

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E AUTOMAÇÃO



DCA0107: SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Demodulação de um sinal com portadora digital

Authors

Felipe Andrade de Melo
José Genilson da Silva Filho
Tiago Hérique Silva Almeida
Willian Kossmann da Silva

Supervisor

Daniel Guerra

15 de junho de 2016

Resumo

Pesquisa sobre a transmissão de sinais digitais com portadora, especificando quais são as modularizações binários básicas, como gerá-las e demodulá-las, bem como as respectivas vantagens e desvantagens de cada uma delas. E por fim o passo a passo do processo de demodulação da mensagem, com as devidas explicações para os parâmetros escolhidos durante a essa etapa como a apresentação do gráfico do ASK, enviado e recuperdo, juntamente com seu respectivos espectros de frequência.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
2	Modulação ASK	3
2.1	Modulação PSK	5
2.2	Modulação FSK	6
2.3	Modulação QPSK	7
2.4	Modulação QAM	8
3	Simulação prática de demodulação OOK	9
	Bibliografia	14

Lista de Figuras

2.1	Modulação ASK	3
2.2	BASK e MASK	4
2.3	Esquema de modulação ASK	4
2.4	Esquema de desmodulação ASK	5
2.5	Esquema de modulação PSK	6
2.6	Esquema de modulação FSK	7
2.7	Modulação QPSK	7
2.8	Modulação QAM	8
3.1	Sinal modulado e demodulado no domínio do tempo e da frequência	9
3.2	Saída do código que decodifica a mensagem que estava em binário	13

1 Introdução

Modulação em Amplitude ou simplesmente AM (do inglês Amplitude Modulation - Modulação de Amplitude), é a forma de modulação em que a amplitude de um sinal senoidal, chamado portadora, varia em função do sinal de interesse, que é o sinal modulador. A frequência e a fase da portadora são mantidas constantes. Matematicamente, é uma aplicação direta da propriedade de deslocamentos em frequências da transformada de Fourier, assim como da propriedade da convolução.

A transmissão de rádio é feita através da difusão de ondas eletromagnéticas. Estas são transmitidas no ar mais eficientemente em altas frequências do que em baixas frequências. Isso porque, de modo geral, o tamanho da antena que deve receber um sinal de rádio é diretamente proporcional ao comprimento de onda transmitida. Se fosse desejado transmitir ondas com frequências equivalentes às frequências de voz (da ordem de 80hz a 1500Hz, segundo FOLMER-JOHNSON - 1968 e EFRON - 1969), seriam necessárias antenas de proporções gigantescas (alguns quilômetros de comprimento). Por este motivo, foi necessário encontrar alguma forma de transmitir as informações usando ondas de alta frequência.

Outra necessidade atendida pela modulação de ondas foi a necessidade de se compartilhar um meio de transmissão, no caso o ar, entre um número de transmissores. Para alcançar este objetivo, basta usar a mensagem para modular ondas de frequências diferentes. Desta forma, o receptor pode "selecionar" uma frequência para demodular retirando assim a informação apenas de um transmissor. Isto é exatamente o que fazemos quando selecionamos uma estação de rádio ou um canal de televisão.

A solução foi justamente modular as ondas de alta frequência de modo que a informação a ser transmitida esteja contida nestas ondas e possam ser transmitidas eficientemente pelo ar. Esta informação poderia ser facilmente recuperada num receptor de rádio, através de um processo chamado demodulação.

1 Introdução

Tipos de modulação que serão explanados neste relatório:

- Amplitude Shift Keying - ASK
- Phase Shift Keying - PSK
- Frequency Shift Keying - FSK
- Quadrature phase-shift keying - QPSK
- Quadrature amplitude modulation - QAM

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a demodulação de um sinal digital modulado através do chaveamento on-off (OOK – on-off keying), também conhecido por modulação por chaveamento de amplitude (ASK – amplitude shift keying).

