

De Phoenix3

door Wim Kruif PAoWV

De Phoenix3 is een hoogfrequent power en SWR meter, die ook PEP betrouwbaar meet. Daarmee kun je dus meten wat je antenne ingaat met de PEP-wet in de hand.

De schalen van de PEP, P en SWR meters zijn voorts lineair. Een 3-standen bereikschakelaar zorgt ervoor dat vermogens tussen 1 en 1000 watt kunnen worden gemeten in het frequentiebereik 1,8 tot 30 MHz.



Wat je kabel richting antenne ingaat is minder interessant, en dat is wat doorgaans wel gemeten wordt. Je wilt weten wat je antenne ingaat. Dat is, bij verwaarloosbaar transmissielijverlies, het heengaande minus het gereflecteerde vermogen. De vermogensmeter moet dat dus meten.

Wat theorie

Veel amateurs denken dat bij de antenne gereflecteerd vermogen verloren is en van je door de zender geleverde vermogen wordt afgetrokken. Dat is niet waar. Als je een verliesvrije antennekabel en tuner neemt, waar de zender 100 watt op 50 Ω inpompt met SWR=1, dan blijft er niks in de verliesvrije tuner hangen en gaat er bijvoorbeeld 210 watt uit, de antennekabel in (ja goed gelezen, 100 watt de tuner in en 210 watt eruit) en vervolgens komt er van die 210 watt heen 110 watt gereflecteerd van de antenne terug, zodat de tuner netto 100 watt levert en er van de 210 heen ook 100 in de antenne komt.

Onthoud dit en vergeet alle fabeltjes van zelfbenoemde praktijk-experts, die geen boodschap hebben aan theorie en regelmatig naar eigen zeggen geleerden van hun stoel laat vallen, waarbij ik zelf denk dat dat dan niet van verbazing maar van het lachen is.

Ook die verhalen over reflectie bij de tu-

ner van het door de antenne gereflecteerde signaal is quatsch, dan zou je dan op stand ontvangst ook geen station kunnen ontvangen, omdat alle van de antenne afkomstige energie op de tuner zou worden gereflecteerd.

Beetje nadenken voordat je fabeltjes en mythen gaat napraten kan enorm helpen om ze de kop in te drukken.

Als je alleen uitgaand vermogen meet is dat dus, als de SWR niet 1 is, hoger dan het geleverde vermogen door de zender aan de antenne, ook de PEP dus, zodat je ten onrechte denkt dat je de legale vermogenslimiet bereikt hebt. Je moet dus het heengaande minus het teruggaande vermogen meten om betrouwbaar de PEP en het geleverde zendvermogen te kunnen bepalen, ook als de SWR niet 1 is.

Deze meter is gemaakt naar aanleiding van een vraag van PAoZH die een defecte Bird vermogensmeter had, en die de kromme karakteristiek van een Bird meetkop (slug), die nog wel intact is, vroeg recht te trekken met een PIC zodat hij er een Velleman 7 segment display kitje op kon zetten.

QRO werken maakt meer kapot dan je lief is, blijkt.

Dat liep na een week werk van mij met een

kant en klaar prototype en een artikel voor CQ-PA op niks uit, omdat Bouke er toen vanaf zag verder te gaan. Een en ander is niet voor niets geweest, want het artikel is geplaatst in het NVRA blad ¹⁾, is op mijn website te vinden <http://pa0wv.home.xs4all.nl/zelfbouw.html>.

Het heeft tevens geleid tot het ontwerp en de bouw van onderstaand instrument, dat het meten goedkoop en betrouwbaar met goed afleesbare lineaire schalen doet. De naam Phoenix heeft het apparaat te danken aan zijn voorgeschiedenis van in het vuur vergane, maar herboren Bird vermogensmeter.

Theorie over PEP

Zelfs ervaren QRO-eindtrapzelfbouwers weten soms niet wat PEP precies is, bemerkte ik. Die kennis hoort tot de verplichte basiskennis voor het zendexamen, dus hier een kleine oprisfer.

Als je met de scope meet aan een draaggolf op je antennekabel zie je op je scope een groene band van de hf sinussen, die dus de hoogte heeft van de piek-piekwaarde van die sinus.

De topwaarde van de sinus is er gedurende de periode van een sinus maar heel even, dus het vermogen in een ohmse belasting is alleen maximaal in de toppen en lager daarbuiten.

De effectieve waarde van de sinus vind je door de topwaarde of amplitude (vanaf 0 gemeten) door wortel(2) = 1,414 te delen. Of te vermenigvuldigen met 0,707 wat hetzelfde resultaat oplevert.

De effectieve waarde van de wisselspanning is die spanning die in een weerstand hetzelfde vermogen levert als een gelijkspanning van die waarde. De effectieve waarde van de spanning uit het stopcontact is 230 volt, de piekwaarde is echter 325 volt. Dat merk je als je het net gelijkricht met een diode en afvlakt met een elco. Je vindt dan die piekwaarde over die elco op je gelijkspanningsmeter. Maar die sinus met een amplitude van 325 volt geeft als sinus hetzelfde vermogen als een gelijkspanning van 230 volt.

Het vermogen P dat een HF sinus oplevert in de dummyload wordt dus gevonden met de formule $P = E_{\text{eff}}^2 / R$ oftewel $\text{topwaarde}^2 / 2R$. Daarbij is R de weerstand waarover de spanning staat aangesloten, bij een dummyload is dat doorgaans dus 50 Ω .

Werk je niet met een constante draaggolf maar met een spanning met variabele amplitude, zoals bij SSB, dan is de PEP het vermogen van de hf sinussen gedurende de pieken van de spraak.

Dat is dus de op de scope gemeten maximaal bereikte spanning gekwadraterend en vervolgens gedeeld door 2R. Die factor 2 komt dus door het kwadrateren van de effectieve waarde van die hf sinus met die

maximale amplitude. De PEP bij CW vind je ook zo en die is bij seinsleutel neer, als het goed is, gelijk aan het gemiddelde key-down vermogen, omdat de sinus constante amplitude heeft en die PEP dus voortdurend geleverd wordt zolang de sleutel neergedrukt wordt.

Bij CW telegrafie kun je het standaardwoord PARIS zenden, doe je dat bij voortdurend, dan staat je zender gemiddeld 44% van de tijd in. De rest van de tijd is pauze tussen de punten en strepen. Het gemiddelde vermogen dat je tijdens sleutelen bij CW aan de antenne levert is dus 44% van de PEP.

De PEP is dus het vermogen dat je bij key-down levert aan de antenne. Nu kan het bij CW gebeuren dat een teken in het begin meer vermogen heeft, omdat de spanning op de onbelaste elco's van de voeding dan hoger is dan in belaste toestand. Niet fraai, maar in dat geval is je PEP het vermogen dat geleverd wordt aan het begin van een punt of streep, en dat vervolgens snel terugloopt tot het key-down vermogen. Met een scope meten op de antennekabel laat je die haaietanden zien. Moet je wat aan doen dan, met een bleeder over je voeding bijvoorbeeld. Fraaier is met een microcontroller het instelpunt van je eindtrap gecontroleerd als functie van de tijd te wijzigen bij het sluiten en openen van de sleutel. Dan raak je dus ook geen vermogen kwijt in grofstoffelijke milieuonvriendelijke vermogen vretende bleeders. In dat genoemde ongewenste uitzonderlijke haaietandengeval is de PEP bij CW hoger dan het key-down vermogen.

