



## Bredeband-ringkerntransformatoren en dergelijke voor de kortegolfbanden

H.L. Rutgers, PAoSU, Eindhoven

In vogelvlucht zullen we een aantal ringkerntransformatoren en balans-onbalans mogelijkheden bekijken. Er is zo links en rechts het een en ander gepubliceerd over dit onderwerp, met de nodige onvolledigheden en misverstanden. Daarom deze inspanning.

Voor alle duidelijkheid, er komen geen "conventionele" trafo's aan bod. (Conventionele trafo's worden gemaakt door simpelweg een primaire en een secundaire wikkeling op een ringkern aan te brengen.) Deze hebben een te beperkt frequentiegebied; ze zijn in ieder geval niet goed te reproduceren. Bredebandtransformatoren gemaakt met behulp van transmissielijntechnieken (waar we het hier over zullen hebben) zijn breedbandig, maar hebben het nadeel, dat niet iedere transformatieverhouding gemaakt kan worden (alleen maar  $Z_1:Z_2 = 1:1, 1:4, 1:9$ , of algemener  $n:m$ ). We zullen zien dat dat voor onze toepassingen nauwelijks van belang is.

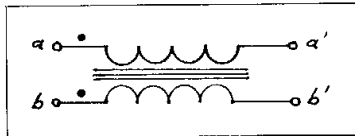


Fig. 1. De "Sortabalun", zoals hij in Solid State Design genoemd wordt, staat het aansluiten toe van een "harde" asymmetrische schakeling op een "harde" symmetrische schakeling. Zelf balanceert de sortabalun niet.

Laten we eens beginnen met de "balun". Dat is een 1:1 transformator van symmetrisch naar asymmetrisch. Fig. 1 geeft een voorbeeld. In Solid State Design, op blz. 55, wordt dat ding een "sortabalun" genoemd. Hij is alleen te gebruiken als balun wanneer de beide kanten waartussen hij komt te zitten "hard" zijn wat hun symmetrisch (balans) of asymmetrisch (onbalans) zijn betreft. Dat wil zeggen, dat bij de symmetrische kant de schakeling in het circuit de uitgang symmetrisch maakt, bijv. met een spoel met een geaarde middenaftakking. We moeten niet denken dat de schakeling van fig. 1 aangesloten op een asymmetrische schakeling aan de andere kant een symmetrie te zien geeft. Hij staat het aansluiten op een harde balans-ingang toe. Dat is iets heel anders. Deze schakeling is uitermate geschikt om ongewenste aardstromen te voorkomen. Wanneer in een apparaat een aantal bakjes, gemonteerd op een metalen grondplaat, met coax (en andere kabels) verbonden worden, bestaat er kans dat er ongewenste aardlusstromen (HF) gaan lopen. Dit is simpel te voorkomen door de kabels een 5 tot 7 tal keren door een ringkern te halen. Er wordt dan gebruik gemaakt van het "sortabalun"-principe.

Een echte balun vinden we in fig. 2. Het

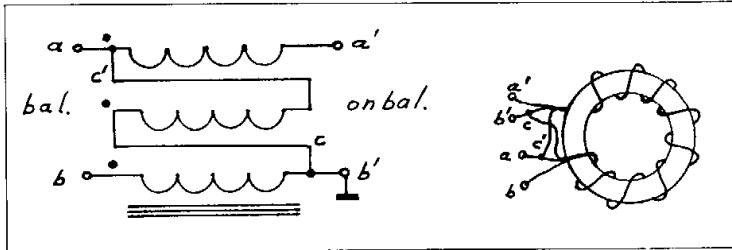


Fig. 2. Met een extra wikkeling krijgen we een echte balun. Deze maakt van een "harde" asymmetrische aansluiting aan de ene kant een harde symmetrische uitgang aan de andere kant.

aansluiten van een der zijden op een asymmetrische schakeling geeft aan de andere kant een keiharde symmetrie te zien. Dit hebben we nodig bij balans-eindversterkers. Bovendien moet er dan nog een aanpassing van een 50 ohm bron plaatsvinden naar een over het algemeen veel lagere impedantie aan de basiszijde van de transistoren, en weer van de lage collectorimpedantie naar een 50 ohm antenneaansluiting. Dit in

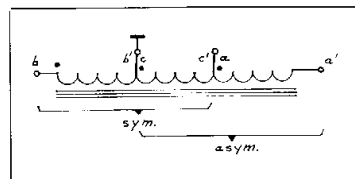


Fig. 3. Wanneer we de balun van fig. 2 anders (conventioneel) tekenen zien we onmiddellijk hoe hij werkt.

de volgorde: asymmetrisch-symmetrisch en symmetrisch-asymmetrisch.