2 Modulação ASK

A modulação por chaveamento de amplitude (ASK) consiste na modificação do nível de amplitude da onda portadora em função do sinal digital de entrada a ser transmitido. O sinal modulante assume um dos dois níveis discretos da fonte de informação (nível lógico 0 ou 1). As principais características dessa modulação são: facilidade de modulação e demodulação, pequena largura de faixa e baixa imunidade a ruídos. Por possuir essas características ela é indicada nas situações em que exista pouco ruído para interferir na recepção do sinal ou quando o custo baixo é essencial. A figura 2.1 mostra o esquema de modulação ASK.

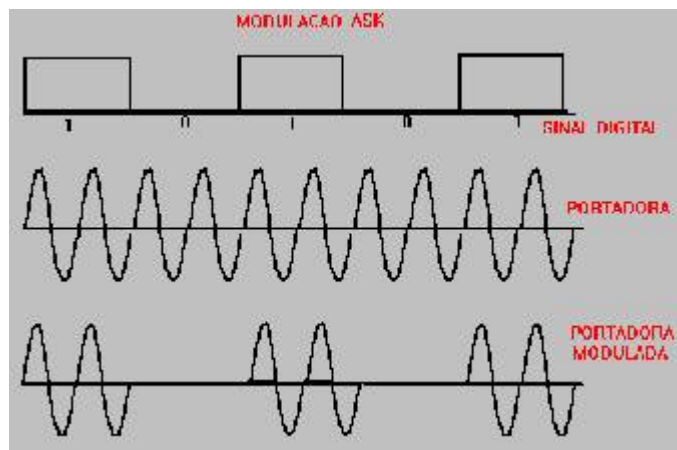


Figura 2.1: Modulação ASK

O sinal ASK divide-se em:

- BASK: Ocorre quando o sinal é binário.
- MASK: Ocorre quando o sinal é multi-nível.

2 Modulação ASK

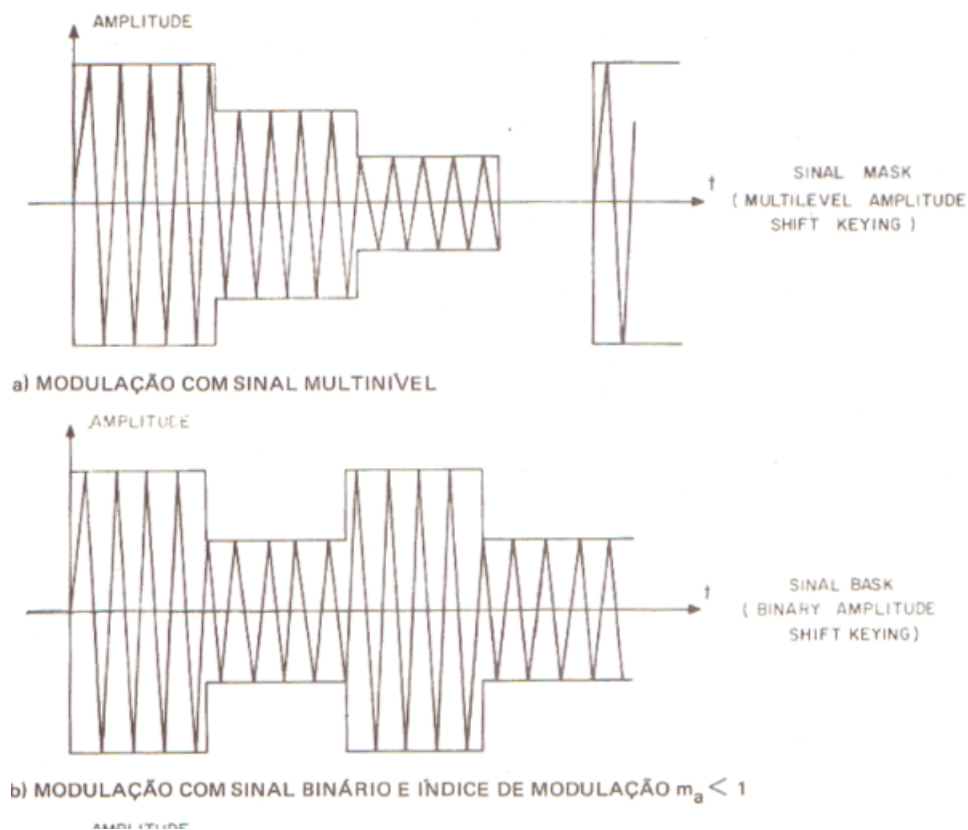


Figura 2.2: BASK e MASK

Na figura abaixo está a estrutura básica de um modulador ASK. O filtro passabaixa corta os harmônicos do sinal modulante digital, reduzindo a largura de faixa do sinal modulante. O modulador de amplitude gera o sinal digital filtrado e do sinal senoidal proveniente do oscilador que irá determinar a frequência central do sistema ASK. A saída do modulador será um sinal ASK contendo um par de faixas laterais.

