

ETUDE DU MULTIPLIEUR ANALOGIQUE MC1595 ¹

Un multiplieur analogique est un circuit dont la tension de sortie V_s est proportionnelle au produit de ses deux tensions d'entrées : $V_s = K V_x V_y$ (figure 1a). Lorsque les tensions V_x et V_y peuvent évoluer entre -10 et +10 V, le circuit est nommé « multiplieur quatre quadrants ».

Le schéma synoptique du multiplieur quatre quadrants intégré MC 1595 est donné en figure 1b et son schéma complet en annexe. On décompose le montage en quatre sous-ensembles : A (X), A (Y), (L) et (B).

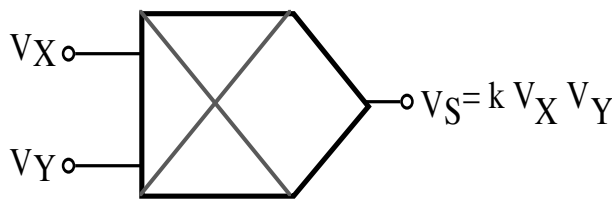


Figure 1a

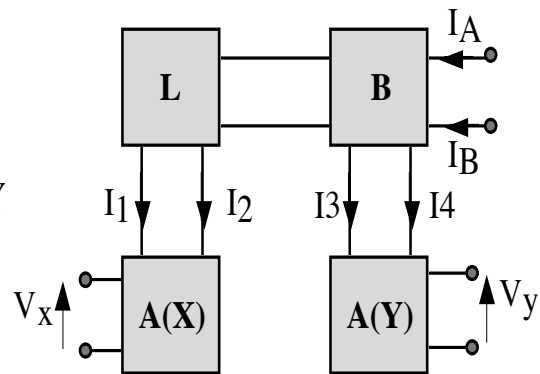


Figure 1b

1° PARTIE : ANALYSE DES SOUS-ENSEMBLES A(X) ET A(Y)

Le sous-ensemble A (X) est réalisé à l'aide de deux transistors T_1 T_2 rigoureusement identiques associés selon la figure 2. La température est fixée à 25°C.

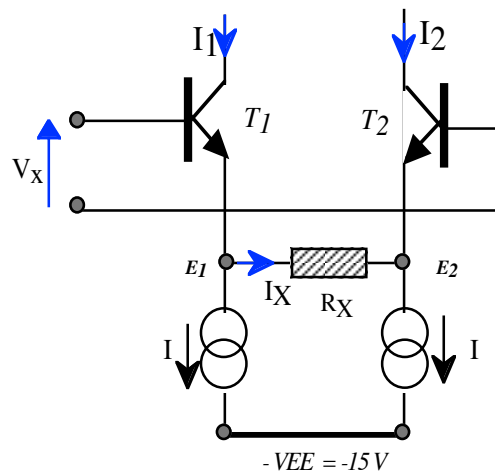


Figure 2

¹ Ph.ROUX © 2009

- 1.1) Rechercher la relation liant la tension d'entrée V_x à R_x , I_x et $\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2}$.
En déduire l'expression de la différence $I_1 - I_2$ en fonction de R_x , V_x et ΔV_{BE} .
- 1.2) Rechercher la relation liant le courant I_x au courant I , la tension ΔV_{BE} et U_T .
On rappelle à cet effet, la loi du transistor bipolaire : $I_C = I_{SBC} \exp(\frac{V_{BE}}{U_T})$ où I_{SBC} représente le courant inverse de saturation de la jonction base-collecteur (identique pour T_1 et T_2).
- 1.3) On désire que la différence $I_1 - I_2$, dans le cas le plus défavorable où $V_{x_{max}} = 10$ V, soit proportionnelle à V_x avec une bonne approximation. A cet effet, on prendra $\Delta V_{BE_{max}} = 10$ mV. Sachant que $I = 1$ mA, calculer la valeur du courant $I_{x_{max}}$ et en déduire la valeur à donner à la résistance R_x .

