

Un traceur de courbe pour transistors, FET, thyristors, etc.

première partie

l'analyse théorique

L'appareil de mesure présenté ici permet de visualiser à l'écran de tout oscilloscope la courbe caractéristique d'un transistor NPN ou PNP, d'un FET et même d'un thyristor et d'un triac. Cette première partie vous en propose l'analyse théorique approfondie, la deuxième vous dira comment le réaliser et une autre vous expliquera, de manière très détaillée, comment l'utiliser correctement.



Si nous consultons le «data sheet» (recueil des caractéristiques des semiconducteurs) de n'importe quel constructeur, afin de trouver les données qui nous intéressent à propos d'un des transistors qu'il fabrique, nous nous retrouvons au milieu d'un labyrinthe de lignes courbes : elles partent d'un point bien défini pour s'ouvrir ensuite en éventail, comme le montre la figure 2. Si nous cherchions alors, par curiosité, ce qu'il en est pour un autre transistor, afin de comparer les deux courbes, nous verrions qu'elles se ressemblent, mais qu'elles ne sont pas cependant identiques. Si ensuite, en feuilletant le recueil, nous allions voir du côté d'un transistor de puissance, nous nous rendrions compte facilement que le dessin de sa courbe est totalement différent de celui d'un transistor de faible puissance (figure 3). Et si enfin nous essayions de trouver aussi les caractéristiques d'un FET, nous serions confrontés à une courbe absolument différente (figure 4). En considérant que les courbes diffèrent d'un semiconducteur à un autre, on pourrait affirmer paradoxalement qu'il en va de même que pour les empreintes digitales !

Mais au fait, à quoi servent ces courbes et comment peut-on les visualiser ? Avant tout ces courbes servent à polariser de manière correcte un transistor, afin qu'il puisse fournir à sa sortie un signal amplifié sans aucune distorsion et pour pouvoir les visualiser il faut un instrument de labo appelé «traceur de courbe».

Notre réalisation

Etant donné que l'on trouve difficilement un magasin d'électronique vendant des traceurs de courbe, nous vous proposons d'en construire un de qualité professionnelle tout en restant abordable pour l'amateur. Nous vous expliquerons non seulement comment le construire (ce sera l'objet de la deuxième partie de l'article), mais aussi comment procéder pour visualiser les courbes et surtout comment les interpréter (dans une troisième partie et pourquoi pas au-delà, puisque notre vocation pédagogique ne vous a pas échappé ?). Mais en attendant, dès ce premier article, nous allons théoriser quelque peu



Figure 1: Photo de l'appareil complet dans son boîtier plastique. Les pattes du transistor, du FET, d'un thyristor ou d'un triac, saisies par la pince croco, sont reliées par des fiches bananes aux douilles CBE.

sur les caractéristiques des transistors, bien sûr et sur le fonctionnement de ce traceur de courbe.

Une rampe en escaliers et une en dents de scie

Pour trouver les courbes caractéristiques d'un transistor ou d'un quelconque autre semiconducteur, il faut deux rampes : une en escaliers et une autre en dents de scie, comme le montre la figure 5. Comme ces rampes doivent être synchronisées mutuellement, nous prélevons les impulsions d'horloge sur le même oscillateur qui, pour nous dans ce montage, se compose des deux NAND IC1-A et IC1-B. La première rampe, constituée de 7 escaliers, sert à faire varier le courant de base du semiconducteur dont nous voulons tracer la courbe. La rampe en dents de scie sert en revanche à faire varier la tension sur le collecteur du semiconducteur étudié. Etant donné que la rampe en escaliers est parfaitement synchronisée avec la rampe en dents de scie, pendant un temps très bref, où l'escalier reste sur un des 7 niveaux, la tension de la rampe en dents de scie passe de son niveau minimal à son niveau maximal (figure 5), produisant ainsi 7 courbes indiquant comment varie le courant de collecteur quand le collecteur de base varie aussi (figure 6).

Ceci établi, nous pouvons passer à l'analyse du schéma électrique de la figure 9 et découvrir comment on peut obtenir de telles courbes.

Le schéma électrique du traceur de courbe

Afin de rendre ce schéma électrique de la figure 9 facilement compréhensible, nous l'avons divisé en 3 étages :

- Etage de la rampe en escaliers.
- Etage de la rampe en dents de scie.
- Etage de sortie axes X et Y pour l'oscilloscope.

Il va de soi qu'à ces 3 étages il faut ajouter l'étage d'alimentation constitué des deux circuits intégrés régulateurs IC9 et IC10.

Pour la description, partons de la NAND IC1-A en haut à gauche : elle est montée en oscillateur pour la production d'une onde carrée de 280 Hz. La deuxième NAND IC1-B, montée en inverseur, nettoie le signal à ondes carrées produit par IC1-A lequel est ensuite appliqué directement à l'entrée de IC2 et, à travers C9, sur la troisième NAND IC1-C, située dans l'étage du dessous qui, nous y viendrons plus loin, est utilisé pour produire la rampe en dents de scie. L'onde carrée de 280 Hz, appliquée sur la broche 2 de

IC2, un CMOS CD4520, produit sur les broches de sortie 3, 4 et 5 de ce même circuit intégré, 7 combinaisons binaires différentes, transformées par le circuit des résistances R2, R3, R4, R5, R6 et R7 en autant de valeurs de tension croissantes.

En fait, à l'entrée non inverseuse 5 du premier amplificateur opérationnel IC3-A arrive une rampe à 7 escaliers (figure 7) ayant ces valeurs de tension :

- 1,85 V positif pour le 1° escalier
- 3,70 V positif pour le 2° escalier
- 5,55 V positif pour le 3° escalier
- 7,40 V positif pour le 4° escalier
- 9,25 V positif pour le 5° escalier
- 11,10 V positif pour le 6° escalier
- 12,95 V positif pour le 7° escalier.

L'amplificateur opérationnel IC3-A, ayant un gain de 1 (c'est-à-dire qu'on ne gagne rien car $x \times 1$ une valeur ne l'augmente pas), est utilisé seulement comme étage séparateur : donc sur sa broche de sortie 7 sont présentes les mêmes valeurs de tension que sur l'entrée non inverseuse 5, ces valeurs sont appliquées à l'inverseur RL1-A (côté indiqué PNP) lequel, comme vous l'avez deviné, symbolise les contacts présents à l'intérieur du double relais RL1.

En regardant attentivement le schéma électrique, vous voyez que la broche de

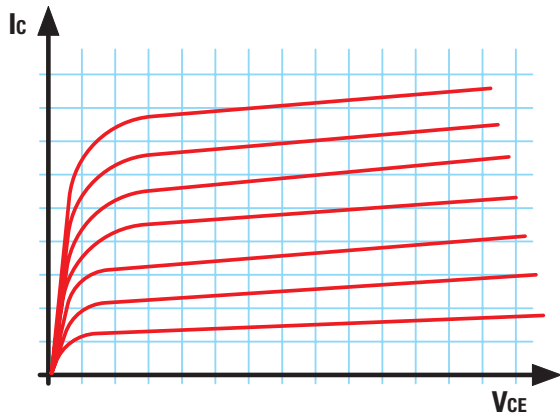


Figure 2: Si, sur les douilles CBE, nous appliquons les pattes d'un transistor, nous voyons à l'écran de l'oscilloscope une série de courbes différentes selon le type de transistor examiné.

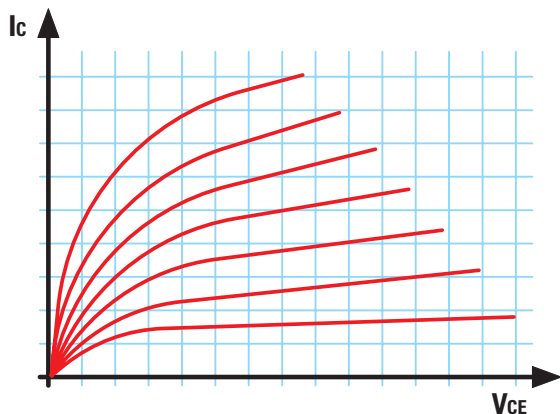


Figure 3: Nous avons reporté figure 2 les courbes d'un transistor de faible puissance, alors qu'ici nous donnons à voir la courbe d'un transistor de moyenne puissance, afin que vous puissiez faire la différence.

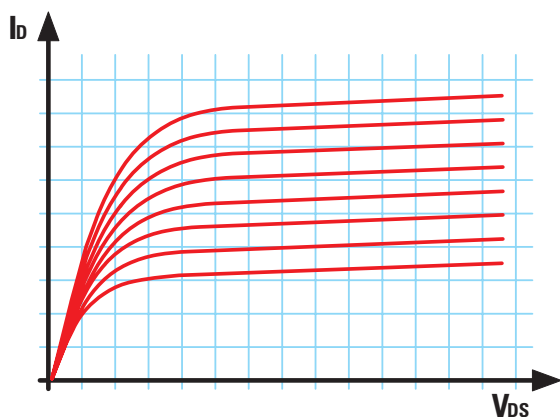


Figure 4: Contrairement aux figures 2 et 3, cette courbe comporte 8 traces au lieu de 7, car elle est produite par un FET et non par un transistor. Les pattes DGS sont à relier aux douilles CBE.

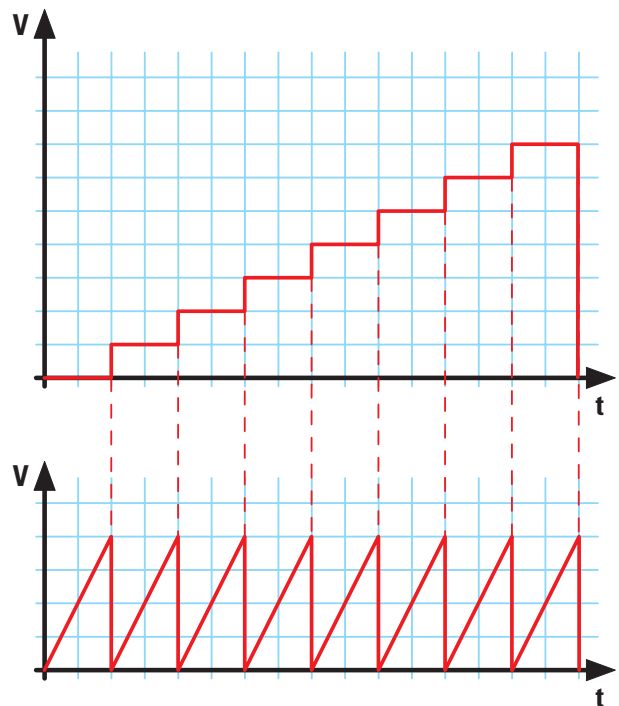


Figure 5: Pour réaliser un traceur de courbe, il faut deux rampes parfaitement synchrones. La rampe en escaliers, en haut, sert à produire les 7 traces correspondant aux courants de base, alors que la rampe en dents de scie sert à effectuer le balayage de la tension de collecteur. Dans le schéma électrique de la figure 9, nous avons indiqué l'étage produisant la rampe en escaliers et celui de la rampe en dents de scie.

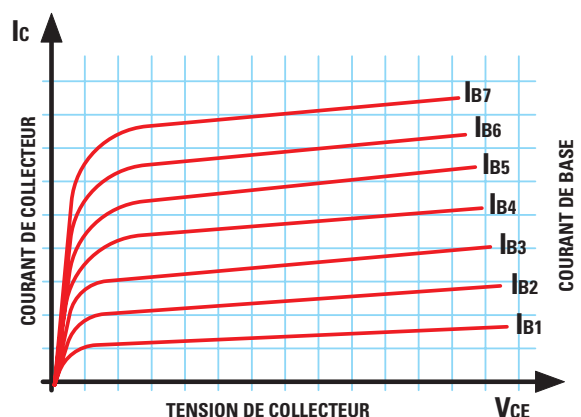


Figure 6: Les courbes obtenues en contrôlant un transistor quelconque, nous permettent d'étudier comment varie le courant de collecteur en fonction de la variation du courant de base. Comme le montre la figure, le courant de collecteur est reporté sur l'axe Vertical et les 7 valeurs du courant de base sont représentées par autant de courbes Ib1 à Ib7. Sur l'axe horizontal en revanche est visualisé le balayage de la tension de collecteur.

sortie 7 du premier amplificateur opérationnel IC3-A est reliée, par R8, à l'entrée inverseuse 2 du second amplificateur opérationnel IC3-B. Ce dernier amplificateur opérationnel a aussi un gain de 1, mais étant monté en étage inverseur, il transforme la rampe positive (figure 7) en une identique rampe négative (figure 8), ayant ces valeurs de tension :

- 1,85 V négatif pour le 1° escalier
- 3,70 V négatif pour le 2° escalier
- 5,55 V négatif pour le 3° escalier
- 7,40 V négatif pour le 4° escalier
- 9,25 V négatif pour le 5° escalier
- 11,10 V négatif pour le 6° escalier
- 12,95 V négatif pour le 7° escalier.

Cette rampe négative est prélevée sur la broche de sortie 1 de IC3-B et appliquée sur l'inverseur RL1-A (côté indiqué NPN) lequel, nous l'avons vu, correspond à RL1. La rampe positive est utilisée pour tester tous les transistors PNP et FET, alors que la rampe négative est utilisée pour tester tous les transistors NPN. La rampe, positive ou négative, prélevée à la sortie de IC3-A ou de IC3-B par l'intermédiaire de RL1-A, est envoyée à l'inverseur S3-B. Quand l'inverseur S3-B est en position TR, nous avons la possibilité de prélever, selon l'état du contact de RL1-A, une rampe positive ou bien une rampe négative. Si l'inverseur S3-B est en position FET, c'est uniquement une rampe positive que est prélevée, quelle que soit la position de RL1-A. Du commun de l'inverseur S3-B, la rampe est appliquée au trimmer R11, servant au moment du réglage à obtenir sur TP1 une rampe à 7 escaliers éloignés entre eux de 1 V, comme le montre la figure 10. Cette rampe calibrée est appliquée à travers R12 à l'entrée inverseuse 2 de l'amplificateur opérationnel IC4-B lequel, avec l'amplificateur opérationnel IC4-A et les deux transistors TR1 et TR2, constitue un parfait générateur de courant constant utilisé pour polariser la base du transistor dont nous voulons tracer la courbe. Le commutateur S1 à 12 positions permet d'appliquer sur la base du transistor 12 valeurs de courant différentes, se répartissant ainsi :

- 1 μ A
- 5 μ A
- 10 μ A
- 20 μ A
- 50 μ A
- 100 μ A
- 200 μ A
- 500 μ A
- 1 mA
- 5 mA
- 10 mA
- 20 mA

Quand, dans les articles suivants (troisième partie et peut-être les suivantes), nous vous expliquerons comment utiliser votre traceur de courbe, vous comprendrez comment sont choisies ces valeurs de courant. Pour le moment, vous devez vous contenter de savoir que ces courants vous permettront de tester n'importe quel type de transistor, de FET ou de MOSFET, qu'ils soient de faible, de moyenne ou de forte puissance. Etant donné qu'à l'écran de l'oscilloscope apparaîtront toujours 7 traces (on dit aussi tracés), nous pouvons déjà vous dire que si vous choisissez un courant de 1 μ A, la base sera excitée avec ces courants (figure 11) :

- 1° trace = la base est excitée avec 1 μ A
- 2° trace = la base est excitée avec 2 μ A
- 3° trace = la base est excitée avec 3 μ A
- 4° trace = la base est excitée avec 4 μ A
- 5° trace = la base est excitée avec 5 μ A
- 6° trace = la base est excitée avec 6 μ A
- 7° trace = la base est excitée avec 7 μ A

Si en revanche vous choisissez un courant de 50 μ A, la base sera excitée avec ces différentes valeurs de courant (figure 12) :

- 1° trace = la base est excitée avec 50 μ A
- 2° trace = la base est excitée avec 100 μ A

- 3° trace = la base est excitée avec 150 μ A
- 4° trace = la base est excitée avec 200 μ A
- 5° trace = la base est excitée avec 250 μ A
- 6° trace = la base est excitée avec 300 μ A
- 7° trace = la base est excitée avec 350 μ A.

Nous pouvons maintenant passer à la description du deuxième étage, il se trouve au dessous du précédent, servant à obtenir la rampe en dents de scie, comme le montre la figure 15. Sur la broche de sortie 11 de la NAND IC1-B, à la sortie de l'étage oscillateur IC1-A, nous prélevons par C9 l'onde carrée de 280 Hz (figure 16) et l'appliquons à l'entrée de la NAND déclenchée IC1-C montée en inverseur. C9 et R17, sur l'inverseur IC1-C, transforment l'onde carrée de 280 Hz en une série d'impulsions, placées en correspondance de chaque front de descente de l'onde carrée (figure 16). Par conséquent, sur la broche de sortie 3 de l'inverseur IC1-C nous retrouvons une série d'impulsions de durée très brève, environ 20 μ s. Ces impulsions sont utilisées pour piloter le circuit composé du NPN TR3 et du PNP TR4. Comme le montre la figure 9, les collecteurs de ces derniers alimentent C11 en un courant constant permettant d'avoir une

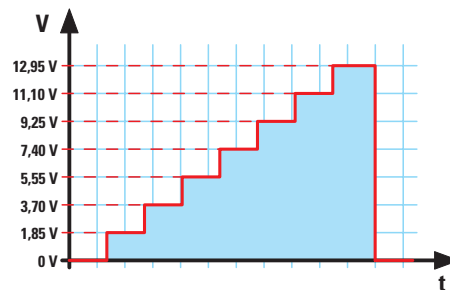


Figure 7 : Pour tester les transistors PNP, il faut une rampe à 7 escaliers positive, prélevée à la sortie de IC3-A (figure 9).

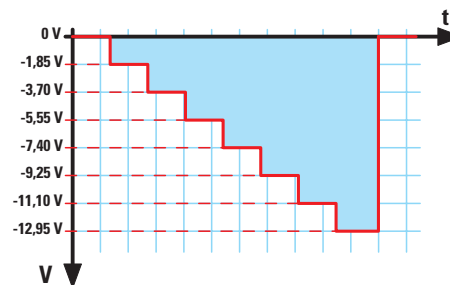


Figure 8 : Pour tester les transistors NPN, il faut une rampe à 7 escaliers négative, prélevée à la sortie de IC3-B (figure 9).

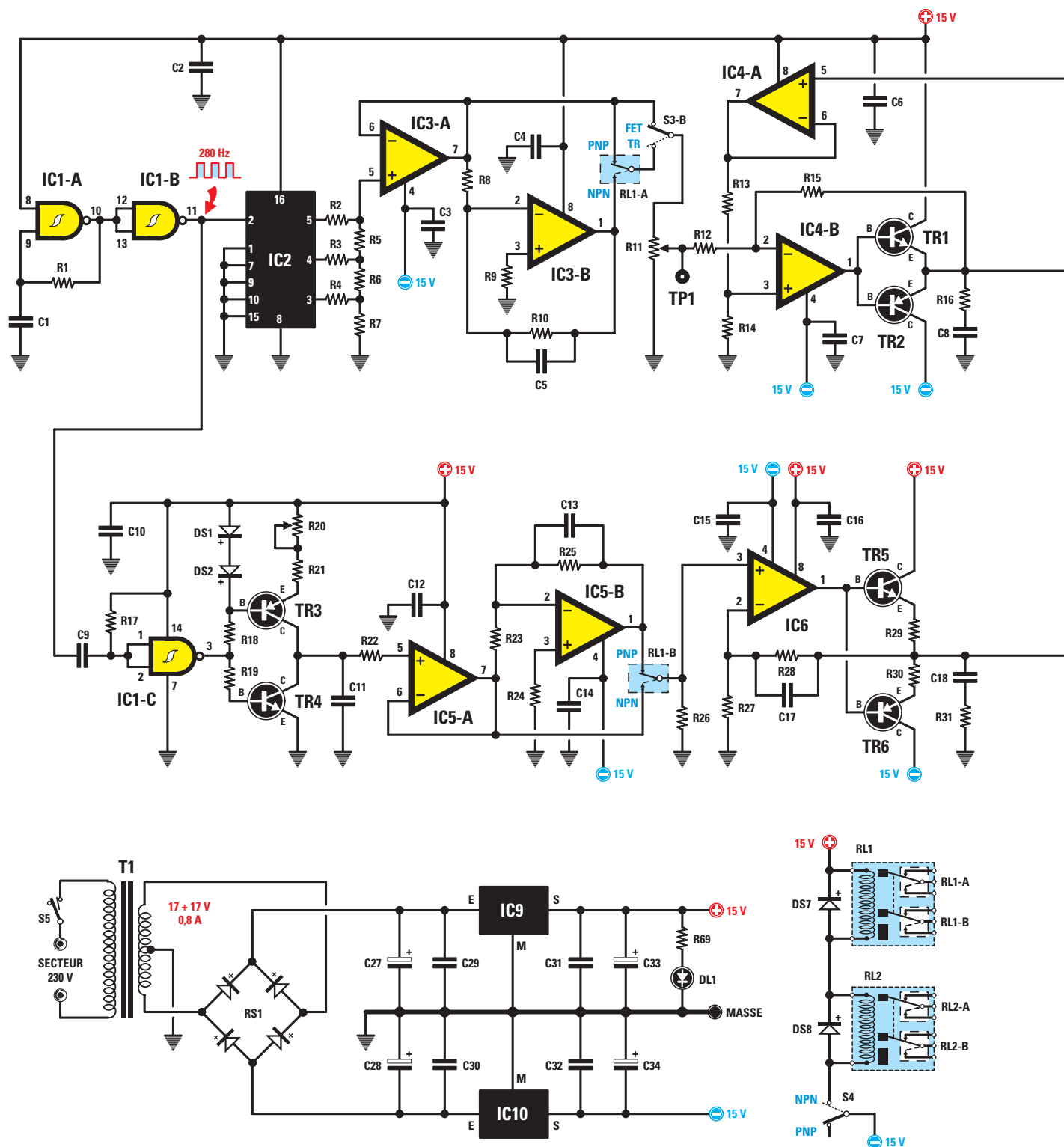
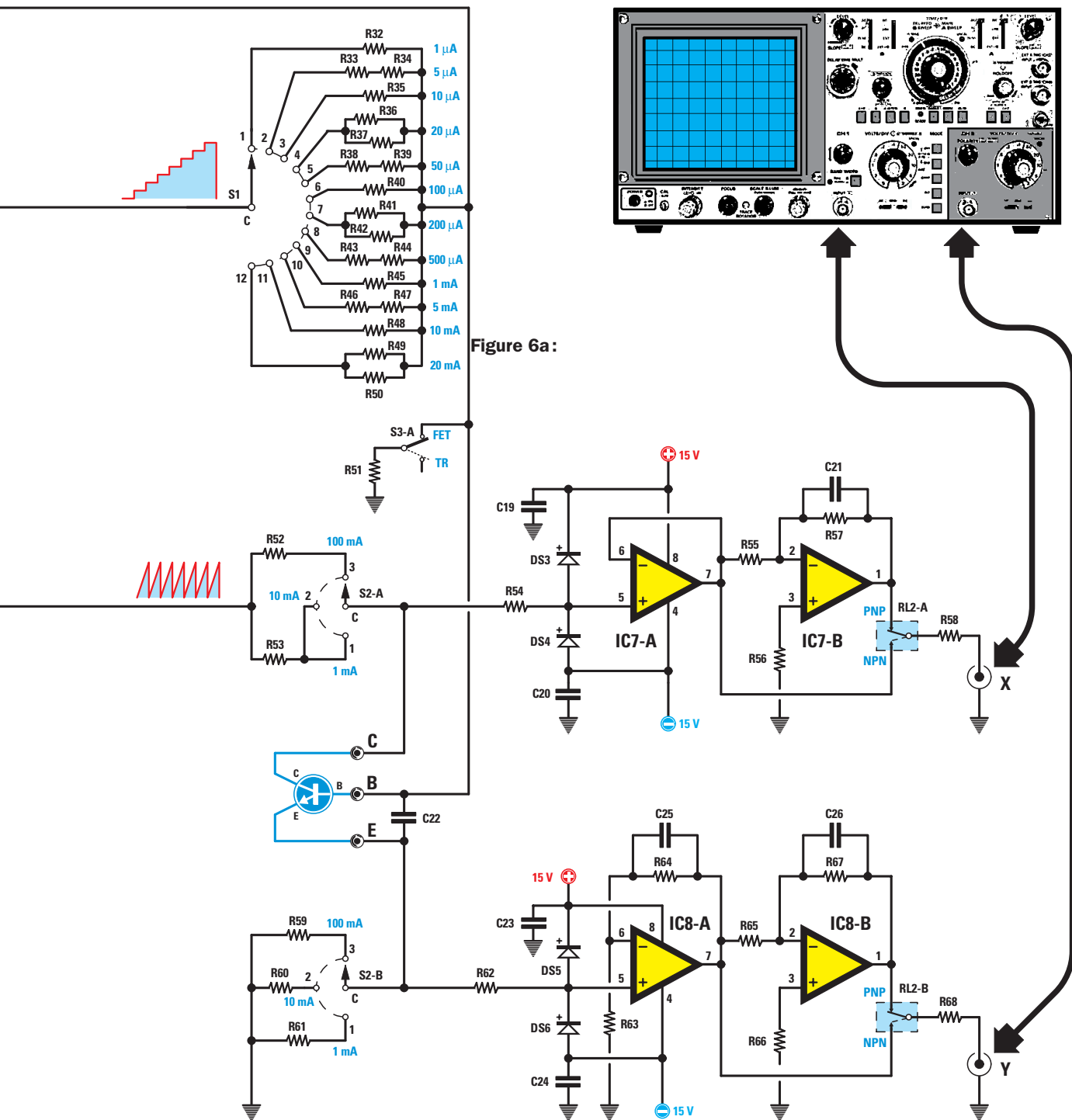


Figure 9 : Schéma électrique du traceur de courbe avec son étage d'alimentation fournissant une tension double symétrique 2 x 15 V.



Les deux relais 12 V 2 contacts, en bas à droite, permettent d'effectuer la commutation de NPN à PNP et vice versa, grâce à l'inverseur S4 situé en face avant.

Liste des composants

R1 39 k Ω	R52* 4,7 Ω 5 W	C34 100 μ F électrolytique
R2 20 k Ω 1%	R53* 10 Ω 5 W	RS1 pont 100 V 1 A
R3 20 k Ω 1%	R54 10 k Ω	DS1 1N4148
R4 20 k Ω 1%	R55 10 k Ω	DS2 1N4148
R5 10 k Ω 1%	R56 4,7 k Ω	DS3 1N4148
R6 10 k Ω 1%	R57 10 k Ω	DS4 1N4148
R7 20 k Ω 1%	R58 1 k Ω	DS5 1N4148
R8 10 k Ω	R59* 10 Ω 1/2 W	DS6 1N4148
R9 4,7 k Ω	R60* 1 Ω 1/2 W	DS7 1N4007
R10 10 k Ω	R61* 0,1 Ω 1/2 W	DS8 1N4007
R11 10 k Ω trimmer	R62 10 k Ω	DL1 LED
R12 100 k Ω	R63 1 010 Ω 1%	TR1 NPN ZTX653
R13 100 k Ω	R64 9 090 Ω 1%	TR2 PNP ZTX753
R14 100 k Ω	R65 10 k Ω	TR3 PNP BC557
R15 100 k Ω	R66 4,7 k Ω	TR4 NPN BC547
R16 10 Ω	R67 10 k Ω	TR5 NPN BD241
R17 10 k Ω	R68 1 k Ω	TR6 PNP BD242
R18 10 k Ω	R69 2,2 k Ω	IC1 CMOS 4093
R19 10 k Ω	C1 100 nF polyester	IC2 CMOS 4520
R20 10 k Ω trimmer	C2 100 nF polyester	IC3 NE5532
R21 3,3 k Ω	C3 100 nF polyester	IC4 NE5532
R22 10 k Ω	C4 100 nF polyester	IC5 NE5532
R23 10 k Ω	C5 22 pF céramique	IC6 NE5532
R24 4,7 k Ω	C6 100 nF polyester	IC7 NE5532
R25 10 k Ω	C7 100 nF polyester	IC8 NE5532
R26 10 k Ω	C8 100 nF polyester	IC9 L7815
R27 10 k Ω	C9 1,5 nF polyester	IC10 L7915
R28 10 k Ω	C10 100 nF polyester	T1 Transfo 25 W sec.
R29 1 Ω	C11 100 nF polyester	17+17 V 0,8 A
R30 1 Ω	C12 100 nF polyester	RL1 Relais 12 V 2 RT
R31 10 Ω	C13 22 pF céramique	RL2 Relais 12 V 2 RT
R32* 1 M Ω	C14 100 nF polyester	S1* Commutateur
R33* 100 k Ω	C15 100 nF polyester	1 voie 12 pos.
R34* 100 k Ω	C16 100 nF polyester	S2* Commutateur
R35* 100 k Ω	C17 22 pF céramique	2 voies 3 pos.
R36* 100 k Ω	C18 100 nF polyester	S3-A Double inverseur
R37* 100 k Ω	C19 100 nF polyester	S3-B Double inverseur
R38* 10 k Ω	C20 100 nF polyester	S4 Inverseur
R39* 10 k Ω	C21 22 pF céramique	S5 Interrupteur
R40* 10 k Ω	C22 1 nF céramique	
R41* 10 k Ω	C23 100 nF polyester	
R42* 10 k Ω	C24 100 nF polyester	
R43* 1 k Ω	C25 22 pF céramique	
R44* 1 k Ω	C26 22 pF céramique	
R45* 1 k Ω	C27 2 200 μ F électrolytique	
R46* 100 Ω	C28 2 200 μ F électrolytique	
R47* 100 Ω	C29 100 nF polyester	
R48* 100 Ω	C30 100 nF polyester	
R49* 100 Ω	C31 100 nF polyester	
R50* 100 Ω	C32 100 nF polyester	
R51 10 k Ω	C33 100 μ F électrolytique	

Sauf spécification contraire, toutes les résistances sont des 1/4 de W à 5 %.

Les composants marqués d'un astérisque doivent être montés sur le petit circuit imprimé des commutateurs que vous verrez figures 20 et 21 dans la deuxième partie de l'article.

rampe en dents de scie parfaitement linéaire. Initialement C11 est chargé en courant constant par le PNP TR3 puis, quand survient une impulsion de C9, il est brusquement déchargé à travers le NPN TR4, comme le montre la figure 16, puis recommence à se charger en courant constant pour ensuite se décharger derechef quand l'impulsion suivante arrive. C'est cette charge et décharge continues de C11 qui pro-

duit la rampe en dents de scie que nous voulions obtenir. Le trimmer R20, relié à l'émetteur de TR3, permet de faire varier l'intensité du courant fourni au condensateur pendant le temps de charge, ce qui permet de faire varier l'amplitude de la tension maximale du condensateur et donc de la rampe. Grâce à quoi, au moment du réglage, il sera possible d'effectuer la retouche nous permettant d'obtenir en sortie une

rampe de 10 V d'amplitude. La durée du temps de charge de C11 est constante et égale au temps séparant la première et la seconde impulsion arrivant sur l'inverseur IC1-C et, pratiquement, cela correspond à la durée se déroulant entre les deux fronts de descente de l'onde carrée de l'horloge (figure 16). Nous pouvons donc tranquillement affirmer que la rampe en dents de scie est parfaitement synchrone avec la rampe

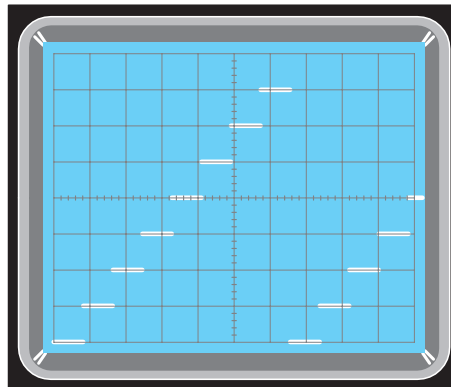
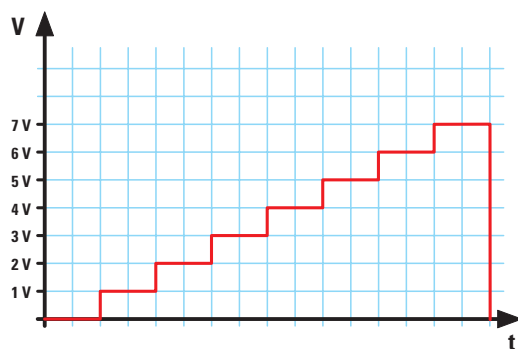


Figure 10: Après avoir relié l'oscilloscope à TP1 (figure 9), nous devons régler le curseur du trimmer R11 de façon à obtenir une rampe à 7 escaliers, séparés par 1 V exactement. A l'écran de l'oscilloscope, une rampe de 8 traits est visualisée, comme le montre la photo.

à 7 escaliers, car toutes deux sont pilotées par la même impulsion prélevée sur l'horloge composée de IC1-A et IC1-B.