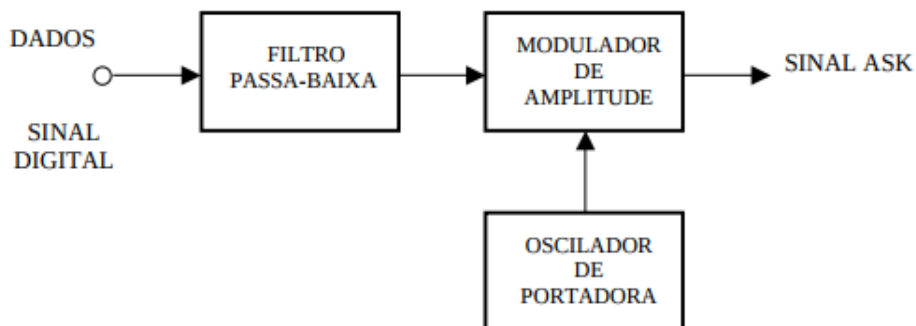


Figura 2.3: Esquema de modulação ASK

A demodulação do sinal ASK pode ser feita pôr meio de um detector de envoltória seguido pôr um filtro passa-baixa e circuito de decisão, conforme figura:

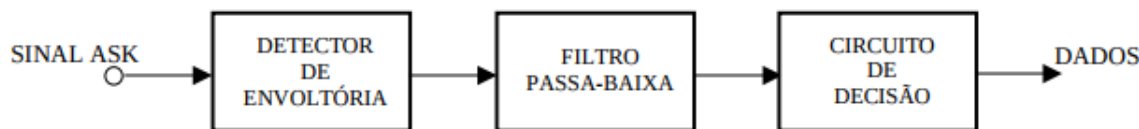


Figura 2.4: Esquema de desmodulação ASK

O detector de envoltória retifica o sinal ASK. Em seguida, o filtro passa-baixa elimina o componente pulsante do sinal entregue pelo detector de envoltória, recuperando o nível médio. O circuito de decisão compara o nível médio presente na saída do filtro passa-baixa com uma tensão de referência, V_2 . Se o nível médio estiver acima do valor de referência, o circuito de decisão coloca nível alto tem sua saída. Caso o sinal na entrada do circuito de decisão esteja abaixo da tensão de referência V_1 , a saída estará em nível baixo.

O uso de duas tensões de referências, V_1 e V_2 , ajuda a reduzir os erros causados pôr sinais contendo ruídos. Se o ruído no sinal ASK for menor do que a metade do valor de pico-a-pico do sinal, não haverá erro na decisão. O uso de duas tensões de referências, V_1 e V_2 , ajuda a reduzir os erros causados pôr sinais contendo ruídos. Se o ruído no sinal ASK for menor do que a metade do valor de pico-a-pico do sinal, não haverá erro na decisão.

2.1 Modulação PSK

A modulação por Chaveamento de Fase (PSK) é um esquema de modulação digital onde a fase da portadora é variada de modo a representar os níveis 0 e 1, sendo que durante cada intervalo de bit esta permanece constante. A amplitude e a frequência permanecem sempre inalteradas.

Por Exemplo uma fase 0 graus representa o binário 0, enquanto uma fase 180 graus representa 1. Isto representa o método 2-PSK, porque temos duas representações de fases diferentes.

A modulação PSK não é susceptível a degradações por ruídos que tanto afetam a técnica ASK ou tem as exigências de banda da técnica FSK.

Neste tipo de modulação, a característica da onda portadora que vai variar é a fase, deixando a amplitude e a frequência constantes. Esta modulação também é conhecida como BPSK (Binary Phase Shift Keying).

