



Universidade Federal de Uberlândia

Manual de laboratório da disciplina de ‘Eletrônica Analógica 1’

Prof. Alan Petrônio Pinheiro

Departamento de Engenharia Elétrica

Curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações (*campus* Patos de Minas)

alan@eletrica.ufu.br

Versão 1.1

Sumário

SUMÁRIO	2
A - PREFÁCIO	3
B - INFORMAÇÕES SOBRE OS ROTEIROS	4
C - INSTRUÇÕES PARA USO DO LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA	5
D – DIRETRIZES PARA O DIÁRIO DE EXPERIMENTOS	5
E - ELABORAÇÃO DE REPORTE TÉCNICOS.....	6
F - OPERAÇÃO DOS INSTRUMENTOS NO LABORATÓRIO	7
G - REGRAS DE SEGURANÇA E ORIENTAÇÕES GERAIS	8
H – TIPOS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	9
ROTEIRO 1: DIODOS	11
1.1 – OBJETIVOS DOS EXPERIMENTOS.....	11
1.2 – REFERÊNCIAS	11
1.3 – EQUIPAMENTOS E COMPONENTES NECESSÁRIOS	11
1.4 – PRÉ-LABORATÓRIO	11
1.5 – TEORIA, PROCEDIMENTOS E MEDIDAS.....	11
1.6 – REPORTE TÉCNICO.....	14
ROTEIRO 2 - POLARIZAÇÃO DE TRANSISTORES BIPOLARES	16
2.1 – OBJETIVOS DOS EXPERIMENTOS.....	16
2.2 – REFERÊNCIAS	16
2.3 – EQUIPAMENTOS E COMPONENTES NECESSÁRIOS	16
2.4 – PRÉ-LABORATÓRIO	16
2.5 – TEORIA, PROCEDIMENTOS E MEDIDAS.....	17
ROTEIRO 3 – AMPLIFICADORES DE PEQUENOS SINAIS USANDO TBJ	21
3.1 – OBJETIVOS DOS EXPERIMENTOS.....	21
3.2 – REFERÊNCIAS	21
3.3 – EQUIPAMENTOS E COMPONENTES NECESSÁRIOS	21
3.4 – PRÉ-LABORATÓRIO	21
3.5 – TEORIA, PROCEDIMENTOS E MEDIDAS.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

A - Prefácio

Este material assim como suas instruções é destinado à *disciplina prática de Eletrônica Analógica 1* onde, basicamente, cobre-se o conteúdo de diodos e transistores diversos incluindo suas aplicações em circuitos analógicos com aplicações diversas. Desta maneira, esta disciplina é um espaço prático para que o aluno possa (i) projetar, (ii) prototipar, (iii) analisar, (iv) depurar e (v) testar circuitos eletrônicos analógicos.

A responsabilidade do aluno em laboratório não se resume a apenas executar os exercícios de laboratório propostos e o projeto final, mas também demonstrar efetivamente seu aprendizado e introduzi-lo à prática científica laboratorial e a documentação criteriosa e objetiva. Ao mesmo tempo, pretende-se na convivência prática estimular o aluno a despertar o interesse pela eletrônica, pela experimentação e também a pensar em termos de inovação. Mesmo embora boa parte dos experimentos seja elementar, eles podem ser o início de uma *educação voltada a projetos*. Estes experimentos deverão dar base para o discente desenvolver um projeto final onde ele terá a liberdade de exercer sua criatividade e ser estimulado à prática da inovação. Para isto, embora as avaliações sejam individuais, espera-se que os discentes tenham a capacidade colaborativa de trabalho e não se isolarem em um “ostracismo”. Encoraja-se a interação entre colegas de modo que haja o repasse de experiências/conhecimentos e o estímulo de trabalho em equipe, a convivência profissional, a interação acadêmica e o exercício da discussão construtiva.

Neste documento são definidos alguns experimentos básicos e alguns pontos que devem pautar a conduta do aluno em laboratório. Estes pontos devem orientar os discentes na prática, ajudá-los a organizar suas ideias, introduzir o procedimento científico, documentar seu aprendizado e desenvolver suas habilidades de escrita e documentação. Por fim, são descritas algumas outras informações potencialmente úteis para o bom aproveitamento desta oportunidade de aprendizado prática da eletrônica analógica.

Os principais propósitos dos experimentos que fazem conjunto com este manual e integram as aulas experimentais de eletrônica analógica são

- (i) dar ao estudante alguma familiaridade prática com dispositivos semicondutores de estado sólido (e.g. diodos e transistores);
- (ii) projeto e prototipação de circuitos analógicos empregados diodos e transistores;
- (iii) empregar instrumentos elétricos e procedimentos laboratoriais comuns à prática da eletrônica analógica.

O objetivo é estimular as habilidades práticas do estudante durante o curso e estimulá-lo à pesquisa experimental através de projetos que empreguem a eletrônica de estado sólido incrementando e consolidando o aprendizado adquirido em disciplinas teóricas. Ao final do curso, espera-se que o estudante seja capaz de:

- (i) projetar, simular e prototipar circuitos simples de eletrônica analógica de sua própria autoria;
- (ii) usar instrumentos de testes e medições elétricas tais como osciloscópios, geradores de sinais, fontes e outros úteis na pesquisa experimental;
- (iii) tenha incrementado sua capacidade de comunicação escrita científica e tenha melhores condições de pensar em inovação tecnológica através da eletrônica e suas

potenciais aplicações se sentido estimulado a desenvolvê-la em outras áreas ou disciplinas do curso.

B - Informações sobre os roteiros deste manual

Há uma série de “bons hábitos” para o procedimento laboratorial que envolve desde as vestimentas, regras de segurança e manipulação de instrumentos até como proceder para a realização do(s) experimento(s). Nesta seção será discutido o modelo que será usado para a execução dos procedimentos.

Para guiar o aluno na execução dos experimentais é descrito em cada capítulo posterior um roteiro de como proceder na prática de forma pontual. Cada um destes roteiros cobre uma grande variedade de passos, diferentes circuitos e vários tipos de medidas. Assim, provavelmente, um roteiro deverá tomar várias aulas práticas de laboratório e assim que finalizado, deve ser produzido um reporte técnico segundo as regras definidas neste manual. Este reporte sintetizará os resultados alcançados pelo aluno durante as práticas.

