

Introduction

Depuis l'avènement des micro-processeurs, on trouve très facilement des quartz de diverses valeurs entre 2 et 22 MHz et de prix très modéré. On peut envisager de réaliser à l'aide de ceux-ci des filtres à quartz performants. Notre objet est de calculer de tels filtres, réalisés à l'aide de quartz identiques ; un programme Basic simple écrit pour C64 - mais facilement adaptable à d'autres machines - simplifie à l'extrême la détermination des composants et la prédiction des caractéristiques. La méthode de calcul des filtres dont tous les résonateurs sont à la même fréquence est due à Dishal (1,2). G3JIR l'a adaptée aux besoins des radioamateurs (3).

Détermination des paramètres des quartz

Avant de pouvoir calculer un filtre, il importe de connaître en détail les caractéristiques des quartz. En effet, la fréquence généralement marquée sur le boîtier n'est pas une indication suffisante. La figure 1 donne le schéma équivalent d'un quartz. On y retrouve les éléments des circuits oscillants, soit une self L_s dont la valeur est inhabituellement élevée, de l'ordre de 1 H pour un quartz de 10 MHz, une capacité série C_s , elle, très petite, 20 fF pour le même quartz 10 MHz (1 femtoFarad = 0,001 pF), une capacité parallèle C_p , qui représente la capacité des électrodes et du boîtier (une dizaine de pF est un bon ordre de grandeur) et enfin une résistance série R_s qui représente les pertes du quartz, sa valeur est faible, quelques dizaines d'ohms, correspondant à un coefficient de qualité Q d'environ 100 000 pour un quartz de bonne qualité. A cette configuration correspondent deux résonances : une résonance série, et, à une fréquence légèrement supérieure, une résonance parallèle.

Pour le calcul des filtres, nous aurons besoin de trois de ces paramètres : les fréquences de résonance série (F_s), parallèle (F_p) et la capacité série (C_s). Un petit montage de mesure est nécessaire pour les déterminer, c'est celui de la figure 2. Le choix des valeurs des résistances résulte d'un bon compromis entre un minimum de pertes d'insertion et l'influence des capacités parasites. A noter que la valeur idéale des résistances de 220 ohms est celle de l'impédance du filtre à réaliser, évidemment imprévisible à ce stade de la conception. Les valeurs indiquées ont toutefois donné satisfaction pour tous les essais effectués. La capacité des con-

CALCUL ET REALISATION DES FILTRES A QUARTZ EN ECHELLE

Par F6HYE, Patrick Magnin
et F3BB, Bernard Borcard

densateurs C_1 et C_2 , qui vont permettre de déplacer la fréquence de résonance série du quartz doit être connue avec une bonne précision (l'idéal serait de faire la mesure à l'aide d'un capacimètre).

Le montage doit être soigné et les connexions courtes. Un blindage entre entrée et sortie peut éventuellement faciliter la recherche de F_p . La mesure nécessite un générateur HF assez stable, un fréquencemètre et un oscilloscope ou autre moyen d'évaluer l'amplitude du signal reçu.

La procédure de mesure est la suivante :

- commutateur S1 en position 3, la fréquence à laquelle le signal reçu est maximum correspond à la fréquence de résonance série (F_{s3} ou F_s) du quartz seul. Quelques hertz plus haut, on trouve, pour le minimum de signal reçu, la fréquence de résonance parallèle du quartz (F_p) ;
- commutateur S1 en position 2, on mesurera une nouvelle fréquence de résonance série (F_{s2}), en recherchant un nouveau maximum du signal transmis ;
- de la même façon, on mesurera F_{s1} pour la position 1 du commutateur S1. On a : $F_p > F_{s1} > F_{s2} > F_{s3}$. On peut maintenant calculer la capacité série du quartz à l'aide de la formule suivante :

$$C_s = \frac{2(C_2 - C_1)(F_{s1} - F_{s3})(F_{s2} - F_{s3})}{F_{s3}(F_{s1} - F_{s2})}$$

Le court programme "CSXTAL" (cf annexe 1) permet de simplifier ce calcul et donne directement C_s en fF en réponse aux entrées des différentes fréquences en mégahertz. Pour le montage réalisé, $C_1 = 9,7$ pF, $C_2 = 27$ pF.

Caractéristiques des filtres Réponse en fréquence

Les filtres que l'on réalise avec des quartz sont des filtres passe-bande. En général, les caractéristiques des filtres passe-bande sont dérivées de celles des filtres passe-bas. Pour simplifier, on

FIGURE 1
SCHEMA EQUIVALENT D'UN QUARTZ

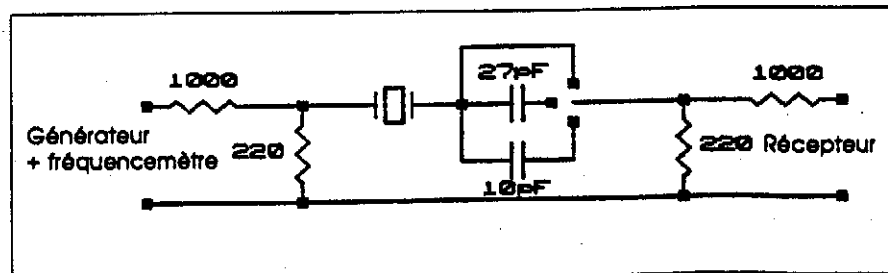
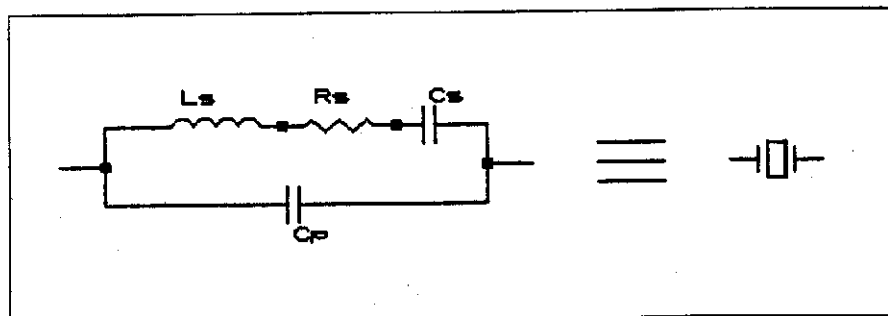


FIGURE 2
MONTAGE A REALISER POUR LA DETERMINATION EXPERIMENTALE
DES PARAMETRES DES QUARTZ

ANNEXE 1

```

10 REM CALCUL DE LA CAPACITE SERIE
20 REM D'UN QUARTZ (CS) CONNAISSANT
30 REM FS1, FS2 ET FS3.
40 REM F6HYE 16 04 85
50 REM
60 INPUT "FS1 (MHZ) "; F1: F1=F1*1E6
70 INPUT "FS2 (MHZ) "; F2: F2=F2*1E6
80 INPUT "FS3 (MHZ) "; F3: F3=F3*1E6
90 C1=9.7E-12: REM VALEUR DE C1 MESUREE
100 C2=2.7E-11: REM VALEUR DE C2 MESUREE
110 CS=2*(C2-C1)*(F1-F3)*(F2-F3)/F3/(F1-F2)
220 PRINT: PRINT "CS = "; CS*1E15; "FEMTOFARADS"
230 PRINT "AUTRE VALEUR (O/N) ?"
240 GETR$: IFR$="" THEN 240
250 IFR$="O" THEN 60
260 IFR$(">") THEN 240
270 END

