



Universidade Federal de Uberlândia

Transmissores e receptores FM

Prof. Alan Petrónio Pinheiro

Faculdade de Engenharia Elétrica

Curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações

1 – Objetivos e considerações preliminares

O objetivo básico deste material é demonstrar de forma simplificada a concepção e os passos de projeto de um transmissor e um receptor FM composto por componentes monolíticos/discretizados de forma que o estudante possa: (i) entender o processo de transmissão analógica de áudio usando FM mono e (ii) incrementar seus conhecimentos e habilidades práticas na montagem em radiofrequência (RF).

Vale destacar que este projeto tem foco didático e por isto trabalha com componentes básicos para condicionar os sinais em todas suas etapas. Por isto, o projeto não é otimizado e tão pouco menos profissional, não usa conceitos mais sofisticados e atuais (como a heterodinagem, por exemplo) e evita ao máximo o uso de CI (circuitos integrados) comerciais que facilitariam o projeto. Outros capítulos neste mesmo material irão abordar arquiteturas mais modernas, de maior qualidade e até mesmo de montagens mais práticas e profissionais. Porém, esta primeira parte está mais preocupada em demonstrar praticamente passo a passo um circuito de transmissão FM e outro de recepção.

Ainda, como este material é focado na montagem prática, parte-se do pressuposto que o leitor deste material já tenha conhecimento mínimo sobre modulação FM. O enfoque aqui dado é mais voltado à eletrônica necessária para este processo de comunicação.

2 – Transmissor: arquitetura, projeto, simulação e montagem

2.1 – Visão geral: arquitetura da solução de transmissão

A primeira etapa do projeto visa identificar os elementos básicos necessários que devem compor a solução. A Figura 1 ilustra estes elementos pensados para o transmissor. Cada um deles será projetado e tratado separadamente nas próximas subseções. Ao final, todos eles devem ser interligados para garantir o correto funcionamento do transmissor. Contudo, seu projeto é feito separadamente para facilitar esta tarefa e seu entendimento por parte do leitor.

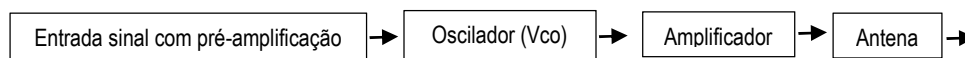


Figura 1 – Elementos básicos que compõem o transmissor.

Como o sinal de entrada (que pode vir de um microfone ou a saída de áudio de um celular, por exemplo) é geralmente na ordem de mili-volts, é necessário já em uma primeira etapa passarmos por uma pré-amplificação. Já na etapa subsequente, o sinal (em banda base) entra em um oscilador cuja frequência varia segundo o nível de tensão de sua entrada (funcionamento similar a um Vco – oscilador controlado por tensão). Desta forma, quando uma dada tensão é percebida na entrada do oscilador, a saída é uma mistura do sinal de entrada e do sinal gerado pela oscilação. Esta mistura gera o sinal modulado. Em outras palavras, a frequência do oscilador varia com a aplicação do sinal de entrada produzindo um sinal modulado em frequência.

2.2 – Entrada de sinal e pré-amplificação

Para este projeto poderemos considerar dois tipos diferentes de entrada: (i) um microfone de eletreto¹ (também chamado de condensador) ou (ii) um conector jack (modelo P2 ou P4 ou PJ ou RCA) fêmea de áudio. No caso do conector, espera-se que alguma saída de áudio (como a do celular, por exemplo) seja ligado a este circuito como fonte de sinal sonoro. A Figura 2 ilustra estes componentes. Vale lembrar que alguns microfones de eletreto já vem com (pré-)amplificador embutido (Figura 2b) dispensando, neste caso, a necessidade do amplificador.

