Filtre de Bandes RF à 9 bandes V_1 par F6AJL

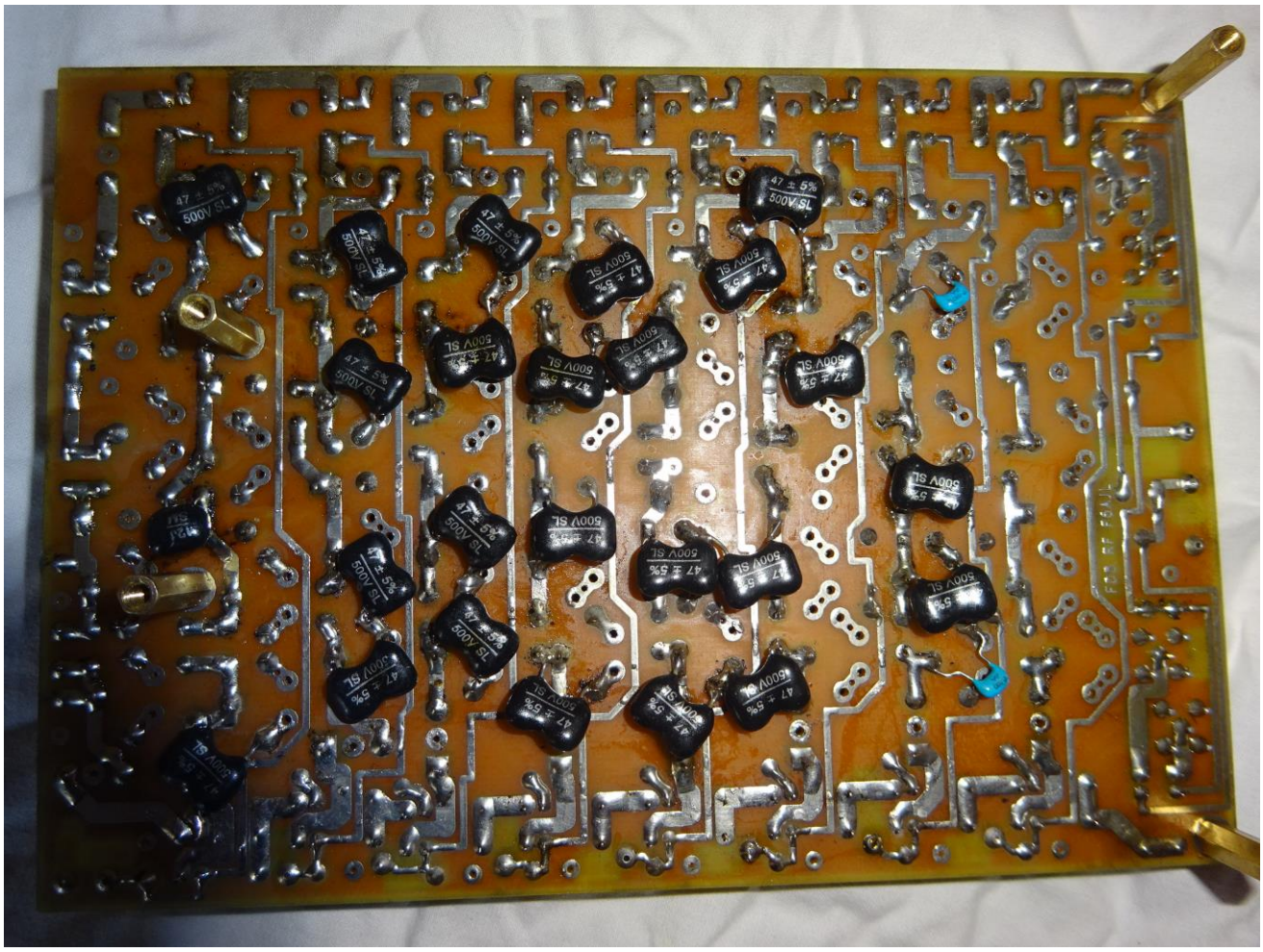
Lors d'un dernier chantier de modifications de mon TCVR « OM », j'ai remplacé l'OL existant (VFO + HFO) par un OL à base du circuit VFO/DDS de PA0KLT adapté à mon besoin. Le filtre de bande E/R n'était pas performant à mon goût. J'ai réalisé un ensemble filtre de bande RF à 9 bandes et chaque filtre à 4 cellules. L'ensemble des filtres est commandé par le VFO/DDS via une interface de commande.

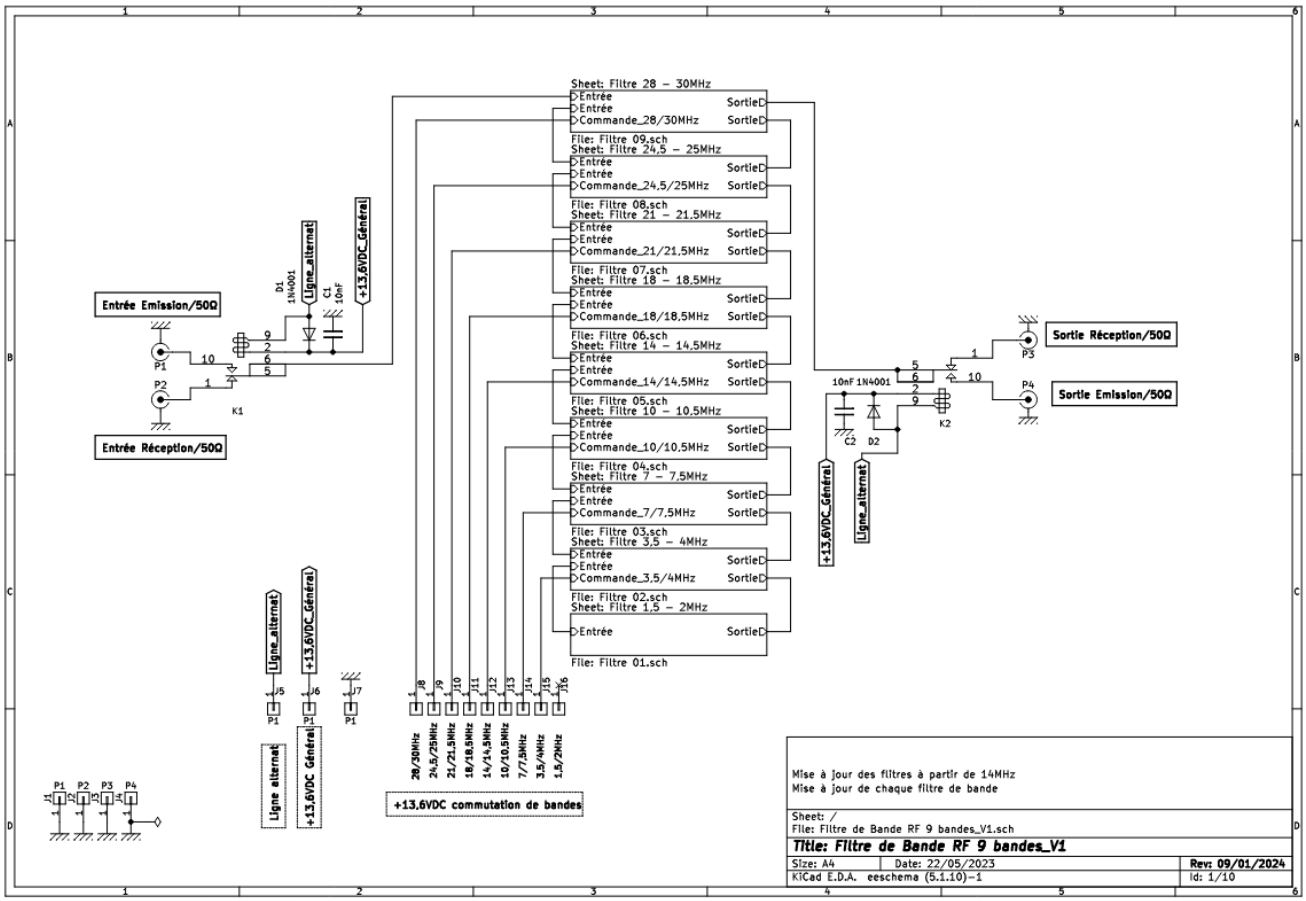
Les filtres à 4 cellules ont été calculés et simulés à l'aide du logiciel ELSIE 2.85. Etant équipé pour la mise au point de ces filtres : POLYSKOP V RS et analyseur de spectre RIGOL DSA815TG, cela a facilité la mise au point.

Concernant le filtre proprement dit, le logiciel me proposait, la famille BUTTERWORTH ou TCHEBYCHEV. Le filtre de type BUTTERWORTH, présente une perte d'insertion S21 relativement importante suivant les bandes et la largeur, mais présente des pentes de flancs raides. Le filtre de bande TCHEBYCHEV présente une perte d'insertion S21 plus faible que le filtre précédent, mais avec des pentes de flancs moins raides d'environ -10dB toujours par rapport au filtre précédent. J'ai choisi d'utiliser le filtre de type BUTTERWORTH E/R qui donne de bon résultat en réception. Pour l'utilisation dans la chaîne émission, le gain est suffisant pour compenser la perte d'insertion.

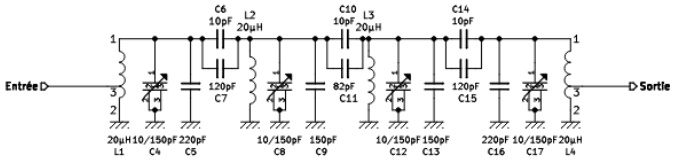
En 2018, j'ai réalisé l'ensemble des 9 filtres de bandes E/R de type BUTTERWORTH. Le dossier technique a été réalisé à l'aide du logiciel KICAD. Le changement de bande se fait via des relais E/S vers une ligne 50Ω commune à l'ensemble des filtres côté entrée et sortie. Après avoir remplacé mon analyseur de spectre RIGOL DSA815TG par un équipement SIGLENT SVA1032X, j'ai souhaité analyser les filtres de bandes de mon TCVR.

En 2023, lors de cette vérification je me suis rendu compte que mes filtres présentaient en E/S des SWR (S11) importants. Cela implique une dégradation de la résistance aux forts signaux pour les bandes basses. La mauvaise adaptation des filtres était plus importante à partir de 14MHz. Ce problème est dû aux capacités et inductances parasites du fait de la ligne 50Ω commune à tous les filtres. J'ai donc repris toute la commutation des filtres. Les contacts repos des relais sont en série en partant du filtre le plus bas en fréquence. De cette manière les E/S des filtres les plus haut en fréquence sont peu perturbés par la longueur de la ligne de commutation.
En effectuant cette modification, je n'ai pas eu besoin de modifier tout le dossier technique, seulement la commutation des relais.
Etant limité en place dans le TCVR, je n'ai pas rencontré de problème d'intégration, la carte gardant ces dimensions.




Sheet: Filtre 28 – 30MHz
Entrée
Entrée
Commande_28/30MHz
Sortie
Sortie
File: Filtre 09.sch
Sheet: Filtre 24,5 – 25MHz
Commande_24,5/25MHz
File: Filtre 08.sch
Sheet: Filtre 21 – 21,5MHz
Commande_21/21,5MHz
File: Filtre 07.sch
Sheet: Filtre 18 – 18,5MHz
Commande_18/18,5MHz
File: Filtre 06.sch
Sheet: Filtre 14 – 14,5MHz
Commande_14/14,5MHz
File: Filtre 05.sch
Sheet: Filtre 10 – 10,5MHz
Commande_10/10,5MHz
File: Filtre 04.sch
Sheet: Filtre 7 – 7,5MHz
Commande_7/7,5MHz
File: Filtre 03.sch
Sheet: Filtre 3,5 – 4MHz
Commande_3,5/4MHz
File: Filtre 02.sch
Sheet: Filtre 1,5 – 2MHz
File: Filtre 01.sch
Entrée Emission/50Ω
Entrée Réception/50Ω
Sortie Réception/50Ω
Sortie Emission/50Ω
Ligne_alternat
+13,6VDC_Général
D1 1N4001
C1 10nF
K1
K2
C2
D2
10nF 1N4001
Ligne alternat
+13,6VDC Général
+13,6VDC commutation de bandes
28/30MHz
24,5/25MHz
21/21,5MHz
18/18,5MHz
14/14,5MHz
10/10,5MHz
7/7,5MHz
3,5/4MHz
1,5/2MHz
Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande
Sheet: /
File: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1.sch
Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
Size: A4
Date: 22/05/2023
Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1
Id: 1/10

Filtre 1,5 – 2MHz



Caractéristiques des Inductances

Tore Amidon FT50-61 , µI = 125

Fil émaillé 6/10

L1/L4 = 20µH, 15t prise 5t à partir de la masse
L2/L3 = 20µH, 15t

Mesures:

Qmètre L1/L4 = 20,4µH, L2/L3 = 20,4µH
RLC L1/L4 = 20µH, L2/L3 = 20µH
Gén RF L1/L4 = 20,6µH, L2/L3 = 20,41µH
135<Q à 2MHz<135

Simulation:	Mesures: VNA	Gén./VL RF
1,5MHz = Trans.– 1,32dB, SWR 1,71	–0,66dB/1,36	
2MHz = Trans.– 0,6dB, SWR 1,55	–0,59dB/1,56	
–3dB = 1,466/2,172MHz	752,5KHz	
–20dB = 1,329/2,796MHz		

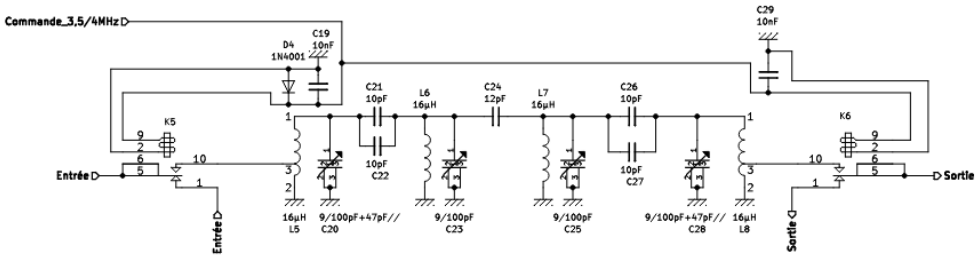
Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande

Sheet: /Filtre 1,5 – 2MHz/
File: Filtre 01.sch

Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1

Size: A4	Date: 22/05/2023	Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1		Id: 2/10

Filtre 3,5 – 4MHz



Caractéristiques des Inductances

Tore Amidon FT50-61, µI = 125

Fil émaillé 6/10

L5/L8 = 16µH, 14t prise à 3t à partir de la masse
L6/L7 = 16µH, 14t

Mesures:

Qmètre L5/L8 = 16,4µH, L6/L7 = 16,4µH
RLC L5/L8 = 16µH, L6/L7 = 16µH
Gén RF L5/L8 = 16,29µH, L = 16,49µH
145< Q à 4MHz <145

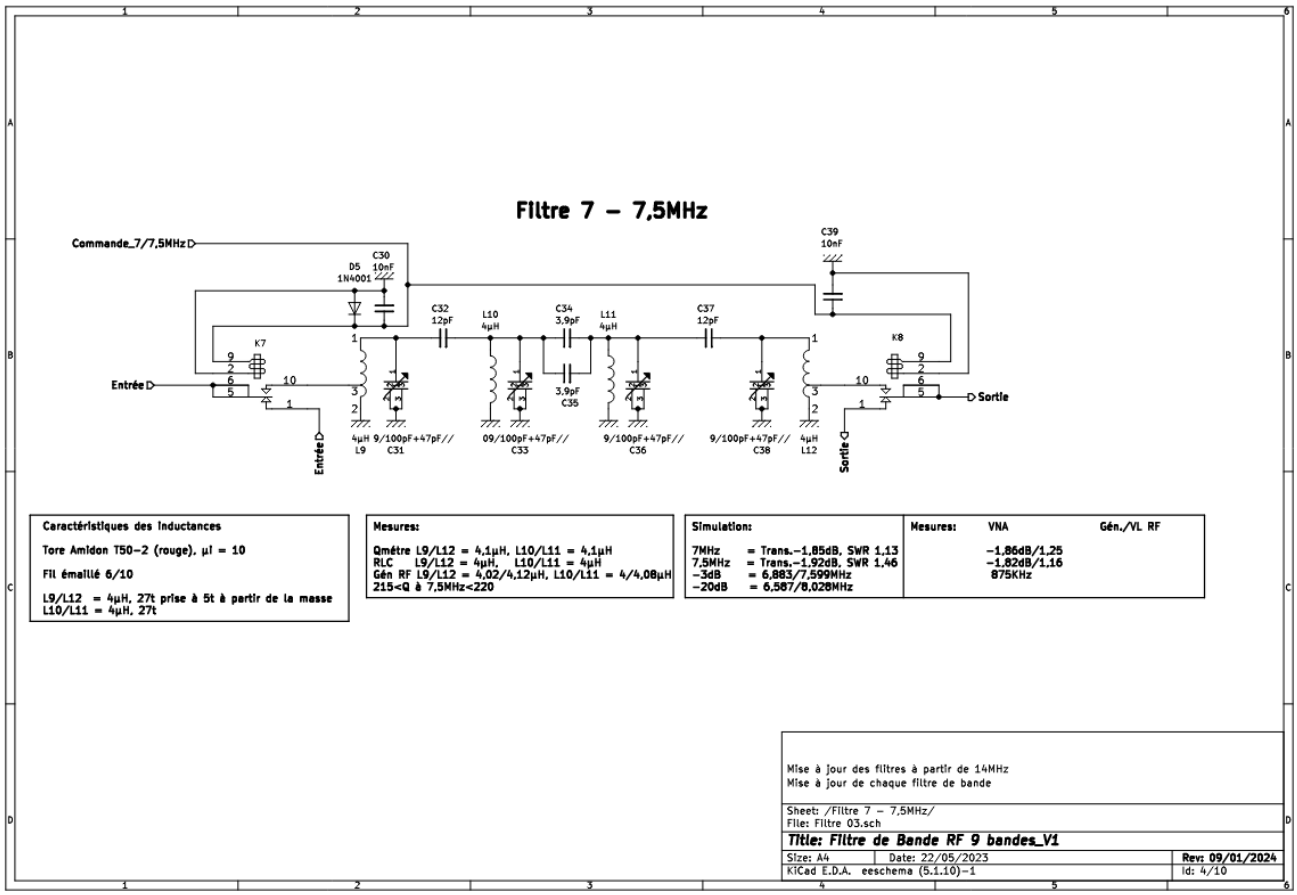
Simulation:	Mesures: VNA	Gén./VL RF
3,5MHz = Trans.–0,91dB, SWR 1,02	–1,59dB/1,40	
4MHz = Trans.–1,12dB, SWR 1,66	–1,50dB/1,55	
–3dB = 3,325/4,146MHz	800KHz	
–20dB = 3,078/4,648MHz		

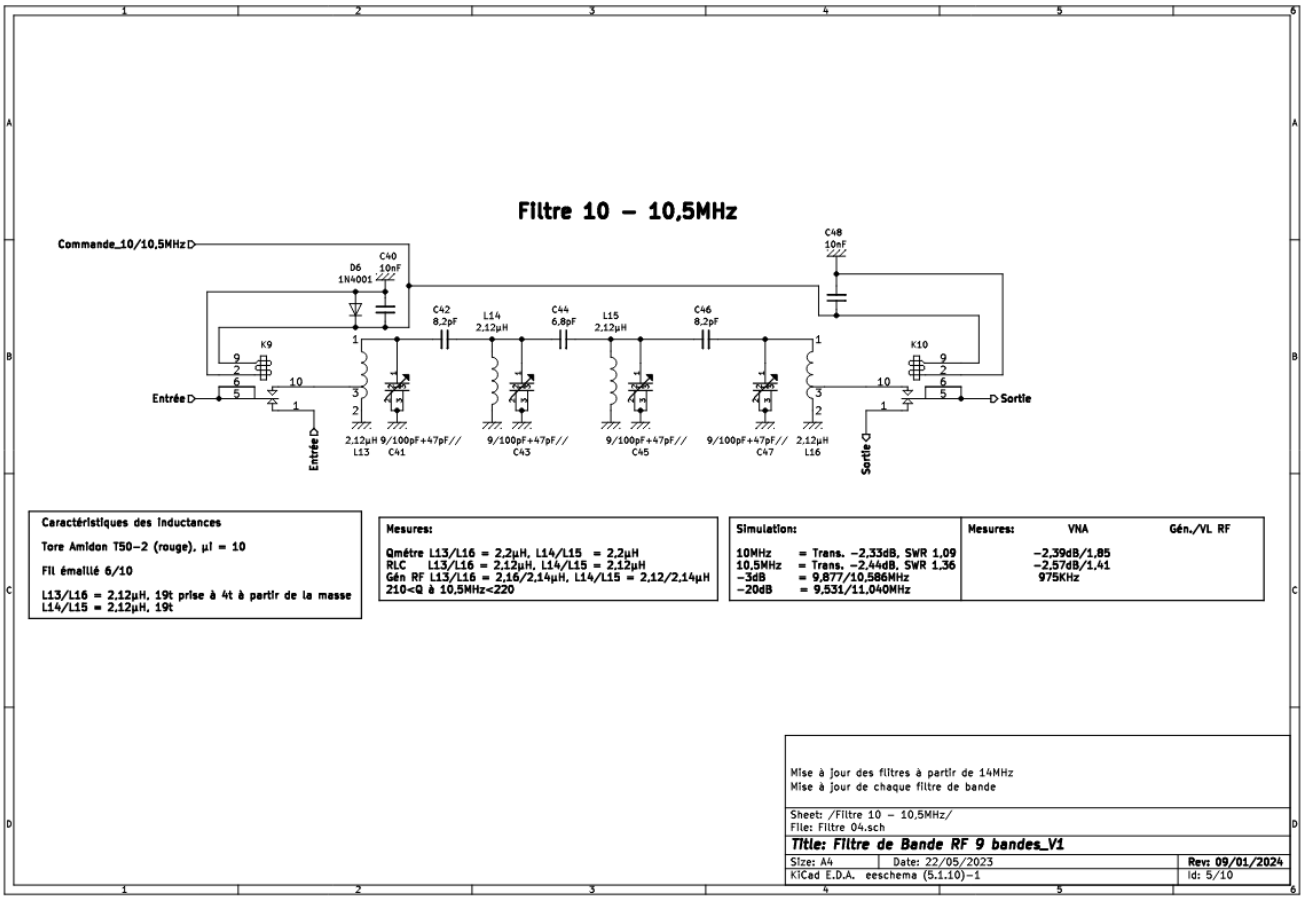
Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande

Sheet: /Filtre 3,5 – 4MHz/
File: Filtre 02.sch

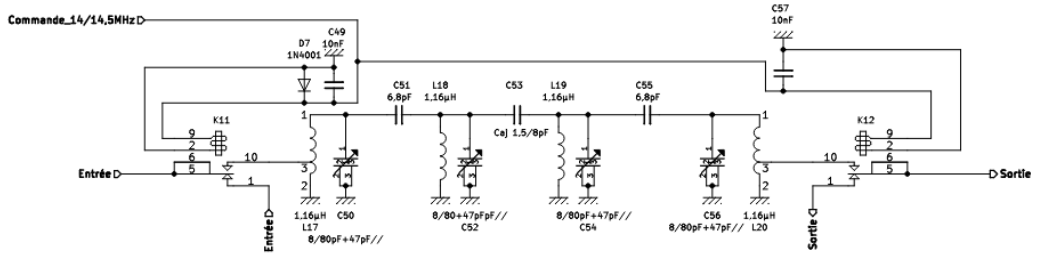
Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1

Size: A4	Date: 22/05/2023	Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1		Id: 3/10


Filtre 7 – 7,5MHz
Commande_7/7,5MHz
C30 10nF
D5 1N4001
C39 10nF
C32 12pF
L10 4µH
C34 3,9pF
L11 4µH
C37 12pF
K7
K8
Entrée
Sortie
3,9pF C35
4µH L9
9/100pF+47pF// C31
09/100pF+47pF// C33
9/100pF+47pF// C36
9/100pF+47pF// C38
4µH L12
Caractéristiques des Inductances
Tore Amidon T50-2 (rouge), µI = 10
Fil émaillé 6/10
L9/L12 = 4µH, 27t prise à 5t à partir de la masse
L10/L11 = 4µH, 27t
Mesures:
Qmètre L9/L12 = 4,1µH, L10/L11 = 4,1µH
RLC L9/L12 = 4µH, L10/L11 = 4µH
Gén RF L9/L12 = 4,02/4,12µH, L10/L11 = 4/4,08µH
215<Q à 7,5MHz<220
Simulation:
7MHz = Trans.-1,85dB, SWR 1,13
7,5MHz = Trans.-1,92dB, SWR 1,46
-3dB = 6,883/7,599MHz
-20dB = 6,587/8,028MHz
Mesures: VNA Gén./VL RF
-1,86dB/1,25
-1,82dB/1,16
875KHz
Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande
Sheet: /Filtre 7 – 7,5MHz/
File: Filtre 03.sch
Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
Size: A4
Date: 22/05/2023
Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1
Id: 4/10


Filtre 10 – 10,5MHz
Commande_10/10,5MHz
C40 10nF
D6 1N4001
C48 10nF
C42 8,2pF
L14 2,12µH
C44 6,8pF
L15 2,12µH
C46 8,2pF
K9
K10
Entrée
Sortie
2,12µH L13
9/100pF+47pF// C41
9/100pF+47pF// C43
9/100pF+47pF// C45
9/100pF+47pF// C47
2,12µH L16
Caractéristiques des Inductances
Tore Amidon T50-2 (rouge), µI = 10
Fil émaillé 6/10
L13/L16 = 2,12µH, 19t prise à 4t à partir de la masse
L14/L15 = 2,12µH, 19t
Mesures:
Qmètre L13/L16 = 2,2µH, L14/L15 = 2,2µH
RLC L13/L16 = 2,12µH, L14/L15 = 2,12µH
Gén RF L13/L16 = 2,16/2,14µH, L14/L15 = 2,12/2,14µH
210<Q à 10,5MHz<220
Simulation:
10MHz = Trans. -2,33dB, SWR 1,09
10,5MHz = Trans. -2,44dB, SWR 1,36
-3dB = 9,877/10,586MHz
-20dB = 9,531/11,040MHz
Mesures: VNA Gén./VL RF
-2,39dB/1,85
-2,57dB/1,41
975KHz
Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande
Sheet: /Filtre 10 – 10,5MHz/
File: Filtre 04.sch
Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
Size: A4
Date: 22/05/2023
Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1
Id: 5/10

Filtre 14 – 14,5MHz



Caractéristiques des Inductances	Mesures:	Simulation:	Mesures: VNA	Gén./VL RF
Tore Amidon T50-6 (Jaune), µI = 8 Fil émaillé 8/10 L17/L20 = 1,16µH, 14t prise à 4t à partir de la masse L18/L19 = 1,16µH, 14t	Qmètre L17/L20 = 1,17µH, L18/L19 = 1,17µH RLC L17/L20 = 1,33µH, L18/L19 = 1,33µH Gén RF L17/L20 = 1,16/1,15µH, L18/L19 = 1,15/1,16µH 220<Q à 14,5MHz< 240	14MHz = Trans. -2,95dB, SWR 1,073 14,5MHz = Trans. -3,10dB, SWR 1,28 -3dB = 13,893/14,562MHz -20dB = 13,474/15,046MHz	-2,59dB/1,44 -2,75dB/1,67 1000KHz	

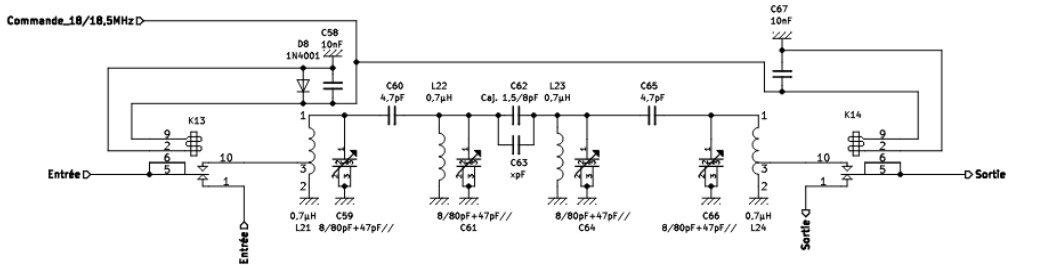
Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande

Sheet: /Filtre 14 – 14,5MHz/
File: Filtre 05.sch

Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1

Size: A4	Date: 22/05/2023	Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1		Id: 6/10

Filtre 18 – 18,5MHz



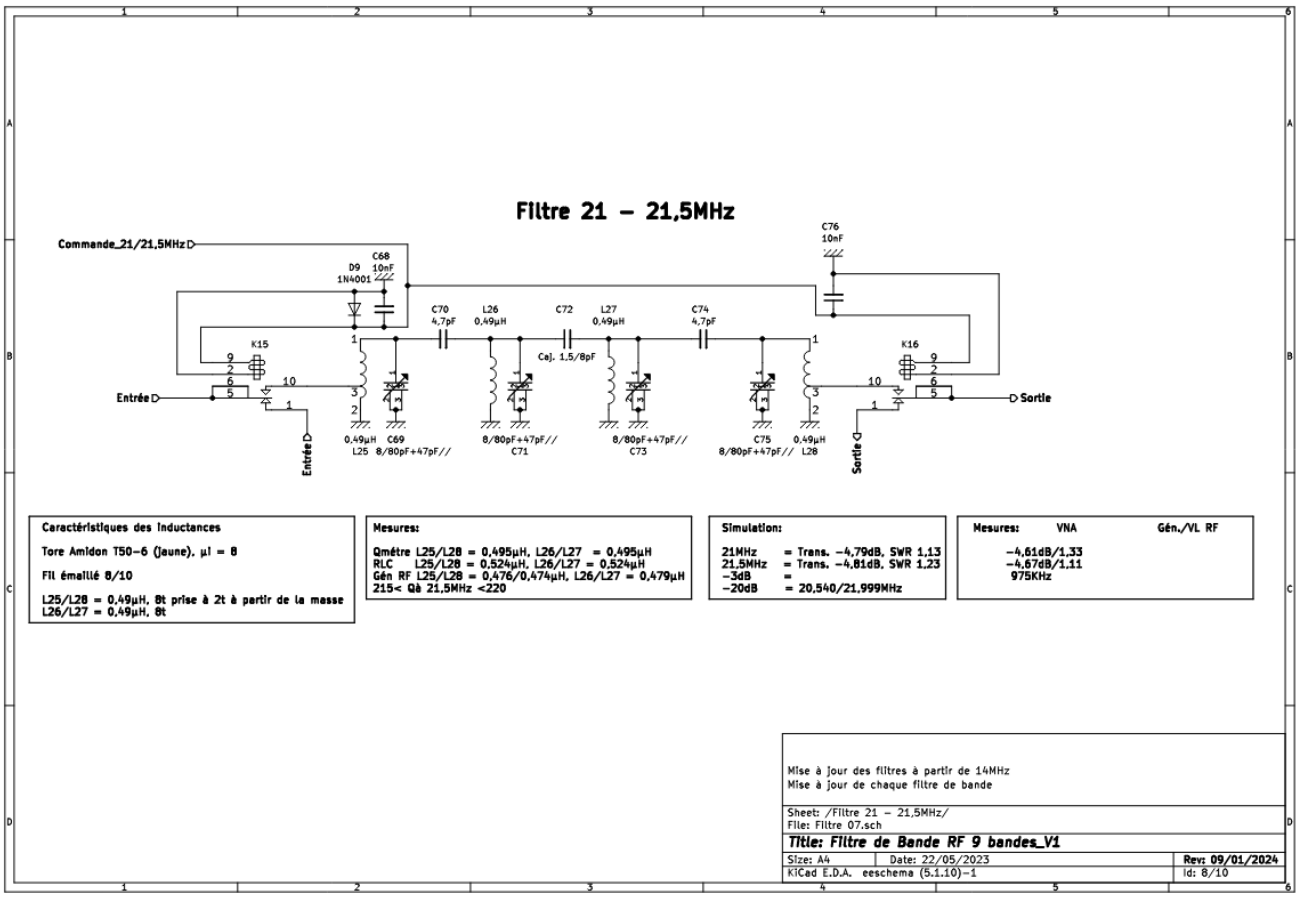
Caractéristiques des Inductances	Mesures:	Simulation:	Mesures: VNA	Gén./VL RF
Tore Amidon T50-6 (Jaune), µI = 8 Fil émaillé 8/10 L21/L24 = 0,7µH, 11t prise à 3t à partir de la masse L22/L23 = 0,7µH, 11t	Qmètre L21/L24 =0,71µH, L22/L23 = 0,71µH RLC L21/L24 = 0,79µH, L22/L23 = 0,79µH Gén RF L21/L24 = 0,705/0,704µH, L22/L23 = 0,7µH 220<Q à 18,5MHz<235	18MHz = Trans. -3,86dB, SWR 1,11 18,5MHz = Trans. -3,80dB, SWR 1,19 -3dB = 17,998/18,516MHz -20dB = 17,493/19,050MHz	-3,78dB/1,41 -3,69dB/1,31 1100KHz	

Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande

Sheet: /Filtre 18 – 18,5MHz/
File: Filtre 06.sch

Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1

Size: A4	Date: 22/05/2023	Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1		Id: 7/10



Caractéristiques des Inductances

Tore Amidon T50-6 (Jaune), µi = 8

Fil émaillé 8/10

L25/L28 = 0,49µH, 8t prise à 2t à partir de la masse
L26/L27 = 0,49µH, 8t

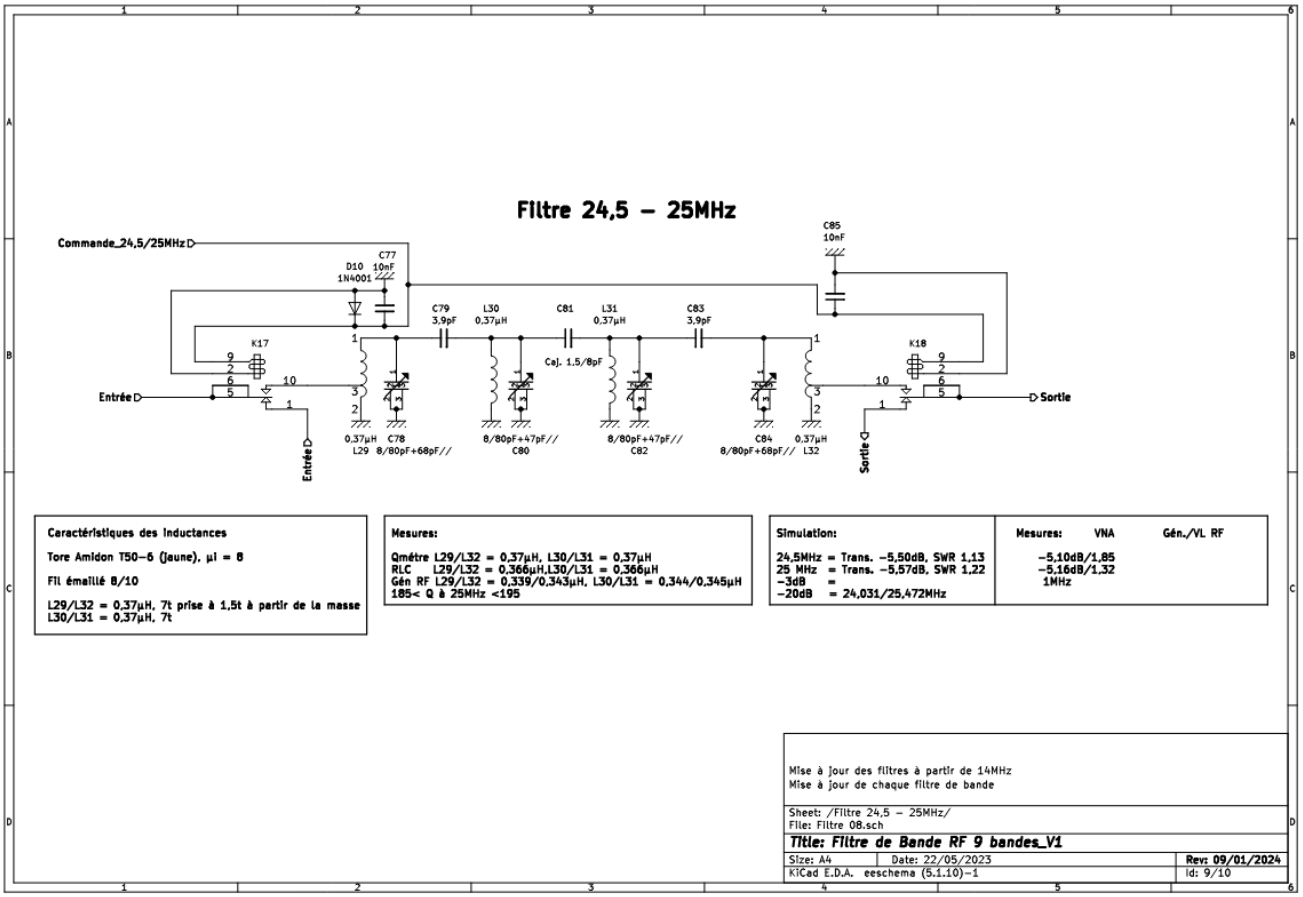
Mesures:

Qmètre L25/L28 = 0,495µH, L26/L27 = 0,495µH
RLC L25/L28 = 0,524µH, L26/L27 = 0,524µH
Gén RF L25/L28 = 0,476/0,474µH, L26/L27 = 0,479µH
215< Qà 21,5MHz <220

Simulation:

21MHz = Trans. -4,79dB, SWR 1,13
21,5MHz = Trans. -4,81dB, SWR 1,23
-3dB =
-20dB = 20,540/21,999MHz

Mesures:	VNA	Gén./VL RF
	-4,61dB/1,33	
	-4,67dB/1,11	
	975KHz	



Caractéristiques des Inductances

Tore Amidon T50-6 (Jaune), µi = 8

Fil émaillé 8/10

L29/L32 = 0,37µH, 7t prise à 1,5t à partir de la masse
L30/L31 = 0,37µH, 7t

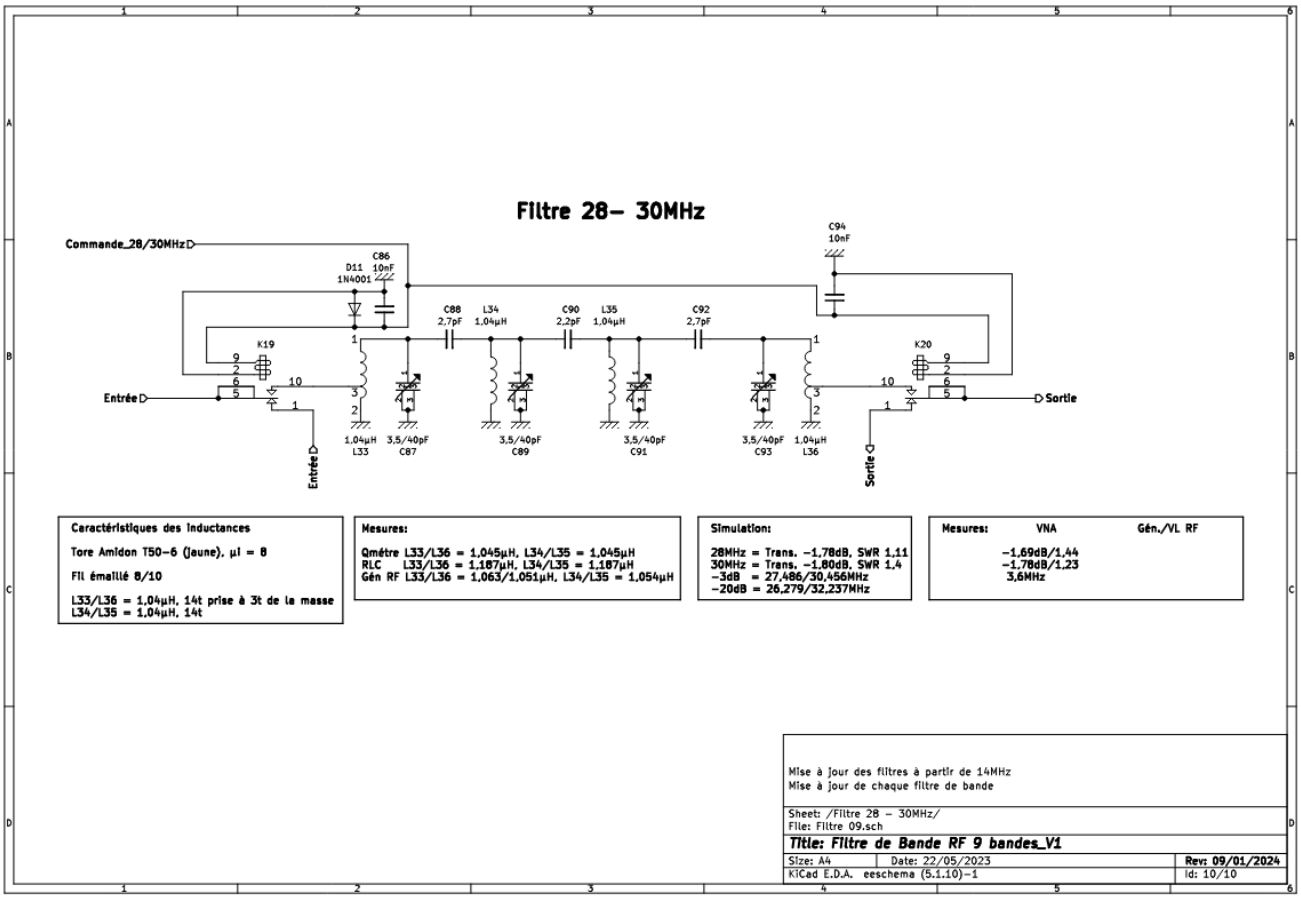
Mesures:

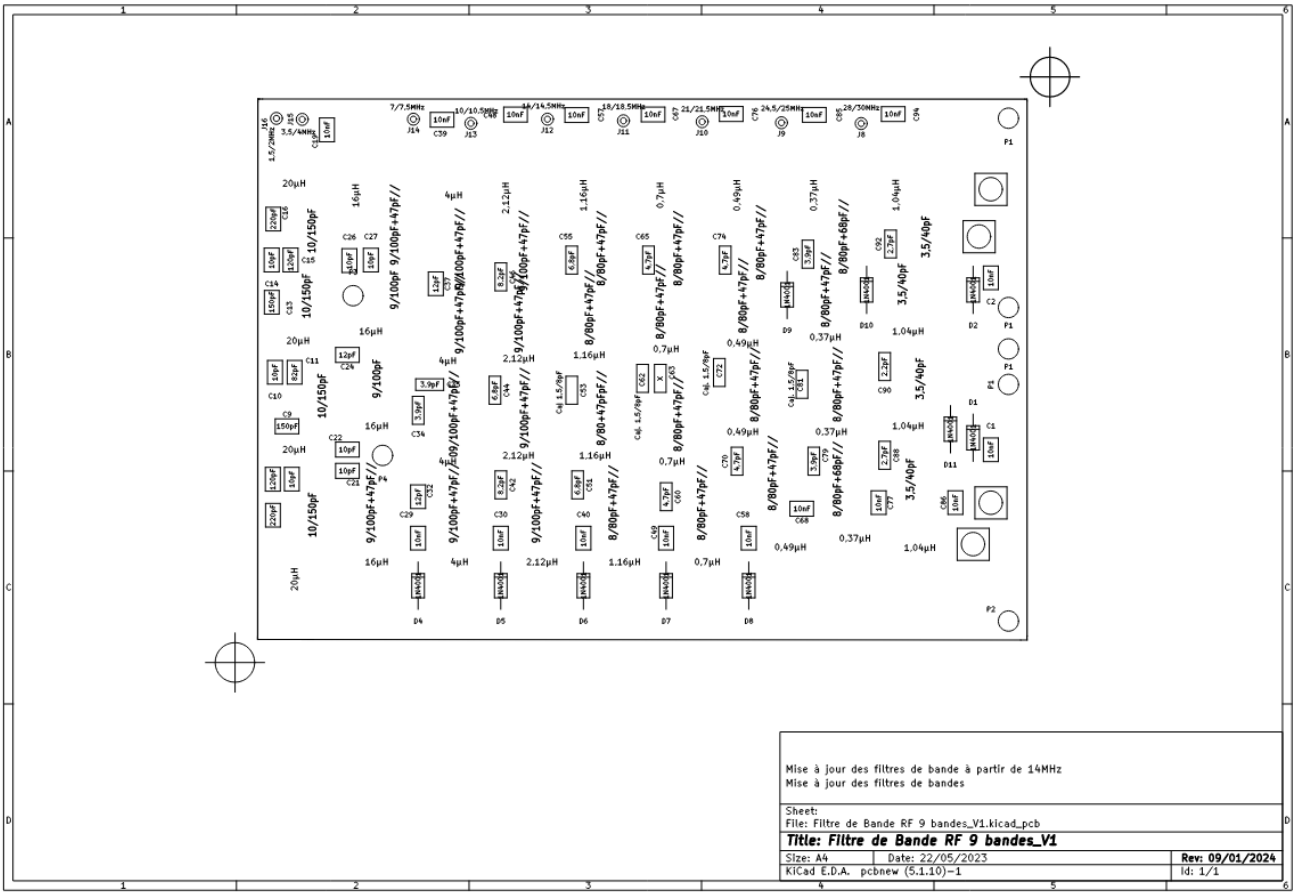
Qmètre L29/L32 = 0,37µH, L30/L31 = 0,37µH
RLC L29/L32 = 0,366µH,L30/L31 = 0,366µH
Gén RF L29/L32 = 0,339/0,343µH, L30/L31 = 0,344/0,345µH
185< Q à 25MHz <195

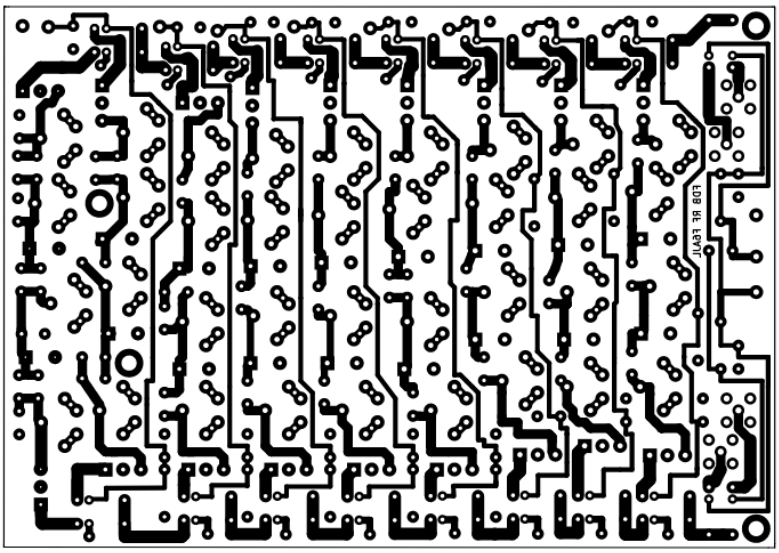
Simulation:

24,5MHz = Trans. -5,50dB, SWR 1,13
25 MHz = Trans. -5,57dB, SWR 1,22
-3dB =
-20dB = 24,031/25,472MHz

Mesures:	VNA	Gén./VL RF
	-5,10dB/1,85	
	-5,16dB/1,32	
	1MHz	


Filtre 28– 30MHz
Commande_28/30MHz
C86
10nF
D11
1N4001
C94
10nF
C88
2,7pF
L34
1,04µH
C90
2,2pF
L35
1,04µH
C92
2,7pF
K19
K20
Entrée
Sortie
1,04µH
L33
3,5/40pF
C87
3,5/40pF
C89
3,5/40pF
C91
3,5/40pF
C93
1,04µH
L36
Caractéristiques des Inductances
Tore Amidon T50-6 (Jaune), µi = 8
Fil émaillé 8/10
L33/L36 = 1,04µH, 14t prise à 3t de la masse
L34/L35 = 1,04µH, 14t
Mesures:
Qmètre L33/L36 = 1,045µH, L34/L35 = 1,045µH
RLC L33/L36 = 1,187µH, L34/L35 = 1,187µH
Gén RF L33/L36 = 1,063/1,051µH, L34/L35 = 1,054µH
Simulation:
28MHz = Trans. -1,78dB, SWR 1,11
30MHz = Trans. -1,80dB, SWR 1,4
-3dB = 27,486/30,456MHz
-20dB = 26,279/32,237MHz
Mesures: VNA Gén./VL RF
-1,69dB/1,44
-1,78dB/1,23
3,6MHz
Mise à jour des filtres à partir de 14MHz
Mise à jour de chaque filtre de bande
Sheet: /Filtre 28 – 30MHz/
File: Filtre 09.sch
Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
Size: A4
Date: 22/05/2023
Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. eeschema (5.1.10)-1
Id: 10/10


Mise à jour des filtres de bande à partir de 14MHz
Mise à jour des filtres de bandes
Sheet:
File: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1.kicad_pcb
Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
Size: A4
Date: 22/05/2023
Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. pcbnew (5.1.10)-1
Id: 1/1

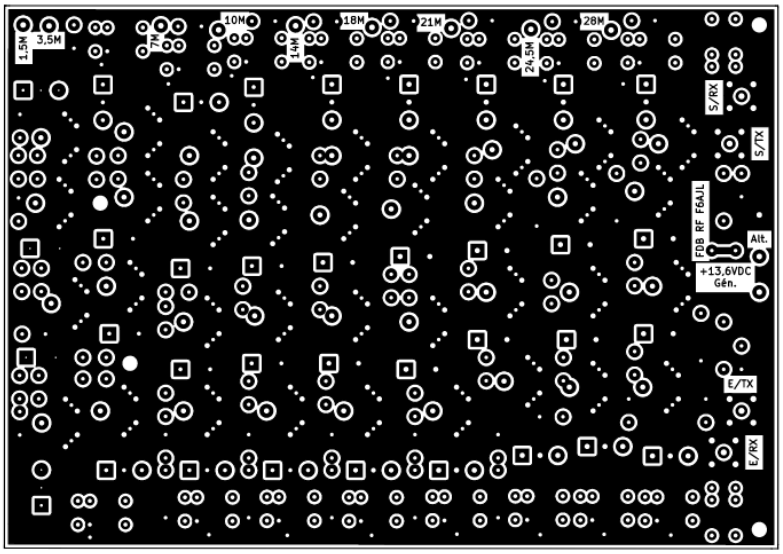


Mise à jour des filtres de bande à partir de 14MHz
Mise à jour des filtres de bandes

Sheet:
File: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1.kicad_pcb

Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1

Size: A4	Date: 22/05/2023	Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. pcbnew (5.1.10)-1		Id: 1/1



Mise à jour des filtres de bande à partir de 14MHz
Mise à jour des filtres de bandes

Sheet:
File: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1.kicad_pcb

Title: Filtre de Bande RF 9 bandes_V1

Size: A4	Date: 22/05/2023	Rev: 09/01/2024
KiCad E.D.A. pcbnew (5.1.10)-1		Id: 1/1

Filtre de Bande RF 9 bandes_V1 (nomenclature)

Id	Référence	Quantité	Désignation	Fournisseur et réf.
1	C1,C2,C19,C29,C30,C39,C40,C48,C49,C57,C58, C67,C68,C76,C77,C85,C86,C94	18	10nF	
2	C4,C8,C12,C17,	4	10/150pF	Condensateur ajustable plastique ø10
3	C20,C28,C31,C33,C36,C38,C41,C43,C45,C47	10	9/100pF	Condensateur ajustable plastique ø10 + 10 condensateurs mica argenté 47pF monté en //
4	,C50,C52,C54,C56,C59,C61,C64,C66,C69,C71,C73,C75,C78,C80,C82,C84	16	8/80pF	Condensateur ajustable plastique ø10 + 16 condensateurs mica argenté 47pF monté en //
5	C6,C10,C14,C21,C22,C26,C27	7	10pF	Condensateur mica argenté/NPO
6	C7,C15	2	120pF	Condensateur mica argenté/NPO
7	C9,C13	2	150pF	Condensateur mica argenté/NPO
8	C11	1	82pF	Condensateur mica argenté/NPO
9	C16,C5	2	220pF	Condensateur mica argenté/NPO
10	C23,C25	2	9/100pF	Condensateur ajustable plastique ø10
11	C24,C32,C37	3	12pF	Condensateur mica argenté/NPO
12	C34,C35,C79,C83	4	3,9pF	Condensateur mica argenté/NPO
13	C42,C46	2	8,2pF	Condensateur mica argenté/NPO
14	C44,	1	5,6pF	Condensateur mica argenté/NPO
15	C51,C55	2	6,8pF	Condensateur mica argenté/NPO
16	C60,C65,C70,C74	4	4,7pF	Condensateur mica argenté/NPO
17	C53,C62,C72,C81	4	1,5/8pF	Condensateur ajustable plastique ø8
18	C87,C89,C91,C93	4	3,5/40pF	Condensateur ajustable plastique ø10
19	C88,C92	2	2,7pF	Condensateur mica argenté/NPO
20	J8	1	28/30MHz	Picot pour PCB
21	J9	1	24,5/25MHz	Picot pour PCB
22	J10	1	21/21,5MHz	Picot pour PCB
23	K1,K2,K5,K6,K7,K8,K9,K10,K11,K12,K13,K14,K15, K16,K17,K18,K19,K20	18		Relais HFD23-1H/AZ9571-1C-12
24	L1,L4	2	20µH	Tore Amidon FT50-61, µi = 125
25	L5,L8	2	16µH	Tore Amidon FT50-2, µi = 125
26	L9,L12	2	4µH	Tore Amidon T50-2, µi = 10
27	L13,L16	2	2,12µH	Tore Amidon T50-2, µi = 10
28	L17,L20	2	1,16µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
29	L21,L24	2	0,7µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
30	L25,L28	2	0,49µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
31	L29,L32	2	0,37µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
32	L33,L36	2	1,04µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
33	P1	1	E/TX	Embase coaxiale 50Ω SMB mâle
34	P2	1	E/RX	Embase coaxiale 50Ω SMB mâle
35	P3	1	S/RX	Embase coaxiale 50Ω SMB mâle

Filtre de Bande RF 9 bandes_V1 (nomenclature)

36	P4	1	S/TX	Embase coaxiale 50Ω SMB mâle
37	L2,L3	2	20µH	Tore Amidon FT50-61, µi = 125
38	L6,L7	2	16µH	Tore Amidon FT50-61, µi = 125
39	L10,L11	2	4µH	Tore Amidon T50-2, µi = 10
40	L14,L15	2	2,12µH	Tore Amidon T50-2, µi = 10
41	L18,L19	2	1,16µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
42	L22,L23	2	0,7µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
43	L26,L27	2	0,49µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
44	L30,L31	2	0,37µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
45	L34,L35	2	1,04µH	Tore Amidon T50-6, µi = 8
46	D1,D2,D4,D5,D6,D7,D8,D9,D10,D11	10	1N4001	
47	J5	1	Alt.	Picot pour PCB
48	J6	1	13,6VDC Gèn.	Picot pour PCB
49	J7	1	GND	Picot pour PCB
50	J11	1	18/18,5MHz	Picot pour PCB
51	J12	1	14/14,5MHz	Picot pour PCB
52	J13	1	10/10,5MHz	Picot pour PCB
53	J14	1	7/7,5MHz	Picot pour PCB
54	J15	1	3,5/4MHz	Picot pour PCB
55	J16	1	1,5/2MHz	Picot pour PCB

