

# Balanserad matning och feederstrålning

– funderingar kring balansbegreppet

Jan Gunmar SM0AQW

*Balanserad matning av kortvågsantennerna är ett samtalsämne som ofta dyker upp när amatörer träffas. Många oroar sig för vad eventuell obalans kan ställa till med och baluntillverkare gör goda affärer. Men åsikterna om vad balansproblemet egentligen innebär, vad som ska "balanseras" och hur man ska göra varierar. Det kan vara klargörande att titta litet närmare på begreppet "balanserad matning". Det finns en del myter och missförstånd i omlopp och sannolikt är att en del kontroverser i ämnet "balans" är onödiga!*

Den här artikeln är inspirerad av vad Ian White, GM3SEK, har skrivit i sin spalt "In Practice" i RadCom 2005/12. I inledningen till den artikeln [1] säger han, litet fritt översatt, att "termerna 'balanserad antenn' eller 'balanserad matarledning' betyder så gott som ingenting – de orsakar så många missförstånd att vi skulle klara oss bättre utan dem". Jag instämmer och vill lägga till termerna "balanserad antenntuner" och "balanserad utgång" som också kan leda tankarna åt fel håll.

## Vad är grundkriteriet för "balanserad matning"?

Det finns troligtvis flera åsikter om vad "balanserad matning" av en antenn innebär och därför är det bäst att börja med en precisering innan vi går in på detaljer.

*En antenn matas balanserat när strömmarna i matarledningarna är lika stora och i motfas vid deras anslutning till antennen*



"Ser det inte alltid ut så här" kan någon fråga och svaret är NEJ – i många, kanske de flesta trådanterntennsystem vi använder för kortvåg är faktiskt de båda strömmarna inte lika stora – antennen matas mer eller mindre "obalanserat". Om detta är ett problem eller inte måste avgöras från fall till fall, men tecken på att man har problem är:

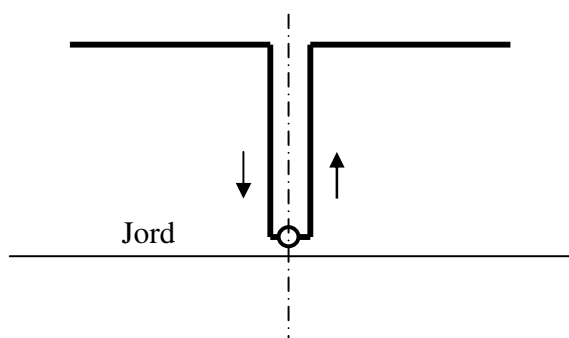
- Störningar: t.ex. HF-potential på mikrofonen eller chassi, störningar i hemelektronik
- Antennen fungerar inte som man tänkt sig: dåligt front-to-back hos riktantennerna, resonanserna hamnar fel

När man simulerar antenner lägger man ofta in en spännings- eller strömkälla i antennmodellen och räknar som om sändaren vore placerad direkt i matningspunkten. Då räknar man med balanserad matning från början; om sedan det färdiga antennsystemet med matarledningen ansluten inte uppför sig som simuleringen indikerat ska man inte bli förvånad. Sådana fall tas ibland som intäkt ibland för att simuleringsprogrammet räknat fel – eller t.o.m. att fysikens lagar inte gäller för *just den här* antennen, men förklaringen är mer jordnära.

När antennen hängs upp över jord och matarledningen ansluts uppstår reflexer från omgivningen som rubbar den symmetri hos fält och strömmar som var en förutsättning för simuleringsresultatet och en verkan är ofta det kommer att flyta obalansströmmar eller s.k. antennströmmar på matarledningen eller ”feedern”. Denna har blivit en del av den strålände antennstrukturen och varken impedanser eller antennverkan blir riktigt som man har tänkt.

### **Den perfekt symmetriska antennen**

En antenn i sig själv (d.v.s. ensam i fri rymd) är varken balanserad eller obalanserad. Det är först när man ansluter en matarledning och placerar systemet antenn + matarledning över mark i en fysisk miljö – reflekterande och ledande ytor och föremål, bebyggelse etc. – som begreppet balans kan användas med en viss försiktighet.



**Figur 1**

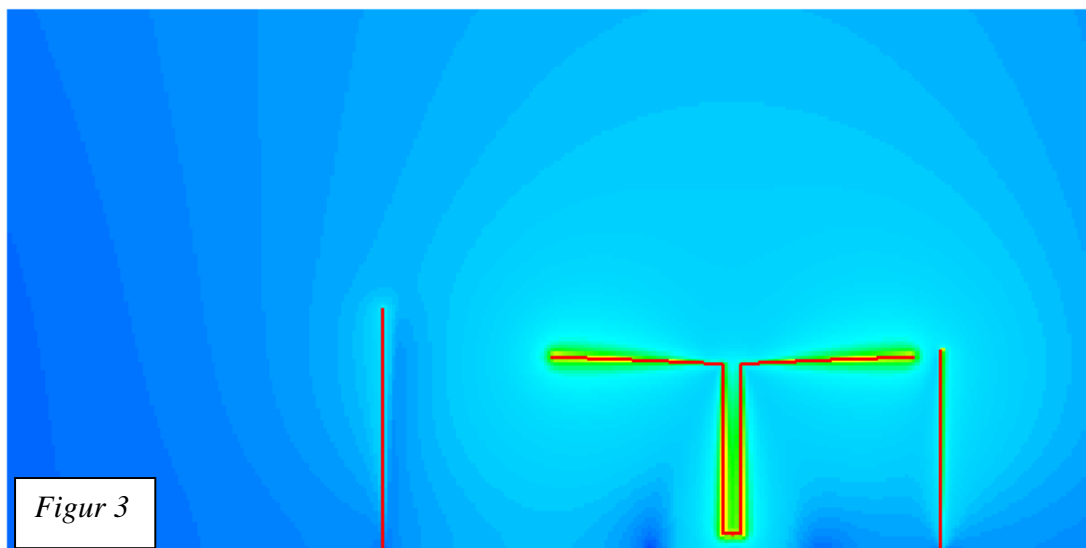
För antenner och matarledningar bör termen ”balans” innebära en perfekt mekanisk och elektrisk symmetri, både hos antensystemet själv och i dess placering i förhållande till markplanet.

Figuren ovan ger ett exempel på en perfekt balanserad dipolantenn. Dipolen, här mittmatad med en ”stege” – en öppen matarledning – har två symmetriplan: E-planet, som är det plan som antennen och matarledningen ligger i och H-planet som går genom den streckprickade mittlinjen och ligger i rät vinkel mot E-planet. Inga ledande eller reflekterande föremål finns till höger eller vänster om antennen. Marken är helt plan i alla riktningar. Amplituden hos strömmarna på matarledningen varierar oftast med avståndet från sändaren (bara vid perfekt anpassning är de konstanta och lika hela vägen), men *i varje tvärsnitt av matarledningen är strömmarna alltid lika stora och motriktade*. Man kan ta sig några friheter med antennen i figuren utan att rubba symmetrin: man kan t.ex. rotera hela systemet kring antennens längdaxel; alla plan som går genom antennens längdaxel är ju ett E-plan.

Men så snart man lutar marken (eller antennen) i papperets plan, har en byggnad eller metallföremål strax intill, drar matarledningen snett nedåt eller jordar den ena utgången hos sändaren högfrekvensmässigt så är antensystemet inte längre balanserat. Det perfekt symmetriska antensystemet är faktiskt så sällsynt att man kan påstå att det bara existerar i teorin, åtminstone så länge man talar om trådantenn för kortvåg – vid mycket höga frekvenser (VHF och högre upp) ökar de praktiska möjligheterna att skapa en symmetrisk omgivning.

För att ge en kvalitativ bild av hur närfältet omkring en antenn påverkas vid obalans kan vi titta på ett praktiskt exempel. En dipol är upphängd i två jordade metallmaster och matas via en stege från en sändare som är placerad rakt under dipolens matningspunkt, se figur 3. Bilden visar det elektriska fältets (E-fältets) intensitet i det plan som går lodrätt genom dipolen. Antensystemets och masternas strukturer visas med röda linjer. I exemplet är dipolen en halv våglängd lång och masterna är litet mer än en kvarts våglängd långa. Bilden kan t.ex. representera en 7 MHz dipol på ca 10m höjd matad med öppen ledning.

