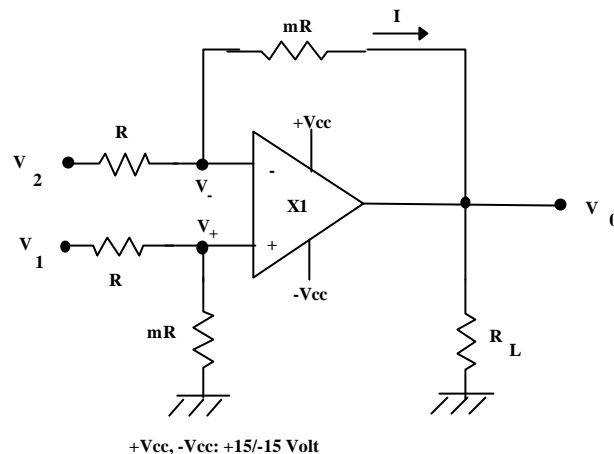


### **3 - Amplificadores de Instrumentação e de Isolamento**

- 3.1- Amplificador diferencial
- 3.2- Amplificador de instrumentação
- 3.3- Amplificador em ponte
- 3.4- Amplificador de isolamento

### 3.1 - Amplificador diferencial

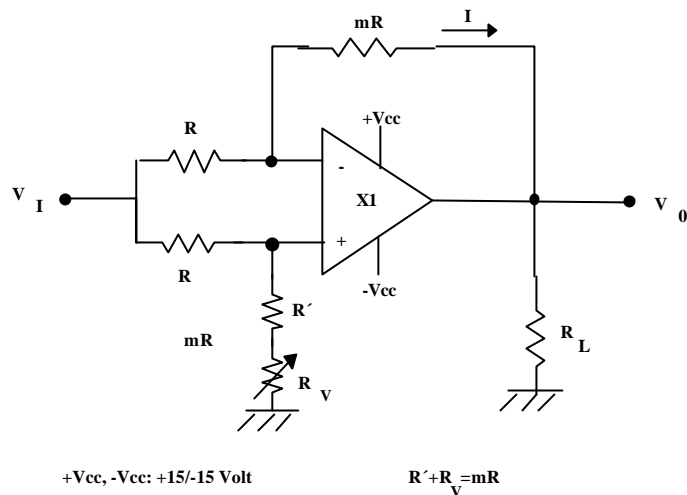
O amplificador diferencial pode amplificar uma pequena diferença de tensão entre sinais, aos quais está associada uma componente de modo comum de amplitude significativa. O esquema base consiste na montagem substractora a seguir representada:



$$\begin{aligned}
 V_+ &= \frac{mR}{mR + R} V_1 = \frac{m}{m+1} V_1 \\
 V_- &= V_+ \quad I = \frac{V_2 - V_+}{R} \\
 V_o &= -mRI + V_+ = -mR \frac{V_2 - V_+}{R} + V_+ = \\
 &= -mV_2 + (m+1)V_+ = -mV_2 + (m+1) \frac{m}{m+1} V_1 = \\
 &= m(V_1 - V_2)
 \end{aligned}$$

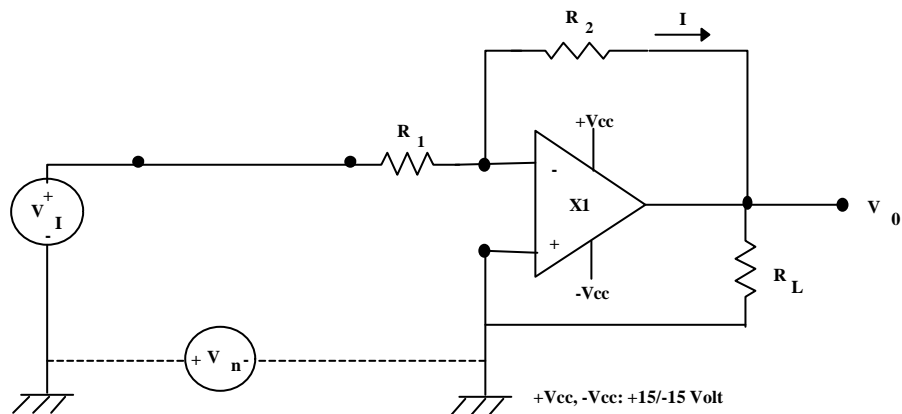
$m$  - ganho diferencial (depende apenas do valor relativo das resistências)