Spraak en SSB

SSB is (bij USB) het verschuiven van het laagfrequente audio spraakspectrum naar je zijband. De omhullende van je SSB signaal als functie van de tijd ziet er dus als je zender lineair werkt (zonder audiocompressie) precies zo uit als de omhullende van je laagfrequent spraak er op een scope uitziet.

Om nu de PEP te bepalen van je uitgezonden signaal moet je in die pieken van de spraak, met de effectieve waarde van de sinus daar, het vermogen bepalen dat aan de dummyload wordt afgegeven. Dat is dus de piekwaarde op de scope (vanaf de 0-lijn gemeten) kwadrateren en door de 2 R delen met R de weerstand van de dummyload.

Bij CW weten we inmiddels dat de gemiddelde vermogen in de dummyload 44% is van het key-down vermogen waarbij het key-down vermogen de PEP is. Interessant om te weten hoe het gemiddelde vermogen bij spraak van je eigen stem is ten opzichte van de PEP.

Ik heb met een in de junkbox gevonden

microfoon, die een keer bij een geluidskaart werd geleverd, een stukje spraak van mezelf opgenomen met de computer, en er een WAV file van gemaakt met 22100 monsters per seconde. Dat kan bijvoorbeeld met de bij een geluidskaart geleverde software, zoals Wave Studio bij een Soundblasterkaart.

Een andere mogelijkheid is het open source programma Audacy van Internet te downloaden. De PCM monsters uit dat bestand heb ik per stuk met een computerprogramma het vermogen van bepaald, er van uitgaande dat elk monster blijft staan tot de waarde van het volgende monster zich aandient (sample and hold). Tevens heb ik het gemiddelde vermogen van de gehele spraakfile, die bestond uit het vlot achterelkaar gesproken NAVO spellingalfabet Alfa Bravo etc., zonder pauzes, gevolgd door de cijfers 0 t/m 9, bepaald. Dus beetje ademloos na voltooiing.

Op die wijze vind je de PEP van de hele file en de verhouding gemiddeld vermogen/PEP, die bij CW 44% was. Die blijkt bij SSB uit deze meting minder dan 3% te zijn. We kunnen dus een zender gedurende spraak tot de grenzen van lineariteit uitsturen wat de PEP dan bepaalt, en de zender is gemiddeld dan met hooguit 3% belast, dat is dus een fractie van de belasting bij CW.

Dat programma heb ik getest met een sinus van 400 Hz als wav file en dan komt er uit dat de PEP twee maal het gemiddelde vermogen is. Dat klopt met de theorie. Vervolgens heb ik het bestand verdeeld in stukjes van 0,8 seconde, om er zeker van de zijn dat niet ergens een stoorpiek de meting bederft. Maar nee, ook bij stukjes van 0,8 seconde varieert de verhouding PEP/gemiddelde vermogen voor elk stukje afzonderlijk tussen 1 en 3% bij het spraakbestand.

Op grond van warm lopen van de koeling, de voeding, de buizen, de spoelen etc. is hiermee dus verklaard waarom een eindtrap die als een SSB 1000 watt PEP linear is verkocht, voor CW bijvoorbeeld 500 watt of minder is gespecificeerd. Kwestie van heetlopen tijdens gebruik dus. Werk je met PSK, FM of RTTY, dan zul je je nog verder moeten inperken als de zaak thermisch te krap bemeten is, omdat die een nog tot ruim twee maal hoger gemiddeld vermogen hebben dan CW. Bij FM en RTTY is het gemiddelde vermogen 100% van de PEP en bij PSK31 idle is het gemiddelde vermogen 50% van de PEP en niet idle maar gemoduleerd met tekst: meer dan 50%, want twee maal zelfde bit achterelkaar uitzenden geeft meer power dan het idle gemoduleerde 1010 patroon.

Als je een voedingstrafo hebt die bijvoorbeeld 200 mA op 50 Hz continu mag leve-

ren, wat je kunt testen met een belasting van gloeilampen of iets dergelijks, en dan voelen (of ruiken) of hij te heet wordt na een paar uur, of nog beter de temperatuur van de wikkeling bepalen door de verhoging van de weerstand van de wikkeling te meten, dan moet je niet denken dat je daar een 200 mA voeding mee kunt maken voor je zendereindtrap, want de stroom wordt in pieken geleverd door de gelijkrichtdiodes, met een gemiddelde van 200 mA, aan de elco's.

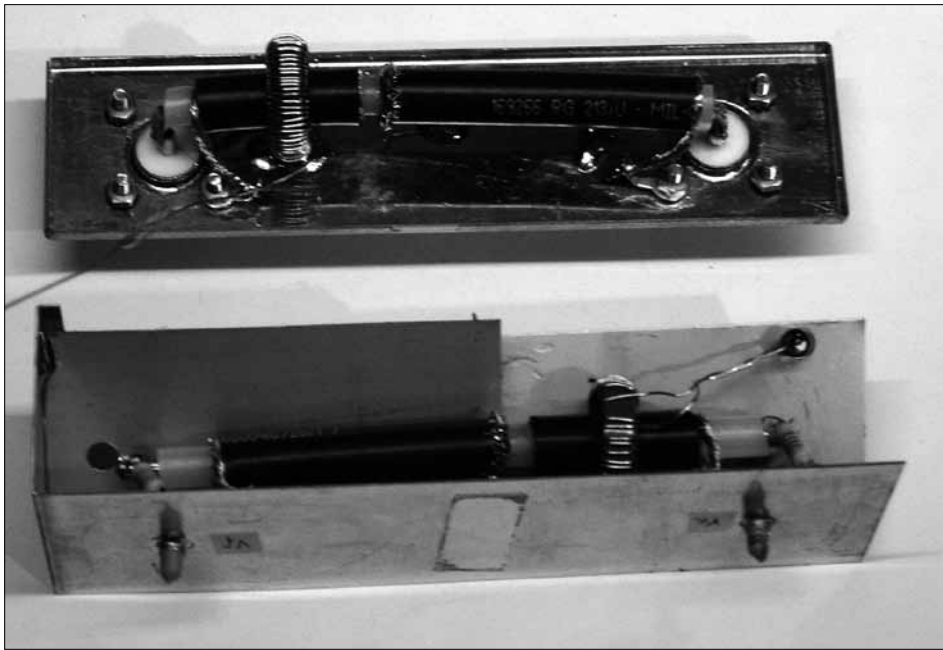
Laten we zeggen dat 150 mA dan reëel is, omdat dat dezelfde warmteontwikkeling in de trafo geeft als 200 mA gewone sinusvormige wisselstroom. Vervolgens kun je denken dat je dan bij CW als je steeds zendt minstens de dubbele stroom (300 mA) eruit kan halen omdat dat gemiddeld 150 mA is, dat is ook niet waar want de verliezen bij verdubbeling van de stroom nemen vier keer toe, zodat je gemiddelde verlies verdubbelt en de zaak dus snoeiheet wordt en gaat stinken.

