

L'antenne Multibande G5RV

De Multiband G5RV-antenne

par/door Bob, ON9CDV

Traduction: ON5TM

Ndlr.: L'article de Bob, ON9CDV a déjà fait couler beaucoup d'encre électronique entre l'auteur, la rédaction et un certain nombre de chroniqueurs. Néanmoins, la rédaction technique de CQ-QSO a estimé que cet article mérite sa place dans le CQ-QSO, en attirant l'attention sur le fait qu'il n'exprime que l'opinion de l'auteur.

L'antenne G5RV a été décrite par Louis Varney (G5RV) dans la revue anglaise pour radioamateurs 'Radio Communications' de juillet 1984, il s'agissait d'une seconde publication après une antérieure datant de 1966 dans le 'RSGB Bulletin' de l'époque. En réalité l'antenne G5RV est une (petite) variante de l'antenne multibande Collins antérieure à la dernière guerre mondiale et elles sont à leur tour, toutes deux des améliorations de l'antenne Lévy: une antenne dipôle alimentée par une ligne ouverte connue bien avant la seconde guerre mondiale. Depuis lors cette antenne a été utilisée par de nombreux radioamateurs, et la fantaisie dans sa réalisation 'correct' a souvent pris des 'envols incontrôlés'. Il y a aussi des 'améliorations' qui ont vu le jour, améliorations développées aussi bien par des amateurs que par des 'professionnels', et qui ne sont en fait que des variantes d'un même thème et non pas des modifications substantielles. De par toutes ces adaptations et modifications, l'antenne G5RV a parfois pris des allures mythiques qui l'ont fait rejoindre la sphère des 'antennes miraculeuses'. Cela vaut donc la peine de repartir du concept de Louis Varney et d'analyser cette antenne avec les moyens disponibles actuellement.

Concept de l'antenne

Selon le récit de G5RV, l'antenne a été conçue comme un long fil de 1,5 λ alimenté en son centre pour la bande des 20 m. La ligne d'alimentation ouverte fonctionnant comme un transformateur d'impédance de rapport 1: 1, capable d'assurer l'adaptation d'un twin lead de 75 Ω ou d'une ligne coaxiale de 50 – 80 Ω avec un ROS bas. Pour toutes les autres bandes, la ligne d'alimentation ouverte fonctionne comme une section d'adaptation transformant les impédances de l'antenne en des valeurs qui résultent en des ROS 'bas' vis-à-vis du transceiver.

Il résulte de cette description que l'antenne ne présentera un TOS bas que sur la bande 20 m et que pour toutes les autres bandes, un coupleur d'antenne sera nécessaire pour atteindre des ROS de 2: 1 requis par les étages de sortie modernes à transistors. De plus, Louis Varney écrit que l'antenne peut fonctionner sur toutes les bandes HF, à savoir 80, 40, 30, 21, 17, 15, 12 et 10 m et de surcroît sur 160 m, si pour cette bande on réunit ensemble les deux fils d'alimentation pour ne plus former qu'un seul brin d'antenne, et avec une bonne terre comme 'contrepois'. La hauteur de l'antenne ne serait de plus pas critique; quoique l'antenne ait été développée pour une hauteur de 34 pieds (10,36 m), à une hauteur de 25 pieds (7,6 m) de très bons résultats seraient encore obtenus.

Malgré le passage d'une ligne d'alimentation symétrique à une ligne coaxiale asymétrique, l'auteur déclare que l'emploi un balun n'est pas nécessaire. Cette dernière allégation est cependant contredite dans le même article lorsqu'il dit:

"Under certain conditions, either due to the inherent "unbalanced-to-balanced" effect caused by the direct connection of a coaxial feeder to the base of the (balanced) matching section, or to pick-up of energy radiated by the antenna, a current may flow on the outside of the coaxial outer conductor. This effect may be considerably reduced, or eliminated, by winding the coaxial cable feeder into a coil of 8 to 10 turns about 6in in diameter immediately below the point of connection of the coaxial cable to the base of the matching section."

Nvdr. Het door Bob, ON9CDV ingediende artikel heeft al heel wat elektronische inkt doen vloeien tussen de auteur, redactie en een aantal recensenten. Niettemin oordeelde de technische redactie van CQ-QSO dat dit artikel ruimte verdient in CQ-QSO, mits te benadrukken dat het uitsluitend de mening van de auteur verwoordt.