A utilização da montagem anterior requer com frequência uma calibração com vista a cancelar erros de “offset” e garantir a minimização do ganho de modo comum. Um possível procedimento de calibração consiste em aplicar na entrada do circuito, abaixo representado, uma tensão ( $V_1$ ) sinusoidal, com 10 Volt pico a pico e ajustar  $R_v$  até se obter uma tensão mínima (idealmente nula) na saída.



A grande vantagem na utilização desta montagem reside no facto de ela amplificar o sinal de entrada em modo diferencial, podendo rejeitar tensões de modo comum que podem ter amplitudes bastante superiores à componente diferencial que se pretende amplificar.

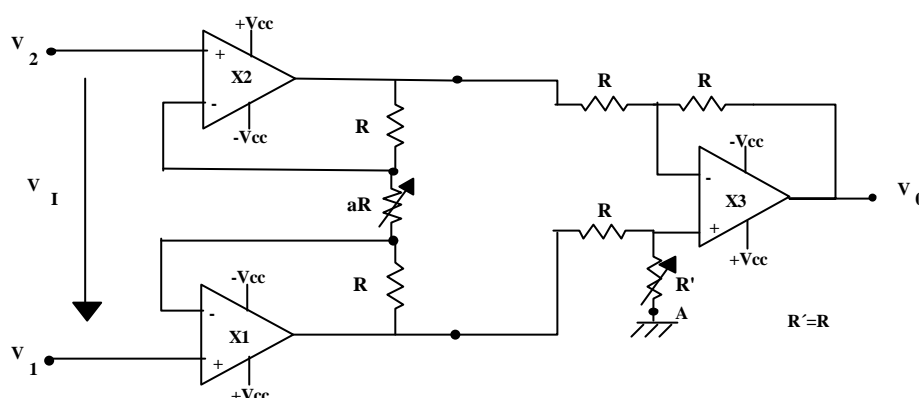
Sempre que se utiliza amplificadores com entrada simples a tensão de ruído, entre as massas do amplificador e da fonte de sinal encontram-se em série com a tensão que se pretende amplificar, sendo o ganho de amplificação igual para o sinal e para o ruído. A utilização duma montagem deste tipo implica que se tenha:  $|V_n| \ll |V_I|$ , o que nem sempre acontece em meios ruidosos sendo um exemplo típico o caso dos ambientes fabris.



No caso de se utilizar um amplificador diferencial a tensão de ruído ( $V_n$ ) é uma tensão de modo comum sendo o seu ganho de amplificação muito reduzido (teoricamente nulo e na prática proporcional ao CMRR do AMPOP utilizado).

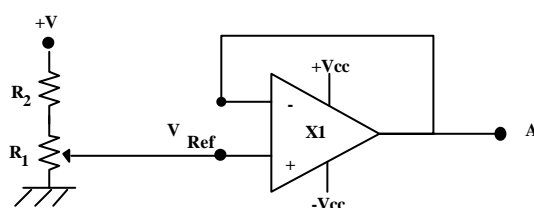
### 3.2 - Amplificador de instrumentação

O amplificador de instrumentação, abaixo representado, é constituído por 3 Ampops e 7 resistências. A resistência variável ( $R'$ ) permite anular erros de “offset”. O ganho da montagem é ajustado por alteração do valor de uma única resistência, geralmente seleccionada por ligadores (“straps”) exteriores ao circuito integrado monolítico que constitui o amplificador.