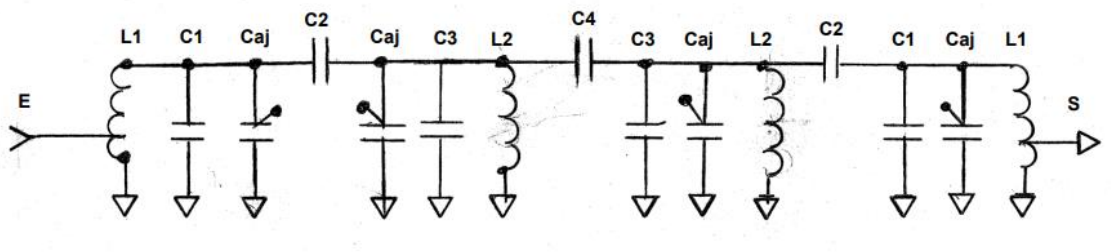
Le tableau récapitulatif indique la constitution et les caractéristiques de chaque filtre. Quelques commentaires et explications s'imposent.

tableau des filtres

Tableau filtres de bande (Butterworth en Pi à 4 pôles) E/R 9 bandes Nx (câblage sur carte)

		Bande de fréquence en Mhz								
		1,5 à 2	3,5 à 4	7 à 7,5	10 à 10,5	14 à 14,5	18 à 18,5	21 à 21,5	24,5 à 25	28 à 30
L1	impédance entrée/sortie en Ω	50	50	50	50	50	50	50	50	50
L1 - L2	impédance de charge en Ω	450	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
L1	inductance en µH	20	16	4	2,12	1,16	0,7	0,49	0,37	1,04
	nbr de T	63	57	27	19	15	11	9	7	14
	prise à partir masse	21	11	5	4	3	3	2	1,5	3
	dia. fil émaillé en mm	2/10	3/10	4/10	6/10	8/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	tore et µi	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8
	Q à vide à fréq.	155/175 à 2MHz	150/200 à 4MHz	215/220 à 7,5MHz	210/220 à 10,5MHz	220/240 à 14,5MHz	220/235 à 18,5MHz	215/220 à 21,5MHz	185/195 à 25MHz	
L2	inductance en µH	20	16	4	2,12	1,16	0,7	0,49	0,37	1,04
	nbr de T	63	57	27	19	15	11	9	7	14
	dia. fil émaillé en mm	2/10	3/10	4/10	6/10	8/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	tore et µi	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-2 rouge,µi=10	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8	Amidon T50-6 jaune,µi=8
	Q à vide à fréq.	155/175 à 2MHz	150/200 à 4MHz	215/220 à 7,5MHz	210/220 à 10,5MHz	220/240 à 14,5MHz	220/235 à 18,5MHz	215/220 à 21,5MHz	185/195 à 25MHz	
C1 en pF	C calculé	300	100	110	106	102	103	110	111	26,7
	c ajust.	10/150	10/150	10/150	10/150	8/80	8/80	8/80	8/80	3,5/40
	C // adit.	220				47	47	47	47	
C2 en pF C4 en pF	C calculé	130	22	11,38	8,03	5,7	4,5	3,86	3,31	2,84
	C2	10+120	10+10	12	8,2	6,8	4,7	4,7	3,9	2,7
	C4	10+82	12	2x3,9//	5,6	3,9	3,3	3,3	3,3	1,8
C3 en pF	C calculé	220	82	103	101	98	100	108	109	24,85
	c ajust.	10/150	9/100	10/150	10/150	8/80	8/80	8/80	8/80	3,5/40
	C // adit.	150				47	47	47	47	
Atténuation en dB	atten. dans la bande	-0,86/-0,91	-1,51/-1,67	-1,95/-1,87	-2,79/-2,95	-2,37/-2,81	-3,76/-4,09	-3,97/-4,01	-4,61/-4,98	-1,87/-2,08
	hors bande à -3dB en MHz	726,666KHz	803,333KHz	906,666KHz	790KHz	840KHz	843,333KHz	1,01MHz	1,056MHz	2,966MHz
	hors bande à -20dB en MHz	1,31/2,62	3,15/4,508	6,566/8,116	9,566/11,066	13,425/15,108	17,475/19,058	20,375/22,033	23,816/25,625	26,533/31,866

Tableau filtres de bande (Butterworth en Pi à 4 pôles) E/R 9 bandes Nx (câblage sur carte)



Filtre de Bande RF 9 bandes V1
Créé le 22/05/2023
Modifié le 09/01/2024

I C1, 10nF
I C2, 10nF
I C4, 10/150pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C5, 220pF condensateur mica argenté
I C6, 10pF condensateur mica argenté

I C7, 120pF condensateur mica argenté
I C8, 10/150pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C9, 150pF condensateur mica argenté
I C10, 10pF condensateur mica argenté
I C11, 82pF condensateur mica argenté
I C12, 10/150pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C13, 150pF condensateur mica argenté
I C14, 10pF condensateur mica argenté
I C15, 120pF condensateur mica argenté
I C16, 220pF condensateur mica argenté
I C17, 10/150pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C19, 10nF
I C20, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C21, 10pF condensateur mica argenté
I C22, 10pF condensateur mica argenté
I C23, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C24, 12pF condensateur mica argenté
I C25, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C26, 10pF condensateur mica argenté
I C27, 10pF condensateur mica argenté
I C28, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C29, 10nF
I C30, 10nF
I C31, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C32, 12pF condensateur mica argenté
I C33, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C34, 3,9pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C35, 3,9pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C36, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C37, 12pF condensateur mica argenté
I C38, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C39, 10nF
I C40, 10nF
I C41, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C42, 8,2pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C43, 9/150pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C44, 6,8pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C45, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C46, 8,2pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C47, 9/100pF condensateur ajustable plastique Ø10 + 47pF// mica argenté
I C48, 10nF
I C49, 10nF
I C50, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C51, 6,8pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C52, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C53, 1,5/8pF condensateur ajustable plastique Ø8
I C54, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C55, 6,8pF condensateur céramique NPO/mica argenté
1/4
Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
I C56, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C57, 10nF
I C58, 10nF
I C59, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C60, 4,7pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C61, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C62, 1,5/8pF condensateur ajustable plastique Ø8
I C63, x provision
I C64, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C65, 4,7pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C66, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C67, 10nF
I C68, 10nF

I C69, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C70, 4,7pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C71, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C72, 1,5/8pF condensateur ajustable plastique Ø8
I C73, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C74, 4,7pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C75, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C76, 10nF
I C77, 10nF
I C78, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 68pF//mica argenté
I C79, 3,9pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C80, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C81, 1,5/8pF condensateur ajustable plastique Ø8
I C82, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 47pF//mica argenté
I C83, 3,9pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C84, 8/80pF condensateur ajustable plastique Ø10+ 68pF//mica argenté
I C85, 10nF
I C86, 10nF
I C87, 3,5/40pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C88, 2,7pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C89, 3,5/40pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C90, 2,2pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C91, 3,5/40pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C92, 2,7pF condensateur céramique NPO/mica argenté
I C93, 3,5/40pF condensateur ajustable plastique Ø10
I C94, 10nF
I D1, 1N4001
I D2, 1N4001
I D4, 1N4001
I D5, 1N4001
I D6, 1N4001
I D7, 1N4001
I D8, 1N4001
I D9, 1N4001
I D10, 1N4001
I D11, 1N4001
I J1, P1
I J2, P1
I J3, P1
I J4, P1
I J5, P1 picot pour PCB
I J6, P1 picot pour PCB
I J7, P1 picot pour PCB
I J8, 28/30MHz picot pour PCB
I J9, 24,5/25MHz picot pour PCB
2/4
Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
I J10, 21/21,5MHz picot pour PCB
I J11, 18/18,5MHz picot pour PCB
I J12, 14/14,5MHz picot pour PCB
I J13, 10/10,5MHz picot pour PCB
I J14, 7/7,5MHz picot pour PCB
I J15, 3,5/4MHz picot pour PCB
I J16, 1,5/2MHz picot pour PCB
I K1, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K2, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K5, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K6, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K7, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K8, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K9, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K10, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K11, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC

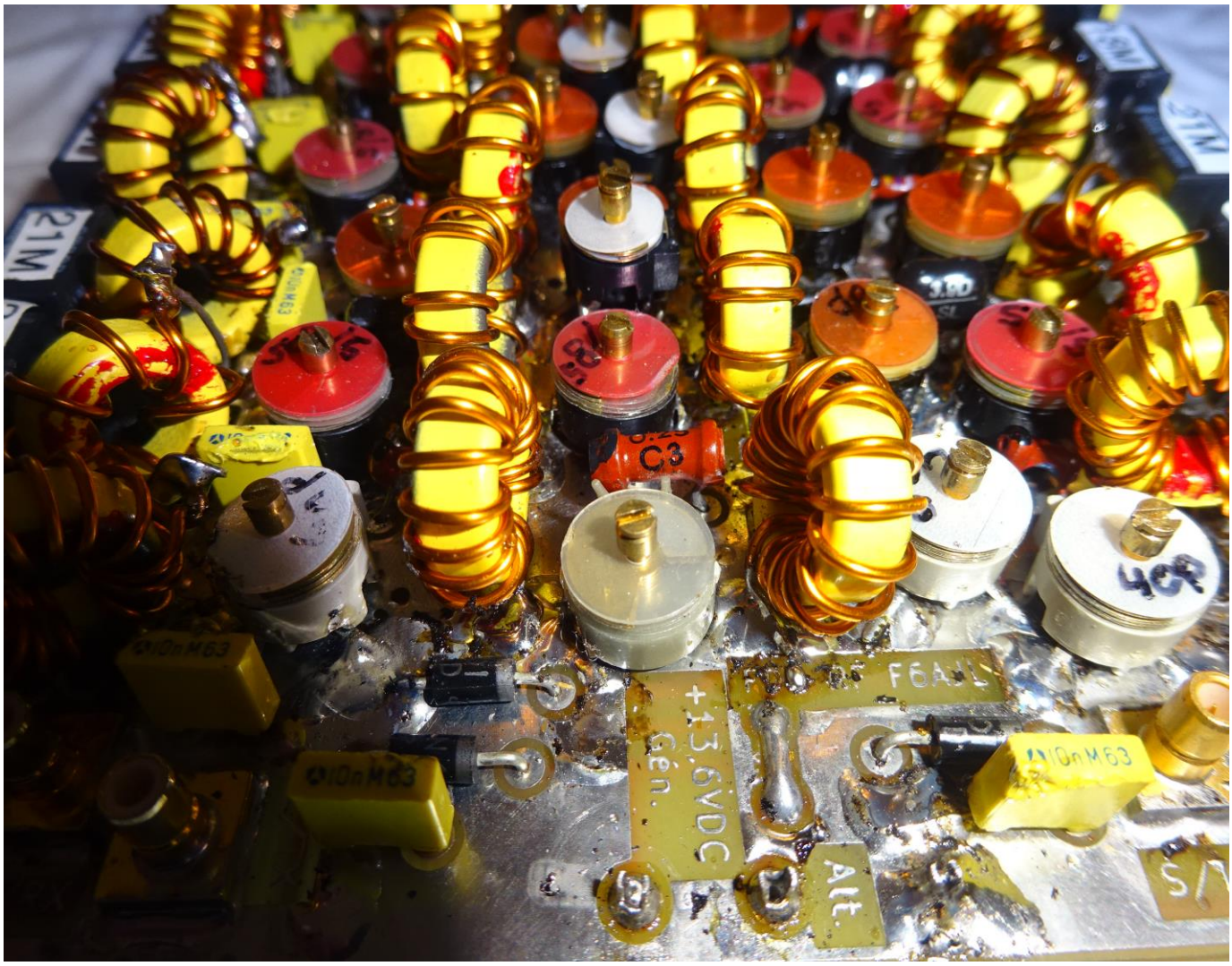
I K12, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K13, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K14, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K15, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K16, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K17, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K18, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K19, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I K20, RELAIS-1RT/1A/HFD23-1H/AZ9571-1C-12/1RT/12VDC
I L1, 20µH tore Amidon FT50-61, µi=125
I L2, 20µH tore Amidon FT50-61, µi=125
I L3, 20µH tore Amidon FT50-61, µi=125
I L4, 20µH tore Amidon FT50-61, µi=125
I L5, 16µH tore Amidon FT50-61, µi=125
I L6, 16µH tore Amidon FT50-61, µi=10
I L7, 16µH tore Amidon FT50-61, µi=125
I L8, 16µH tore Amidon FT50-2, µi=125
I L9, 4µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L10, 4µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L11, 4µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L12, 4µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L13, 2,12µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L14, 2,12µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L15, 2,12µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L16, 2,12µH tore Amidon T50-2, µi=10
I L17, 1,16µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L18, 1,16µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L19, 1,16µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L20, 1,16µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L21, 0,7µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L22, 0,7µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L23, 0,7µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L24, 0,7µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L25, 0,49µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L26, 0,49µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L27, 0,49µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L28, 0,49µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L29, 0,37µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L30, 0,37µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L31, 0,37µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L32, 0,37µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L33, 1,04µH tore Amidon T50-6, µi=8
3/4
Filtre de Bande RF 9 bandes_V1
I L34, 1,04µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L35, 1,04µH tore Amidon T50-6, µi=8
I L36,1,04µH tore Amidon T50-6, µi=8
I P1, SMA embase coaxiale 50Ω SMB mâle
I P2, SMA embase coaxiale 50Ω SMB mâle
I P3, SMA embase coaxiale 50Ω SMB mâle
I P4, SMA embase coaxiale 50Ω SMB mâle
4/4

L'impédance E/S de chaque filtre est de 50Ω. Lors de la simulation du filtre, le système ELSIE 2.85 impose de définir une impédance du filtre. Pour avoir un bon équilibre entre la valeur de l'inductance et le Q de la bobine, il est nécessaire de ne pas avoir trop de tours au niveau du tore. Le diamètre du fil constituant l'inductance entre en ligne de compte. Pour chaque filtre, j'ai défini une impédance réaliste. Pour le filtre 1,5/2MHz une impédance de 450Ω est réaliste. Soit 450/50 = 9 (rapport d'impédance) soit 3^e2 (rapport de transformation) La prise 50Ω se situera au 1/3 à partir du point froid de l'inductance (masse). Pour les autres bandes, j'ai choisi une impédance de 1250Ω soit 1250/50 = 25 (rapport d'impédance) et 5^e2 pour le rapport de transformation.

