

ETUDE DE L'ETAGE DE SORTIE DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL MC1530 ¹

Le schéma complet de l'amplificateur opérationnel MC1530 est donné en annexe. Son étage de sortie (figure 1) est constitué par un amplificateur continu A_0 rétroactionné par la résistance R_2 .

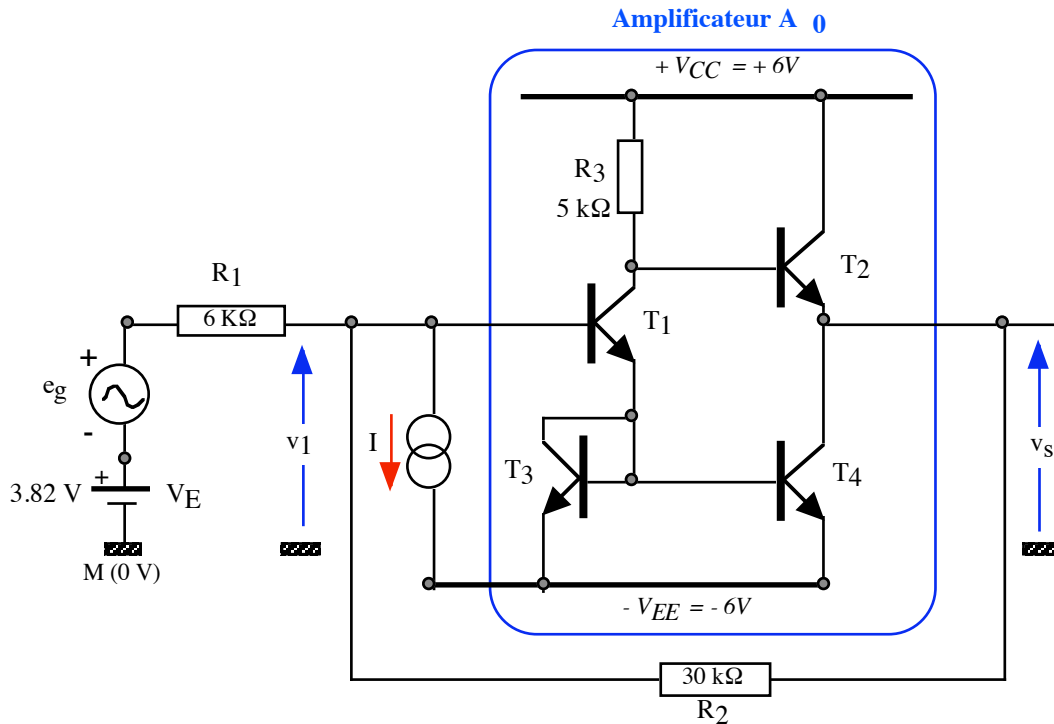


Figure 1 : étage de sortie du MC1530

La température est fixée à 25 °C. Les transistors utilisés sont tous des NPN au silicium ayant un gain en courant β de 100 et une résistance interne r_{ce} suffisamment importante pour être négligée.

1^{ère} PARTIE : ETUDE EN REGIME CONTINU

- 1) En imposant à l'entrée $V_E = 3.82$ V (qui représente la tension de repos à la sortie de l'étage amont), on désire obtenir une tension de sortie V_s nulle. Déterminer alors la valeur des tensions par rapport à la masse de tous les nœuds du schéma.
- 2) En négligeant le courant de base de T_2 , calculer le courant de collecteur du transistor T_1 ainsi que celle du générateur de courant I .
- 3) Les transistors T_3 et T_4 étant identiques, rechercher la relation existant entre les courants de collecteur I_{C4} de T_4 et le courant d'émetteur I_{E1} de T_1 . En déduire la valeur du courant de collecteur I_{C2} de T_2 . On donne : $I_C = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right)$ avec $I_{SBC1} = I_{SBC2}$ et $U_T = 25$ mV à 25°C.

