constituído por [7]:

- Oscilador
- Integrador
- Comparador

Na operação de um controle por PWM existem diversas vantagens a serem consideradas [7]:

- Na condição de aberto, nenhuma corrente circula pelo dispositivo de controle e, portanto, sua dissipação é nula.
- Na condição de fechado, teoricamente, se ele apresenta uma resistência nula, a queda de tensão é nula e ele não dissipa também nenhuma potência. Isso significa que, na teoria, os controles PWM não dissipam potência alguma e, portanto, consistem em soluções ideais para este tipo de aplicação [7].

Na prática, entretanto, isso não ocorre. Os dispositivos usados no controle não são capazes de abrir e fechar o circuito num tempo infinitamente pequeno. Eles precisam de um tempo para mudar de estado e, nesse intervalo de tempo, sua resistência sobe de um valor muito pequeno até infinito e vice-versa. As quedas de tensão e de corrente através do dispositivo não são nulas e uma boa quantidade de calor poderá ser gerada neste processo de comutação. Entretanto, mesmo com este problema, a potência gerada num controle PWM ainda é muito menor do que num circuito de controle linear equivalente [7].

Circuito de geração do sinal PWM

O circuito gerador do sinal PWM baseia-se num componente popular, o LM 555, que gera sinais com frequência e ciclos ativos que podem ser ajustados numa ampla faixa de valores. Na configuração astável normal (de percurso livre), o ciclo ativo depende dos resistores RA e RB (observe o modelo esquemático da figura 8). Nesta configuração o ciclo ativo fica limitado entre 50% e 100% [18].

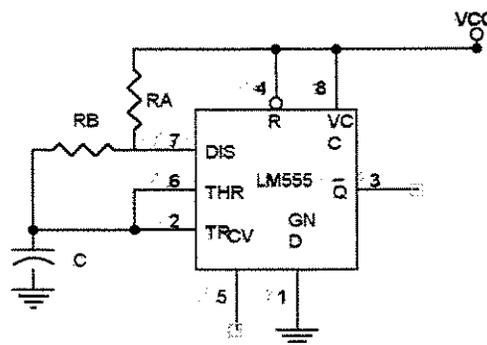


Figura 8 – Modelo esquemático de funcionamento astável do 555.

A figura 9a apresenta o diagrama esquemático interno do timer 555. Quando Q é baixo, o transistor é cortado e o capacitor C passa a carregar através do sinal obtido da soma das resistências RA mais RB. Portanto a constante de tempo de carga é $(RA + RB) \cdot C$. À medida que o capacitor carrega, a tensão de limiar aumenta e, quando ultrapassar $+2 V_{dc}/3$, o comparador de cima, que possui uma saída alta, liga (set) o flip-flop. Com Q alto, o transistor satura, aterra o pino 7 e o capacitor começa a descarregar através de RB. Tem-se, então que a constante de tempo de descarga é $RB \cdot C$. Quando a tensão do capacitor cai ligeiramente abaixo de $V_{dc}/3$, o comparador de baixo tem uma saída alta e isto reativa (reset) o “flip-flop” [18].

A figura 9b ilustra as formas de onda. O capacitor que controla o tempo tem uma tensão que sobe e desce exponencialmente. A saída é uma onda retangular. Como a constante de tempo de carga é maior do que a constante de

tempo de descarga, a saída não é simétrica; o estado alto de saída demora mais do que o estado baixo de saída [18].

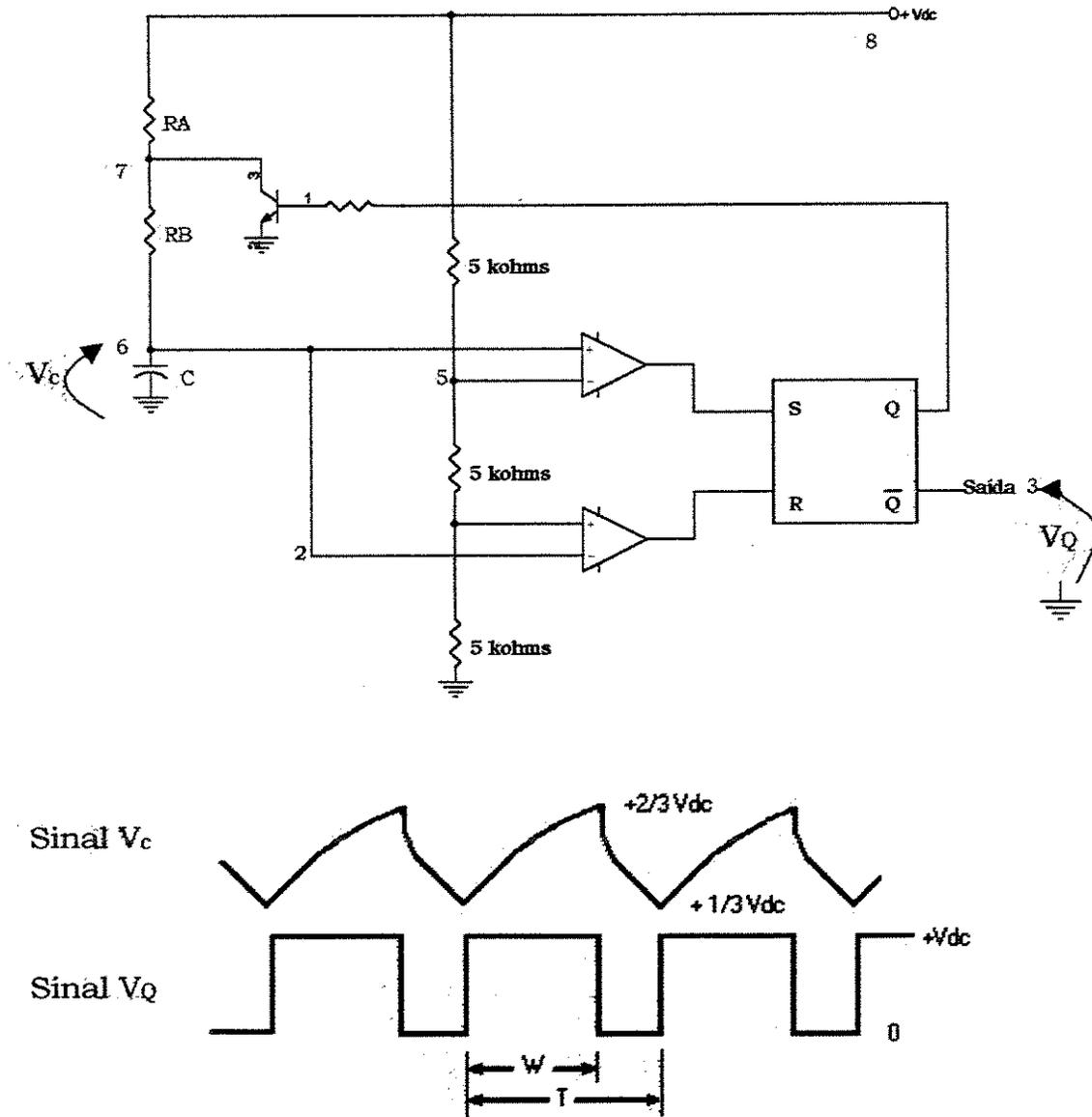


Figura 9 - a) Diagrama esquemático interno do timer LM555 no modo astável ;
b) Formas de onda geradas pelo circuito.

Para especificar a assimetria da saída, tem-se o ciclo de trabalho, definido da seguinte forma [18]:

$$D = \frac{W \cdot 100\%}{T} \quad (2)$$

Para aumentar o ciclo ativo de trabalho, coloca-se um diodo em paralelo com RB (ver figura 10). Dessa forma, o tempo de carga independe de RB.

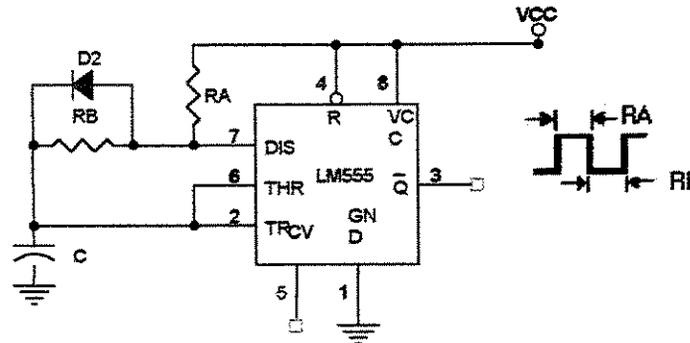


Figura 10 – Circuito gerador de sinais PWM.

Utilizando o princípio de funcionamento do circuito da figura 9, tem-se o circuito gerador de sinais de PWM mas, neste caso, o diodo altera a faixa de variação dos ciclos ativos, que é praticamente determinada pelo valor máximo de ajuste do trimpot de 100 kohms e dos resistores em série, ilustrado na figura 11. As equações de carga e descarga fornecem as fórmulas do ciclo de trabalho e da frequência de saída.

Para carregar o capacitor leva-se um tempo W . A tensão do capacitor começa em $+V_{dc}/3$ e termina em $+2V_{dc}/3$, com uma tensão de alvo de $+V_{dc}$. Partindo de uma equação básica, que se aplica a qualquer circuito RC, temos [18]:

$$v = v_i + (v_f - v_i) \cdot (1 - e^{-t/RC}) \quad (3)$$

onde

v = tensão instantânea do capacitor;

v_i = tensão inicial do capacitor

v_f = tensão do capacitor alvo;

t = tempo de carga e

RC = constante de tempo.

Substituindo pelos dados do circuito, temos:

$$\frac{2V_{dc}}{3} = \frac{V_{dc}}{3} + (V_{dc} - V_{dc}/3) \cdot (1 - e^{-W/RC}) \quad (4)$$

Simplificando (4) temos:

$$e^{-W/RC} = 0,5 \quad (5)$$

ou

$$W = 0,693.R.C = 0,693.RA.C \quad (6)$$

A equação da descarga é análoga. Nesse caso, substituindo-se RB por RA. O tempo de descarga é T - W, o que leva a:

$$T - W = 0,693.RB.C \quad (7)$$

Portanto o período é:

$$T = 0,693.RA.C + 0,693.RB.C \quad (8)$$

O ciclo de trabalho é

$$D = \frac{RA.100\%}{(RA+RB)} \quad (9)$$

Para obter a frequência, utiliza-se:

$$f = \frac{1}{T} \quad (10)$$

Substituindo (8) em (10), tem-se que:

$$f = \frac{1,44}{(R_A + R_B) \cdot C} \quad (11)$$

Pode-se observar que a frequência é de fácil ajuste, basta variar uma das variáveis em (11).

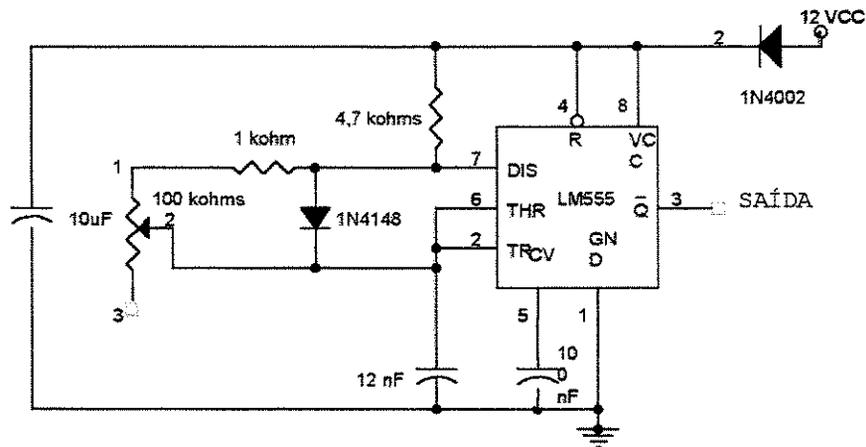


Figura 11 – Circuito de controle gerador de sinais PWM de referência.

O circuito de controle de sinais PWM de referência, apresentado na figura 11, será ajustado através do Trimpot (RB) para fornecer um sinal de referência adequado ao motor, além da possibilidade de variação do capacitor (C) de 12 nF para um melhor desempenho do conjunto circuito-motor, que foi apresentado pelas soluções matemáticas anteriores. O pino 4 (reset) do timer 555 está desativado (ligado a tensão de alimentação) e o pino 5 (controle) está derivado para o terra através do capacitor de 100 nF. Este circuito produz um trem de pulso retangular.

Modulador

O sinal de referência PWM é modulado através do componente LM 555. O sinal PWM entra através do pino 2 (trigger) e sofre uma modulação, pela entrada inversora, através da tensão de controle do pino 5, conforme mostra a figura 12. Essa tensão é oriunda do circuito de sinal do joystick.

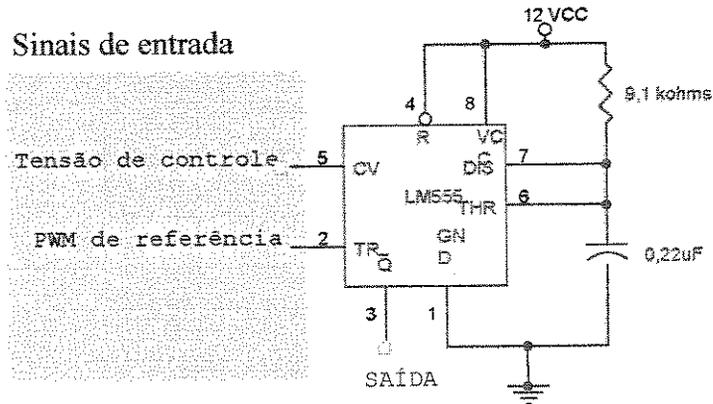


Figura 12 – Circuito modulador do sinal PWM.

Quando o sinal PWM (aplicado no pino 2) é uma tensão alta, tem-se a entrada “Reset” ativada (Figura 13) o “flip-flop RS” é zerado. A saída Q vai para baixo e corta o transistor; o capacitor C fica livre para carregar. À medida em que o capacitor carrega, a tensão de limiar aumenta e a saída do comparador sobe, forçando o flip-flop RS a “set” e o alto Q de saída satura o transistor, descarregando rapidamente o capacitor [45].

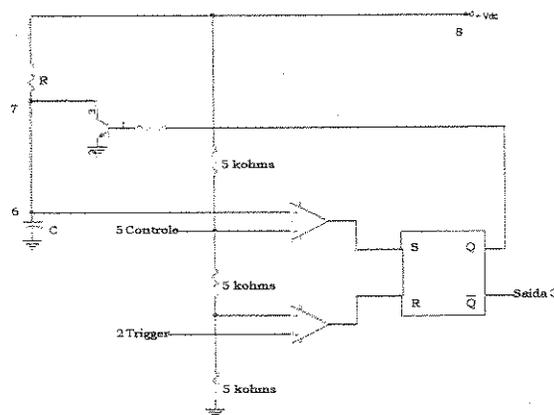


Figura 13 - Diagrama esquemático interno do 555 utilizado como modulador.

Portanto o modulador controla a velocidade do motor, que é diretamente proporcional ao "duty cycle" do sinal de referência. Quanto maior a "duty cycle" do sinal de referência, maior será a velocidade do motor. A tabela 1 apresenta exemplos de sinais de saída do modulador.

Tabela 1 – Exemplos de modulação do sinal PWM

Entrada		Saída
Tensão de controle	Sinal PWM de referência	Sinal de saída
0 Vdc		
1Vdc		
2Vdc		
3Vdc		

Joystick

É a interface entre o usuário e o controlador da cadeira de rodas. Seu funcionamento baseia-se na variação de resistência. Utiliza potenciômetros nas coordenadas x e y, com uma escala de 0 a 100 kohms e sistemas de chaves On/Off (botões do joystick). Emprega um conector fêmea de 15 pinos para executar a interligação do sistema, que está representado na figura 14 [41, 42]. Observa-se que existem duas configurações comercializadas A e B. No caso deste projeto, foi implementado o joystick A.

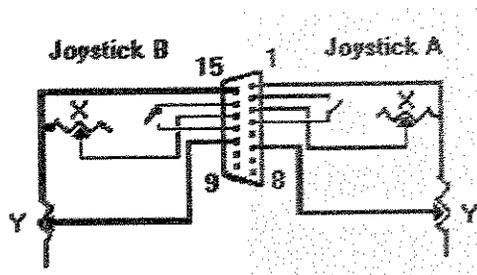


Figura 14 - Apresenta duas configurações para o diagrama esquemático do Joystick.

A tabela 2 ilustra as especificações básicas e os limites de tensão dos pinos do diagrama esquemático. Serão utilizados os pinos de 1 a 8.

Tabela 2 - Especificações do sinal de entrada do conector do joystick [41].

Número do pino do adaptador	Sinal	Número do pino do adaptador	Sinal
1	+ 5 Vdc saída	9	+ 5 Vdc saída
2 Chave Porta A	Botão 4 entrada	10 Chave Porta B	Botão 6 entrada
3 X PORTA A	Posição 0 entrada	11 X PORTA B	Posição 2 entrada
4	Terra	12	Terra
5 Y PORTA A	Terra	13 Y PORTA B	Posição 3 entrada
6	Posição 1 entrada	14	Botão 7 entrada
7	Botão 5 entrada	15	+ 5 Vdc saída
8	+ 5 Vdc saída		

Para transformar os movimentos manuais do usuário em impulsos elétricos, com as características desejadas, através de um joystick, foi desenvolvido um circuito bastante interessante, apresentado na figura 15b. O funcionamento do circuito baseia-se em dois amplificadores operacionais comuns que fornecem tensões na saída x e y correspondentes às variações dos potenciômetros internos do joystick. O sinal de entrada da fonte de corrente alimenta as entradas inversoras, e as entradas não inversoras estão em zero volts. As tensões de saída são obtidas no pino 6. Um amplificador com realimentação de tensão inversora (figura 15^a) tende a se comportar como um conversor de corrente em tensão perfeito; um dispositivo com uma impedância de entrada infinita, uma impedância de saída zero e uma razão $V_{saída}/I_{entrada}$ constante.

