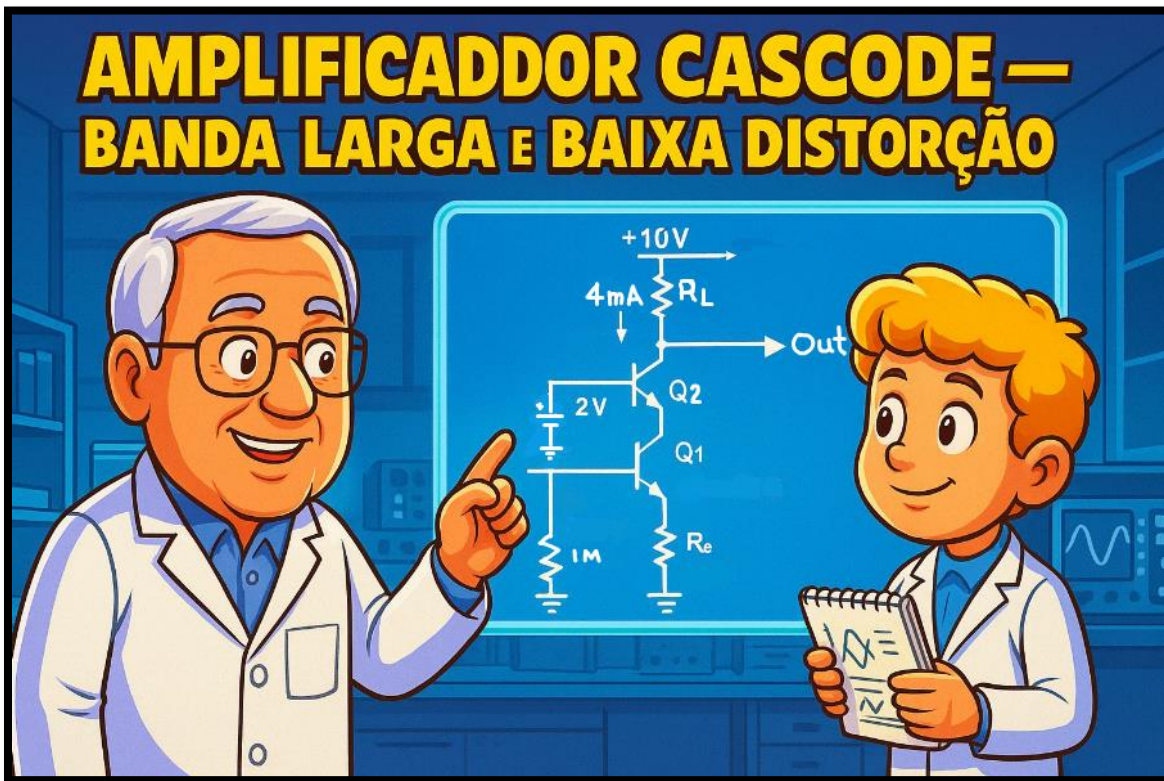


1. Amplificador Cascode — Banda larga e Baixa Distorção Título



Descrição

O Professor Bairros e o Arthurzinho exploram o amplificador cascode — uma das topologias mais elegantes da eletrônica analógica.

A partir das ideias de Bob Cordell, eles explicam o conceito, analisam os efeitos Miller e Early, introduzem a figura de mérito (FOM) e mostram o funcionamento real com JFETs. Um episódio completo, com teoria, prática e cálculo, direto do Laboratório do Professor Bairros.

