

9. Les Amplificateurs Opérationnels

Au chapitre 6, nous avons parlé des amplificateurs opérationnels en tant que "composant", nous allons maintenant étudier comment les mettre en œuvre dans des circuits. Nous présenterons aussi ce paragraphe comme un "livre de recette".

9.1. Deux types d'alimentation

On peut alimenter les AO

- soit par deux tensions symétriques + V et - V (par exemple + 12 V et - 12 V ou + 15V et - 15 V),
- soit par une seule tension (par exemple +9 V ou + 12 V).

Il ne faut pas oublier que l'amplitude maximum de la tension de sortie ("l'excursion") sera un peu plus petite que la différence entre - V et + V.

Il est important de découpler correctement les alimentations, le plus près possible de chaque AO.

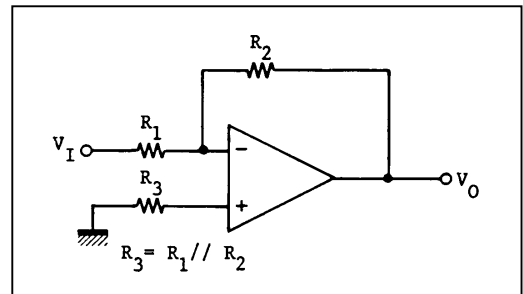
9.2. Les deux montages fondamentaux : l'ampli inverseur et l'ampli non inverseur

La figure ci contre montre deux montages classiques.

Le gain du montage inverseur est donné par la relation

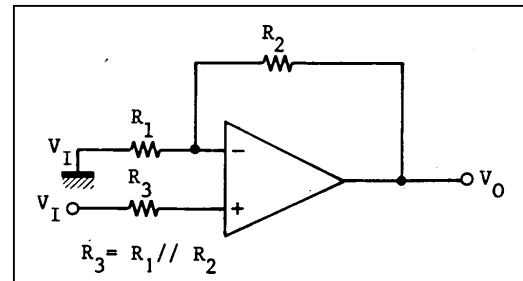
$$A = - (R_2 / R_1)$$

Pour que la dérive en température soit minimale on choisit $R_3 = R_1 // R_2$.



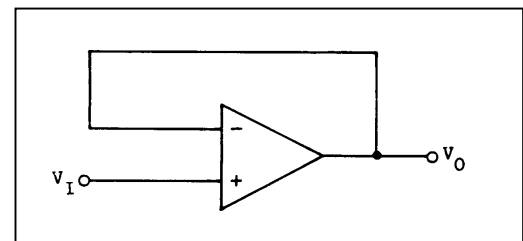
Le gain du montage non-inverseur est donné par la relation :

$$A = 1 + (Z_2 / Z_1)$$



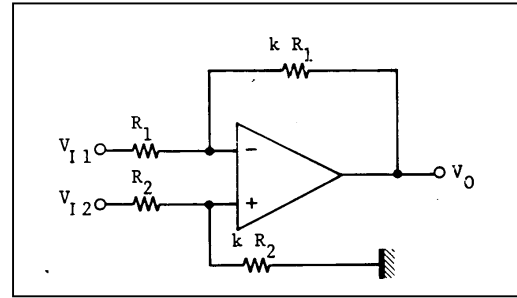
9.3. Le montage suiveur de tension

Dans ce cas le gain est égal à 1.



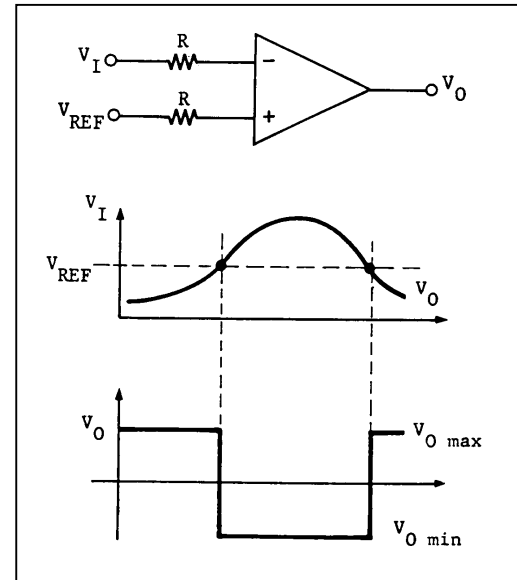
9.4. Amplificateur différentiel

Dans ce cas $V_{out} = k (V_2 - V_1)$



9.5. Comparateur de tension

Dans un comparateur de tension la tension d'entrée V_I est appliquée à l'entrée - par exemple et la tension de référence V_{REF} est appliquée à l'entrée +. La tension de sortie va basculer de $V_{OUT MAX}$ à $V_{OUT MIN}$ selon que V_I est inférieur ou supérieur à V_{REF}