Com o sinal de entrada alimentando a entrada inversora, a polaridade de tensão de saída é invertida e é dada por [18,26]:

$$V_{saída} = A \cdot V_{erro} \quad (12)$$

Como a corrente de entrada de um amplificador operacional típico é da ordem de nA, praticamente toda corrente de entrada flui através de R_f . Assim, podem-se somar as tensões ao longo do circuito obtendo [18, 26]:

$$V_{saída} + i_{entrada} \cdot R_f + V_{erro} = 0 \quad (13)$$

Ou

$$V_{saída} + i_{entrada} \cdot R_f + \frac{V_{saída}}{A} = 0 \quad (14)$$

Então

$$\frac{V_{saída}}{i_{entrada}} = - \frac{(A \cdot R_f)}{1 + A} \quad (15)$$

Quando o ganho (A) da malha for muito maior que 1, a fórmula anterior simplifica-se na forma de:

$$\frac{V_{saída}}{I_{entrada}} = - R_f \quad (16)$$

Portanto

$$V_{saída} = - i_{entrada} \cdot R_f \quad (17)$$

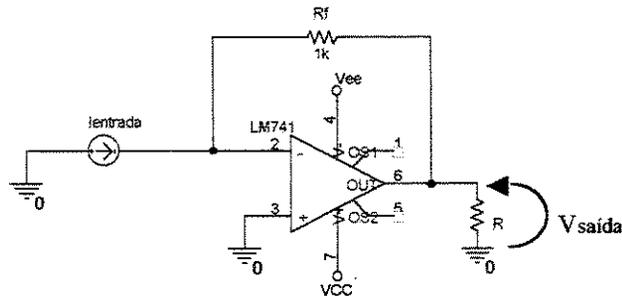


Figura 15a – Circuito conversor de corrente em tensão.

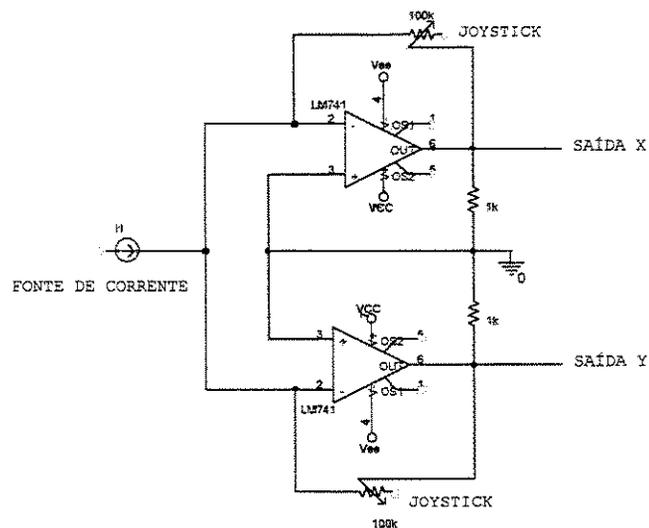


Figura 15b – Circuito de interface usuário cadeira de rodas

Os sinais da saída x e y, da figura 15b, serão somados utilizando-se um circuito somador não inversor. Dessa forma obter-se-á uma única tensão resultante, para cada motor, observando-se que no caso da roda esquerda o sinal x será invertido. A resultante será utilizada no circuito modulador do sinal PWM e no circuito comparador do controle do movimento bidirecional.

A calibração do sistema obedece o seguinte procedimento: quando as resistências dos potenciômetros do joystick estiverem com 50 kohms, isto é quando a cadeira estiver em repouso, a componente resultante no circuito comparador deverá ser zero (0 Vdc). Para que isso ocorra utiliza-se um circuito com um amplificador operacional funcionando como um somador não inversor equivalente a mostrarem na figura 16a.

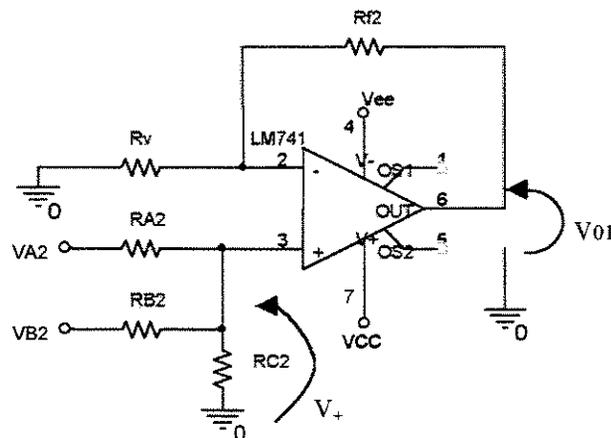


Figura 16a – Circuito Somador não inversor

O ganho ($A1$) é infinito e a diferença de potencial ($Vd2$) entre a entrada inversora e não inversora igual a zero.

Fazendo $RA2 = RB2 = RC2 = Rr$, pode-se representar o circuito como (figura 16b):

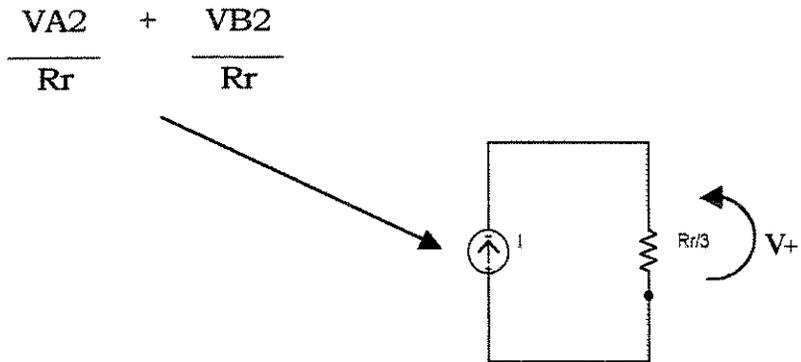


Figura 16b – Fonte de corrente

Então

$$V+ = \frac{Rr}{3} \cdot \frac{(VA2+VB2)}{Rr} \quad (18)$$

$$V+ = \frac{(VA2 + VB2)}{3} \quad (19)$$

Portanto

$$V01 = ((Rf2/Rv) + 1) \cdot \frac{1}{3} (VA2 + VB2) \quad (20)$$

Se $Rf2 = 2Rv$, temos $V01 = VA2 + VB2$, ou seja, a soma das tensões de entrada sem que ocorra a inversão do sinal.

Dispositivo de comutação

O dispositivo de comutação é utilizado para inverter o sentido de rotação dos motores elétricos. O circuito proposto é simples, o sinal PWM obtido é utilizado para comandar chaves semicondutoras entre os estados de corte e saturação. A largura do sinal PWM gerado determina os tempos de condução e

de corte dos dispositivos de comutação. É em função da variação destes tempos que temos incrementos e decrementos na tensão média de saída do circuito controlado pelo sinal PWM.

Para que as chaves semicondutoras tenham o desempenho desejado, elas devem estar associadas a um circuito de comando adequado, que satisfaça os requisitos próprios da chave. Com um bom circuito de comando reduzem-se os tempos de comutação e as perdas totais, prolongando a vida útil da chave semicondutora e aumentando a eficiência do sistema.

As chaves eletrônicas são transistores de potência com características especiais, que permitem a comutação rápida com o máximo rendimento. O ponto mais crítico neste transistor é a capacitância parasitária entre o emissor e a base, dada pelas próprias áreas dos materiais semicondutores.

Quando se aplica uma tensão na base de um transistor de modo a levá-lo à condução, isso não ocorrerá de modo imediato. Demora algum tempo até que o capacitor entre a base e o emissor seja carregado e, com isso, a corrente possa subir até que o valor necessário à comutação seja alcançado. Nesse intervalo o transistor não tem uma resistência próxima de zero e nem próxima do infinito, mas comporta-se como um resistor de valor intermediário, pelo qual flui uma corrente intensa e com dissipação de energia.

O controle bidirecional do sistema funciona da seguinte maneira: um motor de corrente contínua é ligado a quatro transistores de potência que formam uma ponte completa (ou “ponte H”). Provavelmente é a configuração mais comum de controle de motor em uso atualmente, pois o transistor que controla a corrente que flui pelo motor não tem estados intermediários de condução entre o corte e a saturação [10].

Uma das desvantagens das “pontes H” que fazem uso de configurações de transistores com base comum, figura 17, é que são comandadas por sinais aplicados a duas entradas e portanto possuem “estados proibidos” – por exemplo, no caso dos dois transistores do mesmo lado da ponte conduzirem, colocando em curto a fonte de alimentação. Além da queima dos transistores, poderia ocorrer o esgotamento rápido da bateria [10].

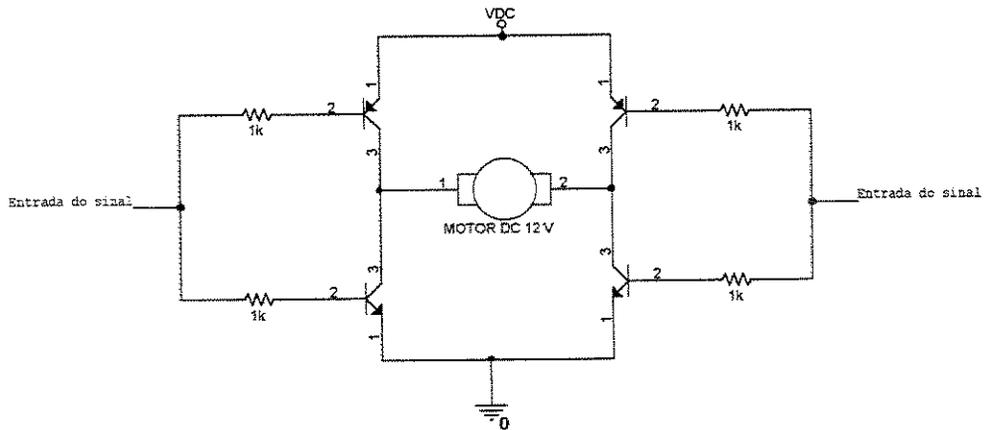


Figura 17 – Configuração da “ponte H” com transistores de base comum.

Para evitar esse problema, que ocorre com a existência do estado proibido, o ideal é agregar uma lógica de entrada, que leva o motor a ter apenas duas situações possíveis: rotação para direita ou para esquerda. Observa-se a figura 18.

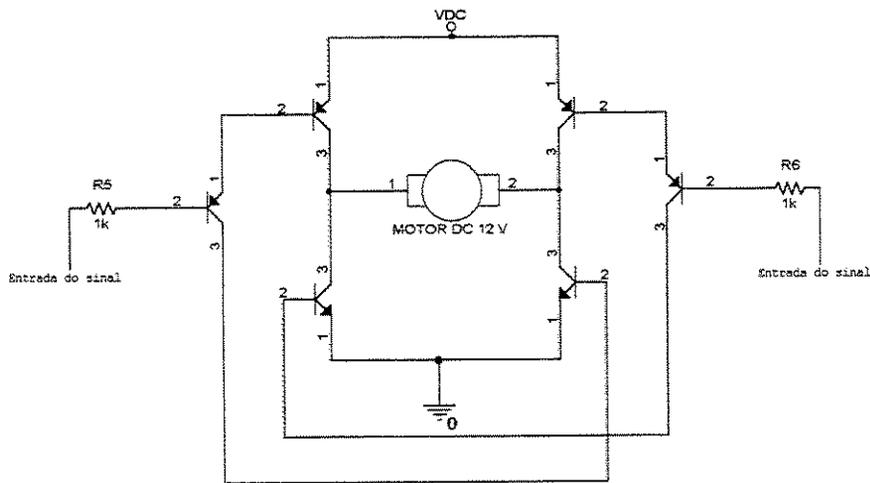


Figura 18 - Configuração da “ponte H” controlada por dois transistores.

A desvantagem óbvia deste circuito é que ele não tem um terceiro estado parado, mas esse problema é resolvido com a implementação do comparador, cuja descrição e funcionalidade está no final deste capítulo.

O princípio de funcionamento da ponte apresentada na figura 19 baseia-se num circuito composto de quatro chaves semicondutoras principais, acionadas por dois transistores BC 328. Cada uma das chaves é constituída de dois transistores complementares (canal P para a chave superior e N para a inferior), os quais têm seus terminais de emissor e coletor ligados entre si. O transistor superior tem seu terminal emissor conectado à fonte de alimentação (12 Vdc), enquanto que o transistor inferior tem seu terminal emissor ligado à terra. Serão utilizados diodos na proteção dos transistores contra altas tensões geradas por interrupções do motor [43, 44].

A tensão que aparece na interrupção do motor tem polaridade inversa do acionamento. Portanto, coloca-se um diodo em paralelo (Ver a figura 19) quando a tensão prejudicial surgir; o diodo polariza no sentido direto, fazendo-o conduzir e absorver a tensão, evitando que a mesma se propague pelo resto do circuito [43, 44].

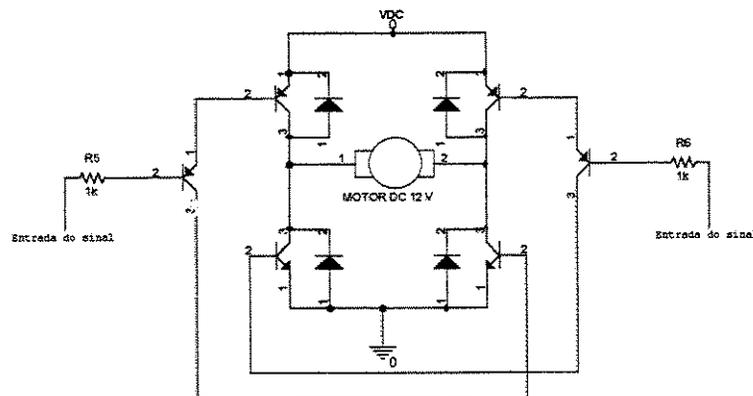


Figura 19 – Diodos de proteção dos transistores contra altas tensões.

Neste circuito será necessário implementar o par Darlington, que é um circuito de transistores formado por seguidores de emissor em cascata. Observa-se a figura 20. O ganho total de tensão é próximo de 1. O efeito

principal é um aumento muito grande na impedância de entrada e uma diminuição igualmente grande na impedância de saída. Por isso são utilizados para isolar fontes de alta impedância de cargas (circuitos) de baixa impedância [8, 43, 44].

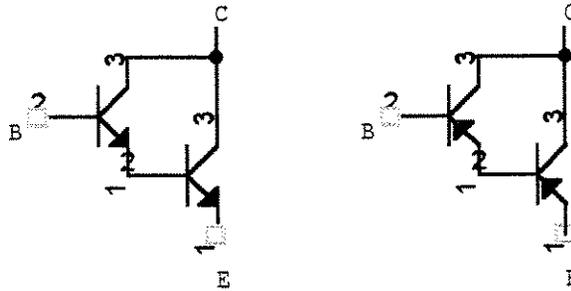


Figura 20 – Apresenta o Par Darlington NPN e PNP.

O par Darlington (T1, T2, T3 e T4 da figura) funciona como se fosse um só transistor, sendo utilizado, neste projeto, como chave. Na figura 21 abaixo temos a sua implementação.

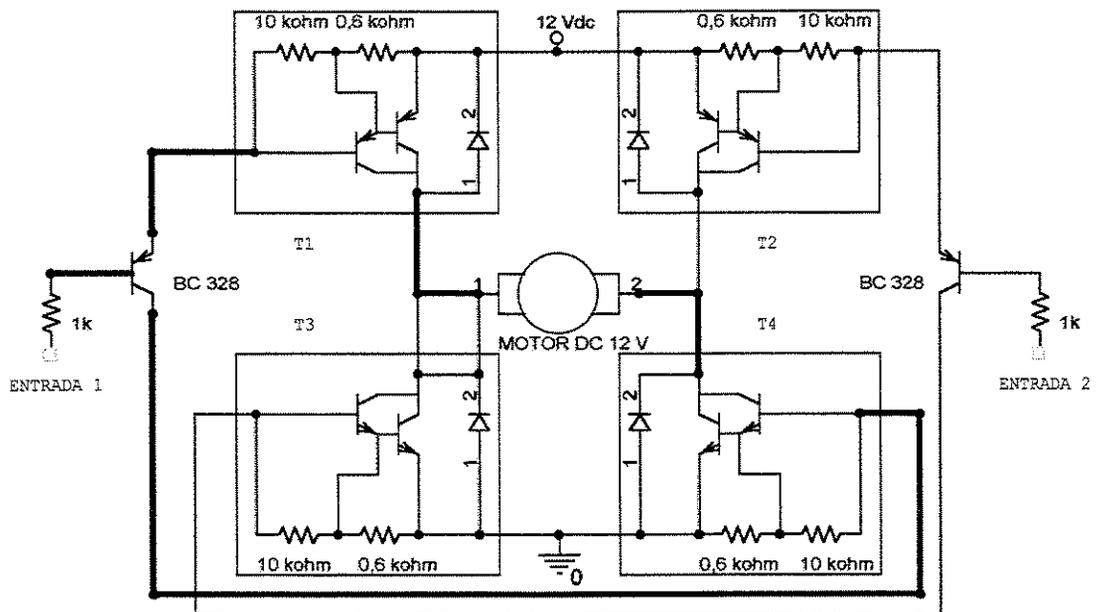


Figura 21 – Esquema elétrico da ponte completa com o motor girando para direita

Quando o sinal na entrada 1 for suficiente para saturar o transistor BC328, este fecha a chave e satura T1 e T4, provocando o funcionamento do motor no sentido da direita.

