

L'extension de la gamme FM jusqu'à 108 MHz

Au fil du temps, le spectre de la bande FM a été augmenté vers le haut pour répondre à l'accroissement des besoins de canaux pour la radiodiffusion. La libération des fréquences VHF utilisées par l'Administration civile et militaire a permis cette extension. Pendant des années, le nombre de diffuseurs étant très réduit, la gamme FM, dont le spectre couvrait de 87 à 100 MHz, répondait aux besoins. Puis, elle s'est étendue jusqu'à 104 MHz et enfin, à 108 MHz. Avec la libération des ondes du début des années 1980, le nombre de stations émettrices s'est considérablement accru, notamment en occupant la plage de 104 à 108 MHz.

Cette évolution historique apparaît clairement sur les cadrans des plus anciens de nos postes AM FM. La tentation est grande de permettre à ces récepteurs, limités à 100 ou 104 MHz, de profiter de la totalité de la bande FM actuelle. Nous présentons ici une solution répondant à cette attente.

Le principe adopté

Nous allons utiliser les propriétés du mélangeur de fréquences tel qu'il existe dans les récepteurs superhétérodynes (figure 1), avec une très légère modification de la mise en application du principe.

Le but du mélangeur, dans un montage superhétérodyne, est de faire varier la fréquence (FO) de l'oscillateur local en fonction de la fréquence (FA) reçue par l'antenne, de manière à produire un signal de fréquence fixe dit *moyenne fréquence* ou *fréquence intermédiaire (FI)*, par exemple 10,7 MHz en FM ou 455 kHz en AM.

Nous savons que le principe du superhétérodyne produit deux fréquences intermédiaires FI :

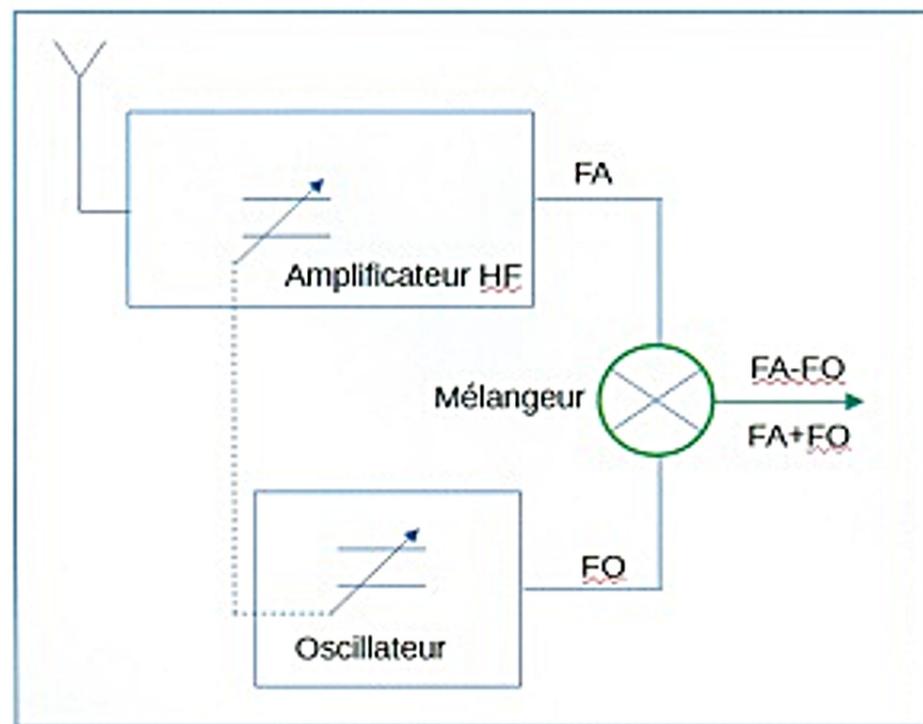


Figure 1 - Principe du superhétérodyne

Objectifs et présentation de la solution proposée

- 1/ Elle ne doit pas avoir d'incidence sur les réglages des circuits HF préconisés par le fabricant.
- 2/ Son incidence sur l'état d'ori-

gine, au niveau du respect du schéma et de sa mise en œuvre, doit être très réduite.

- 3/ Le respect de ces deux premiers objectifs doit aussi se traduire par la portabilité et l'applicabilité de la solution à tout modèle de récepteur FM, qu'il soit à lampes ou à transistors.

LA GAMME FM JUSQU'À 108 MHz

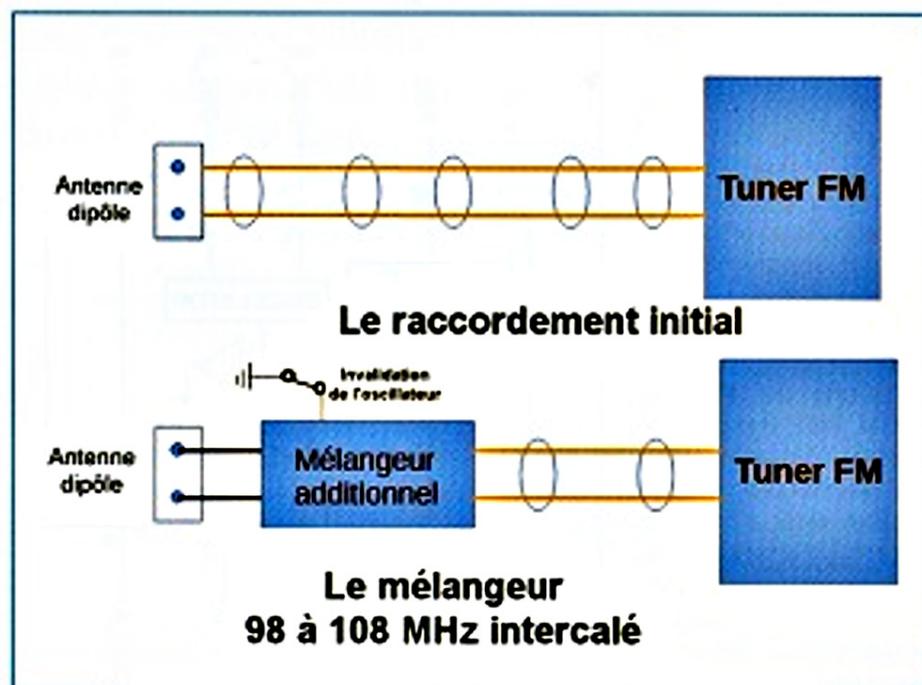


Figure 2 - Le tuner FM sans, puis avec le mélangeur additionnel

$FI = FA - FO$ et $FI = FA + FO$. Le choix entre ces deux fréquences se fait grâce à des circuits jouant le rôle de filtres : classiquement sur les postes anciens, ce sont les transformateurs moyenne fréquence qui jouent le rôle de filtres, en étant accordés sur l'une des deux fréquences issues du mélangeur (10,7 MHz par exemple).

Nous allons faire une application particulière du principe du superhétérodyne :

nous rendons fixe la fréquence de l'oscillateur, 10 MHz par exemple. Toute fréquence antenne (FA) produira donc en sortie du superhétérodyne (appelons-le mélangeur maintenant) deux résultantes décalées de 10 MHz par rapport à la fréquence antenne soit : $FA + 10$ MHz et $FA - 10$ MHz.