Om de werking van de derde wikkeling van de balun wat beter te begrijpen zetten we het schema van fig. 2, even om in een meer begrijpelijk (fig. 3). Nu zien we meteen hoe het ding werkt. De spanningen op de ingang en de uitgang zijn gelijk (gelijk aantal windingen), en de ene aansluiting is duidelijk symmetrisch en de andere asymmetrisch. Het doet aan als een autotrafo waarbij de aansluitingen elkaar op een handige manier overlappen.

Hoe maak je zo'n ding? Dat kan op verschillende manieren. De impedantie van de gebruikte "kabel" op de ringkern moet in dit geval gelijk zijn aan de impe-

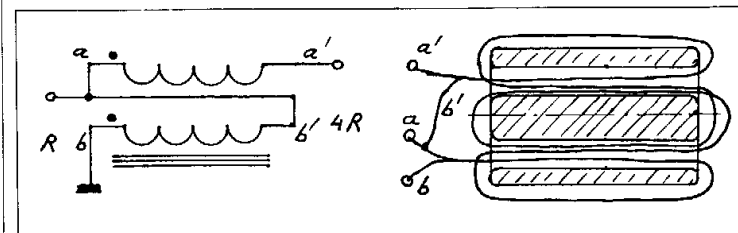
dantie van de beide aansluitingen. In ons geval 50 ohm. Daarvoor kan een 50 ohm (teflon) coaxkabel gebruikt worden met een aparte hulpwikkeling (voor grote vermogens) of drie getwiste draadjes. Die drie getwiste draadjes moeten onderling 50 ohm als impedantie geven. Gewoon wikkeldraad tussen de 0,45 en 0,6 mm verzorgt dat. De dikte is helemaal niet zo kritisch.

Het aantal windingen dat op een kern nodig is hangt af van de maximale spanning die er over een wikkeling zal ontstaan. Iedere kern staat een maximale spanning per wikkeling (bij de laagste frequentie) toe. Die spanning is af te leiden van het vermogen dat verwerkt moet worden bij een bepaalde impedantie. Wanneer de kern te klein is, zal het grote aantal (dikke) windingen er niet op gaan. Wanneer de kern te groot is, zal het kleine aantal (dunne) windingen zo ruim om de kern liggen, dat iedereen ziet, dat er van een verkeerde dimensionering sprake is. De beste dimensionering is die, waarbij de kern juist volgewikkeld is. Dan zijn de verliezen in de kern en die in het draad ongeveer even groot, en is het totale rendement optimaal. Het uitgangspunt zal altijd de zelfinductie zijn. Wanneer we naar de 50 ohm-kant kijken, zal de zelfinductie zo gekozen moeten worden, dat  $2\pi fL$  bij de laagste frequentie minimaal  $5 \times 50 = 250$  ohm zal bedragen.

Bij ringkernen is altijd opgegeven hoeveel milli-henry zelfinductie per wikkeling verkregen wordt.

Wanneer we de aansluitingen van de trafo uit fig. 1 eens anders aansluiten, dan krijgen we fig. 4. Dit ding werkt als

Fig. 4. Een onbalans-onbalans 1:4 - trafo. Wanneer zo'n ding op een varkensneusje wordt gewikkeld zal de bandbreedte groter zijn wanneer de wikkelingen gelegd worden zoals in de doorsnede getekend. Het aantal windingen om de middenpoel moet steeds twee maal zo groot zijn als die om de zijkant.



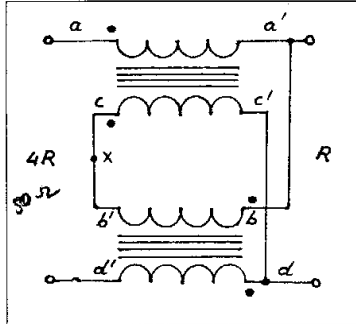


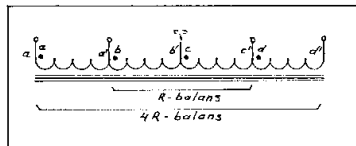
Fig. 5. Een balans-balans 1:4 - trafo. Denk om de anders getekende wikkeldrichting. Zo'n ding kan op een en op twee kernen gemaakt worden. Punt "x" mag geaard worden, wanneer geen van de beide aangesloten schakelingen "hard" symmetrisch is.

een asymmetrische 1:4 transformator. We moeten er dan wel om denken, dat de impedantie van de wikkeling dan  $Z = \sqrt{Z_1 Z_2}$  moet zijn. In geval we van 50 ohm naar 12,5 ohm willen zal de impedantie van de kabel dus 25 ohm moeten zijn. Dat kan gemaakt worden door twee 50 ohm coaxkabels, of door twee zelfgemaakte (wikkeldraad) 50 ohm kabeltjes, parallel te wikkelen.