$$V_o = (V_1 - V_2) \left( 1 + \frac{2}{a} \right)$$

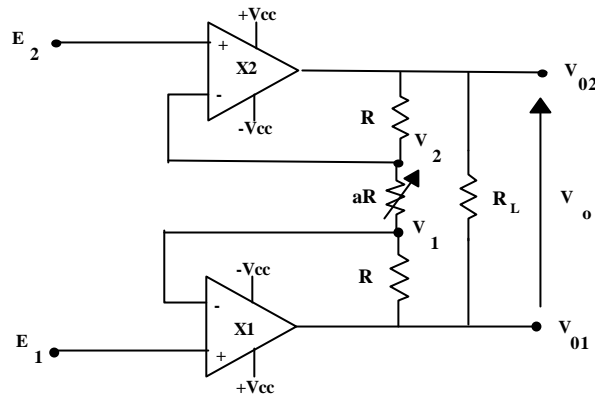
Caso se pretenda que a tensão de saída seja referenciada a um potencial,  $V_{ref}$ , diferente de zero, basta colocar em série com  $R'$  (ponto A), um circuito do seguinte tipo (seguidor de tensão):



$$V_o = V_{Ref} + (V_1 - V_2) \left( 1 + \frac{2}{a} \right)$$

Relativamente ao amplificador diferencial o circuito abaixo representado (A.I.- Amplificador de Instrumentação), apresenta uma impedância de entrada mais elevada (teoricamente infinita) e uma grande facilidade de ajuste de ganho. Para que seja possível

interligar na sua saída cargas com um terminal ligado à massa (não flutuantes) teremos que associar a esta montagem um circuito subtrator.



Análise do circuito:

$$V_1 = E_1, \quad V_2 = E_2$$

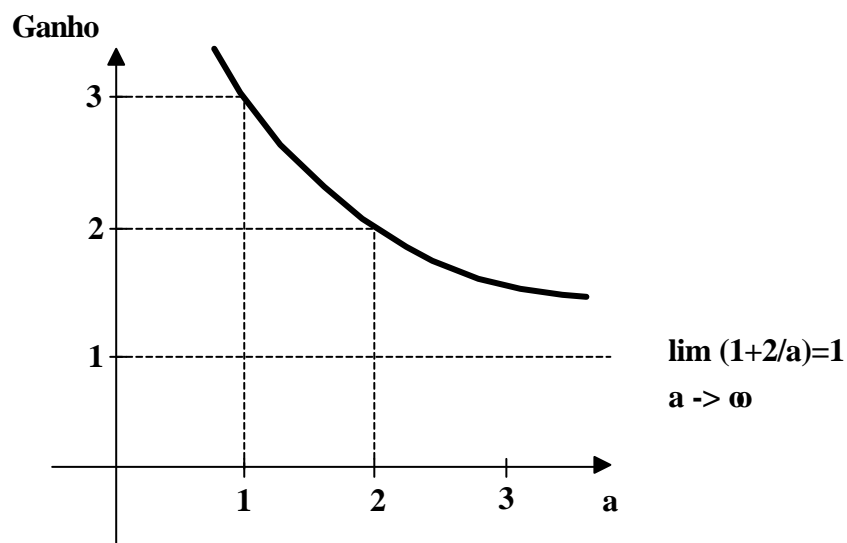
$$\frac{V_{02} - V_2}{R} = \frac{V_2 - V_1}{aR} = \frac{V_1 - V_{01}}{R}$$

