

MICROPHONE SANS FIL

Audio par
la bande ISM

L'attribution en Europe de la bande de fréquences ISM de 863 à 865 MHz aux applications audio, a mis la « puce » à l'oreille de l'entreprise Circuit Design. Ce fabricant de modules HF professionnels a conçu des émetteurs et récepteurs offrant la plage dynamique étendue et la qualité indispensables qu'on attend des microphones sans fil.



Les modules WA-TX-01 (émetteur) et WA-RX-01 (récepteur) introduisent un nouveau concept dans la transmission sans fil de signaux audio. La radiotechnique ouvre la porte à une foule d'applications sans consommation excessive de courant. Parmi les composants de l'émetteur et du récepteur, on trouve des filtres et des résonateurs SAW ainsi que des circuits intégrés réducteurs de bruit.

Ces composants cruciaux ont permis de réaliser des modules audio de petite taille mais de qualité élevée conformes à la réglementation européenne sur les télécommunications et aux normes CEM de la directive R&TTE. On s'épargne une certification lente et coûteuse lors de l'utilisation de liaisons radio dans les appareils audio. Le canal de fréquence de travail est fixé pour chaque module. Les 4 canaux dans la bande de 863 à 865 MHz permettent toutefois d'utiliser plusieurs appareils au même endroit.

Transmission dynamique

La pression sonore maximale audible pour les êtres humains vaut 140 dB SPL (SPL = *Sound Pressure Level*, français : niveau de pression acoustique ou niveau sonore). Elle est basée sur le niveau sonore de 0 dB SPL = 20 (pa. Le bruit de fond, même dans une pièce silencieuse, atteint environ 20 dB SPL. Le niveau sonore de la voix humaine vaut environ 120 dB SPL. On peut en conclure qu'un niveau sonore de 100 dB est requis pour une transmission audio normale sans fil. Bande passante (BW) d'une fréquence audible de 15 kHz en modulation de fréquence analogique :

$$BW = (\text{excursion de fréquence maximale} + \text{fréquence de modulation maximale}) \times 2$$

Malheureusement, chaque circuit FM est affligé d'un bruit de fond résiduel causé par l'oscillateur à quartz ou la boucle PLL. Il faut donc compter avec un bruit résiduel de 50 Hz (excursion) en l'absence de modulation. Pour une dynamique de 100 dB (= facteur 100 000), on a donc besoin d'une excursion de fréquence de 50 (100 000 = 5 MHz). Il est à craindre que la bande passante autorisée pour cette application soit largement dépassée. À titre de comparaison : la radiodiffusion OUC modulée en fréquence doit se conten-

ter d'une excursion de fréquence de 75 kHz et d'une largeur de bande de 180 kHz (mono) ou de 264 kHz (stéréo avec système d'informations routières). Pour que l'excursion de fréquence reste dans les limites prescrites par la loi sur les télécommunications, on fait appel à un compresseur dans l'émetteur et à un extenseur dans le récepteur. Cette méthode se dénomme « *Compander Noise Reduction System* » (figure 1). Le rapport de compression d'un système Dolby destiné à limiter le bruit varie avec la fréquence du signal. Dans le compresseur-extenseur (*Compander*) de limitation du bruit utilisé ici, le compresseur comprime au contraire le niveau de moitié sur toute la plage de fréquence (rapport fixe 2:1). L'extenseur le ramène au niveau initial (rapport 1:2). Une dynamique de 100 dB est donc ramenée à 50 dB sur la voie de transmission.

Calculons l'excursion de fréquence comme précédemment. Avec un bruit résiduel FM de 50 Hz, on a besoin d'une excursion de fréquence de 500 Hz pour 20 dB, de 5 kHz pour 40 dB et de 20 kHz pour 52 dB. Le système sans fil avec un rapport signal-bruit S/N (*Signal to Noise Ratio*) de 50 dB peut transmettre un niveau sonore avec une dynamique de 100 dB.

Pourquoi recourir à une transmission analogique pour un microphone sans fil dans un « âge numérique » plutôt qu'à la modulation PCM, par exemple ? Pour plusieurs raisons : de nombreux

pays n'ont pas attribué de bande de fréquences aux installations numériques de microphone sans fil. La plage de fréquence étendue des procédés numériques de transmission comme PCM n'est en outre pas facile à caser au-dessous de 1 GHz. En outre, des « zones mortes » se manifestent souvent au-dessus de 1 GHz. Ce domaine de fréquence n'est donc pas idéal pour se mouvoir en direct sur scène. Pour couronner le tout, la conversion numérique requiert un courant hors de portée des piles de faible capacité.

On peut, si nécessaire, alimenter les modules (émetteur et récepteur) au moyen d'une pile de 1,5 V et d'un convertisseur DC/DC à faible bruit de Circuit Design. Une dynamique totale de 100 dB avec un microphone sans fil exige que le bruit résiduel du convertisseur DC/DC n'atteigne pas -60 dBm. Le convertisseur DC/DC WA-DC-01 peut fournir 3 V de tension de sortie et un courant de charge maximum de 50 mA pour une tension d'entrée n'atteignant que 0,9 V.

L'émetteur

La figure 2 représente les blocs fonctionnels de l'émetteur WA-TX01 :

Tampon d'entrée (BUF)

Ce circuit comporte un tampon d'entrée pour l'unité de microphone et toute autre source de signaux sonores. Le niveau d'entrée maximum atteint

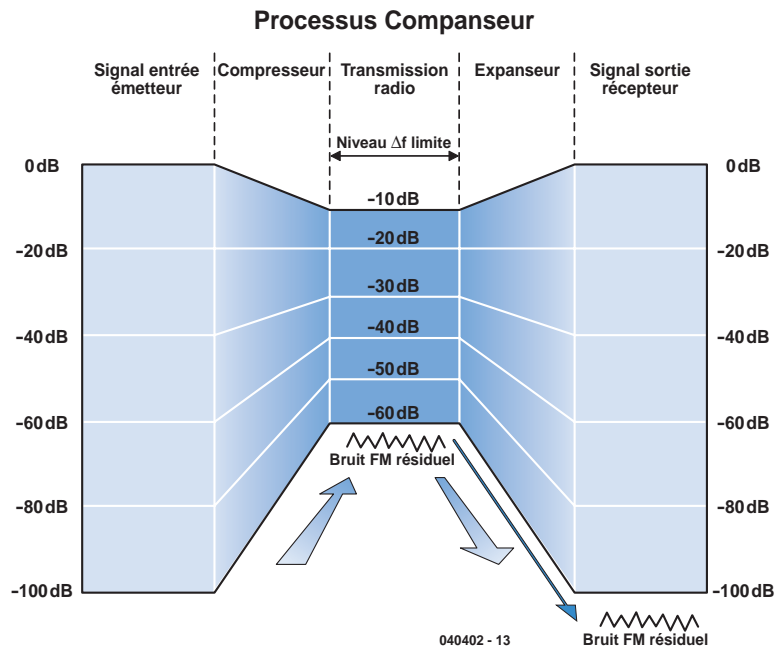


Figure 1. Un compresseur-extenseur limiteur de bruit.

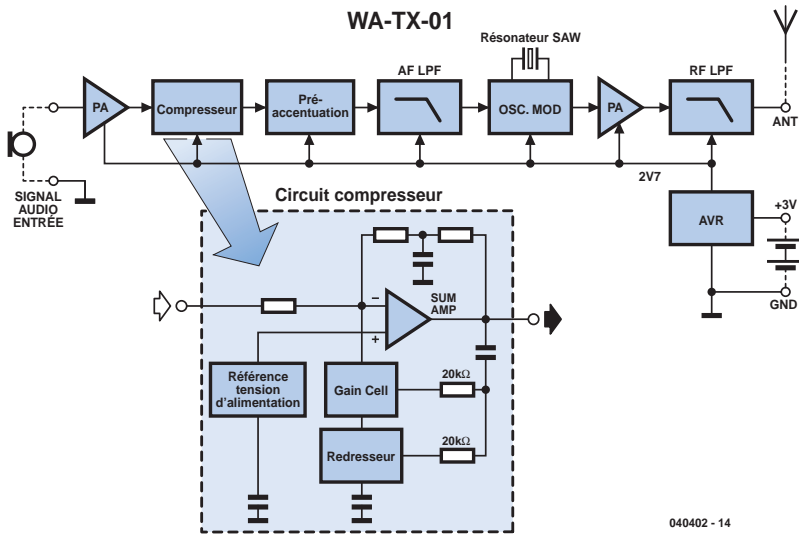


Figure 2. Schéma fonctionnel du module de transmission...

-15 dBV, la résistance d'entrée vaut 7,5 kΩ. Il faut intercaler un amplificateur à faible bruit si le niveau de sortie maximum des sources sonores est insuffisant. Utiliser un régulateur d'affaiblissement si le niveau du signal source est trop élevé.

Compresseur

Le signal audio de l'étage tampon est comprimé de moitié (rapport 2:1). Le compresseur se compose d'une source de courant de référence, d'un circuit redresseur pleine-onde et d'un amplificateur additif. La source de référence de courant alimente toutes les parties du circuit avec une tension de polarisation et un courant constant.

Le circuit redresseur pleine-onde redresse le signal d'entrée à l'aide d'un condensateur externe. Le courant de sortie du redresseur commande le « bloc de gain » (Gain Cell Amplifier, GCA). La constante de temps du régulateur dynamique est définie entre autres par un condensateur de filtrage externe possédant une résistance interne de 10 kΩ. L'amplificateur additif forme la somme du signal d'entrée et du signal GCA. Les caractéristiques de l'amplificateur additif du compresseur et de l'extenseur sont différentes. C'est pourquoi ces deux composants spéciaux diffèrent dans l'émetteur et le récepteur.

Pré-accatuation (Preemphasis)

Ce circuit renforce les fréquences élevées au moyen d'une constante de temps de 50 μs pour supprimer le bruit du haut de la plage audio provoqué par la modulation de fréquence.

Filtre passe-bas BF (AF-LPF)

Ce circuit limite la bande BF du signal audio pour ne pas dépasser les limites admissibles de la puissance perturbatrice dans le canal voisin.

Oscillateur et modulateur

Un résonateur SAW (SAW = Surface Acoustic Wave = onde acoustique de surface) à haute stabilité de température, basé sur un quartz, oscille directement dans la bande 800 MHz. Un varactor monté dans le circuit oscillant engendre la modulation de fréquence.

Amplificateur de puissance HF (PA)

Ce circuit amplifie la puissance HF de l'oscillateur jusqu'à une puissance d'émission de 5 mW.

Filtre passe-bas HF (RF LPF)

Ce circuit élimine toutes les harmoniques à partir de la deuxième et assure l'adaptation à l'antenne.

Régulateur de tension (AVR)

Ce circuit stabilise la tension de 2,7 V dans tout le circuit. Tension de la pile de 3 V à 9 V.

Le récepteur

Le schéma fonctionnel du récepteur WA-RX-01 de la figure 3 est presque la

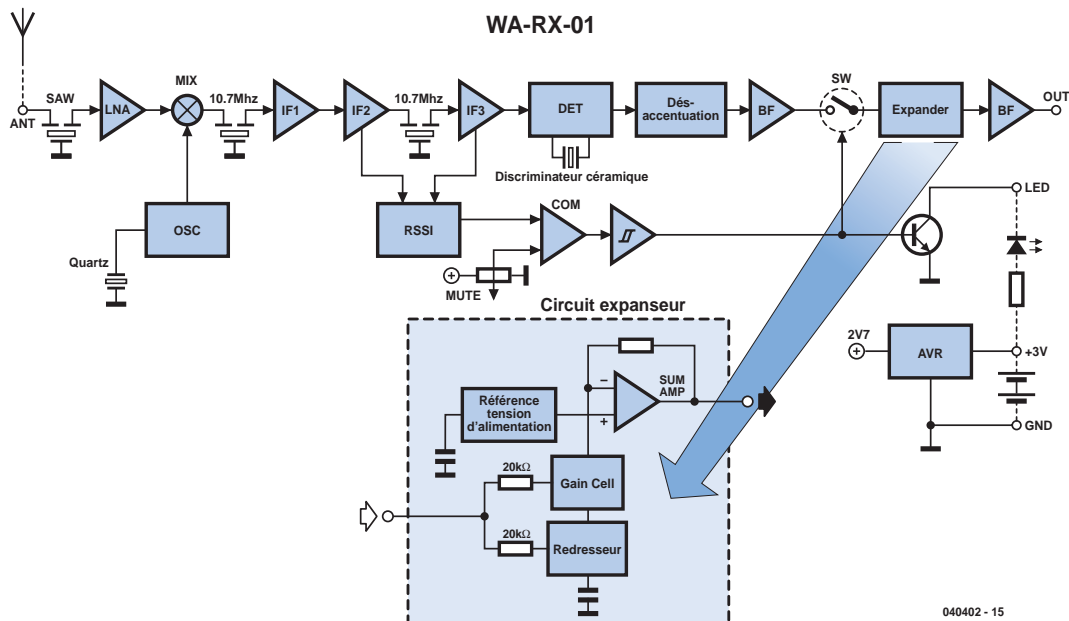


Figure 3 ...et du module de réception.

réflexion de l'émetteur avec des composants similaires :

Filtre de bande HF (SAW)

La bande de fréquences 800 MHz de ce système audio sans fil est filtrée par un filtre de bande. Le filtre SAW à sélectivité élevée permet d'éliminer les fréquences hors de la bande.

Oscillateur (OSC)

Oscillateur à quartz permettant d'obtenir la fréquence intermédiaire de 10,7 MHz.

Amplificateur HF (LNA)

La bande 800 MHz est amplifiée de 10 dB par un amplificateur à faible bruit.

Mélangeur (MIX)

Ce circuit engendre une fréquence intermédiaire de 10,7 MHz en mélangeant le signal de la bande 800 MHz reçu et amplifié avec le signal de l'oscillateur.

Amplificateur FI (IF 1 à 3)

Amplifie de 100 dB. Le dernier étage sert de limiteur. La sélection est assurée par des filtres céramique 10,7 MHz en amont et en aval de l'amplificateur de fréquence intermédiaire.

Détecteur FM (DET)

Ce circuit démodule le signal FI modulé en fréquence.

Détecteur RSSI (RSSI)

Les signaux HF de l'étage intermédiaire de l'amplificateur FI sont redres-

sés. La tension continue est proportionnelle à l'intensité du champ.

Muting Comparator (COM)

Compare le signal RSSI (signal d'intensité du champ) à la tension continue fixée par le potentiomètre. Le signal de sortie est coupé quand le signal d'antenne atteint 17 dB(V ou moins).

Désaccentuation

Compense la pré-accéléntuation de 50 μ s pour reconstituer une courbe de réponse uniforme.

Amplificateur FI (AF)

Ce circuit amplifie le signal audio démodulé pour l'adapter au circuit de l'extenseur.

Commutateur analogique (SW)

Lorsque le champ devient trop faible, le comparateur réduit au silence (coupe) le signal audio au moyen de ce commutateur. Une LED signale aussi l'interruption.

Expander

La dynamique du signal sonore est doublée dans le rapport 1:2. Le rôle de l'extenseur se déduit facilement des explications sur le compresseur.

Amplificateur de sortie BF (AF)

Le signal de l'extenseur subit une amplification supplémentaire à la sortie.

Régulateur de tension (AVR)

Ce circuit stabilise la tension de 2,7 V dans tout le circuit. Tension de fonctionnement 3 V à 12 V.

Interface

Ces modules complexes contiennent presque toute l'électronique nécessaire. Le reste est simple. La **figure 4** reproduit les 2 parties du circuit. L'émetteur n'est pas uniquement conçu pour un microphone. Toute source audio avec un niveau maximum de -15 dBV fera l'affaire. Dans la plupart des cas, on se sert toutefois d'un microphone à électret. L'entrée BF présente une faible tension d'offset lorsque P1 est au maximum. Elle est d'environ 0,15 V dans notre prototype de laboratoire. Il faut absolument utiliser un condensateur de couplage avec un microphone dynamique. On peut aussi supprimer R1 et remplacer le micro à électret par le micro dynamique. P1 permet d'atténuer les signaux trop intenses du microphone qui satureraient le module d'émission.

Le circuit du récepteur est un peu moins simple. Le module de réception possède 2 sorties, une pour le signal et l'autre indiquant si la qualité du signal est suffisante ou si celui-ci a été coupé. Le récepteur peut se permettre d'être gourmand (il n'est pas nécessaire de l'alimenter par pile). Équiperons-le donc d'une LED d'affichage de fonctionnement D1.

Un amplificateur-tampon en aval renforce la sortie du module de réception (avec 10 k Ω , pas exactement à basse impédance). Il s'agit d'un amplificateur de tension alternative classique, non-inverseur, avec un ampli op rail-à-rail

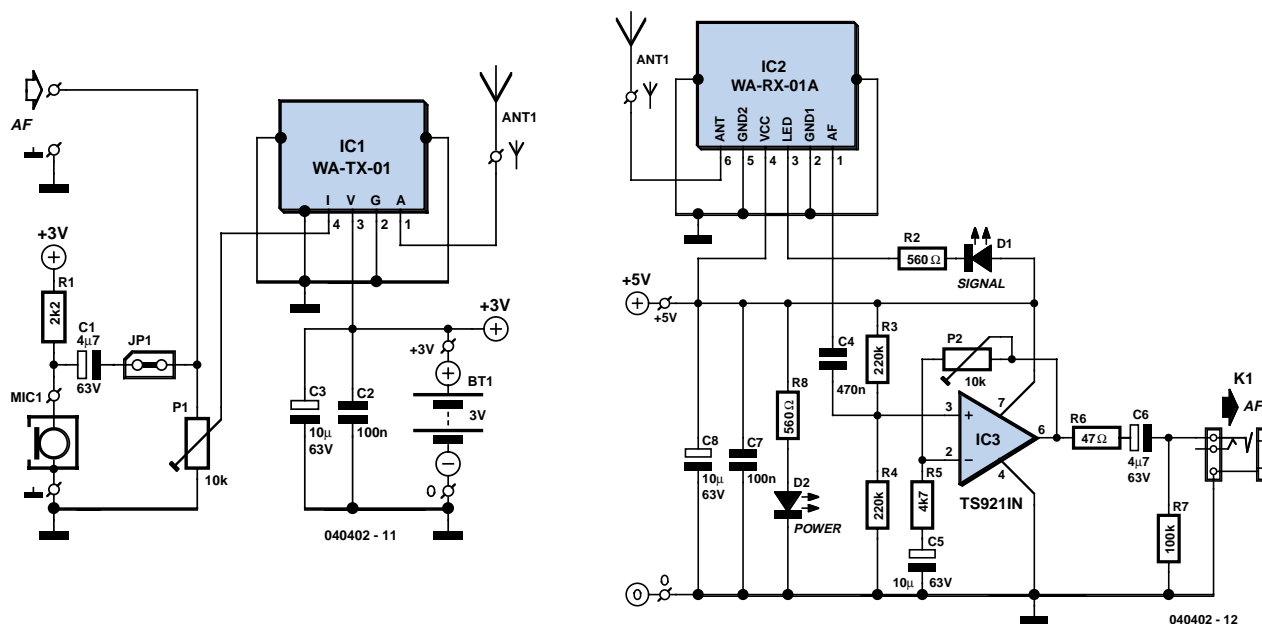


Figure 4 Une seule interface pour les modules radio.

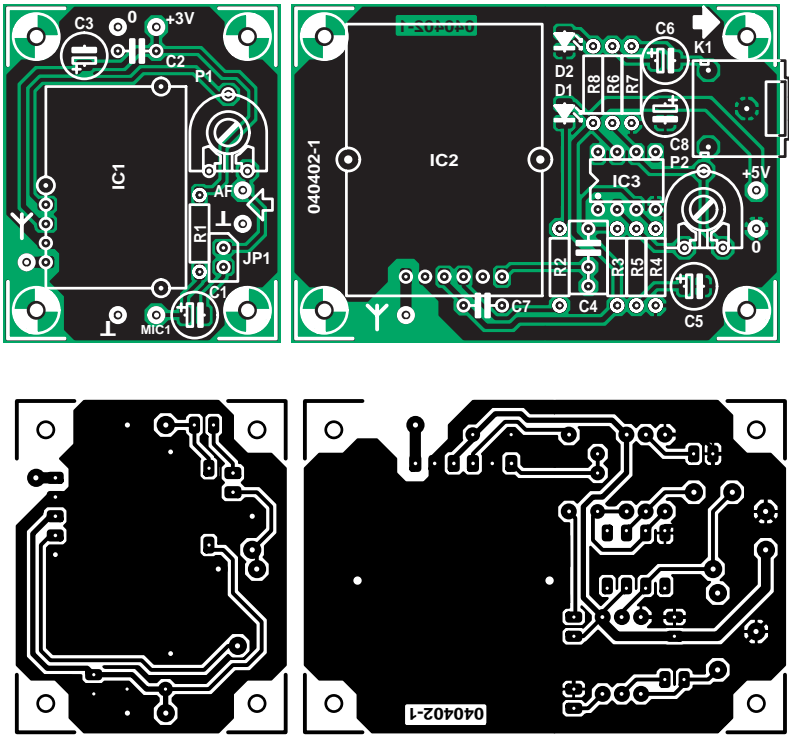


Figure 5 Deux cartes pour une liaison radio.

Liste des composants

Résistances :

R1 = 2k Ω
 R2, R8 = 560 Ω *
 R3, R4 = 220 k Ω
 R5 = 4k Ω
 R6 = 47 Ω
 R7 = 100 k Ω
 P1, P2 = ajustable 10 k Ω

Condensateurs :

C1, C6 = 4 μ F 763 V radial
 C2, C7 = 100 nF

C3, C5, C8 = 10 μ F / 63 V radial
 C4 = 470 nF

Semi-conducteurs :

D1 = LED 3 mm faible courant verte
 D2 = LED 3 mm faible courant rouge
 IC1 = WA-TX-01 (Circuit Design)
 IC2 = WA-RX-01A (Circuit Design)
 IC3 = TS9211N
 (ou autre op amp rail-to-rail)

Divers :

JP1 = embase à 1 rangée de 2 contacts
 + cavalier (en équerre le cas échéant)
 K1 = jack 3,5 mm femelle encartable
 BT1 = porte-pile pour 2 cellules 1,5 V
 MIC1 = micro à électret*

qui peut être alimenté entre 2,7 et 12 V (presque comme le module). La tension d'alimentation indiquée ici vaut +5 V, mais elle pourrait aussi bien être de 3 V ou de 12 V ! Un autre ampli op (pas le type rail-à-rail) nécessite une tension d'alimentation de +5 V. De nombreux amplis op ne fonctionnent correctement qu'à partir d'une tension symétrique de ± 5 V. Ils ont donc besoin de 10 V asymétriques. Le courant de sortie élevé du TS921 confère à celui-ci un avantage supplémentaire, la possibilité d'attaquer un écouteur ou même 2 capsules de 32 (il faut alors remplacer C6 par 100 μ F / 10 V). La résistance de sortie de 47 Ω met l'ampli op à l'abri de la charge inductive due à un câble blindé, et aussi d'un court-circuit. Le potentiomètre (d'ajustage) P2 permet de varier l'amplification de 1 (P2 au minimum) à 10 dB (P2 au maximum de résistance). C6 découple la tension continue de la sortie dont R7 assurera toujours la charge minimale. L'alimentation de l'ampli op étant asymétrique, le condensateur C5 est nécessaire dans la contre-réaction. R3 et R4 assurent le réglage constant de l'ampli op à la moitié de la tension de fonctionnement. C7 et C8 découplent plus complètement la tension d'alimentation.

Si la tension de fonctionnement est plus élevée, augmenter suffisamment la valeur des résistances protectrices des LED à faible courant pour que leur courant ne dépasse pas 2 mA environ. La carte des modules radio et des quelques composants externes se compose de 2 parties (**figure 5**). Elle présente indubitablement une « esthétique audio ».

Posons les composants. Notons que seul le côté cuivre offre une place suffisante pour le module d'émission. Une douille de jack ordinaire de 3,5 mm sert de sortie audio.

Il ne manque plus que l'antenne. Un fil rigide de $1/4 \lambda$ (78 mm pour 860 MHz) suffit en principe. Des antennes professionnelles sont offertes sur le site Web de Circuit Design <http://www.circuit-design.de/>.

(040402-1)



Fréquence	863,125 ; 863,625 ; 864,500 ; 864,875 MHz
Canaux HF	1 (fixe)
Type de fréquence	F3E
Distance	50 m à vue
Rapport S/N	90 dB (avec filtre IHF-A)
Courbe de réponse audio	de 50 Hz à 15 kHz $\pm 3,5$ dB (niveau de sortie -50 dBV ± 3 dB)
THD	2 % (@AF 1 kHz, dév. = 15 kHz ou 7,5 kHz)
Accentuation	50 (s)
Température de fonctionnement	de 0 à 50 °C

Émetteur

Oscillateur	SAW basé sur un quartz
Puissance HF	2 mW
Stabilité de fréquence	± 10 kHz
Pré-accentuation	50 μ s
Limiteur de bruit	Compresseur
Rayonnement non essentiel	1 μ W max.
Excursion	15 kHz (1 kHz à -25 dBV)
Niveau d'entrée audio	de -115 à -15 dBV (1 kHz)
Impédance d'entrée audio	5 k Ω
Tension d'alimentation	de 3 à 9 V
Consommation max. du module	25 mA
Consommation mesurée	17 mA à 3 V

Récepteur

Récepteur	Superhétérodyne
Oscillateur du mélangeur	piloté par quartz
Fréquence intermédiaire	10,7 MHz
Limiteur de bruit	Extenseur
Sensibilité	21 dB(V (@THD 2 %)
Sensibilité du réglage silencieux	17 dB(V ± 4 dB)
Niveau de sortie audio (module)	-20 dBV (excursion 15 kHz) -10 dBV max. (excursion 30 kHz)

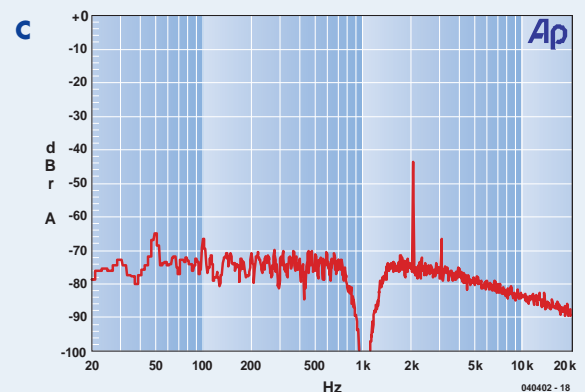
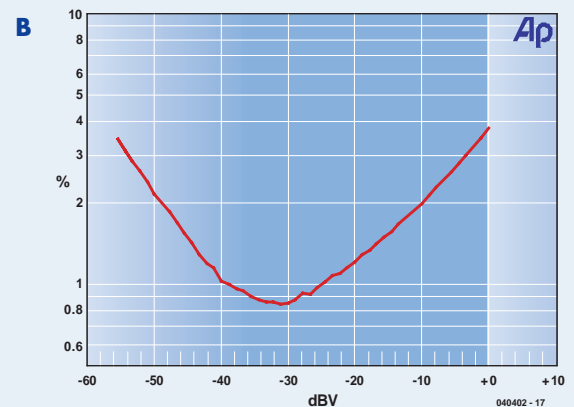
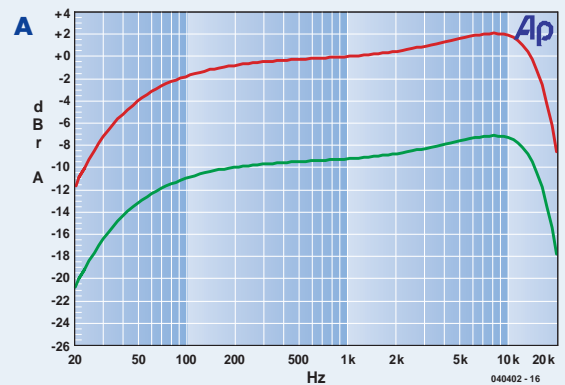
Impédance de la sortie audio (module)	10 k Ω
Tension d'alimentation	de 3 à 12 V
Consommation max. du module	30 mA
Consommation mesurée	32 mA à 3 V
(avec D2, R2, R3 = 560 Ω)	40 mA à 5 V 52 mA à 9 V

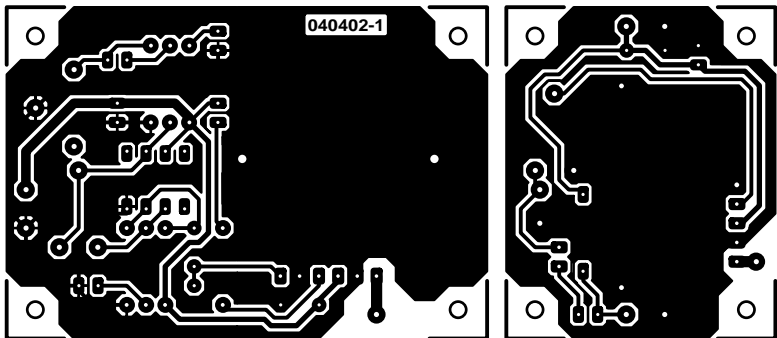
*0 dBV = 0,775 V

La **courbe A** représente la courbe de transmission du trajet hertzien complet, mesurée avec une amplification minimale (verte) et maximale (rouge). Le signal d'entrée de l'émetteur vaut -46 dBV (environ 5 mV). Le signal de sortie au maximum de l'amplification vaut -31 dBV. Le niveau de sortie du récepteur dépasse de 5 dB le signal d'entrée de l'émetteur. La bande passante d'un signal d'entrée plus intense est quelque peu limitée vers le haut, mais l'amplitude à 5,5 kHz dépasse jusqu'à 3 dB l'amplitude à 1 kHz.

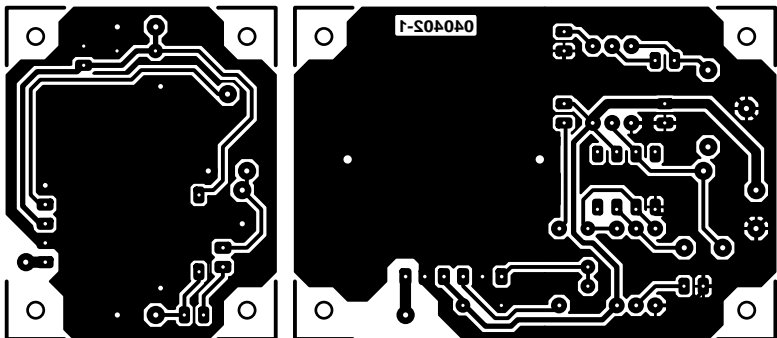
La **courbe B** indique la distorsion (bruit compris) mesurée à la sortie du récepteur pour une largeur de bande de 22 Hz à 22 kHz en cas de dépassement de la saturation. La valeur optimale du signal d'entrée semble être 5 mV (côté émetteur). Le signal d'entrée est amplifié de -70 dBV à -15 dBV. L'amplification du récepteur se trouve au maximum. Cela suffit largement pour les signaux vocaux.

La **courbe C** représente le spectre de fréquence quand le signal d'entrée vaut 5 mV (côté émetteur). La distorsion est due avant tout à la seconde harmonique. THD+N vaut 0,85 % (B = 22 Hz ... 22 kHz)





non reflected



reflected