

Amplificador Classe A: Projeto e Simulação em LTspice

Duarte Lourenço

duarte.lourenco@ua.pt
Universidade de Aveiro

Setembro 2025, Aveiro

Contents

1	Introdução	2
1.1	Contextualização	2
1.2	Objetivos do projeto	2
2	Revisão Teórica	2
2.1	Princípio de funcionamento do circuito (Classe A)	2
2.2	Descrição dos principais componentes	2
2.3	Aplicações práticas	2
3	Desenvolvimento / Metodologia	3
3.1	Descrição do circuito estudado	3
3.2	Justificação dos valores escolhidos para componentes	3
4	Resultados	4
4.1	Explicação e apresentação dos resultados teóricos	4
4.1.1	Tensão da Base	4
4.1.2	Tensão do Emissor	4
4.1.3	Corrente do emissor	4
4.1.4	Corrente do coletor	4
4.1.5	Tensão do coletor	4
4.1.6	Corrente da Base	4
4.1.7	Tensão de saída (Vout)	4
4.2	Apresentação dos resultados das simulações	5
4.2.1	Tensão da Base	5
4.2.2	Tensão do Emissor	5
4.2.3	Corrente do emissor	5
4.2.4	Corrente do coletor	5
4.2.5	Tensão do coletor	6
4.2.6	Corrente da Base	6
4.2.7	Tensão de saída (Vout)	6
4.3	Discussão dos resultados	6
4.3.1	Ganho de Tensão (A_v)	6
4.3.2	Ganho de Corrente (β)	7
4.3.3	Discrepância na Corrente de Base	7
4.3.4	Considerações sobre a Simulação Computacional	7
4.4	Discussão sobre linearidade e distorção	7
5	Análise Crítica e Discussão	7
5.1	Dificuldades encontradas	7
5.2	Possíveis melhorias do circuito	8
6	Conclusão	8
7	Bibliografia	8

1 Introdução

1.1 Contextualização

A eletrônica analógica desempenha um papel fundamental numa série de sistemas do dia a dia. A compreensão do funcionamento de um amplificador - especialmente dos de pequena potência - é fundamental na área das telecomunicações.

Este projeto analisa o funcionamento de um amplificador classe A com transistor NPN. Para simular o circuito é usado o programa LTspice, sendo uma abordagem que permite consolidar os conhecimentos teóricos e desenvolver competências práticas de modelação e interpretação de resultados.

1.2 Objetivos do projeto

O objetivo deste projeto é perceber, de forma prática, como funciona um amplificador classe A com transistor NPN. Pretende-se simular o circuito no LTspice, testar diferentes valores de componentes e analisar os efeitos dessas escolhas no sinal de saída. Além disso, este trabalho serve para reforçar a ligação entre a teoria e aquilo que realmente acontece num circuito, ajudando a ganhar conhecimento tanto com a análise como com a simulação de sistemas eletrónicos.

2 Revisão Teórica

2.1 Princípio de funcionamento do circuito (Classe A)

O amplificador classe A é um dos tipos mais simples e tradicionais de amplificadores de sinal. Neste circuito, o transistor permanece sempre a conduzir corrente durante todo o ciclo do sinal de entrada, garantindo uma amplificação linear e de baixa distorção. O funcionamento baseia-se na polarização adequada do transistor, de forma a que este opere continuamente na região ativa. Assim, qualquer variação do sinal de entrada provoca uma variação proporcional do sinal de saída, permitindo amplificar sinais pequenos com grande fidelidade.

Existem outros tipos de amplificadores, como os classe B e classe AB, que funcionam de modo diferente. Por exemplo, no classe B o transistor só conduz metade do ciclo do sinal, o que torna o circuito mais eficiente mas pode introduzir distorção (distorção de cruzamento). Já o classe AB procura um equilíbrio entre eficiência e fidelidade, conduzindo mais de meio ciclo mas menos que um ciclo completo.