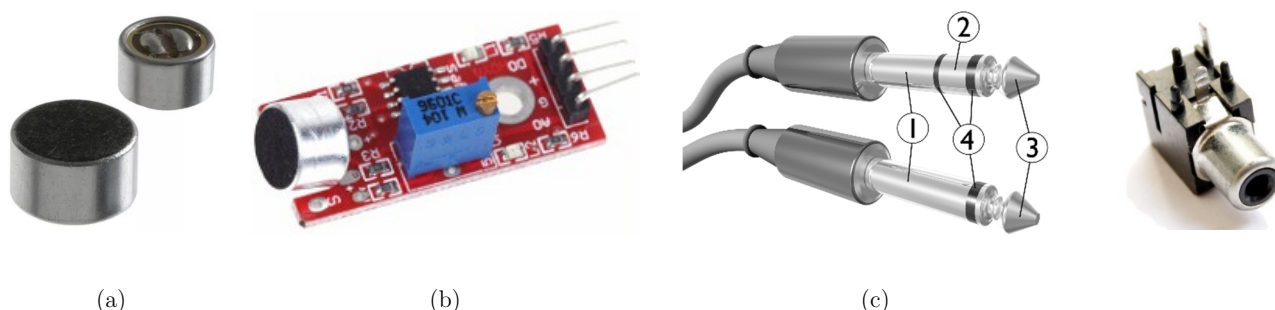


Figura 2 – (a) Microfone de eletreto ou condensador. (b) Microfone de eletreto acompanhado de módulo pré-amplificador. O potenciômetro em azul controla o ganho do pré-amplificador. (c) Conector jack P2 macho comumente usado para conexões de áudio. Observa-se que há modelos de 1 canal (mono) e 2 canais (stereo). O 1 indica o terra, o 2 o canal direito de áudio e o 3 é o canal esquerdo de áudio (se estéreo) ou o canal positivo (se mono). O 4 é o isolante. (d) Conector fêmea RCA muito usado em conexões de áudio.

Passo 1: definir alguns pontos importantes para nosso projeto

- 1) Modelo de pré-amplificador: será usado um modelo de amplificação de emissor comum, mas especificamente um divisor de tensão por ser um modelo de boa estabilidade. Tem média impedância de entrada ($1k$ a $10k\Omega$) e bom ganho de tensão. Como um microfone de eletreto tem

¹ Funcionamento básico do microfone de eletreto: o som passa por uma abertura no microfone. Ao entrar, o som provoca a vibração de uma fina folha metalizada que é carregada permanentemente em relação ao terra do microfone. Estas cargas elétricas são alteradas toda vez que sofrem deformações mecânicas causadas pela movimentação das ondas sonoras. Esta vibração da folha gera uma alteração na capacitância que por sua vez gera uma variação da carga elétrica armazenada entre as placas. Esta variação das cargas elétricas resulta no sinal de áudio.

impedância de saída média de $1,2k\Omega$, é uma boa opção. Já se focássemos em uma conexão com outro dispositivo (celular, por exemplo) com saída de áudio com impedância de 50Ω , o ideal seria um modelo de base comum pois tem baixa impedância de entrada. Como o foco deste projeto é o microfone, será usado o divisor de tensão. A Figura 3 ilustra a configuração deste modelo.

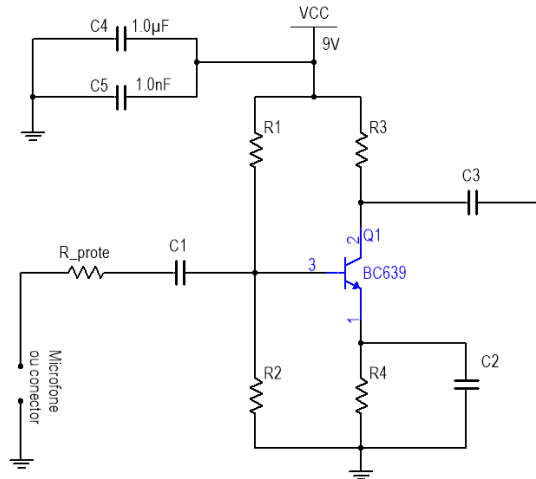


Figura 3 – Esquema básico do pré-amplificador. Um potenciômetro R6 é colocado na saída para definir a quantidade de sinal amplificada deve ser passada para o próximo estágio.

- 2) **Proteção:** para evitar que o amplificador drene muita corrente da fonte (seja ela um microfone ou a saída de um aparelho de áudio) danificando-a, iremos colocar logo de início uma resistência de limitação de corrente. Na Figura 3 ela é designada como “R_prot”. Esta resistência é opcional uma vez que sua inserção garante uma maior proteção contra a queima da fonte, mas diminui desempenho já que esta resistência introduz uma perda do sinal de entrada. O leitor pode decidir quanto a sua necessidade. Mesmo assim a incluiremos neste projeto. Geralmente ela é desnecessária já que a impedância de entrada do divisor de tensão é tradicionalmente $> 1k\Omega$ (ou $Z_{in}=R1//R2//\beta r_e$) o que já limita bastante a corrente da fonte.
- 3) **Fonte:** será usado uma **fonte de 9V** que pode ser tanto uma bateria quanto uma fonte elétrica convencional. Contudo, o uso de uma bateria garante maior qualidade na transmissão uma vez que o emprego de fontes de alimentação ligadas a rede elétrica inserem ruídos no circuito. Já uma bateria é isolada e não possui esta desvantagem. De qualquer forma, o projeto deve ser apto a funcionar em ambos os casos. Ainda, serão usados capacitores de desacoplamento da fonte para retirar potenciais ruídos que possam ter na fonte. Estes capacitores foram designados como C4 e C5 na Figura 3 e seus diferentes valores visam passar diferentes faixas de frequência de ruído. Sugere-se colocar capacitores de tântalo ou eletrônicos.
- 4) **Transistor:** escolhemos o **BC639** (npn) pois: (i) é um transistor relativamente barato; (ii) é propício para amplificação e tem boa linearidade (poucas distorções no áudio) em frequência de áudio (que compreende o espectro de 80 a 20kHz). Tradicionalmente seu $V_{CE}=80V$ máximo e suporta até 1A no coletor. Logo, estes parâmetros são compatíveis com o projeto. Em projetos mais sofisticados com menor compromisso com custo, este transistor deve ser substituído por