Eftersom dipolen strålar vertikalpolariserat i sin längdriktning (E-fältet har en vertikal komponent) kommer den att koppla till masterna och fältet omkring antennen (närfältet) blir litet osymmetriskt därför att masterna är litet olika långa och olika långt bort från antenncentrum. Masterna blir en del av den totala antennstrukturen. Det här exemplet är litet lurigt – men det är inte alltid man kan se vad som egentligen utgör det totala antensystemet – hade vi definierat masterna som delar av antensystemet från början skulle också osymmetrin ha varit given från början.



Osymmetrin medför bl.a. att strömmarna på feedern också blir osymmetriska. Mäter man strömmarna på de båda ledningarna i tvärsnitt på olika avstånd från sändaren finner man att de har något olika amplitud och att deras inbördes fasläge skiljer sig från  $180^\circ$ . Vid perfekt balans ska de alltid vara lika stora i samma snitt och ha fasskillnaden  $180^\circ$ , det ska råda *strömbalans*. Att kontrollera balansen genom att mäta de enskilda strömmarna med en HF-strömprob som enbart mäter amplitud räcker inte, man måste också mäta strömmarnas inbördes fasläge! Det problemet undviker man om man kan mäta summan av strömmarna direkt, se nedan.

De flesta simuleringsprogram redovisar strömmarna i antensystemet. Om man har simulerat matarledningen som en del av modellen kan man bedöma obalansen på följande sätt. Man tar ut de komplexa värdena (real- och imaginärdelarna) hos strömmarna i de båda trådarna i matarledningen och beräknar sedan den komplexa summan av dem = obalansströmmen. Att bara beräkna skillnaden mellan amplituderna räcker inte.

***En transmissionsledning har strömbalans om vektorsumman av strömmarna i varje snitt av ledningen alltid är noll***

En överslagsberäkning av obalansen i det här ganska enkla fallet visar att det finns en obalansström på matarledningen – i varje tvärsnitt av matarledningen uppgår den strömmens amplitud till i runt tal 15 % av strömmen på endera ledningen. Figuren nedan visar amplituderna hos de båda strömmarna i matarledningarna till dipolen i figur 2 ovan (röd, blå) samt amplituden av obalansströmmen (svart). Trots att strömmarnas storlek verkar vara ganska lika är deras summa – obalansströmmen – större än det lilla avståndet mellan

strömmarnas amplituder i diagrammet och detta beror på att fasskillnaden mellan dem är skild från  $180^\circ$ . Simuleringen ska ses som kvalitativ – den visar ”ungefär hur det blir”.

### Obalans vid matning av dipol

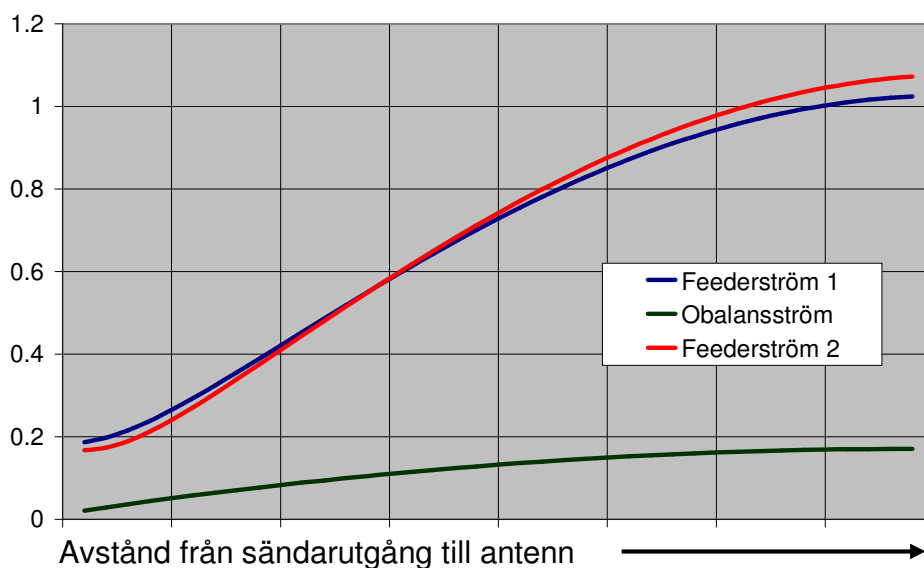


Diagram 1

Matarledningen till dipolen i figur 2 har med avsikt getts ett ganska stort ståendevåg-förhållande (SWR) – diagrammet visar att feederströmmarna varierar från ca 0.2 A vid sändarutgången till något över 1 A vid anslutningen till antennen. Man kan fråga sig om man kan minska obalansen på feedern genom att förbättra anpassningen, d.v.s. minska SWR? Det beror på – i exemplet ovan bör obalansgraden kvarstå om man ändrar SWR genom att byta typ av matarledning, men om man ändrar systemgeometrin, t ex. flyttar en av masterna, kommer sannolikt SWR att ändras. Relationen mellan balans och SWR är inte ”transitivt symmetrisk”.

Sannolikt har de flesta trådantennsystem för kortvåg inte strömbalans på matarledningen om man inte gjort något för att förbättra läget – att antensystemet är obalanserat är mycket mer sannolikt än att perfekt balans skulle råda, även om man planerat antennplatsen noga. Om man i figur 2 förutom masterna tänker sig ett boningshus alldeles i närheten av dipolen och med ”röntgenblicken” föreställer sig det trassel av vertikala och horisontella ledare som är elinstallationen i huset, så inser man att figur 2 visar ett ganska enkelt fall av osymmetri!

### Mätning av obalans

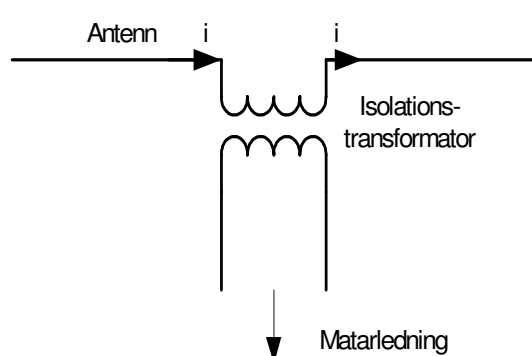
Man kan mäta om en antenn matas obalanserat. Kriteriet för balans är ju att strömmarna i matarledningen alldeles intill deras anslutning till antennen ska vara lika och i motfas. Om man placerar en HF-strömprob (t.ex. en strömtransformator med delbar kärna och en likriktarkrets) som omsluter *båda* feederledningarna alldeles intill deras anslutning till antennen kan man få en indikation på hur det står till. Detta är besvärligt i praktiken eftersom mätanordningen måste sitta på plats när antennen är på rätt höjd och är också svår att göra när antennen har hög impedans i matningspunkten eftersom strömmarna då är så små. Det finns kommersiellt tillgängliga strömmätare (t.ex. MFJ-853, -854 och -855 och liknande instrument från andra tillverkare). Se också ref. [7].

Känsligheten hos strömproben kan vara begränsande vid låga sändareffekter. Vid effektnivån 100 W bör man helst kunna mäta strömmar ner emot 50 mA.

Man bör kontrollera ev. obalansström på flera ställen längs matarledningen. Storleken av den obalansström man kommer att mäta måste bedömas genom jämförelse med de enskilda strömmarna i ett givet snitt av matarledningen. Om den obalans man mäter i ett givet snitt är mindre än säg några procent av strömmen i endera ledaren bör man känna sig ganska nöjd. Mätningarna enligt ovan kan göras oavsett om matarledningen är en koaxialkabel eller bandkabel/öppen stege.

## Baluner

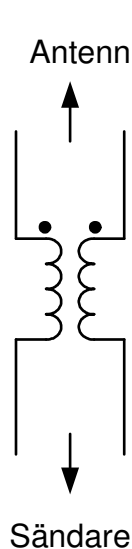
Ett vanligt och bra sätt att mata antennen balanserat är att använda en isolationstransformator eller spänningsbalun i hopkopplingspunkten mellan matarledning och antenn, figur 4



Figur 4

Isolationstransformatoren kallas också "spänningsbalun". Den har två grundfunktioner: dels isolerar den antennen från obalansströmmar som flyter likfasigt på matarledningen, dels kan den ge en behövlig impedanstransformation mellan matarledningen och antennis matningspunkt.

Med en symmetriskt uppbyggd isolationstransformator säkrar man en balanserad matning av antennen eftersom strömmarna som flyter in och ut ur transformatorns sekundär (övre lindningen) är lika stora – "ingen ström försvinner på vägen" (om strökapacitanserna är försumbart små). Observera att antennmatningen förblir balanserad enligt definitionen sid. 1 även om matningspunkten är osymmetriskt placerad, t.ex. om antennbenen är olika långa.



