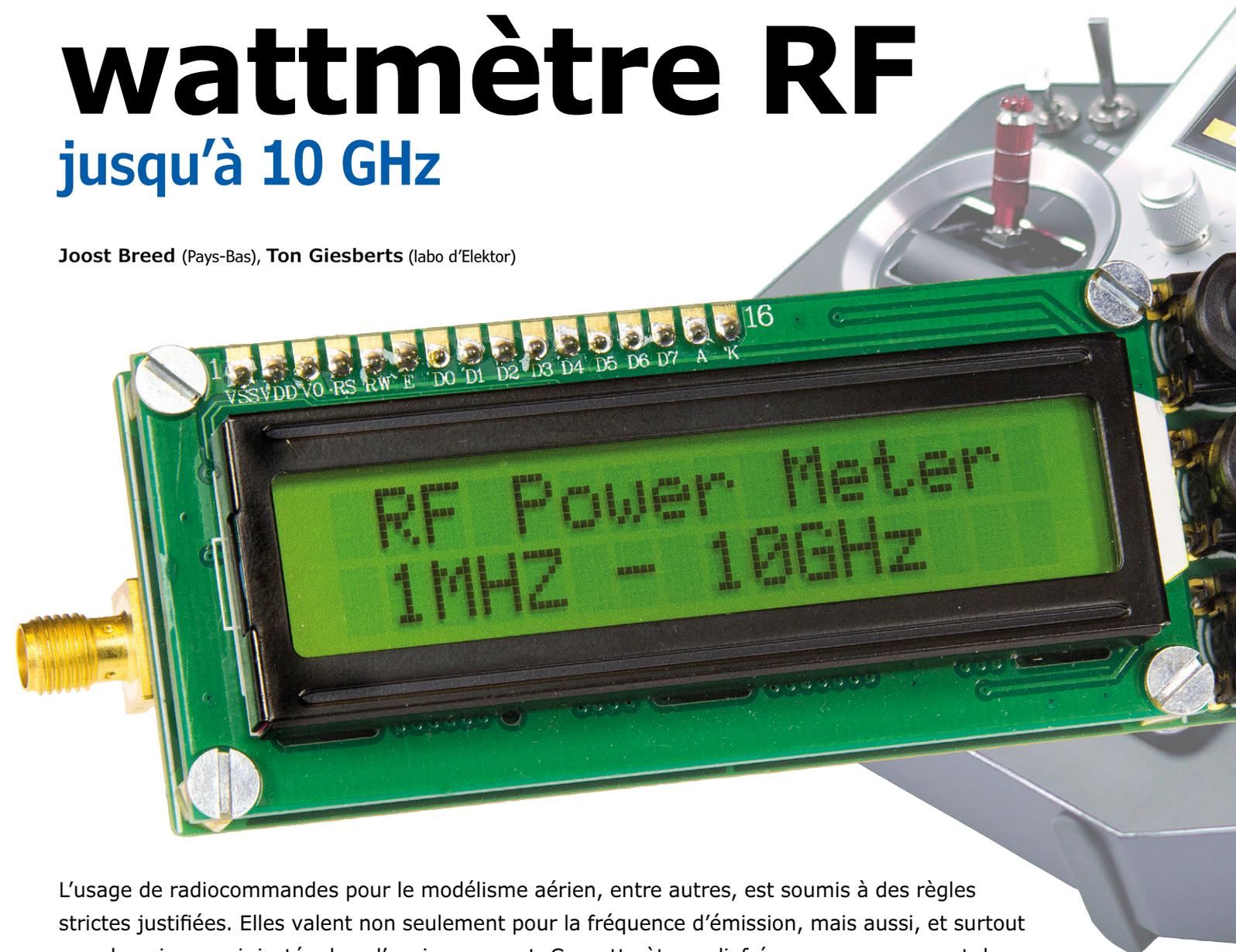


wattmètre RF

jusqu'à 10 GHz

Joost Breed (Pays-Bas), Ton Giesberts (labo d'Elektor)



L'usage de radiocommandes pour le modélisme aérien, entre autres, est soumis à des règles strictes justifiées. Elles valent non seulement pour la fréquence d'émission, mais aussi, et surtout pour la puissance injectée dans l'environnement. Ce wattmètre radiofréquence vous permet de vérifier votre puissance d'émission, sans limites jusqu'à 10 GHz.

