



CCPgEE/CCT-UFPb

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

SISTEMA DE TELEMETRIA BIDIRECIONAL VERSÁTIL

ROBSON NUNES DE LIMA

1991

CAMPINA GRANDE - PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SISTEMA DE TELEMETRIA BIDIRECIONAL VERSÁTIL

POR

ROBSON NUNES DE LIMA

CAMPINA GRANDE
JUNHO - 1991

ROBSON NUNES DE LIMA

SISTEMA DE TELEMETRIA BIDIRECIONAL VERSÁTIL

Dissertação apresentada ao Curso
de MESTRADO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau
de Mestre.

RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE

GURDIP SINGH DEEP

Orientadores

**CAMPINA GRANDE
JUNHO - 1991**



L732s Lima, Robson Nunes de.
Sistema de telemetria bidirecional versátil / Robson Nunes de Lima. - Campina Grande, 1991.
126 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1991.
"Orientação : Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire, Prof. Dr. Gurdip Singh Deep".
Referências.

1. Telemetria. 2. Telemetria Bidirecional Versátil. 3. Sinais Analógicos e Digitais. 4. Dissertação - Engenharia Elétrica. I. Freire, Raimundo Carlos Silvério. II. Deep, Gurdip Singh. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

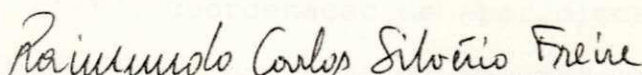
CDU 621.398(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

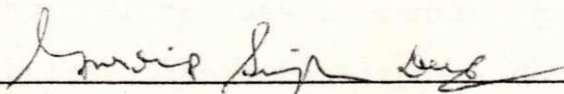
SISTEMA DE TELEMETRIA BIDIRECIONAL VERSÁTIL

ROBSON NUNES DE LIMA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20.06.91



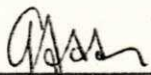
RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, Dr.
Orientador



GURDIP SINGH DEEP, Ph.D.
Orientador



WILSON GUERREIRO PINHEIRO, Ph.D.
Componente da Banca



JOSÉ GUTEMBERGUE DE ASSIS LIRA, M.Sc.
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO, 1991

AGRADECIMENTOS

— Aos Professores Raimundo Carlos Silvério Freire e Gurdip Singh Deep, pelo incentivo e orientação deste trabalho.

— Ao Professor José Gutemberg de Assis Lira, pelas sugestões na escrita deste trabalho.

— Ao Professor Wilson Guerreiro Pinheiro, pela orientação acadêmica e revisão da escrita final deste trabalho.

— À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de bolsa de pesquisa durante a execução deste trabalho.

— Aos funcionários deste centro que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais Miguel
e Acidália e aos meus
irmãos Rosemary,
Rosiara, Roseane,
Robertson e Rúbia.

RESUMO

Apresentam-se neste trabalho o projeto e a implementação de sistemas de telemetria para curtos e médios alcances. Duas configurações são enfocadas: uma unidirecional, onde a unidade remota envia dados para a unidade local, e outra bidirecional, onde há fluxo de informações nos dois sentidos. Nesta última, é feita uma análise das estratégias operacionais do enlace entre as unidades local e remota e de suas aplicações. Em ambas as configurações, usa-se modulação dupla, sendo a primeira PWM (com sinal modulante analógico e digital) e a segunda ASK, com portadora na faixa de 27 MHz. Ambas as configurações são multicanais com multiplexação por divisão no tempo. As unidades remota e local são baseadas no microcontrolador 68HC11, permitindo uma maior versatilidade para o enlace. Esse microcontrolador realiza a aquisição de dados, multiplexação e processamento dos sinais, modulação dos sinais a serem transmitidos, demodulação dos sinais recebidos, bem como detecção de erros. Diferentes aplicações são possíveis, mudando-se apenas o "software". A configuração bidirecional implementada prevê uma unidade local e quatro unidades remotas, de modo que somente um transmissor está ativo num determinado instante e esse controle é feito pelo 68HC11. ~~Testes de validação~~ foram realizados com sinais analógicos e digitais, obtendo-se resultados satisfatórios.

ABSTRACT

The design and implementation of a short to medium range telemetry communication link are presented with main emphasis on two configurations: one unidirectional, in which the remote unit sends data to the local unit and the other bidirectional, in which two-way flow of information exists. An analysis of the operational strategies of the link employed in the bidirectional configuration as well as its applications, are presented. In both these systems, double modulation has been employed, the first modulation being the PWM type (modulating signal being continuous or discrete) and the second modulation is the ASK type with the carrier in the range of 27 MHz. Both the configurations admit multichannel inputs with time division multiplexing. Both the remote and the local units are based on the use of 68HC11 microcontroller, thus resulting in greater versatility in the communication link. The multiplexing of inputs signals, data processing, coding of the inputs signals, demodulation of the received signals and error detection are all implemented in the microcontroller. This system is quite flexible and can be applied in diverse situations by modifications in the software. The proposed bidirectional link can be used with one local unit and up to four remote units, with only one remote unit in the transmit mode at a time, and this is controlled by the microcontroller. Validation tests, showing satisfactory results are also presented.

LISTA DE ABREVIACES

| | |
|-----------------------|--|
| A/D | Analgico-digital |
| AM | Amplitude Modulation |
| ASK | Amplitude Shift Keying |
| CRT | Cathode Ray Tube (Tubo de Raios Catdicos) |
| D/A | Digital-analógico |
| DM | Diferença Média |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable ROM |
| FC | Fator de Correção |
| FM | Frequency Modulation |
| FSK | Frequency Shift Keying |
| PAM | Pulse Amplitude Modulation |
| PCM | Pulse Code Modulation |
| PPM | Pulse Position Modulation |
| PWM | Pulse Width Modulation |
| RAM | Random Access Memory |
| ROM | Read Only Memory |
| RX | Receptor |
| UL | Unidade Local |
| $UR_i, i=1,2,\dots,n$ | Unidade Remota |
| VAR | Código da Grandeza ou Variável |

LISTAS DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------------|---|
| A, B | Entradas Digitais do LM1871 |
| $b_i, i=0,1,\dots,7$ | Representação dos Bits na Codificação Digital |
| CHA, CHB | Saídas Digitais do LM1872 |
| CH1, CH2 | Saídas Analógicas do LM1872 |
| E_o | Amplitude da Portadora Trem de Pulsos |
| $E(t)$ | Sinal Modulado em Largura de Pulsos |
| $f(t)$ | Sinal Modulante |
| $g(t)$ | Portadora Trem de Pulsos |
| L_{max} | Largura Máxima Medida na UL (Pulso Codificado) |
| L_{min} | Largura Mínima Medida na UL (Pulso Codificado) |
| m_{pwm} | Índice de Modulação |
| P | Intervalo entre Pulsos da Seqüência Codificada Digitalmente |
| $PA_i, i=0,2,\dots,7$ | Representação para os Pinos da Porta A do Microcontrolador 68HC11 |
| $PD_i, i=0,2,\dots,7$ | Representação para os Pinos da Porta D do Microcontrolador 68HC11 |
| $PE_i, i=0,2,\dots,7$ | Representação para os Pinos da Porta E do Microcontrolador 68HC11 |
| § | Indica Números Hexadecimais |
| T | Período da Portadora Trem de Pulsos |
| t_A | Tempo de Aquisição dos Sinais |
| t_D | Tempo de Decodificação dos Sinais |
| t_E | Tempo de Espera pela Chegada dos Sinais |
| t_F | Período das Seqüências de Pulsos |

| | |
|-------------------------|---|
| t_s | Tempo de Solicitação |
| w | Frequência do Sinal Modulante |
| w_o | Frequência da Portadora |
| X | Representa o Valor de uma Amostra Obtida após a Conversão A/D |
| τ_a, τ_b | Larguras dos Pulsos Obtidos na Saída CH1 do LM1872 |
| τ_c, τ_d | Larguras dos Pulsos Obtidos na Saída CH2 do LM1872 |
| τ_h | Largura dos Pulsos das Sequências de Solicitação da UL |
| $\tau_i, i=1,2,\dots,6$ | Larguras dos Pulsos Codificados nas Unidades Remotas |
| τ_l | Intervalo entre Pulsos das Sequências de Solicitação da UL |
| τ_m | Intervalo entre Pulsos das Sequências das Unidades Remotas |
| τ_{max} | Largura Máxima dos Pulsos Codificados nas UR |
| τ_{min} | Largura Mínima dos Pulsos Codificados nas UR |
| τ_{sinc} | Largura do Pulso de Sincronismo |
| $\tau(t)$ | Função que Representa a Variação das Larguras dos Pulsos |

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

| FIGURAS | Pág. |
|--|------|
| 1.1 - Diagrama de blocos de um sistema de telemetria.... | 2 |
| 2.1 - Diagrama de blocos de um sistema de telemetria com blocos adicionais..... | 6 |
| 3.1 - (a) Sinais obtidos na saída do LM1871 e (b) sinais obtidos nas saídas do LM1872..... | 16 |
| 3.2 - Modulador-transmissor ASK..... | 16 |
| 3.3 - (a) Diagramas da unidade remota e (b) da unidade local do sistema unidirecional..... | 17 |
| 3.4 - (a) Diagramas da unidade remota e (b) da unidade local do sistema bidirecional..... | 18 |
| 3.5 - Seqüências codificadas em larguras de pulsos nas URS..... | 20 |
| 3.6 - (a) Sinais obtidos nas saídas do LM1872 e (b) sinal na saída do comparador LM311, tendo na entrada o sinal SYNC..... | 24 |
| 3.7 - Configuração de um sistema de telemetria bidirecional com uma UL e uma UR..... | 30 |
| 3.8 - Configuração de um sistema de telemetria bidirecional com uma UL e múltiplas URS..... | 30 |
| 3.9 - Seqüências utilizadas para a solicitação de dados de uma dada UR..... | 33 |
| 3.10 - Fluxograma para o programa ULBIDA..... | 36 |
| 3.11 - Fluxograma para o programa URBIDA..... | 38 |
| 3.12 - (a) Seqüência de pulsos gerada na UL para solicitar dados da UR ₁ ; (b) modulação ASK..... | 39 |
| 3.13 - Seqüência de pulsos modulados em largura na UR ₁ ... | 40 |
| 3.14 - Diagrama elétrico da unidade remota..... | 41 |

| | |
|--|-----|
| 3.15 - Fluxograma seguido na decodificação dos sinais na UL..... | 49 |
| 3.16 - Formato da codificação digital..... | 51 |
| 3.17 - Formato dos bytes \$27 e \$A8 codificados..... | 51 |
| 3.18 - Blocos funcionais do sistema de telemetria, utilizando a codificação digital..... | 52 |
| 3.19 - Fluxograma seguido na codificação digital..... | 54 |
| 3.20 - Codificação digital do byte \$A9..... | 55 |
| 3.21 - Fluxograma seguido na decodificação digital..... | 57 |
| 3.22 - Decodificação do byte \$A9..... | 58 |
| 3.23 - Formato digital para a comunicação entre a UL e as URS..... | 60 |
| 3.24 - Formato modificado de comunicação entre a UL e a UR..... | 60 |
| 3.25 - Formato com o código 00 como sincronismo..... | 61 |
| 3.26 - Formato com os códigos de sincronismo 00 e FF..... | 62 |
| 3.27 - Códigos de instruções do programa transmitido..... | 65 |
| A.1 - Estrutura interna do MC68HC11A8..... | 75 |
| A.2 - Circuito elétrico do receptor com o LM1872..... | 76 |
| B.1 - Modulação PWM, utilizando apenas um sinal modulante..... | 78 |
| B.2 - Espectro de um sinal modulado em PWM..... | 80 |
| B.3 - Formato de uma modulação PWM multi-canal..... | 80 |
| B.4 - Formato de modulação PWM, adotado pelo LM1871..... | 81 |
| C.1 - Diagrama de blocos do temporizador do 68HC11..... | 83 |
| C.2 - Seqüência de pulsos..... | 85 |
| E.1 - Nível dc transmitido | 119 |
| E.2 - Nível dc recebido..... | 119 |
| E.3 - Forma de onda senoidal transmitida..... | 120 |
| E.4 - Forma de onda senoidal recebida..... | 120 |

| | |
|--|-----|
| E.5 - Forma de onda triangular transmitida..... | 121 |
| E.6 - Forma de onda triangular recebida..... | 121 |
| E.7 - Forma de onda quadrada transmitida..... | 122 |
| E.8 - Forma de onda quadrada recebida..... | 122 |
| E.9 - Seqüência de pulsos para solicitação de dados da UR ₀ | 123 |
| E.10 - Seqüência de pulsos para solicitação de dados da UR ₁ | 124 |
| E.11 - Seqüência de pulsos para solicitação de dados da UR ₂ | 124 |
| E.12 - Seqüência de pulsos para solicitação de dados da UR ₃ | 125 |
| E.13 - Formas de onda obtidas nas saídas do LM1872 e do LM311..... | 125 |
| E.14 - Forma de onda da codificação do byte \$40..... | 126 |

TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Larguras medidas na UR..... | 46 |
|--|----|

ÍNDICE

| CAPÍTULOS | Pág. |
|--|------|
| I - INTRODUÇÃO..... | 1 |
| II - CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA... | 5 |
| III - SISTEMAS DE TELEMETRIA UNIDIRECIONAL E BIDIRECIONAL.... | 11 |
| 3.1 - Considerações de Projeto e de implementação dos Sistemas Unidirecional e Bidirecional..... | 11 |
| 3.1.1 - Tipo de modulação..... | 12 |
| 3.1.2 - Faixa da portadora de rádio-freqüência..... | 12 |
| 3.1.3 - Utilização de um microcontrolador para a aquisição de sinais e controle nas unidades remota e local..... | 13 |
| 3.1.4 - Transmissor/receptor..... | 14 |
| 3.2 - Operações Comuns aos dois Sistemas de Telemetria... | 19 |
| 3.2.1 - Aquisição e codificação dos sinais nos dois sistemas..... | 19 |
| 3.2.2 - Decodificação dos sinais recebidos na unidade local..... | 23 |
| 3.2.3 - Processo de detecção de erros..... | 25 |
| 3.3 - Sistema de Telemetria Unidirecional..... | 26 |
| 3.3.1 - Operação do sistema unidirecional..... | 27 |
| 3.4 - Sistema de Telemetria Bidirecional..... | 28 |
| 3.4.1 - Operação do sistema bidirecional..... | 32 |
| 3.4.1.1 - Operação na unidade local..... | 33 |
| 3.4.1.2 - Operação nas unidades remotas..... | 35 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.2 - Avaliação de desempenho e considerações finais..... | 42 |
| 3.4.2.1 - Verificação do funcionamento da aquisição, da conversão A/D, da modulação PWM e do tempo de aquisição, " t_A ", na unidade remota.... | 42 |
| 3.4.2.2 - Verificação do processo da solicitação, da decodificação dos dados e dos tempos t_S , t_E e t_D | 43 |
| 3.5 - Codificação Digital Empregada no Sistema Bidirecional | 50 |
| 3.5.1 - Implementação da codificação digital..... | 53 |
| 3.5.2 - Decodificação dos dados digitais..... | 56 |
| 3.5.3 - Incorporação da codificação digital ao sistema bidirecional..... | 56 |
| IV - CONCLUSÕES..... | 67 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 70 |
| ANEXO A - Estrutura Interna do MC68HC11A8 e Diagrama Elétrico de um receptor com o LM1872..... | 74 |
| ANEXO B - Modulação em Larguras de Pulsos (PWM)..... | 77 |
| ANEXO C - Temporizador Programável do MC68HC11..... | 82 |
| ANEXO D - Programas: ULUNI, URUNI, ULBIDA, URBIDA, ULBIDD e URBIDD..... | 88 |
| ANEXO E - Formas de onda obtidas com os testes dos sistemas..... | 117 |

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os sistemas de telemetria são utilizados para a realização de medição e observação de grandezas físicas à distância, sendo formados, basicamente, de uma unidade remota, de uma unidade local e de um meio de transmissão (figura 1.1). A unidade remota (UR) é constituída de sensor, condicionador de sinais, codificador e transmissor, enquanto que a unidade local (UL) é formada por receptor, processador de sinais e decodificador. O meio de transmissão que separa as unidades remota e local pode ser o espaço livre ou qualquer substância sólida, líquida ou gasosa.

Na unidade remota, são realizados a aquisição, o condicionamento, a codificação e a transmissão dos sinais para a unidade local, enquanto nesta são realizados a demodulação, a decodificação e a apresentação ou armazenamento dos sinais recebidos.

O enlace entre as unidades local e remota pode ser realizado através de cabos elétricos, fibras ópticas, ondas de rádio-freqüência, luminosas ou sonoras.

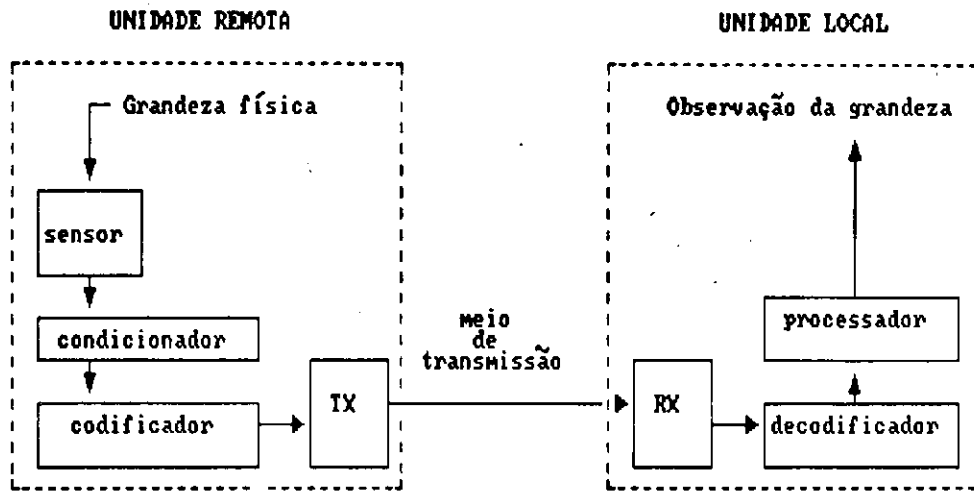


Figura 1.1 - Diagrama de blocos de um sistema de telemetria

A comunicação entre as unidades local e remota pode-se dar segundo uma configuração unidirecional, em que dados e informações são sempre enviados da UR para a UL, ou segundo uma configuração bidirecional, em que é possível a comunicação da UR para a UL e vice-versa.

Os sistemas de telemetria se destinam a diversas aplicações, tais como:

— na tecnologia aeroespacial, à aquisição de parâmetros indicadores do funcionamento de aeronaves e à aquisição de sinais meteorológicos, por exemplo, para a pesquisa científica [1], [2];

— na oceanografia, eles têm sido usados na aquisição de dados de poluição do mar, na medição de profundidades, na pesquisa militar e na aquisição de dados sobre o comportamento das marés [3];

— no setor industrial, eles permitem a medição de grandezas em locais de difícil acesso e em ambientes perigosos, como medição de fluxo de gás, medições de grandezas em usinas nucleares e medições para controle de oleodutos [4];

— na biotelemetria, eles são usados na aquisição de sinais ou parâmetros fisiológicos de seres humanos e de animais, para fins de pesquisa médica e de monitoramento clínico [5]. Como exemplos de aplicações, podem-se citar : avaliação da preensão humana para diagnóstico de doenças e para reeducação motora [6], avaliação e reeducação da marcha [7], aquisição de dados de pressões intra-cranianas [8], obtenção de dados de pressão sanguínea [9], de eletrocardiograma [9]-[11], de eletroencefalograma [12], de temperaturas corporais [13] e de outros parâmetros fisiológicos [5]. Usa-se também a biotelemetria na estimulação muscular [14], no auxílio à avaliação das condições de pacientes que se recuperam de ataque cardíaco [15] e no monitoramento de parâmetros fisiológicos de pacientes durante uma cirurgia, proporcionando-lhes isolação elétrica [9].

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de telemetria bidirecional baseado em microcontrolador, visando a viabilidade de técnicas de codificação com o

microcontrolador e algumas estratégias de comunicação entre as unidades remota e local.

Para facilitar esse desenvolvimento, partiu-se, inicialmente, do projeto e implementação de um sistema de telemetria unidirecional.

O projeto e a implementação dos sistemas unidirecional e bidirecional foram baseados nos seguintes critérios:

- utilização de enlaces em rádio-freqüência;
- alcance máximo de algumas centenas de metros;
- versatilidade, para permitir diferentes configurações e aplicações através de "software".

Dessa forma, no Capítulo II, apresentam-se considerações de projeto de sistemas de telemetria, descrevendo-se as funções básicas de seus vários blocos funcionais e as principais técnicas a eles aplicadas; no Capítulo III, descrevem-se o projeto e a implementação dos sistemas de telemetria unidirecional e bidirecional e no Capítulo IV, apresentam-se as conclusões.

CAPÍTULO II

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA

O diagrama de blocos de um sistema de telemetria típico está representado na figura 2.1. Na unidade remota são realizados a aquisição, o condicionamento, a codificação e a transmissão para a unidade local dos sinais referentes às grandezas físicas monitoradas. Na unidade local, são realizados a demodulação, a decodificação, o processamento e a apresentação ou armazenamento dos dados recebidos. Essas operações são acompanhadas de vários passos.

Na unidade remota, um dos passos envolve um transdutor, que converte o valor da grandeza de entrada num parâmetro elétrico mensurável. Os sinais provenientes dos transdutores geralmente precisam de algum condicionamento para serem utilizados com eficiência pelo sistema. Esse condicionamento pode ser uma amplificação, uma filtragem, para eliminar frequências indesejáveis, ou pode ser alguma operação matemática para, por exemplo, linearizar a função de transferência do transdutor.

O número de sinais ou grandezas a ser transmitido, através de um sistema de telemetria, depende do que se deseja

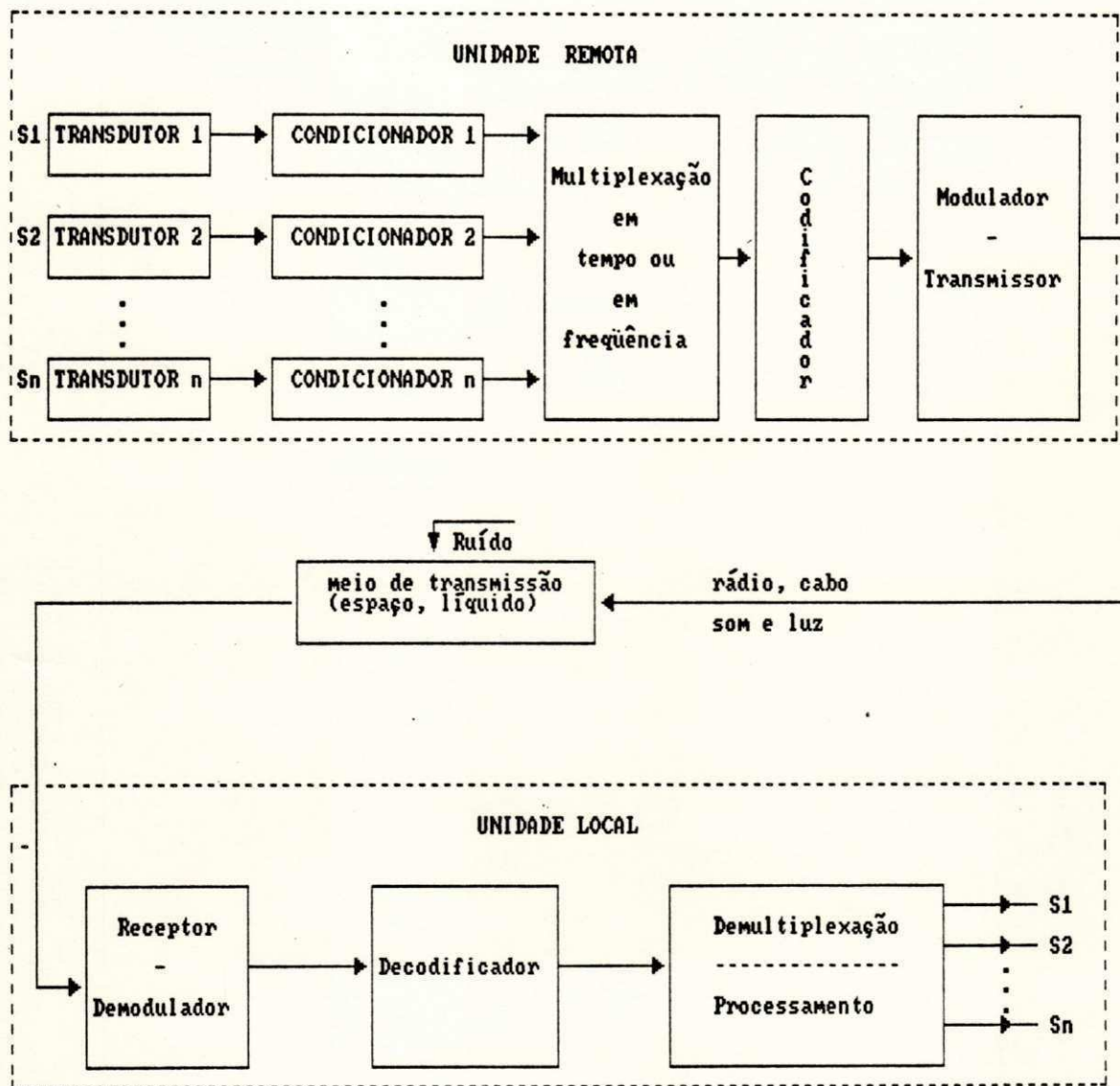


Figura 2.1 - Diagrama de blocos de um sistema de telemetria com blocos adicionais

monitorar; em alguns trabalhos publicados, ele chega a quinze [12], [16]. Para tornar possível a transmissão simultânea desses sinais, através de um único canal de transmissão, usa-se a multiplexação. Os tipos usados são a multiplexação por divisão em frequência e a por divisão no tempo.

A multiplexação por divisão em frequência consiste em deslocar os espectros de frequência dos sinais a serem transmitidos para diferentes faixas de frequência, sem que haja superposição dos espectros deslocados. Na multiplexação por divisão no tempo, os sinais são amostrados e as amostras são intercaladas em diferentes intervalos de tempo.

Embora alguns sistemas de telemetria usem a multiplexação por divisão em frequência, como alguns sistemas utilizados na aquisição de sinais ou parâmetros fisiológicos [9], [11], [13], a multiplexação por divisão no tempo é usada na maioria deles. Isso pode ser justificado, sobretudo, pela simplicidade dos circuitos envolvidos, se comparados aos moduladores, demoduladores, geradores de portadoras e filtros passa-faixas necessários aos sistemas multiplexados por divisão em frequência [15].

A modulação dupla é usada na maioria dos sistemas de telemetria, principalmente se estão envolvidos sinais de baixa frequência. Além de melhorar a relação sinal/ruído, ela minimiza os problemas de estabilidade em frequência e em amplitude dos transmissores e receptores [17].

Em trabalhos anteriores, a primeira modulação, também

conhecida como codificação, foi realizada segundo alguns formatos, tais como: AM, FM, PWM, PAM, PPM e PCM. O sinal obtido dessa primeira modulação é usado para modular a portadora principal. FM, FSK, AM e ASK foram os tipos mais usados para a segunda modulação.

A modulação dupla se apresenta de diferentes formas em diversos trabalhos, tais como: PWM-ASK [7], [18], PWM-PPM [19], PAM-FM [20], PCM-FM [21], FM-AM [11] e FM-FM [9], [14].

Uma vez modulando a portadora na unidade remota, os sinais são enviados para a unidade local. As unidades local e remota são separadas por um meio que pode ser o espaço livre, um líquido ou mesmo um tecido biológico. O enlace entre elas pode ser realizado através de cabos, de ondas de rádio-freqüência, luminosas e sonoras.

Os enlaces através de cabos elétricos podem ser úteis em determinadas aplicações, tais como: na transmissão de eletrocardiograma de pacientes para centros médicos, através das linhas telefônicas [22] e na transmissão de medidas e comandos para o monitoramento de sistemas elétricos de potência, através das linhas de alta tensão [23]. Porém, o cabo que une as duas unidades representa um problema em aplicações, como na aquisição de sinais ou parâmetros fisiológicos de seres humanos e de animais em situações que exigem a sua locomoção, como na aquisição de sinais fisiológicos de pássaros durante o vôo [24].

Os enlaces através de ondas sonoras têm sido usados na aquisição de sinais referentes à poluição do mar e para o

controle de estações marítimas submersas [3], [25].

Os enlaces através de ondas luminosas têm sido usados na biotelemetria para aquisição de sinais fisiológicos e para o monitoramento clínico de pacientes [26]-[28].

Entretanto, os enlaces através de ondas sonoras e luminosas apresentam alguns problemas, tais como: alcance limitado, consumo elevado e susceptibilidade ao ruído ambiente, sobretudo no primeiro caso.

Os enlaces em rádio-freqüência, através dos quais podem ser alcançadas de pequenas a grandes distâncias, são os mais utilizados em sistemas de telemetria.

A escolha das portadoras em rádio-freqüência para telemetria é regulamentada por organismos legais, existindo procedimentos nacionais e internacionais para este fim. Entre as faixas de freqüências alocadas mundialmente para telemetria podem ser citadas as seguintes [4]: 137-138 MHz e 143,6-143,65 MHz. Para biotelemetria, são alocadas, nos Estados Unidos [15], as faixas de 38-41 MHz e de 174-216 MHz, podendo ser usada também a faixa de 88-108 MHz, desde que não se cause interferências nas atividades de radiodifusão em FM comercial.

Apesar de existirem regulamentações para a faixa de telemetria a ser usada, alguns sistemas de telemetria têm sido realizados, utilizando as freqüências de 118 MHz [29] e 27 MHz [7], [18], [30], [31].

Os sinais transmitidos da unidade remota são

demodulados e decodificados na unidade local, para apresentação dos dados referentes às grandezas monitoradas. Os dados podem ser apresentados em tempo real com indicação visual através de "displays" ou de tubos de raios catódicos (CRT), ou podem ser armazenados para operações posteriores, como impressão de gráficos e processamentos das medidas para análise.

Como já descritos, transdutores, condicionadores de sinais, modulação, tipos de enlaces e frequência de operação são alguns dos aspectos mais importantes na operação de sistemas de telemetria e, portanto, devem ser considerados no seu projeto.

Além destes, outros devem ser considerados, tais como: a largura de faixa disponível pelo sistema, que influencia na escolha do tipo de modulação a ser adotado; o consumo, o tamanho e o peso, sobretudo nos sistemas de biotelemetria que utilizam sensores implantáveis [32], [33] e a robustez mecânica, nos sistemas sujeitos a vibrações mecânicas, como os utilizados em naves espaciais e em alguns ambientes industriais.

CAPÍTULO III

SISTEMAS DE TELEMETRIA UNIDIRECIONAL E BIDIRECIONAL

Apresentam-se, neste Capítulo, o projeto e a implementação de um sistema de telemetria unidirecional e de um outro bidirecional. As características básicas dos dois sistemas são semelhantes, diferindo apenas naquelas que dizem respeito à incorporação da bidirecionalidade.

Inicialmente, mostram-se as considerações básicas de projeto dos dois sistemas e os aspectos comuns a ambos, para, em seguida, serem mostradas as peculiaridades de cada um.

3.1 - Considerações de Projeto e de Implementação dos Sistemas Unidirecional e Bidirecional

As características comuns aos dois sistemas são as seguintes:

- enlace em rádio-freqüência;
- multiplexação por divisão no tempo;
- alcance de curtas distâncias;
- codificação e decodificação por um microcontrolador.

