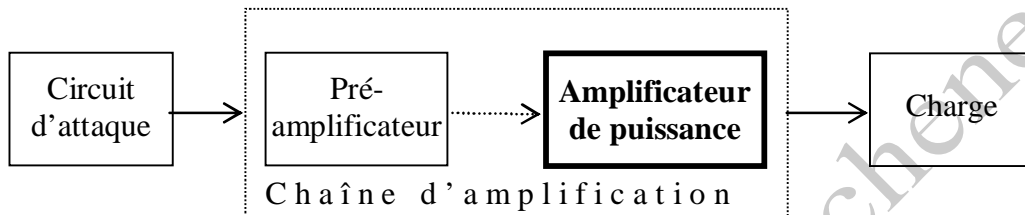


## AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE

### IV Introduction

Un amplificateur constitue en général le dernier étage d'une chaîne amplificatrice. Il est chargé de fournir la puissance demandée par la charge qui lui est branchée à sa sortie. La figure 37 montre une telle structure ; où l'étage de puissance est la partie montrée en gras.



**Fig. 37** Structure de base d'une chaîne amplificatrice

Le bilan de puissance peut être montré d'une façon claire sur la figure 38. Il est impératif de mentionner qu'il n'y a pas de composants électroniques qui fournissent de la puissance ; mais il y a ceux qui permettent de tirer de la puissance de l'alimentation suivant la nature du circuit. Par conséquent, un circuit chargé de fournir une puissance utile  $P_U$  demande à son circuit d'alimentation une puissance  $P_A$  largement supérieure à  $P_U$ .

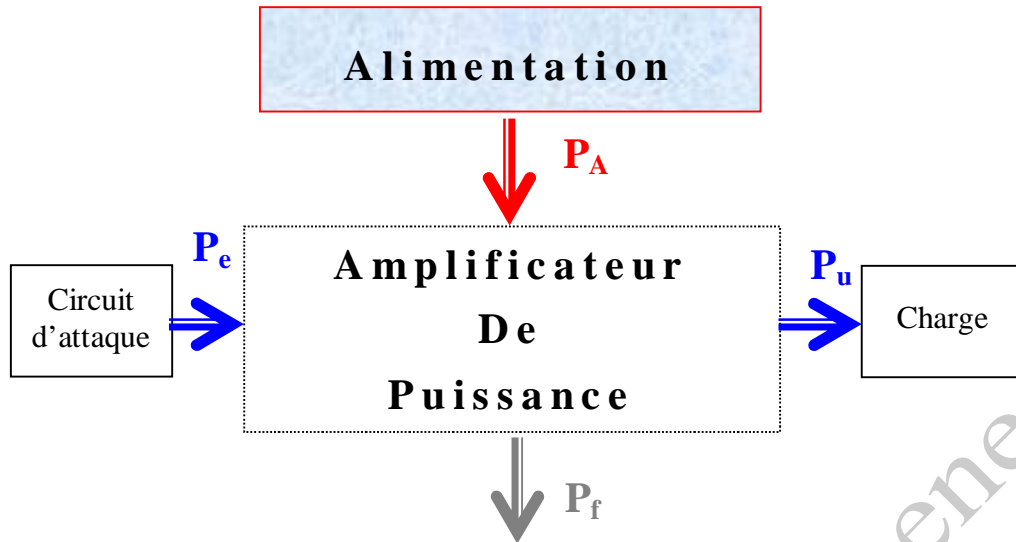
Cependant, pour l'étude des amplificateurs de puissance, le concepteur doit prendre en considération la relation qui lie les puissances fournies au circuit ( $P_e$  et  $P_A$ ) et les puissances sortantes du circuit ( $P_U$  et  $P_f$ ) tel que :

$$G_p = \frac{P_u}{P_e} \text{ Gain en puissance}$$

$$\eta = \frac{P_u + P_f}{P_A + P_e} \text{ Le rendement ; dans la plupart des cas la puissance d'entrée est}$$

