

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA E DE COMPUTAÇÃO

Projeto de um Sistema Privado de Comutação Telefônica

Autor:

Guilherme Mello de Moura

Orientador:

Prof. Mauros Campello Queiroz, M.Sc.

Examinadores:

Prof. José Ferreira de Rezende, Dr.

Prof. Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa, Dr.

Prof. Marcelo Luiz Drumond Lanza, M.Sc.

Prof. Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte, Dr.Ing.

DEL

Julho de 2004

À minha família.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade, saúde e força de vontade concedidas a mim durante todo período de graduação, em que Ele se fez presente em minha vida.

À minha família, pela presença especial e carinho sem os quais não conseguiria prosseguir. Espero que nossa união supere todos os obstáculos.

Aos meus amigos especiais Alberto, Silvia, Patricia, Ralf e, especialmente, Priscila, por todo amor e dedicação.

Aos meus amigos pessoais Édson, Gustavo, Ricardo, Wagner, Saulo e Wanderson, entre muitos outros, por todos os momentos importantes que já me fizeram viver.

Ao pessoal do GTA, em especial aos professores Rezende e Otto, por toda orientação e conselhos, e aos amigos Igor, Rafael, Marco, Luís, Pedro, Miguel, Daniel e Aurélio, pela ajuda e incentivo ao longo deste trabalho.

Aos professores do departamento de eletrônica, em especial aos professores Joarez e Brafman, que me prestaram uma grande ajuda.

A meu professor orientador, o amigo Mauros Campello Queiroz, que figura entre os maiores amigos que conquistei na faculdade durante todo o período em que estudei nesta escola.

Resumo:

Os sistemas de comunicação passaram por grandes mudanças desde a concepção do primeiro telefone. Atualmente, a rede telefônica é um meio de comunicação consolidado, e o seu uso torna possível uma vasta gama de aplicações, como transações comerciais ou audio-conferências. Neste ponto, se insere a importância da central telefônica, o elemento central da rede que realiza chamadas entre os usuários. A alta demanda por recursos, ou seja, o grande número de usuários hoje conectados à rede telefônica tornam o desempenho um fator de grande importância entre as centrais. Vários fatores influenciam o desempenho das centrais, tais como tecnologia, arquitetura utilizada, tipo de programa armazenado e quantidade de tarefas a serem desempenhadas.

Este trabalho especifica e implementa um *sistema privado de comutação telefônica*, o PABx (*Private Area Branch Exchange*). Este sistema é uma central telefônica privada, que fornece o compartilhamento das linhas externas entre um número determinado de dispositivos ou ramais, incluindo telefones e aparelhos de fax. O sistema é composto de vários módulos com funcionalidades distintas, e seu objetivo é realizar a comunicação entre os ramais, permitindo a conversação ou troca de dados entre eles. Para isto, vários testes e simulações foram realizados para cada módulo, e os resultados e desempenho avaliados são ilustrados ao longo deste documento.

Palavras Chave

Telefonia

Centrais telefônicas

PABx

Comunicação

Eletrônica

Lista de Acrônimos

- PABx : *Private Area Branch Exchange;*
- SLIC : *Subscriber Line Interface Circuit;*
- BORSHT : *Battery, Overvoltage Protection, Ringing, Supervision, Hybrid, Testing;*
- DTMF : *Dual Tone Multi Frequency;*
- NTSC : *National Television System Committee;*
- DEL : *Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação;*
- LEG : *Laboratório de Eletrônica da Graduação.*

Sumário

Resumo	iv
Lista de Acrônimos	vi
Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiii
I Introdução	1
I.1 Motivação	1
I.2 Objetivos	2
I.3 Organização do texto	3
II A rede telefônica	4
II.1 O telefone	5
II.2 O <i>loop</i> do assinante e a discagem	7
II.2.1 Discagem	7
II.3 Sinalização	9
II.3.1 Sinalização acústica	10
	vii

SUMÁRIO

III As centrais telefônicas	11
III.1 Arquitetura da central telefônica	12
III.1.1 Terminal do usuário	13
III.1.2 Matriz ou elemento de comutação	14
III.1.3 Processador	15
III.1.4 Componentes digitais e de sinalização	16
A família CMOS	16
O detector de tons DTMF	17
Codificadores, multiplexadores, portas lógicas e flip-flops	17
III.1.5 Componentes não-integrados	18
III.2 Casos de uso	18
III.2.1 Estabelecimento da ligação	18
IV Implementação do <i>hardware</i>	21
IV.1 O oscilador	22
IV.2 O gerador de tom de discar	24
IV.2.1 Simulação	25
IV.3 O oscilador de toque	26
IV.3.1 Simulação	28
IV.4 O SLIC	29
IV.5 O detector de tons DTMF	30
IV.6 A matriz de comutação	31

SUMÁRIO

IV.7 O processador	33
IV.8 Outros circuitos	34
IV.9 O <i>hardware</i> completo	35
V Implementação do <i>software</i>	37
V.1 A estrutura do <i>software</i> do PABx	37
V.1.1 Objetivos	37
V.1.2 O fluxograma	38
V.1.3 Simulações	39
V.1.4 A programação do 16F84	40
VI Testes	41
VI.1 Ambiente de testes	41
VI.2 Testes realizados	41
VI.2.1 O oscilador de toque	42
VI.2.2 O gerador de tom de discar	42
VI.2.3 Os circuitos integrados	42
VI.3 Resultados	43
VII Conclusão	44
VII.1 Trabalhos futuros	45
Referências Bibliográficas	46
A Código fonte	47

SUMÁRIO

A.1 Dados técnicos	47
A.2 O código fonte	47

Listas de Figuras

II.1	Topologia típica de uma rede telefônica.	5
II.2	Componentes básicos do aparelho telefônico.	6
II.3	Ilustração da discagem decádica.	8
III.1	Arquitetura em blocos de uma central telefônica.	13
III.2	Conceito de matriz de comutação.	15
III.3	Mecanismo de expansão para o MT8804.	16
III.4	Estabelecimento de uma ligação telefônica.	20
IV.1	Laço de histerese da porta <i>schmitt trigger</i> .	22
IV.2	O circuito oscilador.	23
IV.3	Esquema do oscilador no Circuit Maker.	25
IV.4	Saída da porta <i>schmitt trigger</i> .	25
IV.5	Saída do filtro passa-baixas.	26
IV.6	O circuito oscilador de toque.	27
IV.7	Resposta obtida através de simulação para o circuito de toque.	29
IV.8	Sinal de toque ampliado no período de atividade.	29

LISTA DE FIGURAS

IV.9 SLIC MH88500	30
IV.10 Filtro acoplado à entrada do detector DTMF.	31
IV.11 Matriz MT8804.	32
IV.12 Diagrama de tempo para a comutação da MT8804.	32
IV.13 16F84A da Microchips.	33
IV.14 Multiplexador 4051 utilizado para supervisão.	34
IV.15 A ativação do circuito de toque.	35
IV.16 <i>Hardware</i> completo do sistema.	36
V.1 Fluxograma do <i>software</i> implementado.	39

Lista de Tabelas

II.1	Matriz DTMF atualmente em uso.	9
II.2	Os sinais acústicos.	10
IV.1	Tabela verdade de uma porta NAND.	23

Capítulo I

Introdução

I.1 Motivação

O escritório moderno “típico” mudou significativamente nas últimas décadas. Com o avanço da tecnologia e a redução de custos através da alta competição, sistemas de telecomunicações antes financeiramente inviáveis tornaram-se mais e mais predominantes em pequenas, médias e grandes empresas. De todos os sistemas de telecomunicações, um utilizado em qualquer ambiente de negócios é o sistema telefônico. A maior parte das empresas utiliza um *sistema privado de comutação telefônica*, PABx(*Private Area Branch Exchange*), em suas atividades.

Um PABx fornece o compartilhamento de linhas telefônicas externas entre um número limitado de dispositivos de telecomunicações, incluindo aparelhos telefônicos, fax e terminais computadorizados. Como o próprio nome sugere, um PABx é uma central localizada de compartilhamento, na qual a maior parte dos dispositivos de uma empresa é conectado. A arquitetura centralizada usada em sistemas desse tipo provê muitos benefícios adicionais e características que não seriam disponíveis em conexões telefônicas simples, tais como supervisão de chamadas, bilhetagem, hierarquia de usuários e atribuição de direitos vinculados a hierarquia estabelecida. Estas características são altamente benéficas para a produtividade das empresas, de uma forma geral, e constitui um dos principais motivos

I.2 Objetivos

pelos quais o PABx é atualmente uma necessidade para qualquer negócio.

Além de todas essas características, existe mais uma que explica a grande difusão dessa rede. A rede telefônica é, dentre todas as redes de telecomunicações, a de maior amplitude e poder de penetração. E o motivo pelo qual essa rede alcança tantas pessoas é fundamentalmente um: ela está vinculada ao meio de comunicação mais comum entre as pessoas, a comunicação verbal.

I.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é especificar e implementar um *sistema privado de comutação telefônica*, PABx, capaz de realizar a comunicação de voz ou de dados entre dois ramais. O sistema é composto por vários módulos independentes, que desempenham papéis fundamentais para o funcionamento final do sistema. Entre os principais blocos que compõem o projeto, destacam-se: matriz ou elemento de comutação, SLIC (*Subscriber Line Interface Circuit*), processador, detector de tons de multi-freqüência (*DTMF*), entre outros. Das características estipuladas na proposta do projeto, tem-se:

- O sistema deve apresentar dois ramais
- O sistema deve funcionar com detecção de tons.

A principal vantagem deste sistema é que ele permite a comunicação dos usuários sem a utilização da rede pública, ou seja, os usuários ficariam isentos das tarifas cobradas pelas empresas prestadoras de serviços telefônicos. Além disso, devido à sua flexibilidade, facilidade de instalação e manutenção centralizada, este sistema pode ser usado em muitas outras situações além das citadas anteriormente, como por exemplo vigilância e uso doméstico.

A metodologia adotada para realizar este trabalho foi a seguinte. Na primeira fase, a área de telefonia foi focada: toda a sinalização utilizada teve que ser estudada e entendida.

I.3 Organização do texto

Logo em seguida, partiu-se para o projeto e especificação dos componentes. A partir daí, todas as implementações e testes foram sendo gradativamente realizadas no Laboratório de Eletrônica da Graduação do DEL, o LEG.

I.3 Organização do texto

Este trabalho está organizado da seguinte forma. No Capítulo II são apresentadas algumas características da rede telefônica, para que se entenda as tarefas de uma central. No Capítulo III é apresentado um sistema *PABx* simples, o projeto desenvolvido, sua arquitetura, seu funcionamento, e um caso de uso específico. No Capítulo IV é apresentada, em detalhe, a implementação de *hardware* do dispositivo, juntamente com os resultados das simulações realizadas no *Circuit Maker*, um simulador de circuitos amplamente utilizado em projetos de eletrônica. Em seguida, no Capítulo V, é apresentada a implementação do *software* utilizado no micro-controlador do sistema, novamente junto com os fluxogramas e resultados das simulações realizadas dessa vez no *Mplab*, ambiente de programação, simulação e teste para micro-programas desenvolvidos para a família PIC, da Microchips. No capítulo seguinte, são apresentados os resultados e testes realizados, bem como o ambiente de testes utilizado durante a execução do projeto. E por fim, são apresentadas no Capítulo VII as conclusões

obtidas neste trabalho e as considerações sobre trabalhos futuros.

Capítulo II

A rede telefônica

O primeiro telefone foi inventado por Graham Bell em 1875 [1]. Naquela época, para chegar a sua descoberta, Bell fez uma série de experimentos cujo objetivo era passar uma nota musical em um canal de transmissão por meio de pulsos elétricos. Desde então, por ser um dispositivo extremamente útil, o telefone foi intensamente estudado e modificado, com diversas patentes registrando as melhorias realizadas. Em 1885, só para citar um exemplo, Lars Magnus Ericsson patenteou sua mais nova modificação feita ao aparelho telefônico: o acoplamento do monofone a base.

Apesar da forma mais simples de conectar aparelhos telefônicos ser a ligação direta, ou ponto-a-ponto, percebeu-se rapidamente que essa solução não seria muito razoável. Neste modelo, com a difusão do sistema telefônico, cada usuário precisaria ter um aparelho para cada outro usuário com qual desejasse falar. Isto era completamente inviável. Assim, rapidamente chegou-se ao consenso de que seria necessário um elemento central responsável pelo chaveamento dos dispositivos, para que apenas um aparelho fosse necessário para se falar com qualquer outro conectado ao mesmo elemento central. Ao elemento central deu-se o nome de *central telefônica*, e ao chaveamento dos dispositivos deu-se o nome de *comutação*. Tinha-se, assim, dado o primeiro passo em direção a uma rede telefônica, no sentido estrito do termo. Em pouco tempo, os elementos centrais, as centrais telefônicas, já estabeleciam conexões a dispositivos não diretamente conectados a ela, ou seja, a in-

II.1 O telefone

terconexão dos elementos centrais, denominados os nós da rede, tinha sido alcançada. A Figura II.1 ilustra a forma ou topologia típica de uma rede telefônica.