Figur 5

Är då balanseringsproblemet löst om man använder en spänningsbalun? Nej – om matarledningen är osymmetriskt dragen i antennens E-plan eller om man får reflexer från omgivningen kan det fortfarande flyta obalansströmmar i själva matarledningen. Ytterligare åtgärder behövs för att undertrycka sådana strömmar. En åtgärd som ofta fungerar bra är att koppla in en hög impedans i serie med obalansströmmen, vilket görs med en *strömbalun*, på engelska "current choke" eller "current balun", se figuren intill.

Strömbalunen är principiellt en transformator som kopplas in i matarledningen med lindningarna vända så att strömmar med lika fasläge möter en hög induktiv impedans, medan strömmar med motsatt fasläge möter en låg impedans som huvudsakligen är resistiv; den är lika med lindningsresistansen i serie med en liten läckinduktans. Genom lämpligt lindningssätt kan läckinduktansen göras låg och balunen blir bredbandig, d.v.s. den fungerar över ett brett frekvensområde. Prickarna invid lindningarna visar de lindningsändar som har samma fasläge.

Strömbalunen ska placeras där den har störst verkan och en grundregel är att koppla in den på det ställe på matarledningen där obalansströmmen kan väntas bli störst och välja dess

seriereaktans så att man inte råkar ut för oönskade resonanser – om obalansströmmar är blockerade i änden av ledningen kan man råka ut för halv vågsresonanser, se nedan.

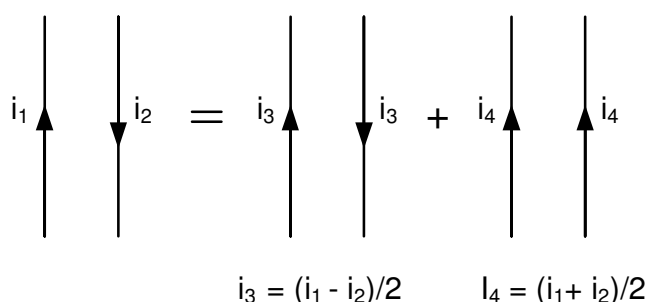
Att undertrycka obalansströmmar med strömbaluner är svårt eller omöjligt i punkter på matarledningen där impedansnivån är hög. Osymmetriska multibandantennor t.ex. FD-4 och olika Windom-varianter) kan vara ett särskilt problem. De behöver ofta både en spänningsbalun vid matningspunkten och en eller flera strömbaluner på lämpliga ställen på matarledningen. Vid flerbandsoperation hamnar ju strömmaxima hos ev. obalansströmmar på olika ställen på feedern beroende på vilket band man använder, varför en del experimenterande kan behövas. Att tillverka en sådan antenn utan några baluner kan ge litet underliga resultat.

Att konstruera och bygga bra ström- eller spänningsbaluner är något av en vetenskap för sig; de kan tillverkas i många utföranden och material som vart och ett har sina egenheter, och läsaren hänvisas till detaljerad information i [1], [2], [8] och [9].

## **Finns det matarledningar som är "självbalanserade"?**

### **Bandkabel**

Kommersiella transmissionsledningar av typ bandkabel med impedansen 300 eller 450 ohm saluförs ibland som "balanserad ledning". Kan en ledning vara "balanserad" i sig själv? Nej – att annonsera bandkabel som "balanserad ledning" är vilseledande. Figuren nedan visar hur man delar upp obalanserade strömmar på en matarledning i en balanserad (differentiell) och en obalanserad (gemensam mod eller "common mode") komponent.



*Figur 6*

I figuren är  $i_3$  den differentiella komponenten och  $i_4$  den obalanserade komponenten. Ekvationerna ger vektorsummorna av strömmarna, inte enbart av amplituderna. För strömbalans fordras att  $i_4 = 0$

Det finns en myt om att öppen parallell-ledning eller bandkabel är "självbalanserad", d.v.s. att "den vill" åstadkomma balans, men detta är ett rent påhitt. Den differentiella och den gemensamma moden kan existera helt oberoende av varandra på en ledning vilket betyder att den bidrar till strålningen från antensystemet på ett inte önskvärt sätt. Obalans på matarledningen kan öka störnivån vid mottagning (många lokala störkällor är vertikalt polariserade) och vid sändning kan obalansströmmen leta sig vidare från shacket via illa valda strömvägar som elnätets skyddsjord och vattenledningssystemet i huset.

### **Koaxialkabel**

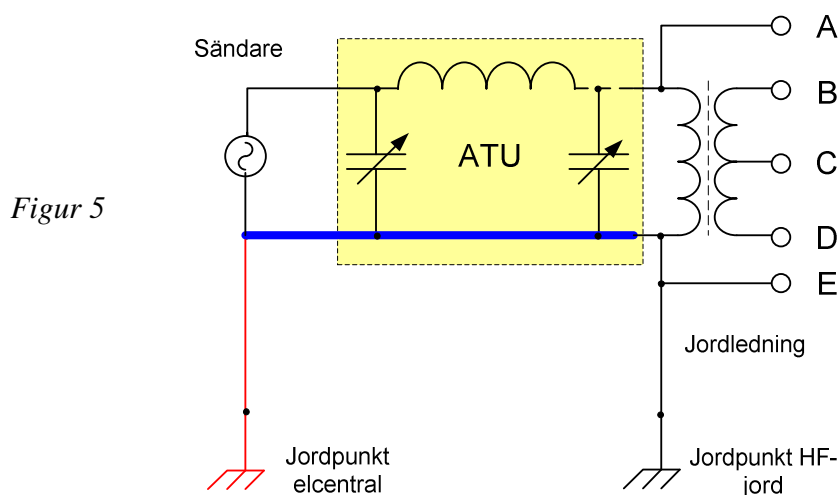
Koaxialkabel kan precis som bandkabel föra obalansströmmar. På en koaxialkabel flyter obalansströmmen på kabelskärmens utsida och den är förhållandevis lätt att detektera om man har en tillräckligt känslig strömmätare med "clip-on" mät huvud (t.ex. MFJ-853 eller -854 eller liknande från andra tillverkare). Se även ref. [7]

Det är en ganska seglivad myt att koaxialkabel kan "balanseras" på något sätt. Koaxialkabelns transmissionsledningsströmmar – dess differentiella mod – är så gott som helt hänvisade till att flyta på *innerledaren* och på *skärmens insida*. Inne i koaxialledningen råder mycket hög strömbalans. Men skärmen har även en utsida och där kan obalansströmmar flyta precis som det behagar dem. Detta innebär att om en koaxialkabel ansluts till antennen i figur 2 i stället för en öppen ledning så kommer obalansströmmen (= vektorskillnaden mellan strömmarna i antennbenen vid matningspunkten) att flyta på utsidan av kabeln medan den balanserade strömkomponenterna flyter inne i kabeln.<sup>1</sup>

## Antenntunerns roll

Antenntunern har en viktig roll när man vill bygga ett antensystem som kan kallas balanserat. Det är dock en myt att man automatiskt får balans i antensystemet om man använder en s.k. balanserad antenntuner. "Balanserade tuners" är uppbyggda med avsikt att uppnå största möjliga symmetri m.a.p. komponentplacering och elektromagnetisk koppling till omgivningen och är ett bra steg på vägen till balans, men de garanterar inte att antensystemet blir balanserat i sin helhet, ytterligare åtgärder är oftast nödvändiga.

Figur 5 visar en typisk tunerinstallation och dess inkoppling:



Sändaren kopplas till antennen via en tuner (ATU). Hur den tekniska lösningen för innanmätet i en ATU är beskaffat (PI-filter, Z-match etc.) är inte så intressant för balansdiskussionen; det viktiga är hur antenntunerns utgång ser ut och hur antennen är inkopplad. Två jordningsvägar är inritade i figuren: en väg (röd linje) går från sändarens chassi (blå linje) till den jordade "nollan" för husets elinstallation och den andra jordledningen (svart) är dragen till en "HF-jord". HF-jorden är ibland ett jordtag på någorlunda kort avstånd från sändaren, men anslutning till vattenledningssystemet förekommer också – det senare rekommenderas inte.