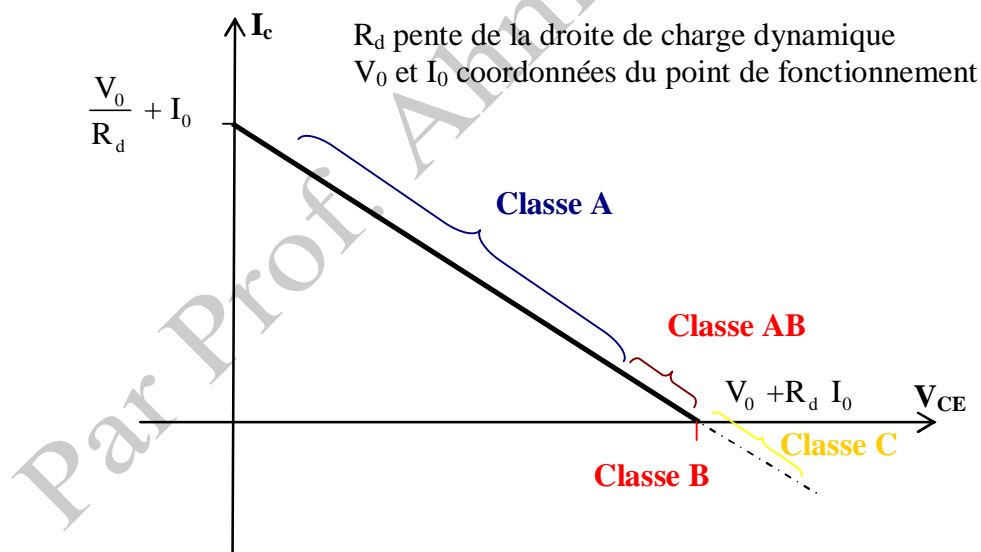
largement inférieure à la puissance d'alimentation. C'est pour cette raison qu'en général la formule du rendement se limite à l'expression :

$$\eta = \frac{P_u}{P_A} \quad (43)$$



**Fig. 38** Bilan de puissance pour un amplificateur de puissance

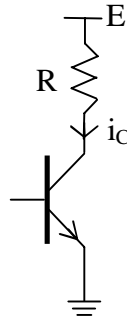
Le rendement d'un circuit amplificateur de puissance dépend de la nature de la polarisation de ses différents étages. Pour voir cette dépendance entre le rendement et la nature de la polarisation, il est utile de montrer sur la figure 39 les différentes classes de polarisation.



**Fig 39** les classes de polarisation

#### IV.2 Amplificateur de puissance Classe A

En classe A, le transistor est polarisé de façon à travailler dans une zone linéaire. Pour avoir une idée sur le rendement d'un amplificateur de puissance en classe A, prenons le circuit simplifié de la figure 40. Dans ce circuit la résistance du collecteur est utilisée comme charge.



**Fig. 40**

Pour un excitation sinusoïdale, la résistance de charge sera parcourue par un courant  $i_C$  composé d'une partie continue  $I_0$  due à la polarisation et une partie  $I_m \sin \omega t$  due à la partie dynamique. La puissance dissipée par la charge sera :

$$p_R(t) = R i_C^2 = R (I_0 + I_m \sin \omega t)^2$$

$$p_R(t) = R I_0^2 + 2R I_0 I_m \sin \omega t + R I_m^2 (\sin \omega t)^2$$

En calculant la puissance moyenne dissipée on trouvera :

$$P_R = R I_0^2 + \frac{1}{2} R I_m^2$$

Avec la puissance utile provoquée par l'excitation :

$$P_U = \frac{1}{2} R I_m^2$$

La puissance délivrée par la source d'alimentation trouvée comme étant la f.e.m  $E$  du générateur de polarisation multipliée par le courant délivrée  $i_C$ . tel que :

$$p_A(t) = E i_C = E (I_0 + I_m \sin \omega t) \text{ dont la valeur moyenne est trouvée comme :}$$

$$P_A = E I_0$$

L'expression du rendement dans ce cas est exprimée par la relation :

$$\eta = \frac{P_u}{P_A} = \frac{\frac{1}{2} R I_m^2}{E I_0}$$

Pour rester en régime linéaire et avoir le plus grand rendement possible  $\eta_{\max}$ , on doit polariser le transistor de façon à avoir le point de fonctionnement  $Q$  au milieu de la droite de charge dynamique,  $I_m$  prend sa plus grande valeur. Dans le cas du circuit simplifié de la figure 40, les deux droites de charge statique et dynamique sont confondues ; c'est ainsi que  $Q$  est au milieu de la droite de charge dynamique fait que :

$I_m = \frac{E}{2R}$  et  $I_0 = \frac{E}{2R}$  ce qui mène à un rendement maximal :

$$\eta_{\max} = \frac{P_u}{P_A} = \frac{\frac{1}{2} R \left( \frac{E}{2R} \right)^2}{E \frac{E}{2R}} = \frac{1}{4}$$

Soit un rendement maximal  $\eta_{\max}$  de 25%

#### IV-3 Amplificateur de puissance en class a avec transformateur d'adaptation

Dans ce cas de figure, la charge est connectée à son circuit d'attaque à travers un transformateur d'adaptation de rapport cyclique  $n = \frac{n_1}{n_2}$  tel qu'il montré par la figure

41. En statique le primaire du transformateur ( $n_1$ ) se comporte comme un court circuit ce qui mène  $V_{CE}$  à prendre la valeur de l'alimentation  $E$  indépendamment de  $I_C$ .