• Nous insérons le nouveau mélangeur (qui est aussi un très bon récepteur) entre les bornes antenne dipôle du poste et l'entrée du tuner FM, ce tuner FM recevra donc la fréquence antenne décalée de plus et moins 10 MHz (figure 2) :

• si l'oscillateur de ce mélangeur est inactif, la fréquence de l'oscillateur est nulle ($FO = 0$). La fréquence antenne est transmise sans changement à la sortie du mélangeur : il n'y a alors

ni addition, ni soustraction opérée sur la fréquence antenne. Le poste dans lequel nous avons intercalé notre mélangeur spécial fonctionne alors selon son mode d'origine.

Examinons les conséquences de ce choix avec des cas concrets, pour des postes dont la bande FM s'arrête à 100 ou à 104 MHz, lorsque nous les avons équipés d'un mélangeur en amont du tuner d'origine (figure 2) :

1/ Soit une fréquence antenne de 95 MHz : ceci donne, en sortie du mélangeur, les deux fréquences suivantes :

• $95 - 10 = 85$ MHz. Cette fréquence est en dehors de la plage de réception des postes FM, elle est donc ignorée ;

• $95 + 10 = 105$ MHz. Cette fréquence est en dehors de la plage de réception d'un poste recevant de 88 à 100 MHz ou de 88 à 104 MHz, elle est donc ignorée.

Ceci signifie que pour recevoir les fréquences FM, correspondant au cadran du poste, le mélangeur additionnel doit être inactif. Il doit laisser passer les fréquences antenne (FA) sans les modifier de plus ou moins 10 MHz.

2/ Soit une fréquence antenne de 105 MHz. Ceci donne, en sortie du mélangeur, les deux fréquences suivantes :

• $105 - 10 = 95$ MHz. C'est dans la plage de réception de tout poste FM, et l'émission à 105 MHz sera reçue en réglant l'aiguille du cadran sur 95 MHz ;

• $105 + 10 = 115$ MHz. C'est en dehors de la plage de réception de tout poste FM et donc ignoré. Ceci signifie que pour recevoir les fréquences FM, supérieures aux indications du cadran du poste, le mélangeur additionnel doit être actif.

Ces deux exemples illustrent les conditions d'utilisation du mélangeur à fréquence d'oscillateur fixe qui réalise en fait un décalage de la fréquence antenne.

Mais il y a un cas particulier qui le met en défaut : c'est celui pour lequel, dans une zone de réception donnée, il existe une émission à 88 MHz et une autre à 108 MHz. Les fréquences résultantes du mélangeur sont alors :

• $88 + 10 = 98$ MHz et $88 - 10 = 78$ MHz ;

• $108 + 10 = 118$ MHz et $108 - 10 = 98$ MHz.

Il y a donc superposition, en sortie du mélangeur, de deux émissions à 98 MHz :

• l'une provenant d'un émetteur diffusant à 98 MHz ;

• l'autre provenant d'un émetteur diffusant à 108 MHz, mais dont la fréquence a été décalée à 98 MHz par le mélangeur. La cacophonie est garantie !

Mais ces fréquences de 88 et 108 MHz, étant aux deux extrémités de la bande FM, il est peu probable que nous les rencontrions dans une même zone de réception : nous décidons alors d'admettre ce cas particulier.

L'utilisation du signal de validation/invalidation du mélangeur (figure 2) revient à scinder la bande FM en deux parties : 88 à 100 MHz (ou 104 MHz) d'une part, et 100 MHz (ou 104 MHz) à 108 MHz d'autre part.

• RÉALISATION •

Nous pouvons parler de « bande FM inférieure » et de « bande FM supérieure ». Ou bien de FM1 et FM2, comme il y a des OC1 et OC2.

Réalisation pratique

Le problème de l'extension de la bande FM, au-delà de 100 MHz (ou 104 MHz) sur les anciens postes, a fait l'objet de plusieurs discussions sur les forums. Certains proposent de changer les composants des circuits HF, ce qui impose de refaire l'alignement. Les manipulations sont donc à définir pour chaque poste à adapter. Nous excluons cette façon de faire.

D'autres utilisateurs n'hésitent pas à agir sur l'oscillateur local pour décaler la réception vers le haut de la gamme FM. On obtient un résultat, peu satisfaisant en termes d'alignement, au prix d'une dégradation des performances. Cette manière de procéder a aussi une incidence sur la qualité de fonctionnement du discriminateur, au détriment de la fidélité. Le poste, pour lequel le module décrit dans cet article a été construit, était ainsi dérégulé.

Nous retenons une solution dont le principe est séduisant et répond à nos objectifs cités plus haut. Elle est présentée sur inter-

net, notamment sur notre forum.

Par rapport à ce qui est proposé sur internet, le présent article apporte une dimension pédagogique afin d'expliquer, simplement, le fonctionnement et l'intérêt de la solution. Il apporte aussi des améliorations au schéma initial. Pour voir ce dernier, sur votre moteur de recherche, tapez « tubes radio FM band extension adaptation ». La discussion, consacrée à ce sujet, sur *Rétrotechnique* est intéressante.

Allez sur ce forum, dans le menu de recherche, tapez « Philips BSF76A, comment obtenir les 108 MHz ? ».

Pour le principe que nous avons adopté, faites défiler jusqu'à la discussion 14/20.

Le schéma proposé sur le forum utilise un mélangeur à circuit intégré (figure 3) qui fut créé sous la référence NE602 par Signetics. Cette société est bien connue et appréciée des électroniciens du vingtième siècle. Elle a été achetée par Philips, qui commercialise le NE602 sous la désignation SA602.

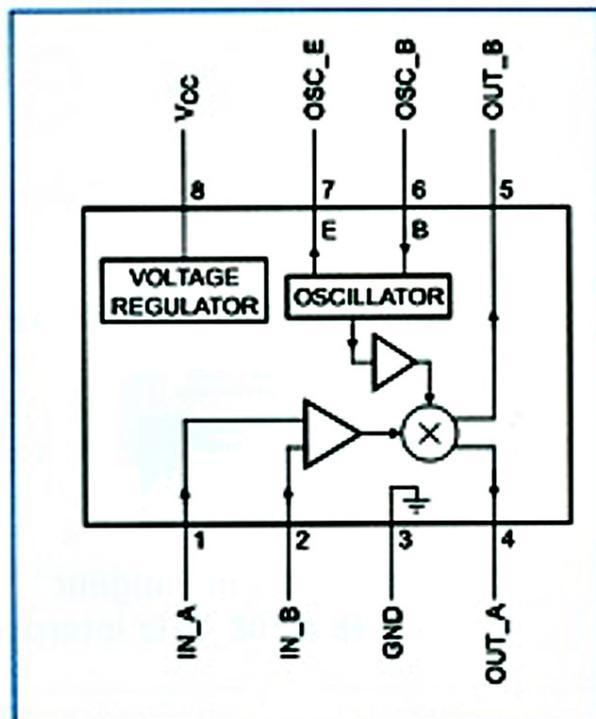


Figure 4

Le SA602 devenant très difficile à approvisionner, nous pouvons le remplacer par le SA612 qui est totalement compatible.

Le schéma synoptique du mélangeur SA602 est en figure 4.

Le document, en anglais uniquement, parle de *balanced input and output* que nous pouvons traduire par *entrées et sorties symétriques* (IN_A/IN_B et OUT_A/OUT_B de la figure 4).