Även om shacket är beläget på bottenvåningen i ett hus är det svårt att säga något bestämt om HF-egenskaperna hos de här två jordvägarna, men man måste vara medveten om att de finns

<sup>1</sup> När man talar om strömmar på koaxialkabel ska man egentligen tala om strömbeläggningar eller ytströmtätheter (Ampere per meter omkrets av ledaren) – man kan inte längre tänka sig strömmen som en mycket tunn tråd (ett "filament") eftersom laddningstransporten sker längs en cylinderyta. Man kan säga att strömmen på mittledarens yta är omgiven av en "strömcylinder" på innerledarens yta.

och kan inverka på hur ett antenssystem fungerar. Kan man klara sig utan några jordanslutningar? Jo – det är teoretiskt möjligt, men då behövs också ett antenssystem som är så gott som perfekt symmetriskt – som i figur 1. En helt ojordad fast installation medför risker i praktiken, t.ex. med. elektrostatisk uppladdning/åska och odefinierad HF-potential, och rekommenderas alltså inte<sup>2</sup>. Om det finns obalans i antenssystemet hamnar en helt ojordad station i änden på en ledare som för HF-strömmar och följaktligen blir HF-potentialen hög (men odefinierad) i änden, vilket i svårare fall märks genom att man ”bränner” sig på chassi eller andra metalldelar. En bra metod för att undvika problem är helt klart att separera chassijord från HF-jord genom att använda en spänningsbalun vid ATU-utgången. Då kan stationens chassijord anslutas till elnätets skyddsjord och ev. obalansströmmar går till HF-jordtaget (om inverkan av strökapacitanser kan försummas). En annan vanlig åtgärd för att bättre separera jordarna är att använda en strömbalun på nätledningen; man travar ferritkärnor på nätledningen.

Antennen kan kopplas in på flera sätt till sändare + ATU ovan:

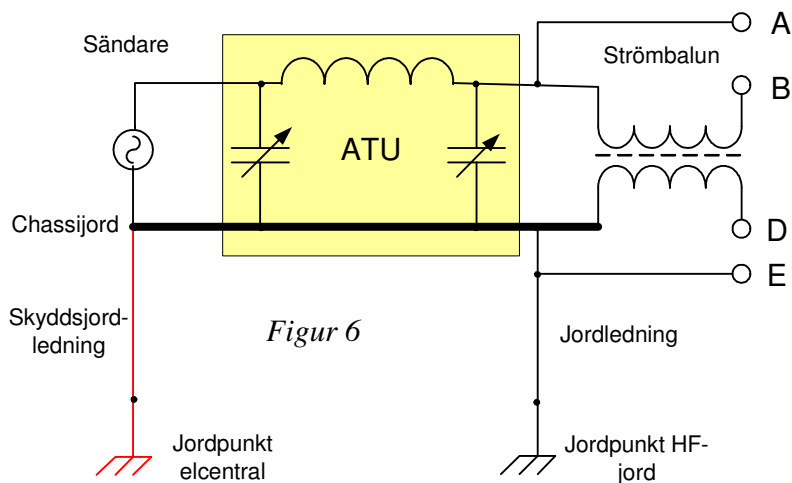
1. **Antennen ansluts mellan A och E:** detta sätt är nog det vanligaste och kallas ofta ”obalanserad utgång”. Om sedan antenssystemet är osymmetriskt kan en obalansström att flyta till jord och kommer att dela upp sig mellan ledningen till HF-jordpunkten, skyddsjordledning(ar) och ev. andra jordpunkter man valt. Obalansströmmen i skyddsjordledningen kan styras till att huvudsakligen flyta till HF-jordpunkten om man använder en isolationstransformator mellan elnätet och kraftaggregatet, ibland i kombination med ett nätfilter, och undviker vattenledningar och liknande. Har man en kort yttre jordledning till HF-jordtaget brukar denna lösning fungera alldeles utmärkt. Detta kopplingsätt kan hantera både låga och höga belastningsimpedanser, säg mellan ett tiotal till flera hundra ohm, något beroende av kretslösningen för ATU, men strömmar i jordningsvägarna kan ställa till problem. HF-strömmar i långa trådar bidrar alltid till det totala antenssystemets strålning, oavsett om man kallar dem ”motvikter”, ”avstämd jord” eller ”jordledning”.
2. **Antennen ansluts mellan B och D**  
 här är en transformator/spänningsbalun inkopplad mellan ATU-n och antennanslutningarna och matarledningen har inte längre en strömväg till jord (strökapacitanser antas vara små). Balunen har strömbalans vid sin utgång: ”det som går in går också ut”, men detta garanterar dock inte att matarledningen i sin helhet har strömbalans! Kommersiella antenntuners brukar ha både en obalanserad utgång enligt alt.1, avsedd för antennlaster med lägre impedans (säg 20 – 150 ohm) och en spänningsbalun med impedansomsättningen 1:4, lindad på en ferritkärna, för laster med högre impedans (säg 150 – 600 ohm). I reklamen kallas ofta uttagen B – D för ”balanserad utgång”: men en mer tekniskt korrekt benämning är ”flytande eller isolerad utgång”.eftersom man faktiskt inte kan säga vad referenspotentialen för de B och D är (så länge mittpunkten C är ojordad)! Valet av benämning är väl ingen stor fråga, men termen ”balanserad” kan leda tankarna åt fel håll. Ett bivillkor för strömbalans vid balunens utgång även vid högre frekvenser är att den är byggd och monterad symmetriskt och har små strökapacitanser till chassijord.

<sup>2</sup> Det finns en apparat som kallas för ”avstämd jord” eller ”konstjord” (!) som t.ex. används när man bor högt upp i ett hus och inte har möjligheter att skaffa sig en bra HF-jord. En ”avstämd jord” är i princip en varierbar LC resonanskrets (en liten tuner) i serie med en stump antenntråd som kopplas till chassijord. Den blir en del av antenssystemet precis som de anordningar som kallas ”motvikter”. Man kan säga att anordningen utgör en avstämd ”motvikt” som medger att man kan ställa in läget för stationens nollpotential för HF så att den hamnar i shackets nivå. En avstämd jord är en frekvensberoende anordning och måste justeras vid bandbyte.



### 3. *Strömbalun*

Ett alternativ till den isolerade utgången B – D i figur 5 är att använda en strömbalun för att undertrycka obalansströmmar till jord, se figur 6 nedan:

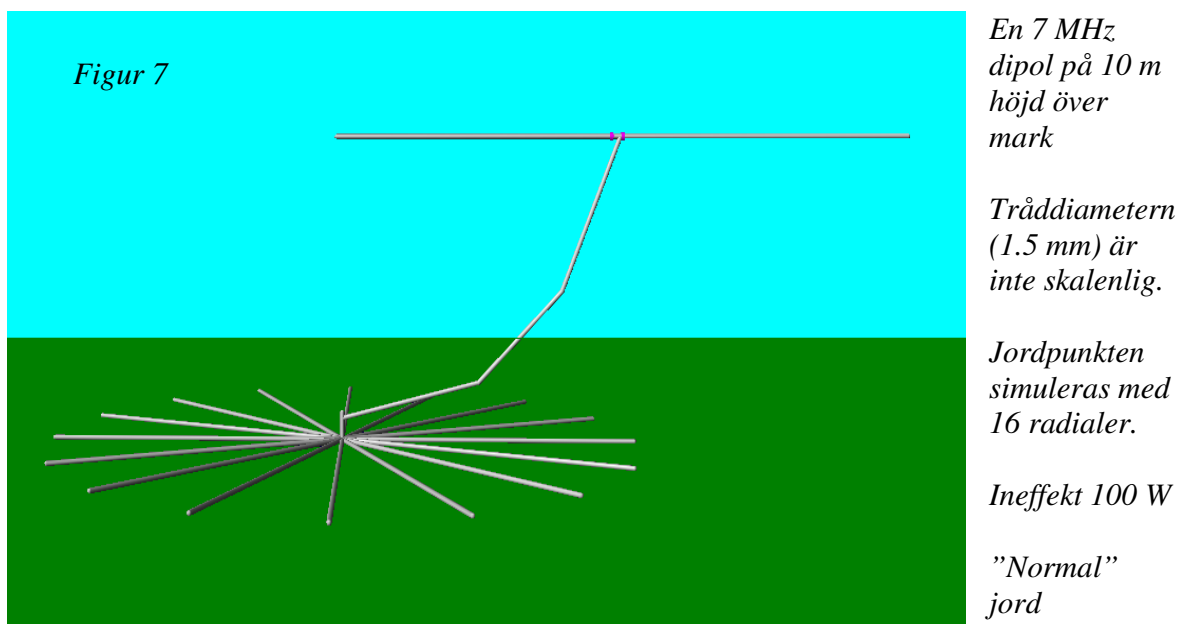


Vid måttliga uteffekter är det oftast mest praktiskt att ansluta strömbalunen efter ATU. Annars måste chassi för ATU monteras isolerat från jord ("svävande") eftersom det hamnar på en odefinierad, men ofta hög HF-potential. Vid stora sändareffekter kan det dock vara lämpligt att ansluta en strömbalun direkt efter sändaren och transformera sändarens 50 ohm utgång till en svävande ("balanserad") 50 ohm utgång och därefter ansluta en gentemot jord helt symmetriskt uppbyggd ATU som är helt isolerad från sitt hölje – en "balanserad tuner". Ett exempel på en sådan konstruktion är den s.k. ARRL-tunern (konstruerad av N6BV) som beskrivs i ARRL-s Antenna Handbook 19 utgåvan. Se även ref [2], [3] och [5]. Det finns mycket skrivet om hur man konfigurerar baluner mot sändare och ATU och dessa referenser bedöms vara pålitliga. För högeffekts balanserade tuners gäller "Big is Beautiful"!