Em resumo, o amplificador classe A destaca-se pela sua simplicidade e qualidade do sinal amplificado, à custa de uma menor eficiência energética, já que parte da energia é dissipada continuamente no transistor mesmo na ausência de sinal. Este tipo de amplificador

é ideal quando se pretende máxima linearidade e baixa distorção, sendo por isso utilizado em aplicações onde a qualidade do som ou do sinal é prioritária.

2.2 Descrição dos principais componentes

Transistor (NPN)

O transistor NPN é o elemento central do amplificador, responsável pela amplificação propriamente dita. Atua como um dispositivo de controlo de corrente, permitindo que pequenas variações de corrente na base resultem em variações significativamente maiores de corrente entre o coletor e o emissor. Desta forma, o transistor converte um sinal de entrada fraco num sinal de saída mais forte, mantendo a forma original do sinal. Para este projeto é utilizado o modelo de transistor 2N2222.

Resistências

Os resistências têm um papel fundamental na definição das correntes e tensões em diferentes pontos do circuito. Servem para estabelecer o ponto de funcionamento (polarização) do transistor, limitar a corrente que circula nos vários ramos e garantir a estabilidade do circuito face a variações dos parâmetros dos componentes ou da alimentação. Além disso, influenciam o ganho e a resposta em frequência do amplificador.

Condensadores

Os condensadores são utilizados para acoplar e desacoplar sinais ao longo do circuito. Permitem a passagem de sinais alternados (AC) enquanto bloqueiam componentes contínuas (DC), isolando diferentes estágios do circuito e protegendo os dispositivos sensíveis a tensões de polarização. Nos amplificadores, os condensadores também ajudam a filtrar ruídos e a garantir que o sinal útil seja amplificado com o mínimo de distorção possível.

2.3 Aplicações práticas

Os amplificadores classe A, apesar de não serem os mais eficientes, continuam a ser bastante utilizados em situações onde a qualidade do sinal é fundamental. No contexto das telecomunicações, são muitas vezes usados em etapas de pré-amplificação, onde é importante garantir que sinais muito fracos sejam amplificados sem que haja distorção significativa. Por exemplo, podem ser encontrados na entrada de receptores de rádio ou em circuitos de modulação e demodulação, onde a fidelidade do sinal é essencial para que as mensagens transmitidas cheguem corretamente ao destino.

Além das telecomunicações, amplificadores deste tipo também aparecem em equipamentos de áudio de alta qualidade, em instrumentos de medição e em alguns circuitos de sensores, sempre que se pretende amplificar sinais pequenos com o mínimo de alteração possível. Mesmo com alternativas mais eficientes, o classe A mantém o seu lugar devido à simplicidade, previsibilidade e desempenho em termos de linearidade.

3 Desenvolvimento / Metodologia

3.1 Descrição do circuito estudado

O circuito estudado é um amplificador classe A simples, construído com um transistor NPN e alguns componentes passivos. O objetivo principal deste amplificador é aumentar a amplitude de sinais de pequena potência, como aqueles que aparecem à saída de sensores ou no início de sistemas de comunicação.

O circuito é composto por três tipos principais de componentes: resistências, condensadores e o transistor. Os resistências definem o ponto de polarização do transistor e limitam as correntes nas várias partes do circuito. Os condensadores são usados para acoplar e desacoplar sinais, garantindo que apenas a parte alternada do sinal é amplificada e transmitida para a saída. O transistor, por sua vez, é o elemento ativo responsável pela amplificação propriamente dita.

A fonte de alimentação fornece uma tensão contínua (neste caso, 10V) ao circuito. O sinal de entrada, que se pretende amplificar, é aplicado através de um condensador à base do transistor. O sinal amplificado é recolhido no coletor e enviado para a saída, novamente através de um condensador para isolar a componente DC.

Este tipo de circuito é bastante utilizado para compreender os princípios básicos da amplificação, já que permite observar de forma clara o efeito de cada componente e o comportamento do transistor em regime de amplificação linear.

Ref.	Componente	Valor/Tipo
R1	Resistência	10 k Ω
R2	Resistência	47 k Ω
R3	Resistência	470 Ω
R4	Resistência	1 k Ω
C1	Condensador	10 nF
C2	Condensador	100 nF
C3	Condensador	10 nF
Q1	NPN	2N2222
V1	Fonte sinal	Sinusoidal, 10 mV, 1 kHz
V2	Fonte DC	10 V

Table 1: Lista de componentes do circuito.