Outras características foram adotadas gradativamente, procurando-se uma maior versatilidade, para que uma configuração inicial dos sistemas pudesse ser programada para incorporar novas características ou para permitir a realização de diferentes aplicações.

A seguir, apresentam-se algumas escolhas realizadas.

3.1.1 - Tipo de modulação

Inicialmente, verificou-se a existência de um par de circuitos integrados específicos para telecomando: o transmissor-codificador LM1871 e o receptor-decodificador LM1872 [34].

O enlace com esse par de circuitos integrados utiliza uma modulação dupla, sendo a primeira em largura de pulsos (PWM) e a segunda, a de RF, por chaveamento de amplitude (ASK).

O transmissor LM1871 realiza a modulação dupla. O LM1872, além de fazer a demodulação em rádio-freqüência, decodifica as larguras de alguns pulsos recebidos.

Pela possibilidade de se ter o LM1872 como o receptor dos dois sistemas, simplificando a etapa de recepção-decodificação deles, optou-se pelo uso da modulação PWM-ASK.

3.1.2 - Faixa da portadora de rádio-freqüência

A freqüência da portadora de um enlace com o par LM1871-LM1872 pode ser de até 72 MHz. Uma boa escolha para um protótipo é a faixa do cidadão (27 MHz), pela facilidade de se

encontrarem componentes para circuitos que utilizam esta faixa. Os resultados obtidos são válidos também para as faixas de telemetria próximas (30 MHz ou 49 MHz), com fácil adaptação da implementação realizada.

3.1.3 - Utilização de um microcontrolador para aquisição de sinais e controle nas unidades local e remota

Neste trabalho, usou-se um microcontrolador [35]-[37] para tornar os sistemas de telemetria desenvolvidos (unidirecional e bidirecional) compactos e versáteis, com potencialidades para diferentes configurações, necessitando, apenas, de mudanças de "software".

O microcontrolador usado é o MC68HC11 [38], [39]. Embora esta escolha seja justificada, inicialmente, por sua disponibilidade imediata no laboratório, ela também é justificada pelas características do 68HC11, que permitem uma implementação mais versátil dos sistemas de telemetria.

O MC68HC11 é um microcontrolador de 8 bits implementado com tecnologia HCMOS, que possui internamente, além da UCP, interface serial síncrona e assíncrona, um conversor A/D de 8 bits com 8 entradas multiplexadas, um temporizador programável de 16 bits, 512 bytes de EEPROM, 256 bytes de RAM e 8 kbytes de ROM (Versão MC68HC11 A8). A estrutura interna dele é mostrada no Anexo A.

O MC68HC11 opera numa frequência de 2 MHz, sendo as instruções executadas entre 2 e 8 ciclos, exceto as instruções de

multiplicação, realizadas em 10 ciclos e as de divisão, em 41 ciclos. Os modos de operação são os seguintes: "mono-chip", teste, "bootstrap" e multiplexado [38].

Esse microcontrolador realiza, basicamente, nas unidades remotas dos dois sistemas, a aquisição, a conversão analógico-digital e a codificação PWM dos sinais a serem transmitidos. Nas unidades locais, ele realiza a decodificação dos sinais recebidos em conjunto com o receptor e com o conversor digital-analógico AD7524 [40]. Ele também controla a transmissão e a recepção de dados e informações de acordo com a estratégia de comunicação adotada por cada um dos sistemas.

3.1.4 - Transmissor/receptor

Como já apresentado, o LM1871 é um circuito integrado transmissor, cuja estrutura interna possibilita, em operação normal, a modulação de uma portadora de rádio-freqüência em ASK e a geração de 3 a 6 pulsos modulados em largura, além de um pulso de sincronismo. O número de pulsos gerados e transmitidos é controlado pelas entradas digitais A e B, conforme mostrado na figura 3.1a.

Além de fazer a demodulação do sinal de rádio-freqüência, o LM1872 fornece 4 saídas independentes. Duas delas apresentam os dois primeiros pulsos recebidos após o sincronismo, CH1 e CH2 (figura 3.1b), transmitidos pelo LM1871 ou por outro transmissor que utilize o mesmo formato de codificação-modulação.

As outras duas saídas apresentam um código digital

relacionado com o número de pulsos recebidos, da seguinte forma: se forem recebidos 3 pulsos, o código CHA CHB=11, se 4 pulsos, CHA CHB=01; se 5 pulsos CHA CHB=10 e se 6 pulsos, CHA CHB=00.

Além dessas saídas, obtém-se no pino 13 do LM1872 o sinal SYNC (figura 3.1b), que pode ser recomposto, através de um comparador, para fornecer a seqüência de pulsos no formato transmitido.

Como a codificação em largura de pulso pode ser facilmente realizada pelo microcontrolador, usando seu temporizador, optou-se por substituir o LM1871 por um transmissor com dois transistores, como mostrado na figura 3.2 [17], que também modula a portadora de RF em ASK. O oscilador dele usa um cristal de 26,620 MHz, para estabilizar a freqüência da portadora, e a modulação é obtida pelo controle da corrente do transistor T2, através do transistor T1, que funciona na região de corte e de saturação.

Para possibilitar ainda o uso do LM1872 como receptor, a codificação PWM, realizada agora pelo microcontrolador, segue o mesmo formato da realizada pelo LM1871 (figura 3.1a). O diagrama elétrico do receptor, utilizando o LM1872, encontra-se no Anexo A.

Uma vez feitas as considerações anteriores, pode-se resumi-las na figura 3.3, que mostra a composição do sistema de telemetria unidirecional. No caso do sistema bidirecional (figura 3.4), existem, adicionalmente, um receptor na unidade remota e um transmissor na unidade local.

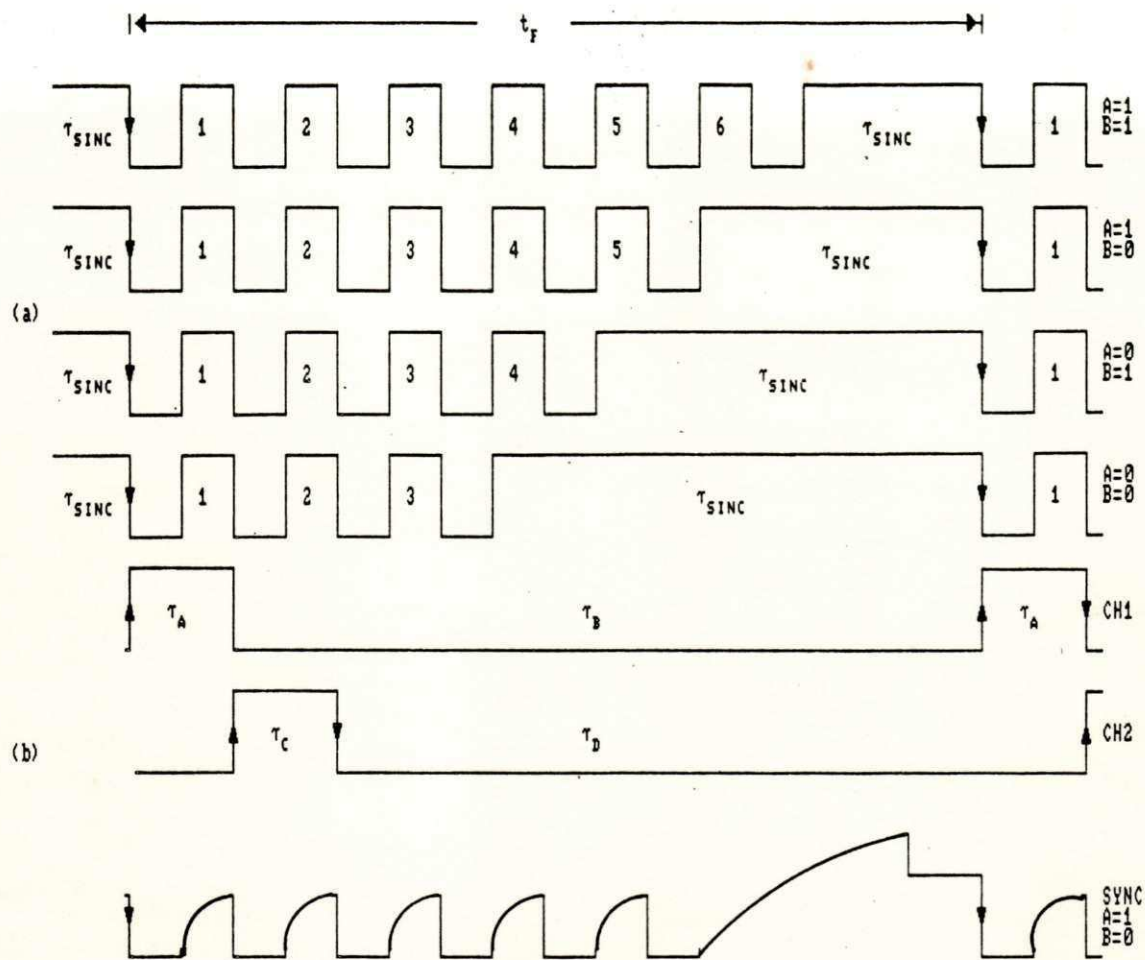


Figura 3.1 - (a) Sinais obtidos na saída do LM1871 e (b) sinais obtidos nas saídas do LM1872

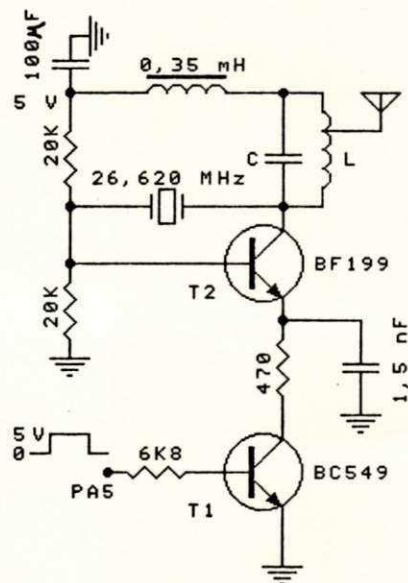


Figura 3.2 - Modulador-transmissor ASK

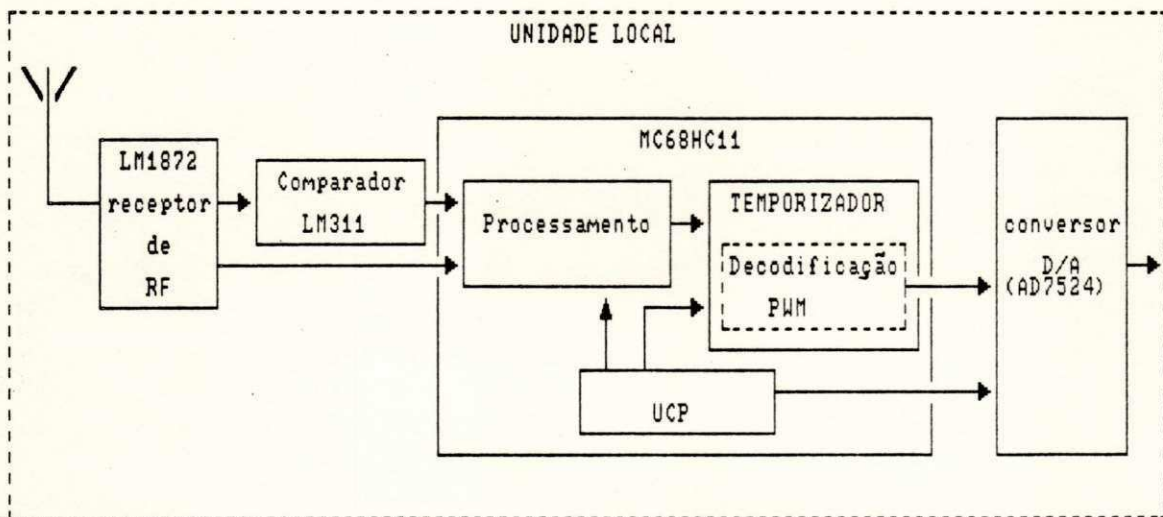
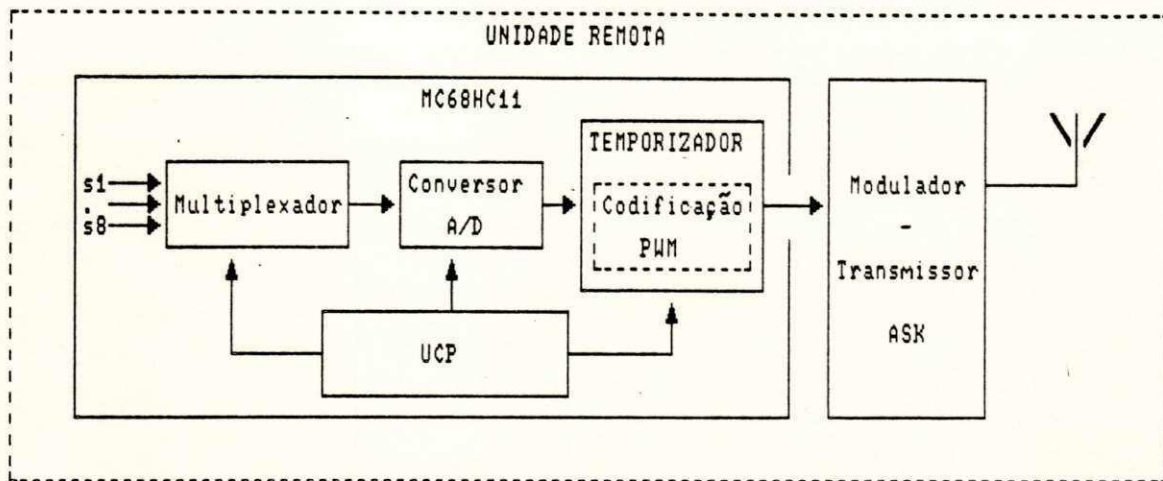


Figura 3.3 - (a) Diagramas da unidade remota e (b) da unidade local do sistema unidirecional

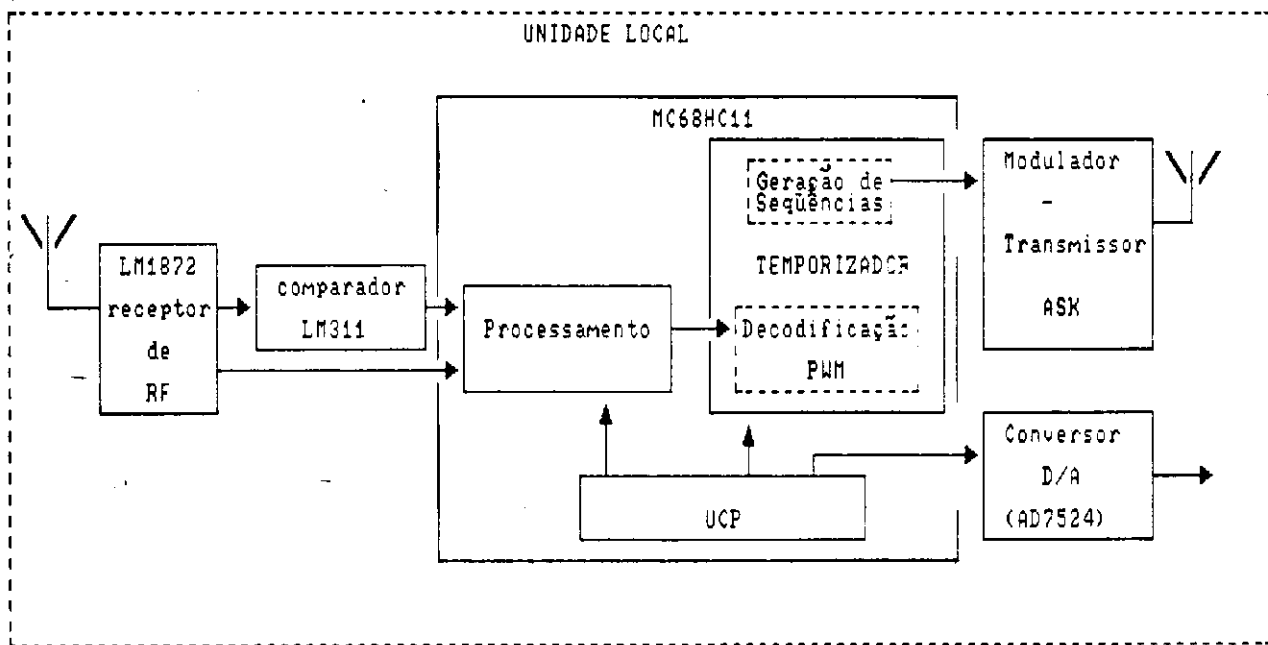
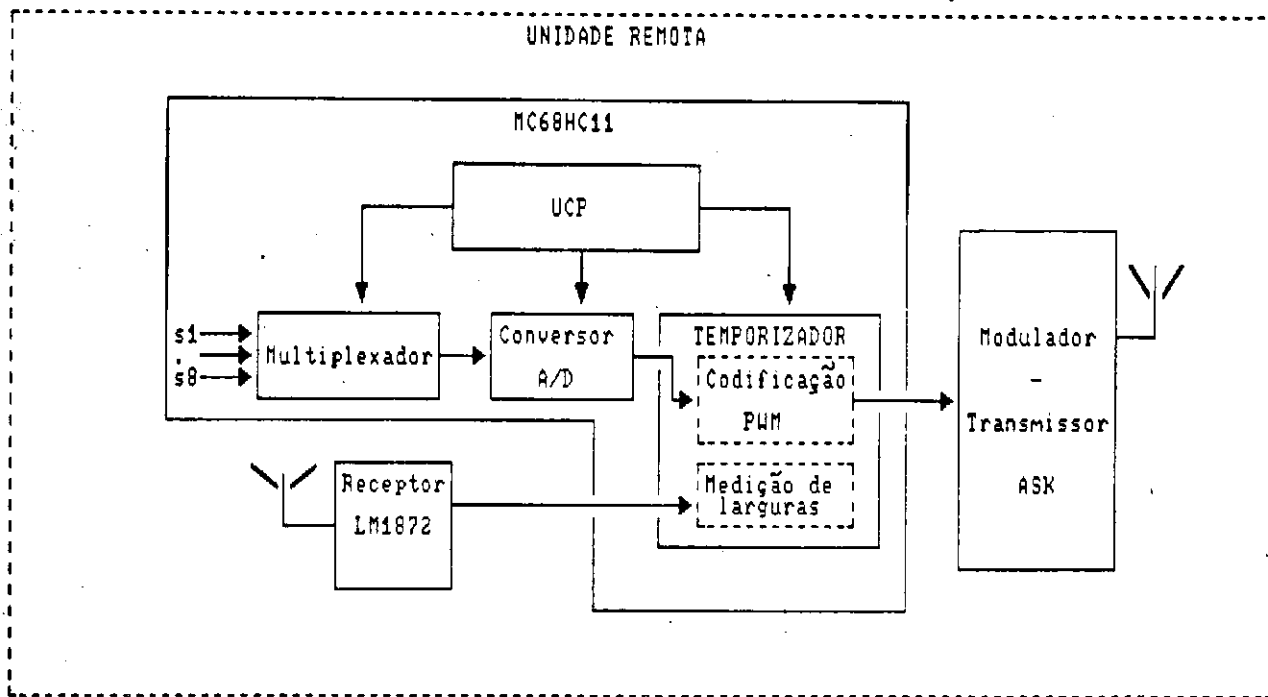


Figura 3.4 - (a) Diagramas da unidade remota e (b) da unidade local do sistema bidirecional

3.2 - Operações Comuns aos dois Sistemas de Telemetria

As operações de aquisição, codificação, decodificação dos sinais e a operação de detecção de erros são comuns aos dois sistemas, sendo realizadas de maneira semelhante para ambos. Por isso, essas operações são descritas inicialmente para, em seguida, serem apresentadas as peculiaridades de cada um.

3.2.1 - Aquisição e codificação dos sinais nos dois sistemas

A aquisição dos sinais analógicos na unidade remota é feita nas entradas da porta E do microcontrolador, as quais dão acesso ao multiplexador analógico e ao conversor A/D. A seguir, estes sinais são amostrados e convertidos para o formato digital e as amostras obtidas são utilizadas para a codificação das larguras dos pulsos.

As seqüências da figura 3.5 representam os sinais codificados em largura de pulsos (PWM). A princípio, o número de sinais codificados pode variar de 3, quando se utiliza a seqüência "d", a 6, quando se utiliza a seqüência "a". As larguras τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 , τ_5 e τ_6 são proporcionais à amplitude dos sinais analógicos na porta E do microcontrolador, podendo cada uma representar uma grandeza a ser medida, e a largura do pulso de sincronismo τ_{sinc} varia de modo a manter t_F constante, sendo também maior que todas as outras larguras para sincronizar o transmissor e o receptor e, dessa forma, permitir a identificação dos sinais durante a decodificação deles na unidade local.

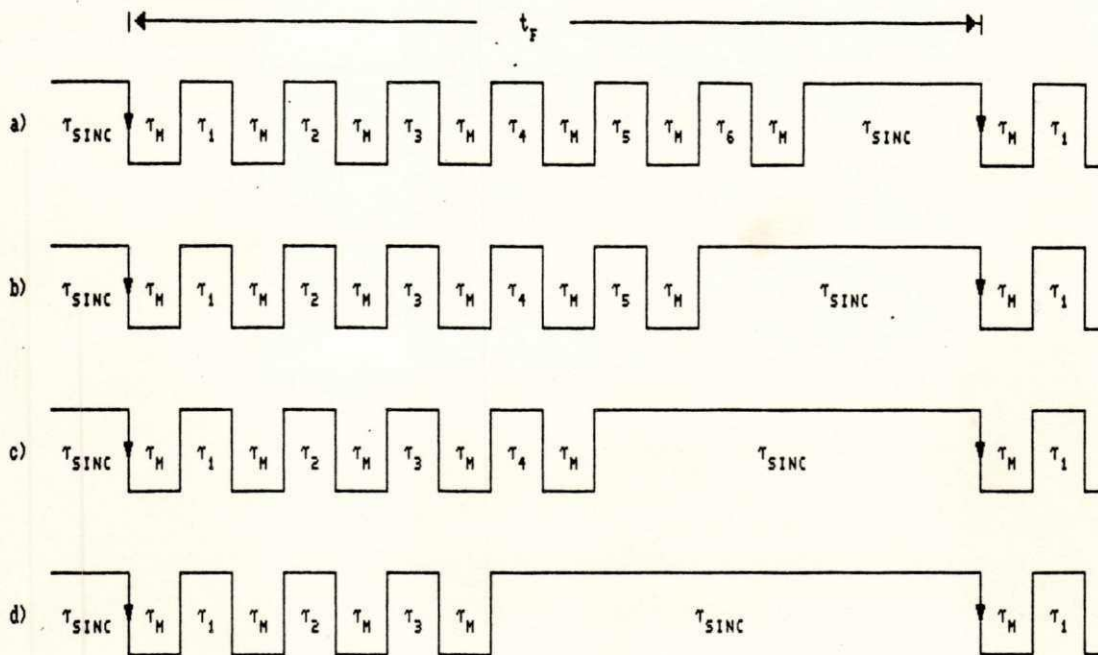


Figura 3.5 - Sequências codificadas em larguras de pulsos nas URS

O intervalo entre pulsos possui uma largura fixa igual a τ_m . Como as larguras $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$ e τ_6 variam com os sinais modulantes, os sinais correspondentes às larguras $\tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$ e τ_6 sofrem uma modulação de posição residual devido, respectivamente, a $\tau_1, \tau_1+\tau_2, \tau_1+\tau_2+\tau_3, \tau_1+\tau_2+\tau_3+\tau_4$ e $\tau_1+\tau_2+\tau_3+\tau_4+\tau_5$.

Essa modulação de posição residual está sempre presente quando se utiliza o transmissor-codificador LM1871. Entretanto, pode-se evitá-la com o uso do microcontrolador, fazendo-se a amostragem dos sinais sempre na transição de descida do pulso de sincronismo, τ_{sinc} (figura 3.5), e, portanto, a uma frequência constante, já que entre duas dessas transições decorre um período fixo igual a t_F .

As larguras dos pulsos codificados variam entre um valor mínimo (τ_{min}) e um valor máximo (τ_{max}). Dessa forma, pode ser caracterizada a largura de faixa, B , produzida por essa codificação, que é dada por [17]:

$$B = \frac{1}{\tau}, \quad (1)$$

onde τ é a menor largura de pulsos ou o menor intervalo entre pulsos.

Na codificação dos sinais, o τ_{min} foi escolhido igual ao τ_m para que ele caracterize a largura de faixa produzida pela codificação. Os seguintes valores foram adotados: τ_m e τ_{min} iguais a 384 μs , τ_{max} igual a 768 μs e t_F igual a 10 ms. Desse modo, pela equação (1), conclui-se que a largura de faixa, B , é 2,605 kHz.

A frequência máxima de cada sinal é determinada pelo teorema da amostragem, sendo, para este caso, idealmente, igual a 50 Hz, pois o período de amostragem dos sinais, t_F , foi escolhido igual a 10 ms.

Essa frequência máxima permitida para os sinais de entrada pode ser aumentada, diminuindo-se o número de canais ou aumentando-se a faixa de frequências do canal de RF. No projeto dos sistemas de telemetria descritos neste trabalho, considerou-se uma faixa disponível de 3,2 kHz, que é a faixa especificada para o receptor LM1872.

Os sinais analógicos de entrada são amostrados e convertidos para a forma digital pelo A/D do 68HC11. Em seguida, é feita a geração dos pulsos codificados em largura pelo temporizador do microcontrolador. Para tal, as larguras são convertidas para números hexadecimais equivalentes a períodos do contador do temporizador. Sendo o período igual a 0,5 μ s (2 MHz), τ_m (384 μ s) equivale a 768 períodos, que, convertidos para um valor em hexadecimal, fica igual a 300. Analogamente, τ_{max} (768 μ s) equivale ao número hexadecimal 600.

A variação das larguras dos pulsos tem uma faixa dinâmica de 1:3. De fato, considere-se que o valor obtido após a conversão A/D de um sinal seja 00. Na codificação, multiplica-se esse valor por 3, e adiciona-se-lhe 300 (τ_{min} em hexadecimal). No caso de o valor convertido ser igual a FF (300+FF+FF+FF), obtém-se 5FD, que é aproximadamente igual ao τ_{max} (600 em hexadecimal).

Na decodificação, após a medição das larguras dos pulsos, o procedimento é inverso, ou seja, subtrai-se delas o valor 300, e o resultado divide-se por 3, recuperando-se, dessa forma, a amostra transmitida.

Depois de realizada a codificação em largura de pulsos,

a seqüência escolhida (figura 3.5) modula a portadora do transmissor de rádio-freqüência (figura 3.2). Este as envia através de uma antena para a unidade local (UL), onde serão decodificados os valores das grandezas.

Utilizou-se, como antena, um fio com comprimento igual a aproximadamente um quarto do comprimento de onda da portadora vezes um fator de 0,8, ou seja, uma antena de 2,22 metros. Esse fator corresponde à relação entre a velocidade da onda na antena e a velocidade da luz [17].

Nos dois sistemas de telemetria, o temporizador é utilizado na geração das seqüências de pulsos codificados e na medição de larguras no processo de decodificação das larguras. Uma descrição sobre modulação PWM é apresentada no Anexo B e os procedimentos básicos para a geração e medição de larguras de pulsos através do temporizador são mostrados no Anexo C.

3.2.2 - Decodificação dos sinais recebidos na unidade local

O LM1872 demodula o sinal de RF recebido e apresenta nas suas saídas as seqüências CH1 e CH2 (figura 3.6a), o sinal SYNC (figura 3.6b) e o código digital de 2 bits nas saídas CHA e CHB.

A decodificação dos sinais recebidos na unidade local permite a recuperação dos dados correspondentes aos valores das grandezas adquiridas. Ela é realizada através da medição das larguras τ_1 a τ_6 (se forem transmitidas informações de 6 grandezas) da seqüência gerada na saída do comparador LM311, a

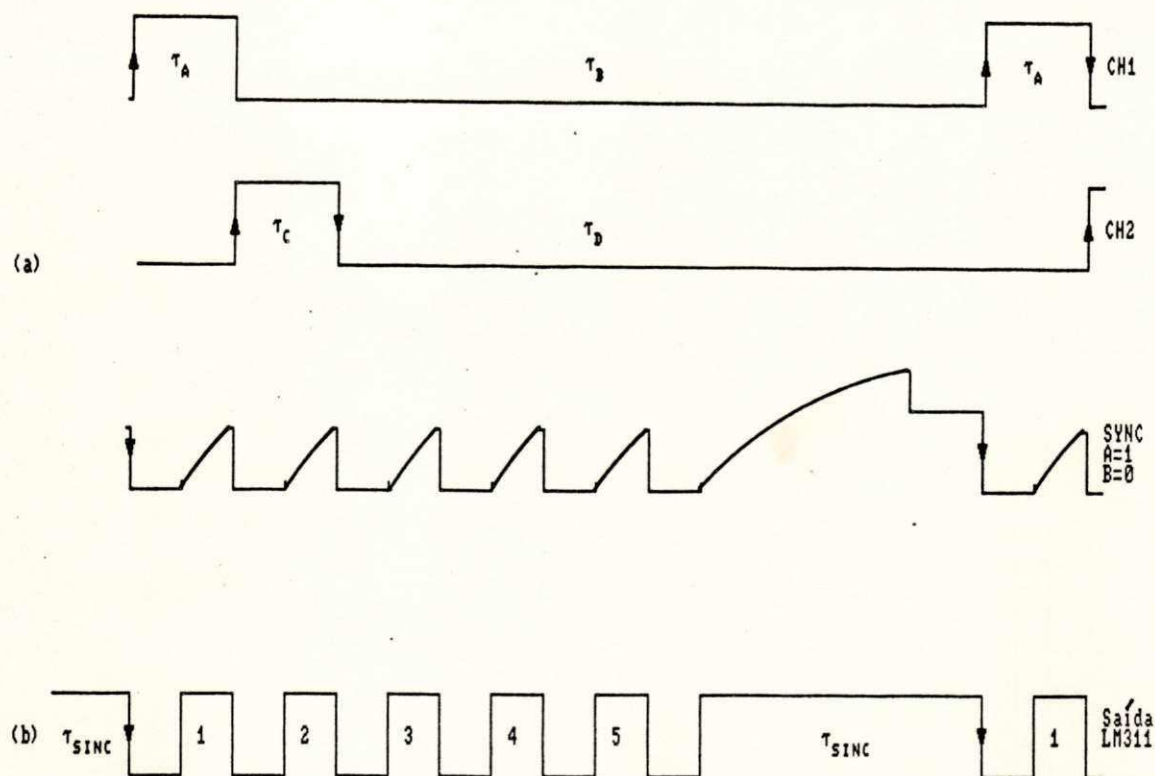


Figura 3.6 - (a) Sinais obtidos nas saídas do LM1872 e (b) sinal na saída do comparador LM311, tendo na entrada o sinal SYNC

partir do sinal SYNC.

A medição das larguras dos pulsos é feita pelo temporizador do 68HC11, com resolução de 16 bits, utilizando-se as três entradas de captura, pinos PA0, PA1 e PA2. Os valores obtidos são truncados para 8 bits e convertidos para a forma analógica por um conversor D/A tipo AD7524.

O início da decodificação é antecedido da deteção do pulso de sincronismo, que é realizada através da medição das

larguras e da comparação delas com os valores mínimo e máximo de τ_{sinc} , respectivamente, 1520 (2,704 ms) e 3920 (7,312 ms). Uma vez encontrada uma largura que esteja entre estes dois limites, considera-se que a detecção de τ_{sinc} aconteceu, realizando-se, em seguida, a medição das outras larguras para recuperar e identificar τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 , τ_5 e τ_6 .