La rampe en dents de scie ainsi obtenue est appliquée, à travers R22, à l'entrée non inverseuse 5 de l'amplificateur opérationnel IC5-A lequel, ayant

un gain de 1 (soit $\times 1$, un gain nul en somme), est utilisé uniquement comme étage séparateur. Sur sa broche de sortie 7, nous retrouvons donc la même rampe que celle présente à l'entrée non inverseuse 5, appliquée sur l'inverseur RL1-B (côté indiqué NPN), soit pratiquement sur les contacts du double relais RL1. Etant

donné que la broche de sortie 7 de IC5-A est aussi reliée, par R23, à l'entrée inverseuse 2 de l'amplificateur opérationnel IC5-B, monté en étage inverseur, ce dernier transforme la rampe positive en une identique rampe négative. Celle-ci est ensuite prélevée sur la broche de sortie 1 de IC5-B et appliquée sur l'inverseur

816 pages, tout en couleurs

Selectronic
L'UNIVERS ELECTRONIQUE

Valeur 5,00€

Catalogue
Général
2004



B.P 513 - 59 022 LILLE CEDEX - Fax : 0 328 550 329
Paris : 11 place de la Nation 75011 - ☎ : 0 155 258 800

www.selectronic.fr
☎ : 0 328 550 328

Envoi contre 5,00€ (10 timbres-poste à 0,50€ ou chèque)

NOUVEAU

Catalogue Général

Selectronic

L'UNIVERS ELECTRONIQUE

Connectique, Electricité.
Outillage. Librairie technique.
Appareils de mesure.
Robotique. Etc.

Plus de 15.000 références

Coupon à retourner à : **Selectronic B.P 513 59022 LILLE Cedex**

☐ OUI, je désire recevoir le **Catalogue Général 2004 Selectronic**
à l'adresse suivante (ci-joint 5,00€ en timbres-poste (10 timbres de 0,50€) ou chèque) :

ELM

Mr. / Mme : Tél :

N° : Rue :

Ville : Code postal :

"Conformément à la loi informatique et libertés n° 78.17 du 6 janvier 1978, Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant"

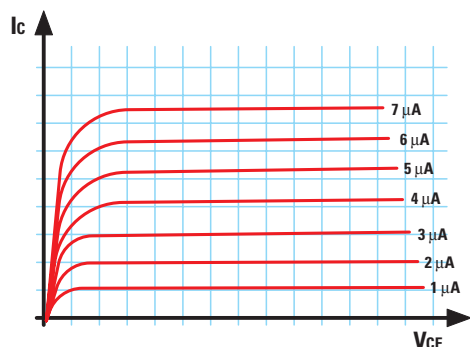


Figure 11: En plaçant le commutateur du courant de base, en face avant du traceur de courbe, en position 1 μA , nous obtenons 7 courbes séparées par 1 μA .

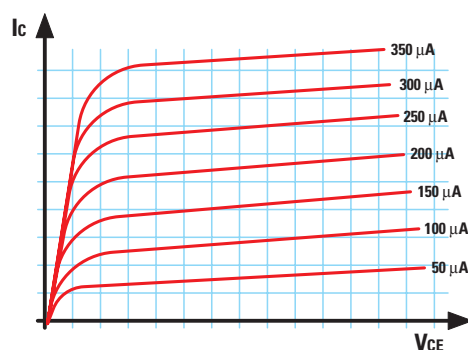


Figure 12: Si nous plaçons le commutateur du courant de base sur la portée 50 μA , nous obtenons 7 courbes séparées, comme le montre la figure, par 50 μA .

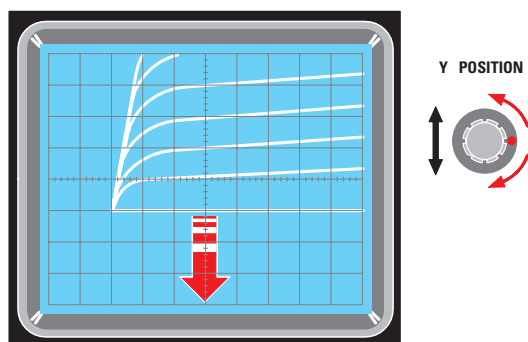


Figure 13: Si les 7 courbes sortent de la partie supérieure de l'écran, nous pouvons les ramener en tournant le bouton de déplacement vertical.

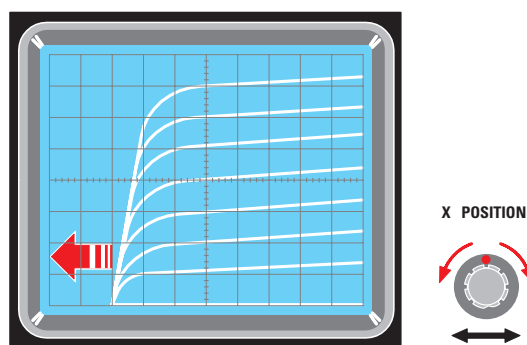


Figure 14: Si en revanche les 7 courbes sortent sur le côté, nous pouvons les ramener en tournant le bouton de déplacement horizontal.

RL1-B (côté indiqué PNP) lequel, on l'a dit, correspond à RL1. Dans cet étage la rampe positive est utilisée pour tester les transistors NPN et les FET, alors que la rampe négative sert à tester tous les transistors PNP. La rampe en dents de scie sélectionnée par l'intermédiaire de l'inverseur RL1-B, est ensuite envoyée vers un étage amplificateur constitué de l'amplificateur opérationnel IC6 et de deux transistors NPN TR5 et PNP TR6 montés en symétrie complémentaire pour obtenir en sortie une rampe positive ou une rampe négative à envoyer sur le collecteur du transistor en examen. Le commutateur à 3 positions S2-A, couplé au second commutateur S2-B, permet de limiter le courant entre collecteur et émetteur à une valeur maximale de 1

A pour les transistors de faible et moyenne puissances et de 2 A pour les transistors de forte puissance.

La commutation de PNP à NPN

Sur nos premiers prototypes, la commutation de PNP à NPN s'effectuait par commutateurs rotatifs, mais en passant à la phase d'essai nous avons constaté que les longs fils utilisés pour relier les commutateurs au circuit imprimé étaient sources de perturbations et faisaient auto-osciller le circuit. Nous avons résolu le problème en utilisant deux relais à double contact (RL1 et RL2). En situant ces relais très près des points de commutation nous pouvons, avec un seul inverseur,

S4, les exciter et les relaxer, effectuant ainsi les commutations nécessaires de NPN à PNP, mais avec pour avantage l'élimination de tous les problèmes que nous avions d'abord déplorés. Les deux relais utilisés fonctionnent sous une tension de 10 à 15 V et par conséquent, en les mettant en série, nous pouvons directement les alimenter avec la tension double $-15\text{ V} + 15\text{ V}$ fournie par l'étage d'alimentation de la figure 9.

Les signaux pour l'oscilloscope

Arrivés à ce point de notre analyse, nous savons déjà que la rampe à 7 escaliers est reliée à la base du transistor en examen, alors que la rampe

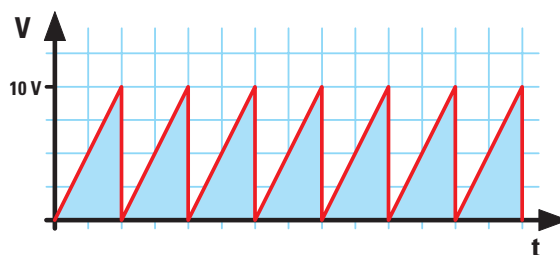


Figure 15 : Si nous relierons l'oscilloscope à la douille C (collecteur), en face avant, nous devons tourner le curseur du trimmer R20 jusqu'à voir une rampe en dents de scie dont l'amplitude atteigne exactement 10 V en pic.

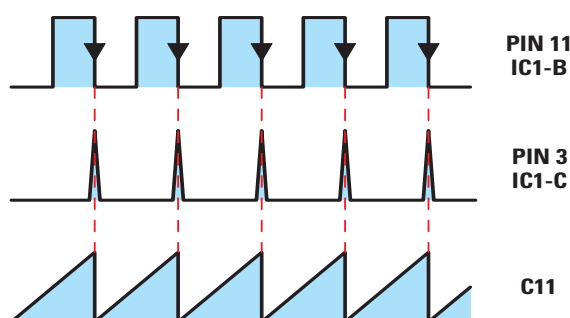


Figure 16 : La rampe en dents de scie est obtenue à partir de la fréquence d'horloge de 280 Hz présente sur la broche 11 de IC1-B. En correspondance avec chaque front de descente de l'horloge, sur la broche 3 de IC1-C, nous avons une impulsion utilisée pour obtenir la rampe en dents de scie.

en dents de scie l'est à son collecteur. Pour visualiser les courbes d'un transistor ou d'un FET, nous devons prélever les signaux sur les douilles XY et les appliquer sur les entrées XY d'un quelconque oscilloscope, comme le montre la figure 9, à droite. Précisément, le signal prélevé à la sortie X de IC7-B est visualisé sur l'axe horizontal, alors que le signal prélevé à la sortie Y de IC8-B est visualisé sur l'axe vertical. Le signal pour l'entrée X est prélevé sur le curseur du commutateur S2-A et appliqué, par R54, à l'entrée non inverseuse 5 de l'amplificateur opérationnel IC7-A, monté en étage séparateur avec gain de 1. De la broche de sortie 7, le signal est appliqué à l'inverseur RL2-A (côté indiqué NPN), lequel correspond aux contacts du double relais RL2. La broche de sortie 7 de IC7-A est aussi reliée, par R55, à l'entrée inverseuse 2 de l'amplificateur opérationnel IC7-B, monté en étage inverseur. Le signal est ensuite prélevé sur la broche de sortie 1 de IC7-B et appliqué sur l'inverseur RL2-A (côté indiqué PNP), lequel, on l'a vu, correspond au RL2. Le signal pour l'entrée Y est prélevé sur le commutateur S2-B et appliqué à l'entrée non inverseuse 5 de l'ampli-

ficateur opérationnel IC8-A par l'intermédiaire de R62. Etant donné que le signal prélevé sur le commutateur S2-B a une amplitude réduite, cet amplificateur opérationnel l'amplifie exactement 10 fois. De la broche de sortie 7 de IC8-A, le signal est ensuite appliqué sur l'inverseur RL2-B (côté indiqué NPN), qui est un des contacts de RL2. Comme le montre la figure 9, la broche de sortie 7 de IC8-A est aussi reliée, par R65, à l'entrée inverseuse 2 de IC8-B. Le signal est ensuite prélevé sur la broche de sortie 1 de IC8-B et appliqué à l'inverseur RL2-B (côté indiqué PNP) lequel, comme nous l'avons dit déjà, correspond au RL2. Les 3 positions 1 mA, 10 mA et 100 mA du double commutateur S2-A et S2-B nous permettent de contrôler les transistors et FET de faible, moyenne et forte puissances.

L'étage d'alimentation

Pour alimenter ce traceur de courbe, il faut une tension double symétrique de 2 x 15 V (-15 0 +15 V) prélevée sur le circuit de la figure 9. Le circuit intégré régulateur IC9 7815 fournit la tension positive de 15 V, alors

que le circuit intégré régulateur IC10 7915 fournit la tension négative de 15 V. Entre la branche de +15 V et la masse, nous avons inséré une LED DL1 indiquant, en s'allumant, que le traceur de courbe est alimenté.

Conclusion et A suivre

Cette première partie s'achève avec la fin de l'analyse approfondie du schéma électrique du traceur de courbe que la deuxième partie vous proposera de construire. ♦

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire ce traceur de courbe EN1538 est disponible chez certains de nos annonceurs. Voir les publicités dans la revue. Les typons des circuits imprimés sont sur www.electronique-magazine.com/les_circuits_imprimés.asp.

La revue ne fournit ni circuit ni composant.

Un traceur de courbe

pour transistors, FET, thyristors, etc.

deuxième partie

la réalisation pratique

L'appareil de mesure présenté ici permet de visualiser à l'écran de tout oscilloscope les courbes caractéristiques des transistors NPN ou PNP, des FET et même des thyristors et triacs. La première partie vous en a proposé l'analyse théorique approfondie, cette deuxième vous dit comment le réaliser et une autre vous expliquera de manière très détaillée comment l'utiliser correctement.



Passons en effet tout de suite à la réalisation pratique de la platine principale et de la platine de commutation, que nous installerons ensuite dans un boîtier plastique, puis nous réglerons ce traceur de courbe et commencerons à apprendre à nous en servir avec les transistors et les FET.

La réalisation pratique des deux platines

Pour réaliser ce traceur de courbe, il vous faut deux circuits imprimés. Le principal, le plus grand est un double face à trous métallisés : la figure 19b 1 et 2 vous donne les dessins des deux faces à l'échelle 1. Le circuit imprimé des commutateurs, plus petit, est un simple face : la figure 20b vous en donne le dessin à l'échelle 1. Quand vous les avez fabriqués ou que vous vous les êtes procurés, commencez par monter le principal.

La platine principale

Si vous suivez avec attention les figures 18 et 19a, vous ne devriez pas rencontrer de problème insoluble, bien qu'il y ait pas mal de composants à monter : procédez par ordre, afin de ne rien oublier, de ne pas intervertir les composants se ressemblant, de ne pas inverser la polarité des composants polarisés et de ne faire en soudant ni court-circuit entre pistes et pastilles ni soudure froide collée. Si vous faites ainsi, le traceur de courbe fonctionnera dès la mise sous tension.

Prenez le grand circuit imprimé double face à trous métallisés, montez tous les composants comme le montre la figure 19a. Placez d'abord les 8 supports des circuits intégrés et vérifiez que vous n'avez oublié de souder aucune broche.

Enfoncez ensuite, sur les bords bas et droit du circuit imprimé, tous les picots de connexion avec l'extérieur et soudez-les.

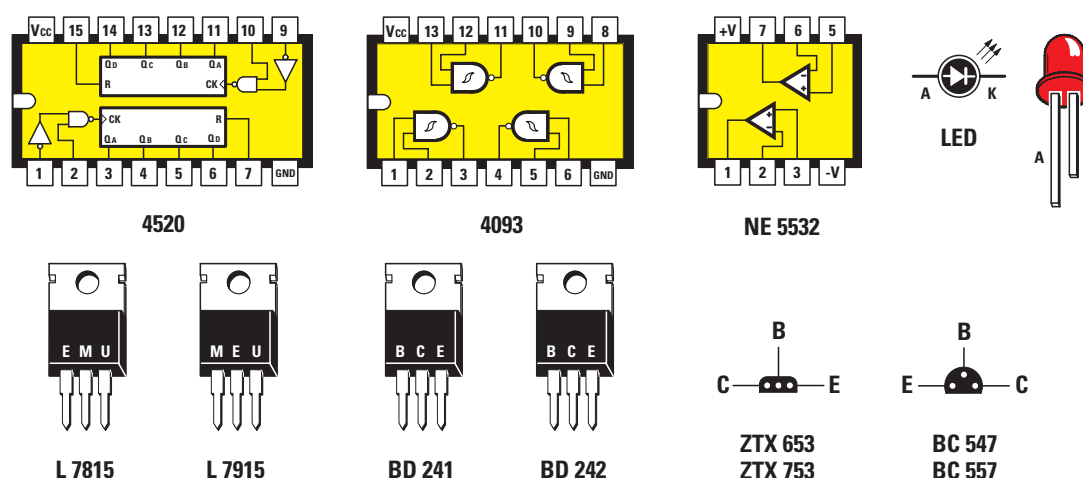


Figure 17: Brochages des circuits intégrés DIL vus de dessus et repère-détrompeurs en U orientés vers la gauche, des deux régulateurs et des deux transistors en boîtiers TO220 vus de face, des deux transistors plastiques vus de dessous et de la LED vue en contre plongée.

Montez toutes les résistances en contrôlant soigneusement leurs valeurs (classez-les d'abord) et les 2 trimmers : attention, R2 à R7, à gauche de IC2, sont des résistances de précision à 5 anneaux de couleurs. R2, R3, R4 et R7, 20 kilohms, sont rouge-noir-noir-rouge-marron (tolérance 1 %). R5 et R6, 10 kilohms sont marron-noir-noir-rouge-marron (tolérance 1 %). Ne les lisez pas à l'envers !

Montez ensuite les 8 diodes au silicium sans confondre les deux types, bagues blanches (DS1 à DS6) ou noires (DS7 et DS8) repère-détrompeurs tournées dans la direction indiquée par la figure 19a. Montez ensuite tous les condensateurs céramiques et polyesters, en appuyant bien leurs boîtiers à la surface du circuit imprimé, puis les électrolytiques en respectant bien la polarité +/– de ces derniers (la patte la plus longue est le + et le – est inscrit sur le côté du boîtier cylindrique).

Montez le pont redresseur en respectant la polarité +/– de ses pattes (le + est en bas quand vous tenez le circuit imprimé comme le montre la figure 18 ou 19a). Montez les 4 transistors en boîtier plastique (TR1 et TR2 ne sont pas des demies lunes mais ils ont tout de même une partie plate) méplats repère-détrompeurs tournés dans le sens montré par les figures 18 et 19a.

Montez TR5 et TR6 (sans les intervertir), en boîtier à semelle TO220, pattes repliées à 90° et couchés dans leur dissipateur en U, fixés par un petit boulon 3MA (n'oubliez pas de les souder). Montez les 2 circuits intégrés régulateurs de tension qui leur ressemblent, en boîtiers TO220 à semelle

les (sans les intervertir), mais debout contre leurs gros dissipateurs en U à ailettes : solidarisez-les avec leur dissipateur à l'aide d'un boulon 3MA, enfoncez les 3 pattes dans les 3 trous bien à fond, afin que la base du dissipateur s'appuie bien contre la surface du circuit imprimé, maintenez-le dans cette position pendant que vous

soudez les pattes, en commençant par celle du milieu et coupez les longueurs excédentaires.

Continuez en montant les 2 relais puis, à l'aide de 4 boulons, le gros transformateur d'alimentation secteur 230 V. Montez enfin ses 2 borniers à deux pôles : celui du fond pour le cor-

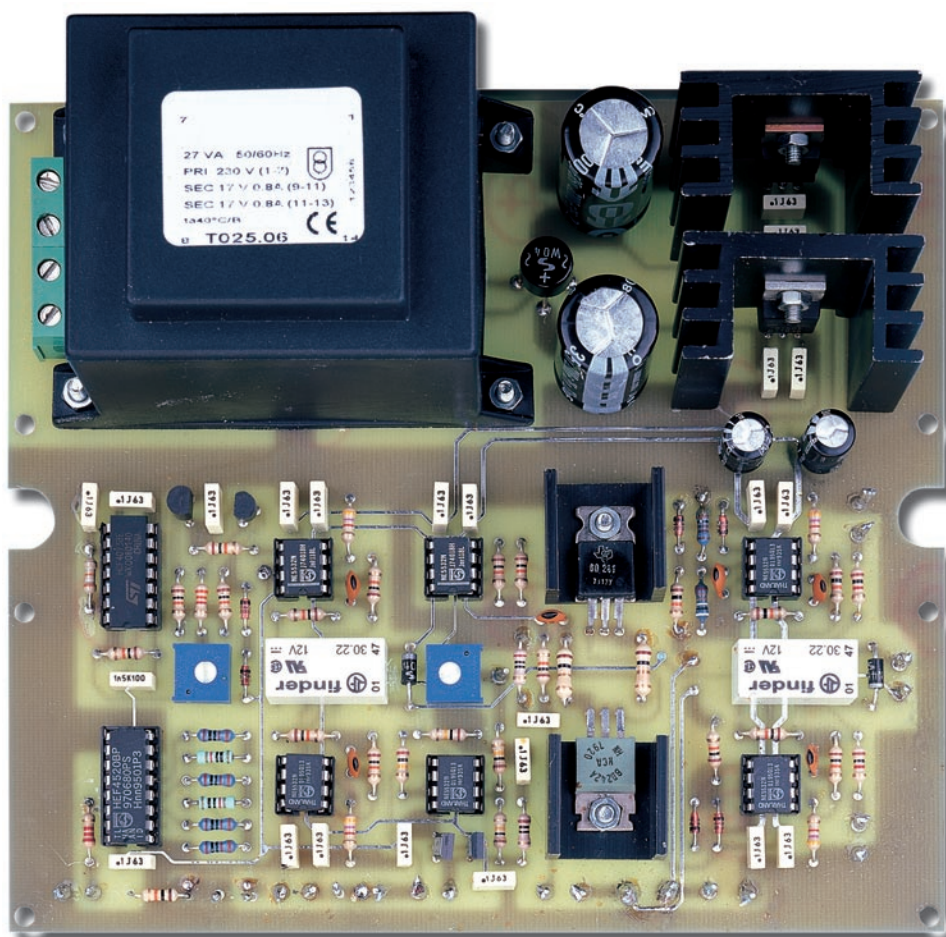


Figure 18: Photo d'un des prototypes de la platine principale du traceur de courbe. Régulateurs et transistors de puissance sont montés sur radiateurs.

TRANSISTORS EN EXAMEN

COMPONENTS:

- IC1-IC10:** Integrated Circuits
- TR1-TR6:** Transistors
- R1-R69:** Resistors
- C1-C34:** Capacitors
- DS1-DS8:** Diodes
- T1:** Transformer
- RELE 1, RELE 2:** Relays
- DL1:** Power Source
- S1, S2-A, S2-B:** Switches
- S3:** Switch
- FET TR:** Field Effect Transistor
- C:** Capacitor
- B:** Base
- E:** Emitter

VERS PLATINE COMMUTATEUR



Erratum

Dans la liste des composants publiée dans la première partie de cet article (ELM 52, page 12) nous avons interverti les valeurs de **R59** et de **R61**. Il faut donc lire :

R59 ... 0,1 Ω 1/2 W
R60 .. 1 Ω 1/2 W
R61 ... 10 Ω 1/2 W

Avec nos excuses.

don secteur 230V et l'autre pour l'interrupteur M/A.

Vous avez fait l'essentiel, courage ! Les autres composants sont extérieurs à la platine, vous les monterez lors de l'installation dans le boîtier, mais si vous voulez, vous pouvez préparer les câbles de liaison à ces éléments : fils gainés plastiques lisses ou torsadés (LED et interrupteur) ou câbles coaxiaux (vers les BNC des sorties oscilloscope). Voir figure 19a.

Insérez maintenant (à moins que, puristes, vous ne préfériez attendre la fin de l'installation dans le boîtier et que la toute dernière soudure soit refroidie !) les circuits intégrés dans leurs supports, repère-détrompeurs en U orientés dans les sens montrés par la figure 19a.

Il vous reste à monter la seconde platine : celle des commutateurs

La platine des commutateurs

Elle sera vite montée et si vous suivez bien les figures 20a et 21, vous ne vous tromperez pas. Prenez le petit circuit imprimé simple face et montez les quelques composants, comme le montre la figure 20a. Montez tout d'abord les picots d'interconnexions au bord inférieur.

Montez les résistances "normales" (1/4 de W) R32 à R50, puis les 3 1/2 W R59 à R61. Montez les 2 résistances de puissance R52 (4,7 ohms, 5W) et R53 (10 ohms, 5W) en les maintenant à distance du circuit imprimé avec une pièce de 10 cents (que vous récupérerez ensuite !) : sans cela vous risqueriez de brûler la surface de la plaque d'époxy.

Montez enfin les 2 commutateurs rotatifs (ils ne sont pas identiques, voir liste des composants). Au préalable, avec une scie à métaux, raccourcissez les axes des commutateurs afin de pouvoir ultérieurement placer les boutons correctement (à 2-3 mm de la face avant).

C'est terminé, préparez, si vous voulez, les fils d'interconnexions avec la platine principale et vérifiez bien vos soudures. Il ne vous reste plus qu'à procéder à l'installation des deux platines dans le boîtier plastique.

Le montage dans le boîtier

Comme le montre la figure 34, les deux platines prennent place, la grande

sur le fond horizontal du boîtier plastique, où elle est fixée à l'aide de 8 vis autotaraudeuses et la petite derrière la face avant, où elle est maintenue par les deux axes-rondelles-écrous des 2 commutateurs.

Cette même figure 34, ainsi que les figures 19a et 20a, vous permettent de réaliser les connexions extérieures et les interconnexions entre les platines sans vous tromper, en utilisant des fils de couleurs différentes.

Sur le panneau arrière, pratiquez trois trous pour les deux BNC Sorties vers oscilloscope (à relier ensuite à la platine principale par des câbles coaxiaux) et l'entrée du cordon secteur 230 V à travers le passe-fils (à relier ensuite au bornier de l'alimentation) : voir figures 34 et 19a.

En face avant, montez l'interrupteur M/A et la LED (à relier ensuite aux deux torsades que vous avez préparées, ne les confondez pas, la jaune est pour le secteur 230 V et l'autre, polarisée, pour la LED). Montez l'inverseur S3 FET/TR et les 3 prises bananes (collecteur/base/émetteur), sans oublier la rondelle d'isolation de ces dernières (figure 46 en bas). Montez l'interrupteur S4 PNP/NPN. Les 2 axes des commutateurs, c'est déjà fait puisque vous avez monté la petite platine derrière la face avant : figures 46 et 19a.

Entre les deux platines, soudez les 6 fils (3 x 2) de couleurs S1, S2-A et S2-B, comme le montrent les figures 19a, 20a et 34.

C'est terminé, vérifiez que vous n'avez commis aucune erreur de câblage et passez aux réglages.

Les réglages

Avant d'utiliser l'appareil pour le test des transistors, FET et autres semiconducteurs, vous devez régler les trimmers R11 et R20.

Le réglage de R11

Ce trimmer sert à faire varier l'amplitude de la rampe en escalier de façon à obtenir sur TP1 un signal de 1 V d'amplitude, ce qui correspond à 7 carreaux, comme le montre la figure 22. Avant d'effectuer ce réglage, mettez l'interrupteur S5 M/A sur ON (LD1 s'allume), placez l'inverseur S3 FET/TR en position TR et l'interrupteur S4 PNP/NPN sur PNP, comme le montre la figure 23.

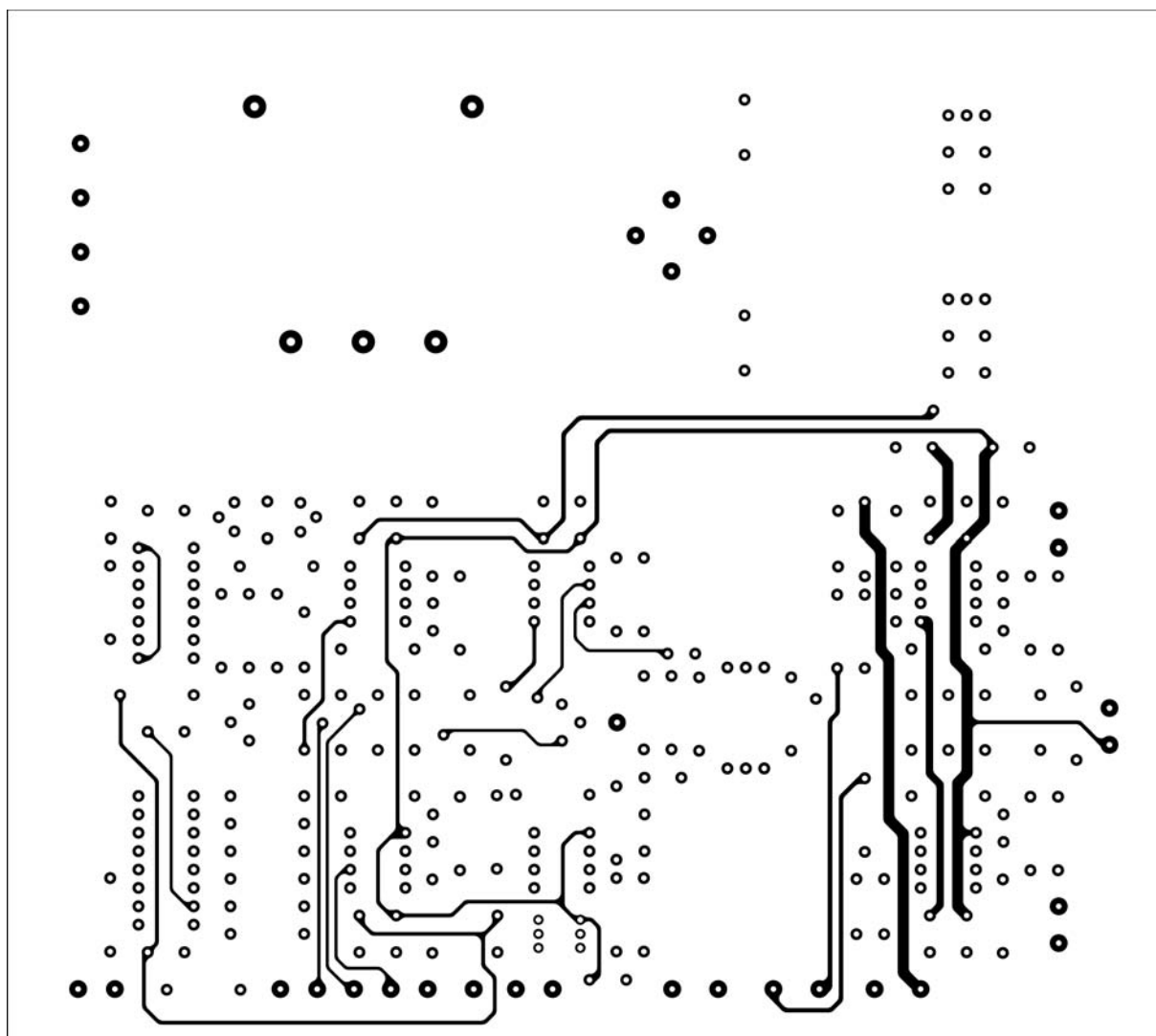


Figure 19b-1: Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé double face à trous métallisés, côté composants.

Sur l'oscilloscope :

- Mettez le sélecteur d'entrée du CH1 (canal 1), sur lequel on lit AC-GND-DC, en position GND (figure 24).
- Mettez le commutateur VOLTS/DIV. de CH1 sur la portée 1 V/div., comme le montre la figure 24, puis contrôlez que le petit bouton CAL (calibration variable) est bien en position de calibration, en vous référant au manuel de l'oscilloscope. Sinon vous risquez, lors du réglage, une erreur de mesure.

Note : certains oscilloscopes avertissent l'utilisateur (par l'allumage d'une LED située à côté du bouton CAL) qu'il n'est pas en position de calibration.

- Mettez maintenant le commutateur TIME/DIV. sur la valeur 5 ms (figure 25). La figure 25 représente un commutateur standard. Votre propre oscilloscope peut avoir un commu-

tateur totalement différent, mais TIME/DIV. est toujours indiqué. Pour ce commutateur TIME/DIV., même remarque que pour le bouton CAL à propos des VOLTS/DIV. Faites bien attention que ce bouton soit bien en position de calibration, sinon vous pourriez ne pas visualiser correctement la forme d'onde à l'écran.

- Ensuite, cherchez sur la face avant de l'oscilloscope la commande "TRIGGER MODE" : ce peut être un inverseur à levier ou 3 poussoirs alignés "AUTO-NORMAL-SINGLE" (figure 26). Sélectionnez AUTO.

Après avoir ainsi préparé votre oscilloscope et votre traceur de courbe, vous pouvez régler R11 en reliant la sonde à TP1 (à droite du trimmer). Il va sans dire que le petit inverseur situé sur la sonde (figure 27) doit être sur la portée x1, que la sonde est à relier à l'entrée CH1-Input X de l'oscilloscope et que la masse est à connecter à n'im-

porte quel point de masse du traceur de courbe.

- Le sélecteur d'entrée étant en position GND, tournez le bouton de déplacement vertical du tracé (figure 28) afin qu'il coïncide avec la dernière ligne du bas de l'écran.
- Mettez maintenant le sélecteur sur DC (tension continue) et la rampe à 7 marches d'escalier apparaît à l'écran, comme le montre la figure 29.

Note : en fait, si l'on compte aussi le niveau de départ, en bas, vous en trouverez huit.