I figur 5 finns ett mittuttag C inritat vid utgången. Om detta jordas till HF-jord är utgången inte längre flytande. I tomgång är då spänningarna vid B och C "balanserade mot jord" men hur det blir vid belastning med ett eventuellt osymmetriskt antensystem är svårt att säga något om. Finessen med flytande/svävande utgång hos ATU är att utspänningarna inte refererar till jord!

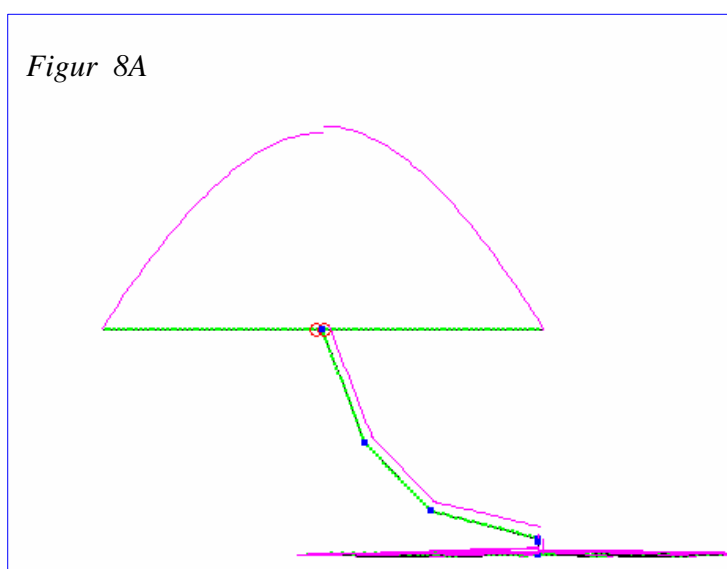
### ***Ett simuleringsexperiment – matning av obalanserad dipol***

För att mer i detalj belysa hur obalansströmmar kan uppträda visas nedan ett antal simulerade exempel på hur strömmarna fördelas i ett enkelt antensystem: en 7 MHz dipol över jord på höjden 10 m (en kvartsvåg) vars matarledning hänger snett nedåt till en sändare på höjden 0.7 m över mark. Ett hyggligt jordtag simuleras med sexton eleverade kvartsvågsradialer på höjden 0.1 m över mark, se figur 7 nästa sida.



Det finns två sätt att ansluta matarledningen till ATU-n: dels till en utgång vars ena pol är jordad, dels till en isolerad (flytande) utgång. Anslutning av ledningen till antennen kan göras på tre sätt: direkt, via en strömbalun eller via en spänningsbalun. Det finns alltså sex huvudalternativ och om man kombinerar dem med att placera ytterligare en balun någonstans på matarledningen blir det många fall att analysera! Nedan redovisas sex typiska fall

### A Direkt matning, inga baluner



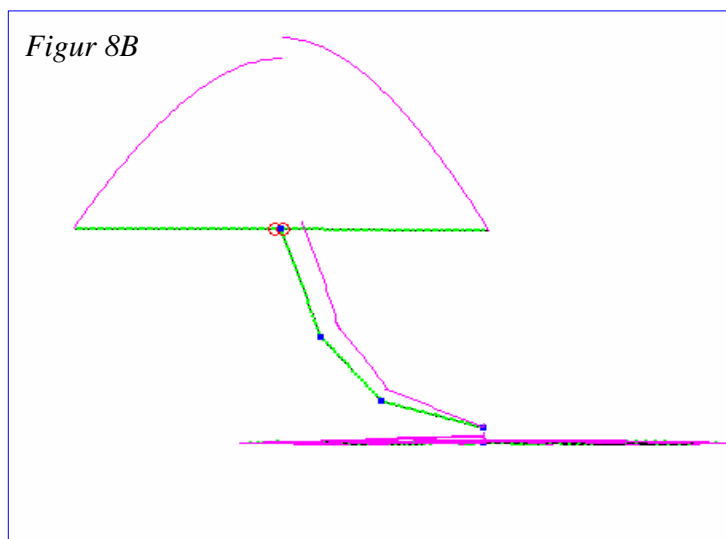
**Figur 8A – 8F**

Antennstruktur: gröna linjer  
Strömamplitud: violetta linjer

Obs: på matarledningen visas endast obalansströmmen

ATU-n är ansluten direkt till antennen via en koaxialkabel eller öppen ledning och dess ena utgång är jordad till HF jordtag. Max-amplituden hos obalansströmmen på matarledningen är måttlig (ca 7 % av strömmen uppe vid matningspunkten) och ganska konstant (men strömmens fasvinkel varierar). Strömmarna är olika på de båda dipolhalvorna

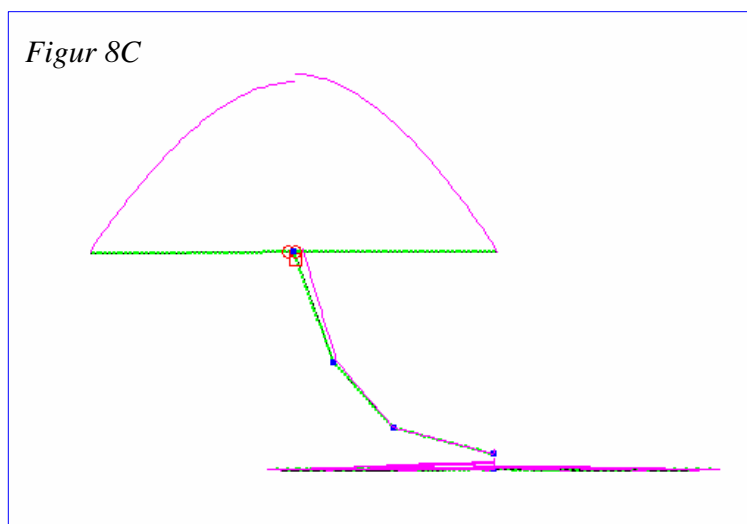
## B Direkt matning, flytande ATU-utgång



ATU-ns utgång flyter och ansluts till antennens via en ledning som är direkt ansluten till matningspunkten (med koaxialkabel är skärmen alltså flytande). Sändaren är jordad till HF jordtag. Maximala amplituden hos obalansströmmen på kabeln är nu större (ca 13 % av max. ström vid matningspunkten) och avtar till noll nere vid ATU-n.

