

¹ALIMENTATION STABILISEE

Le montage de la figure 1 représente une alimentation stabilisée réglable utilisant un amplificateur opérationnel dont le gain en tension A est égal à $200 \cdot 10^3$. Elle est chargée par une résistance d'utilisation R_U de 75Ω . La diode Zener sera considérée comme fournissant une tension V_Z de $5V$ parfaitement stable. On ne s'occupera pas, dans ce travail, de son alimentation par la source U . On prendra dans cette première partie $V_A = 30 V$. On donne le gain en courant du transistor « ballast » NPN 2N5294 : $\beta = 125$. Sa résistance interne r_{ce} est suffisamment importante pour être négligée.

A- ETUDE DE DIMENSIONNEMENT

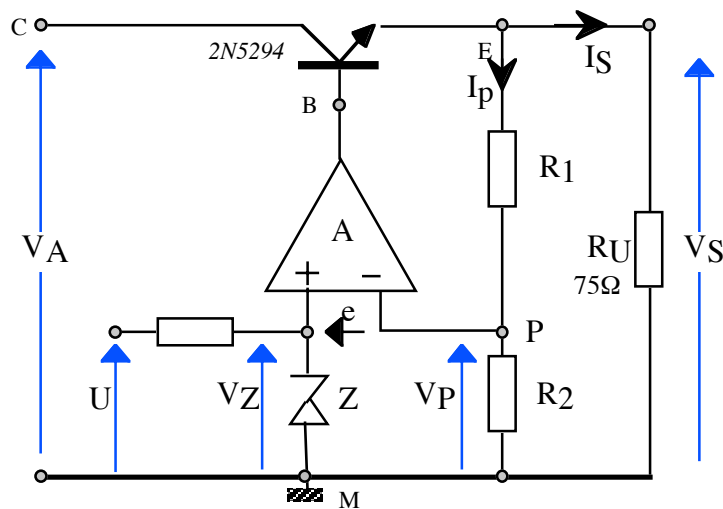


Figure 1

1. Déterminer la valeur de la tension V_P en utilisant la propriété fondamentale qui commande le comportement d'un amplificateur opérationnel idéal en mode linéaire.
2. La valeur de V_S étant de $15 V$, calculer celle du courant I_S .
3. On choisit les résistances R_1 et R_2 pour que le pont formé par ces deux résistances consomme un courant I_P de 1 mA . Déterminer leurs valeurs.
4. Evaluer la tension V_{BM} entre la base B du transistor et la masse M et la valeur du courant de base I_B du transistor.
5. On remplace R_1 par une valeur double de celle calculée en question 3. Déterminer alors les nouvelles valeurs des courants et des tensions en tous les nœuds du schéma. On a toujours un courant I_P de 1 mA .

6. On veut maintenant faire varier la tension de sortie V_S de 10V à 25 V en remplaçant le pont R_1, R_2 par l'ensemble R'_1, R, R'_2 (figure 2) où R est un potentiomètre permettant de modifier le rapport $k = \frac{V_P}{V_S}$. En considérant que le pont doit toujours consommer un courant de 1mA lorsque $V_S = 15$ V, déterminer les valeurs pratiques des résistances : R'_1, R, R'_2 .