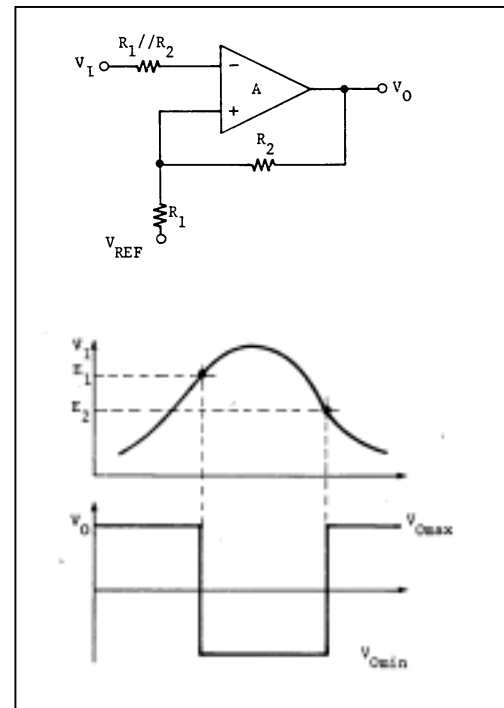
9.6. Trigger de Schmidt

Le trigger de Schmidt possède deux points de basculements (E_1 et E_2) selon que la tension va en croissant ou en décroissant.

$$E_1 = V_{REF} - (R_1 / R_1 + R_2) (V_{REF} - V_{OUT MAX})$$

$$E_2 = V_{REF} - (R_1 / R_1 + R_2) (V_{REF} - V_{OUT MIN})$$

$$\text{hystérésis} = E_1 - E_2 = (R_1 / R_1 + R_2) (V_{OUT MAX} - V_{OUT MIN})$$



9.7. Filtres actifs

Lorsqu'on veut faire des filtres dans le domaine des fréquences audio, les selfs et les condensateurs prennent vite des dimensions inquiétante, par contre les AO permettent de construire des filtres actifs avec seulement quelques R et C.

9.7.1. Filtres passe bas

Le premier filtre est un passe bas du 1er ordre. On choisit d'abord C1, puis on calcule

$$R1 = a11 / 2\pi f C1$$

et $A = R1/R2$

Le deuxième filtre est un passe bas du second ordre. Ici aussi on choisit d'abord $C1 = C2 = C$, puis on calcule

$$R1 = \sqrt{b12} / 2\pi f C$$

puis $A = 3 - a12 / \sqrt{b12}$
 et $R4 = (A-1) R3$

9.7.2. Filtres passe haut

Le troisième filtre est un passe haut du 1er ordre. On choisit d'abord C1, puis on calcule

$$R1 = 1 / 2\pi f a12 C1$$

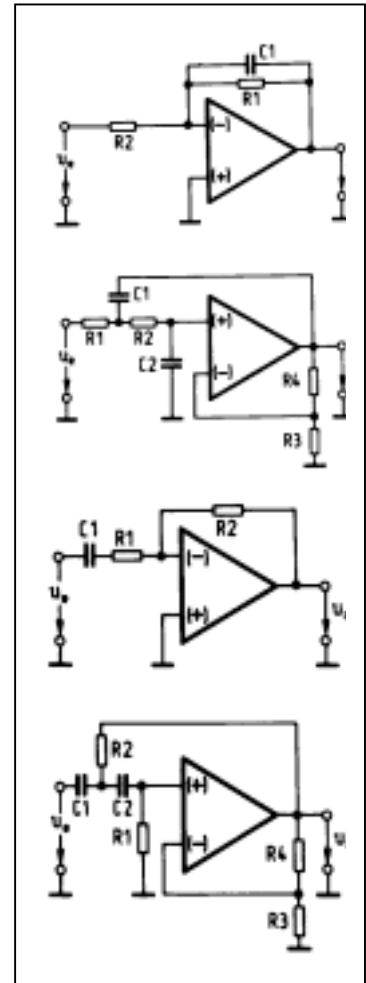
et $A = R1/R2$

Le quatrième est un passe haut du second ordre. Ici aussi on choisit d'abord $C1 = C2 = C$, puis on calcule