Os roteiros são divididos em seções, a saber: (i) objetivos dos experimentos, (ii) referências, (iii) equipamentos e componentes necessários, (iv) pré-laboratório, (v) teoria, procedimentos e medidas e (vi) relatório. Na primeira seção são esclarecidos os objetivos principais do roteiro em questão para que possa ser enfatizado ao aluno as necessidades e aplicações do procedimento que ele está realizando. Na segunda seção são apontadas algumas referências para consulta teórica. Além destas referências, o aluno deve também consultar o professor sempre que julgar necessário. Na terceira seção, são descritos os componentes eletrônicos necessários para a prática assim como os equipamentos de devem ser usados no laboratório para os procedimentos necessários para execução do roteiro. Na quarta seção (‘pré-laboratório’), ela deve ser lida e estuda com antecedência a realização do experimento. Nela, o aluno é, geralmente, instruído a consultar algum *data sheet* na internet sobre determinado componente, seu uso e aplicação e por isto deve se feita com antecedência. As informações que o aluno julgar importante nesta fase para a montagem do circuito, devem ser anotadas em um “diário de experimentos” (que será discutido mais à frente neste documento). Assim *é fundamental que antes de proceder com a prática no laboratório, o aluno antes leia e execute as solicitações feitas nesta seção. Alunos que mostrarem durante o laboratório não terem feito as atividades do “pré-laboratório” serão proibidos de prosseguirem com o experimento até que cumpram com este requisito.*

Independente do tipo de experimento, algumas práticas são importantes e comuns a cada procedimento na área de eletrônica. Podemos citar:

- o uma vez que o circuito é ligado e se mostra completamente inoperante, a primeira coisa a checar é por erros óbvios. Alguns deles são: fonte desligada ou não funcionando, chaves desligas, conexões perdidas ou com mau contato (use a função de condução do multímetro para verificar a condução de cada fio/nó) ou componentes ligados incorretamente;
- o sempre que fizer medidas, cheque sua sensibilidade e a faça, se possível, pelo menos 3 vezes desligando e ligando novamente os equipamentos conectados ao circuito. Veja a influência de outros elementos/componentes do circuito na sua medida e os efeitos de precisão do componente e da medida;

- é importante que cada estudante tenha um caderno de anotações (que será aqui chamado de **diário de experimentos** – no inglês este caderno é geralmente chamado *notebook*) onde o aluno deve anotar todas as medidas realizadas e informações úteis para a reprodução do experimento;
- é antiético, imoral e altamente recriminado a alteração ou maquiagem de dados que refletem seus resultados para torná-los mais consistente com os cálculos teóricos. Destaca-se que seus reportes técnicos não serão julgados pela “beleza” ou coerência exata dos seus dados.

C - Instruções para uso do laboratório de eletrônica

Para o uso do laboratório de eletrônica é solicitado ao aluno que:

- use somente sapatos fechados, cabelos presos (e sem chapéu/boné), objetos metálicos nas mãos e rosto retirados que se mostrarem potencialmente nocivos, vestimentas fechadas (calças compridas e camisas fechadas), óculos de proteção quando solicitado e outros que o professor solicitar;
- levar apenas pertences pessoais indispensáveis (proibido portar celulares ou eletrônicos que podem causar interferência nos circuitos), não portar mochilas nem malas (só quando expressamente autorizado pelo professor) que devem ser guardadas fora do ambiente de laboratório ou local indicado pelo professor (a Universidade não se responsabiliza por pertences pessoais);
- utilizar o laboratório somente no horário de aula ou horário definido pelo professor e técnico responsável.
- Antes de energizar qualquer circuito, o aluno deve solicitar expressamente e diretamente ao professor a autorização para ligá-lo. Se isto não for feito, o aluno sujeita-se a responsabilidade completa por queima, dano pessoal ou patrimonial além das possíveis sanções acadêmicas por desobediência;
- Quando o(s) experimento(s) for satisfatoriamente completado e os resultados aprovados pelo professor/instrutor, o estudante deve desconectar o circuito e retornar os instrumentos e componentes para o local indicado além de proceder com a limpeza e organização do espaço utilizado por ele durante a prática. A não observação desta prática e sua repetição poderá levar à sanções acadêmicas previstas pelo regimento da UFU;
- Sempre que terminar o registro dos dados e observações no diário de experimentos (e antes de desmontar o circuito), **solicitar ao professor sua assinatura neste diário aprovando este registro de dados** (ver posteriormente detalhes sobre este procedimento na seção ‘D - diretrizes para o diário de experimentos’).

D – Diretrizes para o diário de experimentos

O diário de experimentos é o registro de todo trabalho, dados e medições de seu experimento. Este registro é uma “memória” das medidas realizadas do experimento e a confirmação de que o experimento foi corretamente montado e vistoriado pelo professor/instrutor. Sua organização pode variar bruscamente. SUGERE-SE, para nossos propósitos um modelo simplificado com as seguintes seções para cada experimento ou circuito a ser montado:

Seção 1: Cabeçalho com título do experimento

Data e horário do experimento, número do experimento ou alguma identificação, local, responsáveis e outras informações que julgar pertinente.

Seção 2: Diagrama elétrico do circuito

Nesta seção é desenhando/esboçado o diagrama elétrico do circuito onde deve incluir todos os componentes usados, sua pinagem e quando for o caso, a ligação/conexão de alguns equipamentos de medidas. Se desejado, pode-se listar os equipamentos e componentes usados para este experimento nesta seção indicando marca e modelo e qualquer outro descritivo que julgar conveniente.

Seção 3: Breve descrição do procedimento

Embora recomendada, ela não será obrigatória. Nela, o responsável descreve os procedimentos necessários para a montagem e medição do circuito de maneira resumida.

Seção 4: Coleta de dados

Esta é talvez a seção mais importante deste documento. Nela, os dados devem ser tabelados, organizados e indicados através do diagrama da seção 2. É recomendando que as tabelas também tenham em campo específico os dados calculados (ou simulados) para confrontar com os medidos. Deixe claro as unidades de medidas e avalie as necessidades estatísticas para assegurar uma maior confiabilidade ou conhecimento de suas medidas. Se desejar, para enriquecer seu reporte técnico, faça diferentes medidas de uma mesma variável e utilize cálculos estatísticos (como, por exemplo, média e desvio padrão) para reforçar seus resultados. Utilize o programa MatLab e suas funções estatísticas (e.g., mean, std, etc) e gráficas (e.g., plot, bar, etc) para facilitar sua tarefa se assim julgar mais conveniente.

Seção 5: Gráficos e conclusões

Nesta seção, você deve traçar gráficos de forma de ondas ou outros solicitados no relatório. Como se usam instrumentos digitais, é possível que estas formas de onda possam ser salvas em um pen drive. Assim, anote nesta seção o nome do arquivo e a indicação de seu conteúdo para referenciar futura no reporte técnico. Se preferir, uma solução é também tirar foto da tela do osciloscópio. Também use esta seção para fazer alguma conclusão ou observação que julgar importante e suas anotações em geral.

Seção 6: Anuência

Para assegurar o acompanhamento de seu rendimento e de seus procedimentos no laboratório, deve constar na última seção de cada experimento a anuência do professor responsável durante a prática levando a assinatura dele. Esta é uma forma para assegurar a correção e confiabilidade dos dados além de ajudar a aproximar a avaliação pessoal do docente. Você pode ir solicitando a presença do professor/instrutor durante a coleta de dados ou fazê-la individualmente e assim que terminar, desligue a alimentação elétrica do circuito e chame o professor/instrutor solicitando a sua anuência. Este poderá ligar novamente o circuito e confrontar algumas das medidas e por isto é importante que você mantenha seu circuito preservado até a obtenção de sua anuência. Obtida esta, o aluno deve desmontar o circuito e guardar os componentes/instrumentos estando dispensando da prática de laboratório. Nesta seção deve constar apenas o texto:

Assinatura do responsável: _____ Data e hora: _____

O diário de experimentos geralmente é preenchido durante o procedimento de laboratório e por isto geralmente é feito à mão. Mesmo assim, tente organizá-lo.

E - Elaboração de reporte técnicos

Todos estudantes devem, individualmente, apresentarem reportes técnicos de cada experimento. As datas de entrega serão divulgadas com pelo menos uma semana de antecedência no site da disciplina e devem ser entregues no formato pdf para o email alan@eletrica.ufu.br. Se desejar, guarde seu email enviado como comprovante de entrega caso seja questionado. Ainda, evite arquivos com mais de 10MB de tamanho, pois estes não podem ser recebidos. O professor não se responsabiliza pelo recebimento do email ou problemas de transmissão.