Da mesma forma que na modulação ASK, a primeira coisa a ser feita é o estabelecimento de um padrão entre transmissor e receptor, para que a comunicação possa ser efetuada e haja entendimento entre eles.

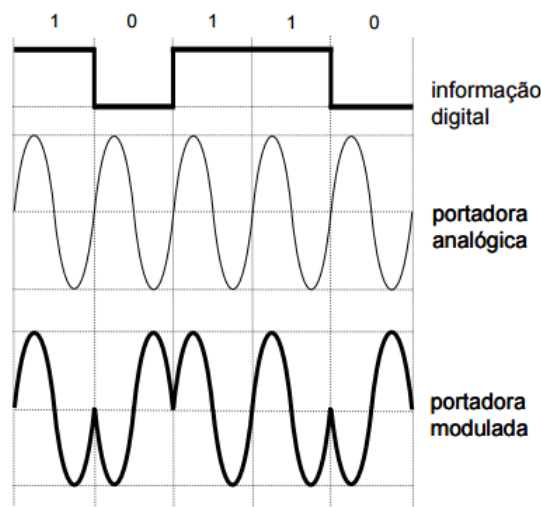


Figura 2.5: Esquema de modulação PSK

2.2 Modulação FSK

A modulação por chaveamento de frequência (FSK) consiste na variação da frequência da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. A amplitude da onda portadora é constante durante o processo de modulação e a onda resultante varia a sua frequência conforme os níveis lógicos do sinal modulante. A principal característica dessa modulação é a boa imunidade a ruídos, mas necessita de uma maior largura de banda.

Diferente da modulação FM, o FSK desloca a frequência entre apenas dois pontos fixos separados. O modulador FSK é formado por dois moduladores ASK, sendo que um deles produz pulsos modulados na frequência $FC1$ para cada bit 1, enquanto que o outro produz pulsos modulados na frequência $FC2$ para cada bit 0.

A modulação FSK é utilizada em modems de baixa velocidade (com velocidade de transmissão igual ou menor que 2400 bps); transmissão via rádio (na transmissão de sinais de rádiocontrole)

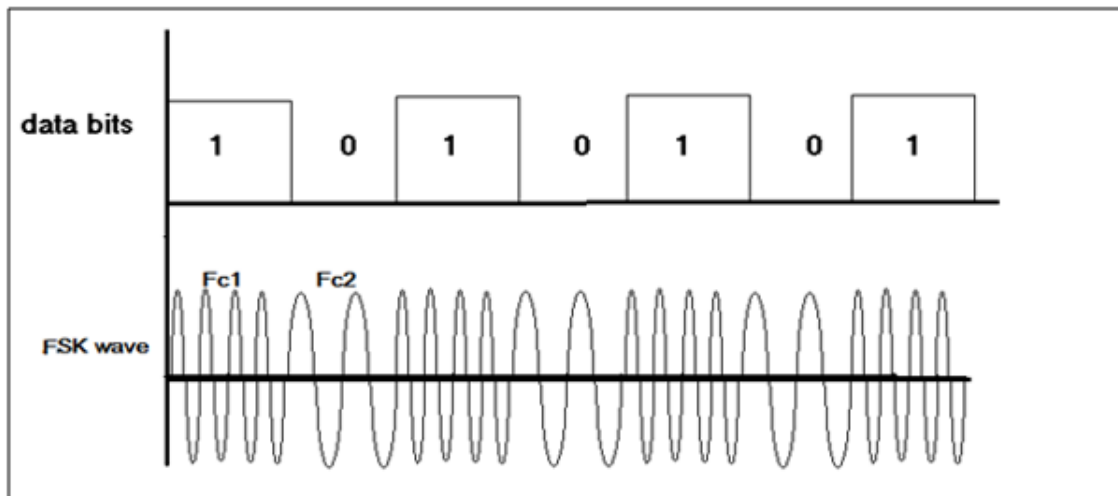


Figura 2.6: Esquema de modulação FSK

2.3 Modulação QPSK

A Quadrature phase-shift keying (QPSK) faz uso de uma propriedade de ortogonalidade dos sinais que faz com que se forem transmitidos simultaneamente em um canal, dois sinais PSK defasados de 90° (seno e cosseno) é possível detectar cada um independentemente um do outro. Trata-se portanto de um esquema de modulação com 4 estados nas fases 45° , 135° , 225° e 315° . O que significa que na mesma banda de um sinal PSK é possível transmitir uma taxa de dados duas vezes maior utilizando modulação QPSK.

