

Uudenlainen HF-antenni: Tripoli

Ei monopoli, eikä dipoli, vaan tripoli!

Michael Fletcher, OH2AUE

Tässä artikkelissa esitellään kolmivaiheisen RF:n konsepti, kolmivaiheisen RF:n siirtoa trilead-syöttöjohdolla, sekä kolmivaiheisen tripoli-antennin periaatteet. Artikkelissa keskitytään radioamatöörien NVIS-käyttöön optimoidun inverted-Y-tripolin toteuttamisvaihtoehtoihin.

1-2-3 vaihetta

Työpaikalla on pitkään pohdittu kolmi- ja useampivaiheisen RF:n olemusta. DC-tasajännitejakelun rinnalla ensimmäiset 50/60 Hz:n vaihtosähköjärjestelmät olivat yksivaiheisia ja elettiinpä hyvin lyhyt hetki kaksivaihejärjestelmänkin enemmän tai vähemmän hedelmällistä aikaa. Tässä kaksivaihejärjestelmässä vaihtovirta oli kvadratuurissa (90 asteen kulmassa toisiaan vasten) ensisijaisesti moottorikäyttöä varten ja on meille radioihmisille tutumpi IQ-maailmasta. Tämän kaksivaihejärjestelmän ongelmat, aivan kuten IQ-maailman ongelmatkin ovat origo- ja särökeskeisiä, kun taas jo varhain siirtyminen kolmivaiheiseen sähkönsiirtojärjestelmään ratkaisi kaikki kaksivaihejärjestelmän ongelmat kerralla.

Tässä artikkelissa keskitytään "moottoriin" eli antenniin, mutta sivutaanpa "kolmivaiheista sähköä jakelua", eli RF-siirtojohtoa.

Kolmivaiheinen siirtojohto

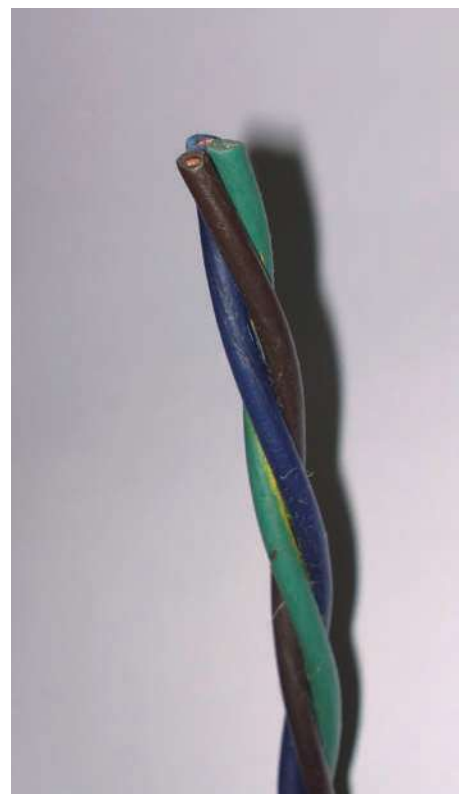
Ajatellaanpa tavallista kolmivaiheista generaattoria (myöhemmin: radiomme): meillä on kolme sinimuotoista komponenttia, jotka ovat 120 asteen erossa toisistaan (kuva 1). Nämä sähkömaailman 50 Hz:n komponentit siirretään "pakusähkömaailmassa" kolmijohtimisella avolinjajärjestelmällä ja vasta aivan viime vuosina on kaapelitekniikka kehittynyt niin, että myös 20 kV:n "keskijännitekaapelointi" voidaan laittaa nippuun ja yhdeksi kaapeliksi esimerkiksi maahan

Kuva 2. VSKB kierretty johto, rakenne (ei sovellu kolmivaiheiseen RF:n siirtoon suojamaan kevi-väriytyksen johdosta, paranomasia-vastuulauseke pätee).

kaivamista varten. Aikaisemmin piti kolmivaiheisen sähkönsiirtojärjestelmänkin linjoja vuorotella määrävälein balanssin säilyttämiseksi (50 Hz:llä) aivan kuten avolinjoin toteutetussa lankapuhelinjärjestelmässäkin (300 - 3400 Hz ja myöhemmin se oli melkein pä purettava jo RF:ää muistuttavan vielä kriittisemmän kantoaaltojärjestelmän vuoksi). Kierretyllä kaapeloinnilla tämäkään ei ole enää tarpeen, ja koska eri vaiheiden virtojen huippuhetki esiintyy eri aikoina, on niiden summa tasaisella kuormituksella nolla eikä erillistä paluutietä, "nollaa", tarvita laisinkaan.