De G5RV-antenne werd door Louis Varney (G5RV) beschreven in het Engelse radioamateurblad 'Radio Communications' in juli 1984, een tweede beschrijving na eerdere publicatie in 1966 in het toenmalige 'RSGB Bulletin'. Eigenlijk is de G5RV een (kleine) variant op de Collins-multibandantenne van vóór de laatste wereldoorlog en zijn beide ontwerpen weer verbeteringen op de Levy antenne: een met open lijn gevoede dipoolantenne die al ver vóór de laatste wereldoorlog bekend was. Sindsdien is deze antenne bij veel radioamateurs toegepast, waarbij de fantasie over de 'juiste' uitvoering vaak een 'vrije vlucht' heeft genomen. Ook zijn er 'verbeteringen' van dit ontwerp in omloop, bedacht door zowel amateurs als 'professionals', die niet meer dan variaties op hetzelfde thema inhielden en geen wezenlijke verandering brachten. Door al deze aanpassingen en veranderingen heeft de G5RV-antenne soms mythische proporties aangenomen die het ontwerp eerder in de sfeer van de 'mirakelantennes' doen terecht komen. Het lijkt daarom de moeite om eens opnieuw naar het basisontwerp van Louis Varney te kijken en de antenne te analyseren met de middelen die ons op dit moment ten dienste staan.

Het antenne-ontwerp

Volgens het verhaal van G5RV werd de antenne ontworpen als een 1,5 λ , in het midden gevoede, long-wire antenne op de 20m-band, waarbij de open voedingslijn werkt als een 1:1 impedantietransformator, geschikt voor aanpassing op 75 Ω twinlead of 50-80 Ω coaxiale voedingsleiding, met een lage SGV. Op alle andere banden fungeert de open voedingslijn als een aanpassingssectie om de antenne-impedanties naar waarden te transformeren die resulteren in een 'lage' SGV op de voedingslijn naar de transceiver.

Uit deze beschrijving blijkt dat de antenne alleen op de 20m-band een lage SWR zal vertonen en dat op alle andere HF-banden een antennetuner nodig is om de lage(re) SGV binnen 2:1 te brengen zoals vereist voor moderne transistoreindtrappen. Verder schrijft Louis Varney dat de antenne geschikt is voor alle HF-banden, te weten 80, 40, 30, 20, 17, 15, 12 en 10 meter en bovendien op 160 meter als bij deze laatste band de twee voedingsgeleiders worden doorverbonden en als enkelvoudig antenne-element worden aangesloten, met een goede aarde als 'tegen capaciteit'. De antennehoogte zou verder niet kritisch zijn en zou, hoewel de antenne ontworpen is voor een hoogte van 34 voet (10,36 m), nog uitstekende resultaten leveren op een hoogte van 25 voet (7,6 m).

Ondanks de overgang van de symmetrische voedingslijn naar de asymmetrische coax zegt de auteur dat een balun niet nodig is. Dit laatste wordt echter in hetzelfde artikel door hem tegengesproken wanneer hij schrijft:

"Under certain conditions, either due to the inherent "unbalanced-to-balanced" effect caused by the direct connection of a coaxial feeder to the base of the (balanced) matching section, or to pick-up of energy radiated by the antenna, a current may flow on the outside of the coaxial outer conductor. This effect may be considerably reduced, or eliminated, by winding the coaxial cable feeder into a coil of 8 to 10 turns about 6in in diameter immediately below the point of connection of the coaxial cable to the base of the matching section."

Ce dernier point est la description d'un balun 1:1, qui sous sa forme la plus simple est aussi appelé self de blocage de courant de circulation. Il est toujours nécessaire pour diverses raisons de réaliser un bon passage symétrique - asymétrique (balun) lors de toute transition d'un système à configuration symétrique vers une asymétrique. Si on ne le fait pas, des courants de circulation prendront naissance dans le manteau externe du coaxial et le diagramme de rayonnement de l'antenne en sera modifié. Pour neutraliser ces courants externes (courants de mode-commun), il faut toujours utiliser un balun avec une antenne G5RV.

Au sujet du câble coaxial, Louis dit qu'il peut être de n'importe quelle impédance comprise entre 50 et 80 Ω étant donné que sur toutes les bandes hormis en 20 m, le ROS est de toute façon assez élevé. Il estime que ces ROS relativement élevés ne provoqueront pas de pertes prohibitives, à condition d'utiliser du coax de bonne qualité et de longueur 'raisonnable', pas plus de 21,3 m. En réalité nous savons que les pertes peuvent s'élever rapidement dans des câbles coaxiaux qui ne sont pas chargés à leur impédance propre et qu'il faut en séquence tenir aussi courte que possible cette section de câble dans l'antenne G5RV.

La fig.1 décrit l'antenne, telle que dimensionnée par G5RV.

Le développement total de l'antenne est donc de 31,1 m. Louis Varley déclare que les 3 derniers mètres de chaque côté ne doivent pas nécessairement être tendus horizontalement, du fait que dans le cas d'antennes accordées, le maximum de rayonnement a lieu aux 2/3 de la longueur par rapport au centre. Il me semble prudent de considérer cette assertion avec quelque prudence, car c'est certainement vrai dans le cas d'antennes demi-onde, mais que pour les fréquences plus élevées où l'antenne est plus longue qu'une demi-onde, des ventres de tension peuvent aussi apparaître à 3 m des extrémités de l'antenne G5RV.