modelos mais adequados para áudio. Qualquer outro transistor classificado como “small signal amplifier transistor” deve ser suficiente.

Passo 2: calcular valores de componentes da Figura 3

- Cálculo resistências de polarização R1 a R4: Considerando um ponto quiescente de polarização de $V_c=4,5V$ e $I_c=1\text{ mA}$, teremos:

$$R3 = (9V - 4,5V)/1\text{mA} = 4,5k\Omega \rightarrow \text{arredondando para } \mathbf{4,7k\Omega}$$

$$R4 = 1,5V/1\text{mA} = \mathbf{1,5k\Omega} \quad (\text{foi considerado que dos } 4,5V, \text{ cerca de } 1,5V \text{ estariam alocados para } R4)$$

$$I_b = I_c/\beta = 1\text{mA}/100 = 10\mu\text{A}. \quad (\text{considerando } \beta = 100)$$

$$V_b = 1,5V + 0,7V = 2,3V$$

$$R2 = V_b/100\mu\text{A} = 23k\Omega \rightarrow \text{arredondando para } \mathbf{22k\Omega} \quad (\text{foi considerado que a corrente que passa por } R2 \text{ é } \geq 10 \times I_b = 10 \times 10\mu\text{A} = 100\mu\text{A})$$

$$R1 = (9 - V_b)/(100\mu\text{A} + 10\mu\text{A}) = 60,9k\Omega \rightarrow \text{arredondando para } \mathbf{56k\Omega}$$

- Cálculo R_{prote} : considerando que a máxima corrente que pode ser drenada do microfone é $0,5\text{mA}$; que ele é alimentado pela fonte ($9V$) e que consideramos que $V_b=2,3V$, teremos:

$$R_{\text{prote}} = (9V - 2,3V)/0,5\text{mA} = 13,4k\Omega \rightarrow \text{arredondando para } \mathbf{12k\Omega}$$

Lembrando que R_{prote} não é necessário em muitos casos e que aqui consideramos o uso de um microfone de eletreto ligado diretamente a fonte de $9v$. Se usar um microfone de $2V$ (muito comum), esta resistência de proteção não é necessária pois a própria impedância de entrada do pré-amplificador limitará o sinal de entrada. Durante a montagem, avalie a necessidade prática de se ter este resistor.

- Cálculo dos capacitores C1 e C3 de desacoplamento DC: vamos considerar que a reatância destes capacitores deve ser no máximo 5% da impedância de entrada dos circuitos que são ligados após eles. Assim, considerando que a impedância de entrada do amplificador seja $R1//R2/\beta r_e = 56k//22k//100 \cdot (25,6\text{mV}/1\text{m}) = 2,2k\Omega$ e que a impedância do circuito que será ligada à saída do amplificador também seja igual (ou superior) a este valor, temos que ter uma reatância de $2,2k \cdot 0,05 = 110\Omega$. Como a máxima frequência do áudio é 20kHz , temos que este capacitor deve assumir o valor de

$$C1 = C3 = 1/(2\pi f X_c) = 1/(2 \cdot \pi \cdot 20000 \cdot 110) = 72\text{nF} \rightarrow \text{arredondando } \mathbf{100\text{nF}} \text{ ou } \mathbf{0,1\mu\text{F}}$$

- Cálculo capacitor C2 de by-pass (desvio): como C2 está em paralelo com R4 (que vale $1,5k$), temos que fazer com que a reatância deste capacitor seja pelo menos 5% menor que R4 para garantir um bom desvio CA. Assim $X_c = 1,5k \cdot 0,05 = 75\Omega$. Desta forma:

$$C2 = 1/(2\pi f X_c) = 1/(2 \cdot \pi \cdot 20000 \cdot 75) = \mathbf{0,1\mu\text{F}} \quad (\text{que felizmente já é padronizado com } C1 \text{ e } C3)$$

