

Bolometer 10 GHz / Bolomètre 10 GHz

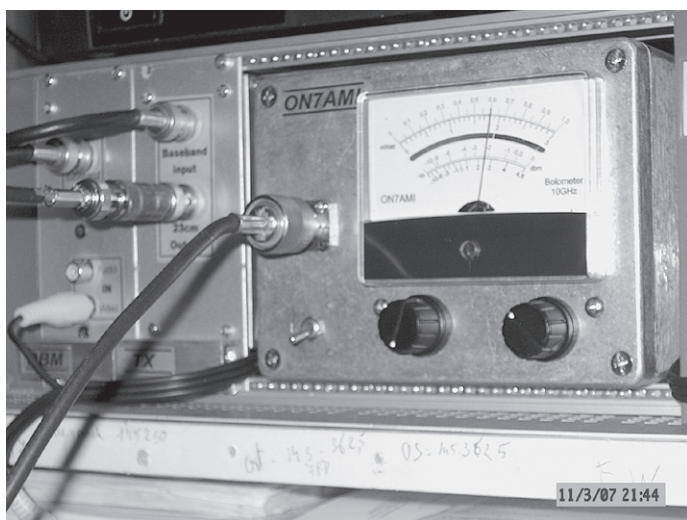
Door/par ON7AMI

Vertaling/traduction: ON5FD

Bij het bouwen van een ATV-zendertje voor 23 cm ontstond hoge nood aan een vermogenmetertje voor kleine vermogens. Het zendertje was af, het bleek te werken, lokaal had ik althans schitterend beeld en geluid doch via het lokaal relaisstation ON0TVO was geen beeld te bespeuren. De vraag: was het verwachte uitgangsvermogen bereikt of was dit veel te laag? Voor een vermogenmeting met directionele coupleurs heeft men een minimumvermogen nodig om behoorlijk te meten en dan was er het probleem van het ijkten van het toestel. Na wat rondneuzen in mijn literatuur kwam ik op het idee om een 'bolometer' te maken. Dit is een meetinstrument waarbij het ingangsvermogen wordt omgezet in warmte en waarbij we door het meten van de warmte het oorspronkelijk vermogen kunnen reconstrueren. De opgewekte warmte is bovendien altijd lineair in functie van de gemiddelde waarde van het vermogen

Lors de la construction d'un petit émetteur ATV pour le 23 cm, j'ai eu besoin d'un appareil permettant la mesure de faibles puissances. L'émetteur était terminé, semblait fonctionner, et localement j'avais des images magnifiques et un son parfait, mais via le relais ON0TVO aucune image ne passait. La question qui se posait: la puissance rayonnée était-elle suffisante?

Pour mesurer une puissance en utilisant des coupleurs directionnels, il est nécessaire d'avoir une puissance suffisante afin que la mesure soit significative et se pose aussi le problème de l'étalonnage de l'appareil. Après un petit tour d'horizon dans ma documentation, j'ai retenu l'idée d'un "bolomètre". Ceci est un appareil de mesure qui transforme en chaleur la puissance qui lui est appliquée, cette chaleur étant la grandeur physique mesurée. La puissance radio appliquée est alors recalculée sur base de cette mesure. La chaleur produite est toujours une fonction linéaire de la valeur moyenne de la puissance appliquée.



Figuur 1 toont het prinsipschema van de schakeling. Het is de bedoeling dat we de hoeveelheid opgewekte warmte meten. Dit wil zeggen dat we de ontwikkelde warmte voortdurend moeten afvoeren. We kunnen dit bereiken door de 50 Ω weerstand op een groot stuk metaal te plaatsen (groot genoeg opdat het metalen blok theoretisch niet kan opwarmen). Ook mogen we de weerstand niet te dicht bij de connector monteren om de meting niet te beïnvloeden door de temperatuur die onze connector heeft bij aanraking of bij opwarming door verliezen.