A formatação dos reportes é pessoal embora encoraja-se uma apresentação “sóbria”. Deve estar identificado claramente o título do experimento, o aluno responsável, sua matrícula, as datas em que o experimento foi executado no laboratório e também a data em que o reporte foi entregue. Embora o aluno tenha a liberdade de discorrer sobre o relato e resultados do experimento, sugere-se o seguinte formato de seções do reporte com diretriz:

Objetivo(s)

Esta seção deve descrever resumidamente e claramente os objetivos do experimento. Geralmente remetem a verificação de alguma lei, comportamento de alguns componentes, observação de fenômenos elétricos ou outros. Descrever o objetivo do

experimento é importante para o estudante enfatizar o propósito para o qual o experimento foi conduzido.

Breve teoria

Nesta seção, deve ser discutida BREVEMENTE a teoria do dispositivo ou circuito estudado. Esta seção é importante para ajudar o estudante a fazer suas conclusões e comparar com os resultados experimentais com a teoria. As fórmulas utilizadas para calcular os valores teóricos devem também ser expressas aqui.

Resultados

Todos resultados do experimento aprovados pelo professor no diário de experimentos. Se aplicável, utilize tabelas e gráficos para ajudar na visualização dos resultados e tentar extrair algum padrão. Nesta seção podem ser exibidos dados de simulações que são obrigatórias para confrontação.

Discussão e conclusão

Uma vez que a descrição e análise dos resultados foi feita na seção anterior, o estudante deve fazer algumas deduções e análises dos resultados. Usualmente, isto envolve a dedução se os resultados finais alcançaram o objetivo ou não e ver a diferença entre os resultados práticos e teóricos tentando explicá-los. Os comentários e comparações feitos pelo roteiro devem ser explicados aqui, nesta seção e discutidos.

Evite ao máximo um texto em primeira ou terceira pessoa e tente ser o mais imparcial possível na escrita sendo sempre claro e conciso e abuse do seu poder de síntese (será avaliado apenas a capacidade de comunicação escrita do aluno e não suas habilidades literárias)

Um dos pontos mais importantes do reporte são as medidas aferidas em laboratório. Inerentemente ao processo de medida, que possui um erro ou incerteza na medida, é importante estabelecer alguma ‘confiança’ que o valor encontrado representa. Assim, quando possível, é importante não só a análise estatística das medidas como também a estimação de sua incerteza. Os próprios instrumentos de medida têm definidos em seus manuais a incerteza de suas medidas. Contudo, para fins de simplificação, não será exigido em um primeiro momento a estimação deste erro e sua incerteza embora o aluno seja encorajado a estimá-lo. Contudo, a repetição e cálculo estatístico de desvios para algumas medidas (que serão indicadas em cada reporte) deverão ser obedecidas e calculadas. O aluno interessado de consultar material específico para avaliar as componentes de erro de medidas e métodos para sua quantificação/análise.

F - Operação dos instrumentos no laboratório

Para as práticas de eletrônica, o aluno terá contanto constante com multímetros, fontes de alimentação elétrica, osciloscópios e geradores de sinais. Embora estes instrumentos tenham uma interface e uso um intuitivos é FUNDAMENTAL que o aluno leia e estude o manual dos modelos destes equipamentos que o laboratório da UFU disponibiliza. Espera-se que com isto o aluno (i) entenda melhor as características técnicas e limitações do equipamento, (ii) conheça condições de uso que possam trazer dano ao equipamento e (iii) como otimizar seu uso e outras informações úteis que o fabricante esclarece no manual.

O aluno deve acessar os *links* da tabela na sequência para ter acesso aos manuais de alguns dos principais instrumentos (os mais comuns) que terá a sua disposição no laboratório. O aluno deve ler pelo menos um manual de cada categoria de instrumento antes de ter sua primeira aula prática. Na primeira aula, o professor apresentará os equipamentos, como deve ser seu uso, armazenamento e manipulação. Os alunos que demonstrarem o descumprimento desta exigência básica de leitura prévia dos manuais serão impedidos de usá-los até que mostrem ao responsável os conhecimentos mínimos exigidos para sua utilização.

Instrumento	Marca/Modelo	Link para manual
Osciloscópio	Minipa MO-2050	www.alan.eng.br/arquivos/minipa_mo_2050.pdf
	Minipa MO-2200	www.alan.eng.br/arquivos/minipa_mo_2200.pdf
	Instek GDS-1000	http://www.gwinstek.com/en/product/productdetail.aspx?pid=3&mid=7&id=46
Multímetro digital	Minipa ET-2042D	http://www.minipa.com.br/download/manuais/ET-2042D/ET-2042D-1101-BR.zip
Gerador de funções	Minipa MFG-4221	http://www.minipa.com.br/download/manuais/MFG-4221/MFG-4221-1103-BR.zip
Fonte de alimentação	Instrutherm FA3003	www.alan.eng.br/arquivos/instrutherm_fa3003.pdf
	Instrutherm FA3005	www.alan.eng.br/arquivos/instrutherm_fa3005.pdf

G - Regras de segurança e orientações gerais

O perigo de incidente, dano ou até morte a partir de choque elétrico, fogo ou explosão é presente enquanto os experimentos estão sendo conduzidos no laboratório. Para minimizar estes riscos, é importante que a prudência e algumas de suas práticas sejam obedecidas para minimizar estes riscos inerentes a prática laboratorial. Nesta seção são descritos alguns pontos importantes que devem ser sempre obedecidos durante a utilização do laboratório.

Choque elétrico: evite ao máximo contato com condutores (principalmente os não isolados) enquanto o circuito é energizado. Correntes na faixa de 6 a 30 mA geralmente não causam morte e a própria contração muscular voluntária ainda é eficaz nesta faixa de corrente evitando danos maiores. Contudo, já é passível de morte correntes a partir de 50 mA. Tensões acima de 50 V podem também resultar em morte. Tenha sempre certeza que suas mãos estão secas (para aumentar a resistência elétrica de suas mãos) e, se possível, use luvas isolantes. Mãos com cortes ou molhadas são mais susceptíveis a condução elétrica. Em caso de choques, pressione o botão vermelho de emergência geralmente situado na bancada ou próximo à porta do laboratório. Ele desliga a alimentação das fontes, instrumentos e circuitos (exceto luzes). Quando trabalhar com circuitos energizados, tente trabalhar somente com sua mão direita mantendo a mão esquerda distante de materiais condutivos. Isto reduz a possibilidade de acidentes que resultam em corrente passando pelo coração. Evite ao máximo anéis, relógios e qualquer outro objetivo condutivo no corpo. Exija alicates e outros instrumentos que sejam isolados em sua região de manuseio.

Fogo: transistores e outros componentes podem se aquecer muito levando a queima da pele quando tocados. Se resistores ou outros componentes do circuito queimarem produzindo fogo, desligue imediatamente a fonte de alimentação elétrica e notifique o professor/instrutor. Estes pequenos “incêndios” geralmente se extinguem rapidamente quando a alimentação do circuito é desligada.

Explosão: o uso de capacitores eletrolíticos/tântalo podem levar à explosões quando tiverem sua polaridade invertida ou sobre-tensão em seus terminais. Assim, antes de ligar seu circuito, dê uma olhada especial nestes componentes e quando energizá-los pela primeira vez, tome um cuidado especial. Especialmente, use óculos de proteção.