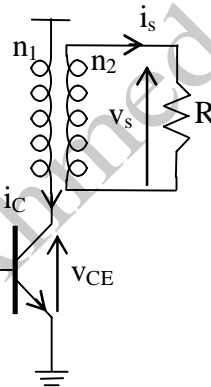


Fig. 41

La droite de charge correspond à une droite parallèle à l'axe  $I_C$  et coupe l'axe  $V_{CE}$  en  $E$  comme montré par la figure 42. Pour un rendement maximal, le point de fonctionnement doit être placé au milieu de la droite de charge dynamique. Dans ce cas, les deux droites de charge se coupe en  $Q$ , point de fonctionnement d'abscisse  $E$ . Le tracé de la droite de charge pour un rendement maximal est illustré par la figure 43. Le rendement maximal peut être calculé suivant l'expression :

$$\eta_{\max} = \frac{P_u}{P_A} = \frac{\frac{1}{2} R \left( \frac{E}{R} \right)^2}{E \frac{E}{R}} = 0,50$$

Soit un rendement maximal de 50%

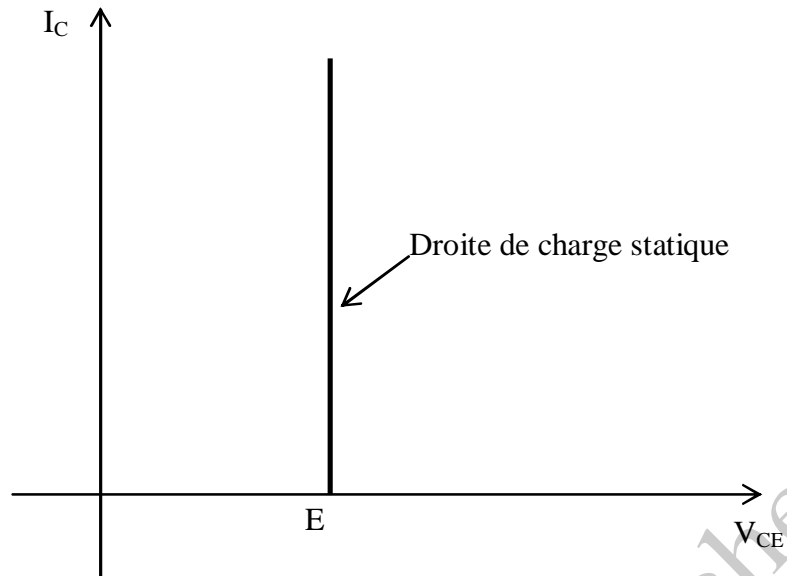


Fig. 42 Droite de charge statique

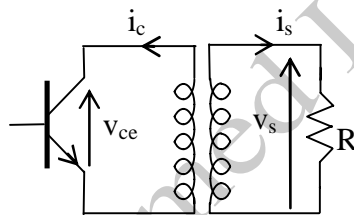


Fig. 43 Circuit en alternatif ( $E=0$ )

