



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**MINI SDR BASEADO NO MICROCONTROLADOR AVR ATMega328P
ELE1717 - Grupo 01 - Problema 05 - Projeto**

ANNY BEATRIZ PINHEIRO FERNANDES
ISAAC DE LYRA JUNIOR
JOÃO MATHEUS BERNARDO RESENDE
RODRIGO DE LIMA SANTANA
STHEFANIA FERNANDES SILVA

Natal, 10 de agosto de 2021

Resumo

O SDR (Rádio Definido por Software) é um sistema de comunicação de rádio que implementa componentes de *hardware* em *software*, permitindo flexibilidade e diminuição da complexidade. Diante disso, o seguinte relatório tem como objetivo projetar um sistema que possibilita a implementação de um mini SDR, o qual deverá ser implementado na linguagem C. O mini SDR deverá permitir a modulação AM, FM, ASK e FSK, além de permitir a alteração da frequência da portadora. Para isso, o microcontrolador AT-MEGA328P deverá ser usado, assim como o *display* LCD LM016L para exibir o tipo modulação e frequência da portadora, e de uma rede R2R para realizar a conversão D/A.

Palavras-chave: Sistemas Digitais, ATMEGA328P, Display LCD, LM016L, SDR, Modulação, Rede R2R.

Lista de Imagens

Figura 1 – Diagrama de blocos de um SDR ideal	4
Figura 2 – Aparência da interface homem-máquina do mini SDR	5
Figura 3 – Elementos da interface homem-máquina do mini SDR	5
Figura 4 – Porcentagens de modulação	7
Figura 5 – Modulação AM	8
Figura 6 – Modulação FM	9
Figura 7 – Modulação ASK	10
Figura 8 – Modulação FSK	11
Figura 9 – <i>Display</i> LCD LM016L	12
Figura 10 – Rede R-2R	13
Figura 11 – Conversor digital para analógico R-2R	13
Figura 12 – Fluxograma do mini SDR	14
Figura 13 – Diagrama de modulações seleccionadas pelo potenciômetro	15
Figura 14 – LED RGB catodo comum	16
Figura 15 – Amostragem de um sinal em diferentes frequências (f_s).	17
Figura 16 – Rotina da interrupção realizando a modulação do sinal.	18

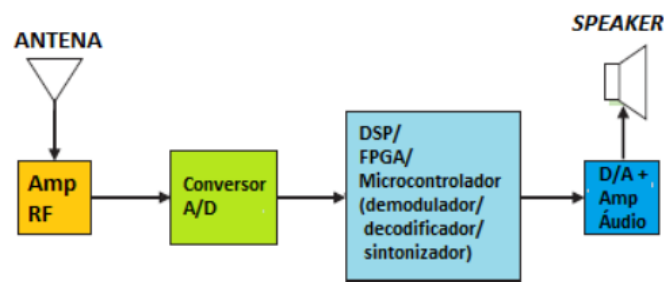
Sumário

1	INTRODUÇÃO	4
2	DESENVOLVIMENTO	6
2.1	Modulação em Amplitude <i>Double Side Band</i> (AM-DSB)	6
2.2	Modulação em Frequência (FM)	8
2.3	Modulação em Amplitude <i>Shift-Keying</i> (ASK)	9
2.4	Modulação em Frequência <i>Shift-Keying</i> (FSK)	10
2.5	Módulo <i>display</i> LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	11
2.6	Conversor Digital para Analógico R-2R (DAC)	12
3	PROJETO	14
3.1	Fluxograma de funcionamento do SDR	14
3.2	LED RGB - Catodo Comum	16
3.3	Sinal Modulado AM, FM, ASK	16
3.4	Frequência de amostragem	17
3.5	Fluxograma da interrupção	18
	REFERÊNCIAS	20
	ANEXO A – RELATO SEMANAL	21
A.1	Equipe	21
A.2	Defina o problema	21
A.3	Registro de <i>brainstorming</i>	21
A.4	Pontos-chaves	22
A.5	Questões de pesquisa	22
A.6	Planejamento da pesquisa	22

1 INTRODUÇÃO

O *Software Defined Radio* (SDR - Rádio Definido por *Software*) é conceituado, segundo Mitola (2000) apud Barros (2007), como um rádio que é controlado, permitindo a modulação e demodulação das formas de ondas inseridas, por meio de um algoritmo. Na Figura 1, temos como exemplo um SDR ideal.

Figura 1 – Diagrama de blocos de um SDR ideal



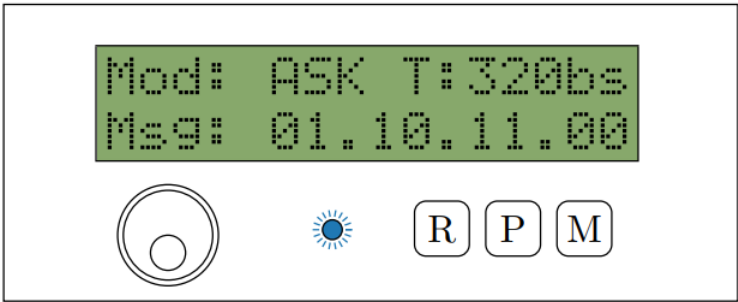
Fonte: Neves, 2014.

Dentre as vantagens do uso do SDR estão a flexibilidade e a diminuição da complexidade. Em um HDR (*Hardware Defined Radio*) seria necessário um demodulador e um decodificador para cada tipo de onda tratada (AM, FM, etc), no SDR é possível controlar diferentes modos de operação adicionando mais algumas linhas de código (NEVES, 2014).

Diante disso, o seguinte relatório objetiva o projeto de um mini rádio definido por *software*. Utilizando o microcontrolador ATMEGA328P, o mini SDR deverá ser capaz de transmitir informações analógicas (AM e FM) e digitais (ASK e FSK). No caso analógico, o SDR deverá mostrar um valor inteiro em decimal correspondente a amplitude de uma amostra da mensagem a ser enviada. Já para o caso digital, o SDR deverá mostrar o conjunto de 8 bits da mensagem a ser enviada.