Een 1:4 trafo symmetrisch-symmetrisch is getekend in fig. 5. Deze trafo is op een kern te wikkelen. Denk om de wikkeldrichting! Voor een eenvoudigere voorstelling is de fluxrichting in de onderste twee "spoelen" tegengesteld aan die van de bovenste twee getekend. Ook hier moet de impedantie van de gebruikte kabel 25 ohm zijn. Het punt x mag geaard worden, om de symmetrie aan beide zijden hard te maken als hij dat nog niet was aan een van de aansluitzijden.

Bij veel versterkers zal de impedantie van de transistoren in de buurt liggen van 12,5 ohm. Een 1:4 trafo is dus vaak te gebruiken. Wanneer we met de impedantie niet helemaal uitkomen, zal voor optimale aanpassing de impedantie aan de 50 ohm kant anders gekozen kunnen worden. Dat is professioneel niet toegestaan, maar voor ons geen enkel probleem. Wat maakt het nu uit of de uitgangsimpedantie van een versterker nu 50 of bijv. 40 ohm zal zijn? Direct achter de versterker hebben we toch een low-

Fig. 5-a. De conventioneel getekende trafo uit fig. 5 laat de werking wat duidelijker zien wanneer hij op een kern gewikkeld is.



pass filter nodig. Dat passen we dan aan op 40 ohm! De kabel tussen versterker en low-pass filter nemen we zo kort mogelijk 50 ohm.

Met de nu besproken trafo's en baluns kunnen we dus versterkers aanpassen op ongeveer 50 ohm asymmetrisch. Op hoe je die dingen moet maken gaan we nu verder in.

Voor het sturen van een 30 watt-versterker op 12 volt met twee BLY89'ers hebben we aan de in- en uitgang een asymmetrisch-symmetrisch 50-12,5 ohm trafo nodig. Die gaan we op een kern wikkelen. Fig. 6 geeft het schema. Een balun, en een symmetrisch-symmetrisch 4:1 trafo. De balun lijkt van het "sortabalun"-type, maar is dat niet. Doordat de balun en de trafo op een kern zitten, vervult de trafo de functie van de hulpwikkeling! Dit kunnen we zien in fig. 7. Deze trafo op een kern geeft dus werkelijk hard symmetrisch 12,5 ohm wanneer hij asymmetrisch (een van de polen aan aarde) wordt aangesloten op 50 ohm. De beide bases van de transistoren worden zodoende echt symmetrisch gestuurd. Daar hoeven geen maatregelen meer voor getroffen te worden. (Een choke-je per basis voor de dc-instelling is voldoende.) De wikkelingen voor de balun (h-h' en H-H') moeten een 50 ohm kabel vormen (0,5 mm wikkeldraad getwist), en de wikkelingen a-c en b-d zouden van 25 ohm "kabel" gemaakt moeten worden. Omdat het hier over een vermogen

en b-d wel van 25 ohm (twee wikkelingen van 50 ohm parallel). Dit is wel opletten geblazen bij het maken. Nu treden er snel aansluitfouten op. Uiteraard wordt een trafo eerst gemeten voordat hij wordt gemonteerd (antennescoop met griddipper), zodat de fouten dan aan het licht komen. Fig. 8 geeft weer hoe de wikkelingen onderling moeten worden doorverbonden. Dit is getekend voor enkele wikkelingen van a-c en b-d, anders kwam ik daar op papier helemaal niet meer uit.

Met de beschreven trafo's in de versterker kreeg ik de frequentiecarakteristiek vlak binnen 1 dB van 1,5 tot 30 MHz. Iets wat me met conventionele trafo's nooit gelukt is. Daar zaten altijd nog hobbels en kuilen in van een dB of 5.

Voor mijn 400 watt lineair met twee maal BLW96 had ik ongeveer hetzelfde probleem. Voor dat vermogen had ik altijd twee ringkernen nodig hoe ik het ook wendde of keerde. Nu kon ik een trafo van fig. 6 maken op twee op elkaar geplakte 32 mm 4C6-Philips-kernen, maar dan kwam ik zeker ruimte te kort wanneer het draad een beetje doorsnede zou krijgen. Wat nu?