- Tournez le curseur de R11 jusqu'à ce que l'amplitude et, par conséquent, la distance entre le premier et le dernier trait, soit égale à 7 carreaux, comme le montre la figure 22. Comme le sélecteur VOLTS/DIV. de CH1 est sur 1 V par carreau, comme le montre la figure 24, on comprend

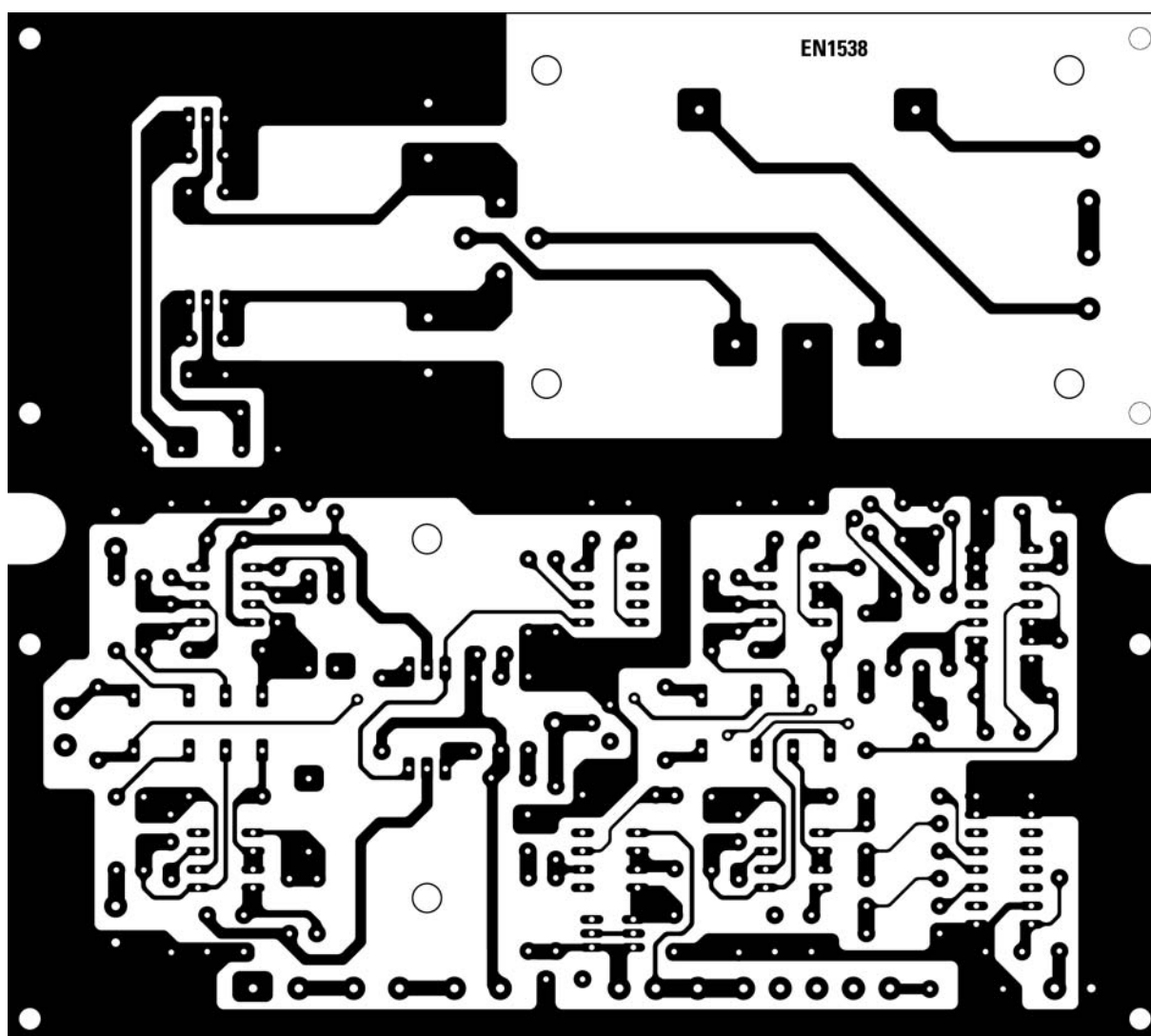


Figure 19b-2: Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé double face à trous métallisés, côté soudures.

bien que l'amplitude de la rampe est calibrée à 7 V. Quand le réglage de la rampe en escalier est fait, vous avez calibré correctement la valeur des courants qui arriveront sur la base du transistor testé.

Le réglage de R20

Ce trimmer sert à faire varier l'amplitude de la rampe en dents de scie, de façon à obtenir en sortie un signal de 10 V d'amplitude, ce qui correspond à 5 carreaux, comme le montre la figure 30.

- Avant d'effectuer ce réglage, vous devez mettre l'interrupteur S4 sur NPN, comme le montre la figure 30. S3 reste en position TR. Passez maintenant au réglage de l'oscilloscope.
- Mettez le sélecteur d'entrée, CH1 (AC-GND-DC) en position GND, comme le montre la figure 31.
- Mettez le commutateur VOLTS/DIV. de CH1 sur la portée 2 V/div., comme le montre la figure 31 et contrôlez

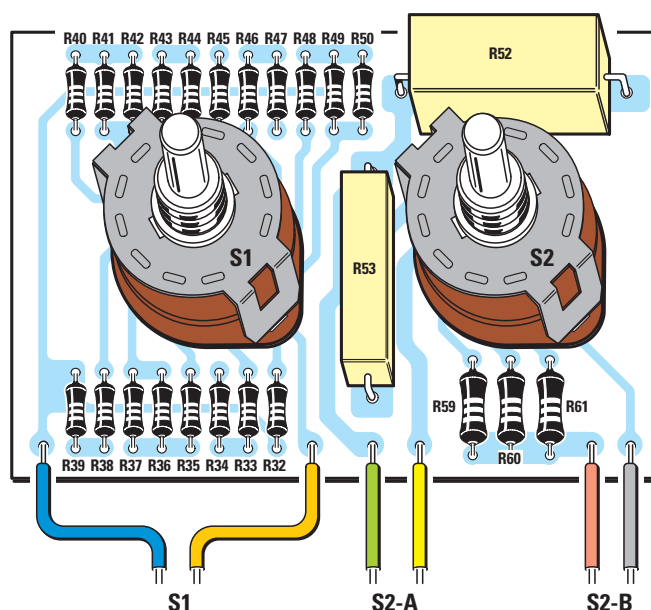


Figure 20a: Schéma d'implantation des composants de la platine des commutateurs. Montez les 2 commutateurs et toutes les résistances précédées, dans la liste des composants (première partie de l'article), d'un astérisque. Les fils S1 - S2/A - S2/B, provenant du circuit imprimé principal, doivent être reliés aux points correspondants du petit circuit imprimé.

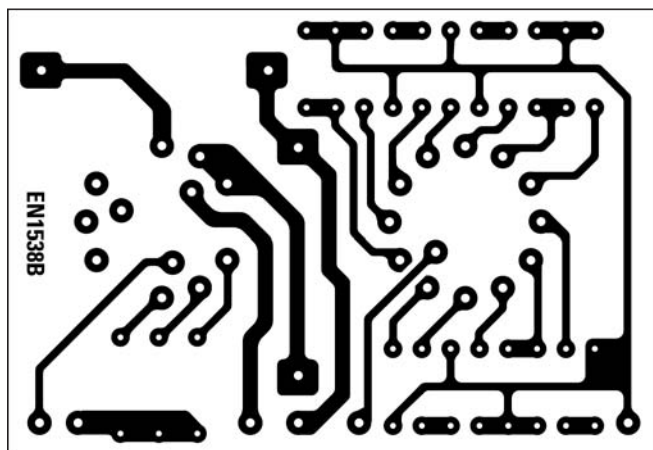


Figure 20b: Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé de la platine des commutateurs.

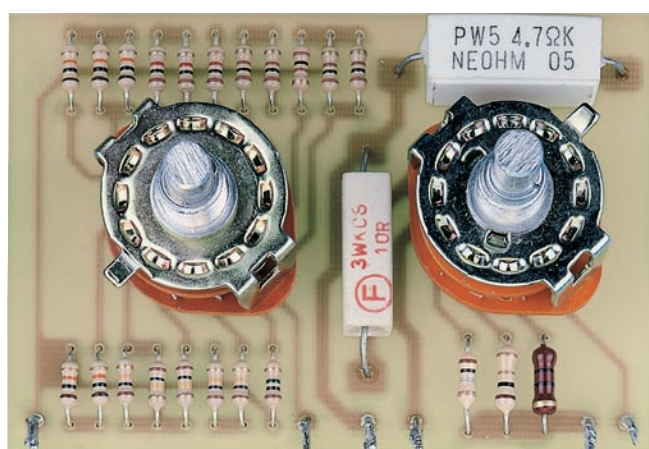


Figure 21: Photo d'un des prototypes de la platine des commutateurs. Les axes des commutateurs doivent être raccourcis avec une scie à métaux afin de pouvoir monter correctement les boutons (écartés de 2-3 mm de la face avant). Les deux résistances de puissance doivent être maintenues à 2 ou 3 mm du circuit imprimé afin de ne pas le brûler.

là aussi le petit bouton CAL (même remarque que pour R11).

- Mettez maintenant le commutateur TIME/DIV. sur la valeur 1 ms (figure 32).
- Passez en "TRIGGER MODE", qui peut être un inverseur ou 3 poussoirs, comme le montre la figure 26 et sélectionnez AUTO.

Après avoir ainsi préparé votre oscilloscope et votre traceur de courbe, vous pouvez régler R20 en reliant la sonde à TP1 (à droite du trimmer). Le petit inverseur situé sur la sonde (figure 27) doit être sur la portée x1, la sonde est à relier à l'entrée CH1-Input X de l'oscilloscope et la masse est à connecter à n'importe quel point de masse du traceur de courbe.

- Le sélecteur d'entrée étant en position GND, tournez le bouton de déplacement vertical du tracé (figure 28) afin qu'il coïncide avec la dernière ligne du bas de l'écran.
- Mettez maintenant le sélecteur sur DC (tension continue) et apparaît à l'écran la rampe en dents de scie complète, comme le montre la figure 30.
- Tournez le curseur de R20 jusqu'à ce que l'amplitude soit égale à 5 carreaux. Comme le sélecteur VOLTS/DIV. de CH1 est sur 2 V par carreau, comme le montre la figure 31, on comprend bien que 5 carreaux verticaux correspon-

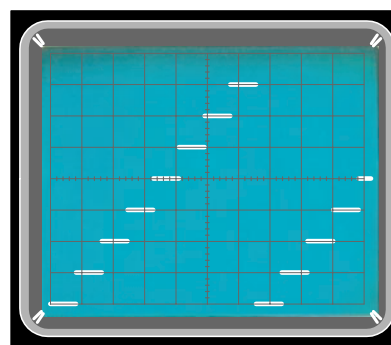


Figure 22: Le curseur de R21 est à régler de manière à obtenir à l'écran 7 marches distantes d'un carreau exactement.

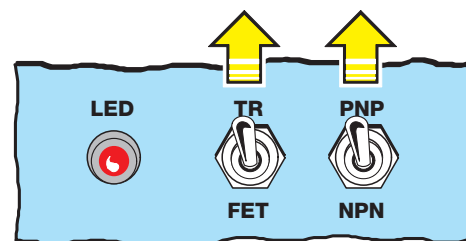


Figure 23: Pendant le réglage, l'inverseur TR/FET est mis sur TR, alors que l'autre inverseur PNP/NPN l'est sur PNP.

dent à une amplitude de $5 \times 3 = 10$ V. Quand le réglage de la rampe en dents de scie est fait, votre traceur de courbe est prêt à fonctionner.

Comment préparer l'oscilloscope ?

- Tout d'abord, positionnez les sélecteurs d'entrées XY marqués AC-GND-DC en position DC, soit en continu, comme le montre la figure 33.
- Ensuite, mettez le bouton du commutateur VOLTS/DIV. du canal X (CH1) sur la position 1 V/div., comme le montre la figure 33. Ne bougez plus de cette position, car elle sert à visualiser à l'écran dans le sens horizontal les V appliqués

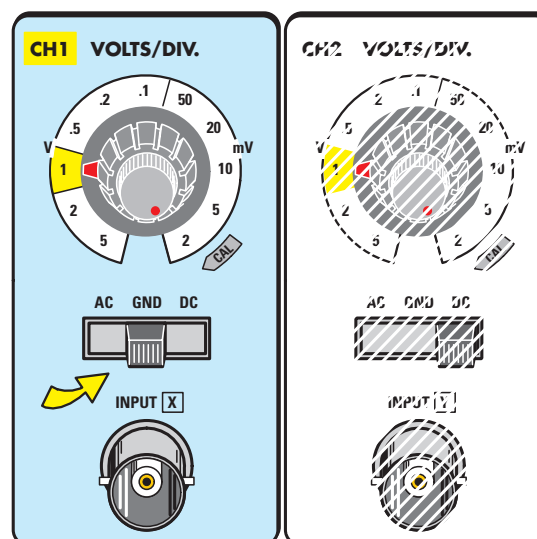
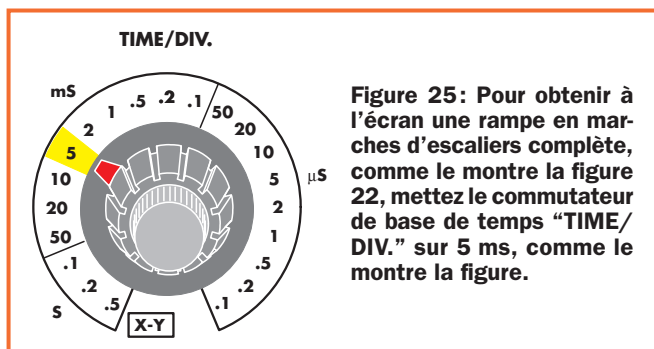


Figure 24: Après avoir mis le sélecteur d'entrée sur GND, placez le commutateur V/div. du CH1 sur la portée 1 V.



au collecteur du transistor en examen et correspond à 1 V par carreau.

- Troisièmement, mettez le bouton du commutateur VOLTS/DIV. du canal Y (CH2) en position 0,1 V/div., comme le montre la figure 33: sur la face avant de l'oscilloscope vous ne trouverez jamais 0,1 mais toujours .1 (Amérique oblige!). Le commutateur V/div. du canal Y sert à visualiser correctement dans le sens vertical, comme le montrent les figures 36 à 38, le courant traversant le collecteur du transistor essayé. Dans la position 0,1 V/div., la valeur à attribuer à chaque carreau de l'axe Y correspond exactement à la valeur paramétrée sur le commutateur du courant de collecteur en face avant du traceur de courbe, comme le montre la figure 37. Et donc les trois positions du commutateur de courant de collecteur servent à obtenir les valeurs:
- 1 mA/div. = dans cette position, chaque carreau vertical, comme le montre la figure 37, correspond à un courant de 1 mA.
- 10 mA/div. = dans cette position, chaque carreau vertical correspond à un courant de 10 mA.

TRIGGER MODE

SINGLE NORM AUTO



TRIGGER MODE

SINGLE NORM AUTO



Figure 26: Sur la face avant de tout oscilloscope se trouve un sélecteur "TRIGGER MODE", il peut être du type à glissière (voir dessin de gauche) ou à poussoir (dessin de droite), mais dans les deux cas vous devez le mettre en position AUTO.

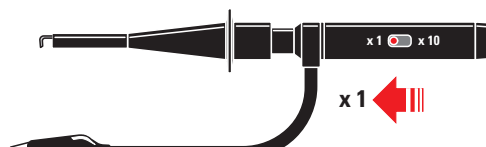
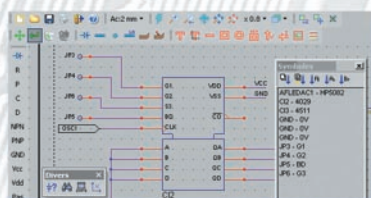


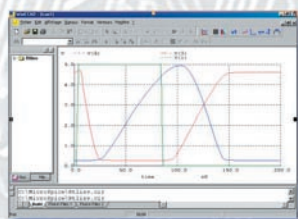
Figure 27: Quand on mesure un signal, on utilise une sonde offrant la possibilité d'insérer ou non un atténuateur x10, utilisé pour mesurer les tensions élevées. Ici le sélecteur doit être sur x1.

- 100 mA/div. = dans cette position chaque carreau vertical correspond à un courant de 100 mA.
- Enfin, vous devez régler l'oscilloscope sur la fonction XY et, comme tous les oscilloscopes ne sont pas identiques, sur certains vous devez presser un poussoir et sur d'autres tourner un bouton de "TIME/DIV." jusqu'à positionner l'index sur XY, comme le montre la figure 35.

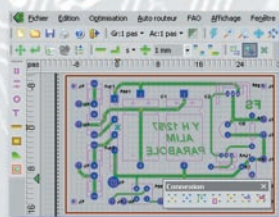
Déjà un nouveau standard ! la chaîne complète de CAO 100% français



Winschem
Saisie de schémas



WinECAD
Simulateur



Wintypon
Fabrication du circuit

démo téléchargeable sur : www.micrelec.fr/cao



MICRELEC

4, place Abel Leblanc - 77120 Coulommiers
tel : 01 64 65 04 50 - Fax : 01 64 03 41 47

KIT Ethernet

Distributeur officiel

Intégrer une liaison
Ethernet en quelques minutes.

- Convertisseur Ethernet TTL Série, RS232, 485.
- Ethernet 10BaseT avec protocole TCP, UDP, ICMP (ping), ARP.
- Aucun composant extérieur
- Communication via ports virtuels ou direct TCP.
- Exemples en VB, Delphi fournis.
- A partir de 66 € HT.
- Support technique gratuit.
- Autres modèles disponibles avec protocole HTTP 1.0 et 8 entrées analogiques.



optiminfo

Route de Ménétreu 18240 Boulleret
Tél : 0820 900 021 Fax : 0820 900 126
Site Web : www.optiminfo.com

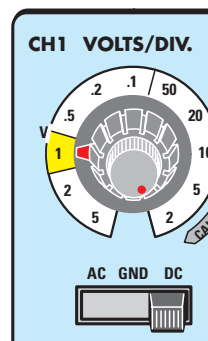
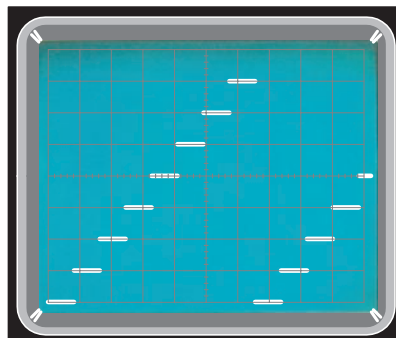
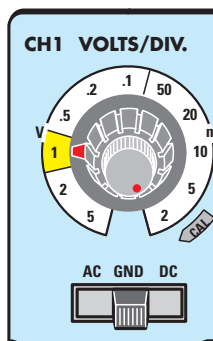
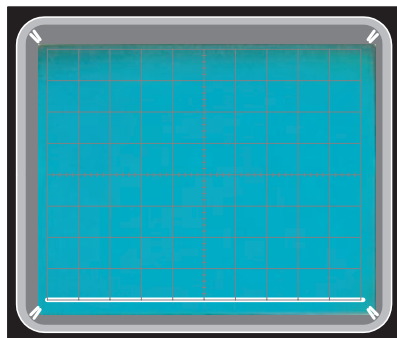


Figure 28: Sélecteur d'entrée toujours sur GND, tournez le petit bouton permettant le déplacement du tracé à l'écran dans le sens vertical, comme le montre la figure 13, jusqu'à amener ce tracé sur la première ligne du bas.

Figure 29: Sélecteur sur DC cette fois, apparaît à l'écran la rampe à 7 marches. Si vous comptez la marche de départ, cela fait 8 traits.

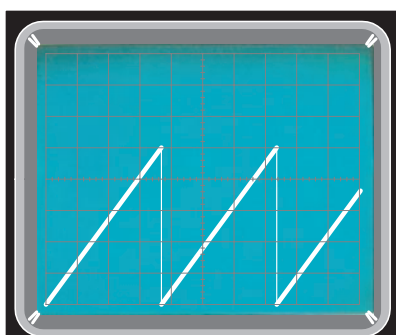


Figure 30: La rampe en dents de scie de 5 carreaux s'obtient en tournant le curseur de R20. Avant d'effectuer le réglage, vous devez mettre l'inverseur TR/FET sur TR et l'inverseur PNP/NPN sur NPN.

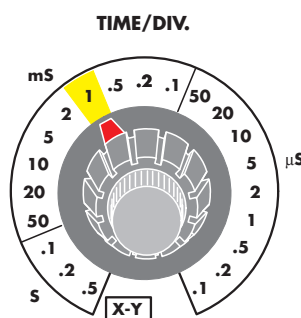
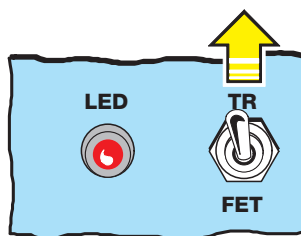


Figure 32: Pour obtenir à l'écran la rampe en dents de scie de la figure 30, vous devez mettre le commutateur "TIME/DIV." sur 1 ms.

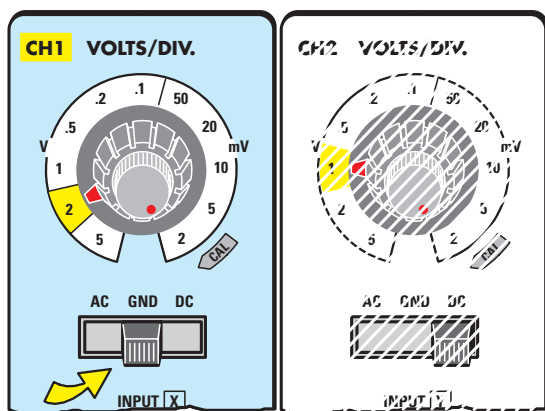


Figure 31: Pour régler R20, mettez le commutateur V/div. du canal CH1 sur 2 V et le sélecteur d'entrée en position GND.

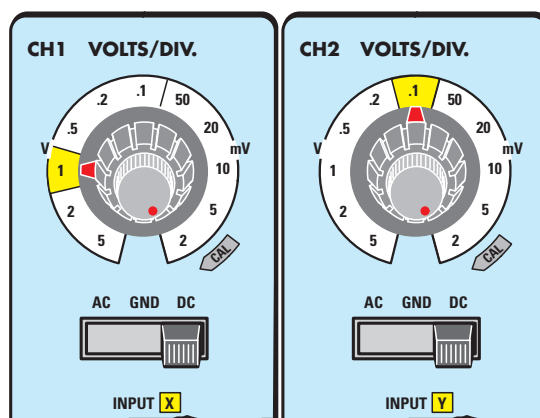


Figure 33: Pour préparer l'oscilloscope aux mesures, vous devez mettre le bouton V/div. du CH1 sur 1 V et celui du CH2 sur 0,1 V. Les sélecteurs d'entrée doivent être tous deux sur DC.

Note : si vous avez correctement préparé l'oscilloscope sur XY, vous verrez à l'écran un petit point lumineux, si le traceur de courbe n'est pas connecté, bien sûr.

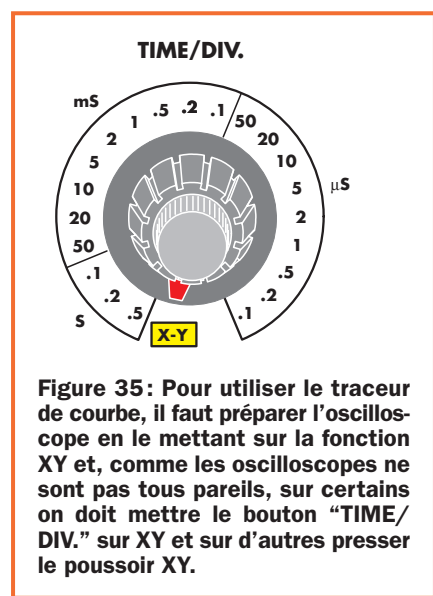
La variation du courant de collecteur sur l'axe Y

Le paragraphe précédent vous a expliqué qu'en mettant le commutateur V/div. du canal Y sur 0,1 V on peut attribuer à chaque carreau vertical une valeur bien définie de courant, en correspondance avec les 3 positions du bouton

du traceur de courbe, comme le montre la figure 37. Etant donné que pendant la mesure il peut s'avérer nécessaire de faire varier la sensibilité de l'oscilloscope, afin de mieux visualiser à l'écran les courbes d'un semiconducteur, pour y parvenir vous pouvez agir sur le commutateur V/div. du canal Y. Si vous mettez le commutateur V/div. sur la portée 50 mV, comme le montre la figure 36, les valeurs indiquées par le bouton mA/div. donneront lieu aux échelles suivantes sur l'axe Y :

- sur la portée 1 mA/div., vous lirez sur l'axe Y un courant de 0,5-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0 mA,

Figure 34 : L'installation des deux platines dans le boîtier plastique. Sur cette photo d'un des prototypes on voit bien la fixation de la platine principale sur le fond à l'aide de 8 vis autotaraudeuses et celle de la platine des commutateurs par les axes-rondelles-écrous des deux commutateurs (figures 20a et 21), ainsi que les interconnexions entre les platines et vers les face avant et panneau arrière. Les deux prises BNC (figure 41) conduisent les signaux aux entrées Axe Y et Axe X de l'oscilloscope (figure 42).



- sur la portée 10 mA/div. vous lirez sur l'axe Y un courant de 5-10-15-20-25-30-35-40 mA,
- sur la portée 100 mA/div. vous lirez sur l'axe Y un courant de 50-100-150-200-250-300-350-400 mA.

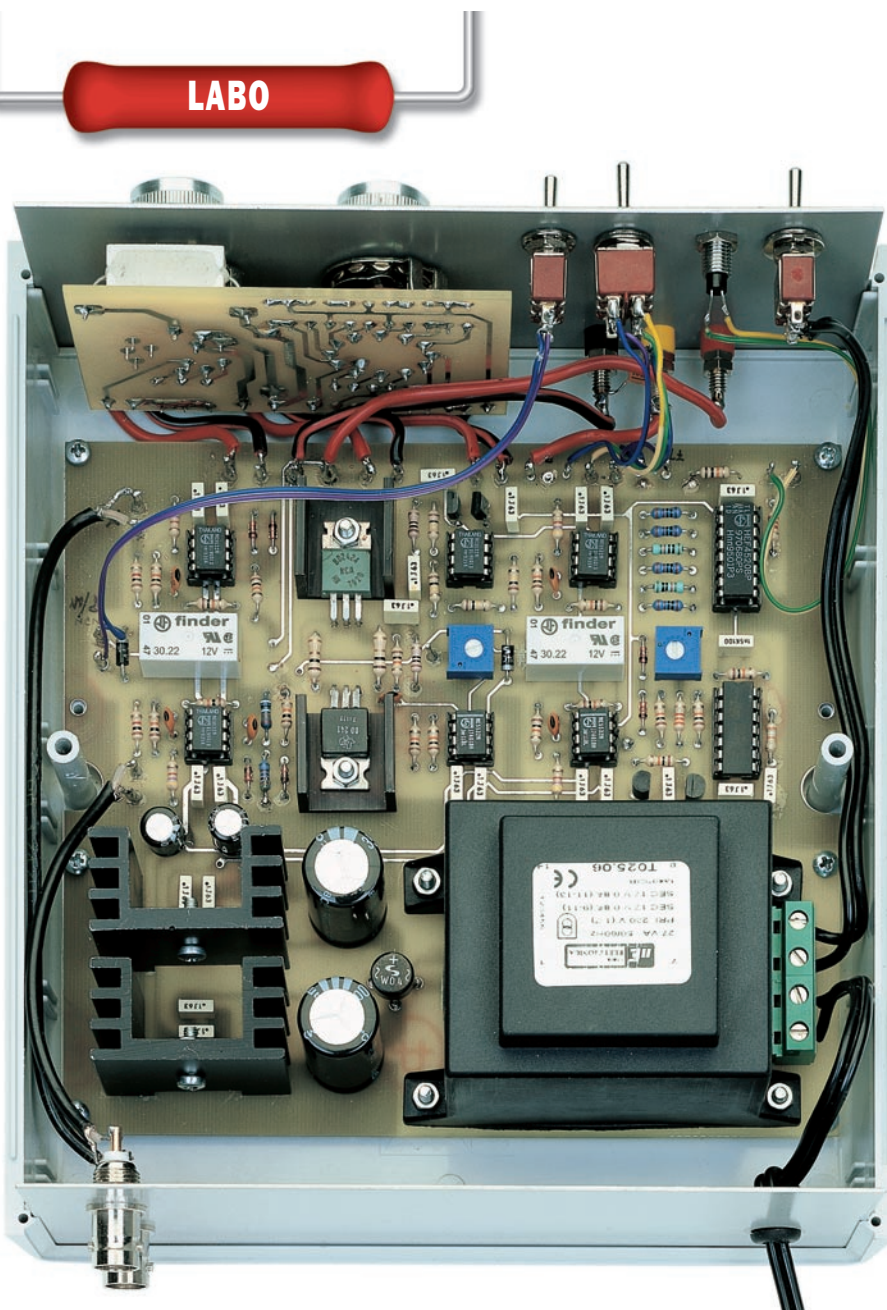
Avec le commutateur V/div. sur 0,1 V/div., comme le montre la figure 37, vous aurez sur l'axe Y les échelles suivantes :

- sur la portée 1 mA/div., vous lirez sur l'axe Y un courant de collecteur de 1-2-3-4-5-6-7-8 mA,
- sur la portée 10 mA/div., vous lirez sur l'axe Y un courant de collecteur de 10-20-30-40-50-60-70-80 mA,
- sur la portée 100 mA/div., vous lirez sur l'axe Y un courant de collecteur de 100-200-300-400-500-600-700-800 mA.

Avec le commutateur V/div. sur 0,2 V/div., comme le montre la figure 38, vous aurez sur l'axe Y les échelles suivantes :

- sur la portée 1 mA/div., vous lirez sur l'axe Y un courant de collecteur de 2-4-6-8-10-12-14-16 mA,
- sur la portée 10 mA/div., vous lirez sur l'axe Y un courant de collecteur de 20-40-60-80-100-120-140-160 mA,
- sur la portée 100 mA/div., vous lirez sur l'axe Y un courant de collecteur de 200-400-600-800-1 000-1 200-1 400-1 600 mA.

La possibilité de faire varier avec une extrême facilité la sensibilité de l'oscilloscope vous permet de visualiser n'importe quel type de courbe.



Comment relier le traceur de courbe ?

Pour relier le traceur de courbe à l'oscilloscope, il faut seulement deux petits câbles coaxiaux d'un mètre de long environ pourvus aux extrémités de deux fiches BNC, à insérer sur les prises BNC du panneau arrière du traceur de courbe et sur les prises BNC XY de l'oscilloscope. Si par erreur vous intervertissez ces cordons, vous verrez apparaître à l'écran les courbes dans le sens vertical au lieu du sens horizontal normal et pour résoudre le problème vous n'aurez qu'à intervertir les deux BNC sur l'oscilloscope.

Les commandes en face avant du traceur de courbe

En face avant du traceur de courbe, comme le montre la figure 1 (première partie de l'article, dans le numéro 49 d'ELM), on trouve 2 commutateurs, 3 inverseurs et 3 douilles C-B-E, soit collecteur, base, émetteur. Le film de la face avant indique en correspondance des 3 douilles comment relier les 3 pattes D-G-S d'un FET au traceur de courbe : le drain du FET va à la douille C, la gâchette va à B et la source va à E.

Parmi les 3 inverseurs, le premier à gauche, ON/OFF, est l'interrupteur de M/A servant à mettre le traceur de courbe sous tension (elle a lieu tout de suite), ce qui illumine la

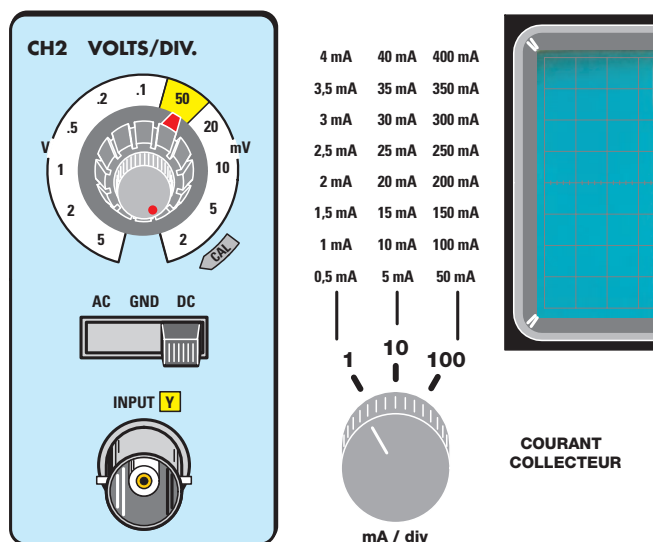


Figure 36 : Bouton du commutateur V/div. du canal CH2 sur 50 mV, on obtient sur l'axe vertical ces 3 échelles de courant différentes. Si vous placez le bouton de Courant de collecteur du traceur de courbe sur 1 mA/div., vous obtenez un courant de collecteur de 0,5 mA par carreau. Si en revanche vous le placez sur 10 mA/div., vous obtenez un courant de 5 mA par carreau. Si, enfin, vous le placez sur 100 mA/div., vous obtenez un courant de 50 mA par carreau.