Notons les caractéristiques essentielles de ce circuit, en vue de notre application. Elles sont celles d'un très bon récepteur.

Sensibilité : -119 DbV (1,12 µvolts)

Gain : 17 à 45 MHz

Alimentation : 4,5 à 8 volts CC

Consommation : 2,4 à 2,8 mA

Fréquence d'entrée max : 500 MHz

Fréquence oscillateur max : 200 MHz

Capacité de l'entrée : 3 à 3,5 pF

Impédance de sortie : 1,5 kΩ

Pour plus d'infos sur le SA602, activez ce lien : <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/SA602A.pdf> ou tapez « SA602A NXP » sur votre moteur de recherche.

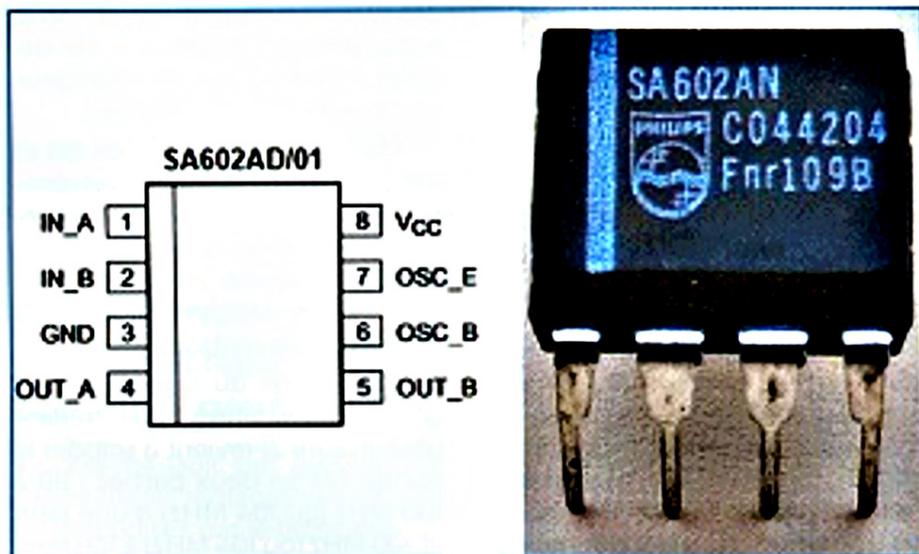


Figure 3

Les premiers essais selon schéma tel que proposé sur internet

La mise en application du principe est présentée sur internet comme étant opérationnelle (figure 5). La pratique a montré que ce n'est pas toujours le cas, ce qui a entraîné quelques commentaires, ironiques, parfois. Néanmoins l'idée est séduisante, et mérite d'être testée.

Le démarrage de l'oscillateur est aléatoire. Le simple fait de poser la sonde sur la base du transistor interne de l'oscillateur peut le faire démarrer ! Ce défaut est dû au fait que les condensateurs de l'oscillateur ont des capacités trop faibles sur

le schéma internet ($C1 = 4,7 \text{ pF}$ et $C2 = 27 \text{ pF}$). En effet, il existe, pour un oscillateur Colpitts, des formules approximatives et très simples pour établir la valeur de ces deux condensateurs :

$$C1 = 100 / \sqrt{F(\text{MHz})}$$

Soit $100 / 3 = 33$. Le stock dispose de 27 pF : nous essayons avec cette valeur.

$$C2 = 1000 / F(\text{MHz})$$

Soit $1000 / 10 = 100$. Le stock dispose de 100 pF : c'est parfait.

Le montage de ces deux valeurs permet de garantir le démarrage de l'oscillateur et son fonctionnement stable. Les contrôles ont été faits, avec succès, à chaque mise hors/sous tension, et pour un échantillon de valeurs de V_{cc}

dans la plage préconisée par le fabricant (4,5 à 8 V).

L'invalidation de l'oscillateur se fait par la mise à la masse de la base du transistor broche 6 du SA602 à travers une résistance de $56 \text{ k}\Omega$: cela ne fonctionne pas. Sans se lancer dans des calculs probants, il est évident que cette valeur de 56 k est trop élevée pour empêcher l'oscillateur de fonctionner. Nous la remplaçons par une résistance de $1 \text{ k}\Omega$.

La qualité de l'oscillation à 10 MHz . L'observation du signal à 10 MHz , broche 7 du SA602, sur l'oscilloscope montre un signal parasite (figure 6). La tentative de synchronisation se traduit par un déplacement vertical de la trace. Ces deux manifestations sont symptomatiques d'un signal affecté par une modulation parasite.