¹ Philippe ROUX © 2009

2^{ème} PARTIE : ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR SANS RETROACTION AUX PETITES VARIATIONS

L'amplificateur A_0 rétroactionné par la résistance R_2 , sera isolé comme il est indiqué dans la partie encadrée de la figure 1.

- 1) On isole du montage le transistor T_3 (monté en diode compte tenu du court circuit entre sa base et son collecteur). Dessiner son schéma équivalent aux petites variations et déterminer alors sa résistance interne r_d .
- 2) Dessiner (avec r_d) le schéma équivalent de l'amplificateur A_0 . Donner la valeur des paramètres des transistors.
- 3) Montrer que la tension v_{be4} est sensiblement égale à $v_1/2$.
- 4) En déduire la valeur de la résistance d'entrée R_{e0} de l'amplificateur A_0 .
- 5) Déterminer l'expression du gain en tension A_0 de l'amplificateur.
- 6) Rechercher l'expression de sa résistance de sortie R_{s0} en utilisant la méthode de l'ohmmètre.

3^{ème} PARTIE : ETUDE LE L'AMPLIFICATEUR RETROACTIONNE AUX PETITES VARIATIONS

- 1) Compte tenu des résultats précédents, dessiner le schéma aux petites variations et aux fréquences moyennes équivalent à l'ensemble du montage qui devient l'amplificateur A. (La résistance interne du générateur de courant I est supposée infinie).
- 2) A l'aide du schéma défini précédemment, déterminer pour l'amplificateur complet, le gain en tension $A = v_s/e_g$ (on négligera la résistance R_{s0} devant R_2).
- 3) Déterminer la résistance d'entrée R_e vue par le générateur d'attaque e_g (on négligera aussi la résistance R_{s0} devant R_2).
- 4) Rechercher par la méthode de l'ohmmètre, la résistance de sortie R_s .

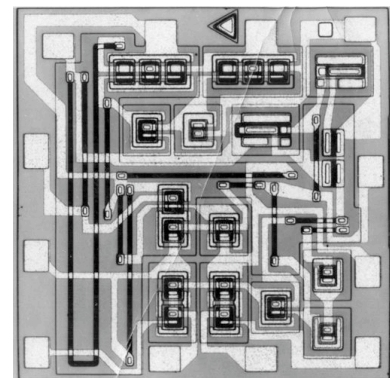
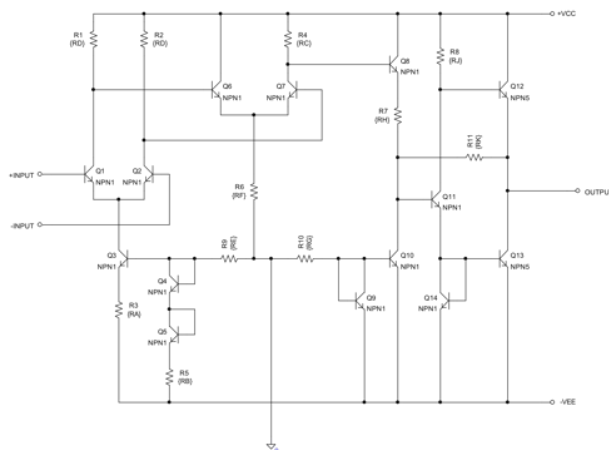
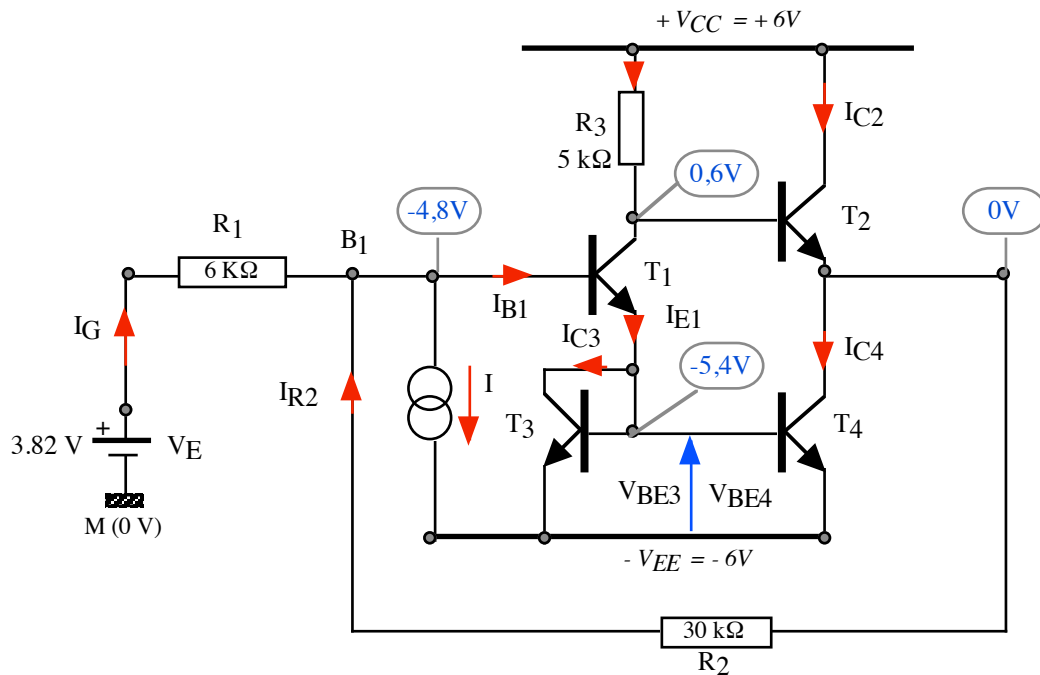