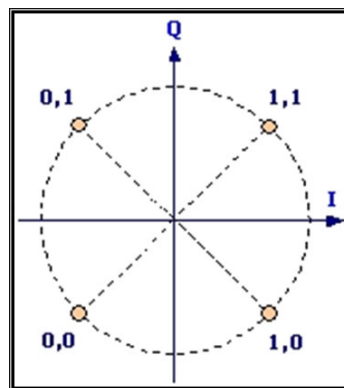


Figura 2.7: Modulação QPSK

2.4 Modulação QAM

Nesta forma de modulação, os símbolos são mapeados em um diagrama de fase e quadratura, sendo que cada símbolo apresenta uma distância específica da origem do diagrama que representa a sua amplitude, diferentemente da modulação PSK, na qual todos os símbolos estão à igual distância da origem. Isto significa que as informações são inseridas nos parâmetros de amplitude e quadratura da onda portadora.

No caso do 16 QAM, a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 4 bits. Podemos ter também, por exemplo, o modo 64 QAM, cuja constelação apresenta 64 símbolos, cada um deles representando 6 bits. A figura abaixo mostra as constelações geradas pelos dois modos QAM mencionados acima:

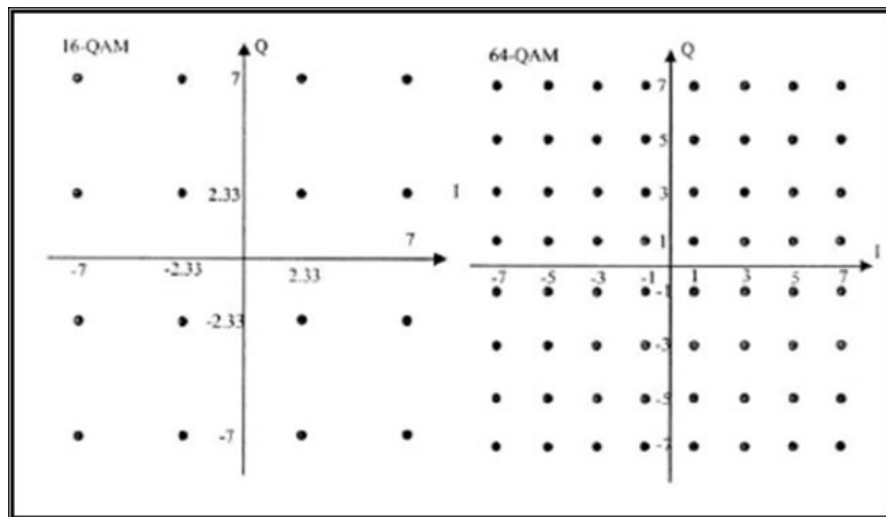


Figura 2.8: Modulação QAM

Pode-se notar que no modo 16QAM alcança-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM, uma vez que cada símbolo transporta um número menor de bits. No entanto, no modo 16 QAM, a distância euclidiana entre os símbolos é maior do que no caso do modo 64QAM. Isto permite que o modo 16QAM possibilite uma melhor qualidade de serviço (QoS), pois a maior distância entre os símbolos dificulta erros de interpretação no receptor quando este detecta um símbolo.

3 Simulação prática de demodulação OOK

O objetivo da parte prática do trabalho, é fazer uma simulação de demodulação de sinal de sinal digital do tipo OOK (on-off keying). O sinal da mensagem original foi quantizado em 128 níveis e codificado através de PCM binário. A taxa de bits é de 60,2 bits/s e a frequência da portadora é de 301Hz.

Para a simulação foi utilizado software Matlab para manipulação do sinal e extração da sequência de bits da mensagem original e posteriormente utilizar um programa feito em C++ para decodificação da mensagem em String.