```

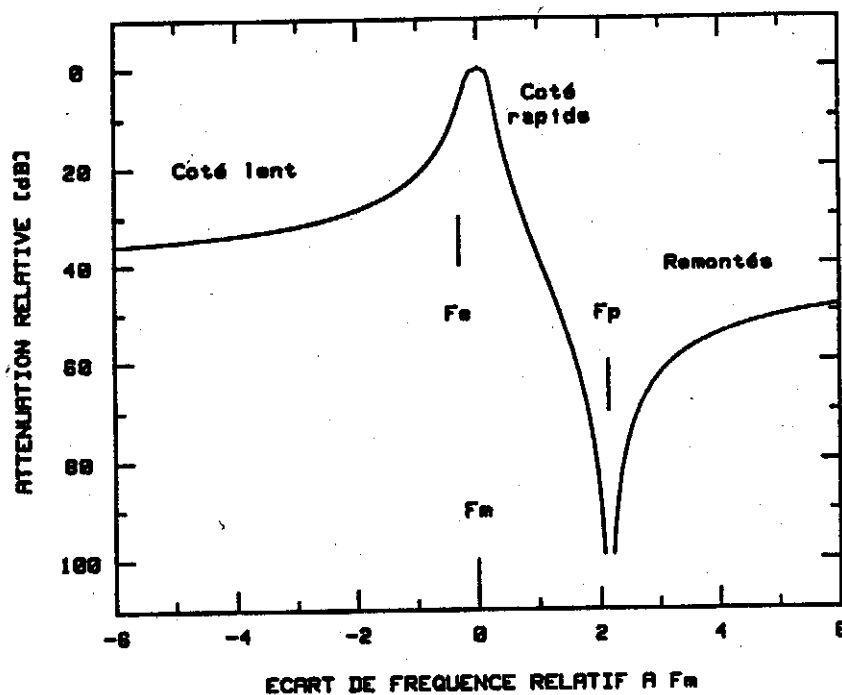


FIGURE 3
ALLURE GENERALE DES FONCTIONS DE TRANSFERT DES FILTRES
A QUARTZ EN ECHELLE

peut dire que l'on reporte de part et d'autre de la fréquence d'accord, un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est égale à la moitié de la bande passante souhaitée. En première approximation, et pour des bandes passantes étroites, de tels filtres ont une réponse symétrique par rapport à la fréquence centrale. Il en va différemment ici ; en effet, comme tous les quartz utilisés sont identiques, ils ont tous la même fréquence de résonance parallèle ; dans une configuration où

ils sont branchés en série (cf. figure 7), il y aura, à cette fréquence, une transmission nulle. Autrement dit, la symétrie n'existe plus et la forme des courbes de réponse de tels filtres est donnée en figure 3.

D'un point de vue pratique, on y distingue trois zones délimitées par la fréquence centrale F_m (0 sur la figure) et la fréquence de résonance parallèle F_p . Pour des fréquences inférieures à F_m , l'atténuation varie lentement de zéro jusqu'à une valeur finie, que l'on ap-

pelle « l'ultime atténuation » du filtre (environ 40 dB sur la figure). La fréquence de résonance série des quartz se trouve dans cette zone. A noter une particularité, pour un nombre de pôles donné (égal au nombre de quartz ou résonateurs), la fréquence de résonance série est une charnière ; pour toutes les bandes passantes, les filtres ont la même atténuation à la fréquence F_s (8 dB pour les deux pôles de la figure). Pour des fréquences supérieures à F_m , l'atténuation augmente très vite jusqu'à F_p où la réjection est totale, puis l'atténuation remonte jusqu'à l'asymptote déjà rencontrée aux basses fréquences.

Cette allure particulière s'applique aux filtres décrits ici, où les quartz sont en série dans les branches. Sa structure duale, où les quartz sont en parallèle dans les branches, présente une courbe de réponse symétrique de celle-ci par rapport à F_m , où F_s joue le rôle de F_p et réciproquement. Il faut encore remarquer que la dissymétrie et en particulier la pente raide du côté de F_p en font des filtres idéaux pour la génération de signaux à bande latérale inférieure. La porteuse est fortement atténuée, elle peut l'être encore davantage en rapprochant F_p de F_m à l'aide de capacités additionnelles en parallèle sur les résonateurs qui changent la valeur de F_p (3), ceci au détriment de la pente du côté lent.

Choix d'un filtre

La méthode classique qui consiste à choisir le filtre passe-bas répondant aux conditions fixées (atténuation dans la bande atténuée, ondulation dans la bande transmise, retard de groupe, réponse impulsionnelle...) et à le transformer en passe bande n'est pas applicable ici à cause de la dissymétrie. La figure 4 donne une idée de la différence entre un filtre classique (ici Butterworth 8 pôles) et le même filtre réalisé à l'aide de quartz par la méthode décrite ici. Du côté des fréquences élevées, le filtre à quartz descend plus vite que le filtre classique (il ne faut pas oublier que lorsque la résonance parallèle des quartz est passée, l'atténuation remonte vers l'ultime réjection, mais qui, dans ce cas (8 pôles) est très élevée). Pour des fréquences inférieures à F_m , le filtre réel descend moins vite que le filtre classique (par exemple, sur la figure pour -1 en unités de fréquence, le filtre réel atténue de 55 dB et le filtre standard de 87 dB).

La figure 4 suggère également que la largeur du filtre à quartz pour une atténuation hors bande donnée est plus

grande que celle du filtre standard (à 60 dB, 1.37 pour le filtre standard, contre 1.7 pour le filtre à quartz, les facteurs de forme classique correspondant A(60 dB)/A(36 dB) sont 2.17 et 2.7).

La procédure à suivre pour choisir le filtre convenable sera donc la suivante. A l'aide des figures 5 et 6, choisir le nombre de pôles minimum correspondant aux exigences données. La figure 5 correspond à des réponses standard de Butterworth (sans ondulation dans la bande transmise), et les figures 6a, 6b et 6c à des Chebyshev pour des ondulations dans la bande passante de respectivement 0.5, 1 et 3 dB. Pour les applications amateur, les réponses Chebyshev sont en général les plus appropriées, elles donnent des flancs raides et les caractéristiques de réponse temporelle sont satisfaisantes pour la BLU et la CW jusqu'à 400 Hz de bande passante environ.

Pour des filtres CW très étroits, il faut utiliser des réponses particulières dont la réponse impulsionnelle ne présente pas de dépassements (4) pour éviter que le filtre ne « sonne », mais ceci sort du cadre de cet article. Les caractéristiques des quartz étant connus, le programme « XTAL64 » (annexe 2) donnera la réponse en fréquence réelle pour le nombre de pôles et le type de réponse choisis. Là où les résultats satisfont encore les exigences et la solution est retenue, ou ils ne sont plus convenables et il faut recommencer, soit en augmentant le nombre de pôles, soit en augmentant l'ondulation.

Calcul des composants

La figure 7 donne les schémas des filtres selon le nombre de pôles choisis ; on peut remarquer qu'ils sont symétriques par rapport au centre ; chaque extrémité peut indifféremment servir d'entrée ou de sortie. Pour que la démarche à suivre soit bien claire, nous allons suivre pas à pas la procédure pour un des filtres que nous avons réalisés.

Nous disposons de quartz 4 MHz et nous avons décidé de construire un filtre à réponse de Chebyshev, ondulation 1 dB (dans la bande passante), à 6 pôles (nous ne disposons que de 6 quartz !). Avec le montage de la figure 2, nous avons relevé les valeurs suivantes pour un quartz :

$$F_{s1} = 4.00082 \text{ MHz}$$

$$F_{s2} = 4.00011 \text{ MHz}$$

$$F_{s3} = 3.99940 \text{ MHz}$$

$$F_p = 4.00678 \text{ MHz}$$

Ces valeurs portées dans le programme CSXTAL ont donné comme valeur de Cs : Cs = 12.28 fF

Pour les 6 quartz utilisés, nous avons relevé comme valeurs moyennes : $F_s = 3.9994 \text{ MHz}$, $F_p = 4.00642 \text{ MHz}$ et $C_s = 12.13 \text{ fF}$.