Outras medidas gerais também importantes são enumeradas abaixo:

1. ao entrar no laboratório, procure saber onde está o botão de emergência;
2. estudantes só poderão usar o laboratório quando estiver presente um professor ou o seu técnico responsável;
3. não são permitidas bebidas nem comidas no laboratório;

4. reporte ao instrutor imediatamente qualquer defeito ou queima de equipamento (não tente consertá-lo ou abri-lo);
5. ao término do experimento, desligue e guarde todos os instrumentos conforme instruções dadas no laboratório e limpe o que sujou;
6. em hipótese alguma não remova qualquer propriedade da Universidade do laboratório a não ser que tenha autorização por escrito de algum professor;
7. quando tocar em algum kit de eletrônica, tente antes certificar que você não tem energia eletrostática acumulada e toque somente em partes isoladas do kit;
8. nunca trabalhe sozinho e tenha a certeza que há pelo menos mais uma pessoa no laboratório;
9. mantenha sua área de trabalho limpa e somente com aquilo que está trabalhando;
10. após desligar o circuito, lembre-se que por um período de tempo os capacitores ainda estão energizados;
11. evite usar fios longos e desempacados (ainda que parcialmente) nos protoboards;
12. quando trabalhar com circuitos indutivos, reduza a tensão de alimentação suavemente até zero para então desligar os circuitos;
13. ao ligar mais de um instrumento em um mesmo circuito, VERIFIQUE SE OS TERRAS são comuns;
14. o último instrumento a ser conectado no circuito é a fonte;
15. jamais faça alterações no circuito com a fonte ligada a não ser que seja explicitamente orientado por seu professor que deve estar por perto acompanhando esta alteração;
16. no seu circuito, tente distanciar o máximo possível os fios que vem da fonte principalmente o terra e o positivo/negativo pois em caso do fio desconectar, ele estará longe do terra;
17. sempre que possível, no caso de fontes e geradores de sinais, quando ligar o circuito aumente incrementalmente a amplitude do sinal começando por zero e não diretamente do patamar projetado;
18. antes de energizar o circuito, verifique os bornes de conexão pois estes geralmente apresentam mal contato;

H – Tipos e critérios de avaliação

A partir da metade do semestre, o estudante deverá começar a trabalhar no projeto e construção de um projeto. Serão aceitos duas categorias de trabalho: (i) individual, onde serão propostos algumas ideias e requerimentos de projeto feitas pelo professor (há também a possibilidade de o aluno sugerir projetos) e (ii) em time/grupo de até 3 pessoas onde a extensão do projeto é maior do que a categoria individual e cada time decidirá um projeto. Neste último caso o projeto deve ser pensado em termos de “produto” que o grupo irá projetar com um mínimo de requerimentos. Haverá uma data limite (a ser divulgada no site da disciplina) onde cada aluno deverá informar ao professor via email se seu projeto será individual ou em grupo e qual seria o projeto escolhido.

Independente da categoria (individual ou em grupo) haverá competição entre os indivíduos ou grupos pelo melhor projeto (projeto mais elegante, funcional, com melhor desempenho, mais próximo das especificações, custo, operação intuitiva, etc). Os estudantes podem e devem utilizar outras áreas da engenharia além da eletrônica analógica. Os alunos podem usar (mas não abusar ou ser o elemento fundamental do circuito) de tecnologias completamente embarcadas em chip que requerem pouco entendimento da operação do circuito. O objetivo não é fazer um projeto complexo, mas sim simular

o processo de projeto de um sistema em um ambiente de desenvolvimento tecnológico e de promoção à inovação.

Roteiro 1: Diodos

1.1 – Objetivos dos experimentos

Os experimentos que se seguem tem por objetivos estudar as características elétricas e aplicações de diodos de junção *pn* através de exemplos de circuitos ceifadores, reguladores de tensão e retificação.

Importante:

Alguns dos experimentos descritos aqui podem levar a queima de componentes. Então confira todas as ligações antes de ligar o circuito à fonte e não use resistências inferiores a 100Ω.

1.2 – Referências

- MALVINO, A.P. "Eletrônica", volume 1. Capítulos 4 e 5.
- SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. "Microeletrônica", 5ª edição. Capítulo 3.
- BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. "Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos", 8ª edição. Capítulos 1 e 2.

1.3 – Equipamentos e componentes necessários

Para os experimentos descritos no item 1.5 serão empregados:

- 1 osciloscópio; 1 gerador de função; 1 multímetro digital; 1 fonte de alimentação e 1 protoboard;
- 4 diodos 1N4007 (ou equivalente) e 1 diodo zener 1N754A (ou equivalente desde que $V_z=6.8V$ e $I_{z_máx} > 15mA$);
- 2 resistência 1kΩ; 1 resistência 10kΩ; 1 resistência 100Ω;
- 1 capacitor (eletrolítico) de 1uF; 1 capacitor (eletrolítico) de 100uF;
- 1 capacitor de 4.7uF e 1 capacitor de 0.01uF;
- 1 LM7805.
- 1 trimpot ou potenciômetro (preferencialmente linear) de 10k;

Observação: alguns modelos de geradores de sinais são integrados a um osciloscópio. Por isto o terra do osciloscópio é internamente conectado ao terra do gerador de funções. Em alguns destes casos, não se pode conectar o terra do osciloscópio à saída de tensão (-) do circuito. Ao invés disto, use os dois canais do osciloscópio no modo diferencial.

1.4 – Pré-laboratório

Caso não tenha lido os manuais dos instrumentos (osciloscópios, fontes, multímetros e gerador de sinais), leia-os cuidadosamente. Note que na seção 1.5.6 há cálculos teóricos que deverão ser feitos antes do laboratório para que possam ser comparados com as medidas conduzidas durante o experimento.

Consulte os datasheets dos dispositivos abaixo e se julgar necessário, imprima as partes que julgar importante.

- LM7805
- 1N4007
- 1N754A

1.5 – Teoria, procedimentos e medidas

1.5.1 - Verificar todos os diodos com o multímetro

- Passo 1): utilize o multímetro para confirme a polaridade dos 4 diodos recebidos para a prática e anote os resultados no caderno. Verifique a polaridade.
- Com um segundo multímetro, anote a corrente que o primeiro multímetro injeta e associe com o limiar medido no passo anterior.

1.5.2 – Diodo limitador

Na aplicação da Figura 1.1, os diodos são usados para limitar entradas de sinais de baixa amplitude.

- Conecte na entrada do circuito da Figura 1.1 um gerador de função com uma onda de aproximadamente 1kHz (verifique se os botões de atenuação não estão pressionados). Experimente ondas do tipo senoide, triangular e quadrada de diferentes amplitudes e verifique o efeito de ceifamento visto na saída.

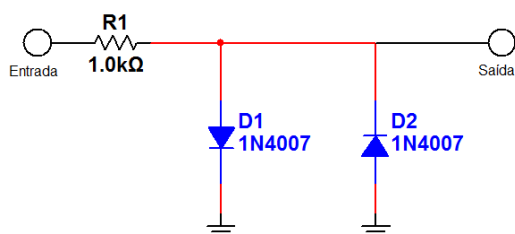


Figura 1.1 – Diodos para limitação de sinal

- Registre pelo menos dois modelos de forma de onda geradas sendo uma com pouco ceifamento e outra com ceifamento maior. Plote a saída como função da entrada no monitor do osciloscópio. Comente a amplitude onde acontece o ceifamento e quais parâmetros do diodo determinam a amplitude de ceifamento.