Para a demodulação do sinal enviado, iniciamos com a aplicação de um retificador de sinal para eliminar a parte negativa do sinal. Após este processo aplicamos um filtro passa baixa de ordem 40 com frequência de corte em 200Hz para eliminação das frequências mais altas que representam a onda senoidal da portadora na modulação. Foi escolhida esta frequência por análise do espectro de frequência do sinal enviado e retificado onde foi verificado que as frequências da portadora começam a aparecer acima de 200Hz. Como previsto pela teoria após o filtro já foi observado a semelhança a um sinal binário.

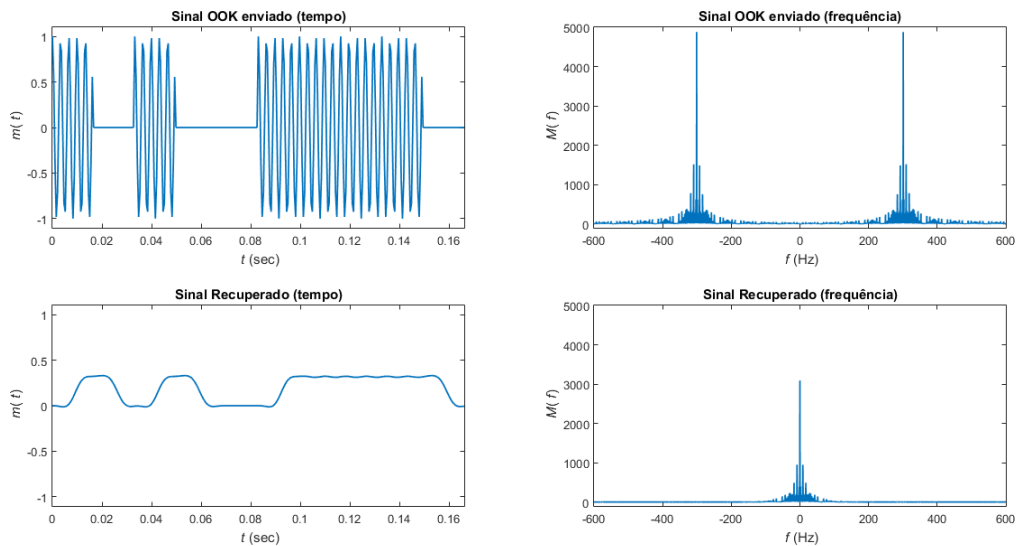


Figura 3.1: Sinal modulado e demodulado no domínio do tempo e da frequência

3 Simulação prática de demodulação OOK

```
1 function x = demodOOK(sinal)
2 fc = 301;
3 rb = 60.2;
4 s_mod = sinal(:,2);
5 t = sinal(:,1);
6 tb = 1/rb;
7 ts = t(2)-t(1);
8 Lfft = length(t);
9 Lfft = 2^ceil(log2(Lfft)+1);
10 freqs = (-Lfft/2:Lfft/2-1)/(Lfft*ts);
11 S_mod = fftshift(fft(s_mod,Lfft));
12
13 %retificar sinal para modulacao
14 s_dem = s_mod.*(s_mod>0);
15 S_dem = fftshift(fft(s_dem,Lfft));
16
17 %passar por um filtro passa baixa de ordem 40 e frequencia de corte 200Hz
18 %frequencia escolhida por analise do espectro de frequencia do sinal
19 %retificado.
20 h = fir1(40,[200*ts]);
21 s_rec = filter(h,1,s_dem);
22 S_rec = fftshift(fft(s_rec,Lfft));
23
24 %Plotagens:
25 rangeTempo = [0 10*tb -1.1 1.1];
26 rangeFreq = [-600 600 -100 5000];
27 figure(1);
28 %plotagem do sinal enviado (tempo):
29 subplot(221);
30 p1 = plot(t,s_mod);
31 set(p1,'Linewidth',1.3);
32 axis(rangeTempo);
33 xlabel('\it t (sec)');
34 ylabel('\it m ({\it t})');
35 title('Sinal OOK enviado (tempo)');
36
37 %plotagem do sinal enviado (freq):
38 subplot(222);
39 p2 = plot(freqs,abs(S_mod));
40 set(p2,'Linewidth',1.3);
41 axis(rangeFreq);
42 xlabel('\it f (Hz)');
43 ylabel('\it M ({\it f})');
44 title('Sinal OOK enviado (frequencia)');
45
46 %plotagem do sinal recuperado (tempo):
47 subplot(223);
48 p3 = plot(t,s_rec);
49 set(p3,'Linewidth',1.3);
50 axis(rangeTempo);
51 xlabel('\it t (sec)');
52 ylabel('\it m ({\it t})');
53 title('Sinal Recuperado (tempo)');
```



```

54
55 %plotagem do sinal recuperado (freq):
56 subplot(224);
57 p4 = plot(freqs,abs(S_rec));
58 set(p4,'Linewidth',1.3);
59 axis(rangeFreq);
60 xlabel('\it f (Hz)');
61 ylabel('\it M({\it f})');
62 title('Sinal Recuperado (frequencia)');
63
64 %extrair sequencia de bits do sinal recuperado
65 tam = length(s_rec);
66 cont = 1;
67 cont2 = 1;
68
69 while cont<tam
70     if t(cont)>(cont2*(tb))
71         if s_rec(cont)>0.2
72             bits(cont2) = 1;
73         else
74             bits(cont2) = 0;
75         end
76         cont2 = cont2 + 1;
77     else
78         cont = cont + 1;
79     end
80 end
81 %salva a sequencia de bits em um arquivo para execucao do programa de
82 %identificacao da mensagem em string.
83 arq = fopen('bits.txt','wt');
84 fprintf(arq,'%i \n', bits);
85 fclose(arq);
86
87 %retorna o valor da sequencia de bits
88 x = bits;
89 end