Amplificador com JFET: <https://youtu.be/tsDWr5JdB1o>

www.bairrospd.com

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIRROS LÁ EM O PDF E
MUITO MAIS.
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE.

www.bairrospd.com

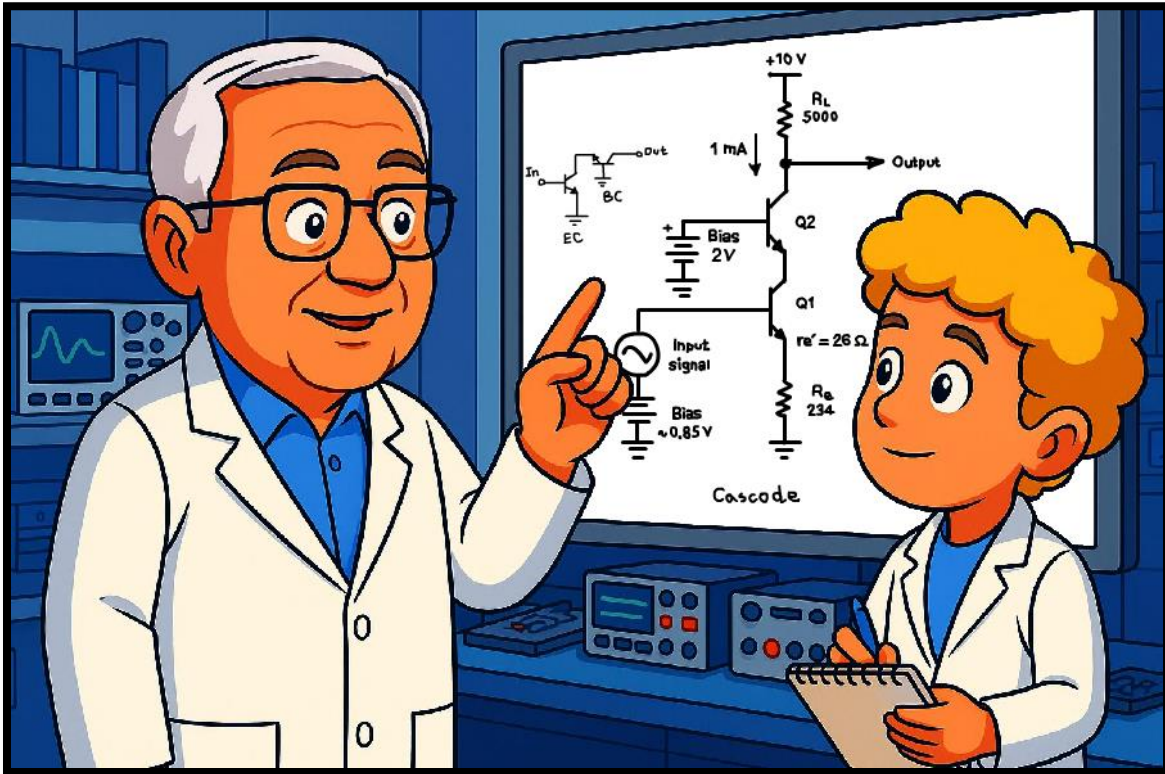
<https://www.youtube.com/@professorbairros>