Caractéristiques techniques

- wattmètre RF
- largeur de bande de 1 MHz à 10 GHz
- domaine de dynamique de 55 dB
- compact : env. 95 × 36 × 30 mm

Je suis un membre enthousiaste du club FMS, la **F**édération des pilotes **M**odélistes de **S**paarnwoude (province de Hollande-Septentrionale) et l'heureux

possesseur d'un octocopteur d'une envergure d'un mètre, équipé d'une caméra et d'une liaison vidéo directe. La commande radio du modèle opère à 5,8 GHz avec une puissance maximale d'émission de 25 mW. Plus qu'il n'en faut pour des appareils qui ne peuvent pas dépasser les 100 m d'altitude et doivent rester en permanence sous contrôle visuel.

Comme la base propre de la FMS est proche de Schiphol, le plus grand aéroport des Pays-Bas, voisin d'Amsterdam, il convient de redoubler de prudence pour ne jamais dépasser la limite

de puissance permise et éviter les tracas avec les autorités.

Bien sûr, rien n'empêche d'acheter un wattmètre RF tout fait, mais ce genre d'instrument coûte quand même quelques centaines d'euros. Il y a donc intérêt à le fabriquer soi-même...

Le projet

Toutefois, ne vous méprenez pas : il ne s'agit pas d'un projet de construction anodin ! Pour rester dans les limites de l'art de la soudure « de pointe », le wattmètre RF sera réparti sur deux circuits



la tête RF dans d'autres applications ou la placer plus près de la source de signal.

La carte principale

La **figure 1** montre le schéma remarquablement simple de la carte principale. C'est l'Arduino Nano (MOD2) qui en constitue le cœur. Sur les broches D2 à D8, on branche un module LCD standard (2 lignes de 16 caractères), avec P1 pour régler le contraste. Nous avons ajouté R5 pour améliorer la précision.

On utilise le wattmètre au moyen des boutons-poussoirs S1 à S3, avec les résistances de rappel vers le bas R1 à R3 (cf. ci-dessous). L'alimentation continue provient de l'extérieur, un bloc de 7 à 12 V branché sur K1, ce qui procure à la carte

INFOS SUR LE PROJET

	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Haute fréquence</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Arduino Nano</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">CMS</div>
	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">débutant</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">connaissseur</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px; background-color: #eee;">expert</div>
	env. 4 h
	Station de soudage pour CMS, station à air chaud ou four à refusion, adaptateur de programmation
	env. 50 €

Arduino Nano un très bon 5 V pour alimenter les divers modules. La diode D1 protège d'une inversion de polarité.

imprimés, disons même trois : une carte principale pour les commandes de service et l'affichage (LCD), plus une tête à radiofréquence sous forme d'une carte de liaison compacte à monter sur la carte principale. Et la troisième carte, alors ? C'est celle du microcontrôleur, à savoir une carte Arduino Nano, à installer également sur la principale. Nous avons opté pour la Nano parce qu'elle est petite, de faible prix, assez rapide et dispose d'une puissance de calcul à la mesure de l'application. En outre cette répartition des fonctions offre toute latitude pour utiliser

