JFET

Resumo das Equações para Amplificadores Diferenciais

a.) Diferencial com fonte de corrente de lastro ideal ($r_{of} \rightarrow \infty$):

$$-I_{SS} + IFTE(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, 2I_{Dp}, 2I_{Dt}) = 0$$

Na equação acima, o *solve equation* deve ser executado para a variável V_S, sendo I_{SS} a corrente da fonte ideal de lastro, considerada conhecida. As outras grandezas valem:

$$I_{Dp} = \beta_1(V_{GS1} - V_{To1})^2(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$I_{Dt} = \beta_1[2(V_{GS1} - V_{To1}) - V_{DS1}]V_{DS1}(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$V_{GS1} = -V_S \quad ; \quad V_{DS1} = V_{DD} - V_S - 0{,}5R_D I_{SS} \quad ; \quad V_{DSat1} = V_{GS1} - V_{To1}$$

$$g_{m1} = IFTE(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, g_{mp}, g_{mt})$$

$$r_{ds1} = IFTE(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, r_{dsp}, r_{dst})$$

$$r_{dst} = \frac{1}{2\beta_1(1 + \lambda_1 V_{DS1})(V_{GS1} - V_{To1} - V_{DS1}) + \lambda_1\beta_1 V_{DS1}(2(V_{GS1} - V_{To1}) - V_{DS1})}$$

$$r_{dsp} = IFTE\left(\lambda_1 \neq 0, \frac{2(1 + \lambda_1 V_{DS1})}{\lambda_1 I_{SS}}. \infty\right)$$

$$g_{mt} = 2\beta_1 V_{DS1}(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$g_{mp} = \frac{I_{SS}}{V_{DSat1}}$$

$$CMRR = 20log\left(\frac{A_{vd}}{A_{vc}}\right) \rightarrow \infty$$

$$A_{vd} = | A_{v1} | + A_{v2}$$

$$A_{v1} = \frac{v_{o1}}{v_{i1}} = -\frac{g_{m1}r_{ds1}R_D}{r_{ds1} + R_D + R_{i(CG)}(1 + g_{m1}r_{ds1})}$$

$$A_{v2} = \frac{v_{o2}}{v_{i1}} = \frac{g_{m1}r_{ds1}R_D R_{i(CG)}(1 + g_{m1}r_{ds1})}{\left(r_{ds1} + R_D + (1 + g_{m1}r_{ds1})R_{i(CG)}\right)(r_{ds1} + R_D)}$$

$$R_{i(CG)} = \frac{r_{ds1} + R_D}{1 + g_{m1}r_{ds1}}$$

O circuito analisado é o da Figura *1*.

b.) Diferencial com fonte de corrente de lastro passiva ($r_{of} = R_{SS}$):

$$-I_{SS} + +IFTE(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, 2I_{Dp}, 2I_{Dt}) = 0$$

Na equação acima, o *solve equation* deve ser executado para a variável I_{SS}, sendo R_{SS} a resistência de lastro, considerada conhecida. As outras grandezas valem:

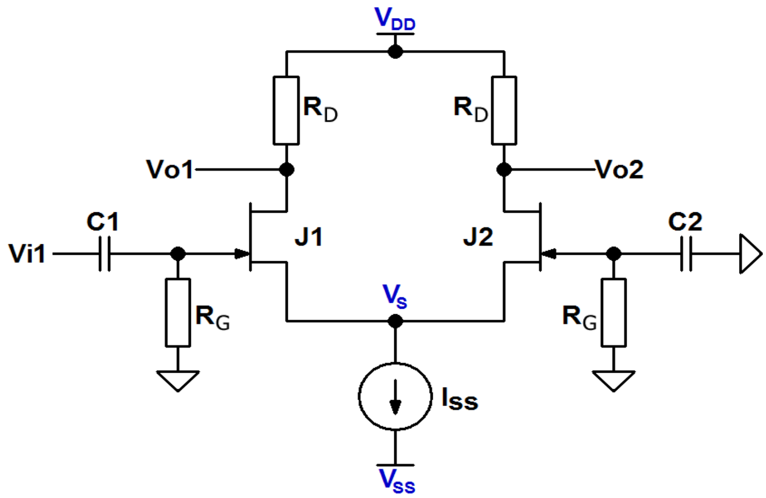

Figura 1 – Amplificador Diferencial com Fonte de Corrente de Lastro Ideal.