Wanneer we de trafo van fig. 5 op twee kernen maken (fig. 9), dan hebben we impliciet een balun van het sortabalun-type cadeau! Dat kan ik gebruiken, omdat de collectoren van de versterker hard symmetrisch gemaakt zijn met een hulptrafo  $T_3$  voor de dc-verzorging. (Zie

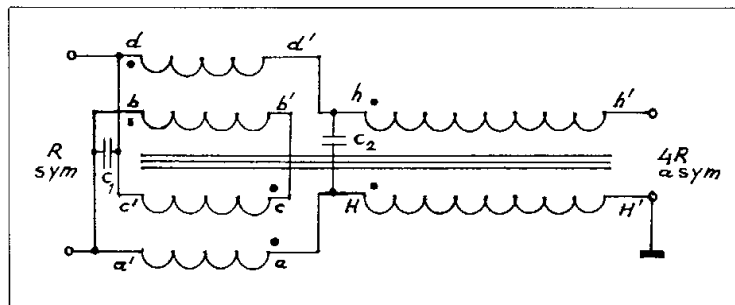


Fig. 6. Een combinatie van een balans-balans 1:4 - trafo en een balun, zodat bv. 12,5 ohm symmetrisch aangepast kan worden op 50 ohm asymmetrisch. Het lijkt alsof hier gebruik is gemaakt van een zg. "sortabalun". Dat is echter niet het geval.

De trafo werkt hier als hulpwikkeling voor de balun. (De getekende capaciteiten zijn alleen nodig wanneer de wikkelingen a-c en b-d van 50 ohm zijn gemaakt (zie tekst). De waarden zijn dan:  $C_1 = 39$  pF en  $C_2 = 10$  pF.)

van ongeveer 0,5 watt gaat, maken we ons geen zorgen over verliezen, en maken die wikkelingen ook gewoon van 0,5 mm draad (getwist). Om de frequentiecarakteristiek vlak te krijgen tot 30 MHz, moeten we dat compenseren met twee condensatorpjes (fig. 6).

Aan de collectorzijde van de twee BLY89'ers komt een dergelijk trafootje, maar dan op een grotere kern (22 mm 4C6 Philips). Nu hebben we meer ruimte, en maken we de wikkelingen a-c

fig. 2 op blz. 567 in Electron van november 1982). De uitgang hang ik met een poot aan aarde, dus is die hard asymmetrisch. Zodoende is een sortabalun geoorloofd, en kunnen  $T_4$  en  $T_5$  vervangen worden door het twee-kernentype van fig. 5. Het is niet zo eenvoudig in te zien, dat de tweekernen-oplossing wel een sortabalun in zich heeft. In fig. 10 heb ik de zaak nog proberen te verduidelijken. Een waterdicht verhaal kan ik niet geven. Wanneer iemand dat kan

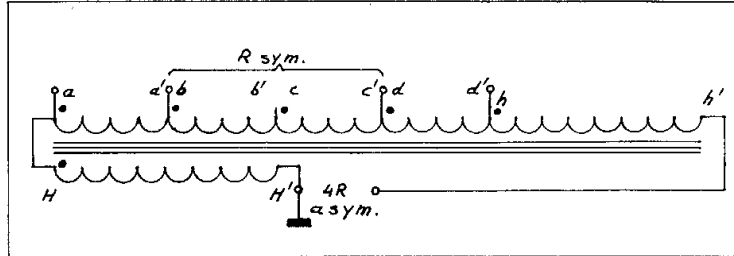


Fig. 7. De schakeling van fig. 6 nog eens conventioneel getekend. Het doet een beetje raar aan, en op deze manier niet logisch. Bedenk dat transmissie-lijn transformatoren alleen bepaalde configuraties toelaten. Deze figuur is alleen voor de verduidelijking. Nu is onmiddellijk in te zien, dat het punt b'c aardpotentiaal zal hebben wanneer H' geaard is. Vergelijk het een en ander met fig. 3.

ben ik zeer geïnteresseerd. Overigens wordt deze methode in Solid State Design beschreven, en Motorola maakt ook gebruik van dit principe.

NB. Denk er om, dat een sortabalun wel degelijk een flux te verwerken krijgt door zijn balunwerking. Een vaak gehoorde misvatting is dat zo'n ding geen ampère-windingen te verwerken zou krijgen. Geschakeld tussen een harde symmetrische ingang en een harde asymmetrische uitgang maakt dat geen enkel verschil met de echte balun van fig. 2!

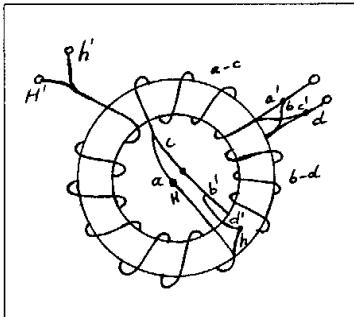


Fig. 8. Hier wordt de manier van wikkelen weer gegeven van de trafo plus balun uit fig. 6. De tekening is zo eenvoudig mogelijk gehouden om het zichtbaar te maken. Zie voor verdere details de tekst.