Als je de zender 50% van de tijd inzet dan mag je dus niet de belasting van de voeding verdubbelen maar slechts 1,4 keer maken om op hetzelfde verlies uit te komen in de voedingstrafo. 1,4 keer 150 mA is ongeveer 200 mA. Vandaar dat je met dat vermogen een CW zender die 200 mA gebruikt kunt maken maar beslist geen RTTY of FM zender.

PEP kun je wel bepalen met een scope, maar als je het met een meter wilt doen, met analoge of digitale aanwijzing is die waarde zo kort aanwezig dat die niet is af te lezen. Daarom nemen we de PEP steeds in een interval van bijvoorbeeld ongeveer 0,8 seconde, en laten die gedurende 0,8 seconde aanwijzen. Die kun je dan wel aflezen, want die waarde is 0,8 seconde aanwezig op de meterschaal tot hij vervangen wordt door de PEP van de volgende 0,8 seconde, die intussen gemeten is.

Met een draaispoelmeter van het type dat ik gebruik voor dit projectje heb ik een proef genomen door hem steeds 0,8 seconde 10% en vervolgens 0,8 seconde 90% van zijn volle uitslag als aansturing te geven. Het uitslingeren is dan tot rust gekomen als de volgende sprong zich aandient, vandaar dat ik ongeveer deze intervaltijdsduur in dit ontwerp heb aangehouden.

Over die of een kleinere meetperiode kun je ook van alle momentane metingen het gemiddelde bepalen en je weet dan het gemiddelde zendvermogen. Bij key-down zie je dus dat de PEP en het gemiddelde hetzelfde zijn. Bij spraak kom je uit op de experimenteel gemeten 1% tot 3% als je geen precompressie in de spraak toepast, maar puur lineair werkt. Voor afregelen van zenders is het gewenst dat de gemiddelde waarde van het vermogen niet wordt uitgemiddeld over een dergelijke periode maar evenals de SWR onmiddellijk op de



De delen van de directional coupler vlak voor de eindmontage.

meteraanwijzing beschikbaar staat, wat voor afregelen (pieken) van de zender van belang is. Er worden 28 metingen per seconde op de meters gezet, dus aan deze eis wordt ruimschoots voldaan.

Directional coupler

Om het voorwaartse en gereflecteerde vermogen te kunnen bepalen hebben we een directional coupler nodig. De zogenaamde tandem coupler voldoet uitstekend, die heb ik gemaakt met 2 Amidon ringkernen T80-2 (rood), T50 was te klein voor de kabel. T80-2 past bewikkeld met 0,5 mm draad klem om de buitenmantelisolatie van 50 Ω RG213U kabel.

Zo'n directional coupler kun je ook los gebruiken, gewoon een paar gelijkstroommeters aan de uitgangen hangen, b.v. 50 μA met serieweerstand 27k, en je ziet forward en reflected spanningsamplituden.

Enig rekenwerk is op zijn plaats, de kennis daarvoor is bijvoorbeeld te halen uit een artikelreeks over Ferrieten uit een databoek van Siemens betreffende kernmaterialen.

De coupler bevat een stroom en een spanningstransformator op ringkernen. De constructie is zo dat als je de zaak in elkaar gezet hebt het eigenlijk niet meer mogelijk is om de kernen te vervangen of het aantal windingen aan te passen. Tevoren moet dus goed en hopelijk foutvrij worden nagedacht over de dimensionering.

Op de laagste werkfrequentie (1,8 MHz) moet de impedantie van de spoel minimaal 3 maal de kabelimpedantie van 50 Ω zijn, dus de spoel moet 12,3 microhenry zijn, en voor een Amidonkern T80-2 (rood) krijg je dat voorelkaar met 50 windingen. Spoeltje mag niet te weinig windingen hebben want de coaxspanning

staat eroverheen, en bij 400 watt is die 141 volt effectief, zodat er dan op 1,8 MHz 1 ampère het spoeltje in loopt. Bij hoge SWR zelfs het dubbele.

Als je beseft dat de kabelstroom in coax bij 400 watt bijna 3 ampère is, dan zie je dus dat over een en ander goed moet worden nagedacht. Maak je het spoeltje groot, dan werkt de zaak niet meer perfect op 30 MHz. Verdubbel je het aantal windingen van het spoeltje dan verviervoudigt de zelfinductie en wordt de stroom dus een kwart door twee keer zoveel windingen en dat betekent de halve magnetische inductie B in de kern.

Die B is ook een belangrijk criterium, dus door een kern te kiezen met een hoge relatieve permeabiliteit μ_r , waardoor je weinig windingen nodig hebt verhoog je de B en die kan de maximale waarde overschrijden met als gevolg warmteontwikkeling, verzadiging en dus in elkaar storten van de zelfinductie met nog meer stroom tot gevolg.

Een hogere mu heeft echter het voordeel dat er minder windingen nodig zijn, en de coupler dan meer spanning geeft bij lagere vermogens, wat prettig is ten aanzien van diodelineariteit van de detectors.

Veranderen van de mu en dus de B met de frequentie en amplitude is verder niet van belang, want bij de spanningstransformator is de secundaire spanning altijd 1/N van de primaire spanning, mits die aan een bron met lage inwendige weerstand hangt, en de primaire spreidingszelfinductie niet onwijs groot is.

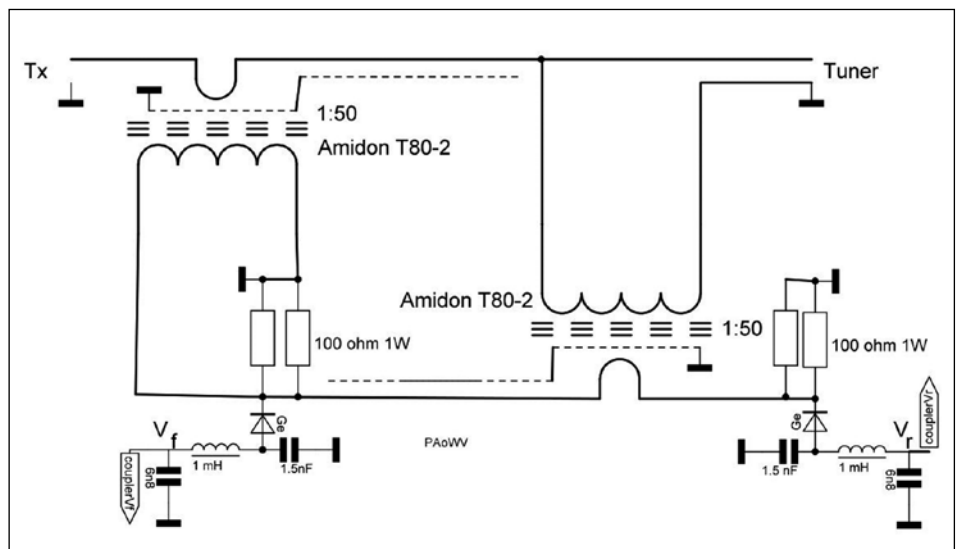
De wikkerverhouding is hier $N=50$. Bij de stroomtransformator, de tweede kern, is de secundaire stroom altijd 1/N van de primaire antennekabelstroom.