Il suffit maintenant de lancer le programme XTAL64 et d'entrer ces valeurs au moment opportun puis l'ondulation souhaitée : 1 dB et enfin la bande passante désirée : 2.4 kHz. Le programme calcule les coefficients de couplage et de dissipation de Sishal,

puis la bande passante maximum réalisable avec les quartz proposés, ici 3.98 kHz (cette valeur est toujours plus petite que $F_p - F_s$ (7.02 kHz)). Si le filtre est réalisable, le programme donne la fréquence centrale du filtre (4.0009 MHz) et établit un tableau dans lequel sont consignées les valeurs des fréquences (différence avec F_m) pour lesquelles on a un affaiblissement donné (pas de 5 dB), soit une valeur à gauche et un

FIGURE 4
COMPARAISON ENTRE FILTRE BUTTERWORTH (8 POLES) A RESONATEURS PARFAITS (en pointillés) ET LE MEME FILTRE REALISE A L'AIDE DE QUARTZ

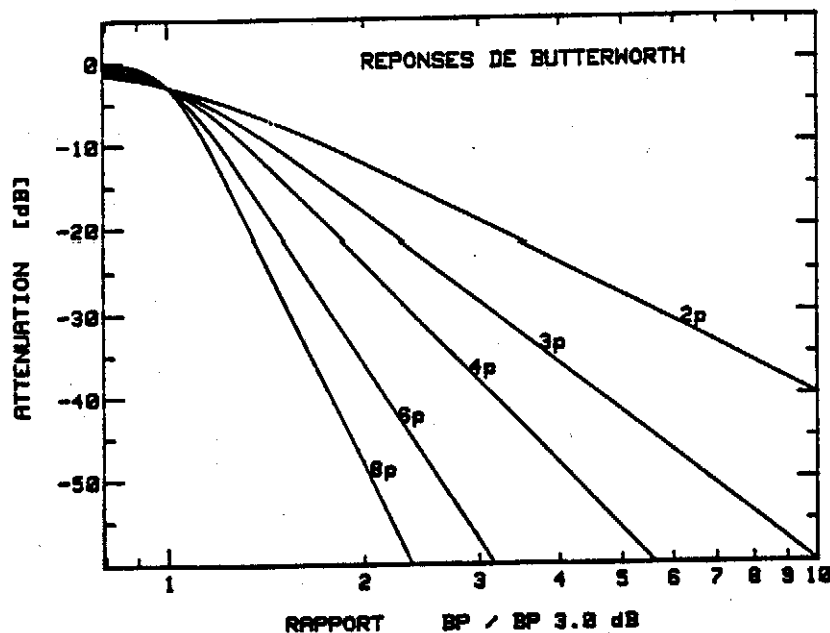
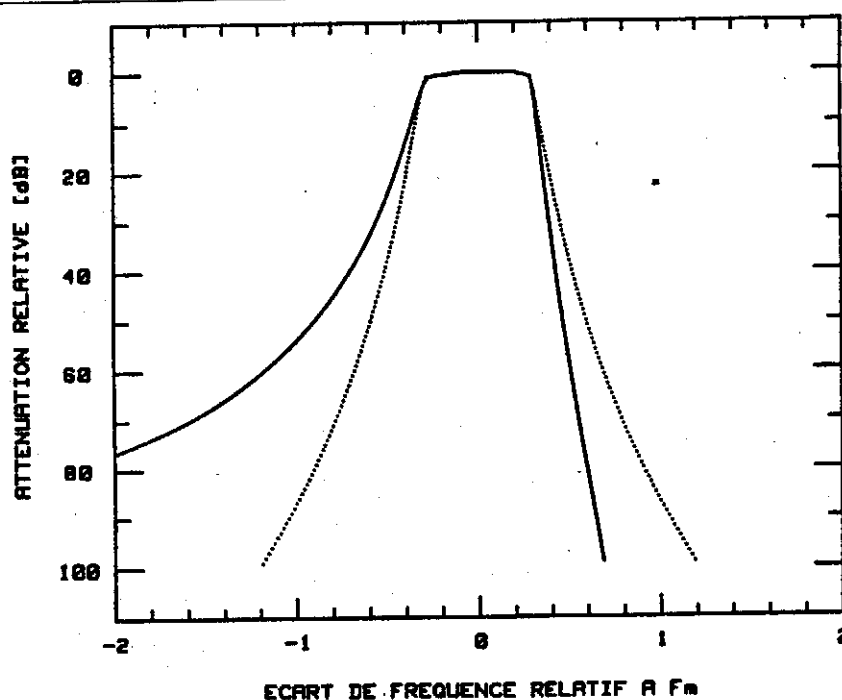


FIGURE 5
RESEAU DES REPONSES DE BUTTERWORTH



```

16 REM PROGRAMME DE CALCUL DES FILTRES
20 REM      A QUARTZ EN ECHELLE
30 REM      FSHYE V1.1 11 83 85
40 REM
50 DIM(7),CP(7),CS(7)
70 INPUT"MFREQ. DE RES. SERIE (MHZ) " :FSIFS=FS+1E6
90 INPUT"FREQ. DE RES. PARAL.(MHZ) " :FP:FP=FP+1E6
110 INPUT"VALEUR DE CS (FEMTOFARAD) " :CS:CS=CS+1E-15
130 PRINT"MODULATION DANS LA BANDE TRANSMISE (DB)"
132 INPUT"0(R(3.0 POUR REPONSE DE BUTTERWORTH " :RP
140 IFRP=0ORRP=3THEN130
150 INPUT"NOMBRE DE POLES (2,3,4,6 OU 8) " :NP:NP=INT(NP)
170 IFNP=2ORNP=3ORNP=4ORNP=6ORNP=8THENGOTO180
180 GOTO150
190 REM
220 IFRP=0THEN280
230 FORC=1TONP-1
240 K(C)=SQR(1/(4+SIN((2+C-1)*PI/2/NP)*SIN((2+C+1)*PI/2/NP)))
250 NEXTC
260 D=1/(2*SIN(PI/(2*NP)))
270 GOTO370
280 E=1/SQR(10*(1+RP)-1)
290 S=LOG(E+SQR(E*2+1))/NP
300 S=(EXP(S)-EXP(-S))/2
310 W=LOG(E+SQR(E*2-1))/NP
320 W=(EXP(W)+EXP(-W))/2
330 D=S/(2*SIN(PI/(2*NP))*W)
340 FORC=1TONP-1
350 K(C)=SQR((S*2+SIN(C*PI/NP)*2)/(4+SIN((2+C-1)*PI/2/NP)*SIN((2+C+1)*PI/2/NP)))/W
360 NEXTC
370 K=0
380 IFNP=2THENK=K(1)
390 K=K+K(1)+K(2)
400 T=FP-FS
410 BX=TA(K-SQR(K*K-1))
420 PRINT"BANDE PASSANTE DESIREE EN KHZ"
430 PRINT"VALEUR MAXI" :BX/1000:"KHZ " :INPUTBW:BW=1000*BW
450 IFBW=BXTHENGOTO480
460 PRINT"REPONSE INCORRECTED" :GOTO480
480 FM=FS+(T-SQR(T*2-(2*BW*BW-T*BW*2)))/2
490 PRINT"FREQUENCE CENTRALE " :FM/1E6:" MHZ"
500 B2=BW*2 :BP=(FP-FM)/B2
520 REM
530 IFRP=0THENGOTO570
540 FORATT=5TO100STEPS
550 FO=(1/10*(1-ATT/10)-1)*(1/2/NP)
560 GOTO610
570 FORATT=5TO100STEPS
580 FO=SQR((10*(ATT/10)-1)/(10*(RP/10)-1))
590 FO=LOG(FO+SQR(FO*2-1))/NP
600 FO=(EXP(FO)+EXP(-FO))/2/W
610 FT=B2*(FO+BR-1)/(FO+BR)
620 IFFT=0THENNG=FT/1000:IFFT=0THENNI=0
640 IFFT=0THENNI=FT/1000:IFFT=0THENNG=0
650 NZ=SE=(FO+BR-1)/(FO+BR)/1000
660 NI=INT(NI*100+.5)/100:NZ=INT(NZ*100+.5)/100
670 NI=0:IFFT=0THENNI=(NI-NI)
672 FRNG1=100SUS2000:INIS=FRNG
674 FRNG2=100SUS2000:INIS=FRNG
676 FRNG3=100SUS2000:INIS=FRNG
678 FRNG4=100SUS2000:INIS=FRNG
679 ATTS=STR$(ATT):IFATT=0THENATTS=" " :ATTS
680 IFATT=100THENATTS=" " :ATTS
682 PRINTATTS:INIS:INIS:INIS:INIS
700 NEXTATT
710 IFRP=0THEN740
720 UA=10*LOG(1+BR*2*(2*NP))/LOG(10)
730 GOTO770
740 VE=10*(RP/10)-1
750 UA=LOG(BRW-SQR((BR*W)*2)))/NP
760 UA=10*LOG(VE*(EXP(UA)+EXP(-UA))/2+1)/LOG(10)
770 UA=INT(10*UA+.5)/10:PRINT"ASYMPTOTE HORIZONTALE " :UA:" DB"
780 PRINT"VOULEZ VOUS RECOMMENCER AVEC LES MEMES QUARTZ (O/N) "
790 GETRS:IFRS=" "THEN790
800 IFRS="C"THEN130
810 IFRS="N"THEN790
820 REM CALCUL DES COMPOSANTS DU FILTRE
830 P=(FP-FM)/BW
840 XO=1/2*(FS/CS(1)-R/R*12)
850 Z1=DS(ND=BX(1)-R*(1-2))/FM)
860 PRINT"RESULTATS DU CALCUL 1" :PRINT"MODULATION 1" :RP
870 PRINT"NB DE POLES " :NP:PRINT"F. CENTRALE " :FM:" MHZ"
880 PRINT"IMPEDANCE 1 " :INT(10*Z1+.5)/10:" OHMS"
890 PRINT"CAPACITES EN PF 1 " :PRINT
900 IN=NP/2-1 :IFNP=2ORNP=3ORNP=4THENIN=1
910 FORI=1TOIN
920 CP(I)=1.0E12*D/E*/FM/Z1/K(1)
930 CS(I)=CP*STR$(I)+" "
940 PRINTCP:INT(CP(I)*10+.5)/10
950 NEXTI
960 CS(1)=CP(1):PRINT
970 IFNP=3THENC(1)=CP(2)
972 IFNP=4THENC(2)=1/(1/CP(1))-1/CP(3)
980 IFNP=6THENC(3)=1/(1/CP(1))+1/CP(2)-1/CP(3)-1/CP(4)
990 IFNP=8-1 :IFNP=2ORNP=3ORNP=4THENIN=1
1000 FORI=1TOIN
1020 CS(I)=CP*STR$(I)+" "
1030 PRINTCS:INT(CS(I)*10+.5)/10
1040 NEXTI
1050 END
2000 FRNG=STR$(FRN):IFFRN=INT(FRN)THENFRNG=FRNG+"."
2002 IFFRN=1:IFB2=INT(BT)THENFRNG=FRNG+"0":IFFRN=8THENFRNG="
2004 FRNG=0THENFRNG=FRNG+" "
2010 IFB2=FRN(1):THENFRNG=" " :FRNG=RETURN
2020 IFB2=FRN(10):THENFRNG=" " :FRNG=RETURN
2030 IFB2=FRN(100):THENFRNG=" " :FRNG=RETURN
2040 IFB2=FRN(1000):THENFRNG=" " :FRNG=RETURN
2050 RETURN

