LA BASCULE DE SCHMITT

LA bascule de Schmitt est un circuit de transformation des signaux électriques, comportant donc une entrée, et une sortie. Attaquée, sur la première, par des tensions de forme quelconque, elle délivre, sur la deuxième, des créneaux. Les niveaux des paliers inférieurs ou supérieurs ne dépendent que de la bascule elle-même, ainsi que les durées des transitions des uns aux autres.

Schéma et fonctionnement d'une bascule

La figure 1 montre le schéma d'une bascule de Schmitt, dans sa version la plus classique, et la plus dépouillée. Nous noterons :

– E, la tension d'alimentation, positive dans l'exemple choisi, puisque les transistors sont de type NPN.

– V_e, la tension variable qui commande l'entrée, c'est-à-dire la base de T_1.

– V_s, la tension de sortie, prise sur le collecteur de T_2.

– U_E, le potentiel commun aux deux émetteurs, qui débitent dans la résistance R_2.

– U_B, le potentiel de la base de T_2.

Précisons dès maintenant deux caractéristiques communes à toutes les bascules de Schmitt, et dont l'importance apparaîtra au cours de nos explications :

– les résistances de collecteur sont inégales, R_1 étant plus grande que R_5,

– la somme des résistances R_3 et R_4 est très supérieure à R_1.

Les transistors évoluent entre le blocage et la saturation

Imposant à priori ce type de fonctionnement, nous en rechercherons les conditions, en nous rappelant qu'un transistor saturé est à peu près assimilable à un interrupteur fermé, et un transistor bloqué, à un interrupteur ouvert.

Supposons alors T_1 saturé, et remplaçons-le donc par un interrupteur fermé : le schéma de la figure 1 devient équivalent à celui de la figure 2. En négligeant le courant qui traverse l'ensemble R_3, R_4, ainsi que la base de T_2, on peut écrire que U_E est imposée par le pont diviseur R_1, R_2 :

$$U_{E1} = E\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Cette tension est aussi celle de l'émetteur de T_2, dont la base ne reçoit qu'une fraction U_B de U_{E1}, déterminée par R_3 et R_4, et inférieure à U_{E1}. Puisque le potentiel de base de T_2 est inférieur à son potentiel d'émetteur, T_2 est bloqué.

Supposons maintenant T_1 bloqué : le schéma de la bascule équivaut à celui de la figure 3. Puisqu'on veut que T_2 soit saturé, on peut le remplacer par un interrupteur fermé, et calculer la nouvelle valeur de U_E, soit U_{E2} :

$$U_{E2} = E\frac{R_2}{R_5 + R_2}$$

Elle est supérieure à la précédente, car nous avons choisi R_5 inférieure à R_1.

La condition « T_2 saturé » implique que son potentiel de base, U_B, soit supérieur à la valeur U_{E2} que nous venons de calculer. Or, puisqu'aucun courant ne traverse T_1, le diviseur R_1, R_3, R_4, donne :

$$U_B = \frac{R_4}{R_1 + R_3 + R_4}E$$

R_1, très inférieure à R_3 et R_4, peut d'ailleurs être négligée :

$$U_B = \frac{R_4}{R_3 + R_4}E$$

La condition « U_B supérieure à U_{E2} », impose le rapport entre les résistances R_3 et R_4.

Les niveaux des créneaux de sortie

Chemin faisant, nous venons de déterminer les niveaux des paliers des créneaux recueillis au collecteur de T_2. En effet, si T_2 est bloqué, le potentiel de sortie vaut E, car il n'y a pas de courant dans R_5. Si T_2 est saturé, V_s égale la dernière valeur calculée pour U_E, soit U_{E2} :