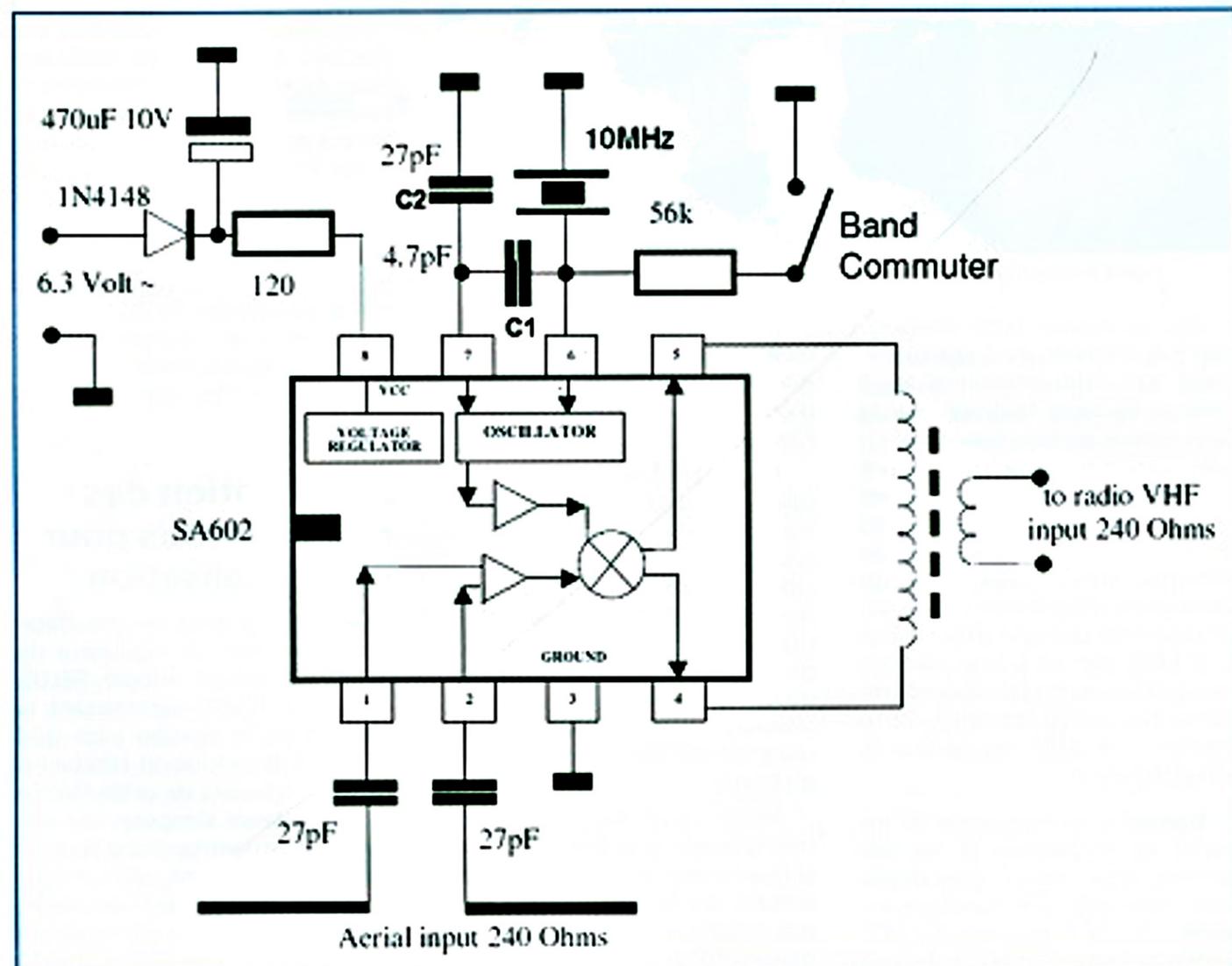


Figure 5

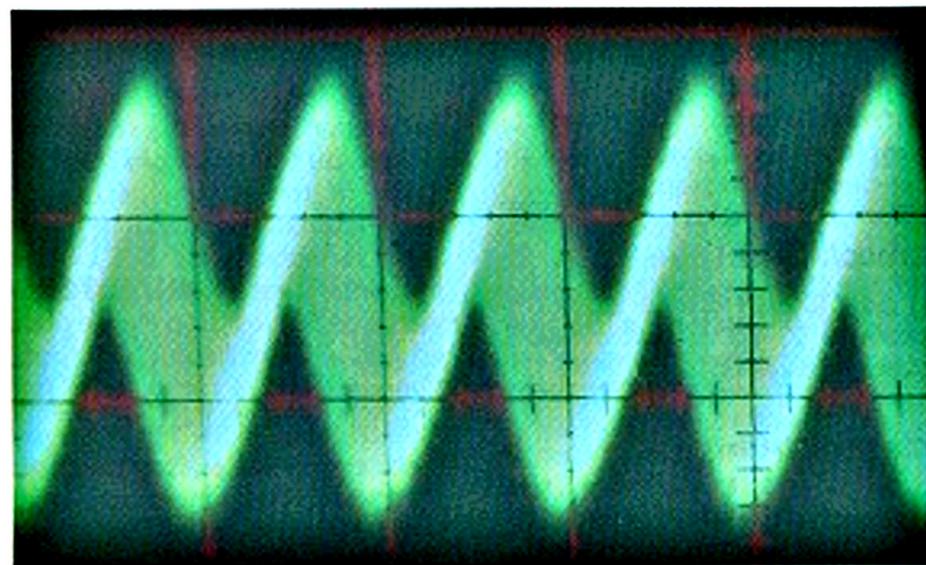


Figure 6

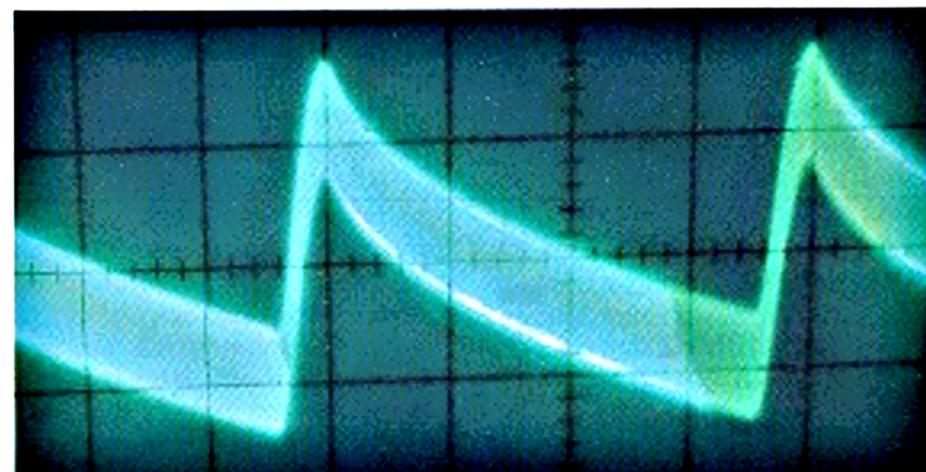


Figure 7 - L'épaisseur de la trace modulante contient le signal à 10 MHz

Où se trouve cette modulation ? Autrement dit à quelle période (ou fréquence) est-elle ? Pour le savoir, il faut agir sur la base temps de l'oscilloscope (initialement réglée sur 0,05 μ s par carreau [figure 6] afin d'observer un signal à 10 MHz). L'origine du défaut apparaît aux alentours de 2 ms par carreau. La perturbation vient d'une modulation du niveau de référence du train d'oscillation à 10 MHz, par un signal parasite triangulaire, dont la période est de 20 ms (soit 0,020 seconde). Cette dernière est celle du secteur à 50 Hz (figure 7).

Rappel : la fréquence (F en hertz) et la période (T en secondes) d'un signal périodique sont liées par une fonction inverse : $T=1/F$ et alors $F=1/T$. Concrètement dans le cas du secteur, $F=1/0,020=50$ Hz.

Nous reconnaissons, dans cette modulation parasite du niveau de référence du signal utile, l'allure d'une ondulation résiduelle après filtrage.

Pour confirmer expérimentalement cette hypothèse, nous alimentons le module avec une source de tension continue de labo, ce qui fait disparaître le phénomène. C'est donc bien l'ondulation résiduelle de l'alimentation, à partir des 6,3 volts de chauffage, qui est la cause de cette anomalie. L'ondulation résiduelle est mesurée à 150 mV sur la broche B (Vcc) du SA602.

Notre circuit intégré est donc très sensible à la qualité de son alimentation issue d'un redressement de l'alternatif. Ceci n'est pas surprenant, si l'on considère que le SA602 a été conçu pour des équipements portables, de ce fait

alimentés à partir de piles. Notons que cette anomalie modulant le niveau de référence de l'oscillation à 10 MHz n'interrompt pas le train de ce signal. Nous n'avons d'ailleurs pas constaté d'incidence sur le fonctionnement de l'oscillateur, mais cela n'est pas très sain et nous devons corriger cette anomalie.

Remarque : le SA602 possède son régulateur de tension (« voltage regulator » de la figure 4). Nous pouvons supposer que ce dernier n'alimente pas la partie « oscillateur » puisqu'elle est perturbée. En l'absence de schéma interne détaillé, il n'est pas possible d'avoir l'explication de la nécessité d'une alimentation externe parfaitement stabilisée malgré le « voltage regulator ».

Les essais de la maquette sur d'autres postes. Ils ne sont pas tous satisfaisants, notamment à cause de perturbations de types parasites affectant principalement l'oscillateur du SA602. Ces essais confirment la nécessité de fiabiliser le comportement de notre module mélangeur, pour en assurer la portabilité, quel que soit le poste cible. Nous décidons de passer à une alimentation du module, régulée, stabilisée et découplée par des condensateurs de 0,1 μ F.