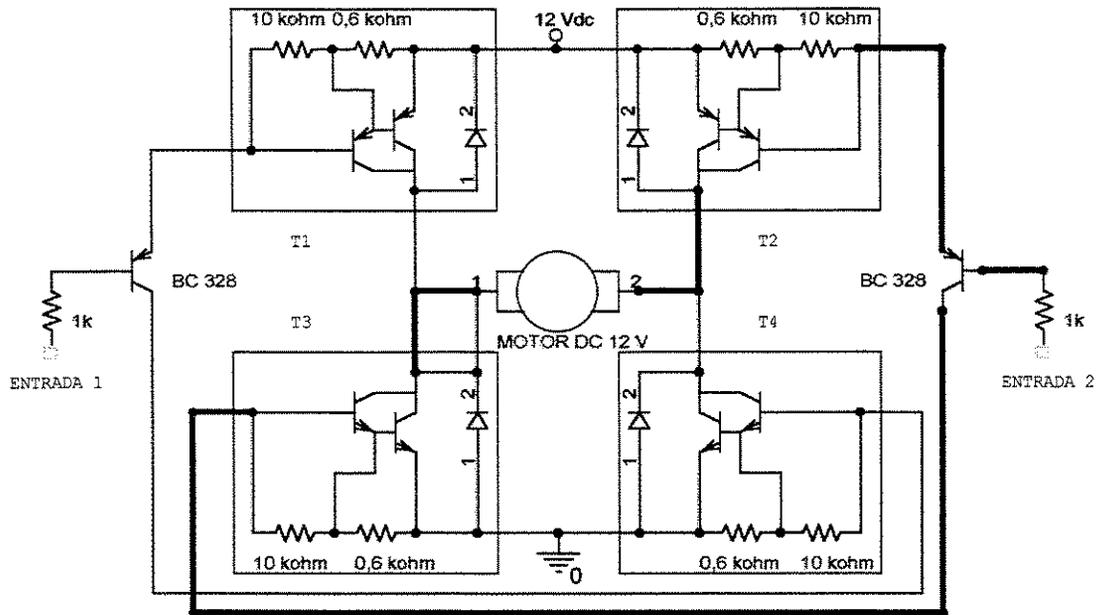


Figura 22 – Esquema elétrico da ponte completa com o motor girando para esquerda

Na figura 22, a entrada 2 satura o BC328 e conseqüentemente T2 e T3 ocasionando o funcionamento reverso do motor. Para cada motor acoplado às rodas será necessário utilizar um circuito modulador e somador não inversor igual ao exemplificado nas figuras 12 e 16 [8].

Comparador

Para que ocorra o estado parado é necessário utilizar uma lógica com um circuito digital (figura 23). Compara-se uma tensão de referência com outra tensão de entrada para ver qual delas é maior, ou seja, o comparador é um circuito com duas tensões de entrada (não-inversora e inversora) e uma tensão de saída. Quando a tensão não-inversora for maior que a tensão inversora, o comparador produzirá uma alta tensão de saída; quando a entrada não-inversora for menor que a entrada inversora, a saída será baixa. A saída alta simboliza a resposta “sim” (1), e a saída baixa representa a resposta “não” (0) [27].

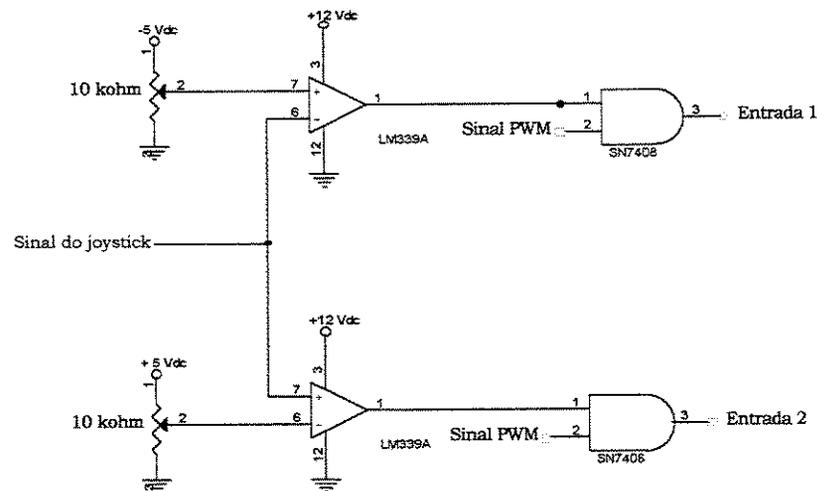


Figura 23 – Circuito comparador de controle do movimento bidirecional.

O ponto de referência de um comparador é o valor da tensão de entrada para o qual a saída faz a mudança de estados (de baixo para alto, ou vice-versa).

O sinal proveniente da saída do comparador será utilizado na entrada de uma AND juntamente com o sinal de saída do PWM.

Esquema elétrico do controle de cadeira de rodas

As figuras 24a e 24b apresentam o esquema elétrico do controle da cadeira de rodas e são interligadas pelos pontos de conexão 1, 2, 3 e 4.

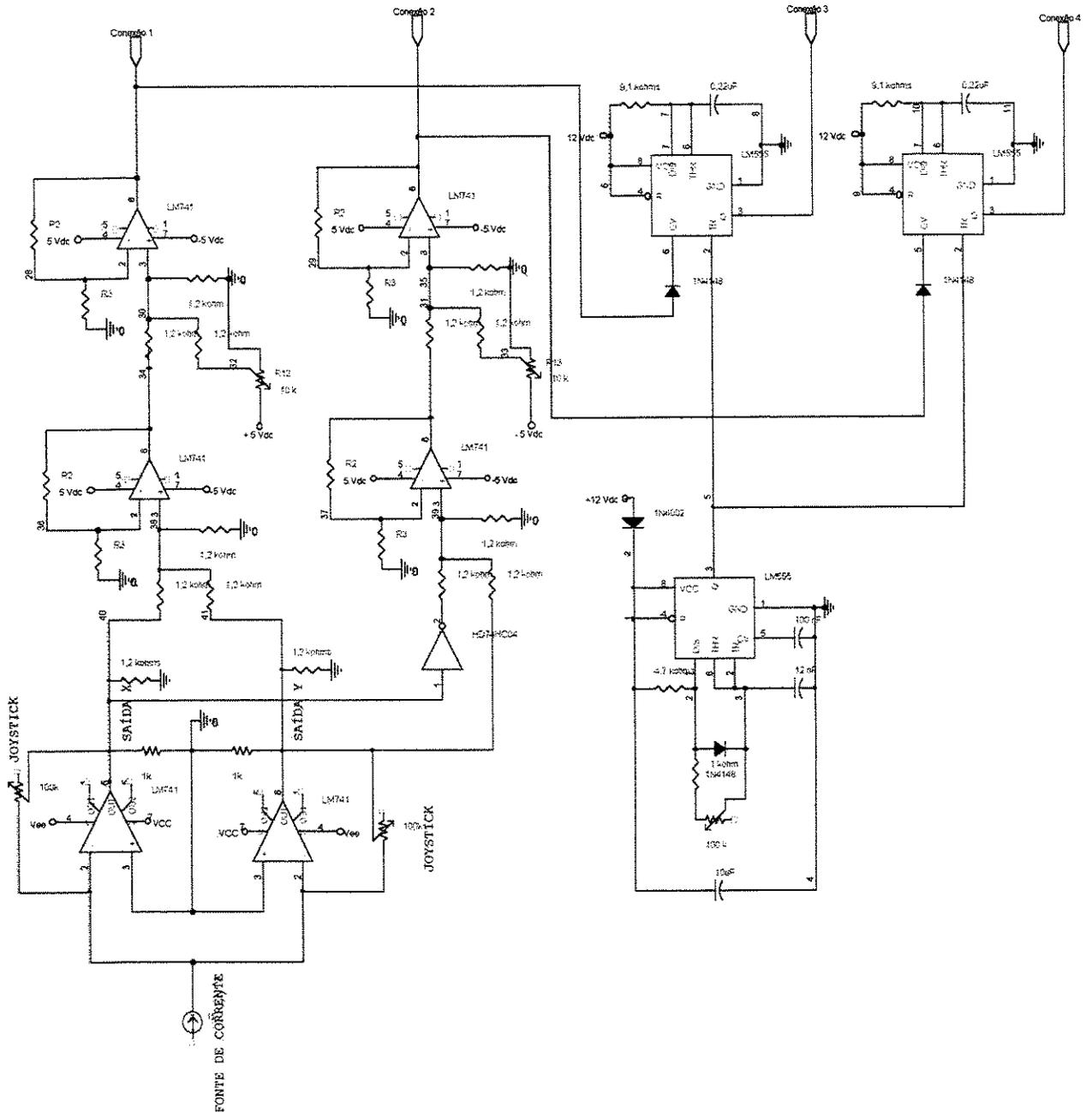


Figura 24a – Esquema elétrico do circuito de controle da cadeira de rodas.

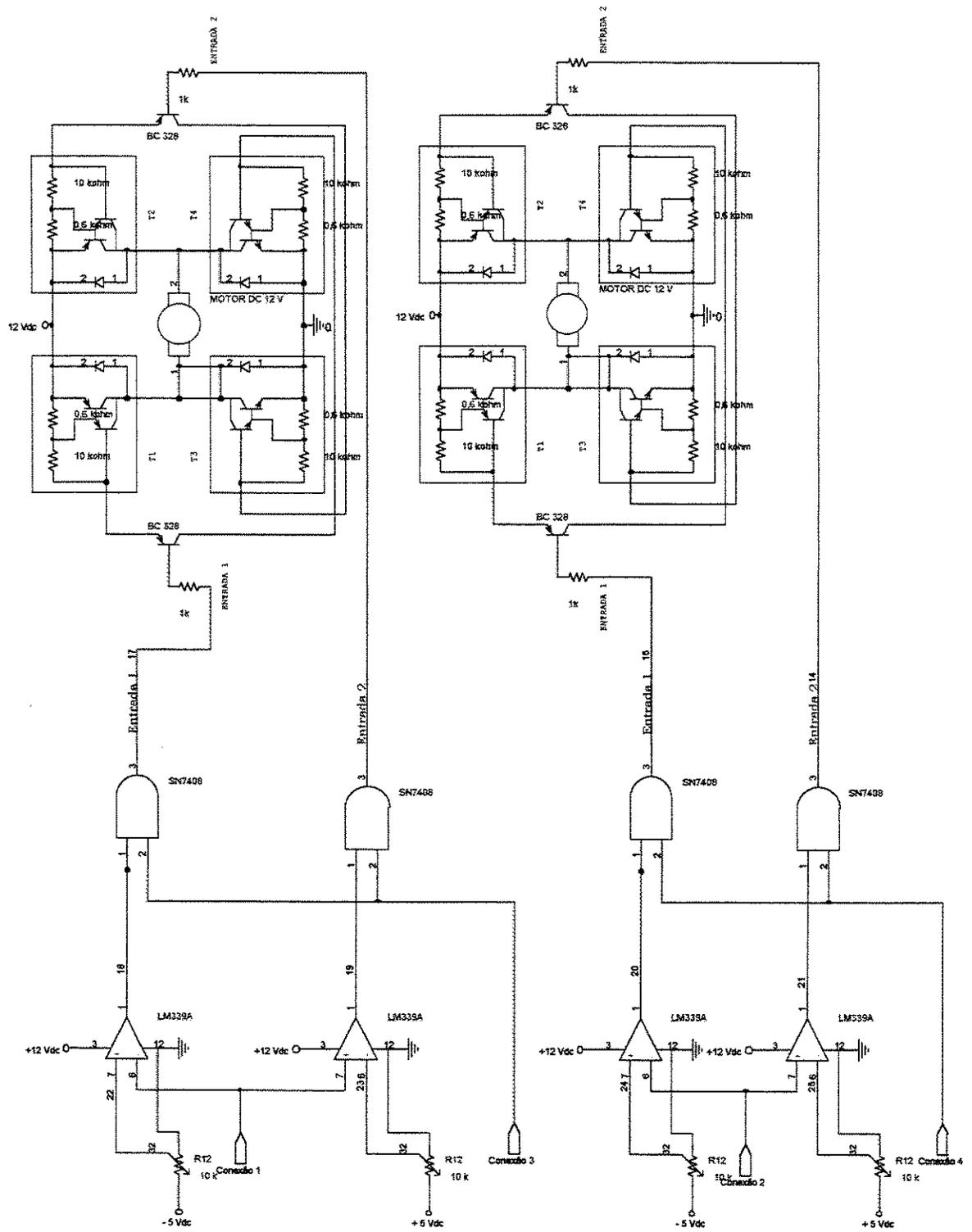


Figura 24b – Esquema elétrico do circuito de controle da cadeira de rodas (continuação).

Capítulo 3

Projeto dos circuitos paralelos do sistema

Fonte de alimentação

As baterias são dispositivos que transformam energia química em eletricidade e garantem a mobilidade e a autonomia do sistema. Serão usadas no sistema duas baterias secundárias (recarregáveis) de 12 Vdc com capacidade de 45 Ampères-hora.

Circuito do carregador de bateria

O fornecimento de energia elétrica é feito, essencialmente, a partir de uma rede elétrica de distribuição em corrente alternada, devido, principalmente, à facilidade de adaptação do nível de tensão por meio de transformadores. As tomadas da rede elétrica doméstica possuem uma capacidade máxima de fornecimento de corrente de 15 A.

O circuito carregador de 12 Vdc de 15 A regulado exige uma alimentação com tensão contínua. A conversão ac-dc é realizada por conversores chamados de retificadores não controlados, porque utilizam diodos como elementos de retificação. O transformador (figura 25) transforma a tensão primária de 120 Vac em duas secundárias de 25 Vac. O carregador chaveia automaticamente, para o regime de carga lenta, quando a tensão da bateria alcança o nível pré-ajustado, e começa a recarregar normalmente, quando o nível de tensão cai abaixo da tensão de referência. O controle de carga lenta, apresentado na figura 25, é feito através do diodo D3 e do resistor R6, numa taxa determinada pelo resistor R6. A carga somente será efetuada quando o anodo de D3 for

mais positivo que seu catodo. Esse circuito é apropriado para recarregar as baterias especificadas no projeto [20].

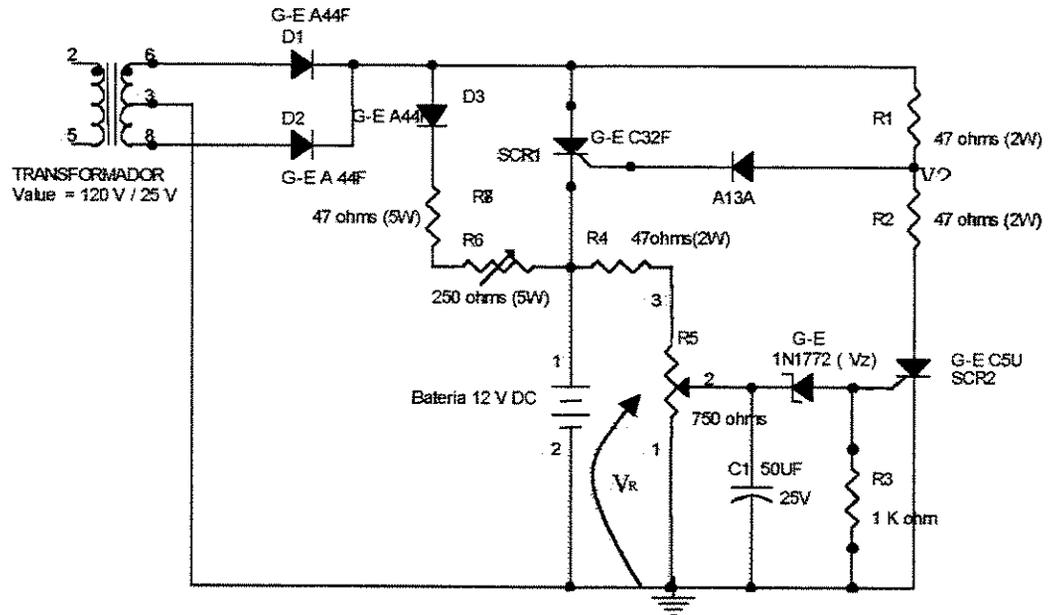


Figura 25 – Circuito recarregador de bateria

O intervalo de corrente de carga lenta é determinado pela equação a seguir. Neste caso específico utiliza-se 25 Vdc [28]:

$$I_{\text{carga lenta}} = \frac{25 \text{ Vdc} - V_{D3}}{47 \text{ ohms} + R6} \quad (21)$$

Para

$V_{D3} = 0,7V$ e $R6$ variando de 0 a 250 ohms.

A corrente de carga lenta varia dentro do intervalo de 520 mA a 82 mA.

Para uma melhor compreensão do circuito, é necessário apresentar o funcionamento de uma chave estática em série de meia onda, ilustrada na figura 26 [6].

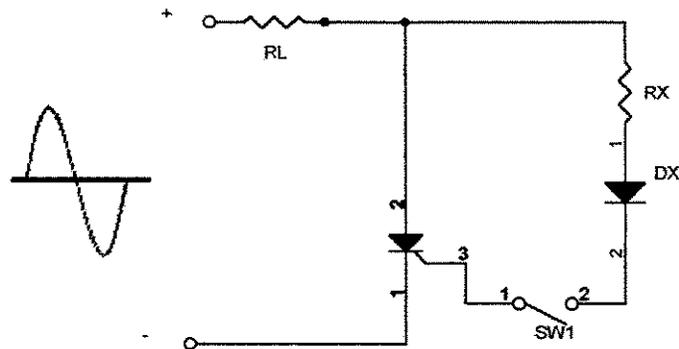


Figura 26a – Chave estática de meia onda aberta

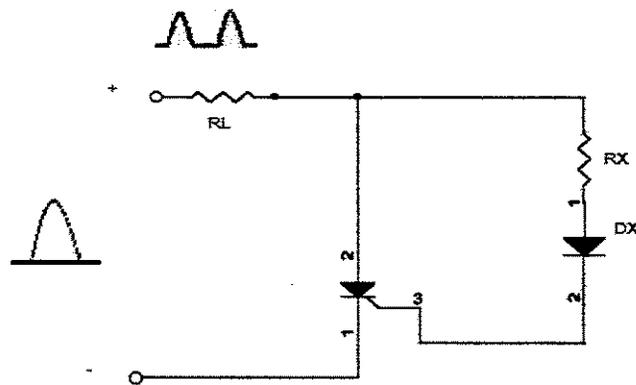


Figura 26b – Chave estática de meia onda fechada

Quando a chave está fechada (a figura 26b), uma corrente de porta fluirá durante a porção positiva do sinal de entrada, ligando o retificador controlado do silício (SCR). O resistor RX limita a amplitude da corrente de porta. Quando o SCR conduz, a tensão anodo para catodo V_f cai para o valor de condução, resultando numa corrente de porta muito reduzida e numa perda muito pequena no circuito da porta. Para a região negativa do sinal de entrada, o SCR corta, uma vez que o anodo é negativo em relação ao catodo. O diodo DX é incluído para prevenir uma corrente reversa de porta [6].