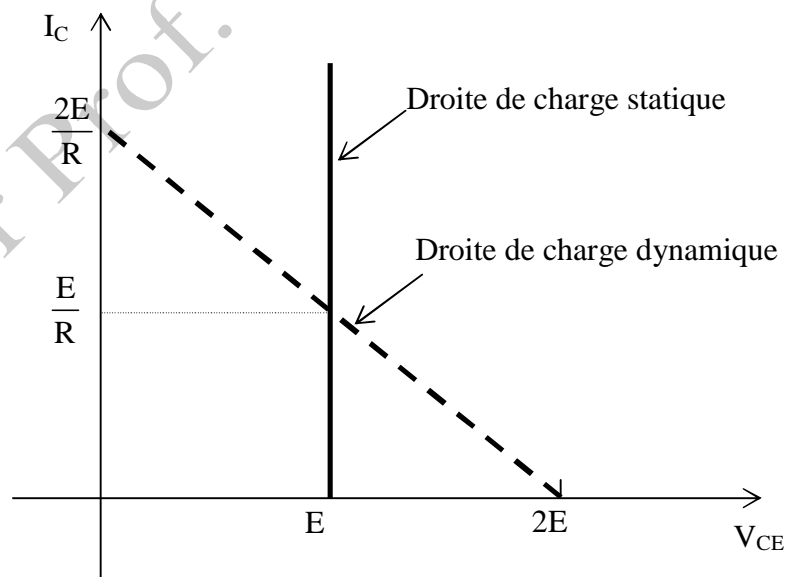


Fig. 44 L'intersection des deux droites de charge statique et dynamique pour un point de fonctionnement au milieu de la droite de charge dynamique

#### IV.4 Amplificateur de puissance Classe B

Le mauvais rendement constaté au niveau des amplificateurs de puissance en classe A considérés auparavant est dû essentiellement à la consommation du circuit en régime statique. En d'autres termes au repos, un courant  $I_0$ , ordonnée du point de fonctionnement, est demandé à l'alimentation. Par conséquent, la première idée qui vient en tête pour l'amélioration du rendement est d'éliminer la consommation au repos, d'où la polarisation en classe B. Donc la classe B consiste à polariser les transistors de sorte qu'ils soient bloqués au repos. Seul le courant de base généré par le signal d'excitation est responsable de la conduction du transistor. La figure 45 illustre ce cas et montre que pour chacun des deux types de transistors NPN et PNP une partie du signal est absente.