Schéma complet de l'amplificateur MC1530 et vue de la puce

CORRECTION ²

1^{ère} PARTIE : ETUDE EN REGIME CONTINU

1. Tensions par rapport à la masse sachant que $V_{BE} = 0,6V$.



2. Courant de collecteur de T_1 : $I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{C1M}}{R_3} = 1,08mA$ $I_{B1} = 10,8 \mu A$.

Détermination du courant I : $I = I_G + I_{R2} - I_{B1}$

$$I_G = \frac{V_E - V_{B1M}}{R_1} = 1,44mA$$

$$I_{R2} = \frac{V_S - V_{B1M}}{R_2} = 160\mu A$$

Soit : $I \approx I_G = 1,44mA$

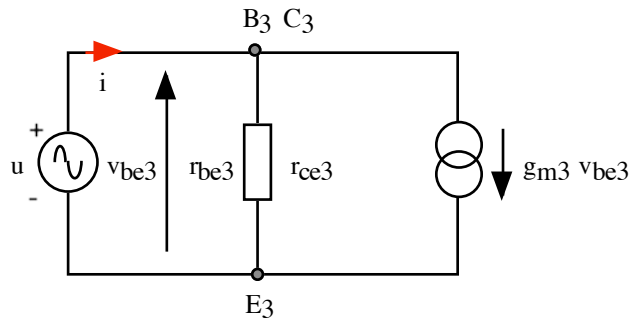
3. Les transistors T_3 et T_4 ont la même tension V_{BE} avec : $I_{C3} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE3}}{U_T}\right)$ et

$$I_{C4} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE4}}{U_T}\right). \text{ On a alors : } I_{C3} = I_{C4} \text{ ainsi que : } I_{B3} = I_{B4}.$$

Avec : $I_{E1} = I_{C3} + I_{B3} + I_{B4}$, on en déduit : $I_{C4} = \frac{I_{E1}}{2} \approx I_{E1}$ et $I_{C2} = I_{C4} = 1,06 mA$.

2^{ème} PARTIE : ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR SANS RETROACTION AUX PETITES VARIATIONS

1) Isolons le transistor T₃ monté en diode et construisons son schéma équivalent aux petites variations. Appliquons un générateur (u, i) aux bornes du schéma, on alors : r_d = u/i.