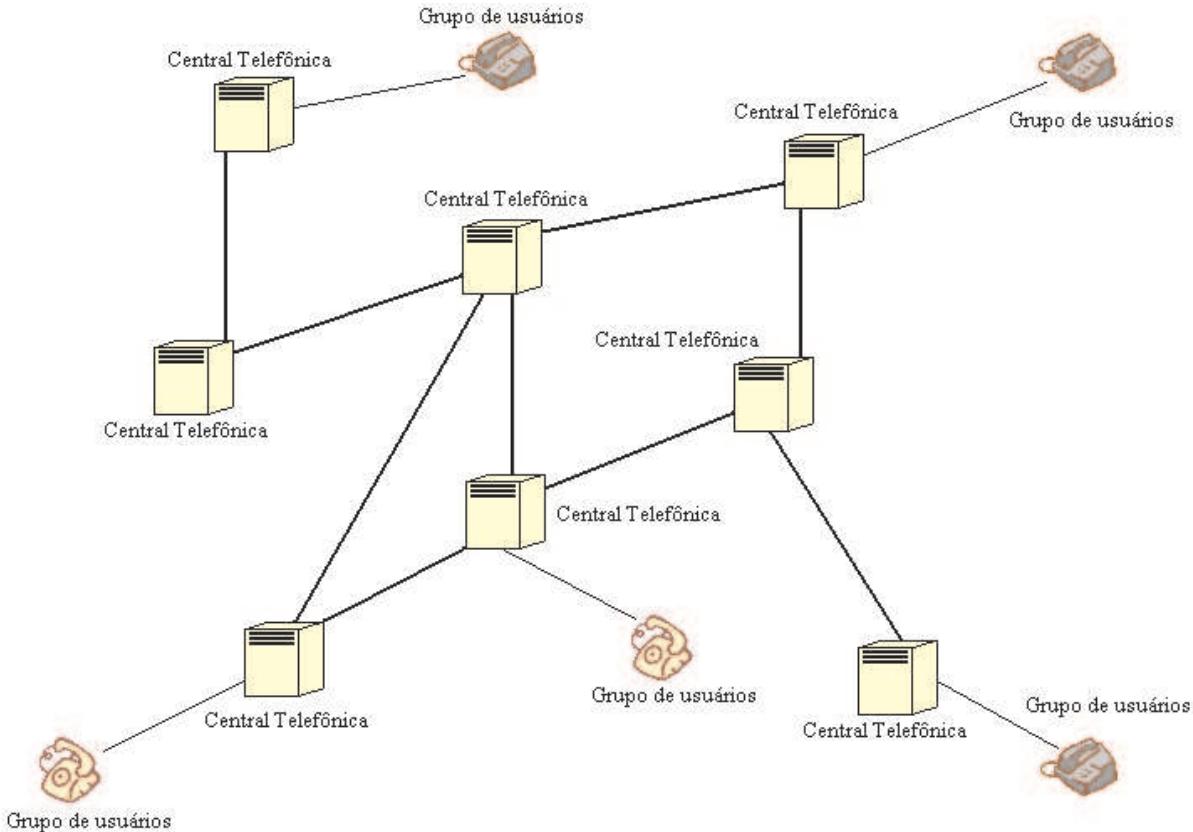


Figura II.1: Topologia típica de uma rede telefônica.

Assim, com a evolução e a difusão dessa rede em plena expansão, padrões e normas foram criados com o intuito de permitir a interconexão de dispositivos produzidos por diferentes fabricantes. Neste capítulo, as características da rede telefônica de maior importância para a compreensão do funcionamento básico das centrais são estudadas.

II.1 O telefone

Desde 1667 [1], com Robert Hooke, ou da patente de número 174.465 de Graham Bell [1], o telefone tem sido basicamente o mesmo. Vários periféricos foram inseridos desde

II.1 O telefone

então para dar ao telefone novas funcionalidades, mas o princípio de funcionamento, ou a tecnologia empregada no funcionamento do telefone em si, não sofreu nenhuma grande revolução. A Figura II.2 ilustra os componentes básicos de um telefone comum, com exceção do circuito de toque, que é acionado pela linha telefônica à qual o dispositivo está conectado.

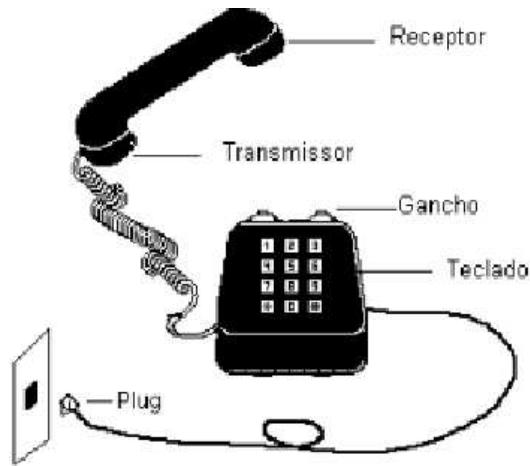


Figura II.2: Componentes básicos do aparelho telefônico.

O objetivo do gancho acoplado à base é identificar que um usuário deseja realizar uma ligação, ou ainda não recebeu a ligação que foi direcionada a ele. O princípio é simples: o telefone é normalmente conectado a uma linha telefônica, que possui uma tensão contínua de 48 V . O ponto chave é que o gancho atua abrindo o circuito no qual os 48 V_{DC} estão aplicados, impedindo a passagem da corrente. Ao se retirar o monofone do gancho, fecha-se o circuito, normalmente chamado de laço ou *loop*, e a corrente que flui então permite identificar a presença do usuário.

O transmissor e o receptor do monofone são partes de um circuito ou mecanismo chamado de híbrida, que separa os sinais de áudio de entrada e saída. A híbrida pode ser construída eletronicamente de forma simples, com um divisor resistivo, ou de forma mais elaborada, com o emprego de transformadores e outros circuitos ativos.

O teclado, que inicialmente não fazia parte do dispositivo, foi acoplado posteriormente quando as centrais de programa armazenado, controladas eletronicamente, foram conce-

II.2 O *loop* do assinante e a discagem

bidas. O objetivo de sua forma genérica, que chamamos aqui de codificador, é passar o identificador do usuário que será chamado para a central telefônica diretamente conectada ao aparelho telefônico. Várias formas de teclado ou codificador foram desenvolvidas, e os telefones em geral recebem o nome do codificador acoplado a eles, como por exemplo, telefone decádico.

II.2 O *loop* do assinante e a discagem

O *loop* do assinante é a parte da rede telefônica que menos evoluiu com o tempo. Como explicado na seção anterior, o seu objetivo é supervisionar o ramal ao qual está acoplado, permitindo que a rede detecte a presença do usuário e forneça os serviços requisitados. Basicamente, ele é constituído por um par de fios metálicos trançados que são conectados à central e ao terminal do ramal, e sua forma trançada é feita para que possa impedir de forma mais eficiente a interferência eletromagnética conhecida como diafonia, ou *cross-talk*¹.

Assim, o mesmo par de fios é utilizado para a transmissão do sinal de voz, para a sinalização dos dígitos pressionados, e para a alimentação do aparelho telefônico. Na subseção seguinte, serão explicadas as codificações existentes atualmente na rede telefônica.

II.2.1 Discagem

Existem dois mecanismos empregados atualmente para transmitir às centrais os dígitos pressionados pelo usuário, descritos abaixo:

- discagem decádica, ou por pulsos: a forma mais antiga de enviar é através da interrupção do fluxo de corrente contínua no *loop* criando, assim, pulsos de discagem que

¹Quando um sinal elétrico trafega em um condutor, gera ao redor deste um campo elétrico. *Cross-talk* ou diafonia é a medida da interferência elétrica gerada em um par pelo sinal que está trafegando num par adjacente dentro do mesmo cabo. A menor interferência acarreta um melhor desempenho da diafonia.

II.2 O *loop* do assinante e a discagem

podem ser contados na central e representam o algarismo enviado. Esta interrupção da corrente é feita numa freqüência de 10 Hz e a relação entre os tempos em que o *loop* fica aberto e fechado a cada ciclo é 66 ms para 33 ms. A Figura II.3 ilustra o mecanismo.

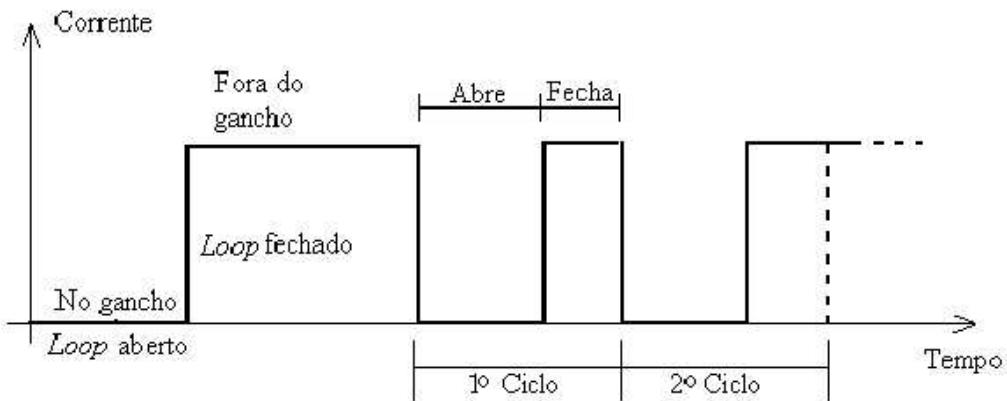


Figura II.3: Ilustração da discagem decádica.

- discagem DTMF, ou por tons: a conexão telefônica tem uma característica comum: a voz. De acordo com seu espectro de freqüência, a voz é um sinal limitado em banda, e sua energia se concentra na faixa de 300 a 3000 0Hz. Desta forma, percebeu-se que poderia-se transmitir informações de discagem na faixa de áudio, bastando usar um tom ou freqüência para cada número discado. Assim, seriam necessárias 10 freqüências diferentes para representar todos os dígitos decimais. Mas neste modo a voz poderia, algumas vezes, conflitar com os tons de discagem, pois o sinal estaria na banda do sinal de voz.

A solução proposta foi implementar uma matriz de freqüências, de forma que para cada dígito pressionado, emitia-se dois tons de freqüência não correlacionadas. Gerando dois tons separados, sem relação harmônica entre eles, eliminou-se a possibilidade da voz produzir um par válido de tons. Combinando sete freqüências numa matriz 4x3, conseguiu-se 12 combinações. Isso era suficiente para todos os 10 dígitos decimais mais dois dígitos extras, o asterisco e a tralha. Surgiu, então, o DTMF, que tem este nome por sua característica de combinar dois tons para cada dígito. Em

II.3 Sinalização

Tabela II.1: Matriz DTMF atualmente em uso.

Freqüência(Hz)	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

seguida, por questões de controle, foi adicionada ainda mais uma coluna à matriz DTMF, expandindo o mecanismo para 16 dígitos. Foram então acrescentadas as letras A, B, C e D. A Tabela II.1 corresponde à matriz DTMF atualmente usada.

II.3 Sinalização

Sinalização é o conjunto de sinais padronizados para que uma chamada passando pela rede telefônica possa ser estabelecida com sucesso. Ela desempenha o papel de um protocolo entre as centrais, ou entre o usuário e a central, para que o entendimento entre os elementos da rede seja garantido. Dentre os tipos de sinalização existentes, pode-se citar a sinalização acústica, realizada por meio de sinais audíveis ou acústicos, geralmente entre as centrais e os usuários finais, a sinalização de linha, responsável por efetuar a supervisão dos enlaces dos circuitos que interligam duas centrais, e a sinalização de registro, responsável pela troca de informações destinadas ao estabelecimento das chamadas (número do assinante chamador, categoria do assinante chamador, etc.).

Este trabalho aborda apenas a sinalização acústica, pois a central desenvolvida lida apenas com usuários finais.

II.3 Sinalização

Tabela II.2: Os sinais acústicos.

Sinalização	Forma de Onda
Tom de discar	425 Hz emitido continuamente
Tom de controle de chamada	425 Hz (1 s atividade/4 s inatividade)
Tom de ocupado	425 Hz (250 ms atividade/250 ms inatividade)
Corrente de toque	25 Hz (1 s atividade/4 s inatividade)

II.3.1 Sinalização acústica

A sinalização acústica é transmitida pelos órgãos da central de comutação diretamente conectada aos assinantes sob a forma sonora, e tem por finalidade indicar o estado de operação dos sistemas telefônicos aos usuários finais. De forma mais clara, os sinais acústicos são a única sinalização perceptível pelos assinantes. Entre eles:

- tom de discar: informa ao assinante que ele pode iniciar o processo de discagem;
- tom de controle de chamada ou tom de “chamando”: indica ao chamador que o destino está sendo chamado;
- tom de ocupado: este sinal indica uma das possíveis ocorrências: o usuário chamado está ocupado; há congestionamento em algum ponto da rede; o chamador não digitou um número válido; o terminal ao qual o usuário estava conectado desligou;
- corrente de toque ou sinal de “*ring*”: indica que existe chamada para o usuário.

Os sinais citados acima estão dispostos na Tabela II.2 para referência.

Capítulo III

As centrais telefônicas

A central telefônica é o elemento de rede responsável pela comutação de sinais entre os usuários. Historicamente, as primeiras centrais eram sistemas de comutação manual, parte humana e parte mecânica, onde a presença de telefonistas era necessária. Desta forma, para se completar uma chamada, era necessário que a telefonista realizasse a comutação com um ramal determinado. Evidentemente, este paradigma impedia o aumento da rede, uma vez que o tempo de comutação estava atrelado à características humanas. Com o passar do tempo e o avanço de outras áreas, principalmente da eletrônica, as centrais evoluíram de sistemas manuais para automáticos, e começaram a aparecer centrais microprogramadas, ou de programa armazenado. Estas centrais apresentam diversas vantagens em relação às originais, tais como flexibilidade, facilidade administrativa, velocidade no estabelecimento da ligação, custo, potencial para outros serviços etc.