Passo 3: verificar funcionalidade do projeto por simulação

Neste passo devemos montar o circuito da Figura 3 com os valores calculados e usando um gerador de sinal (configurado para a máxima frequência do áudio, que é 20kHz) e com amplitudes baixas (1mVp , por exemplo), ver se de fato os valores designados e os arredondamentos foram suficientes

para produzir uma amplificação razoável. Os resultados são mostrados na Figura 4. Observa-se pelo resultado que quando a entrada (sinal vermelho) atinge um pico de 978uV (ou 1mV), a saída atinge um pico de 44,2mV proporcionando um ganho de tensão de pelo menos 44x (sem carga). Este aumento pode ser incrementado se retirada a resistência R_{prote} . Os arredondamentos produziram um ponto de polarização de $I_c=1,17\text{mA}$ e um $V_c=3,46\text{V}$. Neste ponto é importante observar que ao ligar uma carga (de impedância finita) na saída, este ganho diminuirá.

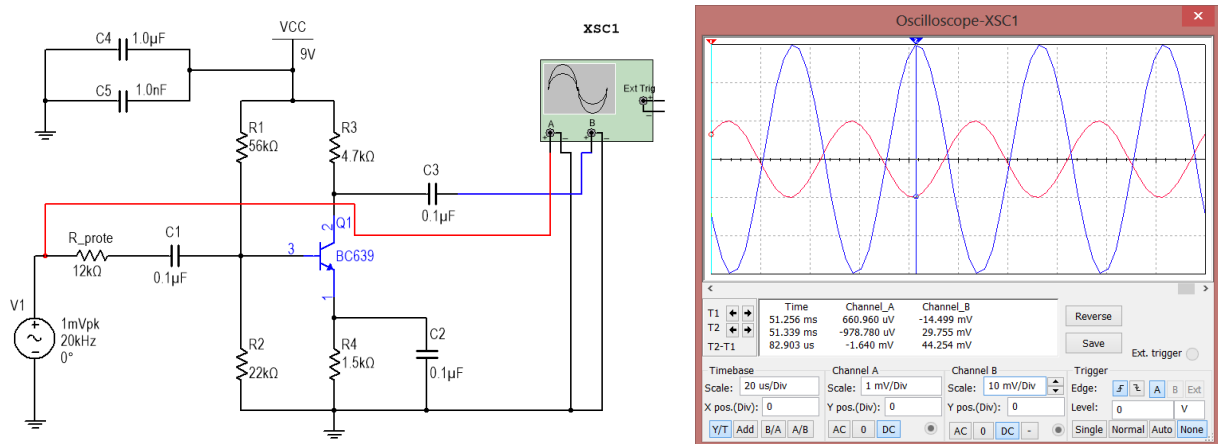


Figura 4 – Simulação do pré-amplificador exibindo o sinal de entrada versus de saída. Ligação “a vazio”.

2.3 – Oscilador

A ideia aqui vai um pouco além de um mero oscilador. Para a modulação FM, seria necessário produzir um oscilador que reproduza uma frequência na saída que seja proporcional ao nível de tensão da entrada. Ou seja: um nível de tensão controla a frequência produzida. Este tipo de oscilador é denominado de V_{co} (oscilador controlado por tensão) é o principal elemento da modulação FM e por isto um item indispensável a qualquer projeto de transmissor FM.

Passo 1: montar um oscilador e sintonizá-lo na banda de frequência desejada.

Neste passo devemos escolher entre um modelo de oscilação para gerar a frequência de portadora. No caso da faixa de frequência de FM, os osciladores mais comuns são o de Colpitts Hartley. Ambos trabalham com o conceito de oscilação por ressonância onde um circuito tanque gera uma determinada frequência que é realimentada em um amplificador que garante a oscilação naquela faixa de frequência para o qual o circuito tanque foi sintonizado. Geralmente, o oscilador de Colpitts é mais usado por necessitar de menos indutores (um somente enquanto Hartley necessita de dois). A Figura 5 mostra uma das configurações possíveis para um oscilador de Colpitts. Observe que nenhuma entrada de sinal é vista neste oscilador que é capaz de gerar uma portadora senoidal sem que haja entrada de sinal.

