



Technical Info



Miniatuurantennes voor 40, 80 en 160 m Antennes miniatures pour 40, 80 et 160 m (deel 2/2 – partie 2/2)

door/par ON7EA (on7ea@skynet.be)

traduction : Eric Goethals

De bedoeling van wat volgt is zeker niet een alternatief te bieden voor full size antennes, maar een compromisplossing voor de klein-behuisde en klein-betuinde amateur.

L'objectif de cet article n'est certainement pas de proposer une alternative aux antennes de tailles normales, mais de donner une solution de compromis aux amateurs dont le QRA et/ou le jardin ne permet pas l'installation d'antennes de grandes dimensions.

De magnetic loop

Over de magnetic loop zijn al talloze publicaties verschenen, we hoeven dus niet naar de basics terug te keren.

De magnetic loop in zijn meest populaire versie is bij voorkeur rond, wordt aangestuurd met een koppellus die ongeveer 1/5 van de diameter van de loop is, en heeft een diameter van ongeveer 90 cm en een afstemcondensator bovenaan. Hij is dan nog net afstembaar tot in de 10 m band en door de afstemcapaciteit drastisch te verhogen zakt de afstemming tot 80 en zelfs 160 m, weliswaar met zeer laag rendement en zeer kleine bandbreedte. Op de laagste banden is de bandbreedte zelfs te gering om een SSB verbinding ongehavend door te laten zoals ik een tiental jaar geleden met mijn eerste magnetic loop heb ervaren. Dit euvel kunnen we voorkomen door de afmetingen te maximaliseren. Voor 160 m zou dat bijvoorbeeld 12 x 12 m of meer worden, en dat zien we ook niet echt zitten met onze achtertuin.

We hebben enkele simulaties gemaakt met MMANA en merkwaardige dingen ontdekt. Zo bijvoorbeeld dat de winst ongeveer 1 dB verhoogt wanneer bij lage hoogte (0,5 m) de afstemcondensator Ct onderaan wordt geplaatst, en ergens is dat heel begrijpelijk: de stroom is het hoogst in het midden van de loop, en dus hebben we er voordeel bij als dat deel het verste boven de grond staat.

Een trucje om de afmetingen van de loop en tegelijk de waarde van de afstemcondensator lager te houden is een tweede identieke loop naast de bestaande loop te plaatsen. Op de hoogste banden worden de twee parallel geschakeld (minder weerstand) en op de laagste banden in serie (meer zelfinductie, dus minder capaciteit nodig, en hoogspanningscondensatoren zijn duur). Merk op dat de totale zelfinductie van de serieschakeling hoger is dan de som van de individuele zelfinducties van beide loops. De waarde van Ct wordt dus meer dan gehalveerd, stroom en verliezen verminderen en de winst is een paar dB hoger dan de parallelschakeling op dezelfde frequentie, dit volgens MMANA.

Een Magnetic Loop voor 40, 80 en 160 meter

Laten we een dubbele vierkante loop met buizen van 22 mm diameter en 2,5 m lang op een afstand van 16 cm (ik heb op zolder keramische afstandstukken van 16 cm gevonden, vandaar) bekijken. Op 80 en 160 m staan de loops in serie en maakt het niet uit of Ct bovenaan of onderaan gemonteerd is. Op 40 meter staan ze parallel en is het verkieslijk Ct onderaan te plaatsen. Merk op dat de waarde van Ct op 80 m kleiner is dan op 40 m. Zorg ervoor dat bij de parallelschakeling beide loops precies even lang zijn, zoniet vloeit nagenoeg al de stroom door de kortere loop en gaat het voordeel van de parallelschakeling verloren (zie **figuur 5**). De omschakeling van parallel naar serie gebeurt met messchakelaars die hoge stromen en hoge spanningen aankunnen.

La boucle magnétique

Vu les nombreuses publications déjà parues sur la boucle magnétique, il n'est pas nécessaire de rappeler les notions de base.