```

◀ ANNEXE 2

ou deux à droite (deux, si le retour vers l'ultime atténuation comporte cette valeur), ainsi que la largeur de la bande transmise pour cette atténuation si celle-ci est supérieure à l'ultime atténuation (voir tableau 1).

Le programme demande alors s'il faut changer quelques paramètres pour obtenir les spécifications ; dans ce cas, on retourne à la question concernant l'ondulation du filtre. Nous admettrons que les spécifications sont atteintes et, en poursuivant le déroulement du programme, les valeurs des éléments sont calculées ; on trouve :

Cp1 = 18.6 pF

$$C_{p2} = 22.2 \text{ pF}$$
$$C_{p3} = 22.7 \text{ pF}$$
$$C_{s1} = 22.2 \text{ pF}$$
$$C_{s2} = 104.2 \text{ pF}$$

Il ne reste plus alors qu'à passer à la fabrication du filtre. Les condensateurs seront des céramiques tol. 10 % (ou mieux !); il en faut en général deux pour réaliser une valeur (même si dans l'exemple précédant un seul suffit pour toutes C_{p1} 18 pF, C_{p2} , C_{p3} et C_{s1} 22 pF et 100 pF pour C_{s2}). Le schéma

TABLEAU 1
ECARTS DE FREQUENCE PAR RAPPORT
A LA FREQUENCE CENTRALE DU FILTRE
CALCULE, POUR DIVERSES ATTENUA-
TIONS (dB, kHz)

1^{er} col. : atténuation

2° col. : côté lent du filtre
(si la valeur existe)

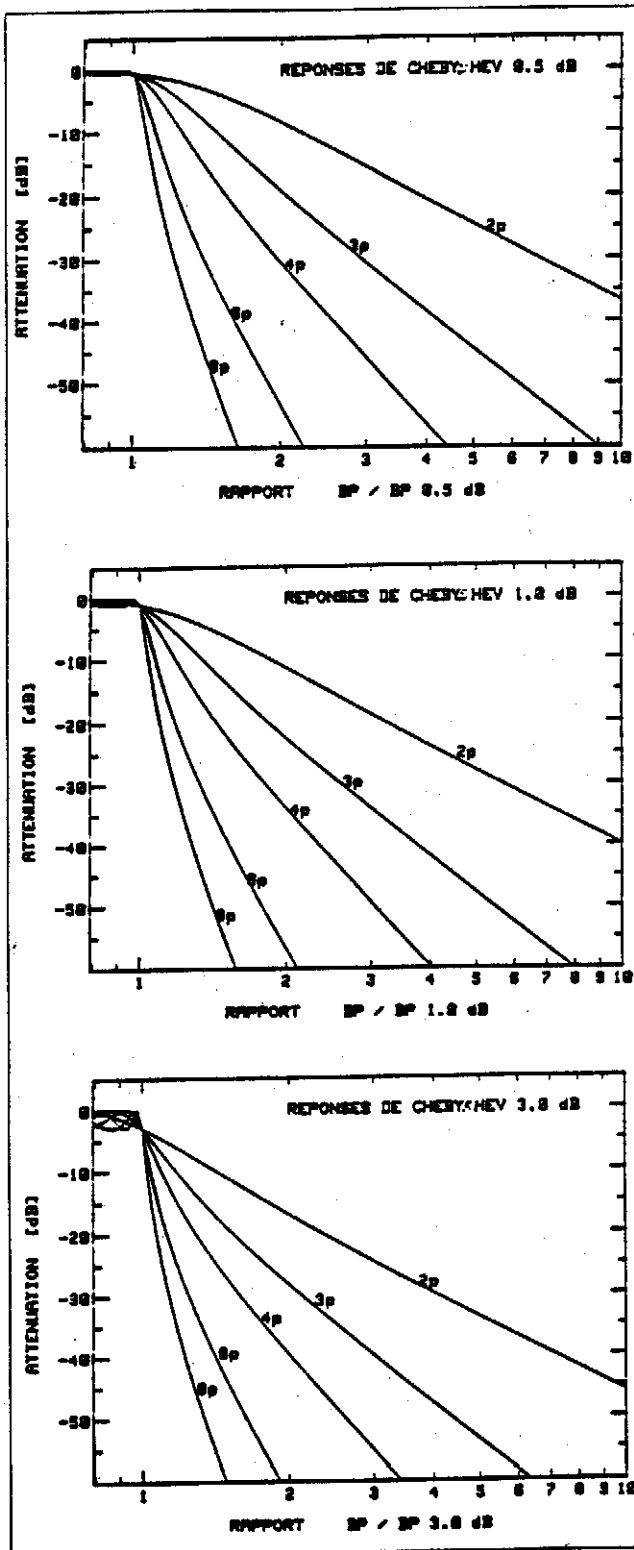
3° col. : côté rapide du filtre

4° col. : remontée du filtre
(si la valeur existe)

5° col. : bande passante
(si celle-ci a un sens)

ATT	N1	N2	N3	N4
Atténuation	Côté lent	Côté rapide	Remontée	Bande passante
- 5	- 2.36	2.24		4.6
- 10	- 3.34	2.83		6.17
- 15	- 4.70	3.53		8.23
- 20	- 6.75	4.37		11.12
- 25	- 10.08	5.38		15.46
- 30	- 16.00	6.56		22.56
- 35	- 28.64	7.89		36.53
- 40	- 70.08	9.33		79.41
- 45		10.83	849.18	
- 50		12.32	78.54	
- 55		13.76	46.78	
- 60		15.08	35.91	
- 65		16.25	30.59	
- 70		17.25	27.54	
- 75		18.10	25.62	
- 80		18.78	24.35	
- 85		19.34	23.48	
- 90		19.77	22.87	
- 95		20.11	22.43	
- 100		20.37	22.11	

FIGURE 6a, b, c
RESEAU DES REPONSES DE CHEBYSHEV
POUR DIFFERENTES VALEURS DE L'ONDULATION DANS
LA BANDE TRANSMISE



est celui de la figure 8 et la réponse relevée, comparée à la réponse calculée est donnée figure 9. La concordance est pour le moins satisfaisante, nous analyserons plus tard les écarts observés.