Remarque: les sous-ensembles A(X) et A(Y) étant semblables, l'analyse précédente s'applique à A(Y) à savoir : $I_3 - I_4 = 2 \frac{V_y}{R_y}$ (on fera $R_y = R_x$).

2° PARTIE : ANALYSE DU SOUS-ENSEMBLE (L)

Le schéma du sous-ensemble (L) donné en figure 3 utilise deux diodes identiques D_1 et D_2 (même courant I_s) traversées respectivement par les courants I_1 et I_2 des transistors T_1 et T_2 .

On rappelle que : $I_D = I_s \exp(\frac{V_D}{U_T})$ avec I_D et V_D courant et tension directs de la diode. Le courant inverse de saturation I_s est identique pour D_1 et D_2 .

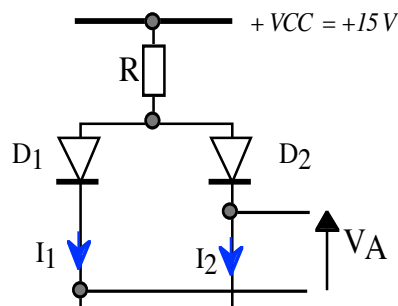


Figure 3

Exprimer le rapport I_1 / I_2 en fonction des tensions V_A et U_T .

3° PARTIE : ANALYSE DU SOUS-ENSEMBLE (B)

Ce sous-ensemble donné en figure 4, est composé de quatre transistors T_5 à T_8 identiques. Il est excité par la tension V_A et par les courants I_3 et I_4 issus du sous-ensemble A(.Y). Sa sortie délivre deux courants I_A et I_B .

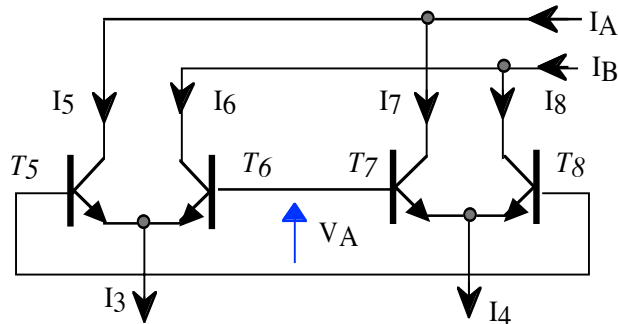


Figure 4

3.1) Calculer les expressions des courants I_5 et I_6 en fonction de la tension V_A , du courant I_3 et U_T . De même, exprimer I_7 et I_8 .

3.2) En déduire l'expression de la différence $I_A - I_B$ en fonction de V_A , I_3 , I_4 et U_T .

4° PARTIE : FONCTION MULTIPLIEUR

4.1) En exploitant l'ensemble des résultats précédents, montrer que la différence des courants $I_A - I_B$ est proportionnelle au produit $V_x V_y$.

Pour obtenir une tension V_s telle que : $V_s = k V_x V_y$, il est nécessaire d'associer un montage convertisseur courant-tension (figure 5) en sortie du circuit MC 1595.

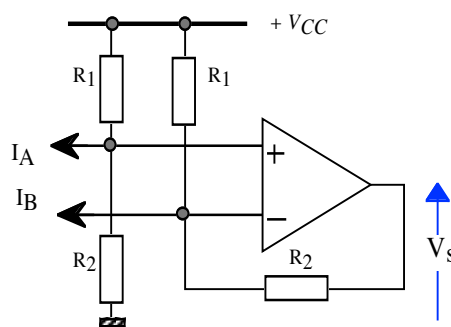


Figure 5

4.2) L'amplificateur opérationnel étant idéal, montrer que sa tension de sortie V_s est proportionnelle au produit $V_x V_y$. Donner l'expression du coefficient de proportionnalité k .