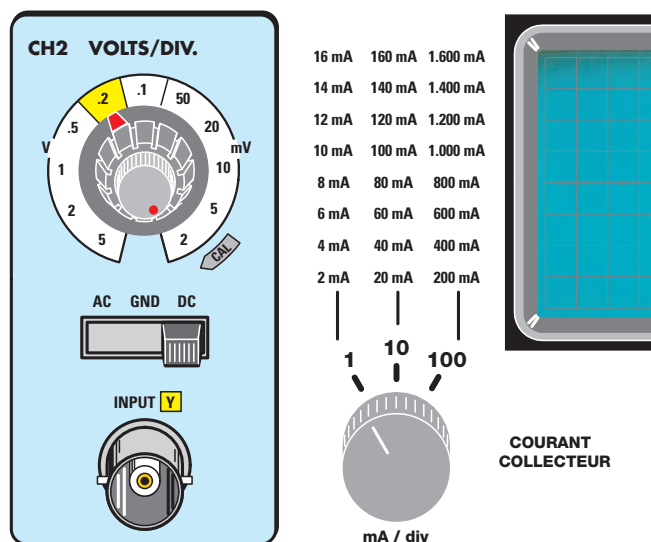


Figure 38 : Bouton du commutateur V/div. du canal CH2 sur 0,2 V, on peut sélectionner sur l'axe vertical ces 3 échelles de courant différentes. Si vous placez le bouton de Courant de collecteur du traceur de courbe sur 1 mA/div., vous obtenez un courant de collecteur de 2 mA par carreau. Si en revanche vous le placez sur 10 mA/div., vous obtenez un courant de 20 mA par carreau. Si, enfin, vous le placez sur 100 mA/div., vous obtenez un courant de 200 mA par carreau.

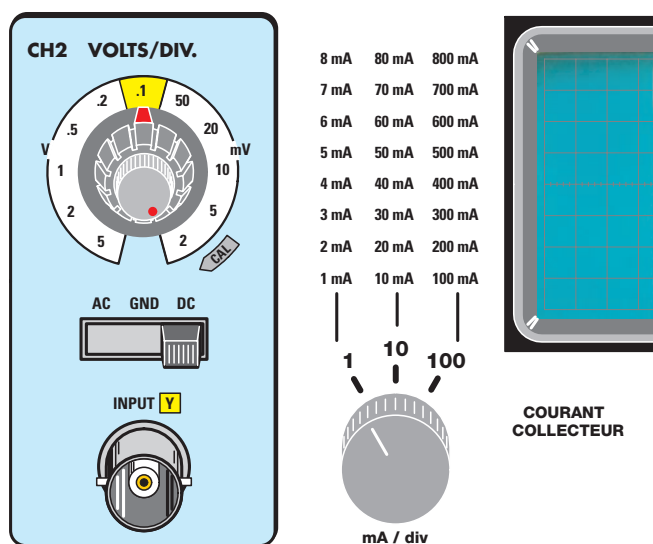


Figure 37 : Bouton du commutateur V/div. du canal CH2 sur 0,1 V, on peut sélectionner ces 3 échelles de courant différentes sur l'axe vertical. Si vous placez le bouton de Courant de collecteur du traceur de courbe sur 1 mA/div., vous obtenez un courant de collecteur de 1 mA par carreau. Si en revanche vous le placez sur 10 mA/div., vous obtenez un courant de 10 mA par carreau. Si, enfin, vous le placez sur 100 mA/div., vous obtenez un courant de 100 mA par carreau.

LED. Le deuxième, TR/FET, sert à préparer le traceur de courbe à donner les courbes d'un transistor ou celles d'un FET. Le troisième, PNP/NPN, sert à le préparer à donner les courbes d'un transistor PNP ou NPN.

En regardant cette face avant, comme le montre la figure 1, on trouve aussi un premier commutateur, Courant de base, donnant des courants de 1 μ A à 20 mA: ce commutateur à 12 positions permet de sélectionner les courants de base du transistor dont vous voulez voir les courbes à l'écran. Quand vous voulez tester un transistor dont vous ignorez les caractéristiques, il faut toujours mettre ce commutateur sur 1 μ A. Le second commutateur, Courant de collecteur, n'a que

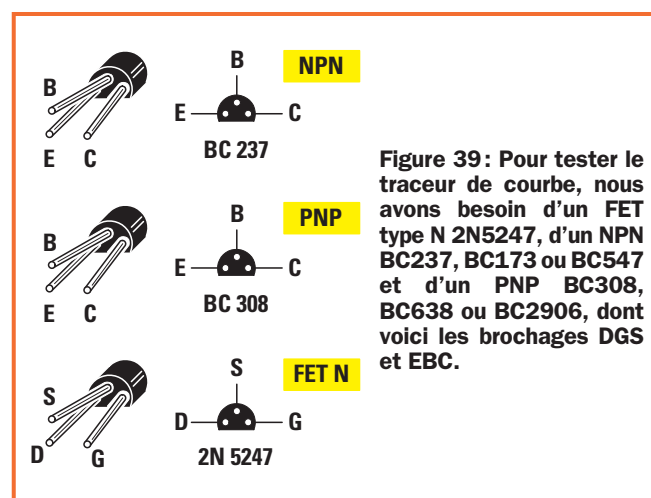


Figure 39 : Pour tester le traceur de courbe, nous avons besoin d'un FET type N 2N5247, d'un NPN BC237, BC173 ou BC547 et d'un PNP BC308, BC638 ou BC2906, dont voici les brochages DGS et EBC.

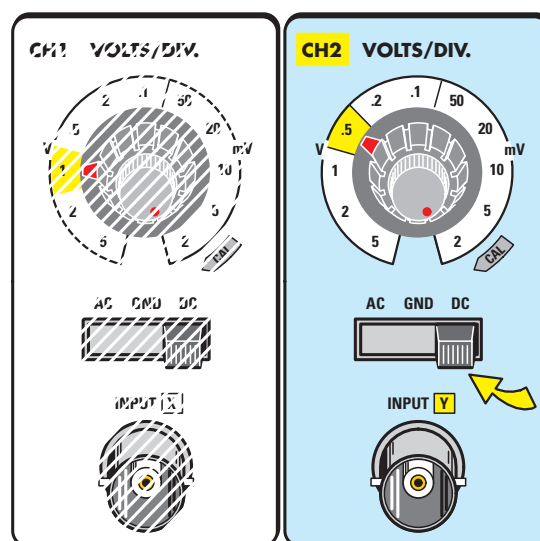


Figure 40 : Si vous voulez tester tout de suite un transistor, mettez le bouton de Courant de collecteur sur 1 mA/div. (figure 36), celui du commutateur V/div. du CH2 sur 0,5 V et, enfin, le sélecteur d'entrée sur DC.

3 positions 1-10-100 mA et, quand on veut tester un transistor, il faut toujours le positionner sur 1 mA.

Il vous faut maintenant quelques transistors

Procurez-vous quelques transistors bien choisis afin de vous entraîner à en tracer les courbes. Il vous faut un FET type N 2N5247 : la figure 39 en donne le brochage drain-source-gachette. Il vous faut également un NPN BC237, BC173 ou BC547 : la figure 39 en donne le brochage émetteur-base-collecteur. Enfin un PNP BC308, BC638 ou BC2906 : la figure 39 en donne le brochage émetteur-base-collecteur.

La mesure d'un transistor NPN

Prenez le transistor NPN et, avant de connecter les 3 pattes EBC à l'entrée du traceur de courbe, exécutez ces opérations :

- Mettez l'inverseur TR/FET sur TR.
- Mettez l'inverseur PNP/NPN sur NPN, car votre transistor d'essai en est un.
- Mettez le commutateur rotatif Courant de base sur la portée 5 μA (deuxième position à gauche en partant du bas), comme le montre la figure 1.

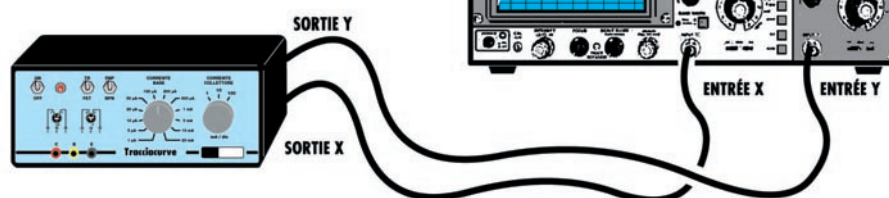
Note : si le premier des 7 tracés en partant du bas n'est pas stable dans sa partie initiale, sachez que cela correspond à une tension de collecteur de 1 V environ et à un courant de base infime et, vous le savez, cela est typique d'un transistor en limite de conduction. Si vous mettez Courant de base sur 10 μA , le défaut disparaît.

- Mettez le bouton Courant de collecteur sur 1 mA/div., car votre transistor est de faible puissance.
- Mettez le commutateur V/div. du



Figure 41: Photo d'un des prototypes dans son boîtier plastique. Les deux prises BNC AXE Y et AXE X, comme le montre la figure 42, vont aux entrées XY de l'oscilloscope par deux câbles coaxiaux dotés chacun de deux fiches BNC.

Figure 42: Les sorties AXE Y et AXE X du traceur de courbe vont aux entrées de l'oscilloscope réglé sur XY, comme le montre la figure 35. Si vous intervertissez X et Y, vous verrez les tracés disposés verticalement au lieu d'horizontalement.



canal Y de l'oscilloscope sur 0,5 V, comme le montre la figure 40.

Le traceur de courbe et l'oscilloscope étant sous tension, vous voyez à l'écran 7 tracés pouvant être très rapprochés, comme le montre la figure 43. Pour les espacer, vous devez simplement augmenter la sensibilité de l'entrée Y de l'oscilloscope. Pour augmenter la sensibilité de l'oscilloscope, vous devez mettre le bouton V/div. du canal Y (CH2), initialement placé

sur la portée 0,5 V, sur 0,2 V. Ce faisant vous voyez les 7 tracés s'espacer, comme le montre la figure 44. Faites bien attention de ne pas trop augmenter la sensibilité de l'oscilloscope, car vous provoqueriez l'exode hors écran des courbes, comme le montre la figure 45.

Note : si les pattes EBC ne se connectent pas correctement sur les douilles d'entrée du traceur de courbe, ou si vous mettez l'inverseur PNP/NPN sur la mau-

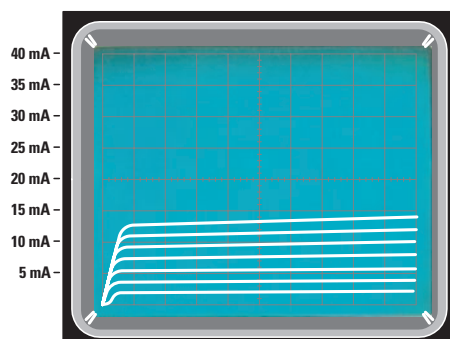


Figure 43: Si le commutateur V/div. du CH2 est sur une sensibilité moyenne, 0,2V par exemple, vous verrez 7 tracés à l'écran, mais trop serrés donc peu lisibles.

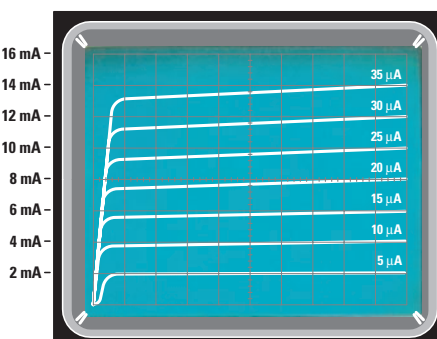


Figure 44: Si le commutateur V/div. du CH2 est sur une sensibilité faible, 0,5V par exemple, vous verrez 7 tracés à l'écran uniformément espacés.

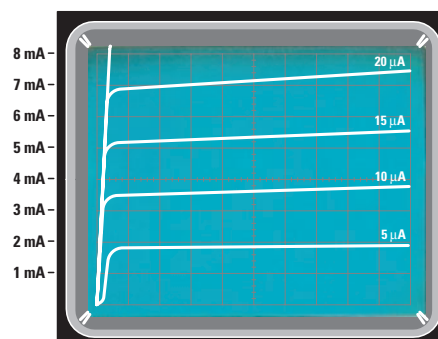


Figure 45: Si le commutateur V/div. du CH2 est sur une sensibilité maximale, 0,1 V par exemple, vous verrez les tracés supérieurs sortir de l'écran.

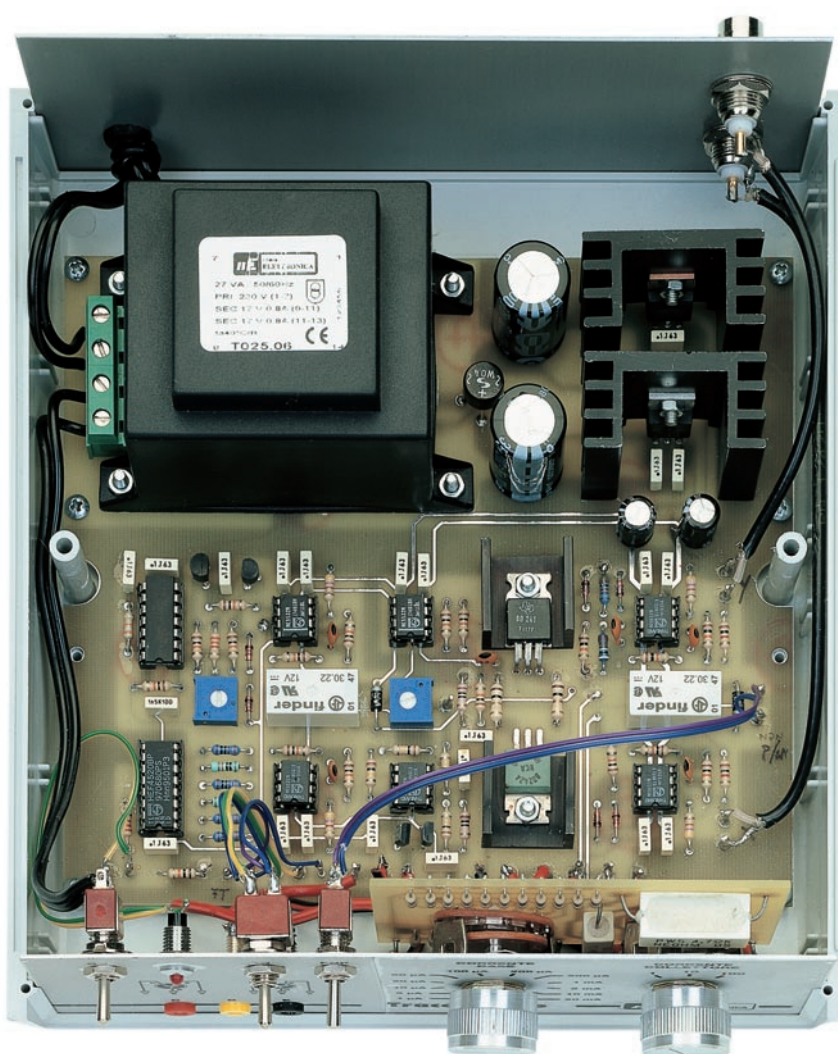
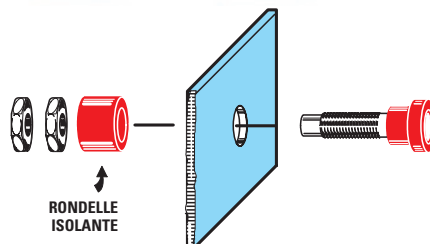


Figure 46: Photo d'un des prototypes de l'appareil prêt à être utilisé, mais couvercle déposé. Quand vous monterez les 3 douilles bananes en face avant, n'oubliez pas de placer derrière le panneau métallique les rondelles plastiques isolantes (avant de visser les écrous), sans cela elles seraient toutes les trois en court-circuit.



vaise position par rapport au transistor en examen, les 7 tracés n'apparaissent pas. Contrôlez donc toujours bien les connexions EBC et la posi-

tion de l'inverseur PNP/NPN, car ne voyant pas les courbes vous pourriez penser que le transistor essayé est hors d'usage.

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire ce traceur de courbe EN1538 est disponible chez certains de nos annonceurs. Voir les publicités dans la revue. Les typons des circuits imprimés sont sur www.electronique-magazine.com/les_circuits_imprimés.asp.

La revue ne fournit ni circuit ni composant.

La mesure d'un transistor PNP

Prenez le transistor PNP et, avant de connecter les 3 pattes EBC à l'entrée du traceur de courbe, exécutez ces opérations :

- Mettez l'inverseur TR/FET sur TR.
- Mettez l'inverseur PNP/NPN sur PNP, car votre transistor d'essai en est un.
- Mettez le commutateur rotatif Courant de base sur la portée 5 μ A.
- Mettez le bouton Courant de collec-

teur sur 1 mA/div., car votre transistor est de faible puissance.

- Mettez le commutateur V/div. du canal Y de l'oscilloscope sur 0,5 V, comme le montre la figure 40.

Le traceur de courbe et l'oscilloscope étant sous tension, si vous voyez à l'écran 7 tracés très rapprochés, comme le montre la figure 43, vous devez simplement mettre le bouton V/div. sur 0,2 V.

La mesure d'un FET

Prenez le FET type N et, avant de connecter les 3 pattes DSG à l'entrée du traceur de courbe, exécutez ces opérations :

- Mettez l'inverseur TR/FET sur FET.
- Mettez l'inverseur PNP/NPN sur NPN.

Note : l'inverseur doit toujours être dans cette position, car le traceur de courbe mesure les FET type N, les plus largement répandus dans le commerce.

- Mettez le commutateur rotatif Courant de base sur la portée 20 μ A.
- Mettez le bouton Courant de collecteur sur 1 mA/div.
- Mettez le commutateur V/div. du canal Y (CH2) 0,2 V.

Le traceur de courbe et l'oscilloscope étant sous tension, vous voyez apparaître à l'écran 8 tracés, comme le montre la figure 4 (dans la première partie de l'article). Dans la troisième partie, nous verrons pourquoi on obtient 8 courbes au lieu de 7 pour les transistors.

Conclusion et "à suivre"

Nous avons voulu, au cours de cette deuxième partie, vous donner un certain nombre d'informations qui vous permettront, en attendant la troisième, de vous entraîner à trouver les caractéristiques de nombreux semi-conducteurs. En effet, par la suite, nous reprendrons cette initiation à la mesure et à la visualisation des courbes caractéristiques des semiconducteurs et nous vous ferons découvrir, au-delà des transistors et des FET, les thyristors et les triacs.

Puis nous essaierons de vous apprendre à interpréter leurs courbes, à choisir le point de repos selon des critères rationnels et à calculer le circuit de charge et de polarisation d'un transistor. ♦

Un traceur de courbe pour transistor, FET, THYRISTOR, etc.

troisième partie: le mode d'utilisation

premier volet: transistors NPN et PNP

Cet appareil de mesure permet de visualiser à l'écran de tout oscilloscope les courbes caractéristiques des transistors NPN ou PNP, des FET et même des thyristors et triacs. La première partie vous en a proposé l'analyse théorique approfondie, la deuxième vous a dit comment le réaliser. Cette troisième partie, en plusieurs volets, va vous expliquer de manière très détaillée comment utiliser correctement votre traceur de courbe.



Précedemment, nous avons effectué une première approche de l'utilisation du traceur de courbe : nous vous avons appris comment procéder pour trouver les courbes d'un transistor NPN, d'un PNP ou d'un FET. Ici, nous allons approfondir d'autres aspects de son fonctionnement en vous expliquant à quoi servent ces courbes et comment s'en servir pratiquement.

Le nombre exact des courbes

Quelques lecteurs nous ont écrits pour nous signaler qu'il n'y a pas sept courbes mais huit, comme le montre la figure 1: en effet, nous avons oublié de préciser que la première courbe horizontale du bas est celle du zéro et que, n'étant jamais prise en considération, nous l'avons effacée sur les dessins pour qu'elle ne prête pas à confusion en

s'ajoutant aux sept courbes, seules significatives. À l'écran, par contre, vous voyez bien cette huitième courbe horizontale, mais elle ne vous sert à rien.

Ceci étant dit, vous pouvez commencer à tester vos transistors inconnus, mais non sans avoir au préalable identifié leurs pattes EBC car, si vous les reliez de manière erronée aux entrées de l'appareil, vous verriez apparaître des courbes anormales, comme le montre la figure 2. Une fois fait, vous devez établir si vous avez à faire à un transistor de :

faible puissance (voir figure 3)
moyenne puissance (voir figure 4)
forte puissance (voir figure 5).

À chacune des trois catégories correspond une valeur précise, à paramétrer à l'aide du bouton Courant de collecteur, à droite de la face avant :

1 mA/div pour les transistors
de faible puissance

10 mA/div pour les transistors
de moyenne puissance

100 mA/div pour les transistors
de forte puissance.

Si vous vous trompiez dans le choix du courant de collecteur, vous vous en apercevriez très vite, parce que vous obtiendriez des courbes trop serrées ou trop espacées.

Commençons par un transistor NPN de faible puissance

Pour tester un transistor de faible puissance, vous devez d'abord relier les pattes EBC du transistor au traceur de courbe, prérégler toutes les commandes ainsi (voir figure 6) :

inverseur TR/FET sur TR

inverseur PNP-NPN sur NPN

bouton Courant de base ... sur 1 μ A

bouton Courant collecteur sur 1 mA/div,

et régler les boutons de l'oscilloscope comme le montre la figure 7 :

CH1 canal X (horizontal) .. 1 V/div

CH2 canal Y (vertical) 0,1 V/div.

Vous ne devez plus déplacer ces deux commandes de l'oscilloscope. Seul le bouton du CH2, soit celui de l'extension verticale, peut être déplacé sur la position :

0,2 V/div : si les sept courbes sont tellement espacées qu'elles sortent de l'écran.

Dans ces conditions vous devez réduire la sensibilité verticale du Courant de collecteur et donc si vous laissez le bouton de courant du traceur de courbe sur 1 mA/div, chaque carreau vertical (côté gauche) correspond à :

2 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 mA.

50 mV/div : si les sept courbes sont tellement rapprochées qu'elles sont inutilisables. Dans ces conditions, vous devez augmenter la sensibilité verticale du Courant de collecteur et donc si vous laissez le bouton de courant du traceur de courbe sur 1 mA/div, chaque carreau vertical (côté gauche) correspond à :

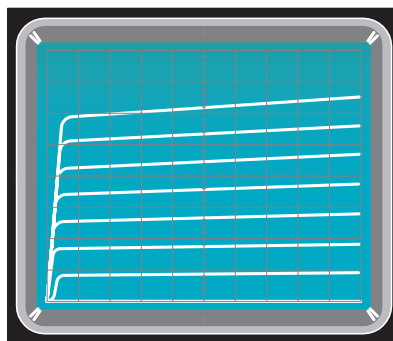


Figure 1: Quelques lecteurs nous ont écrits pour nous signaler qu'il n'y a pas 7 courbes mais 8. En effet, nous avions oublié de préciser que la première courbe horizontale du bas est celle du zéro et que, n'étant jamais prise en considération, nous l'avons effacée sur les dessins pour qu'elle ne prête pas à confusion en s'ajoutant aux 7 courbes, seules significatives.

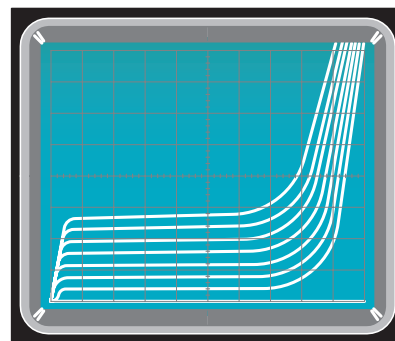


Figure 2: Si vous voyez apparaître à l'écran un graphe s'incurvant vers le haut à droite, c'est que vous avez interverti les pattes émetteur et collecteur sur les entrées EC du traceur de courbe. Dès que vous aurez rectifié, vous verrez apparaître un graphe correct, comme le montre la figure 1.

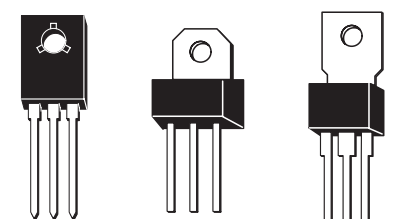


Figure 3: Pour tester des transistors de faible puissance, il faut mettre le bouton du Courant de collecteur sur 1 mA/div.

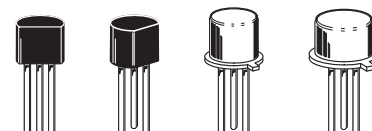
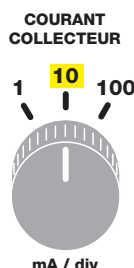


Figure 4: Pour tester des transistors de moyenne puissance, il faut mettre le bouton du Courant de collecteur sur 10 mA/div.



0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 3,5 - 4,0 mA.

Avec votre transistor NPN d'essai BC547, ou son équivalent BC237-BC173, faites le test. Allumez pour cela le traceur de courbe et constatez que les courbes sont tellement rapprochées qu'elles sont illisibles, comme le montre la figure 9.

Pour les espacer, il suffit de déplacer le bouton du Courant de base de 1 μ A vers une valeur supérieure, 5 μ A par exemple.

Dans ces conditions, vous verrez les sept courbes sortir de l'écran, comme le montre la figure 10 et,

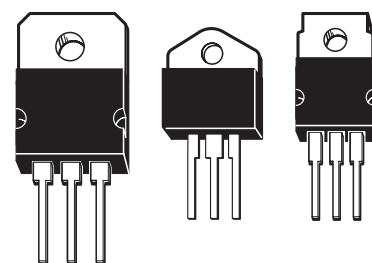


Figure 5: Pour tester des transistors de forte puissance, il faut mettre le bouton du Courant de collecteur sur 100 mA/div.



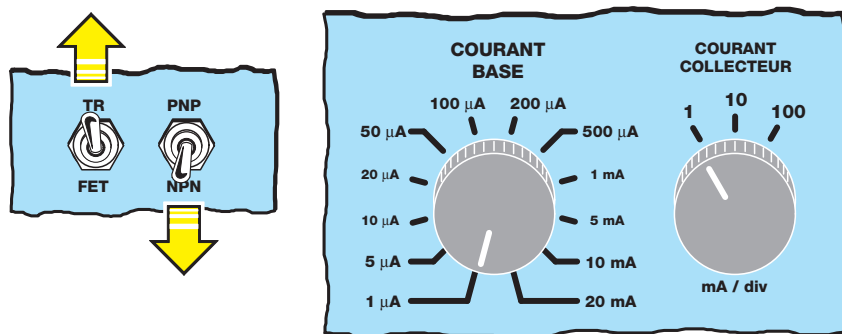


Figure 6 : Pour tester un quelconque transistor, vous devez disposer les boutons de commande du traceur de courbe dans ces positions. TR/FET sur TR, PNP/NPN sur la polarité du transistor que vous voulez contrôler, bouton du Courant de base sur 1 μ A et bouton du Courant de collecteur sur la position indiquée par les figures 3, 4 et 5.

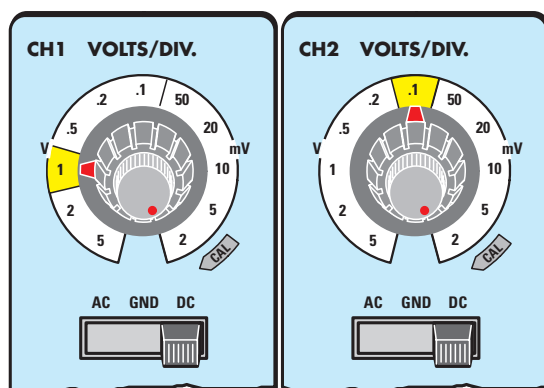


Figure 7 : Sur l'oscilloscope, le bouton CH1 de l'entrée X est sur 1 V et celui de CH2 sur l'entrée Y sur 0,1 V.

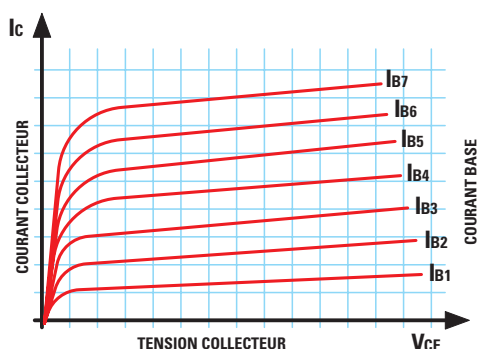


Figure 8 : La ligne horizontale sert à indiquer la Tension de collecteur et la verticale de gauche le Courant de collecteur. Les sept courbes au centre correspondent au Courant de base.

4e courbe - la base est excitée avec 20 μ A

5e courbe - la base est excitée avec 25 μ A

6e courbe - la base est excitée avec 30 μ A

7e courbe - la base est excitée avec 35 μ A

Enfin, si le bouton de Courant de collecteur du traceur de courbe est sur 1 mA/div et si le bouton CH2 de l'entrée Y de l'oscilloscope est sur 0,2 V/div, comme le montre la figure 11, pour chaque carreau vertical, on a sur le collecteur ces valeurs de courant :

2 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 mA.

Sur l'axe horizontal X du graphe, vous pouvez trouver la valeur de la tension de collecteur V_{ce} et, sur l'axe vertical Y, la valeur du courant de collecteur I_c .

Les sept courbes apparaissant sur le graphe correspondent aux différentes valeurs du courant de base I_b .

Pour tester un transistor NPN de moyenne puissance

Pour tester un transistor de moyenne puissance, vous devez relier ses pattes EBC au traceur de courbe et pré-régler ses commandes comme suit :

inverseur TR/FET sur TR

inverseur PNP-NPN sur NPN

bouton Courant de base sur 10 μ A

bouton Courant de coll. . sur 10 mA/div.

Comme pour tester les transistors de faible puissance, les boutons de l'oscilloscope doivent être réglés, comme le montre la figure 7 :

CH1 canal X (horizontal) 1 V/div

CH2 canal Y (vertical) 0,1 V/div.

Vous ne devez plus déplacer ces deux commandes de l'oscilloscope sauf celle du canal Y, soit CH2 que, parfois, il faut mettre en position 0,2 V/div pour faire rentrer toutes les courbes dans l'écran.

Si on place le bouton de Courant de collecteur du traceur de courbe sur 10 mA/div et le bouton CH2 de l'entrée Y de l'oscilloscope sur 0,1 V/div, chaque carreau vertical correspond à ces valeurs de courant :

10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80 mA.

pour les y faire rentrer, vous devrez réduire la sensibilité verticale en tournant le bouton de CH2 canal Y de façon à la faire passer de 0,1 V/div à 0,2 V/div, comme le montre la figure 11. Ainsi les sept courbes seront uniformément réparties sur l'écran, mais précisons tout de même qu'en plaçant le bouton du Courant

de base sur 5 μ A, chaque courbe correspondra aux valeurs de courant suivantes :

1re courbe - la base est excitée avec 5 μ A

2e courbe - la base est excitée avec 10 μ A

3e courbe - la base est excitée avec 15 μ A

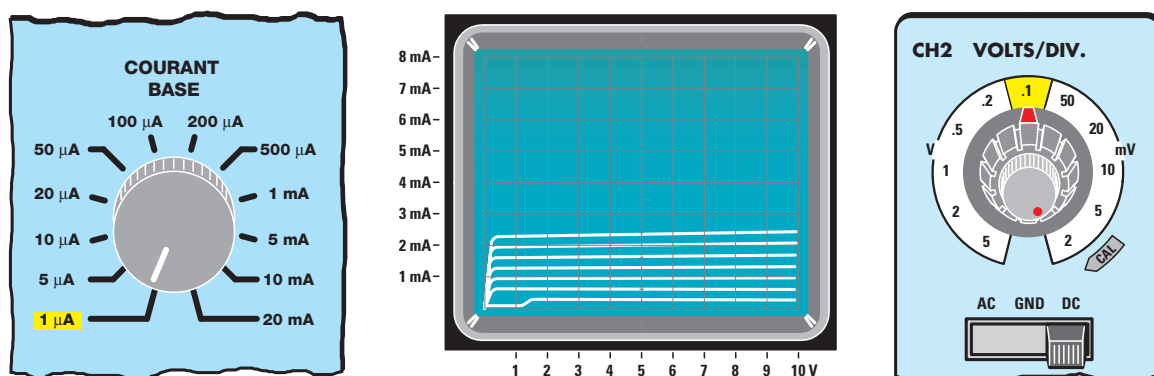


Figure 9 : Pour tester les transistors de très faible puissance, vous devez mettre le bouton Courant de collecteur sur 1 mA/div et le bouton Courant de base sur 1 μ A, enfin vous devez placer le bouton CH2 (entrée Y) de l'oscilloscope sur 0,1 V/div. Si les courbes sont trop serrées, passez à la figure suivante.