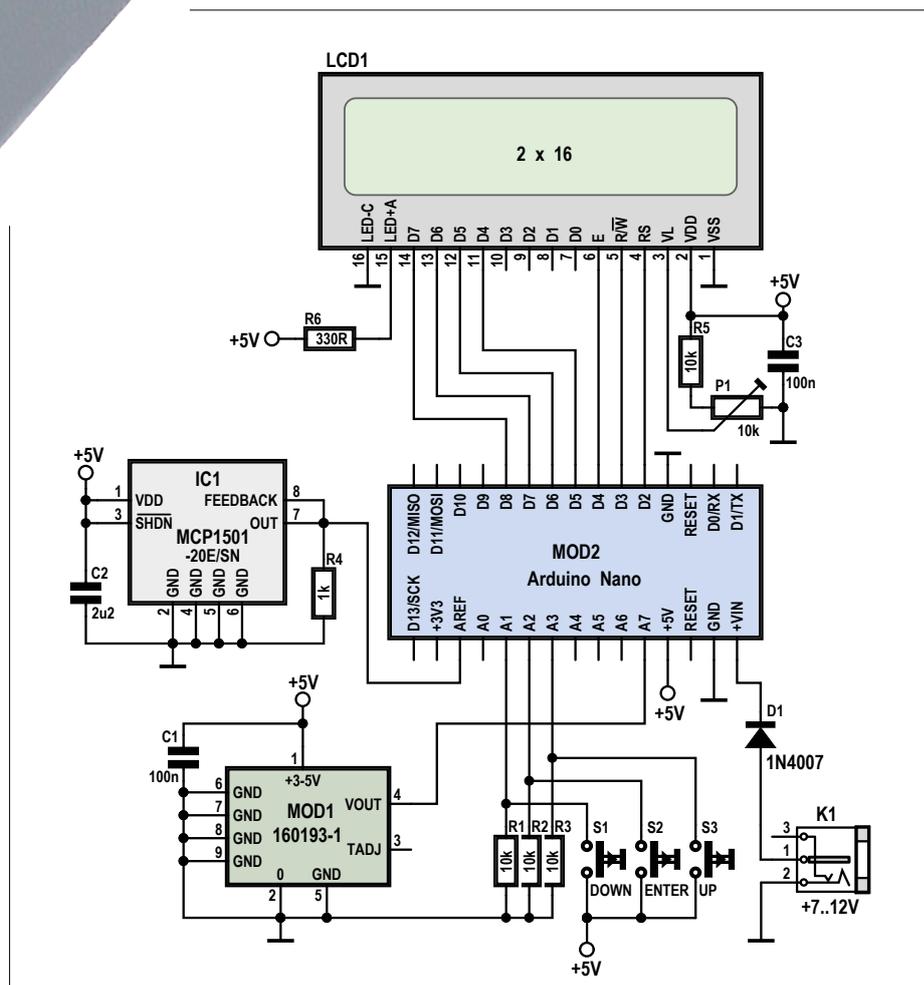


Figure 1. Le schéma de la carte principale ne révèle en fait que trois modules.

Mesures

Nous avons effectué quelques mesures sur le prototype de la mini-carte de liaison (sans la carte principale). Pour ce faire, nous avons utilisé le générateur de poursuite d'un vieux analyseur de spectre Tektronix 2710. Sa fréquence maximale est de 1,8 GHz. Les amplitudes vont de -48 dBm à 0 dBm.

Nous avons mesuré la tension de sortie du module RF à 100 MHz, 1 GHz et 1,8 GHz.

Pour la première série de mesures (**tableau 1**), nous avons mis le module dans la configuration suivante : adaptateur N/BNC sur l'analyseur, 50 cm de câble BC RG058, adaptateur BNC/SMA sur le module.

Tableau 1

V_{in} [dBm]	100 MHz (21,3 mV/dB)		1 GHz (22,1 mV/dB)		1,8 GHz (22 mV/dB)	
	V_{out} [V]	mV/dB	V_{out} [V]	mV/dB	V_{out} [V]	mV/dB
0	0,423		0,417		0,391	
-10	0,610	18,7	0,624	20,7	0,601	21
-20	0,834	22,4	0,832	20,8	0,786	18,5
-30	1,052	21,8	1,067	23,5	1,044	25,8
-40	1,274	22,2	1,292	22,5	1,244	20,0
-48	1,447	21,6	1,480	23,5	1,445	25,1

La deuxième série de mesures (**tableau 2**) a eu lieu sans câble : adaptateur N/BNC sur l'analyseur, adaptateur BNC/BNC (2x femelle), adaptateur BNC/SMA sur le module.