Sumário

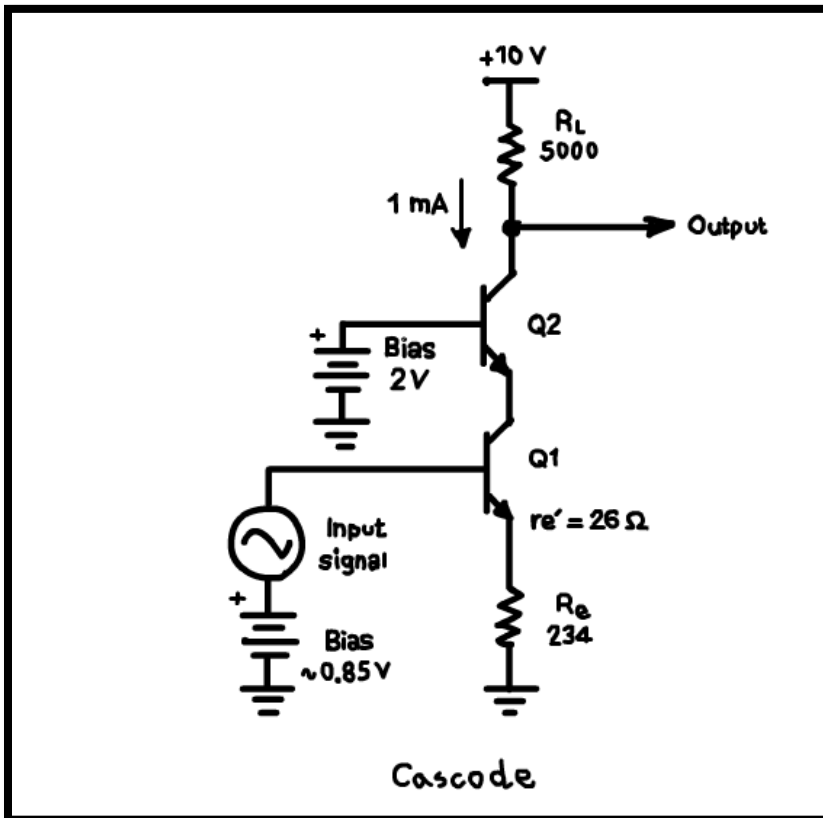
1.	Amplificador Cascode — Banda larga e Baixa Distorção Título	1
1.1.	Introdução.....	3
1.2.	Estrutura e isolamento.....	4
1.3.	O efeito Miller	5
1.4.	O efeito Early	6
1.5.	A figura de mérito do cascode (FOM)	7
1.6.	O papel do VGS	8
1.7.	O circuito prático com JFET	9
1.8.	Cálculo do ganho.....	11
1.9.	Conclusão.....	12
1.1.	Referências	13

1.1. Introdução



O estágio *cascode* combina dois transistores — um em emissor comum e outro em base comum — para obter **isolamento, alta largura de banda e baixa distorção**. Como explica Bob Cordell, ele atua como o “dual” do seguidor de emissor: fornece **ganho de tensão elevado** e **isola** a entrada das variações da saída, reduzindo o efeito Miller e o efeito Early. É uma das topologias mais usadas em amplificadores de precisão e circuitos de RF.

1.2. Estrutura e isolamento



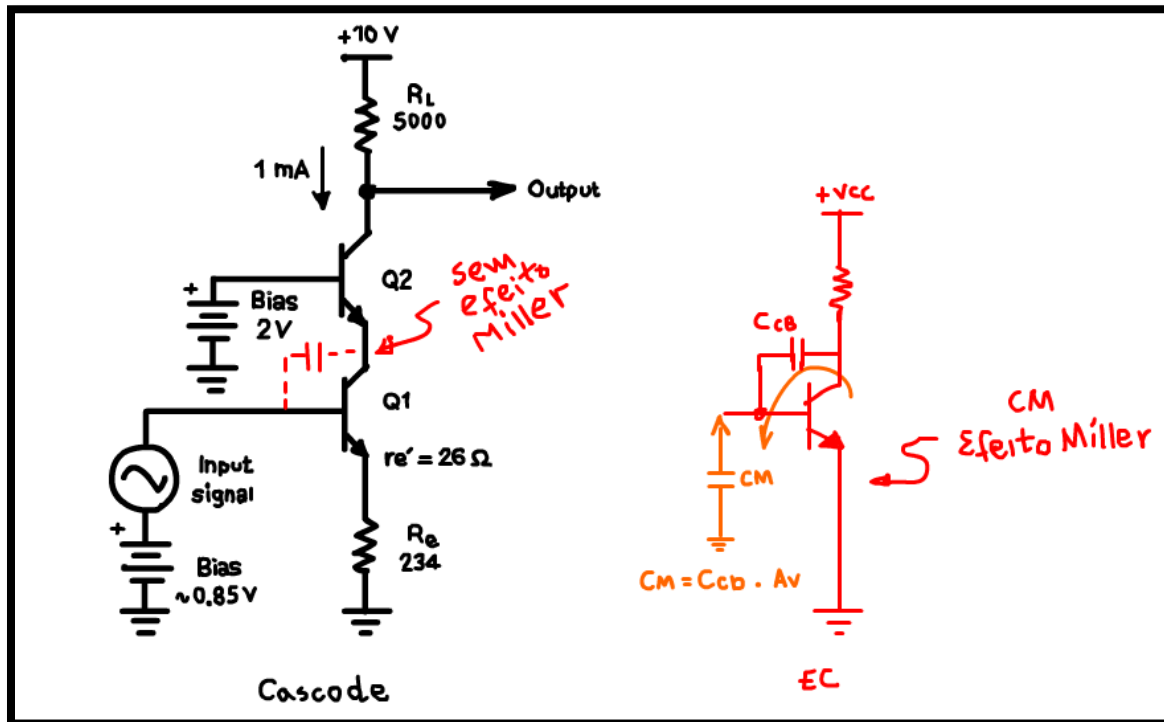
O *cascode* é literalmente a soma de dois estágios empilhados: o transistor de baixo, Q1, **amplifica o sinal**, e o de cima, Q2, **isola a saída**.