Performances de quelques exemples pratiques : Nous allons donner ici quelques exemples de filtres qui ont été réalisés et tirer quelques conclusions sur les principes à respecter.

FIGURE 7
SCHEMAS DES DIFFERENTS FILTRES REALISABLES A L'AIDE
DE LA METHODE DECRITE

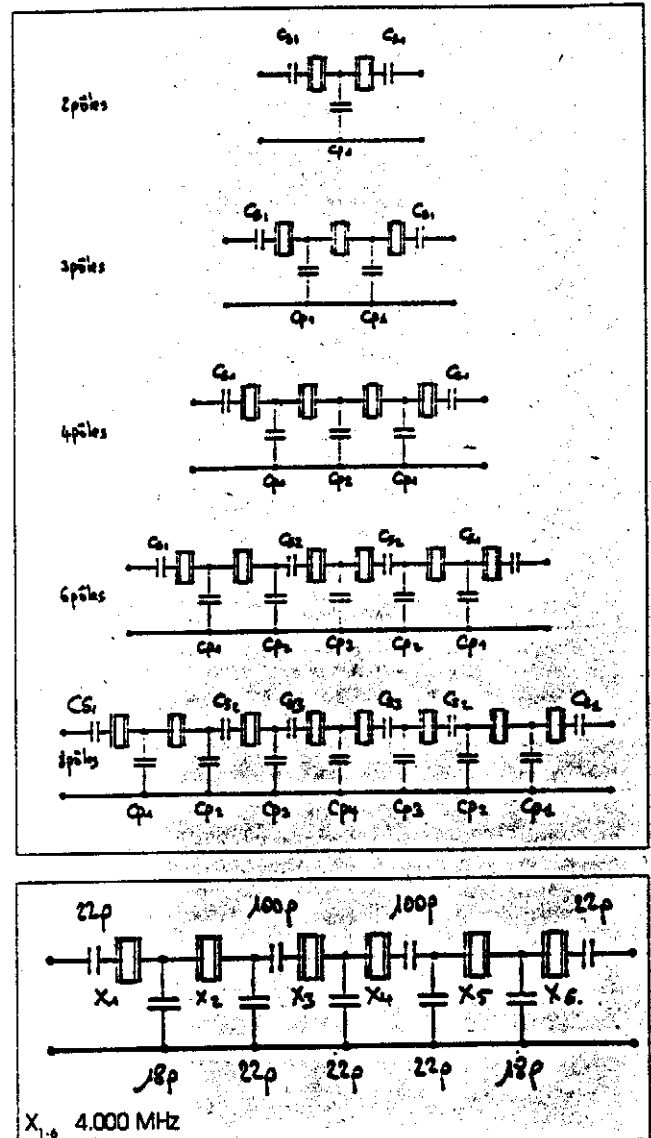


FIGURE 8
FILTRE A SIX QUARTZ 4 MHz, ONDULATION 1 dB, BANDE
PASSANTE 2,4 kHz

Filtres 10 MHz

Nous allons systématiquement donner toutes les valeurs numériques issues du programme, ce qui peut permettre d'aider à déterminer un programme correctement entré. Les caractéristiques moyennes de ces quartz sont : $F_s = 10.0006$ MHz, $F_p = 10.025$ MHz et $C_s = 22$ fF.

- Filtre 2 pôles, 1 dB d'ondulation, bande passante 4 kHz, impédance $Z_{io} = 174$ ohms, $C_{p1} = 56$ pF, $C_{s1} = 56$ pF et $F_m = 10.0038$ MHz. Performances figure 10. On observe bien la dissymétrie déjà mentionnée. Un tel filtre peut servir à filtrer le bruit large bande généré par une chaîne d'amplification FI.

- Filtre 4 pôles, 1 dB d'ondulation, bande passante 500 Hz (figure 11).

$Z_{io} = 16.8$ ohms, $C_{p1} = 675.8$ pF, $C_{s1} = 784.8$ pF, $F_m = 10.0009$ MHz, $C_{p2} = 784.8$ pF.

Les valeurs pratiques des condensateurs sont $C_{p1} = 680$ pF et $C_{p2} = C_{s1} = 780$ pF ($680 + 100$). La dissymétrie n'est presque plus apparente, ceci est dû à ce que le rapport bande passante

FIGURE 9
PERFORMANCES DU FILTRE A SIX QUARTZ 4 MHz, 1 dB D'ONDULATION, BANDE PASSANTE 2,4 kHz, ON A $F_m = 4.0009$ MHz

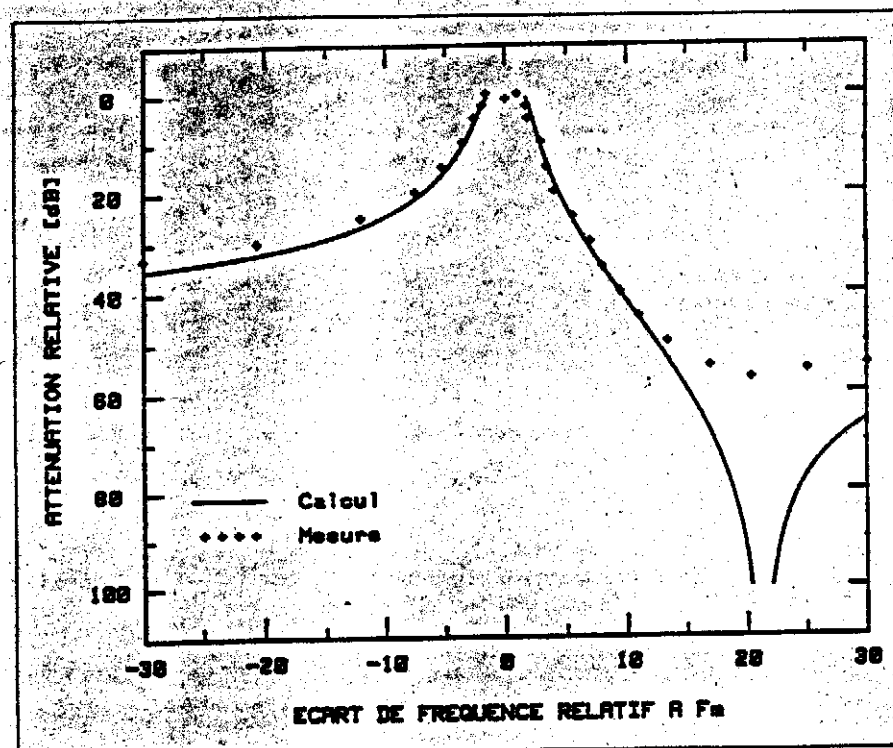
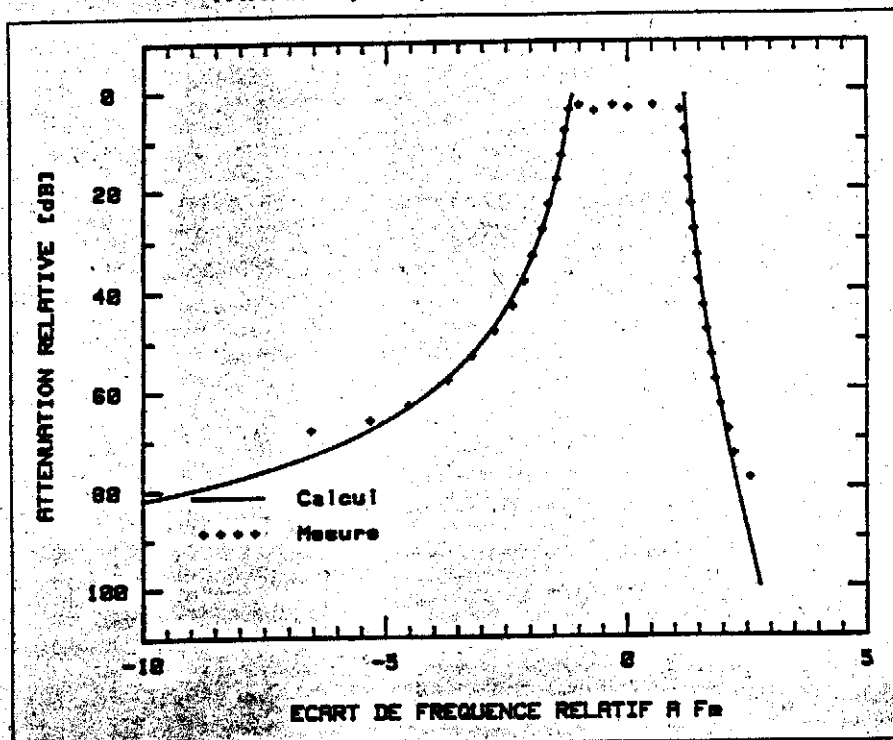
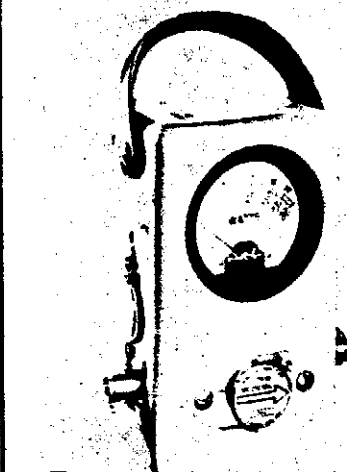


