ETEC DR. JÚLIO CARDOSO
3° ANO DO ENSINO MÉDIO TÉCNICO
COM HABILILITAÇÃO EM MECATRÔNICA

JOÃO PEDRO DUQUES
JOÃO PEDRO MENDES
YAGO GARCIA SILVA
PEDRO NASCIMENTO

Reconstituição e encapamento de amplificador

Franca – SP8

2023

JOÃO PEDRO DUQUES
JOÃO PEDRO MENDES
YAGO GARCIA SILVA
PEDRO NASCIMENTO

Reconstituição e encapamento de amplificador

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do diploma do ensino médio com habilitação técnica em mecatrônica na escola técnica Etec Dr. Júlio Cardoso

Orientador(a): Prof. José Newton

Franca - SP

2023

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todas as pessoas, familiares e amigos, que nos ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, mesmo que indiretamente, com o apoio e paciência ao ouvir nossas dúvidas e aflições.

Ao nosso orientador, José Newton, pela dedicação e paciência nos atendimentos. A todos os professores pelas dicas e orientações prestadas ao grupo, que mesmo não sendo nossos orientadores, disponibilizaram um pouco de seu tempo para nos atender, o que nos levou ao desenvolvimento de muitas idéias. Aos professores entrevistados, pela disponibilidade e atenção em fornecer as informações necessárias para a realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a reconstituição e a restauração de um amplificador com problemas internos e externos, elétricos e mecânicos. Para localizar todos esses problemas, e trazer a funcionalidade do amplificador de volta, realizamos diversas reuniões, dentro e fora da escola e contamos com vários testes de funcionalidade. Durante as reuniões foram discutidos os principais fatores que mantinham o amplificador longe de exercer sua função e as possíveis soluções para os tais. Com os testes feitos descobrimos muitos obstáculos, como os seguintes: falha de componentes, falha na alimentação, superaquecimento, problemas de controle, ruído constante, distorção do som, entre outras coisas. Com o decorrer do trabalho serão especificados cada um desses males e o passo a passo de como os resolvemos.

Palavras-chave: amplificador, reconstituição, testes, restauração, problemas internos, passo a passo.

SUMMARY

The aim of this work is to reconstruct and restore an amplifier with internal and external, electrical and mechanical problems. In order to locate all these problems and bring the amplifier back to functionality, we held several meetings, both inside and outside the school, and carried out several functionality tests. During the meetings, we discussed the main factors that were keeping the amplifier from performing its function and the possible solutions. The tests uncovered many obstacles, such as component failure, power supply failure, overheating, control problems, constant noise, sound distortion and more. In the course of this work, we will specify each of these problems and explain step by step how we solved them.

Keywords: amplifier, reconstruct, tests, restore, mechanical problems, step-by-step**.**

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO 9

1.1 A ESTRUTURA BÁSICA DE AMPLIFICADORES DE SOM 9

1.2 ESTÁGIOS DE AMPLIFICAÇÃO 10

2. O ESTÁGIO DE ENTRADA (PAR DIFERENCIAL) 11

2.1 PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE UM PAR DIFERENCIAL 12

3. O ESTÁGIO AMPLIFICADOR DE TENSÃO 13

3.1 PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO VAS 13

3.2 CIRCUITOS BÁSICOS DO ESTÁGIO AMPLIFICADOR DE TENSÃO 14

4. O ESTAGIO DE POTENCIA 15

5.CLASSES DE AMPLIFICAÇÃO 16

5.1 PRINCIPAL DIFERENÇA ENTRE A CLASSE G E H 18

6.DIÁRIO DE BORDO DA REPARAÇÃO DO AMPLIFICADOR 19

DIA 1: IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS 19

DIA 2: TESTES E DIAGNÓSTICO 19

DIA 3: COMBATE AO SUPERAQUECIMENTO 19

DIA 4: AJUSTES NOS CONTROLES E ELIMINAÇÃO DE RUÍDOS 20

DIA 5: LIDANDO COM RUÍDOS E DISTORÇÃO 20

DIA 6: TESTES FINAIS E CONCLUSÃO 20

1. INTRODUÇÃO

Ser musico não é uma tarefa fácil, e algo que, sem dúvida alguma, facilita e melhora as performances musicais é o amplificador de som. Os amplificadores de som despertam fascínio e atraem o interesse da maioria das pessoas que se aventuram no mundo da eletrônica, podendo inclusive ser o motivo para alguém decidir entrar neste ramo.