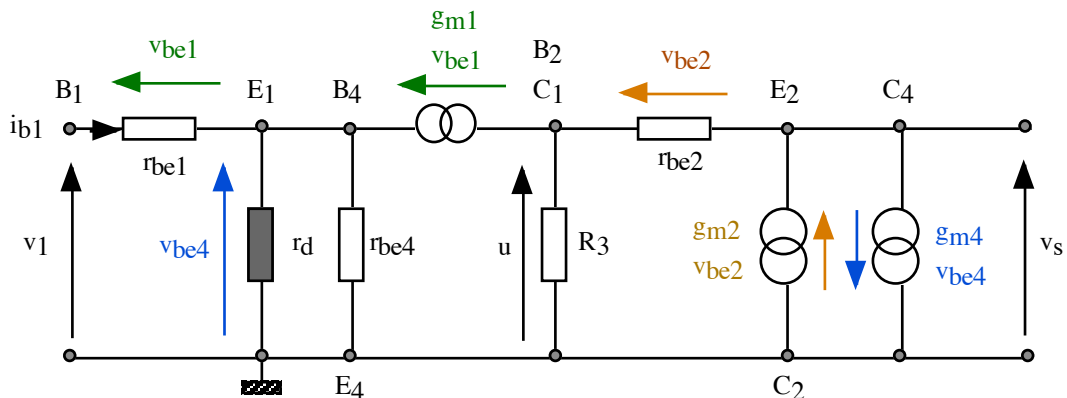


Les tensions v_{be3} et u sont égales.

$$\text{Nœud B}_3 : i - \frac{u}{r_{be3}} - g_{m3}u = 0$$

$$r_d = \frac{u}{i} = \frac{1}{g_{m3} + \frac{1}{r_{be3}}} \approx \frac{1}{g_{m3}} = \frac{r_{be3}}{\beta} = 23\Omega \quad (1)$$

2) Schéma équivalent de l'amplificateur A₀.



Paramètres des transistors :

| r _{be1} | r _{be2} | r _d | r _{be4} | g _{m1} | g _{m2} | g _{m3} | g _{m4} |
|------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2,31 KΩ | 2,3 KΩ | 23 Ω | 2,3 KΩ | 43,2 mS | 43,6 mS | 43,2 mS | 43,6 mS |

3) Equation au nœud E₁ :

$$\frac{v_1 - v_{be4}}{r_{be1}} + g_{m1}v_{be1} - \frac{v_{be4}}{r_{be4} // r_d} = 0 \text{ avec : } v_{be1} = v_1 - v_{be4}$$

$$v_1 \left[g_{m1} + \frac{1}{r_{be1}} \right] = v_{be4} \left[g_{m1} + \frac{1}{r_{be1}} + \frac{1}{r_{be4} // r_d} \right]$$

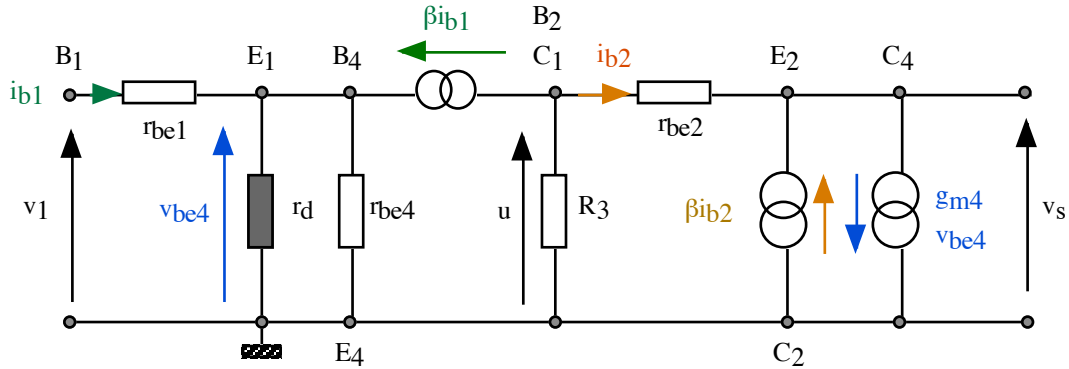
$$\text{Sachant que : } g_{m1} \gg \frac{1}{r_{be1}} \text{ et } r_d = \frac{1}{g_{m3}} \ll r_{be4}, \text{ il vient : } v_1 [g_{m1}] \approx v_{be4} [g_{m1} + g_{m3}]$$

$$\text{Avec } g_{m1} = g_{m3} \quad v_1 \approx 2v_{be4} \quad (2)$$

4) Résistance d'entrée R_{e0} de l'amplificateur A_0 : $R_{e0} = \frac{v_1}{i_{b1}}$.