👉 O nome vem de “*cascade + cathode*”, herança dos tempos das válvulas.

A função principal é **isolar o coletor do transistor de entrada** das variações de tensão da saída.

Assim, o coletor de Q1 fica quase fixo — e isso muda completamente o comportamento do circuito, reduzindo distorção e ampliando a resposta em frequência.

1.3. O efeito Miller



Em um amplificador comum, a capacitância entre coletor e base, (C_{cb}), se multiplica pelo ganho de tensão — é o famoso **efeito Miller**.

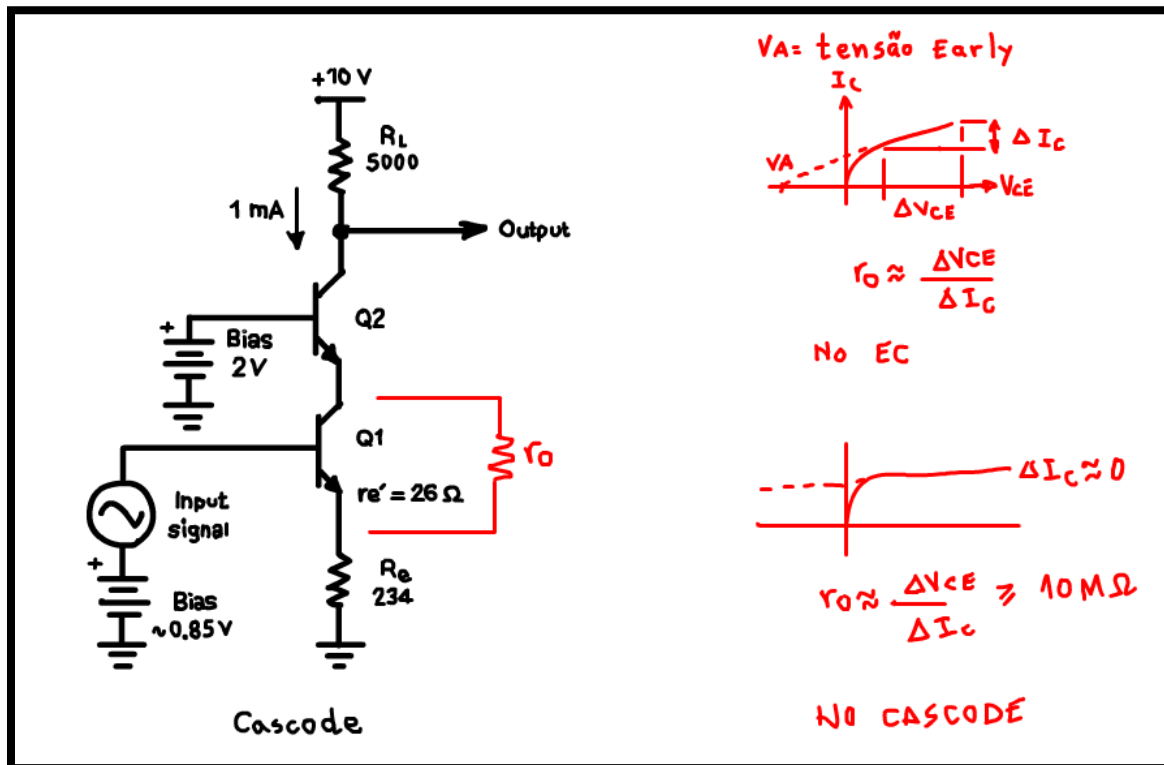
Essa capacitância multiplicada limita as altas frequências e torna o circuito lento.