Existem várias classes de centrais telefônicas. A central a que estão conectados os assinantes de uma rede telefônica em uma região limitada é chamada de *central local*. Para permitir que assinantes ligados a uma mesma central local falem com os assinantes ligados a uma outra central local, são estabelecidas conexões entre as duas centrais, conhecidas como circuitos-tronco. Em uma área geográfica de tamanho considerável, podemos ter uma ou várias centrais locais. Em uma região metropolitana, por exemplo, pode ser necessário o uso de uma *central tandem*, que é apenas conectada a outras centrais, para

III.1 Arquitetura da central telefônica

otimizar a gerência do tráfego. As centrais denominadas *mistas* possuem a função local e a função *tandem* simultaneamente. As centrais telefônicas locais estão também interligadas a centrais locais de outras cidades, estados ou países através de centrais de comutação intermediárias denominadas de *centrais trânsito*. As centrais trânsito, finalmente, são organizadas em classes conforme sua área de abrangência, sendo as internacionais as de mais alta hierarquia. É possível, desta forma, conectar um assinante com outro em qualquer parte do mundo.

Neste capítulo, é apresentada a arquitetura de uma central telefônica, além de casos de uso que retratam o funcionamento dinâmico de uma central. A arquitetura ilustra um projeto genérico, com diagramas de bloco, e deixam particularidades de implementação a cargo do projetista. Já o caso de uso mostrado ilustra o estabelecimento de conexão entre dois usuários da mesma central, e como a central deve agir para realizar efetivamente a conexão.

III.1 Arquitetura da central telefônica

Podemos dividir a arquitetura de uma central de forma organizada em diversos blocos básicos, que realizam funções bem definidas. Este tipo de abordagem, chamada de *bottom-up*, facilita a implementação e divide o problema maior em pedaços menores de menor complexidade. Basicamente, uma central é constituída dos seguintes módulos:

- terminais da central: módulo responsável pela interface com o terminal do usuário, o ramal. Deve fornecer mecanismos de supervisão e sinalização para o assinante;
- matrizes de comutação temporal: módulo responsável pela comutação dos terminais, permitindo que haja comunicação de voz entre eles;
- processador e lógica de controle: módulo responsável pela coordenação das funções dos outros módulos. Especificamente, o processador é o componente eletrônico que contém o programa de controle e supervisão;

III.1 Arquitetura da central telefônica

- componentes de sinalização e detecção: componentes responsáveis por fazer com que a central entenda as sinalizações utilizadas pelo terminais do usuário.

Na Figura III.1, a arquitetura em blocos de uma central hipotética é apresentada. Nas subseções seguintes os módulos da central são explicados em detalhes, e os blocos que normalmente realizam as funções são expostos.

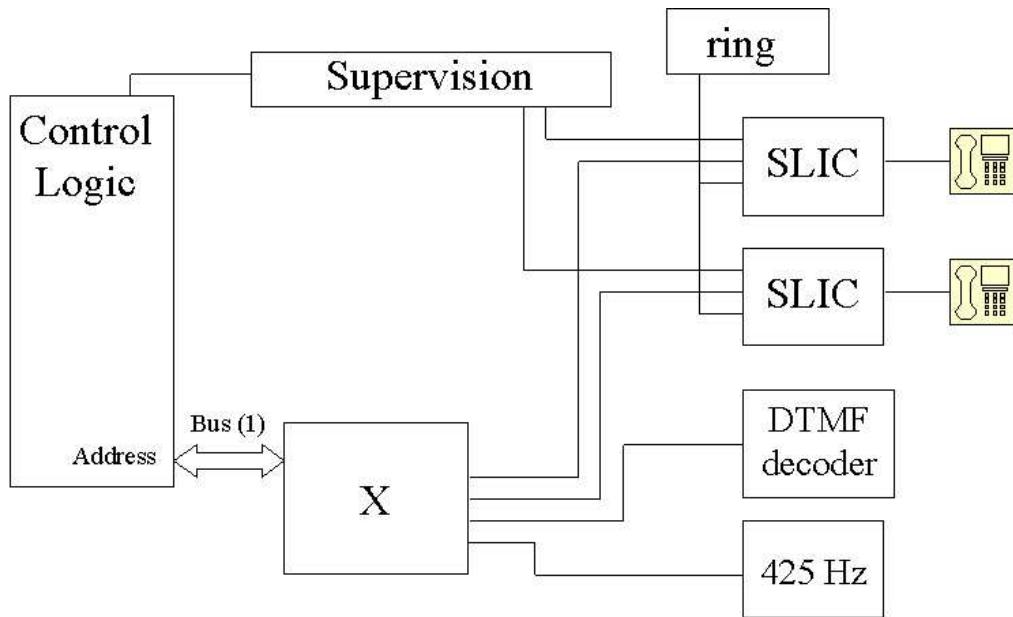


Figura III.1: Arquitetura em blocos de uma central telefônica.

III.1.1 Terminal do usuário

O módulo terminal do usuário, normalmente implementado por um SLIC, *circuito de interface de linha do assinante*, deve desempenhar todas as funções BORSHT. BORSHT é um acrônimo do inglês para *Battery, Overvoltage protection, Ringing, Supervision, Hybrid and Testing*, que em português significa *bateria ou alimentação de linha, proteção contra sobre-tensão, sinal de toque, supervisão, híbrida e teste*. As funções desse módulo é enumeradas abaixo:

- alimentação de linha: este módulo deve fornecer alimentação de linha para o ramal

III.1 Arquitetura da central telefônica

do usuário, que segundo a norma de telefonia corresponde a 48 V de tensão contínua entre os dois fios estão conectados ao ramal;

- proteção contra sobre-tensão: o terminal do usuário deve proteger o ramal do assinante contra possíveis sobre-tensões da linha telefônica;
- sinal de toque: esse módulo deve fornecer sinal de toque, para alertar o usuário quando estiver sendo chamado;
- supervisão: o terminal do usuário deve avisar a central que o assinante retirou seu monofone do gancho, para que o devido tratamento possa ser efetivado;
- híbrida: a híbrida funciona separando os sinais de entrada e saída do ramal do usuário, para que eles possam ser comutados independentemente na matriz de comutação. O terminal do usuário deve realizar esta função.

Assim, foram pesquisados todos os integrados que realizassem as funções desejadas e o MH88500 da Zarlink foi selecionado por apresentar as características requeridas.

III.1.2 Matriz ou elemento de comutação

A matriz ou elemento de comutação é uma estrutura de funcionalidade chave para a central. Ela realiza a conexão dos ramais propriamente dita, como o próprio nome indica [2]. Conceitualmente, pode-se entender a matriz de comutação como um conjunto entrelaçado de linhas e colunas que se conectam, estabelecendo o caminho físico para a passagem do sinal. A Figura III.2 ilustra o conceito abordado.

Assim, querendo conectar o ramal número 1 (disposto na primeira coluna) com o ramal número 7 (disposto na sétima coluna), utilizaria-se qualquer linha disponível (no caso, a terceira linha) que funcionaria como ponte condutora para o sinal elétrico, como mostrado na Figura III.2. É importante notar que se todas as linhas estivessem ocupadas, como ilustrado na Figura III.2, e o assinante de número 4 desejasse realizar uma chamada, ele seria desprezado pelo sistema por falta de recursos. Na prática, um estudo estatístico

III.1 Arquitetura da central telefônica

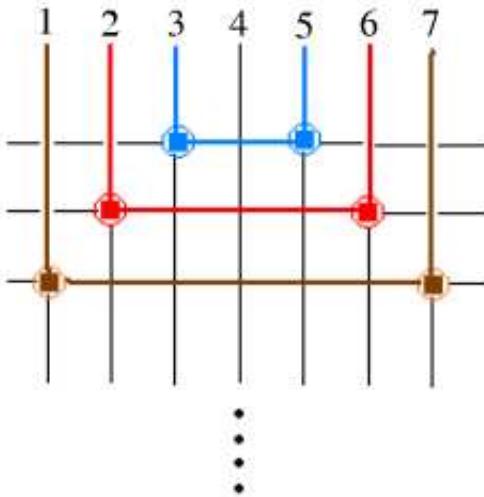


Figura III.2: Conceito de matriz de comutação.

revela qual o número de linhas são necessárias para que o sistema tenha uma eficiência acima de um determinado nível estipulado. Assim, o sub-dimensionamento é realmente feito pelas empresas provedoras de serviços telefônicos. No entanto, para os assinantes que já estão com suas ligações em curso, não importa quantos usuários estejam usando o sistema ou tentando usar, pois eles terão aquele caminho físico disponível mesmo que não estejam se comunicando, no silêncio.

O elemento comutador escolhido na especificação do sistema foi o MT8804. Este integrado é um elemento comutador 8x4, ou seja, possui 8(oito) linhas, que podem ser usadas em caso de expansão do sistema, e 4(quatro) colunas, aonde ficam conectados os ramais dos usuários. A Figura III.3 ilustra uma possível expansão realizada utilizando-se dois integrados MT8804, em centrais com mais assinantes.

III.1.3 Processador

O processador de uma central CPA, Central por Programa Armazenado, é geralmente um computador com projeto especializado ou dedicado. O sistema operacional engloba os programas orientados para o sistema, tais como: controle e execução dos serviços, procedimentos de entrada e saída e temporização, além de funções de segurança e supervisão.

III.1 Arquitetura da central telefônica

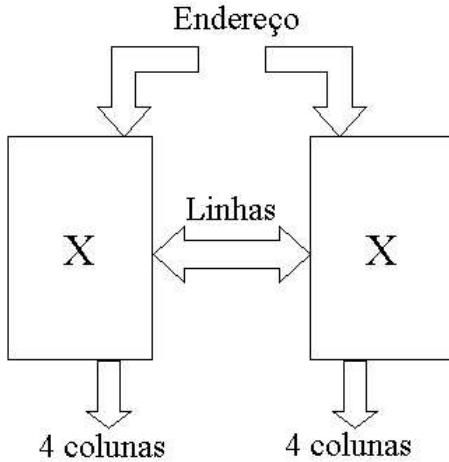


Figura III.3: Mecanismo de expansão para o MT8804.

O *software* de aplicação inclui programas orientados para o usuário que realizam tarefas de processamento das ligações, de operação e manutenção e controle de tráfego.

O micro-controlador escolhido para desempenhar a função de controle do sistema foi o PIC16F84. Em um sistema deste tipo, onde a capacidade de processamento não é um ponto crucial, pode-se abrir mão desta característica e optar por outras de maior interesse: baixo custo, compactação e facilidade de teste. O motivo pelo qual o sistema não precisa ter freqüência de *clock* muito elevada é que ele deve lidar, em todas as tarefas de maior importância, com pessoas.

A família PIC é amplamente conhecida. São disponibilizadas na Internet todas as ferramentas necessárias para compilação de programas, simulação e testes. Para essa tarefa foi escolhido o MP lab para montagem de códigos em *Assembly*.

III.1.4 Componentes digitais e de sinalização

A família CMOS

CMOS significa *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (Semicondutor de Óxido-Metal Complementar) e usa tanto FETs de canal N quanto de canal P no mesmo circuito,

III.1 Arquitetura da central telefônica

de forma a aproveitar as vantagens de ambas as famílias lógicas [3].

As características principais desta família são o reduzido consumo de corrente (baixa potência), alta imunidade a ruídos e uma faixa de alimentação que se estende de 3 V a 15 V ou 18 V, dependendo do modelo.

A família CMOS apresenta algumas outras vantagens em relação às famílias antecessoras, como a densidade de integração maior. Porém, são mais lentos do que algumas famílias anteriores, e possuem uma vulnerabilidade maior com relação à eletricidade estática.

O detector de tons DTMF

O detector de tons DTMF decodifica os dígitos pressionados nos ramais do usuário, para que a conexão possa ser realizada na central. O DTMF, como explicado no capítulo II, é uma das sinalizações possíveis para codificação dos dígitos.

Como receptor de tom, foi escolhido o CD22202 para o sistema. A razão é que o dispositivo tem um baixo consumo de potência, faz interface com outros dispositivos da família CMOS que também foram usados no projeto e se encontrava disponível no laboratório de eletrônica (LEG) do departamento.

Codificadores, multiplexadores, portas lógicas e flip-flops

Para todas as outras funções requeridas no circuito, foram utilizados integrados da família CMOS 40xx. Essa família foi escolhida devido ao seu baixo consumo de potência, disponibilidade de uma grande gama de integrados e funcionalidades, além da necessidade de fazer interface com os outros dispositivos anteriormente especificados que também são da mesma família, tal como o CD22202.

III.2 Casos de uso

III.1.5 Componentes não-integrados

Todos os outros componentes não integrados foram emprestados do laboratório de eletrônica da graduação do DEL. São eles: resistores, capacitores, transistores, transformadores, entre outros.

III.2 Casos de uso

Para ilustrar o comportamento típico de uma central local, o estabelecimento de uma ligação é mostrado. Para fazê-lo, um cenário pré-estabelecido é suposto. O objetivo é explicar todo o mecanismo e a sinalização utilizados pela central na função mais primordial para a qual ela foi concebida.

III.2.1 Estabelecimento da ligação

Muitos eventos podem ocorrer no momento da realização de uma ligação, desde ramal de destino ocupado a número inexistente. Isso torna o processo de análise complexo, e exige uma abordagem cuidadosa. No entanto, será ilustrado aqui o caso em que a chamada é completada com sucesso, ou seja, o cenário é pré-estabelecido para que a complexidade possa ser contornada. Outros casos possíveis seriam os citados anteriormente, isto é, ramal ocupado, número inexistente etc.