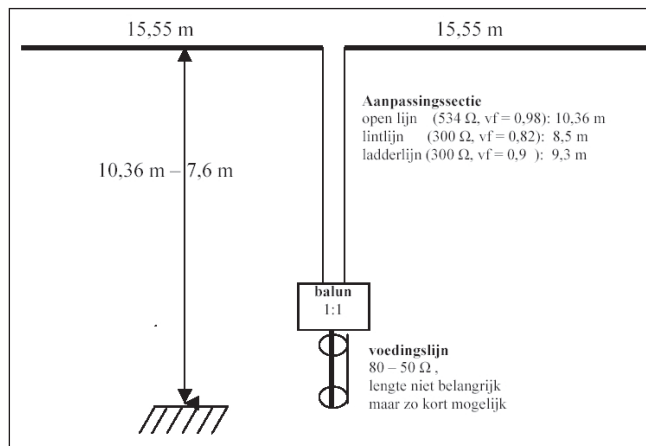


Fig. 1: L'antenne originale G5RV.

Fig. 1: De originele G5RV-antenne.

Fonctionnement de l'antenne

Il existe à l'heure actuelle de nombreux programmes permettant de modéliser les antennes et de calculer les paramètres de la ligne d'alimentation. Pour les calculs de cette antenne, j'ai utilisé le programme de calcul d'antennes EZNEC-PRO de W7EL et le programme pour ligne de transmission TWL de l'ARRL.

Pour avoir une bonne image du comportement de l'antenne, j'ai modélisé pour chaque bande HF une antenne dipôle à la même hauteur (10 m) et avec un même type de sol (conductance 5 mS, constante diélectrique $\epsilon = 13$) comme antenne à analyser. Ce dipôle de référence résonne au milieu de la bande en question et ne présente donc pas de composante réactive. L'impédance d'un tel 'dipôle standard' ne doit pas être en fait exactement de 50 Ω , mais va varier avec la hauteur de l'antenne par rapport au sol, exprimée en longueurs d'ondes, et de ce fait sera variable dans notre hauteur de modélisation de 10 m.

Si l'on compare notre antenne G5RV pour chaque milieu de bande avec notre dipôle standard, on obtient le tableau 1.

On remarque plusieurs choses dans le tableau 1. Tout d'abord on voit qu'un dipôle résonnant 'ordinaire' n'est pas du tout si mauvais que cela: le gain est d'environ 7 dBi sur toutes les bandes amateurs. Si on raccorde cette antenne avec un câble coaxial de 50 Ω (via un balun bien sûr), on voit que le SWR est confortablement bas et convient pour un raccordement direct à un émetteur avec étage de sortie transistorisé. Ce dernier point semble rester vrai pour l'entièreté de la bande HF en question, à l'exception de la bande 80 m qui est relativement large. Bref, un dipôle résonnant est une bonne solution d'antenne mono-bande et de surcroît,

Dit laatste is de beschrijving van een 1:1 stroombalun, die in zijn eenvoudigste vorm ook wel mantelstroomswoerspoel wordt genoemd. Het is om meerdere redenen altijd nodig om een goede balance-to-unbalance transformator (balun) toe te passen op elke overgang van een symmetrisch naar asymmetrisch systeem.

Indien we dit niet doen zullen er mantelstromen op de coaxaalkabel vloeien die het stralingsdiagram van de antenne beïnvloeden. Om deze mantelstromen (common-mode stromen) te onderdrukken passen we bij de G5RV-antenne altijd zo'n balun toe.

Van de coaxkabel zegt Louis dat deze elke impedantie mag hebben tussen 50 en 80 Ω omdat de SGV op deze kabel, op alle banden behalve de 20m-band, toch tamelijk hoog is. Hij verwacht dat deze hoge(re) SGV geen grote verliezen zal opleveren mits de coax van goede kwaliteit is en van 'redelijke' lengte, bijv. niet langer dan 21,3 m.

We weten echter dat systeemverliezen hoog kunnen oplopen in coaxiale kabels die niet met hun nominale impedantie worden belast en daarom dient dit stuk voedingslijn bij de G5RV-antenne zo kort mogelijk te blijven.

In figuur 1 zien we de antenne, zoals gedimensioneerd door G5RV.

De spanwijdte van de antenne is dus 31,1 m. Louis Varney stelt hierbij dat aan iedere zijde ca. 3 m niet in een horizontale positie hoeft opgesteld te zijn, omdat bij resonante antennes de meeste straling toch vanuit de middelste 2/3 van de antenne komt. Het lijkt me verstandig om deze uitspraak met enige voorzichtigheid te hanteren, omdat het zeker waar is voor halvegolfantennes, maar bij hogere frequenties, waar de antenne heel wat langer is dan een halve golf, kunnen zich ook stroombuiken bevinden op 3 m van de uiteinden van de G5RV-antenne.

Het antennegedrag

In deze tijd zijn er veel programma's beschikbaar waarmee antennes kunnen worden gemodelleerd en de parameters in de voedingslijnen berekend. Voor de berekeningen van deze antenne heb ik gebruik gemaakt van het antenneberekeningsprogramma EZNEC-PRO van W7EL en het transmissielijnprogramma TLW van de ARRL.