Tableau 2

V_{in} [dBm]	100 MHz (21,3 mV/dB)		1 GHz (22,1 mV/dB)		1,8 GHz (22 mV/dB)	
	V_{out} [V]	mV/dB	V_{out} [V]	mV/dB	V_{out} [V]	mV/dB
0	0,421		0,409		0,380	
-10	0,608	18,7	0,614	20,5	0,583	20,3
-20	0,832	22,4	0,821	20,7	0,770	18,7
-30	1,050	21,8	1,057	23,6	1,027	25,7
-40	1,272	22,2	1,283	22,6	1,233	20,6
-48	1,445	21,6	1,471	23,5	1,434	25,1

Nous avons encore testé deux autres câbles. Le premier (BNC—35 cm RGU400—SMA) a donné à 1,8 GHz une atténuation supplémentaire d'environ 0,2 dB ; le deuxième (BNC—1 m RG223—SMA) a fourni une atténuation supplémentaire d'un peu moins de 0,6 dB.

Tableau 3, encore quelques autres résultats de mesure :

Tableau 3

V_{out} max	1,718 V (sans signal d'entrée)
V_{out} min	0,359 V (mesuré à +10 dBm et 15 MHz)
puissance d'entrée max	+12 dBm (selon fiche technique)
V_{in} min (K1)	6,6 V (à plus basse tension, celle du régulateur de 5 V diminuée)
consommation	85 mA

La tension de référence interne de la Nano est trop peu précise pour atteindre notre but, aussi avons-nous mis en jeu une référence séparée de 2,048 V, c'est IC1, un MCP1501-20E/SN, une puce de Microchip qui présente l'excellente précision de 0,1 %. Un fonctionnement stable réclame une charge résistive, c'est R4. L'entrée AREF de la Nano est découplée par un condensateur de 100 nF qui se trouve sur la carte Arduino.

Dans le schéma, regardons finalement la tête RF, à savoir MOD1. Il ne lui faut pas plus de trois fils pour se raccorder à la carte principale : alimentation et masse, plus une tension de sortie qui constitue une mesure de la puissance RF.

Mini-carte de liaison

La conception du plan de la tête RF s'est révélée plus simple que prévu (ou redouté). On trouve dans le commerce

des puces dites *Log Detector* qui traduisent la puissance mesurée en tension de sortie analogique. Une part importante du projet a été d'en trouver une adéquate. Au bout du compte, nous avons choisi l'AD8317 d'Analog Devices [2]. Ce circuit jouit d'une largeur de bande plus que suffisante : de 1 MHz à 10 GHz avec un domaine de dynamique de 55 dB. Le schéma, représenté à la **figure 2**, suit les recommandations de la fiche technique.

Le signal entre par K1. Au maximum, le signal d'entrée est d'environ 0 dBm, il faut donc déjà un atténuateur pour des puissances supérieures à 1 mW. La résistance R1 veille, de concert avec l'impédance d'entrée de l'AD8317, à une impédance d'entrée de 50 Ω sur une large bande. Les condensateurs C1 et C2 retiennent une éventuelle composante continue et forment ensemble avec l'impédance d'entrée un filtre passe-haut dont la fréquence de transition est à 68 kHz environ.

La résistance R2 sert à la compensation en température ; la valeur indiquée dans le schéma est recommandée pour des mesures autour de 5,8 GHz. Pour d'autres valeurs, reportez-vous à la fiche technique. TADJ est aussi sorti sur le connecteur K2, mais nous n'en ferons rien dans la présente application. C3 participe au filtre passe-bas du démodulateur du signal de sortie Vout. Comme la démodulation ne nous intéresse pas ici, c'est la valeur standard de 8,2 pF qui est installée.

La tension de sortie V_{out} est ramenée à l'entrée VSET à travers le diviseur de tension R4/R5. Le schéma donne pour R5 une valeur de 0 Ω, alors que R4 n'est pas présente (NM = non monté). Ce diviseur de tension peut éventuellement augmenter la raideur de la tension de sortie au-delà de la valeur minimale de 22 mV/dB. Ici aussi, reportez-vous à la fiche technique pour trouver d'autres détails.