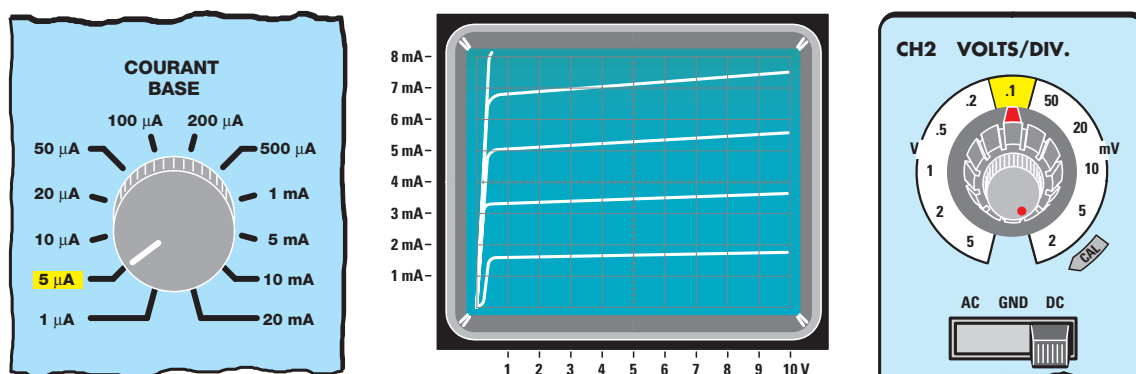


Figure 10 : Si en déplaçant le bouton Courant de base de 1 à 5 μ A vous voyez que les sept courbes sortent de l'écran, réduisez l'amplification verticale de l'entrée Y du CH2, comme le montre la figure 11. Cela peut arriver pour un transistor NPN comme pour un PNP.

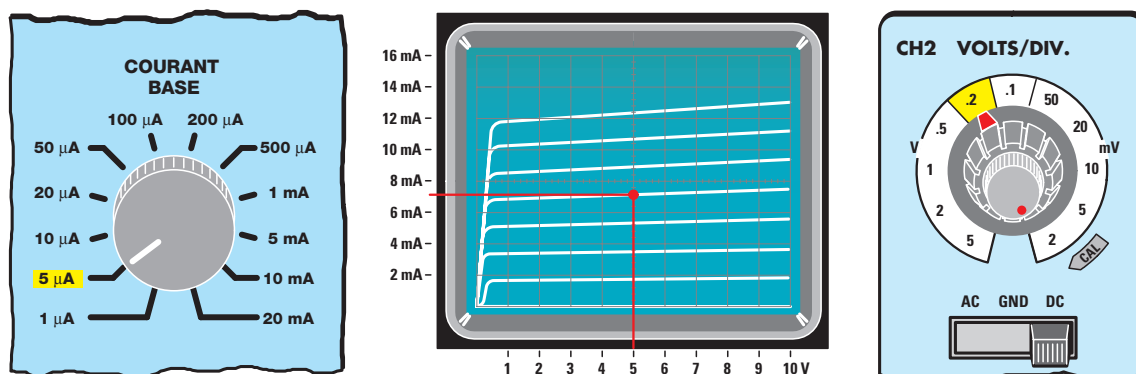


Figure 11 : En déplaçant le bouton CH2 de l'entrée Y de 0,1 à 0,2 V/div, les sept courbes rentrent complètement dans l'écran. Chaque carreau vertical du courant de collecteur correspond alors à 2 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 mA.

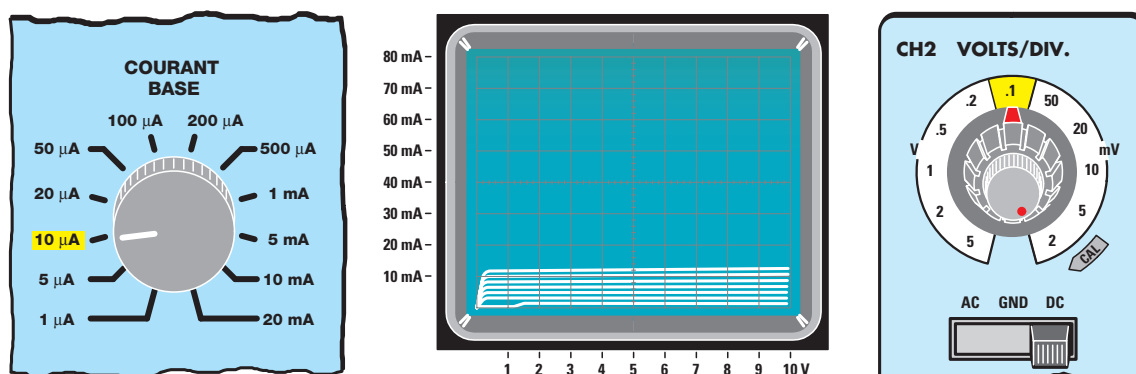


Figure 12: Pour tester les transistors de moyenne puissance, vous devez mettre le bouton Courant de collecteur sur 10 mA/div et le bouton Courant de base sur 10 µA, enfin vous devez placer le bouton CH2 (entrée Y) de l'oscilloscope sur 0,1 V/div. Si les courbes sont trop serrées, augmentez le courant de base.

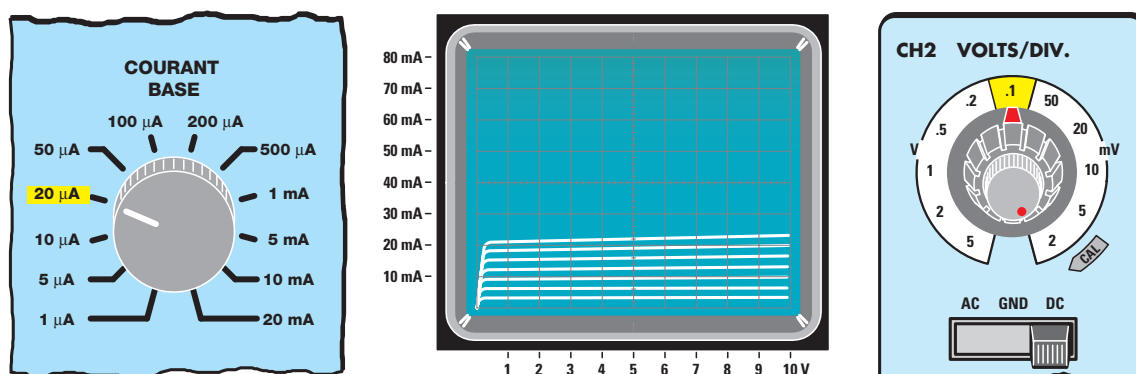


Figure 13: Si, en déplaçant le bouton Courant de base de 10 à 20 µA, vous voyez que les sept courbes ne sont pas encore parfaitement lisibles, vous pouvez augmenter le courant de base ou augmenter la sensibilité de l'entrée Y du CH2, en la faisant passer de 0,1 V/div à 50 mV/div.

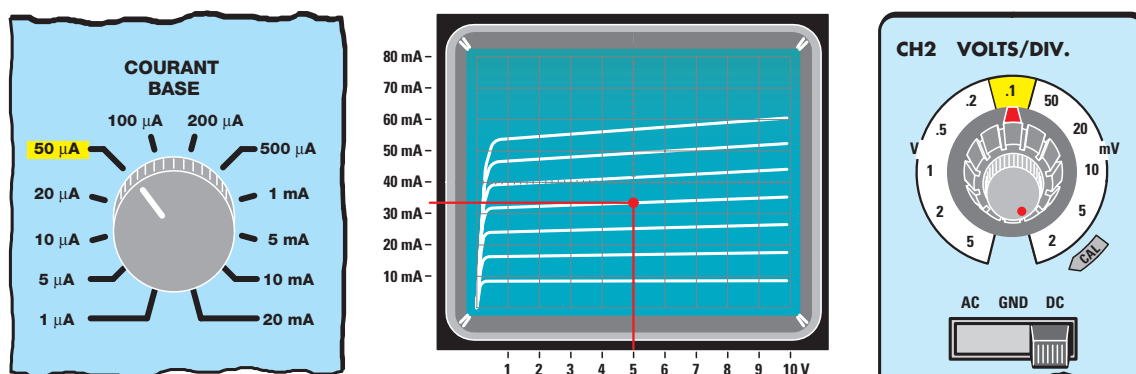


Figure 14: Si, en déplaçant le bouton Courant de base de 20 à 50 µA, vous voyez que les sept courbes sont correctement espacées, sachant que le bouton Courant de collecteur est sur 10 mA/div, vous devez vous rappeler que chaque carreau vertical correspond alors à un courant de collecteur de 10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80 mA.

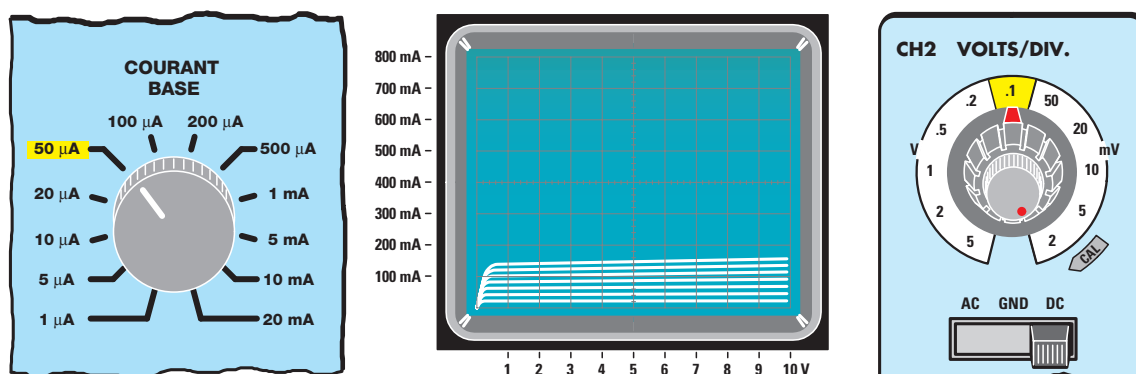


Figure 15: Pour tester les transistors de forte puissance, vous devez mettre le bouton Courant de collecteur sur 100 mA/div et le bouton Courant de base sur 50 μ A, enfin vous devez placer le bouton CH2 (entrée Y) de l'oscilloscope sur 0,1 V/div. Si les courbes sont trop serrées, augmentez le courant de base.

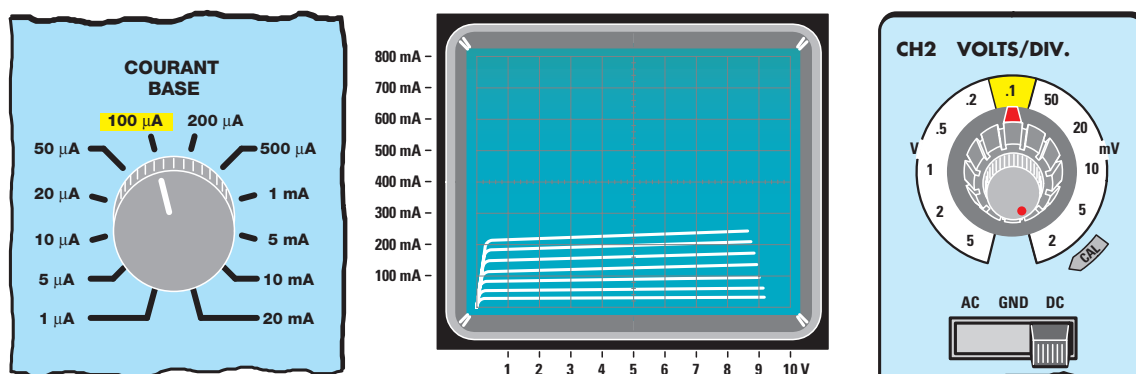


Figure 16: Si en déplaçant le bouton Courant de base de 50 à 100 μ A vous voyez que les 7 courbes ne sont pas très lisibles, vous pouvez augmenter le courant de base ou augmenter la sensibilité de l'entrée Y du CH2, en la faisant passer de 0,1 V/div à 50 mV/div.

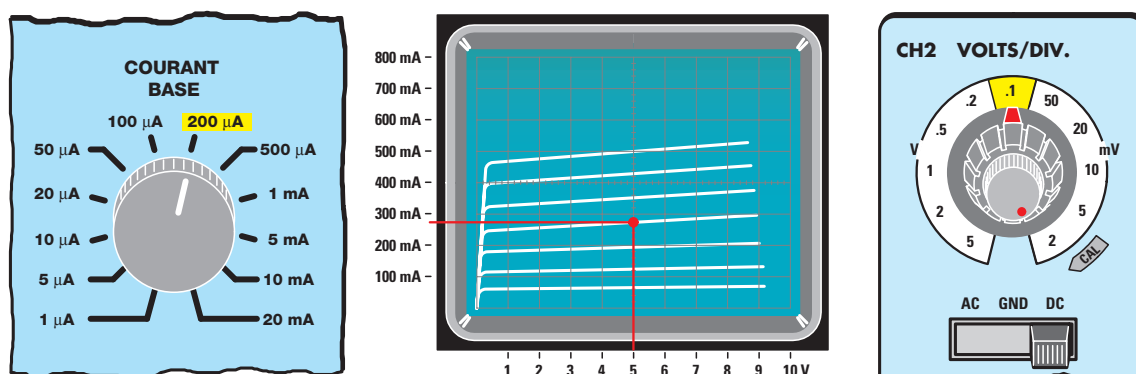


Figure 17: Si en déplaçant le bouton Courant de base de 100 à 200 μ A vous voyez que les sept courbes sont correctement espacées, sachant que le bouton Courant de collecteur est sur 100 mA/div, vous devez vous rappeler que chaque carreau vertical correspond alors à un courant de collecteur de 100 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600 - 700 - 800 mA.

Choisissons n'importe quel transistor de moyenne puissance, relier les pattes EBC à l'entrée du traceur de courbe, allumons-le et les sept courbes, très comprimées, apparaissent à l'écran.

Pour les rendre plus lisibles, il faut les espacer en augmentant le courant de base de 1 à 10 μA , comme le montre la figure 12 : même ainsi elles ne sont pas encore assez espacées, mais elles sont néanmoins utilisables. C'est seulement avec un courant de base de 20 μA que l'espacement serait correct, comme le montre la figure 13, mais pour une lecture parfaite, il faudrait aller jusqu'à 50 μA , comme le montre la figure 14.

Ainsi les sept courbes seront uniformément réparties sur l'écran, mais précisons tout de même qu'en plaçant le bouton du Courant de base sur 50 μA , chaque courbe correspondra aux valeurs de courant suivantes :

1re courbe :
la base est excitée avec 50 μA

2e courbe :
la base est excitée avec 100 μA

3e courbe :
la base est excitée avec 150 μA

4e courbe :
la base est excitée avec 200 μA

5e courbe :
la base est excitée avec 250 μA

6e courbe :
la base est excitée avec 300 μA

7e courbe :
la base est excitée avec 350 μA .

En partant de ce graphe, si vous prenez une référence horizontale de tension de collecteur de 5 V, soit la moitié de la V_{cc} de 10 V et si vous menez une ligne verticale coupant la quatrième courbe, correspondant à un courant de base de 200 μA et, de ce point d'intersection, vers la gauche, une ligne horizontale, vous rencontrerez l'axe Y vertical correspondant à une valeur de courant de collecteur d'environ 30 mA.

Pour tester un transistor de forte puissance

Pour tester un transistor de forte puissance, vous devez procéder comme pour les autres transistors, soit relier ses pat-

tes EBC au traceur de courbe et prérégler ses commandes comme suit :

inverseur TR/FET..... sur TR

inverseur PNP-NPN sur NPN

bouton Courant de base sur 50 μA

bouton Courant de coll.. sur 100 mA/div.

Comme pour tester les autres transistors, les boutons de l'oscilloscope doivent être réglés, comme le montre la figure 7 :

CH1 canal X (horizontal)..... 1 V/div

CH2 canal Y (vertical) 0,1 V/div.

Vous ne devez plus déplacer ces deux commandes de l'oscilloscope sauf celle du canal Y, soit CH2 si vous devez faire rentrer toutes les courbes dans l'écran.

Si on place le bouton de Courant de collecteur du traceur de courbe sur 100 mA/div et le bouton CH2 de l'entrée Y de l'oscilloscope sur 0,1 V/div, chaque carreau vertical correspond à ces valeurs de courant :

100 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600 - 700 - 800 mA.

Choisissons n'importe quel transistor de forte puissance, relier les pattes EBC à l'entrée du traceur de courbe, allumons-le et les sept courbes très comprimées apparaissent à l'écran. Pour les rendre plus lisibles, il faut les espacer en augmentant le courant de base : pour un transistor de forte puissance, commencez par 50 μA , comme le montre la figure 15.

Même ainsi elles ne sont pas encore assez espacées. C'est seulement avec un courant de base de 100 μA que l'espacement serait correct, comme le montre la figure 16, mais pour une lecture parfaite il faudrait aller jusqu'à 200 μA , comme le montre la figure 17.

Ainsi les sept courbes seront uniformément réparties sur l'écran, mais précisons tout de même qu'en plaçant le bouton du Courant de base sur 200 μA , chaque courbe correspondra aux valeurs de courant suivantes :

1re courbe :
la base est excitée avec 200 μA

2e courbe :
la base est excitée avec 400 μA

3e courbe :
la base est excitée avec 600 μA

4e courbe :
la base est excitée avec 800 μA

5e courbe :
la base est excitée avec 1,0 mA

6e courbe :
la base est excitée avec 1,2 mA

7e courbe :
la base est excitée avec 1,4 mA.

En partant de ce graphe, si vous prenez une référence horizontale de tension de collecteur de 5 V, soit la moitié de la V_{cc} de 10 V et si vous menez une ligne verticale coupant la quatrième courbe, correspondant à un courant de base de 800 μA et, de ce point d'intersection, vers la gauche, une ligne horizontale, vous rencontrerez l'axe Y vertical correspondant à une valeur de courant de collecteur d'environ 300 mA.

Pour tester les transistors PNP

Pour tester les transistors PNP, la méthode est la même que pour les NPN sauf que vous devez placer l'inverseur PNP-NPN sur PNP.

À suivre

Dans le deuxième volet, nous verrons notamment le calcul du gain et de la polarisation des transistors montés en préamplificateur.

Dans les volets ultérieurs nous aborderons les FET, thyristors et triacs. ◇

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire ce traceur de courbe EN1538 est disponible chez certains de nos annonceurs. Voir les publicités dans la revue.

Les typons des circuits imprimés sont sur www.electronique-magazine.com/ci.asp.

Les composants programmés sont disponibles sur www.electronique-magazine.com/mc.asp.

Un traceur de courbe pour transistor, FET, THYRISTOR, etc.

troisième partie: le mode d'utilisation

deuxième volet: gain et polarisation des transistors

Cet appareil de mesure permet de visualiser à l'écran de tout oscilloscope les courbes caractéristiques des transistors NPN ou PNP, des FET et même des thyristors et triacs. La première partie vous en a proposé l'analyse théorique approfondie, la deuxième vous a dit comment le réaliser. Cette troisième partie, en plusieurs volets, va vous expliquer de manière très détaillée comment utiliser correctement votre traceur de courbe.



Gomme annoncé, dans ce deuxième volet nous allons notamment nous intéresser au calcul du gain et des résistances de polarisation d'un transistor monté en préamplificateur. Mais auparavant, voyons ce qui arrive si le courant de base ou la tension de collecteur dépassent une valeur limite.

Si le courant de base est exagéré

Si vous ne réussissez pas à établir si des transistors sont de faible ou moyenne puissances, il faut les tester en commençant toujours par un courant de base de 1 - 5 - 10 μA , puis augmenter la valeur. Pour savoir quelle est la valeur maximale de courant que l'on peut appliquer à la base d'un transistor, il suffit de vérifier que son boî-

tier ne chauffe pas exagérément. En effet, si on exagère la valeur du courant de base, on constate tout de suite que la température du boîtier du transistor augmente de plus en plus, jusqu'à atteindre le point de destruction du composant. Quand on dépasse la valeur maximale de dissipation d'un transistor, toutes les courbes ont tendance à se déformer, comme le montre la figure 18 et, quand cela arrive, il est conseillé d'éteindre le traceur de courbe afin de ne pas mettre le transistor hors d'usage.

Si on dépasse les 10 V de la tension de collecteur

Pour notre traceur de courbe, nous avons toujours suggéré d'effectuer les mesures avec une tension maximale d'alimentation de 10 V. Il est vrai cependant que certains

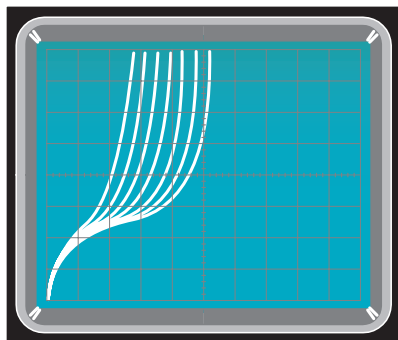


Figure 18: Si la valeur du courant de base est exagérée, la température du boîtier du transistor augmente et si la valeur maximale de dissipation est dépassée, vous verrez les sept courbes se déformer vers le haut.

transistors peuvent être normalement alimentés en 12 - 15 - 18 - 24 V : alors, comment trouver des courbes avec ces tensions d'alimentation ?

Si vous avez les courbes pour la tension maximale de 10 V, comme le montre la figure 19 et que vous voulez les modifier pour des valeurs de 12 - 15 - 18 - 24 V, vous devez procéder comme suit. Prenez une feuille de papier millimétré et tracez-y deux lignes perpendiculaires, une horizontale pour l'axe X et l'autre verticale pour l'axe Y, comme le montre la figure 20. Chaque carreau horizontal correspond à une tension de collecteur de 1 V et donc pour arriver à une tension maximale de 24 V vous utiliserez vingt-quatre carreaux. Si, pour trouver les courbes de la figure 19, nous avons choisi un courant de collecteur de 1 mA/div et si nous avons mis le bouton de l'axe Y du CH2 sur 0,1 V/div, chaque carreau vertical correspond aux valeurs suivantes :

1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 mA

Chaque carreau vertical correspond à un courant de collecteur de 1 mA et vous utiliserez huit carreaux car il y en a huit sur l'écran de l'oscilloscope. Reportez ensuite ces valeurs sur l'axe vertical du papier millimétré. Le repère terminé, reportez les sept courbes du courant de base telles qu'elles sont à l'écran de la figure 19 et prolongez-les horizontalement jusqu'au dernier carreau des 24 V.

Pour trouver le gain d'un transistor

La première donnée que nous pouvons obtenir des sept courbes est le gain du transistor, soit combien de

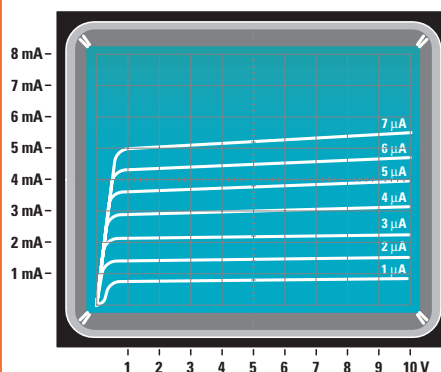


Figure 19: Avec notre traceur de courbe nous effectuons toutes les mesures en utilisant une tension maximale d'alimentation de 10 V. Pour trouver des courbes de tensions supérieures, il suffit de les prolonger, comme le montre la figure 20.

fois celui-ci peut amplifier un signal appliqué sur sa base.

Autrefois on l'appelait le bêta du transistor et il était désigné dans les "Data books" par hFE (ne pas confondre avec hFe qui désigne un gain dynamique alors que hFE désigne un gain statique).

Considérez par exemple le graphe de la figure 23 et tracez, en correspondance de la tension de collecteur de 5 V (soit la moitié de la tension d'alimentation V_{cc} de 10 V reportée sur la ligne horizontale), une ligne verticale allant couper la quatrième courbe (celle qui correspond à un courant de base de 4 μ A) : de ce point d'intersection menez, vers la gauche, une ligne horizontale allant couper l'axe Y vertical du courant de collecteur. Ici on a 2,9 carreaux, soit avec un courant de base de 4 μ A un courant de collecteur de 1,4 mA. Pour savoir quel est le gain de ce transistor, il suffit de diviser la valeur du courant de collecteur I_c par celle du courant de base I_b sur la quatrième courbe :

$$\text{gain du transistor} = I_c : I_b$$

Note : les valeurs de I_c et I_b doivent être exprimées en mA.

Comme l'une de ces valeurs est en μ A, il faut opérer une conversion :

$$4 \mu\text{A} : 1\,000 = 0,004 \text{ mA}$$

ce qui fait : $\text{gain} = 1,4 : 0,004 = 350$

Donc, en théorie, en appliquant sur la base du transistor un signal quelconque, on prélève sur le collecteur un signal amplifié 350 fois.

Si nous choisissons une courbe différente

Nous conseillons toujours de choisir pour le calcul du gain la quatrième courbe laquelle, comme le montre la figure 11 (premier volet de la troisième partie de l'article), correspond à un courant de base de 0,004 mA.

En choisissant une autre des sept courbes, on obtient des gains légèrement différents, comme l'indique le tableau 1.

Nombre de courbes	I_b (en mA)	I_c (en mA)	gain ($I_c : I_b$)
1	0,001	0,345	345
2	0,002	0,690	345
3	0,003	1,050	350
4	0,004	1,400	350
5	0,005	1,760	352
6	0,006	2,120	353
7	0,007	2,470	353

Même si le gain varie légèrement de la première à la septième courbe, nous conseillons de prendre comme référence la valeur de la quatrième car, lorsque vous réaliserez un quelconque étage amplificateur vous comprendrez que ce sont les résistances placées sur le collecteur et sur l'émetteur du transistor qui définissent le gain de l'étage.

Le calcul des résistances R3 et R4 d'un étage préamplificateur

Pour réaliser un étage préamplificateur, il faut d'abord trouver les sept courbes du transistor. Admettons qu'elles soient celles de la figure 23 : la quatrième correspond à un courant de base I_b de 0,004 mA, donc si nous traçons une ligne horizontale vers la

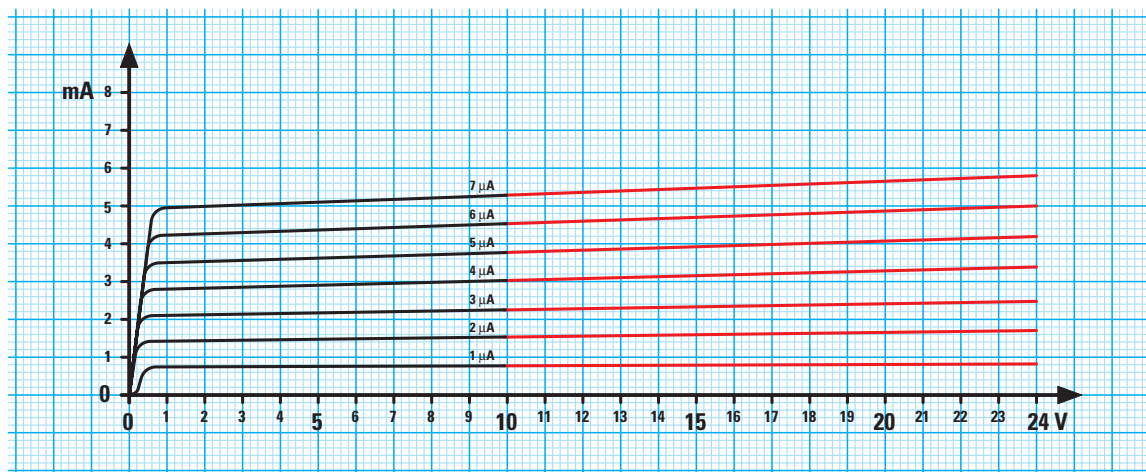


Figure 20 : Pour notre traceur de courbe, nous avons fixé une tension maximale d'alimentation de 10 V. Si vous voulez augmenter la valeur de cette tension, il suffit de prendre une feuille de papier millimétré et de prolonger le dessin de la figure 19.

gauche en prenant comme référence une tension de collecteur de 5 V, nous voyons que le courant de collecteur I_c correspondant est de 1,4 mA.

Ce qui, nous l'avons vu, correspond à un gain de $1,4 : 0,004 = 350$.

Mais ce sont les résistances de collecteur et d'émetteur qui déterminent le gain du transistor. Le schéma électrique du préamplificateur que nous voulons réaliser, visible figure 24, utilise quatre résistances ainsi distribuées :

- R1** = appliquée entre le **positif** et la **base**
- R1** = appliquée entre la **base** et la **masse**
- R1** = appliquée entre le **positif** et le **collecteur**
- R1** = appliquée entre l'**émetteur** et la **masse**.

Ces résistances servent à polariser le transistor afin qu'il travaille au point optimal de ses caractéristiques. Ce point est toujours calculé sur la moitié de la tension d'alimentation V_{cc} et dans notre exemple cela fait $10\text{ V} : 2 = 5\text{ V}$.

Connaissant la valeur de courant devant parcourir $R3 + R4$, calculons la valeur ohmique de ces résistances avec la formule :

$$\text{ohms } R3 + R4 = (V_{cc} : 2) : \text{mA} \times 1\,000$$

où V_{cc} est la tension d'alimentation, ici 10 V, mA est le courant parcourant le collecteur du transistor en correspondance de la quatrième courbe, ici 1,4 mA. On a donc :

$$(10 : 2) : 1,4 \times 1\,000 = 3\,571\text{ ohms}$$

En théorie la valeur de $R3 + R4$ devrait être de 3 571 ohms, mais pour définir les deux valeurs ohmiques nous devons décider combien de fois le préamplificateur doit amplifier le signal, autrement dit son gain.

Même si le transistor examiné est en mesure d'amplifier au maximum 350 fois ($I_c : I_b$), en pratique nous devons le faire amplifier quelques dizaines de fois : 10 - 20 - 30 - 40 fois. Précisons qu'en maintenant le gain d'un transistor très bas on bénéficie d'avantages :

- réduction du bruit, le préamplificateur ne produira pas de souffle, il sera parfaitement silencieux,
- l'étage amplifiera une plus grande bande de fréquences, ce qui est plus adéquat pour la Hi-Fi,
- augmentation de la stabilité thermique de l'étage, le gain ne sera pas

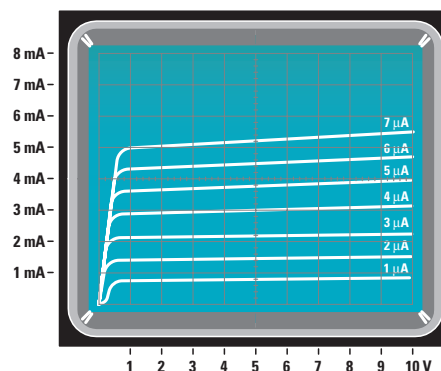
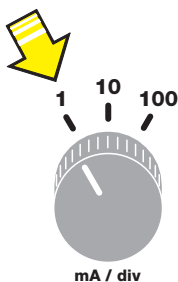
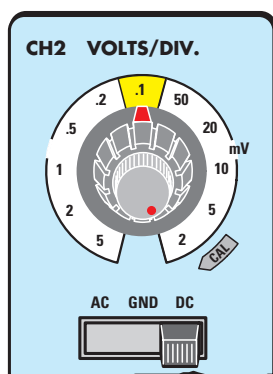


Figure 21 : Si le bouton Courant de collecteur est sur la première portée 1 mA/div et celui de l'axe vertical Y de CH2 sur 0,1 V, chaque carreau vertical correspond à un courant de 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 mA.

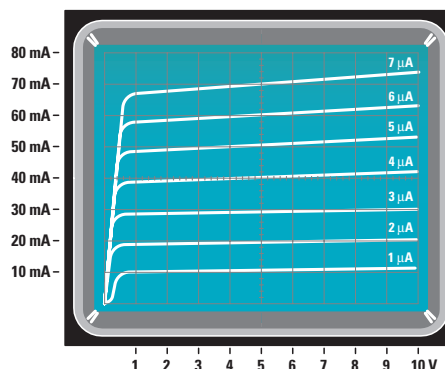
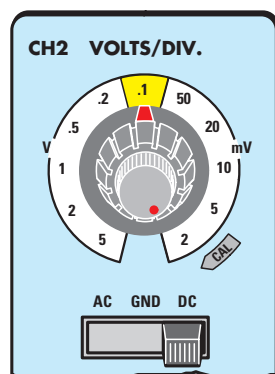


Figure 22 : Si le bouton Courant de collecteur est sur la deuxième portée 10 mA/div et celui de l'axe vertical Y de CH2 sur 0,1 V, chaque carreau vertical correspond à un courant de 10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80 mA.

influencé par les variations thermiques du boîtier du transistor, - possibilité d'utiliser des résistances de polarisation ayant même des tolérances élevées, cela est particulièrement intéressant car nous ne parviendrons jamais à obtenir par le calcul des valeurs normalisées.

Si vous deviez amplifier un signal environ 200 fois, vous devriez toujours utiliser deux étages préamplificateurs

calculés chacun pour un gain de 15 fois, en effet : $15 \times 15 = 225$.

La formule pour calculer le gain en tension d'un étage préamplificateur est la suivante :

$$\text{gain en tension} = R3 : R4$$

Nous avons une valeur ohmique de 3 571 ohms : nous pouvons prendre pour R3 une valeur normalisée de

3,3 kilohms et établir la valeur de R4 pour obtenir le gain souhaité.

Si pour R4 nous prenons 330 ohms, le gain de l'étage sera de :

$$3\ 300 : 330 = 10$$

Si pour R4 nous prenons 150 ohms, le gain sera de :

$$3\ 300 : 150 = 22$$

COMMENT FABRIQUER FACILEMENT VOS CIRCUITS IMPRIMÉS ?