Nous avons : $i_{b1} = \frac{v_1 - v_{be4}}{r_{be1}} = \frac{v_1 - \frac{v_1}{2}}{r_{be1}}$. Soit : $R_{e0} = \frac{v_1}{i_{b1}} = 2r_{be1} = 4,62 K\Omega$ (3)

5) Expression du gain en tension A_0 de l'amplificateur. Pour cette étude on choisi le schéma « en β ib » pour représenter T_1 et T_2 .



Nœud C_4 : $(\beta + 1)i_{b2} - g_{m4}v_{be4} = 0$ avec la relation (2) : $i_{b2} = \frac{g_{m4}}{2(\beta + 1)}v_1$ (4)

Nœud B_2 : $-\beta i_{b1} - i_{b2} - \frac{u}{R_3} = 0$ (5)

On a de plus : $u = r_{be2}i_{b2} + v_s$ (6)

L'équation (5) devient alors : $-\beta i_{b1} - i_{b2}(1 + \frac{r_{be2}}{R_3}) - \frac{v_s}{R_3} = 0$

La relation (3) permet d'écrire : $i_{b1} = \frac{v_1}{R_{e0}}$

On obtient alors : $-v_1 \left[\frac{\beta}{R_{e0}} + \frac{g_{m4}}{2(\beta + 1)}(1 + \frac{r_{be2}}{R_3}) \right] = \frac{v_s}{R_3}$

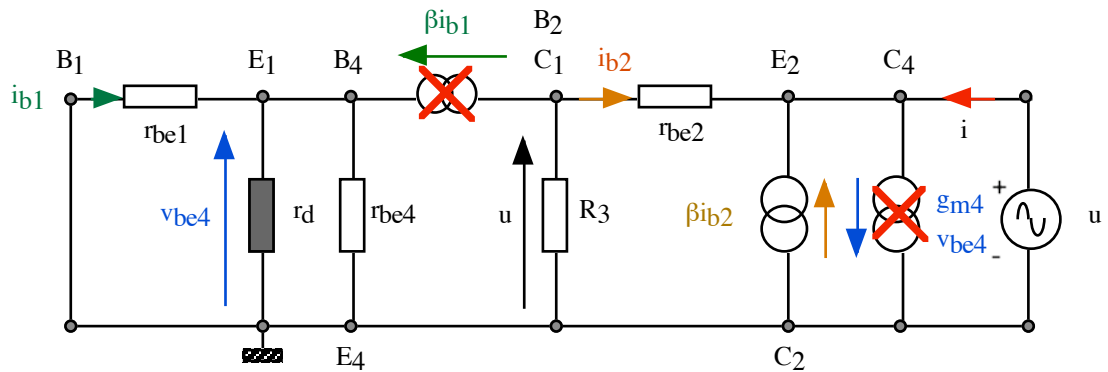
$$A_0 = \frac{v_s}{v_1} = -R_3 \left[\frac{\beta}{R_{e0}} + \frac{g_{m4}}{2(\beta + 1)}(1 + \frac{r_{be2}}{R_3}) \right] \approx -\frac{\beta R_3}{R_{e0}}$$

Application numérique : $A_0 = -110$.

6) Expression de sa résistance de sortie R_{s0} en utilisant la méthode de l'ohmmètre.

Le schéma d'analyse est donné ci-dessous.