4.3) Déterminer la valeur de la résistance R_2 pour obtenir un facteur de proportionnalité $k = 1/10$ pour avoir $V_{smax} = 10 \text{ V}$ lorsque $V_x = V_y = 10 \text{ V}$.

5° PARTIE : DIVISEUR ANALOGIQUE

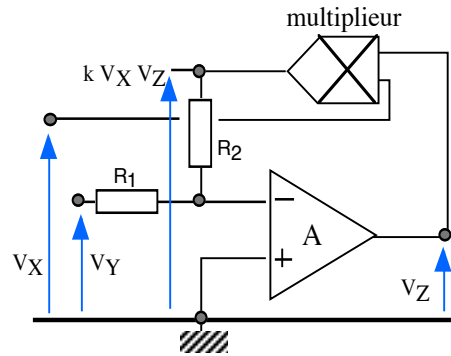


Figure 6

Le montage donné en figure 6 représente un montage diviseur analogique. Il utilise un multiplieur analogique représenté symboliquement et un amplificateur opérationnel idéal A.

- 5.1) Montrer que la tension de sortie V_z de l'amplificateur A est proportionnelle au quotient V_y / V_x .
- 5.2) Indiquer les conditions à satisfaire pour avoir un coefficient de proportionnalité égal à -1.

CORRECTION ²

1° PARTIE : ANALYSE DES SOUS-ENSEMBLES A(X) ET A(Y)

1.1) Relation liant la tension d'entrée V_x à R_x , I_x et $\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2}$.

$$V_x = V_{BE1} + R_x I_x - V_{BE2} \quad \text{soit : } V_x = R_x I_x + \Delta V_{BE}$$

Equations aux nœuds E_1 et E_2 : $I_1 = I_x + I$ et $I_2 = -I_x + I$

On en déduit :

$$I_1 - I_2 = 2 \frac{V_x - \Delta V_{BE}}{R_x}$$

1.2) Expression des courants de collecteur de T_1 et T_2 :

$$I_1 = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE1}}{U_T}\right) \quad I_2 = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE2}}{U_T}\right)$$

Soit en faisant le rapport :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\exp\left(\frac{V_{BE1}}{U_T}\right)}{\exp\left(\frac{V_{BE2}}{U_T}\right)} = \exp\left(\frac{\Delta V_{BE}}{U_T}\right) \quad \text{soit : } \frac{I_x + I}{I - I_x} = \exp\left(\frac{\Delta V_{BE}}{U_T}\right)$$

Il vient alors :

$$I_x = I \frac{\exp\left(\frac{\Delta V_{BE}}{U_T}\right) - 1}{\exp\left(\frac{\Delta V_{BE}}{U_T}\right) + 1}$$

Application numérique : $I_{x \max} = 0.197 \text{ mA}$ $R_x = \frac{V_{x \max} - \Delta V_{BE \max}}{I_{x \max}} = 50 \text{ k}\Omega$.

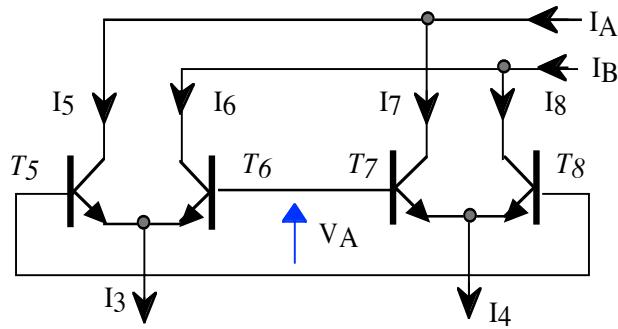
On peut donc utiliser par la suite la relation : $I_1 - I_2 = 2 \frac{V_x}{R_x}$

2° PARTIE : ANALYSE DU SOUS-ENSEMBLE (L)

Exprimons le courant des diodes : $I_1 = I_S \exp\left(\frac{V_{D1}}{U_T}\right)$ $I_2 = I_S \exp\left(\frac{V_{D2}}{U_T}\right)$