O mini SDR será responsável por modular o sinal de acordo com a configuração pré ajustada pelo usuário, onde a informação enviada estará no canal 0 do A/D. Já a saída deverá ser exibida em um *display* LCD 16x2, juntamente com o tipo de modulação e frequência da portadora. Além disso, a saída deverá ser convertida em analógica através de um conversor D/A implementado por uma rede R2R. Na Figura 2 temos a interface homem-máquina do projeto e na Figura 3 a descrição dos elementos da interface.

Figura 2 – Aparência da interface homem-máquina do mini SDR



Fonte: Dados do problema.

Figura 3 – Elementos da interface homem-máquina do mini SDR

Elemento	Descrição
	Display LCD para exibição dos parâmetros do SDR
	Potenciômetro para ajuste dos parâmetros do SDR
	LEDs da sinalização do envio correto da mensagem (azul - ok)
	Botão para visualizar a mensagem enviada (<i>Pushbutton</i>)
	Botão para visualizar o ajuste da portadora (<i>Pushbutton</i>)
	Botão para visualizar o ajuste da modulação (<i>Pushbutton</i>)

Fonte: Dados do problema.

O sinal de entrada deverá ter amplitude máxima de 2,5 volts e *offset* de 2,5 volts. A mensagem a ser enviada possui frequência entre 1Hz-10Hz para o caso analógico e taxa de transmissão entre 8bps-80bps para o caso digital. A portadora utilizada na modulação poderá ter frequência entre 100Hz-999Hz. O projeto deverá ser implementado na linguagem C, conforme instruído nos próximos capítulos.

2 DESENVOLVIMENTO

Pode-se definir modulação como o processo em que alguma característica da onda portadora é alterada de acordo com o sinal que contém a mensagem a ser transmitida. Nesse contexto, a portadora é definida como uma onda responsável por possibilitar a transmissão de informação, isso porque a mensagem enviada precisa ser adaptada por inúmeras razões (HAYKIN; MOHER, 2008).

Diante disso, há diversos tipos de modulação. Neste capítulo serão discutidos 4 tipos, dois analógicos (AM e FM) e dois digitais (ASK e FSK). Além disso, outros conceitos serão abordados, como: rede R2R, conversão DA e *display* LCD. Tudo isso para tornar possível a implementação do mini SDR.

2.1 Modulação em Amplitude *Double Side Band* (AM-DSB)

No caso da modulação AM, é preciso usar tal estratégia devido o sinal com informação operar em baixas frequências. Diante disso, sabendo que o comprimento de onda (λ) é inversamente proporcional à frequência (quanto menor a frequência, maior o λ), sem a modulação, faz-se necessário a construção de antenas quilométricas para transmitir, por exemplo, uma onda na frequência audível (RAMBO, 2014).

Dada a motivação, a modulação AM pode ser feita por, pelo menos, 4 métodos: faixa lateral dupla com e sem portadora suprimida; faixa lateral única (SSB) e faixa lateral vestigial (VSB) (HAYKIN; MOHER, 2008). Por definição de projeto a modulação AM realizada será a de faixa lateral dupla sem portadora suprimida (AM-DSB), a qual é a forma mais tradicional de modulação AM.

Para realizar a modulação precisam ser definidas as equações da portadora, da mensagem e do sinal modulado. Na equação abaixo temos a equação da portadora, onde A_p é a amplitude da portadora e f_p é a sua frequência.

$$p(t) = A_p * \cos(2\pi f_p t) \quad (2.1)$$

Já na expressão abaixo temos a mensagem enviada, de maneira análoga, A_m é a amplitude do sinal modulante e f_m é a sua frequência.

$$m(t) = A_m * \cos(2\pi f_m t) \quad (2.2)$$

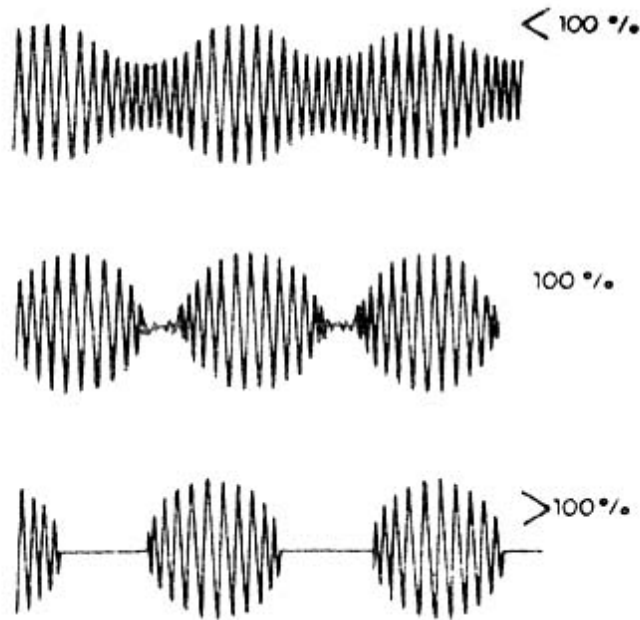
Por último, temos a equação do sinal modulado. Como a modulação é em amplitude, o sinal de saída terá como amplitude: a amplitude da portadora alterada de acordo com

o sinal modulante. Ademais, o sinal irá operar na frequência da portadora. A equação abaixo mostra o que foi descrito.

$$s(t) = A_p(1 + k_a m(t)) * \cos(2\pi f_p t) \quad (2.3)$$

Note que, além do que já foi citado, no sinal de saída há um coeficiente representado por k_a , este é nomeado sensibilidade de amplitude. Conforme mostra a Figura 4, para que haja o correto funcionamento do transmissor AM, o sinal não pode superar o percentual de 100%, tampouco se igualar a ele (BRAGA, 2013). Nesse caso para que o sinal opere no intervalo $<100\%$, deve-se utilizar um k_a entre 0 e 1, por decisão de projeto definiu-se o k_a como 0,9.