$$V_0 = V_{01} - V_{02}$$

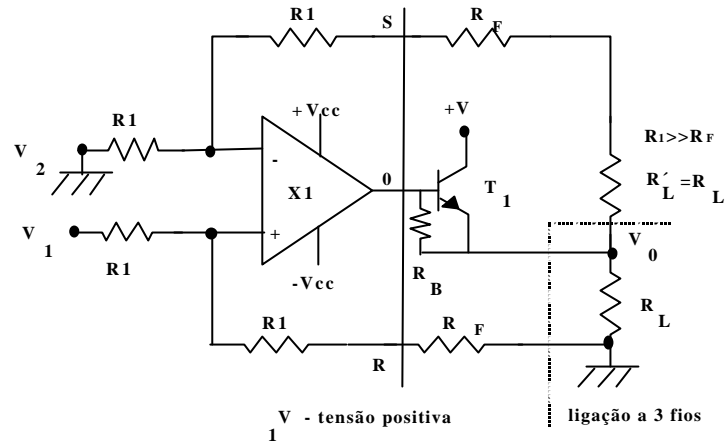
Desdobrando a tripa igualdade e resolvendo em ordem a  $V_{01}$  e  $V_{02}$ , obtem-se:

$$V_o = (E_1 - E_2) \left( 1 + \frac{2}{a} \right)$$

Em termos gráficos tem-se:



Caso se pretenda minimizar a variação de tensão na carga ou disponibilizar uma corrente superior ao limite máximo de corrente que o AMPOP pode fornecer, pode ser utilizada uma interligação a 3 fios do seguinte tipo:



S - “Sense”    R - “Reference”    O - “output”

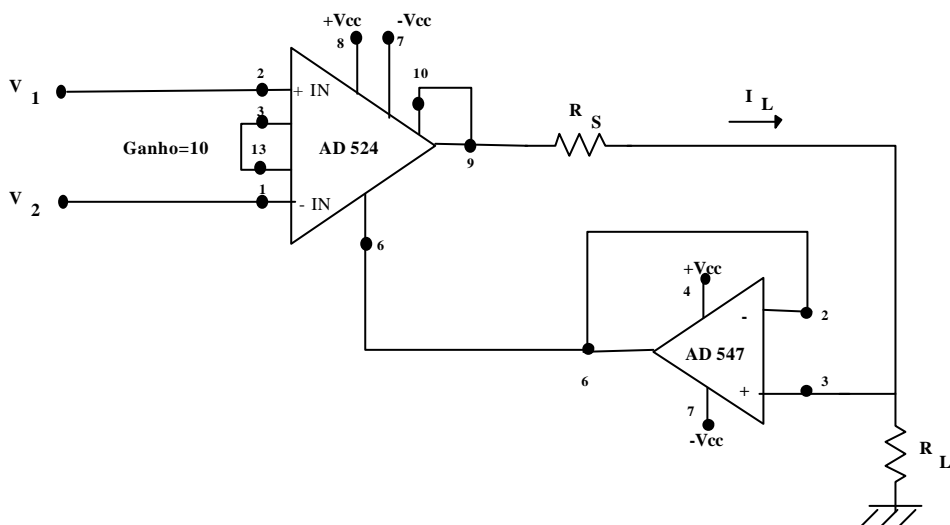
$R_L$  - resistência de carga

$R_F$  - resistência dos fios de interligação

$R_B$  - resistência de polarização do transistor  $T_1$

Exemplo: Verifique que a montagem abaixo representada que utiliza o A.I. (AD524), funciona

como um conversor tensão-corrente do tipo diferencial sendo:  $I_L = 10 \left( \frac{V_1 - V_2}{R_s} \right)$



10 - “Sense”

6 - “Reference”

9 - “Output”