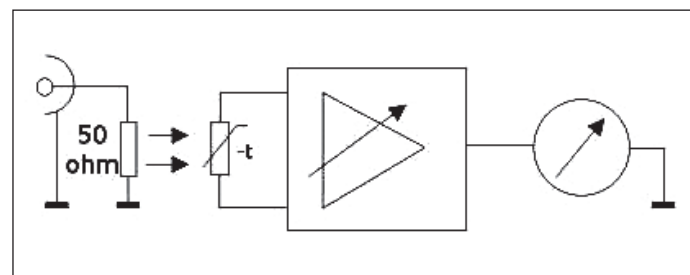


Fig. 1 Prinsipschema

Fig. 1 le schéma de principe

La **figure 1** donne le schéma de principe du montage. Notre but est de mesurer la chaleur produite par une puissance HF, VHF, UHF, etc. Cela signifie également que la chaleur produite doit être évacuée au fur et à mesure de sa production car son accumulation fausserait la mesure. Nous pouvons y arriver en fixant la résistance de 50 ohms sur un grand morceau de métal (suffisamment grand pour que sa température ne puisse pas varier). De même, il ne faut pas fixer la résistance trop près du connecteur afin de ne pas influencer la mesure par la température de ce connecteur – contact avec la main, pertes, etc.

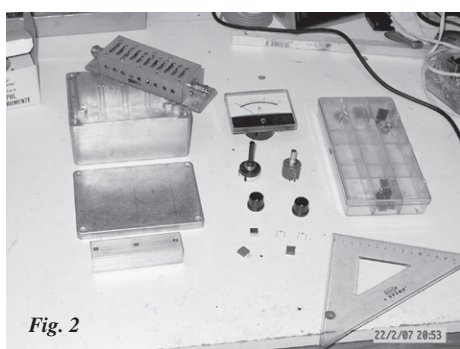


Fig. 2

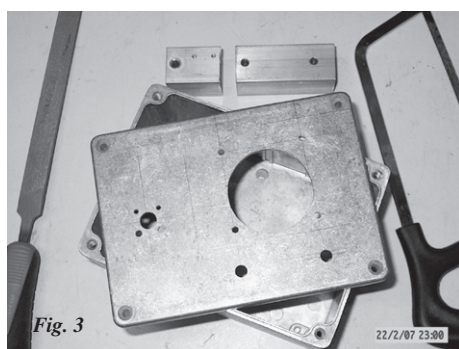


Fig. 3



Fig. 4

Voor de uitvoering heb ik hoofdzakelijk recuperatiemateriaal gebruikt (fig. 2). In eerste instantie moet je de mechanische onderdelen opmeten en de nodige gaten in de behuizing maken (fig. 3, fig. 4). Een stukje print met een stripline van 50 Ω wordt op een groot stuk alu gemonteerd. Aan de ene kant is de stripline op de connector aangesloten en aan het andere uiteinde is een 50 Ω SMD dummy load naar massa gesoldeerd (fig. 5).

Fig. 5

1. N-connector
2. Centrale geleider gesoldeerd op de stripline
3. Printje met 50 Ω stripline (2,8 mm breed voor epoxy-glasvezel van 1,5 mm dik grondvlak vol massa)
4. 50 Ω SMD dummy load
 - a. Ene kant met weinig soldeer aan de stripline solderen
 - b. Andere kant aan de massa solderen
5. Groot metalen koelblok dat op de kast van de behuizing gemonteerd is voor extra koeling (de kast - in mijn geval het voorpaneel - moet reeds voorzien zijn van alle gaten voordat je de N-connector en het blok monteert).

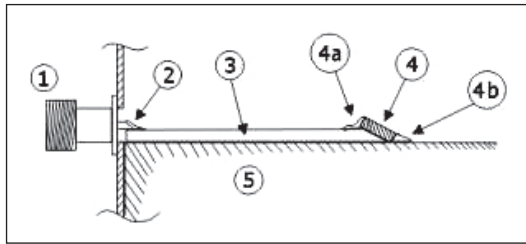


Fig. 5

1. Connecteur N
2. Conducteur central soudé sur le strip 50 ohms
3. Circuit imprimé 50 ohms - 2,8 mm de large sur substrat époxy-fibre de verre double face de 1,5 mm d'épaisseur
4. Dummy load 50 ohms SMD
 - a. un côté soudé au stripline 50 ohms avec peu de soudure
 - b. l'autre côté est soudé à la masse.
5. Bloc refroidisseur métallique qui est monté sur le boîtier pour aider au refroidissement. Le boîtier, dans mon cas le panneau avant, doit avoir tous les trous nécessaires percés avant que le connecteur N ne soit monté.