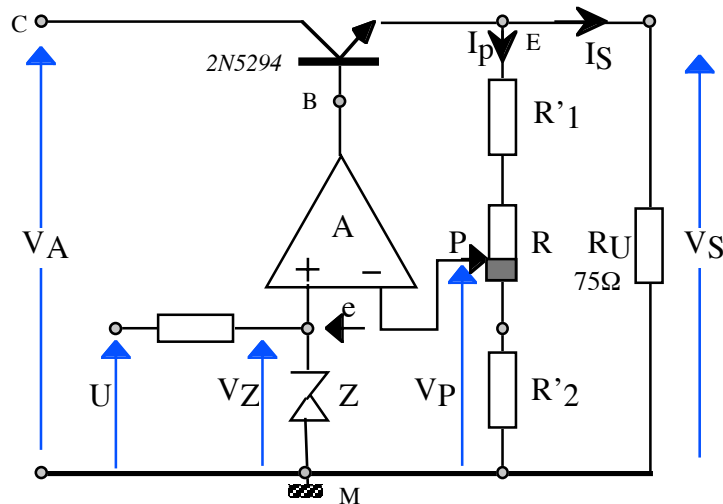


Figure 2

7. Lorsque l'on règle le potentiomètre R , V_S varie et I_S aussi. Calculer, en fonction de V_A , V_S et R_U , la puissance P_T dissipée par le transistor et montrer qu'elle passe par un maximum pour une certaine valeur de V_S que l'on déterminera. Donner alors la valeur de la puissance maximale dissipée par le transistor.
8. On donne les caractéristiques thermiques du transistor :
- $T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$ $R_{th\ j-case} = 3,5^\circ\text{C/W}$ $R_{th\ j-amb} = 70^\circ\text{C/W}$ sans radiateur.
- En prenant une température ambiante $T_{amb} = 50^\circ\text{C}$, doit-on mettre un radiateur pour évacuer la chaleur ?
- Si oui, quelle valeur donneriez-vous à la résistance thermique $R_{th\ Rad}$ radiateur ?

B- ETUDE DYNAMIQUE

En fait, la tension d'entrée du montage est composée d'une tension constante V_A (prise en compte dans la première partie) à laquelle se superpose une tension variable v_a de fréquence f de 100 Hz et ayant une amplitude de quelques volts, représentant une tension dite de « ronflement », issue du procédé de redressement et de filtrage de la tension du secteur via un transformateur.

L'étude commence par une approche faite sur le schéma simplifié de la figure 3.

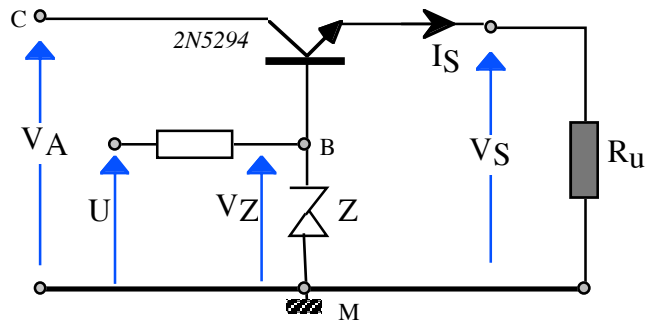


Figure 3

9. Dessiner le schéma équivalent aux petites variations, en supposant que V_A , V_S et I_S peuvent varier selon v_a , v_s et i_s , mais que V_Z est parfaitement stable auquel cas, sa variation est nulle. On négligera, par la suite, la résistance interne r_{ce} du transistor.
10. En déduire l'équation qui lie les variations de v_s et i_s aux paramètres du transistor.
11. Ecrire l'expression de la résistance interne r_i de l'alimentation : $r_i = \left[\frac{v_s}{-i_s} \right]_{v_a=0}$
12. Faire l'application numérique avec : $V_A = 30$ V, $V_S = 15$ V et $I_S = 0,2$ A.
13. On revient maintenant au schéma de la partie A de l'étude. Dessiner le schéma équivalent aux petites variations de la figure 1, sachant que l'amplificateur a un gain en tension A et une résistance interne de sortie R_g négligeable.
14. Réécrire alors l'équation de Q_{10} . Remarque : il n'est pas nécessaire de refaire le calcul complet, car il suffit de modifier le terme relatif à la branche de courant de base du transistor, en tenant compte des termes A et de k définis plus haut.
15. Ecrire l'expression de la résistance interne r'_i de l'alimentation à partir de la question précédente.
16. Faire l'application numérique avec : $V_A = 30$ V, $V_S = 15$ V et $I_S = 0,2$ A.
17. Maintenant, la résistance interne de sortie R_g de l'amplificateur n'est pas négligeable. Qu'y a-t'il de changé dans l'expression de Q_{14} et l'expression de Q_{15} ? On donne : $R_g = 500\Omega$. Calculer la nouvelle valeur de la résistance interne de l'alimentation.

CORRECTION

A- ETUDE DE DIMENSIONNEMENT

1. La tension V_{BM} représente la tension de sortie de l'A.O.P. Dans ces conditions :
- $$V_{BM} = A(V_Z - V_P)$$

Sachant que la tension V_{BM} est inférieure à 30 V, on obtient : $V_Z - V_P < \frac{V_{BM}}{A} = 0,15mV$

La tension V_P est donc sensiblement égale à 5V.

