

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 lassis 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 allons 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 $\times 1$ 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

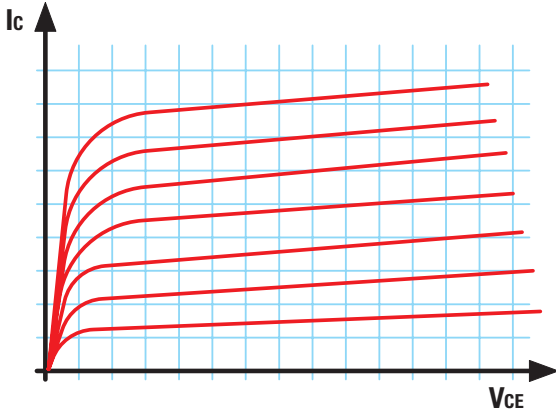


Figure 2: Si, sur les douilles CBE, nous appliquons les pattes d'un transistor, nous voyons à l'écran de l'oscilloscope une série de courbes différentes selon le type de transistor examiné.

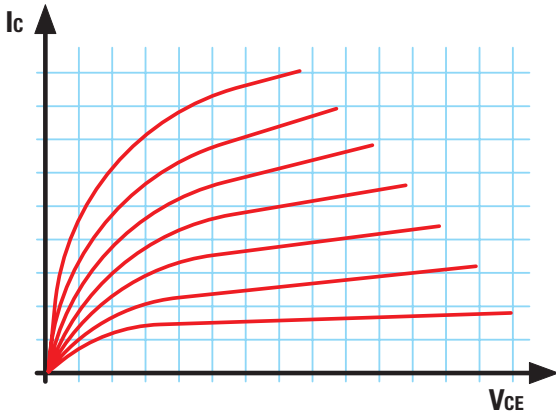


Figure 3: Nous avons reporté figure 2 les courbes d'un transistor de faible puissance, alors qu'ici nous donnons à voir la courbe d'un transistor de moyenne puissance, afin que vous puissiez faire la différence.

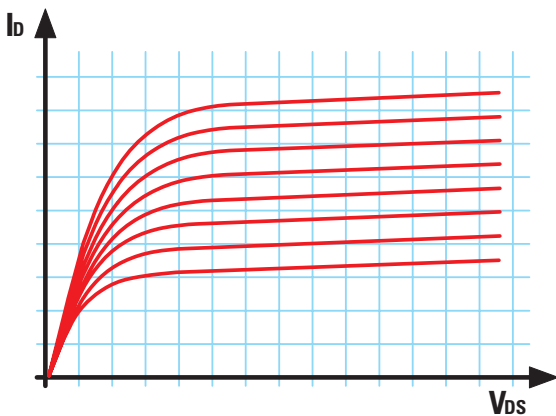


Figure 4: Contrairement aux figures 2 et 3, cette courbe comporte 8 traces au lieu de 7, car elle est produite par un FET et non par un transistor. Les pattes DGS sont à relier aux douilles CBE.

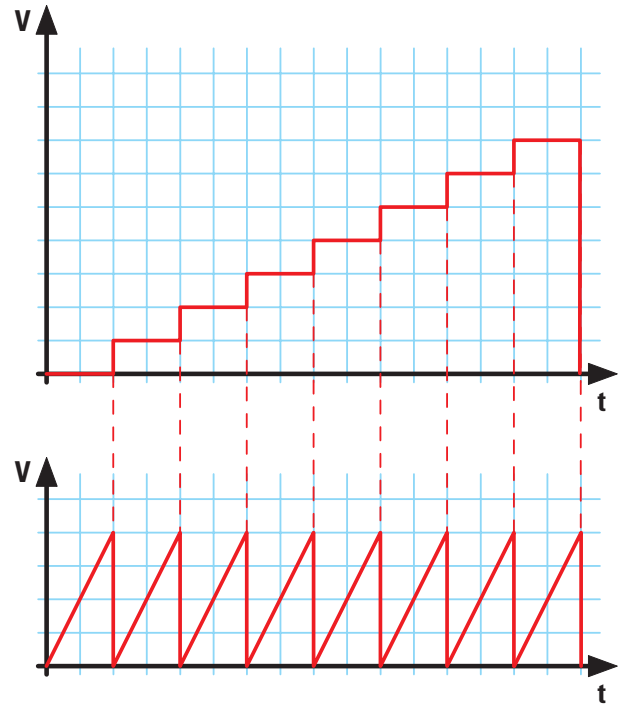


Figure 5: Pour réaliser un traceur de courbe, il faut deux rampes parfaitement synchrones. La rampe en escaliers, en haut, sert à produire les 7 traces correspondant aux courants de base, alors que la rampe en dents de scie sert à effectuer le balayage de la tension de collecteur. Dans le schéma électrique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