Na figura 25, os diodos D1 e D2 estabelecem um sinal retificado de onda completa através do SCR1 e a bateria de 12 Vdc a ser carregada. Em tensões de bateria baixa, o SCR2 está cortado. Com SCR2 aberto, o circuito de controle de SCR1 é exatamente o mesmo da chave controle estática em série. Quando a entrada do retificador de onda completa é suficientemente grande para produzir a corrente de porta de condução requerida (controlada por R1), SCR1 conduzirá e o carregamento da bateria começará. No início do carregamento, a baixa tensão da bateria resultará numa baixa tensão, sobre o resistor Vr, conforme determinado pelo circuito divisor de tensão simples. A tensão Vr é efetivamente um circuito aberto, mantendo SCR2 cortado, uma vez que a corrente de porta é zero. O capacitor C1 de 50 μ F é incluído para evitar que qualquer transiente de tensão no circuito ligue SCR2. Deste modo C1 previne que efeitos transientes afetem o SCR2 [6].

Quando o carregamento continua, a tensão da bateria sobe até um ponto onde Vr é suficientemente alto para o Zener de 11V conduzir e disparar o SCR2. Uma vez que o SCR2 foi disparado, a representação do curto-circuito para o SCR2 resultará num circuito divisor de tensão determinado por R1 e R2, que manterá V2 num nível muito pequeno para ligar SCR1. Quando isto ocorre, a bateria está completamente carregada e o estado de circuito aberto de SCR1 corta a corrente de carga. Logo, o regulador recarrega a bateria quando a tensão cai e previne sobrecarga, quando a carga está completa [6].

Circuito indicador do nível de tensão da bateria

O circuito da figura 27 tem por finalidade indicar o nível de tensão da bateria, para auxiliar o usuário. Observa-se o nível de tensão da bateria através de quatro leds: dois vermelhos; um amarelo e um verde. O funcionamento é simples: quando a bateria está com carga total, todos os leds permanecem acessos; a medida em que a carga vai diminuindo, os leds se apagam, desde que atinja a tensão que foi pré determinada. O circuito é baseado em quatro amplificadores operacionais LM 741, utilizados como comparadores, com pontos de comutação pré-determinados, que são 11,5V, 11V, 10,5V e 10V. Estes pontos de comutação são fixados com o auxílio dos diodos zener, que servem de sinal de referência nas entradas inversoras, sendo comparados com os sinais ajustados por varistores nas entradas não-inversoras. Esse circuito pode ser facilmente ampliado, adicionando-se mais comparadores, podendo assim, indicar a tensão em intervalos menores.

O diodo zener será utilizado como referência de tensão, porque mantém uma saída de tensão constante, mesmo que a corrente que passa por ele varie. Observe, na figura 28, a curva do diodo zener. Será utilizado um resistor em série de 1 kohm, para limitar a corrente zener num nível abaixo da sua especificação de corrente. Caso contrário, o diodo zener se queima como qualquer componente comum com excessiva dissipação de potência. A corrente que passa pelo diodo zener é a diferença entre a tensão da bateria e a tensão zener dividida pelo valor do resistor, conforme a equação (22) [6, 17].

$$I_z = \frac{V_{bat} - V_Z}{R} \quad (22)$$

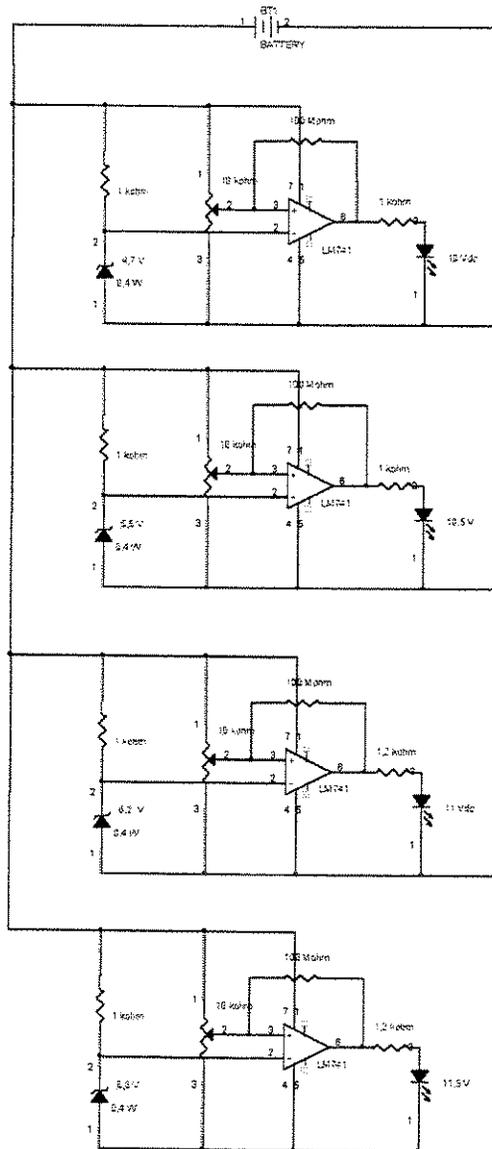


Figura 27 – Circuito de controle do nível de tensão.

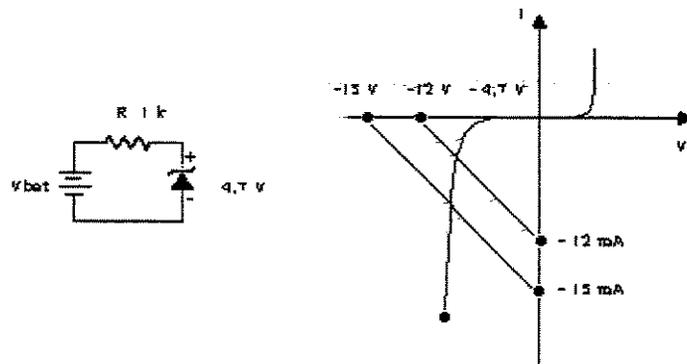


Figura 28 – Representa o circuito do diodo zener e a sua curva característica.

O comparador funciona da seguinte maneira: quando a tensão não inversora, que será ajustada, for maior ou igual à tensão inversora controlada pelo diodo zener, o comparador produzirá uma tensão de saída (V_{sat}) e o led permanecerá acesso. Quando esta condição não ocorrer, a saída não terá tensão para acionar o led, pois o amplificador operacional está alimentado com zero volts na entrada $-V_{ee}$. Os leds têm uma queda de tensão típica de 1,5 a 3V para corrente máxima entre 10 e 50 mA. O valor da tensão de acionamento para uma boa emissão de luz em um led é 2,5 V e uma corrente de operação típica em torno de 10 mA. Portanto aplicando-se a equação (20) no circuito indicador de nível de tensão, obtêm-se uma corrente de 6 mA a 8,5 mA [6,17].

Circuito regulador de tensão

É utilizado para estabilizar as tensões de alimentação no circuito devido à variação da tensão da bateria. O circuito é composto de reguladores o 7805 para tensão +5 Vdc, 7905 para a tensão -5Vdc e 7812 para +12Vdc. A figura 29 ilustra o circuito esquemático do regulador de tensão.

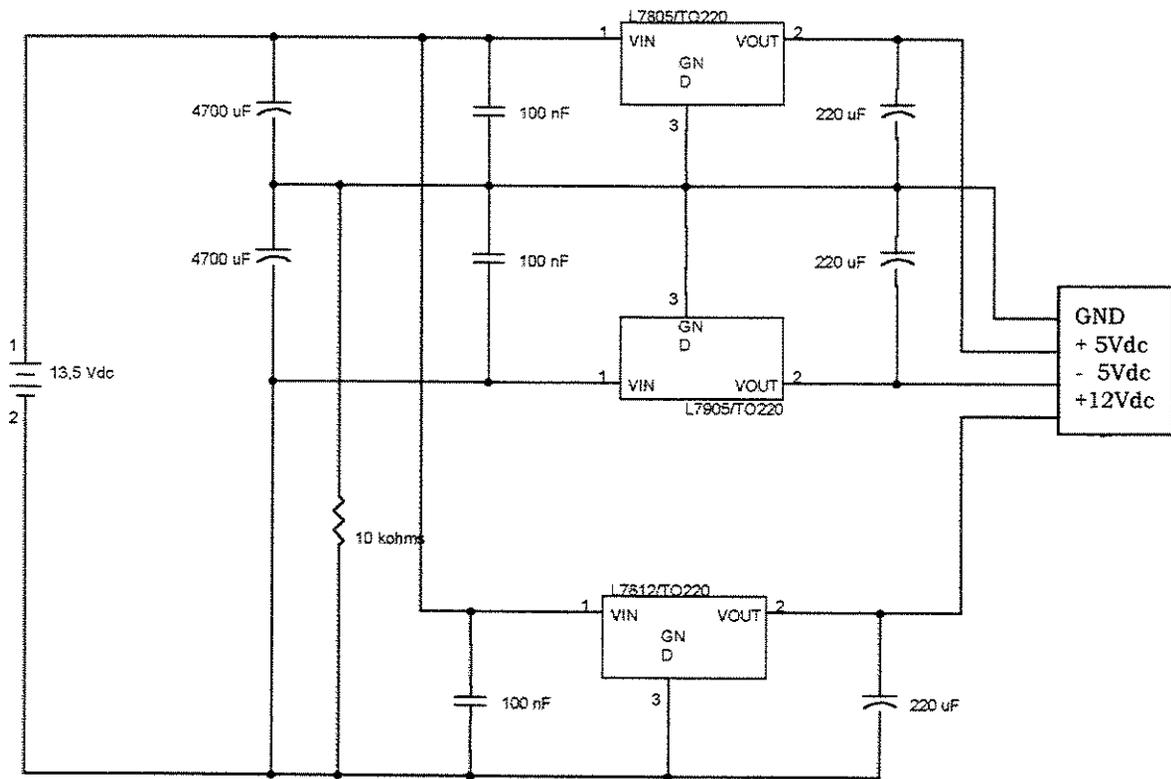


Figura 27 – Circuito regulador de tensão

Nesse circuito, os capacitores de 100 nF desacoplam a entrada do estabilizador, enquanto que os de 220 μ F desacoplam a saída. Os capacitores de 4700 μ F dividem a tensão da bateria em valores iguais.

Circuito Opcional do relógio digital

O objetivo deste circuito é apresentar a possibilidade de implementar um acessório capaz de oferecer várias informações úteis e adequar-se a cada tipo de usuário, tendo um custo relativamente baixo, ou seja, o projeto e fabricação de um mostrador de cristal líquido dedicado, que utiliza tecnologia nacional e pode ser desenvolvido no Centro de Pesquisas Renato Archer (ver apêndice 3 e 4).

Capítulo 4

Resultados Experimentais

Este capítulo contém os resultados e discussões obtidas experimentalmente, utilizando-se os circuitos implementados no projeto.

Circuito indicador do nível de tensão da bateria

O circuito indicador do nível de tensão funciona adequadamente (figura 30), utiliza os diodos zener de 4,7V, 5,6V, 6,2V e 6,8V, cujas tensões são utilizadas como referência para o comparador. Quando a bateria está totalmente carregada todos os leds permanecem acessos; à medida em que a tensão diminui, ultrapassando limites pré-determinados, tem-se: 11,5V, o led verde se apaga; 11V o led amarelo se apaga; 10,5V o led vermelho se apaga; 10V o ultimo led vermelho se apaga. Neste ponto atinge uma situação crítica e é recomendado que se desligue o sistema e seja providenciada a recarga da bateria.



Figura 30 – Protótipo do circuito indicador do nível de tensão.

Controle do motor

As figuras 31a e 31b apresentam a vista lateral e a vista por cima do protótipo da montagem do circuito do controle do motor de cadeira de rodas em wire-wrup.

Todos os blocos responsáveis pelo movimento da cadeira de rodas, o gerador de sinal PWM, os moduladores, o joystick, os dispositivos de comutação e o comparador estão implementados na placa.

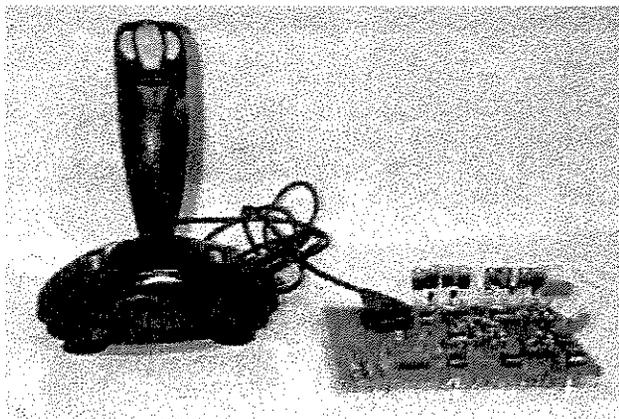


Figura 31a – Vista lateral do protótipo de controle com joystick

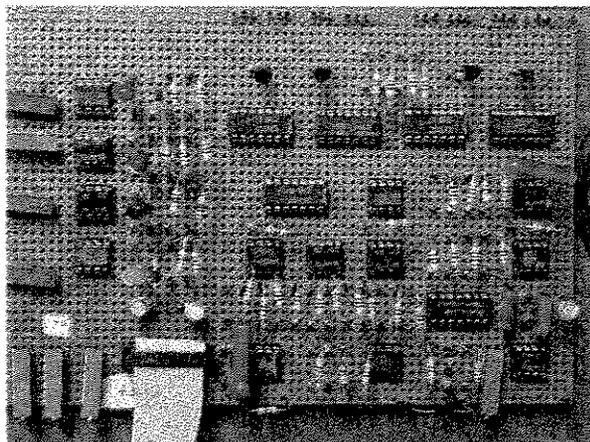


Figura 31b – Vista por cima do protótipo do circuito de controle de cadeira de rodas com o circuito indicador do nível de tensão

O circuito apresentou um bom desempenho, apresentando valores próximos dos valores projetados, indicando que o circuito provavelmente será de fácil reprodutibilidade. As condições de ajustes dos circuitos foram variadas, e também apresentaram uma boa repetibilidade. Serão apresentados neste capítulo algumas curvas destes circuitos, obtidas experimentalmente.

Pode-se observar através das figuras 32a e 32b, a tensão de saída do gerador de sinal PWM (circuito da figura 11), para o joystick variando entre o menor e o maior valor de ajuste, proporcionando a maior excursão no sinal de controle. A 32a ilustra a tensão sobre o capacitor de 12 nF que controla o tempo, onde vemos uma forma de onda de tensão que sobe e desce exponencialmente. A saída do circuito é uma onda retangular. Como a constante de tempo de carga é maior do que a constante de tempo de descarga, a saída não é simétrica; o tempo no estado alto de saída é maior do que no estado baixo, comprovando a teoria apresentada na figura 9b.

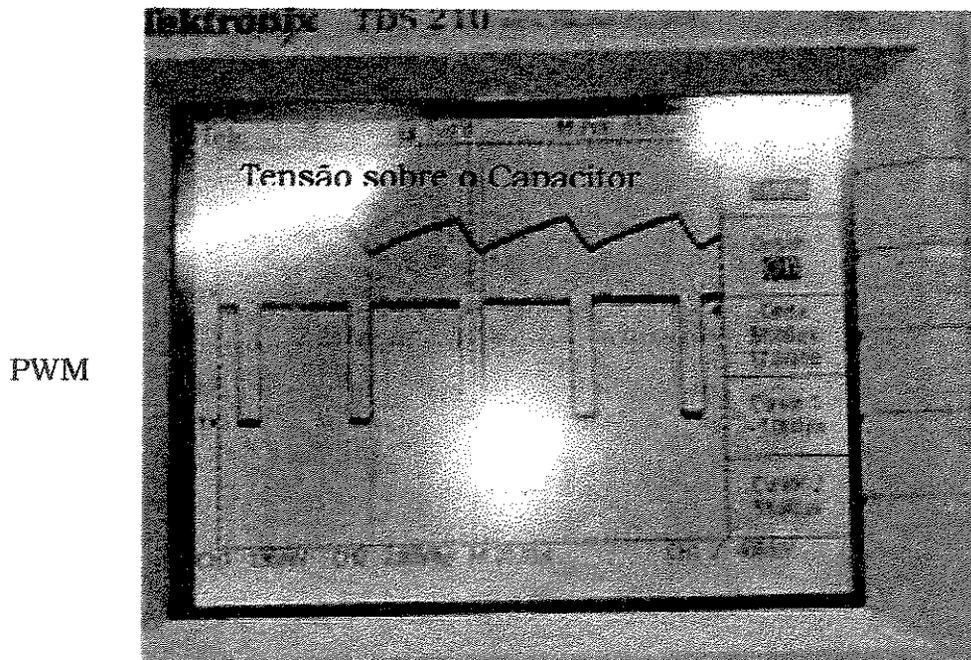


Figura 32a - Forma de onda gerada pelo modulador de largura de pulso com o RB baixo, próximo de 1kohms.