2. Courant de sortie : $I_S = \frac{V_S}{R_u} = 200mA$
-

3. On rappelle que le courant d'entrée de l'A.O.P. est nul aussi : $R_2 = 5\text{ k}\Omega$ et $R_1 = 10\text{ k}\Omega$.
-

4. Tension $V_{BM} = V_{BE} + V_S = 15,6\text{ V}$ alors que $V_{CE} = V_A - V_S = 15\text{ V}$. Avec un gain en courant de 125, le courant de base du transistor est fixé à 1,6 mA.
-

5. On prend $R_1 = 20\text{ k}\Omega$. La résistance R_2 est inchangée soit : $5\text{ k}\Omega$.
Sachant que $I_P = 1\text{ mA}$, la tension s'exprime : $V_S = (R_1 + R_2) I_P = 25\text{ V}$, conduisant à un courant $I_S = 0,33\text{ A}$.

$$V_{BM} = 25,6\text{ V} \quad V_{CE} = 5\text{ V} \quad I_B = 3,2\text{ mA}.$$

6. Pour une tension V_S de 15 V, on a une première relation, en effet, la somme des résistances est telle que :
- $$R'_1 + R + R'_2 = V_S / I_P = 15\text{ k}\Omega.$$
- D'autre part, $V_P = V_Z = 5\text{ V}$.
Si on appelle V_{S1} et V_{S2} les valeurs extrêmes de la tension de sortie V_S , on peut écrire les relations suivantes où l'on a exprimé les coefficients k_1 et k_2 correspondants (le montage est un diviseur de tensions)

$$V_{S1} = 10\text{ V} = \frac{V_P}{k_1} = V_P \frac{R'_1 + R + R'_2}{R + R'_2} \quad V_{S2} = 25\text{ V} = \frac{V_P}{k_2} = V_P \frac{R'_1 + R + R'_2}{R + R'_2}$$

On en déduit alors : $R'_2 = 3\text{ k}\Omega$, $R = 4,5\text{ k}\Omega$ et $R'_1 = 7,5\text{ k}\Omega$ soit en valeurs normalisées : 3,3 k Ω , 4,7 k Ω et 8,2 k Ω .

7. La puissance dissipée par le transistor est telle que :

$$P_T = V_{CE} I_C \text{ avec : } V_{CE} = V_A - V_S \text{ et } I_C = I_S = \frac{V_S}{R_u}$$

$$P_T = \frac{1}{R_u} (V_A V_S - V_S^2)$$

Calculons la dérivée de P_T par rapport à V_S : $\frac{dP_T}{dV_S} = \frac{1}{R_u}(V_A - 2V_S)$

La puissance sera maximale pour $V_S = \frac{V_A}{2} = 15V$, valeur pour laquelle la dérivée est nulle.

Dans ces conditions : $V_{CE} = 15V$ et $I_S = 0,2A$ alors $P_T = 3W$.

8. Dans un premier temps, calculons la température de la jonction du transistor utilisé sans radiateur : $T_j - T_{amb} = R_{th_{j-amb}} P_T = 210^\circ C > 150^\circ C$

Il faut donc un radiateur pour ne pas dépasser la température maximale de la jonction.

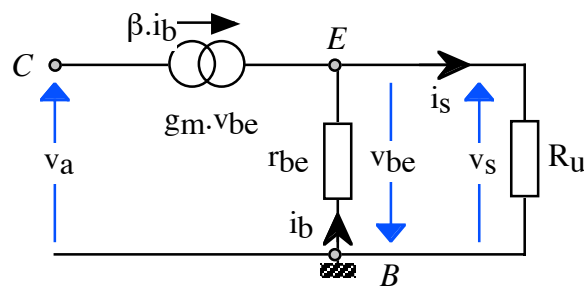
La résistance thermique du radiateur vient se placer en série avec le boîtier (case). Il faut donc assurer une résistance thermique jonction ambiante telle que :

$$R_{th_{j-amb}} < \frac{T_{jmax} - T_{amb}}{P_T} = 33^\circ C/W$$

Sachant que : $R_{th_{j-case}} = 3,5^\circ C/W$, Il faut un radiateur tel que : $R_{th_{rad}} < 29,5^\circ C/W$