Dans sa version la plus populaire, la boucle magnétique est de préférence circulaire, alimentée par une spire de couplage dont le diamètre vaut approximativement 1/5 de celui de la boucle, dont le diamètre vaut environ 90 cm, avec un condensateur d'accord au-dessus. Elle est encore juste réglable jusqu'à la bande des 10 m, et en augmentant fortement la capacité d'accord, il est possible d'atteindre 80 et même 160 m, avec il est vrai, un rendement très bas et une bande passante très étroite. Sur les bandes les plus basses, la bande passante est même trop étroite pour un signal SSB, ainsi que j'ai pu l'expérimenter il y a une dizaine d'années, avec ma première boucle magnétique. On peut remédier à ce défaut en maximalisant les dimensions. Pour 160 m, cela donnerait 12*12 m ou plus, un peu encombrant pour mettre dans le jardin.

Nous avons effectué quelques simulations avec MMANA et découvert des choses remarquables. Par exemple que le gain augmente d'environ 1 dB lorsque, dans le cas de faible hauteur (0,5 m), le condensateur d'accord Ct est placé en bas, et quelque part, cela est très compréhensible: le courant est le plus élevé au milieu de la boucle, et nous avons donc avantage à ce que cette partie se trouve le plus loin possible au dessus du sol.

Un moyen pour conserver des valeurs plus basses aux dimensions de la boucle et par la même occasion au condensateur d'accord, consiste à placer une deuxième boucle identique à côté de la première. Sur les bandes hautes, les deux boucles sont raccordées en parallèle (résistance moindre) et sur les bandes basses, elles sont connectées en série (plus de self inductance, donc moins de capacité nécessaire, et les condensateurs haute tension sont chers). Remarquons que l'inductance totale du raccordement en série est plus élevée que la somme des deux inductances individuelles. La valeur de Ct est donc plus que divisée par deux, le courant et les pertes diminuent et le gain est de quelques dB plus élevé que dans le cas de la connexion en parallèle pour la même fréquence, ceci selon MMANA.

Une boucle magnétique pour 40, 80 et 160 mètres

Considérons une double boucle carrée réalisée en tubes de 22 mm de diamètre et 2,5 m de longueur avec un écart de 16 cm (j'ai trouvé au grenier des séparateurs en céramiques de 16 cm, d'où les 16 cm). Sur 80 et 160 m, les boucles sont en série et le fait que Ct soit monté au-dessus ou en dessous n'a pas d'importance. Sur 40 m, elles sont en parallèle et il est préférable de placer Ct en bas. Remarquons que la valeur de Ct sur 80 m est plus petite que sur 40 m. Dans le cas de la connexion parallèle, il est important que les deux boucles aient exactement la même longueur, sans quoi, tout le courant passe pratiquement à travers la boucle la plus courte

Zie de grafiek in **figuur 6**. Deze antenne is verticaal gepolariseerd, maar op deze lage hoogte is er onder een hoek van 90 graden ook een horizontaal gepolariseerd veld dat op een paar dB na even sterk is als het verticaal gepolariseerde veld. Wanneer je beide velden sommeert lijkt het wel een rondstraler, en vraag je je af in hoeverre het nuttig is deze antenne draaibaar op te stellen (bij een dipool op lage hoogte doet zich een gelijkaardig fenomeen voor, maar dan minder uitgesproken). Merk

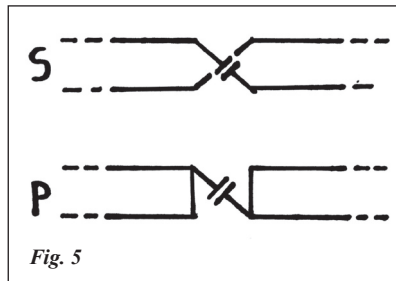


Fig. 5

et l'avantage de la connexion parallèle est perdu (voir **figure 5**). Le passage de parallèle à série s'opère au moyen de contacteurs à lames qui supportent des courants et tensions élevés.