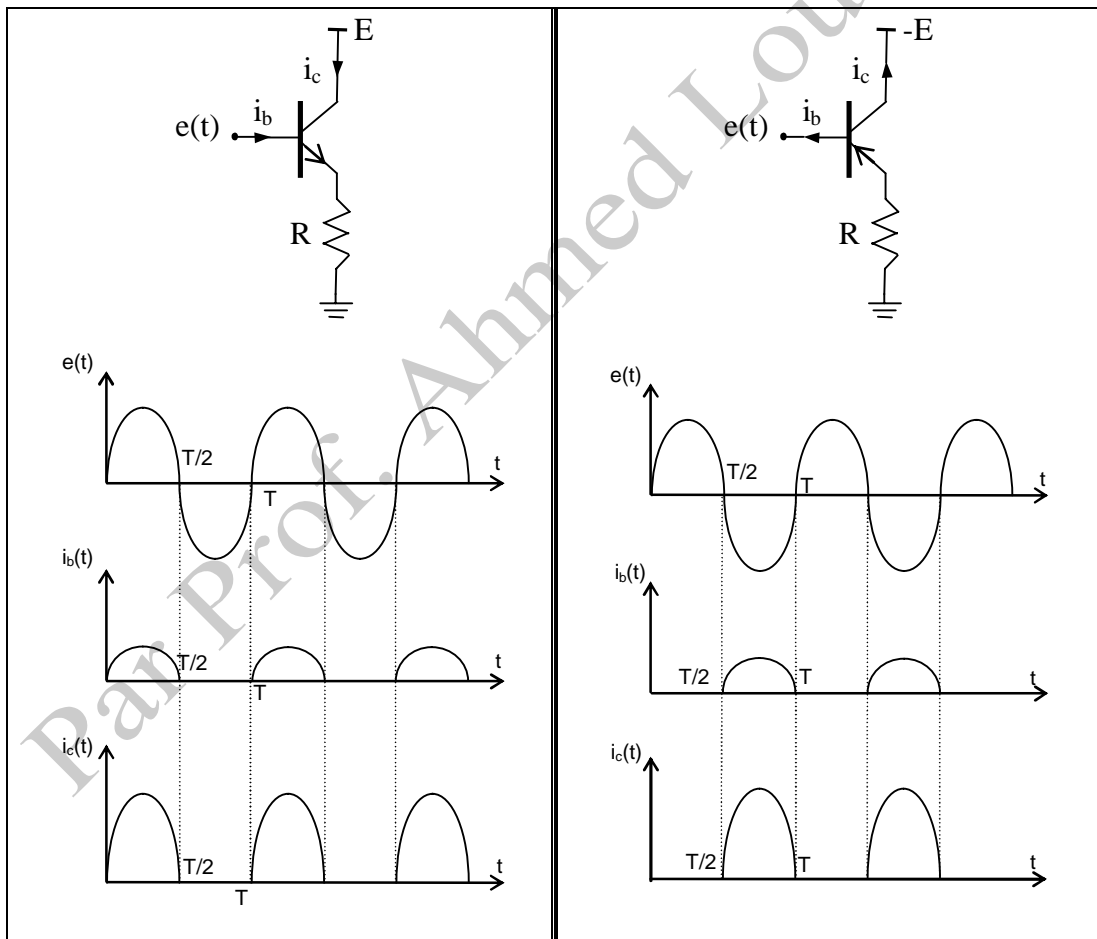


Fig. 45 Réponse d'un transistor en classe B pour une excitation sinusoïdale

##### IV.4.1 PUSH-PULL SERIE

L'idée d'un push pull est la combinaison de deux transistors complémentaires pour que l'ensemble travaille en régime linéaire et d'avoir en sortie une réponse

sinusoïdale pour une excitation sinusoïdale. Le circuit de la figure 46 montre le schéma de principe d'un push pull série. En considérant le circuit de principe de la figure 46, pour une excitation  $e(t)$  sinusoïdale on aura une sortie  $s(t)$  tel que :

$$s(t) = Ri_s \text{ avec } i_s = i_{e1} - i_{e2} = i_{c1} - i_{c2}$$

Les courbes de la figure 46 montrent d'une façon très claire, que les deux transistors travaillent d'une façon alternée et non linéaire. Les deux transistors associés donne un montage linéaire.