$$I_{Dp} = \beta_1(V_{GS1} - V_{To1})^2(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$I_{Dt} = \beta_1[2(V_{GS1} - V_{To1}) - V_{DS1}]V_{DS1}(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$V_{GS1} = -V_S \quad ; \quad V_{DS1} = V_{DD} - V_S - 0{,}5R_D I_{SS} \quad ; \quad V_{DSat1} = V_{GS1} - V_{To1}$$

$$g_{m1} = IFTE\left(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, g_{mp}, g_{mt}\right)$$

$$r_{ds1} = IFTE\left(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, r_{dsp}, r_{dst}\right)$$

$$r_{dst} = \frac{1}{2\beta_1(1 + \lambda_1 V_{DS1})(V_{GS1} - V_{To1} - V_{DS1}) + \lambda_1\beta_1 V_{DS1}(2(V_{GS1} - V_{To1}) - V_{DS1})}$$

$$r_{dsp} = IFTE\left(\lambda_1 \neq 0, \frac{2(1 + \lambda_1 V_{DS1})}{\lambda_1 I_{SS}}. \infty\right)$$

$$g_{mt} = 2\beta_1 V_{DS1}(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$g_{mp} = \frac{I_{SS}}{V_{DSat1}}$$

$$CMRR = 20log\left(\frac{A_{vd}}{A_{vc}}\right)$$

$$A_{vd} =\mid A_{v1} \mid + A_{v2}$$

$$A_{vc} = \frac{g_{m1}r_{ds1}R_D}{r_{ds1} + R_D + 2R_{SS}(1 + g_{m1}r_{ds1})}$$

$$A_{v1} = \frac{v_{o1}}{v_{i1}} = -\frac{g_{m1}r_{ds1}R_D}{r_{ds1} + R_D + R_{i(CG)}(1 + g_{m1}r_{ds1})}$$

$$A_{v2} = \frac{v_{o2}}{v_{i1}} = \frac{g_{m1}r_{ds1}R_D R_{i(CG)}(1 + g_{m1}r_{ds1})}{\left(r_{ds1} + R_D + (1 + g_{m1}r_{ds1})R_{i(CG)}\right)(r_{ds1} + R_D)}$$

$$R_{i(CG)} = \frac{(r_{ds1} + R_D)R_{SS}}{r_{ds1} + R_D + (1 + g_{m1}r_{ds1})R_{SS}}$$

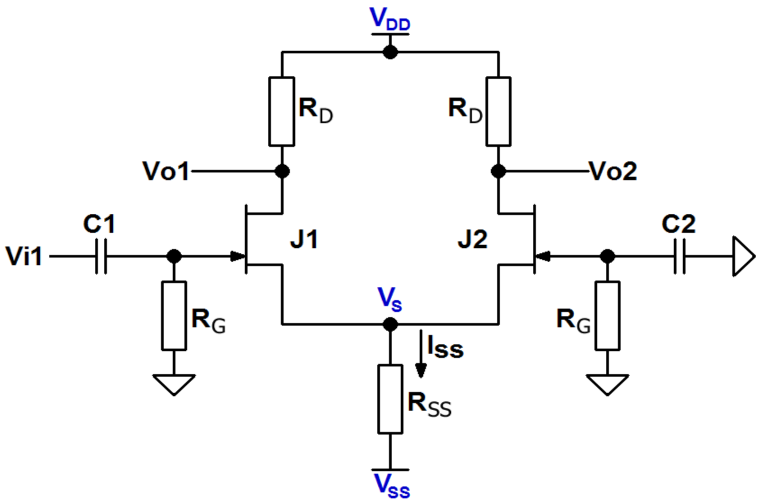

Figura 2 – Amplificador Diferencial com Fonte de Corrente de Lastro Passiva.