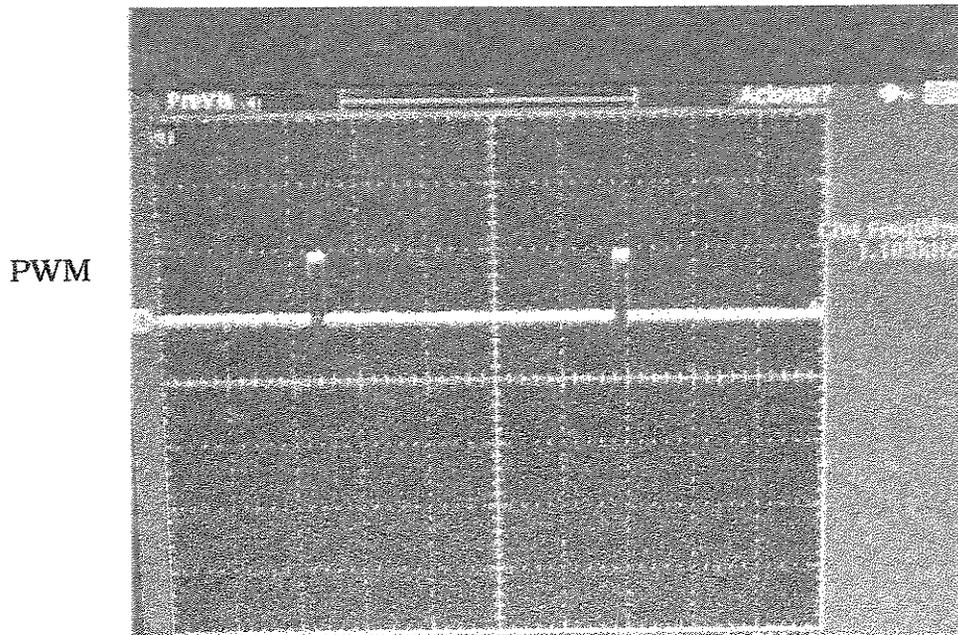


Figura 32b - Forma de onda gerada pelo modulador de largura de pulso com o RB próximo de 100 Kohms.

O circuito comparador (figura 23) foi simulado e supriu a necessidade de gerar um estado de “parado”, ou seja, quando o joystick é deixado em repouso com tensões próximas do zero, não se deve ter movimento em nenhum dos motores. Isto foi conseguido, como é possível verificar nos resultados das simulações (figuras 33a, 33b e 33c), onde foi utilizado um sinal positivo de 100 mVdc na entrada negativa e um sinal negativo de 100mVdc na entrada positiva.

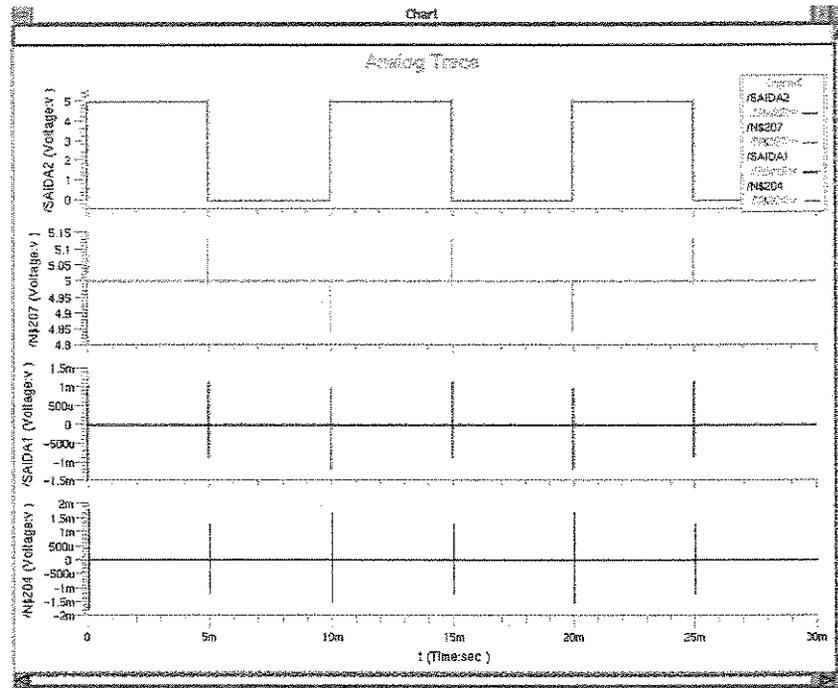


Figura 33a - Resposta do comparador quando o sinal gerado pelo joystick for 150 mVdc positivo.

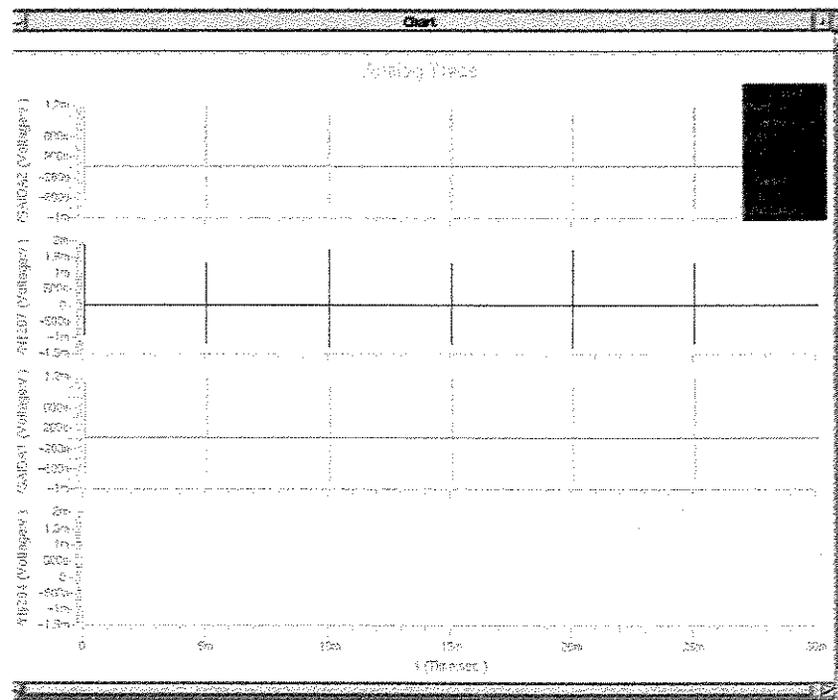


Figura 33b - Resposta do comparador quando o sinal gerado pelo joystick for 50 mVdc positivo ou negativo.

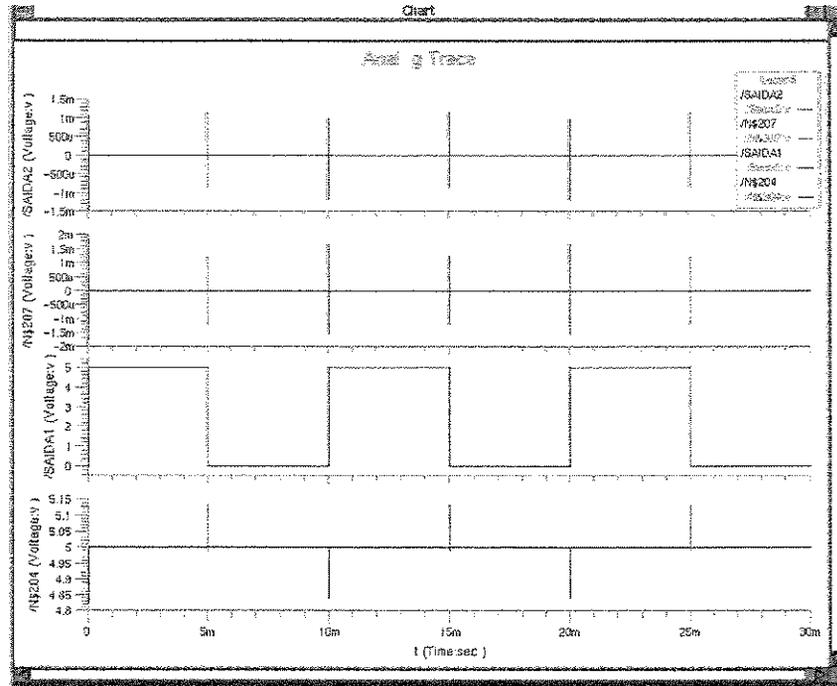


Figura 33c - Resposta do comparador quando o sinal gerado pelo joystick for 150 mVdc negativo.

Portanto quando o sinal tratado originado do joystick for superior a 100mVdc ou inferior a -100mVdc, o dispositivo de comutação receberá o sinal PWM e por conseguinte o motor da cadeira de rodas tenderá ao movimento rotacional. Dentro da banda $-100\text{mV} < V < +100\text{mV}$ o sinal do PWM é inibido e não é enviado aos motores.

Controle do joystick

Nas figuras 34a até 34f temos os sinais provenientes do circuito de interface entre o usuário e a cadeira de rodas, ou seja, do circuito conversor de corrente em tensão do joystick (figura 15b).

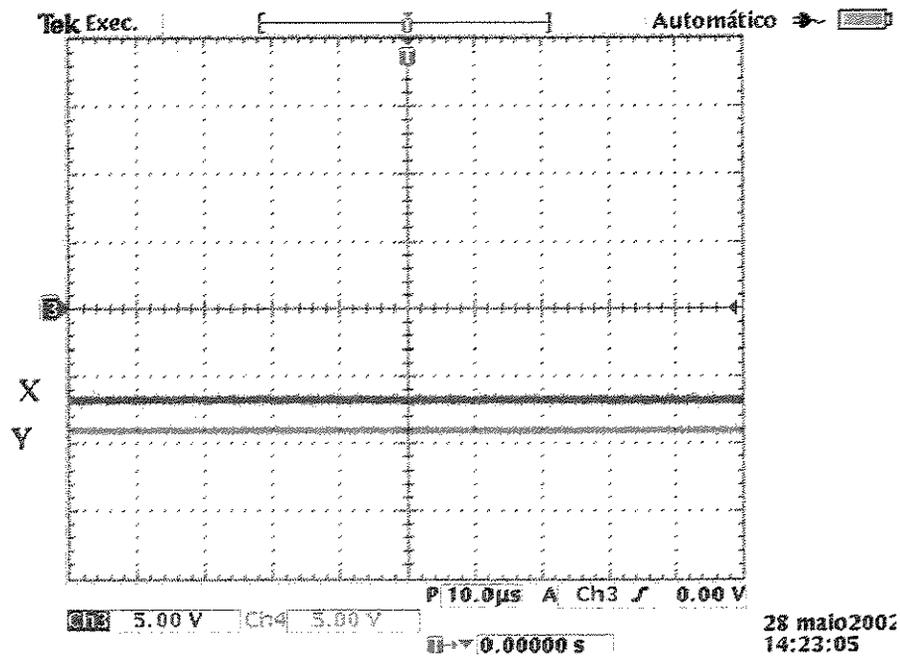


Figura 34a - Sinal obtido quando a coordenada X está em 25 Kohms e Y está em 75 kohms apresenta um ΔV de 2 Vdc.

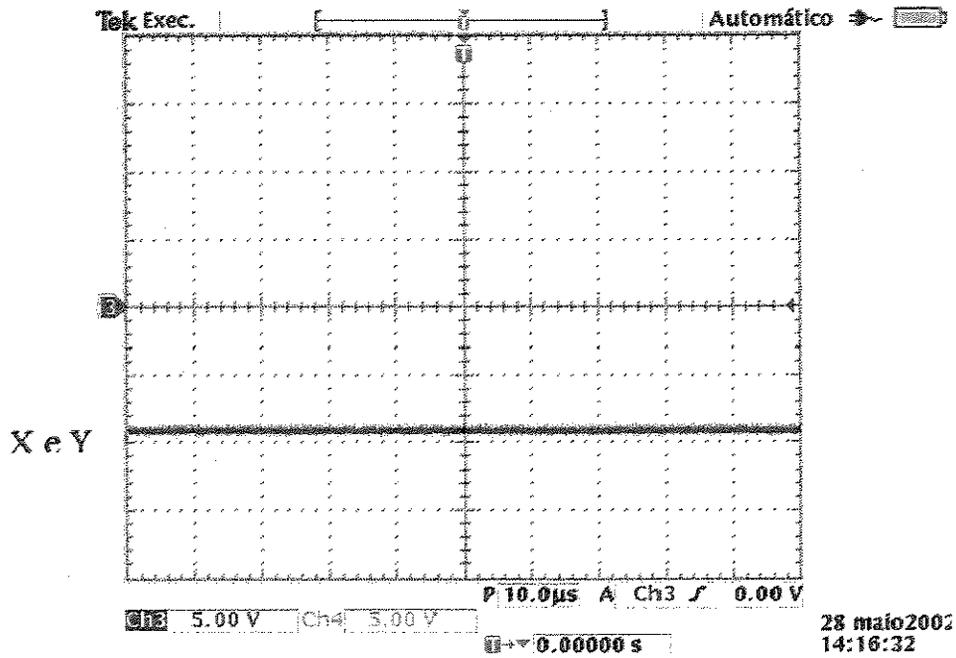


Figura 34b - Sinal obtido quando a coordenada X está em 100 Kohms e Y está em 100 kohms: as tensões X e Y são iguais.

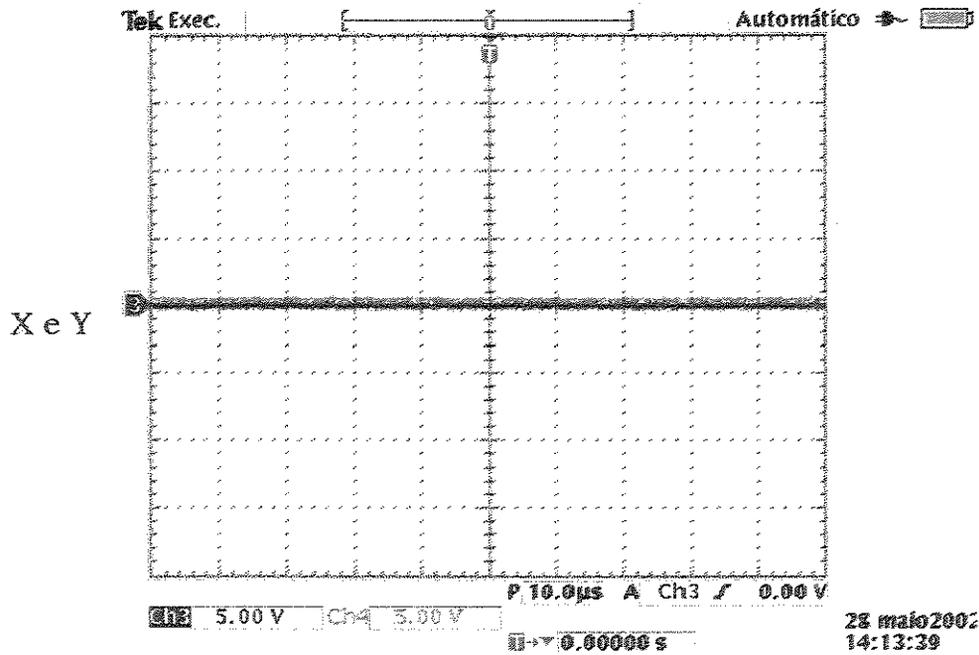


Figura 34c - Sinal obtido quando a coordenada X está em 0 Kohms e Y está em 0 kohms: as tensões X e Y são iguais.

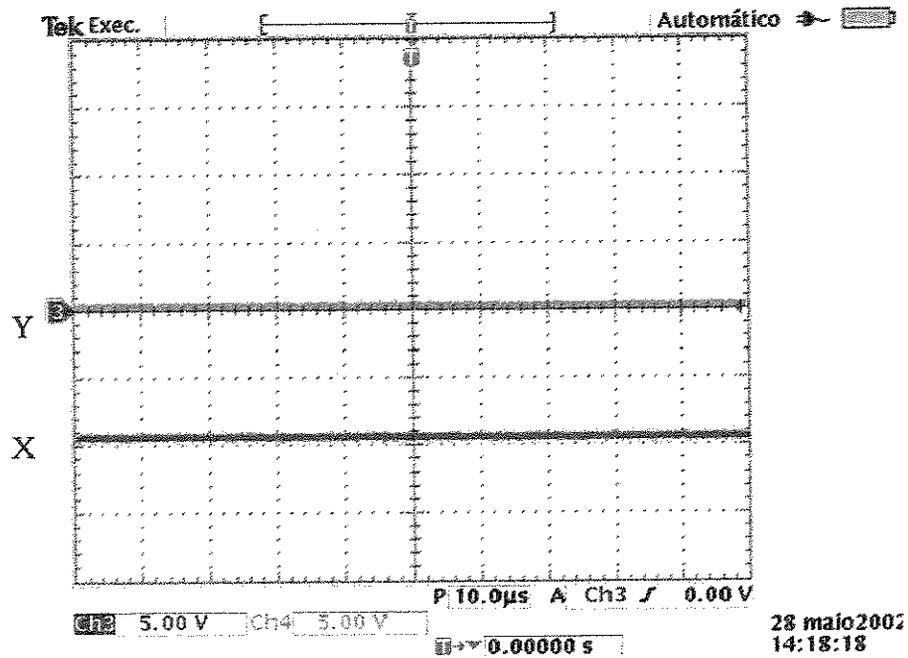


Figura 34d - Sinal obtido quando a coordenada X está em 100 Kohms e Y está em 0 kohms apresenta um ΔV máximo entre as tensões.