Nouveau produit
qui arrive tout droit des États-Unis
et qui a révolutionné
les méthodes de préparation
des circuits imprimés
réalisés en petites séries :

plus de sérigraphie grâce à une pellicule
sur laquelle il suffit de photocopier
ou d'imprimer le master...



ET-PNP5
Lot de 5 feuilles
au format A4
18,75€

COMELEC • CD908 • 13720 BELCODENE • Tél. : 04 42 70 63 90
Fax : 04 42 70 63 95

PROTEUS V6.2

ISIS

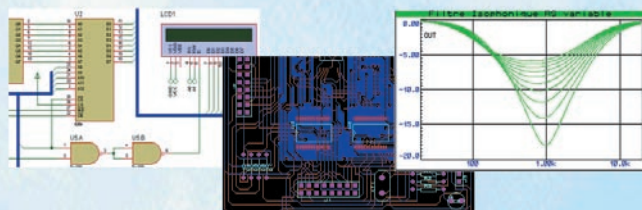
Editeur professionnel de schémas électroniques ET environnement de développement intégré pour processeurs PIC, AVR, MCS8051 et HC11. Déboguez votre programme source tout en simulant votre circuit. La référence !

ARES

Placement - routage de circuits imprimés simple face ou multicouches; boîtiers DIL, BGA et CMS, nomenclatures évoluées, contrôles électriques et fichiers de fabrication, import de bitmap, polices True Type.

VSM

Noyau mixte proSpice, simulation des périphériques (actionneurs, afficheurs, pavés numériques, mémoires I2C, moteurs, ...), instruments de mesure (oscilloscope, générateur de signal, analyseur logique, générateur de pattern, ...).



Multipower

Tél : 01 53 94 79 90 & Fax : 01 53 94 08 51
E-mail : multipower@wanadoo.fr / Web : www.multipower.fr

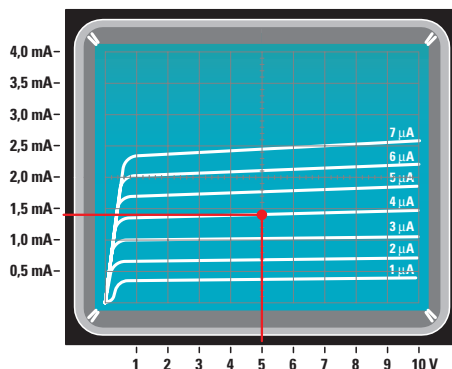


Figure 23: Si le transistor dont vous voulez trouver la valeur des résistances de polarisation R1, R2, R3 et R4 (voir figure 24) visualise ces courbes, vous pouvez commencer vos calculs en suivant les indications données dans l'article. Le courant de repos du transistor est de 1,4 mA.

Si pour R4 nous prenons 47 ohms, le gain sera de :

$$3\,300 : 47 = 70$$

Donc le gain d'un étage amplificateur est déterminé par les résistances R3 et R4. Sachant cela, nous pouvons calculer le gain d'un étage amplificateur en divisant la valeur des résistances R3 : R4. Supposons que nous ayons un schéma d'amplificateur où la résistance de collecteur R3 est de 10 kilohms et celle de l'émetteur R4 220 ohms, nous savons déjà que cet amplificateur amplifie le signal :

$$10\,000 : 220 = 45 \text{ fois}$$

Dans notre exemple de calcul nous choisirons pour R3 et R4 ces valeurs :

$$R3 = 3,3 \text{ kilohms} \quad R4 = 150 \text{ ohms}$$

et donc nous saurons que l'étage amplificateur a un gain d'environ

$$3\,300 : 150 = 22$$

Le calcul des résistances R1 et R2 d'un étage préamplificateur

Pour calculer ces deux valeurs ohmiques, il existe de nombreuses formules plus ou moins complexes, mais nous vous proposons la plus simple car elle présente en plus l'avantage d'être très fiable.

Le calcul de la Ic

Il faut tout d'abord trouver le courant de collecteur réel, noté Ic. En effet, nous avons utilisé pour cet amplificateur une résistance R3 de 3,3 kilohms et une R4 de 150 ohms, le circuit consommera au repos un courant de :

$$Ic = [(Vcc : 2) : (R3 + R4)] \times 1\,000$$

soit :

$$[(10 : 2) : (3\,300 + 150)] \times 1\,000 = 1,449 \text{ mA}$$

Le calcul de la VR4

Il faut ensuite trouver la tension présente aux extrémités de R4 située entre émetteur et masse, grâce à la formule :

$$VR4 = (Ic \times R4 \text{ en ohms}) : 1\,000$$

soit :

$$(1,449 \times 150) : 1\,000 = 0,217 \text{ V aux extrémités de R4}$$

Le calcul de la Vb

Calculons maintenant la tension à appliquer sur la base du transistor pour qu'il entre en conduction, avec la formule :

$$Vb = VR4 + 0,65$$

Note : nous prenons pour Vbe (V entre base et émetteur) 0,65 car cette tension varie selon les transistors de 0,6 à 0,7 V, 0,65 est une moyenne.

$$\text{cela fait } 0,217 + 0,65 = 0,867 \text{ V}$$

Nous avons maintenant toutes les données :

$$\begin{aligned} R3 &= 3,3 \text{ kilohms} \\ R4 &= 150 \text{ ohms} \\ Vcc &= 10 \text{ V} \\ Ic &= 1,449 \text{ mA} \\ Ib &= 0,004 \text{ mA} \\ VR4 &= 0,217 \text{ V} \\ Vb &= 0,867 \text{ V} \end{aligned}$$

et nous pouvons calculer la valeur de R1 placée entre le positif d'alimentation et la base du transistor, avec la formule :

$$R1 \text{ en ohms} = [(Vcc - Vb) : (Ib \times 10)] \times 1\,000$$

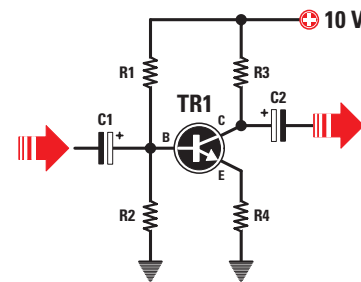


Figure 24: Schéma électrique d'un préamplificateur et valeurs des résistances associées au transistor.

$$\begin{aligned} R1 &= 220 \text{ k}\Omega \\ R2 &= 22 \text{ k}\Omega \\ R3 &= 3,3 \text{ k}\Omega \\ R4 &= 150 \Omega \end{aligned}$$

Note : dans la formule, $Ib \times 10$ est le courant du pont qui doit être dix fois supérieur au courant de base et ne doit pas être confondu avec la tension d'alimentation.

$$\text{cela fait } [(10 - 0,867) : (0,004 \times 10)] \times 1\,000 = 228\,325 \text{ ohms}$$

Comme ce n'est pas une valeur normalisée, nous prendrons 220 kilohms. Calculons maintenant la valeur de R2 située entre base et masse, avec la formule :

$$R2 \text{ en ohms} = Vb : (Ib \times 10) \times 1\,000$$

$$\text{cela fait } 0,867 : (0,004 \times 10) \times 1\,000 = 21\,675 \text{ ohms}$$

Nous prendrons la valeur normalisée de 22 kilohms.

À suivre

Dans les volets ultérieurs nous aborderons les FET, thyristors et triacs. ◇

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire ce traceur de courbe EN1538 est disponible chez certains de nos annonceurs.

Voir les publicités dans la revue.

Un traceur de courbe

pour transistor, FET, THYRISTOR, etc.

quatrième partie :

la droite de charge dans les transistors

L'appareil de mesure présenté précédemment permet de visualiser à l'écran de tout oscilloscope les courbes caractéristiques des transistors NPN ou PNP, des FET et même des thyristors et triacs. La quatrième partie va vous apprendre à tracer la droite de charge servant à trouver le point de repos du transistor et à savoir ce qui arrive quand on applique à l'entrée un signal dépassant l'amplitude maximale autorisée.



Nous continuons la description du traceur de courbe en sachant déjà comment calculer les valeurs des résistances à utiliser dans un étage amplificateur et le moment est venu de vous expliquer comment on peut trouver le point de repos et tracer la droite de charge à partir des sept courbes.

Le point de repos est la position dans laquelle le transistor se trouve quand il est polarisé comme il convient par ses quatre résistances (voir figure 1) et quand aucun signal n'est appliqué sur son entrée.

Si vous voulez savoir à l'aide de quels éléments calculer ce point de repos, voici un résumé de la marche à suivre :

1 - Il est tout d'abord nécessaire de trouver les sept courbes du transistor comme les parties précédentes vous ont appris à le faire.

2 - Les sept courbes étant obtenues, choisissez une tension de collecteur égale à la moitié de la V_{cc} et, comme nous avons choisi une V_{cc} de 10 V dans l'exemple de la figure 2, la moitié fait 5 V.

3 - Sur la ligne horizontale de la V_{cc} , allez chercher le cinquième carreau correspondant à 5 V (voir figure 2) et, de ce point, traçons une ligne verticale jusqu'à ce qu'elle coupe la quatrième courbe, ce qui détermine un point de concours.

4 - De ce point, tracez une ligne horizontale vers la gauche allant couper la ligne verticale du courant de collecteur sur une valeur qui, dans l'exemple de la figure 2, correspond à 1,4 mA.

5 - Connaissant le courant de collecteur, égal à 1,4 mA, vous pouvez trouver la valeur des résistances $R_3 + R_4$ avec la formule :

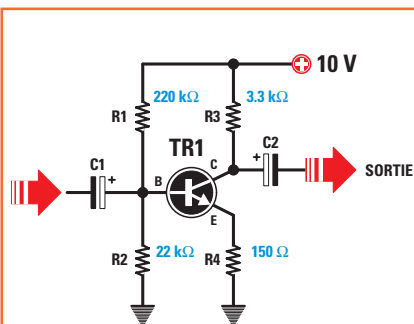


Figure 1: Schéma électrique du préamplificateur pris comme exemple pour calculer les valeurs des résistances de polarisation en utilisant une tension V_{cc} de 10 V. Les électrolytiques C1 et C2 empêchent la tension présente sur la base et sur le collecteur de se décharger à la masse.

Liste des composants

R1.....	220 kΩ
R2.....	22 kΩ
R3.....	3,3 kΩ
R4.....	150 Ω
C1.....	10 μF électrolytique
C2.....	10 μF électrolytique
TR1	NPN

$$\text{ohm } R3 + R4 = (V_{cc} : 2) : \text{mA} \times 1\,000$$

vous obtenez donc une valeur de :

$$R3 + R4 = (10 : 2) : 1,4 \times 1\,000 = 3\,571 \text{ ohms}$$

6 - Dans la partie précédente, nous avons décidé de prendre pour R3 3,3 kilohms et pour R4 150 ohms (voir figure 1), même si en additionnant les deux valeurs nous obtenons un total de 3,450 kilohms au lieu de 3,571 kilohms et ce parce qu'il est nécessaire de choisir des valeurs normalisées.

7 - Vous devez maintenant calculer le courant maximum que le collecteur peut consommer avec une R3 de 3,3 kilohms et une R4 de 150 ohms, grâce à cette formule simple :

$$\text{mA collecteur} = V_{cc} : (R3 + R4) \times 1\,000$$

ce qui fait avec notre exemple :

$$10 : (3\,300 + 150) \times 1\,000 = 2,898 \text{ mA arrondis à } 2,9 \text{ mA}$$

8 - Vous pouvez alors rechercher sur la ligne horizontale de la tension de collecteur la valeur V_{cc} correspondant à 10 V.

En partant de ce point, tracez une diagonale passant par le point de repos précédemment choisi, correspondant à une tension de collecteur de 5 V et à un courant de collecteur de 1,4 mA.

Prolongez cette diagonale jusqu'à ce qu'elle coupe la ligne verticale de courant de collecteur (voir figure 2), précisément en correspondance avec les 2,9 mA précédemment calculés.

9 - Cette diagonale, nommée droite de charge, vous permet d'évaluer la variation du courant et de la tension de collecteur en fonction de l'amplitude du signal appliqué sur la base du transistor.

Comme le montre la figure 2, de cette droite de charge, vous pouvez déduire que, lorsque sur la base du transistor aucun signal n'est appliqué, le collecteur consomme un courant de 1,4 mA, correspondant au courant de repos.

Si l'on applique un signal sur la base

Ayant déjà calculé les résistances du circuit de polarisation selon la règle :

$$V_{\text{collecteur}} = V_{cc} : 2$$

nous pouvons affirmer que, le transistor étant alimenté avec une tension de 10 V, sur le collecteur se trouve une tension de $10 : 2 = 5$ V.

Voyons maintenant quelles variations de tension on trouve sur le collecteur du transistor quand sur la base un signal, évidemment sinusoïdal, est appliqué.

En appliquant ce signal sinusoïdal sur la base, nous modifions automatique-

ment le courant de polarisation, lequel augmente ou diminue en fonction de l'amplitude du signal, ainsi que la tension de collecteur par conséquent.

Ainsi, quand arrive la demi-onde positive du signal sinusoïdal sur l'entrée du transistor, le courant de base qui, en position de repos, est de l'ordre de 4 μA, augmente vers 6 μA et, par conséquent, le courant de collecteur augmente de 1,4 mA vers 2,2 mA.

Comme le courant de collecteur augmente, la tension aux extrémités de R3, en série avec le collecteur, augmente automatiquement et la tension de collecteur diminue par conséquent.

En effet, si nous regardons le tracé de couleur rouge sur la figure 3, nous voyons que les 5 V de la tension de repos diminuent vers 2,5 V.

Quand arrive la demi-onde négative du signal sinusoïdal sur l'entrée du transistor, le courant de base qui, en position de repos, est de l'ordre de 4 μA, diminue automatiquement vers 2 μA et, par conséquent, le courant de collecteur diminue de 1,4 mA à environ 0,7 mA.

Comme le courant de collecteur diminue, la tension aux extrémités de R3, en série avec le collecteur, diminue automatiquement et la tension de collecteur augmente par conséquent.

En effet, si nous regardons le tracé de couleur rouge sur la figure 3, nous voyons que les 5 V de la tension de repos augmentent jusqu'à 7,5 V. Comme vous le voyez, le signal sinusoïdal appliqué sur la base du transistor sort du collecteur amplifié, mais déphasé de 180°.

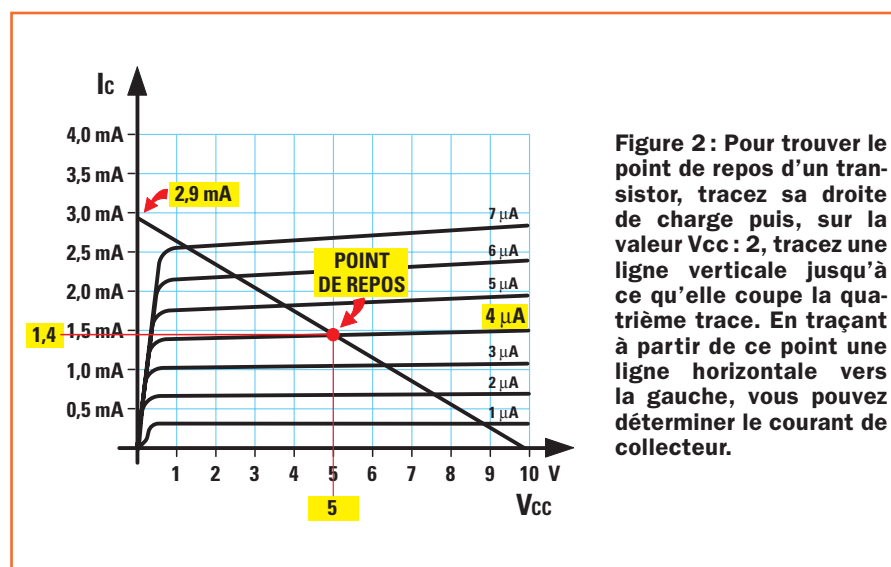


Figure 2: Pour trouver le point de repos d'un transistor, tracez sa droite de charge puis, sur la valeur $V_{cc} : 2$, tracez une ligne verticale jusqu'à ce qu'elle coupe la quatrième trace. En traçant à partir de ce point une ligne horizontale vers la gauche, vous pouvez déterminer le courant de collecteur.

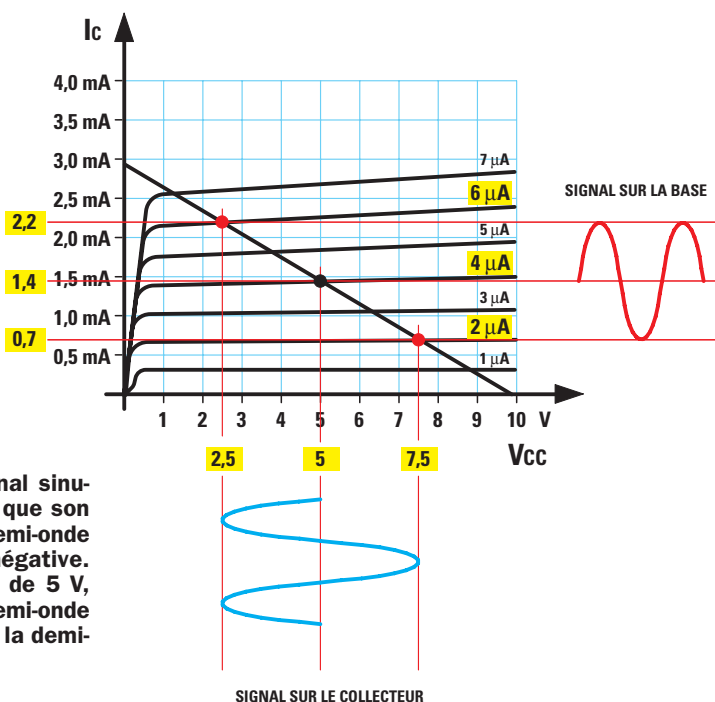
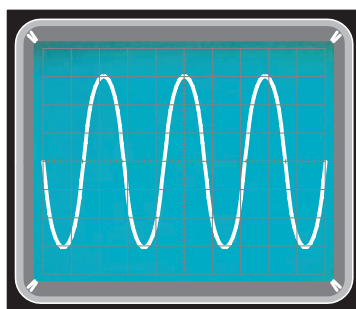


Figure 3: Si on applique sur la base un signal sinusoïdal (la sinusoïde bleue à droite), on note que son courant augmente en correspondance de la demi-onde positive et diminue en face de la demi-onde négative. De ce fait, la tension de collecteur diminue de 5 V, tension de repos, à 2,5 V en présence de la demi-onde positive et augmente à 7,5 V en présence de la demi-onde négative.

La polarité du signal est donc inversée et par conséquent les demi-ondes positives deviennent demi-ondes négatives.

Le point de repos du transistor

On peut lire partout que le point de repos d'un transistor doit se trouver, pour un amplificateur classe A, toujours à la moitié de la tension V_{cc} .

Donc, si nous alimentons un transistor avec une V_{cc} de 10 V, nous devons le polariser de façon à détecter entre le collecteur et la masse une tension égale à :

$$10 : 2 = 5 \text{ V}$$

Si nous alimentons le même transistor avec une V_{cc} de 12 V, nous devons le polariser de façon à détecter entre le collecteur et la masse une tension égale à :

$$12 : 2 = 6 \text{ V}$$

Si nous alimentons le transistor avec une V_{cc} supérieure, 18 V par exemple, nous devons le polariser de façon à détecter entre le collecteur et la masse une tension égale à :

$$18 : 2 = 9 \text{ V}$$

Pour être un peu pinailleur, disons que la tension de collecteur devrait être calculée avec la formule :

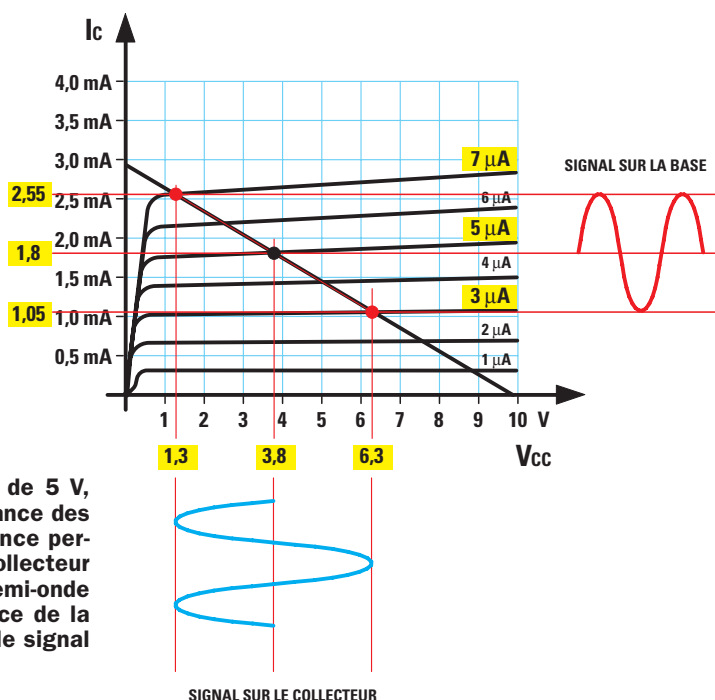
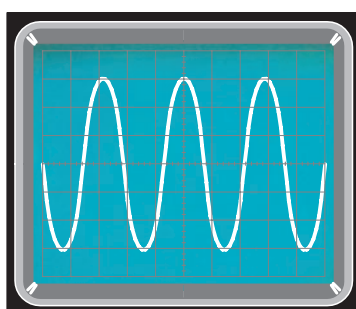


Figure 4: Si le point de repos se déplaçait de 5 V, tension requise, à 3,8 V, à cause de la tolérance des résistances de polarisation, la seule différence perceptible serait la variation de la tension de collecteur qui diminuerait à 1,3 V en présence de la demi-onde positive et augmenterait à 6,3 V en présence de la demi-onde négative. Comme vous le voyez, le signal amplifié n'est pas distordu.

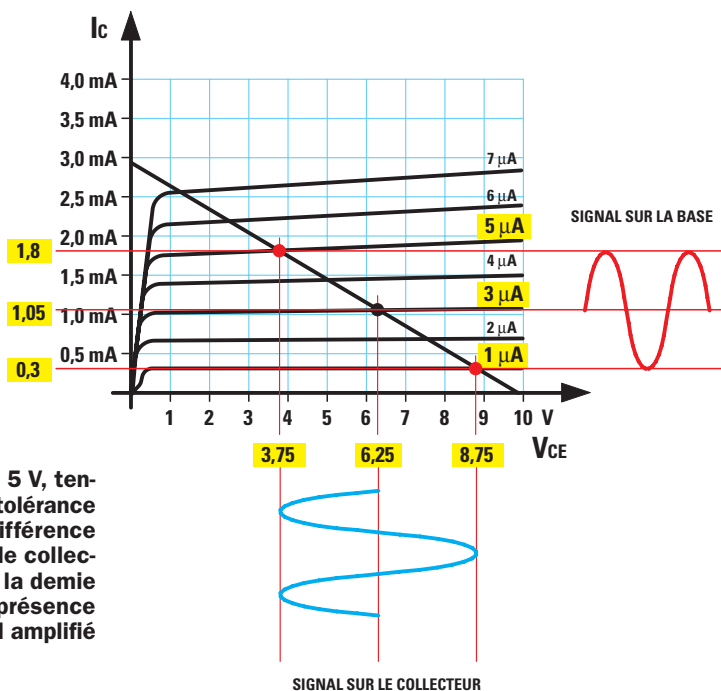
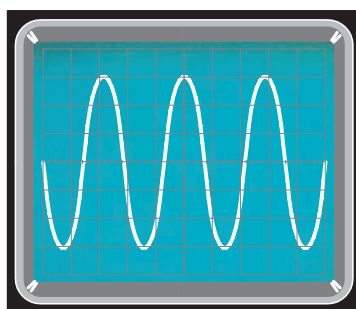


Figure 5 : Si le point de repos se déplaçait de 5 V, tension requise à 6,25 V, toujours à cause de la tolérance des résistances de polarisation, la seule différence perceptible serait la variation de la tension de collecteur qui diminuerait à 3,75 V en présence de la demie onde positive et augmenterait à 8,75 V en présence de la demie onde négative. Ici aussi, le signal amplifié est impeccable.

($V_{cc} : 2$) + VR4

car la moitié de V_{cc} devrait toujours être détectée entre collecteur et émetteur, mais on dédaigne généralement cette précision en laissant tomber la tension VR4 pour faire plus simple. En effet, quand on fait les calculs pour trouver les valeurs de R1, R2, R3 et R4, on obtient toujours des valeurs ohmiques ne correspondant pas aux valeurs normalisées du commerce.

Si nos calculs nous donnent une valeur de 9,350 kilohms, non normalisée, nous devons choisir la valeur normalisée immédiatement inférieure de 8,2 kilohms ou immédiatement supérieure de 10 kilohms.

Si en revanche nos calculs nous donnent une valeur de 13,853 kilohms, non normalisée, nous devons choisir la valeur normalisée immédiatement inférieure de 10 kilohms ou immédiatement supérieure de 15 kilohms.

Ce choix pourrait poser des problèmes à un débutant, indécis sur la valeur la plus appropriée à prendre pour concevoir son étage préamplificateur.

Mais, nous pouvons lui assurer qu'en utilisant des valeurs normalisées inférieures ou supérieures à celles calculées, aucune conséquence regrettable ne s'ensuivra : ce que nous allons démontrer dans les paragraphes qui vont suivre.

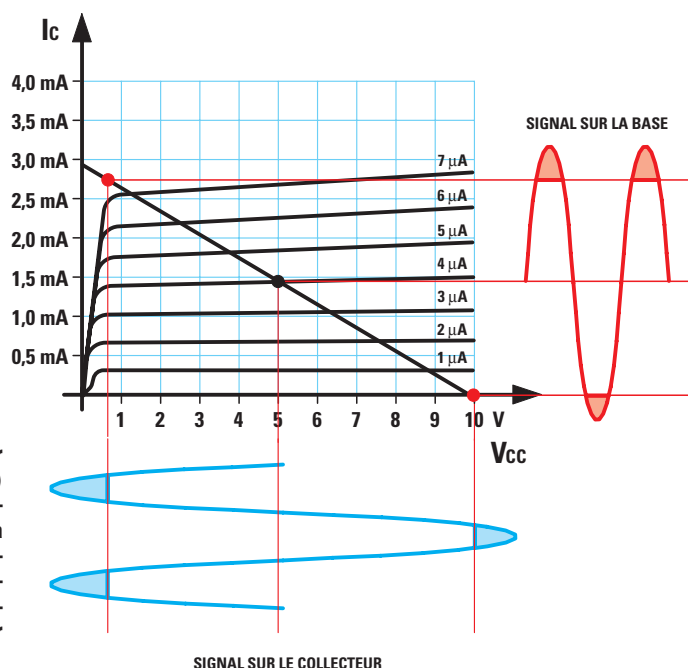
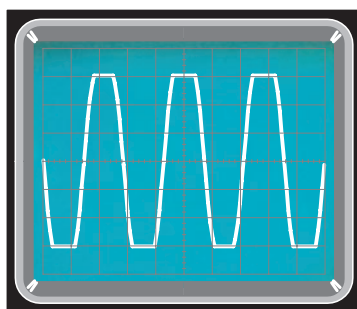


Figure 6 : Si on applique sur la base d'un transistor un signal sinusoïdal (la sinusoïde bleue à droite) dont l'amplitude dépasse la valeur maximale autorisée, on note que les extrémités sortent de la droite de charge et par conséquent le signal amplifié sort du collecteur écrêté aux deux extrémités. Pour résoudre ce problème, vous devez seulement atténuer l'amplitude du signal BF ou calculer l'étage pour un gain plus faible.

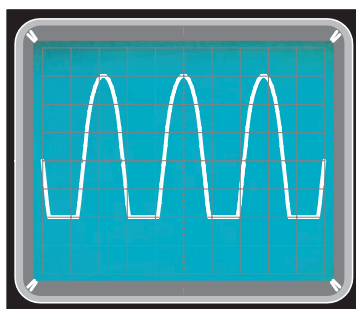
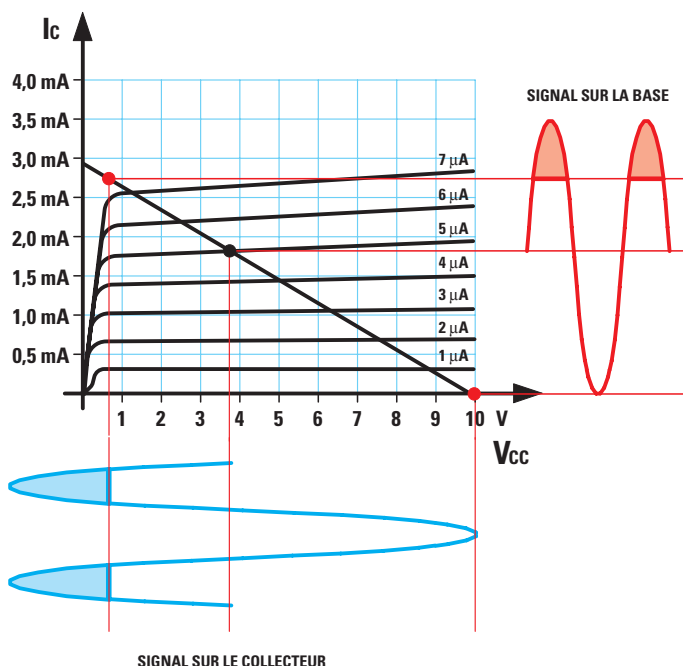


Figure 7 : Si on applique sur la base d'un transistor ayant le point de repos déplacé sur 3,8 V, comme le montre la figure 4, un signal sinusoïdal (la sinusoïde bleue à droite) dont l'amplitude dépasse la valeur maximale autorisée, le signal amplifié sort du collecteur écrêté seulement sur les demi-ondes négatives. Pour résoudre ce problème, vous devez recalculer le gain du transistor pour une valeur plus faible.



Le point de repos déplacé

En utilisant des valeurs normalisées de résistances, toujours différentes des valeurs calculées, dans un circuit de polarisation, nous provoquons inévitablement un déplacement du point de repos du transistor. Toutefois, même si nous ne parvenons jamais à nous positionner exactement

sur la valeur V_{CC} : 2, cela n'est en aucune façon un problème, à condition que nous ayons respecté, au cours de la conception, un critère bien précis. Souvenez-vous (article précédent), quand nous avons calculé les résistances du circuit de polarisation du transistor, nous avons recommandé de ne pas exagérer la valeur du gain en tension du circuit. En effet, bien que nous

disposons d'un transistor à h_{FE} plutôt élevé (plusieurs centaines), nous avons volontairement dimensionné R_3 et R_4 de façon à limiter le gain en tension à seulement 22.

Cette précaution nous permet de garder toujours une marge de sécurité plus que suffisante pour que le signal sorte du collecteur sans aucune distorsion.

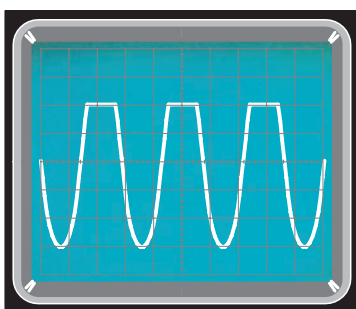
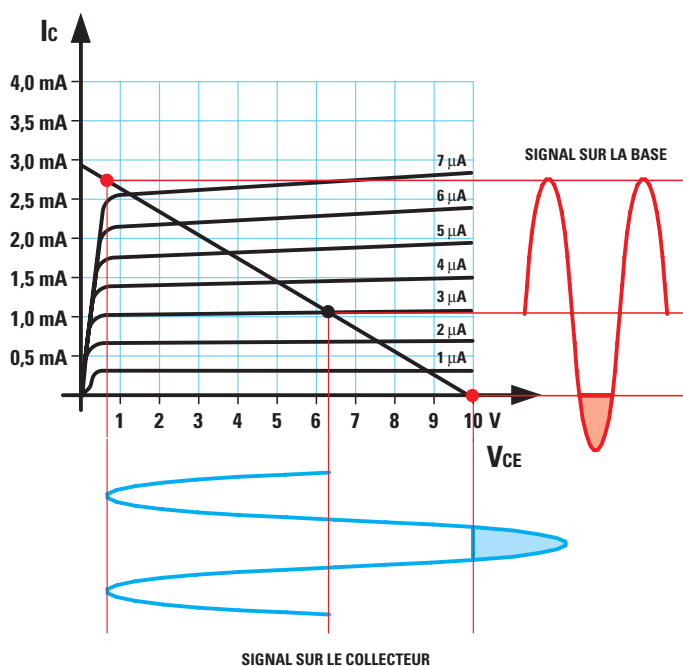


Figure 8 : Si on applique sur la base d'un transistor ayant le point de repos déplacé sur 6,25 V, comme le montre la figure 5, un signal sinusoïdal (la sinusoïde bleue à droite) dont l'amplitude dépasse la valeur maximale autorisée, le signal amplifié sort du collecteur écrêté seulement sur les demi-ondes positives. Pour résoudre ce problème, vous devez, là encore, recalculer le gain du transistor pour une valeur plus faible.



