

Topologias de estágio de saída – Trabalho Prático I

Notas de aula

1. Introdução

O objetivo do estágio de saída de um amplificador áudio é prover alto ganho de corrente ao dispositivo, de modo a permitir o atendimento a cargas, sem que isto implique em degeneração da forma de onda de tensão amplificada. Neste sentido, parâmetros como Regulação de Carga e Resistência de Saída do amplificador serão dependentes da topologia e componentes escolhidos para a implementação deste estágio. Além disso, como toda corrente de carga irá ser fornecida pela estrutura de saída, os seus transistores irão dissipar uma potência significativa, impactando a eficiência global do amplificador e demandando a realização de um projeto térmico adequado para garantir a região de operação segura dos semicondutores.

No amplificador básico utilizado neste trabalho prático, selecionou-se um estágio de saída Classe AB baseado em transistores Darlington. O amplificador Classe AB permite uma compensação de distorção de cross-over, melhorando assim a linearidade do estágio de saída e consequentemente produzindo uma redução na distorção harmônica total do amplificador, sem o custo de uma alta dissipação de potência, uma vez que os transistores de saída não possuem um ponto quiescente significativo. Os transistores Darlington são constituídos da associação de um transistor **Driver**, de alto ganho e baixo calibre de corrente, e um transistor de potência, com baixo ganho e alto calibre de corrente. O Driver irá acionar o transistor de potência, de modo que para o circuito externo, a corrente de entrada será baixa e a de saída, alta, assim os Darlingtonos apresentam alta capacidade de condução de corrente e alto ganho DC, o que é interessante para a implementação da estrutura. No entanto, existem alguns pontos negativos do uso desta topologia:

- A Fig. 1 mostra a comportamento do ganho DC do transistor TIP122 utilizado no trabalho em função da corrente de coletor e da temperatura. Nota-se que o ganho varia fortemente com o ponto de operação do transistor e com a temperatura, de modo que a impedância de saída do amplificador será dependente destes fatores;

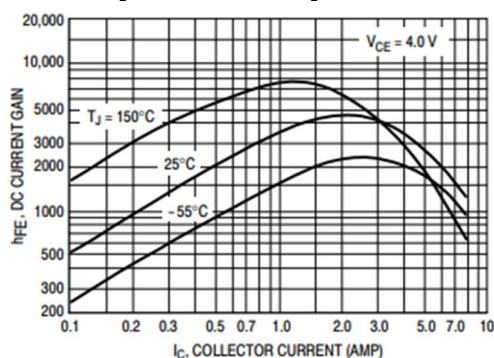


Figura 1. Ganho DC do TIP122

- Como o transistor Darlington é encapsulado, ao dissipar calor, o transistor de potência irá esquentar o transistor de Driver, o que **pode** gerar problemas de estabilidade térmica.

Outras montagens para o estágio de saída buscam prover melhor linearidade e controle térmico. A seguir serão apresentadas algumas topologias típicas empregadas em amplificadores de áudio. O grupo deverá selecionar ao menos três topologias (de diferentes tipos) entre os circuitos apresentados, além da condição original com Darlingtonos, e realizar uma análise comparativa via simulação para finalizar o projeto do amplificador.

2. Topologias Emitter-follower (EF)

A Figura 2 mostra algumas implementações típicas deste tipo de estágio.