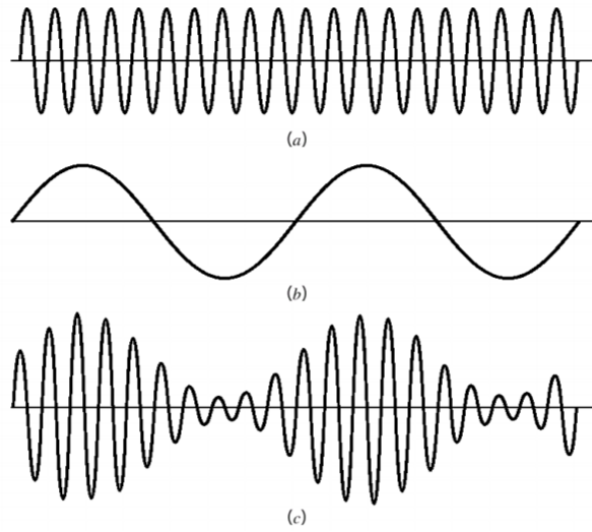
Figura 4 – Porcentagens de modulação



Fonte: Braga, 2013.

Quando configurado adequadamente, a modulação ocorre como mostrado na Figura 5, onde "a" é a portadora; "b" a mensagem e "c" o sinal modulado em amplitude.

Figura 5 – Modulação AM



Fonte: Fernández, 2011.

2.2 Modulação em Frequência (FM)

Os sinais modulados em FM são mais imunes ao ruído e à interferência aditivos que os sinais AM, uma vez que a informação é transportada pela frequência instantânea do sinal modulado e não pela amplitude da portadora (MOREIRA, 1999). Assim, os sistemas de transmissão em que é necessária uma maior qualidade do sinal (relação sinal-ruído) é utilizada normalmente a modulação em frequência, muito por causa disto, a FM é largamente utilizada para transmitir música e voz, rádio bidirecional (EMBARCADOS, 2016).

A onda modulada em frequência $s(t)$ definida pela equação 2.4 é uma função não linear da onda moduladora $m(t)$. Portanto, a modulação em frequência é um processo não linear de modulação. Consequentemente, ao contrário da modulação de amplitude, o espectro de uma onda FM não está relacionado de uma forma simples com o espectro da onda moduladora.

$$s(t) = A_c \cos \left[2\pi f_c + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right] \quad (2.4)$$

A geração de ondas moduladas em frequência se dá por dois métodos básicos: FM direto e FM indireto. No método indireto de produzir modulação em frequência, a onda modulante é usada primeiramente para produzir uma onda FM de banda estreita, e uma multiplicação de frequência é usada depois para aumentar o desvio de frequência para o nível desejado (PINTO, 2020).

Por outro lado, no método direto de produzir modulação de frequência, a frequência da portadora é variada diretamente de acordo com o sinal modulante (PINTO, 2020).

Para a geração de uma onda FM de banda estreita, deve-se considerar a expressão de uma onda FM $s(t)$ para o caso geral da onda modulante $m(t)$, que é escrita na seguinte forma:

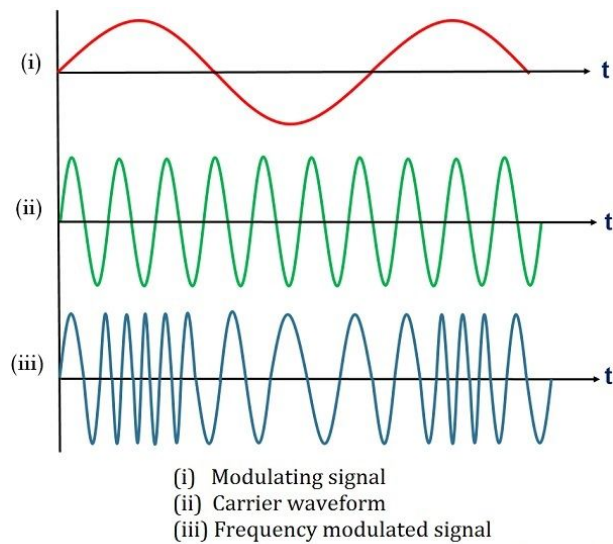
$$s_1(t) = A_p \cos [2\pi f_p t + \phi(t)] \quad (2.5)$$

Onde f_p é a frequência da portadora e A_p é a amplitude da portadora. O argumento angular $\phi(t)$ de $s_1(t)$ está relacionado com $m(t)$ por

$$\phi(t) = 2\pi k_1 \int_0^t m(t) dt \quad (2.6)$$

Em que k_1 é a sensibilidade de frequência do modulador, quanto maior for esta sensibilidade de frequência do modulador, maior será a variação de frequência para o mesmo sinal a transmitir e mais largo será o espectro do sinal modulado.

Figura 6 – Modulação FM



Electronics Coach

Fonte: Electronics Coach.

2.3 Modulação em Amplitude *Shift-Keying* (ASK)

Seguindo os mesmos princípios da modulação AM, a modulação por chaveamento de amplitude tem como características: facilidade no processo de modulação e demodulação, e também baixa imunidade ao ruído. Por essa razão recomenda-se tal modulação quando o ambiente possui pouco ruído e quando o custo do projeto é importante (FONTES, 2012).

Nesse sentido, a amplitude da onda portadora é alterada em função da informação digital enviada. A portadora é definida da mesma forma, no entanto, a amplitude possui

um valor diferente, como mostrado abaixo. Note que um novo coeficiente aparece, este é nomeado duração do bit (T_b) (HAYKIN; MOHER, 2008).

$$A_p = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \quad (2.7)$$

Reescrevendo a equação da portadora, temos:

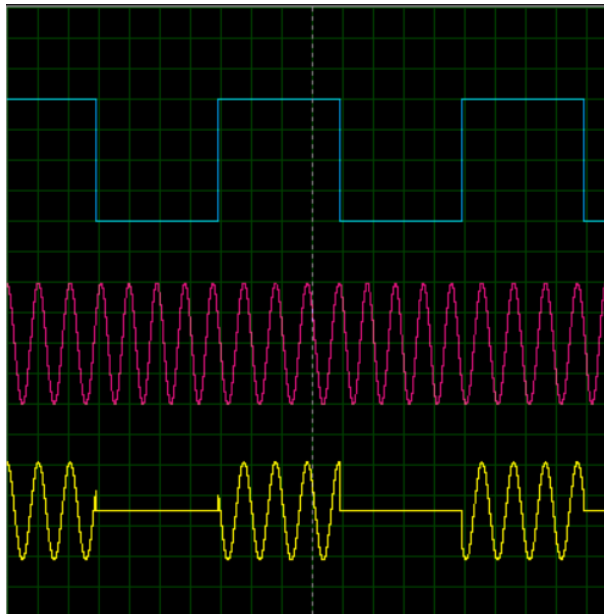
$$p(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} * \cos(2\pi f_p t) \quad (2.8)$$