$$V_s = \frac{R_2}{R_5 + R_2}E$$

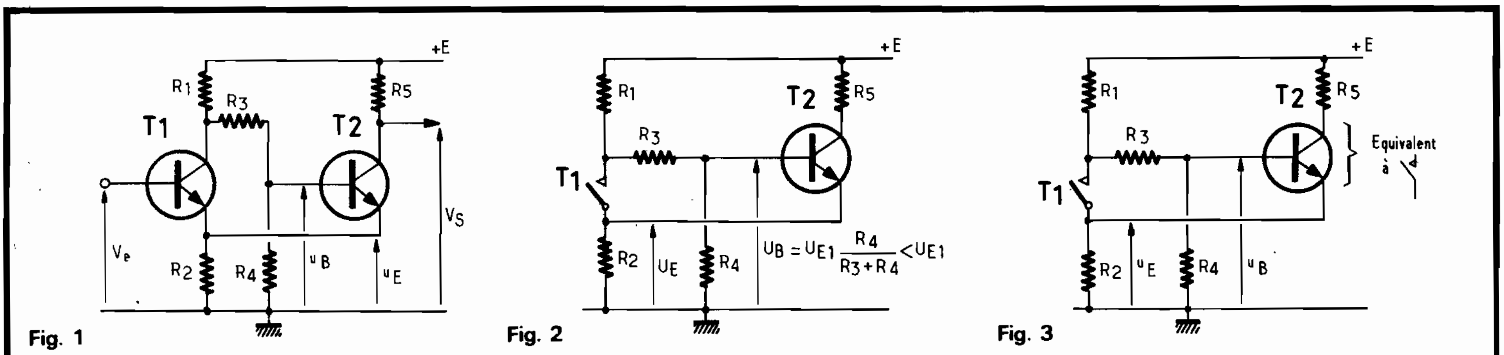

Fig. 1 Fig. 2 Fig. 3

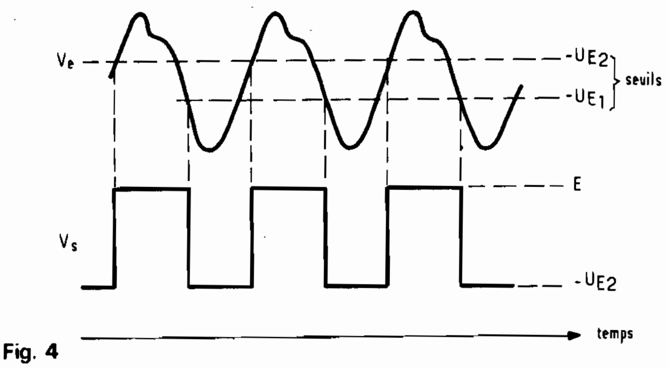

Fig. 4

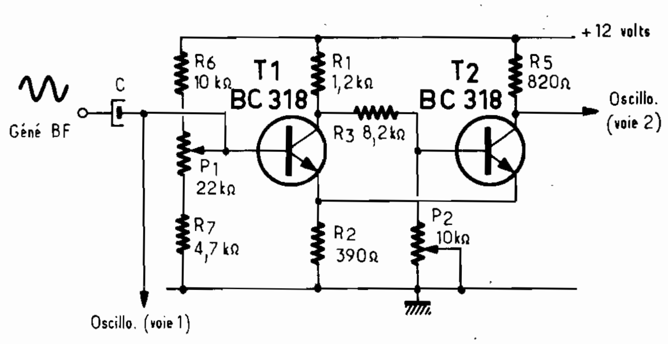

Fig. 5

Seuils de basculement

La transition, de l'un vers l'autre des deux états possibles, ne dépend que de la tension V_e appliquée sur la base de T_1. Baptisons 1 l'état où T_1 est saturé, et 2 celui où il est bloqué.

Lorsque T_1 est saturé, le potentiel V_e de sa base excède U_{E1} d'au moins 0,6 V. T_1 se bloque quand V_e descend en dessous de U_{E1}, qui constitue donc le seuil inférieur de basculement.

Si, au contraire, T_1 est bloqué, il se sature quand le potentiel d'entrée, V_e, franchit, en montant, la valeur U_{E2}, qui constitue donc le seuil supérieur de basculement. Finalement, V_e variant selon une loi quelconque, la correspondance entre cette tension de commande, et la tension de sortie V_s, est illustrée par la figure 4.

Calcul d'une bascule de Schmitt

L'électronique s'accommode volontiers de calculs très approximatifs, et comportant une forte part d'arbitraire. Ce dernier point déroute toujours le débutant. L'honnêteté nous oblige à dire que le remède réside dans l'expérience, que nous pouvons essayer de guider, mais non remplacer. On se trouvera donc bien d'expérimenter les montages que nous proposons.