Nou ja, altijd..., zie mijn gepubliceerde (dec. 2011 in CQ-PA) antennestroommeterartikel de FIM. Het is wel van belang je niet te vertellen bij het wikkelen, anders kom je niet uit op gereflecteerde waarde 0 als de coupler met 50 Ω is afgesloten. Beide trafo's moeten evenveel windingen hebben. Dat komt omdat de kabelspanning via de ringkerntrafo totaal met 100 Ω belast is, en de spanning zich gelijk over twee weerstanden van 50 Ω verdeelt.

De stroomtransformator geeft in beide weerstanden de halve getransformeerde stroom (mits de zaak symmetrisch wordt opgebouwd), dat veroorzaakt in die weerstanden ook een spanning.

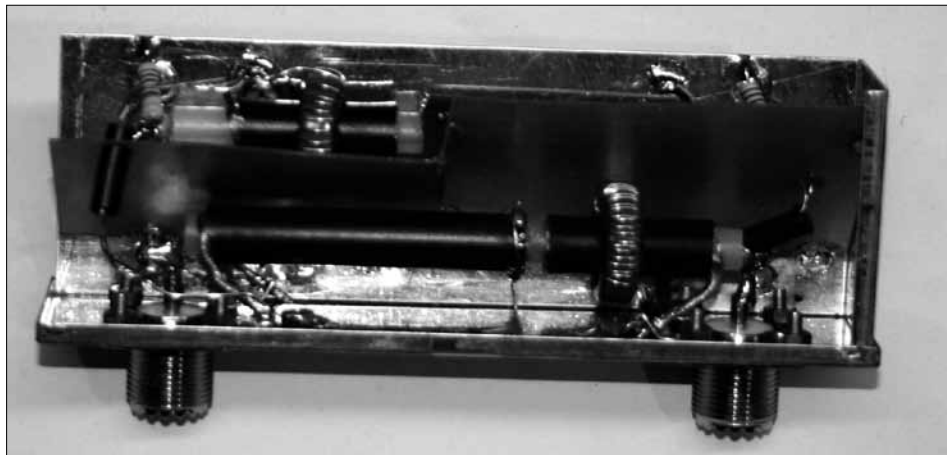
Bij de ene weerstand tellen die spanningen op en bij de andere werken ze elkaar tegen, zodat bij afsluiting met 50 Ω op de antenneplug geen spanning over een van beide weerstanden resteert.

De μ_r van de gebruikte toroïde T80-2 is slechts 10. Zou je een andere toroïde kiezen met een mu van 100, waardoor de inductie van een winding met 10 maal toeneemt, dan kun je met 3,2 ($=\sqrt{10}$) maal minder windingen volstaan voor dezelfde zelfinductie, de stroom blijft dan hetzelfde maar de B neemt een factor $\sqrt{10}$ toe.



Richtkoppeling.

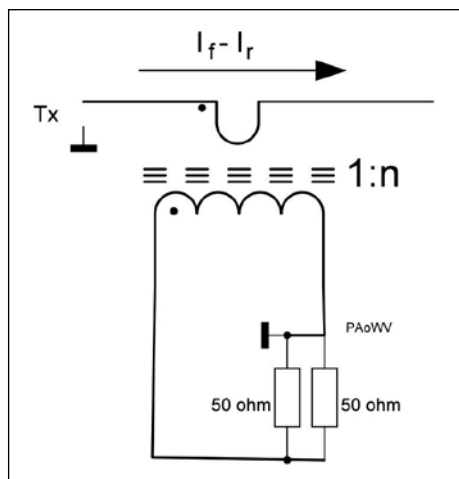
We rekenen nog even verder aan het spoeltje dat met zijn wikkeling parallel aan de kabel staat. Het heeft in de hulpkabel van de tandem bij 50 windingen een geïnduceerde spanning die $1/50$ is van de antennekabelspanning, ongeveer 4 volt piekwaarde dus als de $SWR=1$, en kan bij hoge SWR oplopen tot het dubbele. De B kunnen we ook nog ruwweg berekenen. Bij 3 ampère in de antennekabel (450 W) is die bij een gemiddelde toroidelengte die de fabrikant voor deze kern opgeeft $7,3 E^{-4}$ weber/m². Bij deze toroide is dat vanwege de lage μ dus te verwaarlozen.



De richtcoupler gereed.

De stroomtransformator heeft in de primaire bij ruim 400 watt 3A lopen, die geeft in de (nagenoeg) kortgesloten secundaire een stroom van 60 mA, in de twee 50 Ω weerstanden wekt die een spanning op, van 1,5 volt eff. De spanningstransformator zorgt op beide weerstanden bij 450 W elk 1,5 volt, bij de ene weerstand telt die op en bij de andere wordt die afgetrokken van de stroombijdrage, zodat bij correcte afsluiting de VR uitgang 0 is en de Vf uitgang 3 volt effectief bevat die na piekgelijkrichting met een ideale diode 4,24 volt is. De wikkelverhouding van 50 bepaalt dus de uitkoppeldemping en die is dus hier 34 dB.

Als de werking van de coupler nog onduidelijk is kan de volgende uitleg verhelderen.



Figuur 4.

rend werken:

- De koppeler bestaat uit twee delen een stroommeting en een spanningsmeting.
- Op de kabel staat een voorwaartse golf met (top)spanning V_f en stroom I_f en een gereflecteerde golf met spanning V_r en stroom $-I_r$, die wandelt de andere kant op, richting zender.

Het linkerdeel (figuur 4) bestaat uit een stroomtransformator 1 op n windingen. Secundair is die afgesloten met twee weerstanden van 50 Ω parallel, zodat de totale secundaire stroom zich gelijkelijk over

beide weerstanden verdeelt.

De stroom door elk van die 50 Ω weerstanden is dus:
 $(I_f - I_r)/(2 \cdot n)$ met n de wikkelverhouding van de stroomtrafo.

Vervolgens hebben we het tweede deel van de koppeler, dat is een spanningstrafo (figuur 5) met wikkelverhouding n en een secundaire winding.

De spanning over die winding is dus:
 $(V_f + V_r)/n$.

Over de secundaire staan nu 2 weerstanden van 50 Ω in serie met de middenverbinding aan aarde.