$$V_S = R_{SS}I_{SS} + V_{SS}$$

O circuito analisado é o da Figura *2*.

c.) Diferencial com fonte de corrente de lastro ativa:

$$-I_{SS} + +IFTE\left(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, 2I_{Dp}, 2I_{Dt}\right) = 0$$

Na equação acima, o *solve equation* deve ser executado para a variável I_{SS}. As outras grandezas valem:

$$teste = IFTE(V_{DS3} \leq V_{DSat3}, J_3 triodo, OK)$$

$$I_{Dp} = \beta_1(V_{GS1} - V_{To1})^2(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$I_{Dt} = \beta_1[2(V_{GS1} - V_{To1}) - V_{DS1}]V_{DS1}(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

$$V_{GS1} = -V_S \quad ; \quad V_{DS1} = V_{DD} - V_S - 0{,}5R_D I_{SS} \quad ; \quad V_{DSat1} = V_{GS1} - V_{To1}$$

$$g_{m1} = IFTE\left(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, g_{mp}, g_{mt}\right)$$

$$r_{ds1} = IFTE\left(V_{DS1} \geq V_{Dsat1}, r_{dsp}, r_{dst}\right)$$

$$V_{GS3} = -R_S I_{SS} \quad ; \quad V_{DS3} = V_S - V_{SS} - R_S I_{SS} \quad ; \quad V_{DSat3} = V_{GS3} - V_{To3}$$

$$g_{m3} = \frac{2I_{SS}}{V_{DSat3}}$$

$$r_{ds3} = \frac{1 + \lambda_3 V_{DS3}}{\lambda_3 I_{SS}}$$

$$r_{dst} = \frac{1}{2\beta_1(1 + \lambda_1 V_{DS1})(V_{GS1} - V_{To1} - V_{DS1}) + \lambda_1\beta_1 V_{DS1}(2(V_{GS1} - V_{To1}) - V_{DS1})}$$

$$r_{dsp} = IFTE\left(\lambda_1 \neq 0, \frac{2(1 + \lambda_1 V_{DS1})}{\lambda_1 I_{SS}}, \infty\right)$$