Mas no cascode, o coletor de Q1 permanece quase em tensão constante.

Sem variação de tensão, **não há realimentação capacitiva**, e o efeito Miller desaparece.

O resultado é uma **largura de banda muito maior** e um estágio de entrada praticamente imune à carga capacitiva da saída.

1.4. O efeito Early



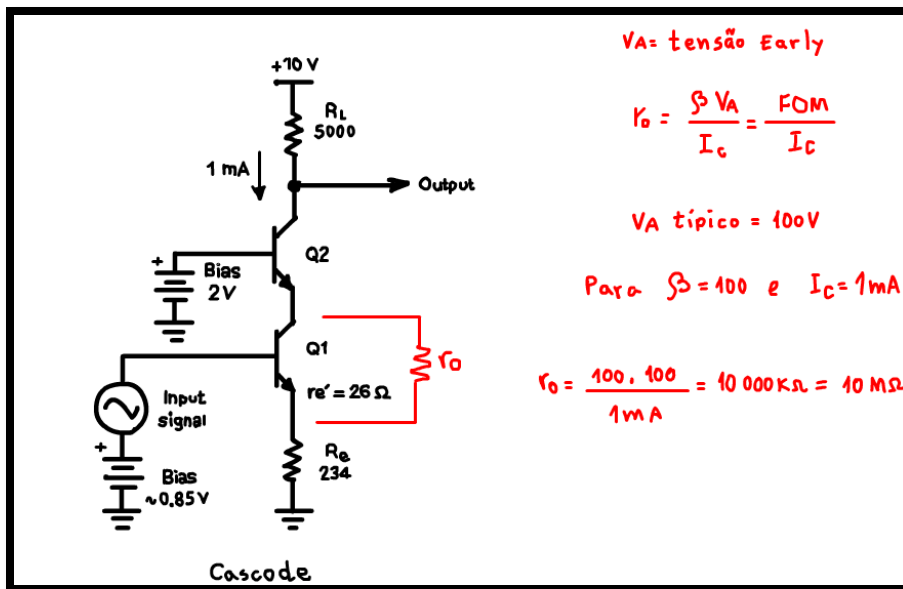
Outro vilão dos amplificadores é o **efeito Early** — aquela variação de ganho com a tensão coletor-emissor.

Nos amplificadores simples, quanto mais o coletor oscila, mais o ganho muda, isso pode ser modelado acrescentando a resistência intrínseca interna r_o , entre o coletor e o emissor.

No cascode, o coletor de Q1 praticamente não se move, com isso, o efeito Early é **drasticamente reduzido**, as curvas ficam quase horizontais e o ganho se torna **muito mais estável e previsível**.

Essa é uma das razões pelas quais o cascode aparece em circuitos de áudio e RF de alta linearidade.

1.5. A figura de mérito do cascode (FOM)



No livro de Bob Cordell, o produto de β pelo V_A é chamado de **figura de mérito** do efeito Early — o famoso **FOM** (*Figure of Merit*).

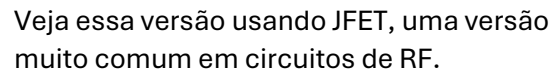
Essa grandeza mede a **qualidade do transistor** quanto à estabilidade de ganho: quanto maior o produto $\beta \times V_A$, **menor a influência do efeito Early e mais linear é o transistor**.