On se référera au graphique de la **figure 6**. Cette antenne est polarisée verticalement, mais à cette faible hauteur, il y a aussi, pour des angles inférieurs à 90°, un champ électrique polarisé horizontalement qui est, à quelques dB près, aussi intense que le champ vertical. Lorsque l'on additionne les deux champs, cela semble être un radiateur omnidirectionnel, et on se demande dans quelle mesure il est nécessaire de rendre cette antenne rotative (Dans le cas d'un dipôle à faible hauteur, il se produit un phénomène semblable, mais alors moins prononcé). Remarquons aussi que, bien que juste comme dans le cas d'un dipôle à faible altitude, le rayonnement le plus intense se fait vers le haut, le rayonnement aux basses élévations ne retombe pas aussi fortement qu'avec un dipôle. Par conséquent, la boucle magnétique ne se comporte pas mal pour le DX.

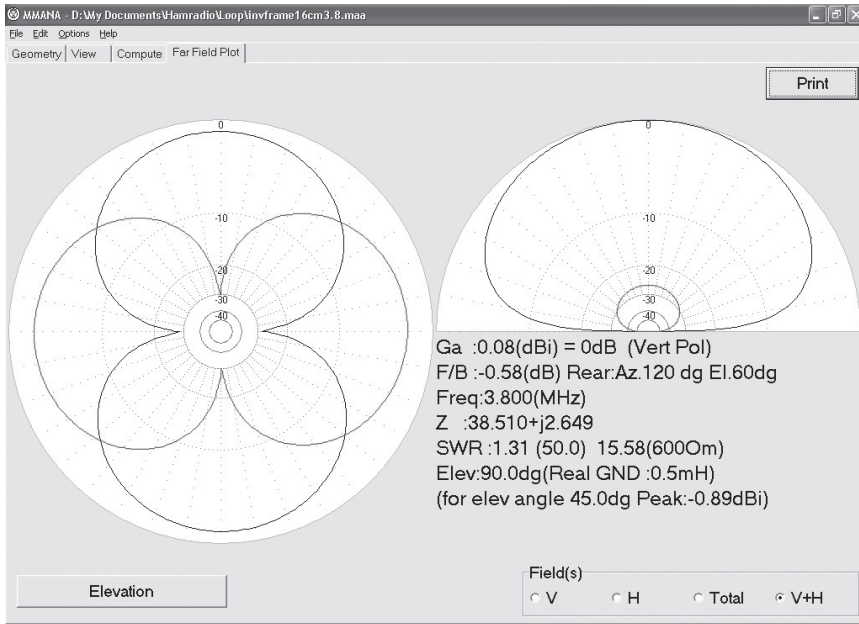


Fig. 6

ook op dat, hoewel net als bij een dipool op lage hoogte de sterkste straling recht naar omhoog gaat, de straling bij lage elevatie niet zo sterk afneemt als bij een dipool. De magnetic loop doet het bijgevolg niet slecht voor DX.

De gemeten SWR=1,5 bandbreedte is circa 7 kHz op 160 m, ongeveer 23 kHz op 80 m en ongeveer 70 kHz op 40 m.

De vuistregel dat de koppellus 1/5 is van de loop, ging hier niet op. Een koppellus die volgens cut-and-try met MMANA werd samengesteld gaf evenmin een goed resultaat. We hebben met vallen en opstaan een lus gemaakt die ongeveer 5,40 m lang is met een draaicapacitor type buizenradio (2 x 400 tot 500 pF) in serie. Beide secties zijn parallel.

De afregeling van Cm is niet kritisch. Eens een goede setting voor elk bandmidden vastligt volstaat het een merktekentje aan te brengen voor later gebruik. Aanpassingen binnen dezelfde band zijn niet nodig. Ga door met het aanpassen van de lengte van de koppellus tot op alle banden een SWR van 1,1 of beter wordt bereikt. Let erop de koppellus horizontaal te centreren tegenover de loop, zoniet is er via capacatieve koppeling toch nog 'RF in the shack', zoals ik heb moeten ervaren.