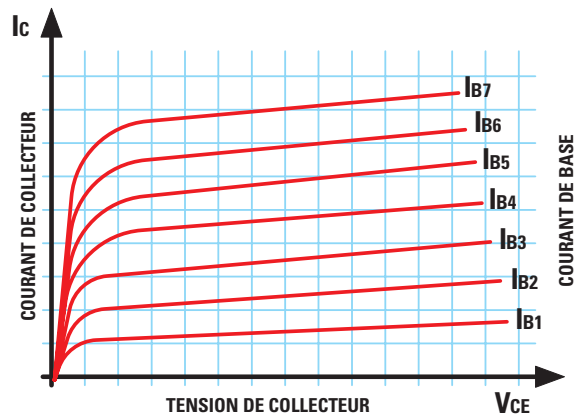


Figure 6: Les courbes obtenues en contrôlant un transistor quelconque, nous permettent d'étudier comment varie le courant de collecteur en fonction de la variation du courant de base. Comme le montre la figure, le courant de collecteur est reporté sur l'axe Vertical et les 7 valeurs du courant de base sont représentées par autant de courbes I_{B1} à I_{B7} . 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

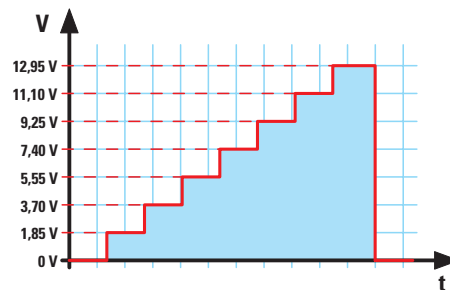


Figure 7 : Pour tester les transistors PNP, il faut une rampe à 7 escaliers positive, prélevée à la sortie de IC3-A (figure 9).

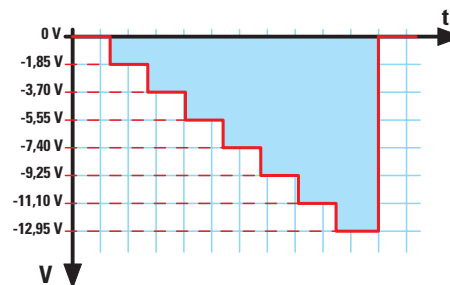


Figure 8 : Pour tester les transistors NPN, il faut une rampe à 7 escaliers négative, prélevée à la sortie de IC3-B (figure 9).