In fig. 6 en fig. 7 zie je hoe een en ander praktisch gerealiseerd werd. Om de SMD te kunnen solderen heb ik een stukje print weggekrast tot de onderste massa laag zichtbaar wordt. Het printje met de stripline wordt met warmte geleidende pasta stevig op het koelblok gemonteerd.



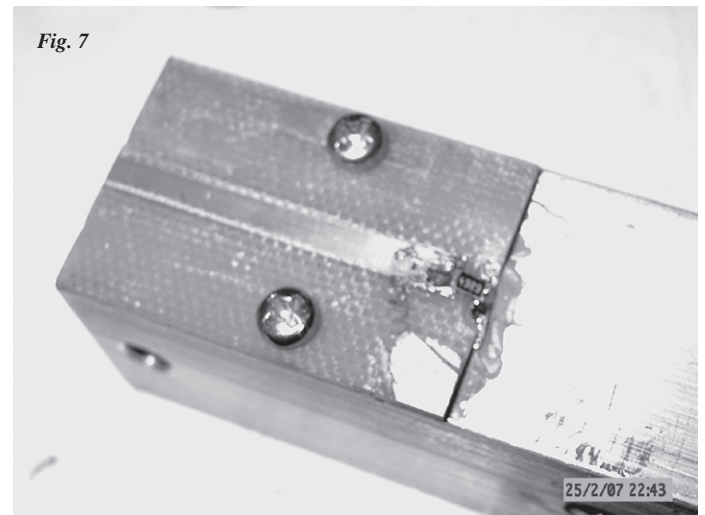
In een volgende stap worden de temperatuuropnemende elementen gemonteerd. Ik koos voor NTC-weerstanden gerecupereerd van PentiumIII-moederborden waarmee de temperatuur van de CPU gemeten werd. In principe kan je hier elk temperatuurgevoelig element gebruiken mits het aan de volgende voorwaarden beantwoordt:

- de eigen massa moet zo klein mogelijk zijn, anders zal de meting te lang duren
- het element moet kleine temperatuurschommelingen kunnen waarnemen. Dit kan je testen door een ohmmeter aan te sluiten en met je vinger naar de NTC te wijzen. De uitslag moet reeds veranderen voor je de weerstand aanraakt, m.a.w. de NTC moet reageren op de stralingswarmte van je vinger.
- de nominale weerstandswaarde mag niet te hoog zijn (ruis en storingen) en niet te klein (te veel stroom door de meetbrug). Waarden tussen 10 k en 100 k lijken mij haalbaar.

Om de veranderende omgevingstemperatuur te compenseren kan je het best werken met een brug van Wheatstone waarin in één tak twee identieke NTC-weerstanden zitten (zie fig. 8): één als meetelement gemonteerd op de dummy load en één gemonteerd op het koelblok (voldoende ver van het meetpunt) om als compensatie te dienen voor de omgevingstemperatuur. In de andere tak nemen we twee weerstanden op die in waarde

Pour la réalisation, j'ai utilisé en ordre principal du matériel de récupération (fig. 2). Il faut commencer par percer les trous et les découpes pour la fixation des divers éléments sur le boîtier (fig. 3 et 4). Un petit circuit imprimé avec une ligne à 50 ohms est monté sur un grand morceau d'aluminium. Une extrémité du circuit imprimé va vers une résistance de charge SMD de 50 ohms, elle-même soudée sur la masse (fig. 5).

Les figures 6 et 7 montrent le montage pratique. Afin de pouvoir souder le SMD, j'ai gratté un petit morceau de circuit imprimé jusqu'à arriver à la couche de masse inférieure. Le circuit avec le stripline est collé avec de la pâte thermo conductrice sur le bloc refroidisseur.



