4 Makro-Modell des OPs (Σ=22P)

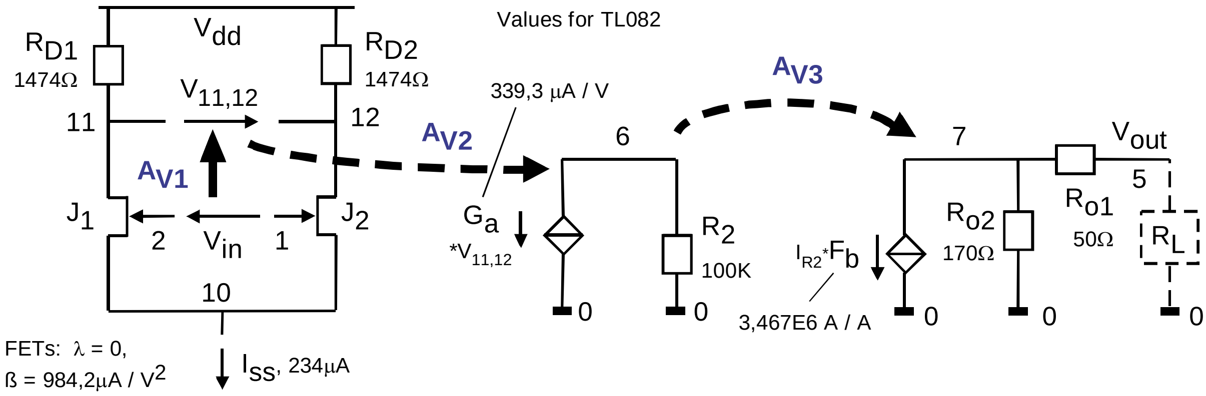

Bild 4: Übliches Makro-Modell für OP mit JFET-Eingang. Eine Zahl x bezeichnet einen Knoten x, V_x die Spannung auf dem Knoten x gegen Masse (=Knoten 0) und $V_{x,y}=V_x-V_y$.

Die gesamte DC-Verstärkung des OPs betrage $A_{V0} = A_{V1}\ A_{V2}\ A_{V3}$ mit $A_{V1}=V_{11,12}/V_{in}$, $A_{V2}=V_6/V_{11,12}$ und $A_{V3}=V_7/V_6$. Zeichnen Sie die Verstärkungen A_{V1}, A_{V2}, A_{V3} an die zugehörigen, dick dargestellten Pfeile in Bild 4. **(3P)**

Berechnung von A_{V1}: Es gilt das Grundgesetz der Verstärkung: $A_{V1}=G_{m1}\cdot Z_{11,12}$, wobei $Z_{11,12}$ die Impedanz zwischen Knoten 11 und 12 ist und $G_{m1}V_{in}$ der darauf gespeiste Strom.

Berechnen Sie die Impedanz $Z_{11,12}$ in Bild 4 als Formel und Wert. (λ=0 für beide FETs.) **(2P)**
Alle beteiligten Impedanzen sind zu erwähnen, auch wenn sie aus der Rechnung herausfallen.

$$Z_{11,12} = (R_{D1}+R_{D2})\ ||\ (r_{DS1}+r_{DS2}) = (R_{D1}+R_{D2})\ ||\ \infty = (R_{D1}+R_{D2})$$

$$= 1474\ \Omega + 1474\ \Omega = 2948\ \Omega$$

Geben Sie G_{m1} als Funktion von ß und I_{SS} an (Formel und Wert). Es gelte für beide FETs $g_m=2\sqrt{\beta I_{Da}}$, wobei I_{Da} der Drainstrom von J_1 und J_2 im Arbeitspunkt ist und ß=984,2µA/V². **(2P)**

$$G_m = \tfrac{1}{2}\ g_m = \tfrac{1}{2}\ 2\sqrt{\beta I_{Da}} = \sqrt{\beta I_{Da}}\ \infty = \sqrt{\beta I_{SS}/2}\ \text{ mit } I_{Da}=I_{SS}/2$$

$$= \sqrt{984{,}2\frac{\mu A}{V^2}234\mu A\frac{1}{2}} = 339{,}3\ \mu A/V$$

Berechnen Sie nun den Wert A_{V1} als f(ß, I_{SS}, R_{D1}, R_{D2}) und als Wert. **(2P)**

$$A_{V1} = G_m\ Z_{11,12} = \sqrt{\beta I_{SS}/2}\ (R_{D1}+R_{D2})$$

$$= 339{,}3\ (\mu A/V) \cdot 2948\ \Omega = 1$$

Berechnung von A_{V2}: Es gilt das Grundgesetz der Verstärkung: $|A_{V2}|=G_{m2}\cdot Z_6$, wobei Z_6 die Impedanz zwischen Knoten 6 und Masse ist und $G_{m2}V_{11,12}$ der darauf eingespeiste Strom.