De stroom door die weerstanden opgewekt door de spanningstrafo is dus:
 $(V_f + V_r)/(2 \cdot 50 \cdot n)$

Die 50 Ω weerstanden zijn dezelfde als van het stroomdeel van de coupler. Door de ene weerstand loopt die stroom tegengesteld aan de stroom uit de stroomtrafo en door de andere weerstand loopt die dezelfde kant op als de stroom uit de stroomtrafo.

De totale stroom in de ene weerstand is dus

$$\frac{I_f - I_r}{2n} + \frac{V_f + V_r}{100n}$$

en in de andere weerstand

$$\frac{I_f - I_r}{2N} - \frac{V_f + V_r}{100n}$$

Nu is op een 50 Ω transmissielijn $I_f = V_f/50$ en $I_r = V_r/50$.

Invullen van I_r en I_f levert dan op de ene 50 Ω weerstand

$(V_f - V_r)/100n + (V_f + V_r)/100n = V_f/(50 \cdot n)$ en op de andere 50 Ω weerstand omdat de stroom ten gevolge van de spanningstrafo daar tegengesteld loopt aan die van de stroomtrafo:

$(V_f - V_r)/100n - (V_f + V_r)/100n = -V_r/(50 \cdot n)$
 De wisselspanningen op de weerstanden hebben dus de piekwaarde V_r/n en V_f/n .

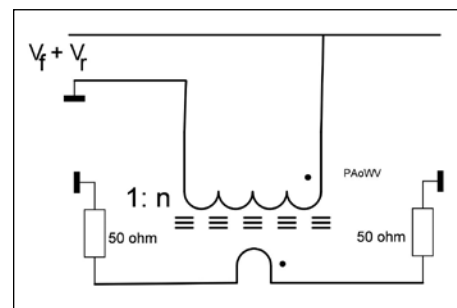
V_f en V_r waren piekspanningen (amplitudes) op de antennekabel.

De maximale piekwaarde van de wisselspanning die je ooit kunt verwachten over elk van de 50 Ω weerstanden is in het geval $n=50$ bij 1 kW zendvermogen dus 6,3 volt.

De coupler geeft dus op zijn DC uitgangen twee uit combinatie verkregen en gelijkgerichte spanningen V_f en V_r af. V_f heeft een amplitude die evenredig is met de voorwaartse golf en V_r is evenredig met de amplitude van de gereflecteerde golf.

Die zijn met een germaniumdiodedetector gelijkgericht, en dat gaat voor lage spanningen (QRP) niet lineair.

Dat geeft niet want de gemeten spanning wordt versterkt en in een microcontroller worden die dan gecorrigeerd met een vertaaltabel tot wat ze horen te zijn als de diode ideaal zou zijn geweest, zodat de meteruitslagen correct zijn.



Figuur 5.

Bepaling van SWR en P

We hebben de 2 spanningen V_f en V_r voorwaarts en reflected. Het voorwaartse vermogen is evenredig met V_f^2 en het reflected vermogen met V_r^2 .

Die trekken we van elkaar af om het forward power te vinden voor de eerste meter. $V_f^2 - V_r^2$ gaat dus naar die meter toe.

De SWR wordt bepaald uit $(V_f + V_r)/(V_f - V_r)$ die gaat naar de tweede meter, het 0-punt is dus tijdens werking nooit bereikt, want de laagst mogelijke $SWR=1$ en de schaal is lineair.

En tot slot worden de gelijkgerichte outputs van de directional coupler 11000 keer per seconde bemonsterd.

De bandbreedte van die signalen uit de diodedetectors is minder dan 3 kHz omdat ze van spraak afkomstig zijn, een piek

in het vermogen kan dus niet smaller zijn dan bij een sinus van 2,8 kHz hoort. Ruim 11000 monsters per seconde worden geleverd door de twee ADC0804 8 bit analog to digital converters.

Van elke 8192 monsters (een tijdsinterval van 0,8 seconde) wordt het maximum vermogen bepaald en middels de vigerende daarbij te berekenen reflected power die eraf getrokken wordt, wordt de PEP meter bestuurd, terwijl een meting gedurende de meetperiode naar de powermeter gaat. Die wordt 28 keer per seconde ververst.

De spanning wordt door de ADC geconverteerd tot een 8 bits getal met waarde 0 tot 255, als deingangsspanning tussen 0 en 5 volt gaat. Dat is natuurlijk ruim voldoende omdat je een stapje van de 255 niet op de meterschaal kunt aflezen. Die wat grotere spanning verdient de voorkeur om de invloed van storingen te minimaliseren.

Twee opamps (in een huisje) zorgen voor de versterking of de verzwakking van de gedetecteerde signalen uit de richtkoppeling bij de diverse bereiken.

De meterschalen lopen van 0 tot 100, de bereiken zijn daarom gekozen met maximaal vermogen 10, 100 en 1000 watt. We kunnen dan meten van 1 tot 1000 Watt.

De versterking van de 2 versterkers wordt daartoe omgeschakeld met een 3 maal driestandenschakelaar op het achterpaneel. Drie maal vierstandenschakelaar lag niet in de junkbox anders had ik ook nog een bereik van 1 watt max kunnen bekijken. Dat plaatsen van de bedieningsknop op de achterzijde is gedaan omdat bij normaal gebruik je zender een bepaald vermogen heeft en je dus niet hoeft om te schakelen. Bovendien kan de meter worden uitgebreid met automatische bereikomschakeling, en dan stoort een knop op het frontpaneel. Het ingestelde bereik wordt door 3 LED's op het frontpaneel aangegeven. Groen, geel en rood voor toenemend vermogenbereik 10, 100 en 1000 watt max. De schakelsectie die de LED's bedient is tevens gebruikt om de microprocessor te melden welk bereik is ingeschakeld, zodat die de correcte tabel kan gebruiken om de diodekromme recht te trekken. De LED's zijn voorzien van slechts een weerstand, omdat er altijd maar een tegelijk aan is kan dat.

Nu ben je niet geïnteresseerd in een meter die lineair de SWR aangeeft tussen 1 en 255, omdat de normale SWR waarden de 10 niet overschrijden, zou SWR 1 tot 10 zich dan allemaal nauwelijks van elkaar te onderscheiden in de linkerhoek van de schaal afspelen.

Daarom wordt de berekende SWR vermenigvuldigd met 25,5 en gelimiteerd op 10, zodat de volle schaaluitslag nu bij SWR=10 bereikt wordt.

Dat werkte echter aanvankelijk niet naar wens, omdat de meter dan slechts 10 discrete standen kent voor SWR=1 tot 10, en tussenwaarden niet worden aangewezen. Daarom is de software na dit bemerkt te hebben, gewijzigd tot een vermenigvuldiging met 25,5 en vervolgens een staartdeling binair geprogrammeerd die wel alle tussenstanden van de meter tussen de gehele waarden 1 tot 10 kan neerzetten.