La tension v_1 étant nulle, il s'en suit que le courant i_{b1} est nul d'après la relation (3), entraînant alors le générateur dépendant « βi_{b1} » nul aussi. Autre conséquence, la tension v_{be4} est nulle d'après la relation (2) entraînant « $g_{m4} v_{be4}$ » nul aussi.



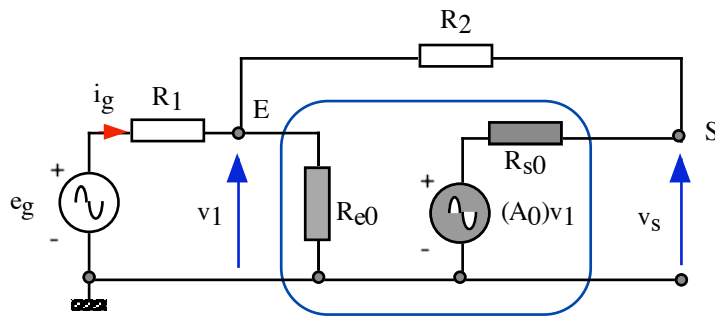
Mise en équations : $i = -(\beta + 1)i_{b2}$ et $u = -i_{b2}(r_{be2} + R_3)$

Résistance de sortie : $R_{s0} = \frac{u}{i} = \frac{r_{be2} + R_3}{\beta + 1}$

Application numérique : $R_{s0} = 72,3\Omega$.

3^{ème} PARTIE : ETUDE LE L'AMPLIFICATEUR RETROACTIONNE AUX PETITES VARIATIONS

1) Schéma aux petites variations et aux fréquences moyennes équivalent à l'ensemble du montage qui devient l'amplificateur A.



2) Gain en tension $A = v_s/e_g$ (on négligera la résistance R_{s0} devant R_2).

Equation au nœud E : $\frac{e_g - v_1}{R_1} - \frac{v_1}{R_{e0}} + \frac{v_s - v_1}{R_2} = 0$ avec : $v_s = A_0 \cdot v_1$

$\frac{e_g}{R_1} = -v_s \left[\frac{1}{R_2} - \frac{1}{A_0(R_1 // R_{e0} // R_2)} \right]$ soit approximativement : $\frac{v_s}{e_g} \approx -\frac{R_2}{R_1} = -5$

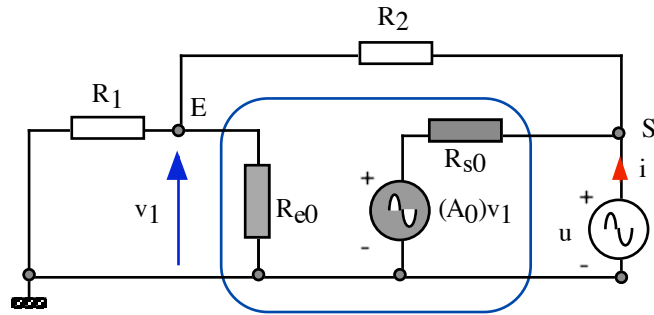
3) Résistance d'entrée R_e .

Equation au nœud E : $i_g - \frac{v_1}{R_{e0}} + \frac{A_0 v_1 - v_1}{R_2} = 0$ soit : $i_g = \frac{v_1}{R_{e0} // \frac{R_2}{1 - A_0}}$

Sachant que : $e_g = R_1 i_g + v_1$, il vient : $R_e = \frac{e_g}{i_g} = R_1 + \frac{v_1}{i_g}$.

$R_e = \frac{e_g}{i_g} = R_1 + \frac{R_2}{1 - A_0} \approx R_1 = 6K\Omega$

4) Résistance de sortie R_s . Schéma d'analyse pour la méthode de l'ohmmètre, e_g en court circuit et placer en sortie un générateur u qui débite un courant i .