Apesar de à primeira vista os amplificadores parecerem realizar mágica ao transformar um sinal elétrico vindo de instrumento musical, computador, CD player, entre outras coisas, em um áudio de alta qualidade que nos agrada os ouvidos. Não há, contudo, nenhum mistério na estrutura desses equipamentos.

1.1 A Estrutura Básica De Amplificadores De Som

Os amplificadores de som são dispositivos projetados para receber um sinal elétrico de baixa intensidade em sua entrada e amplificá-lo em termos de tensão e potência, a fim de acionar um alto-falante na saída. Essa carga normalmente apresenta uma impedância baixa, variando entre 4 a 8 Ohms. Hoje em dia, podemos encontrar duas tecnologias bem distintas de amplificadores de áudio:

Os amplificadores lineares são dispositivos que utilizam transistores ou válvulas como elementos ativos. No entanto, diferem dos amplificadores convencionais ao operarem esses elementos em suas regiões ativas, ou seja, como fontes de corrente controladas. Por outro lado, os amplificadores chaveados empregam transistores MOSFET como chaves estáticas, alternando entre os estados ligado e desligado.

Neste projeto lidamos com um amplificador linear a transistor, já que são os circuitos mais comuns e mais conhecidos dentre os amplificadores de som.

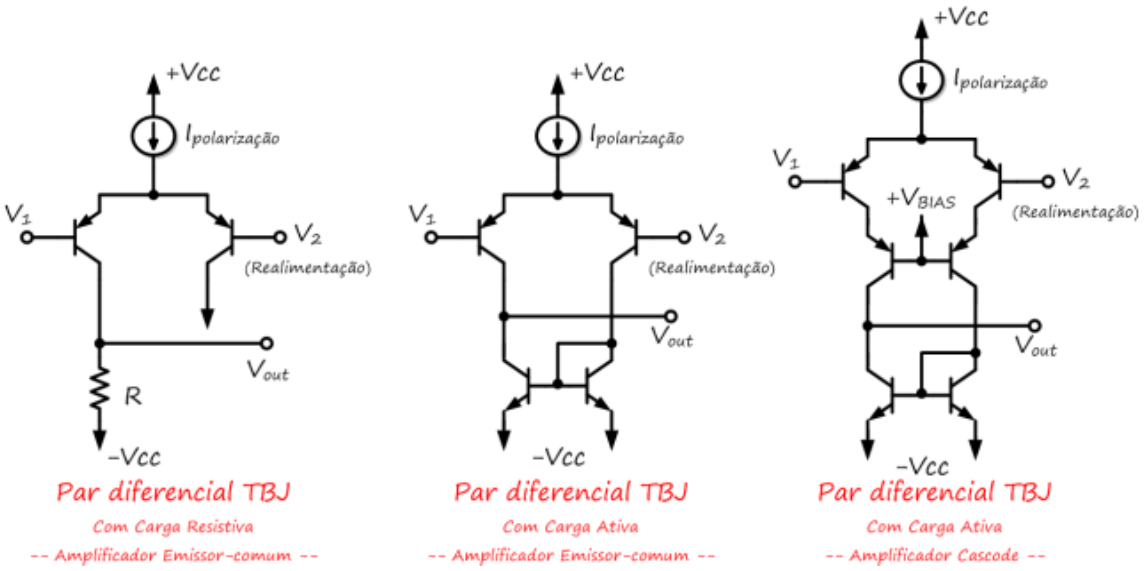
1.2 Estágios De Amplificação

Os amplificadores lineares são construídos a partir de estágios amplificadores transistorizados, como os circuitos Emissor-comum, Base-comum e Coletor-comum, que são comumente estudados em cursos de eletrônica básica. No entanto, nenhum amplificador transistorizado individual é capaz de realizar todas as funções esperadas de um amplificador de som. Por esse motivo, esses equipamentos utilizam múltiplos estágios para alcançar o desempenho desejado. Normalmente, são utilizados três estágios: o estágio de entrada, também conhecido como estágio diferencial, o estágio amplificador de tensão e o amplificador de potência.