A ligação entre os pinos 3 e 13 deste A.I. selecciona um ganho  $G=10$ , pelo que teremos:

$$V_9 = V_{Ref} + G(V_1 - V_2) = V_6 + 10(V_1 - V_2)$$

$$V_6 = R_L I_L, \quad V_9 = (R_S + R_L) I_L$$

$$R_L I_L + 10(V_1 - V_2) = (R_S + R_L) I_L$$

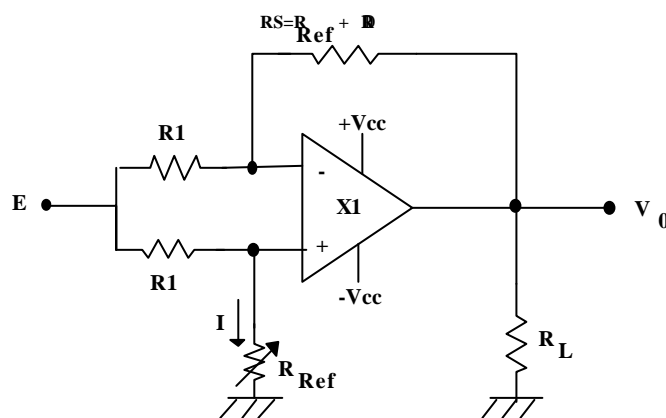
$$I_L = 10 \left( \frac{V_1 - V_2}{R_S} \right)$$

Se  $R_S=1 \text{ k}\Omega$  a uma tensão diferencial de entrada de 0.4 V corresponde uma corrente de carga de 4 mA, e para uma tensão diferencial de entrada de 2 V corresponde uma corrente de carga de 20 mA.

Nota: a utilização do AD524 em situações de ganho elevado para sinais de entrada de pequena amplitude requer que a entrada inversora esteja ligada à massa da alimentação e de saída. Na ausência desta ligação (entradas flutuantes) o nível de ruído na saída pode ser demasiado elevado (consultar “application notes” do AD524).

### 3.3 - Amplificadores em ponte

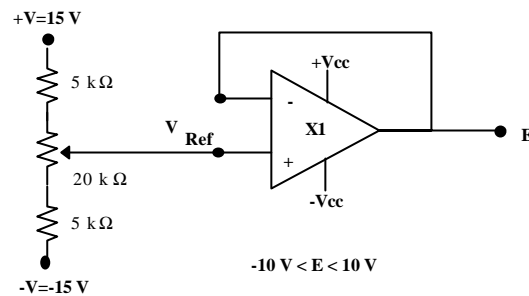
Os amplificadores em ponte são geralmente utilizados quando os sensores se encontram interligados em ponte de Wheatstone. Sendo  $R_S$  a resistência do sensor teremos o seguinte tipo de montagem:



+Vcc, -Vcc: +15/-15 Volt

RS - Resistência do sensor

A tensão de excitação (E) é geralmente obtida com uma montagem capaz de minimizar a impedância de entrada associada ao gerador de tensão ( $V_{Ref}$ ), pelo que é vulgar utilizar o seguidor de tensão para o efeito.



A tensão  $V_o$  é dada por : 
$$V_o = -E \frac{\Delta R}{R_{Ref} + R1} = -I \Delta R$$

sendo  $I = \frac{E}{R_{Ref} + R1}$  e  $\Delta R = R_S - R_{Ref}$

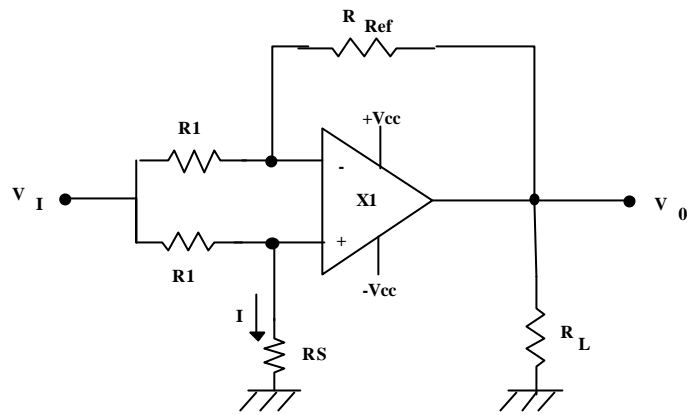
$\Delta R$  - mede o desvio do valor de resistência do sensor em relação ao seu valor nominal ou de referência ( $R_{ref}$ ).