Geben Sie für Bild 4 die Impedanz Z_6 als $f(R_x)$ an. Rx sind Widerstände im Bild 4. (Gefragt sind Formel und Wert). **(1P)**

$Z_6 = R_2 = 100\ K\Omega$

Geben Sie für Bild 4 den Übertragungsleitwert G_{m2} an, über den die Spannung $V_{11,12}$ Strom auf den Knoten 6 speist. Gefragt sind Formel und Wert. **(1P)**

$G_{m2} = G_a = 339{,}3(\mu A/V)$

Berechnen Sie für Bild 4 die Verstärkung A_{V2} (Formel und Wert). **(2P)**

$-A_{V2} = G_a\ Z_6 = G_a\ R_2 = 339{,}3(\mu A/V)\ 100\ 000K\Omega = 33{,}93$

Berechnung von A_{V3}: Es gilt das Grundgesetz der Verstärkung mit $|A_{V3}|=G_{m3}\cdot Z_7$, wobei Z_7 die Impedanz zwischen Knoten 7 und Masse ist und $G_{m3}V_6$ der darauf eingespeiste Strom.

Geben Sie für Bild 4 die Impedanz Z_7 zwischen den Knoten 7 und 0 an (Formel und Wert).

$R_L\to\infty$: $Z_7 = R_{o2} = 170\Omega$ **(1P)**

$R_L=120\Omega$: $Z_7 = R_{o2}\ ||\ (R_{o1}+R_L) = 170\Omega\ ||\ (50+120)\Omega = 85\Omega$ **(2P)**

Geben Sie G_{m3} als Funktion von R_2 und F_b an, wobei auf den Knoten 7 der Strom $I(F_b)=F_b\cdot I_{R2}$ gespeist wird. Gefragt sind Formel und Wert (für $F_b=3{,}467\cdot 10^6$). **(2P)**

$G_{m3} = I(F_b)/V_6 = F_b\cdot I_{R2}/V_6 = F_b\cdot(V_6/R_2)/V_6 = F_b/R_2$

$= 3{,}467\cdot 10^6\ /\ 10^5\Omega = 34{,}67\ A/V$

Berechnen Sie Formel und Wert der Verstärkung A_{V3} als Funktion von R_2, $Z_7(R_L\to\infty)$, F_b: **(2P)**

$Z_7(R_L\to\infty)=170\Omega$: $-A_{V3} = G_{m3}\ Z_7 = F_b\ Z_7\ /\ R_2 = 34{,}67(A/V)\ 170\Omega = 5894$

Berechnung von A_{V0}: geben Sie die Gesamtverstärkung $A_{V0}=A_{V1}A_{V2}A_{V3}$ des OPs an als Funktion von ß, I_{SS}, R_{D1}, R_{D2}, G_a, F_b, Z_7 und den Wert von A_{V0} für $R_L\to\infty$. **(2P)**

Formel: $A_{V0} = A_{V1}\ A_{V2}\ A_{V3} = G_{m3}\ Z_7 = \sqrt{\beta I_{SS}/2}\ (R_{D1}+R_{D2})\ G_a\ F_b\ Z_7$