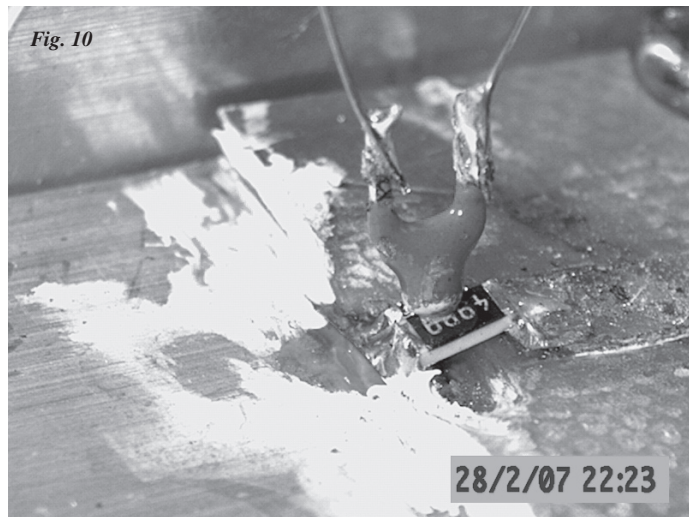
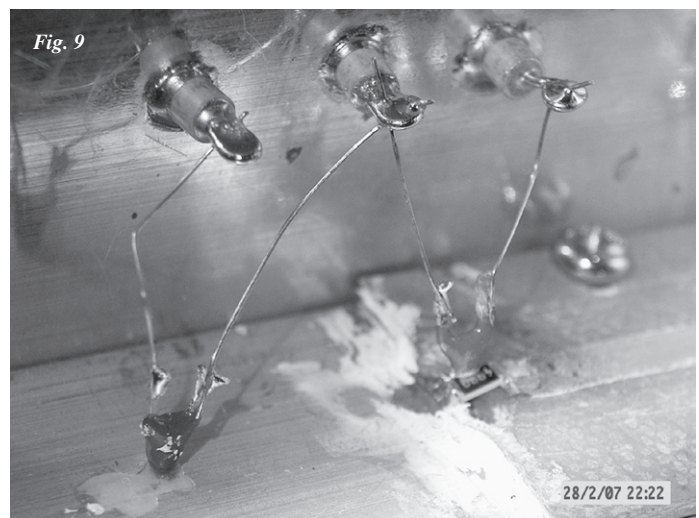
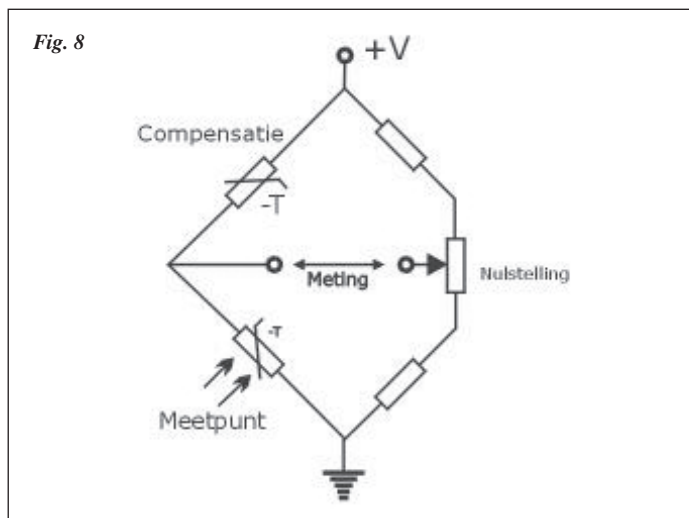
L'étape suivante est le montage des éléments de capture de température. J'ai choisi des résistances NTC récupérées sur une carte mère d'un Pentium III où elles servaient à mesurer la température du CPU. En principe, on pourrait utiliser n'importe quel élément sensible à la température pour autant qu'il réponde aux conditions suivantes:

- la masse propre de l'élément doit être aussi faible que possible, sinon la mesure dure trop longtemps
- l'élément doit pouvoir réagir à de petites variations de température. Ce point peut être vérifié en connectant un ohmmètre sur l'élément pour voir la variation de résistance que l'on obtient en approchant un doigt. La lecture doit varier avant même que le doigt ne touche l'élément car c'est le rayonnement calorifique du doigt qui fait varier la résistance.
- la résistance nominale ne peut pas être trop haute (bruit et signaux parasites) ni trop faible (trop de courant dans le pont de mesure). Des valeurs comprises entre 10k et 100k semblent adéquates.

