

Fréquence-mètre Ultrasimple

Olivier ERNST F5LVG

Le radioamateur a souvent besoin de mesurer des fréquences. Aujourd'hui cela passe souvent par l'achat d'un fréquence-mètre relativement coûteux. Toutefois, le besoin persiste de disposer d'appareils sensibles, avec peu de fausses mesures, à un prix modique. Un tel appareil pourra ainsi être incorporé à diverses réalisations et remplacer des cadrans analogiques difficiles à bien réaliser et de précision douteuse. Un décalage de fréquence fixe doit aussi être prévu, afin de pouvoir indiquer la fréquence de réception dans un récepteur hétérodyne. La réalisation décrite remplit tous ces critères. La précision est toutefois inférieure à celle d'un fréquence-mètre numérique du commerce.

Le principe de notre réalisation est simple. Un premier transistor sert d'amplificateur HF et d'adaptateur à un circuit diviseur de fréquence TTL. En sortie du circuit TTL on obtient un signal carré qui attaque une cellule CR. La cellule CR présente une constante de temps suffisamment courte pour transformer les signaux carrés en suite d'impulsions positives et négatives. Ces impulsions sont appliquées à un deuxième transistor, NPN en collecteur commun, dont la tension base émetteur est nulle au repos. Au repos (ou lors des impulsions négatives), le transistor n'est donc pas passant et la tension entre la masse et l'émetteur est nulle. À l'inverse, lors de chaque impulsion positive, le transistor devient passant, et la tension émetteur masse augmente. Un condensateur placé entre l'émetteur et la masse permet de moyenniser la tension émetteur masse. On arrive alors au résultat suivant : plus un nombre élevé d'impulsions positives est appliqué au transistor, plus sa tension de sortie entre l'émetteur et la masse augmente. Il suffit alors de mesurer cette tension avec un voltmètre numérique pour obtenir un fréquence-mètre numérique. Afin d'obtenir une tension correspondant à la fréquence (par exemple 100.0 mV pour 10 MHz), il faut choisir des valeurs adéquates du facteur de division du signal, de la constante de temps de la cellule RC, et du condensateur placé entre l'émetteur et la masse