$$R1 = 1 / 2\pi f C \sqrt{b12}$$

$$A = 3 - a12 / \sqrt{b12}$$

$$R4 = (A-1) R3$$



9.7.3. Procédure de calcul

- On détermine le type de filtre (atténuation critique, Bessel, Tschebyscheff, ..)
- On fixe l'ordre du filtre. Un filtre du 1er ordre atténue de 6 dB par octave (20 dB par décade), un filtre du 2d ordre atténue de 12 dB par octave, un filtre du 3e ordre atténue de 18 dB par octave et ainsi de suite... Pour faire un filtre du 3eme ordre on met un filtre du 1er ordre en série avec un filtre du 2d ordre.
- On détermine les coefficients d'après le tableau.
- Pour chacun des filtres on détermine les composants. Dans beaucoup de cas on doit fixer d'abord un éléments, on fixera par exemple la valeur d'un condensateur car il est toujours plus facile de trouver une résistance à 1 % qu'un condensateur à 1 % ! Pour le condensateur on choisira des condensateurs styroflex ou des MKM qui ont une bonne précision et une bonne stabilité dans le temps.
- Si on arrive a des valeurs trop exagérées ($R < 10 \Omega$ ou $R > 1M\Omega$) alors recommence les calculs avec une autre valeur de condensateur.

	ordre	étage n°			
atténuation critique	1	1	a11 =	1	b11 = 0
	2	1	a12 =	1,29	b12 = 0,41
		2	a22 =	0,77	b22 = 0,41
	3	1	a13 =	0,51	b13 = 0
		2	a23 =	1	b23 = 0,26
	3	a33 =	0,77	b33 = 0,15	
Bessel	4	1	a14 =	0,87	b14 = 0,19
		2	a24 =	0,87	b24 = 0,19
	5	1	a15 =	0,39	b15 = 0
		2	a25 =	0,77	b25 = 0,15
	6	3	a35 =	0,77	b35 = 0,15
		1	a16 =	0,7	b16 = 0,12
Tschebyscheff (3 dB)	2	2	a26 =	0,7	b26 = 0,12
		3	a36 =	0,7	b36 = 0,12
	3	1	a11 =	1	b11 = 0
		2	a12 =	1,36	b12 = 0,62
	4	1	a13 =	0,76	b13 = 0
		2	a23 =	1	b23 = 0,48
5	1	a14 =	1,34	b14 = 0,49	
	2	a24 =	0,77	b24 = 0,39	
Tschebyscheff (3 dB)	6	1	a15 =	0,67	b15 = 0
		2	a25 =	1,14	b25 = 0,41
	3	3	a35 =	0,62	b35 = 0,32
		1	a16 =	1,22	b16 = 0,39
	4	2	a26 =	0,97	b26 = 0,35
		3	a36 =	0,51	b36 = 0,28
Tschebyscheff (3 dB)	5	1	a11 =	1	b11 = 0
		2	a12 =	1,07	b12 = 1,93
	4	1	a13 =	3,35	b13 = 0
		2	a23 =	0,36	b23 = 1,19
	5	1	a14 =	2,19	b14 = 5,53
		2	a24 =	0,2	b24 = 1,2
6	a34 =	0,2	b34 = 1,2		
Tschebyscheff (3 dB)	6	1	a15 =	5,63	b15 = 0
		2	a25 =	0,76	b25 = 2,65
	3	3	a35 =	0,12	b35 = 1,07
		1	a16 =	3,27	b16 = 11,7
	4	2	a26 =	0,41	b26 = 1,99
		3	a36 =	0,08	b36 = 1,09

9.7.3. Filtre passe bande

Soit A l'amplification du filtre, B la bande passante, on commence par choisir un condensateur, puis, on calcule

$$R2 = 1 / (B \pi C)$$

$$R1 = R2 / 2 A$$

$$R3 = 1 / ((2\pi f C)^2 \times R2)$$

On peut rendre ce filtre ajustable en réglant $R3$.