Para se obter o anulamento da tensão de saída ( $V_o$ ) quando se tem  $R_S = R_{Ref}$  deve ser efectuado o ajuste da tensão de “offset” do AMPOP.

Ainda que a sensibilidade deste circuito seja proporcional ao valor da tensão de entrada (E), deve-se limitar este valor de modo a minimizar erros de auto-aquecimento. Por este motivo é usual ter-se: 
$$I = \frac{E}{R_{Ref} + R1} < 1 \text{ mA} \quad .$$

Para situações em que o sensor necessita de estar ligado à massa numa das terminações, utiliza-se a seguinte montagem:





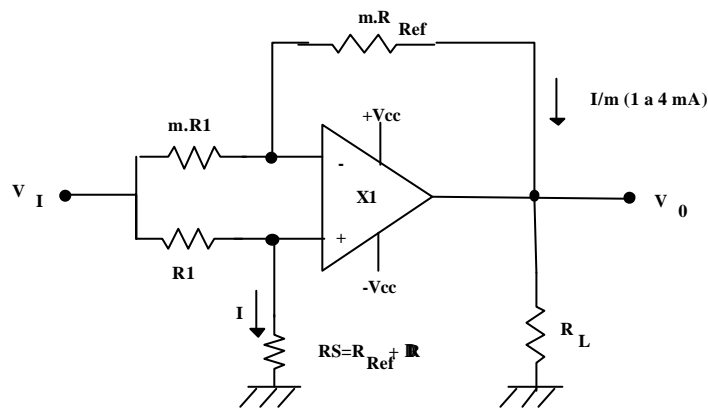
+Vcc, -Vcc: +15/-15 Volt

RS - Resistência do sensor

Neste caso a tensão de saída ( $V_o$ ) deixa de ser uma função linear de  $\Delta R$ , uma vez que se tem:

$$V_o = E \frac{\Delta R}{R_{Ref} + R1 + \Delta R}$$

Para situações em que o sensor necessita de uma corrente de alimentação superior ao limite máximo de corrente de saída do AMPOP, utiliza-se o seguinte circuito:



+Vcc, -Vcc: +15/-15 Volt

RS - Resistência do sensor

$m > 1$

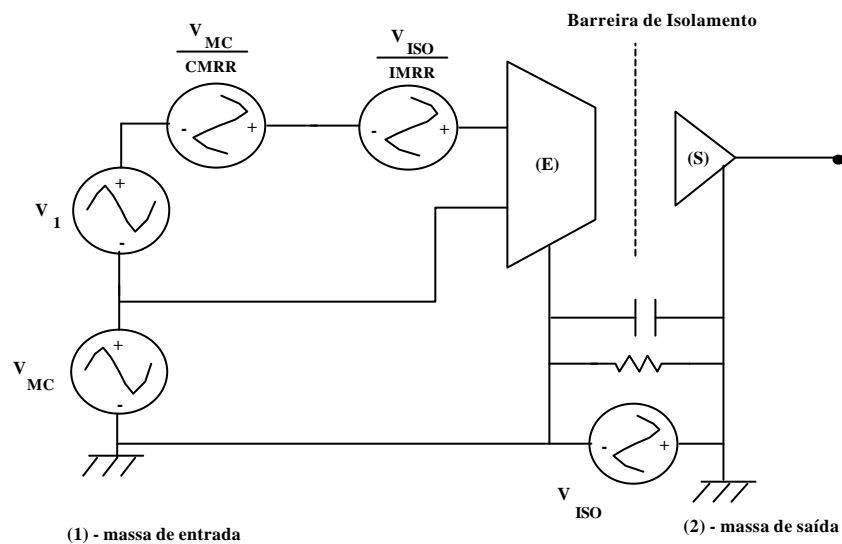
$$V_o = V_I \frac{\Delta R}{R1 + R_{Ref} + \Delta R}$$

Neste caso a corrente que percorre o sensor é fornecida pela tensão da fonte (E), sendo a corrente fornecida pelo AMPOP m vezes inferior ( $R_L \gg mR_{Ref}$ ).