Vale ressaltar que, algum tempo (suficiente para a subtração dos valores adicionados na codificação) após a transição de descida do último pulso, que pode ser τ_3 , τ_4 , τ_5 ou τ_6 , dependendo da seqüência escolhida, as amostras já são disponíveis, porém só são enviadas para seus respectivos conversores D/A no instante em que acontece a transição de descida de τ_{sinc} . Percebe-se que, entre duas transições de descida de τ_{sinc} , decorre um período t_F e, dessa forma, os sinais são recuperados com a mesma freqüência com que eles foram amostrados na unidade remota.

3.2.3 - Processo de detecção de erros

A capacidade de detecção de erros é uma característica que pode proporcionar maior confiabilidade aos sistemas de telemetria.

Nos sistemas de telemetria aqui desenvolvidos, o processo de detecção de erros é baseado na medição das larguras dos pulsos. Para as larguras serem aceitas, elas devem estar dentro dos limites para os quais foram especificados, 300 (384 μs) e 600 (784 μs); caso contrário, serão rejeitadas.

3.3 - Sistema de Telemetria Unidirecional

Um sistema de telemetria unidirecional só permite a transmissão de sinais da unidade remota para a unidade local.

A comunicação entre as unidades local (UL) e remota (UR), segundo uma configuração unidirecional, pode-se dar de duas maneiras típicas:

1 - com a UR transmitindo para a unidade local de maneira ininterrupta;

2 - com a UR transmitindo de maneira intermitente, segundo períodos predefinidos, que dependem das aplicações.

A escolha de uma dessas estratégias de comunicação está ligada, sobretudo, à aplicação que se deseja realizar. Por exemplo, na aquisição de parâmetros fisiológicos de atletas durante a prática de esportes, a transmissão ininterrupta pode ser usada para registrar alguma anormalidade, tal como nos batimentos cardíacos.

A medição da variação de temperatura diurna em macacas, que é utilizada para detecção do período de ovulação [5], pode ser realizada através de um sistema de telemetria, utilizando a estratégia de transmissão intermitente, já que não se deseja a temperatura durante todo o tempo. Essa estratégia implica numa redução de consumo, pois o transmissor não precisa estar sempre ligado.

Na implementação do sistema unidirecional, utilizou-se

a estratégia de transmissão ininterrupta.

3.3.1 - Operação do sistema unidirecional

A estrutura implementada do sistema unidirecional é mostrada na figura 3.3, em que são usados o transmissor-modulador ASK, mostrado na figura 3.2, o receptor LM1872, o comparador LM311, o conversor D/A AD7524 e o microcontrolador 68HC11.

Para comandar a operação desse sistema, foram implementados dois programas: URUNI (unidade remota-sistema unidirecional), que comanda as operações na unidade remota, e ULUNI (unidade local-sistema unidirecional), que comanda as operações na unidade local. Esses programas estão listados no Anexo D.

O programa URUNI permite a programação da frequência de amostragem dos sinais e do número de grandezas a serem medidas ou monitoradas, segundo o formato das seqüências mostradas na figura 3.5.

Considerando-se as seqüências das figuras 3.5, cada pulso leva informação de uma grandeza na largura. Dependendo do número de grandezas monitoradas no sistema, uma determinada seqüência deve ser gerada.

Ao ser recebida pela unidade local, essa seqüência é decodificada para permitir a recuperação dos sinais referentes às grandezas. Entretanto, antes de ser iniciada a decodificação propriamente dita, lê-se o código digital de 2 bits nas saídas CHA e CHB, obtido no receptor LM1872.

Essa leitura, no sistema unidirecional, funciona como mecanismo de detecção de erros, pois, considerando-se que o número de pulsos transmitidos já é previamente conhecido na unidade remota, um código digital, nas saídas CHA CHB, não correspondente ao número de pulsos transmitidos da UR, implica em erro.

A transmissão de alguns sinais, utilizando esse sistema, é discutida na subseção 3.4.2.

3.4 - Sistema de Telemetria Bidirecional

A comunicação bidirecional, através da qual é possível a transmissão de dados da unidade remota para a unidade local e vice-versa, é uma condição necessária a determinados sistemas de telemetria, tais como:

1) nos sistemas onde há necessidade de modificações nos parâmetros de medição (ganho de amplificadores, período de amostragem, etc.) a partir de processamentos feitos na unidade local;

2) nos sistemas onde há apenas um receptor na unidade local e múltiplas unidades remotas, geograficamente distribuídas.

A bidirecionalidade pode também ser incorporada a determinados sistemas para proporcionar-lhes maiores versatilidade e confiabilidade. Como exemplo para melhorar esta última, pode ser citado um sistema, onde a unidade local, ao receber os dados da unidade remota, lhe envia alguma informação para indicar esse recebimento, ou lhe envia um eco, ou seja, os dados recebidos.

Duas configurações típicas de sistemas de telemetria bidirecionais podem ser desenvolvidas:

— a primeira consiste num sistema formado por uma unidade remota e uma unidade local, conforme a figura 3.7;

— a segunda configuração consiste num sistema de telemetria composto de uma unidade local e de várias unidades remotas, conforme a figura 3.8.

A comunicação entre as duas unidades da configuração da fig. 3.7 pode-se dar de algumas maneiras, tais como:

a) a UR fica em estado de repouso, ou seja, sem realizar aquisição e transmissão de sinais, até que lhe seja enviado um comando da UL. Esta configuração e esta estratégia de comunicação foram utilizadas no monitoramento de pressões intracranianas [8], onde apenas um receptor de baixo consumo ficava ligado aguardando um comando da UL para iniciar a aquisição e a transmissão de sinais. Desse modo, obteve-se uma redução de consumo, o que é importante nesses sistemas que utilizam sensores implantáveis.

b) outra possibilidade de comunicação consiste na programação da UR para transmitir os dados para a UL sem a solicitação prévia desta, por exemplo, para sinalizar alguma anormalidade no funcionamento da UR (alimentação, conversor A/D, moduladores, etc.). A UL, ao receber esses dados, envia para a UR comandos para ativar, por exemplo, equipamentos sobressalentes.

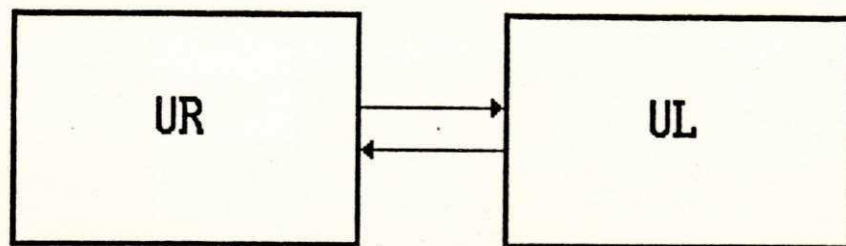


Figura 3.7 - Configuração de um sistema de telemetria bidirecional com uma UL e uma UR

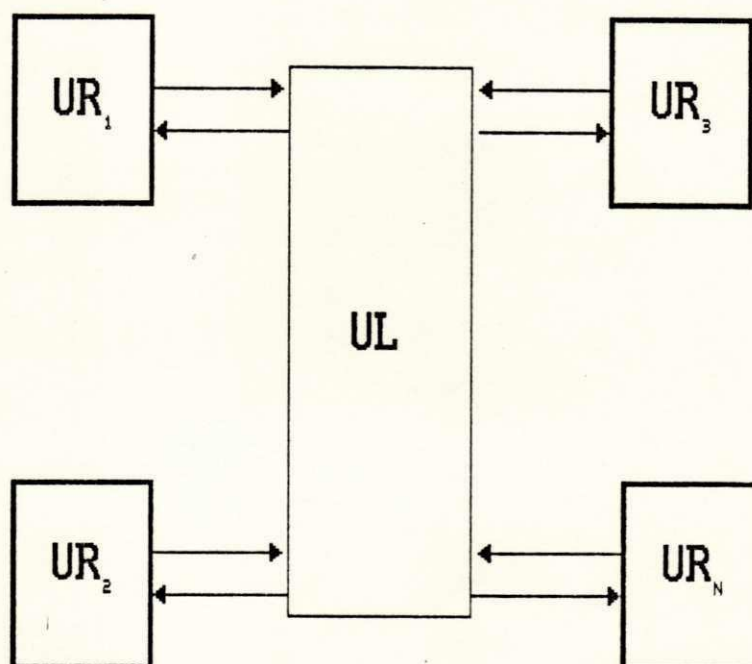


Figura 3.8 - Configuração de um sistema de telemetria bidirecional com uma UL e múltiplas URs

Alguns sistemas de telemetria utilizados em naves espaciais. [2] fazem aquisição, por exemplo, de sinais que monitoram o funcionamento da nave (temperatura, alimentação, condições de funcionamento de transmissores e receptores). Na presença de alguma anormalidade, é enviada para uma unidade local ou unidade terrestre, sem a solicitação prévia desta, a informação que identifique tal situação. A partir daí, a central envia comandos para o receptor da nave.

Com relação à configuração da fig. 3.8, a comunicação entre a UL e as URs pode-se dar de algumas maneiras, por exemplo, com a UL ligada, automaticamente as URs lhe enviam seus dados, segundo uma ordem predefinida. Depois que todas as URs enviarem seus dados, um novo ciclo de transmissão pode ser recomeçado.

Outra possibilidade é a comunicação com "resposta ao pedido", a partir da qual a UL comanda a solicitação dos dados de uma determinada UR e esta, identificando a solicitação, envia-lhos.

O sistema bidirecional projetado é baseado na configuração da fig. 3.8, sendo composto de uma unidade local e de quatro unidades remotas. A sua operação se dá segundo a estratégia de comunicação de "resposta ao pedido".

Considerando esse sistema com a configuração e a estratégia de comunicação escolhidas, um novo aspecto diz respeito à escolha do número de portadoras para uma comunicação entre a UL e uma UR, a qual pode dar-se de algumas maneiras.

Uma delas seria estabelecer, para a comunicação entre cada UR e a UL, duas portadoras: uma quando a comunicação estiver sendo realizada da UL para a UR e outra quando for da UR para a UL. Portanto, levando em consideração a existência de quatro URs e de uma UL, são necessárias oito portadoras diferentes, o que permite que uma determinada UR possa estar transmitindo para a UL ao mesmo tempo em que esta transmite para essa UR ou para todas as URs simultaneamente. Por outro lado, isso significa uma maior faixa espectral ocupada pelo sistema.

Podem-se também escolher portadoras diferentes para cada comunicação no sentido UR-UL e apenas uma portadora no sentido UL-UR. Portanto, diminui-se o número de portadoras para cinco, e permite-se ainda que uma determinada UR esteja transmitindo para a UL, ao mesmo tempo em que esta transmite para essa UR ou para outra, mas agora para uma UR de cada vez.

Outra maneira seria a escolha de uma única portadora para a comunicação tanto no sentido UL-UR como no UR-UL, o que significa o uso de apenas um canal, uma menor faixa espectral ocupada pelo sistema e a utilização de um único transmissor e de um único receptor na UL. Por estes aspectos, foi utilizada uma única portadora para estabelecer a comunicação entre as URs e a UL do sistema bidirecional implementado, apesar de que só é permitido apenas um transmissor enviar dados de cada vez.

3.4.1 - Operação do sistema bidirecional

Para evitar que mais de um transmissor esteja

transmitindo simultaneamente, é necessário um monitoramento da comunicação. Apresentam-se, a seguir, os procedimentos para esse monitoramento.

3.4.1.1 - Operação na unidade local

A comunicação entre a UL e uma dada UR se inicia a partir de uma solicitação da UL, a qual é realizada através da transmissão de seqüências de pulsos. Essas seqüências estão representadas na figura 3.9.

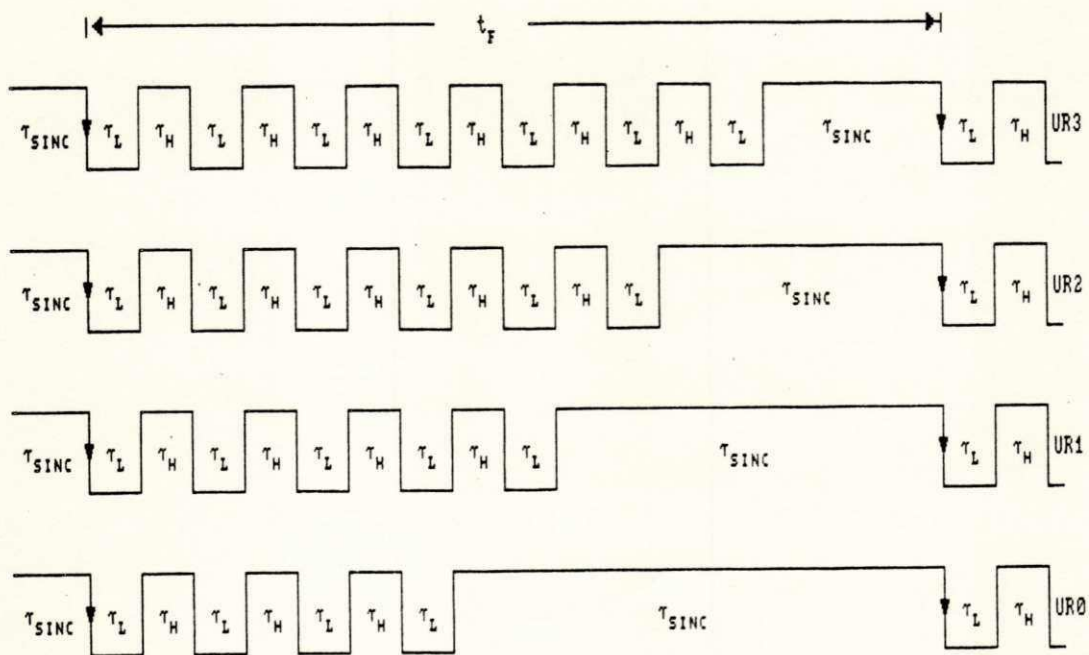


Figura 3.9 - Seqüências utilizadas para a solicitação de dados de uma dada UR

Dependendo de com qual UR se deseja comunicar, a UL envia uma seqüência com um número de pulsos de larguras fixas da seguinte maneira: para se comunicar com a UR₀, a UL envia a seqüência com três pulsos; com a UR₁, quatro pulsos; com a UR₂, cinco pulsos e com a UR₃, seis pulsos, além do pulso de sincronismo para todos os casos. Observa-se que essas seqüências seguem o formato utilizado pelo sistema unidirecional, com a diferença de que, a princípio, os pulsos não estão modulados em largura, estando a informação contida apenas no número de pulsos.

Quando uma solicitação é feita, uma determinada seqüência é enviada durante um tempo, "t_S". Esse tempo deve ser igual, no mínimo, a 2 t_F (período mínimo para se medirem as larguras τ_a, τ_b, τ_c e τ_d dos pulsos nas saídas CH1 e CH2 do LM1872 mais o tempo necessário para a UR ler o código digital nas saídas CHA e CHB e compará-lo com o seu, o que é feito aproximadamente em 16 ciclos de instrução do 68HC11 (8 μs). Adotou-se, preliminarmente, "t_S" igual a 10 segundos.

Depois que a UL termina o processo de solicitação, ela fica aguardando a chegada dos dados. A espera por eles acontece durante um tempo "t_E" (20 segundos), que, no máximo, é igual ao tempo durante o qual a UR fica enviando seus dados "t_A". Ao recebê-los, ela verifica se eles são provenientes da UR solicitada e só então inicia a decodificação dos dados. A decodificação é realizada durante um tempo "t_D" (2 minutos), que também é igual, no máximo, ao tempo de transmissão dos dados pela UR.

Portanto, em operação normal, as seguintes tarefas são realizadas na unidade local: (1) solicitação dos dados de uma determinada unidade remota; (2) verificação da origem da informação recebida e (3) decodificação dos dados recebidos. Essas operações são controladas por "software", através do programa ULBIDA (unidade local - sistema bidirecional, Anexo D), cujo fluxograma é mostrado na figura 3.10.

3.4.1.2 - Operação nas unidades remotas

As unidades remotas, em operação normal, ficam com seus receptores ligados, aguardando alguma solicitação da UL. Ao detetar a presença da portadora, ou seja, a solicitação, a UR requisitada entende que deve fazer a aquisição, a codificação PWM e a transmissão dos dados para a UL durante um tempo " t_a " igual a 2 minutos.

Para detetar a presença da portadora no ar, as URS ficam medindo as larguras dos pulsos τ_a , τ_b , τ_c e τ_d , obtidos nas saídas CH1 e CH2 do receptor LM1872 (figura 3.6a), e comparando-as com os valores limites preespecificados na UL. Caso estejam dentro dos limites, as URS passam a ler, através do microcontrolador, as saídas CHA e CHB também do receptor LM1872, que apresentam um código digital de 2 bits, relacionado com o número de pulsos da seqüência transmitida pela UL, da seguinte forma: se a seqüência recebida, além do pulso de sincronismo, contiver 3 pulsos, o código CHA CHB é igual a "11"; se 4 pulsos, CHA CHB= 01; se 5 pulsos, CHA CHB= 10 e se 6 pulsos, CHA CHB= 00.

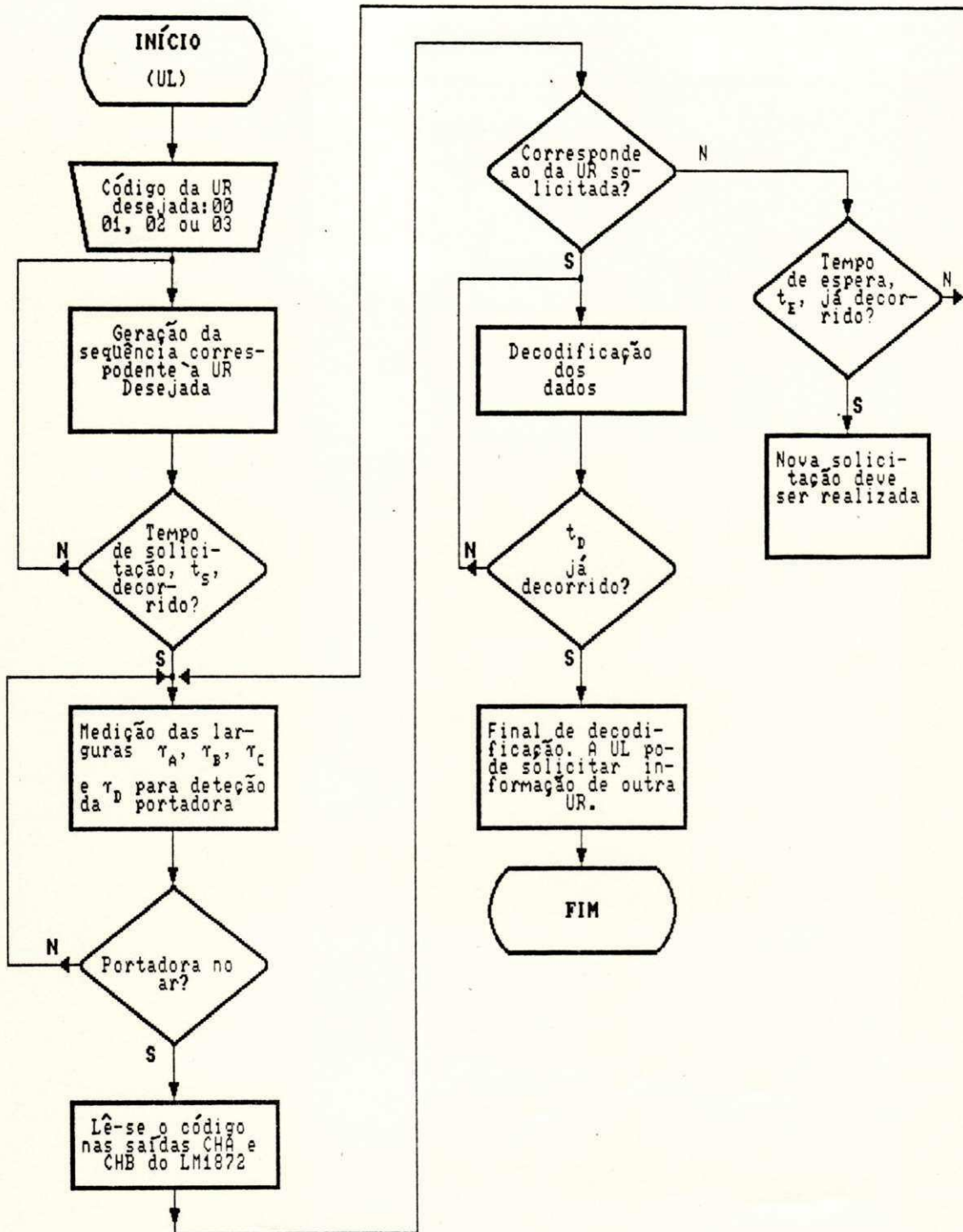


Figura 3.10 - Fluxograma para o programa ULBIDA

Dessa forma, apenas uma UR, cujo código seja igual ao recebido, considera que a solicitação lhe é dirigida, porém, antes de fazer a transmissão dos dados, ela verifica se a portadora já saiu do ar, ou seja, se o período de solicitação, " t_s ", já foi decorrido, o que é feito medindo-se as mesmas larguras τ_a , τ_b , τ_c e τ_d , até elas estarem fora dos limites. Na realidade, o mecanismo de verificação de uma solicitação funciona também como mecanismo de detecção de erros nas unidades remotas.

As operações numa unidade remota são controladas através do programa URBIDA (unidade remota - sistema bidirecional), cujo fluxograma é mostrado na figura 3.11.

Para descrever alguns detalhes envolvidos na operação do sistema, são mostrados, a seguir, os procedimentos para a comunicação entre a UL e a UR₁.

Define-se na UL, a UR da qual se deseja obter dados. Essa operação é realizada através do programa ULBIDA, e, para se comunicar com a UR₁, entra-se com o código "01" (UR₀:00, UR₂:02 e UR₃:03). Esse código é armazenado numa posição de memória, identificada no programa ULBIDA como "URX", e, após a leitura dele, gera-se a seqüência da figura 3.12a na saída PA5 (Porta A), utilizando o temporizador do MC68HC11.

Embora não tenha sido implementada, a solicitação de dados pode também ser feita de forma automática segundo um programa predefinido na UL.

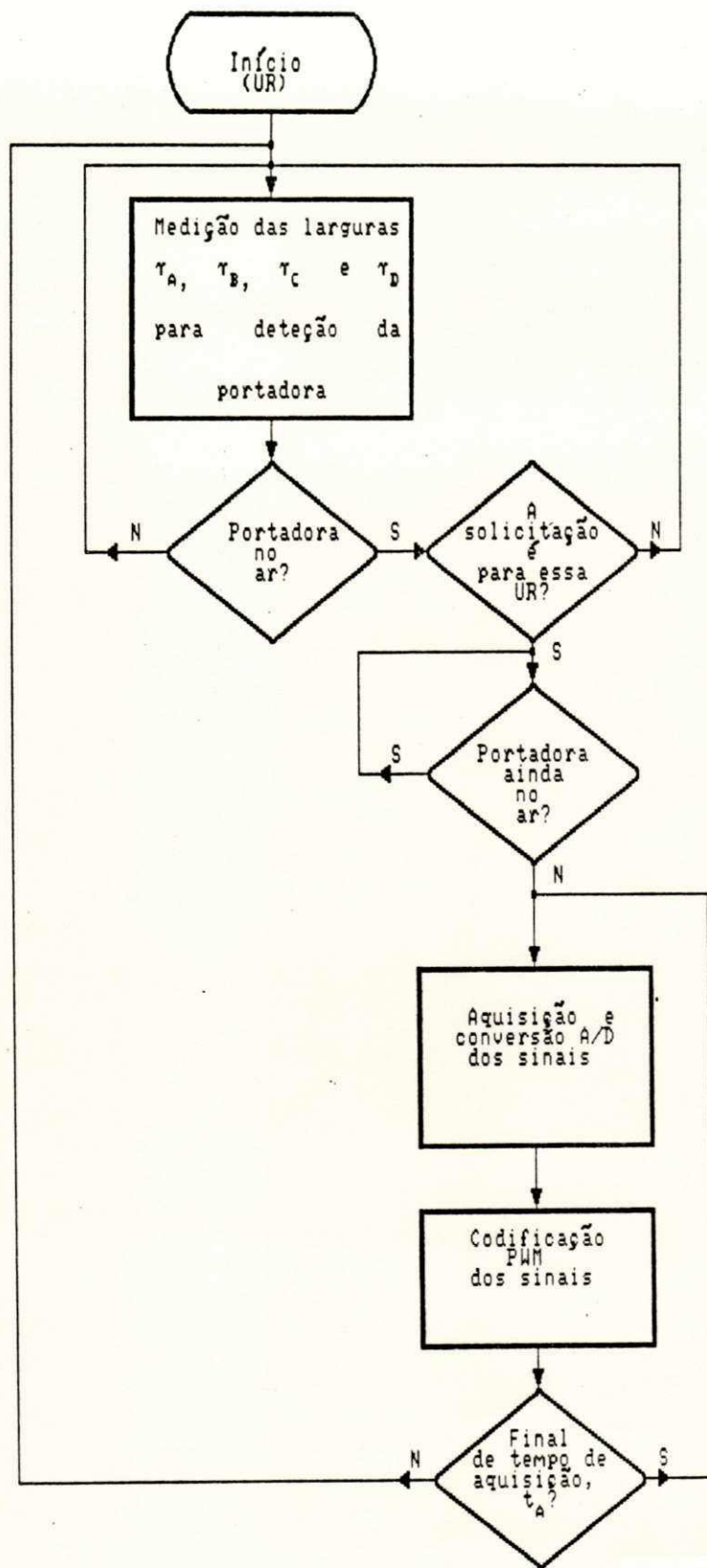


Figura 3.11 - Fluxograma para o programa URBIDA

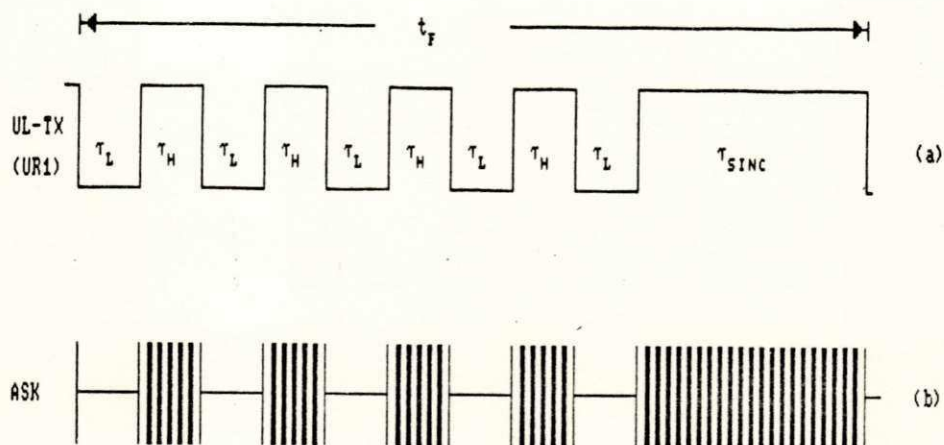


Figura 3.12 - (a) Seqüência de pulsos gerada na UL para solicitar dados da UR₁; (b) modulação ASK

Os valores de τ_l e τ_h foram escolhidos iguais a 576 μ s e t_F , igual a 10 ms.

Uma vez gerada esta seqüência de pulsos; ela é enviada para o transmissor de RF (figura 3.2), onde se modula a portadora em ASK (figura 3.12b), sendo então transmitida para a UR por uma antena. Este sinal é recebido e demodulado pelo receptor LM1872 em todas as unidades remotas, pois apenas uma portadora é utilizada.

As saídas CH1 e CH2 do LM1872 são conectadas aos pinos de entradas PA3 e PA2 (Porta A do microcontrolador), os quais dão acesso ao temporizador, para que sejam medidas as larguras τ_a , τ_b , τ_c e τ_d e comparadas com os valores limites. Teoricamente, as larguras τ_a e τ_c são iguais à soma das larguras τ_l e τ_h geradas na UL.

Considerando que as larguras medidas estejam dentro dos limites, as URs lêem o código digital CHA CHB na entradas PD2 e PD3 (Porta D do microcontrolador) e, ao identificarem-no, apenas a UR₁ vai entender que a solicitação lhe é dirigida, visto que o código recebido é "01". As outras URs voltam à etapa inicial de verificação da presença da portadora.

Como, supostamente, a solicitação é dirigida para a UR₁, ela realiza a aquisição, modulação PWM e transmissão dos dados, segundo o formato da seqüência na figura 3.13.

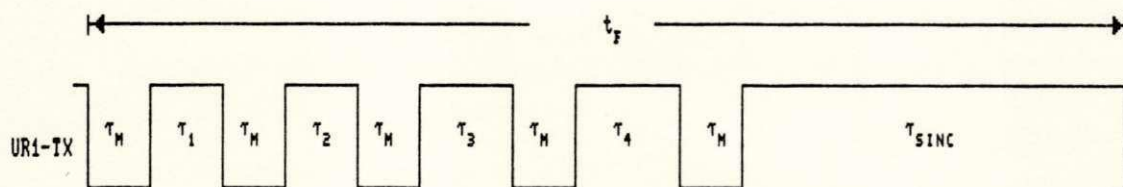


Figura 3.13 - Seqüência de pulsos modulados em largura na UR₁

Nesse formato, a informação de identificação da UR₁ está contida no número de pulsos (4 pulsos, além do pulso de sincronismo) e as informações das grandezas monitoradas estão na largura dos pulsos (τ_1 , τ_2 , τ_3 e τ_4). Dessa forma, para proporcionar identificação, podem ser medidas ou monitoradas na UR₀, 3 grandezas; na UR₁, 4; na UR₂, 5 e na UR₃ 6 grandezas (figura 3.5).

A seqüência mostrada na figura 3.13 é, então, transmitida pela UR₁ para a UL. A UL que já aguarda a chegada

dessa seqüência vai detetar a presença da portadora no ar através da medição das larguras nas saídas CHA e CHB do receptor LM1872. Entretanto, antes de iniciar a decodificação dos dados, ela precisa saber de que UR eles são provenientes, por isso ela lê o código nas saídas CHA e CHB. Como foi enviada a seqüência com 4 pulsos, o código obtido é "01" e, portanto, a UL inicia a decodificação dos dados, pois são provenientes da UR₁.

A figura 3.14 mostra o diagrama da unidade remota, em que as principais entradas do microcontrolador utilizadas são mostradas. O diagrama da unidade local é semelhante a esse, com a diferença de que as entradas analógicas não são utilizadas, ou seja, não há aquisição de sinais na unidade local.

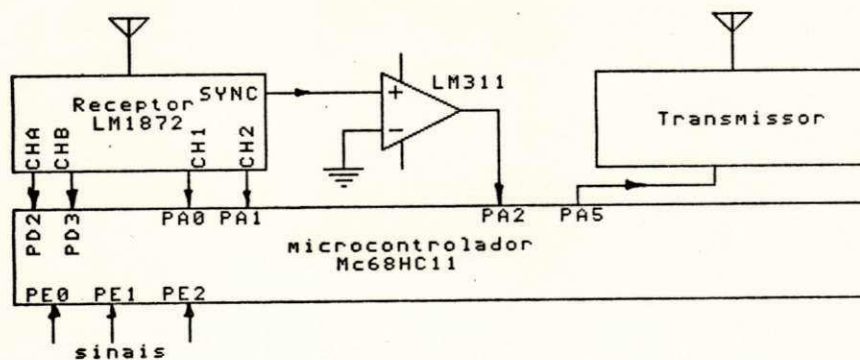


Figura 3.14 - Diagrama elétrico da unidade remota

A seguir, apresentam-se alguns testes realizados nesse sistema.

