



démarrer en électronique

...l'émetteur-suiveur

Eric Bogers (Elektor)

Dans le dernier épisode, nous avons brièvement abordé les transistors comme amplificateurs, plutôt que comme commutateurs. Nous nous intéressons maintenant à ce que l'on appelle l'émetteur-suiveur, qui est le circuit à transistors le plus simple que l'on puisse imaginer.

Montage collecteur commun

Le premier montage amplificateur que nous allons étudier est connu sous le nom de montage à collecteur commun. On l'appelle ainsi, parce que le collecteur du transistor est le point de référence commun pour les signaux d'entrée et de sortie. Cette désignation n'étant pas très claire, ce type de montage est souvent appelé émetteur-suiveur – ce qui décrit bien son fonctionnement : la tension de l'émetteur du transistor suit la tension de la base. Nous découvrons l'utilité de ce montage dans cet article.

Supposons que vous vouliez construire une table de mixage pour lumière – rien de trop compliqué, juste une solution *maison* fonctionnant à basse tension. Vous pourriez avoir un certain nombre de lampes (canaux) avec une luminosité réglable individuellement (de 0 V à 10 V dans notre exemple), ainsi qu'une commande principale supplémentaire pour que toutes les lampes puissent être atténuées simultanément. En tant que débutant, vous pourriez avoir l'idée d'utiliser un potentiomètre principal et de connecter des potentiomètres de sortie à son curseur pour chaque lampe. Cette méthode est illustrée dans la partie supérieure de la **figure 1**.

Cependant, ce n'est pas la meilleure méthode. Ensemble, les potentiomètres de sortie forment une charge importante et déformeront la courbe de contrôle du potentiomètre principal, et, pire encore,

tous ces potentiomètres s'influenceront, ce qui empêchera d'obtenir un contrôle efficace.

Vous devez réduire autant que possible la charge sur le potentiomètre maître et de découpler les potentiomètres individuels des canaux. Cela est possible avec des émetteurs-suiveurs, comme montré dans la partie inférieure de la **figure 1**. Le fonctionnement est comme suit :

lorsqu'un transistor est conducteur, la tension sur son émetteur est inférieure d'environ 0,7 V à la tension sur sa base, de sorte que

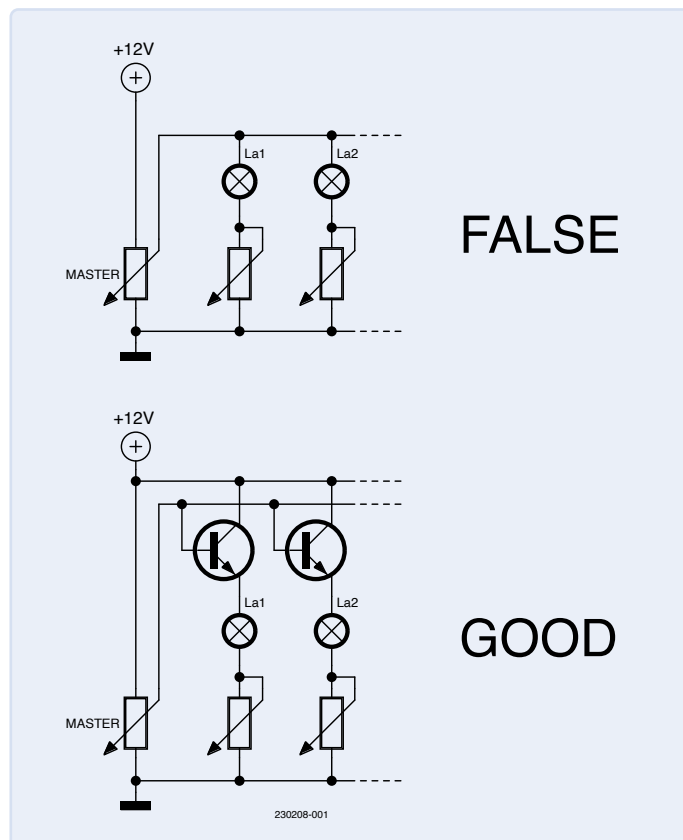


Figure 1. Une table de mixage pour lumière simplifiée : le mauvais montage en haut, le bon montage en bas.