### 3.4 - Amplificadores de isolamento

Estes amplificadores são essencialmente amplificadores de instrumentação, com a capacidade adicional de providenciarem isolamento galvânico entre os “andares” de entrada e de saída. Permitem a interligação de entradas “flutuantes” e o isolamento entre as massas da entrada, de saída e de alimentação. São portanto necessários sempre que as tensões de modo comum a amplificar sejam muito elevadas (superiores a 10 V) ou quando por motivos de segurança se pretende isolar galvanicamente dois circuitos.

Em termos de diagrama de blocos funcionais tem-se:



(E) - “andar” de entrada

(S) - “andar” de saída

$V_{ISO}$  - tensão de isolamento

IMMR - “Isolation Mode Rejection Ratio”

$V_{MC}$  - tensão de modo comum CMRR - “Common Mode Rejection Ratio”

(1) / (2) - massas independentes do ponto de vista galvânico

Os valores típicos da tensão  $V_{ISO}$  variam entre 500 e 3500 V. Como aplicações usuais deste tipo de amplificador podemos referir:

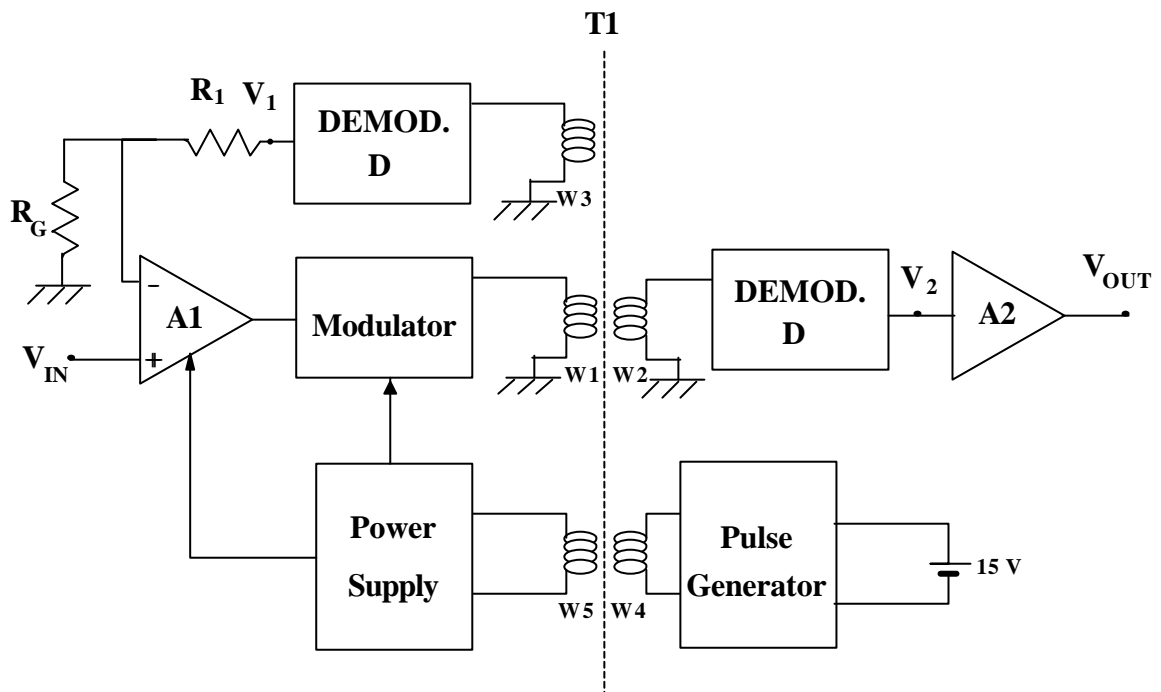
- equipamentos de electromedicina;
- equipamentos de medida para tensões diferenciais sempre que se pretenda isolar galvanicamente o sistema de medida do circuito a medir;

- medidas que requerem correntes de “fuga”, entre massas, muito reduzidas;
- circuitos com massas independentes.