Suponha que o usuário *A* queira conversar com o usuário *B*. Para tanto, *A* tira o monofone do gancho. Nesse momento, a central telefônica diretamente conectada ao ramal de *A* identifica a mudança de estado (retirada do gancho do ramal de *A*) e retorna o tom de discar, caso haja recursos disponíveis no sistema para completar a chamada. A partir desse momento, *A* sabe que tem permissão para discar o número do telefone de *B*. Ao pressionar a primeira tecla do número de *B*, a central interrompe o tom de discar para notificar que está identificando os dígitos pressionados. Após realizar toda a discagem, e supondo que *B* não está utilizando seu telefone nesse momento, a central telefônica

III.2 Casos de uso

retorna para A o tom de “chamando”, enquanto envia ao ramal de B o sinal de toque. Nesse momento, B percebe que alguém deseja falar com ele e retira o seu monofone do gancho para iniciar a conversação (momento do estabelecimento ou aceitação da conexão). Ao perceber que B retirou o fone do gancho, a central interrompe o sinal de toque e conecta finalmente os dois usuários para que eles possam conversar. No término da conversação, A colocará o seu monofone novamente no gancho, notificando à central que terminou a ligação, e a central terminará a conexão entre os dois, além de liberar os recursos alocados por A no início da ligação. Se, no entanto, B colocar o fone no gancho antes de A no momento da conversação, a central não interrompe a chamada, esperando A colocar seu fone no gancho. O esquema explicado anteriormente está ilustrado na Figura III.4.

III.2 Casos de uso

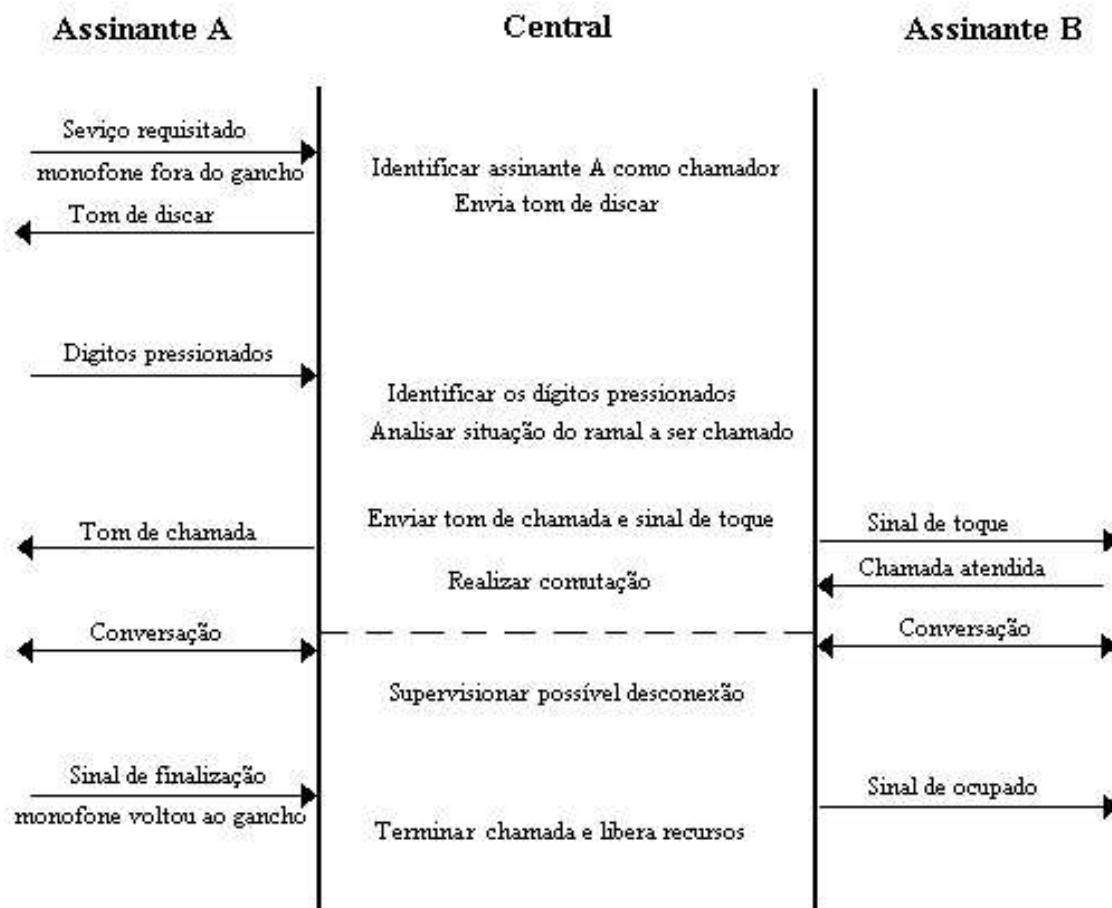


Figura III.4: Estabelecimento de uma ligação telefônica.

Capítulo IV

Implementação do *hardware*

Nesse capítulo, são apresentados os tópicos relativos à implementação do *hardware* do sistema, isto é, quais circuitos foram usados para implementar as funções dos blocos do diagrama apresentado anteriormente no capítulo III. Além disso, os tipos e valores dos componentes utilizados são apresentados, assim como os resultados obtidos nas simulações. É importante destacar que foram utilizados, sempre que possível, componentes disponíveis no laboratório de eletrônica da graduação do DEL.

Porém, antes de apresentar a descrição do circuito, é necessária uma explicação mais detalhada do CI 4093 [4] (porta NAND *schmitt trigger*), que é utilizado em grande parte dos circuitos que compõem o sistema. A porta *schmitt trigger* tem um laço de histerese ilustrado na Figura IV.1, onde V_i é a tensão de entrada e V_o é a transição do nível lógico de tensão da entrada. De acordo com o laço, podemos observar dois níveis notáveis de tensão: V_H e V_L . A tensão superior, V_H , é a tensão na qual a entrada passa do nível lógico 0 para o 1, enquanto V_L é a tensão na qual a entrada passa do nível lógico 1 para o 0. Essa propriedade garante ao 4093 uma certa imunidade ao ruído, além de torná-lo apropriado para determinadas aplicações, como será visto mais adiante.

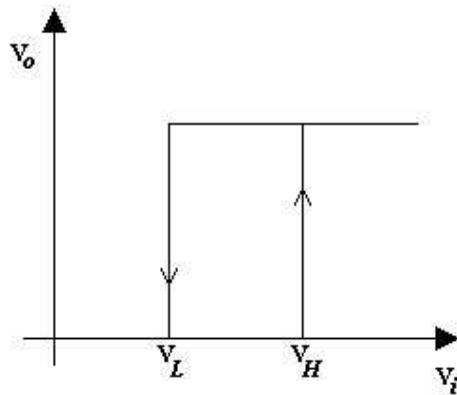


Figura IV.1: Laço de histerese da porta *schmitt trigger*.

IV.1 O oscilador

Para realizar o circuito oscilador foi escolhido um esquema simples que pode ser visto na Figura IV.2. Este circuito se utiliza do laço de histerese da porta *schmitt trigger* explicado anteriormente para gerar uma onda quadrada quando habilitado. Enquanto sua entrada *enable* estiver em nível lógico 1, o circuito oscilará com uma freqüência relacionada ao produto RC. Quando, do contrário, o *enable* for posto em nível lógico 0, o circuito deixará de oscilar e sua saída ficará constantemente em nível lógico 1. A saída do circuito é obtida no ponto indicado pelo símbolo A.

A tabela verdade de uma porta NAND está ilustrada na tabela IV.1. Sendo assim, quando a entrada *enable* do circuito oscilador está em nível lógico 0, a saída é 1. Assim, o capacitor tende a se carregar até a tensão $V_C = +V_{cc}$. Quando a entrada *enable* do circuito é chaveada para 1, a saída cai a 0 e o capacitor inicia sua descarga. Não obstante, quando a tensão V_C chega a tensão de descida V_L do laço de histerese do 4093, a entrada vai a 0 e a saída volta novamente ao nível 1. Quando isso ocorre, o capacitor volta a se carregar. Da mesma forma, quando a tensão no capacitor chega à tensão de subida do laço de histerese V_H , a entrada vai a 1 e a saída a 0, forçando o capacitor a se descarregar novamente. Este processo se repete enquanto a entrada *enable* estiver ativa.

O período T da oscilação será dado pelo tempo de descarga mais o tempo de carga

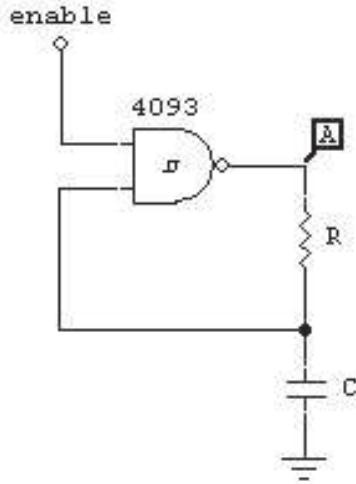


Figura IV.2: O circuito oscilador.

Tabela IV.1: Tabela verdade de uma porta NAND.

Entrada A	Entrada B	Saída Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

do capacitor. Primeiro, nota-se que o tempo de descarga será igual ao tempo de carga. Assim, chamando o tempo de descarga de t_d , teremos $T = 2t_d$.

A equação de descarga da tensão V_C em regime permanente é dada por:

$$V(t) = V_H e^{\frac{-t}{RC}}$$

onde V_H é a tensão superior do laço de histerese. Substituindo as variáveis do caso em questão, obtemos:

$$\begin{aligned} V_L &= V_H e^{\frac{-t_d}{RC}} \\ \frac{-t_d}{RC} &= \ln\left(\frac{V_L}{V_H}\right) \end{aligned}$$

IV.2 O gerador de tom de discar

$$t_d = R C \ln\left(\frac{V_H}{V_L}\right)$$

Os valores de V_H e V_L são obtidos de [4], e são aproximadamente $\frac{2V_{cc}}{3}$ e $\frac{V_{cc}}{3}$, respectivamente. E como temos para o caso $T = 2t_d$,

$$T = 2R C \ln(2)$$

Assim, isolando RC na equação, obtemos:

$$\begin{aligned} RC &= \frac{T}{2 \ln(2)} \\ RC &= \frac{1}{2f \ln(2)} \end{aligned} \tag{IV.1}$$

E assim consegue-se calcular, dada uma freqüência f de interesse, valores de R e C para o circuito oscilador.

IV.2 O gerador de tom de discar

Um dos sinais mais conhecidos de toda sinalização acústica da rede telefônica é o tom de discar, escutado quando se deseja fazer uma ligação. Mais especificamente, o tom de discar é um som persistente de freqüência 425 Hz, muito próximo do Lá fundamental, cuja freqüência é 440 Hz.

Para realizar o gerador deste tom, o circuito oscilador explicado na seção anterior foi usado. Fazendo uma conta simples obtida com a substituição do valor da freqüência desejada, 425 Hz, na equação IV.1, temos:

$$RC = \frac{1}{850 \ln(2)} \approx \frac{1}{589,2} \Rightarrow RC \approx 1,7 \cdot 10^{-3}$$

Fazendo $R = 100 \text{ k}\Omega$, teremos:

$$C = 17 \cdot 10^{-9} \text{ ou } 17 \text{ nF}$$

E assim um par de valores para R e C foi obtido. Na prática foi utilizado um filtro passa-baixas acoplado à saída do oscilador para suavizar o sinal tornando-o mais próximo a uma senóide pura. Uma complexidade maior se torna desnecessária, já que os harmônicos superiores a 4 kHz são filtrados no SLIC do usuário.

IV.2 O gerador de tom de discar

IV.2.1 Simulação

Para confirmar a validade dos valores encontrados, o circuito foi simulado no Circuit Maker. Na Figura IV.3 é mostrado o esquema para o gerador de tom de discar.

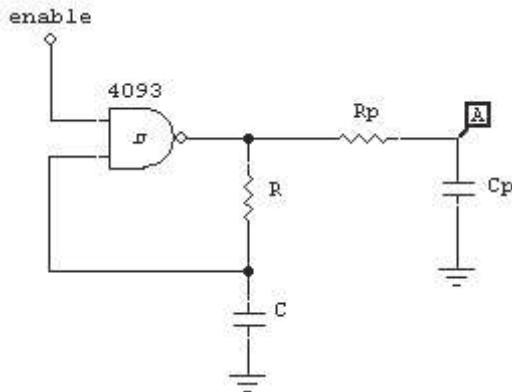


Figura IV.3: Esquema do oscilador no Circuit Maker.

As respostas foram obtidas para um tempo de simulação de 1 segundo. Na Figura IV.4, é mostrada a forma de onda obtida na saída da porta *schmitt trigger* no intervalo de 91,7 ms a 108 ms. Esse comportamento se repete durante todo o período de simulação.

Xa: 105.4m Xb: 103.1m a-b: 2.333m freq: 428.6
Yc: 11.93 Yd: 933.3m c-d: 11.00

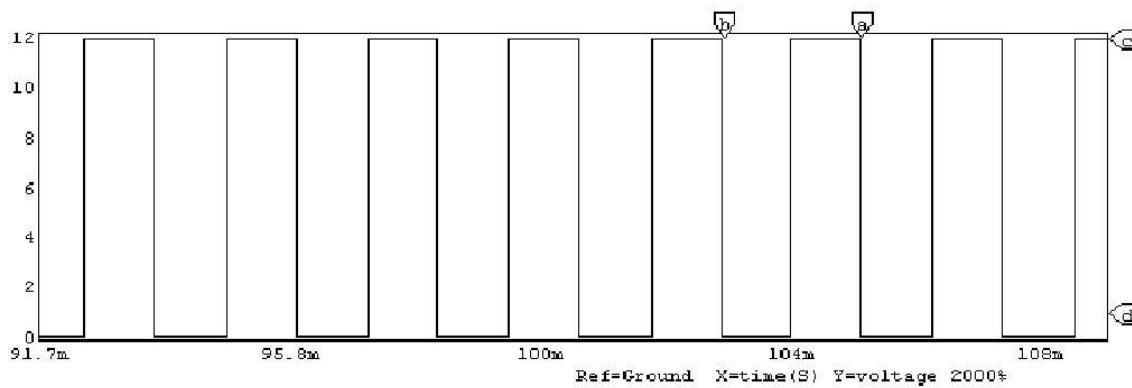


Figura IV.4: Saída da porta *schmitt trigger*.