Afin de compenser les variations de la température ambiante, il est souhaitable de faire un montage en pont de Wheatstone avec l'un des côtés composé de deux résistances NTC identiques (fig. 8), l'une étant la NTC de mesure et l'autre, montée sur le bloc refroidisseur (suffisamment loin du point de mesure), servant de compensation thermique. L'autre côté du pont est constitué de deux résistances dont la valeur est plus petite

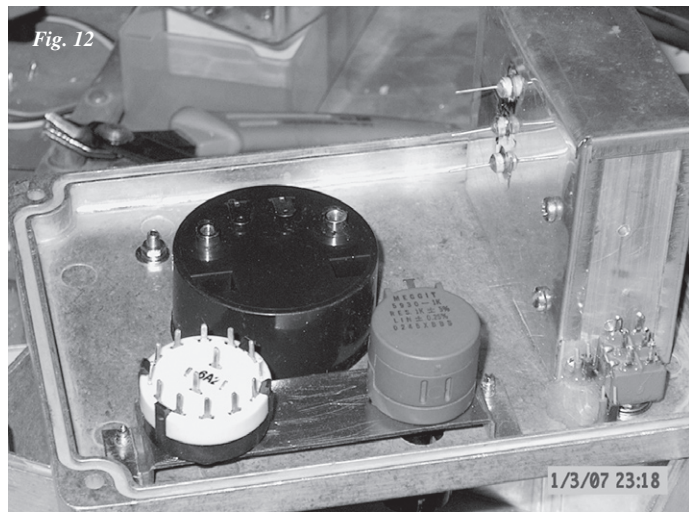
kleiner zijn dan de nominale waarde van de NTC's en een 10-toeren potentiometer voor de nulinstelling. De NTC's worden met secondenlijm of een minuscule hoeveelheid tweecomponentenlijm op respectievelijk de dummy load en het koelblok gekleefd. Vervolgens wordt voorzichtig warmtegeleidende pasta aangebracht. Het geheel wordt met een blikken doosje afgeschermd en de aansluitingen van de NTC's worden via zo dun mogelijke draadjes (ik gebruikte fijne wire-wrap draad) aan drie doorvoercondensatoren aangesloten. Zie de figuren 9 tot en met 11.

que la valeur nominale des NTC et d'un potentiomètre à 10 tours pour le réglage du zéro. Les NTC sont fixées avec un peu (très peu) de colle instantanée ou de colle à deux composants respectivement sur le dummy load et sur le bloc refroidisseur. Ensuite, mettre soigneusement de la pâte conductrice de chaleur. L'ensemble est mis dans la boîte métallique qui sert de blindage et les deux NTC sont connectés par des fils aussi fins que possible (par exemple des fils wire-wrap) à trois condensateurs de passage. Voir figures 9 à 11.