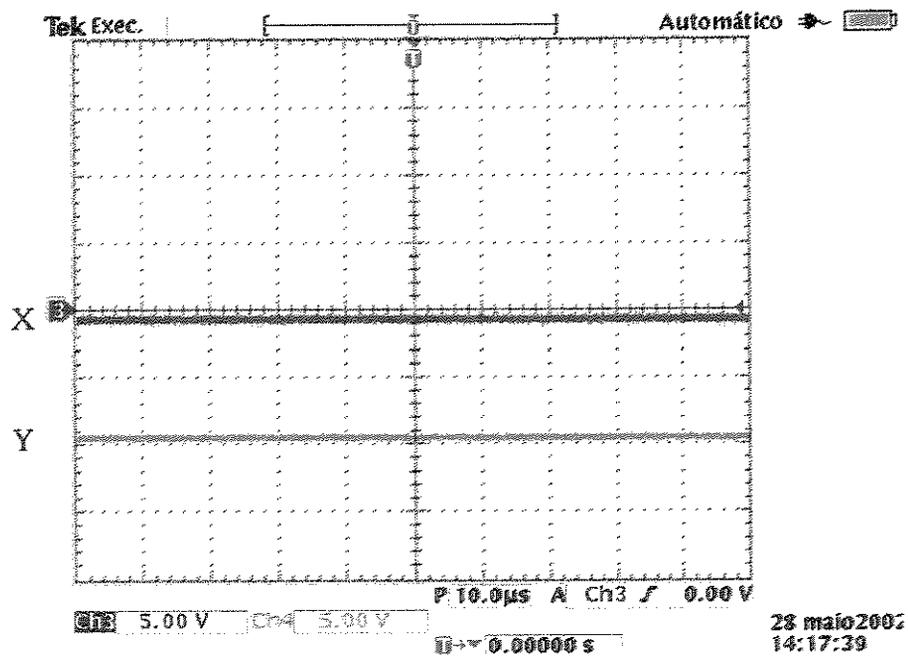


Figura 34e - Sinal obtido quando a coordenada X está em 0 Kohms e Y está em 100 kohms apresenta: um ΔV máximo entre as tensões.

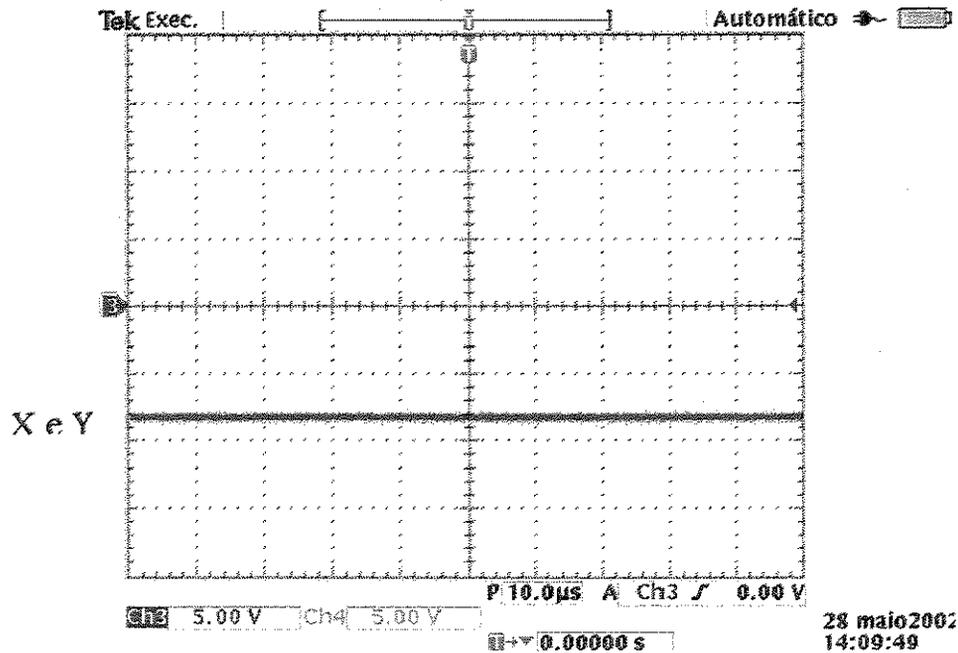


Figura 34f - Sinal obtido quando a coordenada X está em 50 Kohms e Y está em 50 kohms: as tensões X e Y são iguais.

O sinal gerado pelo circuito de interface entre o usuário e a cadeira de rodas é responsável pelo controle de movimento da cadeira de rodas, ou seja, o sinal, tratado através de amplificadores operacionais (somadores não inversores), controla a modulação do PWM e o circuito comparador, e consequentemente, o sentido e a rotação do motor.

A modulação do sinal PWM pode ser observada nas figuras 35a, 35b e 35c o sinal é obtido do circuito da figura 12. Lembrando que os sinais de entrada do modulador são o PWM e a tensão de controle.

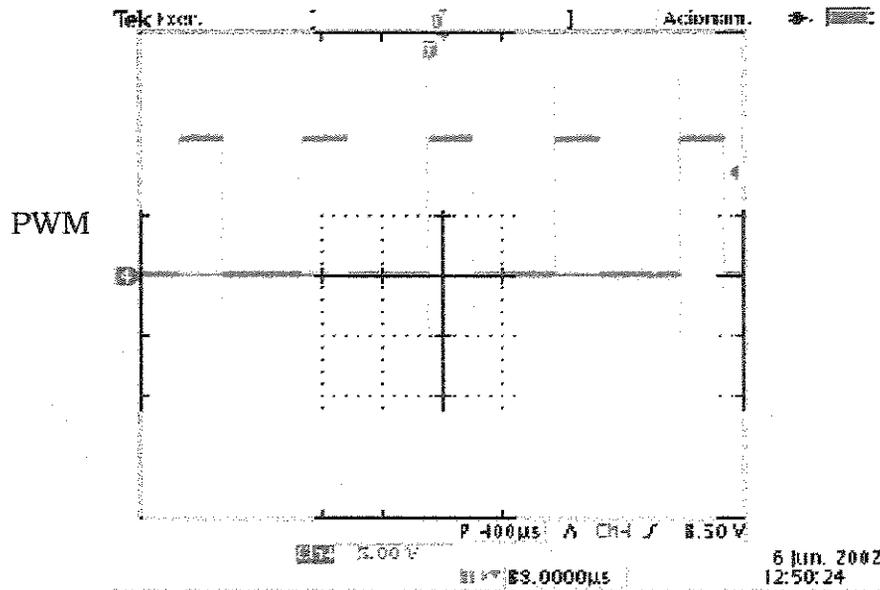


Figura 35a - Sinal obtido quando a tensão de controle é igual a zero volt.

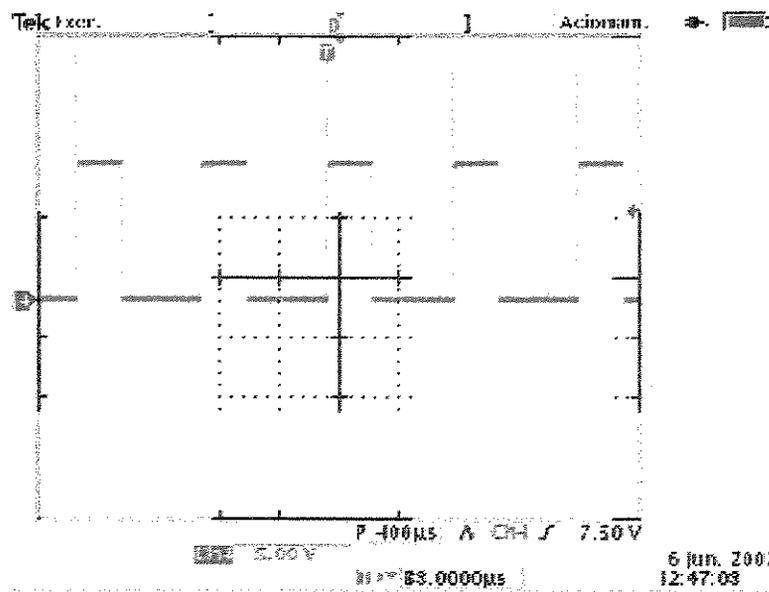


Figura 35b - Sinal obtido quando a tensão de controle é igual a 1 volt.

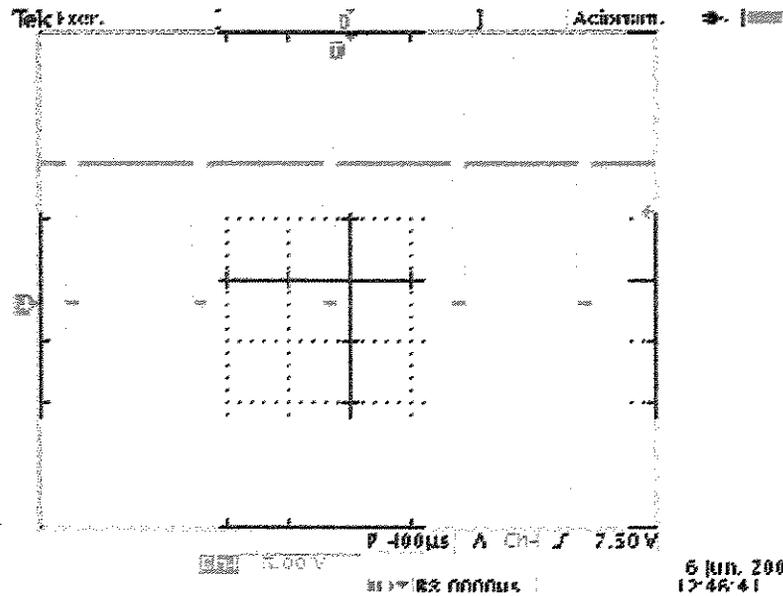


Figura 35c - Sinal obtido quando a tensão de controle é igual a 3 volts

Quando a tensão de controle for negativa, o diodo não permitirá que ela chegue ao modulador.

Relógio digital

A figura 36 apresenta o protótipo do relógio digital, com um mostrador de cristal líquido.

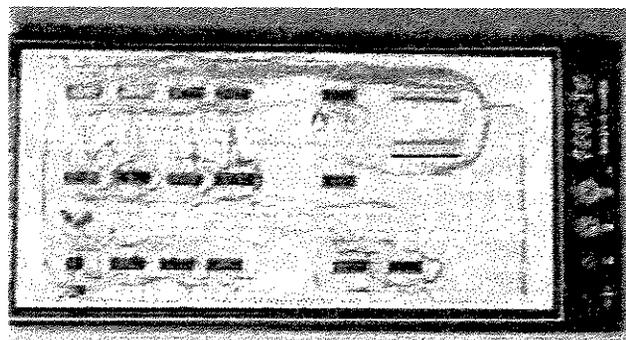


Figura 36 - Montagem do circuito do relógio digital.

O protótipo do mostrador de cristal líquido apresentou um bom desempenho, atingindo os padrões de bom funcionamento. A seguir, alguns dados obtidos através de sua caracterização:

- Razão de contraste 1:25;
- Tempo de resposta tempo de acionamento: 20 ms e tempo de desligamento igual a 60 ms;
- Tensão de thershold de 2,7V.

O circuito apresentou um bom desempenho, sendo necessário ressaltar que qualquer variação na freqüência do pulso pode gerar uma variação na contagem do circuito. Evidentemente, no caso da implementação real de um relógio, o oscilador deveria ser realizado com um cristal. Para isso bastaria utilizarmos cristais facilmente encontrados no mercado, de 16kHz, que permitem obter um sinal de 1 Hz com muita facilidade, através de divisão, semelhante à que foi utilizada neste projeto. Na figura 37a vemos uma foto do mostrador de cristal líquido conectado à saída do relógio, indicando as horas, e na 37 b o protótipo montado do circuito do relógio digital.

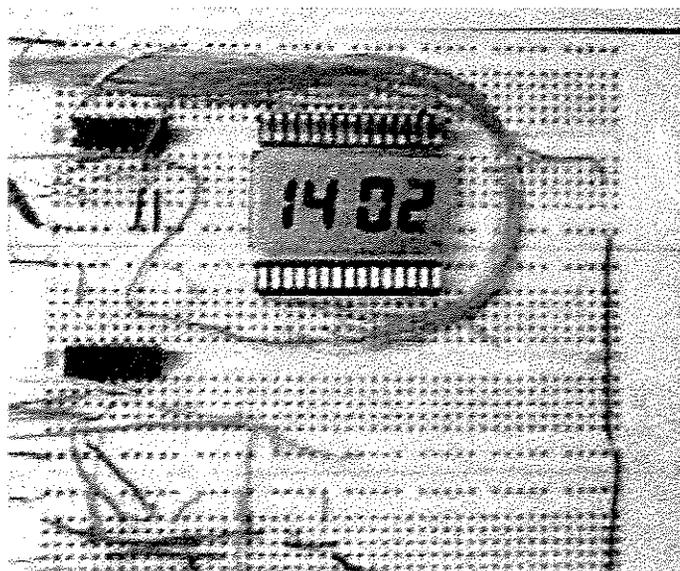


Figura 35a – Relógio digital em funcionamento.

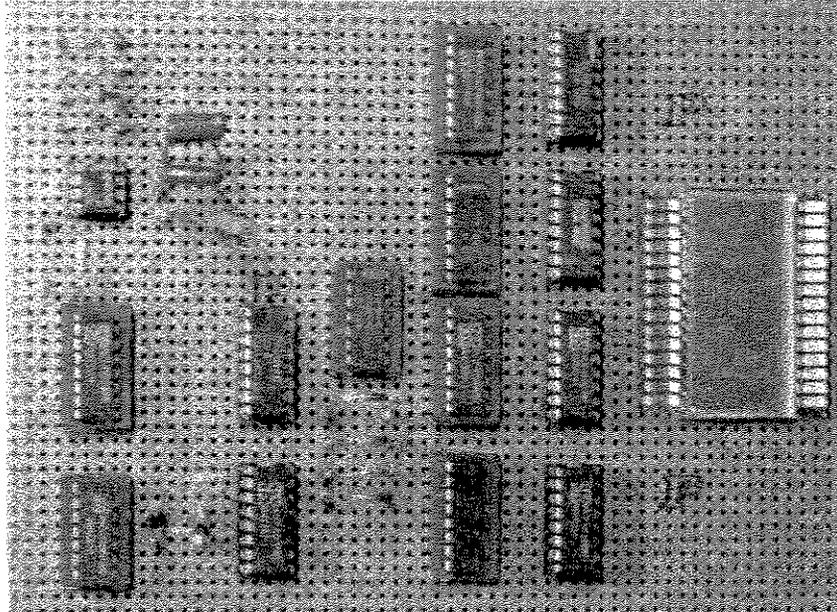


Figura 37b – Protótipo do circuito do relógio digital.

CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi desenvolvido um circuito de controle para movimentar uma cadeira de rodas baseado em um circuito PWM (Pulse Width Modulator). O sinal gerado é modulado através de um joystick e permite a movimentação da cadeira de rodas em qualquer direção (inclusive a rotação sobre uma das rodas, permitindo um giro de 360 graus sem deslocamento lateral). A utilização de um joystick facilita muito o manuseio da cadeira de rodas motorizada, pois é de fácil manipulação e bastante intuitivo.

O circuito de controle que foi desenvolvido para transformar as variações de resistência nos terminais do joystick foi muito interessante e criativo. Através de um circuito relativamente simples, geram-se tensões proporcionais aos movimentos do joystick nas direções " $\pm x$ " e " $\pm y$ ", que acionam dois motores independentes. Através da composição do movimento das rodas que estes motores acionam, é possível fazer a cadeira andar em qualquer direção, permitindo que as manobras sejam feitas com facilidade.

O circuito é de baixo custo e de fácil reprodução no mercado nacional. O protótipo proposto neste trabalho pode ser facilmente alterado para implementar mais funções, tornando-o mais útil de acordo com as necessidades do usuário.

Em suma tem-se uma solução concreta e acessível financeiramente a todas às instituições beneficentes, fundações e ONGs que se dedicam aos deficientes físicos do Brasil. Especial atenção e esforço foram dirigidos a todos os portadores de deficiência motora impossibilitados de se integrar à classe economicamente ativa.

A fabricação de um protótipo da cadeira de rodas, com toda a adaptação (mecânica/motriz) necessária para testar o circuito, seria de muita valia para o futuro desenvolvimento de um produto de baixo custo, com possibilidade de vir a ser utilizado pelos portadores de deficiência motora com baixo poder aquisitivo.

Posteriormente poderia ser verificada a possibilidade de um projeto de Circuito Integrado (CI) que realizasse todas as funções, já que, para produção em média escala, o custo final de um CI pode ser muito baixo.

As vantagens de uma implementação em CI não envolve apenas aspectos econômicos, mas também alguns aspectos técnicos. A suscetibilidade a falhas com o CI é menor, outra vantagem do CI em relação ao conjunto de dispositivos discretos reside na facilidade de ajuste de seus parâmetros para suas funções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT (Rio de Janeiro, RJ). **Referência bibliográfica:** NBR 6023. Rio de Janeiro, 1989. 9p.
- [2] BEZZERA, P.C. **S.P.A.D.: Um sistema de projetos automatizados de circuitos integrados digitais.** Campinas: UNICAMP, 1980. não paginado. (Tese – Doutorado em engenharia elétrica).
- [3] BORGES, R.M. **Controle por microcomputador da velocidade de motor de corrente contínua alimentado por retificador controlado a tiristor para acionamento industrial.** Campinas: UNICAMP, 1987. não paginado. (Dissertação – Mestrado em engenharia elétrica).
- [4] BOSCH DO BRASIL S.A (São Paulo, SP). **Catálogo de motores DC.** Não paginado.
- [5] BOTURRA, C.P. **Contribuição ao estudo do controle de torque em máquina série por modulação em largura de pulso.** Campinas: UNICAMP, 1973. não paginado. (Tese – Doutorado em ciências).
- [6] BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.** 5.ed. Rio de Janeiro, Prentice-Hall, 1994. 858p.
- [7] CASTRO, J.E.G. **Estudo de técnicas de amplificadores comutados em áudio.** Campinas: UNICAMP, 1997. 81p. (Dissertação – mestrado em engenharia elétrica).
- [8] CAMPOS, P.R.B. **Controle de velocidade de motor DC através de um controlador PLL-DUAL.** Campinas: UNICAMP, 1991. p.100-115. (Dissertação – mestrado em engenharia elétrica).
- [9] DAWES, C.L. **Curso de eletrotécnica:** Corrente contínua. 3.ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 1969. v.1, 702p.
- [10] FERREIRA, A.P. **Curso básico de eletrônica.** 2.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1981. 198p.
- [11] GUAZZELLI, M.B.P. **Eletrônica de potência:** aplicação de diodos e tiristores. Campinas: Unicamp, 1986. 261p. (série manuais).
- [12] HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos da física 1:** Mecânica. 2.ed.rev. Rio de Janeiro: LTC, 1991. 300p.