De trafo van fig. 9 is zeer eenvoudig te maken. Hier gebruiken we natuurlijk wel coaxkabel vanwege het vermogen. Ik had een soort afgeschermd teflon snoer liggen (coax?) dat een impedantie van 67 ohm bleek te hebben. Daar heb ik er vier van parallel gewikkeld op iedere kern, zodat ik op ongeveer 17 ohm uitkom, wat gunstig is om van 9,5 naar 38 ohm te komen. Dat vraagt een kabelimpedantie van 19 ohm ( $19^2 = 9,5 \times 38$ ). De kleine mismatch (bij 30 MHz) is verder gecompenseerd met kleine capaciteiten aan de symmetrische kant (~60 pF parallel, of van beide poten 120 pF naar aarde).

Die 38 ohm is nu ook de ingangsimpedantie van de lowpass-filters.

Met drie kabels van 50 ohm parallel komen we ook heel mooi uit:  $50:3 = 16,7$  ohm.

Misschien is lage impedantie coax zelf te maken, door de binnenader met isolatie uit een dunne coaxkabel te trekken, en deze "te vullen" met een teflon snoer dat een veel grotere draaddoorsnede heeft.

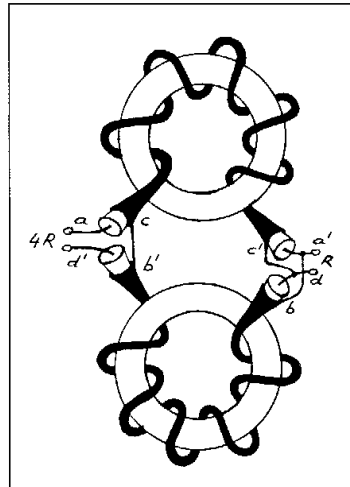


Fig. 9. Een 1:4- trafo die zowel balans-balans als balans-onbalans toestaat. Dat is niet zo eenvoudig in te zien. De balanszijde moet hard zijn en aan de zijde van R zitten. De onbalanszijde moet ook hard zijn, want deze trafo "laat dat in het midden", net als de sortabalun. Het principe-schema staat in fig. 5.

Voor eventuele vragen ben ik altijd te bellen (040-410761) of te benaderen op het Technonet, op iedere zaterdag vanaf 1600 uur Nederlandse tijd, op ongeveer 3,74 MHz.

P.S.

Wanneer we een dipool met open lijn (kippenladder) hebben voor alle banden, is nauwelijks te voorspellen welke impedantie onderaan de open lijn te zien zal zijn, zeker niet wanneer we de

nieuwe banden erbij beschouwen. Vaak wordt zo'n antenne aangepast met de een of andere tuning unit die een asymmetrische uitgang heeft, gevolgd door een balun. Die balun wordt dan vaak gemaakt met een ringkern; dat gaat gewoon mis in veel gevallen: Wanneer de impedantie van de antenneaansluiting in de shack hoog is (bijv. 1000 ohm) dan kan de benodigde spanning niet opgewekt worden in de wikkelingen om de kern, omdat de flux in de kern niet gehaald kan worden (verzadiging), met alle ellende van dien.

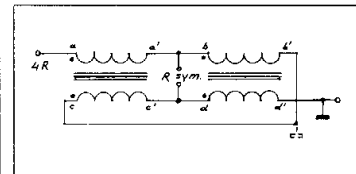


Fig. 10. Met het anders tekenen van fig. 9 (ook fig. 5 op twee kernen) wordt geprobeerd inzicht te krijgen waarom een trafo van dit type op twee kernen een sortabalun in zich heeft.

Wie zou het volgende eens willen proberen? Sloop een dun stuk coaxkabel; neem daar de binnenader met isolatie van; knip die in drie gelijke delen van een meter of tien, en wikkel die trifilaar (twisten lijkt me niet nodig) om een kartonnen koker van 10 cm diameter. Je krijgt dan zo'n 30 windingen. Verbindt de wikkelingen zoals in fig. 2 en je hebt volgens mij een uitstekende balun voor dit doel. Ik heb zelf geen hoogohmige belasting waar ik zoveel fut in kwijt kan anders deed ik het proefje zelf wel. Denk er om: geen gewoon snoer gebruiken. Dat heeft PVC-isolatie, en dat is HF niet goed genoeg, zeker niet voor deze spanningen.

73.

Herbert