$$g_{mt} = 2\beta_1 V_{DS1}(1 + \lambda_1 V_{DS1})$$

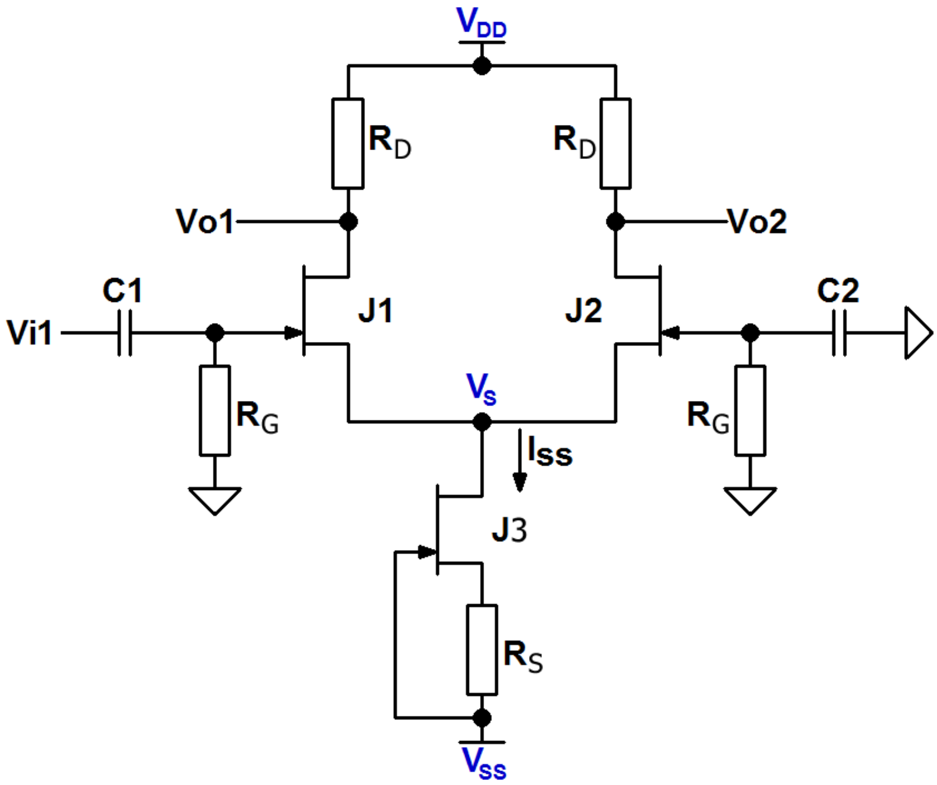

Figura 3 - Amplificador Diferencial com Fonte de Corrente de Lastro Ativa.

$$g_{mp} = \frac{I_{SS}}{V_{DSat1}}$$

$$CMRR = 20log\left(\frac{A_{vd}}{A_{vc}}\right)$$

$$A_{vd} = \mid A_{v1} \mid + A_{v2}$$

$$A_{vc} = \frac{g_{m1} r_{ds1} R_D}{r_{ds1} + R_D + 2r_{of}(1 + g_{m1} r_{ds1})}$$

$$A_{v1} = \frac{v_{01}}{v_{i1}} = -\frac{g_{m1} r_{ds1} R_D}{r_{ds1} + R_D + R_{i(CG)}(1 + g_{m1} r_{ds1})}$$

$$A_{v2} = \frac{v_{o2}}{v_{i1}} = \frac{g_{m1} r_{ds1} R_D R_{i(CG)}(1 + g_{m1} r_{ds1})}{\left(r_{ds1} + R_D + (1 + g_{m1} r_{ds1}) R_{i(CG)}\right)(r_{ds1} + R_D)}$$

$$R_{i(CG)} = \frac{(r_{ds1} + R_D) r_{of}}{r_{ds1} + R_D + (1 + g_{m1} r_{ds1}) r_{of}}$$

$$r_{of} = r_{ds3} + (1 + g_{m3} r_{ds3}) R_S$$

$$V_S = \frac{I_{SS}}{\lambda_3 \beta_3 (-R_S I_{SS} - V_{To3})^2} - \frac{1}{\lambda_3} + R_S I_{SS} + V_{SS}$$

O circuito analisado é o da Figura *3*. Fontes de corrente *cascode* com *JFET*'s também podem ser usadas para gerar I_{SS} e aumentar a rejeição a modo comum (*CMRR*), devido ao aumento do r_{of}.