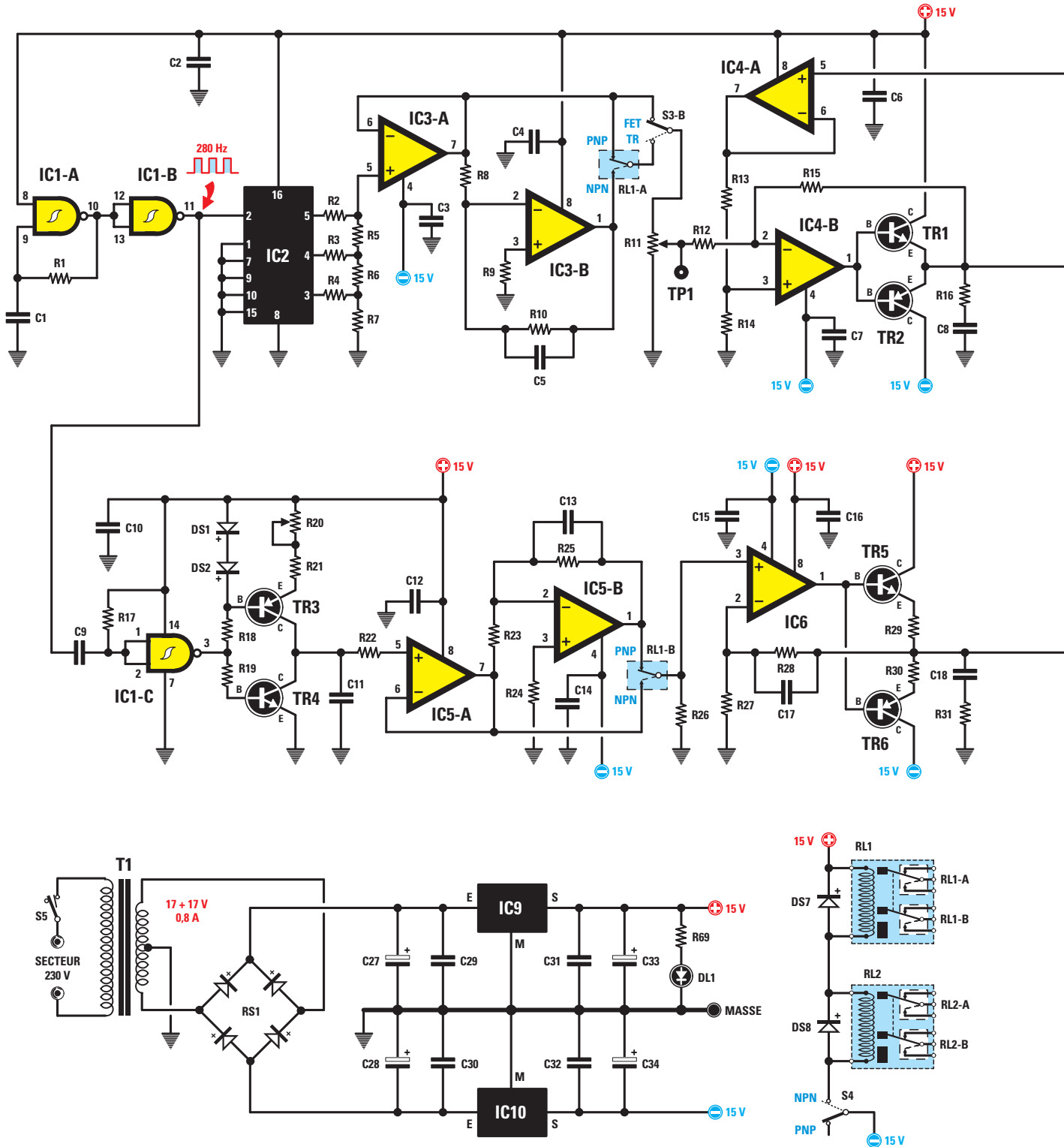


Figure 9 : Schéma électrique du traceur de courbe avec son étage d'alimentation fournissant une tension double symétrique 2 x 15 V.