$A_{V0}(R_L\to\infty) = 1\cdot(-33{,}93)\cdot(-5894) = 200000$

5 Berechnung von Polen mit Miller-Effekt (Σ=10P)

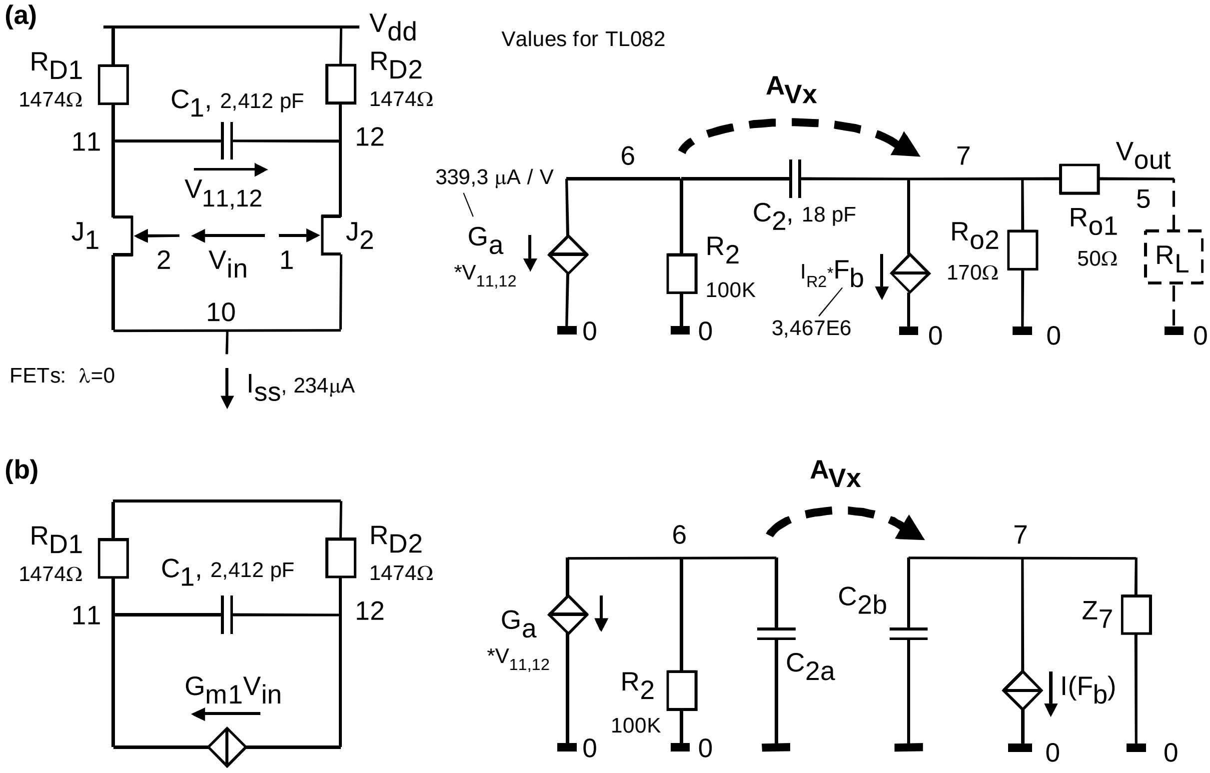

Bild 5: **(a)** Makro-Modell des OPs mit eingetragenen Kapazitäten C_1 und C_2.
(b) Vereinfachte Darstellung von Bildteil (a) zur Berechnung der Pole.

Berechnung von f_{p2}: Zu berechnen ist der Pol f_{p2} (als Formel und Wert), welcher im Bild oben durch Einfügen der Kapazität C_1 verursacht wird. **(2P)**

$f_{p2} = 1/(2\pi(R_{D1}+R_{D2})C_1)$

$= 1/(2\pi(1474\Omega+1474\Omega)2412fF) = 22{,}4\ MHz$

Berechnung von f_{p1}: Berechnen Sie den Pol f_{p1}, welcher im Bild oben durch Einfügen der Kapazität C_2 verursacht wird und in Bildteil (b) als wirksame Miller-Kapazität C_{2a} an Knoten 6 dargestellt ist. Gefragt sind Formel und Wert für $\mathbf{A_{Vx}=-5893}$. **(4P)**

$f_{p1} = 1/(2\pi R_2 C_{2a}) = 1/(2\pi R_2 C_2(1-A_{Vx}))$

$= 1/(2\pi\cdot 100K\Omega\cdot 18pF\cdot(1+5893)) = 15\ Hz$

Berechnung von f_{p3}: Berechnen Sie den Pol f_{p3}, welcher in Bildteil (b) als wirksame Miller-Kapazität C_{2b} an Knoten 7 dargestellt ist. Gefragt sind Formel und Wert für $\mathbf{Z_7=170\Omega}$. **(4P)**

$f_{p3} = 1/(2\pi Z_7 C_2(1-1/A_{Vx})) = 1/(2\pi\cdot 170\Omega\cdot 18pF(1+1/5893)) = 52\ MHz$