Le point de repos déplacé vers le bas

Précisons que nous considérons le point de repos déplacé vers le bas quand la tension de collecteur diminue. Si, comme le montre la figure 4, le point de repos, au lieu de tomber pile sur 5 V (valeur correspondant à un exemple de V_{cc} de 10 V), tombe sur 3,8 V, nous ne détectons que les variations suivantes :

1 - Le courant de base augmente de 4 à 5 μA et par conséquent le courant de collecteur aussi passe de 1,4 à 1,8 mA.

2 - Si nous appliquons sur la base un signal sinusoïdal, automatiquement nous modifions le courant de polarisation, lequel augmente jusqu'à 7 μA environ pour les demi-ondes positives et diminue jusqu'à 3 μA environ pour les demi-ondes négatives.

3 - Le courant de base du transistor variant, la tension de collecteur varie aussi automatiquement et donc, si nous regardons le tracé bleu, figure 4, nous voyons qu'en l'absence de signal sur le collecteur nous obtenons une tension de 3,8 V, laquelle tombe à environ 1,3 V en présence des demi-ondes positives et monte à environ 6,3 V en présence des demi-ondes négatives.

Le point de repos déplacé vers le haut

Précisons que nous considérons le point de repos déplacé vers le haut quand la tension de collecteur augmente. Si, comme le montre la figure 5, le point de repos, au lieu de tomber pile sur 5 V (valeur correspondant à un exemple de V_{cc} de 10 V), tombe sur 6,25 V, nous ne détecterons que les variations suivantes :

1 - Le courant de base diminue de 4 à 3 μA et par conséquent le courant de collecteur aussi passe de 1,4 à 1,05 mA.

2 - Si nous appliquons sur la base un signal sinusoïdal, automatiquement nous modifions le courant de polarisation, lequel augmente jusqu'à 5 μA environ pour les demi-ondes positives et diminue jusqu'à 1 μA environ pour les demi-ondes négatives.

3 - Le courant de base du transistor variant, la tension de collecteur varie aussi automatiquement et donc, si nous regardons le tracé bleu, figure 5, nous voyons qu'en l'absence de signal sur le collecteur nous obtenons une tension de 6,25 V, laquelle tombe à environ 3,75 V en présence des demi-

ondes positives et monte à environ 8,75 V en présence des demi-ondes négatives.

Le signal à appliquer sur la base

Comme nous l'avons démontré avec les exemples des figures 4 et 5, même si le point de repos se déplace vers le haut ou vers le bas, le signal amplifié ne subit aucune distorsion, à condition que le signal que nous appliquons sur la base reste dans la fourchette des valeurs calculées. Pour déterminer la valeur maximale du signal d'entrée, nous utilisons la formule :

$$\text{Max signal entrée} = (V_{cc} \times 0,8) : \text{gain}$$

Note : nous avons écrit ($V_{cc} \times 0,8$) parce qu'ainsi le signal de sortie ne subit aucune distorsion.

Étant donné que dans notre exemple nous avons une V_{cc} de 10 V et que nous faisons amplifier 22 fois l'étage amplificateur de la figure 2 (nous vous avons expliqué déjà que le gain se calcule = $R_3 : R_4$), le signal maximum que nous pouvons appliquer sur la base du transistor ne doit pas dépasser :

$$(10 \times 0,8) : 22 = 0,36 \text{ Vpp}$$

Si nous appliquons à l'entrée un signal dépassant cette limite maximale, la sinusoïde que nous prélèverons en sortie sera écrêtée en correspondance des deux demies ondes, comme le montre la figure 6. Si, en revanche, le point de repos est déplacé beaucoup vers le bas, les demi-ondes négatives seront écrêtées, comme le montre la figure 7, alors que s'il est déplacé beaucoup vers le haut, les demi-ondes positives seront écrêtées, comme le montre la figure 8.

Si le signal d'entrée est trop fort

Si nous obtenons à la sortie du transistor des sinusoïdes écrêtées, cela signifie que le signal que nous appliquons sur la base du transistor amplificateur dépasse la valeur maximale autorisée. Pour résoudre ce problème, nous pouvons réduire l'amplitude du signal d'entrée au moyen d'un trimmer, ou bien recalculer le gain du transistor. Supposons un signal d'amplitude 0,7 V appliqué à l'entrée d'un étage de gain 22, nous prélèverons en sortie un signal devant atteindre :

$$0,7 \times 22 = 15,4 \text{ V}$$

Or cela n'arrivera pas car, si le signal dépasse la valeur de la V_{cc} d'alimentation, soit 10 V, il est automatiquement écrêté. Pour calculer le gain d'un étage amplificateur alimenté avec une V_{cc} de 10 V en mesure d'accepter un signal d'entrée de 0,7 V, nous devons utiliser la formule :

$$\text{Gain} = (V_{cc} \times 0,8) : \text{signal entrée}$$

Dans notre exemple :

$$(10 \times 0,8) : 0,7 = 11,4$$

et donc notre étage amplificateur ne pourra pas avoir un gain supérieur à 11,4 et, pour obtenir cette valeur, il suffit de diviser la valeur de R_3 par le gain de façon à trouver la valeur de R_4 à appliquer sur l'émetteur :

$$3\ 300 : 11,4 = 289 \text{ ohms pour } R_4$$

Étant donné que cette valeur n'est pas normalisée, nous prendrons 280 ohms et, avec cette valeur, notre étage aura un gain de :

$$3\ 300 : 280 = 11,78$$

Conclusion et à suivre

Cet article vous a appris jusqu'ici à trouver les courbes d'un transistor. Nous continuerons avec les thyristors, les triacs et enfin les FET. Auparavant précisons que tous les exemples de calcul que nous avons étudiés ensemble valent aussi bien pour les transistors NPN que pour les PNP. Si vous avez besoin d'en savoir un peu plus sur le calcul des résistances de polarisation d'un transistor, nous vous conseillons de revoir les Leçons de la première partie du Cours Apprendre l'électronique en partant de zéro que publie par ailleurs ELM. ◇

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire le traceur de courbe EN1538 est disponible chez certains de nos annonceurs. Voir les publicités dans la revue.

Les typons des circuits imprimés sont sur www.electronique-magazine.com/ci.asp.

Un traceur de courbe

pour transistor, FET, THYRISTOR, etc.

cinquième partie :

Tester les triacs et les thyristors

Après vous avoir appris, dans les parties précédentes, comment faire apparaître les courbes caractéristiques d'un transistor à l'écran d'un oscilloscope, nous vous expliquons ici comment visualiser celles d'un triac et d'un thyristor et comment procéder pour déterminer la sensibilité de leur gâchette.



Nous allons examiner cette fois deux semiconducteurs : les thyristors (figure 1) et les triacs (figure 9), utilisés depuis longtemps dans diverses applications électroniques comme les "timers" (temporiseurs), lumières psychédéliques, variateurs de lumière, etc. Nous allons vous apprendre à les tester.

Les thyristors

La figure 1 donne sa représentation symbolique dans les schémas électriques : ses formes possibles de boîtiers rappellent celles des transistors de faible, moyenne et forte puissances. Le symbole montre que le thyristor est une diode à laquelle on a associé une troisième sortie, la gâchette. Les trois sorties A, K et G sont ainsi reliées :

A = Anode à relier à la charge
K = Cathode à relier à la masse
G = Gâchette broche d'excitation.

Les thyristors peuvent être alimentés avec une tension continue ou bien avec une tension alternative. Pour produire la conduction entre l'anode et la cathode il suffit d'appliquer une tension de polarité positive sur la gâchette. Tant que la tension fournie à la gâchette ne donne pas un courant suffisant pour l'exciter, le thyristor ne conduit pas : ce courant d'excitation est indiqué dans les tables de caractéristiques comme courant de "trigger" (déclenchement). Vous le constaterez en testant divers types de thyristors, ceux qui sont très sensibles s'excitent avec de faibles courants de gâchette et ceux qui sont moins sensibles avec des courants plus élevés.

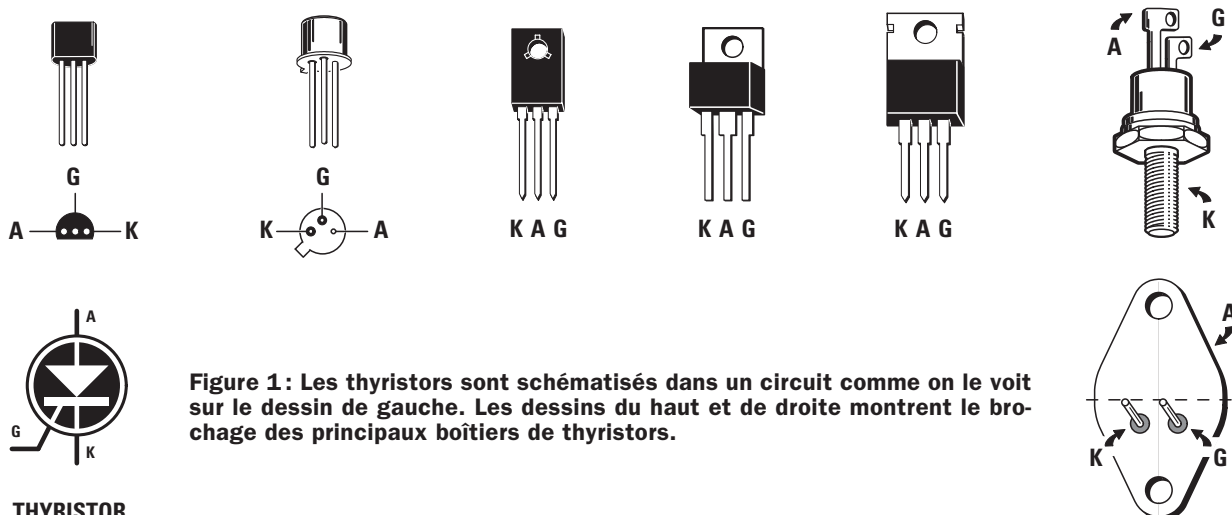


Figure 1: Les thyristors sont schématisés dans un circuit comme on le voit sur le dessin de gauche. Les dessins du haut et de droite montrent le brochage des principaux boîtiers de thyristors.

THYRISTOR

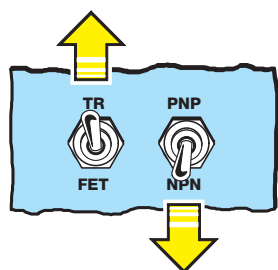


Figure 2: Pour tester n'importe quel type de thyristor ou de triac, vous devez placer l'inverseur de gauche sur TR et celui de droite sur NPN.

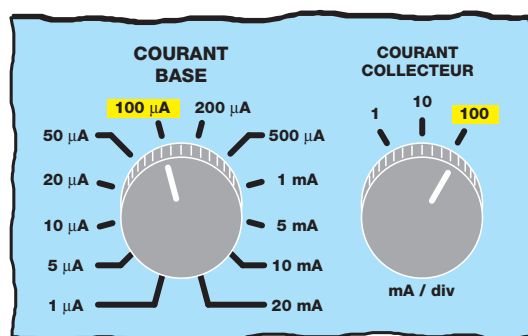


Figure 3: Pour tester n'importe quel thyristor ou triac, vous devez placer le bouton Courant de base sur 100 µA et celui de Courant de collecteur sur 100 mA/div.

Au moyen du traceur de courbe, il n'est pas possible de savoir le courant maximal de travail ni la tension maximale applicable à l'A et la K d'un thyristor: ces paramètres sont donnés par les manuels de caractéristiques.

Quand on applique une tension d'excitation à la gâchette d'un thyristor inséré dans un circuit alimenté avec

une tension continue, si on coupe la tension après le déclenchement de la conduction, la conduction se poursuit. Si par contre le thyristor est inséré dans un circuit alimenté par une tension alternative, il se relaxe automatiquement chaque fois que la sinusoïde de la tension alternative passe par zéro, soit quand elle change de polarité.

Pour tester un thyristor

Pour tester un thyristor de toute forme et de toute marque, il faut d'abord régler les commandes du traceur de courbe (voir figures 2 et 3) comme suit:

Inverseur TR/FET sur TR
Inverseur PNP/NPN sur NPN
Courant de base sur 100 µA
Courant de collecteur sur 100 mA/div

et les commandes d'entrée de l'oscilloscope comme le montre la figure 4, soit:

CH1 canal X (horizontal) 1 V/div
CH2 canal Y (vertical) 0,5 V/div

Ces deux commandes ne seront plus modifiées. La sortie axe Y du traceur de courbe est reliée à l'entrée Y de l'oscilloscope et la sortie X à l'entrée X comme le montre la figure 5.

Quand le traceur de courbe et l'oscilloscope sont réglés, il faut relier les broches A et K au traceur de courbe: A va à la douille C (collecteur)

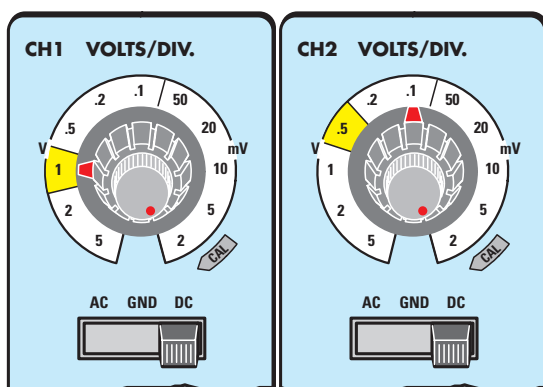


Figure 4: Le bouton CH1 de l'oscilloscope doit être sur 1 V/div et le CH2 sur 0,5 V/div. Et cela vaut pour les thyristors comme pour les triacs.

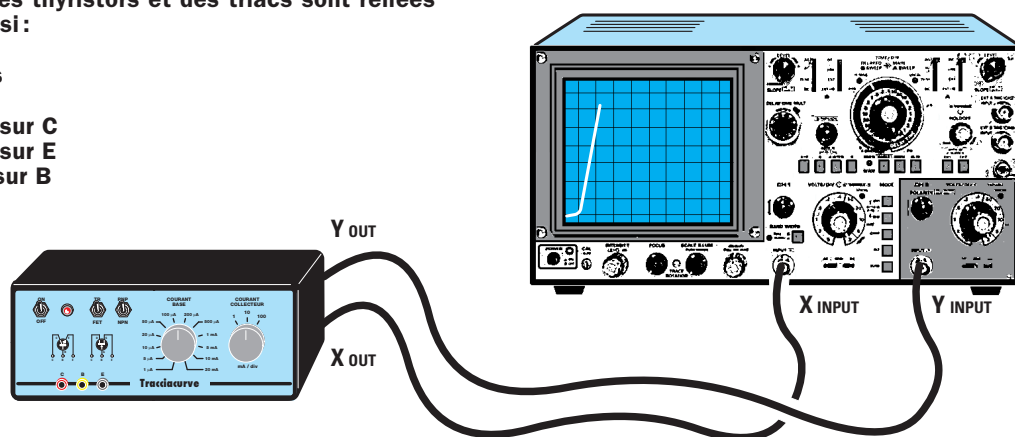
Figure 5 : Les broches des thyristors et des triacs sont reliées au traceur de courbe ainsi :

Thyristors

A = sur C
K = sur E
G = sur B

triacs

A2 = sur C
A1 = sur E
G = sur B



du traceur de courbe, K va à la douille E (émetteur). Comme nous n'avons pas relié G (gâchette) à la douille B (base), aucun tracé n'apparaît à l'écran : si un tracé vertical apparaît tout de même, sans que G ne soit excitée, c'est que le thyristor est en court-circuit. Mais cela arrive rarement. Relions G à la douille B : très probablement aucun tracé n'apparaît encore, il faut pour cela tourner le bouton Courant de base (déterminant le courant à appliquer à la gâchette).

Étant donné que nous sommes partis d'un courant de gâchette de 100 μ A, ce qui est plutôt faible pour un thyristor, nous pouvons monter ce courant à 2 à 500 μ A et continuer vers 1 - 5 - 10 mA jusqu'à voir apparaître à l'écran un tracé vertical comme le montre la figure 7, lequel indique que le courant de gâchette a fait conduire le thyristor. Ce tracé vertical très pentu atteint une hauteur de six carreaux pour tout type de thyristor. Il existe des thyristors s'excitant avec

un courant de gâchette de quelques mA, car ils sont très sensibles et d'autres réclamant un courant de 10 ou 20 mA, car ils sont peu sensibles (voir figure 8).

Une fois entré en conduction, le thyristor se comporte comme une simple diode, laissant passer le courant dans un seul sens, de l'A (+) vers la K (-). En effet, si nous inversons la polarité de la tension en déplaçant l'inverseur sur PNP, le thyristor ne

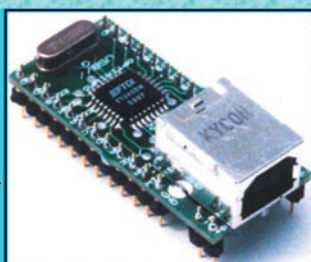
KIT COMMUNICATION

Intégrer une liaison Ethernet ou USB en quelques minutes.

- * Convertisseur Ethernet TTL Série, RS232, RS485, RS422.
- * Ethernet 10BaseT avec protocole TCP,UDP,ICMP (ping), ARP.
- * Aucun composant extérieur
- * Communication via ports virtuels ou TCP.
- * Exemples en VB, Delphi fournis.
- * Modèles disponibles avec protocole HTTP 1.0 et 8 entrées analogiques, programmation JAVA.
- * A partir de 66 € HT.



- * Composant USB 2.0 vers données séries ou parallèles.
- * Drivers port virtuel pour Windows, Linux, MAC, ou DLL pour Windows, Linux, MAC gratuits.
- * Exemples en C++, VB, Delphi fournis.
- * Modèles avec micro PIC, SCENIX ou I/O24
- * Kit de développement à 30.90 € HT.
- * Support technique gratuit



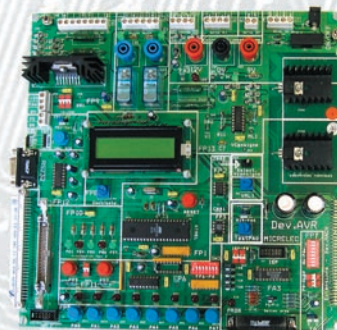
optiminfo

Route de Ménétreau - 18240 Boulleret
Tél: 0820 900 021 - Fax: 0820 900 126
Site Web: www.optiminfo.com

Enfin un système pour apprendre l'électronique conçu par des enseignants !

L'ensemble Dev.AVR et Dev.MACH est constitué de 2 plateformes interconnectables, destinées à acquérir et mettre en oeuvre les principaux concepts de l'électronique numérique.

Développées par des professeurs de génie électrique pour fournir un outil pédagogique fiable, polyvalent et simple d'emploi, ces plateformes s'adressent à des étudiants de tous niveaux.



DevAVR
Programmation des μ -contrôleurs



DevMACH
Logique combinatoire

plus d'infos sur : www.micrelec.fr rubrique S.T.I.



MICRELEC

4, place Abel Leblanc - 77120 Coulommiers
tel : 01 64 65 04 50 - Fax : 01 64 03 41 47

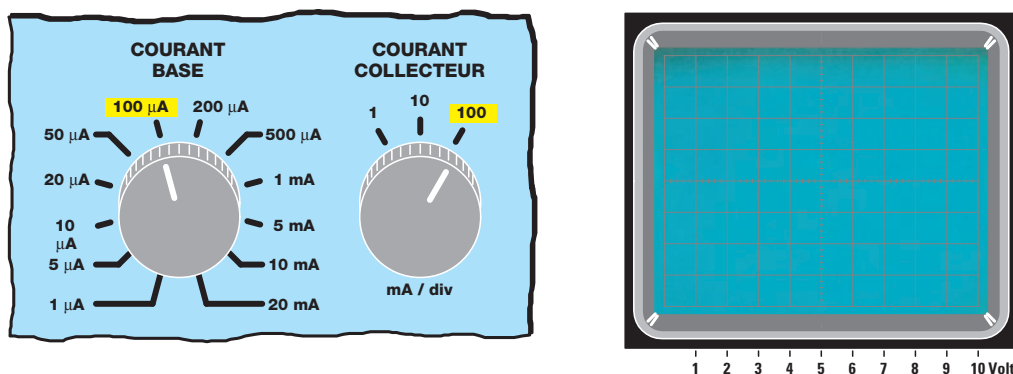


Figure 6 : Pour déterminer avec le traceur de courbe la sensibilité de gâchette d'un thyristor ou d'un triac, après avoir relié leurs broches comme le montre la figure 5, commencez en plaçant le bouton Courant de base sur 100 μ A puis passez aux valeurs supérieures jusqu'à ce qu'apparaisse un tracé vertical à pente très raide. Les boutons CH1 et CH2 de l'oscilloscope doivent rester dans la position de la figure 4.

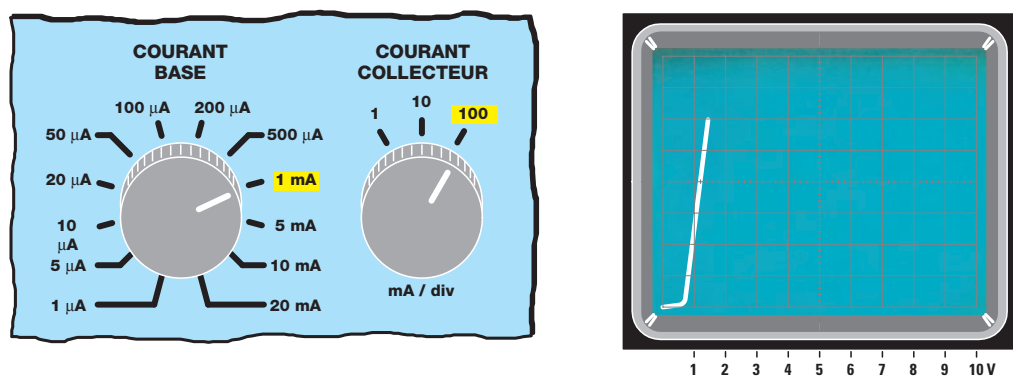


Figure 7 : La figure 6 vous conseillait de partir d'un courant de base de 100 μ A car vous pouvez avoir à tester de minuscules thyristors ou triacs très sensibles. Pour des composants de sensibilité moyenne, on partira de 100 μ A pour grimper progressivement jusqu'à 500 μ A voire 1 mA. Les thyristors et triacs pouvant être excités par des courants inférieurs à 1 mA peuvent être considérés comme très sensibles.

conduit plus et le tracé vertical disparaît. De même en déplaçant l'autre inverseur sur FET, le thyristor ne peut être excité car il faut appliquer sur la G une tension positive.

Le triac

Le triac ("TRiode Alternate Current") est représenté dans les schémas électriques par le symbole de la figure 9 : deux thyristors en opposition de polarité, le boîtier étant comparable à celui d'un thyristor. Les trois broches sont A1, A2 et G :

- A1 = anode de la première diode à relier à la masse**
- A2 = anode de la deuxième diode à relier à la charge**
- G = gâchette d'excitation.**

Les triacs peuvent être alimentés indifféremment par une tension continue ou par une alternative. Pour faire conduire l'A1 et l'A2, il suffit d'appli-

quer à la G une tension positive ou négative ou bien alternative. Tant que la tension arrivant sur la gâchette n'atteint pas un niveau suffisant pour l'exciter, le triac ne conduit pas.

Si nous insérons un triac dans un circuit alimenté sous une tension continue, quand le déclenchement a eu lieu le triac continue de conduire même si l'on coupe la tension d'excitation de sa gâchette. Si par contre il est inséré dans un circuit alimenté en alternatif, il se relaxe automatiquement chaque fois que la sinusoïde de la tension alternative passe par zéro, soit à chaque changement de polarité.

Si vous désirez en savoir davantage sur les thyristors et les triacs, revoyez le Cours.

Pour tester un triac

Pour tester un triac de toute forme et de toute marque, il faut d'abord régler

les commandes du traceur de courbe (voir figures 2 et 3) comme suit :

Inverseur TR/FET	sur TR
Inverseur PNP/NPN	sur NPN
Courant de base	sur 100 μA
Courant de collecteur	sur 100 mA/div

et les commandes d'entrée de l'oscilloscope comme le montre la figure 4, soit :

CH1 canal X (horizontal) 1 V/div
CH2 canal Y (vertical) 0,5 V/div

Ces deux commandes ne seront plus modifiées.

Quand le traceur de courbe et l'oscilloscope sont réglés, il faut relier les broches A1 et A2 au traceur de courbe : A1 va à la douille E (émetteur) du traceur de courbe, A2 va à la douille C (collecteur).

Note : A1 et A2 peuvent être inversés car ce composant fonctionne aussi en alternatif.

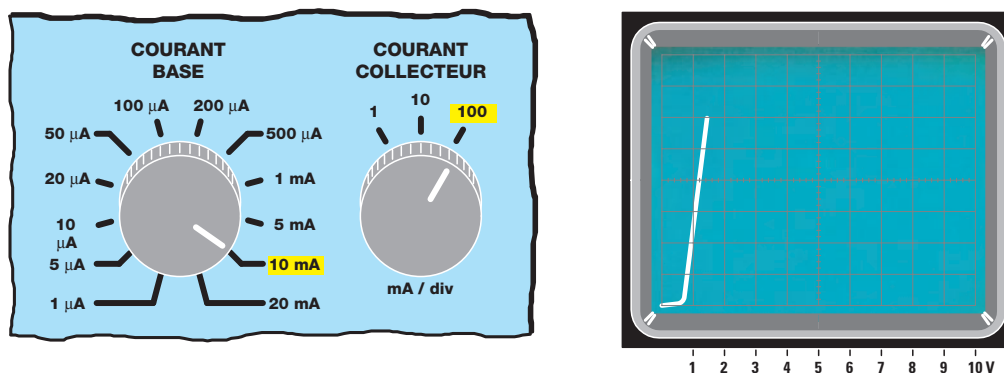


Figure 8 : En testant les divers thyristors et triacs, vous vous apercevrez que les plus sensibles d'entre eux s'excitent quand on applique sur leur gâchette des courants de l'ordre du mA. Si vous voulez tester avec le traceur de courbe un composant dont vous ignorez s'il s'agit d'un thyristor ou d'un triac, essayez de mettre l'inverseur de la figure 2 sur PNP : si le même tracé apparaît, c'est un triac.

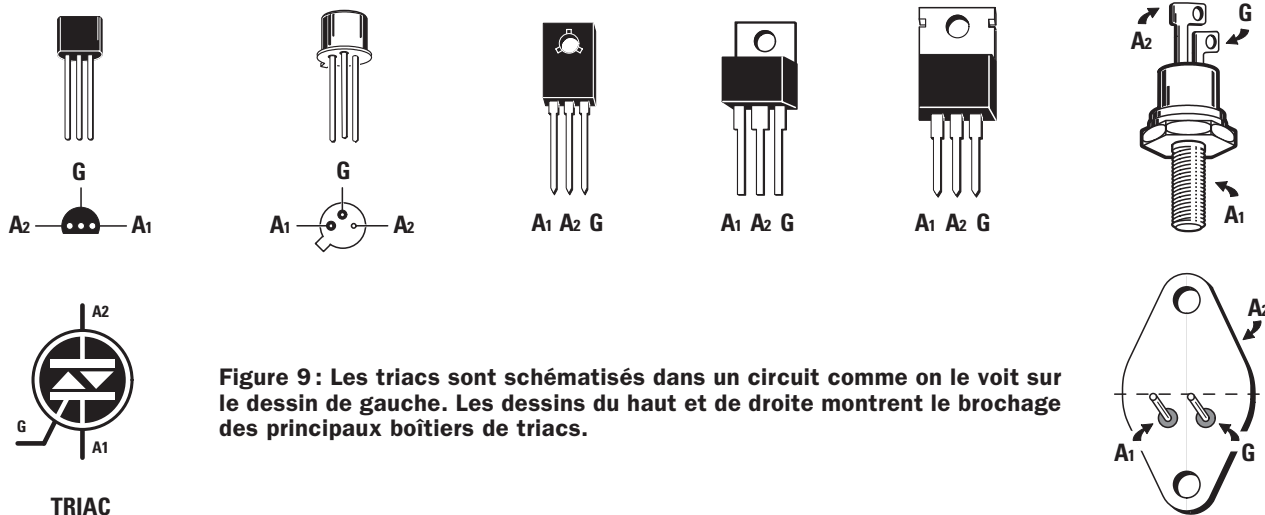


Figure 9 : Les triacs sont schématisés dans un circuit comme on le voit sur le dessin de gauche. Les dessins du haut et de droite montrent le brochage des principaux boîtiers de triacs.

Comme nous n'avons pas relié G (gâchette) à la douille B (base), aucun tracé n'apparaît à l'écran car le triac n'est pas excité : si un tracé vertical apparaît tout de même, sans que G ne soit excitée, c'est que le triac est en court-circuit.

Mais cela arrive rarement. Relions G à la douille B : très probablement aucun tracé n'apparaît encore, il faut pour cela tourner le bouton Courant de base (déterminant le courant à appliquer à la gâchette) de 100 μA (voir figure 6) à 2 à 500 μA et continuer vers 1 - 5 mA ou plus jusqu'à voir apparaître à l'écran un tracé vertical comme le montre la figure 7, lequel indique que le courant de gâchette a fait conduire le triac. Ce tracé vertical très pentu atteint une hauteur de six carreaux environ pour tout type de triac. Comme pour les thyristors, il existe des triacs s'excitant avec un courant de gâchette de quelques mA et d'autres réclamant un courant de 10 ou 20 mA (voir figure 8).

Si vous inversez la polarité de la tension en plaçant l'inverseur sur PNP, le triac reste en conduction (tracé vertical à l'écran). Si vous placez l'autre inverseur sur FET, le triac s'excite de la même manière car sa gâchette accepte aussi bien une tension positive qu'une négative.

Distinguer un thyristor d'un triac

Comme les formes des boîtiers du thyristor sont les mêmes que celles du triac, comment les distinguer ? Il suffit de relier le composant énigmatique au traceur de courbe et de régler ce dernier comme s'il s'agissait d'un thyristor. Augmentez le courant de base jusqu'à la conduction puis déplacez l'inverseur NPN/PNP. Si en plaçant cet inverseur sur PNP le tracé vertical disparaît, c'est que le composant est un thyristor, si elle demeure, c'est un triac.

À suivre

Vous avez compris que le traceur de courbe permet de contrôler tout type de semiconducteur. Avec un peu d'esprit de recherche vous essaieriez de connecter ceux que vous possédez aux douilles d'entrée. Dans la partie suivante (la sixième) nous verrons comment tester les FET. ◇

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire ce traceur de courbe EN1538 est disponible chez certains de nos annonceurs. Voir les publicités dans la revue.

Les typons des circuits imprimés sont sur www.electronique-magazine.com/ci.asp.

Un traceur de courbe pour transistor, FET, THYRISTOR, etc.

sixième partie et fin:

Tester les FET et les MOSFET

Dans cette dernière partie, nous allons vous apprendre à visualiser les courbes caractéristiques d'un FET et d'un MOSFET de petite puissance et à en déterminer le gain.



Nous terminons donc la description de l'utilisation du traceur de courbe avec, d'abord, le FET ("Field Effect Transistor", transistor à effet de champ) puis avec le MOSFET.

Le FET et ses trois pattes D - S - G

Avant d'entrer dans les détails, précisons que le FET est représenté dans les schémas électriques par les symboles donnés figures 1 et 2. De même que les transistors se distinguent en NPN et PNP, les FET sont des "canal N" ou "canal P". Le FET canal N (figure 1) a sa gate (flèche) tournée vers l'intérieur et le canal P (figure 2) vers l'extérieur. Le drain du canal N est toujours alimenté par une tension positive, celui du canal P par une tension négative. À la différence du transistor, les pattes du FET sont indiquées D-G-S, soit Drain, Gate (porte), Source (voir figures 3 et 4). Les canal N sont les plus répandus. À retenir:

- Drain: patte reliée à la tension positive d'alimentation pour les canal N et négative pour les canal P.
- Gate: patte recevant le signal à amplifier, reliée à la masse à travers une résistance de 47 kilohms à 1 mégohm.
- Source: patte reliée à la masse.

Les FET amplifient en tension

Si les transistors amplifient le signal appliqué sur leur base en courant, les FET amplifient le signal appliqué sur leur gate en tension. Donc, pour contrôler un transistor avec un traceur de courbe il fallait appliquer sur sa base une rampe de courant positif croissant (voir figure 5), pour contrôler un FET il faut appliquer sur sa gate une rampe de tension négative décroissante (voir figure 6).

Note: si nous appliquons aux transistors une rampe à huit marches, comme le premier tracé marqué 0 est en

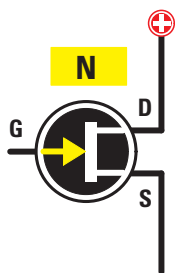


Figure 1: Voici le symbole graphique d'un FET canal N (la flèche de gate est orientée vers l'intérieur).