Logo, a modulação do sinal será realizada conforme mostrado abaixo. O sinal $b(t)$ é a mensagem binária de entrada e pode possuir dois valores: $\sqrt{E_b}$ quando em nível lógico alto e 0 quando em nível lógico baixo, onde E_b corresponde a energia do sinal (HAYKIN; MOHER, 2008).

$$s(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} b(t) * \cos(2\pi f_p t) \quad (2.9)$$

Para ilustrar como os sinais se comportam, na Figura 7 temos em azul o sinal $b(t)$, em rosa a portadora e em amarelo o sinal modulado por chaveamento de amplitude.

Figura 7 – Modulação ASK



Fonte: Autores.

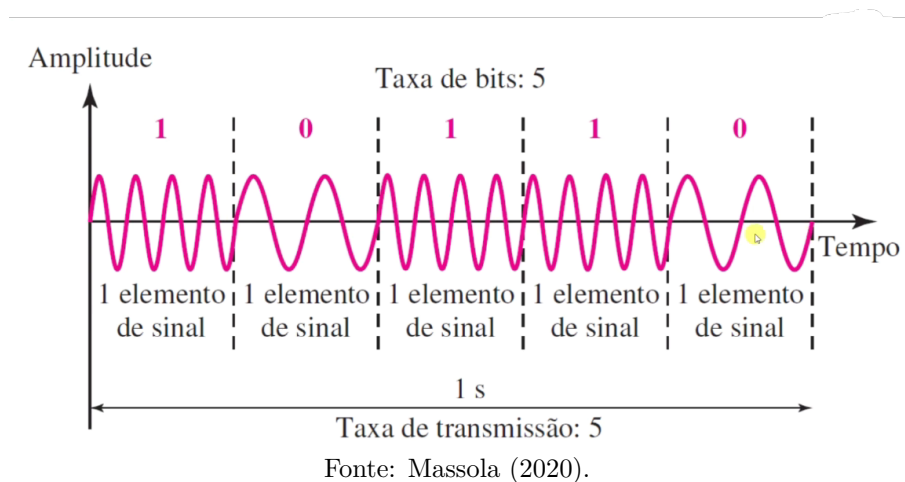
2.4 Modulação em Frequência *Shift-Keying* (FSK)

De modo similar a modulação em frequência, a modulação por chaveamento de frequência funciona na variação de frequência da portadora de acordo com os bits da

mensagem a ser transmitida. Ao se enviar o bit "0", transmite-se a própria portadora inalterada, e para o bit "1", a frequência é alterada para mais alta.

A frequência do sinal modulado é constante para a duração de um elemento de sinal, mas pode mudar para o elemento de sinal seguinte, caso o elemento de dados mude. Tanto a amplitude máxima como a fase permanecem inalteradas para qualquer elemento de sinal (MASSOLA, 2020).

Figura 8 – Modulação FSK



2.5 Módulo *display* LCD (*Liquid Crystal Display*)

Como retorno visual do projeto, teremos o uso do display LCD LM016L com o controlador HITACHI HD44780, este é capaz de se comunicar através de protocolos de comunicação, como SPI e I2C. Nesse projeto optamos por utilizar a comunicação SPI, logo, deve-se utilizar o ATMEGA328P como mestre e o controlador HD44780 como escravo.

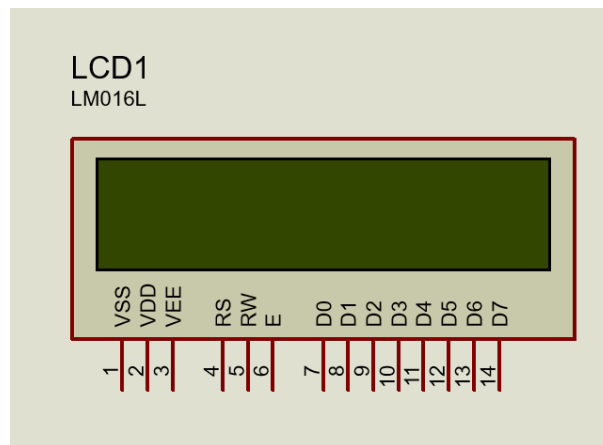
As conexões físicas do *display* devem ser feitas considerando sua pinagem, a qual é explicada na Tabela 1.

Essa tabela faz referência ao LM016L encontrado no Proteus, este é mostrado na Figura 9.

Tabela 1 – *Pinout* LCD

Pino	Descrição
VSS	Deve ser conectado ao terra (GND).
VDD	Alimentação de 5 volts.
VEE	Ajuste de contraste do display. Aconselha-se o uso de um potenciômetro para ter um controle do contraste.
RS	Quando 0 significa entrada de instrução, Quando 1 significa entrada de dados.
RW	Quando 0 significa modo de escrita, Quando 1 significa modo de leitura.
E	Habilitador (<i>Enable</i>) da comunicação.
[D0...D7]	Barramento responsável pela transferência de dados.

Fonte: Autores.

Figura 9 – *Display* LCD LM016L

Fonte: Autores.

2.6 Conversor Digital para Analógico R-2R (DAC)

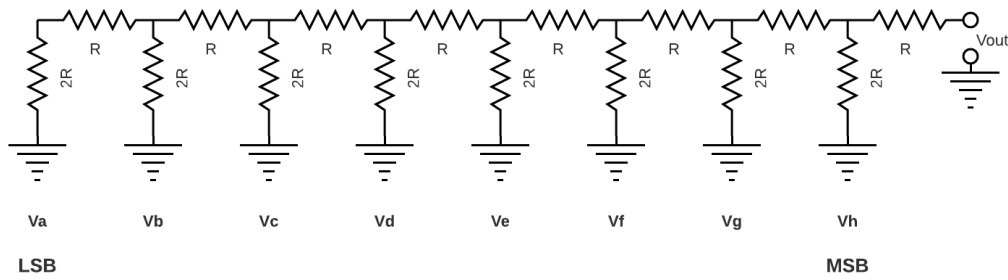
A rede de escada resistiva R-2R baseia-se no uso de apenas dois valores de resistência: uma resistência R e outra resistência que possui o dobro da primeira (Electronics Tutorials, 2021).