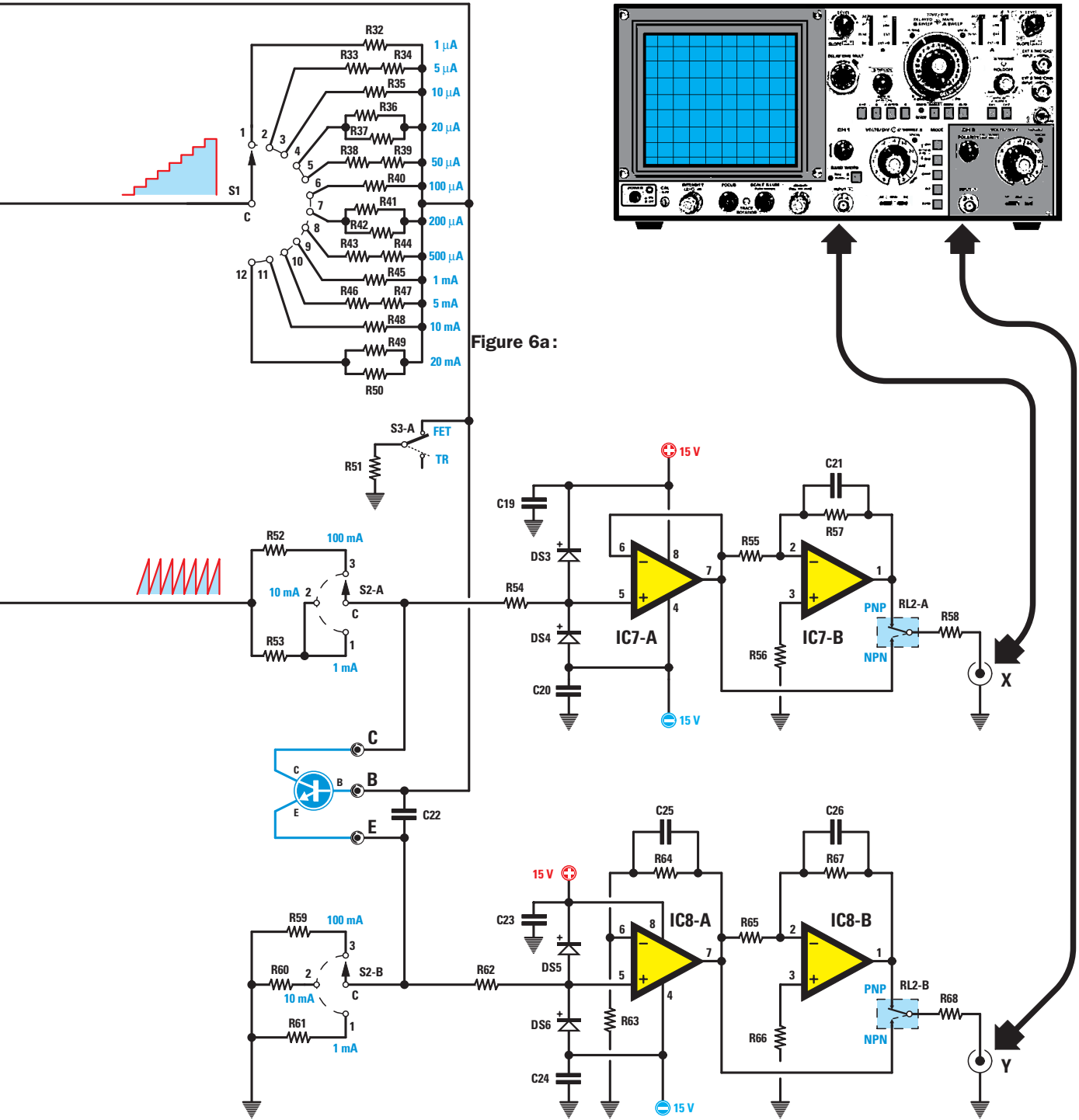


Figure 6a :

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

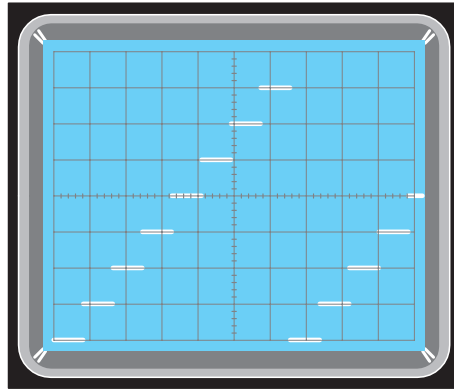
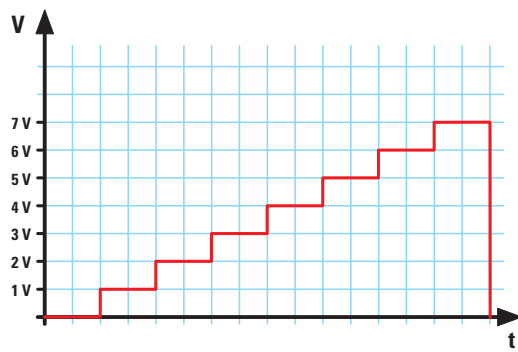


Figure 10: Après avoir relié l'oscilloscope à TP1 (figure 9), nous devons régler le curseur du trimmer R11 de façon à obtenir une rampe à 7 escaliers, séparés par 1 V exactement. A l'écran de l'oscilloscope, une rampe de 8 traits est visualisée, comme le montre la photo.

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

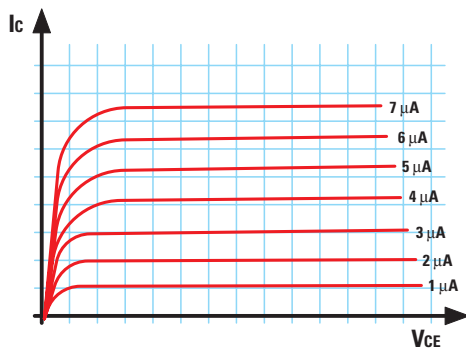


Figure 11: En plaçant le commutateur du courant de base, en face avant du traceur de courbe, en position $1 \mu\text{A}$, nous obtenons 7 courbes séparées par $1 \mu\text{A}$.