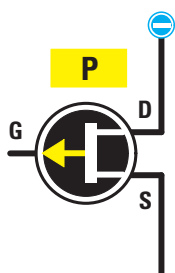


Figure 2: Voici le symbole graphique d'un FET canal P (la flèche de gate est orientée vers l'extérieur).

bas (voir figure 8), nous ne le prenons pas en considération et nous ne comptons que sept tracés. Pour les FET nous appliquons aussi une rampe à huit marches, mais comme elle est négative et que le premier tracé 0 est en haut (voir figure 9), nous devons le considérer et compter les huit tracés de haut en bas.

Pour obtenir cette rampe négative, il faut seulement positionner l'inverseur TR-FET sur FET et l'inverseur PNP-NPN sur NPN (voir figure 11). Cette commutation transforme une rampe de courant de polarité positive en une rampe de tension de polarité négative.

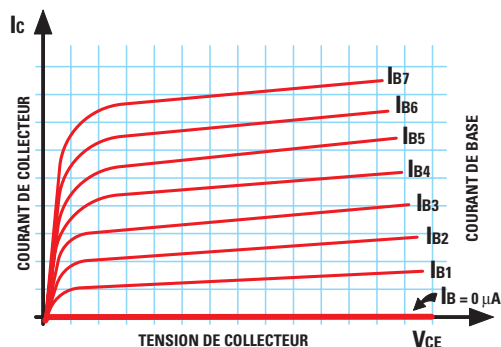


Figure 8: Dans les transistors, le premier tracé I_{b0} du courant de base est en bas et le dernier I_{b7} en haut.

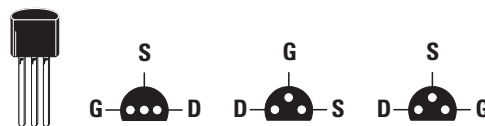


Figure 3: Les pattes G-D-S, vues de dessous, d'un FET en boîtier plastique. Étant donné que chaque FET a ses pattes disposées de manière différente, sur chaque schéma électrique vous devriez voir indiquée la disposition des pattes du FET utilisé.

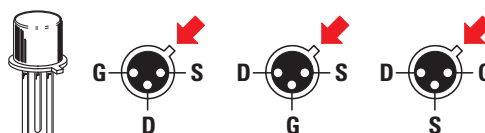


Figure 4: Les pattes G-D-S, vues de dessous, d'un FET en boîtier métallique. Notez l'ergot métallique servant de repère-détrompeur. Pour ce type de FET aussi la disposition des pattes est variable.

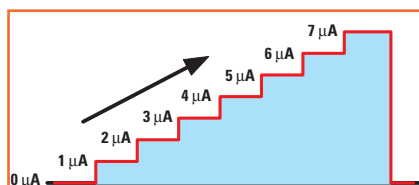


Figure 5: Pour tester les transistors, le traceur de courbe applique sur leur base une rampe de courant de polarité positive composée de huit marches d'escalier (0 compris).

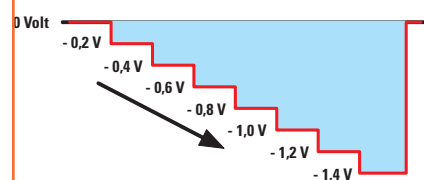


Figure 6: Pour tester les FET, le traceur de courbe applique sur la gate une rampe de tension de polarité négative composée de huit marches d'escalier (0 compris).

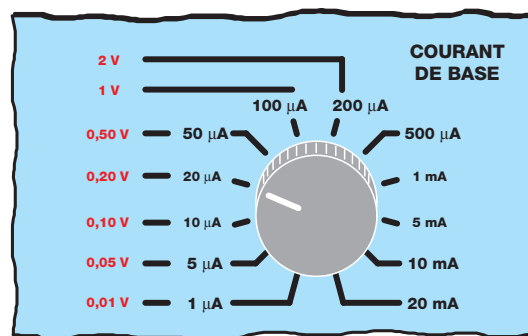


Figure 7: Quand on teste les FET, le bouton de courant de base fournit en sortie les tensions indiquées dans la Tableau 1.

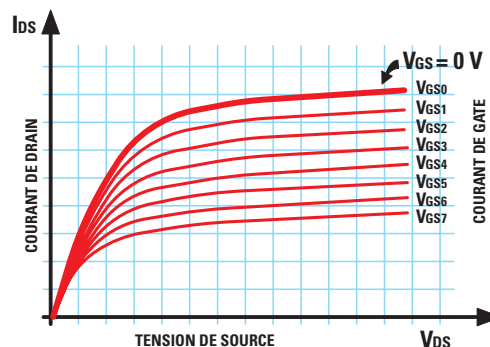


Figure 9: Dans les FET, le premier tracé V_{gs0} de la tension négative de gate est en haut et le dernier tracé V_{gs7} en bas.

Courant de base et tension de gate

Sur la face avant du traceur de courbe se trouve S1 (voir figure 10 Courant base) servant à choisir le courant à appliquer sur la base d'un transistor, mais aucun commutateur ne permet de choisir la tension négative à appliquer sur la gate d'un FET.

Nous utiliserons donc S1 de Courant de base pour obtenir la tension à appliquer sur la gate du FET et le Tableau 1 donne la conversion de μA à V (voir figure 7).

Tableau 1

Courant de base	tension négative sur la gate du FET
1 μA	0,01 volt x tracé
5 μA	0,05 volt x tracé
10 μA	0,10 volt x tracé
20 μA	0,20 volt x tracé
50 μA	0,50 volt x tracé
100 μA	1 volt x tracé
200 μA	2 volts x tracé

Note: ce Tableau ne va pas au-delà de 200 μA (correspondant à une tension de gate de 2 V par tracé) car nous n'utiliserons jamais des tensions aussi élevées.

Commençons à tester un FET

Après avoir relié les sorties des BNC du traceur de courbe à l'oscilloscope, vous devez, comme auparavant, régler les commandes du traceur de courbe comme suit (voir figure 11) :

Inverseur TR-FET sur FET
Inverseur NPN-PNP sur NPN
Courant de base sur 20 μA = 0,2 V
Courant de collecteur sur 1 mA/div

et les boutons de l'oscilloscope comme le montre la figure 12 :

CH1 canal X (horizontal) 1,0 V/div
CH2 canal Y (vertical) 0,2 V/div

Le sélecteur de Courant de collecteur étant réglé sur 1 mA/div et le sélecteur CH2 du canal Y sur 0,2 V/div, le courant drain-source indiqué I_{ds} et reporté à l'écran de l'oscilloscope sur les carreaux verticaux, prend les valeurs suivantes :

2-4-6-8-10-12-14-16 mA

Quand traceur de courbe et oscilloscope sont réglés, c'est le moment de relier le FET à tester. Si vous voulez tester le 2N5247, voyez figure 14 le brochage de ses pattes D-S-G vues de

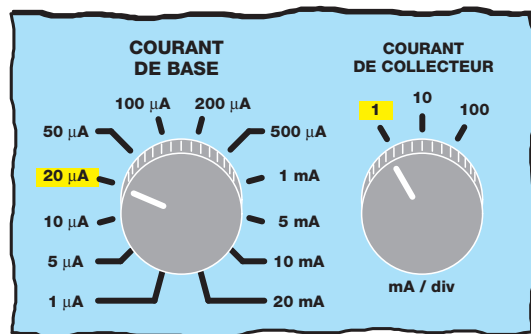
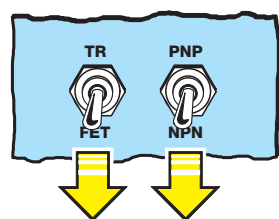
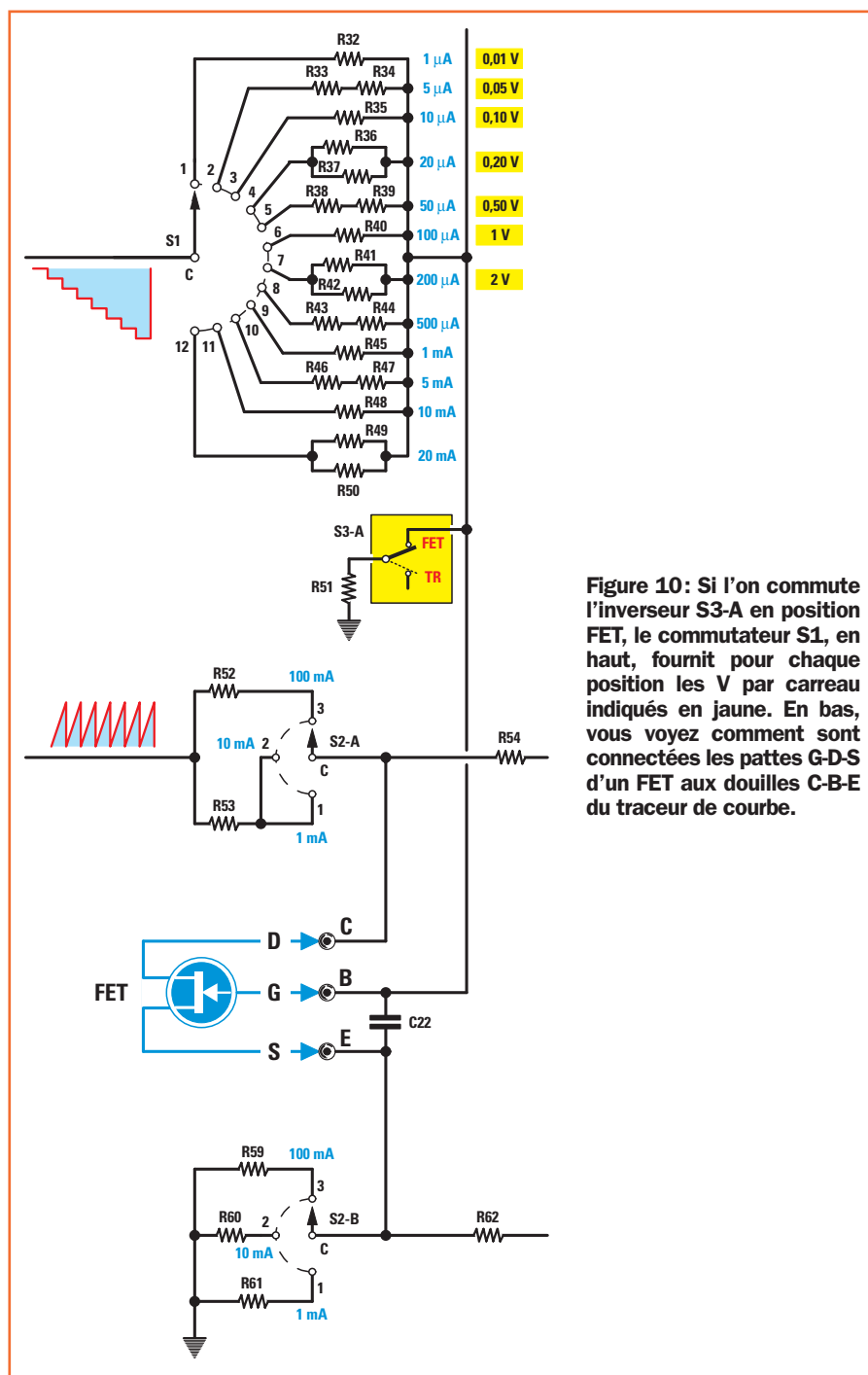


Figure 11: Pour tester les FET, les leviers des inverseurs sont à placer sur FET et NPN et les boutons de Courants de base et de collecteur comme on le voit sur le dessin de droite.

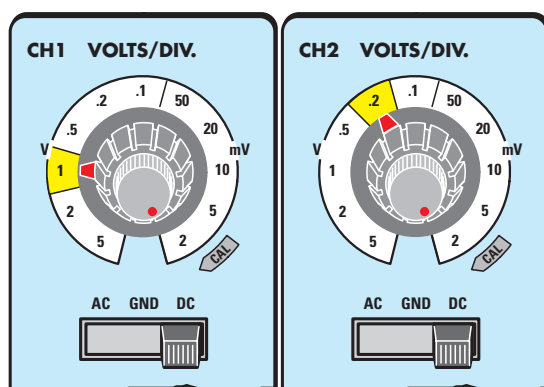


Figure 12: Le bouton CH1 de l'entrée X est sur 1 V/div et celui de CH2 (Y) sur 0,2 V/div.

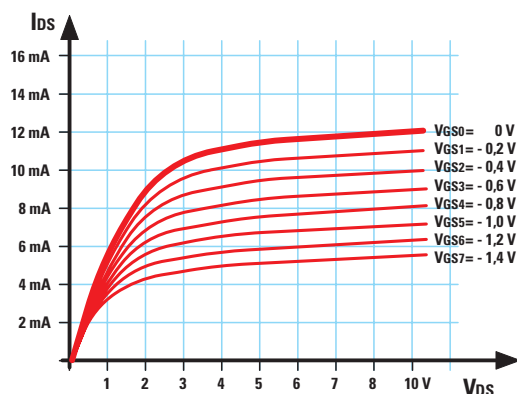


Figure 13: Sur l'axe vertical I_{DS} est reporté le courant de drain et sur l'axe horizontal la tension V_{DS} drain-source. En face des huit tracés est indiquée la tension négative présente sur la gate.

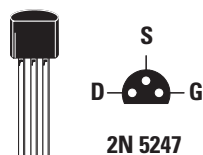


Figure 14: Les trois pattes D-G-S du FET 2N5247 vues de dessous.

dessous, à relier aux douilles C-B-E du traceur de courbes :

- la patte **D** est reliée à la douille **C**
- la patte **S** est reliée à la douille **E**
- la patte **G** est reliée à la douille **B**

Si vous voulez tester d'autres types de FET, rappelez-vous que la dispo-

sition D-S-G des pattes change d'un type à l'autre, comme le montrent les figures 3 et 4. Quand les pattes du FET sont reliées aux douilles, dès la mise sous tension du traceur de courbe les huit tracés apparaissent à l'écran (voir figure 13): elles sont tout à fait différentes de celles d'un transistor.

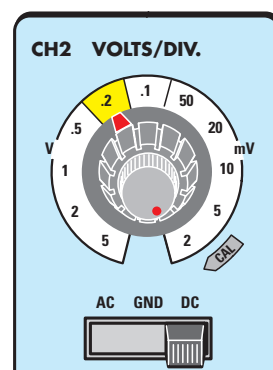
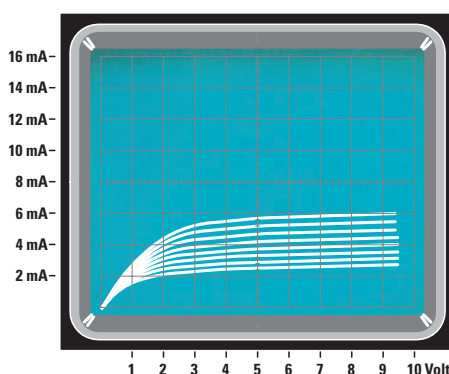
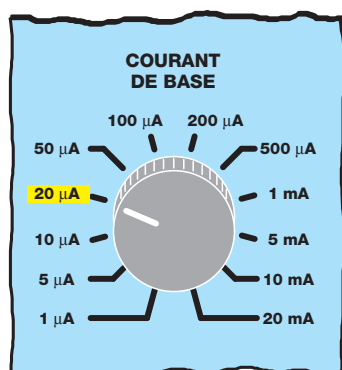


Figure 15: Bouton de courant de base sur 20 μA (ce qui correspond à une tension de gate de 0,2 V, voir figure 7) et le bouton CH2 de l'oscilloscope sur 0,2 V/div, les tracés à l'écran pourraient être très rapprochés. Pour les espacer, tournez le bouton CH2 sur une portée inférieure (voir figures 16 et 17).

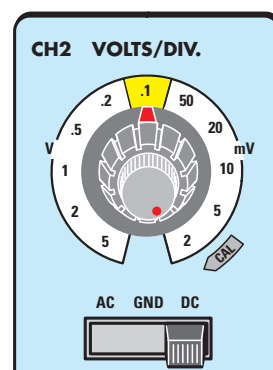
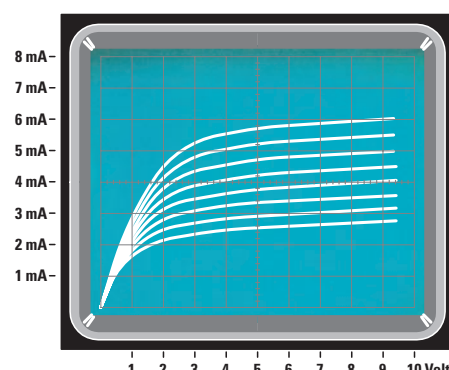
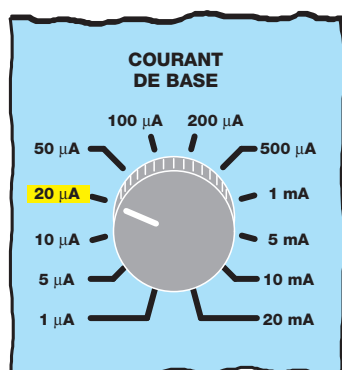


Figure 16: Bouton CH2 de l'oscilloscope sur 0,1 V/div, vous voyez les courbes s'espacer. Si elles sont encore trop rapprochées, passez sur une portée encore inférieure. Quand on change la portée du bouton CH2, on change aussi le courant I_{DS} sur l'axe vertical. Comparez le courant de la figure 15 avec celui de la figure 16.

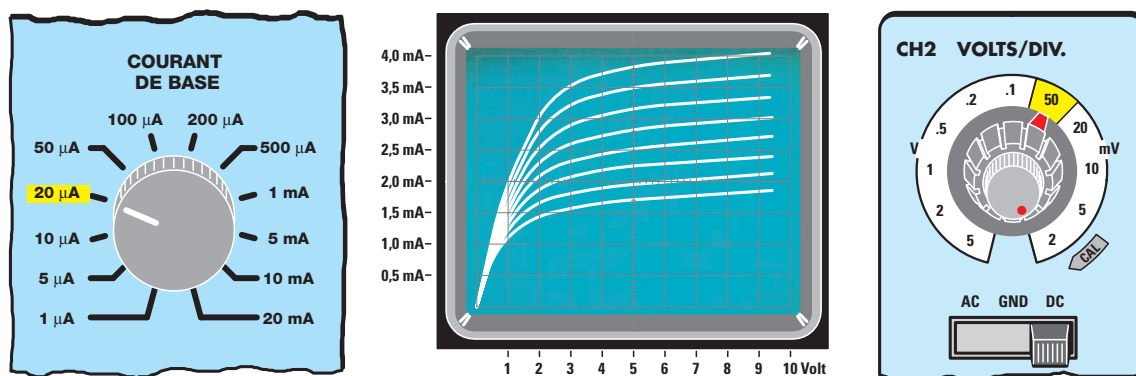


Figure 17 : Si l'on commute le bouton CH2 sur 50 mV/div, les tracés sont plus espacés. Si vous choisissez cette portée, le courant de drain sur l'axe vertical de gauche a une valeur de 0,5 mA par carreau et donc nous avons à la suite 0,5-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0 mA.

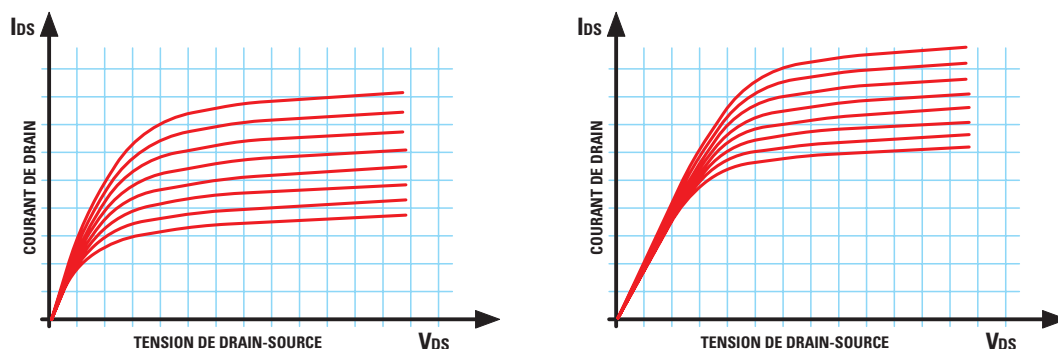


Figure 18 : Sans tourner le bouton CH2 de l'oscilloscope, vous pouvez facilement voir comment varient les tracés en testant plusieurs FET différents. Si vous testez deux FET identiques, celui qui affiche le tracé le plus étendu vers le haut a un meilleur gain.

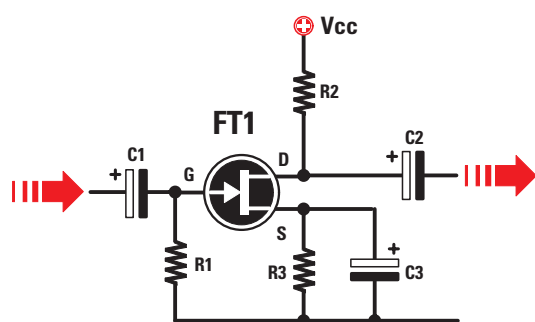


Figure 19 : Pour calculer le gain d'un FET on se sert de la formule $\text{gain} = [(R2 - R3) \times Y_{fs}] : 1\,000$

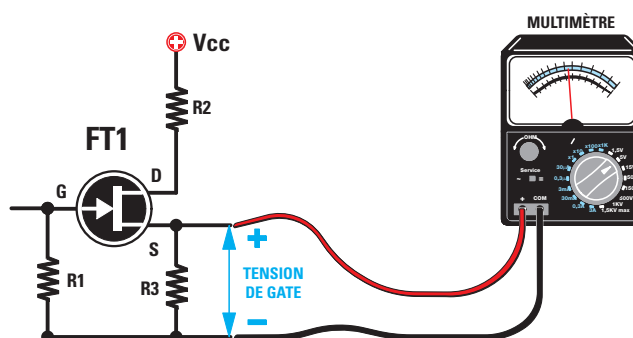


Figure 20 : La valeur de la tension négative de gate correspond à la valeur de la tension positive présente sur R3.

Le premier tracé des FET part du haut

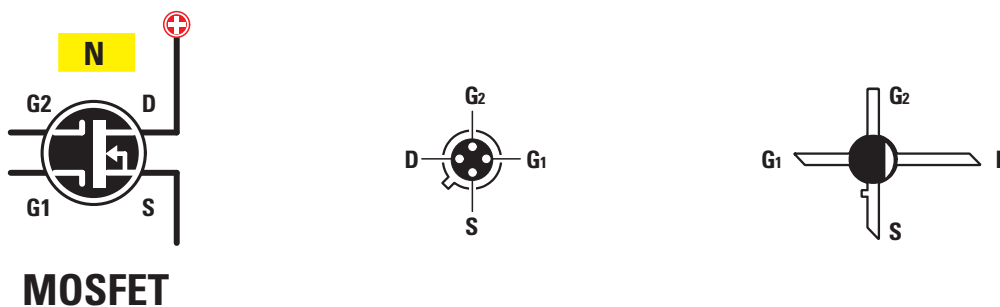
Souvenez-vous qu'en examinant un transistor nous obtenions huit tracés correspondant aux courants de base

et que le premier du bas 0, qui correspondait à un courant de base de 0 μA , était éliminé des dessins.

Avec un FET tout change car le premier tracé, correspondant à une ten-

sion de gate de 0 V, se trouve en haut (voir figure 13).

Donc le premier tracé du haut est pour nous le V_{gs0} , puis suivent vers le bas les autres tracés V_{gs1} , V_{gs2} ,



MOSFET

Figure 21: Les MOSFET ont une double gate G1 et G2. Si l'on utilise le traceur de courbe on peut facilement contrôler si un MOSFET fonctionne et quel est son gain.

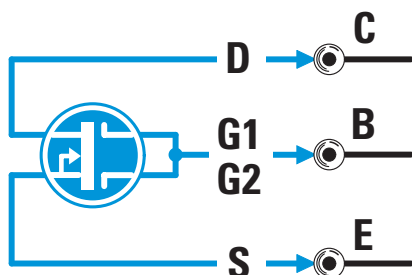


Figure 22: Pour contrôler un MOSFET relier ensemble les deux gates G1 et G2 et les appliquer sur la douille B du traceur de courbe.

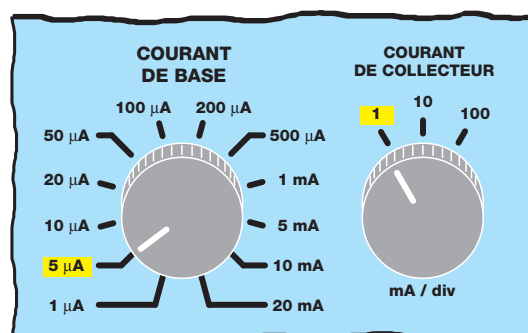


Figure 23: Les inverseurs de la figure 11 étant réglés sur FET et NPN, tournez le bouton de Courant de base vers 5 µA, ce qui correspond à une tension de 0,05 V par carreau (voir figure 7).

Vgs3, Vgs4, Vgs5, Vgs6 et Vgs7 le dernier en bas.

Les FET ayant des spécifications moins connues que celles des transistors, nous les expliquons ci-dessous :

Vgs = signifie Volt, gate, source et indique la tension de polarisation appliquée sur la gate pour qu'elle conduise.

Vds = signifie Volt, drain, source et indique la tension appliquée entre drain et source.

Ids = signifie courant entre drain et source en mA.

Vcc = indique la tension utilisée pour alimenter le circuit.

Sur l'axe vertical du graphe de la figure 13 est reporté le Courant de drain, noté Ids et sur l'axe horizontal la Tension drain-source Vds.

Si nous mettons le bouton du Courant de base sur 20 µA, chaque tracé, de haut en bas, aura les tensions négatives suivantes (voir figure 13) :

1er tracé 0,0 volt
2e tracé - 0,2 volt

3° tracé

4° tracé

5° tracé

6° tracé

7° tracé

8° tracé

- 0,4 volt

- 0,6 volt

- 0,8 volt

- 1,0 volt

- 1,2 volt

- 1,4 volt

Si nous mettons le bouton CH2 canal Y de l'oscilloscope sur 0,2 V/div, le quadrillage de l'axe vertical correspond aux Courants de drain suivants :

2-4-6-8-10-12-14-16 mA

Si en testant un FET nous obtenons des courbes trop serrées, comme le montre la figure 15 et donc difficilement lisibles, nous pouvons les espacer en mettant le bouton CH2 canal Y sur 0,1 V/div, comme indiqué figure 16.

Dans ce cas les Courants de drain lus sur l'axe vertical seront :

1-2-3-4-5-6-7-8 mA

Si les tracés ne sont pas encore assez espacés, mettez le bouton CH2 canal Y sur 50 mV/div, voir figure 17. Dans ce cas les Courants de drain seront :

0,5-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0 mA

On comprend que, pour espacer ou rapprocher les huit courbes il suffit d'agir sur le bouton CH2 canal Y.

La différence entre deux FET

Vous allez maintenant pouvoir comparer les tracés de différents FET. Laissez dans la même position le bouton de l'oscilloscope et celui du traceur de courbe et insérez successivement dans les douilles différents types de FET : celui dont les courbes s'étendent le plus vers le haut aura le gain le plus grand, comme le montre la figure 18.

Note : il est impropre pour un FET de parler de gain car, à la différence d'un transistor, nous n'avons pas un rapport numérique entre le courant de collecteur et le courant de base, toutefois nous utilisons ce terme par analogie. En effet, le gain d'un FET se calcule avec la formule :

$$\text{gain} = [(R2 - R3) \times Yfs] : 1\ 000$$

La valeur de Yfs, soit la valeur de la transconductance en millisiemens, ne peut être trouvée que si l'on dispose d'un "databook" comportant les caractéristiques du FET.

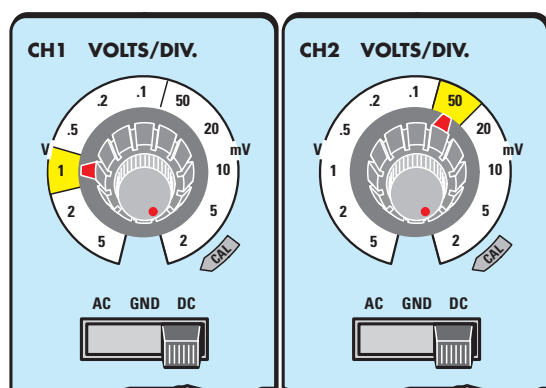


Figure 24: Pour tester un MOSFET, le bouton CH1 de l'oscilloscope est sur 1 V/div et le bouton CH2 sur 50 mV/div.

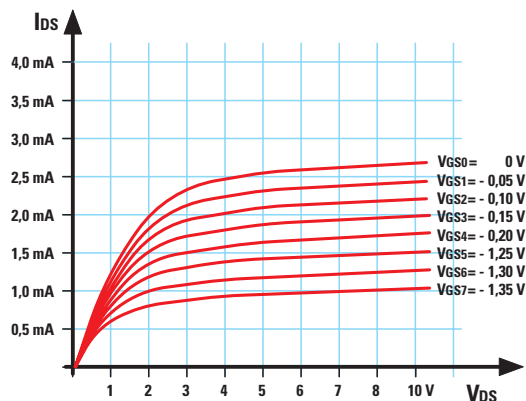


Figure 25: Comme pour les FET, vous voyez apparaître à l'écran les huit tracés. S'ils sont trop rapprochés, déplacez CH2 vers 20 mV/div.

Cette Y_{fs} varie de 3 à 6 millisiemens et donc si nous considérons le circuit amplificateur de la figure 19 avec :

$$R2 = 5,6 \text{ k}$$

$$R3 = 1,8 \text{ k}$$

nous pouvons affirmer que cet étage amplifie de :

$$[(5\,600 - 1\,800) \times 3] : 1\,000 = 11 \text{ fois}$$

et non de :

$$[(5\,600 - 1\,800) \times 6] : 1\,000 = 22,8 \text{ fois}$$

Pour calculer la valeur des résistances R1-R2-R3 d'un FET, voir la Leçon du Cours consacrée aux FET.

Si nous inversons drain et source

Si vous testez des FET différents, vous en trouverez pour lesquels, en inversant les pattes drain et source, les deux tracés seront identiques et donc vous ne pourrez pas déterminer quelle patte est la source et laquelle est le drain.

Si vous montez ces FET bidirectionnels dans un circuit, il est possible d'inverser drain et source : le fonctionnement sera, dans les deux cas, identique.

Donc un traceur de courbe permet de distinguer un FET normal d'un FET bidirectionnel.

La tension négative de gate

Si nous mesurons la tension négative de gate avec un multimètre, nous ne

trouverons aucune tension, car l'impédance d'entrée est très élevée : la solution la plus simple pour déterminer cette tension de gate est de mesurer la tension aux extrémités de R3, reliée entre source et masse, comme le montre la figure 20.

Pour tester les MOSFET

Nous pouvons également tester les petits amplificateurs nommés MOSFET, avec le traceur de courbe.

Ils sont similaires à des FET, à la différence près qu'ils ont une double gate (voir figure 21 qui montre aussi leurs brochages) :

Gate 1 (en bas)
Gate 2 (en haut)

Le traceur de courbe permet de vérifier si le MOSFET fonctionne et, si nous en testons deux différents, d'établir, par l'extension des tracés, lequel a le plus grand gain.

Pour tester ces MOSFET, il faut nécessairement relier ensemble les deux gates G1 et G2, comme le montre la figure 22 et régler les commandes du traceur de courbe, comme le montre la figure 23 :

Inverseur TR-FET	sur FET
Inverseur NPN/PNP	sur NPN
Courant de base	sur 5 μ A
Courant de collecteur	sur 1 mA/div

et les commandes de l'oscilloscope, comme le montre la figure 24 :

CH1 canal X (horizontal)	1 V/div
CH2 canal Y (vertical)	50 mV/div

Le bouton du Courant de collecteur étant sur 1 mA/div et celui de CH2 sur 50 mV/div, le courant drain-source I_{ds} donné par le quadrillage vertical prend les valeurs suivantes :

0,5-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0-3,5-4,0 mA

Une fois le traceur de courbe réglé, nous devons relier aux douilles C-B-E le MOSFET comme suit (voir figure 22) :

- la patte D	à la douille C
- la patte S	à la douille E
- les pattes G1-G2	à la douille B

En mettant le traceur de courbe sous tension, nous voyons apparaître huit tracés analogues à ceux visibles figure 25.

Conclusion

Avec cette sixième partie nous terminons ce bref mais, nous l'espérons, utile et exhaustif traité d'utilisation du traceur de courbe. ♦

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire ce traceur de courbe EN1538 est disponible chez certains de nos annonceurs. Voir les publicités dans la revue.

Les typons des circuits imprimés sont sur www.electronique-magazine.com/ci.asp.