A resistência de saída de um cascode pode ser aproximada por beta vezes a tensão Early dividido pela corrente de coletor I_C :

Para ter uma ideia prática, um transistor amplificador comum como o **BC548** tem uma tensão Early (V_A) típica de cerca de **100 V**, e um β mínimo em torno de 100 — o que dá um **FOM $\approx 10\,000\,V$** .

Assim, mesmo com uma corrente de coletor de apenas 1 mA, o cascode pode atingir uma resistência interna de coletor emissor na ordem de **10 M Ω** !

É por isso que o cascode apresenta **isolamento extremo e distorção mínima**, mesmo usando transistores comuns.



O que define a corrente em um JFET é apenas a **diferença de potencial entre gate e SOURCE** o famoso **VGS**.

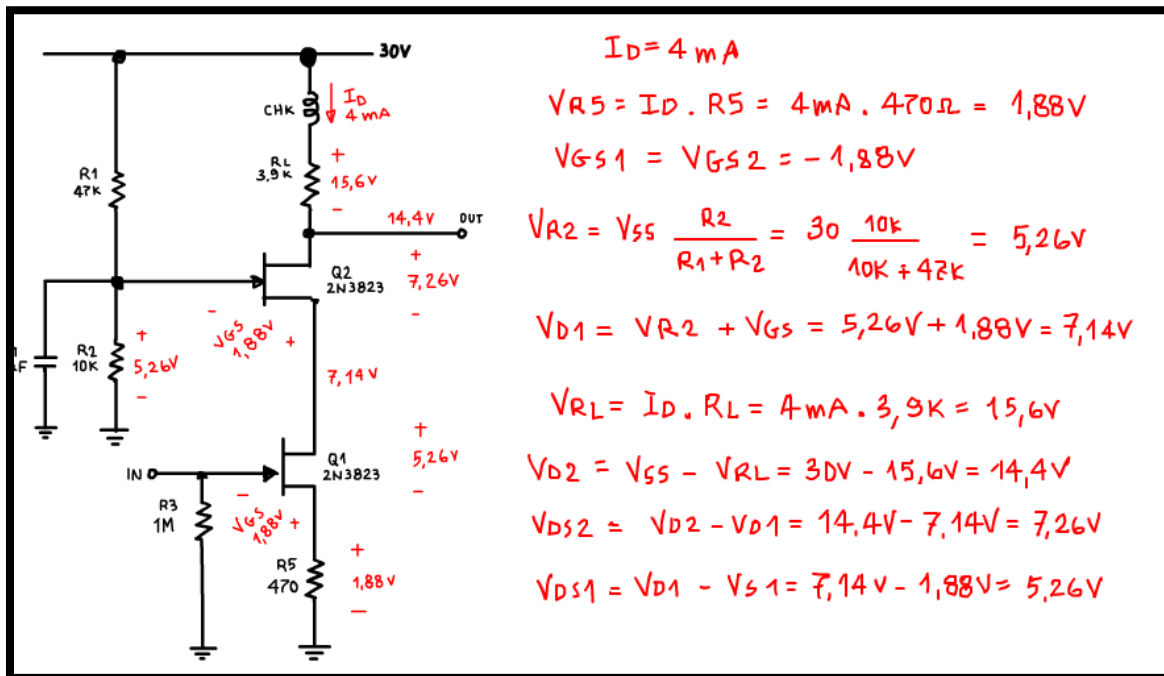
Por isso, mesmo que os transistores Q1 e Q2 estejam em “andares diferentes” de tensão DC, se são idênticos e conduzem a mesma corrente, as suas tensões VGS serão iguais.

Nesse circuito a corrente de DRENO foi fixada em 4 mA e esse é truque que permite entender todo o circuito, se a

corrente é a mesma nos dois JFETs, então as tensões GATE SOURCE são as mesmas e baseado nisso é possível saber tudo sobre o circuito, veja como é fácil analisar esse tipo de circuito.