Le programme « mini Tore calculateur.exe » permet de calculer le nombre de tour en fonction de la valeur de l'inductance, le type de tore utilisé et définit le diamètre maximal du fil à utiliser pour constituer l'inductance. 1

tour sur un tore est constituer de 1 fil qui entre dans le tore et la re rentre sur le tore pour constituer 1 tour. Le fait de rapprocher les tours permet d'augmenter dans une faible proportion l'inductance donc baisser la fréquence. Ecarter les tours à un effet contraire, diminution de l'inductance et augmentation de la fréquence.

A partir du filtre de bande 14MHz et jusqu'au filtre 28/30MHz, le condensateur de couplage central C4 est constitué par un condensateur ajustable plastique de Ø8mm de 1,5/8pF (montage en l'air). Le réglage du couplage se fait beaucoup mieux. J'ai opté pour cette solution car j'avais du mal à trouver la bonne valeur des condensateurs fixes pour avoir un réglage optimum.



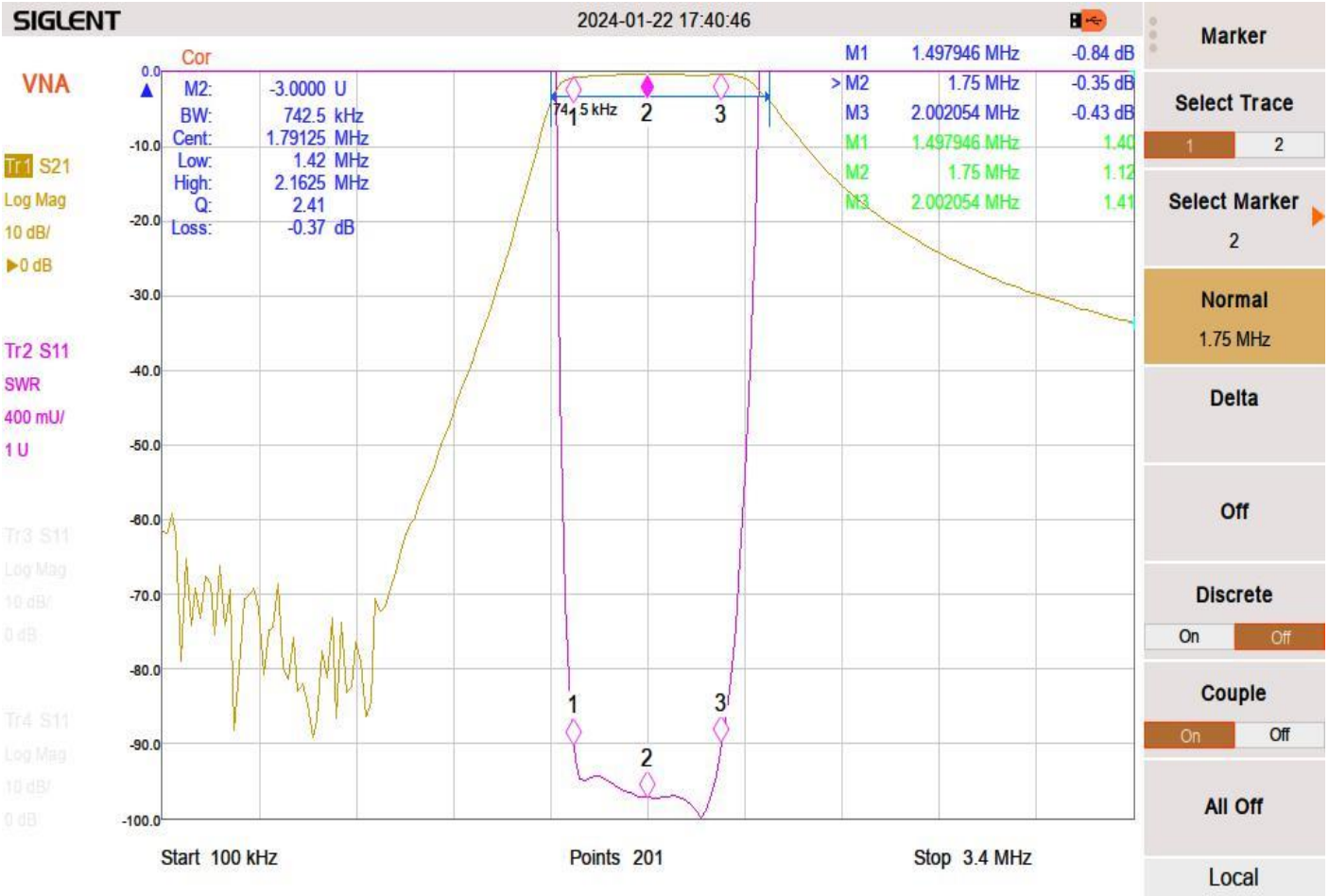
Pour l'ensemble des filtres utiliser seulement des condensateurs au mica argenté ou céramique NPO, pour des questions de stabilité dans le temps. Les filtres 1,5/2 et 3,5/4MHz, utilise des tores AMIDON FT50-61 avec un µi = 125, cela a permis de diminuer le nombre de tours et de faciliter le bobinage. Les résultats sont là.

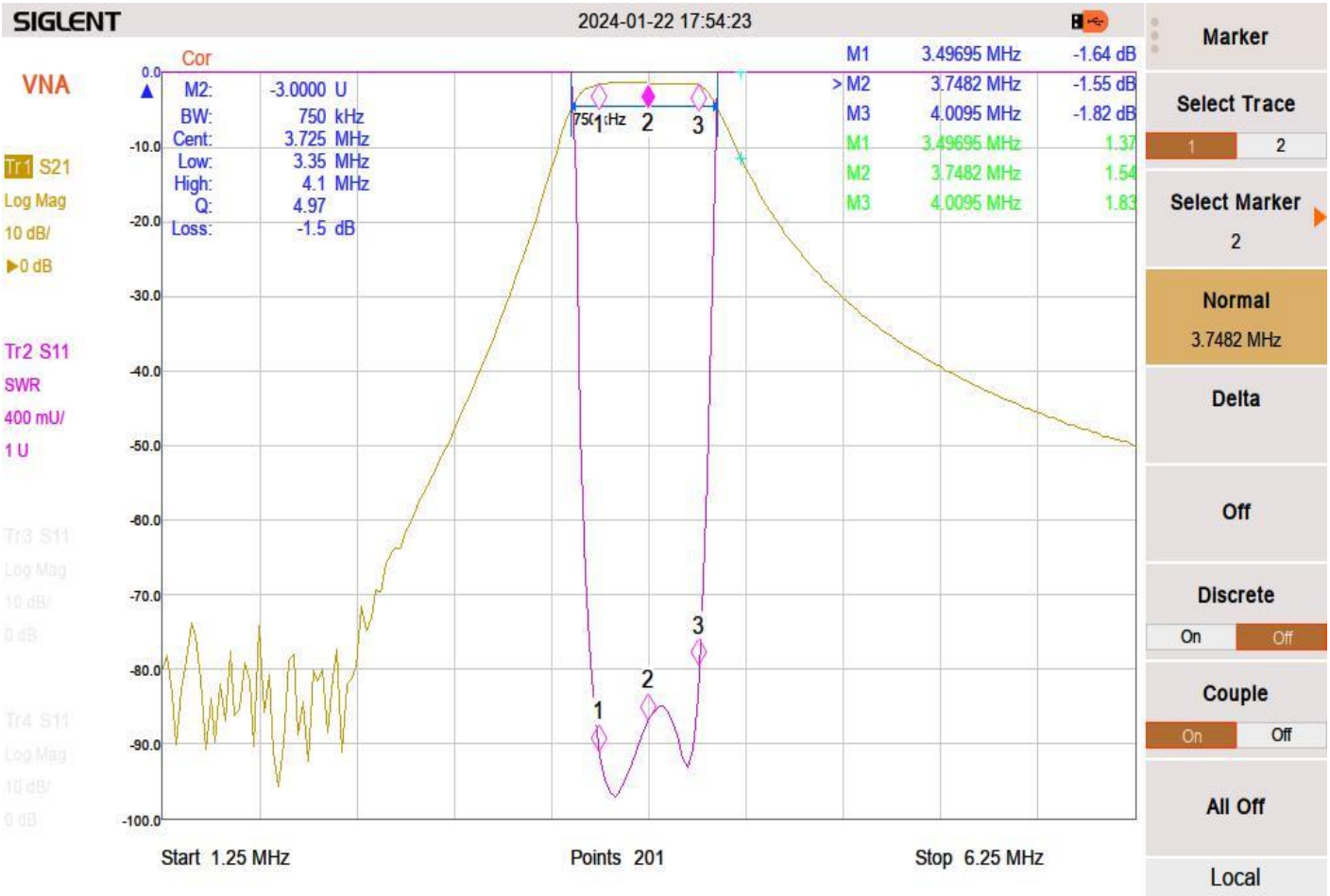
Pour la réalisation et le contrôle des inductances, utiliser un Qmètre FERISOL M803A (antique mais très utile) ou un pont RLC RF pour ajuster l'inductance à la fréquence d'utilisation. Pour le réglage final des filtres je vous conseille d'utiliser un VNA performant dans mon cas j'utilise le VNA SIGLENT SVA1032X qui présente l'avantage de regrouper sur l'écran la courbe S11 et S21 simultanément et qui interagisse, ce qui facilite grandement la mise au point.

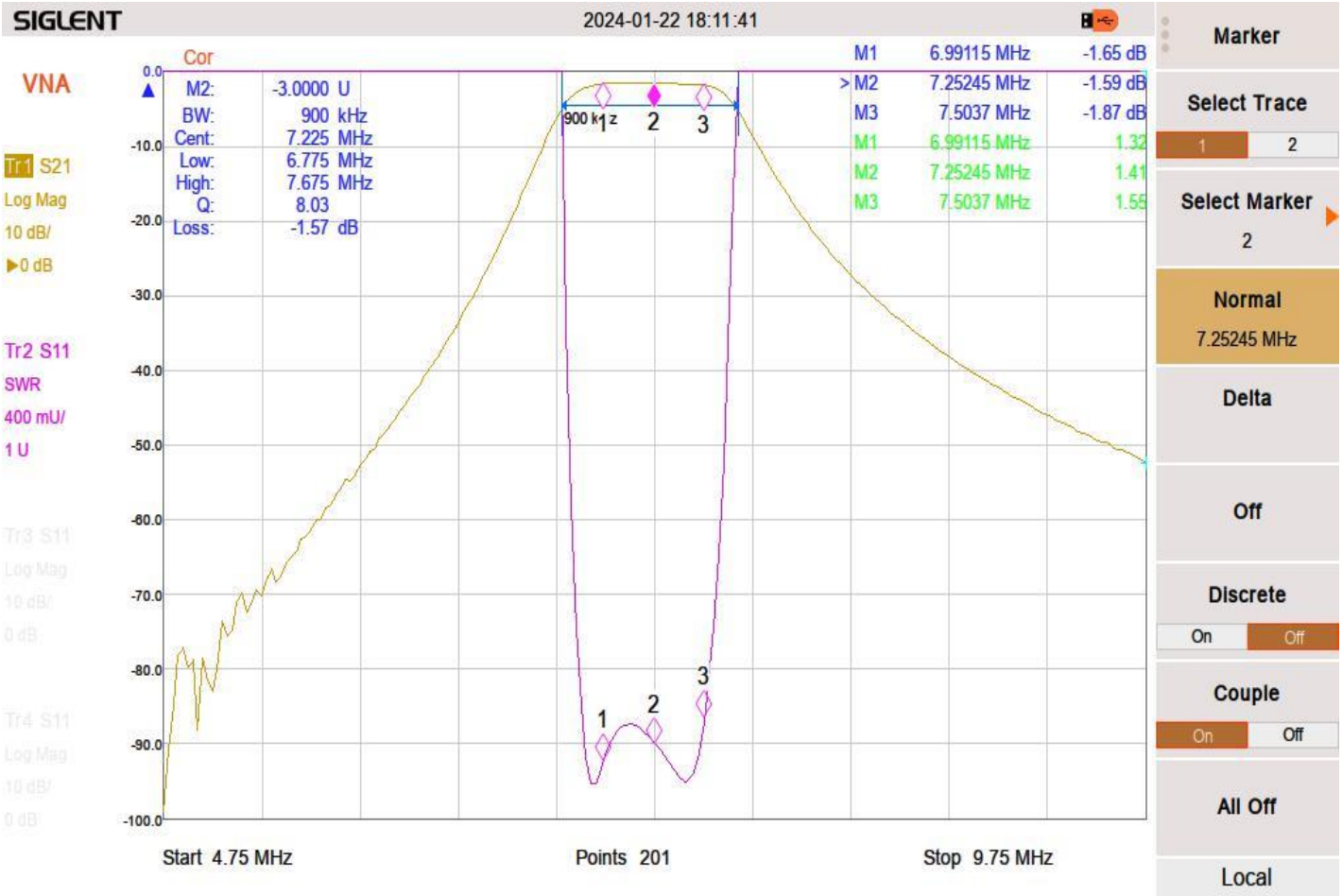
Le réglage des filtres au générateur RF et millivoltmètre RF sera lent et fastidieux car nécessaire d'effectuer le réglage point par point. Sans connaitre de façon précise la courbe de réponse du filtre.