- [13]HOUPIS, C.H.; LUBELFELD, J. **Circuitos de pulsos**. Colômbia: Fondo, 1974. 213p. (coleção Fondo).
- [14]KORDESCH, K.V. **Batteries**. New York: Marcel Dekker, 1977. V.2, 514p.
- [15]LANDO, R.A.; ALVES, S.R. **Amplificador operacional**. 6.ed. São Paulo: Érica E., 1993. 269p.
- [16]MACOPEMA INDUSTRIA E COMÉRCIO Ltda (Monte Alto, SP). **Catálogo de redutores simples**. 12p.
- [17]MALVINO, A.P. **Eletrônica** ed.rev. São Paulo. McGraw-Hill, 1987, V.1, 520p.
- [18]MALVINO, A.P. **Eletrônica** ed.rev. São Paulo. McGraw-Hill, 1987, V.2, 284p.
- [19]MAMMANA, C.I.Z. **Circuitos eletrônicos: Modelos e aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 508p.
- [20]MARKUS, J. **Manual de circuitos eletrônicos**. Barcelona: Marcombo, 1977. 968p.
- [21]MILLMAN, J.; HALKIAS, C.C. **Eletrônica dispositivos e circuitos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1981. 412p.
- [22]MOHAN, N.; UNDELAND, T.M.; ROBBINS, W.P. **Power electronics: converters, applications, and design**. 2.ed. [s.l.]: J. Wiley, 1995. 802p.
- [23]MUHAMMAD, H.R. **Spice for circuits and electronics using pspice**. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1995. 364p.
- [24]POMILIO, J.A. **Projeto, estudo e construção de uma nova topologia de fonte de corrente de alto desempenho para alimentação de magnetos**. Campinas: UNICAMP, 1991. 153p. (Tese – doutorado em engenharia elétrica).
- [25]RASHID, M.H. **Power electronics: Circuits, Devices, and applications**. 2.ed. New Jersey: E.P. Hall, 1993. 702p.
- [26]SEDRA, A.S.; SMITH, K.C. **Microeletrônica**. São Paulo: Makron books, 1995. v.2.
- [27]SHIBATA, W.M. **Eletrônica digital teoria e experiência**. São Paulo: Érica, 1993. 207p.

- [28] SILVA, J.C. **Projeto e desenvolvimento de circuito para controle de uma máquina de lançar bolas de tênis**. Campinas: UNICAMP, 2000. 77p. (Dissertação – Mestrado em engenharia elétrica).
- [29] SOUZA, D.C. **Projeto de um circuito integrado divisor de frequências / contador de década em tecnologia GaAs – Família DCFL – para operação com clock na faixa de 1 GHz**. Campinas: UNICAMP, 1998. 270p. (Dissertação – Mestrado em engenharia elétrica).
- [30] TAUB, H.; SCHILLING, D. **Eletrônica digital**. São Paulo: McGraw-Hill, 1982. 582p.
- [31] TOKHEIM, R.L. **Princípios digitais**. 3.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1996. 533p.
- [32] TORREIRA, R.P. **Manual básico de motores elétricos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Antenna, 1980. 103p.
- [33] TRANSMOTÉCNICA Ltda (São Paulo, SP). **Catálogo de redutores simples**. 48p.
- [34] UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca central. **Manual de orientação em referência bibliográfica**. Lavras, 1998. 35p.
- [35] VUOLO, J.H. **Complementos de física experimental**. São Paulo: USP, 1994. 102p. (1.parte) apostila.
- [36] VUOLO, J.H. **Complementos de física experimental**. São Paulo: USP, 1995. 114p. (2.parte) apostila.

FONTES DE PESQUISA NA INTERNET

Cadeira de rodas:

[37] http://www.aabco.com/power_wheelchairs.html

[38] http://www.inmax.com/homecare/ej_folder/e&j.html

[39] <http://www.freedom.ind.br>

[40] <http://www.superlegal.com.br/dic/invec1.asp>

Controlador da cadeira - joystick:

[41]<http://www.epanorama.net/documents/joystick/index.html>

[42]<http://servicepac.mainz.ibm.de/eprmhtml/eprm/253.html>

Comutação do motor

[43]<http://www.wizard.org/schem/motor.htm>

[44]<http://www.computing.edu.au/~edillon/rail-pwm.htm>

Data Sheet:

[45]<http://www.crhc.uiuc.edu/~dburke/databookshelf.html>

Informações sobre deficiência:

[46]<http://www.truenet.com.br/ronaldo>

[47]<http://www2.uol.com.br/andi>

[48]<http://www.inep.gov.br>

[49]<http://www.entreamigos.com.br/entrada.htm>

[50]<http://www.aleph.com.br/cdi>

[51]<http://www.deca.com.br/deficientes/orienta.html>

ISI CITATION DATABASES:

[52]<http://webofscience.com>

MAGIC – A VLSI LAYOUT SYSTEM:

[53]<http://www.research.digital.com/wrl/projects/magic>

TRIQUINT SEMICONDUCTOR, INC:

[54]<http://www.triquint.com>

VITESSE SEMICONDUCTOR CORPORATION :

[55]<http://www.vitesse.com>

Apêndice 1

Motor

Os motores de corrente contínua são muito utilizados em serviços que necessitam de velocidades variáveis; possuem uma região de potência constante e uma característica de rápida aceleração e desaceleração.

O projeto apresentado nesta dissertação apresenta a necessidade de um sistema de controle que evite variações entre as velocidades dos motores, ou mantenha-as dentro de um limite aceitável. Nesse apêndice serão apresentadas as principais equações utilizadas para a escolha do motor:

Dados

- Velocidade da cadeira de rodas (valor escolhido) 7 km/h ou 1,94 m/s;
- Peso do operador (valor médio de uma pessoa adulta) 75 kg;
- Peso da bateria (valor nominal) 11,7 kg;
- Peso da cadeira (valor aproximado) 30 kg;
- Rendimento do redutor (valor aproximado) 90%;
- Roda (a disposição no mercado) 24", 20", 8" ou 6" ;
- Constante de gravidade (g) 9,81 m/s² e
- Coeficiente de atrito (μ^*) 0,25.

Os valores adotados podem ser adequados de acordo com o caso específico. O peso total neste exemplo será de 64,2 kg, pois a cadeira utiliza duas baterias e considerou-se que o vetor peso se encontra centrado no eixo

das duas rodas principais. Desta forma pode-se superdimensionar o valor, já que as duas rodas menores suportam de 10% a 20% do peso total. Será adotado uma roda, ao acaso, de 8" [12, 16, 33].

FORÇA DE ATRITO

$$\begin{aligned} &\Rightarrow > \\ F &= N \cdot \mu^* \end{aligned} \quad (23)$$

$$F = m^* \cdot g \cdot \mu^* \quad (24)$$

$$F = 64,2 \cdot 9,81 \cdot 0,25 \quad (25)$$

$$F = 157,45 \text{ Nm} \quad (26)$$

POTÊNCIA DO MOTOR

$$P_x = (F \cdot v) / (1000 \cdot \text{Rendimento}) \quad (27)$$

$$P_x = (157,45 \cdot 1,94) / (1000 \cdot 0,9) \quad (28)$$

$$P_x = 0,34 \text{ kW} \quad (29)$$

MOMENTO DE CARGA

Normalmente é utilizada uma rotação do motor próxima de suas melhores características nominais, que podem ser obtidas em catálogos. Será adotada uma rotação de 3500 rpm, Tem-se [12, 16, 33]:

$$M_x = (9550 \cdot P_x) / \text{rpm} \quad (30)$$

$$M_x = (9550 \cdot 0,34) / 3500 \quad (31)$$

$$M_x = 0,93 \text{ Nm} \quad \text{ou}$$

$$M_x = 0,095 \text{ kgfm} \quad (32)$$

MOMENTO DE INÉRCIA

$$J_x = 91,2 \cdot m^* \cdot (v/\text{rpm})^2 \quad (33)$$

$$J_x = 91,2 \cdot 64,2 \cdot (1,94/3500)^2 \quad (34)$$

$$J_x = 0,0018 \text{ kgm}^2 \quad (35)$$

O motor deve apresentar características dentro das especificações do projeto. A cadeira de rodas utilizará dois motores, para esta aplicação, desenvolvidos para ter uma longa vida útil com características de construção que possibilitam um bom rendimento. Pode ser implementado com o motor GPC, da Bosch, que atende as necessidades do trabalho. Este motor possui carcaça de aço zincado, conjunto rotor balanceado eletronicamente e rolamentos com lubrificação especial nos mancais. Observe a seguir suas especificações [4].

- Tensão do motor 12 Volts DC;
- Potência máxima 210W á 350W;
- Rotação 2500 rpm á 3500 rpm;
- Consumo nominal 10A e
- Sentido do Giro Esquerda/Direita.

A figura 38 apresenta o desenho mecânico e as dimensões reais do motor e a sua curva de performance, fornecida pelo fabricante.

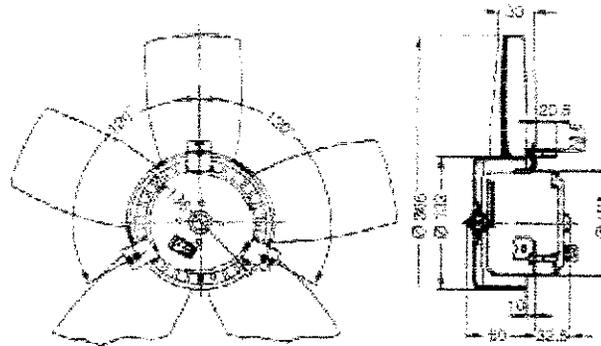


Figura 38a - Desenho mecânico do motor DC

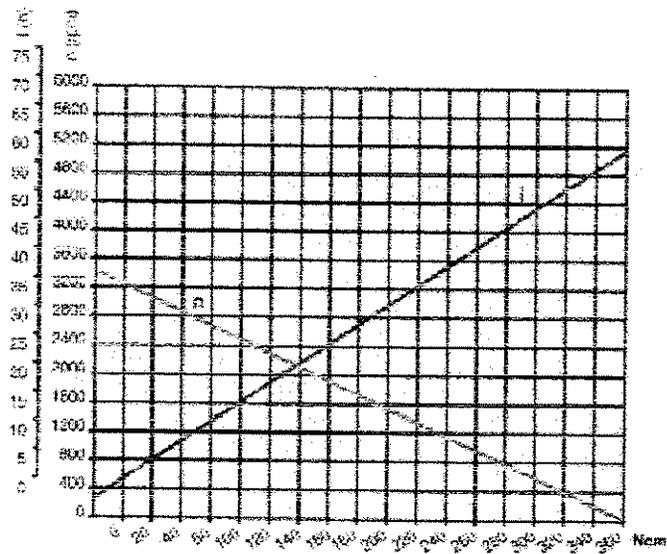


Figura 38b - Curva de performance do motor DC.

Torque e Potência

O torque e a potência, duas características importantes do motor, determinam o tamanho do motor requerido. A diferença entre os dois pode ser explicada utilizando-se uma simples ilustração de um eixo e uma chave inglesa.

O torque é simplesmente um esforço de torção. Na figura 39 abaixo, observa-se que é necessária uma libra aplicada na extremidade da chave inglesa de um pé de comprimento, para girar o eixo em velocidade constante. Portanto, o torque necessário continuaria o mesmo, desde que mantida a velocidade constante.

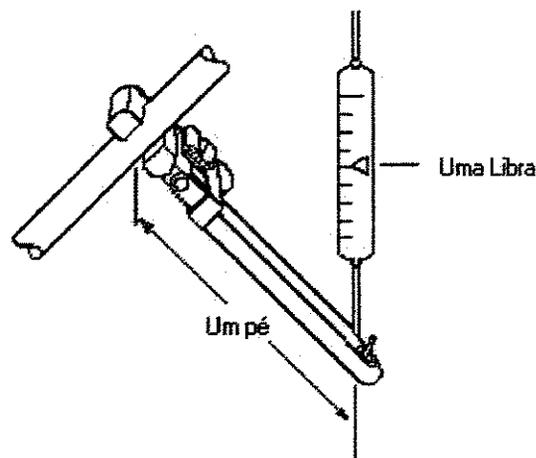


Figura 39 – Desenho de uma chave inglesa sobre um eixo.

Por outro lado a potência (HP ou CV) leva em consideração a velocidade na qual o eixo gira. Girar o eixo mais rápido requer mais potência do que girá-lo devagar. Portanto, a potência é a medida da velocidade em que o trabalho é feito. Por definição, imposta por Watt, na qual um HP é equivalente a 33000 pés-libras de trabalho de um cavalo por minuto, temos que a relação entre o torque e a potência é a seguinte:

$$1\text{HP} = 33000 \text{ pés libras/min.} \quad (36)$$

No exemplo da chave inglesa, uma libra de força move uma distância de:

$$\text{distância} = 2.\pi . \text{raio} \quad (37)$$

$$\text{raio} = 1\text{pé}$$

$$2\pi .\text{pés. 1lb ou } 6,28 \text{ pés-libras} \quad (38)$$

Para produzir uma potência de um HP, o eixo teria que ser girado a:

$$\frac{1\text{HP}.33000 \text{ pés-libras/minuto}}{6,28 \text{ pés-libras/ revolução}} = 5250 \text{ RPM} \quad (39)$$

Através desta relação, uma equação pode ser derivada para determinar a saída de potência a partir da velocidade e do torque.

$$\text{HP} = \frac{\text{RPM} . \text{torque}}{5250} \quad (40)$$

Portanto, o torque a plena carga é:

$$\text{TORQUE em pé-libra} = \frac{\text{HP}.5250}{\text{RPM}} \quad (41)$$

Utilizando o mesmo conceito, pode-se aplicar a equação do torque em motores elétricos acrescentando o fator de serviço f_c e convertendo pés-libras em kgfm. Observe a equação (42):

$$\text{TORQUE (kgfm)} = \frac{716,2 \cdot \text{HP} \cdot \text{fc}}{\text{RPM}} \quad (42)$$

Onde

fc é o fator de serviço (1,65).

Portanto o torque do motor selecionado sem carga é:

$$\text{TORQUE (kgfm)} = \frac{716,2 \cdot 0,47 \cdot 1,65}{3500} \quad (43)$$

TORQUE = 0,16 kgfm

Redutor de velocidade

O procedimento correto para a seleção de redutores estabelece a capacidade do redutor em função da potência requerida pela carga e em função de um fator de serviço. O método de seleção é simples e é válido para as condições normais descritas a seguir [16, 33].

Cálculo do Redutor

Velocidade de saída

$$n_a = v / (\pi \cdot \text{distância}) \quad (44)$$

$$n_a = 1,94 \cdot 60 / (3,14 \cdot 0,2032) \quad (45)$$

$$n_a = 182,4 \text{ rpm} \quad (46)$$

Momento de saída

$$M_a = (9550 \cdot P_n / n_a) \cdot F_c \quad (47)$$

$$M_a = (9550 \cdot 0,35 / 182,4) \cdot 1,65 \quad (48)$$

$$M_a = 30,24 \text{ Nm} \quad (49)$$

$$M_a = 3,08 \text{ kgfm} \quad (50)$$

Calculo da redução

redução = rotação de entrada do motor / rotação de saída (ou na)

$$i = 3500 / 182,4 \quad (51)$$

$$i = 19,19 \quad (52)$$

Determinar a potência efetiva necessária para o acionamento da carga[16, 33]

$$P_c = \frac{M_a \cdot n_a}{716,2} \quad (53)$$

$$P_c = \frac{3,08 \cdot 182,4}{716,2} \quad (54)$$

$$P_c = 0,78 \text{ CV} \quad (55)$$

Capacidade equivalente

$$P_e = P_c \cdot f_c \quad (56)$$

$$P_e = 0,78 \cdot 1,65 = 1,29 \text{ CV} \quad (57)$$

Deve-se, portanto, procurar nos catálogos à disposição e selecionar um redutor com capacidade de saída igual ou superior à capacidade equivalente. O tamanho do redutor é determinado em função da carga a ser acionada e não pela potência do motor. No projeto os redutores, de redução simples, podem ser do tipo rosca sem fim ou engrenagens helicoidais, sendo as helicoidais de eixos paralelos, as que apresentam melhor precisão e menor ruído [16, 33].

Para verificar as condições do conjunto motor e redutor é necessário determinar a potência (P_m) que o motor deve transmitir ao eixo de entrada do redutor em função da potência efetiva da carga e do rendimento (η) do redutor. Utilizar os valores nominais fornecidas nos catálogos, os quais geralmente fornecem [16, 33]:

- Capacidade na entrada;
- Capacidade na saída;
- Momento de torção na saída;
- Redução exata e
- Carga radial no eixo de saída.

$$\eta = \frac{\text{Capacidade na saída (Pe)}}{\text{Capacidade na entrada (Pc)}} \quad (58)$$

$$P_m = \frac{P_c}{\eta} \quad (59)$$

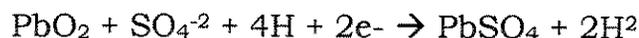
Certifique-se de que a capacidade do motor escolhido seja igual ou superior a P_m . Quando a capacidade do motor for igual ou inferior à capacidade de entrada do redutor, a seleção está correta. Por outro lado, quando a capacidade do motor for superior à capacidade de entrada do redutor, deve ser analisada a possibilidade de ocorrência de sobrecarga [16, 33].