Observação:

Cuidado com a escala da ponteira (ver figura abaixo) do osciloscópio. Lembre que 10x indica uma ATENUAÇÃO de 10x e geralmente esta opção é selecionada para respostas em frequências mais altas. Osciloscópios digitais geralmente tem a opção de fazerem a compensação caso tenha escolhido a opção 10x. Certifique-se de conferir isto. Ainda, selecione a opção de acoplamento DC do osciloscópio para assegurar que ele irá exibir tanto a componente DC assim como as de AC.



1.5.3 – Diodo ceifador

- Monte o circuito da Figura 1.2 e conecte a sua entrada um gerador de função com forma de onda senoidal a 10kHz. Configure o osciloscópio para mostrar as formas de onda de entrada e saída simultaneamente. Experimente usar a opção de acoplamento DC do osciloscópio e analise seus efeitos.

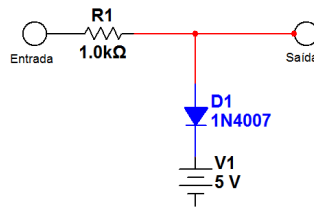


Figura 1.2 – Circuito ceifador.

- Não esqueça de curto-circuitar os terras da fonte, do gerador de sinal e do osciloscópio!
- Ajuste a amplitude da onda seno de entrada para que ela possa ser ceifada e salve a forma de onda resultante.

1.5.4 – Circuito retificador de onda completa

- Monte o circuito da Figura 1.3 e injeite na entrada uma onda senoidal de 60Hz com 15V de tensão de pico a pico. Utilize uma resistência de carga de 10k ohm. Observe o valor eficaz na carga utilizando um multímetro e depois um osciloscópio para ver a forma de onda. Grave a forma de onda da saída.

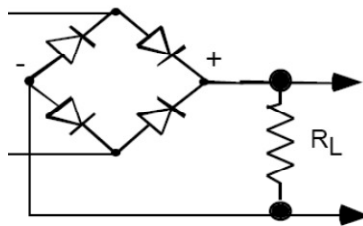


Figura 1.3 – Circuito retificador de onda completa

- Coloque em paralelo com a carga um capacitor de 1uF e veja a forma de onda no osciloscópio. Salve-a.
- Troque novamente o capacitor em paralelo por um de 100uF (ou outro valor superior a este). Note que o capacitor que você irá usar tem polaridade! Salve novamente a forma de onda e compare os gráficos gerados para os 3 casos. Anote o valor de ripple e a tensão DC de saída.
- Outra possibilidade é usar no lugar de um gerador de sinais um transformador. Havendo disponibilidade de transformadores para fontes no laboratório, estes serão usados no lugar do gerador de sinal. Consultar o professor para ligar o transformador abaixador. Antes de ligar, considere a potência gasta no resistor de carga calculando ela e vendo se seu valor não excede sua potência nominal.

1.5.5 – Reguladores de tensão

- Monte no mesmo protoboard que construiu o circuito da Figura 1.3 o esquema mostrado na Figura 1.4. Ele será posteriormente ligado à saída do circuito da Figura 1.3. Na entrada da Figura 1.4 conecte uma fonte de 10 a 12V aproximadamente. Constante que a saída do regulador é 5V.

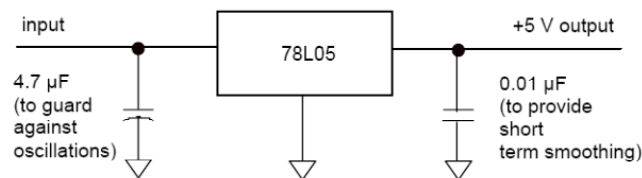


Figura 1.4 – Circuito regular de tensão LM7805

- Realizado o passo anterior, ligue o circuito da Figura 1.4 a saída do circuito 1.3 resultado no circuito ilustrado na Figura 1.5

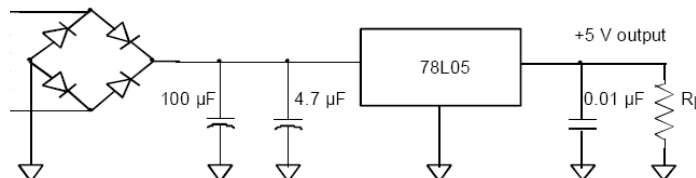


Figura 1.5 – Circuito de fonte AC-DC completo.

1.5.6 – Diodo Zener

- Monte o circuito da Figura 1.6 utilizando um Zener 1N754 ($V_z=6.8V$ e $I_{zm_máx}=55mA$) ou equivalente e meça a tensão no resistor R considerando os seguintes casos: (i) $R=10k\Omega$, (ii) $1k\Omega$ e (iii) $R=100\Omega$. Indique também quais os valores de corrente para cada um destes valores de resistores e compare com os valores teóricos que deverão ser calculados pelo estudante e mostrados no relatório. Cuidado ao ligar o diodo Zener pois ele é relativamente sensível e fácil de queimar quando manipulado/ligado erroneamente.

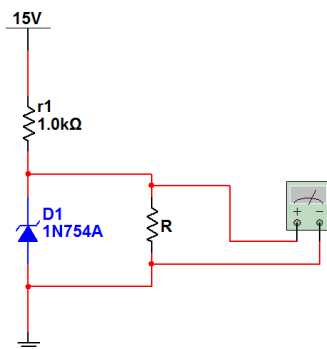


Figura 1.6 – Circuito com diodo zener para regular a tensão na carga R.

- Calcule o valor de R na figura anterior para o qual o diodo zener deixa de entrar na zona de regulação. Verifique sue calculo experimentalmente utilizando um trimpot ou resistências

Observação:

Para evitar um curto que desativará o zener da Figura 1.6, ligue em série a R um resistor de 100Ω . Isto irá assegurar que ao zerar o trimpot será mantido pelo menos um resistência de 100Ω ligado em paralelo ao diodo.

1.6 – Reporte técnico

Além das indicações feitas na seção específica desse documento, inclua também no reporte:

- i. a indicação dos instrumentos utilizados incluindo modelo e fabricante;
- ii. todos os cálculos e gráficos gerados e sempre que possível confronte valores calculados (ou simulados) com os valores medidos;
- iii. as formas de onda de cada uma das etapas solicitadas e ainda as que você julgar interessante acrescentar (incentiva-se ao aluno adicionar forma de onda extras para enriquecer o reporte);
- iv. responda as questões levantadas na seção 1.5;
- v. inclua o que você aprendeu ou concluiu além das discussões solicitadas durante o texto.

- FIM -

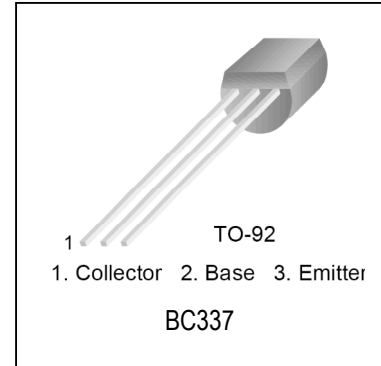
Roteiro 2 - Polarização de transistores bipolares

2.1 – Objetivos dos experimentos

Os experimentos deste roteiro trabalham com o conceito de polarização de transistores bipolares de junção (TBJ). Alguns dos principais métodos de polarização são testados e suas propriedades avaliadas com o objetivo de entender a necessidade da polarização de transistores na amplificação de sinais na região ativa de trabalho do TBJ. A região de corte e saturação também é abordada para ilustrar diferentes tipos de operação do transistor.