B- ETUDE DYNAMIQUE

9. Schéma du montage aux petites variations.



10. On choisi de travailler en « $g_m \cdot v_{be}$ ».

$$i_s = g_m \cdot v_{be} + \frac{v_{be}}{r_{be}} \quad \text{avec : } v_{be} = -v_s$$

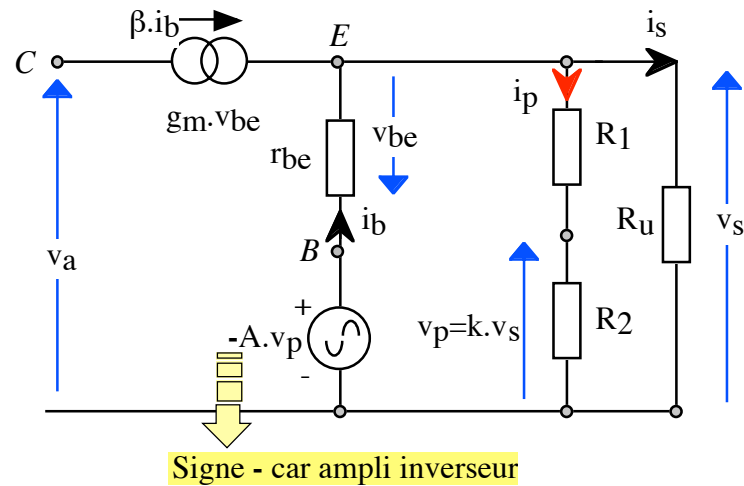
$$i_s = -v_s \left(g_m + \frac{1}{r_{be}} \right)$$

11. Résistance interne de l'alimentation : $r_i = \frac{1}{g_m + \frac{1}{r_{be}}} \approx \frac{1}{g_m}$

12. Application numérique à $25^\circ C$:

$$r_{be} = \beta \frac{U_T}{I_C} = 125 \frac{25}{200} = 15,6\Omega \quad g_m = \frac{I_C}{U_T} = 8S \quad r_i = 0,125\Omega.$$

13. Schéma aux variations du montage de la première partie c'est-à-dire de la figure 1.



14. On remarquera que $(R_1 + R_2) \gg R_u$, dans ces conditions le courant I_p est négligeable devant le courant I_s .

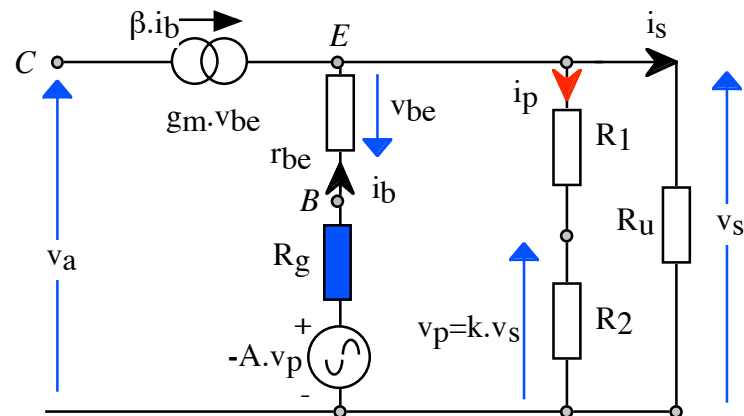
$$i_s = (\beta + 1)i_b \quad \text{avec : } i_b = \frac{-k.Av_s - v_s}{r_{be}} = -v_s \left(\frac{1 + k.A}{r_{be}} \right)$$

$$i_s = - \frac{(\beta + 1)(1 + k.A)}{r_{be}} v_s$$

15. Nouvelle résistance interne de l'alimentation : $r'_i = \frac{v_s}{-i_s} = \frac{r_{be}}{(\beta + 1)(1 + k.A)} \approx \frac{1}{g_m k.A}$

16. Application numérique : $k = 1/3$ $r'_i = 1,9 \mu\Omega$

17. Le nouveau schéma équivalent est le suivant :



- La résistance R_g est en série avec r_{be} . Il est donc facile de modifier les résultats :

$$i_s = - \frac{(\beta + 1)(1 + k.A)}{r_{be} + R_g} v_s$$

$$r'_i = \frac{v_s}{-i_s} = \frac{r_{be} + R_g}{(\beta + 1)(1 + k.A)} = 61 \mu\Omega$$