Apêndice 2

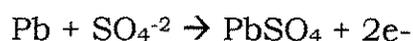
Fonte de alimentação do sistema da cadeira de rodas

Fonte de alimentação

As baterias são dispositivos que transformam energia química em eletricidade sendo formadas por um conjunto de células unitárias. A tampa é usualmente lacrada com uma massa composta à base de asfalto, para evitar vazamento da solução. Cada reação de redução e oxidação produz um potencial fixo. A soma dos potenciais da redução e da oxidação fornece diferença de potencial (ddp). A reação de descarga no eletrodo positivo da célula de chumbo-ácido é [9, 14]:



Com um potencial de 1,685 V. A reação no eletrodo negativo é



com um potencial de 0,356 V. Isto significa que a diferença de potencial (ddp) total da célula de chumbo-ácido é de 2,04 Volts. Esse valor é conhecido como potencial padrão do eletrodo. Outros fatores, como a concentração do ácido, também podem afetar a célula de chumbo-ácido. A voltagem típica do circuito aberto de uma bateria comercial de chumbo-ácido é de aproximadamente 2,15 Volts e o valor de cada célula somada fornece o valor real da bateria [9].

A capacidade da bateria é essencialmente o número de elétrons que pode ser obtido pela unidade de tempo. Praticamente todas as baterias têm uma

proporção nominal de capacidade baseada numa razão de descarga em 8 horas. A tabela 3 ilustra uma relação, em porcentagem, das diversas capacidades da bateria em diferentes regimes de descarga [9].

Tabela 3 – Relação das diversas capacidades da bateria em diferentes regimes de descarga.

Razão de Descarga	8	5	3	1	20	6
Bateria	100,00%	93,00%	83,00%	63,00%	41,00%	25,5,00%

Assim, se uma bateria fornece uma corrente de 40 Ampères, em serviço contínuo de 8 horas, diz-se que a mesma tem uma capacidade de 320 (40 x 8) Ampères-hora. Se esta bateria entregar exatamente 40 Ampères em 8 horas, não será possível fornecer 64 Ampères em 5 horas, mas somente 93% desta capacidade, ou seja, 59,5 Ampères. Este novo índice é chamado razão de descarga para 5 horas [9].

Esta redução da capacidade com altas razões de descarga deve-se à incapacidade da solução livre (SO_4^{2-}) penetrar com a necessária rapidez nos poros do material ativo da bateria. Não é possível, por conseguinte, obter-se a completa redução do material ativo durante estes curtos períodos de intensa descarga. Uma bateria sujeita a uma descarga violenta, após um breve descanso, recobra, em parte, sua capacidade. Isto se deve à solução livre, que, neste intervalo de tempo, completou sua penetração nos poros do material ativo [9, 14].

A fonte de alimentação é composta de duas baterias secundárias, mais conhecidas como recarregáveis. Observe a seguir sua especificação:

- Voltagem nominal 12 Vdc;
- Capacidade 45 Ampères-hora;

- Material de reação chumbo-ácido;
- Tamanho – 210 mm de comprimento,
175 mm de largura e
175 mm de altura.
- Peso 11,7 kg;
- Selada.

Carregamento das baterias

Quando se faz a carga de uma bateria de chumbo, a capacidade de carga, em Ampères, sempre pode ser feita igual ao número de Ampères-hora descarregados pela bateria. Por exemplo, se a bateria descarregou 200 Ampères-hora, pode ser adotada uma razão de carga de 200 Ampères. À medida em que a bateria está sendo carregada, o número de Ampères-hora que falta à bateria decresce e naturalmente a capacidade de carga deve decrescer. A intensidade da corrente de carga precisa ser regulada de modo que nunca haja violento desprendimento de gases. A formação de gases representa perda de energia, pois uma considerável quantidade de energia de carga está sendo usada apenas para efetuar a decomposição da água em hidrogênio e oxigênio. Além disso, a produção de gases traz um aquecimento desnecessário da bateria; o ácido é arrastado para fora, sob forma de finas partículas, pelas bolhas que também arrancam, por erosão, o material ativo das placas [9, 14].

Quando uma bateria está completamente carregada, qualquer que seja a intensidade da corrente, sempre haverá desprendimento de gases. Mas a razão da carga pode ser induzida a um valor tão baixo, que a formação de gases se mantenha num limite razoável e de todo inofensivo. Essa razão é chamada de corrente de acabamento [9].

O método de carga a potencial constante é utilizado com maior frequência, porque a intensidade da corrente de carga cai automaticamente de valor à medida em que cresce a força eletromotriz (f.e.m.) da bateria, ao se aproximar de sua condição de plena carga; por isto, uma bateria carregada deste modo exige pouca ou mesmo nenhuma atenção [9].

Apêndice 3

Mostrador de Cristal líquido

Os Mostradores de cristal líquido são dispositivos eletro-ópticos construídos com a tecnologia de filmes finos. Seu funcionamento está ligado ao princípio de funcionamento de capacitores. É formado por duas lâminas de vidro sobrepostas e paralelas, com suas faces internas depositadas com um filme de SnO_2 , recobertas com álcool polivinílico (PVA), separados por um espaçador de quartzo de diâmetro igual a $7,5 \mu\text{m}$ e preenchido com cristal líquido (figura 40). O cristal líquido é um material que flui como líquido e apresenta ordenamento orientacional. Neste trabalho foi utilizado um cristal líquido nemático torcido E7. As principais características dos mostradores são:

- Contraste
- Brilho
- Resolução
- Velocidade de resposta
- Ângulo de visada
- Tensões e correntes de operações
- Dimensões
- Escala de produção
- Custo
- Durabilidade
- Simplicidade dos circuitos de comando
- Faixa de temperaturas de operação

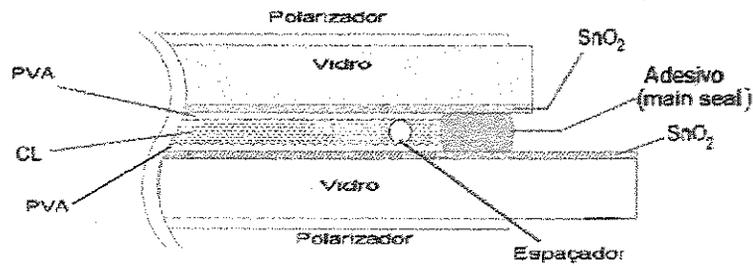


Figura 40 – Corte lateral de um mostrador de cristal líquido TN.

A seqüência de fabricação de protótipos pode ser facilmente observada no fluxograma (da figura 41) abaixo, onde estão representadas suas etapas e processos.

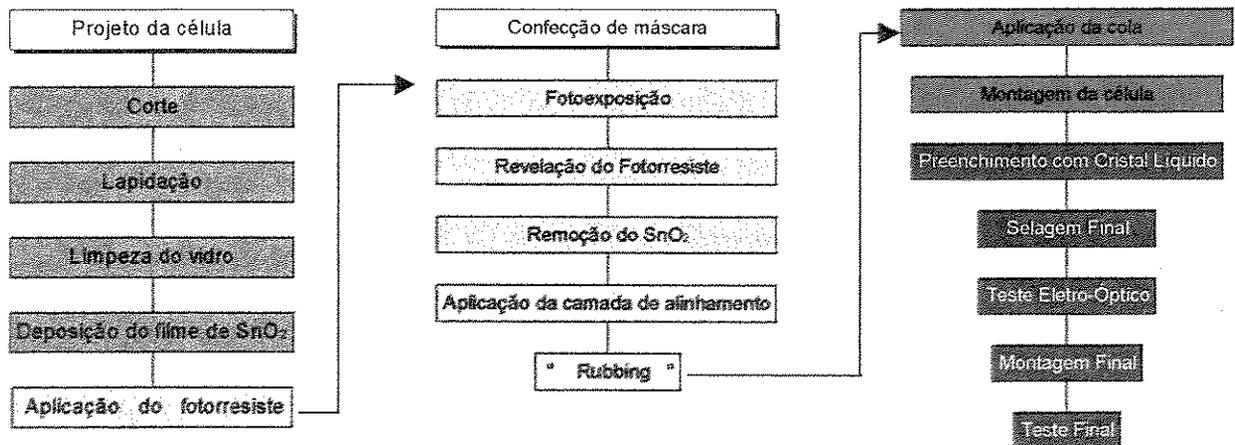
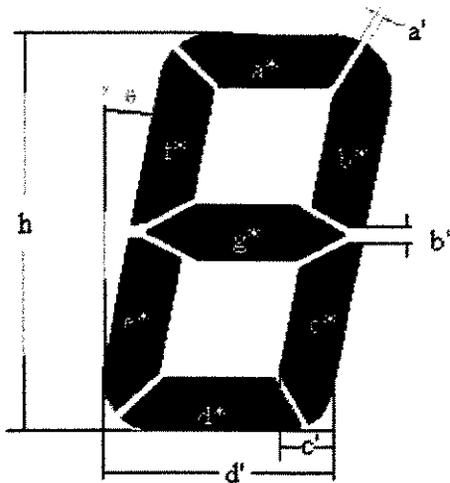


Figura 41 - Fluxograma do processo de fabricação

A fabricação do mostrador partiu da elaboração das máscaras, criadas para satisfazer as necessidades do usuário de cadeira de rodas. Neste caso em especial, apenas para efeito de demonstração, um relógio; mas pode-se alterar ou acrescentar outras informações, dentro dos limites do dispositivo. As máscaras foram desenhadas obedecendo aos critérios e às regras empregadas pelo LTMI, dentre as quais pode-se destacar o cálculo de projeção dos dígitos. Os dígitos de 7 (sete) segmentos possuem as dimensões padrão dos

mostradores comerciais. As dimensões são obtidas em função da altura (h) e a figura 42 exemplifica esses cálculos.



$$\theta = 6^\circ$$

$$a' = 0,01 h$$

$$b' = 0,02 h$$

$$c' = 0,13 h$$

Figura 42 – Dígito padrão com seu dimensionamento em função da altura.

O mostrador obedeceu toda a seqüência de etapas de fabricação, apresentadas no fluxograma, inclusive as medidas eletro-ópticas de caracterização. Uma importante característica deste mostrador é que a potência necessária para o seu bom funcionamento gira em torno de microwatts. No entanto é necessária uma fonte de luz externa ou interna, para a visualização dos dígitos.

O relógio digital foi desenvolvido no Centro de Pesquisas Renato Archer (CenPRA), no Laboratório de Tecnologia de Mostradores de Informações (LTMI), cuja atividade está ligada à produção de protótipos e pequenas séries de mostradores para o uso da indústria eletrônica, centros de pesquisas e universidades em seus novos produtos. Para a produção faz-se necessária a projeção de máscaras, a caracterização, a aplicação de métodos de análise de qualidade e ensaios de confiabilidade.

Apêndice 4

Circuito do relógio digital

Este circuito do relógio digital foi desenvolvido para testar o mostrador de cristal líquido. Na figura 43 tem-se o diagrama de blocos deste relógio, que será descrito, com detalhes, posteriormente:

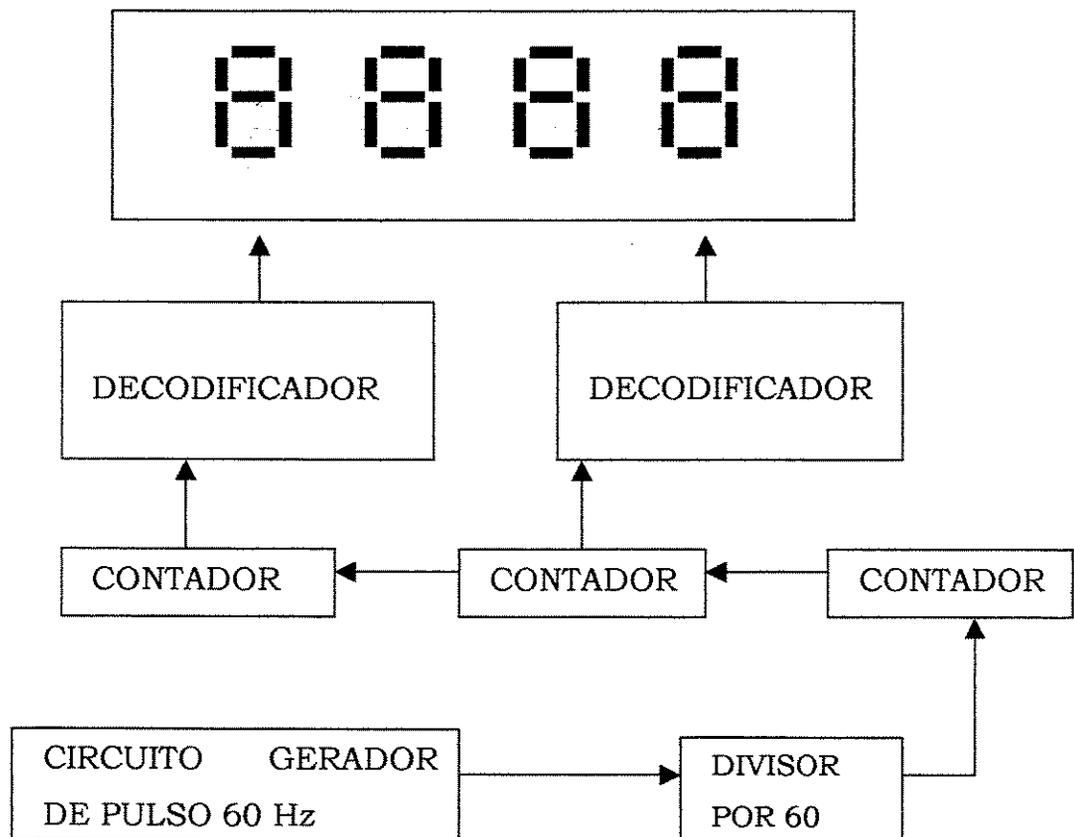


Figura 43 – Diagrama de blocos do relógio digital.

O sistema utiliza contadores como divisores de frequência e como acumuladores de contagem. O trabalho dos acumuladores de contagem é contar os pulsos de entrada e servir como memória temporária, enquanto

passam as informações do tempo atual, através dos decodificadores, para os mostradores de saída.

O circuito gerador de pulso gera uma onda quadrada de 60 Hz, utilizando o princípio de funcionamento do multivibrador astável, discutido no capítulo anterior. Esse sinal é dividido, de modo a se obter um pulso por segundo. Para isto utiliza-se um circuito integrado CD 4040 e mais três portas lógicas AND. Dividir a frequência por um valor qualquer é um problema cuja solução é importante para a implementação deste projeto, pois a divisão natural de circuitos que utilizam flip-flops é por múltiplos de 2. No entanto, utilizando recursos simples como portas AND, pode-se alterar a divisão por qualquer número inteiro que seja menor que o valor da divisão final do módulo ou contador. O módulo é o valor que um contador pode contar.

O CD 4040 consiste num divisor formado por uma seqüência de flip-flops em série. Pode-se acelerar a produção de pulsos pulando-se alguns flip-flops e com isso aumentar a frequência de saída, ou seja, aumentar a velocidade do relógio. O ajuste pode ser rápido ou lento. Para isso, a divisão de frequência deve ser alterada para se obter maior ou menor frequência na saída.

Os acumuladores de contagem de 0 a 59, mostrados no diagrama de blocos (figura 23), são na verdade dois contadores 4029 ligados em cascata, pois seus valores unitários são inferiores ao desejado. Quando os contadores são ligados desta maneira, o módulo final obtido é o produto dos módulos associados. Analisando o funcionamento do acumulador de contagem de segundos, observa-se que um contador de década é necessário para acumular as unidades de segundos. Esse contador de década é acionado diretamente na saída do primeiro divisor de frequência. Quando o contador de década vai de 9 para 0, ele gera um pulso de transporte que é enviado ao contador de dezenas de segundos. Os acumuladores de contagem de minutos e horas estão conectados de maneira similar ao acumulador de segundos. Observando que os acumuladores das horas estão programados para contar de 0 a 23, gerando um pulso de “reset” a cada 24 horas, quando todos os blocos são zerados. A figura 44 ilustra o diagrama esquemático do circuito do relógio digital. Os

O pino 7 é a saída de término de contagem, representando a saída “vai 1” do contador.

Para que o mostrador de cristal líquido tenha um bom funcionamento, são necessárias algumas precauções, pois como as energias envolvidas são de alguma forma muito pequenas, a excitação do mostrador deve ser feita de modo que as correntes elétricas tenham características concretas e bem definidas.

Não se pode aplicar em um mostrador de cristal líquido um campo elétrico constante (Vdc), pois a partir disso haverá circulação de uma corrente contínua produzindo um efeito muito conhecido, o da eletrólise, que ocasionará mudanças nas características do dielétrico (cristal líquido). A vida útil do mostrador sempre estará limitada pela intensidade da corrente aplicada.

A deterioração do mostrador começa com tensões acima de 100 mVdc. Portanto, deve-se ressaltar novamente, que não é aconselhado alimentá-lo diretamente com tensões contínuas, pois os resultados podem ser desastrosos, isto é, a perda das características eletro-ópticas do dispositivo.

Utiliza-se tensão alternada para realizar a excitação do mostrador, sendo o consumo de energia depende da frequência utilizada, podendo variar de 30Hz a 1 kHz, foi utilizada 100 Hz no sistema.

O decodificador 4055 possui uma entrada binária e uma saída decodificada para mostradores de 7 segmentos e será utilizado da seguinte maneira:

- O pino 1 será ligado ao comum do mostrador e os pinos 5, 3, 2 e 4, que são respectivamente as entradas (Q0, Q1, Q2 e Q3), na saída QA, QB, QC e QD do 4029, o pino 6 é a entrada dos pulsos de frequência;
- Os pinos de saída 9, 10, 11, 12, 13, 15 e 14 vão para o mostrador e acionam respectivamente os caracteres a*, b*, c*, d*, e*, f* e g* (apresentados na figura 42 do apêndice 3);

- A alimentação é feita através dos pinos 16(+Vdd), 7 (-Vee) e 8 (Vss), sendo necessária a utilização de uma fonte simétrica.