Expression de la tension v_1 : $v_1 = ku$ avec : $k = \frac{R_1 // R_{e0}}{R_2 + R_1 // R_{e0}}$

Equation au nœud S : $i - \frac{u - A_0(ku)}{R_{s0}} - \frac{u - ku}{R_2} = 0$

$$\text{Soit : } i = u \left[\frac{1}{\frac{R_{s0}}{1 - kA_0}} + \frac{1}{1 + k} \right]$$

$$R_s = \frac{u}{i} = \frac{R_{s0}}{1 - kA_0} // \frac{R_2}{1 + k} = 8,2 \Omega$$

ORDERING INFORMATION

| Device | Temperature Range | Package |
|----------------|-------------------|--------------|
| MC1430F, 1431F | 0°C to +70°C | Ceramic Flat |
| MC1430G, 1431G | 0°C to +70°C | Metal Can |
| MC1430P, 1431P | 0°C to +70°C | Plastic DIP |
| MC1530F, 1531F | -55°C to +125°C | Ceramic Flat |
| MC1530G, 1531G | -55°C to +125°C | Metal Can |

**MC1430, MC1431
MC1530, MC1531**

OPERATIONAL AMPLIFIER

... designed for use as a summing amplifier, integrator, or amplifier with operating characteristics as a function of the external feedback components.

The MC1531 (MC1431) is provided with Darlington inputs to increase input impedance; otherwise the MC1531 (MC1431) circuit is identical with the MC1530 (MC1430) circuit.

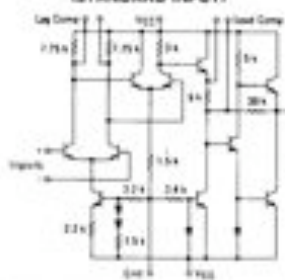
- High Open Loop Voltage Gain - 4500 min (MC1530)
- 2500 min (MC1531)
- High Input Impedance - 10 Kiloohms min (MC1530)
- 1.0 Megohm min (MC1531)
- Low Output Impedance - 50 Ohms max
- High Slew Rate - 6.0 V/μs typ @ $A_{OL} = 10$
- High Open Loop Bandwidth - 2.0 MHz typ (MC1530)
0.4 MHz typ (MC1531)

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

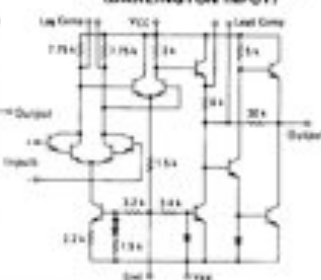
| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|-------------------|-------------------------|-------|
| Power Supply Voltage MC1530, MC1531 MC1430, MC1431 | $V_{CC} - V_{EE}$ | +9.0, -9.0 | Vdc |
| | V_{CC}, V_{EE} | +9.0, -9.0 | Vdc |
| Differential Input Voltage Range | V_{IDR} | ± 5.0 | Volts |
| Load Current | I_L | 10 | mA |
| Power Dissipation (Package Limitation) Metal Package Derate above $T_A = +25^\circ\text{C}$ Flat Package Derate above $T_A = +25^\circ\text{C}$ Dual In-Line Plastic Package MC1430, MC1431 Derate above $+25^\circ\text{C}$ | P_D | 680 | mW |
| | | 4.6 | mW/°C |
| | | 500 | mW |
| | | 3.3 | mW/°C |
| | | 400 | mW |
| Operating Ambient Temperature Range MC1530, MC1531 MC1430, MC1431 | T_A | -55 to +125 0 to +75 | °C |
| Storage Temperature Range Metal and Ceramic Package Plastic Package MC1430, MC1431 | T_{stg} | -55 to +175 | °C |
| | | -55 to +150 | °C |

CIRCUIT SCHEMATICS

**FIGURE 1 - MC1530/MC1430
(STANDARD INPUT)**



**FIGURE 2 - MC1531/MC1431
(DARLINGTON INPUT)**

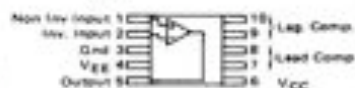


OPERATIONAL AMPLIFIERS

**SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT**

PIN CONNECTIONS

**F SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 608
TO-91**



**G SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 602 B**



**P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646
(MC1430P/MC1431P only)**