Na Figura 10, pode-se observar a representação de uma rede R-2R, onde o bit menos significativo (LSB) é o mais à esquerda e o mais significativo (MSB) está mais próximo ao V_{out} . Nessa mesma figura temos que o código binário é equivalente a 0_2 , assim temos que os 8 bits estão com o valor de referência aterrado.

A equação que rege a tensão de saída (V_{out}) é definida conforme mostrado abaixo.

$$V_{out} = \frac{1V_a + 2V_b + 4V_c + 8V_d + \dots + xV_z}{2^n} \quad (2.10)$$

Figura 10 – Rede R-2R



Fonte: Adaptado de Electronics Tutorials.

Para elucidar o seu uso, podemos pegar como exemplo uma alimentação de 5v, com o binário 1011 representado na rede R2R. Nesse caso, teremos a seguinte equação:

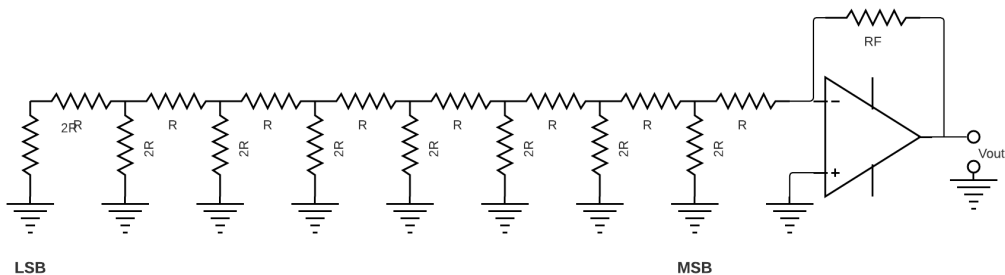
$$V_{out} = \frac{1V_a + 2V_b + 4V_c + 8V_d}{2^4} \quad (2.11)$$

$$V_{out} = \frac{(1 * 5) + (2 * 5) + (4 * 0) + (8 * 5)}{2^4} \quad (2.12)$$

$$V_{out} = \frac{55}{16} = 3.4375 \text{ V} \quad (2.13)$$

Para tornar esse circuito em um conversor digital-analógico R-2R, basta introduzir ao final do circuito um amplificador operacional de inversão, como é demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Conversor digital para analógico R-2R



Fonte: Autores.

A interface de um conversor R-2R D/A de “n” bits dependerá de sua aplicação. Placas *all-in-one*, como Arduino ou *Raspberry Pi*, têm conversores digital para analógico embutidos, de modo que a interface e a programação sejam muito mais fáceis. Comercialmente, existem muitos DAC’s populares disponíveis, como o DAC0808 de 8 bits.

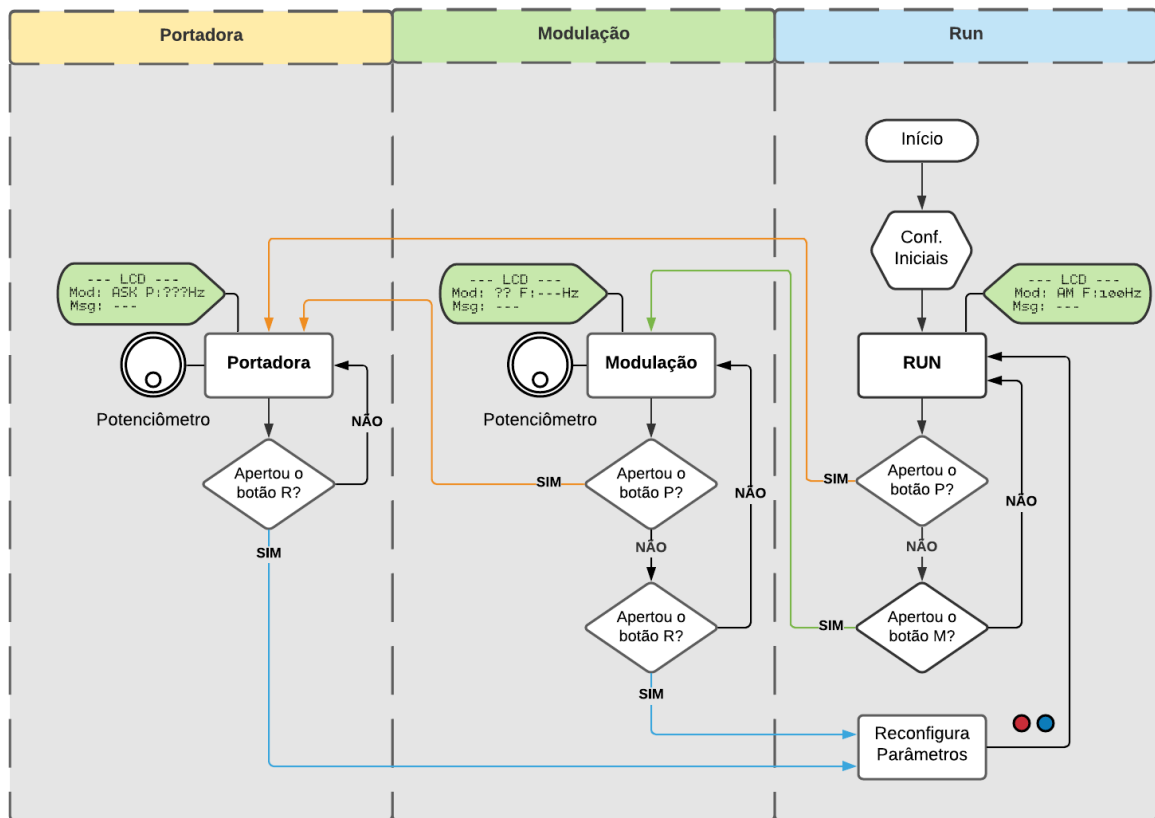
3 PROJETO

Neste capítulo serão apresentados os detalhes do projeto.