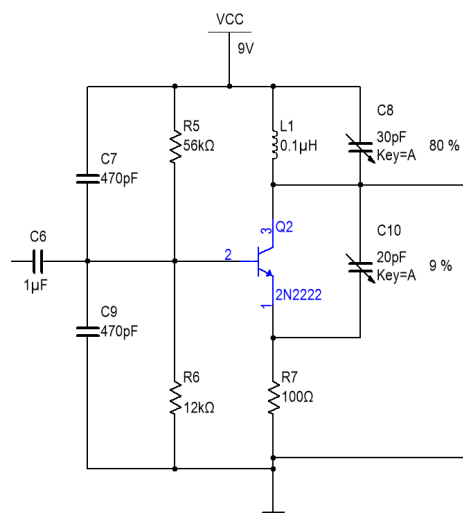


Figura 5 – Configuração de um oscilador de Colpitts.

Em virtude do fato de Colpitts se basear no fenômeno da ressonância de um circuito tanque, a frequência de portadora é a mesma do circuito tanque que é dada pela equação abaixo. Neste caso C equivale ao valor do capacitor que está em paralelo com o indutor do circuito tanque (na Figura 5 rotulado como C10).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Neste caso é importante definir:

- 1) Transistor: como o oscilador vai trabalhar na ordem de 100MHz, é preciso empregar um transistor de alta velocidade propício para telecomunicações de forma a garantir que a portadora seja a mais estável possível. Usaremos o **2N2222** mesmo embora este não seja um transistor de RF e por isto não muito recomendado para este tipo de aplicação. Isto porque seu datasheet sequer trás a descrição dos parâmetros S e/ou Y necessários para análise em RF mais aprofundadas. Neste sentido uma boa escolha seria o BF547. Outras opções seriam o BF494 e MPSH11 (média frequências) e, para frequências maiores, o BF547. Enfim, transistores classificados como “RF transistor”.
- 2) Ajuste da frequência de portadora: para ajudar a frequência da portadora, seria necessário variar ou L ou C_{eq} . Como a variação de um indutor é mais complicada, tradicionalmente escolhe-se por variar um (ou dois) dos elementos de capacitância que compõem o circuito tanque. Neste caso geralmente emprega-se um dos componentes: varicap ou um trimmer. Usaremos um trimmer neste projeto para definir a frequência base de oscilação.

Passo 2: cálculos dos elementos do projeto

Na sequência são apresentados alguns dos cálculos específicos para osciladores tomando por base o esquema da Figura 5.

- Cálculo de L_2 e C_{10} do circuito ressonante: como geralmente os trimmers variam entre 1pF a 80pF, deveremos ter um indutor na ordem de 0.09uH a 0.13uH para que possamos compreender a faixa de frequências FM (88 a 108 MHz) segundo as relações matemática apresentadas logo na sequência. Contudo, consideraremos um indutor de 0.1uH que está

próximo do valor calculado. Escolheremos C10 como um valor que pode variar de na ordem de pF, mais especificamente até 30pF já que estes trimmers que alcançam até esta amplitude são tipicamente comuns.

$$L = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{(2\pi 88 \cdot 10^6)^2} = 0.13 \mu H$$

$$L = \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{(2\pi 108 \cdot 10^6)^2} = 0.09 \mu H$$

- Cálculo de C8: este capacitor faz realimenta o sinal fazendo o feedback e tem profunda importância na oscilação uma vez que é graças a relação de $B = C8/C10$ que temos a porção de sinal realimentado. O amplificador deve justamente apresentar um ganho de $C10/C8$ para compensar esta atenuação de modo a atender ao critério de $A \cdot B = 1$ para estabilidade da oscilação. Contudo, em termos práticos sabe-se que este valor tem que ser ligeiramente maior que 1 e não exatamente igual a isto. Pensando nisto, vamos inserir um segundo trimmer para fazer este ajuste mais fino e controlar a porção do sinal que é realimentado. Como C10 é de 30pF, escolheremos um C8 que alcance um valor máximo menor que C10 para tentar garantir que $C8 < C10$. Caso contrário a oscilação pode não ser estável.
- Cálculo de C7 e C9: o sinal CA produzido no emissor gera uma componente CA na base do transistor segundo a relação $I_e = I_c + I_b$. É preciso dar caminho para esta componente alternada tanto para o terra como para o Vcc mantendo a diferença de potencial entre estes dois constante. Para isto empregaremos dois capacitores de igual valor em paralelo com as resistências de polarização. Usaremos um capacitor de 470pF que para 108MHz tem uma reatância $< 4\Omega$ (ou seja: desprezível).
- Resistências de polarização R1, R2 e R3: os valores de polarização foram considerados empregando-se um $I_c = 6mA$ e um $V_{r3} = 0,6V$ gerando-se os valores vistos na Figura 5.