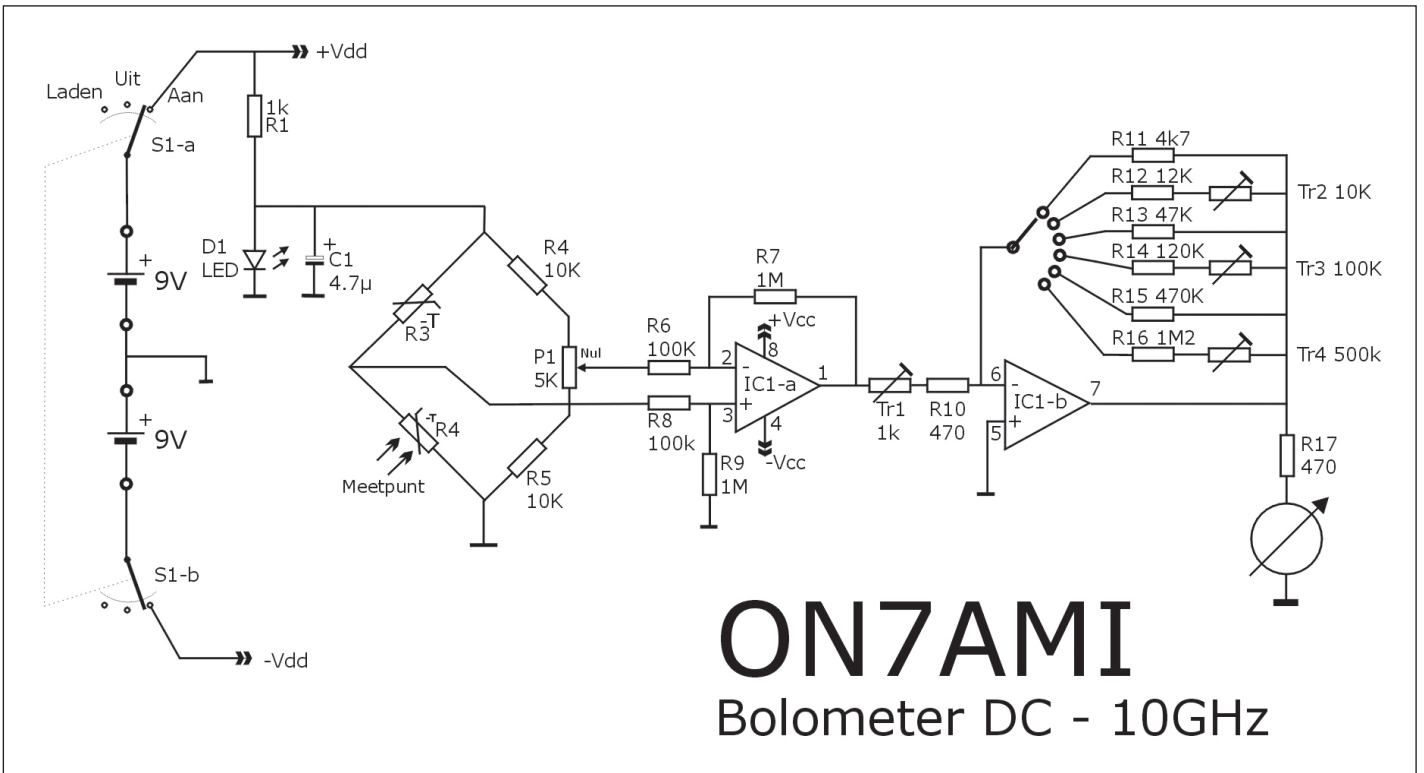


De volgende stap is het blikken doosje rond de meetopstelling dicht maken en alle andere mechanische onderdelen monteren (fig. 12). Dit is nodig omdat we een groot deel van de componenten maar kunnen bepalen na de eerste testmeting.

Ensuite, monter tous les composants dans la boîte métallique et refermer le tout. Cette étape est nécessaire car nous ne pourrions définir avec précision certains composants qu'après avoir fait une première mesure.



L'ensemble du montage est fait sur une plaquette pour circuits imprimés selon le schéma de la figure 13. Les composants R3 et R4 (les NTC) ne sont pas montés sur la plaquette et ce sont les fils venant des condensateurs de passage qui se connectent au montage. Le montage devra se faire par étapes: d'abord le premier opamp IC1a, l'ampli différentiel, et la LED. La LED joue ici un double rôle: indicateur on et stabilisateur de tension. Une LED est en fait similaire à une zener car elle maintient à ses bornes une tension constante d'environ 1V5. La valeur exacte de la tension n'est pas particulièrement importante mais elle doit être constante. L'ampli différentiel IC1a mesure la différence de tension entre les deux branches du pont et amplifie ce signal avec un facteur de 10. L'ampli a été calculé pour avoir un équilibre entre faible charge sur le pont et bruit minimum. Une fois ce circuit câblé, nous procédons à la première série de mesures. Etant donné que le bolomètre mesure la température développée dans une résistance, il n'est pas important de savoir si cette température est provoquée par une source DC, AC ou HF. Nous profitons donc de cette caractéristique pour envoyer du DC dans le dummy load car ainsi nous maîtrisons parfaitement la mesure. Nous commençons par envoyer 100 mW dans la résistance de 50 ohms et mesurons la tension de sortie de l'étage. Pour avoir 100 mW dans le dummy load, il faut