3.4.2 - Avaliação de desempenho do sistema e considerações finais

O sistema de telemetria bidirecional escolhido foi concebido, levando-se em consideração a existência de uma unidade local e de quatro unidades remotas. Embora só tenham sido implementadas a unidade local e uma unidade remota, os testes para verificação do funcionamento foram realizados, levando em consideração a existência de quatro unidades remotas.

Para a verificação do funcionamento do sistema, a unidade implementada foi configurada como sendo a UR₁. A partir daí, os seguintes testes foram realizados:

3.4.2.1 - Verificação do funcionamento da aquisição, da conversão A/D, da modulação PWM e do tempo de aquisição, " t_A ", na unidade remota.

Foram colocados 3 sinais dc de amplitudes conhecidas, nas entradas PE0, PE1 e PE2 e, através do programa depurador "BUFFALO" (Bit User Fast Aid to Logical Operations), da Motorola, foram inseridos pontos de paradas (breakpoints) no programa URBIDA para testar inicialmente os valores obtidos após a conversão A/D dos sinais. Depois de verificados os valores digitais, passou-se a verificar os valores codificados (384 μ s a 768 μ s) utilizados para a geração da seqüência da UR₁. Só, então, se verificou a seqüência gerada, através do temporizador, na saída PA5. A partir dela, foram medidos t_F , τ_m e as larguras dos

pulsos codificados, com um osciloscópio digital (HP 54503A). Mediu-se também o tempo " t_A ", durante o qual a seqüência aparece na saída PA5.

Depois de verificadas essas etapas, o programa URBIDA foi executado em operação normal, ou seja, aguardando uma solicitação da UL.

3.4.2.2 - Verificação do processo de solicitação, da decodificação dos dados e dos tempos " t_S ", " t_E " e " t_D "

Da unidade local, considerando que apenas a UR_1 aguardava uma solicitação, foram enviadas as seqüências para solicitar informações da UR_0 , UR_2 e UR_3 . Com esse procedimento, foram testados o tempo de solicitação e a proteção do sistema quanto à possibilidade de erro de recepção da solicitação por mais de uma UR. A UR_1 não respondeu a tal solicitação. Quando, finalmente, se solicitou da UR_1 , observou-se a chegada dos sinais à UL, indicando operação normal do sistema.

Na UR, deve-se garantir, que uma vez identificada a solicitação, a transmissão só passa a acontecer após o término da solicitação feita pela UL, para evitar comunicação simultânea. Para realizar esse teste, a UR_1 foi posta em operação e a UL também, realizando solicitação para UR_1 ininterruptamente. Nessa condição, não foi gerada a seqüência de pulsos, com informações das grandezas, na UR_1 , pois a solicitação permaneceu ininterruptamente. Porém, desligando-se, em seguida, o transmissor da UL, a seqüência foi observada na saída PA5.

Depois que a UL realiza uma solicitação, ela passa a verificar a chegada dos sinais durante um tempo de espera, " t_E ". Para testar a decorrência desse tempo, colocou-se a UR₁ fora de operação e realizou-se, na UL, a solicitação dela. Como ela estava fora de operação, a UL não recebeu nenhuma seqüência. Após decorrido " t_E ", termina-se a espera pela chegada dos dados. Para medir o " t_E ", cronometrou-se o tempo decorrido desde a solicitação até o final do tempo de espera, quando o programa ULBIDA sai de operação. Como o tempo de solicitação é conhecido, foi possível verificar que o tempo de espera foi igual ao programado.

Para testar a decodificação e o tempo de decodificação, deixou-se a UR₁ em operação normal, aguardando uma solicitação da UL. Quando, na UL, foi realizada a solicitação da UR₁, iniciaram-se, após o final da solicitação, a recepção e a decodificação dos sinais. Com o término da decodificação, pôde-se verificar o tempo decorrido entre o início da decodificação, quando apareceu o sinal previamente conhecido, e o final da decodificação com o alcance de um ponto de parada.

Uma vez realizados os testes citados acima, passou-se à recepção de 3 níveis dc transmitidos da UR. Para tal, os sinais foram transmitidos ininterruptamente da UR₁ para a UL, sem a solicitação prévia desta. Dessa maneira, configura-se o sistema unidirecional já citado e os testes realizados durante essa etapa são válidos também para ele.

Embora tenham sido escolhidos " t_S " igual a 10 segundos,

" t_A " igual a 2 minutos, " t_E " igual a 20 segundos e " t_D " igual a 2 minutos, eles podem ser facilmente modificados através de programação.

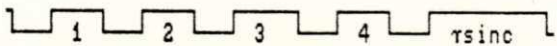
As larguras dos pulsos recebidos foram medidas com o temporizador do 68HC11. Na Tabela 1, mostram-se os níveis transmitidos e os valores digitais obtidos após a conversão A/D. Com esses valores, realizou-se a codificação. As larguras codificadas variaram entre 384 μ s e 768 μ s. Tanto na codificação como na medição de larguras, os valores obtidos, mostrados na Tabela 1, estão em números hexadecimais correspondentes ao número de ciclos do relógio do contador, utilizado pelo temporizador programável do MC68HC11 (2 MHz; $T = 0,5 \mu$ s).

Na Tabela 1, mostram-se também as larguras τ_1 , τ_2 e τ_3 medidas na UL. Cada largura foi medida 5 vezes para cada grandeza associada e para cada nível transmitido, porém, nesta Tabela, mostram-se apenas as larguras máxima (L_{max}) e mínima (L_{min}) medidas.

A partir dessas larguras, considerou-se uma diferença média (DM) para cada nível transmitido, que é igual à média aritmética das larguras L_{max} e L_{min} , medidas para cada pulso, subtraída do valor do respectivo nível codificado na UR. Por exemplo, a diferença média para o nível "00":
 $335+33B+33D+33F+333+339 = 1358$; $1358/6 = 339$; $339 - 300 = 39$ (DM).

As diferenças médias calculadas representam as diferenças entre as larguras transmitidas e recebidas, as quais se devem, sobretudo, às transições de subida e de descida dos

Tabela 1 - Larguras medidas na UR



| Larguras Transmitidas | | | Larguras recebidas | | | | | | Média das diferenças |
|--|--------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|
| tensão transmitida igualmente para as três variáveis | | | pulso 1 | | pulso 2 | | pulso 3 | | |
| Valor em volts | código após conv. A/D, X | codificação, 300+ X+X+X | L _{MIN} | L _{MAX} | L _{MIN} | L _{MAX} | L _{MIN} | L _{MAX} | DM |
| 0 | 00 | 300 | 335 | 33B | 33D | 33F | 333 | 339 | 39 |
| 0,5 | 1A | 34E | 38D | 38F | 393 | 399 | 38D | 395 | 43 |
| 1,0 | 34 | 39C | 3E2 | 3EB | 3E8 | 3ED | 3E9 | 3F2 | 4E |
| 1,5 | 4E | 3EA | 439 | 440 | 43B | 440 | 43C | 446 | 53 |
| 2,0 | 68 | 438 | 48D | 490 | 48B | 494 | 490 | 497 | 58 |
| 2,5 | 82 | 486 | 4D6 | 4D9 | 4D6 | 4DB | 4DA | 4E1 | 55 |
| 3,0 | 9C | 4D4 | 51F | 52B | 526 | 52B | 528 | 52D | 54 |
| 3,5 | B6 | 522 | 571 | 579 | 570 | 577 | 577 | 57D | 54 |
| 4,0 | D0 | 570 | 5C6 | 5C8 | 5C4 | 5C7 | 5C7 | 5CE | 57 |
| 4,5 | EA | 5BE | 60F | 61B | 614 | 61A | 615 | 61D | 59 |
| 5,0 | FF | 5FD | 65D | 661 | 65A | 65D | 65D | 664 | 61 |
| Fator de correção | | | | | | | | | 51 |

pulsos das seqüências. Para minimizar essas diferenças, adotou-se um fator de correção (FC) que é calculado da média aritmética das diferenças médias (DM), as quais se encontram dentro de uma faixa uniforme. Nesse caso, o fator de correção foi igual a 51.

Considerando esse fator de correção na decodificação, em vez de subtrair 300 (valor adicionado na codificação), como seria no caso ideal, subtrai-se 351 (300+Fator de Correção). O fluxograma da figura 3.15 resume os procedimentos para a decodificação dos sinais na UL.

Através do fluxograma, observa-se que, antes de se fazer a subtração, é feita uma comparação entre os valores medidos das larguras com 351. Caso esteja abaixo desse valor, considera-se a amostra do sinal igual a 0 e, depois de realizada a divisão por 3, o resultado deve ser comparado com FF, pois, se for maior que FF, deve-se fazê-lo igual a FF.

O fator de correção funciona como mecanismo de minimização da diferença entre a largura transmitida e a recebida, proporcionando, assim, uma reprodução mais fiel dos sinais na UL, que representam as grandezas medidas na UR. Porém, as diferenças continuarão a existir, mas, agora, dentro de limites conhecidos. Nesse caso particular, a diferença fica aproximadamente entre "0" e "4". Essa diferença na saída do conversor D/A significa um erro no sinal recebido entre 0 e 78 milivolts.

O fator de correção, embora tenha sido calculado dessa maneira, pode ser encontrado automaticamente, durante a operação

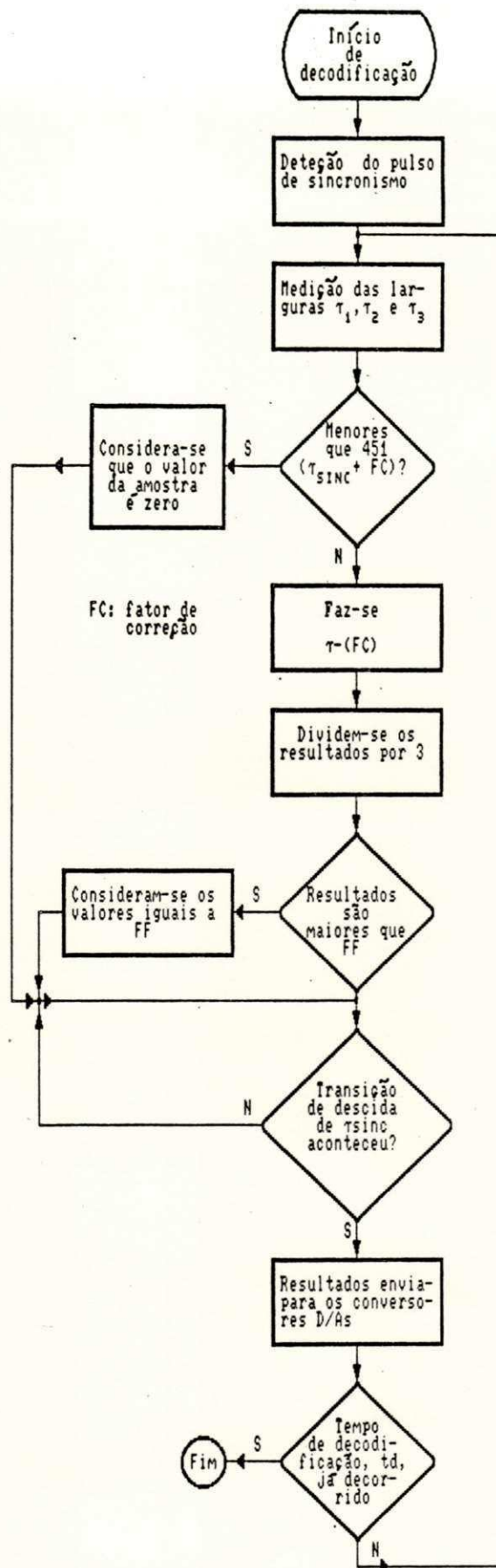


Figura 3.15 - Fluxograma seguido na decodificação dos sinais na UL

normal do sistema, da seguinte maneira: além de serem transmitidos os pulsos correspondentes às grandezas medidas, transmite-se um pulso de largura fixa como informação de calibração. Dessa forma, antes de ser iniciada a decodificação na UL, mede-se a largura desse pulso durante um número de vezes previamente especificado e encontra-se a média aritmética, por exemplo, dos valores obtidos. A diferença entre essa média e a largura especificada na UR representa o fator de correção. Embora esse procedimento de se calcular automaticamente o fator de correção seja possível com o microcontrolador, ele não foi implementado.

Na implementação da unidade remota de ambos os sistemas, foi utilizada a placa de desenvolvimento M68HC11-EVB (Evaluation Board), da Motorola [41], com o microcontrolador operando no modo multiplexado, em que existem barramentos de dados e de endereços.

Na implementação da unidade local, foi utilizada uma placa de desenvolvimento semelhante, diferindo apenas da placa da Motorola por incorporar um conversor D/A (AD7524) para recuperação dos sinais.

Nessas duas placas, o microcontrolador é operado no modo multiplexado, permitindo a depuração de todo o "software" dos sistemas. Uma vez que os programas estejam funcionando, é possível utilizar o microcontrolador no modo "bootstrap". Esse modo permite a execução de um programa residente na sua memória EEPROM a partir de um "reset". Como, nesse modo de operação, o

MC68HC11 não precisa de barramento de dados e de endereços, dispensam-se vários circuitos de interface externos, simplificando e tornando mais compacto o sistema de telemetria.

No sistema de telemetria unidirecional e no bidirecional, realizou-se uma codificação PWM, através da qual foram codificados sinais analógicos para a transmissão em enlace de rádio-freqüência. Em determinadas situações, deseja-se transmitir dados digitais. Exemplo comum é a transmissão do conteúdo de memória de computadores e de contagens de eventos. Para estes objetivos, o uso da codificação PWM ou de outra de natureza analógica pode ser impraticável ou não fornecer a precisão desejada. Considerando estes aspectos, foi realizada uma codificação digital para permitir ao sistema bidirecional a transmissão de dados digitais e também de sinais analógicos codificados digitalmente. Na implementação dos sistemas, usando essa codificação digital, empregou-se o "hardware" já discutido: o transmissor-modulador ASK, o receptor LM1872, o comparador LM311, o conversor D/A AD7524 e o microcontrolador MC68HC11. A seguir, descreve-se essa codificação.

3.5 - Codificação Digital Empregada no Sistema Bidirecional

O formato de representação dos dados para a codificação digital que se descreve é mostrado na fig 3.16, onde os bits "0" e "1", considerando a representação binária, são representados por duas larguras diferentes, por exemplo, uma largura τ para "0" e 2τ para "1". Esse formato é composto de 8 bits (b0-b7), onde o bit b7 é o mais significativo, um intervalo entre pulsos,

indicado por P, que pode ser usado para indicar um bit de paridade e um pulso de sincronismo, cuja largura deve ser maior que todas as outras e deve variar de modo a tornar o período da seqüência, t_F , constante. Portanto, vê-se que este formato foi o utilizado nos dois sistemas já descritos, com a diferença de que este contém também informação entre pulsos e as larguras são representadas apenas por dois valores, um para "0" e outro para "1". Considerando, ainda, os formatos com 5 e 6 pulsos (figura 3.5), nota-se que o número de bits pode ser aumentado.

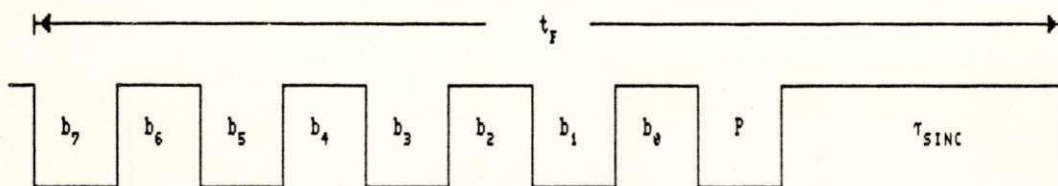


Figura 3.16 - Formato da codificação digital

Como exemplos, a figura 3.17 representa dois bytes (27 e A8), codificados segundo o formato da codificação que se descreve.

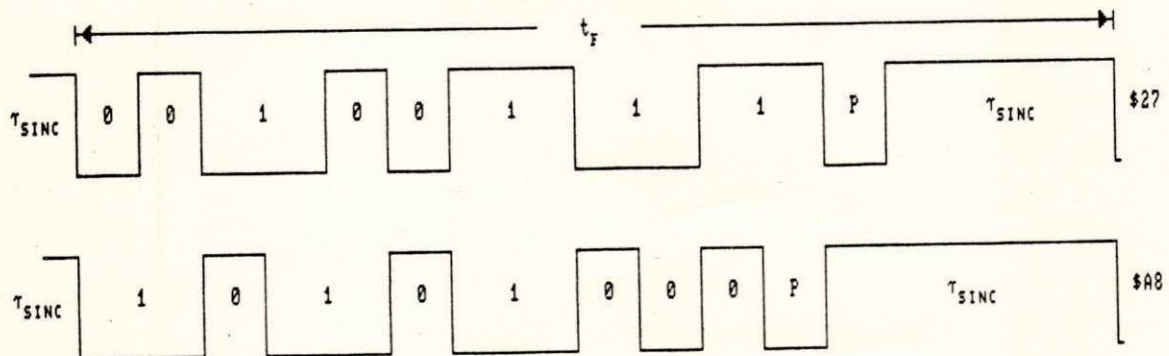


Figura 3.17 - Formato dos bytes \$27 e \$A8 codificados

Os elementos básicos de um sistema de telemetria que utiliza essa codificação podem ser mostrados na figura 3.18. No entanto, outros blocos funcionais podem ser adicionados, como gerador de paridade e circuitos corretores de erros. Na implementação dessa codificação, os blocos básicos utilizados, como o circuito de amostragem e o conversor A/D, foram os do microcontrolador. O programador do sistema, o gerador de sincronismo e o circuito de gatilhamento das larguras foram realizados através de "software" e do temporizador programável do microcontrolador. A seguir, descrevem-se os procedimentos dessa implementação.

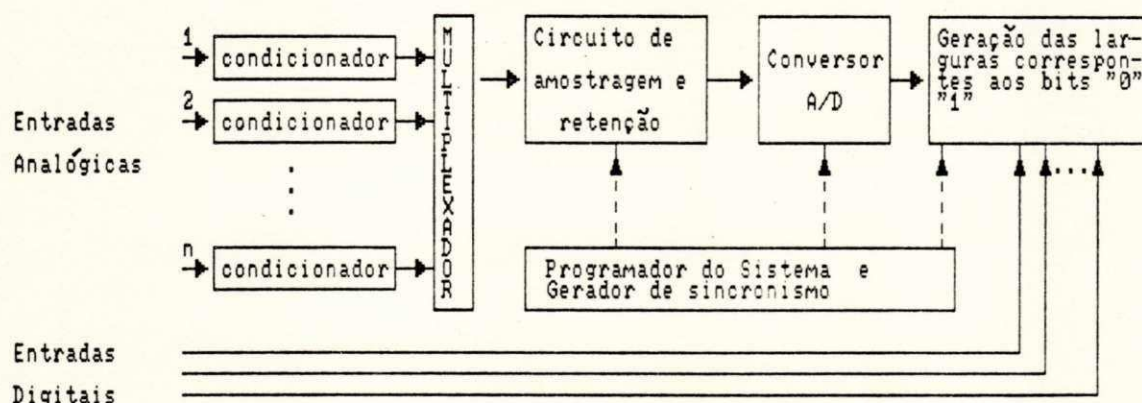


Figura 3.18 - Blocos funcionais do sistema de telemetria, utilizando a codificação digital

3.5.1 - Implementação da codificação digital

Como pode ser visto no diagrama da figura 3.18, as entradas permitem sinais analógicos e digitais. Quando analógicos, a codificação se inicia após a conversão A/D; quando digitais, eles já são enviados diretamente para o circuito de chaveamento das larguras. Para descrever a implementação dessa codificação digital, considera-se que o dado a ser codificado está numa posição de memória denominada INÍCIO. Para tal, segue-se o fluxograma da figura 3.19.

Observa-se, através do fluxograma da figura 3.19, que o dado a ser transmitido tem os seus bits testados. Para tal, faz-se uma operação "E" entre o dado a ser transmitido e o valor 80 (hexadecimal). Assim, está-se testando o bit b7 e, caso o resultado dessa operação seja 00, significa que o bit b7 é igual a "0" e, portanto, usa-se o temporizador como circuito de chaveamento de largura, para gerar a largura de 384 μ s (300) referente a "0". Caso contrário, o b7 é igual a "1", e gera-se a largura de 768 μ s (600). Analogamente, os outros bits são testados, tendo apenas que deslocar à direita um bit do valor 80 para cada bit que se testa. Quando, do valor 80, é obtido 01, significa que o bit b0 vai ser testado. Depois deste último teste, o temporizador deve gerar o pulso P, cuja largura pode representar um bit de paridade ou não. E, finalmente, gera-se o pulso de sincronismo, cuja largura é igual ao t_F menos a soma das larguras de todos os outros pulsos da seqüência.

A figura 3.20 mostra os passos seguidos na codificação

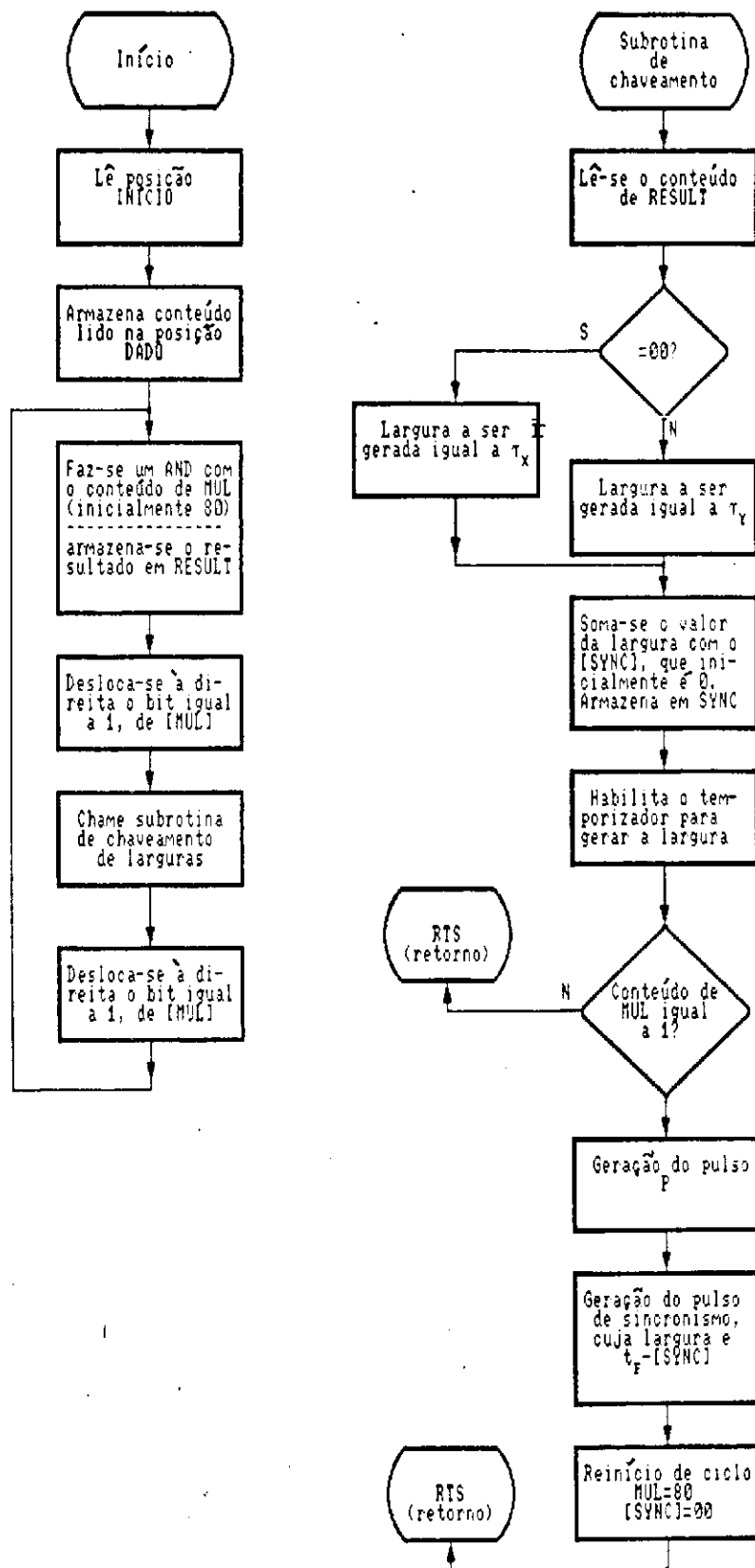


Figura 3.19 - Fluxograma seguido na codificação digital

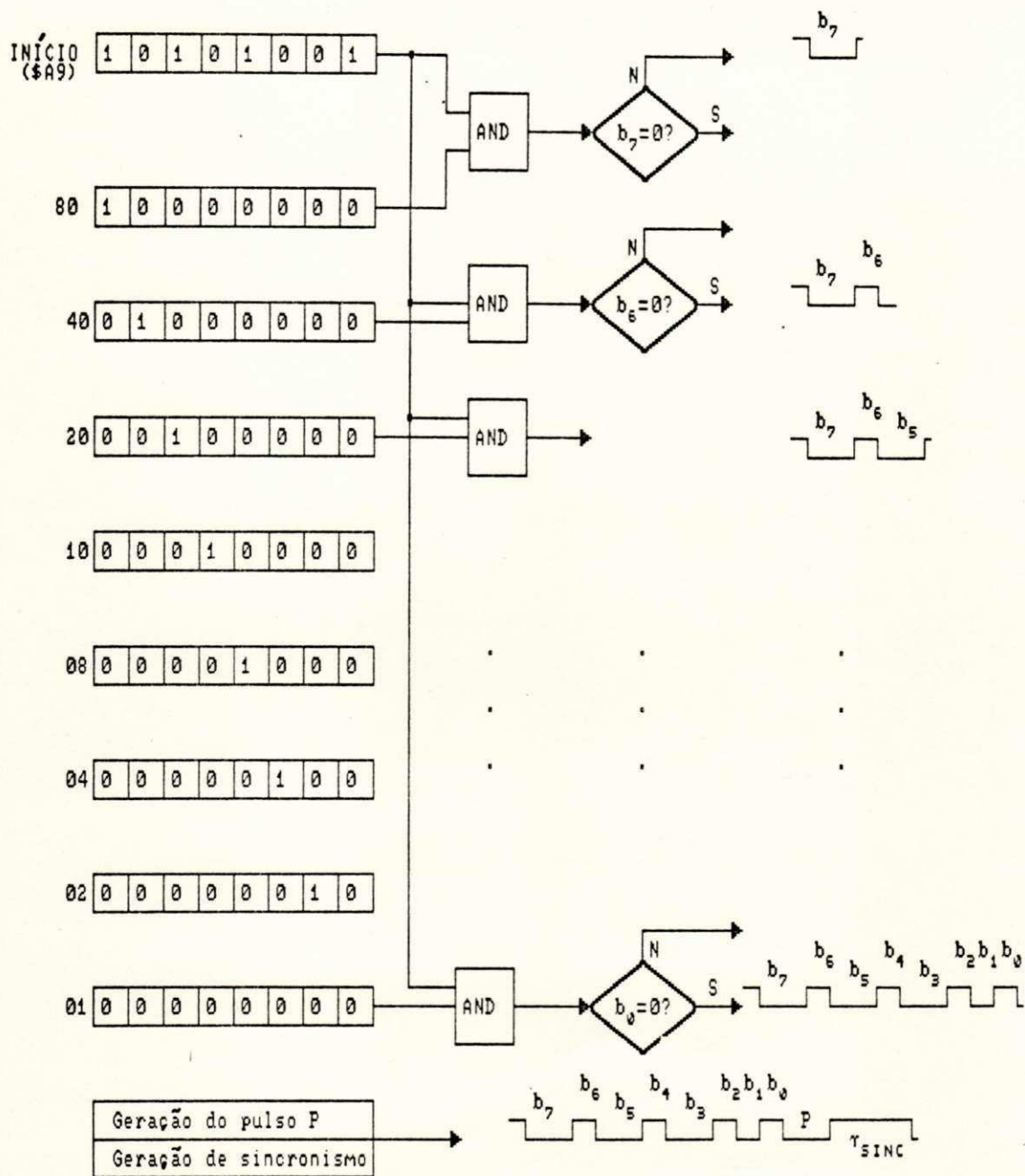


Figura 3.20 - Codificação digital do byte \$A9

de um dado igual a "A9". Os procedimentos para a decodificação de um dado, segundo esse formato, são mostrados a seguir.

3.5.2 - Decodificação dos dados digitais

A decodificação é acompanhada da medição das larguras dos pulsos e dos intervalos entre eles através do temporizador (ver anexo C). Inicialmente, mede-se a largura referente ao bit b7 e compara-se o valor obtido com os valores adotados durante a codificação, para detetar se a largura corresponde a um bit igual a "1" ou a "0". Após a medição da largura referente ao bit b7, medem-se as larguras subseqüentes.

Para registrar os bits e, portanto, o dado recebido, o fluxograma da figura 3.21 é estabelecido.

Considerando o fluxograma da figura 3.21, segue-se a decodificação do byte "A9" (figura 3.22).

Observe que, após serem registrados os 8 bits, a posição de memória denominada REC contém o dado decodificado. Caso novos dados tenham que ser decodificados, o ciclo é reiniciado.

3.5.3 - Incorporação da codificação digital ao sistema bidirecional.