Primeiramente, é importante ressaltar que a realimentação negativa em amplificadores de som impacta todos os parâmetros de desempenho dos estágios de amplificação, resultando em melhorias. No entanto, amplificadores de alta performance buscam definir cada estágio com uma estrutura que otimize cada parâmetro de desempenho. Portanto, um bom projeto de amplificador não se baseia apenas na realimentação negativa, mas também em outras medidas.

2. O ESTÁGIO DE ENTRADA (PAR DIFERENCIAL)

O estágio de entrada de um amplificador de som desempenha duas funções importantes: receber o sinal de entrada do amplificador e fornecer um ponto para a conexão da realimentação do circuito. Para isso, é utilizado o par diferencial, como mostrado na Figura a seguir.



Exemplos de estrutura de par diferencial com TBJ.

O par diferencial é composto por dois amplificadores interligados. Geralmente, os amplificadores utilizados são do tipo Emissor-comum, Fonte comum ou Cascode. Os transistores dos dois amplificadores têm seus terminais de Emissor/Fonte conectados e são polarizados por uma única fonte de corrente.

Inicialmente, quando as entradas do par diferencial são nulas, a corrente de polarização é dividida igualmente entre os dois braços do par. Nessa condição, o ganho de tensão também é nulo.

No entanto, quando há diferença entre as tensões de entrada do par, a divisão da corrente de polarização se desequilibra, resultando em um ganho de tensão no circuito.

2.1 Parâmetros De Desempenho De Um Par Diferencial

O par diferencial é responsável por um conjunto de parâmetros de desempenho de um amplificador de som. Esses parâmetros incluem:

Resistência de entrada: O par diferencial afeta a resistência de entrada do amplificador. Amplificadores com altas resistências de entrada geralmente usam transistores FET no par diferencial. No entanto, esses transistores podem reduzir o ganho e a banda passante do amplificador. Em áudio, é mais comum encontrar pares diferenciais a TBJ com degeneração.

Tensão de Offset: O par diferencial também influencia diretamente a tensão de offset de saída do amplificador

CMRR (Razão de Rejeição de Modo Comum): O par diferencial é responsável por rejeitar ruídos de modo comum, como variações de tensão no terminal de terra e ruídos eletromagnéticos. Um alto CMRR é desejado em um amplificador de áudio. Para garantir isso, é recomendado o uso de fontes de corrente de alta resistência de saída e carga ativas.

PSRR (Razão de Rejeição de Ruído de Fonte): O par diferencial também influencia a capacidade do amplificador de rejeitar ruídos provenientes das fontes de tensão. Um alto PSRR é desejado e pode ser alcançado através da escolha de uma fonte de corrente de polarização adequada e uso de cargas ativas na saída do par.

Ganho global: O par diferencial fornece ao sinal de áudio um primeiro nível de ganho de tensão. Normalmente, entre 10% e 20% do ganho total do amplificador de som vem do estágio de entrada.

Banda Passante: O par diferencial, juntamente com o segundo estágio do amplificador, define a faixa de frequências em que os sinais de áudio são amplificados. Fora dessa faixa, os sinais são atenuados.

Slew Rate: O Slew Rate mede a máxima variação do sinal de saída que o amplificador pode entregar. É um parâmetro importante, pois define a dinâmica do equipamento. Amplificadores com baixo Slew Rate podem distorcer sinais de alta frequência. O Slew Rate depende tanto do estágio de entrada quanto do estágio amplificador de tensão.

3. O ESTÁGIO AMPLIFICADOR DE TENSÃO

O Estágio Amplificador de Tensão (VAS), também conhecido como Voltage Amplification Stage, desempenha um papel crucial na amplificação de áudio. Sua função principal é amplificar o sinal de entrada e fornecer o ganho necessário para o bom desempenho do amplificador. Para garantir uma alta fidelidade do som, é essencial que o ganho do amplificador seja o mais elevado possível. O VAS, portanto, é responsável por cerca de 80% a 90% do ganho total do amplificador. Em muitos casos, pode-se encontrar células de ganho com valores entre 80dB a 100dB.