Als Ct werd een vacuümcondensator gebruikt, een Reactor (5 tot 100 pF, 25 kV). Voor de 160 meterband wordt hiermee parallel een micacondensator van 2 x 100 pF geplaatst. Een gewone luchtcondensator met 2 mm spacing zou volstaan hebben voor 100 W, maar ergens heb ik de verborgen droom ooit eens een sterkere PA te bouwen. Deze vacuümcondensator heeft 20 omwentelingen van de as nodig om van minimum naar maximum te gaan. Ik heb hem dus zonder reductie rechtstreeks aangedreven door

La bande passante mesurée (à SWR=1.5) est d'environ 7 kHz sur 160 m, environ 23 kHz sur 80 m et environ 70 kHz sur 40 m. Lorsque l'antenne est accordée dans le milieu de la bande de 40 ou 80 mètre, je peux réaliser l'accord sur toute la bande avec le tuner automatique de mon transceiver. Pour 160 mètres, je n'ai pas pu réaliser ce test car mon transceiver ne peut travailler que dans une petite partie de cette bande.

La règle empirique selon laquelle la spire de couplage doit être égale au 1/5 de la boucle, n'est pas valable ici. Une boucle de couplage qui avait été conçue par essai et erreur avec MMANA, ne donna pas non plus de bons résultats. Avec des hauts et des bas, nous avons réalisé une spire qui fait environ 5,40 m de longueur avec un condensateur type radio à lampe (2 x 400 à 500 pF) en série. Les deux sections sont en parallèle.

Le réglage de Cm n'est pas critique. Une fois que l'on a obtenu une bonne mise au point pour chaque milieu de bande, il suffit d'un petit trait pour refaire le réglage ultérieurement. Une adaptation à l'intérieur d'une même bande n'est pas nécessaire. Continuer l'adaptation de la longueur de la spire de couplage pour les autres bandes, jusqu'à obtenir un SWR de 1,1 ou mieux. Il est important de bien centrer la spire de couplage horizontalement par rapport à la boucle, sans quoi il y aura encore, par couplage capacitif, de la HF dans le shack, ainsi que j'ai eu à l'expérimenter.

Pour Ct, un condensateur sous vide a été employé, un Reactor (5 à 100 pF, 25 kV). Pour la bande des 160 m, un condensateur au mica de 2 x 100 pF est placé en parallèle. Un simple condensateur à air avec un espacement de 2 mm aurait suffit pour 100 W, mais j'ai quelque part le rêve caché de construire un jour un PA plus costaud. Ce condensateur sous vide a besoin de 20 tours de l'axe pour passer du minimum au maximum. Il est donc entraîné directement par un moteur pas à pas avec un pas de 1,8 degré. La rotation du moteur a été limitée à 18 tours. Avec un condensateur à air et le même moteur pas à pas, un réducteur par 25 environ est nécessaire.

Si vous voulez employer cette antenne comme antenne d'intérieur, la hauteur posera peut être un problème, vous pouvez la diminuer à condition que la longueur totale de boucle reste la même. Avec une hauteur de 1,5 mètre, la largeur fait donc 3,5 mètres et le gain diminuera selon la bande, de 0 à plus de 1 dB. Initialement, j'avais l'intention de construire cette antenne à l'extérieur, à la fin de l'été, mais suite à des circonstances indépendantes de ma volonté, j'ai dû tout reporter jusqu'au début de l'hiver et j'ai réalisé la construction à l'intérieur. Ce fut donc par la force des choses, une réalisation de 3,5 x 1,5 m (voir **figure 7**: les boîtes qui abritent Ct et Cm contenaient dans une vie antérieure, respectivement, de la salade de thon et de la salade de viande). Sur 40 m, par comparaison avec mon V inversé à 13 m de hauteur, et orienté autrement, la réception des signaux est plus faible de 0 à 2 points S, en moyenne, moins d'un

een stappenmotor met stappen van 1,8 graden. Maatregelen werden getroffen om het bereik van de motor tot 18 toeren te beperken. Bij gebruik van een luchtcondensator en dezelfde stappenmotor is een reductie van ongeveer 25 x nodig.