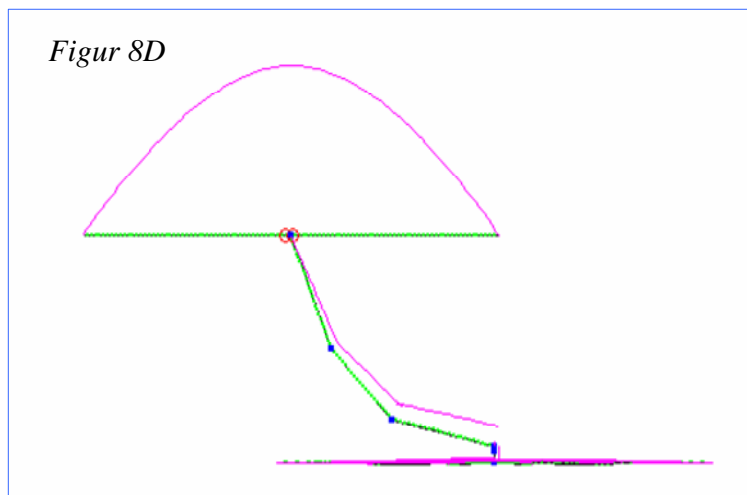
Strömmarna är olika på de båda dipolhalvorna

## C Flytande ATU utgång och strömbalun vid matningspunkten



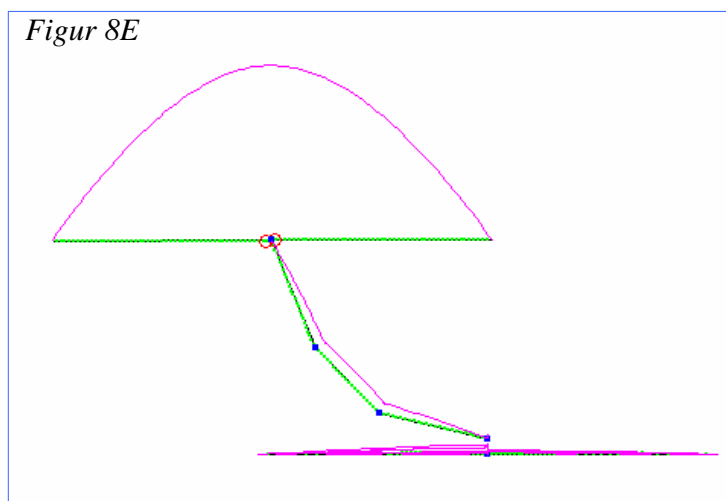
ATU-ns utgång flyter, matarledningen ansluts till antennen via en strömbalun med 500 ohm induktiv reaktans (ca 11.5 uH) som är placerad uppe vid matningspunkten. Sändaren är jordad till HF jordtag. Maximala amplituden hos obalansströmmen på kabeln är nu åter liten (ca 5 % av antennströmmen uppe vid matningspunkten) och avtar till noll nere vid ATU-ns utgång.

### D Spänningsbalun vid antennens matningspunkt, matarledningen jordad vid sändaren



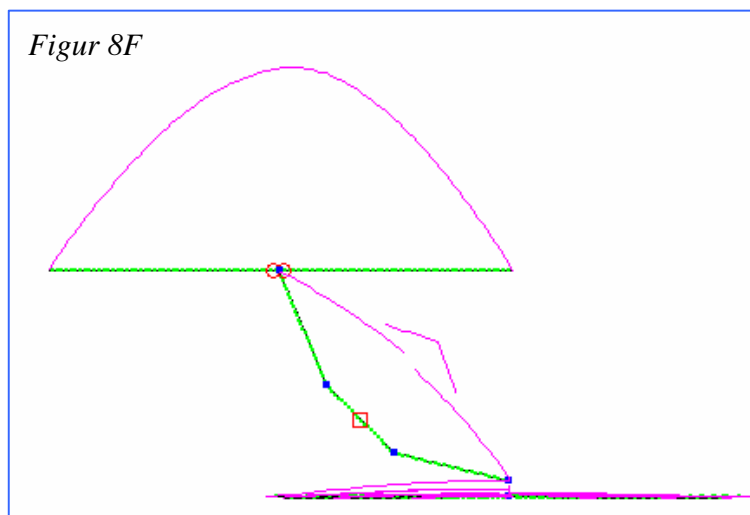
Den ena ledaren i feedern är jordad vid sändaren. Sändaren är jordad till HF jordtag. Feedern är ansluten till matningspunkten via en spänningsbalun. Obalansströmmens amplitud är störst vid sändaränden (ca 12 % av antennströmmen uppe vid matningspunkten) och noll i övre änden av ledningen

### E Spänningsbalun vid antennens matningspunkt, flytande utgång från ATU



Obalansströmmens amplitud är störst mitt på matarledningen (ca 7 % av antennströmmen uppe vid matningspunkten) och är noll i båda ändar av matarledningen

**F ATU-utgång flyter. Spänningsbalun placerad vid antennens matningspunkt. En j500 ohm strömbalun ( $Q = 25$ ) placeras mitt på matarledningen.**



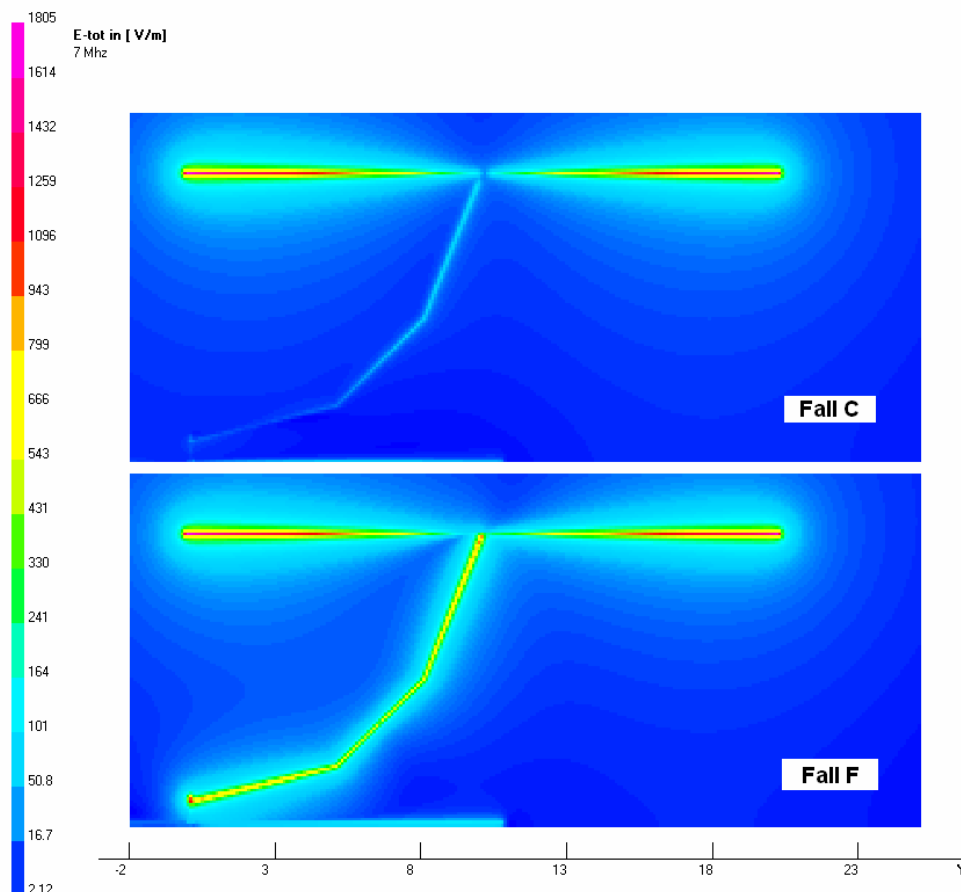
*Det här exemplet ger ett något överraskande resultat som man knappast kunnat förutse enbart genom att titta på geometrin. Obalansströmmens amplitud är störst mitt på matarledningen, blir där ca 50 % av antennströmmen maximalvärde och den är noll i båda ändar av matarledningen.*

Den stora ökningen av obalansströmmen jämfört med föregående fall kan förklaras: den fysiska längden som matarledningen har (ca 14.7 m) är lagom för att strömbalunen ska fungera som en förlängningsspole så att matarledningens elektriska längd blir nära en halv våg. Matarledningens blir "resonant på längden" och obalansströmmen blir stor – obalansströmmen "ser" två parallellkopplade halv vågor. Det är inte alltid baluner verkar som man kunde tro!

### **Diskussion av simuleringsresultaten**

Det är intressant att se hur mycket resultaten kan variera när man matar en enkel dipol på olika sätt – alla sätten A – F är ju faktiskt tänkbara utan att bryta mot några goda tekniska principer. Tänk på att sex exemplen visar hur det kan bli med *just den här* antenn-feederkombinationen. Med en längre matarledning, en annan antennhöjd eller lutning hos antenn eller mark kommer strömfördelningen att bli annorlunda och det är svårt att dra alltför många allmänna slutsatser. Många rekommenderar ju användning av matarledningar som är en halv våglängd, men det kan ge problem om matarledningen hänger snett i antennens plan.