3.1 Parâmetros De Desempenho Do VAS

O VAS (Voltage Amplification Stage) exerce influência sobre os seguintes parâmetros do amplificador:

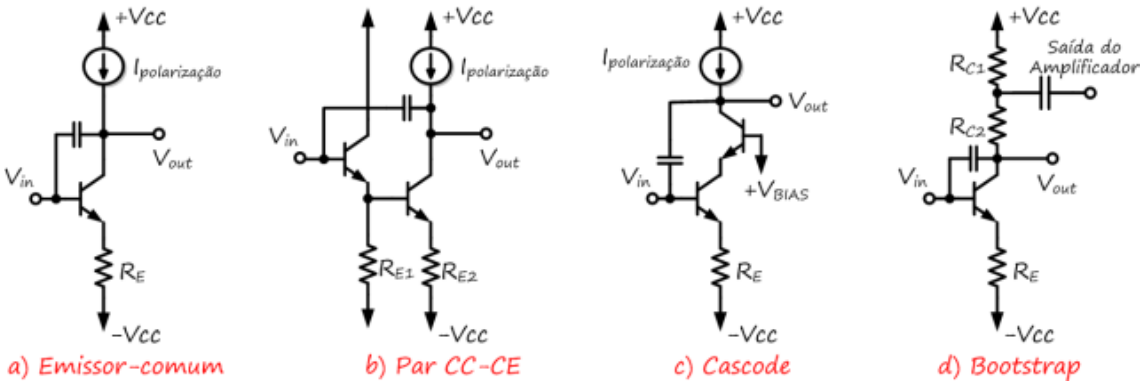
Slew Rate: o Slew Rate é definido na interface entre o primeiro e o segundo estágio do circuito.

Banda Passante: a banda passante é determinada pela capacitância equivalente de entrada do segundo estágio e pelas impedâncias equivalentes de saída do par diferencial e de entrada do VAS. Portanto, o estágio de ganho também influencia esse parâmetro.

Impedância de saída: a impedância de saída de um amplificador de som é basicamente igual à impedância de saída do VAS dividida pelo ganho de corrente do terceiro estágio. Assim, o estágio de ganho de tensão interfere nesse parâmetro.

3.2 Circuitos Básicos Do Estágio Amplificador De Tensão

Os circuitos eletrônicos mais comumente utilizados para construir o VAS são: a) Amplificador Emissor-Comum; b) Amplificador CC-CE; c) Amplificador Cascode e d) Amplificador Bootstrap. A figura a seguir ilustra esses circuitos. Geralmente, essas células de ganho são selecionadas porque oferecem níveis de ganho muito elevados com uma configuração simples. No entanto, as topologias b) e c) oferecem um ganho ainda maior do que um simples Emissor-comum, além de proporcionar uma maior banda passante. Por outro lado, o Bootstrap dispensa o uso de uma fonte de corrente transistorizada para polarizar a célula de ganho, mas possui uma menor imunidade a ruído.



Exemplos de Estágios de Ganho de Tensão.

4. O ESTAGIO DE POTENCIA

O estágio de potência de um amplificador é a estrutura responsável por fazer a conexão da tensão de saída do estágio VAS com o alto-falante. Os principais parâmetros do amplificador afetados por este estágio são:

Resistência de saída: O estágio de potência não produz ganho de tensão, ou seja, a tensão na saída do amplificador será igual à tensão do VAS. Contudo, como a impedância de um alto-falante é muito baixa (2 – 8 ohms), o estágio de potência fornece um alto ganho de corrente. Assim, ele faz com que o alto-falante perceba uma resistência de saída do amplificador muito baixa e não gere um efeito de carga, ou seja, uma queda de tensão provocada pela presença de uma carga na saída do circuito;