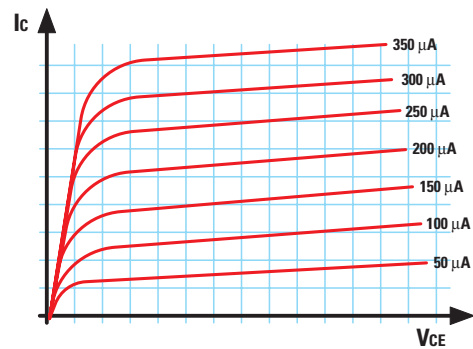


Figure 12: Si nous plaçons le commutateur du courant de base sur la portée $50 \mu\text{A}$, nous obtenons 7 courbes séparées, comme le montre la figure, par $50 \mu\text{A}$.

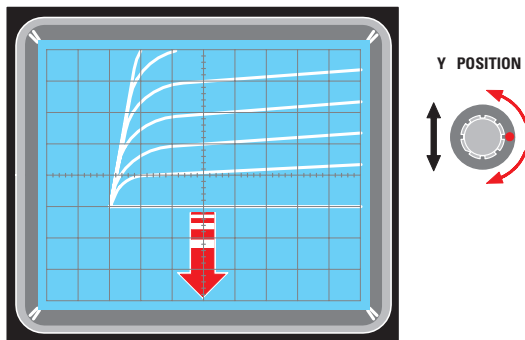


Figure 13: Si les 7 courbes sortent de la partie supérieure de l'écran, nous pouvons les ramener en tournant le bouton de déplacement vertical.

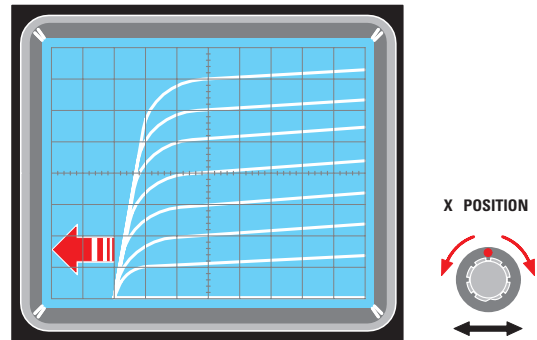


Figure 14: Si en revanche les 7 courbes sortent sur le côté, nous pouvons les ramener en tournant le bouton de déplacement horizontal.

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 avons 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

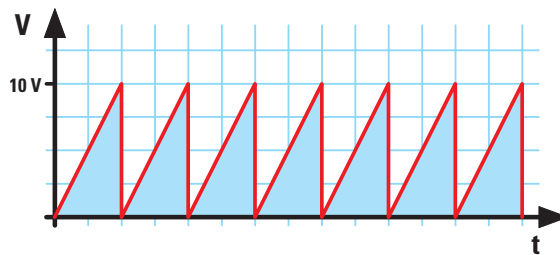


Figure 15 : Si nous relierons l'oscilloscope à la douille C (collecteur), en face avant, nous devons tourner le curseur du trimmer R20 jusqu'à voir une rampe en dents de scie dont l'amplitude atteigne exactement 10 V en pic.

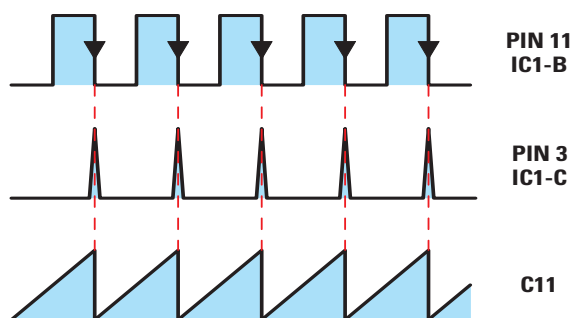


Figure 16 : La rampe en dents de scie est obtenue à partir de la fréquence d'horloge de 280 Hz présente sur la broche 11 de IC1-B. En correspondance avec chaque front de descente de l'horloge, sur la broche 3 de IC1-C, nous avons une impulsion utilisée pour obtenir la rampe en dents de scie.

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.