No sistema bidirecional, a UL solicita informações de uma dada UR, enviando uma seqüência com um número de pulsos tal que a identifique. Com a estratégia de codificação digital, a seqüência de solicitação tem 4 pulsos e a informação da UR

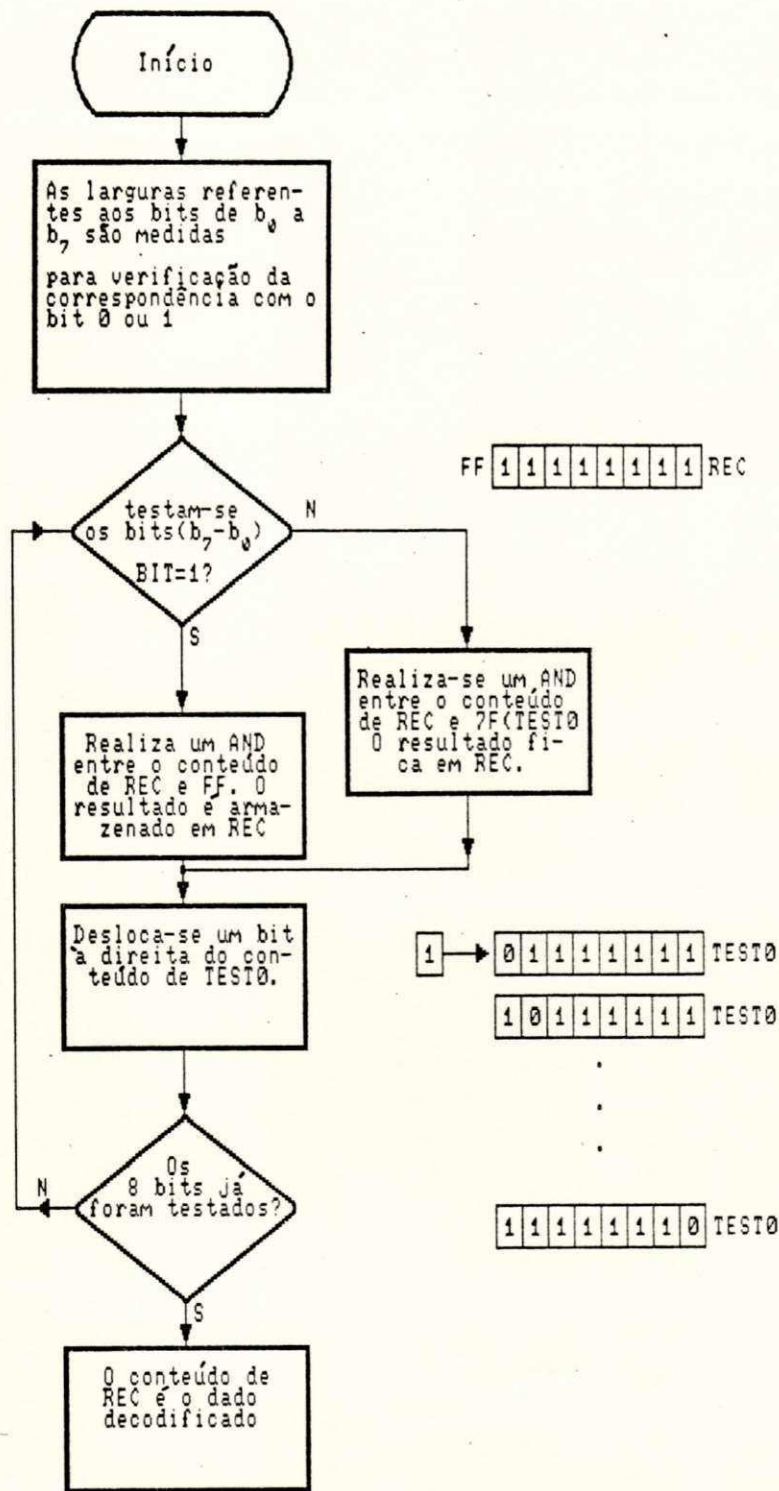


Figura 3.21 - Fluxograma seguido na decodificação digital

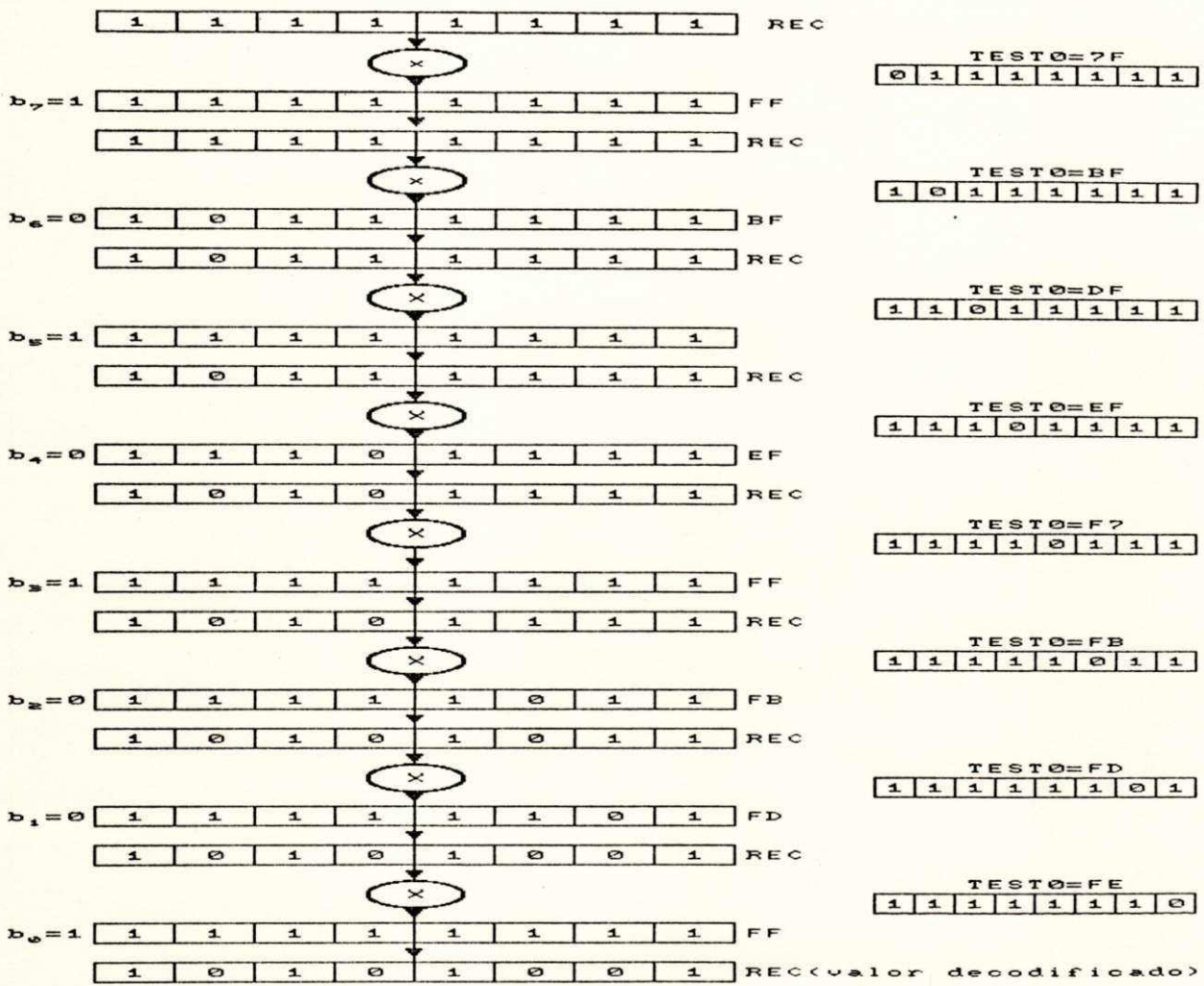


Figura 3.22 - Decodificação do byte \$A9

desejada durante uma solicitação estará codificada digitalmente, e, quando as URs receberem a solicitação, elas decodificam as informações recebidas, como descrito no item 3.5.2.

A estratégia de comunicação já implementada para o sistema bidirecional é mantida, acrescentando-se, porém, que a UL, além de solicitar informações de uma dada UR, deve também identificar a grandeza desejada. Dessa forma, a respectiva UR, ao identificar a solicitação, deve enviar, antes das medições codificadas das grandezas, o seu código identificador ($UR_0:00$, $UR_1:01$, $UR_2:02$ e $UR_3:03$) e o código da grandeza (01, 02 ou 03) que está sendo transmitida. Assim, a UL compara se as informações correspondem às solicitadas. Observa-se que, com uma seqüência de 4 pulsos e usando a codificação PWM, se representavam 4 grandezas. Agora, com a codificação digital, a seqüência de 4 pulsos representa apenas uma grandeza, porém é possível transmitir 4 grandezas com essa codificação. Mas, para ser mantida a mesma freqüência de amostragem ($1/t_F$), o período de cada seqüência deve ser diminuído para $t_F/4$, o que provavelmente vai aumentar a largura de faixa ocupada. Por esse motivo, optou-se por realizar a solicitação de apenas uma grandeza de cada vez.

Para descrever os formatos de solicitação, as 4 URs são identificadas pelos bytes 00, 01, 02 e 03 e as três grandezas, pelos bytes 01, 02 e 03. Um formato a ser analisado é mostrado na figura 3.23, onde a primeira seqüência de 8 bits representa o código da UR desejada e a segunda, também de 8 bits, representa o código da grandeza desejada.

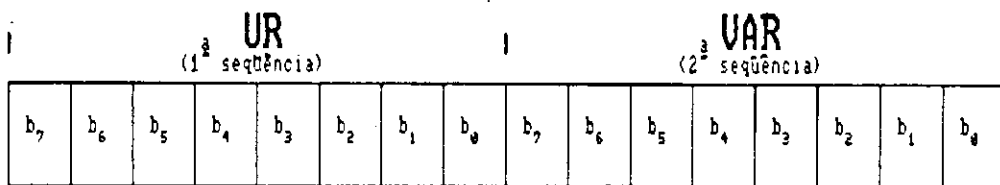


Figura 3.23 - Formato digital para a comunicação entre a UL e as URs

As unidades remotas ficam em estado de espera, aguardando a presença de portadora no ar, o que ainda é feito, medindo-se as larguras τ_a , τ_b , τ_c e τ_d (figura 3.1a). Dessa forma, o processo de detecção de portadora é realizado, no mínimo, em dois períodos de seqüência, t_F . Portanto, o formato da figura 3.23 só pode permitir a detecção de portadora, e a próxima tarefa, que seria a identificação da UR e da grandeza, ele não permite. Por isso, algumas seqüências adicionais representando a UR e a VAR devem ser incorporadas; no mínimo, mais duas. Mas, para dar mais confiabilidade ao processo de verificação, outras seqüências devem ser acrescentadas, por exemplo, 6 seqüências, como mostra a figura 3.24.

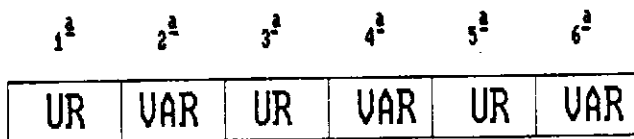


Figura 3.24 - Formato modificado de comunicação entre a UL e a UR

Supondo-se, agora, que a UR tenha decodificado os dois códigos, como identificar qual o da UR e qual o da grandeza (VAR)? Mesmo que tenham sido enviados na ordem UR-VAR, o primeiro a ser decodificado pode ter sido interpretado como sendo da VAR, pois os códigos identificadores têm valores comuns. Quando, por exemplo, acontecerem as solicitações com UR=02 e VAR=1, e com UR=01 e VAR=02, pode haver erro de identificação, ou seja, a UR₁ entender que a solicitação é dirigida a ela, quando, na realidade, se trata da VAR=1 da UR₂. Uma maneira de evitar isso é a identificação das URs com códigos diferentes dos códigos das grandezas, por exemplo, UR₀=04, UR₁=05, UR₂=06 e UR₃=07 e os códigos das grandezas continuariam a ser VAR₁=01, VAR₂=02 e VAR₃=03. Então, como os códigos identificadores são diferentes, as URs podem identificar quais a UR e a VAR solicitadas, mesmo que o código da VAR tenha sido o primeiro a ser decodificado. Portanto, observa-se que, embora cada seqüência tenha um pulso de sincronismo que permite a decodificação dos bits na ordem em que foram transmitidos, é necessário outro sincronismo para identificar, agora, a que se refere cada seqüência.

O formato adotado no sistema de telemetria bidirecional com a nova codificação é o mostrado na figura 3.25, embora outro já tenha sido citado. Essa escolha será justificada mais adiante.

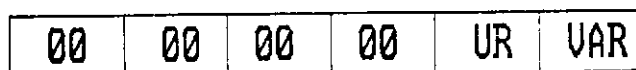


Figura 3.25 - Formato com o código 00 como sincronismo

Com esse formato, o sincronismo a nível de seqüência é o byte 00, ou seja, cada UR, depois de detetar a presença da portadora, passa a decodificar os dados, procurando obter o byte 00. Tão logo o obtenha, ela continua a decodificar o segundo, que identifica a VAR. Observa-se que os códigos identificadores da UR não podem conter 00; por isso, ao solicitar informações da UR₀, embora seja indicado 00, o programa ULBIDD, que monitora essa solicitação, se encarrega de adicionar "1" ao código da UR desejada antes de transmiti-lo. As URs, através do programa URBIDD, antes de fazerem a comparação com seus códigos identificadores, subtrai "1" do código recebido da UR. Este formato (figura 3.25) pode ser usado também durante a transmissão do código da UR, ao contrário do formato da figura 3.24 que não permite, pois depois que a UR confirma que há uma solicitação a ela dirigida, ela envia o seu código identificador e o código da VAR que lhe foi solicitada e, só então, as amostras da grandeza solicitada, pois a UL tem que identificar o código da UR que está enviando informações e o da grandeza solicitada, e conferir com os que foram solicitados. Dessa forma, os programas URBIDD e ULBIDD apresentam a mesma estrutura; daí, a justificativa pela escolha desse formato. Uma vez conferidos os códigos, a UL passa a decodificar as amostras referentes à grandeza solicitada. A figura 3.26 mostra esse formato.

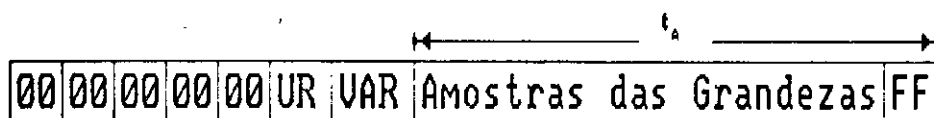


Figura 3.26 - Formato com os códigos de sincronismo 00 e FF

Observa-se que, tanto o formato da figura 3.25 como o da figura 3.26, são iniciados por uma série de cinco bytes 00, os quais estabelecem sincronismo a nível de seqüência. É claro que pode ser outro código, bem como a quantidade pode ser diminuída para 3, pois os dois primeiros não serão decodificados em função do processo de deteção da portadora, que é realizado, no mínimo, durante $2t_F$. Mas, quanto maior o número deles, menor a possibilidade de não serem decodificados e, portanto, de não garantir a identificação da UR da VAR e das amostras.

As amostras das grandezas são transmitidas durante um tempo predefinido, " t_A ", como registra a figura 3.26. A princípio, a escolha desse tempo está ligada ao período necessário ou desejado de aquisição na UR ou de decodificação na UL. Considerando a transmissão de apenas uma amostra, o tempo mínimo para transmiti-la é t_F , depois de serem transmitidos os códigos de sincronismo e de identificação. Portanto, um aspecto razoável quando da adoção do tempo de aquisição, " t_A ", é a escolha de um tempo múltiplo inteiro de t_F , já que fica definido o número de amostras a ser transmitido. Uma vez decorrido o tempo de aquisição, " t_A ", transmite-se o byte FF. Assim, a UR, durante a decodificação, passa também a verificar se o dado decodificado é FF; caso o seja, termina-se a decodificação. Vale salientar que não deve ser transmitido, como amostra de uma grandeza, o valor FF, para não ser interpretado como final de transmissão.

Utilizando esse formato, foram transmitidos sinais dc, sinais ac (ondas senoidais, triangulares e quadradas) da UR e recuperados na UL (no Anexo E, as formas de ondas transmitidas e

recebidas são mostradas) através do conversor D/A, com a mesma frequência com que eles foram amostrados. Vale ressaltar que, na configuração em que se encontra o D/A, os sinais recuperados ficam invertidos.

Ao contrário da codificação anterior, a resolução do sistema bidirecional com essa codificação é a do próprio conversor A/D (8 bits), considerando que não haja nenhum erro de decodificação de bit. Observa-se que, mesmo com essa codificação, foram observadas diferenças entre as larguras transmitidas e as recebidas, porém o processo de decodificação não consiste em determinar exatamente a largura transmitida, mas apenas em compará-la com limites para registrar, em seguida, se corresponde a um bit "0" ou a um bit "1".

Até agora, usou-se apenas a codificação de sinais analógicos, porém foi realizada também a transmissão de uma tabela de dados digitais. Para tal, considerou-se que a UR₁ já aguardava a recepção dela, tentando encontrar o byte "00", o qual estabeleceu o início da tabela. Dessa forma, na UR já estava determinada a posição de memória, a partir da qual a tabela recebida seria armazenada. Na UL, a tabela foi carregada a partir de uma posição escolhida. Ao final da transmissão da tabela, transmitiu-se o byte FF, o qual, durante a recepção numa UR, estabeleceu o fim de recepção. Essa tabela pode representar os códigos de instruções de um programa, o que permite a programação das URs à distância. Dessa forma, foram transmitidos os códigos de instrução referentes ao programa mostrado na figura 3.27.

```

C800 B61008 LDAA #1008
C803 48 LSLA
C804 48 LSLA
C805 CE2106 LDX #2106
C808 3A ABX
C80A 8403 ANDA #03
C80B 3F SWI

```

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 00 | 00 | B6 | 10 | 08 | 08 | CE | 21 | 06 | 3A | 04 | 03 | FF |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Figura 3.27 - Códigos de instruções do programa transmitido

Observa-se que o byte 00 não pode ser transmitido como código de instrução de um programa ou como amostra de um sinal logo após a transmissão dos bytes "00" de sincronismo, pois, na UL, só se inicia a recepção das amostras ou dos códigos, quando se encontra um valor diferente do byte 00 e, analogamente, se for transmitido o byte FF, considera-se final de recepção. Portanto, o byte FF não pode ser transmitido como código de instrução ou como amostra.

Os códigos de instruções do programa (figura 3.27) foram transmitidos durante 20 vezes e, em todas elas, eles foram recebidos corretamente.

Para possibilitar a transmissão dos bytes 00 e FF como sincronismo e dado, pode realizar-se uma codificação em 9 bits, onde o bit mais significativo seria "1", quando fosse para indicar sincronismo, ou seja, início e final de transmissão e identificação da UR e da grandeza. E sempre zero, quando se tratar das amostras dos dados ou códigos de instruções. Dessa forma, o byte FF, como dado, ficaria "0FF" e, como sincronismo de

final, ficaria "1FF". Embora não tenha sido implementada a codificação em 9 bits, é possível realizá-la com a mesma seqüência de 4 pulsos (figura 3.26), codificando, agora, no intervalo entre pulsos, denominado de P, o bit b0.

Para realizar a operação do sistema de telemetria bidirecional usando a codificação digital que se descreveu, segundo os formatos de comunicação das figuras 3.25 e 3.26, com cada dado codificado em 8 bits, foram implementados dois programas, o URBIDD, na UR, e o ULBIDD, na UL, os quais se encontram listados no Anexo E.

Apresentou-se, neste Capítulo, um sistema de telemetria bidirecional, composto de uma unidade local e de 4 unidades remotas. A implementação dessas unidades foi baseada, sobretudo, no microcontrolador 68HC11, no circuito integrado receptor LM1872, no conversor D/A 7524. Através desse sistema é possível transmitir sinais analógicos e digitais por meio de enlace em rádio-freqüência; para tal, realizam-se a codificação PWM ou a codificação digital apresentada.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram mostrados os principais aspectos envolvidos num projeto de um sistema de telemetria. A inclusão de circuito inteligente, a configuração bidirecional e a codificação foram abordadas enfaticamente.

A abordagem desses vários aspectos foi facilitada pelo projeto e implementação de dois sistemas de telemetria: o primeiro, baseado numa configuração unidirecional, e o segundo, numa bidirecional.

A implementação dos dois sistemas foi realizada basicamente com um transmissor-modulador ASK, com o circuito integrado receptor LM1872, com o comparador LM311, com o conversor D/A 7524 e com o microcontrolador 68HC11.

O uso do microcontrolador simplificou a implementação e permitiu a programação por "software" dos vários blocos funcionais dos sistemas. E isto foi importante para a realização deste trabalho, visto que, embora já se desejasse a implementação do sistema de telemetria bidirecional, não foram definidas

rigidamente as aplicações a que ele se destinaria, nem determinadas características que ele deveria incorporar, como, por exemplo: frequência máxima de amostragem, número de canais, resolução dos conversores, etc. Dessa forma, partiu-se para o projeto e a implementação do sistema, fazendo-se escolhas por determinadas características de maneira gradativa e baseadas, sobretudo, na simplicidade dos circuitos, na disponibilidade de componentes e na obtenção de versatilidade para aplicações diversas.

Duas codificações foram realizadas com o microcontrolador: uma de natureza analógica (PWM) e outra digital. Na codificação das larguras dos pulsos, considerando as seqüências com um número de 3 a 6 pulsos (figura 3.5), podem ser codificadas de 3 a 6 grandezas. Utilizando também a modulação em intervalo entre pulsos, esse número pode ser aumentado para 13 grandezas, considerando a seqüência com 6 pulsos. Vale ressaltar, entretanto, que o multiplexador analógico do microcontrolador só possui 8 canais de entradas.

A codificação digital foi implementada e incorporada ao sistema bidirecional com nenhuma modificação no "hardware" já disponível. Utilizaram-se apenas recursos do temporizador programável do microcontrolador através de "software". Com a incorporação dela ao sistema bidirecional, a solicitação de informações de uma dada UR foi realizada transmitindo-se um código de 8 bits para identificá-la. Com 8 bits, são possíveis 256 combinações diferentes e, assim, eliminando duas combinações para sincronismo, permitem-se 254 unidades remotas. Essa

codificação tornou o sistema de telemetria mais versátil, na medida em que lhe permitiu a transmissão de sinais analógicos e digitais, o armazenamento de dados mais facilmente, a compatibilidade com outros sistemas que tenham entradas digitais e a possibilidade de programação do próprio sistema à distância, utilizando os códigos de instruções permitidos pelo microcontrolador.

Embora não tenham sido realizadas aplicações distintas com esse sistema, as características que lhe são incorporadas o tornam versátil e flexível para permitir diferentes aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Kulkaini, V. P. (1983), "Telemetry in Space Technology", J. Instn. Electronics & Telecom. Engrs., vol. 29, no. 8.
- 2 Ramana, D. V., Shamanna, K., Sessaiah, R. and Shetty, K. N., (1983), "Telemetry, Tracking and Command System", Journal of Aero. Soc. of India, vol. 35, no. 3-4.
- 3 Morgera, S. D., Reuben, K. A. and Cole, C. (1986), "A Microprocessor-Based Acoustic Telemetry System for Tide Measurement", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. OE-11, no. 1, January".
- 4 Gruenberg, E. L., (1967), Handbook of Telemetry and Remote Control, capítulo 2, pp. 1-5.
- 5 Jeutter, D. C., (1982), "Biomedical Telemetry Techniques", CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering, pp. 121-174, February.
- 6 Freire, R. C. S. e Deep, G. S., "Sensor Telemétrico Tridimensional de Força de Preensão", Revista Brasileira de Engenharia, Vol. 6, n°2, 1989, pp. 619-627.
- 7 Freire, R. C. S., Muhler, S. S., Andre, J. M., Hean, C. C., Demorise, J. C., Abignoli, M. and Yvroud, E., (1987), "A Telemetry System to Study the Gait of Handicaped People", Actas del III Symposium International de Ingenieria Biomedica", Madrid, 7-9 Octubre, pp. 747-749.
- 8 Atkinson, J. R., Shurtleff, D. B. and Foltz, E. L. (1967), "Radio Telemetry for the Measurement of Intracranial Pressure", J. Neurosurg., 27, pp. 428-432.
- 9 Klein, F. F. and Davis D. A., (1976), "A Low-Powered 4-Channel Physiological Radio Telemetry System for Use in Surgical Patient Monitoring", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-23, no. 6.

- 10 Beerwinkle, K. R. and Burch, J. J., "A Low-Power Combination Electrocardiogram-Respiration Telemetry Transmitter", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-23, no. 6.
- 11 Zweizig, J. R., Kado, R. T., Hanley, J. and Adey, W. R., 1967, "The Design and Use of an FM/AM Radiotelemetry System for Multichannel Recording of Biological Data", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-14, no. 4, October.
- 12 Deutsch, S., (1976), "A 15-Electrode Totally Implanted Time-Multiplex Telemetry Unit", IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-24, no. 10, October.
- 13 Riley, J. L., (1979), "A Digital Frequency-to-Temperature Converter For Use in Radio Telemetry Systems in Which Temperature is Transmitted Proportional to a Subcarrier Frequency", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-26, no. 11, November.
- 14 Barnea, O. and Deutsch, S., (1986), "Telemetry System for Stimulation and Monitoring of Freely Moving Patients", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-33, no. 3, March.
- 15 Jeutter, D. C., (1983), "Overview of Biomedical Telemetry Techniques", Engineering in Medicine and Biology Magazine, March, pp. 17-24.
- 16 Deutsch, S., (1976), "Fifteen-Electrode Time-Multiplex EEG Telemetry from Ambulatory Patients", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-26, no. 3, March.
- 17 Freire, R. C. S., (1988), Conception de Procédés de Télémétrie: Application aux Capteurs de Micro-Deformations Utilisés dans les Domaines Industriels et Biomédicaux, Tese de Doutorado, INPL, França.
- 18 Lima, R. N., Freire, R. C. S. e Deep, G. S., (1990), "Sistema de Telemetria Bidirecional com Aplicações em Biomédica", Revista Brasileira de Engenharia, Vol. 7, nº1.
- 19 Lin, W. C. and Pillay, S. K., (1974), "A Micropower Pulsewidth Modulation-Pulse Position Modulation Two-Channel Telemetry System for Biomedical Applications", IEEE

Transactions on Biomedical Engineering, Vol.BME-21, no. 4, July.

- 20 Wertz, R., Maeda, G. and Willey, T. J., (1976), "Design for a Micropowered Multichannel PAM/FM Biotelemetry System for Brain Research", Journal of Applied Physiology, Vol. 41, no. 5, November.
- 21 Fryer, T. B. and Westbrook, R. M., (1974), "A Multichannel Biotelemetry Transmitter Utilizing a PCM Subcarrier", Biotelemetry Patient Monitg, Proc. of The 2nd International Symposium on Biotelemetry, Davos, Switzerland, pp. 202-204, May.
- 22 Nose, Y., Nakamura, M., Inove, T., Nakagaki, O., Watanabe, Y., (1980), "Evaluation of Telephone Transmission for Computer Electrocardiographic Interpretation in Japan", Med. & Biol. Eng. & Comput., 18, pp. 727-730.
- 23 Podszeck, H.-K., Carrier Communication Over Power Lines, (1972), Germany, Spring-Verlag.
- 24 Roy, O. Z. and Hart, J. S., (1966), "A Multi-Channel Transmitter for The Physiological Study of Birds in Flight", Med. & Biol. Engng., Vol. 4, pp. 457-466.
- 25 Vukadin, Predag and Hudec, (1991), "Acoustic Telemetry System For Underwater Control", IEEE Journal of Oceanic Enginnering, vol. 16, no. 1, January, pp. 142-145.
- 26 Takahashi, M. and Pollak V., (1985), "Near Infra-Red Telemetry System", Med. & Biol. Eng. & Comput., Vol-23, pp. 387-397, July.
- 27 Kimmich, H. P., (1982), "Biotelemetry Based on Optical Transmission", Biotelemetry Patient Monitg., 9, pp:129-143.
- 28 Weller, C., (1985), "Modulation Scheme Suitable For Infra-Red Biotelemetry", Electronic Letters, Vol. 21, July, no. 14, pp. 601-602.
- 29 Conrad, D. A., Yon, E. T. and Ko, W. H., (1972), "A Micropower Monolithic Transmitter for Single or Multichannel Biomedical Telemetry", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-7, no. 2, April.

- 30 Freire, R. C. S., Muhlen, S. S., Demorise, J. C., Abignoli, M. and Yvroud, E., "Network of Telecontrolled Cars to Teach Traffic Rules to Children", 7º Congresso Brasileiro de Automática, ITA - São José dos Campos.
- 31 Freire, R. C. S., Muhlen, S. S., Demorise, J. C., Abgnoli, M. and Yvroud, (1988), "Telemetry System Controlled by a Single-Chip Microprocessor", The 2nd International Conference on Electrical Drives, Poiana Brasov-Romania.
- 32 Gill, R. W., (1976), "Microtelemetry - The Use of Integrated Circuits in Biotelemetry", Biomedical Engineering, February, pp. 43-45.
- 33 Fryer, T. B., "Survey of Implantable Telemetry", (1981), Biotelemetry Monitoring, 8, pp. 125-130.
- 34 National Linear Databook, (1984).
- 35 Ciarcia, S., "Why Microcontrollers?", (1988), Byte, August, pp. 239-247.
- 36 Vaglica, J. J. and Gilmour, P. S., (1990), "How to Select a Microcontroller", IEEE Spectrum, November, pp. 106-109.
- 37 Gilmour, P. S., "How to Select Tools for Microcontroller Software", (1991), IEEE SPECTRUM, February, pp. 37-39.
- 38 Motorola, (1988), MC68HC11A8 HCMOS Single-Chip Microcontroller, Motorola Semiconductor Technical Data-Advance Information.
- 39 Sibigtroth, J. M., (1984), "Motorola's MC68HC11: Definition and Design of a VLSI Microprocessor", IEEE Micro, February, pp. 54-65.
- 40 Analog Devices, "CMOS 8-Bit Buffered Multiplying DAC, 7524, Digital-to-Analog Converters", Vol I, 9-171.
- 41 Motorola, M68HC11 EVB Evaluation Board User's Manual, (1986).
- 42 Lathi, (1979), Sistemas de Comunicação, Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, Capítulos 4 e 7.