La construction...

La **figure 3** donne un aperçu du wattmètre RF complètement construit. Mais nous n'en sommes pas encore là, il reste d'abord du travail d'ajustement à effectuer. Commençons par le plus facile : la tête

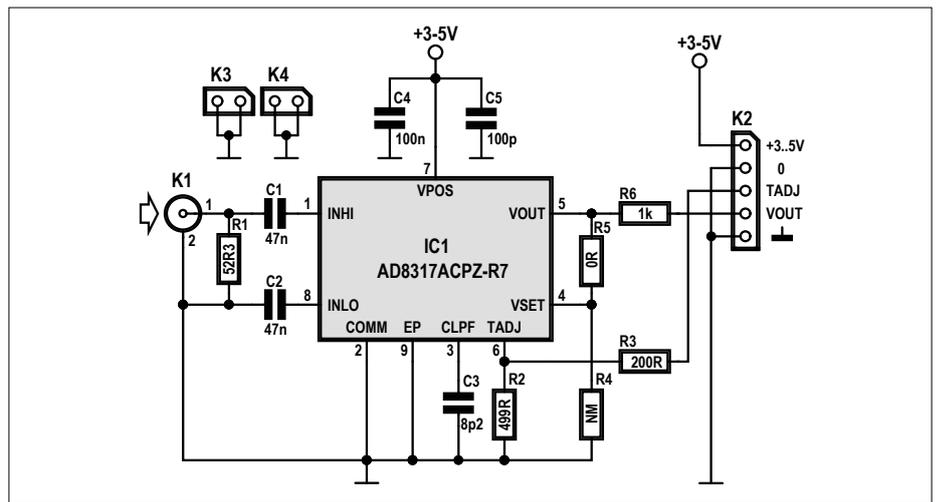


Figure 2. Le module RF est fait d'une seule puce et de menu fretin.

▶ large bande passante et domaine de dynamique étendu



RF. Pour elle, nous avons prévu un petit circuit imprimé, il est à la **figure 4**. Mais attention : il s'agit d'un circuit imprimé à quatre couches, c'est absolument indispensable pour un circuit qui monte à 10 GHz. L'une des couches « cachées »

ne sert qu'à la tension d'alimentation positive. La capacité parasite entre elle et le plan de masse assure un découplage supplémentaire de la tension d'alimentation. Encore un avertissement : n'essayez pas de greffer ici quelque chose,

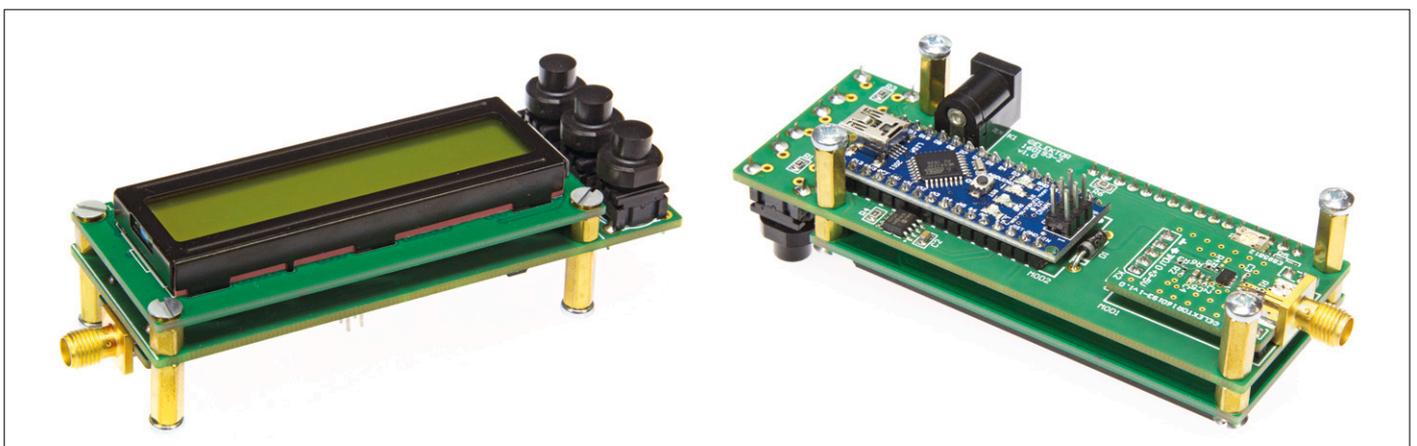


Figure 3. Le module complet est particulièrement compact.