2.2 – Referências

- MALVINO, A.P. "Eletrônica", volume 1. Capítulos 6, 7 e 8.
- SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. "Microeletrônica", 5ª edição. Capítulo 5.
- BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. "Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos", 8ª edição. Capítulos 3 e 4.



2.3 – Equipamentos e componentes necessários

Para os experimentos descritos no item 2.5 serão empregados:

Equipamentos	
Qtde	Dispositivo
1	Osciloscópio de 2 canais
1	Fonte de alimentação elétrica (preferencialmente simétrica)
1	Gerador de sinais
1	Protoboard
2	Multímetros

Componentes	
Qtde	Dispositivo
1	Transistor BC 337 (ou 2N4400 ou 2N2222 ou 2N3904)
1	Relé 12V (ou equivalente)
2	Potenciômetro de 1M
1	Chave tátil
1	Diodo 400X
	Resistências diversas

2.4 – Pré-laboratório

Consulte os datasheets dos dispositivos abaixo e se julgar necessário, imprima as partes que julgar importante.

- Transistor BC337
- Relé 10A, 12V de 1 polo.

Este roteiro envolve em algumas partes a conexão de entrada-saída de circuitos. Por isto é importante observar dois importantes esquemas de ligação como ilustra a Figura 2.1. Tente entender o esquema e cuidado na hora de fazer este tipo de conexão.



Figura 2.1 – Esquemas de ligação de entrada e saída. (a) Ligação correta e (b) ligação incorreta que pode ocasionar queima pois uma saída pode se sobrepor a outra.

2.5 – Teoria, procedimentos e medidas

Nesta seção serão abordadas três aplicações comuns para o transistor: (i) o seguidor de emissor, (ii) o transistor como chave e (iii) uma fonte de corrente transistorizada.

2.5.1 – Transistor como diodo

- a) Utilizando a função de teste de diodo do multímetro, teste os dois diodos que fazem parte do TBJ conforme ilustração da Figura 2.2. Meça sua tensão de polarização direta. Anote os valores para um (ou mais) transistor indicando seu modelo.

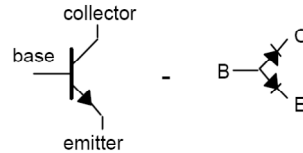


Figura 2.2 – O transistor visto como diodos equivalentes.

- b) Utilizando a função h_{FE} do multímetro, indique o valor de ganho de pelos menos três diferentes transistores (que podem ser do mesmo tipo ou não). Indique estes valores no reporte.

2.5.2 – Polarização do emissor (seguidor de emissor)

- a) Monte no protoboard o circuito da Figura 2.3.

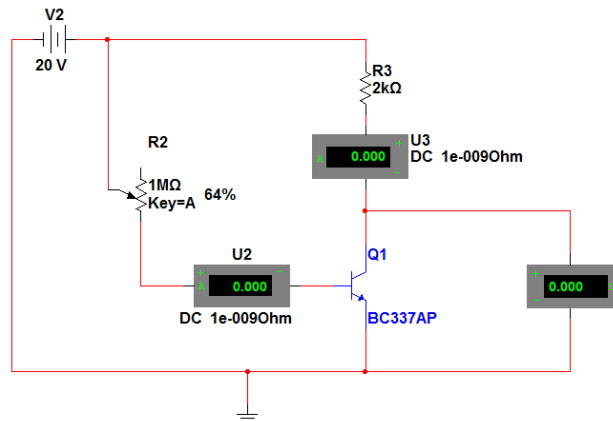


Figura 2.3 – Circuito do experimento 2.5.2: polarização da base. O potenciômetro na base ajuda a polarizar o transistor

- b) Usando os potenciômetros e seus ajustes, tente polarizar o transistor aproximadamente próximo ao meio da reta de carga. Meça os valores de corrente e tensão indicados na Figura e no reporte técnico indique os valores de resistências alcançados para atingir esta polarização. Desenhe a reta de carga.
- c) Insira um potenciômetro de $5k\Omega$ no emissor do transistor (gerando uma nova modalidade de polarização conhecida como polarização do emissor) e repita o procedimento de polarização indicando os valores de resistência da base e do emissor, suas respectivas correntes e a tensão V_{CE} . Desenhe a reta de carga.

2.5.3 – Estimação da impedância de entrada Z_{IN}

Geralmente, a impedância de entrada de um circuito transistorizado é apenas resistiva para frequências abaixo de 100 kHz, pois as capacitâncias parasitas do transistor podem ser consideradas

nulas abaixo desta faixa. Um dos métodos para se estimar a impedância de entrada é ligar em série a entrada do circuito uma resistência R_s de grande valor (ver Figura 2.4a). Assim, R_s e Z_{IN} comportam-se como um divisor de tensão conforme ilustra a Figura 2.4b.

- a) Ligue uma resistência de $1M\Omega$ em série com a fonte e com a entrada do amplificador da Figura 2.5a.



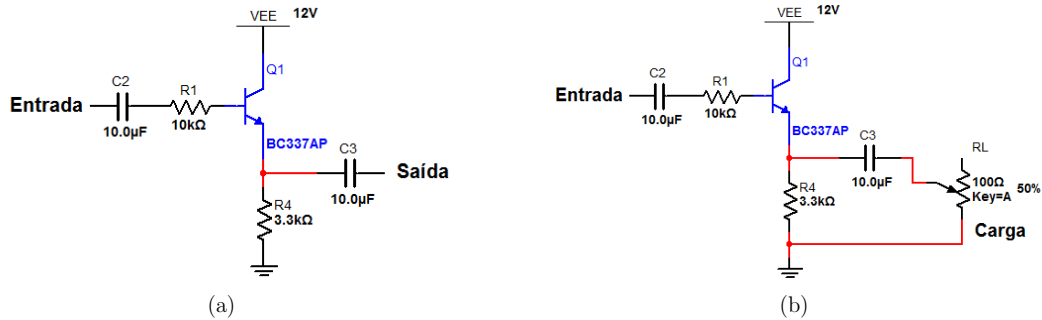
Figura 2.4 – (a) Medição da impedância de entrada de um circuito transistorizado. (b) Modelo equivalente.

- b) Utilize um osciloscópio (com acoplamento AC) para medir a forma de onda da saída do amplificador em duas diferentes configurações: (i) com o resistor $1M\Omega$ e (ii) sem o resistor de $1M\Omega$. Mantenha constante a tensão de entrada e nos dois casos plote a forma de onda de entrada *versus* saída. Considerando $A_v=1$ para o seguidor de emissor, determine através de cálculos Z_{IN} . Se preferir, utilize a forma de onda de tensão no resistor R_s para estimar a impedância de entrada. Em caso de dúvidas, consulte a página 253 do livro BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. "Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos", 8ª edição.
- c) Meça, com o multímetro, o h_{FE} do transistor utilizado neste experimento e também o valor exato de resistência do emissor. Utilize a relação $Z_{IN}=R_B||((h_{FE}+1)R_E)$ e compare com o valor encontrado no item b).