Wanneer je deze antenne als binnenantenne wil gebruiken zal de hoogte misschien een probleem vormen en dan kan je die verminderen zolang de totale looplengte dezelfde blijft. Bij een hoogte van 1,5 meter wordt ze dus 3,5 m breed en zal de winst, afhankelijk van de band, met 0 tot meer dan 1 dB verminderen. Aanvankelijk wou ik deze antenne in de nazomer buitenshuis opbouwen, maar door omstandigheden buiten mijn wil om heb ik alles moeten verschuiven naar het begin van de winter en heb ik de constructie binnenshuis uitgevoerd. Het werd dus noodgedwongen een uitvoering 3,5 x 1,5 m (zie **figuur 7**: de dozen die Ct en Cm beschutten bevatten in een vroeger leven respectievelijk tonijnsalade en vleessalade). Bij vergelijking op 40 m met mijn inverted V op 13 m hoogte, die wel anders georiënteerd is, is het ontvangen signaal tussen 0 en 2 S-punten zwakker, gemiddeld minder dan 1 S-punt. Ons steunend op het reciprociteitsbeginsel, wordt de loop bij zenden dus gemiddeld minder dan 1 S-punt zwakker ontvangen. De loop geeft meestal een duidelijk betere signaal/ruis verhouding bij ontvangst.

Ik heb MMANA vergeleken met het programma 'Loopcalc' dat je kan downloaden van www.qrz.com/download/antennas/index.html. Loopcalc en MMANA heb ik een identieke loop laten berekenen en MMANA gaf een resonantiefrequentie aan die meer dan 5 percent hoger lag dan bij Loopcalc, en de bandbreedte volgens Loopcalc is veel groter dan bij MMANA. Dit schijnt mijn vroegere ervaringen te bevestigen – zie de DDDR die ik 10 percent verkleind heb en die een veel grotere bandbreedte had dan berekend. Loopcalc houdt geen rekening met afstand boven grond en grondsoort. Loopcalc werkt alleen voor een enkelvoudige loop, zodat ik het voor mijn project niet kan gebruiken.

Op www.btinternet.com/~g4fgq.regp/page3.html#S301 vind je de programma's RJLOOP1 en RJLOOP2 van G4FGQ. Wanneer we RJLOOP1 toepassen op een vierkante loop in koperbuis van 22 mm diameter bij 7 MHz, dan vertelt dit programma ons dat de 3 dB bandbreedte (niet te verwarren met SWR-bandbreedte, maar wel gelijklopend) op 3 m hoogte 9,7 kHz is en 77,8 kHz op 0,1 m hoogte, en dat het rendement (de winst) bij 3 m 9 dB beter is dan bij 0,1 m hoogte. Volgens RJLOOP wordt bij lage hoogte het aandeel van de grondverliezen veel belangrijker dan de Ohmse verliezen, en zou het dus weinig uitmaken of de antenne in koperdraad dan wel in koperbuis wordt uitgevoerd.

MMANA geeft enigszins gelijklopende resultaten wat bandbreedte betreft, maar gaat helemaal niet akkoord met de vermindering van de winst, integendeel. In ieder geval ligt de door RJLOOP1 berekende bandbreedte in de lijn van mijn metingen. Voor het meten van de winst en de 3 dB-punten ben ik niet uitgerust, dus daar geen vergelijking. G4FGQ doet zijn berekening boven 'ordinary garden soil', voor onze vergelijkingen ben ik ervan uitgegaan dat hij daarmee hetzelfde bedoelt als onze 'gemiddelde grond'.