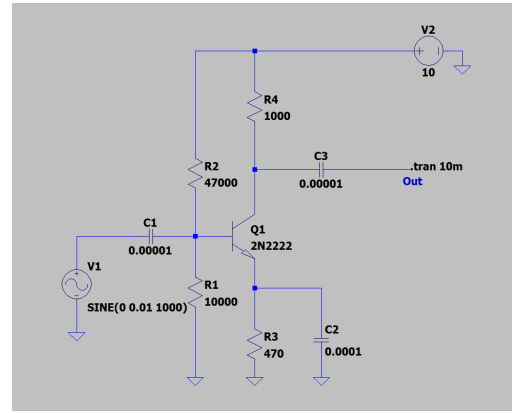


Figure 1: Esquema do circuito amplificador classe A.

3.2 Justificação dos valores escolhidos para componentes

A seleção dos valores dos componentes do circuito foi feita para garantir o funcionamento correto do amplificador e uma amplificação adequada do sinal de entrada. Para isso, tiveram-se em conta as características do transistor NPN utilizado, a tensão de alimentação disponível e o tipo de sinal a amplificar. O ganho deste transistor () costuma variar entre 35 a 300. Para este projeto, consideremos o valor de 100 como valor médio (valor assumido na componente teórica relacionados à utilização do transistor 2N2222). Consideremos também uma tensão da base-emissor do 2N2222 de 0.7V para efeitos teóricos. Os valores assumidos para um transistor deste modelo são obtidos através da sua respetiva ficha técnica.

Resistências

R1 (10k) e R2 (47k): Estas duas Resistências formam um divisor de tensão que define a polarização da base do transistor, assegurando que este opera na região ativa, onde o comportamento é mais linear e adequado à amplificação. R3 (470): A resistência do emissor contribui para a estabilização do ponto de funcionamento do transistor, tornando o circuito mais robusto a variações de temperatura e a pequenas diferenças entre componentes. R4 (1k): Esta resistência, colocado no coletor, foi escolhido para permitir uma tensão no coletor sensivelmente a meio da alimentação, favorecendo a máxima excursão possível do sinal de saída sem distorção.

Condensadores

C1 (10 μ F): Acopla o sinal de entrada ao circuito, bloqueando a componente DC e deixando passar apenas o sinal alternado. C2 (100 μ F): Atua como condensador de bypass no emissor, aumentando o ganho do amplificador para sinais AC ao reduzir a resistência vista pelo sinal nesse ponto. C3 (10 μ F): Isola a compo-

nente DC do sinal amplificado, permitindo que apenas o sinal útil (AC) chegue à saída.

Fonte de alimentação e sinal de entrada

VCC = 10V: Valor prático e seguro para este tipo de circuito, permitindo uma boa margem de funcionamento para o transistor. Sinal de entrada (V1): Sinal sinusoidal com amplitude de 10mV e frequência de 1kHz, representativo de sinais fracos que normalmente se pretende amplificar.

Estes valores foram escolhidos para garantir que o circuito funciona como um amplificador linear, com boa estabilidade e capacidade de amplificar sinais pequenos sem introduzir distorções significativas.

4 Resultados

4.1 Explicação e apresentação dos resultados teóricos

Nesta secção são detalhados os valores de tensão e corrente associados aos terminais do transistor (base, emissor e coletor), considerando as respetivas entradas e saídas

4.1.1 Tensão da Base

A tensão na base (VB) é determinada pelo divisor de tensão formado por R1 e R2:

$$VB = VCC \times \frac{R1}{R1 + R2}$$

Com os valores do circuito sendo:

$$VCC = 10 \text{ V}$$

$$R1 = 10 \text{ k}$$

$$R2 = 47 \text{ k}$$

$$VB = 10 \text{ V} \times \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 47 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ V} \times \frac{10}{57} \approx 1.75 \text{ V}$$