Avec : $V_A = V_{D1} - V_{D2}$ $\frac{I_1}{I_2} = \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)$

3° PARTIE : ANALYSE DU SOUS-ENSEMBLE (B)



3.1) Expressions des courants I_5 et I_6 en fonction de la tension V_A , du courant I_3 et U_T .

$$I_6 = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE6}}{U_T}\right) \quad I_5 = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE5}}{U_T}\right) \quad V_A = V_{BE6} - V_{BE5}$$

$$\frac{I_6}{I_5} = \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)$$

Sachant que $I_3 = I_5 + I_6$

Il vient :

$$I_5 = \frac{I_3}{1 + \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)} \quad I_6 = \frac{I_3 \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)}{1 + \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)}$$

De même :

$$I_8 = \frac{I_4}{1 + \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)} \quad I_7 = \frac{I_4 \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)}{1 + \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)}$$

3.2) Expression de la différence $I_A - I_B$ en fonction de V_A , I_3 , I_4 et U_T .

$$I_A = I_5 + I_7 \quad I_B = I_6 + I_8 \quad I_A - I_B = (I_5 - I_6) + (I_7 - I_8)$$

Compte-tenu des résultats précédents :

$$I_A - I_B = I_3 \frac{1 - \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)}{1 + \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)} + I_4 \frac{\exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right) - 1}{1 + \exp\left(\frac{V_A}{U_T}\right)}$$

4° PARTIE : FONCTION MULTIPLIEUR

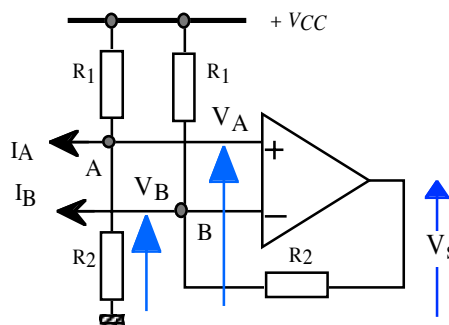
4.1) On exploite l'ensemble des résultats.

$$I_A - I_B = I_3 \frac{I - \frac{I_1}{I_2}}{1 + \frac{I_1}{I_2}} + I_4 \frac{\frac{I_1}{I_2} - I}{1 + \frac{I_1}{I_2}} \qquad I_A - I_B = \frac{I}{I_1 + I_2} (I_2 - I_1)(I_3 - I_4)$$

En remarquant la relation : $I_1 + I_2 = 2I$, on obtient :

$$I_A - I_B = -\frac{2}{IR_x^2} V_x V_y$$

4.2) Analyse du montage.



$$\text{Nœud A : } -I_A + \frac{V_{CC} - V_A}{R_1} - \frac{V_A}{R_2} = 0$$

$$\text{Nœud B : } -I_B + \frac{V_{CC} - V_B}{R_1} + \frac{V_s - V_B}{R_2} = 0$$

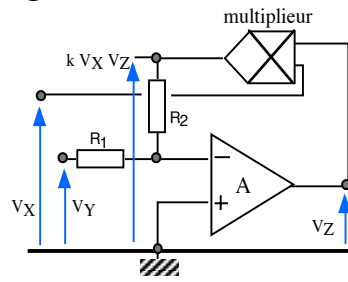
L'amplificateur opérationnel étant idéal on peut écrire $V_A = V_B$. On en déduit :

$$V_s = -R_2(I_A - I_B) = \left(\frac{R_2}{IR_x^2}\right)(V_x V_y)$$

Coefficient de proportionnalité : $k = \left(\frac{R_2}{IR_x^2}\right)$

4.3) Pour obtenir un facteur de proportionnalité $k = 1/10$ pour avoir $V_{s_{\max}} = 10 \text{ V}$ avec $V_x = V_y = 10 \text{ V}$, on doit prendre : $R_2 = 250 \text{ k}\Omega$.