De acordo com a Figura IV.4, percebe-se que a freqüência de oscilação obtida, 428 Hz,

IV.3 O oscilador de toque

tem valor próximo ao desejado. Na Figura IV.5 é ilustrada a saída do gerador de tom após passar pelo filtro passa-baixas, durante o intervalo de 122 ms a 142 ms. É importante notar que a saída do filtro é mais próxima a uma senóide com a freqüência desejada. Assim, os valores encontrados foram validados pela simulação do circuito.

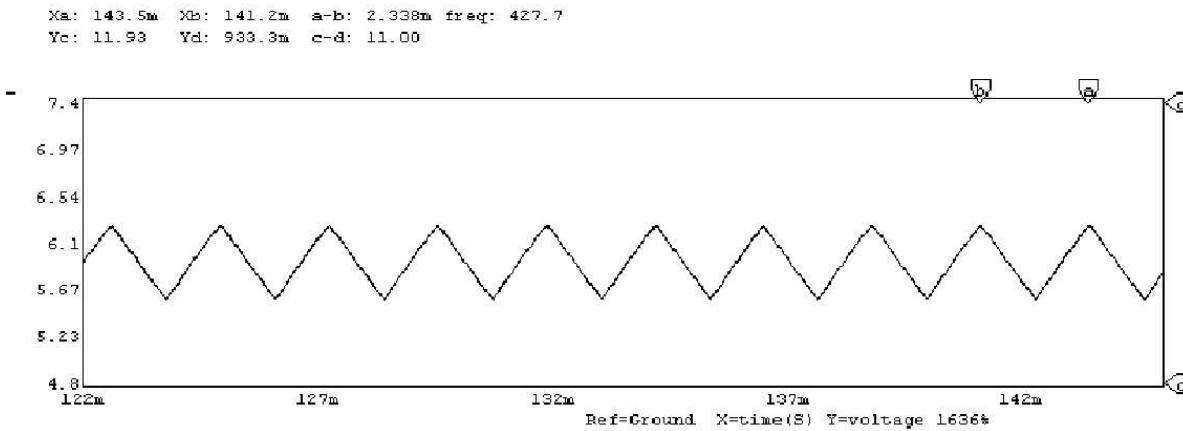


Figura IV.5: Saída do filtro passa-baixas.

IV.3 O oscilador de toque

O oscilador de toque do ramal, conhecido como *ring*, tem papel primordial nas centrais telefônicas: alertar o usuário, informando que alguém deseja contactá-lo. O circuito oscilador de toque está ilustrado na Figura IV.6. Segundo o padrão brasileiro de telefonia fixa [1], o sinal de toque é uma onda de 25 Hz de freqüência e 75 V_{rms}. Além disso, o toque tem um período de atividade de 1 segundo para 4 segundos de inatividade. A esse período de atividade dá-se o nome de “salva”.

Este circuito funciona enquanto a entrada *enable*, representada por V_{DD} na figura, estiver ativa. O primeiro estágio se encarrega de definir os intervalos de atividade e inatividade do sinal de toque, gerando períodos diferentes devido ao diodo colocado na saída do oscilador, que fica reversamente polarizado durante o período de carga do capacitor e diretamente polarizado durante o período de descarga. Assim, durante o funcionamento do circuito, o capacitor enxerga resistências diferentes nos dois períodos. Quando o diodo

IV.3 O oscilador de toque

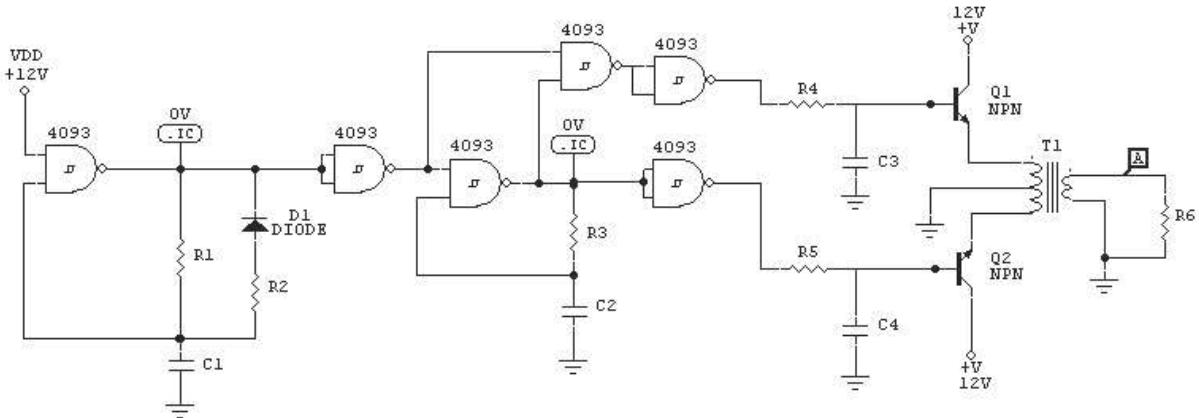


Figura IV.6: O circuito oscilador de toque.

conduz a resistência R_1 entra em paralelo com a R_2 , gerando um produto RC diferente e, consequentemente, períodos de oscilação diferentes. Como o período de inatividade do sinal é $t_i = 4 \text{ s}$, pode-se calcular quais valores de R e C satisfazem essa condição:

$$R_1 C_1 = \frac{1}{0,25 \ln(2)} \Rightarrow R_1 C_1 \approx 5,77$$

E fazendo $C_1 = 680 \text{ nF}$ obtemos:

$$R_1 \approx 8,5 \text{ M}\Omega$$

Para o período de atividade, deve-se achar o valor da resistência que deverá entrar em paralelo com R_1 para obtermos $t_a = 1 \text{ s}$. Chamando de R_T a resistência total enxergada no período de atividade, temos:

$$R_T C_1 = \frac{1}{\ln(2)} \Rightarrow R_T C \approx 1,4$$

Já que o valor de C_1 havia sido previamente definido, obtemos para a descarga:

$$R_T = \frac{1,44}{680 \cdot 10^{-9}} \approx 2,12 \text{ M}\Omega$$

Calculando agora o paralelo e resolvendo para R_2 , obtemos:

$$\frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} \approx 2,12 \text{ M}\Omega \Rightarrow R_2 \approx 2,97 \text{ M}\Omega$$

O restante do circuito, que opera somente no período de atividade, funciona de forma complementar na freqüência do sinal de toque, 25 Hz. Quando a onda na saída do

IV.3 O oscilador de toque

oscilador está em 1, o transistor Q_1 é acionado, gerando na saída um semi-ciclo do toque. Quando, pelo contrário, a saída do oscilador está em 0, o transistor Q_2 funciona e gera o outro semi-ciclo na saída do circuito.

Os resistores R_4 e R_5 têm por função limitar a corrente de base dos transistores e, juntamente com C_3 e C_4 , suavizar a forma de onda, evitando subidas abruptas de tensão nos transistores e pulsos de tensão na saída do circuito. Os transistores são usados na configuração coletor comum [3], por ter baixa impedância de entrada e ser pouco sensível à variação da resistência no emissor.

Substituindo-se a freqüência do sinal de toque na equação IV.1 obtemos um par RC possível para a oscilação em 25 Hz, usada no segundo estágio do circuito:

$$R_3C_2 = \frac{1}{50\ln(2)} \Rightarrow R_3C_2 \approx 2,9 \cdot 10^{-2}$$

Fazendo $R_3 = 1 M\Omega$,

$$C_2 = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ ou } 29 \text{ nF}$$

IV.3.1 Simulação

De forma análoga ao caso anterior, o circuito foi simulado para que os resultados analíticos fossem validados. O esquema gerado para simulação contava com todos os valores obtidos teoricamente, expostos acima.

Para um tempo de simulação de 15 segundos, obteve-se a resposta na saída do transformador. Na Figura IV.7, observam-se as “salvas” espaçadas de 4 s, característica da resposta esperada do sinal de toque, no período de 0 a 12,5 s.

A Figura IV.8 ilustra a mesma resposta, ampliada no período de atividade do sinal de toque. Pode-se verificar o comportamento esperado da resposta de saída obtida.

A partir das respostas obtidas, o circuito implementado pode ser validado.

IV.4 O SLIC

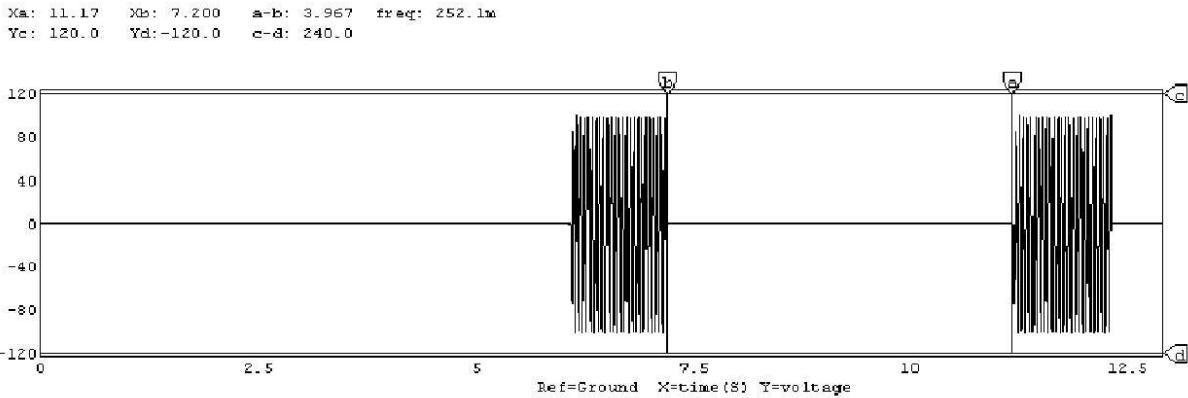


Figura IV.7: Resposta obtida através de simulação para o circuito de toque.

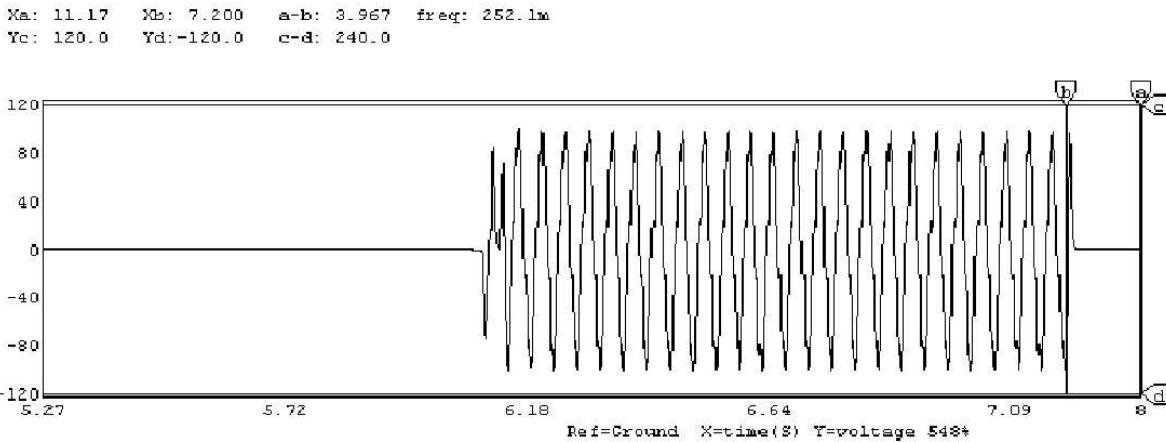


Figura IV.8: Sinal de toque ampliado no período de atividade.

IV.4 O SLIC

Para desempenhar a função do SLIC (*Subscriber Line Interface Circuit*), escolheu-se o circuito integrado MH88500 da Zarlink. Esse integrado, além de desempenhar todas as funções BORSHT necessárias, facilita a implementação, e reduz o espaço físico necessário comparado a uma implementação que utilize componentes eletrônicos básicos. A Figura IV.9 ilustra o diagrama do MH88500.