4.1.2 Tensão do Emissor

A tensão no emissor é a diferença entre a tensão na base e a tensão base-emissor (VBE):

$$VE = VB - VBE = 1.75 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 1.05 \text{ V}$$

4.1.3 Corrente do emissor

A corrente no emissor (IE) é calculada pela Lei de Ohm, usando a resistência do emissor (RE):

$$IE = \frac{VE}{RE} = \frac{1.05 \text{ V}}{470 \Omega} \approx 2.23 \text{ mA}$$

4.1.4 Corrente do coletor

Como a corrente de base é muito pequena, podemos aproximar:

$$IC \approx IE \approx 2.23 \text{ mA}$$

4.1.5 Tensão do coletor

A tensão no coletor é dada por:

$$VC = VCC - (IC \times RC)$$

$$10 \text{ V} - (2.23 \text{ mA} \times 1000 \Omega) = 10 \text{ V} - 2.23 \text{ V} = 7.77 \text{ V}$$

4.1.6 Corrente da Base

Para referência, a corrente de base pode ser calculada por:

$$IB = \frac{IE}{\beta + 1}$$

Assumindo ($\beta = 100$) :

$$IB = \frac{2.23 \text{ mA}}{101} \approx 22.1 \mu\text{A}$$

4.1.7 Tensão de saída (Vout)

Para este circuito, que corresponde a um amplificador classe A com transistor NPN em configuração emissor comum, a tensão de saída (Vout) corresponde à tensão no coletor, medida após o condensador de acoplamento (C3).

O sinal de saída apresenta-se invertido relativamente ao sinal de entrada, devido à topologia do circuito, sendo o ganho de tensão dado por:

$$Av = -\frac{RC}{re}$$

onde:

RC é a resistência de coletor (neste caso, $R4 = 1 \text{ k}\Omega$),

re é a resistência dinâmica do emissor, aproximada por $re \approx \frac{25 \text{ mV}}{IE}$, com IE em ampères.

A simulação indica um valor médio para a corrente do emissor de $IE \approx 2,2 \text{ mA}$, pelo que:

$$re \approx \frac{25 \text{ mV}}{2,2 \text{ mA}} \approx 11,4 \Omega$$

Assim, o ganho teórico do circuito é:

$$Av \approx -\frac{1000}{11,4} \approx -87,7$$

Considerando uma amplitude para o sinal de entrada de $V_{in} = 10 \text{ mV}$, a amplitude esperada para o sinal de saída será:

$$V_{out} = |A_v| \times V_{in} \approx 87,7 \times 10 \text{ mV} \approx 0,88 \text{ V}$$

Portanto, teoricamente, o amplificador deverá fornecer à saída um sinal sinusoidal invertido, com amplitude de aproximadamente 0,88 V, o que representa um ganho muito superior ao valor da tensão de entrada. Estes cálculos confirmam que o circuito está dimensionado para funcionar como amplificador de tensão, com um ganho significativo, de acordo com a configuração escolhida e os valores dos componentes utilizados.

4.2 Apresentação dos resultados das simulações

Após montar o circuito no LTspice e configurar a simulação, foram analisadas as principais tensões e sinais nos diferentes pontos do amplificador. Os valores medidos correspondem ao funcionamento normal do circuito, já estabilizado.

Foram registradas as seguintes tensões e correntes nos principais pontos do circuito:

4.2.1 Tensão da Base

A simulação mostra que a tensão na base do transistor oscila de forma sinusoidal em torno de um valor médio de aproximadamente 1,67 V. Esta variação acompanha o sinal de entrada, comprovando que o divisor de polarização mantém a base corretamente polarizada e permite ao transistor operar na região ativa. Assim, garante-se uma resposta linear do circuito e condições ideais para a amplificação do sinal.

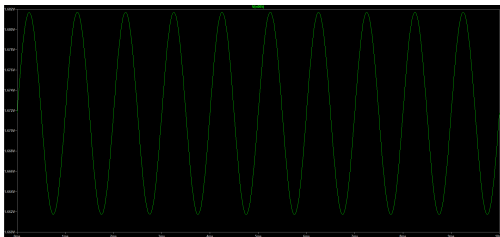


Figure 2: Tensão na base do transistor obtida por simulação.