ANEXO A

Estrutura Interna do MC68HC11

Diagrama Elétrico de um Receptor com o LM1872

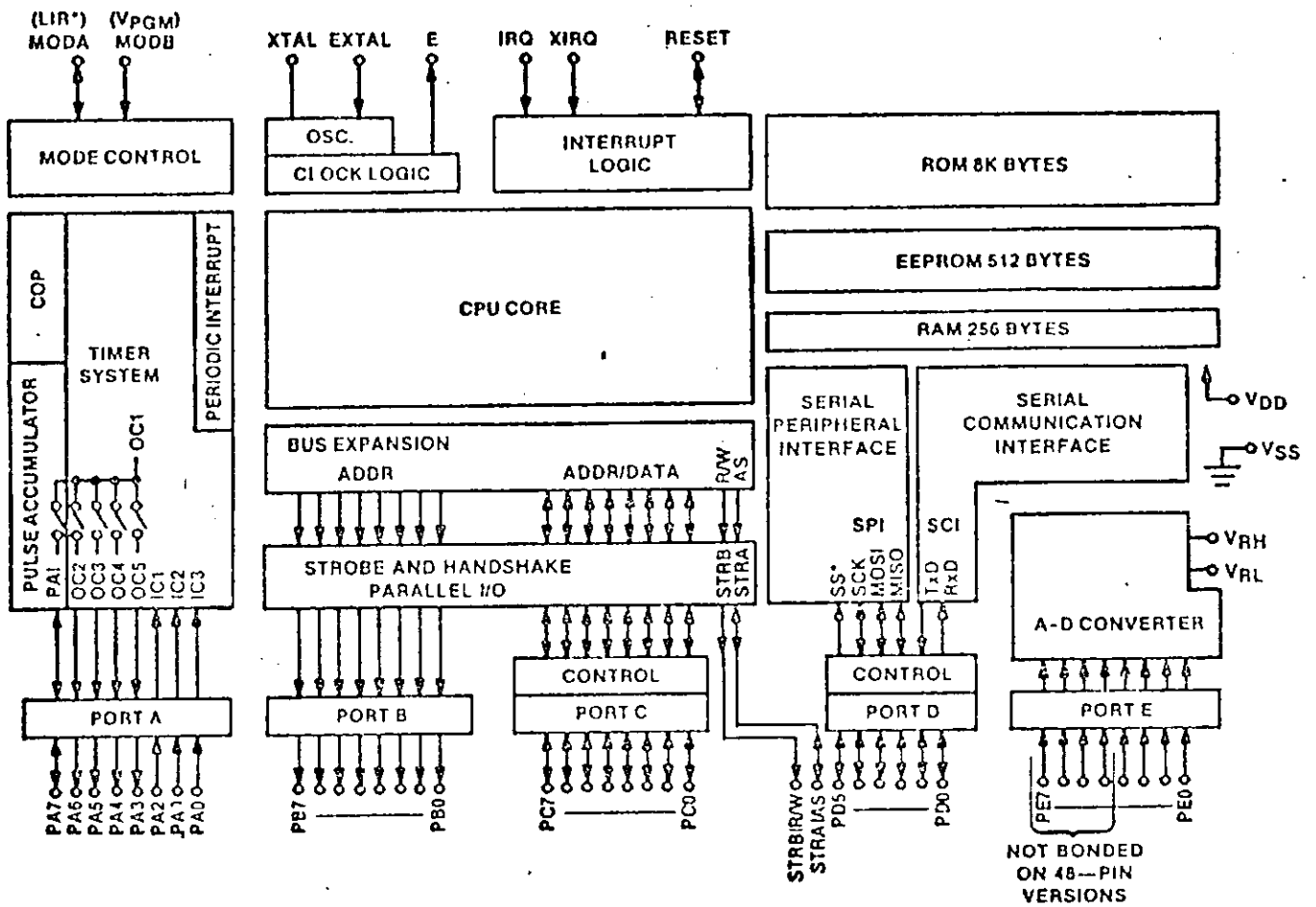


Figura A.1 - Estrutura interna do MC68HC11A8

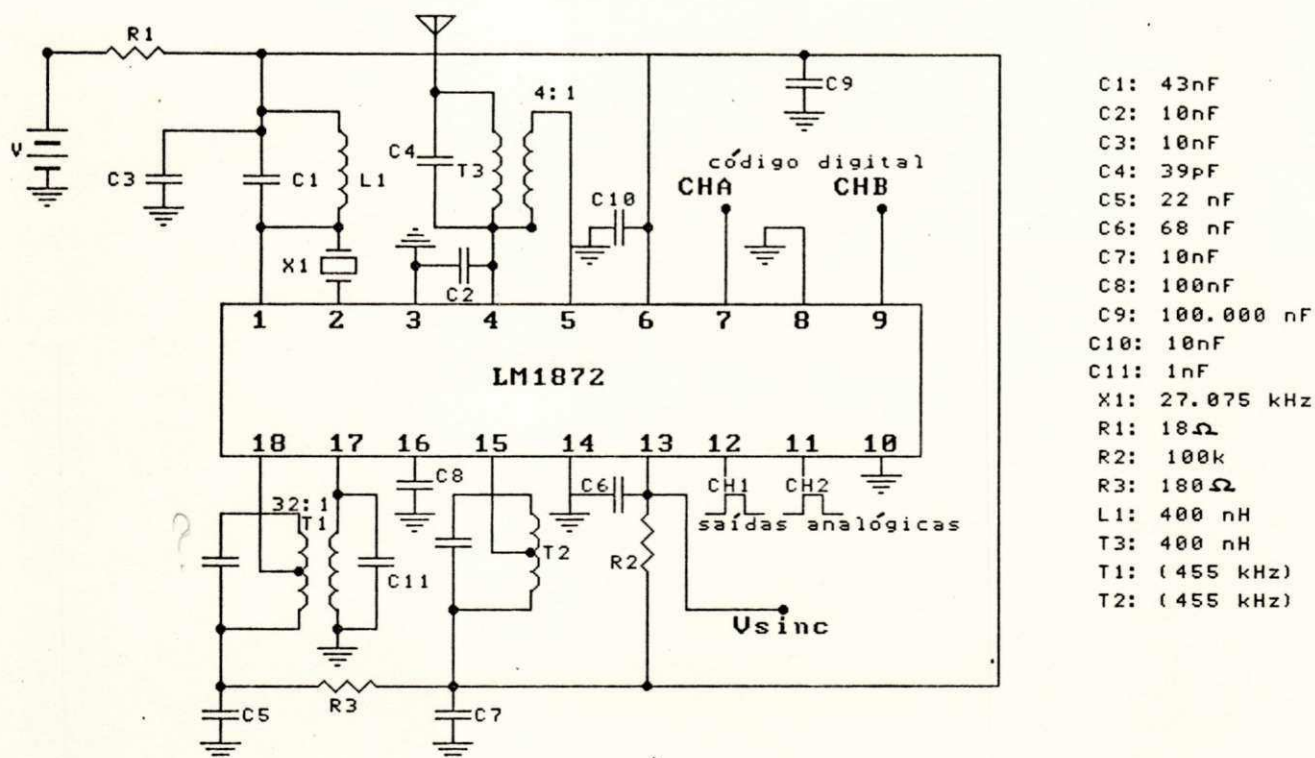


Figura A.2 - Circuito elétrico do receptor com o LM1872

ANEXO B

**MODULAÇÃO EM LARGURA DE PULSOS
(PWM)**

MODULAÇÃO EM LARGURA DE PULSOS

A modulação em largura de pulsos (PWM) consiste em variar a largura dos pulsos de uma portadora proporcionalmente à amplitude de um sinal modulante. A forma mais simples de realizá-la é a modulação de apenas um sinal modulante, como mostrada na figura B.1.

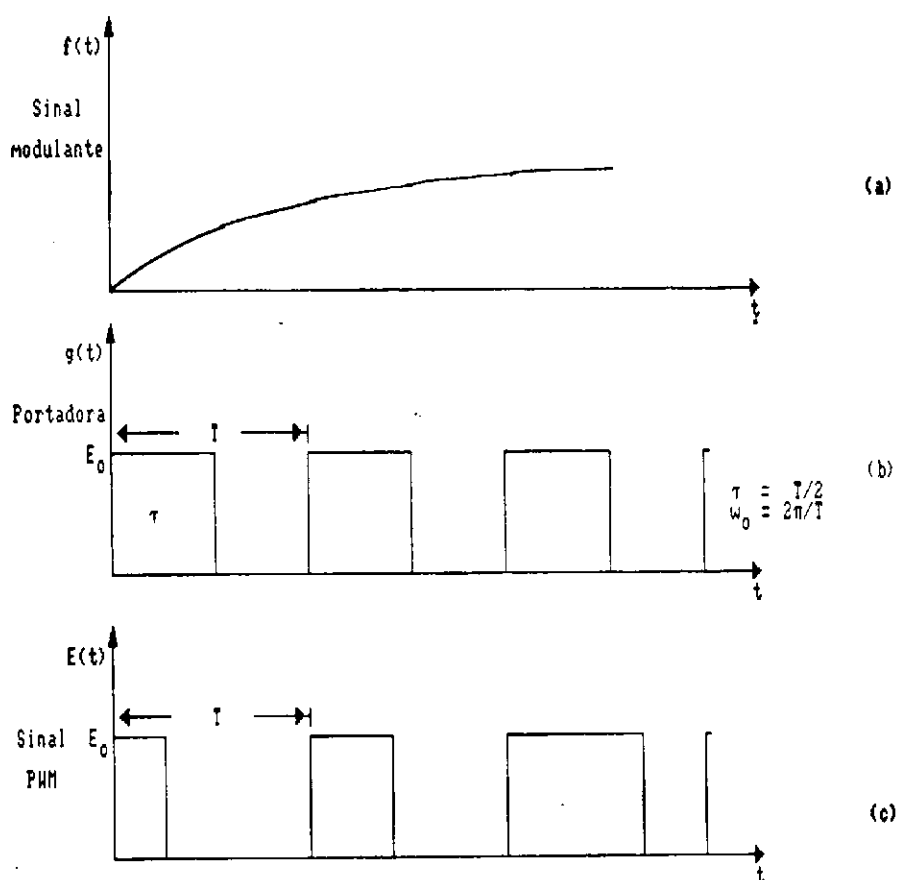


Figura B.1 - Modulação PWM, utilizando apenas um sinal modulante

A expressão de um trem de pulsos, como o mostrado na figura B.1b, é dada por [42]:

$$g(t) = \frac{E_0 \tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right) e^{jn\omega_0 t} \quad (\text{B.1})$$

A expressão de um trem de pulsos modulados em largura, figura B.1c, é dada por [17]:

$$E(t) = \frac{E_0 \tau(t)}{T} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\text{sen} \frac{n \omega_0 \tau(t)}{2}}{n \omega_0 \tau(t)} \cos(n \omega_0 t) \right] \quad (\text{B.2})$$

onde E_0 é a amplitude e $T=2\pi/\omega_0$ é o período da portadora e $\tau(t)$ representa a largura dos pulsos.

Considere-se que $\tau(t) = \tau_0(1 + m_{\text{pwm}} \cos \omega t)$, onde τ_0 é o valor médio de $\tau(t)$, m_{pwm} é o índice de modulação e ω , a frequência do sinal modulante. Substituindo esta expressão na equação B.2, obtém-se:

$$E(t) = \frac{E_0 \tau_0}{T} + \frac{E_0 \tau_0}{T} m_{\text{pwm}} \cos \omega t + \\ + \frac{2 E_0 \tau_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \text{sen} \left[\frac{1}{2} n \omega_0 \tau_0 (1 + m_{\text{pwm}} \cos \omega t) \right] \cos(n \omega_0 t) \quad (\text{B.3})$$

O espectro de uma seqüência modulada em largura de pulsos (figura B.2) é dado pelo desenvolvimento da expressão B.3 em funções de Bessel.

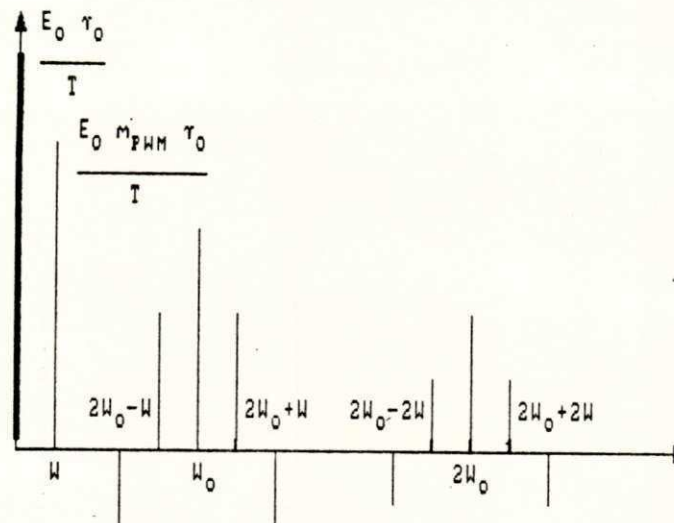


Figura B.2 - Espectro de um sinal modulado em PWM

O primeiro termo da expressão representa um nível dc, o terceiro um espectro em torno de ω_0 , $2\omega_0$, $3\omega_0$, ..., etc e o segundo é proporcional ao sinal modulante, podendo ser recuperado através de filtragem.

Com um sistema multi-canal, que é o caso dos sistemas descritos no Capítulo III, a modulação PWM pode ser realizada segundo alguns formatos, como, por exemplo, os mostrados nas figuras B.3 e B.4.

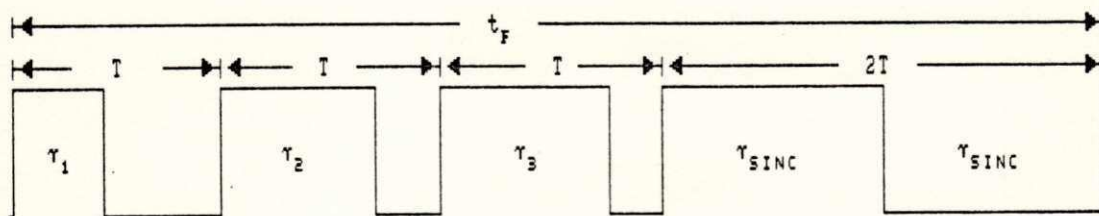


Figura B.3 - Formato de uma modulação PWM multi-canal

A seqüência da figura B.3 representa três sinais modulados em largura de pulsos. As larguras τ_1 , τ_2 e τ_3 são proporcionais a esses sinais. A largura de sincronismo, τ_s , é superior à máxima largura dos pulsos τ_1 , τ_2 e τ_3 para ser reconhecida como tal na recepção, proporcionando, assim, o reconhecimento dos sinais durante a decodificação. A largura entre pulsos varia de modo a manter o período, T , constante.

t_F é o período de amostragem e se refere a cada canal. Observe que ele é constante e igual a $6T$, no exemplo em questão.

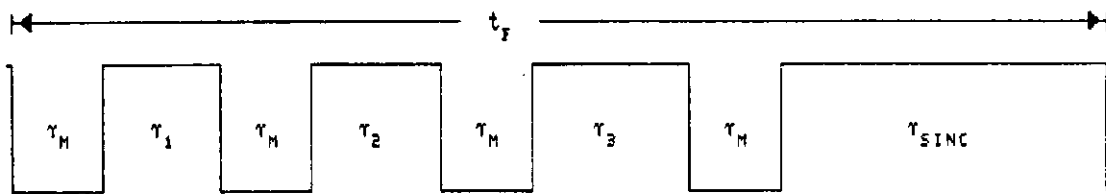


Figura B.4 - Formato de modulação PWM, adotado pelo LM1871

A seqüência da figura B.4 também representa três sinais modulados em largura, onde as larguras τ_1 , τ_2 e τ_3 são proporcionais a eles. A largura de sincronismo, τ_{SINC} , varia de modo a tornar t_F constante, sendo também maior que todas as outras larguras. O intervalo entre pulsos, ao contrário do caso anterior, possui uma largura fixa igual a τ_M , o que gera uma modulação residual de posição [17].

Este é o formato utilizado pelo LM1871 e é usado nos sistemas descritos no Capítulo III.

ANEXO C

Temporizador Programável do 68HC11

TEMPORIZADOR PROGRAMÁVEL MC68HC11

O temporizador programável do microcontrolador 68HC11 tem um contador de 16 bits, cujo relógio opera na frequência de 2 MHz, havendo, porém, a possibilidade de dividi-la por 4, 6 ou 16.

Ele possui funções de entradas que são chamadas de entradas de captura. Elas podem ser programadas para realizar contagens de eventos, por exemplo, medição de largura de pulsos, a partir de transições detetadas nas linhas de entradas IC1, IC2 e IC3 (figura C.1).

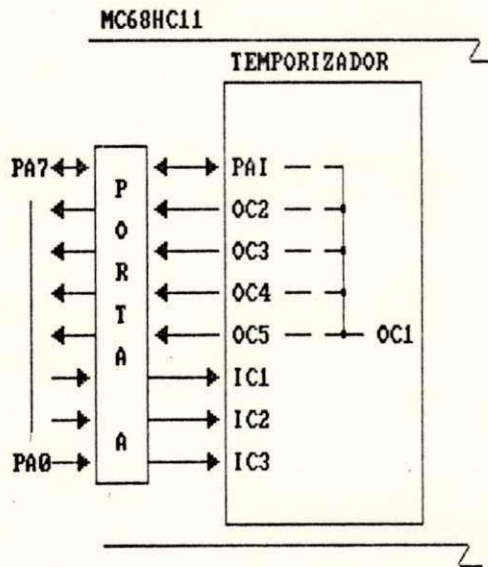


Figura C.1 - Diagrama de blocos do temporizador do 68HC11

As funções de saídas, chamadas de saídas de comparação, podem realizar ações quando há uma igualdade entre a contagem armazenada num registrador associado a uma saída de comparação (TOC1, por exemplo) e a do contador geral do temporizador (TCNT). Essas ações acontecem nas linhas de saída, OC1, OC2, OC3, OC4 e OC5, associadas com a porta A. Exemplo de uma ação pode ser a colocação de nível lógico 1 (5 volts) ou nível 0 (0 volt) durante um tempo predefinido, ou seja, a geração de pulsos.

O resultado da medição de largura de pulsos e a especificação de larguras a serem geradas, através desse temporizador, são expressas em número de períodos correspondentes à frequência sob a qual ele opera. Considerando uma frequência de 2 MHz, tem-se um período de 0,5 μ s. Portanto, caso se deseje gerar um pulso de largura de 200 μ s, o número com que os devidos registradores serão programados será \$190 (hexadecimal), que corresponde a 400 períodos. Da mesma forma, esse será o valor obtido durante a medição da largura desse pulso. Neste trabalho, qualquer valor referente à largura de pulsos está expresso em número de períodos em hexadecimal, exceto se indicado de outra forma.

Nos sistemas de telemetria descritos no Capítulo 2, o temporizador é utilizado para realizar a codificação PWM na unidade remota e a decodificação, na unidade local. Os procedimentos básicos para realizar essas tarefas são a geração de pulsos ou de seqüências de pulsos e a medição de larguras, os quais são descritos a seguir:

C.1 - Geração de Seqüência de Pulsos

Para gerar a seqüência de pulsos da figura C.2, podem ser escolhidas as funções OC1 e OC3. A ação de OC1 é programada através do registrador OC1M para acontecer em PA5 (saída da porta A) e a de OC3, pela própria estrutura do temporizador, já acontece em PA5.

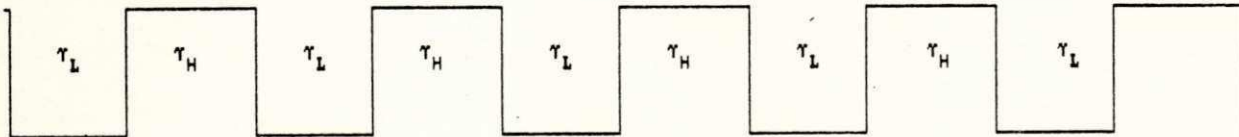


Figura C.2 - Seqüência de pulsos

A ação da função OC1 é programada para colocar nível lógico 1 (5 volts) e a de OC3, para zerar essa saída sempre que coincidirem as contagens armazenadas nos registradores associados a OC1 e a OC3 (TOC1 e TOC3) com a contagem armazenada no contador geral do temporizador (TCNT). Estas ações são programadas através dos registradores OC1D (output compare 1 data register) e TCTL1 (timer control register 1), respectivamente. A subrotina EXEMPLO realiza as tarefas anteriores.

```
EXEMPLO LDAA #$20
        STAA $100C * programando OC1M
        STAA $100D * programando OC1D
        STAA $1020 * programando TCTL1
```

Para iniciar-se a geração da seqüência da figura C.2, seguem-se os passos descritos nos comentários do seguinte programa :

| | | |
|--------|-------------|---------------------------------------|
| INICIO | LDAA \$1000 | * lê-se a porta A |
| | BITA #\$20 | * testa-se se a saída PA5 é zero |
| | BNE INICIO | |
| | LDD \$1000 | * lê-se TCNT |
| | ADDD #t1 | * adiciona-se t1 ao conteúdo de TCNT |
| | STD \$1016 | * armazena-se resultado em TOC1 |
| LOOP1 | LDAA \$1000 | * lê-se porta A para verificar se |
| | BITA #\$20 | * PA5 passou de 0 para 1 |
| | BEQ LOOP1 | |
| | LDD \$1016 | * o valor de TOC3 contém o valor |
| | ADDD #th | * do contador na mudança de transição |
| | STD \$101A | |
| | JMP INICIO | * reinício do ciclo |

Para a geração de outras seqüências, como seqüências com pulsos modulados em largura, devem ser acrescentadas outras instruções, no sentido de controlar a variação das larguras dos pulsos.

C.2 - Medição de Largura de Pulsos

Para realizar a medição de larguras de pulsos, utilizada no dois sistemas de telemetria que se apresentam para o processo de decodificação de dados e informações, deve-se detetar as transições associadas ao pulso cuja largura se deseja medir. Considere-se a a largura t_h do pulso da figura C.2. Para medi-la, os seguintes procedimentos devem ser adotados:

1 - escolha da função de entrada de captura a ser usada: IC1, IC2 ou IC3;

2 - programação do registrador TCTL2, de modo a detetar a transição de subida do pulso na entrada associada à função escolhida:

| | |
|------------|--|
| LDAA #\$01 | * escolhendo IC3 e programando transição |
| STAA TCTL2 | * de subida |

3 - armazenamento temporário, depois de detetada a transição de subida, do conteúdo do registrador TIC3 associado com o contador do temporizador:

```
LOOP1   LDAA PORTAA   *lendo porta A
        BITA #01     *testando PA0 que é correspondente a IC3
        BNE LOOP1   *testando primeiro se PA5 é zero
LOOP2   LDAA PORTAA
        BITA #01     *testando se aconteceu
        BEQ LOOP2   *a transição de subida
        LDD TIC3    *TIC3 contém a contagem durante a transição
        STD MEM     *armazena esse valor numa posição escolhida
```

4 - reprogramação do registrador TCTL2, de modo a detetar agora a transição de descida do pulso:

```
LDAA #02
STAA TCTL2
```

5 - deteção da transição de descida e subtração entre os conteúdos do registrador TCTL2 durante a transição de descida e de subida. Esse resultado representa a largura τ_h do pulso:

```
LOOP3   LDAA PORTAA
        BITA #01     * testando se aconteceu a transição de descida
        BNE LOOP3
        LDD TIC3    * TIC3 contém agora a contagem da descida
        SUBD MEM    * subtrai as duas contagens
        STD RESULT  * RESULT contém a largura  $\tau_h$  do pulso
```


ANEXO D

Programas:

ULUNI
URUNI
ULBIDA
URBIDA
ULBIDD
URBIDD

* -----
 * Programa ULUNI: realiza decodificação de sinais recebidos
 * de uma UR, segundo a configuração unidirecional
 * -----

```

ORG $C100
PORTAA EQU $1000
PORTAD EQU $1008
TFLG1 EQU $1023
TCTL2 EQU $1021
TIC2 EQU $1012
TIC3 EQU $1014
URX EQU $01 * Unidade remota 1
TOC1 EQU $1016
TOC3 EQU $101A * Valor ideal 900
VALORMN EQU $8B0
VALORMX EQU $C30
T EQU $5EC0 * 12 ms, tempo de frame
RESULT RMB 6
RESERVA RMB 4
TSYMN EQU $2710
TSYMX EQU $42C0
VLESS EQU $52B0
VHIGH EQU $5630
VMIN EQU $0700
VMAX EQU $0A90
CANAL EQU $2100 * canal 1
SALVA1 FDB *
SALVA2 FDB *
CONT FDB *
TEMP3 FDB *
RES FDB *
IND1 RMB 1
IND2 RMB 1

```

* -----

```

LDAA #URX * Estabelece-se o código de configuração da UR
LDAB #URX
LOOP17 CLR $100D
LDY #$7D0 * Tempo de verificação 20s
LDAA #$03
STAA RESERVA
LDAA #$01
STAA RESERVA+$1 * Verificação do END da UR
LDAA #$02
STAA RESERVA+$2
LDAA #$00
STAA RESERVA+$3

```

* -----

```

LDAA #$F3 * Programando direção da porta D
STAA $1009
LOOP7 LDAA #$04 * Programando IC2 subida
STAA TCTL2
LOOP8 LDAA $1000
BITA #$02
BNE LOOP8 * Testa se IC2 é 0
LOOP9 LDAA $1000

```

```

        BITA #$02
        BEQ LOOP9      * Testa se IC2 é 1
        LDD TIC2
        STD SALVA2
*-----
        LDAA #$08      * Programando IC2 para descida
        STAA TCTL2
LOOP10  LDAA $1000
        BITA #$02
        BNE LOOP10
        LDD TIC2
        STD SALVA1
        SUBD SALVA2
        STD SALVA2
        LDAA #$04      * IC2 subida
        STAA $1021
LOOP25  LDAA $1000
        BITA #$02
        BEQ LOOP25
        LDD TIC2
        SUBD SALVA1
        STD SALVA1
*-----
        LDD SALVA2
        CPD #VALORMN  * Estabelecer valor
        BLS LOOP15
        CPD #VALORMX
        BHS LOOP15
        LDD SALVA1
        CPD #VLESS
        BLS LOOP15
        CPD #VHIGH
        BLS LOOP13
LOOP15  DEY
        BNE LOOP20
LOOP20  SWI
        JMP LOOP7
*-----
LOOP13  LDAA PORTAD   * Teste através da porta D
        LSRA
        LSRA
        LDX #RESERVA
        ANDA #$03      * CHA-PD3 CHB-PD2
        CMPA URX,X     * Depende da UR configurada:00,01,02 OU 03
        BNE LOOP15
*-----
* INICIO DE DECODIFICACAO
*-----
        LDY #$1770     * Tempo de decodificação
        LDAA #$01
        STAA IND1
        STAA IND2
LOOP14  BSR ROT
        LDX #RESULT
        CPD #TSYMN

```

```

        BLS LOOP14
        CPD #TSYMX
        BHS LOOP14
LOOP6   CLR IND1
        BSR ROT
        CPD #VMIN
        BLS LOOP14
        CPD #VMAX
        BHS LOOP14
        STD 0,X
        CPX #RESULT+$4
        BEQ LOOP30
        INX
        INX
LOOP30  BRA LOOP6
        LDX #RESULT+0      * 0:CANAL1; 2:CANAL1 E 4:CANAL2
        LDD 0,X
        CPD #0750
        BHS LOOP4
        LDX #0000
        BRA LOOP40
LOOP4   SUBD #0750
        LDX #0003
        IDIV
        CPX #00FF
        BLS LOOP40
        LDX #FF
LOOP40  STX RES
        CLR IND2
        DEY
        BEQ LOOP80
        JMP LOOP14
LOOP80  CLR $A800
        SWI

```

```

*-----
ROT     LDAA #01      *IC3 SUBIDA
        STAA $1021
LOOP21  LDAA $1000
        BITA #01
        BNE LOOP21
        LDAA IND1
        BNE LOOP22
        LDAA IND2
        BNE LOOP22
        LDD RES
        STAB $A800
        LDAA #01
        STAA IND1
        STAA IND2
LOOP22  LDAA $1000
        BITA #01
        BEQ LOOP22
        LDD TIC3
        STD SALVA1
        LDAA #02      *IC3 DESCIDA

```

```
LOOP23    STAA $1021
          LDAA $1000
          BITA #$01
          BNE LOOP23
          LDD TIC3
          SUBD SALVA1
          RTS
```

*-----

```
END
```

```

*****
* Programa URUNI: realiza a aquisição, codificação PWM e transmissão de
* 3 variáveis
*****

```

```

TABELA          ORG $C101
URX             EQU $C800
LOCATE         RMB 1
POSITION       FDB *
AD             FDB *
MEM            FDB *
TFLG1         EQU $1023
PORTAD        EQU $1008
TCTL2         EQU $1021
TIC1          EQU $1010
TIC2          EQU $1012
LTM           EQU $300
T              EQU $5EC0

```

```

*****
* INICIO DA AQUISICAO E CODIFICACAO
*****

```

```

LOOP11         LDX #TABELA
               LDD #$1031
               STD AD
               LDAA #$20
               STAA $100C * determina a porta de saída PA5
               STAA $100D * determina a acao de saída 0/1
               STAA $1020 * determina a acao na saída PA5
               STX MEM    * guardando endereço de tabela

```

```

LOOP1          LDAA $1000 *testando saída porta A
               ANDA #$20
               BNE LOOP1  * testando se a saída caiu pra 0
               LDD $101A  * carregando D com conteúdo de o
               STD LOCATE * salvando conteúdo de OC3
               CPX #TABELA
               BNE LOOP3

```

```

*****
BSR CONVERT * subrotina de conversão
*****

```

```

LOOP3         LDD LOCATE
               ADDD #LTM  * largura entre intervalos
               STD $1016  * armazenando em OC1
               ADDD $00,X
               STD $101A  * armazena em OC3
               INX
               INX
               CPX #TABELA+$9 * 7:UR0,9:UR1,B:UR2,D:UR3
               BMI LOOP2
               LDX #TABELA

```

```

LOOP2         LDAA $1000
               BITA #$20  * testando se a saída subiu pra
               BEQ LOOP2
               BRA LOOP1

```

```

*****
CONVERT          LDAA #$10
                  STAA $1030
LOOP            TST $1030
                  BPL LOOP
                  CLR POSITION
                  CLR POSITION+$1
LOOP6          LDX AD      * AD contém end. 1031
                  LDAB 00,X
                  LDY #$600
                  ABY
                  ABY
                  ABY
                  LDX MEM    * MEM contém end. da tabela
                  STY 00,X
                  LDD POSITION  * Totalizando os três canais
                  ADDD 00,X
                  STD POSITION
                  INC MEM+$1
                  INC MEM+$1
                  INC AD+$1
                  LDX AD
                  CPX #$1034
                  BMI LOOP6
*****
LOOP23         LDAA #$01
                  STAA URX
                  LDX MEM
                  LDAA URX
                  BEQ LOOP20
                  LDD #LTM
                  STD 0,X
                  ADDD POSITION
                  STD POSITION
                  DEC URX
                  BEQ LOOP20
                  INC MEM+$1
                  INC MEM+$1
                  LDX MEM
                  BRA LOOP23
*****
LOOP20         LDD #$F00    * Deve ser modificado com a UR
                  ADDD POSITION
                  STD POSITION
                  LDD #T      * Cálculo do T sincronismo
                  SUBD POSITION
                  LDX #TABELA
                  STX MEM
                  STD $08,X    *06:UR0,08:UR1,0A:UR2,0C:UR3
                  LDD #$1031
                  STD AD
                  RTS
                  END

```

* -----
 * Programa ULBIDA: realiza solicitação e decodificação de sinais recebidos
 * de uma UR. A identificação da UR desejada é feita através do número de
 * pulsos transmitidos.
 * -----

| | | | |
|---------|-----|--------|-------------------------|
| | ORG | \$C100 | |
| PORTAA | EQU | \$1000 | |
| PORTAD | EQU | \$1008 | |
| TFLG1 | EQU | \$1023 | |
| TCTL2 | EQU | \$1021 | |
| TIC2 | EQU | \$1012 | |
| TIC3 | EQU | \$1014 | |
| URX | EQU | \$01 | * Unidade remota 1 |
| MEM | FDB | * | |
| TOC1 | EQU | \$1016 | |
| TOC3 | EQU | \$101A | |
| TALTO | EQU | \$3E8 | |
| TBAIXO | EQU | \$3E8 | |
| VALORMN | EQU | \$8B0 | * Valor ideal 900 |
| VALORMX | EQU | \$C30 | |
| T | EQU | \$5EC0 | * 12 ms, tempo de frame |
| RESULT | RMB | 6 | |
| RESERVA | RMB | 4 | |
| TSYMN | EQU | \$2710 | |
| TSYMX | EQU | \$42C0 | |
| VLESS | EQU | \$52B0 | |
| VHIGH | EQU | \$5630 | |
| VMIN | EQU | \$0700 | |
| VMAX | EQU | \$0A90 | |
| CANAL | EQU | \$2100 | * canal 1 |
| SALVA1 | FDB | * | |
| SALVA2 | FDB | * | |
| CONT | FDB | * | |
| LOCATE | FDB | * | |
| LOCAL | FDB | * | |
| TEMP3 | FDB | * | |
| RES | FDB | * | |
| IND1 | RMB | 1 | |
| IND2 | RMB | 1 | |

* -----
 LDAA #URX * Endereço da UR desejada
 LDAB #URX
 LSLA
 ADDA #\$09
 STAA LOCATE
 STAA LOCAL

* -----
 LDAA #\$20 * Programando o OC1
 STAA \$100C * Programando o temporizador
 STAA \$100D * OC1 coloca 1 em PA5
 LDAA #\$60
 STAA \$1020 * OC3 coloca 0 em PA5

* -----
 LDY #\$3E8 * Estabelece duração de solicitação
 LOOP3 CLR MEM

```

          CLR MEM+$1
* -----
LOOP1     LDAA PORTAA
          ANDA #$20    * Testando se a saída PA5 passou de 1 -0
          BNE LOOP1
* -----
          LDD TOC3
          ADDD #TBAIXO
          STD TOC1
          ADDD #TALTO
          STD TOC3
* -----
LOOP2     LDAA PORTAA
          BITA #$20    * Testando se PA5 passou de 0 pra 1
          BEQ LOOP2
* -----
          LDD MEM
          ADDD #TBAIXO
          ADDD #TALTO
          STD MEM
* -----
          DEC LOCATE
          DEC LOCATE
          LDAA LOCATE
          CMPA #$01
          BNE LOOP1
* -----
          LDD MEM
          SUBD #TALTO
          STD MEM
* -----
          LDD #T
          SUBD MEM
          ADDD TOC1
          STD TOC3
          LDAA LOCAL
          STAA LOCATE
*****
          DEY
          BEQ LOOP17
          BRA LOOP3    * Termina ciclo de solicitação
*-----N
*   Verificação da UR solicitada
*-----
LOOP17    CLR $100D
          LDY #$7D0    * Tempo de verificação 20s
          LDAA #$03
          STAA RESERVA
          LDAA #$01
          STAA RESERVA+$1 * Verificação do END da UR
          LDAA #$02
          STAA RESERVA+$2
          LDAA #$00
          STAA RESERVA+$3
*-----