Om een goed beeld te krijgen van het gedrag van de antenne heb ik voor elke HF-band een dipoolantenne gemodelleerd, op dezelfde hoogte (10 m) en met dezelfde grondsoort (geleidbaarheid 5 mS, diëlektrische constante $\epsilon = 13$) als de te onderzoeken antenne. Deze referentiedipool rezoneert in het midden van de betreffende band en vertoont hier dan ook geen reactieve component. De impedantie van zo'n 'standaarddipool' hoeft echter niet precies 50 Ω te zijn, maar zal variëren met de antennehoogte boven de grond, gemeten in golflengten, en daarom variabel zijn bij onze modelleerhoogte van 10 m.

Plaatsen we de G5RV-antenne op elk bandmidden naast onze standaarddipool, dan ontstaat de tabel 1.

In tabel 1 vallen een aantal zaken op. Als eerste zien we dat een 'gewone', resonante dipoolantenne helemaal niet zo slecht is: de antenne-winst is circa 7 dBi op elke HF-amateurband. Indien we deze antenne aansluiten op een coaxkabel met een karakteristieke impedantie van 50 Ω (natuurlijk via een balun), dan blijkt de SGV gerieflijk laag te zijn en geschikt voor directe aansluiting op een getransistoriseerde zender eindtrap. Dat laatste blijkt waar te blijven over de hele betreffende HF -amateurband, behalve voor de 80m-band, die relatief breed is. Kortom, een resonante dipoolantenne is een goede monoband-oplossing en bovendien kunnen

Tableau 1. Gain de l'antenne et angle de rayonnement par rapport au 'dipôle standard'.

Tabel 1. Antennewinst en opstraalhoek in vergelijking met een 'standaarddipool'

<i>f</i> MHz	<i>Dipôle/Dipool</i>			<i>Gain max.</i> dBi	<i>G5RV</i>		
	<i>Gain</i> dBi	<i>Angle rayonn.</i> degrés <i>Opstraalhoek</i> graden	<i>SWR</i> <i>re 50</i>		<i>Angle rayonn.</i> degrés <i>Opstraalhoek</i> graden	<i>SWR</i> <i>re 50</i>	<i>SWR</i> <i>re 300</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
3,65	7,15	90	1,3	6,87	90	108,6	32,6
7,05	6,46	68	1,4	7,24	68	53,6	9,5
10,15	6,32	42	1,6	8,66	42	83,5	14,1
14,175	7,3	29,5	1,4	6,56	29,5	2,7	3,3
18,11	7,95	23	1,2	9,76	23	60,4	10,1
21,225	7,56	19,5	1,4	10,93	19,5	70,0	12,9
24,95	7,14	17	1,6	10,65	15	11,4	3,4
28,75	7,43	14,5	1,5	10,52	15	53,5	8,9

plusieurs antennes mono-bandes peuvent être connectées directement en parallèle sur le même balun pour émettre et recevoir sur plusieurs bandes (antenne multi-dipôle en 'toile d'araignée' ou 'moustaches de chat'.

En comparant le gain d'antenne d'un dipôle standard avec celui de l'antenne G5RV, on voit que ce gain est sensiblement le même sur toutes les bandes et même un peu plus haut sur les bandes supérieures à 20 m, car plusieurs longueurs d'ondes pourront se placer sur l'antenne et contribuer au diagramme de rayonnement.

Un troisième point remarquable est que l'angle d'élévation pour le gain maximum est quasi le même pour les deux antennes. Qu'il soit clair qu'il ne s'agit pas d'un hasard et que ceci est dû à la hauteur par rapport au sol et au type de sol. Ceux-ci sont identiques pour les deux antennes et donc on trouve des angles de rayonnement identiques pour le gain maximum de l'antenne. Attention: bien que les angles de rayonnement pour le gain maximum de l'antenne soient identiques, ce ne sera pas nécessairement le cas pour la direction de rayonnement maximum. Pour les bandes supérieures, plusieurs longueurs d'ondes pourront se placer sur l'antenne, ce qui fera que le diagramme de rayonnement présentera plus de lobes (et plus de 'creux' profonds entre ceux-ci) que le 'dipôle standard' et de ce fait la direction de rayonnement principal ne sera plus à angle droit par rapport à l'antenne.

Ce que nous pouvons ensuite apprendre de ce tableau est que le ROS (par rapport à 50 Ω) de l'antenne G5RV est notablement moins favorable que dans le cas de l'antenne dipôle, excepté sur 14.175 KHz, bande pour laquelle l'antenne a été initialement prévue. En nous reportant à la colonne voisine nous voyons que l'adaptation par rapport à 300 Ω est bien meilleure. Si une antenne (dipôle) n'est pas utilisée à la résonance, il est en général mieux d'utiliser une ligne d'alimentation à haute impédance (ligne ouverte) car du fait du ROS moindre, les pertes seront aussi moindres.