la plage de contrôle va de 0 V à 11,3 V. Cela dépasse un peu les 10 V nominaux de cet exemple particulier, mais assure que lorsque les signaux de commande sont réglés au maximum, la luminosité des lampes est maximale. Lorsque la tension sur la base est inférieure à 0,7 V, le transistor est bloqué et la tension de sortie est de 0 V. Entre ces deux limites, la tension sur l'émetteur suit bien la tension sur la base, mais avec un *offset* égal à la valeur de la tension base-émetteur. Le principal avantage de l'utilisation d'un émetteur-suiveur dans cette situation est que le courant de base n'impose qu'une très faible charge au curseur du potentiomètre maître, puisqu'il est beaucoup plus faible que le courant d'émetteur. Le rapport est égal au gain en courant continu (h_{FE}) du transistor. Dans la pratique, cela signifie que la charge sur le potentiomètre maître est inférieure d'un facteur h_{FE} au courant réglé par le potentiomètre de canal.

Ainsi, le montage à collecteur commun (émetteur-suiveur) n'offre pas de gain en tension, mais un gain en courant significatif, une impédance d'entrée élevée et une faible impédance de sortie. Un circuit émetteur-suiveur a une réponse très stable aux variations de charge. En général, on s'attend à ce que la tension de sortie diminue lorsque la résistance de la charge diminue, mais lorsque cela se produit, la tension base-émetteur U_{BE} augmente, de sorte que le courant de base I_B augmente également. Cela entraîne une augmentation du courant du collecteur I_C et, et par conséquent, une augmentation du courant d'émetteur I_E , ce qui compense la diminution de la tension de sortie.

Les formules suivantes s'appliquent à l'impédance d'entrée (en haut) et de sortie (en bas) d'un émetteur-suiveur :

$$Z_{in} = (h_{FE} + 1) \cdot Z_{load}$$

$$Z_{out} = \frac{Z_{source}}{h_{FE} + 1}$$

Alimentation stabilisée

Dans un épisode précédent, nous avons fait quelques calculs pour montrer que l'utilisation d'une diode Zener et d'une résistance en série pour stabiliser une tension présente des inconvénients importants. Ce type de circuit de stabilisation fonctionne mieux si vous y ajoutez un émetteur-suiveur, comme le montre la **figure 2**. Faisons les calculs sur ce circuit avec les valeurs de l'exemple précédent (une tension de la diode Zener de 48 V et un courant de charge maximal de 14,1 mA). Il est possible d'utiliser ce circuit comme alimentation fantôme pour un microphone. Le courant de base est alors donné par :

$$I_B \approx \frac{I_E}{\beta} = \frac{14,1 \text{ mA}}{100} = 0,14 \text{ mA}$$

Le gain en courant continu s'applique au courant du collecteur. Stricto sensu, le courant d'émetteur est égal à I_C plus I_B – mais dans le cas d'un fonctionnement à petits signaux avec un gain de courant

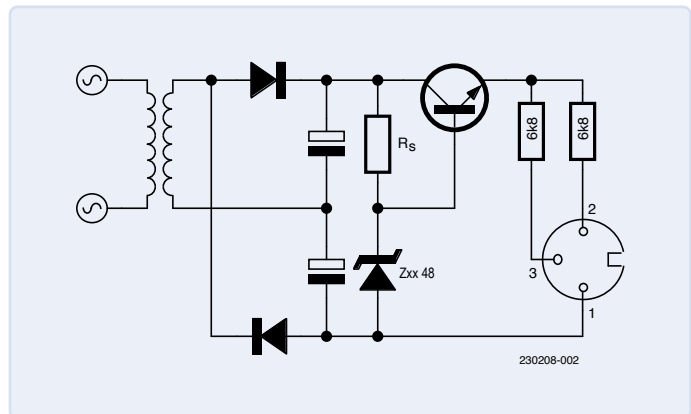


Figure 2. Alimentation stabilisée (alimentation fantôme pour un microphone).