Vergelijkende tabel

Zie de tabel in **figuur 8**. Ten einde enigszins over een vergelijkingsbasis te beschikken zullen we de prestaties van de DDDR vergelijken met een full size ground plane met 4 radiaalen (wat eigenlijk veel te weinig is, maar wel realistisch) op 0,5 m boven diezelfde gemiddelde grond, en de dubbele magnetic loop met een full size dipool op 15 m hoogte, eveneens boven gemiddelde grond. De berekeningen werden uitgevoerd met MMANA. Merk op dat een

	F (MHz)	Gain (dBi)	Elevation (°)
Dipole, 15 m high:	1,825	7,95	90
	3,55	6,12	90
	7,05	4,89	37,6
Ground Plane, 0.5 m high, 4 radials:	1,825	5,98	27,5
	3,55	5,24	28,5
	7,05	4,78	28,6
Double Mag Loop, 2.5 x 2.5, 0.5 m high	1,825	-6,34	90
	3,55	-0,35	90
	7,05	1,94	90
DDRR, 1.8x1.8x1.8 no radials, 0.5 m high	7,05	-2,18	32,5
	21,2	-0,96	35

point S. En s'appuyant sur le principe de réciprocité, on peut dire qu'à l'émission, la boucle sera reçue en moyenne moins d'un point S plus bas. A la réception, la boucle donne le plus souvent un rapport signal sur bruit nettement meilleur.

J'ai comparé MMANA avec le programme "Loopcalc" qui peut être téléchargé à partir de www.qrz.com/download/antennas/index.html. J'ai fait calculer une même boucle par Loopcalc et MMANA, avec MMANA, la fréquence de résonance était plus de 5 % plus haute qu'avec Loopcalc, et la bande passante selon Loopcalc est beaucoup plus grande qu'avec MMANA. Ceci semble confirmer mes expériences précédentes – voir la DDDR que j'ai raccourcie de 10 % et qui avait une bande passante beaucoup plus grande que celle calculée. Loopcalc ne tient pas compte de la distance au-dessus du sol ni du type de sol. Loopcalc fonctionne uniquement avec une simple boucle, et de ce fait, ne convient pas pour mon projet.

Sur www.btinternet.com/~g4fgq.regp/page3.html#S301, on trouve les programmes RJLOOP1 en RJLOOP2 de G4FGQ. Lorsque l'on applique RJLOOP1 à une boucle carrée en tubes de cuivre de 22 mm de diamètre sur 7 MHz, ce programme nous apprend alors que la bande passante à 3 dB (à ne pas confondre avec la bande passante SWR, mais qui lui est semblable) est de 9,7 kHz à 3 m de hauteur, et de 77,8 kHz à 0,1 m de hauteur, et que le rendement (le gain) à 3 m de hauteur est de 9 dB supérieur au gain correspondant à une hauteur de 0,1 m. Selon RJLOOP, à faible hauteur, la proportion des pertes dans le sol devient beaucoup plus importante que les pertes ohmiques, ce qui a comme conséquence qu'il importe peu que l'antenne soit réalisée en fil de cuivre ou en tube de cuivre.

MMANA donne des résultats quelque peu semblables en ce qui concerne la bande passante, mais pas du tout en ce qui concerne la réduction du gain, au contraire. Quoi qu'il en soit, la bande passante calculée par RJLOOP1 est cohérente avec mes mesures. Je ne suis pas équipé pour la mesure du gain et des points à 3 dB, donc pas de comparaison de ce côté-là. G4FGQ effectue ses calculs au-dessus d'un "ordinary garden soil", pour nos comparaisons, j'ai supposé que par cela, il voulait dire

la même chose que notre "sol moyen".