A conexão com o ramal é feita de forma direta. O integrado faz a conversão de dois fios para um bidirecional, que é comutado na matriz de comutação. Além disso, o integrado

IV.5 O detector de tons DTMF

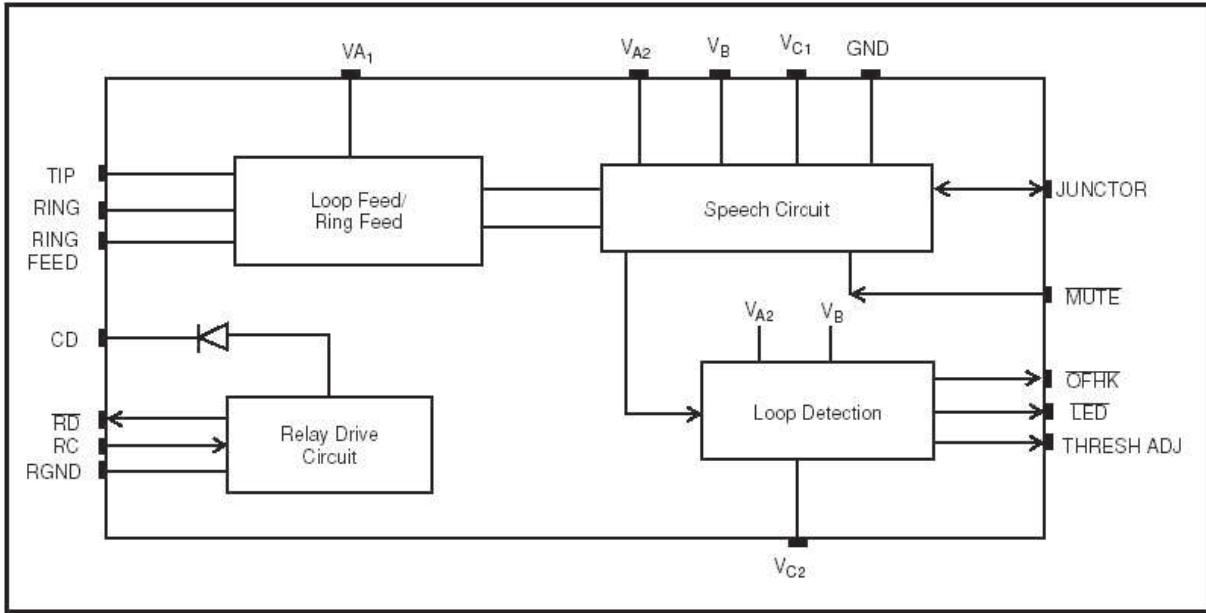


Figura IV.9: SLIC MH88500.

possui sinais lógicos que desempenham suas funções, e que podem ser ativados com uma lógica simples, tais como o “ring”, que faz chaveamento entre a linha e o sinal de toque, e o pino de supervisão, OFHK (*off-hook switch*), que indica o estado do ramal ao qual o integrado está conectado.

IV.5 O detector de tons DTMF

O detector de tons DTMF (*Dual Tone Multi Frequency*) realiza a decodificação dos dígitos inseridos pelo usuário. Para desempenhar essa tarefa, escolheu-se o integrado CD22202, da Intersil. Esse circuito integrado possui um filtro passa-faixas na faixa de freqüências dos tons DTMF que o “imuniza” contra ruído de outras freqüências. Além disso, para o seu funcionamento, o CD22202 necessita de um cristal de freqüência de 3,579545 *MHz*, usado em televisores do padrão americano NTSC (*National Television System Committee*). Para tornar a saída ainda menos ruidosa, foi implementado um filtro passa faixas acoplado à entrada do integrado. A Figura IV.10 ilustra o filtro implementado.

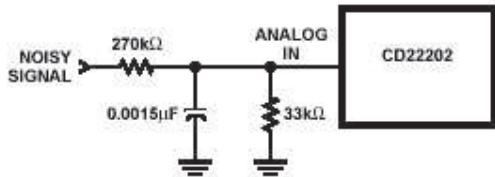


Figura IV.10: Filtro acoplado à entrada do detector DTMF.

Na arquitetura, os pinos que identificam o dígito pressionado pelo usuário são ligados ao processador, para que ele possa identificá-los corretamente.

IV.6 A matriz de comutação

A matriz de comutação utilizada foi a MT8804 da Zarlink, que é um elemento de comutação de 8 linhas por 4 colunas. A matriz funciona com endereçamento de linha, e seu barramento de dados determina quais colunas serão interligadas, depois de um período de sinalização. A Figura IV.11 ilustra a matriz MT8804.

O período de sinalização, para operar a matriz, tem uma dinâmica que pode ser vista da seguinte maneira. No momento de começar o processo de comutação, estabiliza-se primeiro o endereço da linha em questão no barramento de endereço ($A_{0..2}$) da matriz. Depois do tempo t_{AS} de estabilização, ativa-se a entrada lógica **AE** (*Address Enable*) ilustrada na Figura IV.11, que habilita a leitura dos bits de endereço de linha. Mantendo ainda a entrada **AE** por um tempo t_{AEW} em nível lógico alto, coloca-se o dado no barramento de dados ($D_{0..3}$), que vai indicar quais colunas serão interligadas. Finalmente, baixa-se a entrada **AE** para 0, mantendo-se ainda os dados no barramento por um período t_{DH} , e a interconexão das colunas será realizada após um período t_{PLH} de conexão do caminho físico. A Figura IV.12 ilustra o diagrama de tempo necessário para interligar quaisquer colunas da matriz.

Este esquema de operação deverá ser levado em conta pelo processador, na arquitetura,

IV.6 A matriz de comutação

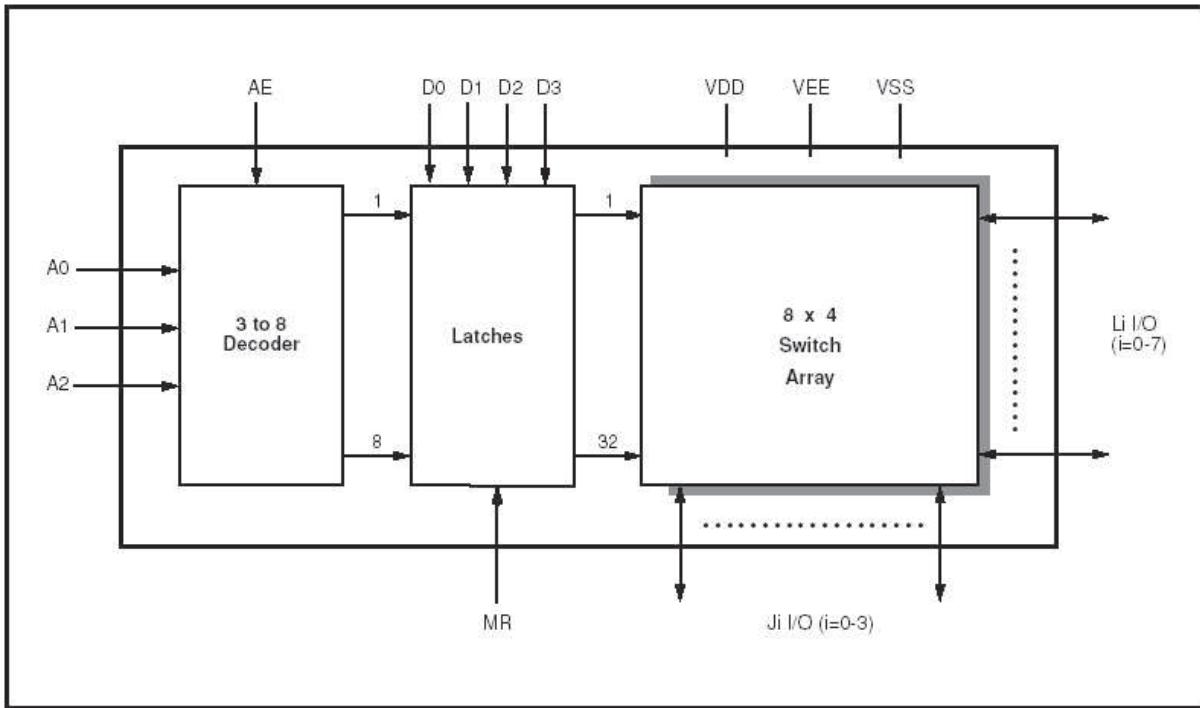


Figura IV.11: Matriz MT8804.

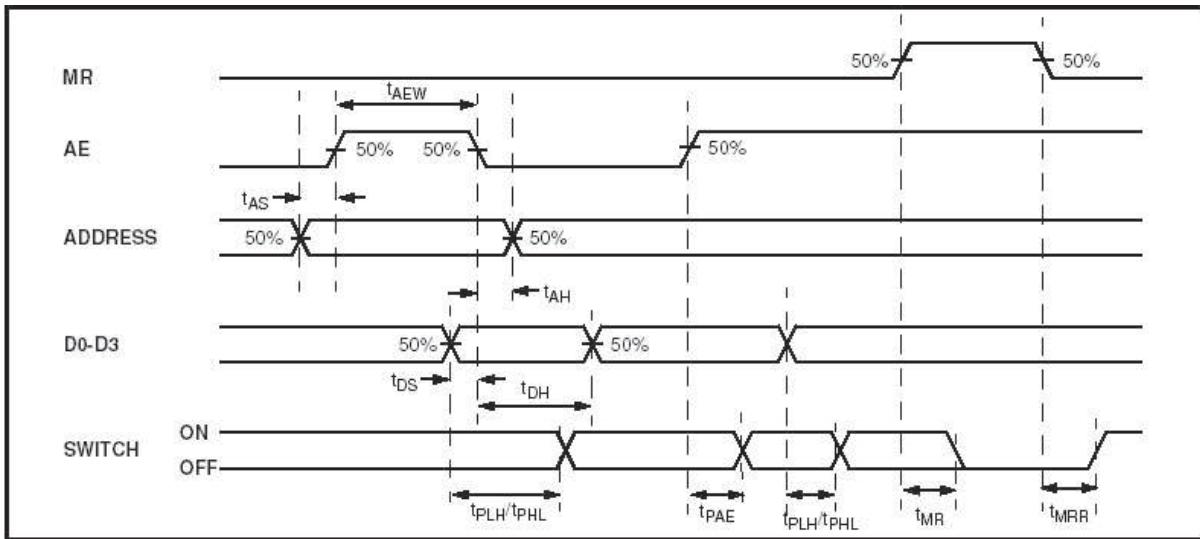


Figura IV.12: Diagrama de tempo para a comutação da MT8804.

para proceder com o controle da matriz.

IV.7 O processador

Utilizou-se, neste projeto, o processador 16F84A da família PIC da Microchips [5]. Esse processador funciona com freqüências de até 4 MHz, e possui várias ferramentas de programação e simulação disponibilizadas pelo seu fabricante na Internet. A Figura IV.13 ilustra o 16F84A e suas portas de entrada e saída.

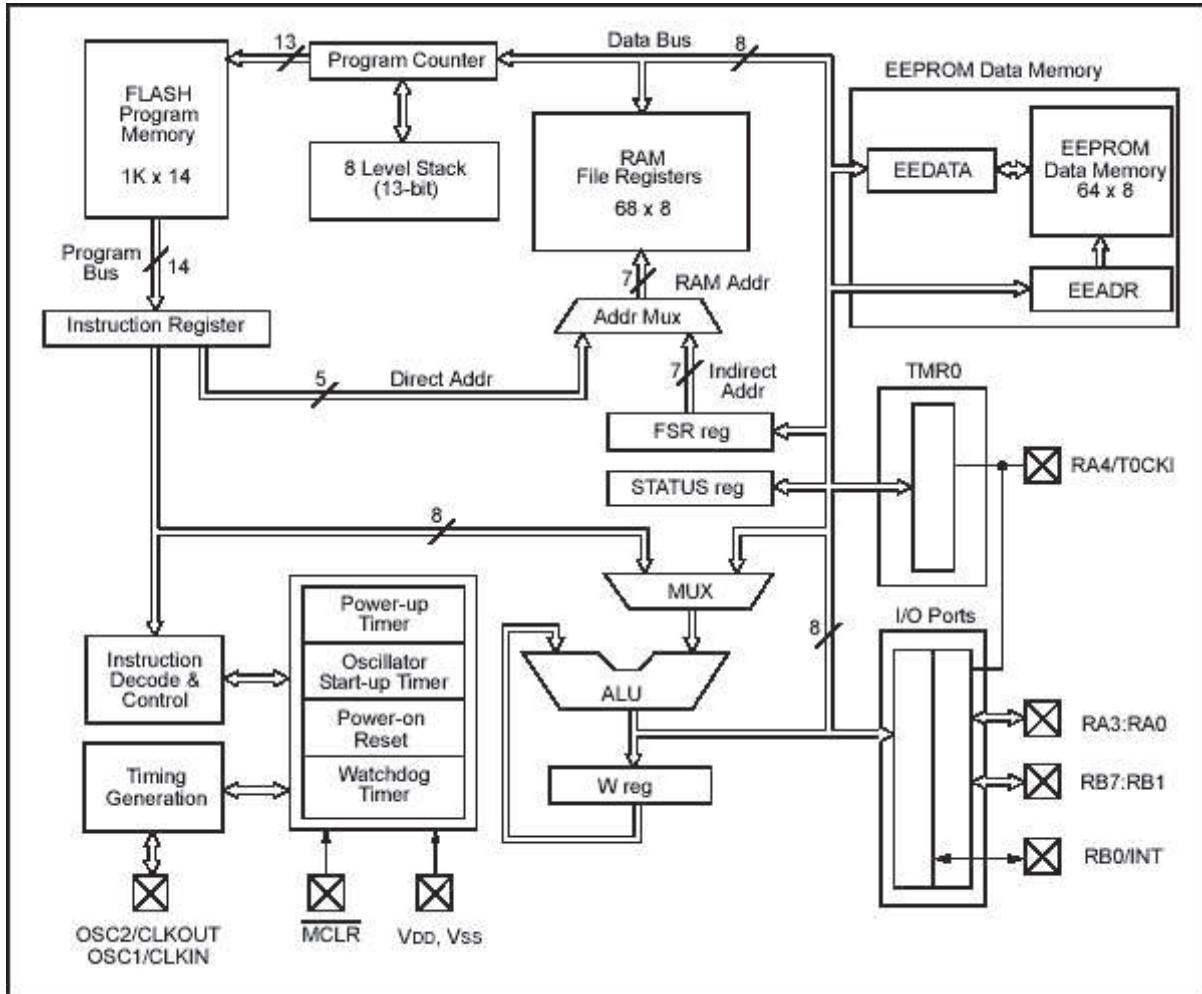


Figura IV.13: 16F84A da Microchips.