4.2.2 Tensão do Emissor

A simulação da tensão no emissor apresenta uma variação sinusoidal muito próxima de 1 V, com pequenas oscilações ao longo do tempo. Este comportamento evidencia que o emissor acompanha fielmente as variações do sinal de entrada, mantendo o transistor corretamente polarizado e garantindo o funcionamento

estável do circuito. A linearidade da resposta demonstra que não há distorção significativa, sendo este resultado indicativo de uma boa configuração do ponto de funcionamento do amplificador.

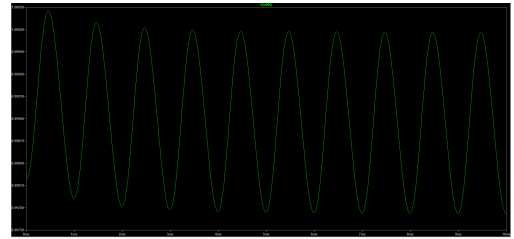


Figure 3: Tensão no emissor do transistor obtida por simulação.

4.2.3 Corrente do emissor

A simulação da corrente do emissor apresenta uma variação sinusoidal compreendida entre aproximadamente 1,5 mA e 2,9 mA, com um valor médio em torno de 2,2 mA. Este resultado demonstra que o circuito responde de forma linear ao sinal de entrada, permitindo que a corrente no emissor acompanhe fielmente as variações do sinal aplicado à base. Assim, confirma-se que o amplificador está corretamente polarizado e a funcionar como esperado, sem distorção significativa do sinal.

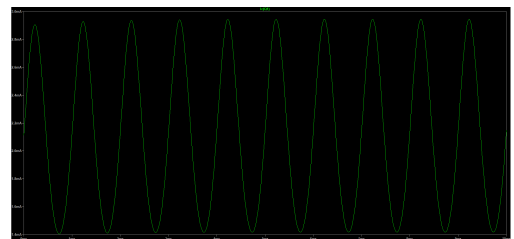


Figure 4: Corrente no emissor do transistor obtida por simulação.

4.2.4 Corrente do coletor

A simulação da corrente do coletor revela uma variação sinusoidal bastante semelhante à observada na corrente do emissor, com valores compreendidos entre cerca de 1,5mA e 2,9mA. O valor médio mantém-se próximo de 2,2mA. Esta proximidade entre as duas correntes confirma o funcionamento esperado do transistor, já que, em regime de amplificação linear, a corrente do coletor é praticamente igual à corrente do emissor. O resultado demonstra que o circuito está corretamente polarizado e a amplificação ocorre de forma linear e sem distorção significativa.

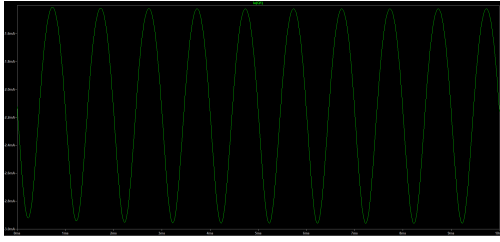


Figure 5: Corrente no coletor do transistor obtida por simulação.

4.2.5 Tensão do coletor

A simulação da tensão no coletor demonstra uma variação sinusoidal que oscila entre cerca de 7,1V e 8,6V, com um valor médio próximo de 7,9V. Estes resultados mostram que o circuito está a amplificar corretamente o sinal de entrada, mantendo uma resposta linear e sem distorção significativa. A amplitude e a forma do sinal confirmam que o transistor está devidamente polarizado e a funcionar na região ativa.

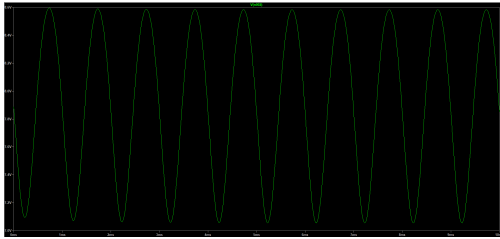


Figure 6: Tensão do coletor do transistor obtida por simulação.