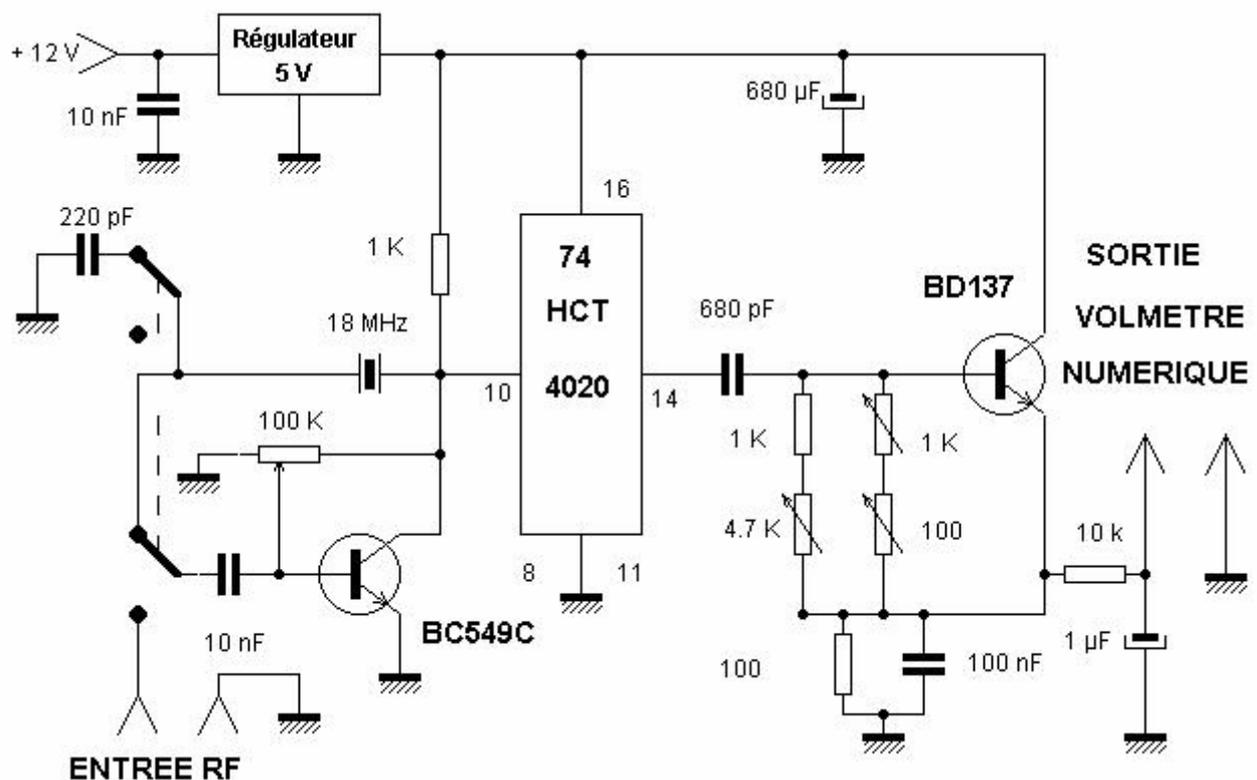


Figure 1 : Schéma du fréquencemètre. Le double inverseur est représenté en position d'étalonnage.

Le schéma de cette réalisation est donné figure 1. Outre son rôle d'amplificateur RF, le transistor BC549C peut être transformé en oscillateur 18 MHz afin de pouvoir étalonner le système, ce qui est indispensable avant chaque mesure. La résistance ajustable de 100 kohm est réglée pour que la tension collecteur-masse soit de 1,4 V au repos. En effet, les tensions seuils à l'entrée des circuits 74HCT sont de 0,8 et 2 V. Le circuit 74HCT4020 transforme le signal d'entrée en signal carré et divise sa fréquence par 1024. La cellule CR est constituée par un condensateur céramique de 680 pF, deux résistances ajustables (1 kohm et 100 ohm) et un potentiomètre de 4,7 kohm. Le réglage des 2 résistances ajustables et du potentiomètre permet de faire concorder la lecture du voltmètre avec la fréquence du signal d'entrée. Une fois le montage terminé, le potentiomètre de 4,7 kohm suffit à rattraper la dérive inévitable.

En pratique, une fois la construction terminée, et la résistance ajustable de 100 kohm réglée, il suffit de basculer le double inverseur pour faire osciller le transistor sur 18 MHz comme il est représenté sur la figure 1. On règle alors les deux résistances ajustables et le potentiomètre placés entre la base et l'émetteur du BD137 pour obtenir une tension en sortie du montage de 180.0 mV. Il suffit ensuite basculer le double inverseur dans la position opposée pour effectuer la mesure d'une fréquence quelconque comprise entre 100 kHz et 50 MHz.

La précision du système est égale à $0,001 F + 1$ digit. En pratique si vous employez un voltmètre 3 digits 1/2 (2000 points) vous choisirez le calibre 200 mV pour les 18 MHz. On a alors 1 digit = 0,1 mV = 10 kHz. La précision pour 18 MHz est donc de 28 kHz. Pour une fréquence de 25 MHz, vous devrez choisir le calibre 2 V (1 digit = 1 mV = 100 kHz) et la précision sera alors de 125 kHz.

Le principal défaut du système est sa grande sensibilité aux variations de température en cours de fonctionnement. En position d'étalonnage, la tension de sortie a tendance à augmenter ou diminuer de façon régulière. Dans un premier temps, le condensateur de 100 nF doit être un condensateur "milfeuill" (polyester, polytéraphthalate d'éthylène, mylar, MKT). Si à l'allumage la tension de sortie a tendance à augmenter (ces condensateurs ayant, a priori, un coefficient de température positif), il faut essayer de compenser ces variations par l'emploi de condensateurs céramiques multicouches dont le coefficient de température est négatif. En pratique, il faut débiter avec un condensateur "milfeuill" de 47 nF, 4 condensateurs "milfeuill" de 10 nF et 1 condensateur céramique de 10 nF. Si au démarrage la tension de sortie continue à augmenter, il faut remplacer un condensateur "milfeuill" de 10nF par un céramique de même valeur et ainsi de suite jusqu'à obtention d'une stabilité correcte. Dans l'idéal, l'appréciation de la variation de la tension de sortie à l'allumage se fait en position d'étalonnage sur 18 MHz et au moins une journée après soudure des condensateurs. Quelques jours sont donc nécessaires pour obtenir un système ayant une bonne stabilité. Dans tous les cas un étalonnage sur 18 MHz reste indispensable avant chaque mesure.