Section d'adaptation

Le second point caractéristique de l'antenne G5RV est la ligne d'adaptation. J'ai modélisé celle-ci comme un morceau de ruban 300 Ω de 8,5 m de long, avec le facteur de vélocité voulu (vf). Il est intéressant de voir ce qui se passe dans cette section, aussi bien en ce qui concerne la 'transformation d'impédances' que pour ce qui concerne les pertes provoquées. On peut voir cela dans le **tableau 2**.

Regardons tout d'abord la quatrième colonne qui donne les pertes dans le câble. On voit que malgré la haute qualité du câble, il se produit des pertes et de plus en plus lorsque le SWR augmente.

La plus haute valeur (1,12) a lieu sur la bande 80 m car c'est aussi là que le SWR est le plus élevé (32,6: 1). Cette atténuation dans le câble peut sembler réduite, cela représente tout de même que pour 100 W fournis, 23 W sont perdus.

een aantal van deze monobandantennes direct parallel worden geschakeld op dezelfde balun om zo op meer banden te kunnen zenden en ontvangen (een 'spinnenweb-' of 'kattensnor'-antenne).

Vergelijken we de antennewinst van de standaarddipool met de G5RV-antenne, dan zien we dat deze winst op alle banden vrijwel gelijk is en op de banden boven de 20 m zelfs nog iets hoger wordt omdat er meerdere golflengtes op de antenne gaan passen, die meedoen met het stralingsdiagram.

Als derde opvallend punt zien we dat de elevatiehoek voor de maximale antennewinst van beide antennes vrijwel gelijk is. Het moge duidelijk zijn dat dit geen toeval is en alleen te maken heeft met de hoogte boven de grond en het grondtype.

Dit is voor beide antennes gelijk en dus vinden we gelijke opstralingshoeken bij de maximale antennewinst.

Let op: hoewel de opstralingshoeken voor de maximale antennewinst gelijk zijn, hoeft dit niet te gelden voor de maximale stralingsrichting. Bij de hogere banden passen meerdere golflengtes op de antenne waardoor het totale stralingspatroon meer lobben zal vertonen (en meer diepe 'nullen' daartussenin) dan de 'standaarddipool' en waardoor de hoofdstralingsrichting niet meer loodrecht op de antenne staat.

Het volgende wat we uit de tabel kunnen leren, is dat de SGV (t.o.v. 50 Ω) van de G5RV-antenne beslist ongunstiger is dan bij de dipoolantenne, behalve op 14,175 MHz, de band waarvoor de antenne in eerste instantie was bedoeld.

Als we naar de naastliggende kolom kijken dan zien we dat de aanpassing op 300 Ω vriendelijker uitpakt. Als een (dipool) antenne niet in resonantie wordt bedreven, is het in het algemeen beter om een hoogohmige voedingslijn (open lijn) te kiezen omdat door de lagere SGV ook de verliezen hierin veel lager zullen zijn.

De aanpassingssectie

Het tweede karakteristieke element van de G5RV-antenne is de aanpassingssectie. Ik heb deze gemodelleerd als een stuk lintlijn van 300 Ω, 8,5 m lang, met de juiste snelheidsfactor (vf). Het is interessant om te zien wat er gebeurt in deze sectie, zowel wat de 'impedantietransformatie' betreft als de hierin optredende verliezen. Deze zaken vinden we terug in **tabel 2**.

Kijken we eerst naar de vierde kolom met de kabelverliezen. We zien hier dat er, ondanks de hoge kwaliteit van de kabel, toch enige verliezen ontstaan en wel des te meer naarmate de SGV hoger is.

De hoogste waarde (1,12) vinden we op de 80m-band omdat hier ook de hoogste staandegolfverhouding optreedt (32,6:1). Deze kabeldemping moge gering lijken, het betekent toch dat bij een aanvoer van 100 W, 23 W verloren gaat.

Tableau 2. La section d'adaptation / Tabel 2. De aanpassingssectie

antenne G5RV		----- après/na 8,5 m 300 Ω -----				
f MHz (1)	SWR re 300 (2)	SWR re 50 (3)	Loss dB (4)	SWR re 300 (5)	SWR re 70 (6)	SWR re 50 (7)
3,65	32,6	108,6	1,12	25,2	5,9	4,2
7,05	9,5	53,6	0,23	9,1	4,7	5,4
10,15	14,1	83,5	0,71	12,0	28,0	38,2
14,175	3,3	2,7	0,19	3,2	2,0	2,6
18,11	10,1	60,4	0,5	9,1	19,7	26,9
21,225	12,9	70,0	0,86	10,6	7,3	8,8
24,95	3,4	11,4	0,24	3,2	1,4	1,9
28,75	8,9	53,5	0,63	7,8	32,3	45,2

Le point suivant qui apparaît est que le ROS par rapport à 300 Ω à l'extrémité de la section varie peu par rapport au début de la section (5° colonne par rapport à la 2°). Dans une ligne de transmission, le ROS ne change pas non plus à l'entrée par rapport à l'extrémité. La petite différence constatée provient des pertes de la ligne: au plus ces pertes sont fortes, au plus il y aura de différence de ROS entre l'entrée et la sortie de la ligne. Ce qui par contre change bien, c'est le ROS par rapport à 50 Ω. Comparez la dernière et la troisième colonne. On voit ici que la transformation d'impédance de la section d'adaptation a bien fait son travail et que le ROS est bien diminué. Sur 3,65 MHz, on passe de 108,6:1 à 4,2:1! Cette amélioration vaut pour toutes les bandes, bien que l'effet soit moins spectaculaire sur les bandes 30, 17 et 10 m.