supérieur à 100, nous pouvons considérer que I_C est presque égal à I_E . Nous ignorons la valeur exacte du gain en courant du transistor. Supposer un facteur de gain de 100 pour les transistors à petits signaux nous permet de rester sur le côté sécuritaire.

Pendant un cycle de la tension alternative d'entrée, la tension au niveau des condensateurs électrolytiques de filtrage s'établit à environ 60 V, ce qui signifie que la tension au niveau de la résistance en série de la diode Zener est de 12 V. Nous avons donc :

$$R_{series} = \frac{U}{I_B} = \frac{12 \text{ V}}{0,14 \text{ mA}} = 85 \text{ k}\Omega$$

Ici, nous utilisons la valeur standard 82 k Ω pour la résistance en série.

La dissipation maximale dans la diode Zener est obtenue lorsqu'aucune charge n'est connectée, de sorte que le courant de base du transistor est nul. Dans ces conditions :

$$P_{zener} = U \cdot I = 48 \text{ V} \cdot \frac{63 \text{ V} - 48 \text{ V}}{82 \text{ k}\Omega} = 8,78 \text{ mW}$$

Bien entendu, la puissance est également dissipée dans le transistor :

$$P_{transistor} = U \cdot I = (63 \text{ V} - 48 \text{ V}) \cdot 14,1 \text{ mA} = 211,5 \text{ mW}$$

La somme de la dissipation dans la diode Zener et de celle dans le transistor est déjà moins élevée qu'en utilisant uniquement la diode Zener, puisque le courant sans le transistor était un peu supérieur à 900 mA. Le circuit comportant le transistor a un autre avantage : sans le transistor, la dissipation maximale est atteinte lorsqu'aucune charge n'est connectée et la dissipation minimale est atteinte lorsque la charge est 0 Ω , ce qui, bien sûr, n'arrive jamais dans la pratique. En revanche, dans le circuit à transistor, la dissipation

de puissance maximale se produit avec une résistance de charge de $0\ \Omega$, alors que la dissipation est plus faible dans les conditions normales du fonctionnement.

Montage émetteur-suiveur comme amplificateur CA

Jusqu'à cette étape, nous n'avons utilisé l'émetteur-suiveur qu'en tant qu'amplificateur de courant continu. Passons maintenant à l'amplification des signaux alternatifs (voir **figure 3**).

Lorsqu'une tension alternative est appliquée au condensateur C1, elle modifie la tension sur la base (par référence à la masse), ce qui fait varier le courant de l'émetteur de telle sorte que la tension sur l'émetteur est toujours inférieure d'environ 0,7 V à la tension sur la base. Là encore, le circuit n'offre pas de gain en tension, mais offre un gain en courant.

Pour obtenir une amplitude maximale avec ce circuit, la tension de repos de l'émetteur doit être approximativement égale à la moitié de la tension d'alimentation, soit, dans cet exemple, 6 V. Par souci de clarté : la tension de repos et le courant de repos sont des valeurs mesurées lorsqu'aucune tension de signal (CA) n'est appliquée. Si nous supposons que le courant de repos est de 1 mA, la valeur correspondante de la résistance d'émetteur est :

$$R_E = \frac{U_R}{I_R} = \frac{6\text{V}}{1\text{mA}} = 6\text{k}\Omega$$

Cette valeur (6 k Ω) est comprise entre deux valeurs de E12, nous choisissons 5,6 k Ω . La tension de base du transistor est supérieure de 0,7 V à la tension d'émetteur, elle est donc de 6,7 V par rapport à la masse. Cette tension est obtenue par un diviseur de tension. Nous choisissons arbitrairement la valeur de R2 (100 k Ω) ce qui nous permet de calculer la valeur de R1. Nous laissons ce calcul comme exercice pour vous ; nous avons obtenu une valeur de 79,1 k Ω et avons choisi une résistance de 82 k Ω . En conséquence, les tensions de base et d'émetteur sont inférieures d'environ 0,1 V aux valeurs prévues, mais ce n'est pas un problème.