3.1 Fluxograma de funcionamento do SDR

O funcionamento do mini SDR deverá ocorrer conforme mostrado na Figura 12. O fluxograma exhibe que o sistema possuirá 3 estados principais: Run, Modulação e Portadora. Além do estado auxiliar "Reconfigura Parâmetros". Ao decorrer do capítulo também será discorrido acerca da rotina de interrupção, responsável pelo processamento do sinal.

Figura 12 – Fluxograma do mini SDR

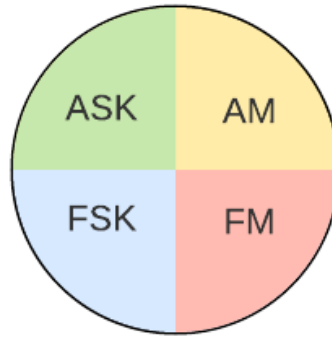


Fonte: Autores.

No estado "Run", o sistema possuirá como *default* a modulação AM e a $f_p=100\text{Hz}$, isso permite que deste estado inicial seja possível mudar somente a portadora ou somente a modulação. Assim, ao pressionar o botão "M" o sistema vai para o estado "Modulação" e ao pressionar o botão "P" o sistema vai para o estado "Portadora". Antes de entrar neste estado, as interrupções globais devem ser habilitadas, e ao sair deste estado, deve-se desabilitar as interrupções globais, parando a modulação do sinal durante os ajustes.

No estado "Modulação", o potenciômetro será rotacionado para escolher um dos 4 tipos de modulação. Na Figura 13 temos a ordem em que estas devem ser escolhidas. Note que a cada 1/4 do valor total do potenciômetro o tipo de modulação deve ser alterado.

Figura 13 – Diagrama de modulações selecionadas pelo potenciômetro



Fonte: Autores.

Se do estado "Modulação" o botão "R" for pressionado, o mini SDR irá passar a operar na modulação escolhida sem modificar a frequência da portadora. E se o botão "P" for pressionado o próximo estado será "Portadora".

No estado "Portadora", o potenciômetro será rotacionado para escolher o valor da f_p , este deve estar no intervalo de 100Hz a 999Hz. Para que se possa limitar a saída a esse intervalo deve-se implementar uma função que satisfaça a equação abaixo:

$$output = \frac{(input - input_{min}) * (output_{max} - output_{min})}{(input_{max} - input_{min})} + output_{min} \quad (3.1)$$

Sabendo que $input_{min}$ será 0, $output_{min}$ será 100, $input_{max}$ será 1023, $output_{max}$ será 999 e o $input$ representa o valor da entrada, substituindo os valores a equação se torna a seguinte

$$output = (input - 0) * \frac{(999 - 100)}{(1023 - 0)} + 0 \quad (3.2)$$

$$output = input * \frac{899}{1023} \quad (3.3)$$

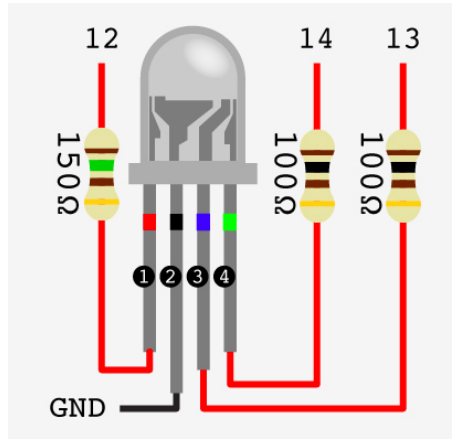
No estado "Reconfigura Parâmetros", os valores escolhidos tanto em "Modulação" como em "Portadora" irão definir os novos parâmetros da modulação do sinal. Ao fim deste estado, as interrupções globais devem ser reativadas, reiniciando a modulação do sinal.

3.2 LED RGB - Catodo Comum

Nos estados "Modulação" e "Portadora" o LED deverá acender na cor vermelha. Somente no estado "Run", se a mensagem estiver sendo enviada corretamente, o LED deverá acender na cor azul, do contrário este permanecerá na cor vermelha. Para isso é preciso usar um LED RGB, que por decisão de projeto deverá ser catodo comum.

Na Figura 14, temos o RGB com a resistência adequada a cada cor. Como a cor verde não será utilizada, deve-se aterrar o pino correspondente.

Figura 14 – LED RGB catodo comum



Fonte: Alen, 2015.

3.3 Sinal Modulado AM, FM, ASK

Dada as definições do projeto, a equação do sinal modulado em amplitude deve ser usada conforme mostrado abaixo. Note que somente foi substituído o valor do k_a e adicionado o *offset*. Na amplitude o *offset* é subtraído para garantir que o sinal de saída tenha amplitude máxima de 2,5 V.

$$s_{am}(t) = 0,9(m(t) - offset) * \cos(2\pi f_p t) + offset \quad (3.4)$$

De maneira análoga, a modulação por chaveamento de amplitude, terá como equação a mostrada abaixo.

$$s_{ask}(t) = A_p * b(t) * \cos(2\pi f_p t) + offset \quad (3.5)$$

Para realizar a modulação em frequência do sinal de entrada, a equação 3.6 deve ser implementada.

$$s_{fm}(t) = offset * \cos[2\pi f_p t + 0,9 * 2\pi * m(t)] + offset \quad (3.6)$$