Passo 3: verificar funcionalidade do projeto e fazer ajustes por simulação

Este passo é importantíssimo para se verificar os ajustes no projeto. Conforme visto na Figura 5, quando ajustamos C8 para 9% e C10 para 80%, temos uma oscilação com bom comportamento conforme se vê nos gráficos da Figura 6. Observa-se que mesmo sozinho (não ligado a nenhum outro circuito ou fonte de sinal), ele é capaz de produzir um sinal senoidal relativamente limpo a julgar pelo seu espectro. *É importante ajustar bem o oscilador seja na simulação, seja na prática, pois ele é o item mais crítico do projeto, para o seu correto funcionamento e para sua qualidade.* Ainda vale lembrar que esta forma de projeto empregando osciladores construídos de forma discretizada não é a mais eficiente em termos de qualidade de sinal. Contudo, em termos didáticos, tem suas vantagens apesar da dificuldade em fazer o oscilador funcionar bem com os ajustes finos.

Se você utiliza o Multisim como ferramenta de simulação, recomenda-se que antes de simular o circuito, vá ao menu "Simulate -> Interactive simulation settings -> Initial conditions -> set to zero". Ainda, a simulação pode levar algum tempo até que faça com que o oscilador produza uma forma de onda viável. Nem sempre os simuladores conseguem produzir um comportamento muito realístico de um oscilador. Daí a importância de também fazer testes em bancadas para esta tipo de montagem.

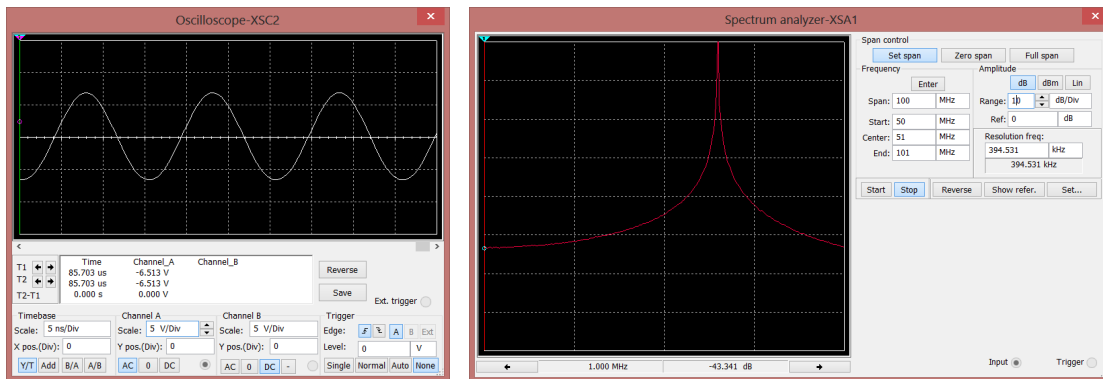


Figura 6 – Resultado da simulação do oscilador do transmissor. (esquerda) Forma de onda do sinal produzido pelo ajuste de C10 e C8. (direita) Espectro em escala dB do sinal produzido pela oscilação.

2.4 – Amplificador

Neste último estágio dá-se potência ao sinal já modulado de forma que se conseguia alcançar distâncias maiores. **É um estágio optativo** uma vez que sua função é apenas dar maior alcance ao sinal. Neste sentido será usado um amplificador sintonizado que, além de amplificar a banda do sinal, ainda faz a filtragem. Ainda, poderia-se fazer um casamento de impedância no próprio amplificador. Porém como os dados de impedância do transistor (parâmetros Y) não são conhecidos, negligenciaremos o casamento de impedância neste momento. A Figura 7 ilustra esquematicamente o circuito amplificador sintonizado. Destaca-se que ele também utiliza um circuito tanque no coletor do transistor que deve estar ajustado na mesma frequência de oscilação central do oscilador para permitir a passagem destes valores de frequência.

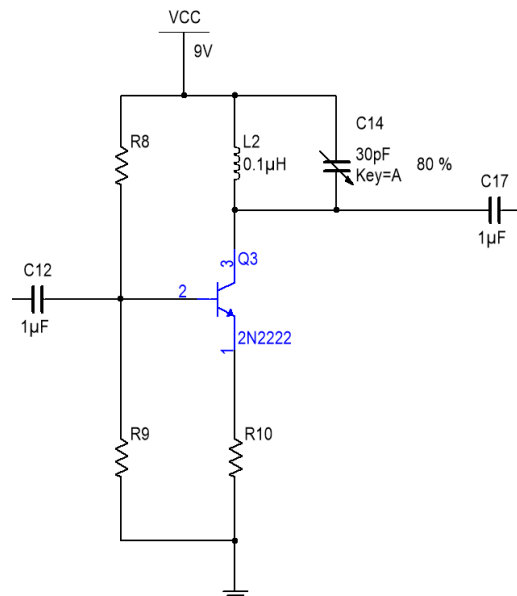


Figura 7 – Projeto do amplificador.