Nous devons proportionner les valeurs des deux capacités. Nous voulons que le circuit ait une réponse en fréquence aussi linéaire que possible dans la plage de fréquences allant de 20 Hz à 20 kHz, nous fixons donc la fréquence de la partie inférieure dans les deux cas à 10 Hz. Le condensateur C1, les résistances R1 et R2 en parallèle, et l'impédance d'entrée du transistor, forment un filtre passe-haut et, comme nous le savons déjà, l'impédance d'entrée du transistor dépend de la résistance de la charge. Si nous supposons que la résistance de charge ne sera pas inférieure à R_E , la résistance de charge et de R_E en parallèle s'élève à 3 k Ω . En supposant que le gain en courant est de 100, l'impédance d'entrée (R_{in}) du transistor est d'environ 300 k Ω . La résistance parallèle de R1, R2 et R_{in} s'élève donc à 39,2 k Ω (vérifiez le résultat vous-même !).

Nous utilisons la formule suivante pour déterminer la valeur de C1 :

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 10\text{Hz} \cdot 39.2\text{k}\Omega} = 0.4\ \mu\text{F}$$

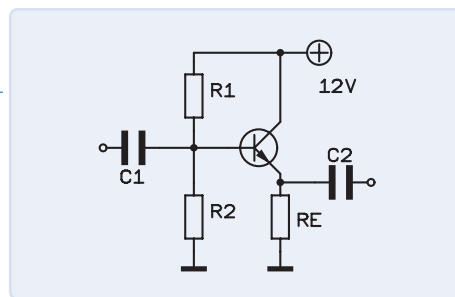


Figure 3. Amplificateur CA.

Avec une valeur de 0,47 μF , nous sommes en tout cas du bon côté. Pour C2, nous faisons le calcul en supposant une impédance de charge minimale de 6 k Ω :

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 10\text{Hz} \cdot 6\text{k}\Omega} = 2.6\ \mu\text{F}$$

Dans ce cas, on choisit une valeur de 3,3 μF (ou 4,7 μF si c'est plus facile à se procurer).

Une remarque pour nos lecteurs attentifs : dans le calcul de R1, nous n'avons pas tenu compte du fait que l'impédance en courant continu du transistor (qui est égale au produit du gain en courant par R_E) est en fait en parallèle avec R2.

Si nous voulons le prendre en compte, nous devons connaître le gain en courant du transistor avec une précision suffisante. Si par précaution nous supposons que la valeur est 100, le point de fonctionnement sera fortement décalé ; une valeur de 300 à 500 est plus raisonnable pour les transistors à petit signal. Cependant, dans ce cas, nous pouvons ignorer l'influence du gain en courant sur le calcul de R1...

Et voilà, c'est terminé pour cet épisode. Le prochain article sera vraiment passionnant, car nous étudierons l'amplification de la tension avec des montages à émetteur commun (ce qui est tout à fait différent des émetteurs-suiveurs). ◀

230208-04

Note de la rédaction : la série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basiskurs Elektronik » de Michael Ebner, publié par Elektor.

Des questions, des commentaires?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



Produits

► **B. Kainka, Basic Electronics for Beginners (Elektor, 2020) (SKU 19212)**

www.elektor.fr/19212

► **B. Kainka, Basic Electronics for Beginners (Elektor, 2020) (E-Book, SKU 19213)**

www.elektor.fr/19213