Analoge uitlezing

Het is noodzakelijk op analoge (draaispoel)meters je PEP SWR en door je zender geleverde vermogen te kunnen aflezen. Geen flippende cijfertjes, je ziet dan onmiddellijk waar een wijzer ongeveer staat en afregelen van je zender en antenne tuner is dan ook makkelijker. De wijzer stelt zich immers om mechanische redenen in op het gemiddelde gemeten vermogen als dat snel varieert.

Een analoge meter kun je direct via een weerstand aansluiten tussen een poot van een microprocessor en de 5V voeding, als op die poot een blok golf staat die schakelt tussen 0 en 5V. Is de mark/space verhouding van de blok bijna 0, dan wijst de meter de volle uitslag aan, is de space/mark verhouding bijna 0, dan wijst de meter bijna 0 aan, de meterserieweerstand wordt zo gekozen dat dat gebeurt.

De naald zwipt of trilt als de blok te laagfrequent is maar vanaf ongeveer 25 Hz wijst hij stilstaand zonder trillen het gemiddelde aan, de DC component van de blok dus.

De gebruikte herhalingsfrequentie van de blok is ruim 28 Hz, de meterwijzer staat dus stil, van trillen is niets te zien.

De meteraansturing

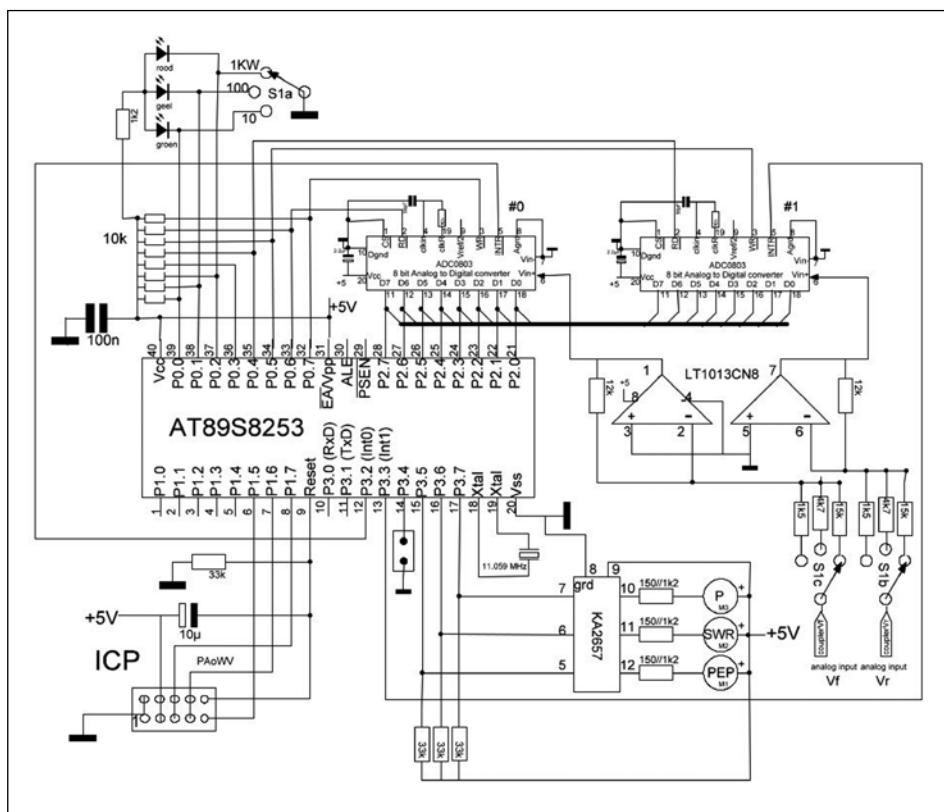
Eerst uitleg voor het aansturen van een meter; uitleg voor een willekeurig aantal meters komt daarna.

Ik gebruik twee 16 bit timers uit de processor, timer0 en timer1, die beide een eigen overflow interrupt geven met een herhalingsfrequentie van ruim 28 Hz. De eerste timer0 zet bij een overflow in zijn interruptafhandelingsroutine de aangesloten meter op space (laag), begin van meterstroom dus, omdat de andere kant van de meter aan plus hangt via een weerstand. Voorts zet hij de teller van de tweede interrupt op een preset die berekend is uit de gewenste meterstand, en die de breedte van de space gaat bepalen.

Dat is alles voor de timer0 interruptafhandelingsroutine. Komt er een interrupt van de timer1 na de middels de preset ingestelde tijd, dan schakelt diens afhandelingsroutine de portpen van de meter op geen stroom, begin mark en einde space van de blok dus. Dat is alles voor de tweede timerinterrupt. Op die wijze krijg je afhankelijk van de preset die de eerste interruptafhandelingsroutine aan de tweede timer geeft een 28 Hz blok met een door de genoemde preset bepaalde mark space-verhouding en dus meteruitslag.

Nu hebben wij hier drie meters nodig, namelijk zendvermogen, SWR en PEP van het zendvermogen. We hebben geen 6 tellers, maar slechts twee stuks hiervoor beschikbaar, en daarmee kunnen we, zoals ik tijdens een onrustige slaap bedacht, als volgt drie (of meer) meters bedienen.

We sorteren na elke berekende wijziging



van een meterstand de meterstanden op volgorde van lage naar hoge uitslag, met de bijbehorende meters en bepalen voor elke meter de preset van de 16 bits timer1, die de gewenste uitslag geeft. De laagst aanwijzende meter noemen we de preset t1 van. Niks nieuws onder de zon tot hier. Nu bepalen we echter het verschil tussen de presets van de laagst aanwijzende meter en de meter die daarop volgt wat uitslag betreft. En tot slot het verschil in presets tussen die laatst genoemde meter en de overgebleven hoogst aanwijzende meter. Die verschillen noemen we t2 en t3. De gang van zaken is nu als volgt. De overflow interrupt van de timer0 schakelt alle meterpennen op stroomvoerend, en geeft de timer1 de preset t1.

Als de timer1 afloopt schakelt die de laagstaandwijzende meterblok op stroomloos en herlaadt zijn counter met presettijd t2. Dat is alles. Wordt na t2 die interrupt van timer1 weer actief dan schakelt hij meter 2 af en preset op t3. Loopt hij de derde keer af dan ook de derde meter naar 0. Altijd is t1+t2+t3 kleiner dan de interruptherhalingstijd van de timer0, zodat dat goed gaat.

Eventuele volgende interrupts van timer2 hebben geen actie in die cyclus, die fietsen gewoon op 28 Hz door, ze zouden kunnen worden afgeschakeld, maar ze hinderen niet. Met dit systeem kun je dus ook meer dan 3 meters aansturen, maar hier is dat onnodig.

Op een analoge meterschaal kun je geen ruim 65000 verschillende posities herkennen, het volstaat dus bij de preset alleen het meest significante byte in de timerteller te laden. Je meterschaal is dan in 256 posities verdeeld. Zeer ruim voldoende dus voor een 2% meter.