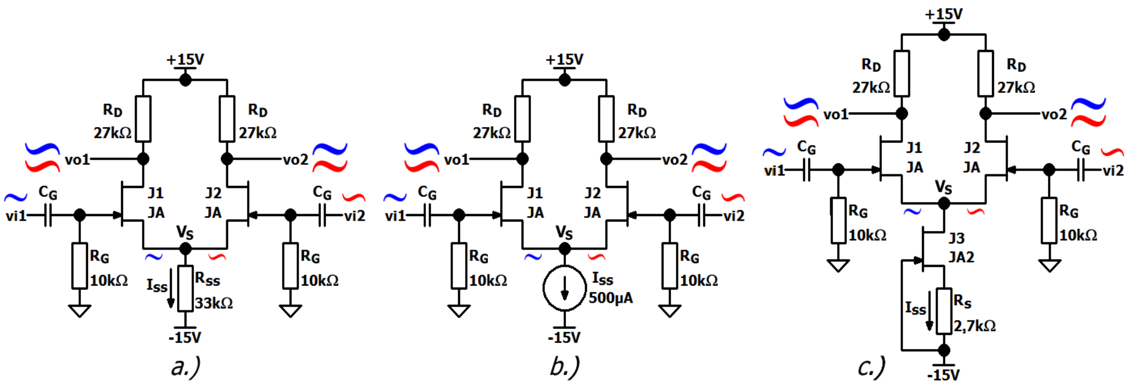

Figura 4 – Amplificadores Diferenciais Simétricos. *a.)* Com Fonte de Corrente de Lastro Passiva. *b.)* Com Fonte de Corrente de Lastro Ideal. *c.)* Com Fonte de Corrente de Lastro Ativa.

d.) Exercício de fixação:

Analisando os circuitos da Figura *4*, calcular:

d1.) O ponto quiescente dos três (I_{SS}; I_D; V_S ;V_{GS}; V_{DS}; V_{DSat}; g_m; r_{ds}; *teste*).

d2.) As grandezas *AC* dos três ($A_{\upsilon 1}$; $A_{\upsilon 2}$; $A_{\upsilon d}$; $A_{\upsilon c}$; *CMRR*; r_{of} ; $R_{i(CG)}$; R_i).

Dados @ *27°C*: $JA \equiv \beta = 5{,}6066382597\ mA/V^2$; $V_{To} = -1{,}7\ V$; $\lambda = 0{,}017\ V^{-1}$.
$JA2 \equiv \beta = 3{,}24570208188\ mA/V^2$; $V_{To} = -1{,}7\ V$; $\lambda = 0{,}017\ V^{-1}$.

O objetivo deste exercício é aferir a precisão das equações, tanto das fornecidas nesta apostila, como das armazenadas na calculadora.

- Respostas:

Ponto quiescente:

- Figura *4a*:

	I_{SS}	I_D	V_S	V_{GS}	V_{DS}	V_{Dsat}	g_m	r_{ds}
J_1 e J_2	*500μA*	*250μA*	*1,5V*	*-1,5V*	*6,75V*	*0,20V*	*2,5mA/V*	*262,3kΩ*

- Figura *4b*:

	I_{SS}	I_D	V_S	V_{GS}	V_{DS}	V_{Dsat}	g_m	r_{ds}
J_1 e J_2	*500μA*	*250μA*	*1,5V*	*-1,5V*	*6,75V*	*0,20V*	*2,5mA/V*	*262,3kΩ*

- Figura *4c*:

	I_{SS}	I_D	V_S	V_{GS}	V_{DS}	V_{Dsat}	g_m	r_{ds}	*teste*
J_1 e J_2	*500μA*	*250μA*	*1,5V*	*-1,5V*	*6,75V*	*0,20V*	*2,5mA/V*	*262,3kΩ*	-
J_3	*500μA*	*500μA*	*1,5V*	*-1,35V*	*15,15V*	*0,35V*	*2,857mA/V*	*148kΩ*	*OK*

Grandezas *AC*. Todos os ganhos estão dados em *V/V*:

	$\lvert A_{\upsilon 1}\rvert$	$A_{\upsilon 2}$	$A_{\upsilon d}$	$A_{\upsilon c}$	CMRR	r_{of}	$R_{i(CG)}$	R_i
4a	*30,803*	*30,3972*	*61,2002*	*0,4058*	*43,57dB*	*33kΩ*	*434,70Ω*	*10kΩ*
4b	*30,6001*	*30,6001*	*61,2002*	*0*	*∞*	*∞*	*440,503Ω*	*10kΩ*
4c	*30,6053*	*30,5949*	*61,2002*	*10,432m*	*75,368dB*	*1,292MΩ*	*440,40Ω*	*10kΩ*

- *JFET*'s duais para uso em amplificadores diferenciais: 2SK389 e 2SJ109.