2.5.4 – Estimação da impedância de saída Z_{OUT}

Para medir a impedância de saída de um amplificador, conecte um resistor de carga na saída (note que a saída neste exemplo é no emissor). Lembre que duas resistências R_1 e R_2 iguais e conectadas em paralelo possuem resistência equivalente igual a metade do valor original. Considere que a resistência de carga está em paralelo com a impedância de saída do amplificador. Assim, a tensão de saída irá ser reduzida pela metade (a corrente de saída é considerada fixa¹) se R é reduzido pela metade.

- a) Conecte um potenciômetro ou trimpot de 100Ω na saída conforme Figura 2.5b. Relembre que o valor teórico de impedância de saída do seguidor de emissor é aproximadamente igual à resistência CA da conexão base-emissor (r_e).



¹ Lembre que o ganho de corrente do seguidor de emissor independe da carga conectada à saída. Os valores que têm maior influência nesta variável é a resistência de base R_B e a impedância de entrada $Z_b=\beta(r_e+R_E)$

Figura 2.5 – Medição de impedância do seguidor de emissor.

- b) Ajuste a entrada para ter uma forma de onda senoidal. Antes de ligar a carga, meça o valor de pico de saída. Em seguida, ligue a carga (antes certifique-se que ela esteja em seu máximo valor) e decmente o valor até que a saída caia pela metade do valor original quando não havia carga. Assim, o valor da carga é igual à impedância de saída do circuito. Comente sobre o procedimento no reporte técnico e indique o valor de resistência de carga encontrado que se equipara a impedância de saída. Estime o valor teórico de r_e a partir da corrente de polarização I_E e compare com o valor medido.

2.5.5 – Transistor como chave

- a) Neste exemplo, o transistor funciona como uma chave e por isto deve operar na região de corte e saturação. Monte o circuito da Figura 2.6a ou 2.6b segundo sua conveniência.

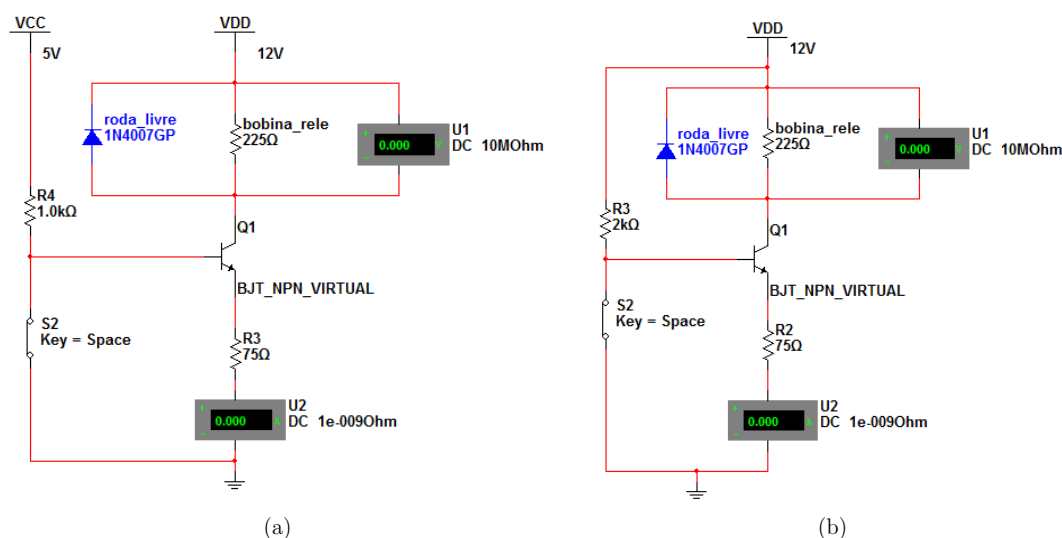


Figura 2.6 – Transistor como chave para acionar relé.

- b) Meça a corrente no coletor e estipule a resistência da bobina do relé. Ainda, mostre através de cálculos porque este transistor está provavelmente na região de corte e saturação. Antes, meça a tensão na base do transistor em relação ao terra. Utilize este valor nos seus cálculos para explicar o motivo da saturação do transistor.
- c) Solicite ao professor algum equipamento de tensão nominal 127/220 V para que o relé possa acioná-lo e assim verificar uma de suas muitas aplicações práticas.

2.5.6 – Fonte de corrente

- a) Monte o circuito da Figura 2.7 e estime, através de cálculo, os valores teóricos de corrente da base e V_E e I_E . Note que a carga é simulada por um potenciômetro. Deixe o potenciômetro ajustado em seu máximo valor antes de energizar o circuito.

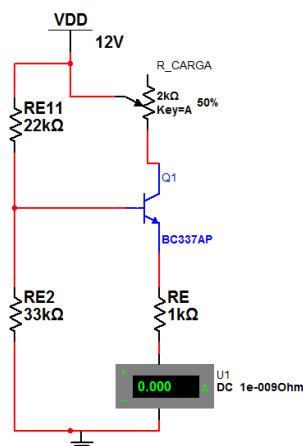


Figura 2.7 – Transistor como fonte de corrente.

Importante:

Antes de energizar o circuito, coloque o amperímetro em sua maior escala possível para evitar danos ao mesmo.

- b) Varie a carga e anote o valor resistência de carga versus corrente na carga. Para isto estime pelo menos valores como, por exemplo, 2k, 1k, 500 e 100Ω.
- c) No reporte técnico, compare os resultados medidos em laboratório através das variações de corrente medidas (em função da variação de carga) e faça um paralelo com o “espelho de corrente” da Figura 2.8 em uma tabela similar a que se vê na sequência. O circuito desta última Figura deve ser simulado através do MultSim com os mesmos valores de cargas medidos em laboratório e veja qual destes circuitos se comporta melhor como fonte de corrente e é mais imune a variação de carga. Ainda que as correntes tenham amplitudes diferentes pois são circuitos completamente diferentes, note apenas a variação de corrente nos dois casos.

Fonte de corrente da Figura 2.7 (valores medidos em laboratório)		Espelho de corrente valores simulados no MultSim)	
R_L	I_L	R_L	I_L
100Ω		100Ω	
500Ω		500Ω	
1kΩ		1kΩ	
2kΩ		2kΩ	

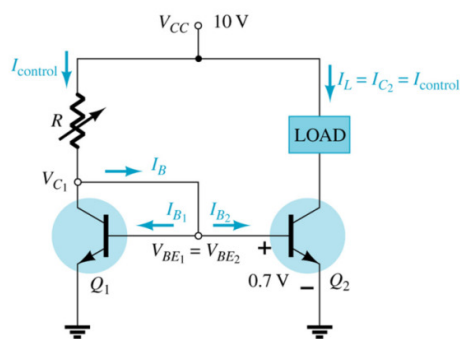


Figura 2.8 – Espelho de corrente para simulação no MultSim e comparação com outras fontes de corrente..

Roteiro 3 – Amplificadores de pequenos sinais usando TBJ

3.1 – Objetivos dos experimentos

Depois de vista a polarização de transistores, no roteiro 2, este roteiro foca a amplificação de pequenos sinais utilizando transistores bipolares de junção (TBJ). Não é objetivo deste roteiro exemplificar diversas configurações de transistores voltadas à amplificação, mas sim abordar as mais usuais e suas propriedades de forma a possibilitar que o estudante se familiarize com o processo de amplificação independente da configuração adota.