Justification des choix retenus pour notre réalisation

Les 6,3 volts de chauffage vont alimenter un régulateur de tension à circuit intégré 78L05, en boîtier TO-92, garantissant la stabilité de la tension ainsi que l'absence d'ondulation résiduelle. La version 5 volts de cette famille de régulateurs s'impose, car elle répond à l'exigence d'une tension d'entrée supérieure, d'au moins de 2 volts, à la tension de sortie. La tension d'entrée est issue du redressement des 6,3 volts du chauffage. Une fois redressée, elle

LA GAMME FM JUSQU'À 108 MHz

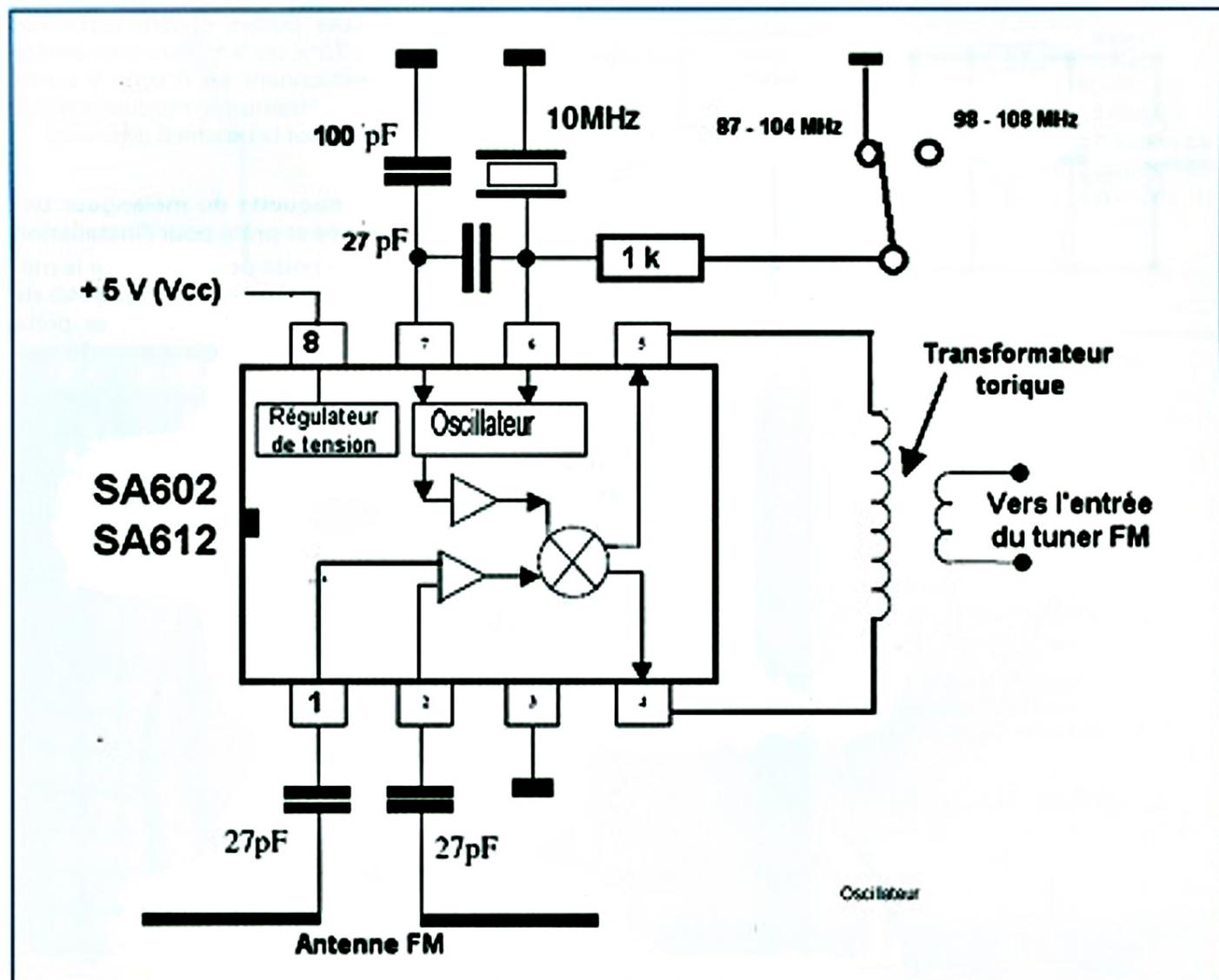


Figure 8 - Le schéma définitif, et validé, du mélangeur

donne, en théorie, 8,3 volts sur le premier condensateur de filtrage, la chute de tension due à la diode étant déduite. Un régulateur fournissant 5 volts en sortie répond aux exigences en assurant une marge de sécurité de fonctionnement.

Le SA602 intègre le transistor destiné à l'oscillateur (figure 4). Sur les broches 6 et 7, correspondant respectivement à la base et à l'émetteur de ce transistor, le concepteur peut ajouter les composants externes nécessaires à la production des oscillations, en fonction de ses critères techniques : par exemple, oscillateur de type Colpitts, circuit résonant de type « LC accordé » ou « quartz ». Nous validons le choix d'un oscillateur de type Colpitts, pour lequel le SA602 semble pré-

destiné. La fréquence est déterminée par un quartz, vibrant à une fréquence de 10 MHz, ce qui convient très bien à notre application.

Les spécifications du SA602 (dont la sensibilité de 1,4 μ V) montrent que l'antenne dipôle FM peut attaquer l'entrée du SA602 directement via des condensateurs de 27 pF, ce que nous ferons.

La sortie du SA602 dont l'impédance est de 1500 ohms attaquera le tuner FM via un transformateur adaptateur torique d'un rapport 10/4. Soit dix spires au primaire et quatre au secondaire.

Nous conservons le principe, de la désactivation ou non de l'oscillateur à 10 MHz, par liaison à la masse de la base de son transistor (broche 6, figure 4) :

Lorsque l'oscillateur est désactivé, le mélangeur se comporte comme une passerelle, (le décalage vaut zéro hertz) et il transmet alors les fréquences FM, entre 87 et 100 / 104 MHz, au bloc FM sans décalage : le récepteur fonctionne donc selon son état d'origine.

Les schémas résultant de ces choix sont en figure 8 pour le mélangeur, et en figure 9 pour son alimentation.

Les essais ont été effectués, avec succès, sur d'autres récepteurs à lampes et à transistors. Dans ce dernier cas, la tension issue des piles a été raccordée directement sur l'entrée prévue pour l'alimentation du module en 6,3 V CA.

·RÉALISATION·

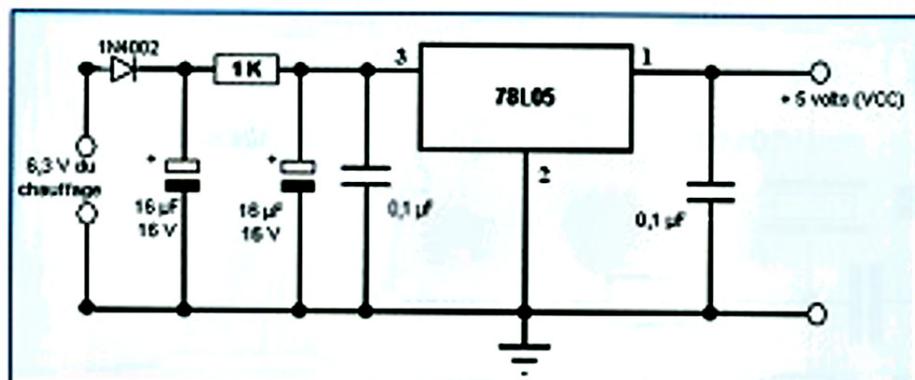


Figure 9 - L'alimentation, très classique, du SA602

Les postes étaient alimentés en 7,5 V ou 9 V. Pour des postes fonctionnant en 6 volts, il aurait fallu alimenter le module directement sur la broche 8 du SA602.