As portas $R_{B0..7}$ e $R_{A0..4}$ são portas de entrada/saída, configuráveis por *software* nos registradores TRISA e TRISB, dentro do registrador de arquivos indicado na Figura IV.13. Interrupções de interesse podem ser disparadas por mudança de nível lógico na porta R_{B0}/INT , que supervisiona o estado do ramal do usuário, além de estouro de *timer*, que

IV.8 Outros circuitos

desempenha papel fundamental em centrais telefônicas. Entretanto, essas interrupções não fazem parte do escopo do projeto, e foram desabilitadas por *software*. Na arquitetura, o processador é o elemento central, que desempenha a maior parte das funções do sistema.

IV.8 Outros circuitos

Esta seção aborda o restante do *hardware* implementado no projeto.

Supervisão do estado dos ramais

Como mais de um ramal deve ser conectado ao processador, que vai executar a função de supervisão, um multiplexador 4051 [6] foi utilizado. A Figura IV.14 ilustra o esquema implementado, onde o número indicado em cada porta corresponde ao número do pino no circuito integrado.

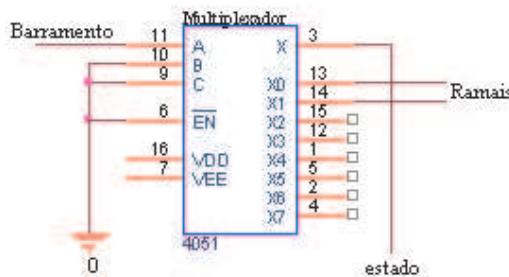


Figura IV.14: Multiplexador 4051 utilizado para supervisão.

O mecanismo de supervisão é simples. Cada ramal é conectado a uma porta do multiplexador. O processador varia periodicamente o endereço no seu barramento de endereço, conectado diretamente aos pinos de endereço do multiplexador, para varrer todos os ramais dos usuários. Dessa forma, quando um ramal apresenta o estado “fora do gancho”, o processador detecta e pode tratar o pedido por meio de uma interrupção.

Lógica de ativação do sinal de toque

Como o bit de ativação do sinal de toque é persistente e o processador deve se encarregar de muitas tarefas no sistema, foi elaborada uma lógica de controle para tratar da ativação do circuito de toque. A Figura IV.15 ilustra a lógica realizada.

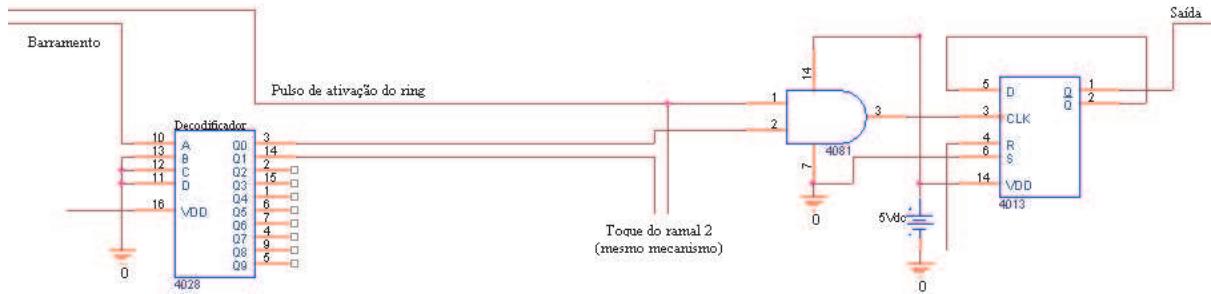


Figura IV.15: A ativação do circuito de toque.

O procedimento para a ativação é feito da seguinte forma. Primeiramente, o processador deve endereçar em seu barramento o ramal no qual deseja ativar o toque. Em seguida, para realizar o processo, deve enviar um pulso em sua porta de ativação de toque. Esse pulso, em conjunto com o endereço do barramento (4028), ativa a saída da porta lógica AND 4081 que está diretamente conectada no relógio de um *flip-flop* T 4013, inicialmente em nível lógico 0. Quando a porta AND é ativada, o *flip-flop* T imediatamente inverte o sinal na sua saída, que corresponde ao *enable* do circuito de toque. Para realizar o processo inverso, desativar o toque, basta que o processador execute o mesmo mecanismo, que agora fará com que o *flip-flop* T traga sua saída novamente para o nível lógico 0 e termine o processo efetivamente.

IV.9 O hardware completo

Depois da implementação e dos testes de cada parte do sistema, todos os blocos foram unidos para compor o sistema como um todo. A Figura IV.16 ilustra o circuito completo desenhado no Orcad.

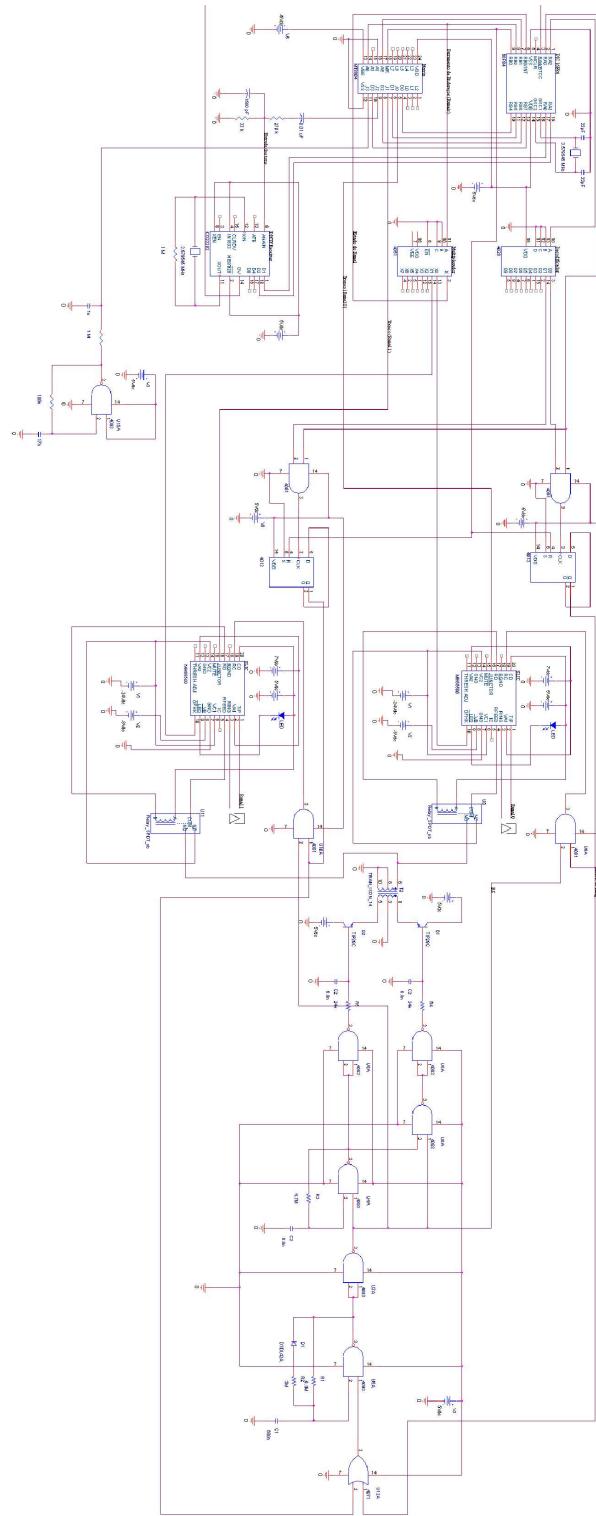


Figura IV.16: *Hardware* completo do sistema.

Capítulo V

Implementação do *software*

O processador desempenha papel fundamental nas centrais por programa armazenado. É ele quem coordena as atividades da arquitetura desenvolvida, completa as chamadas, e realiza todo o processo de supervisão e bilhetagem nas centrais públicas. Neste capítulo, é apresentada a estrutura do programa desenvolvido no projeto para testar a funcionalidade do *hardware*, além do seu fluxograma. Para complementar, são apresentadas as simulações realizadas no MpLab, que verificam o funcionamento esperado do sistema. No anexo A, encontra-se o código fonte desenvolvido em linguagem *Assembly*, programado numa fase posterior no PIC 16F84 utilizado.

V.1 A estrutura do *software* do PABx

V.1.1 Objetivos

O objetivo do programa desenvolvido é avaliar as funcionalidades, o comportamento e o desempenho dos blocos do sistema. O programa foi feito de forma procedural, completamente desenvolvido em linguagem *Assembly*, com chamadas às funções que realizam o teste individual de um determinado bloco da arquitetura. Ele foi todo programado no MpLab, ambiente de desenvolvimento e simulação para a família PIC da Microchips, e

V.1 A estrutura do *software* do PABx

segue um fluxograma seqüencial. As rotinas implementadas fazem os seguintes testes, em ordem de execução:

- Rotina `ring1`: Ativa o toque do ramal 1, até que o usuário deste ramal puxe o fone do gancho. Este procedimento termina quando o usuário do ramal 1 coloca seu fone no gancho novamente.
- Rotina `ring2`: Ativa o toque do ramal 2, até que o usuário deste ramal puxe o fone do gancho. Este procedimento termina quando o usuário do ramal 2 coloca seu fone no gancho novamente.
- Rotina `tomDiscar`: Comuta, por intermédio do elemento de comutação, o tom de discar com o ramal 1, para que possa ser escutado. Este procedimento inicia quando o ramal 1 é retirado do gancho e termina quando ele é novamente colocado.
- Rotina `dtmp`: Comuta o decodificador de tons DTMF com o ramal 1 , para que os dígitos pressionados nesse ramal possam ser decodificados e entendidos pelo processador. Este procedimento inicia com a retirada do ramal 1 do gancho e termina no momento que o fone for novamente colocado no gancho.
- Rotina `conversa o`: Comuta o ramal 1 com o ramal 2, para que uma conversa o possa ser estabelecida. Esse procedimento inicia com a retirada do ramal 1 do gancho e termina no momento que o fone for recolocado.

Todo o programa é orientado a eventos e não possui temporiza o como normalmente se implementa em centrais comerciais. Cada passo do programa é executado com retiradas do fone do ramal 1 e termina quando ele é recolocado na base do aparelho telefônico.

V.1.2 O fluxograma

O fluxograma desenvolvido para o *software* implementado está ilustrado na Figura V.1. Verifica-se que cada rotina é composta por vários estados no fluxograma e as transi es são disparadas pelos eventos descritos nos losangos.

V.1 A estrutura do *software* do PABx

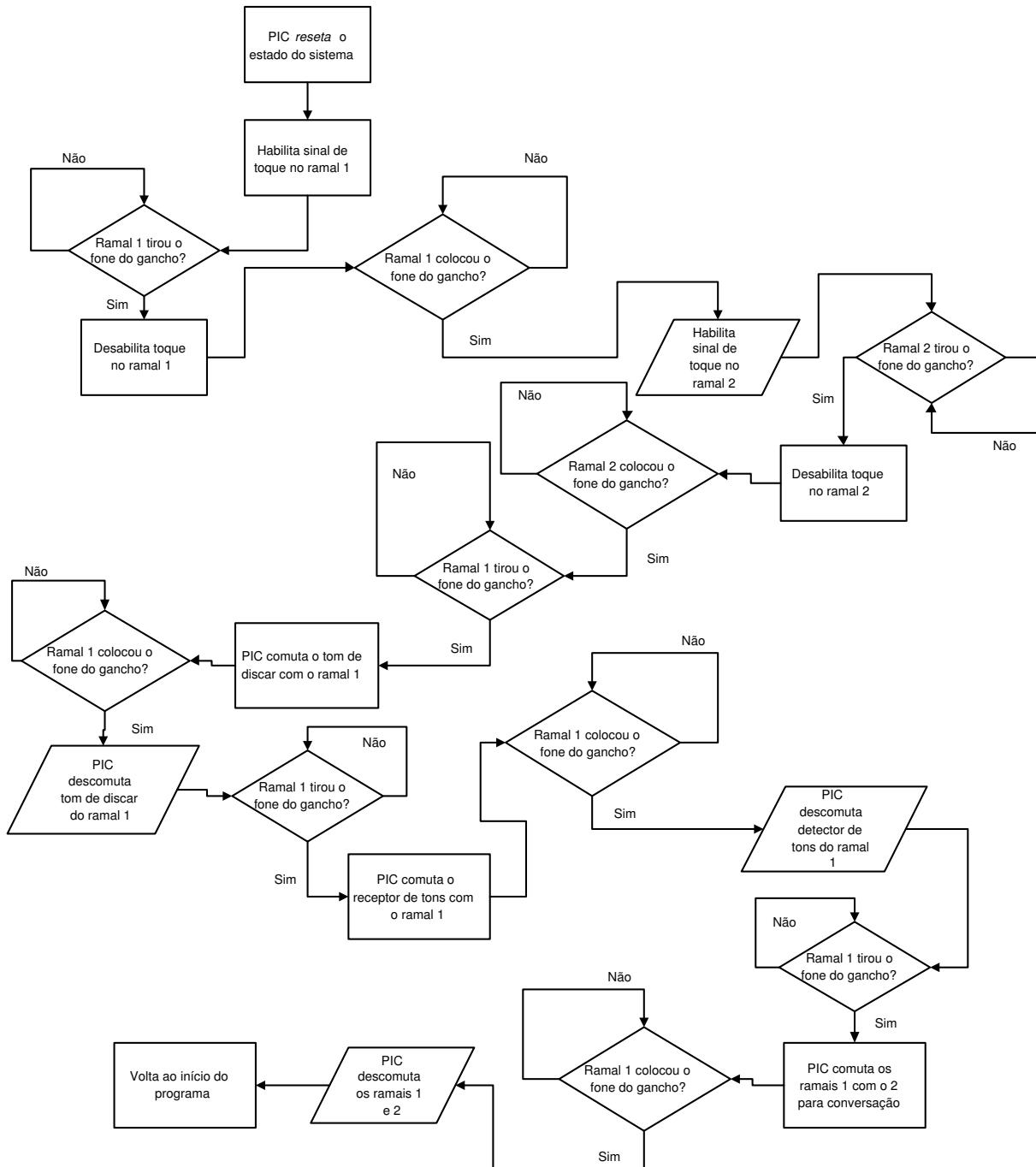


Figura V.1: Fluxograma do *software* implementado.