As duas técnicas mais usuais para se conseguir o isolamento galvânico são por:

- acoplamento magnético (transformadores);
- acoplamento óptico (dispositivos electro-ópticos).

O esquema de princípio do acoplamento magnético é o seguinte:



T1 - transformador

A2 - seguidor de tensão (“buffer”)

W<sub>i</sub> - n° de espiras do enrolamento i (W<sub>2</sub>=W<sub>3</sub> ⇒ V<sub>1</sub>=V<sub>2</sub>)

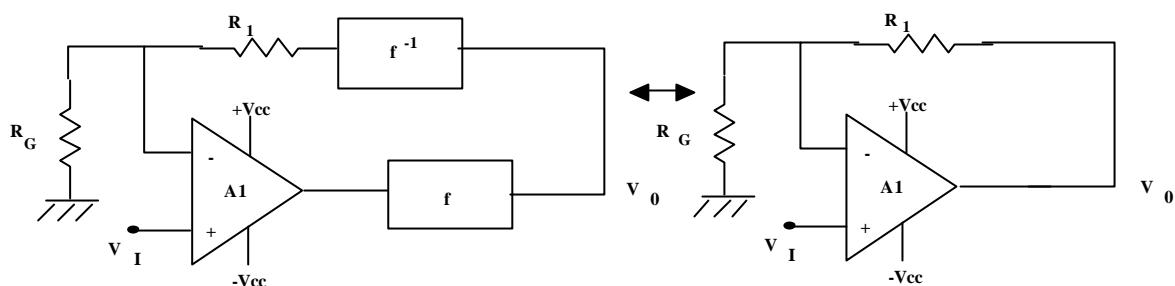
R<sub>G</sub> - resistência que controla o ganho do amplificador A1

$$V_2 = V_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_G}\right) V_{IN}$$

Considerando que o amplificador A2 tem ganho unitário a tensão de saída é dada por:

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_1}{R_G}\right) V_{IN}$$

Faz-se notar que o amplificador A1 e a malha de retroacção constituída pelo modulador, desmodulador, enrolamentos W1 e W3, e resistências  $R_1$  e  $R_G$ , são equivalentes a uma montagem não inversora, desde que as funções do modulador e desmodulador sejam inversas entre si. Em termos de diagrama tem-se:

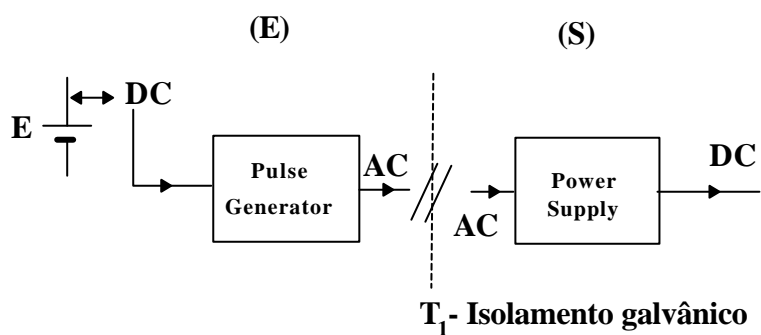


$f$  - função de modulação  $f^{-1}$  - função inversa de  $f$  (desmodulação)

$f \circ f^{-1} = f^{-1} \circ f = I$

$I$  - função identidade

Para se garantir o isolamento galvânico da tensão de alimentação, a alimentação do andar de entrada é efectuada com base no transformador utilizando um conversor DC/DC com o seguinte diagrama funcional:



(E) - “andar” de entrada

(S) - “andar” de saída