```

```

LDAA #$F3 * Programando direção da porta D
STAA $1009
LOOP7 LDAA #$04 * Programando IC2 subida
STAA TCTL2
LOOP8 LDAA $1000
BITA #$02
BNE LOOP8 * Testa se IC2 é 0
LOOP9 LDAA $1000
BITA #$02
BEQ LOOP9 * Testa se IC2 é 1
LDD TIC2
STD SALVA2
*-----
LDAA #$08 * Programando IC2 para descida
STAA TCTL2
LOOP10 LDAA $1000
BITA #$02
BNE LOOP10
LDD TIC2
STD SALVA1
SUBD SALVA2
STD SALVA2
LDAA #$04 * IC2 subida
STAA $1021
LOOP25 LDAA $1000
BITA #$02
BEQ LOOP25
LDD TIC2
SUBD SALVA1
STD SALVA1
*-----
LDD SALVA2
CPD #VALORMN * Estabelecer valor
BLS LOOP15
CPD #VALORMX
BHS LOOP15
LDD SALVA1
CPD #VLESS
BLS LOOP15
CPD #VHIGH
BLS LOOP13
LOOP15 DEY
BNE LOOP20
SWI
LOOP20 JMP LOOP7
*-----
LOOP13 LDAA PORTAD * Teste através da porta D
LSRA
LSRA
LDX #RESERVA
ANDA #$03 * CHA-PD3 CHB-PD2
CMPA URX,X * Depende da UR solicitada:00,01,02 OU 03
BNE LOOP15
*-----
* INICIO DE DECODIFICACAO

```

```

*-----
LDY #\$1770      * Tempo de decodificação
LDAA #\$01
STAA IND1
STAA IND2
LOOP14  BSR ROT
LDX #RESULT
CPD #TSYMN
BLS LOOP14
CPD #TSYMX
BHS LOOP14
CLR IND1
LOOP6   BSR ROT
CPD #VMIN
BLS LOOP14
CPD #VMAX
BHS LOOP14
STD 0,X
CPX #RESULT+\$4
BEQ LOOP30
INX
INX
BRA LOOP6
LOOP30  LDX #RESULT+0      * 0:CANAL1; 2:CANAL1 E 4:CANAL2
LDD 0,X
CPD #\$0750
BHS LOOP4
LDX #\$0000
BRA LOOP40
LOOP4   SUBD #\$0750
LDX #\$0003
IDIV
CPX #\$00FF
BLS LOOP40
LDX #\$FF
LOOP40  STX RES
CLR IND2
DEY
BEQ LOOP80
JMP LOOP14
LOOP80  CLR \$A800
SWI
*-----

```

```

ROT     LDAA #\$01      *IC3 SUBIDA
STAA \$1021
LOOP21  LDAA \$1000
BITA #\$01
BNE LOOP21
LDAA IND1
BNE LOOP22
LDAA IND2
BNE LOOP22
LDD RES
STAB \$A800
LDAA #\$01

```

```
STAA IND1
STAA IND2
LOOP22 LDAA $1000
        BITA #$01
        BEQ LOOP22
        LDD TIC3
        STD SALVA1
        LDAA #$02 *IC3 DESCIDA
        STAA $1021
LOOP23 LDAA $1000
        BITA #$01
        BNE LOOP23
        LDD TIC3
        SUBD SALVA1
        RTS
```

*-----

END

 * Programa URBIDA: identifica uma dada solicitação e realiza a aquisição
 * codificação PWM e transmissão de 3 variáveis

```

TABELA          ORG $C101
SALVA           EQU $C800
FIM             RMB 8
URX            RMB 1
CONT           RMB 1
LOCATE         RMB 2
POSITION       FDB *
AD             FDB *
MEM            FDB *
TFLG1         EQU $1023
PORTAD        EQU $1008
TCTL2         EQU $1021
TIC1          EQU $1010
TIC2          EQU $1012
LTM           EQU $300
LIMSUP        EQU $8F0
T              EQU $5EC0
  
```

 * Detecção da presença da portadora

```

LDAA #$F3
STAA $1009 * Programando PD2 e PD3 como ent
LOOP19      LDAA #$01
            STAA FIM
  
```

```

*-----
LOOP7      CLRA * Zerando transmissão
            STAA $1000
  
```

```

*-----
LDAA #$10 * IC1 subida
STAA TCTL2
LOOP8      LDAA $1000 * Verificando conteúdo porta A
            BITA #$04
            BNE LOOP8 * Testando se IC1 é zero
LOOP9      LDAA $1000
            BITA #$04 * Testando se IC1 é um
            BEQ LOOP9
            LDD TIC1 * Salvando instante da subida
            STD SALVA
  
```

```

LOOP10     LDAA #$20 * IC1 descida
            STAA TCTL2
            BITA #$04
            BNE LOOP10
            LDD TIC1
            STD SALVA+$2
LDAA #$10 * IC1 subida
STAA TCTL2
LOOPX      LDAA $1000
            BITA #$04
            BEQ LOOPX
  
```

```

LDD TIC2
STD SALVA+$6
*****
* Início da comparação das larguras medidas com os limites especificados
*****
LDD SALVA+$2
SUBD SALVA
CPD #$7B0 * 7D0(3E8+3E8)
BLS LOOP17
CPD #LIMSUP
BLS LOOP12
LOOP17
LDAA FIM
BEQ LOOP13
JMP LOOP7
LOOP12
LDD SALVA+$6
SUBD SALVA+$2
CPD #$7B0
BLS LOOP18
CPD #LIMSUP
BLS LOOP15
LOOP18
LOOP15
JMP LOOP17
LDAA PORTAD
BITA #$0C * UR0=09,UR1=04,UR2=08 e UR3=00
CMPA #$04 * A=0 B=1
BNE LOOP18
CLR FIM
JMP LOOP7
*****
* INICIO DA AQUISICAO E CODIFICACAO
*****
LOOP13
LDY #$1F40 * ta,
STY CONT
LOOP11
LDX #TABELA
LDD #$1031
STD AD
LDAA #$20
STAA $100C * determina a porta de saída PA5
STAA $100D * determina a acao de saída 0/1
STAA $1020 * determina a acao na saída PA5
STX MEM * guardando endereço de tabela
*****
LOOP1
LDAA $1000 *testando saída porta A
ANDA #$20
BNE LOOP1 * testando se a saída caiu pra 0
LDD $101A * carregando D com conteúdo de o
STD LOCATE * salvando conteúdo de OC3
CPX #TABELA
BNE LOOP3
*****
* Testa-se o tempo ta (transmissão de dados)
*****
LDY CONT
DEY
BNE LOOPW
CLR $100D

```

```

                                JMP LOOP19
LOOPW                               STY CONT
*****
                                BSR CONVERT * subrotina de conversão
*****
LOOP3                               LDD LOCATE
                                ADDD #LTM * largura entre intervalos
                                STD $1016 * armazenando em OC1
                                ADDD $00,X
                                STD $101A * armazena em OC3
                                INX
                                INX
                                CPX #TABELA+$9 * 7:UR0,9:UR1,B:UR2,D:UR3
                                BMI LOOP2
                                LDX #TABELA
LOOP2                               LDAA $1000
                                BITA #$20 * testando se a saída subiu pra
                                BEQ LOOP2
                                BRA LOOP1
*****
CONVERT                             LDAA #$10
                                STAA $1030
LOOP                               TST $1030
                                BPL LOOP
                                CLR POSITION
                                CLR POSITION+$1
LOOP6                              LDX AD * AD contém end. 1031
                                LDAB 00,X
                                LDY #$600
                                ABY
                                ABY
                                ABY
                                LDX MEM * MEM contém end. da tabela
                                STY 00,X
                                LDD POSITION * Totalizando os três canais
                                ADDD 00,X
                                STD POSITION
                                INC MEM+$1
                                INC MEM+$1
                                INC AD+$1
                                LDX AD
                                CPX #$1034
                                BMI LOOP6
*****
                                LDAA #$01
                                STAA URX
                                LDX MEM
                                LDAA URX
LOOP23                             BEQ LOOP20
                                LDD #LTM
                                STD 0,X
                                ADDD POSITION
                                STD POSITION
                                DEC URX
                                BEQ LOOP20

```

```
INC MEM+$1
INC MEM+$1
LDX MEM
BRA LOOP23
```

```
*****
```

```
LOOP20
```

```
LDD #$F00 * Deve ser modificado com a UR
ADDD POSITION
STD POSITION
LDD #T * Cálculo do T sincronismo
SUBD POSITION
LDX #TABELA
STX MEM
STD $08,X *06:URO,08:UR1,0A:UR2,0C:UR3
LDD #$1031
STD AD
RTS
END
```



```

*****
* Programa ULBIDD: realiza solicitação e decodificação de sinais de
* uma unidade remota (UR), considerando a comunicação bidirecional e
* a codificação digital. O final de recepção acontece com a recepção do
* octeto "FF".
*****

```

ORG \$C100

```

*****

```

```

URX      EQU 1
CANAL    EQU 1
ZERO     RMB 1
REC      RMB 1
RX       RMB 1
LOG      RMB 1
CONT     RMB 1
TEST0    RMB 1
SALVA1   FDB *
SALVA2   FDB *
BLOCO    RMB 6
TEMPO    FDB *
TEMPO1   FDB *
tbmax    EQU $4AE0
tbmin    EQU $4270
tamin    EQU $300
VHIGH    EQU $BC0
VMIN     EQU $370
VMAX     EQU $800
TSYNL    EQU $1800
TSYNH    EQU $3C00

```

```

*****

```

```

FIM      RMB 1
INIC     RMB 1
END      RMB 1
POS      RMB 1
FINAL    RMB 1
SYNC     RMB 1
DESL     RMB 1
LIM      RMB 1
SOMA     FDB *
BIT      FDB *
TABELA   EQU $C800
PARID    EQU $600
T        EQU $4E20

```

```

*****

```

```

        LDAA #$20      * Programando o temporizador
        STAA $100C     * Determina a saída PA5
        STAA $100D     * Determina a ação de saída de OC1 0/1
        STAA $1020     * Determina a ação de saída de OC3 1/0
LOOP75  LDAA #$01
        STAA POS
        STAA FINAL
        LDY #TABELA-1 * Início de tabela

```

```

*****

```

```

* Entrada da UR e do canal desejados

```

```

*****

```

```

LDAA #URX          * 0,1,2 OU 3
INCA
STAA 1,Y
LDAA #CANAL        * 1,2 OU 3
STAA 2,Y
LDAA #\$FF
STAA 3,Y           * Final da entrada de dados
*****
LDAA #\$0A          * Número de vezes de "00" enviado
STAA INIC
STAA END
STAA SYNC
*****
CLR 0,Y
LOOP90 DEC INIC
      BNE LOOP36
      CLR POS
LOOP55 INY
LOOP3  LDAA 0,Y
      CMPA #\$FF
      BEQ LOOP65
      BRA LOOP36
LOOP65 LDAA #\$09
      STAA SYNC
      DEC END
      BNE LOOP36
      CLR FINAL
LOOP36 LDAA #\$01
      STAA FIM
      CLR SOMA
      CLR SOMA+\$1
      LDAA #\$80
      STAA DESL
LOOP2  BSR ROT2
LOOP7  LDAA \$1000      * Carregando o conteúdo da porta A
      BITA #\$20      * Testando se PA5 é zero
      BNE LOOP7
      LDAA FINAL
      BNE LOOP70
      CLR \$100D
      JMP PROG        * Começa a verificar a recepção.
LOOP70 LDD \$101A      * Carregando D com conteúdo de OC3
      ADDD BIT
      STD \$1016      * Armazena em OC1
      LSR DESL
      BEQ LOOP8
      BSR ROT2
      BRA LOOP4
LOOP8  LDD #PARID
      ADDD SOMA
      STD SOMA
      LDD #T
      SUBD SOMA
      STD BIT
      DEC FIM

```

```

LOOP4  LDAA $1000
      BITA #$20
      BEQ LOOP4
      LDD $1016
      ADDD BIT
      STD $101A
      LSR DESL
      BNE LOOP2
      LDAA FIM
      BNE LOOPW
      LDAA POS
      BEQ LOOP20
      JMP LOOP90
LOOP20 LDAA SYNC
      CMPA #$09
      BEQ LOOP69
      JMP LOOP55
LOOP69 JMP LOOP3
LOOPW  LDD #PARID
      STD BIT
      JMP LOOP7
ROT2   LDAA 0,Y
      BITA DESL
      BEQ LOOPY
      LDD #$600      * Largura para um bit igual a "1"
      STD BIT
      ADDD SOMA
      STD SOMA
      BRA LOOPX
LOOPY  LDD #$200      * Largura para um bit igual a "0"
      STD BIT
      ADDD SOMA
      STD SOMA
LOOPX  RTS
*****
* Verificação da recepção
*****
PROG   LDAA #$01
      STAA LOG
LOOP80 LDAA #$04      * Programando transição de subida
      STAA $1021
LOOP50 LDAA $1000
      BITA #$02
      BNE LOOP50
LOOP60 LDAA $1000
      BITA #$02
      BEQ LOOP60
      LDD $1012      * Armazenando o valor do contador na transição
                    * de subida
      STD TEMPO
      LDAA #$08      * Programando o valor do contador na transição
                    * de descida
      STAA $1021
LOOP34 LDAA $1000
      BITA #$02
      BNE LOOP34
      LDD $1012

```

```

STD TEMPO1
SUBD TEMPO * TEMPO contém o valor da largura ta
STD TEMPO
LDAA #$04 * Programando transição de subida
STAA $1021
LOOP44 LDAA $1000
BITA #$02
BEQ LOOP44
LDD $1012
SUBD TEMPO1
STD TEMPO1 * TEMPO1 contém o valor da largura tb
*****
* Início da comparação dos valores medidos com os valores limites
*****
LDD TEMPO
CPD #tamin
BLS LOOP80
CPD #VHIGH
BLS LOOP46
JMP LOOP80
LOOP46 LDD TEMPO1
CPD #tbmin
BLS LOOP80
CPD #tbmax
BLS LOOP35
JMP LOOP80
LOOP35 JSR ROT1
*****
LDX #BLOCO
LDAA 0,X
DECA
CMPA #URX
BEQ LOOP54
SWI * Parando nesse ponto, significa erro de recepção
LOOP54 LDAA 1,X * do código da UR
CMPA #CANAL
BEQ LOOP57
SWI * Parando nesse ponto, significa erro de recepção
LOOP57 JSR ROT1 * do código da variável
*****
ROT1 LDAA LOG
BEQ LOOP9
LDAA #$01
STAA ZERO
LDX #BLOCO
LOOP9 LDAA #$01
STAA LIM
LDAA #$08
STAA CONT
LDAA #$FF
STAA REC
LDAA #$7F
STAA TESTO
LOOP5 LDAA #$01
STAA $1021

```

```

LOOP1  LDAA $1000
      BITA #$01
      BNE LOOP1
LOOP37 LDAA $1000
      BITA #$01
      BEQ LOOP37
      LDD $1014
      STD SALVA2
      LDAA #$02
      STAA $1021
LOOP38 LDAA $1000
      BITA #$01
      BNE LOOP38
      LDD $1014
      STD SALVA1
      SUBD SALVA2
      CPD #TSYNL
      BLS LOOP5
      CPD #TSYNH
      BHS LOOP5

```

```

      LDAA LOG
      BNE LOOP51
      LDAA RX
      CMPA #$FF
      BEQ LOOP51
      STAA $A800
LOOP51 LDAA #$01
      STAA $1021
LOOP6  LDAA $1000
      BITA #$01
      BEQ LOOP6
      LDD $1014
      STD SALVA2
      SUBD SALVA1
      BSR ROT

```

```

      LDAA LIM
      BNE LOOP98
      JMP LOOP9

```

```

LOOP98 LDAA #$02
      STAA $1021

```

```

LOOP52 LDAA $1000
      BITA #$01
      BNE LOOP52
      LDD $1014
      STD SALVA1
      SUBD SALVA2
      BSR ROT
      LDAA LIM
      BNE LOOP99
      JMP LOOP9

```

```

LOOP99 LDAA CONT
      BNE LOOP51

```

```

      LDAA LOG

```

* Se o conteúdo de LIM for igual a zero
* significa que houve na decodificação de
* dados larguras fora dos limites.
* Dessa forma a decodificação é iniciada, a
* partir da detecção de um novo rsinc

```

    BNE LOOP56
    LDAA REC
    STAA RX
    JMP LOOP9
*****
LOOP56 LDAA REC
      BNE LOOP33
      CLR ZERO
      JMP LOOP9
LOOP33 LDAB ZERO
      BEQ LOOP39
      JMP LOOP9
LOOP39 CMPA #$FF
      BNE LOOP22
      CLR LOG
      RTS
      * Retorno de ROT1
LOOP22 STAA 0,X
      INX
      JMP LOOP9
ROT    CPD #VMIN
      BLS LOOP53
      CPD #VMAX
      BHS LOOP10
      BRA LOOP11
LOOP10 CLR LIM
      RTS
      * Retorno de ROT1
LOOP11 LDAA #$FF
      ANDA REC
      STAA REC
      SEC
      ROR TEST0
      DEC CONT
      RTS
LOOP53 LDAA TEST0
      ANDA REC
      STAA REC
      SEC
      ROR TEST0
      DEC CONT
      RTS
      END

```

 * Programa URBIDD: identifica uma solicitação da UL e realiza aquisição
 * e codificação digital dos sinais, segundo uma configuração bidirecional

```

    ORG $C100
ZERO  RMB 1
REC   RMB 1
CONT  RMB 1
TESTO RMB 1
LIM   RMB 1
SALVA1 FDB *
SALVA2 FDB *
TABELA EQU $C800
TEMPO  FDB *
TEMPO1 FDB *
CANAL  FDB *
tbmax  EQU $5C00
tbmin  EQU $5280
tamin  EQU $BE0
tamax  EQU $3A0
VMIN   EQU $370
VMAX   EQU $800
TSYNL  EQU $2A00
TSYNH  EQU $4B00
URX    EQU $1
OUT    RMB $1
REF    RMB 1
TERRO  FDB *

```

```

*****
PROG  LDD #$2EE0      * Número de amostras a serem transmitidas
      STD TENVIO
      LDD #$1770
      STD TERRO
      LDAA #$01
      STAA REF
      STAA OUT
LOOP80 LDAA #$04      * Programando IC2 subida
      STAA $1021      * Programando TCTL2
LOOP50 LDAA $1000
      BITA #$02
      BNE LOOP50
LOOP60 LDAA $1000
      BITA #$02
      BEQ LOOP60
      LDD $1012      * Lendo conteúdo de TIC2
      STD TEMPO      * Contém o valor do contador na transição de subi
      LDAA #$08
      STAA $1021
LOOP70 LDAA $1000
      BITA #$02
      BNE LOOP70
      LDD $1012
      STD TEMPO1      * Contém o valor do contador na transição de desc
      SUBD TEMPO      * Contém a largura ta
      STD TEMPO

```

```

        LDAA #$04
        STAA $1021      * Programando a transição de subida
LOOP44  LDAA $1000
        BITA #$02
        BEQ LOOP44
        LDD $1012      * Contém o valor do contador na transição de subi
        SUBD TEMPO1    * Contém a largura tb
        STD TEMPO1
*****
* Início de comparação dos valores da larguras medidas
*****
        LDD TEMPO
        CPD #tamin
        BHS LOOP82
*****
ROT4    LDAA OUT
        BEQ LOOPF
        JMP LOOP80
LOOPF   JMP LOOP81
*****
LOOP82  CPD #tamax
        BLS LOOP46
        LDAA OUT
        BEQ LOOP81
        JMP LOOP80
LOOP46  LDD TEMPO1
        CPD #tbmin
        BHS LOOP83
        LDAA OUT
        BEQ LOOP81
        JMP LOOP80
LOOP83  CPD #tbmax
        BLS LOOP97
        LDAA OUT
        BEQ LOOP81
LOOP94  JMP LOOP80
LOOP97  LDAA OUT      * Quando OUT for "0" a UR incia a transmissão
        BEQ LOOP94
        JSR ROT1      * Rotina para recepção da URX e do canal
*****
        LDD TERRO
        BNE LOOPD
        JMP PROG
LOOPD   LDX #TABELA
        LDAA 0,X      * Conferindo os dados
        DECA
        CMPA #URX     * Configuração da URX
        BEQ LOOP34
        JMP PROG
LOOP34  LDAA 1,X      * Conferindo o canal
        CMPA #$01     * Verificando se está entre 1 e 3
        BHS LOOP35
        JMP PROG
LOOP35  CMPA #$03
        BLS LOOP36

```



```

      JMP PROG
LOOP36 LDAB 1,X
      LDAA #$FF
      STAA 2,X
      LDX #$1030      * Registrador de programação do A/D
      ABX
      STX CANAL
      CLR OUT
      JMP LOOP80
LOOP81 JSR ROT2
      JMP ROT2      * Transmissão das amostras do A/D
*****
ROT1  LDAA #$01
      STAA ZERO
      LDX #TABELA
LOOP9  LDAA #$01
      STAA LIM
      LDD TERRO
      BNE LOOPEC
      RTS      * Retorno da ROT1
LOOPEC LDAA #$08
      STAA CONT
      LDAA #$FF
      STAA REC
      LDAA #$7F
      STAA TESTO
LOOP5  LDAA #$01
      STAA $1021
LOOP1  LDAA $1000
      BITA #$01
      BNE LOOP1
LOOP2  LDAA $1000
      BITA #$01
      BEQ LOOP2
      LDD $1014
      STD SALVA2
      LDAA #$02
      STAA $1021
LOOP4  LDAA $1000
      BITA #$01
      BNE LOOP4
      LDD $1014
      STD SALVA1
      SUBD SALVA2
      CPD #TSYNL
      BLS LOOP5
      CPD #TSYNH
      BHS LOOP5
LOOP8  LDAA #$01
      STAA $1021
LOOP6  LDAA $1000
      BITA #$01
      BEQ LOOP6
      LDD $1014
      STD SALVA2

```

```

SUBD SALVA1
BSR ROT
LDAA LIM
BNE LOOPA
JMP LOOP9
LOOPA LDAA #$02
STAA $1021
LOOP7 LDAA $1000
BITA #$01
BNE LOOP7
LDD $1014
STD SALVA1
SUBD SALVA2
BSR ROT
LDAA LIM
BNE LOOPB
JMP LOOP9
LOOPB LDAA CONT
BNE LOOP8
LDAA REC
BNE LOOP33
CLR ZERO
JMP LOOP9
LOOP33 LDAB ZERO
BEQ LOOP39
JMP LOOP9
LOOP39 CMPA #$FF
BNE LOOP22
RTS
LOOP22 STAA 0,X
INX
JMP LOOP9
ROT CPD #VMIN
BLS LOOPX
CPD #VMAX
BHS LOOP10
BRA LOOP11
LOOP10 CLR LIM
LDY TERRO
DEY
STY TERRO
RTS
LOOP11 LDAA #$FF
ANDA REC
STAA REC
SEC
ROR TEST0
DEC CONT
RTS
LOOPX LDAA TEST0
ANDA REC
STAA REC
SEC
ROR TEST0
DEC CONT

```

* Retorno da ROT1

* Retorno da ROT1

RTS

```
*****
* ROT2: Rotina para transmissão
*****
TX      RMB 1
FIM     RMB 1
INIC    RMB 1
END     RMB 1
POS     RMB 1
FINAL   RMB 1
SYNC    RMB 1
DESL    RMB 1
SOMA    FDB *
BIT     FDB *
PARID   EQU $600
T       EQU $5ECO
TENVIO  FDB *
*****
ROT2    LDAA #$20      * Programando o temporizador
        STAA $100C     * Determina a saída PA5
        STAA $100D     * Determina a ação de saída de OC1 0/1
        STAA $1020     * Determina a ação de saída de OC3 1/0
        LDAA REF
        BEQ LOOP37
LOOP75  LDAA #$01
        STAA POS
        STAA FINAL
        LDY #TABELA-1 * Início da tabela
        LDAA #$0A     * Número de vezes de "00" ENVIADO
        STAA INIC
        STAA END
        STAA SYNC
*****
        CLR 0,Y
LOOP90  DEC INIC
        BNE LOOP53
        CLR POS
LOOP55  INY
LOOP95  LDAA 0,Y
        CMPA #$FF
        BEQ LOOP65
        BRA LOOP53
LOOP65  LDAA #$09
        STAA SYNC
        DEC END
        BNE LOOP53
        CLR FINAL
        BRA LOOP53
*****
LOOP37  LDAA #$10
        STAA $1030
LOOP    TST $1030
        BPL LOOP
        LDX CANAL
        LDAA 0,X
```

```

      STAA TX
*****
LOOP53 LDAA #$01
      STAA FIM
      CLR SOMA
      CLR SOMA+$1
      LDAA #$80
      STAA DESL
LOOP54 JSR ROT3
LOOP24 LDAA $1000      * Carregando o conteúdo da porta A
      BITA #$20      * Testando se a saída PA5 é zero
      BNE LOOP24
*****
      LDAA REF
      BEQ LOOPH
      LDAA FINAL
      BNE LOOP56
      CLR REF
      CLR $100D
      RTS      * Retorno de ROT2
LOOPH  LDX TENVIO
      DEX
      STX TENVIO
LOOP56 LDD $101A      * Carregando D como conteúdo de OC3
      ADDD BIT      * Armazena em OC1
      STD $1016
      LSR DESL
      BEQ LOOP57
      BSR ROT3
      BRA LOOP58
LOOP57 LDD #PARID
      ADDD SOMA
      STD SOMA
      LDD #T
      SUBD SOMA
      STD BIT
      DEC FIM
LOOP58 LDAA $1000
      BITA #$20
      BEQ LOOP58
      LDD $1016
      ADDD BIT
      STD $101A
      LSR DESL
      BNE LOOP54
      LDAA REF      * Diferencia da ROT de transmissão
      BEQ LOOP38      * A TX dos códigos da URX/CANAL
      LDAA FIM
      BNE LOOPW
      LDAA POS
      BEQ LOOP20
      JMP LOOP90
LOOP20 LDAA SYNC
      CMPA #$09
      BEQ LOOP69

```

```

        JMP LOOP55
LOOP69 JMP LOOP95
*****
LOOP38 LDAA FIM
        BNE LOOPW
        LDX TENVIO
        BNE LOOPL
        CLR $100D
        JMP PROG
LOOPL  JMP LOOP37
*****
LOOPW  LDD #PARID
        STD BIT
        JMP LOOP24
*****
ROT3   LDAA REF
        BEQ LOOP51
        LDAA 0,Y
        BRA LOOP52
LOOP51 LDAA TX
LOOP52 BITA DESL
        BEQ LOOPY
        LDD #$600
        STD BIT
        ADDD SOMA
        STD SOMA
        BRA LOOPK
LOOPY  LDD #$200
        STD BIT
        ADDD SOMA
        STD SOMA
LOOPK  RTS
        END

```

* Largura para um bit igual a "1"

* Largura para um bit igual a "0"

ANEXO E

Formas de Onda Obtidas com os Testes dos Sistemas

Neste Anexo, são mostradas algumas formas de onda transmitidas através de enlace de rádio-freqüência e recebidas através dos sistemas de telemetria, utilizando a codificação digital que se descreve na Seção 3.5.

O conversor A/D do microcontrolador 68HC11, na placa EVB68HC11, utilizada para os testes, se encontra numa configuração que permite a conversão de sinais na faixa de 0 a 5 volts. Dessa forma, transmitiram-se níveis dc dentro dessa faixa e sinais ac, acrescidos de níveis dc, de forma a permanecerem também dentro da faixa de 0 a 5 volts. O conversor D/A, utilizado na recepção para recuperação dos sinais analógicos, encontra-se numa configuração inversora; por exemplo, ao ter na entrada um código correspondente a 2 volts, gera-se na saída uma tensão de -2 volts, o que não invalida os testes realizados, pois, como este aspecto já é previamente conhecido, se consideram, para análise dos resultados, apenas os valores absolutos.

Uma vez feitas estas considerações, apresentam-se nas figuras E.1 a E.8, as formas de onda transmitidas e recebidas. Os sinais transmitidos foram obtidos de um gerador programável de sinais do tipo TR-0476, EMG, de fabricação húngara; e as formas de onda recebidas foram registradas com o osciloscópio digital HP 54 503-A, 500 MHz, da Hewlett Packard.