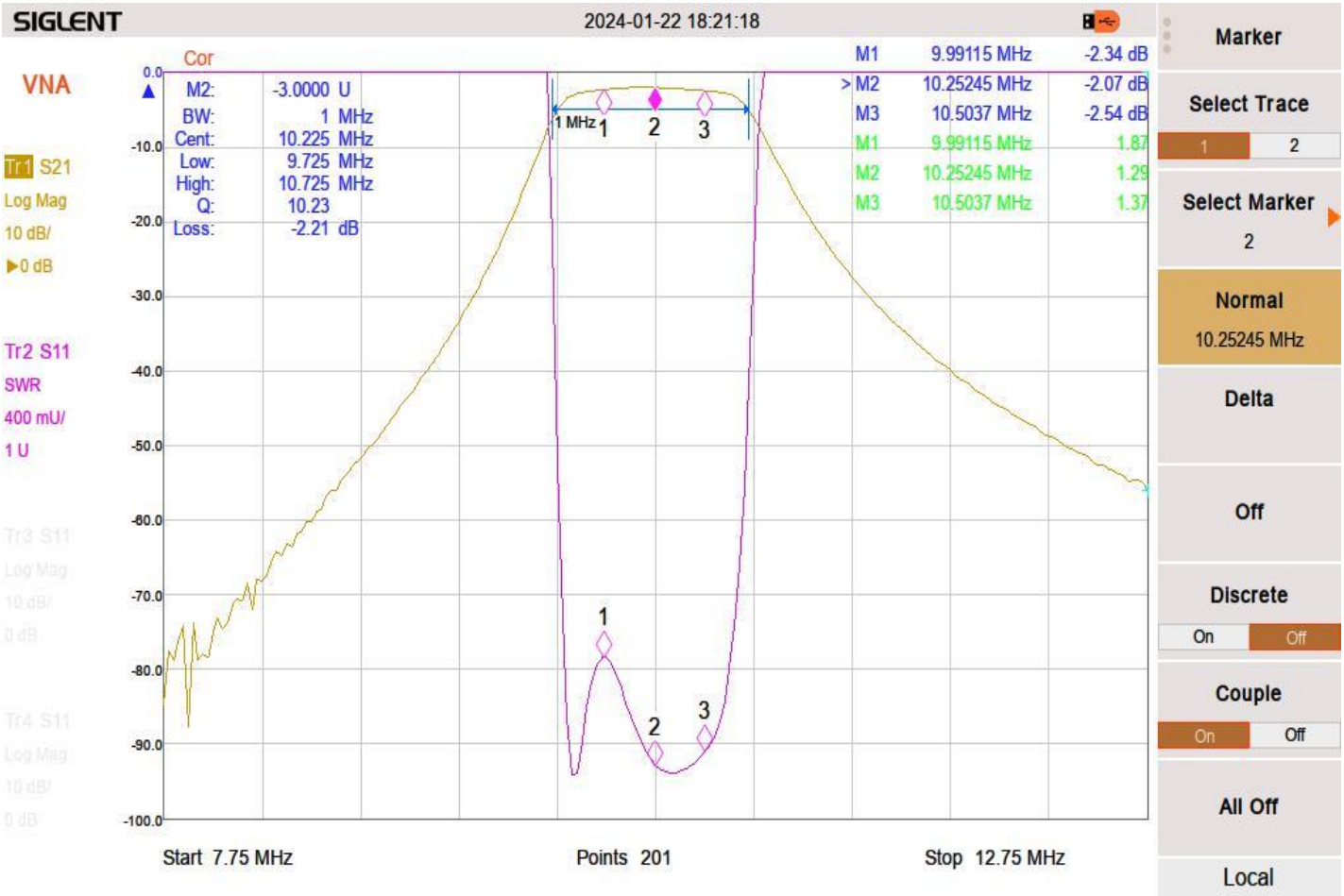
Cet ensemble de filtre peut - être utiliser devant une chaîne SDR et en améliorera la réception.

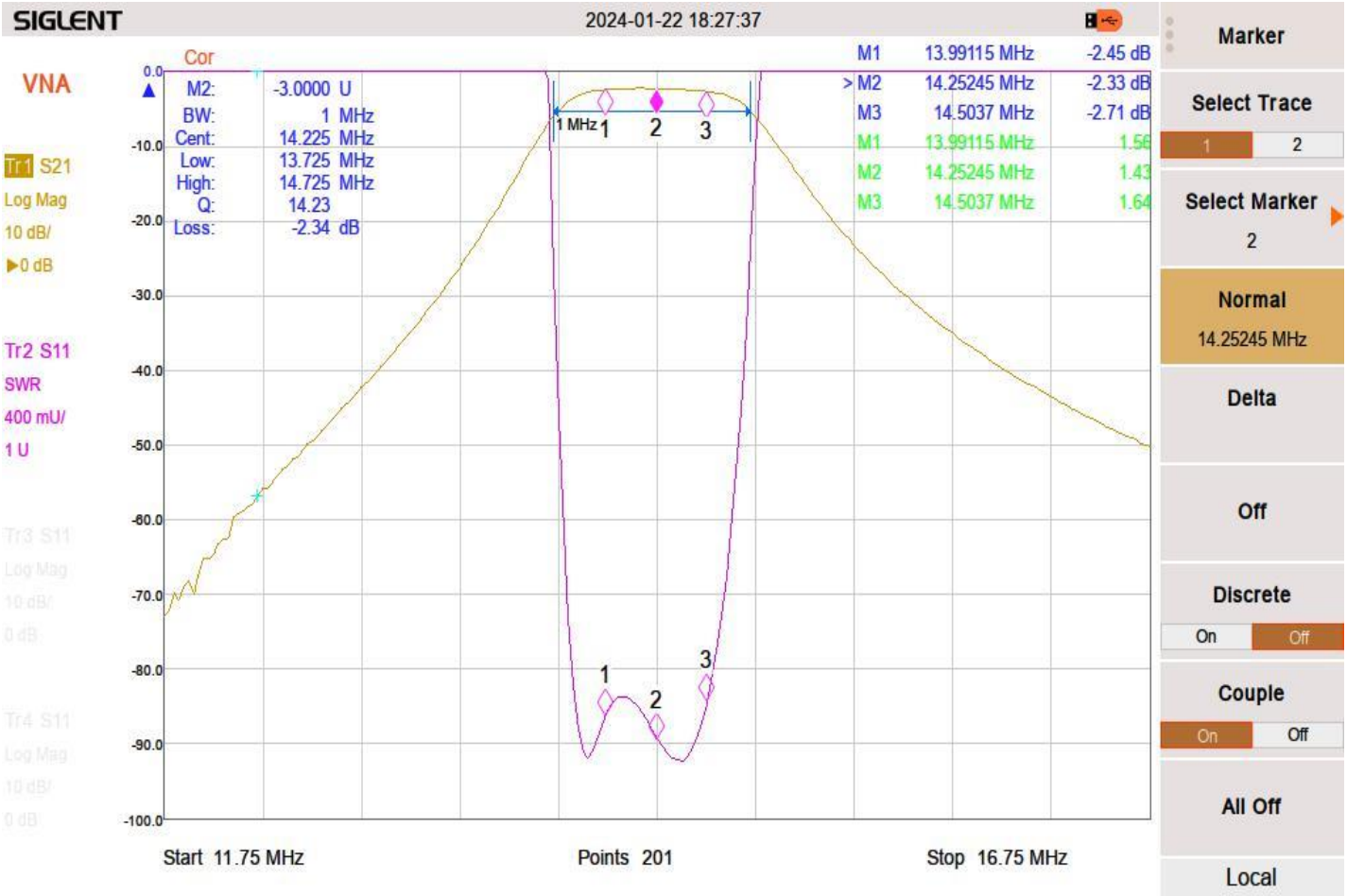
Courbes de réponses des filtres.

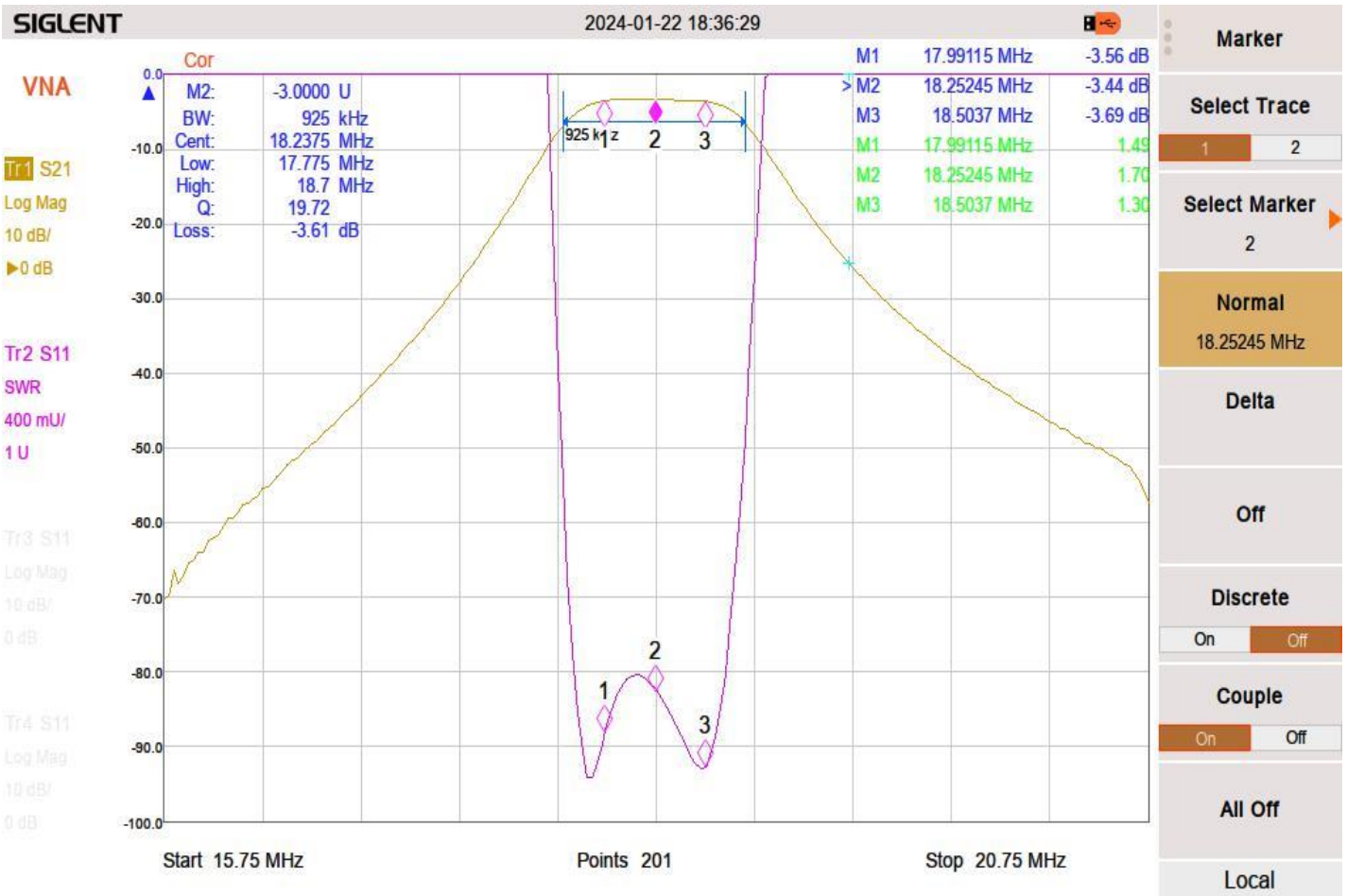

SIGLENT
2024-01-22 17:40:46
VNA
Cor
M2: -3.0000 U
BW: 742.5 kHz
Cent: 1.79125 MHz
Low: 1.42 MHz
High: 2.1625 MHz
Q: 2.41
Loss: -0.37 dB
M1 1.497946 MHz -0.84 dB
M2 1.75 MHz -0.35 dB
M3 2.002054 MHz -0.43 dB
M1 1.497946 MHz 1.40
M2 1.75 MHz 1.12
M3 2.002054 MHz 1.41
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
Start 100 kHz
Points 201
Stop 3.4 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
1.75 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local

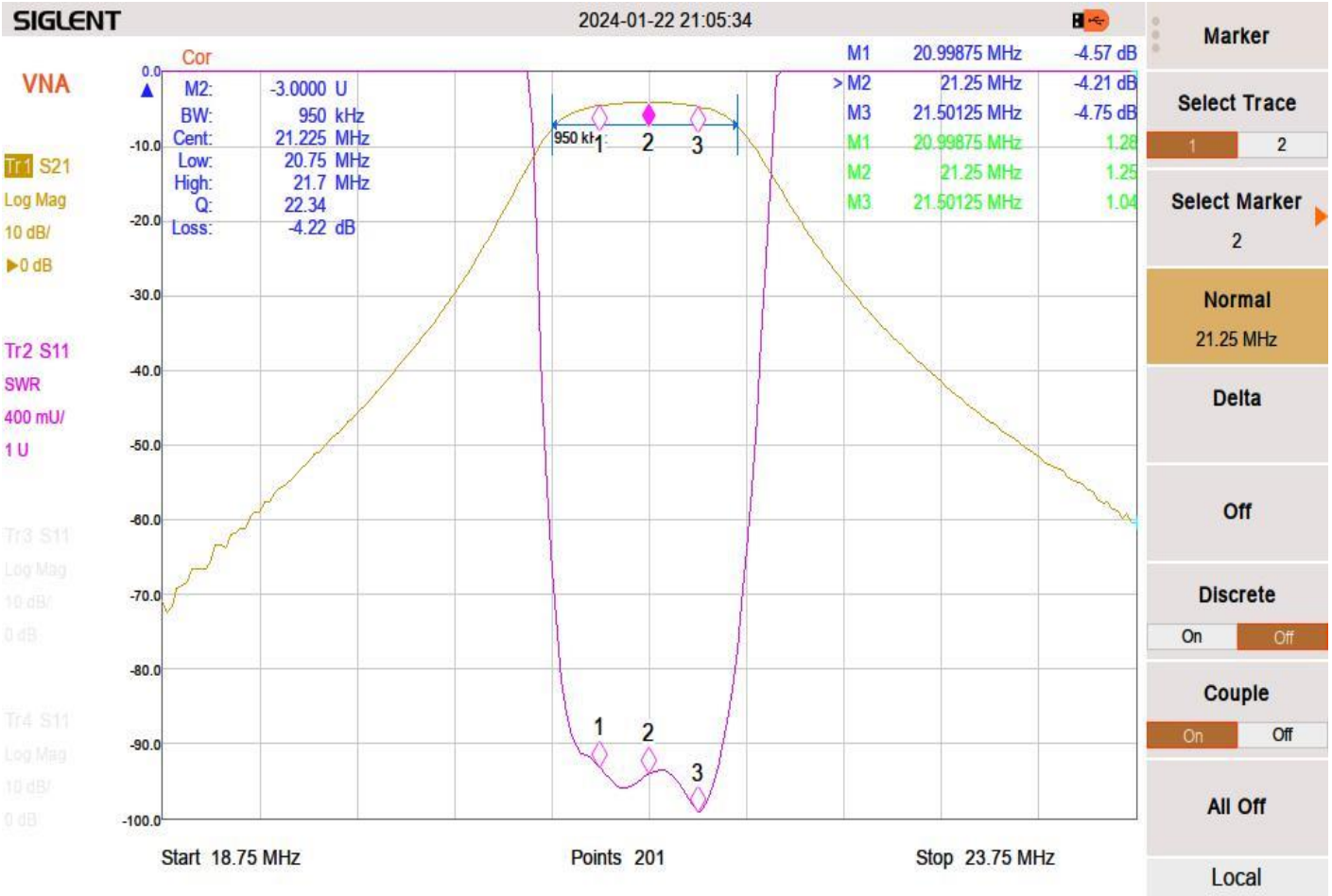

SIGLENT
2024-01-22 17:54:23
VNA
Cor
M2: -3.0000 U
BW: 750 kHz
Cent: 3.725 MHz
Low: 3.35 MHz
High: 4.1 MHz
Q: 4.97
Loss: -1.5 dB
M1 3.49695 MHz -1.64 dB
M2 3.7482 MHz -1.55 dB
M3 4.0095 MHz -1.82 dB
M1 3.49695 MHz 1.37
M2 3.7482 MHz 1.54
M3 4.0095 MHz 1.83
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
Start 1.25 MHz
Points 201
Stop 6.25 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
3.7482 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local