Taxa de Distorção (THD): O estágio de potência lida com sinais de grandes amplitudes (uma vez que o VAS já deu quase tudo o que se precisava de tensão para a saída) e com correntes elevadas. Com isso, as não idealidades e não-linearidades dos transistores de potência começam a ser mais percebidas, produzindo distorção na saída do amplificador. Portanto, a qualidade do estágio de potência vai definir a qualidade de reprodução de áudio do amplificador como um todo;

Eficiência energética: O estágio de potência consome a maior da potência dissipada pelo amplificador. Essa potência dissipada faz com que a fonte de alimentação entregue uma potência ao circuito muito maior do que aquela que o alto-falante vai receber e normalmente vai virar calor. Com isso, por causa do estágio de potência, é necessário usar um sistema de refrigeração (dissipador ventoinha) mais robusto para evitar que os transistores sobreaqueçam e queimem.

5.CLASSES DE AMPLIFICAÇÃO

A THD e a eficiência dos amplificadores são dois parâmetros antagônicos, ou seja, se eu projetar o amplificador para ter uma baixa THD, normalmente isto vai fazer com que o circuito dissipe muita potência. Com isso, surgem as classes de amplificação, que são topologias de estágio de potência que buscam encontrar pontos interessantes entre THD e eficiência, sendo elas:

Classe A: o amplificador classe A é uma estrutura de potência que busca produzir a menor THD possível. Para isso, ele usa um transistor de potência que irá conduzir 360º da corrente de carga, ou seja, 100% da corrente do alto-falante. Uma fonte de corrente é utilizada para polarizar o transistor em um ponto de operação que permita essa condução toda. Com isso, a potência consumida da fonte de alimentação é constante. Portanto, quando o amplificador está em "*idle*" (sem áudio na saída), toda a potência consumida vira calor e quando há áudio, parte dessa potência é entregue ao alto-falante. De qualquer forma, a eficiência máxima desta classe é de 25% (teórica) e uns 15% (prática). Note que, uma eficiência de 25% faz com que um equipamento de áudio que entregue 25W ao alto-falante consuma uma potência total de 100W, sendo que os 75W de diferença vão virar calor e precisarão de um dissipador caro, pesado e volumoso para dar conta do recado. Por isso, esse tipo de amplificador é usado apenas em áudio hi-fi ou circuitos com baixíssima potência.

Classe B: o amplificador classe B é feito com uma configuração Push-pull, usando um transistor NPN e um PNP. Quando o sinal de entrada é positivo, o transistor NPN conduz a corrente de carga, e quando o sinal é negativo, o transistor PNP conduz. No entanto, se a tensão do sinal de entrada estiver entre +0,7V e -0,7V, nenhum dos transistores conduz, o que causa a distorção de crossover e aumenta a THD do circuito. Isso também reduz a dissipação de potência, aumentando a eficiência do amplificador classe B para até 78% (teoricamente).

Classe AB: Os amplificadores classe AB formam a topologia de estágio de potência mais utilizada no mundo do áudio. Como vocês podem ver na figura abaixo, ela também usa uma configuração Push-pull, mas uma pequena tensão

de polarização é adicionada ao circuito, com o intuito de, durante o Crossover, manter tanto o NPN, quanto o PNP conduzindo. Assim, o circuito consegue atingir uma THD baixa e comparável ao classe A, mas com muito menos perdas. A eficiência deste amplificador fica na faixa de 40% a 60%, dependendo do ajuste da tensão de polarização

Classe G/H: As classes de amplificação G e H são modificações da classe AB, normalmente empregadas em áudio profissional, ou seja, em amplificadores de maior potência. O objetivo das modificações introduzidas nessas classes é reduzir a perda de potência do Classe AB, por meio da redução da tensão de alimentação efetiva do amplificador. Como os transistores do amplificador Classe AB conduzem (alternadamente) a corrente de carga, ao reduzir a diferença entre a tensão de alimentação desse amplificador e o pico da tensão de saída (sobre o alto-falante), reduz-se a potência dissipada nos transistores e aumenta-se a eficiência do circuito.

Os amplificadores classe G/H possuem mais de uma tensão de alimentação (Vcc1, Vcc2, etc), sendo que a tensão mais baixa é utilizada para alimentar uma amplificador Classe AB comum e as demais fontes são usadas para alterar a tensão efetiva de alimentação do Classe AB, conforme a necessidade. A Figura a seguir, ilustra uma topologia classe G/H e o comportamento da tensão de alimentação em função da tensão de saída.