FIGURE 10
PERFORMANCES DU FILTRE A DEUX QUARTZ 10 MHz, 1 dB D'ONDULATION, 4,0 kHz DE BANDE PASSANTE, ON A $F_m = 10.0038$ MHz

WATTMETRE PROFESSIONNEL BIRD



Boîtier BIRD 43

2.100 F* TTC

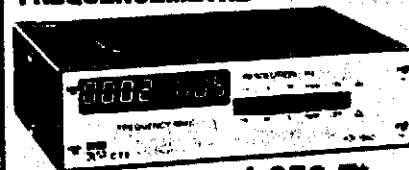
Bouchons série A-B-C-D-E

620 F* TTC



Charges de 5 W à 50 kW
Wattmètres spéciaux
pour grandes puissances
Wattmètre PEP

FREQUENCEMETRE



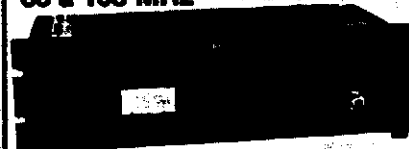
1.650 F* TTC

10 Hz à 1,35 GHz - 8 digits

TUBES EIMAC

RADIO LOCALE

88 à 108 MHz



Emetteurs FM - Mono/Stéréo
Stations de 10 W à 10 kW - 24 h/24

GENERALE ELECTRONIQUE SERVICES

172, RUE DE CHARBENTON 75012 PARIS
TEL : (1) 43.43.25.25 — Téléc : 215 546 F GEDPAR
Télécopie : (1) 43.43.25.25
ET AUSSI LE RESEAU G.E.S.

sur ($F_p - F_s$) est très petit (2 %). Ce filtre constitue un filtre télégraphie tout à fait acceptable.

- Filtre 4 pôles, 1 dB d'ondulation, bande passante 6 kHz (figure 12).
 $Z_{io} = 280$ ohms, $C_{p1} = 40.4$ pF, $C_{s1} = 47.0$ pF, $F_m = 10.0044$ MHz, $C_{p2} = 47.0$ pF.
 Valeurs pratiques $C_{p1} = (33 + 8.2)$ pF, $C_{p2} = C_{s1} = 47$ pF.

- Filtre 8 pôles, 1 dB d'ondulation, bande passante 2.4 kHz (figure 13).
 $Z_{io} = 89.1$ ohms, $C_{p1} = 128.0$ pF, $C_{s1} = 153.1$ pF, $F_m = 10.002$ MHz, $C_{p2} = 153.1$ pF, $C_{s2} = 680.0$ pF, $C_{p3} = 157.7$ pF, $C_{s3} = 588.7$ pF, $C_{p4} = 158.6$ pF.
 Valeurs pratiques $C_{p1} = 120$ pF, $C_{p2} = 150$ pF, C_{p3}, C_{p4}, C_{s1} et C_{s2} 680 pF et $C_{s3} = 590$ pF ($470 + 120$). Le facteur de forme vaut 1.7, ce qui n'est pas négligeable et la dissymétrie est académique jusqu'à 70 dB d'atténuation.

Filtre 4 MHz

6 pôles, 1 dB d'ondulation, bande passante 500 Hz (figure 14).

$Z_{io} = 202.9$ ohms, $C_{p1} = 140.4$ pF, $C_{s1} = 167.4$ pF, $C_{p2} = 167.4$ pF, $C_{s2} = 784.7$ pF, $C_{p3} = 171.0$ pF.
 Valeurs pratiques $C_{p1} = (120 + 22)$ pF, $C_{p2} = (150 + 18)$ pF, $C_{p3} = (150 + 22)$ pF, $C_{s1} = (150 + 18)$ pF, $C_{s2} = (680 + 100)$ pF.

Tous les filtres décrits ici ont été réalisés de façon à ce qu'une grenouille pense qu'il s'agissait vraiment d'une échelle ! Câblage « en l'air » (environ 10 cm de long pour un filtre 6 pôles !), les mesures symbolisées par des croix correspondent à ce type de construction, les cercles correspondent à la réponse lorsque les boîtiers sont plus ou moins reliés à la masse, l'amélioration est substantielle.

Filtre 9 MHz

Il s'agit là d'un filtre réalisé avec des quartz destinés aux appareils à canaux banalisés. Ces quartz, qui sont marqués à des fréquences de l'ordre de 27 MHz, sont taillés en overtone 3 et leur fréquence fondamentale est autour de 9 MHz. La dispersion des caractéristiques de ces quartz est importante (jusqu'à 15 kHz pour la résonance série de quartz réputés identiques), et il convient de les trier en fonction de leur résonance série et ainsi ramener la dispersion à 2 kHz maximum. Après un tel tri, ces quartz sont aussi utilisables et la figure 15 représente les performances d'un filtre 4 pôles, 1 dB d'ondulation, bande passante de 2.4 kHz ;
 $Z_{io} = 117.0$ ohms, $C_{p1} = 107.6$ pF,

$C_{s1} = 125.0$ pF, $F_m = 9.0024$ MHz, $C_{p2} = 125.0$ pF.
 Valeurs pratiques $C_{p1} = (100 + 8.2)$ pF, C_{p2} et $C_{s1} = 120$ pF.