```

Código utilizado para a demodulação

3 Simulação prática de demodulação OOK

```
1  #include <iostream>
2  #include <cmath>
3  #include <fstream>
4  #include <cstdio>
5  #define TAM 19264
6  using namespace std ;
7  int main(){
8      int v[7], aux, cont=0;
9      char dado[1000];
10
11     for(int i=0;i<1000;i++){
12         dado[i]='\0';
13     }
14     ifstream arq("bits.txt");
15     if( !arq.is_open() ){
16         cout << "Falha na abertura do arquivo, Abortando.." << endl;
17         cout << endl << "Aperte qualquer tecla para sair" << endl;
18         char p = getchar();
19         return 1;
20     }
21
22     while(!arq.eof()){
23         aux = 0;
24         for(int i=0;i<7;i++){
25             arq >> v[i];
26             cout << v[i];
27             aux += v[i]*pow(2,6-i);
28         }
29         cout << " -> " << aux << " -> " << (char)aux << endl;
30
31         dado[cont] = aux;
32         cont ++;
33     }
34     cout << endl << "Vetor de bits convertido para String: " << endl ...
35         << endl;
36     cout << dado << endl;
37     arq.close();
38
39     cout << endl << "Aperte qualquer tecla para sair" << endl;
40     char p = getchar();
41     return 0;
42 }
```

Código utilizado para a decodificação da mensagem binária

Para a extração da sequência de bits foi utilizado um comparador simples dentro do intervalo de sinalização, $T_b = 1/R_b$. Pela teoria o instante de decisão é sempre em $T_b/2$, porém foi observado um deslocamento no tempo durante o processo de demodulação, e esse deslocamento foi de aproximadamente $T_b/2$, consequentemente foi utilizado intervalo de decisão de T_b para a aquisição dos dados serem corretas. A sequência de bits adquirida foi:

```
10100111100101010000011101101101111110001111001010100000110001111011111011101
1100111100101110011111101011101001111001001000001101100110010111100100100000110
0101111001111100111100001010000011011011100101110111011100111100001110011111001
0111011010100000111000011000011110010110000111000101100101110111011100110100001
0100000101011011011111100011110010101000001100001110001111000011100010110000101
00000111010011010011111001011000011110010010000001100010110000010000011011101100
0010100000111010011001011110010110001111001011101001111001011000010100000111010
11101110110100111001001100001110010011001010100001
```

Por fim, a partir da sequência de bits salvas em um arquivo txt, foi implementado um código em C++ para a separação dos bits de 7 em 7, pois o sinal foi quantizado em 128 nível o que dá um $n = 7$ bits. Posteriormente transformar cada subsequência de 7 bits em um caractere e adiciona-lo a uma array de char. No final do programa o array é impresso na tela e a mensagem enviada é revelada. A mensagem revelada foi:

“Se voce conseguir ler essa mensagem parabens! Voce acaba tirar 10 na terceira unidade!”

```
C:\Users\kossm\Desktop\TrabalhoSTD\stringConverter.exe
110001 -> 49 -> 1
110000 -> 48 -> 0
100000 -> 32 ->
101110 -> 110 -> n
100001 -> 97 -> a
100000 -> 32 ->
110100 -> 116 -> t
100101 -> 101 -> e
110010 -> 114 -> r
100011 -> 99 -> c
100101 -> 101 -> e
101001 -> 105 -> i
110010 -> 114 -> r
100001 -> 97 -> a
100000 -> 32 ->
110101 -> 117 -> u
101110 -> 110 -> n
101001 -> 105 -> i
100100 -> 100 -> d
100001 -> 97 -> a
100100 -> 100 -> d
100101 -> 101 -> e
100001 -> 33 -> !

Vetor de bits convertido para String:
Se voce conseguir ler essa mensagem parabens! Voce acaba tirar 10 na terceira unidade!

Aperte qualquer tecla para sair
```

Figura 3.2: Saída do código que decodifica a mensagem que estava em binário

Bibliografia

- [1] B. P. L. .-.-. Z. Ding, *Sistemas de Comunicações analógicos e Digitais modernos*. Reading, MA: Addison–Wesley, 1972.
- [2] Endereço: <http://professores.unisanta.br/isfarias/Materia/Comunicacao%20Digital/ask.pdf%20%7C%20ask.pdf>.
- [3] Endereço: <https://matlabandsimulink.wordpress.com/2013/03/18/amplitude-shift-keying-modulation-and-demodulation-using-matlab/%20%7C%20AMPLITUDE%20SHIFT%20KEYING%20MODULATION%20AND%20DEMODULATION%20USING%20MATLAB%20%7C%20matlab%20and%20simulink>.
- [4] Endereço: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/44820-matlab-code-for-ask-modulation-and-demodulation/content/ASK_mod_demod_salim.m%20%7C%20File%20Exchange%20-%20MATLAB%20Central.
- [5] Endereço: http://www.mathworks.com/matlabcentral/newsreader/view_thread/305760%20%7C%20MATLAB%20Central%20-%20matlab%20program%20for%20ook%20demodulation.
- [6] Endereço: http://coral.ufsm.br/gpscom/professores/andrei/Comunicacao/aula_08.pdf%20%7C%20Comunica%C3%A7%C3%A3o%20de%20Dados%20Modula%C3%A7%C3%B5es%20digitais:%20ASK,%20FSK%20e%20PSK%20Aula-08.
- [7] Endereço: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtvdconsis2/pagina_4.asp%20%7C%20teleco.com.br.
- [8] Endereço: [http://www.engineersgarage.com/sites/default/files/imagecache/Original/wysiwyg_imageupload/1/FSK%20Modulator%20using%20IC%20555%20-%20Waveform_0.png%20%7C%20FSK%20Modulator%20using%20IC%20555%20-%20Waveform_0.png%20\(600%C3%97267\)](http://www.engineersgarage.com/sites/default/files/imagecache/Original/wysiwyg_imageupload/1/FSK%20Modulator%20using%20IC%20555%20-%20Waveform_0.png%20%7C%20FSK%20Modulator%20using%20IC%20555%20-%20Waveform_0.png%20(600%C3%97267)).
- [9] Endereço: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Modula%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o%20%7C%20Modula%C3%A7%C3%A3o%20E2%80%93%20Wikip%C3%A9dia,%20a%20enciclop%C3%A9dia%20livre>.
- [10] Endereço: https://pt.wikipedia.org/wiki/Modula%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o_em_amplitude%20%7C%20Modula%C3%A7%C3%A3o%20em%20amplitude%20E2%80%93%20Wikip%C3%A9dia,%20a%20enciclop%C3%A9dia%20livre.
- [11] Endereço: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplcalt1/pagina_4.asp%20%7C%20teleco.com.br.