Realimentação Negativa e Curto – Circuito Virtual

Introdução

Este modo de operação é muito importante em circuitos com amplificadores operacionais.

As aplicações dos amplificadores operacionais com realimentação negativa são inúmeras tais como amplificador não inversor, amplificador inversor, somador, subtrator, diferenciador, integrador, filtros ativos, geradores de sinais etc.

Este modo de operação é também conhecido como operação em malha fechada.

Desenvolvimento do ganho de tensão de um sistema genérico usando realimentação negativa

A figura 1 mostra um sistema submetido à realimentação negativa.

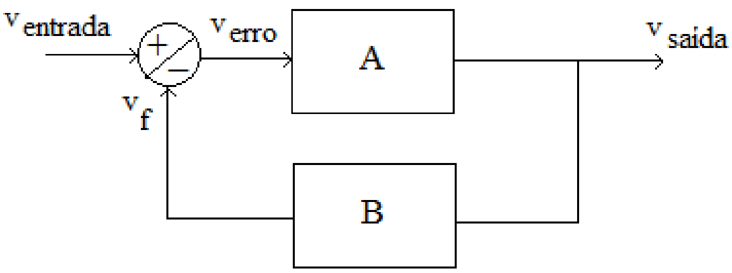

figura 1

Onde:

$v_{entrada}$: é o sinal de entrada
$v_{saída}$: é o sinal de saída
A: ganho de tensão de malha aberta (dado pelo fabricante do amplificador operacional)
B: fator de realimentação negativa
v_{erro}: sinal de erro da entrada
v_f: sinal de realimentação na entrada

Observando o sistema de blocos podemos constatar que:

$v_{erro} = v_{entrada} - v_f$
$v_{saída} = A\, v_{erro}$
$v_f = B\, v_{saída}$
$v_{saída} = A\, v_{erro} = A\, (v_{entrada} - v_f)$
$v_{saída} = A\, (v_{entrada} - B\, v_{saída})$
$v_{saída} = A\, v_{entrada} - AB\, v_{saída}$
$v_{saída} + AB\, v_{saída} = A\, v_{entrada}$
$v_{saída}\, (1 + AB) = A\, v_{entrada}$
$v_{saída} = (\, A / 1 + AB)\, v_{entrada}$
$v_{saída} / v_{entrada} = A / 1 + AB$

A razão entre a tensão de saída e a tensão de entrada é denominada ganho de tensão de malha fechada, simbolizada por A_{CL}.

O ganho de tensão de malha aberta A é muito elevado em qualquer amplificador operacional por isso AB >> 1. Com isso o ganho de tensão de malha fechada pode ser representado por:

$$A_{CL} \approx 1 / B$$

Conclusão

O ganho de tensão em malha fechada pode ser controlado através dos elementos que estiverem no bloco B (fator de realimentação negativo).

Conceito de Curto – Circuito Virtual e Terra Virtual

A figura 2 mostra um modelo bastante simples de um amplificador operacional. É a partir desse circuito que se pretende demonstrar o conceito de curto-circuito virtual e terra virtual.