5° PARTIE : DIVISEUR ANALOGIQUE



5.1) Montrer que la tension de sortie V_z de l'amplificateur A est proportionnelle au quotient V_y / V_x .
Equation au nœud (-) de l'AOP :

$$\frac{V_y}{R_1} + \frac{kV_x V_z}{R_2} = 0$$

$$V_z = -\left(\frac{R_2}{kR_1}\right) \frac{V_y}{V_x}$$

5.2) Condition à satisfaire pour avoir un coefficient de proportionnalité égal à -1 : $R_2 = 10 R_1$.

Wideband Linear Four-Quadrant Multiplier

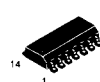
The MC1495/1595 is designed for use where the output is a linear product of two input voltages. Maximum versatility is assured by allowing the user to select the level shift method. Typical applications include: multiply, divide*, square root*, mean square*, phase detector, frequency doubler, balanced modulator/demodulator, and electronic gain control.

- Wide Bandwidth
- Excellent Linearity:
 - 2% max Error on X Input, 4% max Error on Y Input (MC1495)
 - 1% max Error on X Input, 2% max Error on Y Input (MC1595)
- Adjustable Scale Factor, K
- Excellent Temperature Stability
- Wide Input Voltage Range: ± 10 V
- ± 15 V Operation

*When used with an operational amplifier.

LINEAR FOUR-QUADRANT MULTIPLIER

**SILICON MONOLITHIC
 INTEGRATED CIRCUIT**



D SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 751A
 (SO-14)

L SUFFIX
 CERAMIC PACKAGE
 CASE 632

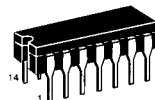


Figure 1. Multiplier Transfer Characteristic

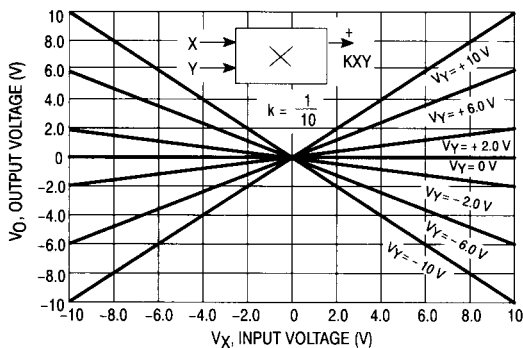


Figure 2. Transconductance Bandwidth

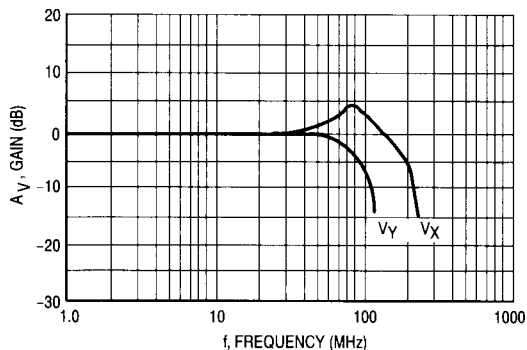
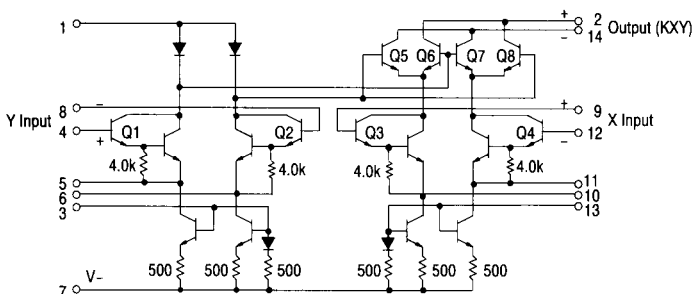


Figure 3. Circuit Schematic



ORDERING INFORMATION

Device	Ambient Temperature Range	Package
MC1495D	0° to +70°C	SO-14
MC1595D		
MC1495L	-55° to +125°C	Ceramic DIP
MC1595L		