LISTE DES COMPOSANTS

160193-1 (module RF)

Résistances (CMS 0402) :

R1 = 52,3 Ω, 1 %, 100 mW (ERJ2RKF52R3X, Panasonic)
 R2 = 499 Ω, 1 %, 62,5 mW
 R3 = 200 Ω, 1 %, 62,5 mW
 R4 = pas montée
 R5 = 0 Ω, 1 %, 62,5 mW
 R6 = 1 kΩ, 1 %, 62,5 mW

Condensateurs (CMS 0402) sauf mention contraire :

C1, C2 = 47 nF, 10 %, 25 V, X7R
 C3 = 8,2 pF, ±0,5 pF, 50 V, COG/NP0
 C4 = 100 nF, 10 %, 16 V, X7R, CMS 0603
 C5 = 100 pF, 10 %, 16 V, COG/NP0



Figure 4. Pas moins de quatre couches pour le circuit imprimé du module RF !

Semi-conducteur :

IC1 = AD8317ACPZ-R7, CMS LFCSP_VD (CP-8-1)

Divers :

K1 = connecteur femelle SMA, 50 Ω, droit, montage sur bord (142-0701-801, Johnson/Cinch)

K2 = embase mâle à 1×5 picots, verticale, au pas de 2,54 mm, traversant
 K3, K4 = embase mâle, à 1×2 picots, verticale, au pas de 2,54 mm, traversant
 Circuit imprimé réf. 160193-1

cela compromettrait le (bon) fonctionnement de tout le circuit !

En raison des fréquences élevées, toutes les résistances et tous les condensateurs sont au format 0402, à l'exception de C4, un exemplaire en 0604.

Le seul inconvénient de l'AD8317 utilisé apparaît ici : le boîtier CP-8-1. Les huit pattes sont à peine visibles et en dessous du boîtier, il y a encore une surface (*Exposed Pad*) à relier à la masse. N'y allez jamais avec un fer à souder ordinaire, aussi fine que puisse être la panne. La seule manière de souder cette puce, c'est avec une station de soudage à air chaud ou dans un four. En tout cas, n'utilisez pas trop de pâte à souder ! Sinon, un circuit imprimé déjà garni est disponible.

Après la mini-carte de liaison, la carte principale est un jeu d'enfant : on n'y trouve que des composants CMS « ordinaires ». La **figure 5** montre le circuit imprimé que nous avons conçu pour elle, pratiquement de même taille que le module d'affichage. Commencez par installer les composants ordinaires, mais attendez un peu pour les deux modules et l'afficheur.

... et l'assemblage

Sur notre prototype, nous avons d'abord monté des barrettes de bus (*bus strips*) pour les deux modules et l'afficheur. Même si ce circuit fonctionne bien, ce n'est pas un assemblage recommandable, parce que l'ensemble fait presque 4,5 cm de haut, mesure prise depuis l'afficheur jusqu'à l'embase ICSP du Nano. Lorsque les modules et l'afficheur sont soudés directement sur la carte principale, l'ensemble ne fait plus que 28 mm d'épaisseur. Voici comment procéder. Installez d'abord les deux modules (retournez voir la figure 3), insérez les broches de l'afficheur dans les bons trous et vissez ensuite l'afficheur à sa place à l'aide de quatre entretoises (mâle/femelle) de 5 mm. Ce n'est qu'ensuite qu'il faut souder les broches de l'afficheur.