De rest van de schakeling is op een experimenteerprintje gebouwd. **Figuur 13** toont het schema. Voor we dit kunnen opstellen moeten we het eerste deel maken (IC1-a): de verschilversterker en de schakeling naar de LED. De spanning over de LED dient namelijk als voedingsspanning voor de meetbrug. De LED werkt zoals een zenerdiode van circa 1,5 V (de waarde doet er niet zo toe, maar ze moet wel constant zijn). De verschilversterker meet het verschil tussen de twee meetpunten van de brug en versterkt het signaal eveneens met een factor 10. De versterker is zo gedimensioneerd dat hij een evenwicht zoekt tussen lage belasting van de meetkring en minimale ruis. Eens de eerste trap (IC1-a) bestukt is, moeten we een eerste reeks metingen doen om verder te dimensioneren. Aangezien de bolometer de temperatuur meet die in een weerstand wordt opgewekt, doet het er niet toe of het vermogen die deze temperatuur opwekt van een DC-, AC- of HF-bron afkomstig is. Om het onszelf makkelijk te maken sturen we dus best DC-vermogen in de dummy load, dit kunnen we namelijk makkelijk meten en precies instellen. We zullen in eerste instantie 100 mW in de 50 Ω weerstand sturen en de uitgangsspanning van de eerste trap meten. Om 100 mW in de dummy load op te wekken moeten we een spanning van 2,236 V op de HF-ingang aanleggen (zie **fig. 14**). We noteren de uitgangsspanning van de eerste trap.

Zodra we weten welke de uitgangsspanning moet zijn om onze galvanometer volle schaal te sturen, kunnen we de versterkingsfactor berekenen van onze tweede trap (**fig. 15**).

Fig. 13. Volledig schema (IC1 = TL072)

Fig. 13. Schéma complet (IC1 = TL072)

Fig. 14.

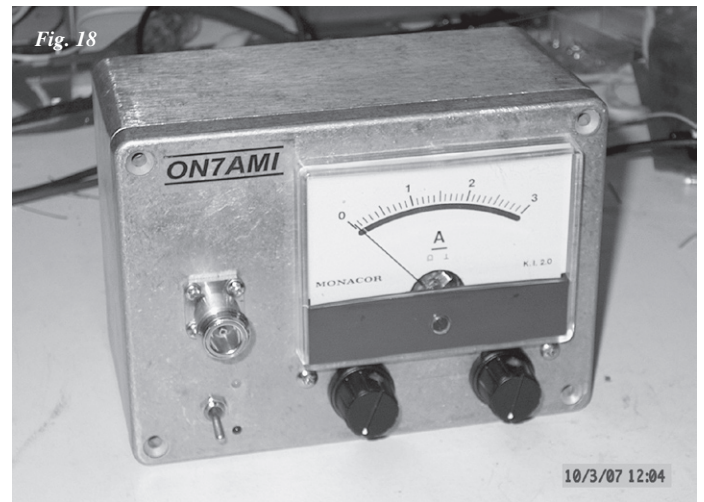
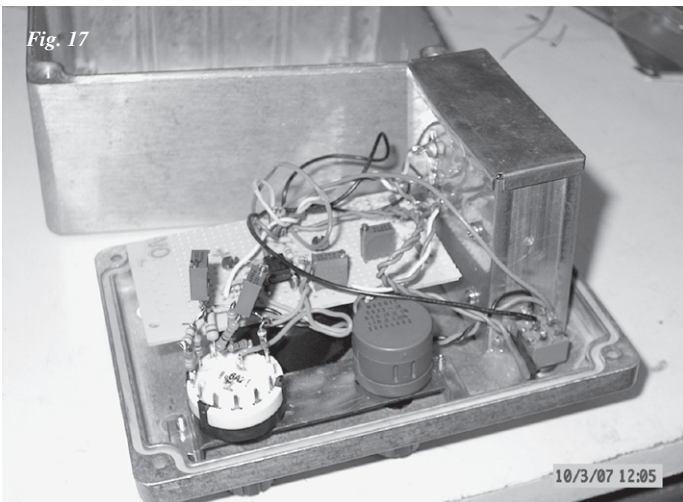
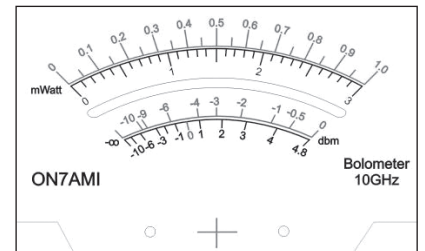
$$P = U * I \qquad P = \frac{U^2}{R} \qquad U = \sqrt{P * R}$$