3.4 Frequência de amostragem

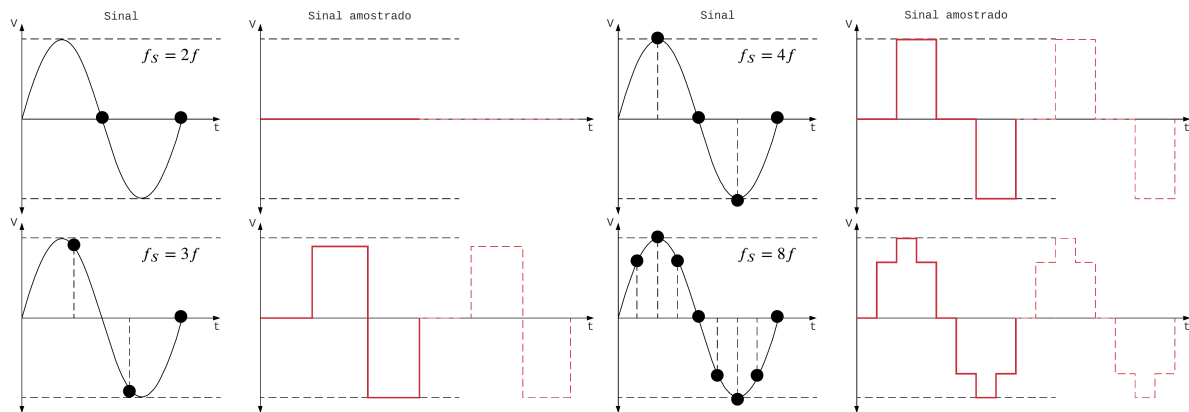
Para que o ATmega328P realize a conversão A/D, é preciso que este faça capturas periódicas do sinal analógico, ou seja, a amostragem do sinal está sendo feita pelo conversor. Para o presente projeto é necessário ter um controle preciso do tempo de amostragem do sinal, uma vez que o sinal deve ser processado e, logo em seguida, enviado para o conversor D/A, sempre em intervalos fixos de tempo. Desse modo, é possível relacionar o valor da entrada com a saída naquele instante de tempo (apenas com um atraso de processamento).

Para determinar a frequência de amostragem e assim obter precisamente o intervalo de tempo entre cada amostragem, deve-se antes citar o teorema de amostragem de Nyquist. “Esse teorema diz que a taxa de amostragem f_S deve ser maior que o dobro da componente de maior frequência que você quer analisar no sinal medido” (INSTRUMENTS, 2021). Como a maior frequência a ser tratada é a frequência da portadora f_P , que se encontra entre 100 Hz e 999 Hz, então a frequência de amostragem deve ser:

$$f_S > 2f_P \quad (3.7)$$

A partir deste ponto, sabe-se o valor mínimo da frequência de amostragem. Também se pode afirmar que para valores maiores de f_S , o que se obtém é maior resolução no sinal de saída. A Figura 15 destaca o comportamento do sinal de saída com diferentes frequências de amostragem.

Figura 15 – Amostragem de um sinal em diferentes frequências (f_S).



Fonte: Autores.

Para o programa amostrar o sinal adequadamente, é necessário deduzir o período (T_S), de acordo com a frequência f_S que for escolhida. Desse modo, o programa poderá entender exatamente quando amostrar. Em termos de implementação, o programa precisa fazer uso de um os *Timers* que, ao iniciar a contagem, só irá gerar uma *flag* de interrupção quando passar o tempo equivalente ao período de amostragem (T_S). Neste momento o

programa deve chamar a rotina de interrupção que irá amostrar o sinal e processá-lo. Para calcular o período de amostragem T_S , que determinará o intervalo entre as interrupções, usa-se a equação abaixo:

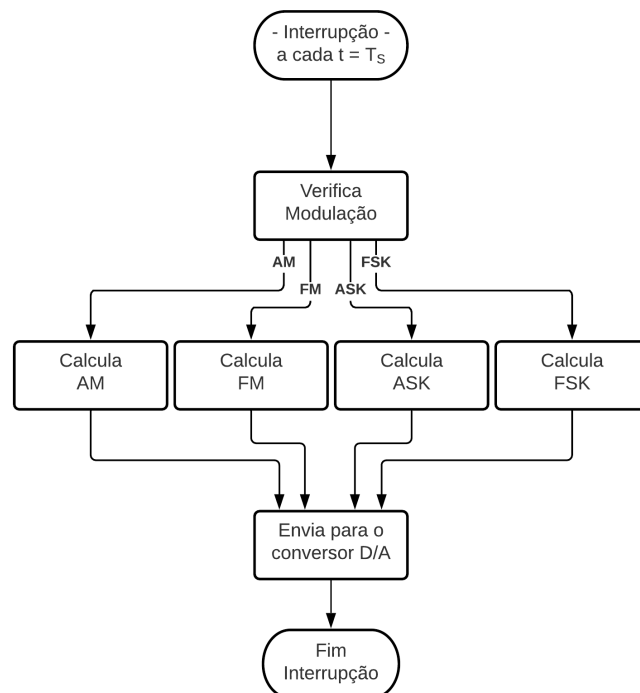
$$f_S = N * f_p \rightarrow \frac{1}{T_S} = N * f_p \rightarrow T_S = \frac{1}{N * f_p} \quad (3.8)$$

Sendo N o múltiplo que indica quantas vezes a frequência de amostragem f_S será maior que a frequência da portadora f_p . Para obedecer o teorema de Nyquist, N deve ser maior que 2. Recomenda-se testar qual o melhor valor para N , começando pelo valor mínimo (3, por exemplo). Sabendo que quanto maior o N , melhor a qualidade do sinal, mas menor será o intervalo entre as amostras.

3.5 Fluxograma da interrupção

Para realizar a modulação do sinal de entrada, foi projetado o fluxograma da Figura 16. O motivo para utilizar uma interrupção para fazer a modulação é basicamente a possibilidade de deduzir o tempo, que será necessário nos cálculos. Sabendo exatamente o momento da interrupção é possível adicionar o tempo real aos cálculos. Já que os sinais dependem diretamente do tempo, é imprescindível sabê-lo.

Figura 16 – Rotina da interrupção realizando a modulação do sinal.



Fonte: Autores.

A interrupção utilizada para esta rotina pode ser um *Overflow* ou um *Compare Match* relacionado a um *Timer/Counter*, que deve ser configurado para ativar a interrupção

quando passar o correspondente a T_S . Ao executar esta rotina, o programa deve verificar o tipo de modulação atual. A depender de qual seja, o processamento do sinal será diferente para cada tipo. Terminando os cálculos, o valor atual do sinal de saída deve ser enviado para o conversor D/A (Rede R2R) através dos pinos.