Tableau comparatif

Voir le tableau de la **figure 8**. Afin de disposer quelque peu d'une base de comparaison, nous comparerons les prestations de la DDDR avec une ground plane entière à 4 radiales (ce qui en fait est beaucoup trop peu mais bien réaliste), à 0,5 m au-dessus de ce même sol moyen; et la double boucle magnétique avec un dipôle entier à 15 m de hauteur, également au-dessus d'un sol

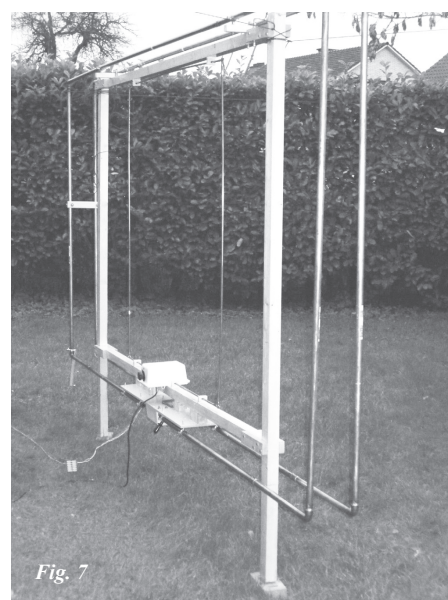


Fig. 7

Fig. 8

frequentie aan het lage bandeinde werd gekozen, hetgeen de DDDR en de double magnetic loop sterk benadeelt.

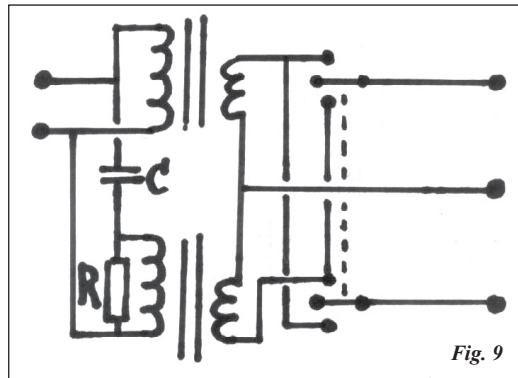
De resultaten lijken de praktische testen te bevestigen.

Sturing van de stappenmotoren

Zie **figuur 9**. Twee identieke transformatorpjes, één ervan verbonden via een condensator teneinde een faseverschuiving teweeg te brengen. Hiermee worden de twee windingen van de stappenmotor aangestuurd.

Voor het bepalen van de optimale C-waarde leggen we de stappenmotor op een houten tafel die als klankbord dienst doet, en vinden zo de C-waarde die het minst trillingen veroorzaakt. De transformator die via C wordt aangestuurd maakt eigenlijk deel uit van een seriëresonantiekring. Spanning en stroom lopen op, de kern satureert en verhit en er kan doorslag optreden. R dient om die resonantie te dempen. Bekijk, zonder dat de stappenmotor is aangesloten, golfvorm en spanning op de secundaire winding en pas R aan tot een mooie sinus met dezelfde spanning als van de andere transformator

verschijnt. Wanneer de omschakeling gebeurt in de primaire kring van de transformatoren is R niet meer nodig, en zal de spanning naar de motor beter uitgebalanceerd zijn. In mijn geval had ik echter niet de daarvoor geschikte omschakelaars.



moyen. Les calculs ont été exécutés avec MMANA. Remarquons qu'une fréquence a été choisie à l'extrémité basse de la bande, ce qui désavantage fortement la DDDR et la double boucle magnétique.

Les résultats semblent confirmer les tests pratiques.

Commande du moteur pas à pas

Voir **figure 9**. Deux petits transformateurs identiques, dont un relié via un condensateur en vue de produire un déphasage. C'est ainsi que

les deux enroulements du moteur pas à pas sont commandés. Pour déterminer la valeur optimale de C, on dépose le moteur sur une table en bois qui sert de caisse de résonance, la meilleure valeur de C étant celle qui donne lieu au minimum de vibrations. Le transformateur qui est commandé par l'intermédiaire de C, fait en fait partie d'un circuit résonant série. La tension et le courant augmentent, le noyau se sature et chauffe, ce qui est dangereux. R sert à amortir cette résonance. Observer, avec le moteur non connecté, la forme d'onde et la tension aux bornes de l'enroulement secondaire et ajuster R jusqu'à obtenir une belle sinusoïde avec la même tension qu'avec l'autre transformateur.