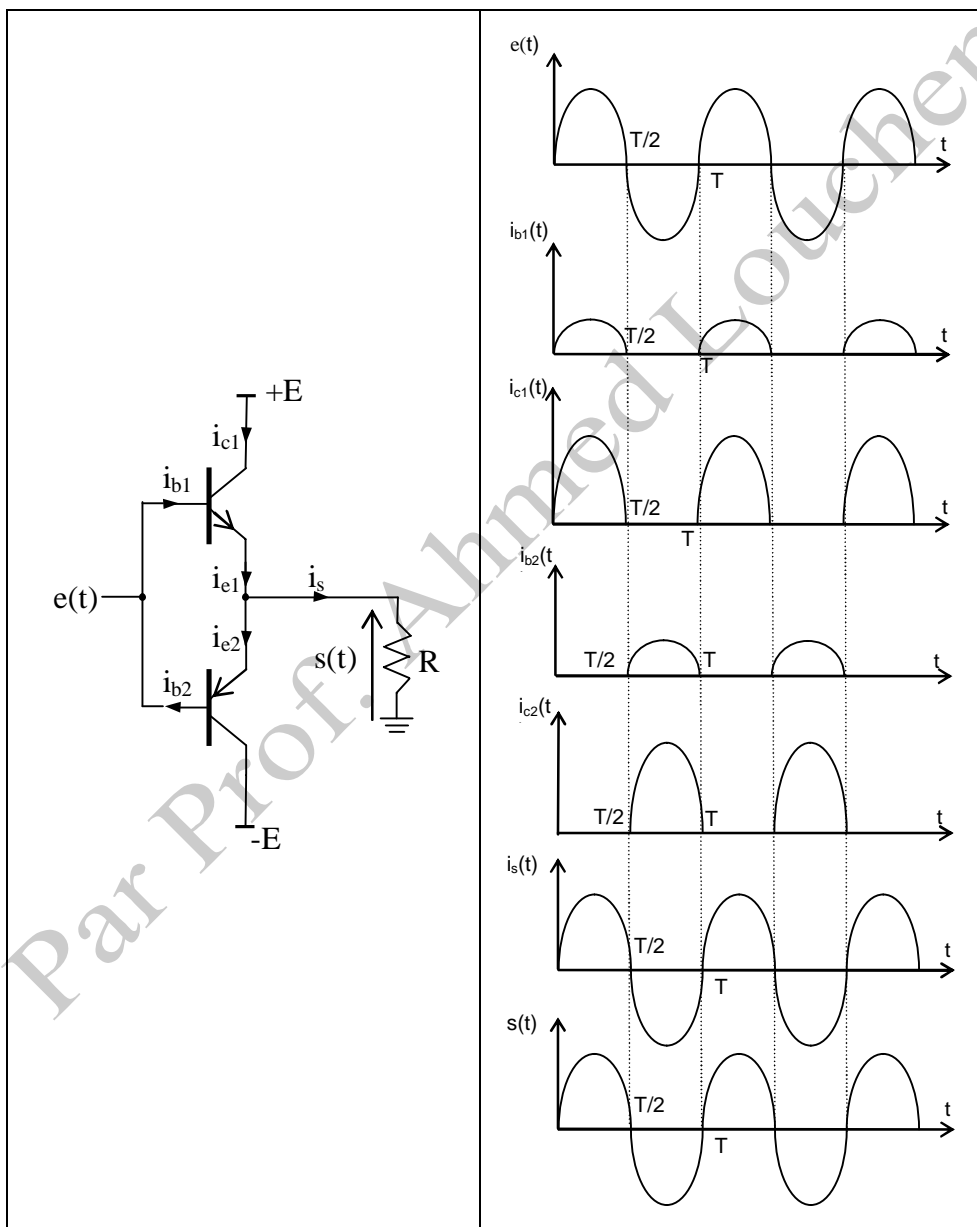


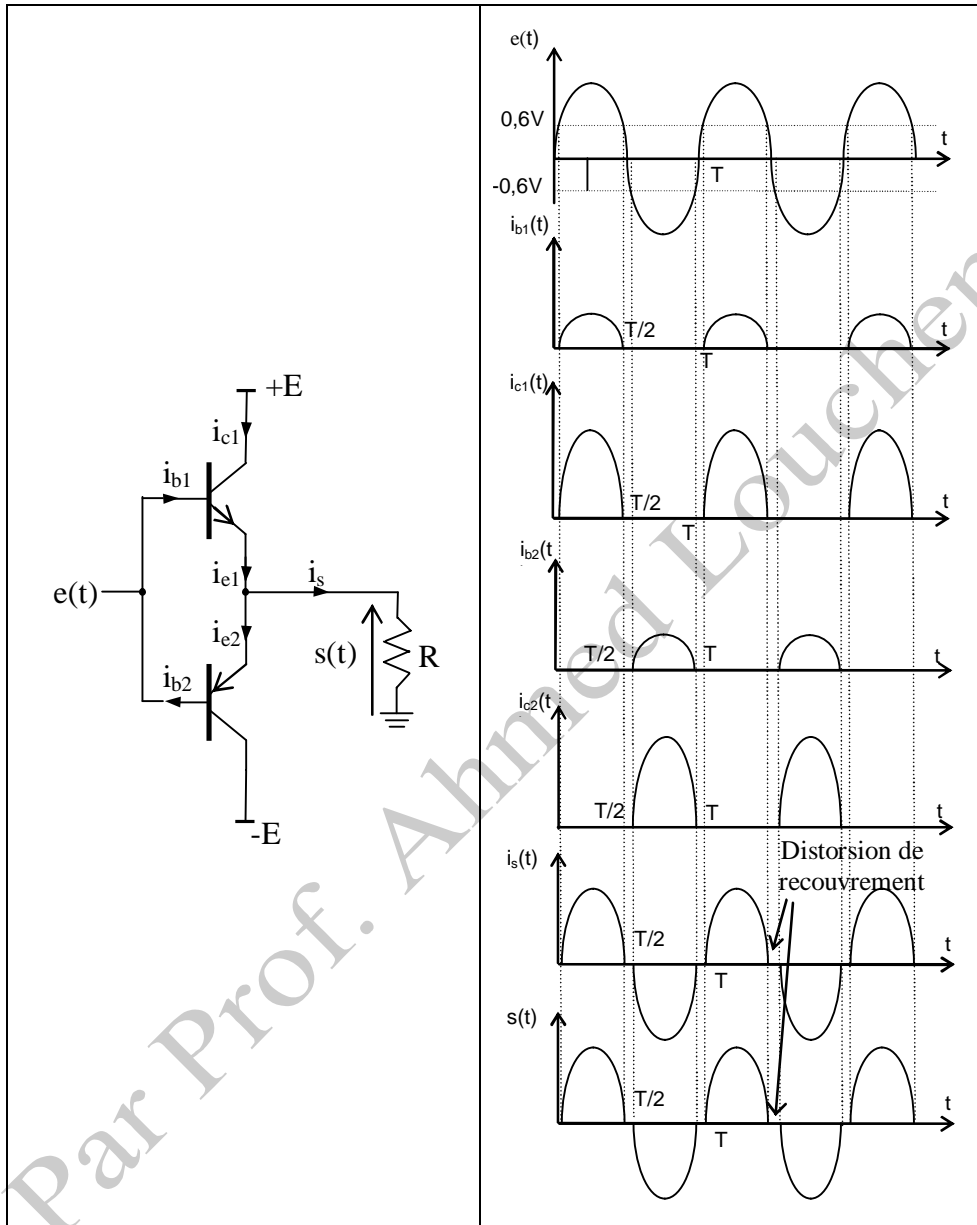
Fig. 46 Principe d'un push pull série

Jusqu'à présent nous avons négligé l'effet de la valeur de  $V_{BE}$  des transistors. En réalité un transistor ne commence à travailler que si la tension au niveau de sa

base dépasse la tension de seuil de la jonction Base –Emetteur :

$\geq + 0,6V$  pour un NPN en silicium.