La maquette du mélangeur terminée et prête pour l'installation

Le poste devant recevoir le mélangeur est un Grundig 3040 de 1964 : sa configuration se prête très bien à l'implantation du mo-

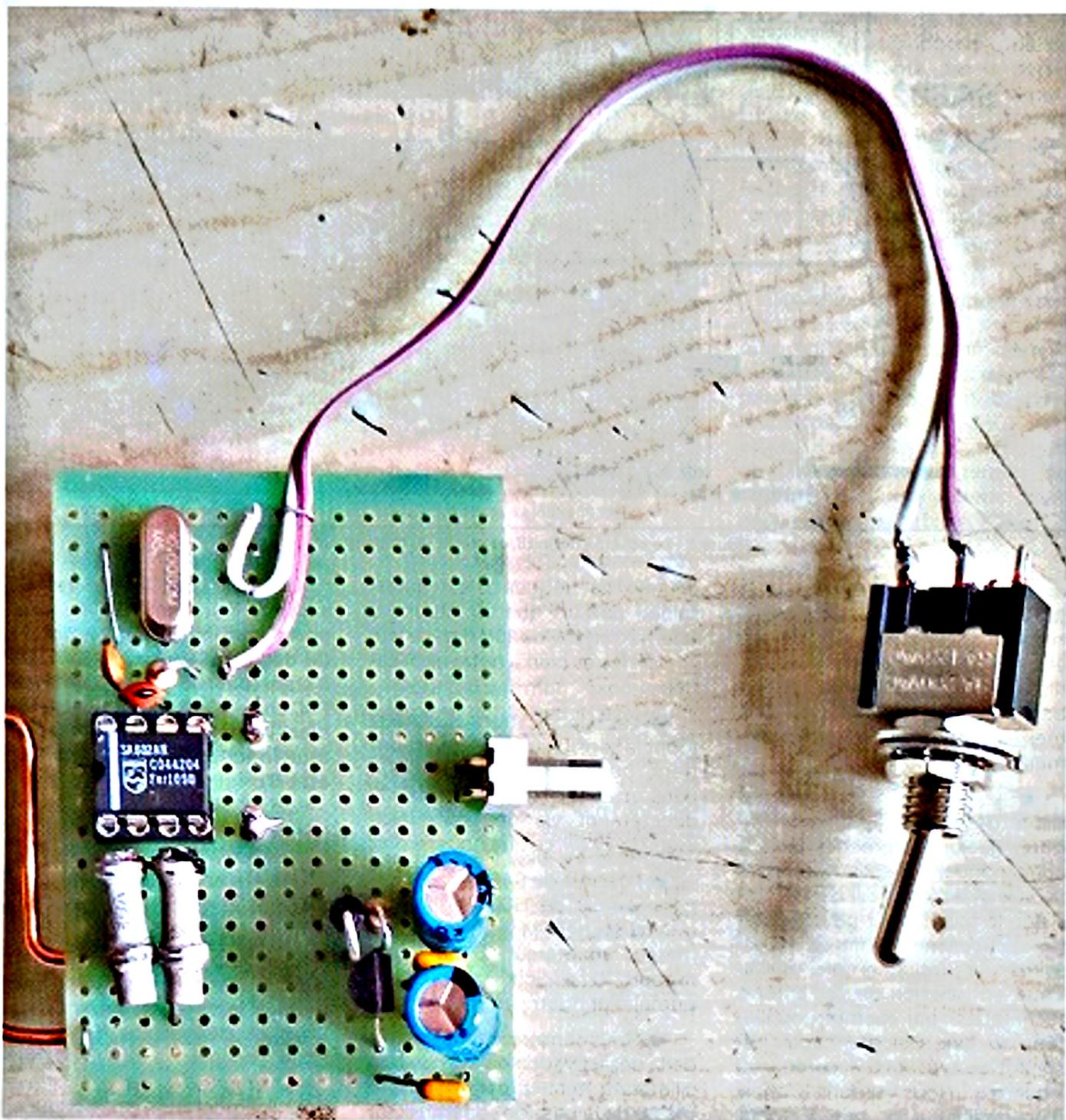


Figure 10 - C'est beau !

LA GAMME FM JUSQU'À 108 MHz

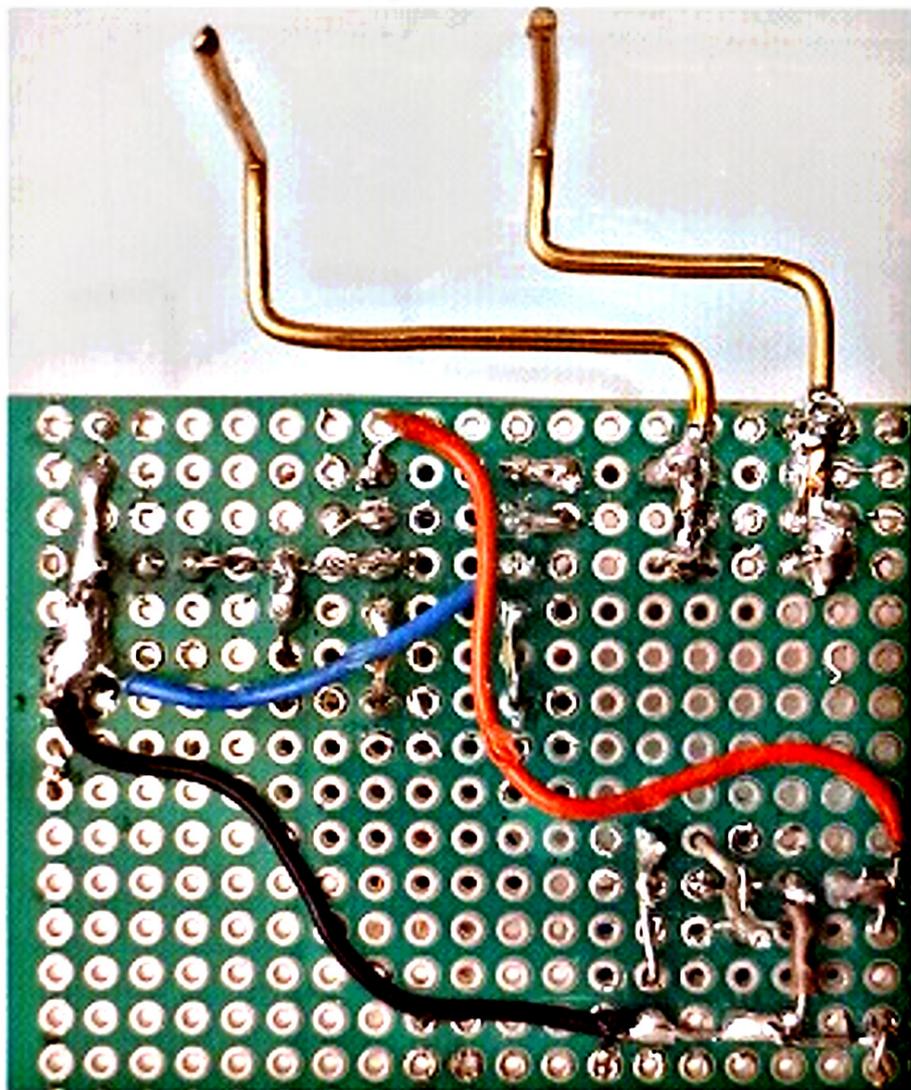


Figure 11 - C'est moins beau

dule, tout en permettant des connexions très courtes. Le câblage est fait sur une plaquette à trous en époxy.

Le câblage sur la plaquette époxy est laissé à l'initiative des amateurs. La figure 10 montre le prototype construit par l'auteur, avant montage du transformateur torique de sortie :

➡ La partie gauche contient le mélangeur avec ses deux fils, en cuivre rigide, de liaison aux bornes antenne, et les fils de liaison au commutateur de mise en/hors service du décalage de 10 MHz ;

➡ En bas, à droite de la plaquette, se trouve l'alimentation pour le 5 volts Vcc et, au-dessus, son

connecteur d'arrivée du 6,3 volts alternatifs (chauffage).

La figure 11 représente le côté câblage du prototype. Il est organisé pour avoir des connexions aussi courtes que possible, à l'exception des fils d'alimentation et de masse.

La Rédaction de *Radiofil* magazine va inciter à la réalisation d'un circuit imprimé avec possibilité d'alimentation, via les 6,3 volts de chauffage, ou via la tension des piles dans le cas d'un récepteur à transistors. Dans ce dernier cas, il est possible d'économiser le régulateur 78L05 et ses composants. En attendant la disponibilité des circuits imprimés, nous pouvons annoncer celle du typon pour qui-conque le demandera.

La figure 12 montre la plaque, entièrement câblée, prête à être installée sur le poste Grundig.

La plaque équipée est légère et de faibles dimensions (50 x 40 mm) : elle sera fixée dans le poste grâce aux deux connexions en fil de cuivre rigide (en haut de la figure 12) qui lui serviront de support.

L'installation du mélangeur

La figure 13 montre le raccordement initial du tuner FM, donc avant montage du module mélangeur : les deux bornes de l'antenne dipôle, interne ou externe, sont reliées à l'entrée du tuner FM par le classique câble plat bifilaire.

Le tore utilisé est issu d'un fond de tiroir, vraisemblablement récupéré sur une alimentation à découpage. Le Comité de lecture (CL) nous fait remarquer, à juste titre, que ce n'est pas optimal, car ce type de tore est adapté aux fréquences de l'ordre de 100 kHz. Les résultats sont néanmoins satisfaisants, dans la cuvette grenobloise, car les émetteurs FM sont en altitude et à vue directe. Pour une réception correcte dans les zones moins bien « arrosées », il faut utiliser un tore de ferrite adapté aux VHF, comme par exemple le T50-10, tore amidon noir 12,70 x 7,70 x 4,83 mm AL 31µH / 100 100 MHz. Il est notamment disponible chez Distri-Compo.

Notez bien que les références des tores magnétiques sont très codifiées.

Même la couleur à une signification technologique !

Le CL signale aussi que les performances peuvent être améliorées en adaptant les impédances d'entrée à l'aide d'un autre tore magnétique de mêmes caractéristiques : 300 ohms côté antenne et 1500 côté SA602, soit un rapport de 5 donnant la proportion du nombre de spires entre primaire et secondaire.

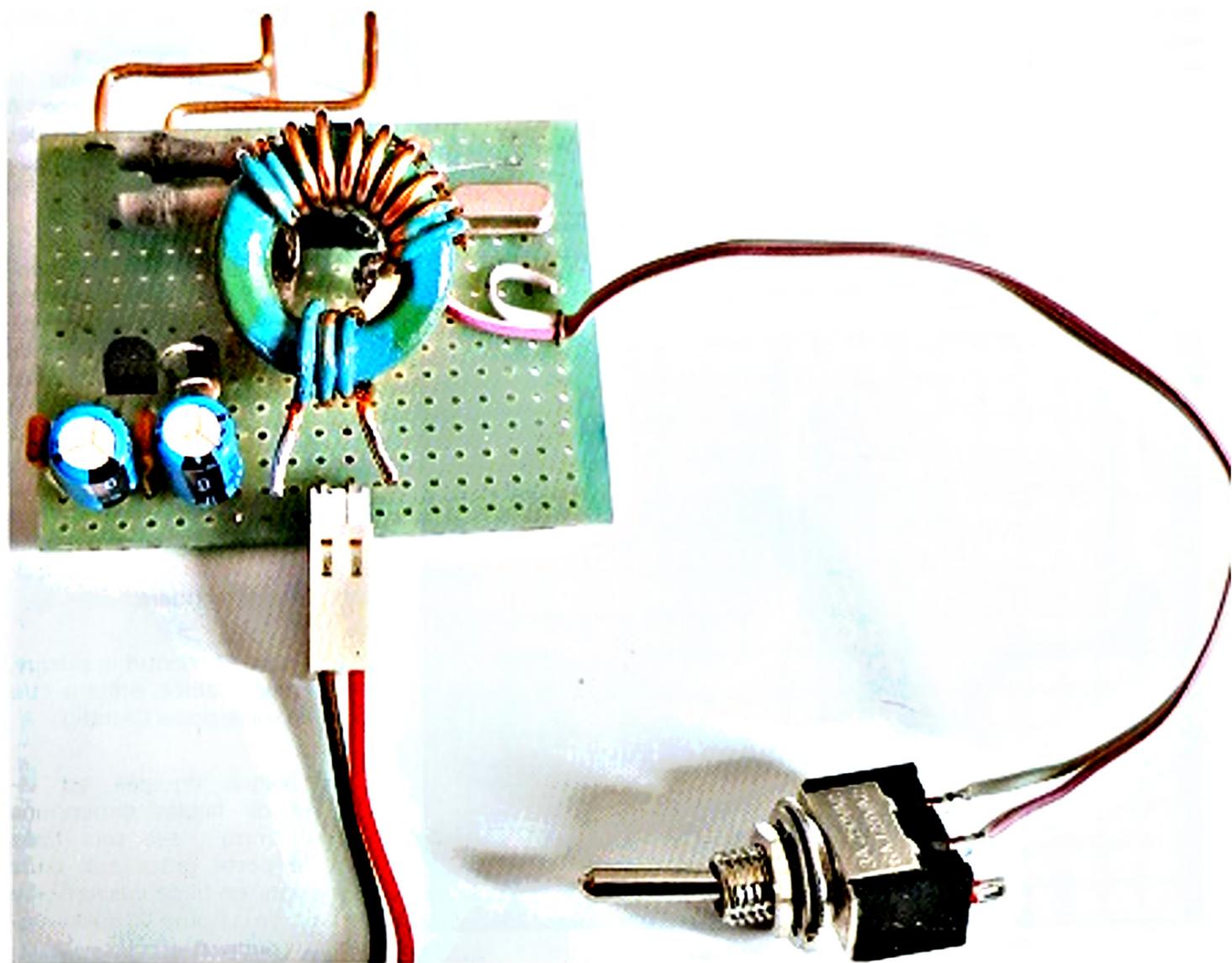


Figure 12

La tension de chauffage est prise sur un voyant de cadran proche du tuner FM. Elle alimente le module via un connecteur qui assure la protection de la tension de 6,3 Vcc, contre des contacts malencontreux, ainsi que le respect du sens de branchement afin d'éviter toute inversion du point chaud, 6,3 volts et de la masse.