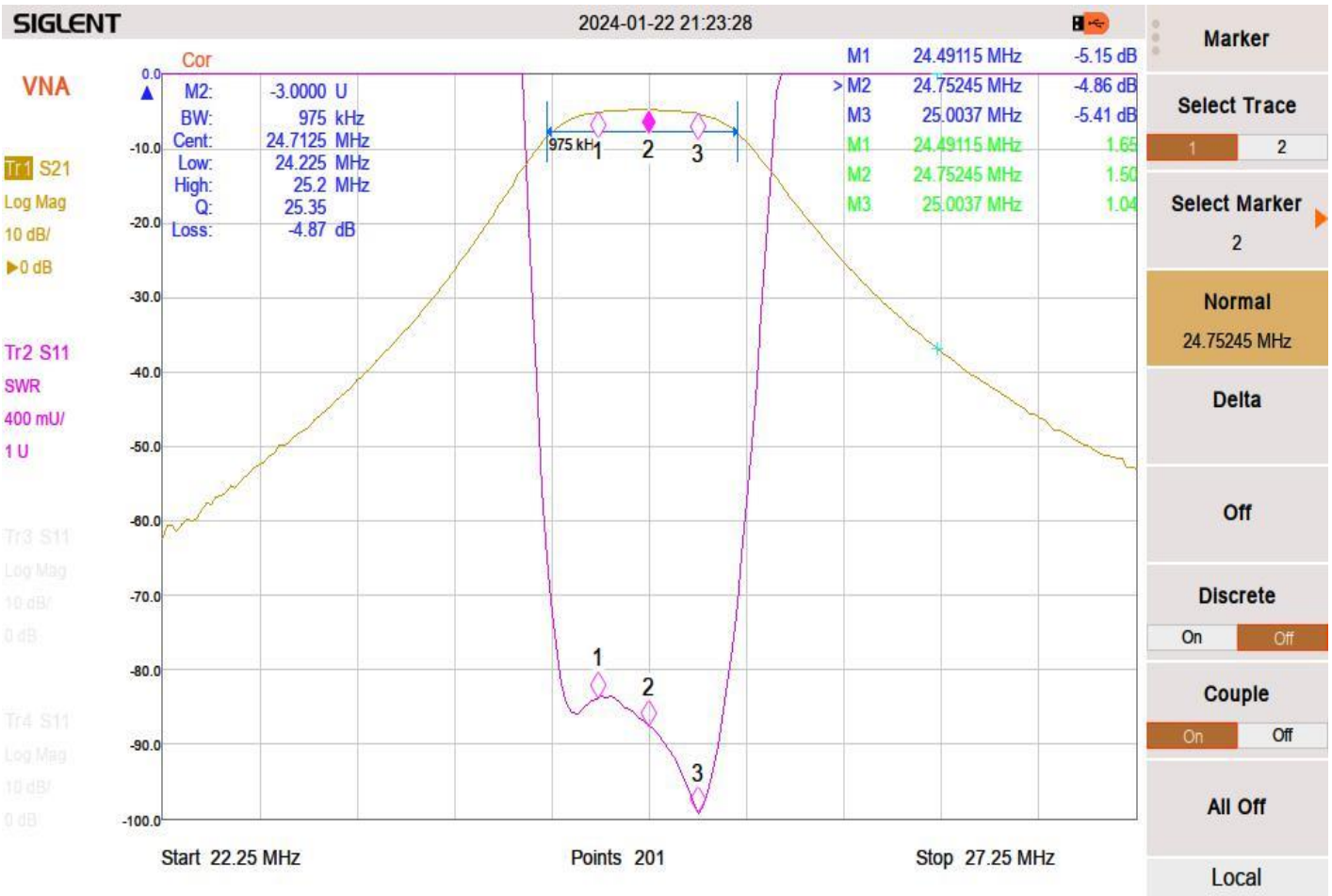

SIGLENT
2024-01-22 18:11:41
VNA
Cor
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
▶0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
M2: -3.0000 U
BW: 900 kHz
Cent: 7.225 MHz
Low: 6.775 MHz
High: 7.675 MHz
Q: 8.03
Loss: -1.57 dB
900 kHz
M1 6.99115 MHz -1.65 dB
> M2 7.25245 MHz -1.59 dB
M3 7.5037 MHz -1.87 dB
M1 6.99115 MHz 1.32
M2 7.25245 MHz 1.41
M3 7.5037 MHz 1.55
Start 4.75 MHz
Points 201
Stop 9.75 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
7.25245 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local

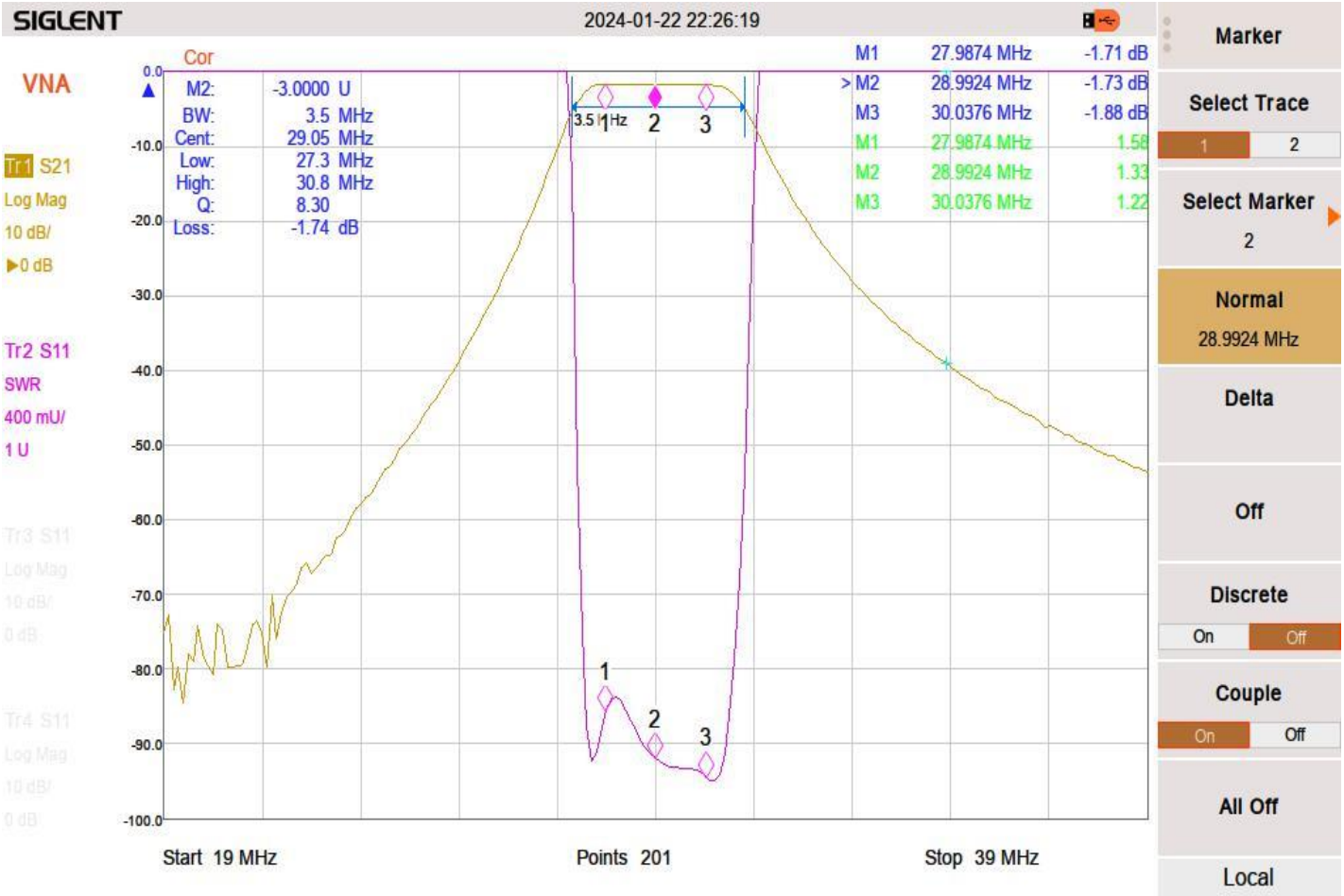

SIGLENT
2024-01-22 18:21:18
VNA
Cor
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
▶0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
M2: -3.0000 U
BW: 1 MHz
Cent: 10.225 MHz
Low: 9.725 MHz
High: 10.725 MHz
Q: 10.23
Loss: -2.21 dB
1 MHz
M1 9.99115 MHz -2.34 dB
> M2 10.25245 MHz -2.07 dB
M3 10.5037 MHz -2.54 dB
M1 9.99115 MHz 1.87
M2 10.25245 MHz 1.29
M3 10.5037 MHz 1.37
Start 7.75 MHz
Points 201
Stop 12.75 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
10.25245 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local


SIGLENT
2024-01-22 18:27:37
VNA
Cor
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
M2: -3.0000 U
BW: 1 MHz
Cent: 14.225 MHz
Low: 13.725 MHz
High: 14.725 MHz
Q: 14.23
Loss: -2.34 dB
M1 13.99115 MHz -2.45 dB
M2 14.25245 MHz -2.33 dB
M3 14.5037 MHz -2.71 dB
M1 13.99115 MHz 1.56
M2 14.25245 MHz 1.43
M3 14.5037 MHz 1.64
1 MHz
Start 11.75 MHz
Points 201
Stop 16.75 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
14.25245 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local


SIGLENT
2024-01-22 18:36:29
VNA
Cor
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
M2: -3.0000 U
BW: 925 kHz
Cent: 18.2375 MHz
Low: 17.775 MHz
High: 18.7 MHz
Q: 19.72
Loss: -3.61 dB
M1 17.99115 MHz -3.56 dB
M2 18.25245 MHz -3.44 dB
M3 18.5037 MHz -3.69 dB
M1 17.99115 MHz 1.49
M2 18.25245 MHz 1.70
M3 18.5037 MHz 1.30
925 kHz
Start 15.75 MHz
Points 201
Stop 20.75 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
18.25245 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local


SIGLENT
2024-01-22 21:05:34
VNA
Cor
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
M2: -3.0000 U
BW: 950 kHz
Cent: 21.225 MHz
Low: 20.75 MHz
High: 21.7 MHz
Q: 22.34
Loss: -4.22 dB
M1 20.99875 MHz -4.57 dB
M2 21.25 MHz -4.21 dB
M3 21.50125 MHz -4.75 dB
M1 20.99875 MHz 1.28
M2 21.25 MHz 1.25
M3 21.50125 MHz 1.04
950 kHz
Start 18.75 MHz
Points 201
Stop 23.75 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
21.25 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local


SIGLENT
2024-01-22 21:23:28
VNA
Cor
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
M2: -3.0000 U
BW: 975 kHz
Cent: 24.7125 MHz
Low: 24.225 MHz
High: 25.2 MHz
Q: 25.35
Loss: -4.87 dB
M1 24.49115 MHz -5.15 dB
M2 24.75245 MHz -4.86 dB
M3 25.0037 MHz -5.41 dB
M1 24.49115 MHz 1.65
M2 24.75245 MHz 1.50
M3 25.0037 MHz 1.04
975 kHz
Start 22.25 MHz
Points 201
Stop 27.25 MHz
Marker
Select Trace
1 2
Select Marker
2
Normal
24.75245 MHz
Delta
Off
Discrete
On Off
Couple
On Off
All Off
Local


SIGLENT
2024-01-22 22:26:19
VNA
Cor
Tr1 S21
Log Mag
10 dB/
▶0 dB
Tr2 S11
SWR
400 mU/
1 U
Tr3 S11
Log Mag
10 dB/
0 dB
Tr4 S11
Log Mag
10 dB/
0 dB
M2: -3.0000 U
BW: 3.5 MHz
Cent: 29.05 MHz
Low: 27.3 MHz
High: 30.8 MHz
Q: 8.30
Loss: -1.74 dB
M1 27.9874 MHz -1.71 dB
> M2 28.9924 MHz -1.73 dB
M3 30.0376 MHz -1.88 dB
M1 27.9874 MHz 1.58
M2 28.9924 MHz 1.33
M3 30.0376 MHz 1.22
3.5 MHz
0.0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
Start 19 MHz
Points 201
Stop 39 MHz
Marker
Select Trace
1
2
Select Marker
2
Normal
28.9924 MHz
Delta
Off
Discrete
On
Off
Couple
On
Off
All Off
Local