En comparant entre elles les deux dernières colonnes, on voit qu'il n'y a pas une grande différence en utilisant une ligne de transmission de 50 Ω ou de 75 Ω après la ligne d'adaptation: les transformations les plus et les moins favorables diffèrent peu.

Section balanced-to-unbalanced

Comme mentionné ci avant, il y a lieu d'utiliser un transformateur 'symétrique vers asymétrique' à l'endroit de la transition entre la section de ligne symétrique vers la ligne coaxiale. A l'endroit de la transition, le ROS par rapport à 50 Ω n'est de 1:1. Ce que cela implique en ce point se trouve décrit dans le **tableau 3**.

Dans le tableau 3 on retrouve les ROS par rapport à 50 Ω du tableau précédant, mais à présent avec les impédances réelles qui les ont provoquées. La dernière colonne montre clairement que l'impédance totale en ce point est en général (beaucoup) plus haute que 50 Ω. L'impédance propre du balun doit être quatre fois plus élevée, ou même plus encore, que l'impédance du système. En appliquant cela à l'information contenue dans la dernière colonne du tableau 3, nous voyons que l'impédance du balun doit être d'environ 1200 Ω (ou plus) à 10,15 MHz. On peut donc s'attendre à ce que tout se passe bien aussi sur les autres fréquences, quoique sur 28 MHz nous ayons peut-être un problème du fait de la dégradation des caractéristiques de la ferrite (4C65).

En se basant sur 1200 Ω à 10,15 MHz, le balun doit donc avoir une self-induction de 19 μH. Un tore ferrite 4C65 de 36 mm a un facteur de bobinage de 170 nH; nous avons donc $n = \sqrt{19/0,17} = 11$ spires. Ce n'est pas possible avec ce tore et du coax RG58. En utilisant deux tores superposés de cette dimension, le facteur de bobinage sera doublé (en fait on a deux bobinages en série) et on arrive à $n = \sqrt{19/0,34} = 8$ spires. Avec deux noyaux, la dissipation maximale dans ce composant est de 8 W pour une élévation de température de 30 °C.

Rendement de l'antenne

La façon dont l'antenne va se comporter en pratique dépend d'un certain nombre de facteurs dont les principaux ont déjà été étudiés dans les paragraphes précédents. On peut les reprendre ainsi que les calculs de ceux qui manquent encore, dans le **tableau 4**.

Pour ce qui suit on supposera que le transceiver utilisé développe une puissance de 100 W à toutes les fréquences envisagées.

Tableau 3. Impédances à la section d'adaptation

Tabel 3. Impedanties op de aanpassingssectie

f MHz (1)	SWR re 50 (2)	Rs Ω (3)	Xs Ω (4)	Zt Ω (5)
3,65	4,2	11,9	-4,60	12,76
7,05	5,4	35,4	-77,79	85,47
10,15	38,2	51,4	305,30	309,60
14,175	2,6	96,45	-52,10	109,62
18,11	26,9	62,1	-278,00	284,85
21,225	8,8	31,7	102,70	107,48
24,95	1,9	92,8	16,79	94,31
28,75	45,2	856	1096,00	1390,67

Het volgende wat opvalt is dat de SGV t.o.v. 300 Ω aan het einde van de sectie nauwelijks is veranderd t.o.v. de SGV aan het begin (5de t.o.v. 2de kolom). In een transmissielijnsysteem verandert de SGV ook niet tussen het begin en het einde van de lijn. Dat we toch een klein verschil zien komt door de lijnverliezen: hoe hoger deze verliezen, hoe groter het verschil in SGV tussen het begin en het einde van de lijn. Wat echter wel is veranderd, is de SGV t.o.v. 50 Ω.

Vergelijk de laatste met de derde kolom. We zien hier dat de impedantie-transformatie van de aanpassingssectie haar werk goed heeft gedaan en de SGV nu drastisch is gedaald. Bij 3,65 MHz van 108,6:1 naar 4,2:1! Deze verbetering geldt voor alle banden, al is het effect minder drastisch op de 30, 17 en 10m-bandens.

Vergelijken we de laatste twee kolommen, dan zien we dat het inderdaad weinig uit maakt of we vanaf de aanpassingssectie verder gaan met een 50 Ω of een 70 Ω transmissielijn: de gunstige (en minder gunstige) transformaties verschillen nauwelijks.