Observe que este circuito é bem similar ao do oscilador, especialmente no circuito tanque/ressonante. A diferença está na inexistência de um capacitor de realimentação de sinal entre o coletor e o emissor do

transistor que garantiria a oscilação espontânea (além dos capacitores C9 e C7 da Figura 5 que garante passagem para a corrente de base gerada). No caso deste circuito temos um amplificador comum onde no coletor ligamos um circuito cuja resistência varia conforme a faixa de frequência que passa por ela. Como o ganho deste amplificador é dado pela relação R_c/r_e , onde $R_c = X_L//X_c$, temos diferentes ganhos para as diferentes frequências. No caso da frequência central e das frequências próximas a ela, temos que a resistência R_c deste circuito é a máxima possível (e o ganho também, por consequência). Já outras frequências, o valor de R_c decai diminuindo o ganhando chegando a situações onde $R_c < r_e$ o que geraria uma atenuação naquela faixa de frequências.

Passo 1: cálculos dos elementos do projeto

Para calcular os elementos do amplificador ilustrado na Figura 7, vamos proceder com os cálculos e convenções dadas a seguir:

- Ponto de operação da polarização do transistor: vamos considerar $I_c=10\text{mA}$ e $V_c=4,5\text{V}$ para a frequência central.
- Cálculo dos valores de polarização: Vamos considerar que a frequência central gerada pelo oscilador na ausência de sinal de entrada seja f_c que é a frequência de ressonância do oscilador ($f=1/(2\pi\sqrt{L.C})$) e do circuito tanque deste estágio de amplificação. Neste caso, $R_c=X_c//X_L$. Como na ressonância $X_c=X_L$, temos que $R_c = X_L/2$ (ou $X_c/2$). Logo, como desejamos o ponto de polarização $V_c = V_{cc}/2 = 4,5\text{V}$ teremos que a corrente de polarização I_c deve ser dada pela equação abaixo. Certifique-se de que o transistor escolhido suporta esta corrente (e também a faixa de frequência usadas). No caso o 2N2222 suporta até 800mA.

$$I_c = V_{RC}/R_c = 4,5/(X_L/2) = 9/(2\pi f_c L)$$

- Cálculo de R10: vamos atribuir uma tensão de 1V a este resistor de polarização. Como sua corrente deve ser I_c , temos que:

$$R_{10} = 1\text{V}/(9/(2\pi f_c L)) = (2\pi f_c L)/9$$

- Cálculo de R9: já que consideramos no item anterior que R10 deve ter uma queda de 1D DC, logo a tensão na base (V_b) do transistor deve ser $V_b = 1\text{V} + 0,7\text{V} = 1,7\text{V}$. Se consideremos um β qualquer para o transistor, teremos $I_b = I_c/\beta = 9/(2\pi f_c L \beta)$. Se adotarmos que a corrente de polarização que passa por R9 é 10x maior que I_b , teremos:

$$R_9 = 1,7\text{V}/(90/(2\pi f_c L \beta))$$

- Cálculo de R8: em R8 temos 9V- $V_b = 7,3\text{V}$. Ainda, $I_{R8} = I_b + 10 \cdot I_b = 11 \cdot I_b = 99/(2\pi f_c L \beta)$. Desta forma teremos:

$$R_8 = 7,3\text{V}/(99/(2\pi f_c L \beta))$$

- Agora, para termos ilustrativos e considerando um ajuste tal que $f_c = 92\text{MHz}$ (que é a metade da banda reservada à FM) e um $\beta = 100$, teremos:

$$I_c = 150\text{mA}$$

$$R_{10} = 6,5\Omega \rightarrow \text{arredondando para } 10\Omega$$

$$R_9 = 109\Omega \rightarrow \text{arredondando para } 100\Omega$$

$$R_8 = 426\Omega \rightarrow \text{arredondando para } 470\Omega$$

2.5 – Antena

O tamanho da antena é calculado de acordo com o comprimento de onda (λ) do transmissor. Se considerarmos, por exemplo, que a frequência central é de 90MHz, teremos:

$$\lambda \cdot \nu = c$$

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 / 9 \cdot 10^7 = 3.3 \text{ metros}$$

Desta forma, uma antena de 3,3 metros seria a ideal. Contudo, qualquer múltiplo e submúltiplo de 3,3 também irá funcionar. Assim, usaremos uma antena de **33 cm** ou **16,5cm**, preferencialmente um modelo comercial (como a de veículos) com impedância conhecida e preferencialmente de 50Ω para poder-se estimar o casamento de impedância. Ainda, usaremos em série com a antena um capacitor (na ordem de 0,01uF) para proteger o circuito contra possíveis descargas elétricas (componente de sacrifício). Se preferir, pode desconsiderar este componentes que deve ser ligado em série com a antena.