4.2.6 Corrente da Base

A simulação da corrente da base evidencia uma variação sinusoidal entre aproximadamente 6,5A e 13,5A, com um valor médio em torno de 10A. Este comportamento confirma que a corrente da base acompanha as oscilações do sinal de entrada, garantindo que o transistor se mantém corretamente polarizado e apto a amplificar o sinal de forma linear. Estes valores estão de acordo com o esperado para um circuito de amplificação classe A, onde a corrente de base é bastante inferior à do coletor e emissor.

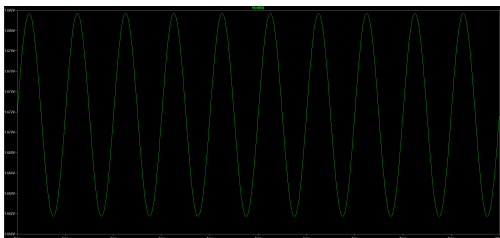


Figure 7: Tensão da Base do transistor obtida por simulação.

4.2.7 Tensão de saída (Vout)

A simulação da tensão de saída (Vout) mostra uma variação sinusoidal entre aproximadamente 7,0V e 8,6V. Estes valores correspondem, respetivamente, aos valores mínimo e máximo do sinal de saída à frequência de funcionamento do circuito.

A amplitude de pico-a-pico de Vout é, assim, de 1,6V. Este resultado confirma que o amplificador está a funcionar corretamente, proporcionando uma amplificação significativa do sinal de entrada (que tinha uma amplitude de apenas 10mV). Além disso, observa-se que a forma de onda se mantém praticamente sinusoidal, sem sinais evidentes de distorção ou recorte, o que indica que o ponto de polarização do transistor foi bem escolhido.

A diferença entre os valores teóricos e práticos do ganho pode ser justificada por limitações reais do modelo do transistor na simulação, bem como pelo efeito dos componentes passivos e das aproximações normalmente usadas nos cálculos teóricos.

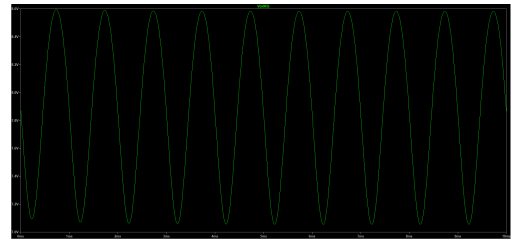


Figure 8: Tensão de saída obtida por simulação.

4.3 Discussão dos resultados

Neste trabalho, foram analisados dois tipos de ganho fundamentais no funcionamento do amplificador com transistor 2N2222: o ganho de tensão (A_v) e o ganho de corrente (β). Ambos são essenciais para compreender o comportamento do circuito e o seu desempenho real.

4.3.1 Ganho de Tensão (A_v)

O ganho de tensão representa a relação entre a amplitude do sinal de saída e a amplitude do sinal de entrada, indicando a capacidade do circuito amplificar variações de tensão. Teoricamente, para um amplificador de emissor comum, o ganho é dado por:

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e}$$

onde R_C é a resistência de coletor e $r_e \approx \frac{25\text{mV}}{I_E}$ é a resistência dinâmica do emissor.

Com base nos valores do circuito e nos resultados da simulação ($I_E \approx 2,2\text{mA}$), o ganho teórico calculado foi de cerca de 88. Já o ganho prático, obtido a partir

da simulação, foi de 80, resultando de uma amplitude de saída de 0,8 V para uma entrada de 10 mV. Esta diferença é pequena e mostra que os cálculos teóricos são uma boa aproximação ao comportamento real do circuito.

4.3.2 Ganho de Corrente (β)

O ganho de corrente (β) do transistor corresponde à razão entre a corrente de coletor (I_C) e a corrente de base (I_B):

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

O datasheet do 2N2222 indica valores típicos de β entre 100 e 200 para correntes de coletor compatíveis com o circuito em estudo. No entanto, nos cálculos teóricos, utiliza-se frequentemente um valor conservador ($\beta = 100$), resultando numa corrente de base teórica de aproximadamente 22 μA .