3.2 – Referências

- MALVINO, A.P. "Eletrônica", volume 1.
- SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. "Microeletrônica", 5ª edição. Capítulo 5
- BOYLESTAD, R.; NASHIELSKY, L. "Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos", 8ª edição. Capítulos 8 e 10.

3.3 – Equipamentos e componentes necessários

Para os experimentos deste roteiro, consulte a Figura 3.1. Para o experimento 3.5.2 serão necessários outros componentes que podem variar de projeto para projeto.

3.4 – Pré-laboratório

- Estime os valores teóricos de I_B , I_E e V_{CE} (de polarização) do circuito da Figura 3.1. Considere $V_{BE} = 0,6$ V.
- Faça o projeto teórico da seção 3.5.2 e estime numericamente os valores de seus componentes. Este projeto e seus valores deverão ser montados em laboratório.

3.5 – Teoria, procedimentos e medidas

3.5.1 – Amplificação usando o divisor de tensão

- a) Antes de montar seu circuito, meça o h_{FE} do transistor usando o multímetro. Feito isto, monte o circuito da Figura 3.1
- b) Meça os valores de polarização I_B , I_E e V_{CE} do circuito antes de injetar qualquer sinal em sua entrada. Compare estes valores com os calculados na seção 3.4 (Pré-laboratório).
- c) Insira na base, através de um gerador de sinal, um onda senoidal de 5 kHz e aproximadamente 100 mV de amplitude. Use a função de atenuação do gerador se for necessário. Usando osciloscópio, compare a forma de onda de entrada *versus* saída e estime o ganho. Utilize o capacitor C_3 para bloquear o sinal DC ou se preferir, use o tipo de acoplamento AC do sinal para retirar no nível DC de saída (usando esta função do osciloscópio, é desnecessário o uso do capacitor C_3).

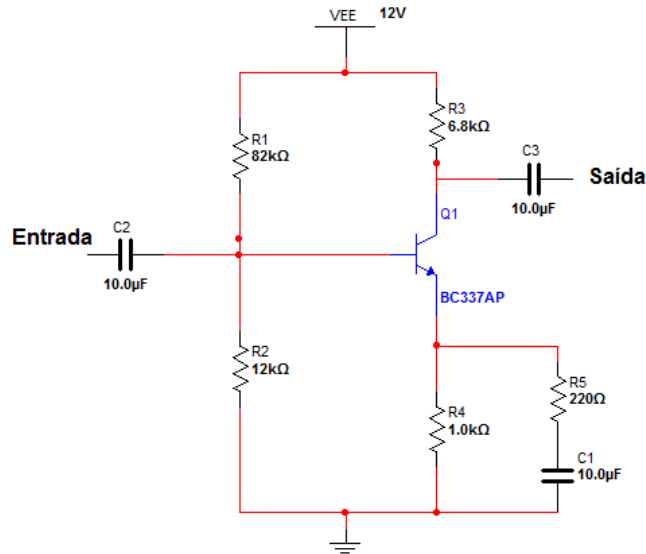


Figura 3.1 – Circuito amplificador emissor comum com polarização por divisão de tensão.

Atenção:

Não se esqueça de certificar que o terra da fonte de alimentação, do gerador de sinal e do osciloscópio são os mesmos para evitar danos ao equipamento. Deixe para ligar a fonte por último e sempre com a saída zerada.

- d) Estime matematicamente a impedância do emissor fazendo C1 em série com R5 e ambos em paralelo com R4. Considere a frequência de 5kHz e utilize seus conhecimentos de circuito elétricos para estimar este valor
- e) substitua o resistor de 220Ω por um de 470Ω e repita o procedimento do item (c) gerando um gráfico comparando a forma de onda de entrada *versus* a saída. Estime o ganho e recalcule a impedância do emissor.
- f) a partir dos valores medidos em laboratório, confirme se o ganho de tensão pode ser matematicamente descrito como $A_v = R_C / (r_e + Z_e)$ onde $Z_e = R_4 || (R_5 + Z_{C1})$. Indique os valores medidos e calculados inclusive o valor teórico de r_e .
- g) Aumente a amplitude do sinal de entrada até que a saída produza saturação e tente justificar numericamente, baseado nos valores de polarização, ganho de tensão e configuração do circuito, porque esta saturação aconteceu com o valor de pico registrado na entrada do circuito. Use um resistor R5 de 220 Ω.
- h) Desconecte a resistência R5 e o capacitor C1 do circuito e meça novamente o ganho usando uma senoide de 5 kHz na entrada. Os valores de corrente de polarização mudaram ? E o ganho de tensão do circuito, mudou ? Justifique sua resposta apontando o resultado prático e o teórico.

3.5.2 – Projeto de um amplificador em cascata

- a) Monte o circuito do diagrama da Figura 3.2
- b) Quanto vale a tensão no ponto C, D e E.
- c) Qual o ganho de tensão total do circuito.
- d) Compare os valores medidos com os calculados e plote a relação entrada versus saída
- e) meça a corrente no ponto A e a corrente no ponto E e estime o ganho de corrente.

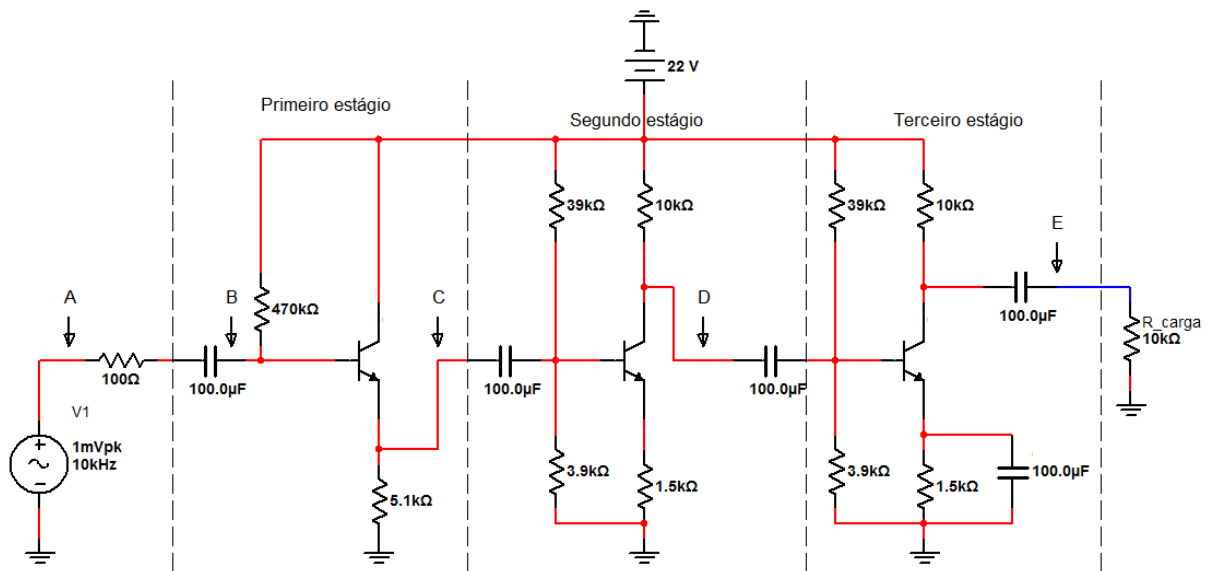


Figura 3.2 – Diagrama do experimento 3.5.2. Note que foi usado uma carga de 10kΩ

- FIM -