Micrologiciel et utilisation

Le logiciel du wattmètre RF est assez simple. Dans la boucle principale du programme, on prélève 15.000 échantillons, après quoi on détermine la puissance moyenne, celle de pointe, la minimale

pendant les dix dernières secondes, pour finalement calculer l'indice de modulation. C'est alors que l'on envoie les résultats à l'affichage, puis un nouveau cycle de mesures reprend.

Avant d'obtenir les bonnes mesures, il faut sélectionner l'atténuation et la fréquence. On a implémenté pour cela une structure de mesure simple, qui fait appel aux boutons-poussoirs *up* et *down* (et la touche d'entrée pour confirmer le choix). Les fréquences possibles sont : 900 MHz, 1,8 GHz, 2,2 GHz, 3,6 GHz, 5,8 GHz et 8 GHz. La conversion de la tension d'entrée du convertisseur A/N et le calcul de la puissance effective en dBm sont une fonction linéaire d'une pente de -22 mV/dB, mais le point de départ de la fonction est différent pour chaque fréquence (cf. fiche technique).

Le logiciel donne un avertissement quand la puissance d'entrée est trop grande ou trop petite. Selon la fiche technique, une puissance trop faible conduit à de grosses erreurs de mesure.

Les atténuateurs

Nous utilisons deux atténuateurs de Mini-Circuits : le VAT-20W2+ (20 dBm) [3] et le VAT-30W2+ (30 dBm) [4]. Ils sont livrés complets avec fiche technique. Les caractéristiques de ces deux atténuateurs sont utilisées dans le micrologiciel. Pour mémoire : une fonction d'étalonnage est aussi prévue dans le micrologiciel de manière à pouvoir utiliser des atténuateurs différents des deux modèles choisis et programmés d'avance.



DANS L'E-CHOPPE

→ 160193-1
circuit imprimé du module RF

→ 160193-2
circuit imprimé de la carte principale

→ 160193-91
module RF assemblé

→ 17002
carte Arduino Nano

→ 18241
carte Nano de Franzis

→ 120061-77
LCD à 2×16 car., blanc sur bleu

→ 120061-74
LCD à 2×16 car., standard

Pour finir

Nous n'avons jusqu'ici fait qu'effleurer les modalités d'utilisation du projet. En revanche, le téléchargement gratuit lié à cet article [5] propose un mode d'emploi (en anglais) très étendu, sept pages A4 au format PDF, et richement illustré. Bien entendu, le micrologiciel fait également partie du lot. ◀

(160193 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005474D.pdf
- [2] www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8317.pdf
- [3] www.minicircuits.com/pdfs/VAT-20W2+.pdf
- [4] www.minicircuits.com/pdfs/VAT-30W2+.pdf
- [5] www.elektormagazine.fr/160193



LISTE DES COMPOSANTS

160193-2 (carte principale)

Résistances (CMS 0805) :

R1, R2, R3, R5 = 10 k Ω , 0,1 W, 5 %

R4 = 1 k Ω , 0,1 W, 5 %

R6 = 330 Ω , 0,1 W, 5 %

P1 = 10 k Ω , 0,25 W, 20 %, CMS (3314G-2-103E, Bourns)

Condensateurs (CMS 0805) :

C1, C3 = 100 nF, 50 V, 10 %, X7R

C2 = 2,2 μ F, 25 V, 10 %, X7R

Semi-conducteurs :

D1 = 1N4007, 1 000 V, 1 A, THM

IC1 = MCP1501-20E-/SN, CMS SOIC-8

Divers :

K1 = connecteur d'alimentation CC, 3 A, 1,95 mm (NEB 21 R Lumberg)

S1, S2, S3 = bouton-poussoir PCB SPST-NO (RA3FTH9 Multimec)

S1, S2, S3 = capuchon rond pour bouton-poussoir, noir, hauteur 16 mm (1S09-16.0 Multimec)

LCD1 = module LCD à 2x16 car., 80x36 mm, trous de montage de 3 mm

LCD1 = embase mâle à 1x16 picots, verticale, au pas de 2,54 mm, traversant

MOD1 = module RF, réf. 160193-1

MOD2 = carte Arduino Nano Circuit imprimé, réf. 160193-2

En option (pas recommandé) :