A simulação, por outro lado, mostrou uma corrente de base média de apenas 10 μA . Isto corresponde a um ganho de corrente prático de 213, evidenciando que o modelo de transistor utilizado na simulação trabalha com um β mais elevado do que o estimado nos cálculos teóricos.

4.3.3 Discrepância na Corrente de Base

A diferença entre a corrente de base teórica e a observada na simulação deve-se principalmente à escolha do valor de β . O valor real de β pode ser significativamente maior do que o valor típico considerado nos cálculos teóricos, especialmente em simulações computacionais, onde o modelo do transistor pode apresentar características ideais ou melhoradas para o ponto de funcionamento escolhido. Assim, a corrente de base necessária para obter a corrente de coletor desejada é inferior ao previsto teoricamente.

4.3.4 Considerações sobre a Simulação Computacional

É importante salientar que todos os resultados práticos apresentados foram obtidos através de simulação no computador. Este método apresenta várias vantagens: não existe risco de danificar componentes reais, não há limitações de tolerâncias físicas nem influência de fatores ambientais como temperatura, ruído ou envelhecimento dos materiais. Além disso, é possível observar o comportamento idealizado do circuito e analisar facilmente qualquer parâmetro, ajustando rapidamente valores de componentes ou condições de funcionamento.

No entanto, é também por este motivo que os resultados obtidos podem divergir ligeiramente dos valores que se obteriam numa montagem prática em lab-

oratório, já que o software pode utilizar modelos simplificados ou ideais para certos componentes.

4.4 Discussão sobre linearidade e distorção

A linearidade de um amplificador refere-se à sua capacidade de amplificar o sinal de entrada sem introduzir alterações significativas na forma de onda original. Um circuito linear garante que a saída é uma versão ampliada do sinal de entrada, sem distorção significativa. Já a distorção ocorre quando há alterações indesejadas na forma do sinal, como recorte (clipping), saturação, compressão, ou distorção harmónica.

No caso do amplificador classe A simulado, analisando as formas de onda obtidas para as tensões nos principais pontos do circuito (nomeadamente no coletor e na saída), observa-se que o sinal de saída se mantém rigorosamente sinusoidal, acompanhando fielmente o sinal de entrada. Não se verifica recorte do sinal, nem achatamento dos topos ou bases da onda, nem outras formas evidentes de distorção. Isto demonstra que o circuito está a funcionar na sua região linear, conforme pretendido no dimensionamento do ponto de funcionamento.

A ausência de distorção deve-se, essencialmente, à escolha adequada dos valores de polarização, que mantém o transistor permanentemente na região ativa, longe das regiões de corte e saturação. Assim, toda a excursão do sinal de entrada é devidamente amplificada, sem que o transistor atinja limites extremos de funcionamento.

É importante referir que, se o sinal de entrada tivesse uma amplitude significativamente maior, poderia ocorrer distorção por recorte:

Na saturação: Se o coletor se aproximasse demasiado da tensão do emissor, o transistor entraria em saturação, achatando a parte inferior da onda de saída.

No corte: Se o sinal de entrada fizesse a corrente de base cair demasiado, o transistor poderia fechar, interrompendo a corrente de coletor e cortando a parte superior da onda de saída.

Neste circuito, com o sinal de entrada de 10 mV utilizado, não há qualquer evidência de distorção relevante. O funcionamento mantém-se linear e o amplificador cumpre o objetivo de reproduzir o sinal de entrada à saída, com maior amplitude e sem alterações significativas da forma do sinal.

5 Análise Crítica e Discussão

5.1 Dificuldades encontradas

Durante o desenvolvimento e simulação do circuito amplificador classe A, surgiram algumas dificuldades que merecem destaque. Em primeiro lugar, a correta escolha dos valores dos componentes revelou-se

um desafio, já que pequenas variações nos Resistências e condensadores podem alterar significativamente o ponto de funcionamento do transistor e, consequentemente, o desempenho do amplificador. Foi necessário realizar vários cálculos e simulações para garantir que o transistor operava sempre na região ativa e evitar situações de saturação ou corte.