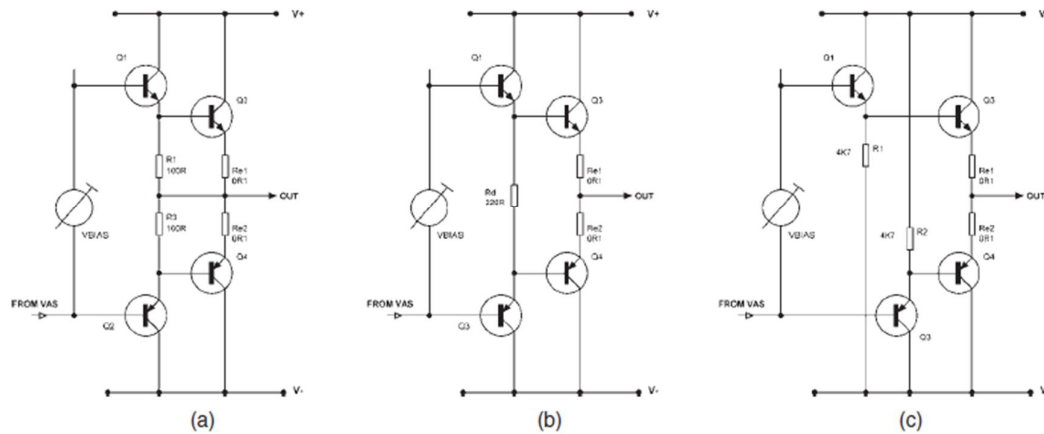


Figura 2 - Estágio Emitter-follower

A montagem 2-a) é basicamente uma implementação discreta de um Darlington, de modo que o primeiro par de transistores opera como Driver dos transistores de saída. Esta estrutura permite a seleção de componentes que irão oferecer melhor linearidade e estabilidade térmica do que uma implementação Darlington monolítica. A montagem 2-b) utiliza um resistor que acopla os emissores do driver. Isto permite que o circuito promova o rápido desligamento do transistor de saída após a passagem por zero da tensão de saída, o que, segundo a literatura de engenharia de áudio, melhora os níveis de distorção do estágio. Em algumas variações, um capacitor de 1uF é posto em paralelo a este resistor para acelerar o processo de bloqueio do transistor de saída. A montagem 2-c) apresenta os drivers em Classe A, o que eleva a dissipação de potência do estágio, mas promete melhor linearidade.

IMPORTANTE: Para efeitos de equilíbrio térmico, o circuito de polarização (V_{bias}) deve ser termicamente acoplado aos transistores de potência, para não produzir o fenômeno de avalanche térmica.

3. Topologias Complementary Feedback Pair (CFP)

A Figura 3 apresenta algumas montagens típicas deste tipo de topologia.

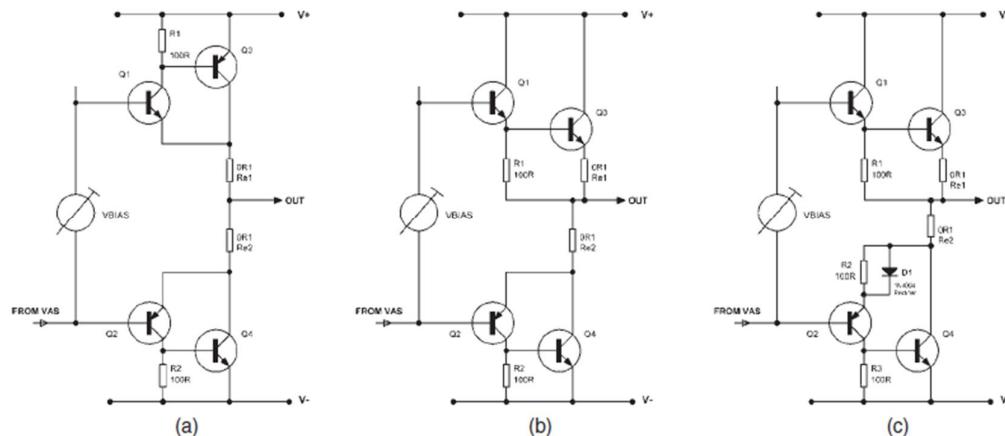


Figura 3 - Topologias CFP

Para entender o funcionamento deste tipo de montagem, tome o circuito 3-a) como exemplo. A tensão de saída será igual a $V_{out} = V_{AS} + V_{Bias} - 1.4V$, ou seja, o estágio continua tendo ganho de tensão unitário, pois os transistores de driver formam uma configuração Emitter-follower. Assim, quando a corrente de carga for positiva, por exemplo, o transistor Q1 será acionado. À medida que a corrente de carga se eleva, a corrente de base de Q1, assim como sua corrente de coletor, aumentará proporcionalmente. Como existe no coletor de Q1 um resistor, cuja tensão está grampeada pela base-emissor do transistor de potência Q3, um aumento da corrente de coletor de Q1 deverá ser fornecido pela base de Q3, o que forçará a injeção de uma corrente de coletor de Q3 na saída do circuito. Assim sendo, a maior parte da corrente de carga será fornecida por Q3 e Q1 servirá como um dispositivo de controle do transistor de potência.

A corrente que fluirá pelo transistor de driver pode ser calculada como

$$I_{Q1} \approx \frac{0.7V}{R_1} + \frac{I_o}{\beta_3 + 1}$$

O interessante desta topologia está na existência de uma realimentação local, que permite maior estabilidade térmica do transistor de saída e maior linearidade do circuito, uma vez que o transistor de driver estará constantemente polarizado. A realimentação ocorre da seguinte forma: imagine que o circuito opera como uma determinada tensão e corrente de saída. Agora, o transistor Q3 começa a esquentar. Como os semicondutores bipolares possuem coeficiente de temperatura negativo, o aumento de temperatura provocará um aumento da corrente de coletor. A corrente extra injetada na carga elevará instantaneamente a tensão de saída, reduzindo a tensão de base-emissor de Q1. Isto levará a uma redução da corrente de coletor de Q1 que, consequentemente, reduzirá a corrente de Q3, estabilizando o circuito.

IMPORTANTE: Caso os transistores de driver esquentem, o circuito pode entrar em avalanche térmica, de modo que é necessário realizar um acoplamento térmico entre o circuito de polarização e os transistores de driver.