Pour LCD1 : 1x barrette de bus (« bus strip », à 1x16 contacts, verticale, au pas de 2,54 mm

4x entretoise de 12 mm M3, femelle-femelle

4x vis de 3 mm (longueur > 6 mm)

Pour MOD1 : 2x barrette de bus à 1x2 contacts et 1x à 1x5 contacts, verticale, au pas de 2,54 mm

Pour MOD2 : 2x barrette de bus à 1x15 contacts, verticale, au pas de 2,54 mm

En cas de montage du wattmètre RF dans un boîtier, il faut plus d'entretoises M3 (mâle-femelle) et des vis et écrous M3.

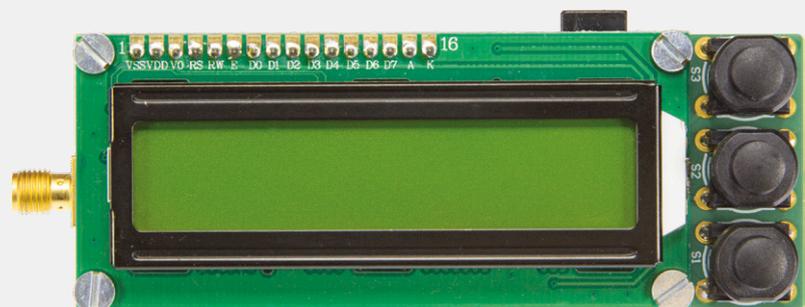
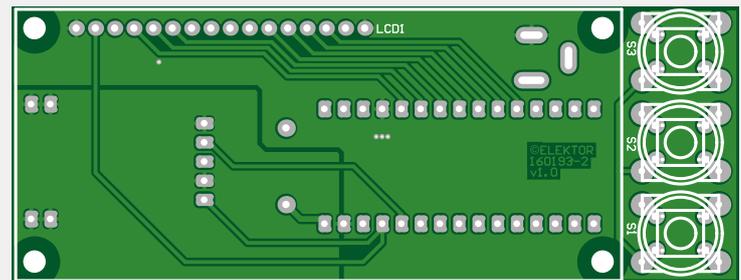
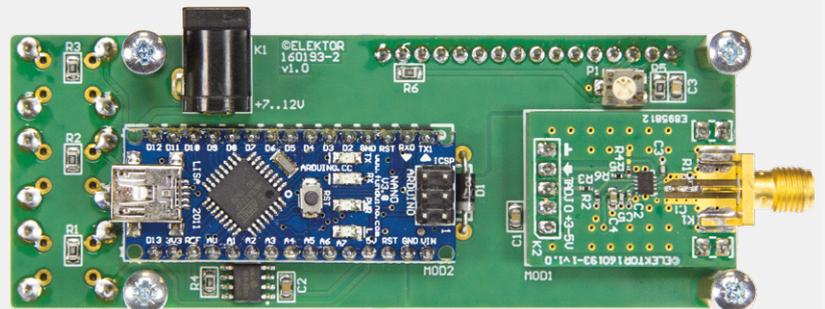
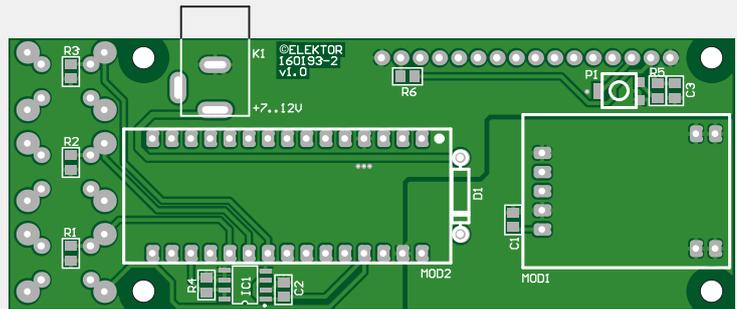


Figure 5. La carte principale du wattmètre RF.