Outra dificuldade prendeu-se com a interpretação dos resultados da simulação, nomeadamente a análise das formas de onda e das correntes nos diferentes terminais do transistor. Comparar resultados teóricos com os valores obtidos na simulação exigiu atenção à influência de parâmetros reais do modelo do transistor, como o ganho de corrente (β), que pode variar bastante relativamente ao valor típico assumido nos cálculos.

Por fim, a utilização do LTspice, apesar de intuitiva, exigiu algum tempo de adaptação para configurar corretamente as fontes, medições e visualizar as formas de onda pretendidas. A pesquisa de exemplos e documentação foi fundamental para ultrapassar estas questões.

5.2 Possíveis melhorias do circuito

Apesar do circuito estudado cumprir o objetivo de amplificação linear com baixa distorção, existem várias possibilidades de melhoria:

Estabilização do ponto de funcionamento: A inclusão de um divisor de tensão mais robusto na base do transistor, ou o ajuste dos valores de R1 e R2, pode tornar o circuito menos sensível a variações do ganho do transistor (β), melhorando a estabilidade térmica e reprodutibilidade.

Aumento do ganho: Se necessário, é possível aumentar o ganho do circuito ajustando o valor do resistor de coletor (R4) ou otimizando o condensador de bypass (C2). No entanto, é importante garantir que estas alterações não levam o transistor à saturação ou corte para sinais mais elevados.

Redução de ruído: A utilização de resistências de menor valor sempre que possível (sem comprometer o ponto de funcionamento) e condensadores de melhor qualidade pode reduzir o ruído do circuito.

Acoplamento DC: Para aplicações que exijam estabilidade absoluta a longo prazo, pode ser interessante implementar técnicas adicionais de acoplamento e desacoplamento DC, bem como proteção extra contra picos de tensão na entrada.

Simulação com tolerâncias: Em ambientes reais, os componentes apresentam tolerâncias nos seus valores. Simular o circuito considerando estas tolerâncias poderia antecipar variações de desempenho e ajudar a escolher componentes mais adequados.

Estas melhorias podem ser implementadas con-

soante os requisitos específicos da aplicação final, aumentando a robustez, eficiência e qualidade do amplificador.

6 Conclusão

O presente trabalho permitiu compreender, de forma prática e teórica, o funcionamento de um amplificador classe A utilizando um transistor NPN do tipo 2N2222. Ao longo do projeto, foram realizados os cálculos necessários para o correto dimensionamento do circuito, bem como simulações no LTspice para validar o comportamento previsto.

Verificou-se que o amplificador conseguiu amplificar eficazmente sinais de pequena amplitude, apresentando um ganho de tensão próximo do valor teórico calculado. A análise das formas de onda simuladas revelou uma excelente linearidade do circuito, sem distorção significativa, confirmando a escolha adequada dos valores dos componentes e do ponto de funcionamento do transistor.

Foi também possível observar pequenas discrepâncias entre os valores práticos e teóricos, nomeadamente no ganho de corrente (β) do transistor e na corrente de base. Estas diferenças são naturais, refletindo as simplificações assumidas nos cálculos teóricos e as características mais realistas dos modelos utilizados na simulação computacional.

A realização deste trabalho permitiu reforçar a importância da interligação entre teoria e prática, bem como a utilidade das ferramentas de simulação no estudo e otimização de circuitos eletrónicos, sem riscos para os componentes físicos. Foram ainda identificadas possíveis melhorias para aumentar a robustez e eficiência do circuito, demonstrando a importância da análise crítica em projetos de engenharia.

Em suma, o projeto atingiu os objetivos propostos, permitindo consolidar conhecimentos fundamentais de eletrónica analógica e desenvolver competências no uso de ferramentas de simulação.

7 Bibliografia

References

- [1] ON Semiconductor. *P2N2222A - Amplifier Transistors NPN Silicon*. Datasheet, CASE 29-11 ISSUE AM, 2020. Disponível em: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/p2n2222a-d.pdf>
- [2] A. F. de Carvalho. *Eletrónica: Circuitos, Sistemas e Instrumentação*. Universidade de Aveiro, Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática (DETI), 2012.