Fallet **A** är kanske det vanligaste och visar sig ge en ganska måttlig obalansström. De bästa resultaten ges av **C** och **E** medan fallet **F** bör undvikas. Man ska undvika fria ledare med elektriska längden nära en halv våg nära antennen eller jordade ledare med en elektrisk längd nära en kvartsvåg. Men ibland är det inte så lätt att upptäcka dem – belysningsstolpar, stag för kraftledningar, stuprännor! Användning av strömbaluner kan ge en induktiv belastning i vägen för obalansströmmar vilket medför en ökning av strömvägens elektriska längd och ge oönskade resonanser varför balunens induktans bör väljas med viss omtanke. Figur 9 visar en jämförelse mellan närfälten vid alt. **C** och alt. **F**:



Figur 9

Alt. **F** medför en betydligt högre elektrisk fältstyrka (75 -100 V/m vid 100 W sändareffekt) i huset och nära operatören än alt. **C** ( fältstyrka < 10 V/m) och demonstrerar tydligt varför man kan få problem ned ”HF i shacket” och störningar när det finns stor obalansström! Observera att bilderna i figur 9 avser det elektriska närfältet – bilderna säger ingenting alls om hur strålningsfältet i fjärrzonen är beskaffat.

### **Antennförstärkning**

En kontroll av antennförstärkningen i fjärrfältet (tvärs antennen i elevation ca 30 grader) visar att den varierar försumbart litet för samtliga matningsfall A - F; den beräknade variationen är mellan ca 3.75 dBi och 3.85 dBi, d.v.s. 0.05 dB upp eller ner – ”en hundradels S-enhet”. I antennens längdriktning (vertikalpolariserad strålning) påverkas strålningsdiagrammet mera och blir något osymmetriskt i förhållande till antennens H-plan.

### **Tekniska termer**

Att ”märka ord” är sällan populärt i vardagsdiskussioner – ”du vet ju vad jag menar” är en vanlig replik när man börjar bli frågvis. Men i tekniska diskussioner är det ofta viktigt att vara mer precis i ordvalet så att vi lägger in samma betydelse i termerna; då undviker man lättare missförstånd. Med utgång från diskussionen ovan vill jag därför bidra med några kommentarer och försök till preciseringar:

### **Strömbalans i ledning (strömsymmetri)**

**Definition:** En transmissionsledning har strömbalans när vektorsumman av strömmarna på ledningen alltid är noll i varje tvärsnitt av ledningen

**”Balanserad matning av antenn”**

*Definition:* En antenn matas balanserat om vektorsumman av strömmarna i matarledningarna är lika stora och i motfas just vid deras anslutning till antennen.

*Kommentar:* Detta förhållande garanterar inte att matarledningen har strömsymmetri.

*Eller:* en antenn kan vara balanserat matad fast det inte råder strömbalans längs matarledningen.

**”Balanserad ledning”**

*Kommentar:* Termen används ofta som beteckning på en symmetrisk transmissionsledning, t.ex. en bandkabel eller ”stege”. Men man kan inte bara köpa ”balanserad ledning” på postorder eller över disk.

**”Balanserad tuner (ATU)”**

”Balanserad tuner” är benämningen på en antenntuner som är symmetriskt uppbyggd och har flytande (eller svävande) utgång. Den är mekaniskt och elektriskt symmetrisk i förhållande till det ledande plan den står på och dess utgång är flytande.

*Kommentar:* Att använda en sådan tuner garanterar inte att man får strömbalans på den anslutna matarledningen.

**”Balanserat antensystem”**

*Kommentar:* Som den ofta används är termen tvetydig – avser den en geometrisk symmetri i uppbyggnaden eller en elektrisk symmetri i strömfördelningen, eller ev. båda? Eller avser man bara ”balanserad matning”?

**Till slut – några råd**

Huvudsyftet med diskussionen ovan har varit att förklara bakgrunden till osymmetri i antensystemet och hur den kan yttra sig, men inte att värdera storleken av eventuella problem. Läsaren har kanske fått intrycket att jag ”målar fan på väggen” beträffande strömbalans på matarledningen – att det skulle vara något farligt. Men så illa är det oftast inte – har man inte akuta störningsproblem hemma eller hos grannarna eller har högpresterande riktantenner med matarledningar som hänger snett och vint behöver man inte vara särskilt orolig.

Obalans i antensystemet ger i första hand påverkan inom antennens närfält – den s.k. induktiva zonen. De operativt märkbara inverkningarna kan vara ökad störnivå vid mottagning och störningar vid sändning samt eventuellt anpassningsproblem. Vid osymmetriska multibandantenner är det nog helt nödvändigt att använda en (eller kanske flera) baluner därför att strömfördelningen i systemet blir olika för varje band, Fjärrfältegenskaper som antennförstärkning och strålningsvinklar påverkas mindre av obalansströmmar så länge man talar om enklare en-bands HF-trådantenner.

Det finns faktisktleverantörer som ”gjort en dygd av nödvändigheten” och framhåller den ökade vertikalstrålningen från en dipols ändar p.g.a. obalansströmmar på matarledningen till ett säljargument – men den ökningen är faktiskt inte värd så mycket i operativa dB, se t.ex. [10]. Det finns också en flora av små ”mirakelantenner” på marknaden vilkas verkan helt eller till allra största delen bygger på obalans i antensystemet – det är obalansströmmen på

matarledningen och inte "antennen" själv som ger antennverkan. Här har uppfinnarna inte bara gjort en dygd av nödvändigheten utan "bitit huvudet av skam". I och för sig kan antensystem med en sådan "antenn" fungera hyggligt under förutsättning av att man använder en lagom lång matarledning och har ett bra HF-jordtag, men de är ointressanta eftersom de är krångliga och dyra lösningar på det ganska enkla problemet att mata en kort vertikalantenn mot jord. Ibland marknadsförs de med stöd av "Musse Pigg -teorier" om nya naturlagar som saknar fysikalisk grund och aldrig har kunnat verifieras i laboratoriet. – sådana teorier kommer bara att göra den som vill experimentera besviken.

För riktantenner kan osymmetri ge problem med att backlobsundertryckningen F/B varierar runt varvet (antennen "skelar") eller också är F/B allmänt för låg – i ARRL-s *Antenna Handbook* (Ed.19 sida 26-20) ges ett instruktivt exempel på hur obalans kan påverka F/B hos flerements Yagiantenner.

Om man har indikationer på problem i form av "HF i shacket", störningar eller resonanser som verkar ligga fel är mitt råd att först se över sitt jordningssystem, eventuellt förbättra eller förenkla det, och sedan försöka bedöma graden av obalans genom att mäta strömbalansen på matarledningen. Att förbättra jordsystemet är enkelt i teorin men kan vara besvärligt i praktiken om man har många apparater anslutna till transeivern och många nätuttag, men grundprincipen är att som ett första steg försöka separera ledningar som ska/måste föra HF-strömmar från de ledningar som för nät- och manöverspänningar och i samband med detta också avgöra om anslutningen av matarledningen till ATU behöver ändras.

Nästa steg är att mäta graden av obalans på matarledningen. En kvalitativ testmetod som ofta rekommenderas (jag har själv gjort det i en antennartikel för några år sedan, vilket jag ångrar) är att ta tag i matarledningen med handen (om den är en koaxialkabel) och se om SWR ändras. Metoden är inte bra, för man kan likaväl hävda att om ledningen skulle ha god (men inte perfekt) strömbalans inför man en obalans i antensystemet genom att ta i ledningen. Bättre är att bygga eller köpa en HF-indikator, se [7], som är ett enkelt och okomplicerat mätdon.

Ström- eller spänningsbalun? Spänningsbaluner är litet knepigare att applicera än strömbaluner eftersom de bör belastas med ungefär den impedans de är beräknade för – om belastningsimpedansen fluktuerar för mycket omkring det rätta värdet kan man få oönskade resonansfenomen eller överhettning av kärnmaterialet p.g.a. mättning. Spänningsbaluner för höga spänningar är ibland svåra att konstruera och tillverka eftersom avvägningen mellan många varv, stor och tung kärna och egensresonansfrekvens är inte så lätt. Strömbaluner å sin sida ger ingen verkan om de placeras på ställen där impedansnivån är hög (strömmen är liten) och kan bli överhettade om de belastas med för låg impedans. Balunteknik är ganska komplicerad och läsaren hänvisas till litteraturen, se t.ex. [11, 12]. Det finns många leverantörer av bra baluner.

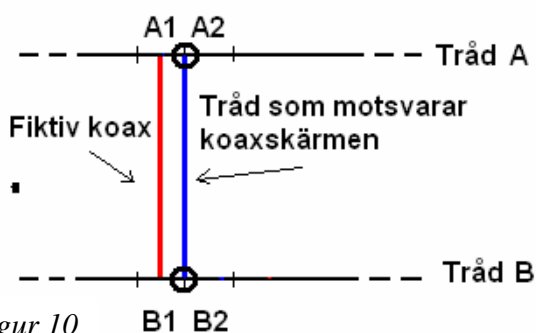
.