Bij constante meterstanden is de processorbelasting voor interruptafhandeling hiermee nagenoeg 0, en als een meterstand moet wijzigen dan worden in het hoofdprogramma de nieuwe t1, t2 en t3 en de metervolgorde daaruit berekend. Dit verhaal is iets makkelijker verteld dan het is, want je sorteert op meteruitslagen maar je moet wel de juiste meters van die uitslagen voorzien. Bovendien moet je aan het begin van timer0 als alle meters ingaan, de variabelen klaar hebben staan, die mogen tijdens een displaycyclus niet worden gewijzigd.

Gelijke standen van meters vergen ook een bijzondere ingreep, en tot slot wordt vermeden dat de meterstanden meerdere keren worden herrekend gedurende een displaycyclus die ongeveer 35 ms duurt.

Elk van de drie meters kan voorzien worden van een uitslag van 0 t/m 255 die bij de intervalgrenzen overeenkomen met 0 en volle uitslag van de wijzers.

De software

Twee extern getriggerte interruptroutines starten de meetcycli in de ADC converters als er een conversie gereed wordt gemeld. Dat gebeurt ongeveer 10000 keer per seconde. Zou dat door een storing verbroken worden dan zou de meting ophouden. Daarom is in de meterinterruptroutine elke 35 ms in een startpuls voorzien. Hij werkt zonder ook, maar het kan geen kwaad er op deze wijze een watch dog bij te hebben. De hoofdroutine roept zodra er een monster van beide ADC's binnen is gehaald een rekenroutine aan.

Die berekent P uit $V_f^2 - V_r^2$. Op het voortgezet onderwijs na de lagere school leerde je in de laagste klas bij algebra merkwaardige producten, en daarom weet je dan dat dat gelijk is aan $(V_f + V_r)(V_f - V_r)$. Die factoren berekenen we beide, want die zijn ook nodig voor de swr die is $(V_f + V_r)/(V_f - V_r)$. De berekende waarden worden op de meters P en SWR gezet. Tevens wordt de P vergeleken met het tot dan toe opgetreden maximum in een blok van 8192 metingen. Wordt de rekenroutine de 8192ste keer aangeroepen dan wordt dat maximum op de PEP meter gezet. Dat gebeurt dus elke 0,8 s. De afkorting voor seconde is s geen sec, dat is meer de aanduiding van droge alcoholische dranken.

Voorts worden dan de tellers weer op 0 gezet. Als je in een proefje alleen de routine steeds aanroept gaat hij drie maal sneller door dat geheel heen, dan wanneer hij op monsters uit de ADC moet wachten. Dat is een goed teken, de routine is dus met alle rekenarij niet te langzaam.

SWR en P worden niet uitgemiddeld, elke waarde wordt naar het meterblok geschreven dat elke 35 ms de aangeboden waarde eruit pikt. Bij SSB gaat dat op en neer, de meter middelt dat uit door zijn traagheid. De meteraanwijzing is lineair, dus je krijgt automatisch het gemiddelde vermogen van de SSB op de P meter te zien.

De draaispoelmeters

Ik heb draaispoelmeters gekocht bij dump Baco www.army-goods.nl en ze kostten € 6,95/stuk. Die zijn 100 mV volle schaal, dus ik dacht dat dat wel in de buurt van 1 mA zou liggen. Ze hebben geen inwendige shunt (en een grote permanente magneet ontbreekt ook), maar eisen wel 25 mA bij volle uitslag. Deze aankoop was dus een zeperd.

Ik wil die meters toch wel toepassen dus voor deze slechte meters heb ik drivers in moeten bouwen omdat de processor niet 25 mA per poot kan sinken (=opslurpen). Bij eventuele nabouw kunnen die drivers wegblijven als je gevoeliger meters gebruikt van 5 mA of minder volle schaaluitslag.

De serieweerstand van de meter moet zo groot zijn dat de meter vol uitslaat als je er 5 volt op zet. Nu is het zo dat die drivers

(darlingtontransistors) ook nog een keer pull up weerstanden eisen van 33k en de boel inverteren. Als je betere meters hebt van maximaal 5 mA dan kun je die zonder driverIC toepassen. De serieweerstand zo kiezen dat ze bij 5 volt maximaal uitslaan, en dan een jumper plaatsen tussen poot P3.4 en aarde, dan levert de processor de geïnverteerde vereiste pulsen af. Daar heb ik in het programma voor gezorgd. De meters moeten met de min aansluiting aan respectievelijk poten P3.5 P3.6 en P3.7 en de plusaansluitingen elk via een weerstand naar +5 volt, die weerstand is bij een 1 mA meter dus bijna 5 KΩ.

Ik heb bij mijn meters 180 Ω weerstanden toegepast, ze wijzen dan bij volle uitslag 90% aan, en dat is dan gecorrigeerd tot 100% door er een parallelweerstand aan de 180 Ω van 1k2 op te nemen. Totaal ben ik dus 9 weerstanden en een driverIC in het nadeel door die ongevoelige meters, waar de zwaardere belasting van de voeding nog bijkomt. Weerstanden kosten niet veel geld maar wel plaats op de print. Allemaal het gevolg van de inferieure kwaliteit van de gebruikte meters.

De versterkers

Aan de versterkers wordt de eis gesteld dat ze een lage offset current en laag offset voltage hebben, en belangrijk, dat ze uitstuurbaar zijn vanaf 0 volt, en de uitgangsspanning moet tussen 0 en 5 volt kunnen komen, rail to rail noemt men dat. Ik heb DIL-8 IC's gebruikt type LT1013CN8, twee versterkers in een 8 pens DIL behuizing, die voor instrumentatie zijn ontwikkeld, en makkelijk verkrijgbaar zijn voor minder dan vijf euro; ze staan in het leveringsprogramma van Conrad (bestelnummer 150074-8A).

Nabouw en testen

Als de ADC's de voeding en de processor met de meters zijn gemonteerd kun je de zaak als volgt testen:

Na inschakelen staan de meters op 0. Wijzig je nu de positie van de jumper dan komen ze op de maximum uitslag te staan. De interruptroutines werken dan anders zou dat omklappen van de meters niet gebeuren. Dat is tevens de gelegenheid eventueel de serieweerstanden te corrigeren, zodat de maximale schaal aanwijzing bereikt wordt.

Met twee potmeters van 5k kun je de ADC's testen. De ene potmeter staat tussen 0 en 5V en zijn looper gaat naar de Vf ADC pen 6, terwijl die tevens tussen die looper en massa een tweede potmeter van 5K staat wiens looper naar de Vr ADC pen 6 gaat. Door deze schakeling bereik je dat Vf regelbaar is tussen 0 en 5 volt, en dat Vr daar een vast instelbaar deel van is. De positie van de Vr regelaar bepaalt de SWR, die mag niet variëren als je de Vf wijzigt.