$$I = \frac{U}{R} \qquad \sqrt{0.1 * 50} = 2.236$$

Fig. 15.

$$Gain = \frac{R_{\text{terugkoppel}}}{R_{\text{ingang}}}$$

Fig. 16.



Aangezien de Bolometer lineair is, kunnen we alle andere bereiken gewoon berekenen. De op het schema aangegeven componenten zijn uiteraard voor de door mij toegepaste NTC-weerstanden en kunnen voor andere types NTC anders zijn. Uiteraard gebruiken we voor de vaste weerstanden 1 % waarden.

Voor de fijnafregeling gaan we nu voor alle bereiken een DC-spanning aanleggen voor de gewenste vermogens voor volle schaal op de verschillende bereiken. We regelen met TR1 de bereiken 3 mW, 30 mW, en 300 mW af. Als we één bereik afgeregeld hebben dan moeten de andere twee automatisch correct staan. Tenslotte regelen we de bereiken 1 mW, 10mW en 100mW af met de trimmers TR2, TR3 en TR4.

Ons laatste werk is nu een mooie schaal te maken (fig. 16) van 0 tot 1 mW en van 0 tot 3 mW en als goed radioamateur natuurlijk ook de bijhorende schalen in dBm (hiervoor moeten we voor de verschillende bereiken niet vermenigvuldigen, maar voor de schaal 0 - 10 mW 10 dB bijtellen en voor de schaal 0 - 100 mW 20 dB bijtellen; hetzelfde voor de schalen 3, 30 en 300 mW).

Ik wens iedereen veel bouwplezier en vooral veel meetplezier achteraf. Zoals je ziet wordt de schakeling gevoed met 2 x 9 V batterijtjes. Een eventuele uitbreiding in de laadstand is niet uitgesloten.

73,
Jean Paul Mertens ON7AMI
on7ami@on7ami.be
www.on7ami.be

appliquer 2,236 V sur l'entrée HF (voir fig 14); nous notons la tension de sortie du premier étage.

En partant de cette tension, nous pouvons calculer le facteur d'amplification du deuxième étage (fig 15).

Etant donné que le bolomètre est linéaire, il nous est facile de calculer les composants pour les différentes gammes de mesure. Les composants repris sur le schéma correspondent aux résistances NTC que j'ai utilisées. D'autres types de NTC pourraient demander d'autres valeurs. Toutes les résistances fixes sont à 1 %.

Avec la résistance variable TR1 nous pouvons régler les gammes 3 mW, 30 mW et 300 mW. Dès que l'une de ces trois gammes est réglée, les deux autres le sont également. Pour les gammes 1 mW, 10 mW et 100 mW, nous les réglerons avec les trimmers TR2, TR3 et TR4.

Finalement, le travail artistique sera de réaliser une belle échelle (fig 16) 0 à 1mW et 0 à 3 mW, avec évidemment les échelles en dB équivalentes. Pour l'échelle 10 mW, ajouter 10 dB et pour l'échelle 100 mW ajouter 20 dB; il en va de même pour les échelles 3, 30 et 300 mW. Beaucoup de plaisir pour la construction et l'utilisation. Le montage est alimenté par deux piles de 9 V. On peut évidemment prévoir une extension avec des batteries 9 V à charger.

73,
Jean Paul Mertens ON7AMI
on7ami@on7ami.be
www.on7ami.be