Une bascule de Schmitt est rarement conçue seule, mais s'intègre dans un montage plus complexe : on connaît donc en général la tension d'alimentation E. Il est raisonnable aussi de s'imposer la consommation maximale, qui correspond à l'état où T_2 est saturé (le courant est alors fixé par la somme $R_2 + R_5$). Inversement, les temps de montée, et de descente, des créneaux seront d'autant plus faibles que le sont R_1 et surtout R_5, ce qui minimise l'influence des capacités parasites. Enfin, le calcul de U_{E2}, et la figure 4, montrent que l'amplitude des créneaux croît quand R_2 décroît.

Quelques ordres de grandeur

Pour une première approche, on pourra retenir les quelques règles qui suivent :
- un courant maximal de l'ordre de 10 mA est une bonne moyenne
- on prendra R_5 voisine des 2/3 de R_1
- R_2 peut être comprise entre 1/5 et 1/3 de R_1, soit 3/10 à 1/2 de R_5.

Un exemple numérique

Appliquons ces règles à une bascule fonctionnant sous une tension d'alimentation E = 12 V. Pour une consommation de 10 mA, on aura alors :

$$R_2 + R_5 = \frac{12\ \text{V}}{10\ \text{mA}} = 1{,}2\ \text{k}\Omega$$

Avec $R_2 = 1/2\ R_5$, cela donne $R_2 = 400\ \Omega$ et $R_5 = 800\ \Omega$. Les valeurs normalisées les plus proches conduisent à :

$R_2 = 390\ \Omega \qquad R_5 = 820\ \Omega$

On en déduit la valeur de R_1, soit 1,2 kΩ.

Lorsque T_2 est saturé, son courant de base traverse R_3, où il ne doit provoquer qu'une chute de tension faible par rapport à E, soit au maximum E/10, ou 1,2 V dans notre exemple. Avec, pour T_2, un gain de 100 (valeur très courante), un courant de collecteur de 10 mA implique un courant de base de 0,1 mA : R_3 ne devra pas dépasser 12 kΩ, et nous prendrons tout simplement $R_3 + R_4 = 12\ \text{k}\Omega$.

Toujours dans notre exemple, on a :

$$U_{E2} = E\,\frac{R_2}{R_5 + R_2} = 12\,\frac{390}{820 + 390} = 4\ \text{V environ}$$

On choisira donc $R_3 = 8{,}2\ \text{k}\Omega$ et $R_4 = 3{,}9\ \text{k}\Omega$, pour tomber dans des valeurs normalisées.

Mise au point expérimentale

Toutes nos valeurs sont déterminées, mais grossièrement : sur un montage d'essai (boîte de câblage, plaquette Veroboard, etc.), nous réaliserons donc le circuit de la figure 5. A moins de chercher des performances hors du commun (commutation très rapide), les transistors seront des modèles universels, de petite puissance.

L'entrée est attaquée par un générateur BF, dont le potentiel moyen de sortie, généralement, est celui de la masse. Pour ramener ce potentiel moyen à un niveau compris entre les deux seuils, on polarise la base de T_2 à l'aide des résistances R_6 et R_7, et du potentiomètre P_1. Le potentiomètre P_2 remplace provisoirement R_4. Un oscilloscope bicourbe constitue l'idéal, pour examiner simultanément les tensions d'entrée U_e, et de sortie V_s.

On examinera le rôle de P_1, qui règle le niveau moyen de V_e, donc la symétrie des créneaux de sortie ; celui de P_2, qui joue aussi sur la symétrie, et conditionne la saturation de T_2. Une mesure à l'ohmmètre, après la mise au point, permettra de remplacer :
- P_2, par la valeur définitive de R_4
- éventuellement, l'ensemble R_6, R_7 et P_1, par deux résistances de polarisation.

Pour nous résumer

1) Une bascule de Schmitt transforme des signaux de forme quelconque, en créneaux rectangulaires.

2) Le calcul des éléments, très approximatif, doit être complété par une mise au point expérimentale.

3) En basse fréquence, tous les transistors de type « universel » conviennent. En haute fréquence, on choisira des transistors pour commutation rapide, et de faibles valeurs de résistances.