Esse equilíbrio é o coração do cascode — ele garante corrente constante e ganho estável.

1.7. O circuito prático com JFET



Então vamos aplicar o conceito de que mesma corrente em JFETs idênticos implica mesmas tensão GATE SOURCE e analisar esse circuito!

Nesse circuito, o transistor Q1 está ligado na configuração SOURCE comum e o transistor Q2 em GATE comum, ambos conduzindo **4 mA**.

Então a queda de tensão da resistência de SOURCE R5 é igual a corrente de 4 mA multiplicada por 470 OHM, isso dá 1,88V e aqui está a mágica, essa vai ser a tensão GATE/SOURCE dos transistores, o truque é que a resistência R3 de 1 MOHM não afeta nem desata nesse circuito, a corrente é zero nessa resistência, característica do JFET, isso garante altíssima impedância de entrada e que a tensão sobre a resistência de SOURCE aparece na tensão GATE SOURCE, com o negativo no GATE, claro o JFET canal N tem que ser polarizado inversamente.

A tensão GATE source do transistor Q1 é igual a -1,88V, então a tensão GATE source do transistor Q2 também vai ser -1,88V, como no GATE do transistor Q2 temos um divisor de

tensão, a tensão entre o GATE e o terra é de 5,26V e vocês devem estar pensando, mas não tinha que ser negativa.

Não, o que tem que ser negativa é a tensão GATE SOURCE, para que isso aconteça a tensão entre o DRENO e o terra do transistor Q1 deve ser $5,26V + 1,88V$ da tensão GATE SOURCE, isso dá 7,14V.

Note que a queda de tensão na resistência RL é 4mA multiplicado por 3,9K isso dá 15,6V, então sobra para a tensão de DRENO do transistor Q2 14,4V, então a tensão DRENO SOURCE do transistor Q2 vai ser 7,26V e para a tensão DRENO SOURCE do transistor Q1 sobram 5,26V, a tensão de DRENO do transistor Q1 de 7,14V menos a tensão de SOURCE 1,88V.

Viu como foi fácil analisar todo o circuito.

Os dois transistores trabalham na região linear e o circuito se mantém perfeitamente equilibrado, com **baixa distorção** e **alta estabilidade**, mas note que as tensões DRENO SOURCE não são as mesmas para os dois transistores.

1.8. Cálculo do ganho

Ganho de tensão A_v

$$A_v = \frac{R_L}{\frac{1}{g_m} + R_S} \quad (1) \quad R_S = R_5$$
$$g_m = \frac{2}{|V_P|} \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D} \quad (2)$$

Para $I_{DSS} = 10\text{mA}$ $V_P = -8\text{V}$ $I_D = 4\text{mA}$

$$g_m = 1,6\text{mS} = 0,0016\text{S}$$
$$A_v = -\frac{3900}{630 + 470} = -3,5$$

Para não deixar por menos vou relembrar como calcular o ganho de tensão desse circuito.

O ganho pequeno-sinal é dado aproximadamente pela equação 1 da figura, e esse g_m é a transcondutância que pode ser avaliada pela equação 2, onde esse I_{DSS} e a tensão pinchoff V_P são tirados do datasheet do transistor e a corrente I_D é o nosso 4mA.

O sinal negativo indica inversão da fase.

Eu já analisei esse tipo de circuito antes, está na descrição desse vídeo.

1.9. Conclusão.



Professor Bairros:

Exatamente, Arthurzinho!

O cascode combina **ganho, velocidade e linearidade**, eliminando os efeitos Miller e Early.

Por isso aparece em **amplificadores diferenciais, VAS e circuitos RF** — sempre com o mesmo objetivo: manter o transistor de entrada estável e o sinal limpo.

Uma ideia simples, mas **genial**, que continua atual desde os tempos das válvulas.

1.1. Referências

YOUTUBE: <https://youtu.be/gYG0ib4tsDk>

Publicação: