

Fréquencemètre 2,9 GHz à microcontrôleur PIC

De nos jours, les réalisations à base microcontrôleur sont courantes. Réaliser un fréquencemètre n'est pas toujours facile si l'on veut conserver une excellente précision et un temps de mesure le plus court possible.

Certains fréquencemètres à microcontrôleur ont souvent une précision réelle qui ne dépasse pas 5 à 6 chiffres significatifs sur les gammes VHF/UHF (la correction du prédiviseur est obtenue par multiplication avant l'affichage). On demande aussi à un fréquencemètre de couvrir la plus large gamme de fréquences de quelques Hz et à plusieurs GHz. Le fréquencemètre que vous allez réaliser est spécialement destiné au laboratoire électronique hautes fréquences en trois gammes ; il couvre 10 Hz à 2,9 GHz avec une précision de 8 digits sur toutes les gammes et une sensibilité meilleure que 50 mV. Les trois gammes sont séparées en trois entrées :

- Une entrée BF haute impédance ($1\text{ M}\Omega // 25\text{ pF}$) de 10 Hz à 2 MHz ayant une sensibilité meilleure que 10 mV et 1Hz de résolution. Cette entrée se comporte comme celle d'un oscilloscope et l'on peut y connecter une sonde $1/10^e$ pour mesurer tout circuit sensible.
- Une entrée HF de 100 kHz à 60 MHz sous $50\ \Omega$ d'impédance d'entrée et mieux que -20 dBm de sensibilité avec 1 Hz de résolution.
- Une entrée VHF/UHF de 50 MHz à 2,9 GHz sous $50\ \Omega$ et -20 dBm de sensibilité. La résolution est de 100 Hz en UHF et 10 Hz en VHF.

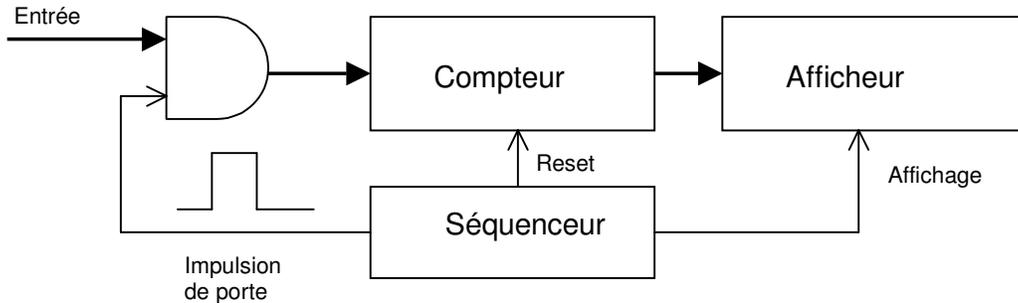
Un niveau de -20 dBm sous $50\ \Omega$ correspond à 22 mV environ et 0 dBm à 1 mW sous $50\ \Omega$, soit 223 mV environ.

Les deux dernières entrées sont destinées à des mesures radio sur des oscillateurs synthétiseurs de fréquence. Plus on monte en fréquence, plus la résolution de l'affichage est importante. Ce fréquencemètre offre 8 chiffres à l'affichage, mais la précision dépend surtout du quartz du fréquencemètre à qui on doit précision et stabilité. Ce fréquencemètre possède deux atouts supplémentaires :

- Un réglage facile du quartz par comparaison d'un signal vidéo TV.
- Une entrée de référence externe à 4 MHz pour être connectée au récepteur de fréquence d'étalon sur «France Inter » (MHz n° 173 et n° 174).

Principe de comptage :

Un fréquencemètre reste toujours un compteur qui prend en compte un certain nombre d'impulsions pendant une unité de temps gérée par une base de temps précise.



Le synoptique ci-dessus illustre le principe. Une porte ET valide l'entrée du compteur sous une impulsion de durée fixe (par exemple : une seconde) qui provient d'un séquenceur. La précision de cette impulsion a une très grande importance pour obtenir la meilleure résolution. La taille du compteur en nombre de bits est fonction du nombre de chiffres (digits) que l'on veut afficher.

Dans notre fréquencemètre, la porte principale est une 74HC00, porte NON-ET (NAND). L'impulsion de comptage est délivrée par le microcontrôleur PIC ; la structure RISC (4 cycles d'horloges pour une instruction) permet d'obtenir une durée très précise par division du quartz. Le compteur de ce fréquencemètre est divisé en trois parties : un compteur externe (3 cellules de 74 HC393, 9 bits), le prescaler du timer (8 bits) et le timer interne (8 bits avec 1 bit de dépassement).

La profondeur de comptage est de 26 bits soit $2^{26} = 67108900$. Cela fait presque 8 chiffres de résolution ; le dernier chiffre affiché est obtenu par calcul numérique. En pratique, sur tout fréquencemètre, le dernier chiffre significatif est à prendre avec relativité (il cumule toutes les incertitudes du fréquencemètre : précision du quartz, retard du temps d'ouverture et fermeture de la porte).

Description du schéma :

Le cœur de ce fréquencemètre est bien sûr le microcontrôleur PIC qui gère le comptage, l'afficheur LCD, la lecture du mode sélectionné et l'entrée de mesure.

Pour économiser des entrées/sorties, l'afficheur LCD utilise 4 bits de données et deux signaux de contrôle. Les entrées de sélection (RB4 à RB7) sont traitées par interruption pour quitter la mesure en cours et passer plus rapidement dans le mode sélectionné.

A gauche du schéma, on distingue bien les 3 entrées du fréquencemètre et dans la partie droite, l'oscillateur 4 MHz de référence, le dispositif de comptage, le PIC et l'afficheur en bas.

L'entrée UHF est suivie d'un amplificateur large bande MAR6 pour augmenter la sensibilité du prédiviseur en-dessous de 200 MHz. Ce prédiviseur MC12079 de Motorola divise par 64 ou 128 selon l'état du transistor Q3 qui est commandé par l'interrupteur S2. En mode VHF pour les fréquences inférieures à 999 MHz, le prédiviseur divise par 64 pour un temps de mesure de 4 secondes. Au-delà du GHz et en mode UHF, le rapport de division est de 128 et le temps de mesure est de 1 seconde. Ce compromis permet d'allier précision et rapidité de mesure suivant le signal à mesurer. L'entrée HF est elle aussi amplifiée par un NE592 (U5) qui sert habituellement à amplifier des signaux vidéo. La sortie non utilisée est chargée par la résistance R7. Le signal est ensuite prédivisé par 2 avec une moitié de U6.

L'entrée BF s'apparente à une entrée d'oscilloscope haute impédance. Le transistor à effet de champ Q1 est monté en drain commun. Les diodes D2 et D3 protègent l'entrée contre les surtensions. Le transistor Q2 amplifie le signal vers la porte NAND U2D. Les signaux des trois entrées convergent vers le sélecteur de données U3 qui en fonction du mode choisi sélectionne l'entrée correspondante par combinaison des ports RA1 et RA0. L'emploi d'un circuit spécifique plutôt qu'un sélecteur mécanique évite la déformation du signal avant le comptage.

Le signal à compter arrive sur la porte NAND U2B qui est validée pendant une durée très précise générée par le PIC. La porte suivante U2A sert à déterminer la valeur du compteur externe U6B et U1. Cette porte est passante pendant le comptage et après, le PIC envoie des impulsions complémentaires jusqu'à ce que la sortie QD de U1A bascule. Ce principe de comptage par complément s'applique aussi au PIC lui-même pour déterminer la valeur du prédiviseur interne qui précède le compteur-timer interne. L'oscillateur de référence est un quartz de 4 MHz ajusté par la capacité CJ1. La précision de calage et la dérive en température du quartz sont primordiales pour la résolution de l'affichage. Avec un quartz bien calé à température ambiante, la précision est de 1 à 10 ppm, soit environ 4 à 40 Hz de précision absolue sur 4 MHz en mode BF. Pour obtenir plus de précision, on peut synchroniser le quartz par un signal de 4 MHz externe. Quand l'interrupteur S3 est fermé, la porte U2C est validée et amplifie le signal externe. A sa sortie, on retrouve un signal carré qui par la capacité C23 se retrouve à l'entrée de l'oscillateur à quartz du PIC. Ce mode de couplage synchronise le quartz pour autant qu'il soit déjà calé sur 4 MHz à mieux de 100 Hz près.

Le réglage du quartz reste la première difficulté une fois le fréquencemètre réalisé ! Si l'on dispose d'une fréquence de référence, on l'injectera par une des entrées du fréquencemètre puis on réglerà CJ1.

Encore faut-il disposer d'une fréquence de référence ! En cherchant bien, il en existe une que tout le monde possède : votre téléviseur ! La fréquence du signal vidéo est de 15625 Hz exactement, c'est aussi la fréquence de balayage horizontale. Quand la touche « reset » est maintenue pendant la mise sous tension, le PIC entre dans le mode calibration et génère un signal périodique de 15625 Hz sur le point de test TP1. Si le bouton reset est relâché, on retombe dans le fonctionnement normal. La méthode de réglage sera expliquée plus en détail à la fin de cet article. Le sélecteur de mode S1 est un inverseur à 3 positions (la position centrale est isolée). Chacune des positions correspond à une entrée (BHF/HF/UHF). L'interrupteur S2 n'est actif que dans le mode UHF : lorsqu'il est fermé, le rapport du prédiviseur est modifié à 64

et la résolution d'affichage passe de 100 Hz à 10 Hz pour toute fréquence inférieure à 999 MHz (mode VHF) et le temps de comptage passe à 4 secondes.

La diode D6 et le connecteur JP2 sont prévus pour une extension future avec un prédiviseur 10 GHz, par exemple.

L'alimentation de tout l'ensemble est régulée par un classique 7805 qui peut recevoir une tension d'entrée comprise entre 8 V et 16 V. Le montage ne consomme que 50 mA ; une alimentation secteur sera préférable à des piles. Un petit bloc secteur fera l'affaire pour alimenter le fréquencemètre dans les meilleures conditions de sécurité. Le contraste de l'afficheur est ajusté par RJ1. L'affichage est plus contrasté si le curseur de RJ1 est amené vers la masse.

Réalisation pratique :

La dernière version du PIC programmé et du circuit imprimé double face à trous métallisés est disponible sous forme de kit chez Cholet Composants. Vous pouvez aussi adresser une disquette avec les frais de retour à l'auteur pour obtenir le fichier hexadécimal du PIC. Je vous recommande aussi Dahm's Electronic chez qui l'on peut trouver des afficheurs rétro-éclairés de bonne qualité. Notez toutefois qu'il existe deux sortes d'afficheurs sur le marché : les LCD dits TN (Twisted Nematic) et les STN (Super Twisted Nematic) qui sont beaucoup plus contrastés mais deux à trois fois plus cher !

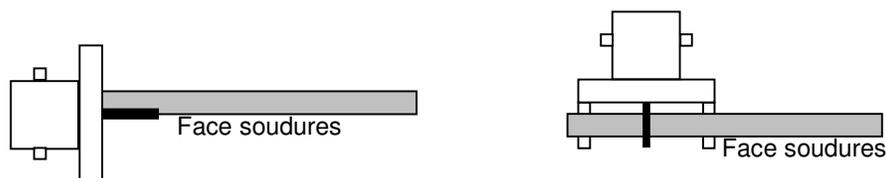
Si vous utilisez un afficheur rétro-éclairé, le régulateur devra être monté sur un petit radiateur. Un moyen plus astucieux consiste à alimenter le rétro-éclairage en amont du régulateur à travers une résistance série de 100 à 150 Ohms suivant l'intensité désirée. Pour cela il faut parfois désolder une résistance CMS sur le LCD qui assure la connection du +5V aux broches 15 et 16 du rétro-éclairage.

Les circuits logiques doivent être des 74HC, les 74LS ou 74HCT ne conviennent pas.

La mise en œuvre du prédiviseur 2,9 GHz étant assez critique, un montage en surface avec quelques condensateurs céramiques s'est avéré nécessaire. L'entrée du MAR6 est repérée par un point blanc. Vous remarquerez que les 4 connecteurs RF sont disposés sur le même côté du circuit imprimé. Cela laisse deux possibilités pour disposer les embases BNC :

- Disposé du côté soudure (du même côté que les CMS), le circuit imprimé peut être plaqué contre la face avant du boîtier.
- Soudée sur le flanc du circuit, la platine peut être disposée à plat dans le fond du boîtier.

On peut aussi y connecter des câbles mais il faudra prendre un maximum de précautions pour l'entrée UHF.



L'afficheur LCD est raccordé au moyen d'un câble en nappe d'une vingtaine de centimètres au maximum. La broche 1 de l'afficheur est dans le coin en haut à gauche. Les afficheurs rétro-éclairés ont deux broches supplémentaires pour le rétro-éclairage (broches 15 et 16). Les circuits intégrés sont montés sans support sauf pour le PIC (pour pouvoir le reprogrammer si nécessaire).

Le fichier du programme en hexadécimal est disponible auprès de l'auteur contre une disquette et une enveloppe pour le retour. Attention, les autres provenances du logiciel ne sont pas garanties par l'auteur. La version de programme est indiquée à la mise sous tension du fréquencemètre par le message « F5RCT VERSION1.2 », pour la version 1.2. Le PIC programmé est disponible chez Cholet Composants.

Le reste de la réalisation se passera de commentaires particuliers. Si vous soignez le montage, tout fonctionnera du premier coup !

Pour la mise en coffret, il est préférable de positionner l'afficheur en pupitre de manière à ce que l'angle de lecture soit incliné. La majorité des afficheurs LCD sont flous quand on les observe d'en haut.

L'entrée BF est très sensible. Si la nappe du LCD passe au dessus de l'entrée sans quelle soit connectée on risque de lire une fréquence parasite différente de zéro. Dans ce cas souder une petite tôle en U à la masse qui recouvrira la zone de l'entrée à Q2.

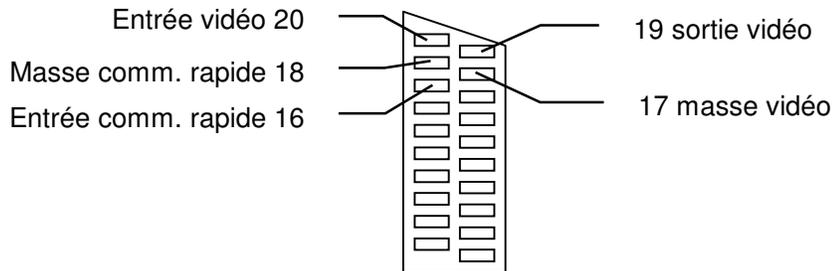
Réglages :

Avant de mettre sous tension, on vérifiera une dernière fois le montage et le câblage des interrupteurs.

- Réglez RJ1 vers la masse (contraste maximum).
- Appliquez l'alimentation, contrôlez le +5V en sortie du régulateur. Veillez à ce que S3 soit ouvert. L'afficheur doit indiquer des zéros kHz et BF, HF, VHF ou UHF suivant le mode sélectionné par S2. En mode UHF ou VHF, un affichage différent de zéro et instable peut être présent dans certains cas (le prédiviseur divise le bruit de sa propre entrée). Le régulateur chauffe un peu mais il n'y a pas lieu de s'en inquiéter (on peut le laisser en l'air ou bien le visser contre le boîtier). Le courant consommé est inférieur à 60 mA sous 12V (55 mA mesuré sur un prototype).
- Réglez le contraste à votre convenance par RJ1.
- Coupez l'alimentation et court-circuitez S4 avec une pince crocodile par exemple, puis remettez sous tension. Le LCD affiche « 15625Hz TP1 CAL. », un signal carré de 15625 Hz est présent sur le port RB0 via TP1. Deux possibilités de réglage se présentent si vous avez un oscilloscope ou pas :
 1. Synchronisez l'oscilloscope par le signal de TP1 (entrée Y2 ou synchro externe) et prélevez le signal vidéo composite sur la broche 20 et la broche 19 pour la masse (attention sur un câble péritel les fils sont croisés et à l'autre bout du câble se sont les 17 et 19). En observant la position du top de synchro, réglez CJ1 pour minimiser le défilement à gauche ou à droite (observez sur quelques secondes pour augmenter la précision). Je vous recommande d'effectuer cette opération sur une émission directe comme le journal télévisé et de comparer entre plusieurs chaînes. Les télévisions allemandes (ZDF et ARD) ont une excellente réputation pour la précision en

fréquence (tant mieux pour les frontaliers ou ceux qui sont équipés du satellite !).

2. Si vous ne possédez pas d'oscilloscope, reliez le signal de TP1 à la broche 16 et la broche 18 pour la masse. Le signal de TP1, appliqué à la broche de commutation rapide, va moduler l'image de la chaîne reçue en éteignant la moitié verticale de l'écran du téléviseur. Réglez CJ1 pour que la transition soit la plus stable en minimisant le défilement vers la droite ou la gauche et pensez à comparer entre plusieurs chaînes. Ce mode de réglage est astucieux et accessible par tous !



Brochage fiche PériTel au bout d'un câble



Lors du réglage avec votre téléviseur, une bande noire se décale vers la gauche ou la droite selon la dérive du quartz. Le but du réglage étant d'empêcher ce défilement.

Si vous n'arrivez pas à stabiliser la fréquence, il faut retoucher les capacités de charge C24 et C20 du quartz, ajoutez 10 pF de chaque côté et observez si le défilement est plus lent. Dans le cas contraire, déssoudez C20 et C24 et remplacez les par C20 = 33 pF et C24 = 18 pF. Cette procédure sera appliquée si la provenance du quartz n'est pas garantie en terme de capacité de charge.

Les essais :

Les performances mesurées sont excellentes en sensibilité. La réponse en fréquence de l'entrée BF est très plate. La fréquence de coupure haute dépend du transistor Q2 et de la charge R5. La sensibilité de l'entrée BF est liée au point de polarisation de Q2 qui doit se situer au plus près de 2.5V de tension collecteur. Si le point de fonctionnement de Q2 est trop bas, augmenter R19. L'entrée HF est volontairement limitée au niveau des fréquences basses par les capacités à l'entrée (C17 et C27), mais cela n'empêche pas de travailler à 10 kHz avec un peu plus de 200 mV (0 dBm). L'entrée UHF est liée à la réponse du prédiviseur et du MAR6 ; des essais ont montré que cette entrée admet jusqu'à 4 GHz si l'on respecte la coaxialité de l'entrée ! La consommation mesurée sur un prototype avoisine les 60 mA sous 12 V. Par comparaison avec le récepteur de fréquence étalon sur France Inter la dérive du quartz varie de -4 Hz à +4 Hz sur 4 MHz affichés, soit une précision de 1 ppm entre la mise sous tension et une heure de stabilisation en température.

F5RCT Jean-Matthieu STRICKER

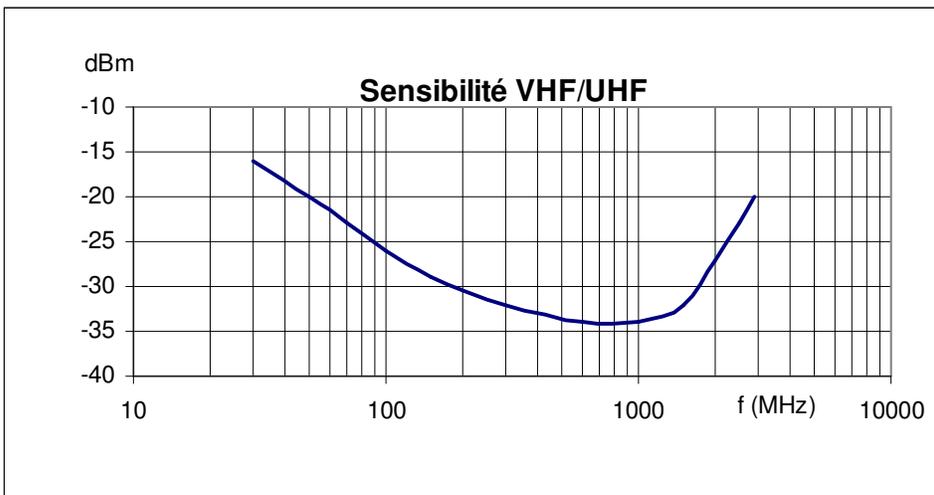
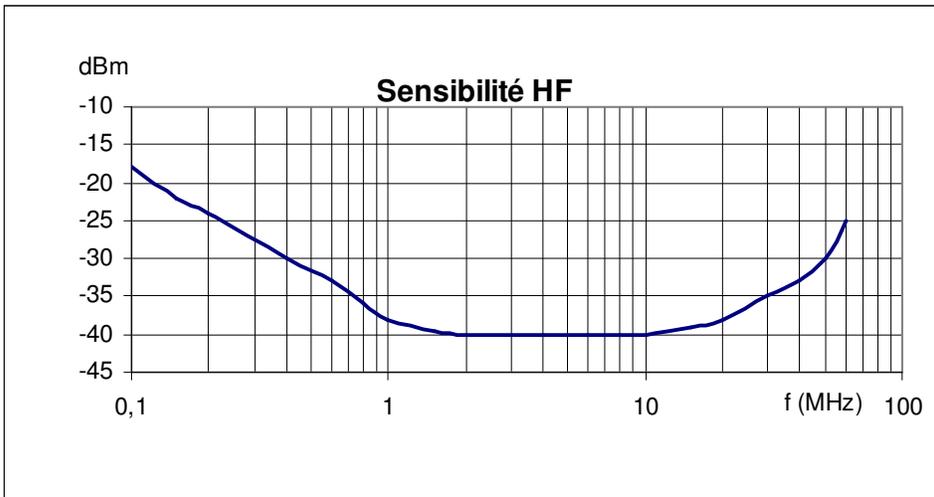
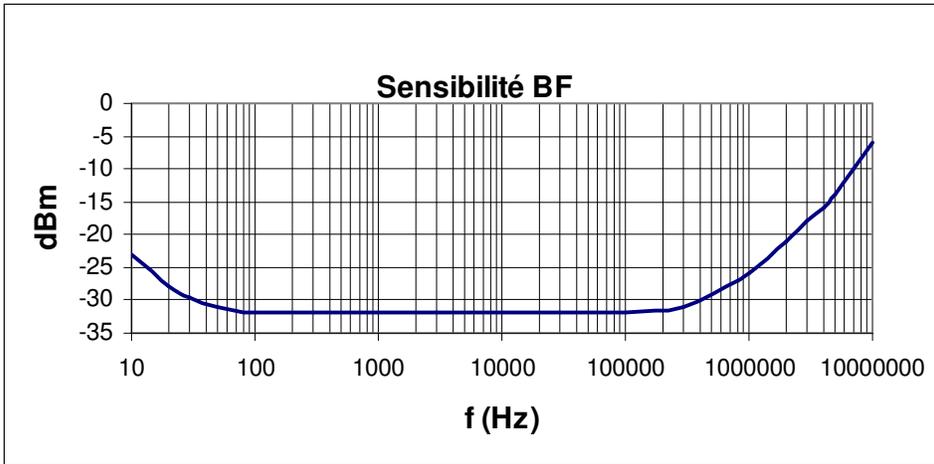
Références :

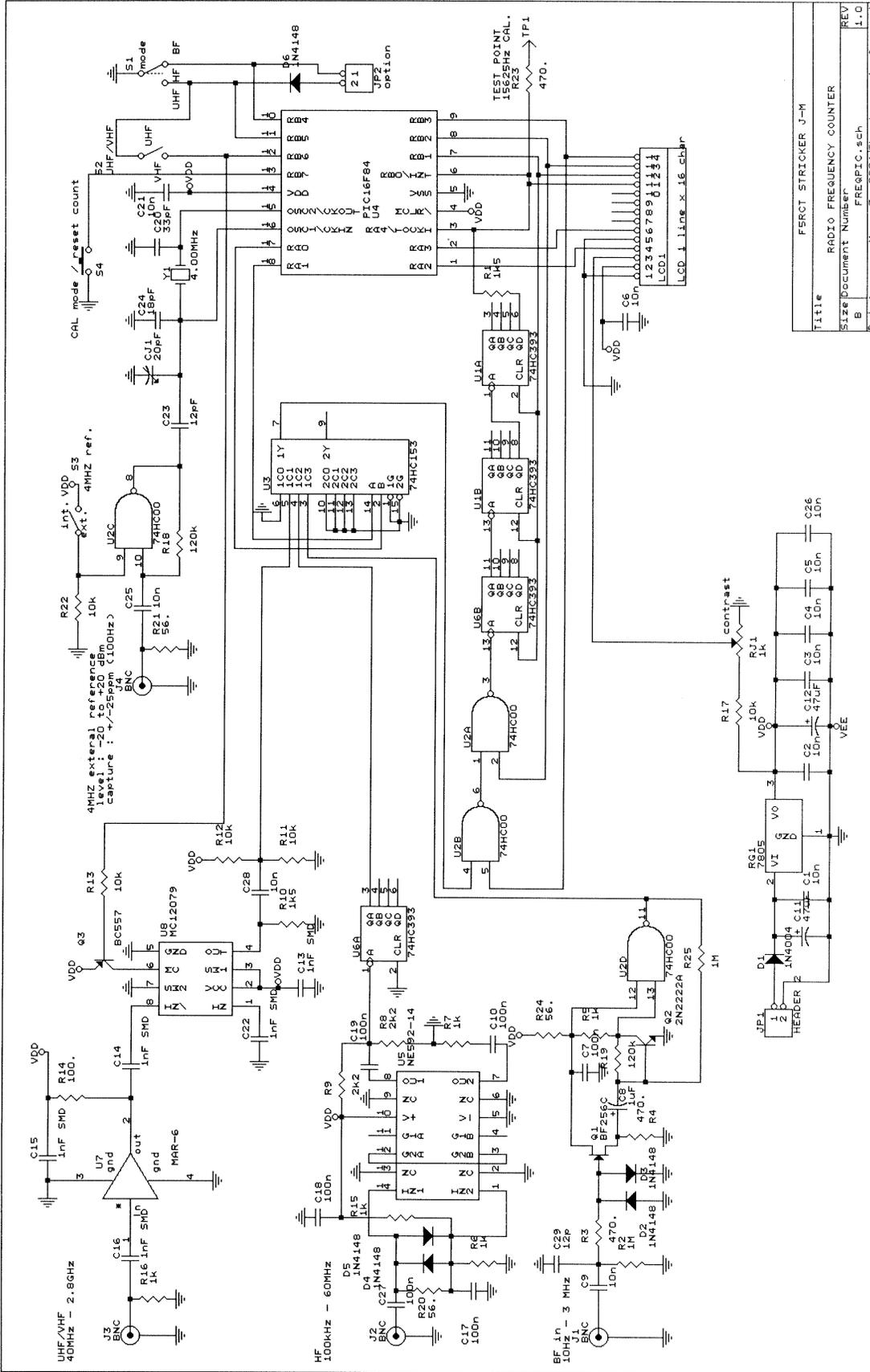
- Documents Microchip 16F84
- www.microchip.com
- Elektor 02/98
- EDN 03/98

Les bonnes adresses :

Cholet Composants Electroniques - 18 rue Richelieu - 24660 CHAMBIERS
Tél. : 05.53.05.43.94 - Fax : 05.53.35.41.46

DAHMS ELCTRONIC - 11 rue Ehrmann - 67000 Strasbourg
Tél. : 03.88.36.14.89 - Fax : 03.88.25.60.63



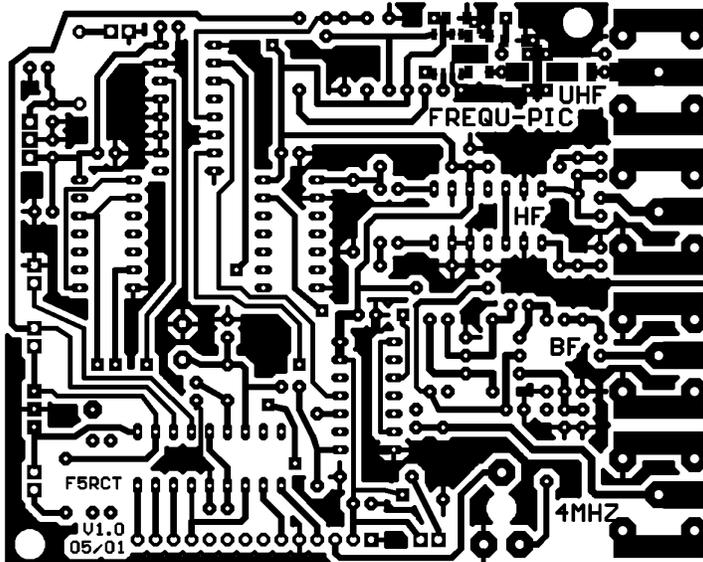


Title	FERRET STRICKER J-M
Size	RADIO FREQUENCY COUNTER
Document Number	FREQPIC.sch
REV	1.0
Date:	May 3, 2001 Sheet 1 of 1

Liste des composants :

Qté	référence	désignation
11	C1,C2,C3,C4,C5,C6,C9,C21 C25,C26,C28	10nF céramique
6	C7,C10,C17,C18,C19,C27	100nF céramique
1	C8	1 μ F 16Vmin électrochimique vertical
2	C11,C12	47 μ F 16V électrochimique vertical
5	C13,C14,C15,C16,C22	1nF CMS 1206 céramique X7R
1	C20	47pF céramique NP0 (ou 33pF voir texte)
2	C23,C29	12pF céramique NP0
1	C24	27pF céramique NP0 (ou 18pF voir texte)
1	CJ1	20pF ajustable 5.08 (Murata rouge)
1	D1	1N4004 ou équivalent
5	D2,D3,D4,D5,D6	1N4148
4	J1,J2,J3,J4	BNC à souder sur circuit imprimé
1	LCD1	afficheur LCD 1 ligne x 16 caractères
1	Q1	BF256C
1	Q2	2N2222A (ou 2N2369)
1	Q3	BC557 ou PNP
2	R1,R10	1,5 k Ω
2	R2,R25	1 M Ω
3	R3,R4,R23	470. Ω
5	R5,R6,R7,R15	1 k Ω
1	R16	1 k Ω CMS 1206
1	RJ1	1 k Ω ajustable horizontal
2	R8,R9	2,2 k Ω
5	R11,R12,R13,R17,R22	10 k Ω
1	R14	100. Ω
2	R18,R19	120 k Ω
3	R20,R21,R24	56. Ω
1	RG1	7805 régulateur boîtier TO 220
1	S1	inverseur 3 positions stables
1	S2	inverseur 2 positions stables
1	S3	inverseur 2 positions stables
1	S4	bouton poussoir
2	U1,U6	74HC393 exclusivement
1	U2	74HC00 exclusivement
1	U3	74HC153 exclusivement
1	U4	PIC16F84-04/P
1	U5	NE592-14
1	U7	MAR-6 (Minicircuits)
1	U8	MC12079 (Motorola)
1	Y1	quartz 4.00MHz
1	S(U4)	Support 18 broches

Circuit imprimé face soudures :



Circuit imprimé face composants :