Met SWR=1 kun je met Vf regelaar de P meter tussen 0 en maximum laten variëren, draai je de SWR omhoog met de Vr regelaar dan neemt de netto geleverde power af. Ook kun je door snel op en neer draaien van de potmeter voor Vf zien dat de PEP meter blijft staan op het maximum dat de P meter bereikt tijdens het op en neer draaien. De PEP meter moet zijn waarde ongeveer 0,8 seconde vasthouden. Met een graetzbrug dubbelfasig gelijkgerichte wisselspanning uit de laagspanningswikkeling van een netrafo, maximaal 5 volt piekwaarde op de ADC voor vf te zetten en op de tweede ADC die Vr meet een vast met een potmeter instelbaar deel daarvan. De meters moeten dan het gemiddelde vermogen en het piekvermogen dat twee keer zo groot is als het gemiddelde aanwijzen. De aangeboden spanning halveren moet de meteraanwijzingen tot een kwart terugbrengen.

De directional coupler montage is op de foto's te zien, de buitenmantel van de coax mag geen stroom voeren dus die is onderbroken zoals de foto toont. Voor de stevigheid heb ik de mantels aan de beide uiteinden geaard, op het blik, maar de onderbrekingsring in de buitenmantel zorgt ervoor dat de buitenmantel slechts als afscherming voor de E component van het veld werkt. Op grafiekenpapier worden de boorgaten afgetekend, overgenomen op het blik en ook op de achterwand van de kast, zodat de zaak past als het klaar is. Aan de binnenzijde van de blikken doos zijn twee M3 moertjes gesoldeerd op de geboorde gaatjes, zodat die aan de achterwand bevestigd kan worden. De diodedetector output gaat via een doorvoercondensator, die 2 nF blijkt te zijn naar buiten. Er staat dan nog een paar mV hf op, en die heb ik weggehaald met 1 mH op ferriet gewikkelde smoorspoeltjes en een Ctje van ruim 6 nF. Die onderdelen zijn niet kritisch, monteer zoals ik, wat er toevallig voorhanden is in junkbox. De net-entree is van een netfilter voorzien, om kans op instraling van HF via het netsnoer te verminderen. Daarom is de kast natuurlijk ook van metaal.

De Ge diodes heb ik de overdrachtskarakteristiek van gemeten door de coupler af te sluiten met een dummyload, de wisselspanning met een uit de dump geviste mV meter die van 2Hz tot 12 MHz kan meten (Philips PM2454), direct op de dummy aangesloten en tussen 1 volt en vol vermogen gevarieerd op 3,5 MHz, en met een digitale gelijkspanningsmeter de uitgang van de coupler Vf gemeten, daarmee is dus bekend welk vermogen bij elke waarde van Vf behoort. Door de connectors te verwisselen op de coupler, kun je ook de karakteristiek van Vr opnemen. Die karakteristieken zijn in de meter opgenomen als vertaaltabelen bij de berei-

ken, ik verwacht geen grote afwijkingen voor andere signaaldiodes van Ge, maar een perfectionist doet de metingen en als ze afwijken van wat ik heb gemeten kan de vertaaltabel in de controller worden aangepast. Heb je geen kilowatt beschikbaar, dan kun je de dummy weglaten, alles wordt dan gereflecteerd, de spanning op de diode uitgang verdubbelt. Fictief hoge vermogens kun je ook simuleren door de spanning van een kring in resonantie die op je QRP zender is aangesloten af te nemen.

De meterbuffer, kastje en meters zijn bij Baco gekocht www.baco-army-goods.nl (die meters daar dus beter niet halen), de ADC's heb ik bij www.display.nl gekocht, Conrad verkoopt ze ook, en de ferrietringen kun je op elke radiovloeiemarkt betrekken die regelmatig worden georganiseerd door de verenigingen Bentheim, Dag van de Amateur, Rosmalen, Lichtmis, Beetsterzwaag, etc. terwijl ze ook bij Nederlandse webshops te koop worden aangeboden.

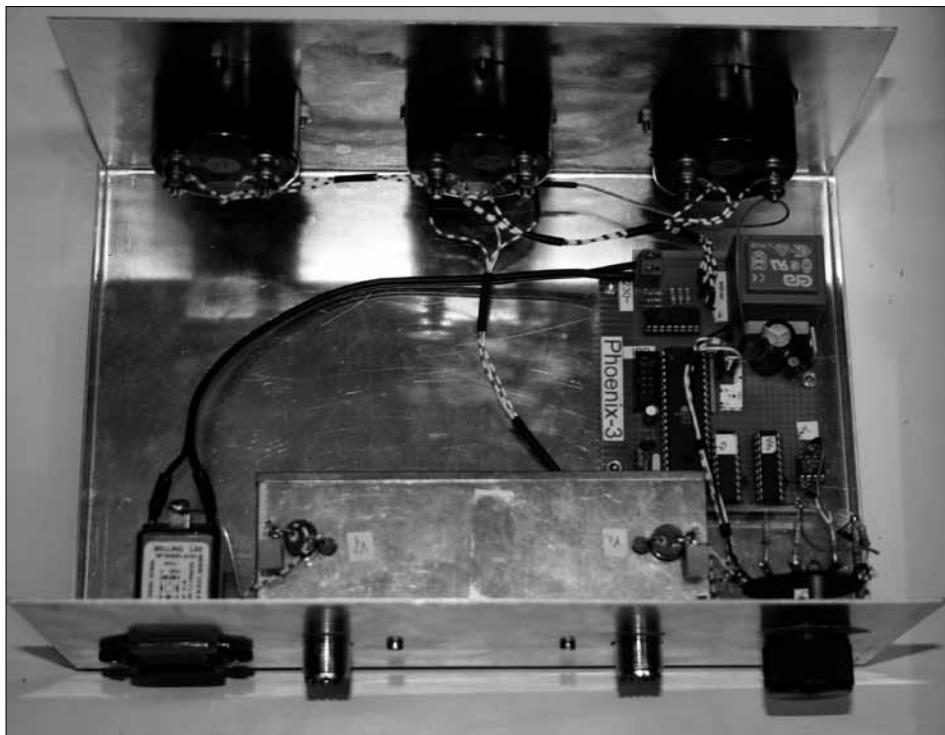
Programmatuur

Controllers AT89S8253 worden geprogrammeerd door mij geleverd, na ontvangst van de bestelling op mijn e-mailadres mijnccall@amsat.org en betaling van 15 euro op de dan aangegeven wijze binnen Nederland. IC-moeilijk kan dus niet als bezwaar worden aangevoerd om eens iets zelf te bouwen, dat een stapje verder gaat dan het inelkaar solderen van een kitje. Vragen of ondervonden problemen kunnen ook aan mijn e-mailadres worden gezonden.

Als je eerst de directional coupler bouwt en de omschreven metingen doet, dan kan ik indien gewenst de controller van op de meetresultaten (mits aannemelijk) aangepaste vertaaltabelen voorzien.

73, de PAoWV

- 1) De Phoenix, NVRA nov-dec 2009 nr 5 pp 6-9 (ook te vinden op <http://pa0wv.home.xs4all.nl/zelfbouw.html>)



Een blik in de Phoenix.