As montagens 3-b) e 3-c) são variações do CFP que buscam empregar o mesmo tipo de transistor NPN no estágio de potência, de modo a se beneficiar de sua complementaridade.

A Figura 4 mostra outras variações da topologia CFP, onde se pode gerar ganho de tensão no estágio de saída. Esta função tem a vantagem de elevar o uso das tensões de alimentação, minimizando o efeito das quedas de tensão provocadas pelas fontes de corrente utilizadas nos estágios de entrada e intermediário.

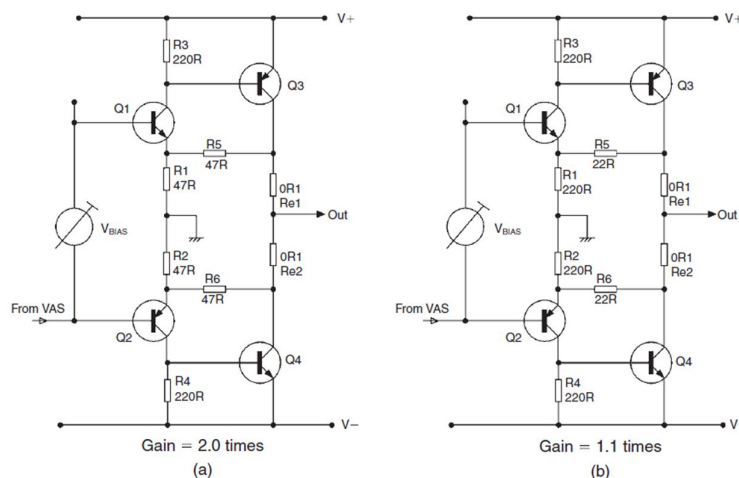


Figura 4 – Topologias CFP com ganho de tensão

4. Topologias Tripple

Os Tripples são montagens baseadas na disposição de três conjuntos de transistores no estágio de saída. Existe uma infinidade de combinações possíveis. Algumas das vantagens desta topologia estão primeiramente no seu alto ganho de corrente, que eleva a regulação de carga do amplificador, desacoplando o estágio de tensão da carga, por outro lado, pode-se elevar a linearidade, caso haja realimentação local. As Figuras 5 e 6 mostra algumas das montagens possíveis.

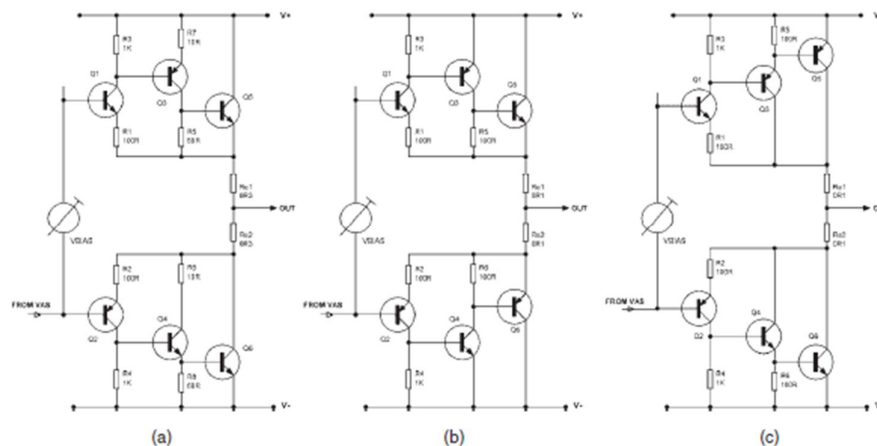


Figura 5 - Topologias Tripple com local feedback

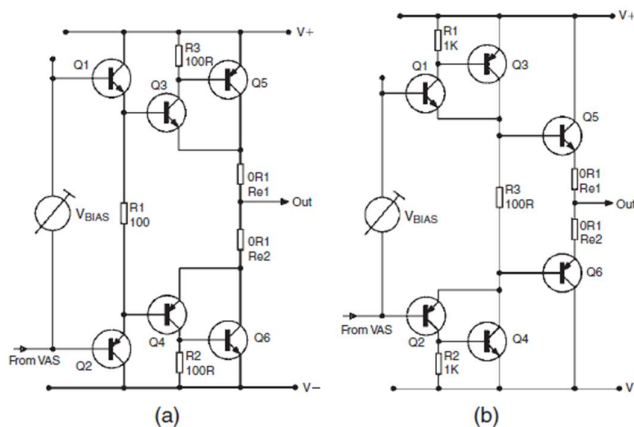


Figura 6- Topologias Tripple feitas de associação de um EF e um CFP

5. Montagens com MOSFET

Todas as montagens descritas acima podem ser implementadas com transistores MOSFET de potência, contudo deve-se elevar a tensão de polarização para que o limiar de Gate-Source seja atendido. O Driver também deve ser capaz de carregar e descarregar a capacitância de Gate rapidamente, para não ter comprometimento da operação do amplificador.