De balunsectie

Zoals eerder vermeld dienen we op de overgang van de symmetrische sectie naar de coaxiale voedingslijn een balans-naar-onbalans transformator toe te passen. Op het overgangspunt is de SGV t.o.v. 50 Ω niet 1:1. Wat dit betekent voor de impedanties op dit punt vinden we terug in **tabel 3**.

In tabel 3 zien we de SGV t.o.v. 50 Ω terug uit de vorige tabel, maar nu met de werkelijke impedanties die deze staandegolfverhouding veroorzaakten. Uit de laatste kolom blijkt duidelijk dat de totale impedantie op dit punt over het algemeen (veel) hoger is dan 50 Ω. De eigen impedantie van de balun moet viermaal of meer hoger zijn dan de systeemimpedantie. Passen we dit toe op de informatie uit de laatste kolom van tabel 3, dan zien we dat de balunimpedantie ca. 1200 Ω (of meer) moet zijn op 10,15 MHz. We mogen dan verwachten dat het op de andere frequenties ook goed zal gaan, hoewel we bij 28 MHz misschien alsnog een probleem krijgen omdat de (4C65) ferrieteigenschappen dan gaan afnemen.

Uitgaande van 1200 Ω op 10,15 MHz moet de balun dus een zelfinductie hebben van ca 19 μH. Een 36 mm 4C65 ferriet ringkern heeft een windingsfactor van 170 nH, dus hebben we: $n = \sqrt{19/0,17} = 11$ windingen nodig. Dit lukt niet meer met deze kern en RG58 coax. Gebruiken we echter twee gestapelde ringkernen van die afmeting, dan mogen we de windingsfactor verdubbelen (eigenlijk twee spoelen in serie) en komen we uit op $n = \sqrt{19/0,34} = 8$ windingen. Met twee kernen gaat het maximaal toegestane vermogen in deze component naar 8 W, voor een temperatuurverhoging van 30 °C.

Het antennerendement

Hoe de antenne zich in de praktijk zal gedragen, hangt af van een aantal factoren, waarvan we de meeste al hebben onderzocht in de voorgaande paragrafen. We kunnen deze en de nog ontbrekende nu uitrekenen en het resultaat vinden we dan in **tabel 4**. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de transceiver een vermogen van 100 W ontwikkelt op elk van de genoemde frequenties.

Tableau 4. Rendement global par rapport à un 'dipôle standard' / Tabel 4: Het totale antennerendement t.o.v. een 'standaarddipool'.

<i>f</i>	<i>dipôle gain max.</i>	<i>G5RV gain max.</i>	<i>pertes dans section d'adaptation</i> <i>verlies in aanpas sectie</i>	<i>pertes dans coupleur</i> <i>verlies in tuner</i>	<i>pertes dans balun</i> <i>verlies in balun</i>	<i>puissance dans l'antenne</i> <i>vermogen in antenne</i>	<i>réception Re dipôle accordé</i> <i>ontvangst Re tuned dipool</i>
<i>f</i>	<i>dipool max. gain</i>	<i>G5RV max. gain</i>					
<i>MHz</i>	<i>dB</i>	<i>dB</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>point S</i>
<i>(1)</i>	<i>(2)</i>	<i>(3)</i>	<i>(4)</i>	<i>(5)</i>	<i>(6)</i>	<i>(7)</i>	<i>(8)</i>
3,65	7,15	6,87	22,5	1,14	0,0	76,4	-0,2
7,05	6,46	7,24	5,1	1,37	0,3	93,3	0,1
10,15	6,32	8,66	13,9	4,28	3,6	78,2	0,2
14,175	7,3	6,56	4,2	0,69	0,4	94,7	-0,1
18,11	7,95	9,76	10,2	2,50	4,0	83,3	0,2
21,225	7,56	10,93	17,3	1,83	2,0	78,9	0,4
24,95	7,14	10,65	5,3	0,69	0,8	93,2	0,6
28,75	7,43	10,52	10,2	3,84	20,8	65,2	0,2

Dans le tableau 4 nous regarderons d'abord la puissance dans le balun: la 6^e colonne. Bien que ce balun puisse dissiper 8 W, nous voyons que la puissance sur la bande 10 m est trop élevée. C'est une conséquence directe du ROS élevé sur cette bande, ce qui a pour effet que l'impédance est trop haute à l'extrémité de la section d'adaptation. Il s'ensuit que la tension sur le balun est trop élevée avec une puissance de 100 W, et donc aussi la puissance qu'il dissipe. Comme on calcule toujours avec une puissance continue, on pourrait tout de même travailler en BLU sur 10 m, mais tout même pas sur des périodes trop longues. Sur toutes les autres bandes, le balun en question est un composant bien adapté.