$\leq - 0,6V$  pour un PNP en silicium.



**Fig. 47** Figure montrant la distorsion de recouvrement induite par les seuil des jonctions PN ( Base-Emetteur) des transistors.

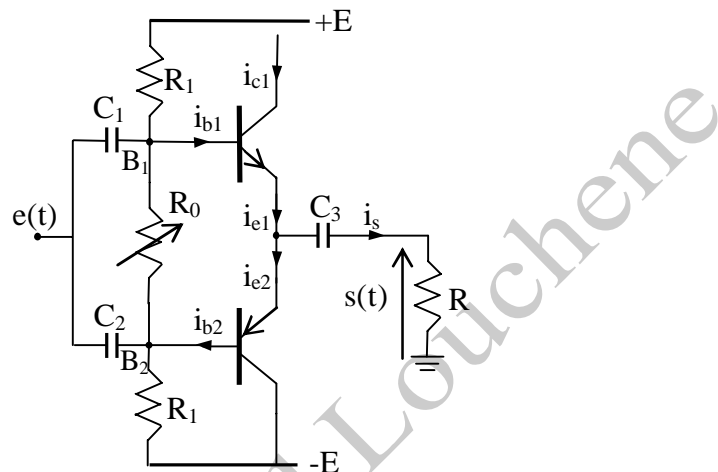
Pour remédier à ce problème de distorsion on fait appel à une polarisation dite de limite de blocage des transistors. Ça correspond à fixer, en statique, les bases des deux transistors à des tensions correspondantes aux seuils de leurs jonctions Base-Emetteur. La figure 48 montre une possibilité de polarisation, où une fraction de la



ddp  $(E - (-E) = 2E)$  est prise grâce au pont diviseur  $R_1, R_0, R_1$ .

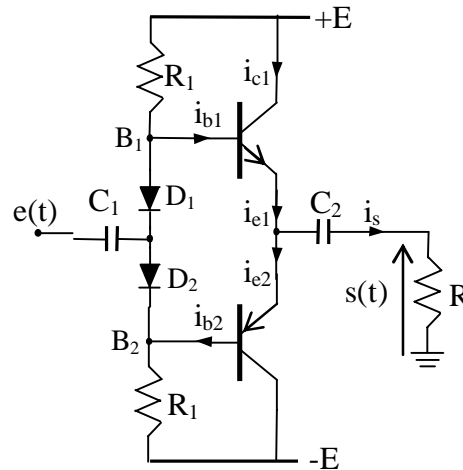
Pour  $V_{B1} = 0,6V$  et  $V_{B2} = -0,6V$  nous devons ajuster la résistance variable de façon à avoir :

$$V_{B1} - V_{B2} = \frac{R_0}{R_0 + 2R} 2E = 1,2V$$



**Fig. 48** Compensation de la distorsion de recouvrement  
par l'emploi d'un pont diviseur de tension

Ce circuit semble travailler correctement. Cependant, le facteur de température n'est pas pris en considération. Il ne faut pas oublier que les transistors sont des composants à semi-conducteur. La température a un effet très gênant sur leurs paramètres, parmi lesquels on peut citer le seuil de la jonction base-émetteur ( $V_{BE}$ ). La différence au niveau de la dépendance en température, entre le pont de polarisation  $R_1, R_0, R_1$  et  $V_{BE}$  des transistors, fait que après un certain temps de fonctionnement la distorsion de recouvrement réapparaît de nouveau. C'est pour cette raison qu'en général, pour les circuits travaillant avec une puissance importante et qui chauffent conséquemment, on insère dans leur circuit de polarisation des diodes pour qu'il y ait compensation. Le circuit de la figure 49 montre un exemple.



**Fig. 49** Compensation de la distorsion de recouvrement par l'emploi de deux diodes dans le circuit de polarisation

Pour le calcul du rendement, on commence par le calcul des puissances  $P_A$  de l'alimentation et  $P_U$  dans la charge  $R$ .