La sensibilité du système est excellente. A titre d'exemple, une bobine de quelques spires couplées à celle un grid-dip à transistors suffit pour mesurer sa fréquence. Il n'y a quasiment pas de fausses mesures, ce qui est une plaie de certains fréquencemètres commerciaux.

Par ailleurs, rappelons que chaque série TTL a des tensions seuils qui lui sont particulières. Pour la série 74HCT les tensions seuils d'entrées sont 0,8 V et 2 V alors que les tensions seuils de sorties sont 0,1 V et 4,9 V (pour une alimentation d'exactly 5 V). Il est donc indispensable de ne pas remplacer le 74HCT4020 par un circuit 4020 d'une autre série (74HC4020 par exemple) qui ne posséderait pas les mêmes tensions seuils.

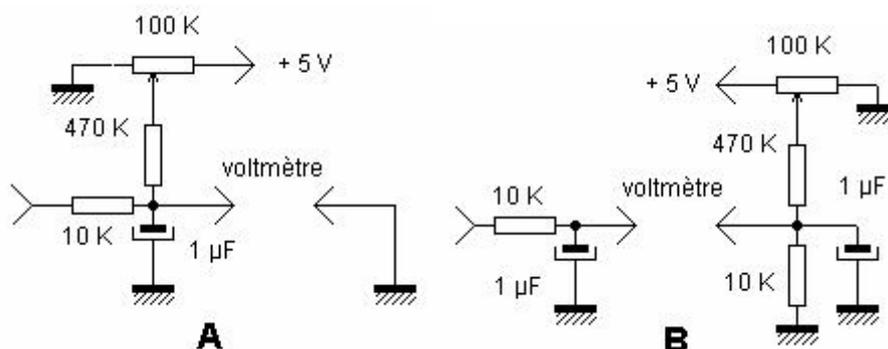


Figure 2 : Modifications du circuit de sortie du fréquencemètre pour l'adapter à un superhétérodyne, selon que la fréquence de l'oscillateur est inférieure (A) ou supérieure (B) à la fréquence incidente.

Il est possible de modifier ce fréquencemètre pour l'utiliser comme afficheur de fréquence sur un récepteur superhétérodyne. Il suffit d'ajouter une tension continue fixe à la tension de sortie générée par le fréquencemètre. Cette tension fixe doit correspondre au décalage de fréquence qui existe entre l'oscillateur et la fréquence incidente. La réalisation pratique est donnée figure 2. Le schéma A correspond au cas où la fréquence de l'oscillateur est inférieure à la fréquence incidente, et le schéma B au cas contraire. Le circuit étant mis au repos (par exemple en court-circuitant la base du BD137 à la masse) il faut régler la résistance ajustable de 100 kohm pour obtenir une tension correspondant exactement à la valeur de la fréquence intermédiaire. Ce réglage est fait une fois pour toutes. Pour qu'il soit facile, il est préférable que les résistances ajustables de 100 kohm soient des résistances ajustables d'au moins 10 tours. Le fréquencemètre peut créer des signaux parasites. Il faut alors des découplages de qualité. En particulier, un filtre RC (100 ohm ; 100 μ F) sur la ligne 12 V juste avant le condensateur de 10 nF est très utile.

La réalisation n'a pas besoin d'être faite avec un circuit imprimé. J'ai réalisé 3 versions différentes. Le plus simple est d'utiliser une plaque de bakélite cuivrée (10x12 cm) qui sert de plan de masse. Le circuit intégré est mis à l'envers. Je fixe dessus une étiquette avec son nom et le numéro des broches extrêmes de façon à repérer facilement le brochage. Des résistances de 4,7 Mohm ou 10 Mohm servent de points fixes pour les connexions qui ne sont pas reliées à la masse. Dans mon expérience l'effet de ces résistances est quasiment toujours indécélable. Le potentiomètre est fixé à un fil de cuivre de gros calibre (type fil électrique de 20 A dénudé) lui-même soudé à la plaque de bakélite cuivrée. On procède de façon similaire pour l'inverseur qui est directement soudé sur le fil de cuivre. Un fer à souder de 60 ou 80 watts est souhaitable pour effectuer facilement les grosses soudures sur la plaque de bakélite cuivrée.

Bonne réalisation !