Lorsque la commutation se fait au primaire des transformateurs, R n'est pas nécessaire, et la tension aux bornes du moteur est mieux équilibrée. Dans mon cas, je ne disposais cependant pas des inverseurs nécessaires.

Videometingen met behulp van Vertical Insert Test Signals

(Deel 2)

door/par ON4RT

La version francophone suit dans une édition plus tard

De door de IARU voorgestelde ATV-norm

F5 -TELEVISIE

ZENDER:

Video Bandbreedte 5 MHz (3 dB)

Pré-emphasis CCIR norm 405.1

Frequentie van de kleurdraaggolf 4.433618 MHz.

Modulatie-index video M=0.5

Maximum deviatie met pré-emphasis 3.5 MHz.

Bandbreedte 12 MHz bij -40 dB / 18 MHz bij -70 dB.

Frequentie van de klankdraaggolf 5.5 of 6 MHz.

Modulatie-index klank 0.07

Amplitude van de klankdraaggolf -14 dB

Jammer genoeg zitten in deze norm enkele addertjes onder het gras die verschillend kunnen geïnterpreteerd worden. In AGAF - het Duitse ATV-blad - is al van in het begin gewezen op onlogische feiten.

Bij 10 GHz en hoger is een bandbreedte van 27 MHz te verkiezen zoals bij commerciële satellietzenders gebruikt wordt, dit om de voordelen van FM integraal te kunnen benutten. Het gaat natuurlijk niet op dit in de 23 cm band toe te passen. Bijna de helft van de band zou in beslag genomen zijn! Op de lagere frequenties dient uiteraard een lagere modulatie-index toegepast te worden. Daarom zou de bandbreedte afhankelijk moeten zijn van de gebruikte band.

Bij FM zijn de volgende parameters van belang:

- Amplitude van het modulatiesignaal Vm: normaal 1 V over 75 Ω
- Frequentie van het modulatiesignaal Fm: varieert met de beeldinhoud, 0 tot 5 MHz
- De deviatie ΔF is afhankelijk van Vm: in te stellen aan de modulator
- De modulatie-index M = ΔF/Fm: varieert met de modulatiefrequentie

Een drager gemoduleerd in FM met 1 MHz vormt zijbanden op +1, +2, +3, +4... MHz boven en op -1, -2, -3, -4... MHz onder de draaggolffrequentie. Daardoor is de benodigde bandbreedte heel wat groter dan bij AM. De amplitude van de zijbanden bij FM wordt bepaald door de verhouding van de modulatiefrequentie en de deviatie. Volgens de vaak toegepaste Carson-rule wordt de bandbreedte B benaderend bepaald door:

$$B = 2 \times (\Delta F + F_m)$$

Hierbij is ΔF de deviatie en Fm de hoogste modulatiefrequentie.

Hieruit volgt: B = 2 Fm (M+1). Bijvoorbeeld: een zender gemoduleerd met 5 MHz en M = 0,5 heeft een frequentiezwaaai van 5 x 0,5 = 2,5 MHz en een bandbreedte van 2 x 5 x (0,5+1) = 15 MHz. Nemen we een M van 0,7 dan wordt dit respectievelijk 3,5 MHz deviatie bij 17 MHz bandbreedte.

De Carson-rule is eigenlijk een soort vuistregel. Een nauwkeuriger instelling gebeurt met behulp van de Besselfuncties.

Enkele voorbeelden (gemeten aan stuurzender ON0ZTM)

Spectrumanalyser: horizontaal 10 dB per verdeling, verticaal 2 MHz per verdeling. Modulatiefrequentie: 2 MHz. De zijbanden die gegenereerd worden bij FM vormen zich symmetrisch t.o.v. de drager.