Puissance demandée à l'alimentation

$$p_A(t) = E i_{C1} + (-E)(-i_{C2}) = E i_{C1} + E i_{C2}$$

Du moment que les deux transistors sont complémentaires on a  $i_{C1} = i_{C2} = i_C$ .

Avec la puissance moyenne  $P_A = \frac{2EI_{CM}}{\pi}$

Où  $I_{CM}$  représente l'amplitude du courant  $i_C$ .

Puissance utile délivrée à la charge

$$p_U(t) = R i_s^2 = \begin{cases} R i_{C1}^2 & \text{pour } 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ R (-i_{C2})^2 & \text{pour } \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases}$$

Du moment que les deux transistors sont complémentaires on a  $i_{C1} = i_{C2} = i_C$ .

D'où :

$$P_U = \frac{1}{2} R I_{CM}^2$$

Ce qui mène à trouver le rendement comme étant :

$$\eta = \frac{P_U}{P_A} = \frac{\frac{1}{2} R I_{CM}^2}{\frac{2EI_{CM}}{\pi}} = \frac{\pi R I_{CM}}{4E}$$

Pour un rendement maximal, on prend la plus grande amplitude que peut prendre la sortie sans distorsion ; ceci correspond à une amplitude de sortie  $S_M = E$

correspondant à une amplitude de courant  $I_{SM} = I_{CM} = \frac{E}{R}$ . Par conséquent, la valeur maximale que peut prendre le rendement maximal de ce circuit est :

$$\eta_{\max} = \frac{\pi R \frac{E}{R}}{4E} = \frac{\pi}{4} = 0,785 \quad \text{soit } \eta_{\max} = 78,5\%$$

#### IV.4.2 PUSH-PULL PARALLELE

Dans cette partie nous n'allons pas entrer en détails dans l'étude du push pull parallèle. Nous nous limitons à son circuit qui, en réalité, n'exige pas la complémentarité des transistors. La pièce maîtresse de ce circuit réside dans les transformateurs à point milieu utilisés en entrée comme en sortie. Les figures 50, 51 et 52 montrent le schéma simplifié d'un push pull parallèle et son principe de fonctionnement. Avec ce type de montage un rendement de 78,5% est atteint.

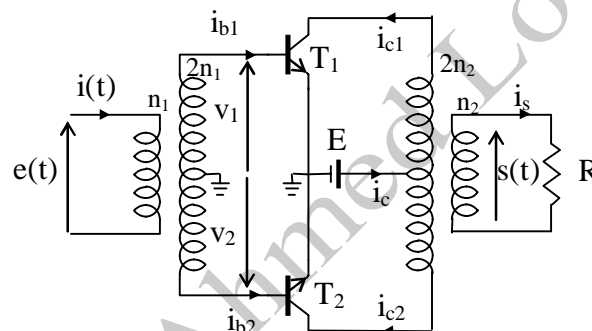


Fig. 50 Push pull parallèle

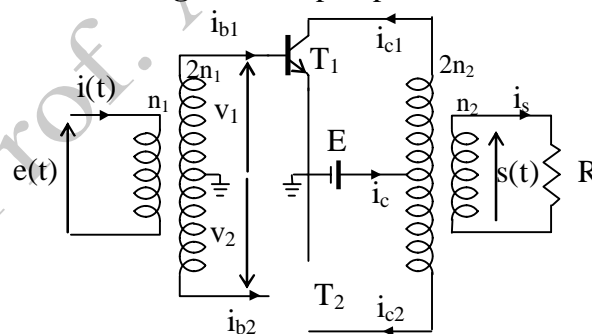


Fig. 51 Comportement du circuit pour l'alternance positive de e(t)

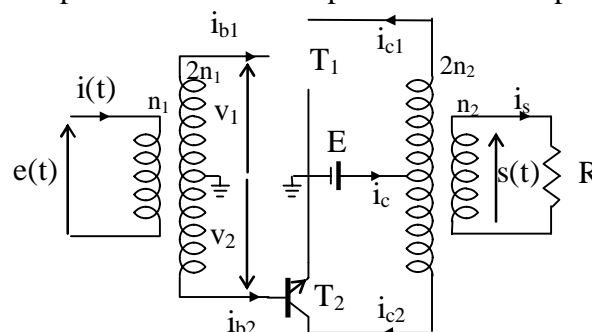


Fig. 52 Comportement du circuit pour l'alternance négative de e(t)