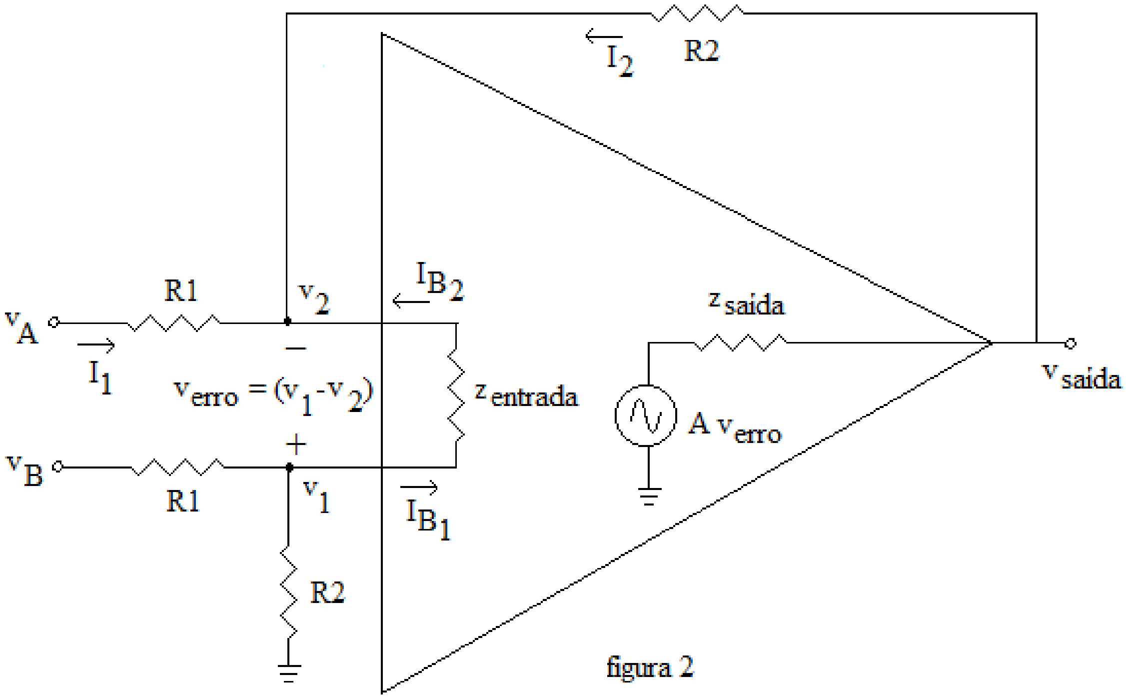

figura 2

Nota-se que a entrada do amplificador operacional apresenta uma impedância de entrada $z_{entrada}$ muito elevada que num circuito ideal pode ser considerada infinita. Ele é colocada entre os terminais inversor e não inversor do amplificador operacional. A impedância infinita de entrada impede que se tenha corrente penetrando nos terminais inversor e não inversor do amplificador operacional.

Logo: $I_{B1} \approx I_{B2} \approx 0$

As correntes I_{B1} e I_{B2} são chamadas correntes de polarização das entradas, pois elas estão relacionadas com os transistores presentes no circuito diferencial encontrados nas entradas do amplificador operacional.

Observando o circuito da figura 2, podemos escrever: $I_1 + I_2 + I_{B2} = 0$. Como $I_{B2} \approx 0$ então $I_1 + I_2 \approx 0$, ou seja, $I_1 \approx - I_2$.

$I_1 = (v_A - v_2) / R_1$ e $I_2 = [A(v_1 - v_2) - v_2] / (z_{saída} + R_2)$

$(v_A - v_2) / R_1 = - [A(v_1 - v_2) - v_2] / (z_{saída} + R_2)$

$(v_A - v_2) / R_1 = [- A(v_1 - v_2) + v_2] / (z_{saída} + R_2)$

$v_A (z_{saída} + R_2) - v_2 (z_{saída} + R_2) = - AR_1 (v_1 - v_2) + R_1v_2$

$v_A (z_{saída} + R_2) - v_2 (z_{saída} + R_2) = - AR_1v_1 + AR_1v_2 + R_1v_2$

$AR_1v_1 = AR_1v_2 + R_1v_2 + v_2 (z_{saída} + R_2) - v_A (z_{saída} + R_2)$

$AR_1v_1 = v_2 (AR_1 + R_1 + z_{saída} + R_2) - v_A (z_{saída} + R_2)$

$v_1 = [v_2\ (AR_1 + R_1 + z_{saída} + R_2) – v_A\ (z_{saída} + R_2)] / (AR_1)$

$\lim_{A \to \infty} v_1 = \lim_{A \to \infty} [v_2\ (AR_1 + R_1 + z_{saída} + R_2) – v_A\ (z_{saída} + R_2)] / (AR_1)$

$AR_1 >> (R_1 + R_2 + z_{saída})$

$\lim_{A \to \infty} v_1 = \lim_{A \to \infty} [v_2\ (AR_1] / (AR_1) – \lim_{A \to \infty} [v_A\ (z_{saída} + R_2)] / (AR_1)$

$\lim_{A \to \infty} [v_A\ (z_{saída} + R_2)] / (AR_1) \approx 0$ e $\lim_{A \to \infty} [v_2\ (AR_1] / (AR_1) \approx \lim_{A \to \infty} v_2$

$\lim_{A \to \infty} v_1 \approx \lim_{A \to \infty} v_2$

$v_1 \approx v_2$

Conclusão: Quando A tende para o infinito, podemos escrever $v_{erro} = v_1 – v_2 \approx 0$

Este resultado só foi possível graças à realimentação negativa aplicada no circuito, a qual tende a igualar os potenciais dos pontos v_1 e v_2 quando o ganho de malha aberta tende a infinito.

A equação $v_{erro} = v_1 – v_2 \approx 0$ nos diz que a diferença de potencial entre v_1 e v_2 é nula, independente dos valores de v_A e v_B. Devido a este fato, dizemos que entre os terminais não inversor e inversor de um amplificador operacional realimentado negativamente existe um “curto-circuito virtual”.

No caso particular do terminal não inversor estar no terra, o potencial do terminal inversor será nulo como consequência da equação $v_{erro} = v_1 – v_2 \approx 0$. A este fenômeno denominamos “terra virtual”, o qual é um caso particular do “curto-circuito virtual”.

O termo “virtual” pode parecer estranho, porém o mesmo diz respeito à algum evento que existe como propriedade intrínseca, porém sem efeito real. De fato, esta é a situação que se tem no momento, pois no curto-circuito real temos $V = 0$ e $I \neq 0$, mas no curto-circuito virtual temos $V = 0$ e $I = 0$.

As equações $I_{B1} \approx I_{B2} \approx 0$ e $v_{erro} = v_1 – v_2 \approx 0$ são fundamentais para a análise de circuitos com amplificadores operacionais realimentados negativamente.