Pour tous les filtres décrits, la valeur mesurée de F_m correspond exactement

FIGURE 11

PERFORMANCES DU FILTRE A QUATRE QUARTZ 10 MHz, 1 dB D'ONDULATION, 500 Hz DE BANDE PASSANTE, ON A $F_m = 10.0009$ MHz

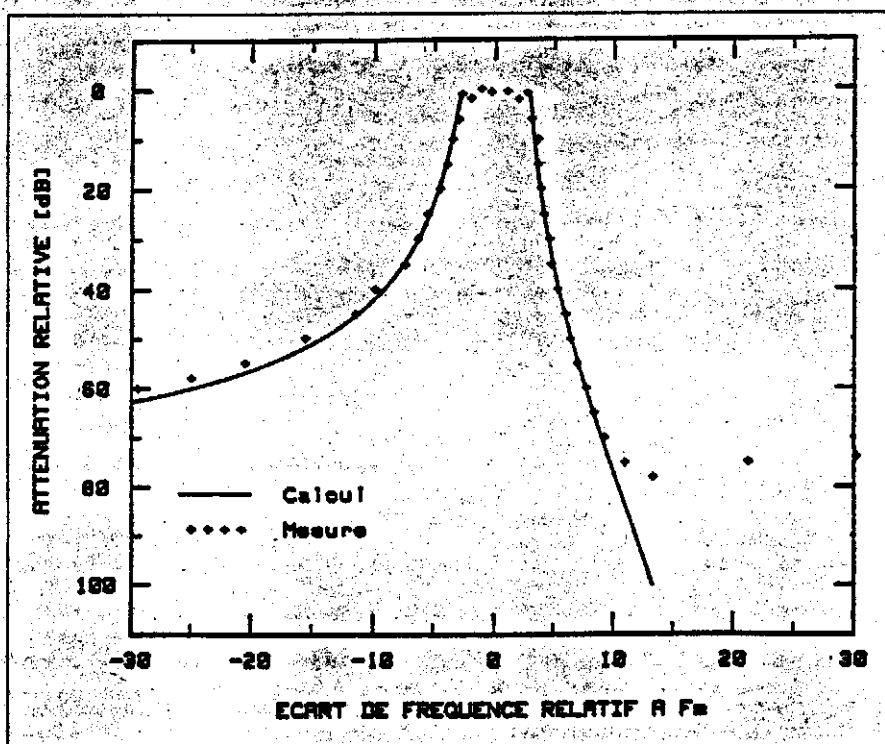
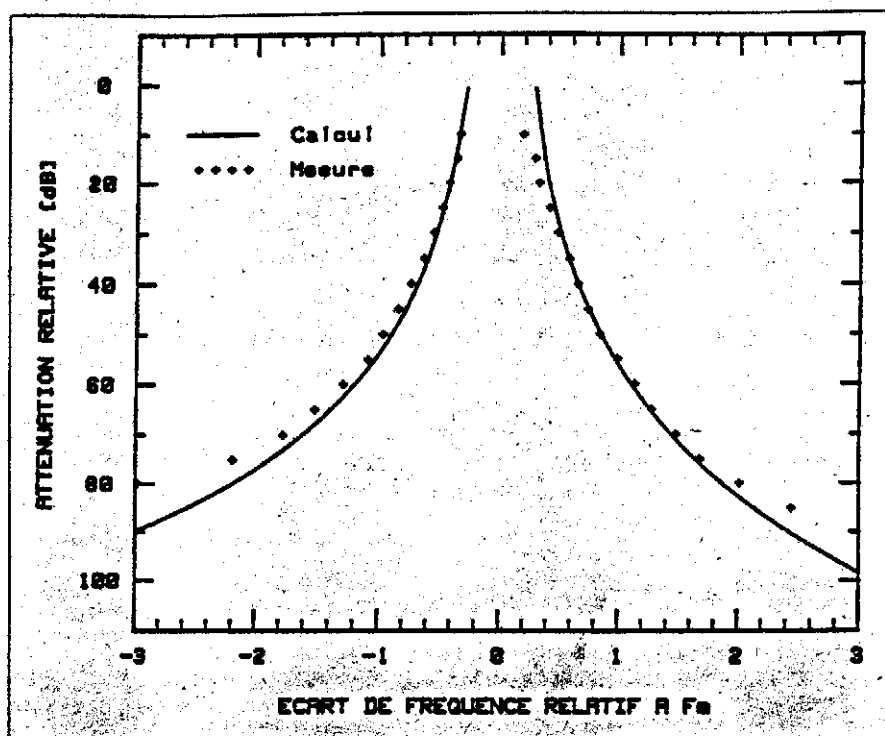


FIGURE 12

PERFORMANCES DU FILTRE A QUATRE QUARTZ 10 MHz, 1 dB D'ONDULATION, 6.0 kHz DE BANDE PASSANTE, ON A $F_m = 10.0044$ MHz

à la valeur calculée (à 100 Hz près). Les pertes d'insertion sont comprises entre 1.5 et 7 dB, sauf pour un filtre non décrit ici, de bande passante 50 Hz, 8 pôles, dont les pertes d'insertion avoisinaient 30 dB, ce qui n'a rien d'étonnant, l'impédance était de

1,6 ohms, et pour ramener les pertes d'insertion à quelques dB, il faudrait que le Q des quartz soit de l'ordre de 10^6 contre 10^5 environ dans la réalité. C'est là une raison supplémentaire de rester modeste pour l'étroitesse des bandes passantes.

Au vu des courbes relevées, on peut constater que les bandes passantes sont plus faibles que les bandes passantes calculées, c'est là encore un effet des pertes des composants (Q non infini), bien connu de tous les concepteurs de filtres. Si la bande passante doit être

impérativement respectée, il faut la sur-estimer de 10 % environ dans le calcul. Pour tous nos filtres, la bande passante calculée se retrouve à l'atténuation 6 dB, ce qui est en général tout à fait honorable.

Encore quelques remarques pratiques. Il faut impérativement éviter de « bidouiller » les valeurs des capacités, un filtrage est un tout, déplacer une résonance change les couplages et les performances sont détruites. Il suffit de réaliser au mieux les valeurs calculées et tout se passe très bien. Le câblage doit être très soigné, un circuit imprimé avec plan de masse supérieur sur lequel sont soudés les boîtiers des quartz (en un seul point), associé à des blindages entre cellules, peut permettre d'améliorer l'ultime atténuation du filtre (il s'agit là de la faculté que doit présenter la sortie du montage d'ignorer ce que voit l'entrée très loin de la bande passante transmise, différente de l'« ultime atténuation » définie plus haut).

Adaptation d'impédance

La réalisation correcte des impédances d'entrée et de sortie est primordiale ; sans elle, les performances calculées ne peuvent pas être atteintes. Pour la mesure du filtre, à condition de disposer d'un générateur assez puissant et d'un système de détection assez sensible, on peut se contenter de réaliser les adaptations à l'aide d'atténuateurs à transformation d'impédance, mais, pour l'utilisation dans un circuit, il faut prévoir des adaptations, si possible sans pertes. Nous en rappelons ici quelques-unes.

- Transformateur accordé, ou plus simplement autotransformateur ;
- Transformateur large bande, bobiné sur un tore ferrite de haute perméabilité, c'est la méthode la plus simple ; mais on ne peut pas faire n'importe quels rapports de transformation ;
- Transistors à effet de champ en porte commune (P8002, U310, 2N4856...) ; l'impédance d'entrée est basse, de l'ordre de 50 ohms, celle de sortie de l'ordre de 300 ohms. Cette solution peut également servir d'intermédiaire entre une source 50 ohms et un transfo large bande qui élèvera encore l'impédance (ex. : cas du filtre Zio = 1500 ohms) ;
- Du côté de la sortie, un Fet, simple ou double porte, est une bonne solution ; il suffit alors d'utiliser comme résistance de porte une résistance égale à l'impédance de charge du filtre. Dans tous les cas, il faut adapter les

FIGURE 13
PERFORMANCES DU FILTRE A HUIT QUARTZ 10 MHz, 1 dB D'ONDULATION,
2,4 kHz DE BANDE PASSANTE, ON A $F_m = 10.002$ MHz