2.6 – Ligação dos estágios e simulação

Neste ponto devem ser interligados todos os estágios anteriores para se avaliar o funcionamento global do projeto. Naturalmente que interligar estes componentes, podem haver problemas não previstos uma vez que estamos inserindo ‘cargas’ a estes circuitos. A Figura 8 ilustra o circuito final. Observe que entre o primeiro estágio (pré-amplificador) e o segundo (oscilador) foi inserido um *potenciômetro* para controlar o ganho da transmissão.

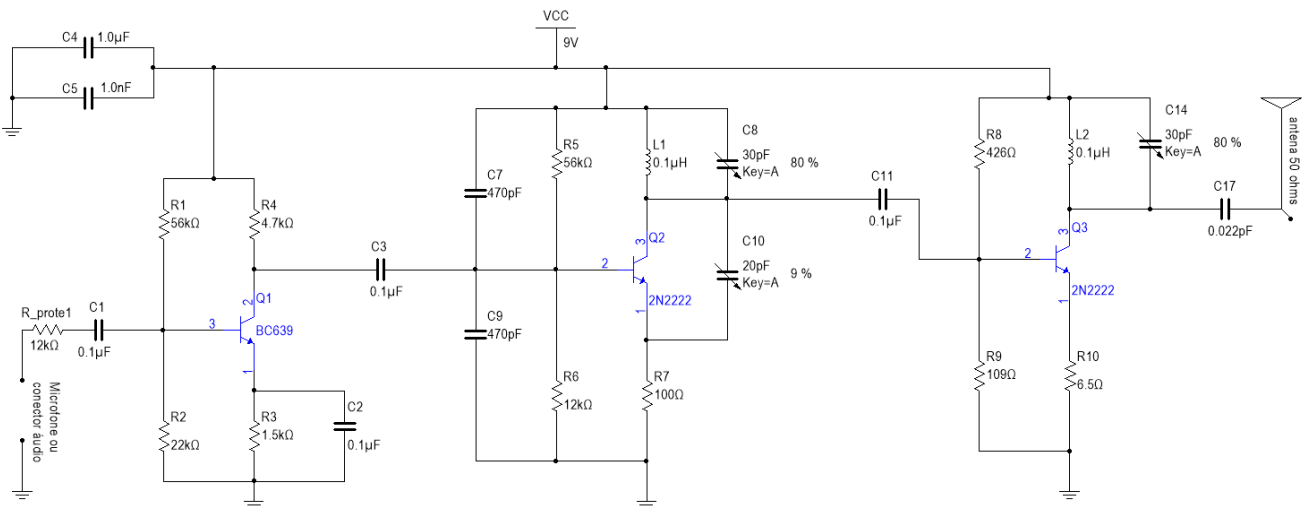


Figura 8 – Esquemático do circuito completo do transmissor FM.

2.7 – Montagem

Para a execução prático do projeto em bancada, sugere-se:

- Depois de pronto, acomodar o circuito transmissor em uma caixa metálica ou revestida em alumínio para formar uma gaiola de Faraday
- O uso de **bateria** ao invés de fonte ajuda a minimizar as interferências que vem da própria rede elétrica.
- Monte o circuito em uma placa de circuito impresso e não em protoboard. Para facilitar, use **placas de prototipação** (placas que já vem perfuradas bastando apenas inserir os componentes e interligados por fios e solda)

- **Cuidado** para não usar osciloscópios de baixa frequência de aquisição. A maior parte dos osciloscópios geralmente não trabalham em frequências superiores a 80MHz. Use osciloscópios com largura de banda igual ou superior a 120MHz, pelo menos.
- Monte **parte por parte separadamente**, especialmente o oscilador e os faça funcionar só para depois fazer a interligação. Use **geradores de sinais** para avaliar o funcionamento de cada parte e como ela responde ao sinal de entrada.

2.8 – Testes do transmissor

Para testar o transmissor, sugere-se:

- Use um rádio comercialmente disponível onde você possa sintonizar ele manualmente para tentar ouvir o que o seu transmissor está enviando
 - Depois que estiver funcionando, avalie a distância com que o seu rádio consegue pegar o sinal em visada direta (sem barreira) e com qualidade mínima.
 - Tente medir na prática a potência RMS que chega a antena e/ou a potência do circuito como um todo. Neste último caso basta multiplicar 9V pela corrente que sai da bateria.
 - Também utilize, se possível, um analisador de espectro para avaliar a potência do sinal transmitido na antena.
-