## Appendix – simulering av koaxialledning och baluner

### Koaxialkabel som matarledning – simuleringsmodell

Man kan simulera inkoppling av koaxialkablar i en antennmodell med obalansström ganska noggrant i NEC2-baserade simuleringsprogram (inte i MMANA – det är Mininecbaserat och innefattar tyvärr inte modeller av transmissionsledning).



Figur 10

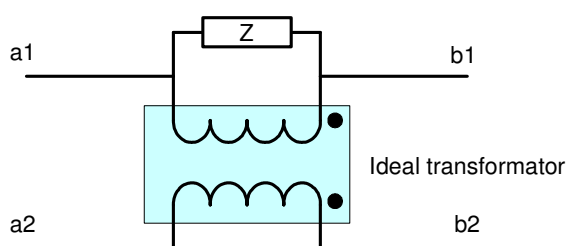
Figur 10 intill visar del av en simuleringsmodell i t.ex. Eznec.

Vi vill förbinda segmentet A1 på tråd 1 med segmentet B1 på tråd 2 via en koaxialledning. Trådarna A och B måste ganska tätt segmenterade för att man ska få bästa precision i placeringen av koaxialledningen.

Segmentet A1 (center) förbinds då med B1 (center) via en fiktiv koax- eller transmissionsledning (röd) och noden mellan segmenten A1 och A2 förbinds med noden mellan B1 och B2 med en tråd (blå). Denna tråd representerar koaxialkabelns skärm. Noderna mellan A1 och A2 resp. B1 och B2 måste vara definierade som ändpunkter för trådar i antennstrukturen (markerat med ringar). Det här sättet att representera en koaxialkabel är approximativt, men bör ge en hygglig kvalitativ uppfattning av kabelns inverkan i systemet (se appendix 1). En bra genomgång av modeller för koaxstumpar ges av L B Cebik i [6].

### Strömbalunen

En enkel kretsmodell för strömbalunen är en ideal transformator med omsättningen 1:1, vars ena lindning är parallellkopplad med en impedans  $Z$  som är lika med den impedans som lindningen skulle ha om den vore en enkel lindning på det valda kärnmaterialet, figur 11



Figur 11

Om en ferritkärna för låga frekvenser används blir impedansen  $Z$  huvudsakligen resistiv p.g.a. de höga förlusterna i kärnmaterialet; med ferritmaterial för höga frekvenser blir impedansen huvudsakligen induktiv.

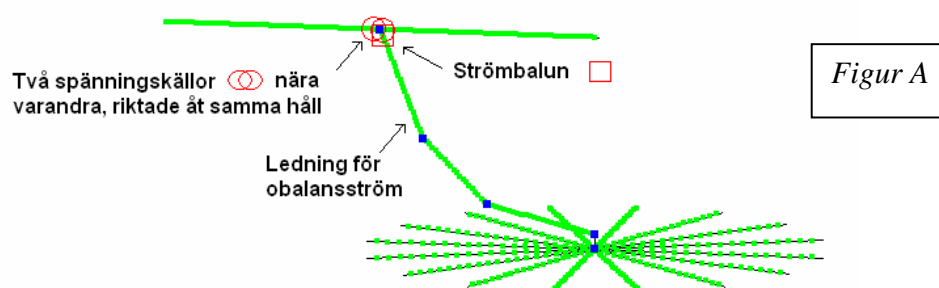
Simuleringsmodellen för en balun är enkel: en induktiv last i den tråd som representerar koaxialskärmen. Glöm inte att ansätta ett  $Q$ -värde!

Man kan mäta  $Z$  hos en balun genom att t.ex. mäta impedansen mellan punkterna  $a2$  och  $b2$  när  $a1$  och  $b1$  lämnas öppna (mät vid rätt spänningsnivå). När man tillverkar baluner genom att linda en flervarvig slinga av koaxialkabel på luft eller en ferritkärna representerar  $Z$  impedansen som möter den ström som flyter på kabelskärmens utsida, medan den ideala transformatorn motsvarar den starka elektromagnetiska kopplingen mellan strömbelägg-

ningarna på kabelns innerledare och insidan av skärmen. Med en koaxialledning blir modellen ovan dock tveksam när arbetsfrekvensen börjar närma sig egenresonansfrekvensen för endera induktorn i balunen – i sådana fall måste Z kompletteras med en parallellkapacitans med lämpligt värde. Vid en multibandantenn kan det vara klokt att använda flera baluner för att undertrycka obalans både vid höga och låga frekvenser.

### Simuleringsmodell för dipolen i figur 9

I modellerna bakom simuleringarna för figur 9A – 9F har ett litet konstgrepp använts för att slippa trassla med koaxialelement i antennenmodellen. I stället för att placera en drivande spänningskälla ("source") nere vid marken har modellen för drivningen av antennen realiserats med två lika spänningskällor placerade tätt intill varandra på var sin sida om dipolelementets mittpunkt, se figur A.



Detta sätt att lägga in källorna representerar den aktiva differentiella drivningen av antennen och då kan strömvägen för obalansströmmen representeras med *en enda tråd* ner till sändarens nivå. Om ATU har flytande utgång lämnas tråden öppen där, annars kopplas den till jordtaget. En intressant slutsats är att fördelningen av obalansströmmar faktiskt är oberoende av vilken typ av matarledning man använder. .

Med denna modell ger simuleringen direkt värden på obalansströmmen, men man missar å andra sidan värden på matningsimpedansen i änden nere vid sändaren – detta bör spela mindre roll eftersom varken feedertyp, ATU-ns inställning eller ev. omsättningstal hos spänningsbaluner behöver specificeras.

En spänningsbalun uppe vid dipolens matningspunkt modelleras enkelt genom att lägga in ett kort avbrott mellan antennens mittpunkt och "obalanstråden". Den här modellen är litet approximativ, men inte desto mindre bör de kvalitativa jämförelserna i figurerna 8 och 9 duga som "proof of principle".

## Referenser

1. "Putting a Balun and a Tuner Together", Kevin Smith, W9CF, <http://fermi.la.asu.edu/w9cf/articles/balun/index.html>

2. W7EL har skrivit flera bra rapporter om baluner och tuners, se <http://eznec.com/misc/ibalbrf.txt> och <http://eznec.com/misc/ibalun.txt>

Roy Lewallen, W7EL, "Baluns: What They Do and How They Do It", *The ARRL Antenna Compendium*, Vol. 1, pp. 157

3. "A Balanced Balanced Antenna Tuner". av Richard L. Measures, AG6K  
<http://www.somis.org/bbat.html>
4. RadCom "In Practice" av Ian White, GM3SEK
  - 4.1 RadCom Dec 2005, pp 86-87, "Myths of 'Balance'"
  - 4.2 RadCom Aug 2006, pp 68, "What am I measuring?"
5. "A New Generation of Balanced Antenna Tuners" Joel R. Hallas, W1ZR  
<http://www.palstar.com/qstAT1500bal.pdf>
- 6 "The Dipole and the Coax", L B Cebik, W4RNL, [www.cebik.com/amod/amod100.html](http://www.cebik.com/amod/amod100.html)
- 7: "Clip-on RF Current Meter" <http://www.ifwtech.co.uk/g3sek/clip-on/clip-on.htm>
8. "Balun and Transformer Core Selection", W8JI, [http://www.w8ji.com/core\\_selection.htm](http://www.w8ji.com/core_selection.htm)
9. "Jim's Notebook" <http://radioworks.com/nindex.html>
10. L. B. Cebik, W4RNL "Vertically Radiating Horizontal Antennas: Some Methodological Problems", <http://www.cebik.com/wire/vrd.html>
11. *Transmission Line Transformers*, Prof. Niknejad, University of California, Berkeley  
<http://rfic.eecs.berkeley.edu/~niknejad/ee217sp05/lect10.pdf>
12. Bok: "*Transmission Line Transformers*", Jerry Sevick, W2FMI., Noble Publishing Corporation. (ISBN: 1-884932-18-5)

Till sist ett citat från professor Kirk McDonald, Joseph Henry Laboratories, Princeton University:

***"If one thinks of an antenna as a waveguide, whose function is to reflect/redirect power from an rf source, one more readily understands that antenna performance can be greatly affected by conducting wires, towers, metal fences, etc, even if these are not directly electrically connected to the antenna, so that achieved antenna performance can be rather different from that of idealized calculations."***