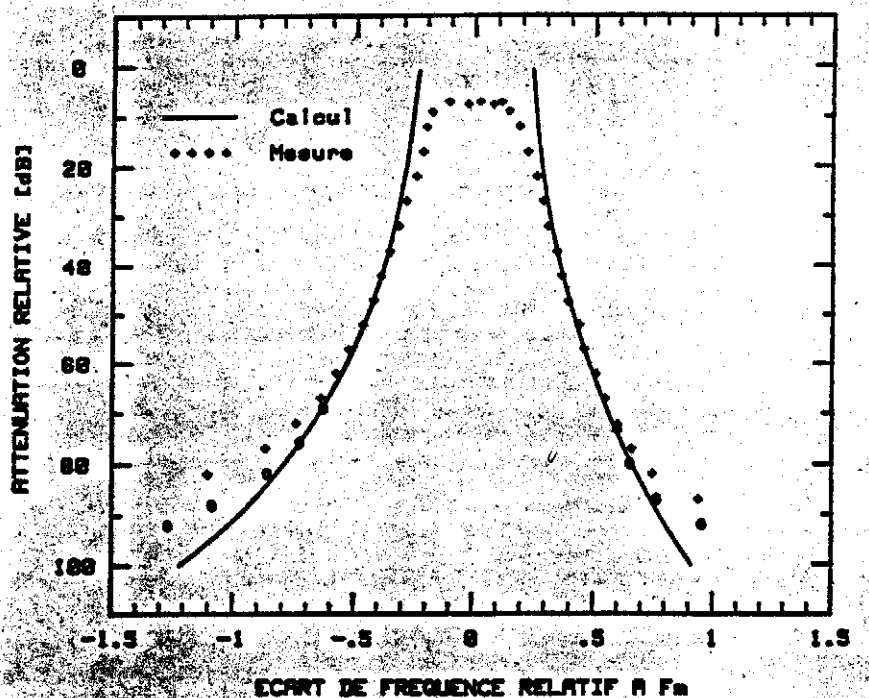
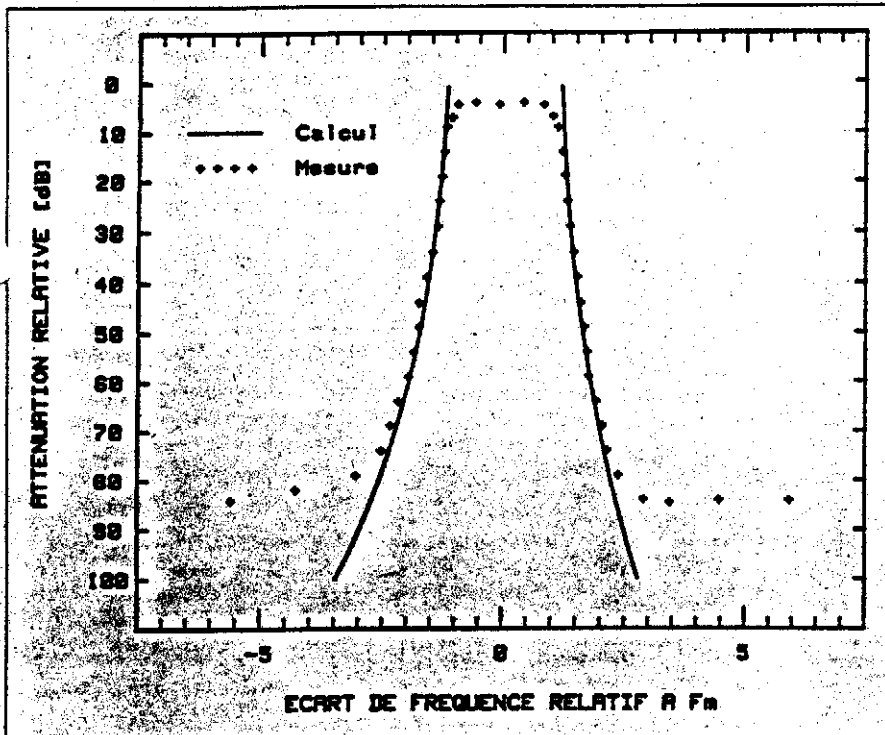


FIGURE 14
PERFORMANCES DU FILTRE A SIX QUARTZ 4 MHz, 1 dB D'ONDULATION,
500 Hz DE BANDE PASSANTE, ON A $F_m = 3.9997$ MHz

impédances, sans quoi l'ondulation dans la bande passante peut devenir très importante.

A propos d'impédance, il faut encore mentionner que les impédances des filtres dépendent de l'ondulation dans la bande passante (tableau 2) et qu'il peut être intéressant de choisir un filtre dont l'impédance n'est pas trop faible, l'adaptation en est plus facile et surtout les pertes d'insertion seront réduites. Dans le cas choisi de filtre à 300 Hz, la réponse Butterworth possède une impédance nettement plus élevée que les Chebyshev et présentera certainement moins de pertes (ce qui signifie aussi que la réponse réelle sera plus proche de la réponse calculée).

Applications

On peut réaliser par cette méthode des filtres BLU, CW, AM et des filtres de bruit, les filtres pour la FM sont pratiquement exclus ; les bandes passantes sont en général inférieures à 15 kHz. La fréquence centrale de filtres faits avec les mêmes quartz dépend de la bande passante ; par exemple, le filtre 4 MHz, bande passante 2.4 kHz, est centré à 4.0009 MHz, le filtre 4 MHz, bande passante 500 Hz à 3.9997 MHz, soit 1.2 kHz d'écart dont il faut tenir compte dans la fréquence des oscillateurs de porteuse. Pour ces oscillateurs, on peut d'ailleurs utiliser des quartz semblables à ceux qui ont servi à fabriquer les filtres ; pour la BLI et la CW, il suffit d'utiliser la résonance série, avec accord exact par une capacité série. Pour la BLS, il faut choisir le quartz qui a la fréquence de résonance série la plus basse pour pouvoir la placer à l'endroit convenable dans le flanc du filtre. On peut également concevoir un circuit FI à bande passante variable. Prenons, comme exemple, deux filtres de bande passante 2.4 kHz centrés respectivement à 10 MHz et à 4 MHz. Il suffit, par exemple, d'un mélangeur entre les deux, qui mélange le 10 MHz avec un oscillateur 6 MHz (fréquence pour laquelle on trouve également des quartz pour microprocesseurs bon marché).

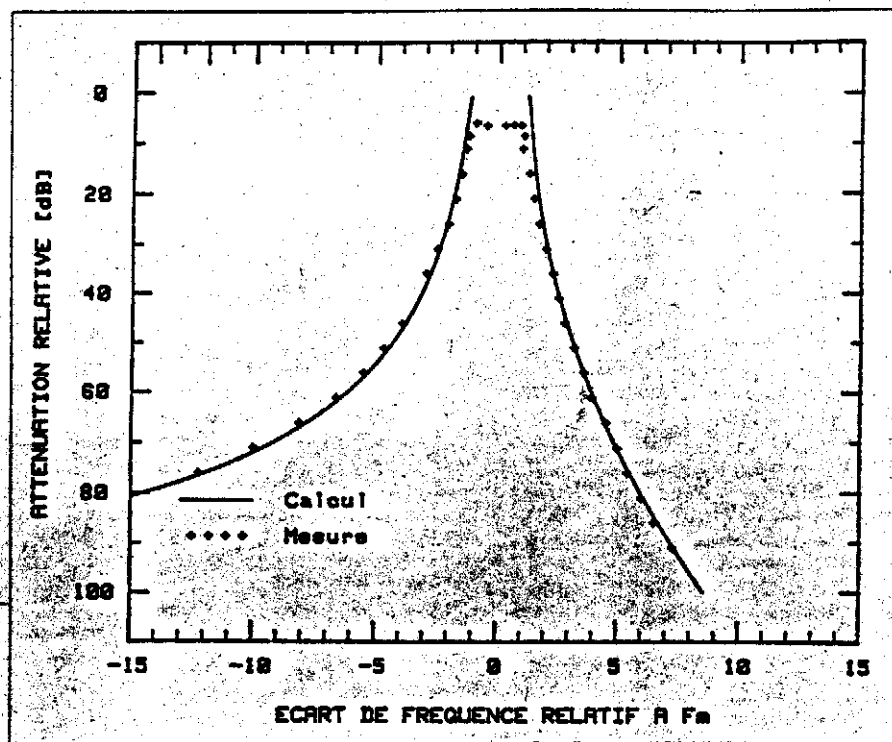
Références

- (1) « *Modern Network Theory Design of Single Sideband Crystal Ladder Filters* », M. Dishal, Proc. IEEE Vol. 53 n° 9, september 1965, p. 1205-16.
- (2) « *Two new Equations for the Design of Filters* », M. Dishal, Electrical Communications, December 1953, p. 324-37.

TABLEAU 2
IMPEDANCE DE FILTRES 10 MHz, SIX POLES, BANDE PASSANTE 300 Hz

		CHEBISHEV (dB d'ondulation)				
	Butt	1.	3.	1.	2.	3.
Z (Ohms)	42.9	17.3	13.9	10.0	7.7	6.4

FIGURE 15
PERFORMANCES DU FILTRE A QUATRE QUARTZ CB, 1 dB D'ONDULATION, 2,4 kHz DE BANDE PASSANTE, ON A $F_m = 9.0024$ MHz



(3) « *Computer aided ladder crystal filter design* », J. A. Hardcastle, G3JIR, Radio Communication, May 1983, p. 414-20.

(4) « *The Optimum IF Selectivity for Coherent Telegraphy (CCW)* », B. Neubig, DK1AG, VHF Communications, Ed. 3/82, p. 163-71.

ERRATUM

1° Article « *Convertisseur d'image SSTV/TV* » page 29 à 38

- 1° page 3° colonne, on lit :
- 2°) 120 lignes/200 pixels/36 secondes
- il faut lire :
- 2°) 120 lignes/200 pixels/17 secondes

Petit oubli sur le schéma de la carte numérique page 35, des signaux SH et SV provenant de la carte analogique - voir extrait du schéma -

2° Liste des BBS Françaises page 64 de Radio-REF 03/90 : la date de mise à jour de la liste est le 28/01/90.