V.1.3 Simulações

Depois da fase inicial de programação no Mplab, simulações foram realizadas, para que o comportamento esperado do circuito fosse verificado e o programa validado. Assim,

V.1 A estrutura do *software* do PABx

com as ferramentas de depuração disponíveis no ambiente Mplab, foi planejada uma metodologia que determinaria a eficácia do programa. Como o simulador não oferece nenhuma saída gráfica ilustrativa, são apresentados aqui todos os passos seguidos no processo e as saídas observadas em cada passo seguido.

- Com o programa completo, foram configuradas várias janelas de observação, que mapeiam as portas do processador na tela do simulador. O objetivo era acompanhar as portas de entrada/saída durante a evolução do programa. Foi verificada uma evolução correta, de acordo com o esperado.
- Foi configurado um botão chamado “*trigger*” que dispara uma entrada simulada, para ver se o programa respondia aos eventos necessários. Verificou-se, também, que o programa se comportou como o esperado.

V.1.4 A programação do 16F84

Depois da simulação, o processador foi gravado no LASPI (Laboratório de Aplicações Tecnológicas para o Setor Produtivo-Industrial), do departamento de eletrônica.

Capítulo VI

Testes

O trabalho desenvolvido permitiu uma série de testes comparativos. A maior parte das comparações baseou-se nos modelos obtidos das simulações. Neste capítulo, são descritos os testes e resultados obtidos no procedimento de montagem do circuito e o comportamento geral do sistema.

VI.1 Ambiente de testes

O ambiente de testes utilizado neste projeto foi o laboratório de eletrônica da graduação LEG/DEL. Para depuração de problemas eventuais, utilizou-se os aparelhos de teste normalmente usados em bancada: osciloscópio, multímetro e fontes de sinal.

VI.2 Testes realizados

Diversos testes foram aplicados, na prática, à implementação do sistema deste trabalho. Em cada etapa, à medida que os blocos eram construídos, passavam por um processo de depuração, para que seu funcionamento fosse garantido no momento da interligação dos módulos. Para alimentação, utilizou-se as fontes de tensão do laboratório, ligadas em

VI.2 Testes realizados

três tensões distintas: $+5\text{ V}$, -5 V e -24 V .

VI.2.1 O oscilador de toque

O oscilador de toque deve gerar uma onda senoidal de 25 Hz de freqüência, ativa durante 1 segundo para cada período de 4 segundos de inatividade. Para testar o oscilador de toque, conectou-se um aparelho telefônico à saída de seu transformador do último estágio. O objetivo era escutar o sinal de toque no aparelho. Foi observado que o circuito conseguiu, com êxito, carregar o circuito de corrente de toque necessário para que o sinal fosse bem escutado.

VI.2.2 O gerador de tom de discar

Para verificar o funcionamento do tom de discar, conectou-se um aparelho telefônico na saída do filtro passa-baixas. Verificou-se, em um primeiro momento, que o sinal era pouco audível, porque o filtro passa-baixas cortava numa freqüência baixa o suficiente para que o sinal em 425 Hz tivesse apenas $1,5\text{ V}_{pp}$. Depois do observado, utilizou-se um resistor de valor menor, para elevar a freqüência de corte de forma a aumentar o sinal na saída do filtro. Após esse procedimento, o circuito funcionou como o esperado.

VI.2.3 Os circuitos integrados

Para verificar o funcionamento dos integrados, realizou-se um procedimento mais direto. A matriz e os SLICs, por exemplo, foram testados de uma única vez. Para isso, toda a sinalização da matriz foi gerada de forma manual e foi estabelecida uma conversação entre dois ramais, que já estavam conectados aos SLICs. Verificou-se a baixa impedância nas ligações da matriz e uma banda passante que superava os 4 kHz. Quanto aos SLICs, verificou-se que os sinais lógicos de chaveamento e supervisão funcionavam perfeitamente.

Para testar o detector de tons DTMF, conectou-se um aparelho telefônico diretamente

VI.3 Resultados

ao integrado CD22202. O comportamento verificado estava de acordo com o esperado, ou seja, os tons eram perfeitamente identificados e a saída decodificada pôde ser vista no *display* de 7 segmentos. Os demais CIs lógicos da família CMOS 40xx foram testados diretamente na *protoboard*.

VI.3 Resultados

Verificou-se que o sistema funcionou dentro dos padrões esperados. Eventualmente, observava-se um ruído característico proveniente da grande quantidade de fios, captadores de interferência eletromagnética.

Capítulo VII

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo implementar uma central privada de comutação telefônica, ou PABx, para permitir a conversação telefônica entre dois usuários, em particular. Dentre as principais vantagens do sistema, está a isenção de tarifas normalmente pagas às operadoras de telefonia. Para cumprir o trabalho, foi implementada uma arquitetura de *hardware* e um programa armazenado, ou *software*, para o processador central.

O dispositivo foi implementado com certa modularidade, e sua arquitetura é composta de vários módulos independentes, em especial: matriz ou elemento de comutação, SLIC (*Subscriber Line Interface Circuit*), microprocessador, detector de tons DTMF, entre outros. O *software* foi implementado de forma procedural, com chamadas de rotinas que testam os módulos implementados no *hardware*. Simulações foram realizadas na maior parte das etapas do projeto, para validar os resultados alcançados. Dentre os simuladores utilizados, encontram-se o Circuit Maker e o Orcad, para os esquemas de circuitos, e o Mplab, para programação e simulação do programa que coordena as funções da central.

O sistema foi, em sua maior parte, implementado com os componentes eletrônicos do laboratório de eletrônica e computação, o LEG/DEL. Os testes realizados mostraram a eficiência e a funcionalidade do projeto, que cumpriu os requisitos especificadas na proposta.

VII.1 Trabalhos futuros

A principal contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento de uma forma simples e flexível de realizar a comunicação dentro de um ambiente qualquer, seja ele de negócios ou não.

VII.1 Trabalhos futuros

Existem alguns pontos que podem ser levados em consideração como trabalhos futuros. Primeiramente, pode-se ampliar a estrutura do PABx, permitindo interconexão de mais ramais de usuário. Um programa completo poderia, também, ser implementado, para que funções adicionais pudessem ser realizadas pelo sistema. Estas melhorias poderiam aumentar a utilidade geral do sistema, permitindo que ele fosse comercializável. Além disso, com o aumento do número de cabos conectando os componentes eletrônicos na *protoboard*, percebeu-se em determinados momentos um ruído característico como resultado de interferência eletromagnética. Assim, um outro trabalho futuro possível seria implementar o *layout* de placa de circuito impresso, visando diminuir o ruído eletromagnético.

Referências Bibliográficas

- [1] “Museu do telefone - fundação telefônica”, julho de 2004.
<http://www.museudotelefone.org.br>.
- [2] A. M. Noll, *Introduction to Telephones and Telephone Systems*. Artech House, third ed., 1999.
- [3] K. C. Sedra, Adel S. / Smith, *Microeletrônica*. Makron Books, quarta ed., 1995.
- [4] Motorola Semiconductor, *MC14093B Datasheet Technical Data*, 1995.
- [5] Microchips Technology, *PIC16F84 Datasheet*, 2001.
- [6] Motorola Semiconductor, *MC14051B Datasheet Technical Data*, 1995.

Apêndice A

Código fonte

Este apêndice contém o código fonte desenvolvido no Mplab para o PIC16F84 utilizado neste projeto.

A.1 Dados técnicos

A versão do Mplab utilizada no desenvolvimento foi a v6.50.

A.2 O código fonte

```
;*****  
;* PIC.ASM  
;*****  
;* Microchip Technology Incorporated  
;* 15 June 2004  
;* Assembled with MPASM V3.20 and MPLINK v3.20  
;*****  
;* This program configures the telephone central for  
;* usage. Academic purposes only  
;*****  
  
list p=16f84a
```

A.2 O código fonte

```
; Include file, change directory if needed
include "p16f84a.inc"

; Start at the reset vector
;Paginação
#define      BANK0 bcf STATUS,RPO
#define      BANK1 bsf STATUS,RPO

;Reset
org 0x00
goto Start

Start
BANK0
    clrf PORTB          ;Clear PORTB
    clrf PORTA
BANK1
    movlw   B'00000001'    ;PORTB all outputs, but RB0
    movwf   TRISB
    movlw   B'00010011'    ;Adjusting PORTA input and output ports
    movwf   TRISA
    movlw   B'00000000'    ;Avoiding interruptions
    movwf   INTCON

    goto Main

Main
BANK0
    movlw   B'00001000'    ; Reseta as matrizes e os flip-flops
    movwf   PORTB
    clrf   PORTB

    call Ring
    call TomDiscar
    call Dtmf
    call Conversa

    goto Main

Ring
; Tocar Ramal 0
    movlw   B'00001000'    ;Ativando Ring do ramal 0 (subida)
    movwf   PORTA
    movlw   B'00000000'    ;Ativando Ring do ramal 0 (descida)
    movwf   PORTA
```

A.2 O código fonte

```
        movlw    B'00000000'      ;Endereço ramal 0
        movwf    PORTB
Loop0
        btfsc    PORTB,0          ;Espera o usuário retirar o fone do gancho
        goto    Loop0

        movlw    B'00001000'      ;Desativando Ring do ramal 0 (subida)
        movwf    PORTA
        movlw    B'00000000'      ;Desativando Ring do ramal 0 (descida)
        movwf    PORTA
Loop1
        btfss    PORTB,0          ;Espera o usuário colocar o fone do gancho
        goto    Loop1

        ; Tocar Ramal 1
        movlw    B'00001100'      ;Ativando Ring do ramal 1 (subida)
        movwf    PORTA
        movlw    B'00000100'      ;Ativando Ring do ramal 1 (descida)
        movwf    PORTA
        movlw    B'00000100'      ;Endereço ramal 1
        movwf    PORTB
Loop2
        btfsc    PORTB,0          ;Espera o usuário retirar o fone do gancho
        goto    Loop2

        movlw    B'00001100'      ;Desativando Ring do ramal 0 (subida)
        movwf    PORTA
        movlw    B'00000100'      ;Desativando Ring do ramal 0 (descida)
        movwf    PORTA
Loop3
        btfss    PORTB,0          ;Espera o usuário colocar o fone do gancho
        goto    Loop3

        return

TomDiscar
        movlw    H'00'            ;Endereço ramal 0
        movwf    PORTB
Loop4
        btfsc    PORTB,0          ;Espera o usuário retirar o fone do gancho
        goto    Loop4

        movlw    B'00000010'      ;Habilita Address Enable da Matriz
        movwf    PORTB
        movlw    B'10010010'      ;Estabiliza os dados na entrada da Matriz
```

A.2 O código fonte

```
    movwf    PORTB      ;Aqui comutamos o Tom de Discar com o usuário
    movlw    B'10010000' ;Desabilita o Address Enable
    movwf    PORTB
Loop5
    btfss    PORTB,0    ;Espera o usuário colocar o fone do gancho
    goto    Loop5

    movlw    B'00000010' ;Habilita Address Enable da Matriz
    movwf    PORTB
    movlw    B'00000010' ;Estabiliza os dados na entrada da Matriz
    movwf    PORTB      ;Aqui comutamos o Tom de Discar com o usuário
    movlw    B'00000000' ;Desabilita o Address Enable
    movwf    PORTB

    return

Dtmf
    movlw    H'00'        ;Endereça ramal 0
    movwf    PORTB
Loop6
    btfsc    PORTB,0    ;Espera o usuário retirar o fone do gancho
    goto    Loop6

    movlw    B'00000010' ;Habilita Address Enable da Matriz
    movwf    PORTB
    movlw    B'01010010' ;Estabiliza os dados na entrada da Matriz
    movwf    PORTB      ;Aqui comutamos o Tom de Discar com o usuário
    movlw    B'01010000' ;Desabilita o Address Enable
    movwf    PORTB

Loop7
    btfss    PORTB,0    ;Espera o usuário colocar o fone do gancho
    goto    Loop7

    movlw    B'00000010' ;Habilita Address Enable da Matriz
    movwf    PORTB
    movlw    B'00000010' ;Estabiliza os dados na entrada da Matriz
    movwf    PORTB      ;Aqui comutamos o Tom de Discar com o usuário
    movlw    B'00000000' ;Desabilita o Address Enable
    movwf    PORTB

    return

Conversa
    movlw    H'00'        ;Endereça ramal 0
    movwf    PORTB
```

A.2 O código fonte

```
Loop8
    btfsc    PORTB,0      ;Espera o usuário retirar o fone do gancho
    goto    Loop8

    movlw    B'00000010'   ;Habilita Address Enable da Matriz
    movwf    PORTB
    movlw    B'00110010'   ;Estabiliza os dados na entrada da Matriz
    movwf    PORTB          ;Aqui comutamos o Tom de Discar com o usuário
    movlw    B'00110000'   ;Desabilita o Address Enable
    movwf    PORTB

Loop9
    btfss    PORTB,0      ;Espera o usuário colocar o fone do gancho
    goto    Loop9

    movlw    B'00000010'   ;Habilita Address Enable da Matriz
    movwf    PORTB
    movlw    B'00000010'   ;Estabiliza os dados na entrada da Matriz
    movwf    PORTB          ;Aqui comutamos o Tom de Discar com o usuário
    movlw    B'00000000'   ;Desabilita o Address Enable
    movwf    PORTB

    return

    end
```