Para cada sinal transmitido, apresenta-se, em seguida, a forma de onda recebida, como as figuras E.1 e E.2, que

apresentam um nível dc transmitido e recebido, respectivamente, e as figuras E.3 e E.4, E.5 e E.6, e E.7 e E.8, que apresentam as formas de ondas de sinais ac transmitidos e recebidos. Com a utilização da codificação digital, obteve-se a resolução de 8 bits do conversor A/D.

hp stopped

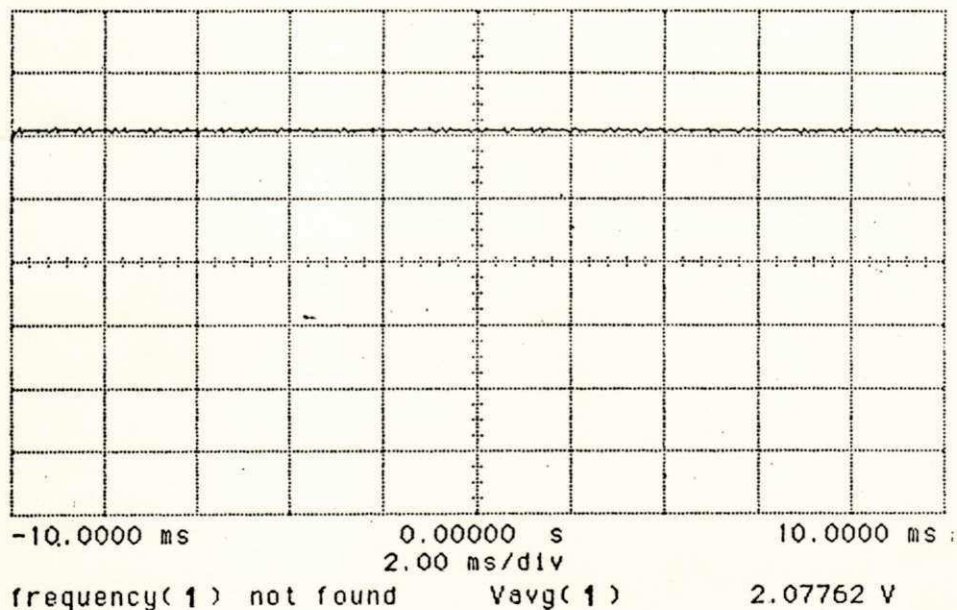


Figura E.1 - Nível dc transmitido

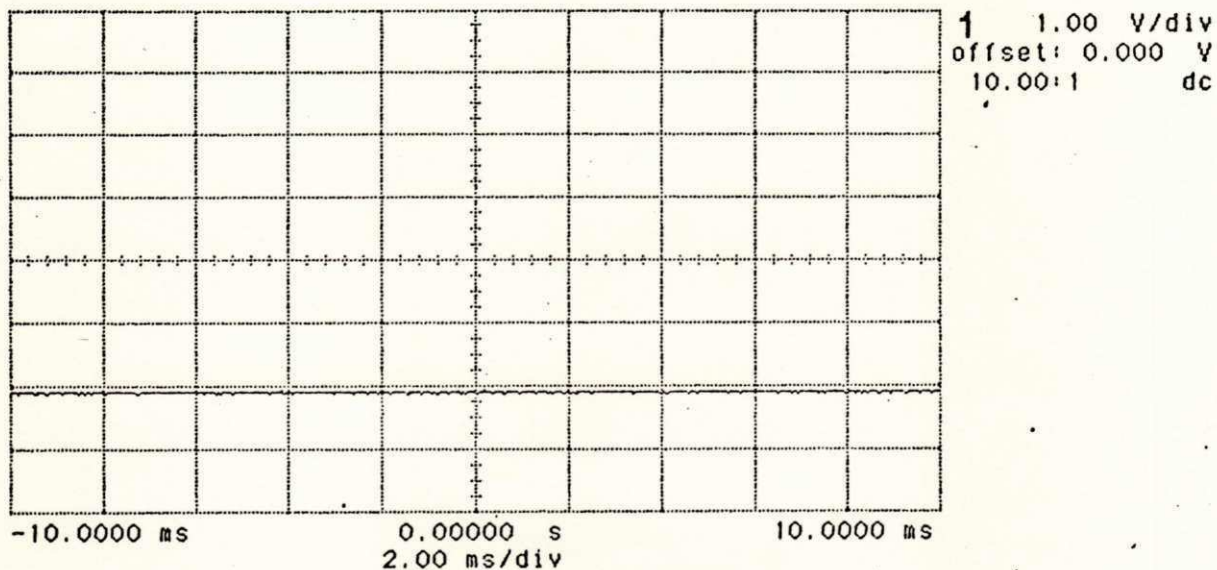


Figura E.2 - Nível dc recebido

hp printing

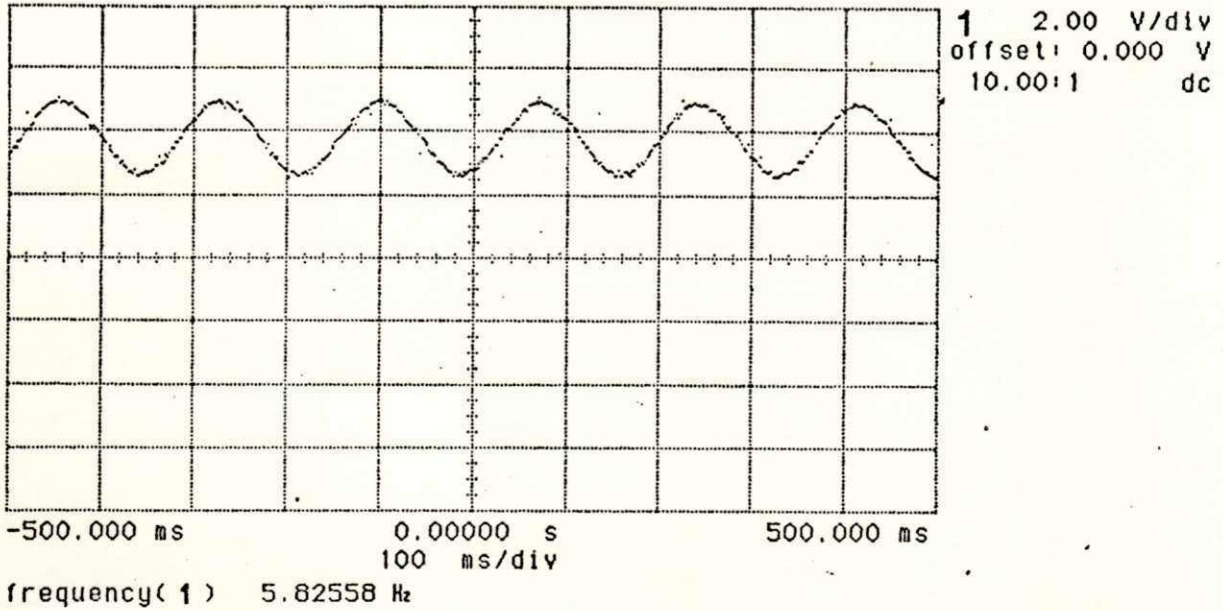


Figura E.3 - Forma de onda senoidal transmitida

hp stopped

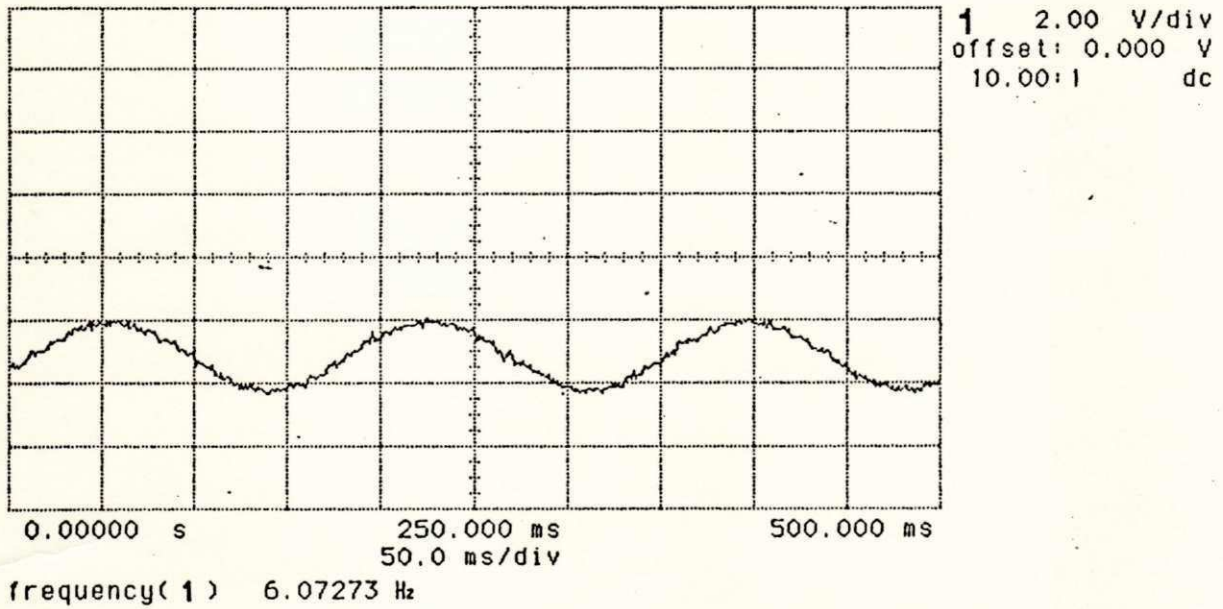


Figura E.4 - Forma de onda senoidal recebida

hp stopped

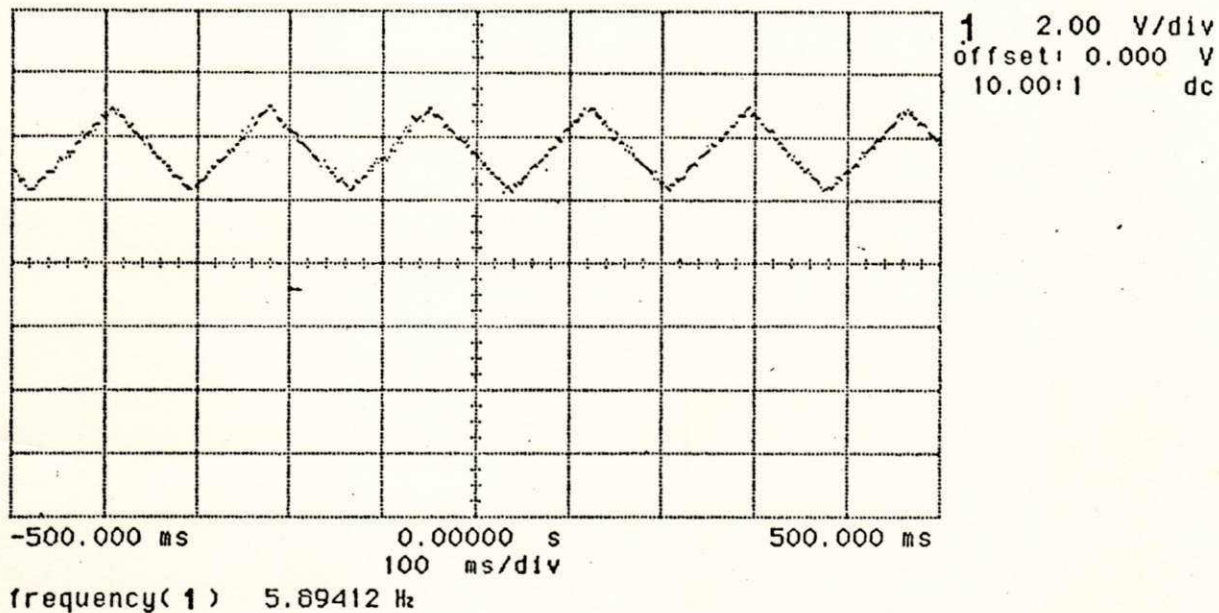


Figura E.5 - Forma de onda triangular transmitida

hp stopped

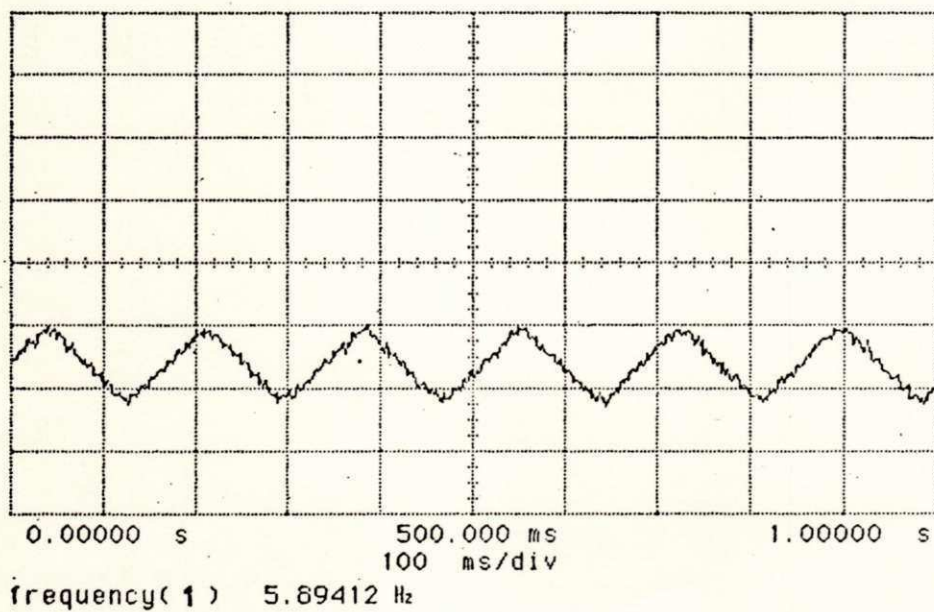


Figura E.6 - Forma de onda triangular recebida

hp stopped

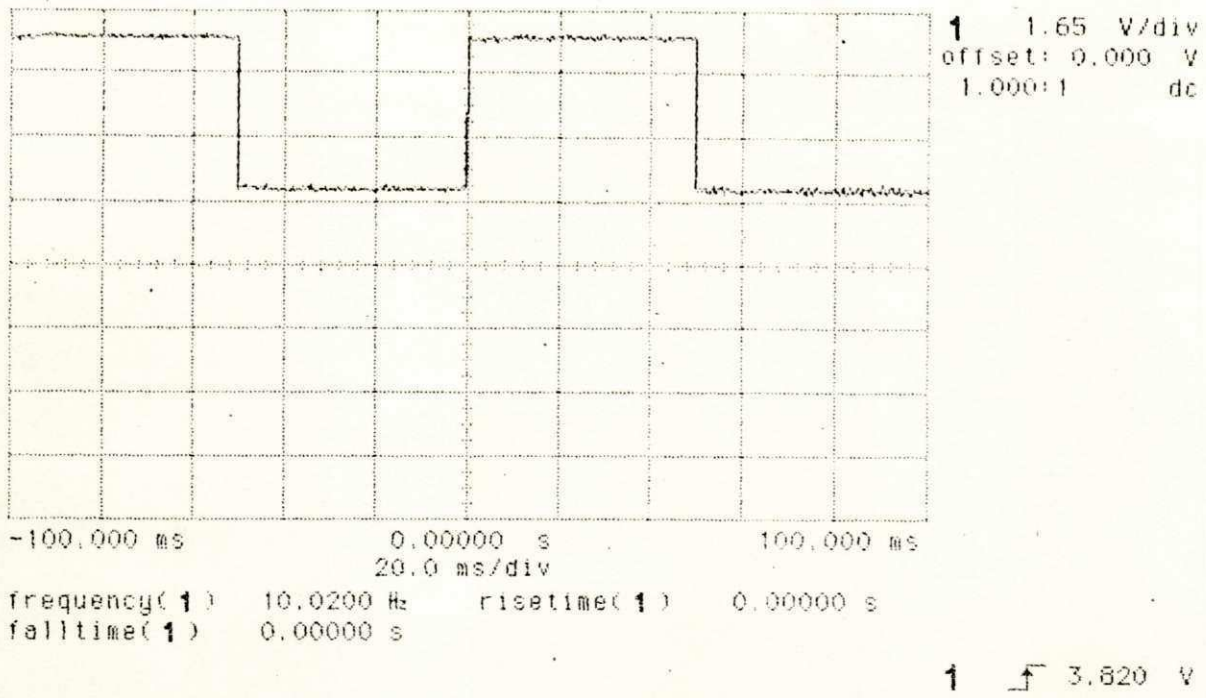


Figura E.7 - Forma de onda quadrada transmitida

hp stopped

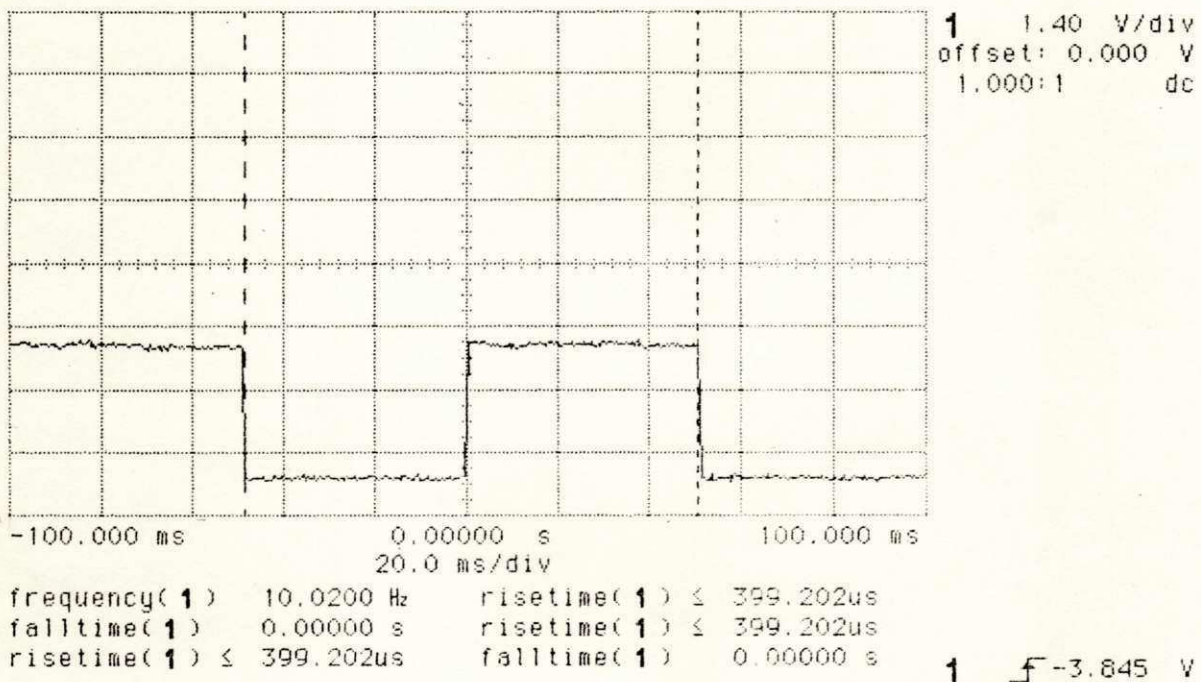


Figura E.8 - Forma de onda quadrada recebida

Apresentam-se também, neste anexo, algumas formas de onda típicas do sistema de telemetria bidirecional, como as seqüências utilizadas na solicitação de dados das unidades remotas. Essas formas de onda são mostradas nas figuras E.9 a E.12. Na figura E.13, são mostrados o sinal SYNC, as formas de onda das saídas CH1 e CH2 do LM1872 e a seqüência obtida na saída do comparador LM311, que também são comuns ao sistema unidirecional; na figura E.14, mostra-se a forma de onda da codificação do byte \$40. Todas essas formas de onda foram obtidas com o osciloscópio.

hp stopped

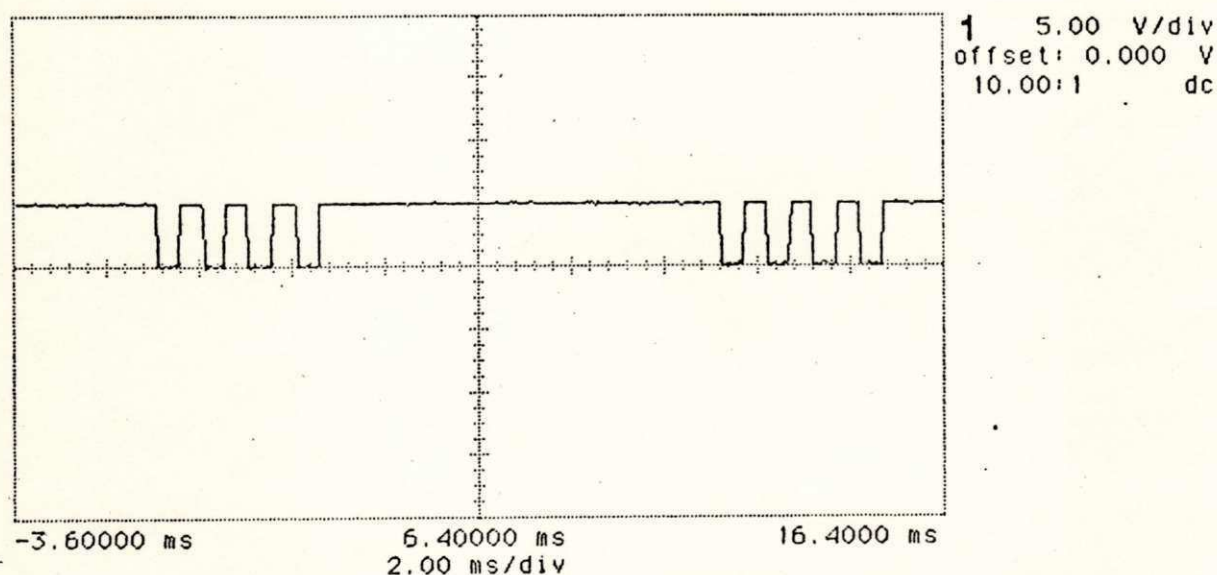


Figura E.9 - Seqüência de pulsos para solicitação de dados da UR₀

hp stopped

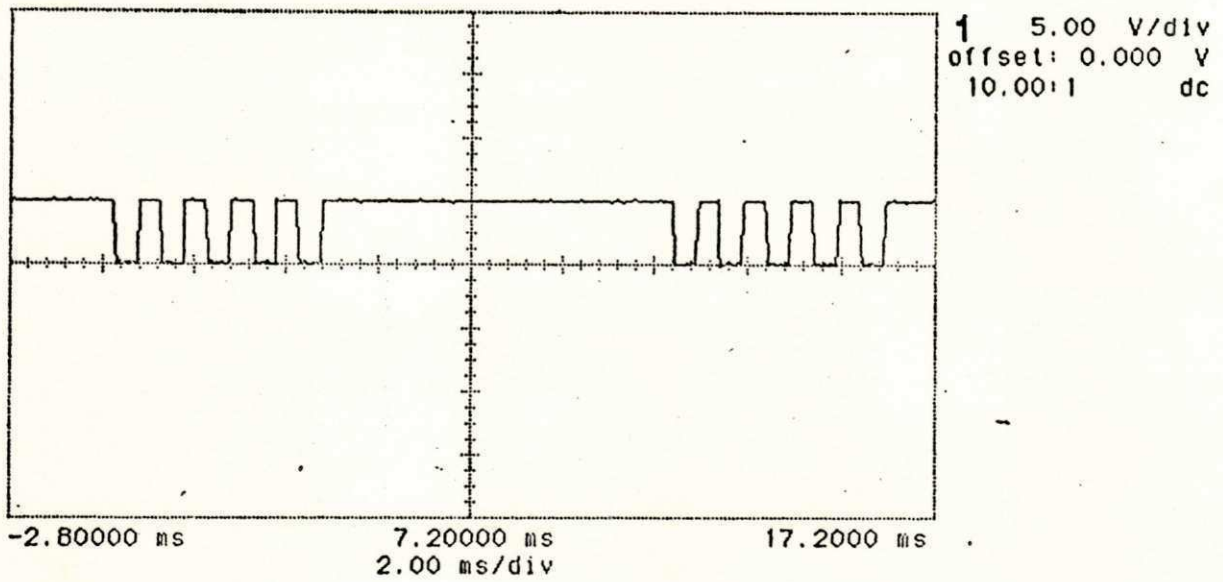


Figura E.10 - Sequência de pulsos para solicitação de dados da UR₁

hp stopped

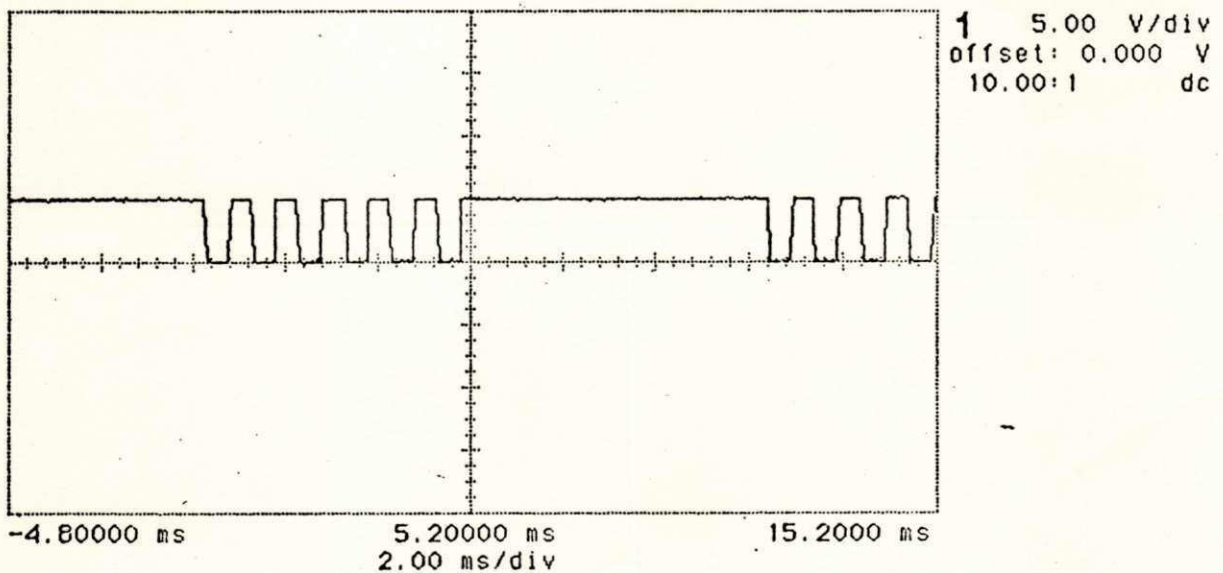


Figura E.11 - Sequência de pulsos para solicitação de dados da UR₂

hp stopped

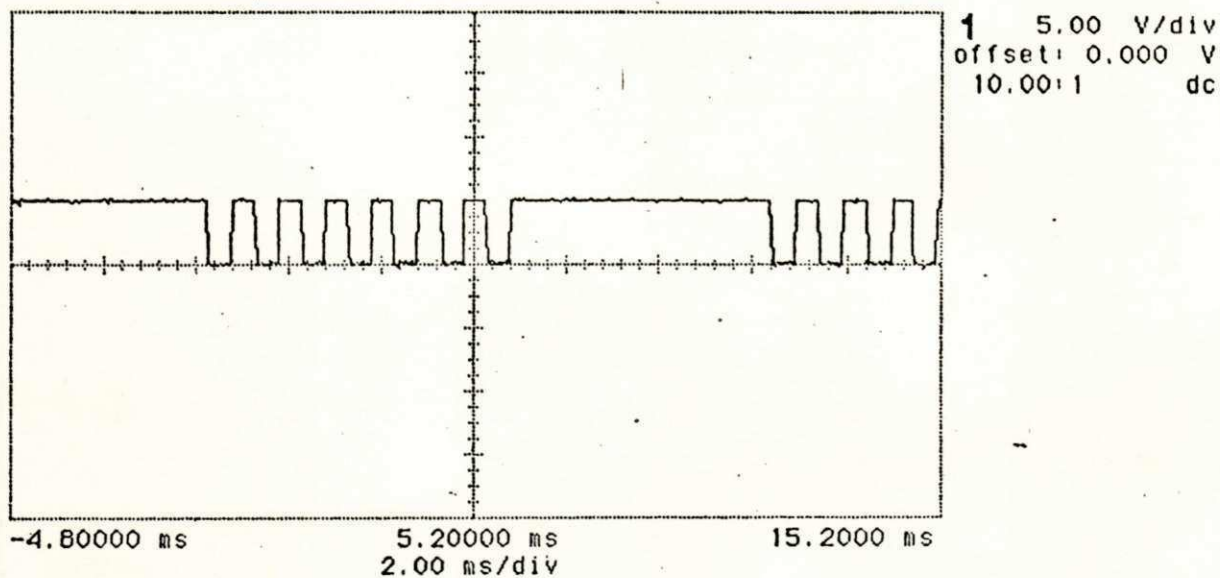


Figura E.12 - Seqüência de pulsos para solicitação de dados da UR₃

hp stopped

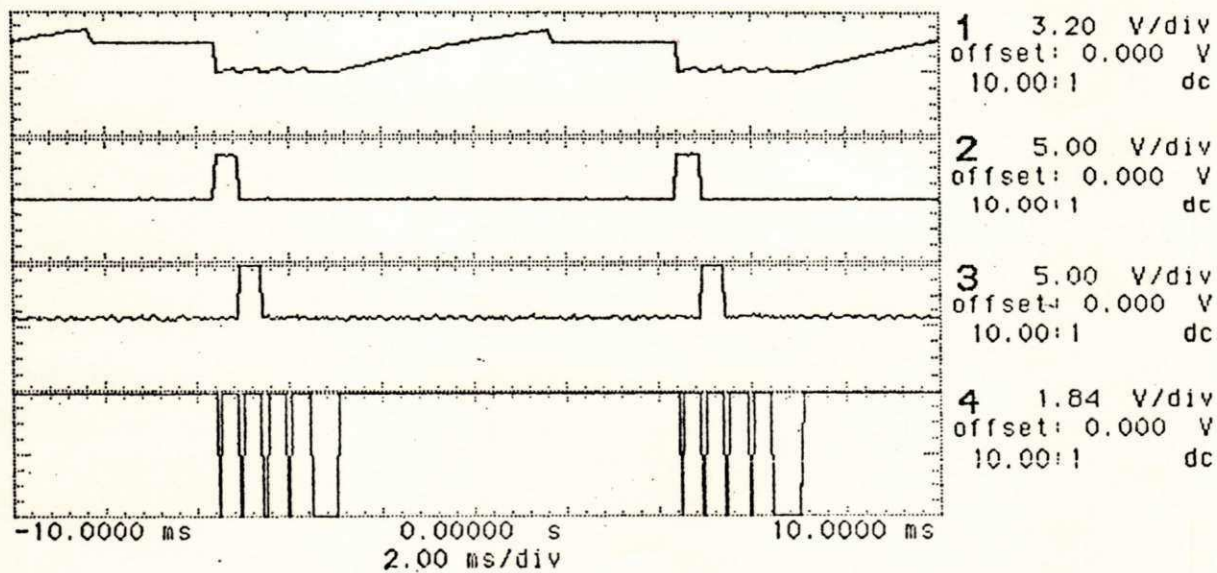


Figura E.13 - Formas de onda obtidas nas saídas do LM1872 e do LM311

hp stopped

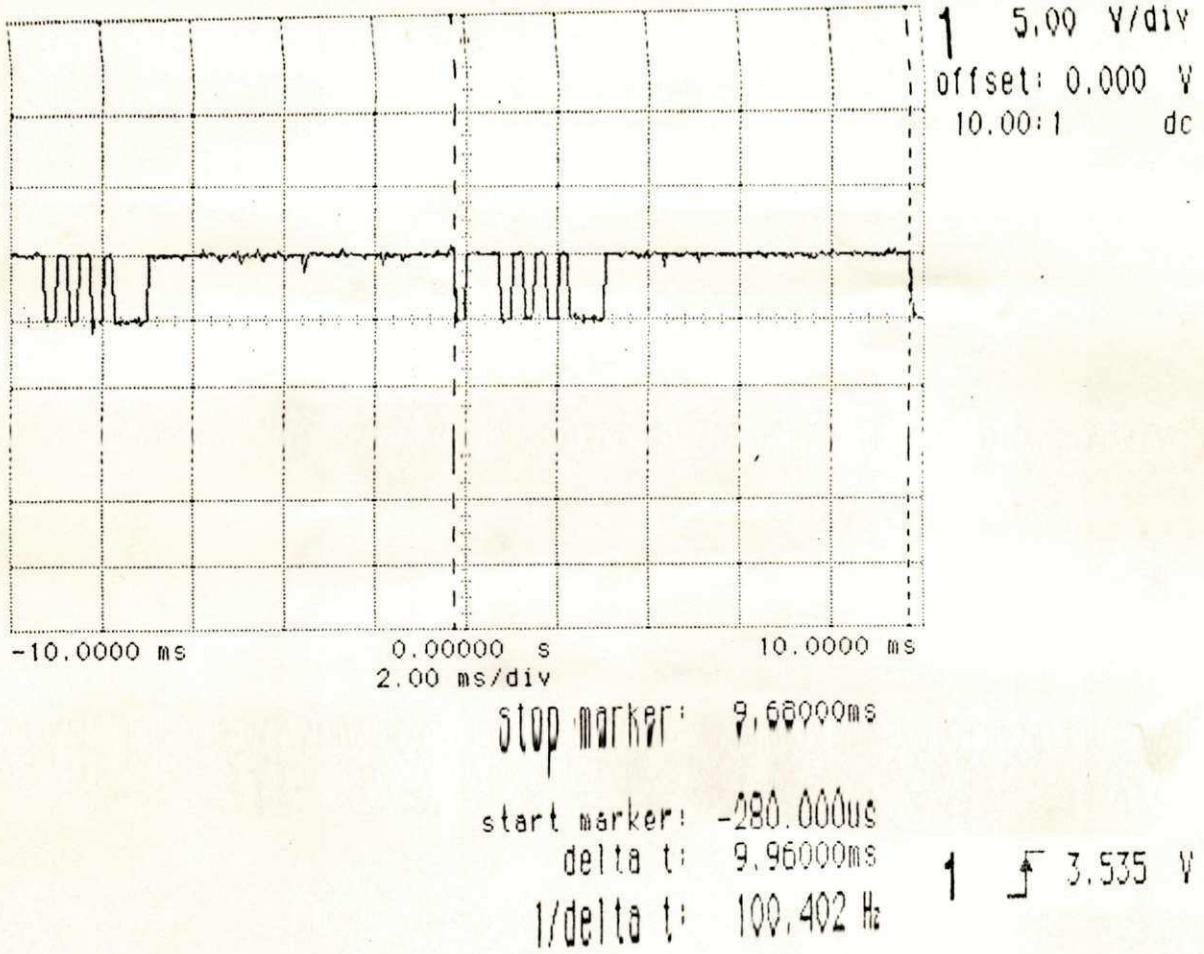


Figura E.14 - Forma de onda da codificação do byte \$40