La mise en place du module sur le poste est d'une grande simplicité et se réduit à six soudures. La figure 14 montre le module installé dans le poste.

Le commutateur, de mise en/hors service du décalage de 10 MHz, sera installé sur le carton arrière en utilisant l'une des perforations d'aération. Elles ont un diamètre qui convient parfaitement.

À droite de la figure 14, nous apercevons le connecteur blanc qui prélève les 6,3 volts AC d'alimentation du mélangeur sur le voyant visible du même côté.

La sortie du mélangeur est reliée au tuner par le câble plat bifilaire qui allait sur les bornes antenne FM, comme le montre la figure 13.

Les deux fils de cuivre rigides établissent la liaison entre les bornes antenne FM et l'entrée du mélangeur.

Les essais du mélangeur installé

La qualité de réception est inchangée, que ce soit en mode standard, gamme de 84 à 104 MHz, du récepteur cible

[Grundig 3040], ou en mode extension de 104 à 108 MHz. Les stations reçues faiblement dans la cuvette grenobloise sont toujours captées dans les mêmes conditions.

Le Grundig 3040 avait été déréglé, par un propriétaire précédent, par modification de l'oscillateur local, afin de recevoir les stations entre 104 et 108 MHz : la qualité de réception en pâtissait. Les réglages de ce poste ont été refaits dans les règles de l'art pour la couverture de gamme d'origine. Doté de notre mélangeur, il peut, maintenant, recevoir la totalité de la bande FM de 87 à 108 MHz dans des conditions de performances optimales... et en conservant les réglages d'origine !

■ Michel Fiol
RFL 5361

LA GAMME FM JUSQU'À 108 MHz



Figure 13

Nomenclature et prix de revient approximatif

Les prix ci-dessous sont indicatifs : ils peuvent varier selon la période et les fournisseurs. Les prix mentionnés tiennent compte des quantités. Les frais de port ne sont pas pris en compte.

Le tore magnétique peut être récupéré, à titre d'exemple, dans des ampoules basse consommation ou bien dans des alimentations à découpage. Pour des performances optimales, le type de tore, mentionné en encart, est recommandé, en entrée, si besoin, et en sortie du mélangeur.

Soit un prix d'approvisionnement de 28,30 euros. L'auteur est désolé de vous inciter à de telles folies !

Composants	Q	Prix
Plaque époxy 40 x 50 mm	1	1,50
Circuit SA602	1	6,90
Support de CI (facultatif)	1	0,60
Quartz 10 MHz	1	3,50
Condensateurs « céramique »	4	1,60
Résistances 1 k	2	0,20
Commutateur du mélangeur	1	5,10
Connecteur 6,3 V mâle et femelle	1	3,40
Circuit 78L05	1	1,00
Condensateurs électrolytiques	2	0,20
Condensateurs 0,1 μ F	2	0,40
Diode 1N4002	1	0,10
Tore magnétique	2	3,80
Fils de câblage	-	0

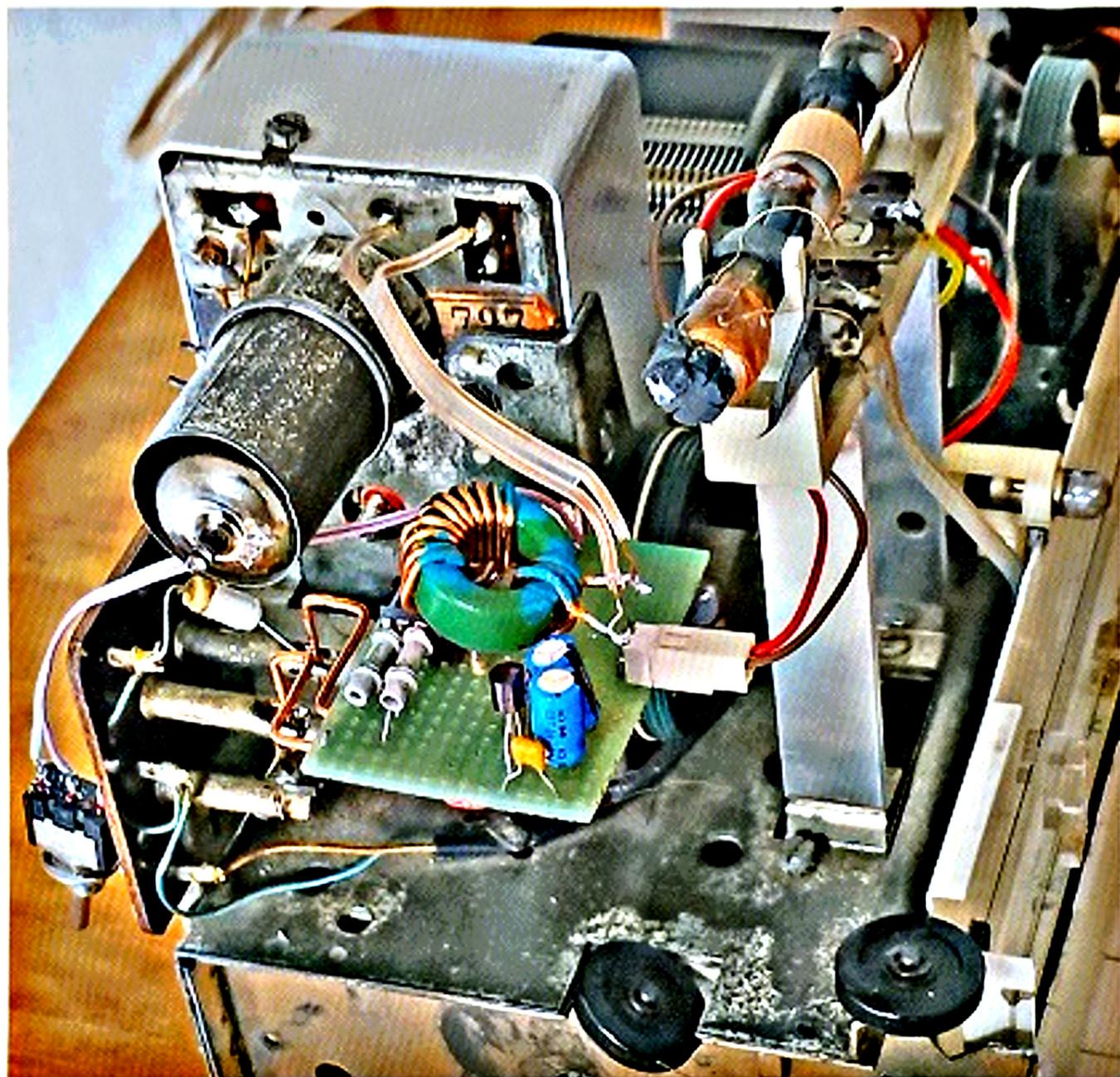


Figure 14