Referências

- ALEN. *Resistor para led rgb*. 2015. Acessado em: 09 ago. 2021. Disponível em: <<https://iluminacaovitrines.blogspot.com/2015/09/resistor-para-led-rgb.html>>.
- BARROS, L. G. de. **O Rádio Definido por Software**. 2007.
- BRAGA, N. C. *Cálculos de Modulação em Amplitude*. 2013. Acessado em: 06 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/6712-calculos-de-modulacao-em-amplitude-tel097.html>>.
- EMBARCADOS. *Aprenda sobre modulação FM*. 2016. Acessado em: 09 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/aprenda-sobre-modulacao-fm/>>.
- FERNÁNDEZ, E. M. G. *MODULAÇÃO DE AMPLITUDE*. 2011. Acessado em: 07 ago. 2021. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/evelio/TE060/AM2.pdf>>.
- FONTES, A. I. R. **Classificação Automática de Modulação Digital com Uso de Correntropia para Ambientes de Rádio Cognitivo**. 2012.
- HAYKIN, S.; MOHER, M. *Introdução aos sistemas de comunicação*. [S.l.]: Bookman, 2008.
- INSTRUMENTS, N. *Acquiring an Analog Signal: Bandwidth, Nyquist Sampling Theorem, and Aliasing*. 2021. Acessado em: 08 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/06/acquiring-an-analog-signal--bandwidth--nyquist-sampling-theorem-.html>>.
- MASSOLA, P. *SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS - TRANSMISSÃO DIGITAL PORTADORA ANALÓGICA ASK FSK PSK DPSK*. 2020. Acessado em: 09 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PM6OotDSPFw>>.
- MOREIRA, A. J. C. *Técnicas de modulação*. 1999. Acessado em: 09 ago. 2021. Disponível em: <<http://www3.dsi.uminho.pt/adriano/Teaching/Comum/TecModul.html>>.
- NEVES, F. *Você sabe o que é Software Defined Radio ? – Parte I*. 2014. Acessado em: 08 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/software-defined-radio-p1>>.
- PINTO, P. da F. *Introdução às Telecomunicações*. 2020. Acessado em: 09 ago. 2021. Disponível em: <http://tele1.dee.fct.unl.pt/it_2020_2021/folhas/4_folhas_fm.pdf>.
- RAMBO, W. *MODULAÇÃO AM DOUBLE SIDE BAND*. 2014. Acessado em: 06 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=SS1KwsH1tlg>>.
- TUTORIALS, E. *R-2R DAC*. 2021. Acessado em: 07 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.electronics-tutorials.ws/combinational/r-2r-dac.html>>.

ANEXO A – Relato semanal

Líder: ANNY BEATRIZ PINHEIRO FERNANDES

A.1 Equipe

Tabela 2 – Identificação da equipe

Função no grupo	Nome completo do aluno
Redator	STHEFANIA FERNANDES SILVA
Debatedor	ISAAC DE LYRA JUNIOR
Videomaker	JOÃO MATHEUS BERNARDO RESENDE
Auxiliar	RODRIGO DE LIMA SANTANA

Fonte: Produzido pelos autores.

A.2 Defina o problema

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto, para a posterior implementação, de um mini rádio definido por software (SDR). Este deverá ser controlado através de uma codificação em C, inserida no microcontrolador AVR ATMega328p. O SDR deve ser capaz de realizar o envio de sinais analógicos e digitais por meio de 4 tipos de modulações (AM, FM, ASK, FSK).

O sistema deve apresentar 1 *display* LCD 16x2, 3 botões (R, P, M), 1 potenciômetro e 1 LED RGB. Todos para permitir controle da modulação e da frequência de portadora utilizada para envio das mensagens. A partir destes, o usuário deve informar ao SDR quais configurações utilizar para o seu funcionamento correto e assim enviar a mensagem com sucesso. Com isso, o projeto explora uma forma simples de comunicação entre objetos e um *gateway*, a qual é muito utilizada dentro do conceito de internet das coisas (IoT).

A.3 Registro de *brainstorming*

A realização do *brainstorming* foi feita em suma durante as reuniões ou encontros diversos entre os membros na plataforma *Discord*. Na terça (03/08), logo após a aula, houve um breve encontro para definição de cargos e dos tópicos - a serem estudados - necessários para o desenvolvimento do projeto. Também foi definido o horário do próximo encontro síncrono.

A reunião de quinta (05/08) iniciada por volta das 19 horas, foi realizada a montagem do fluxograma do sistema requerido e segregado alguns tópicos das modulações para melhor estudo do assunto. Na sexta (06/08), terceiro encontro síncrono, foi realizado um levantamento de pontos a serem finalizados. Também foi decidido o modelo e controlador do *display* a ser utilizado, a relação das portas com os dispositivos e a rede R2R a ser implementada para a conversão D/A. Por fim, no domingo foi realizado um encontro de membros para decidir dúvidas que surgiram durante a escrita do relatório sobre o fluxo do sistema e pontos diversos. Com isso, o *brainstorming* do projeto foi finalizado.

A.4 Pontos-chaves

Para o desenvolvimento deste projeto, um ponto crucial foi o entendimento das modulações a serem aplicadas. Como estas se relacionam com o sistema e como poderiam ser aplicadas durante a implementação. Com isso, também foi de grande relevância o entendimento dos outros dispositivos e seus possíveis meios de conexão com o ATmega328p.

A.5 Questões de pesquisa

1. Modulações:
 - a) AM;
 - b) FM;
 - c) ASK;
 - d) FSK.
2. Rede R2R;
3. *Display* LCD 16x2.

A.6 Planejamento da pesquisa

Inicialmente, foi requerido o estudo do projeto e qual o fluxo necessário para o desenvolvimento deste sistema. Em seguida, foi dada prioridade ao estudo das 4 modulações exigidas pelo projeto. Em paralelo, já ao fim da semana, foram levantados os aspectos da rede R2R e driver do *display* a ser utilizado. Com isso, todos os aspectos do projeto foram abordados.