5.1 Principal Diferença Entre A Classe G E H

A principal diferença entre as duas classes (G e H) está na forma como a variação da tensão de alimentação do amplificador Classe AB principal é feita. O amplificador Classe G utiliza um circuito eletrônico para chavear a tensão de alimentação do amplificador de Vcc1 para Vcc2, assim que o valor de pico da tensão de saída ultrapasse um determinado patamar. Com isso, haverá variações bruscas na alimentação do amplificador, que podem gerar algum ruído no áudio de saída.

Por outro lado, o amplificador Classe H utiliza uma espécie de fonte de regulada que irá tentar fazer a tensão de alimentação ser igual ao pico da tensão de saída mais uma diferença (um "*headroom*"). Tendo a figura anterior como exemplo, quando a tensão de saída for inferior a Vcc1, os diodos do circuito irão limitar a alimentação do amplificador Classe AB em Vcc. Agora, quando a tensão de saída crescer e Vout+Vzener exceder Vcc1, a tensão de alimentação do Classe AB será proporcionalmente alterada. Assim, o Classe H permite uma modulação da tensão de alimentação muito mais suave, reduzindo problemas de interferência.

6.DIÁRIO DE BORDO DA REPARAÇÃO DO AMPLIFICADOR

Dia 1(06/08): Identificação dos Problemas

Hoje, começamos a investigação dos problemas relatados no amplificador. Ao realizar uma inspeção visual, notamos imediatamente alguns sinais de falha de componentes, com capacitores visivelmente inchados. Além disso, ao ligar o amplificador, observamos uma oscilação na fonte de alimentação, sugerindo uma possível falha na alimentação. O primeiro passo foi desligar o amplificador e desconectar todas as fontes de alimentação.

Dia 2(27/08): Testes e Diagnóstico

Realizamos testes nos capacitores e confirmamos que alguns deles estavam com valores fora da faixa aceitável. Substituímos os capacitores defeituosos. Em relação à oscilação na fonte de alimentação, identificamos um regulador de tensão com defeito. Substituímos o regulador e testamos novamente. Parece que resolvemos os problemas de falha de componentes e falha na alimentação.

Dia 3(09/09): Combate ao Superaquecimento

Após ligar o amplificador para testes mais prolongados, notamos um aumento anormal na temperatura. Realizamos uma inspeção detalhada nos dissipadores de calor e descobrimos que estavam obstruídos por poeira e detritos. Limpamos cuidadosamente os dissipadores de calor e adicionamos pasta térmica aos transistores de potência para melhorar a dissipação de calor.

Dia 4(16/09): Ajustes nos Controles e Eliminação de Ruídos

Ao testar os controles de ganho, volume e equalização, percebemos que alguns potenciômetros estavam sujos, causando falhas nos ajustes. Desmontamos os controles, limpamos os potenciômetros e aplicamos lubrificante adequado. Isso restaurou a funcionalidade adequada dos controles. No entanto, ainda notamos um ruído constante durante a operação.

Dia 5(12/09): Lidando com Ruídos e Distorção

Para eliminar o ruído constante e a distorção, realizamos uma análise mais aprofundada do circuito de áudio. Descobrimos que alguns cabos estavam mal conectados, causando interferência. Refizemos as conexões, garantindo que todos os cabos estivessem firmemente conectados. Realizamos testes de áudio extensivos e ajustamos os parâmetros para garantir uma reprodução de som limpa e sem distorção.

Dia 6(14/09): Testes Finais e Conclusão

Após todas as correções e ajustes, conduzimos uma bateria final de testes. O amplificador está agora operando sem falhas aparentes. Todos os problemas relatados, incluindo falha de componentes, falha na alimentação, superaquecimento, problemas de controle, ruído constante e distorção do som, foram abordados e corrigidos. Seguimos todas as normas corretamente e nenhum integrante do grupo aparentou sentir qualquer tipo de desconforto durante as sessões de reparo