Dans le tableau, on trouve les pertes dans la section d'adaptation (ligne ruban de 300 Ω de 8,5 m), les pertes dans le coupleur (filtre passe-bas type L, composé d'une bobine et d'un condensateur de bonne qualité) et les pertes dans le balun. Enfin, on trouve dans la septième colonne, la puissance finalement dissipée dans l'antenne.

Comment l'antenne se comportera, dépend de la puissance et du gain de l'antenne. A cet effet on trouve dans la dernière colonne une comparaison entre l'antenne G5RV et le 'dipôle standard' mentionné auparavant et dont le gain est repris dans la deuxième colonne. Dans cette comparaison, il est aussi tenu compte des pertes dans le système (coupleur, balun et section d'adaptation). Il est permis de faire cette comparaison car nous avons vu précédemment que les angles de rayonnement pour le gain maximum des deux antennes étaient les mêmes pour chaque bande, bien que les directions des rayonnements maxima puissent être différentes.

La dernière colonne montre que l'antenne G5RV produira un signal équivalent sur la plupart bandes HF par rapport à un 'dipôle standard', et même un peu supérieur sur les bandes hautes. Il en découle que l'antenne G5RV est une bonne antenne grâce à laquelle on peut travailler un grand nombre de bandes HF en mettant en oeuvre des moyens simples, surtout en accordant suffisamment d'attention au balun.

Point d'attention: comme la longueur de la ligne d'alimentation entre le balun et le coupleur n'est pas connue, il n'en a pas été tenu compte dans le tableau 4. Lorsque le ROS devient élevé et que la longueur de la ligne dépasse quelques mètres, et faut tout de même tenir compte de certaines pertes dans ce câble d'alimentation, en particulier sur les fréquences élevées.

Dans l'étude, j'ai aussi procédé à des calculs sur base de quelques variantes de cette antenne, entre autres celles de ZR1DQ, mais les différences sont marginales.

Bob J. van Donselaar, ON9CVD, 16 april 2006
e-mail: ON9CVD@amsat.org
URL: <http://sharon.esrac.ele.tue.nl/~on9cvd/>

Bibliographie

'G5RV Multiband antenne up-to-date', Radio Communication, July 1984.

In tabel 4 kijken we allereerst naar het vermogen in de balun: de zesde kolom. Hoewel deze balun tot 8 W kan dissiperen, zien we dat het vermogen op de 10 m band te groot wordt. Dit is het directe gevolg van de hoge SGV op deze band, waardoor de impedantie te hoog wordt op het einde van de aanpassingssectie. Bijgevolg wordt ook de spanning op de balun te hoog bij een systeemvermogen van 100 W, en daardoor ook het hierin gedissipeerde vermogen. Omdat steeds met een continu vermogen wordt gerekend zou op 10m nog wel met enkelzijdigband mogen worden gewerkt, maar toch niet voor lange doorgangen. Op alle andere banden is de balun een geschikte component.

In de tabel vinden we de systeemverliezen in de aanpassingssectie (de 8,5 m lintlijn van 300 Ω), het verlies in de tuner (waarbij een laagdoorlatend L-type is gekozen met een goede kwaliteit voor spoel en condensator) en het verliesvermogen in de balun. Ten slotte vinden we in de zevende kolom het vermogen dat uiteindelijk in de antenne zal worden ontwikkeld.

Hoe de antenne verder zal presteren hangt af van het vermogen en ook van de antennewinst. Daarom is in de laatste kolom een vergelijking opgenomen van de G5RV-antenne met de 'standaarddipool' die we al eerder vermeldden en waarvan de antennewinst is weergegeven in de tweede kolom. In deze vergelijking werd ook rekening gehouden met de systeemverliezen (tuner, balun en aanpassingssectie). We mogen deze vergelijking maken omdat we eerder ook al zagen dat de opstraalhoeken voor de maximale antennewinst van beide antennes op elke band precies gelijk zijn, al kunnen de richtingen van dit stralingsmaximum verschillen.

In de laatste kolom zien we dat de G5RV-antenne op de meeste HF-banden een vergelijkbaar signaal zal produceren als de 'standaarddipool', en in de hogere banden zelfs nog iets beter. Hiermee is de G5RV een goede antenne waarmee met eenvoudige middelen een groot aantal HF-banden bereikt kan worden, zeker indien voldoende aandacht aan de balun wordt besteed.

Let wel: omdat de lengte van de voedingskabel tussen de balun en de tuner niet bekend is, is deze niet opgenomen in tabel 4. Als de SGV hoog wordt en de kabellengte meer dan enkele meter, dient er toch rekening te worden gehouden met een bepaald vermogenverlies in deze voedingskabel, zeker op de hogere frequenties.

In het proces heb ik ook enkele varianten van deze antenne doorgerekend, waaronder die van ZR1DQ, maar de verschillen bleken marginaal.

Bob J. van Donselaar, ON9CVD
26 april 2006
E-mail: ON9CVD@amsat.org
URL: <http://sharon.esrac.ele.tue.nl/~on9cvd/>

Bibliografie

'G5RV Multiband antenne up-to-date', Radio Communication, July 1984.