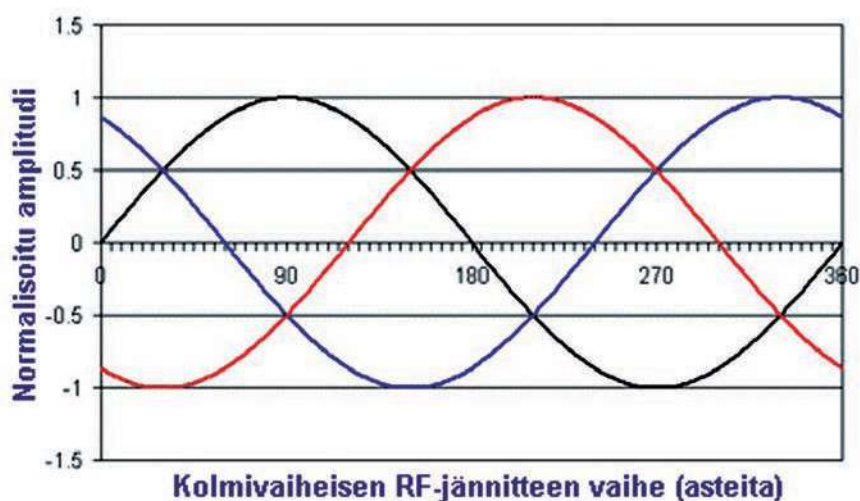
Koaksiaali ja Goubau-linja, Twin-Lead, Tri-Lead

Nämä edellä kovin yksinkertaistetut prosessit ovat täysin sovellettavissa myös radiotekniikassa ja jotkut meistä hamsseistakin ovat käyttäneet "huonekalujohtoa" dipolin avolinjana menestyksekkäästi. Kolmivaiheinen RF:n syöttö antennille ei ole sen kummempaa. Puuttumatta tässä palstatilan puutteen vuoksi sovitustasoihin, tarvitaan vain kolmijohtaminen kierretty kaapeli. MMJ tai VSK-B olisivat kovin houkuttelevia, mutta saamieni sähköturvallisuusmääräysoppien mukaan keltavihreätä KeVi:ä ei saa käyttää mihin-



kään muuhun kuin suojamaadoitukseen. Ei siis kengännauhana, roskapussin sulkemiseen, eikä vasitenkaan tripolian tennin RF-syöttöjohtona (kuva 2).

Koska radiotekniikan maailma ei tunne laisinkaan kolmivaiheista radiotekniikkaa, vaan on jäänyt alkeellisen IQ-maailman tasolle, ei yksinkertaisesti ole olemassa kolmivaiheisia mittaustaitteita. Jos jollakin onnellisella radioamatööriillä on käytössään nelikanavainen oskilloskooppi tai nelikanavainen vektoripiirianaalysaattori, on säätäminen jo suorastaan nautinnollista, mutta jo pelkästään kaksi-



Kuva 1. Kolmivaiheisen RF:n jännitteiden vaihe-erot.

kanavainen oskilloskooppi, kaksikanavainen vektoripiirianalysaattori tai edes kaksikanavainen vektorivolttimittari auttavat säätäjäluonteen omaavaa harrastelijaa rivakasti eteenpäin. Ammattipuolellahan nämä laitteet ovat jokapäiväisiä työkaluja. Skalaaripiirianalysaattori ei tässä juurikaan lohduta, sillä se hallitsee ainoastaan amplitudia, ei vaihetta (jos nyt ei saivarrella ja todeta, että esim. AM-modulaation avulla skalaaripiirianalysaattoristakin voi sen vaiheen puristaa ulos).

Radiotehon siirtämisessä niin radioamatöörit kuin alan ammattilaisetkin ovat jääneet tuolle pitkälle toista vuosisataa vanhalle yksivaiheiselle järjestelmälle, jossa yhdessä koaksiaalissa siirretään signaali ja tapellaan kaiken maailman vaippavirtojen, SWR:ien ja muiden ikävien asioiden kanssa. Yksivaiheinen mainio Goubau-linja on jäänyt todella harvojen herkuksi ja parijohtona toimiva twinlead on sentään joidenkin arvostuksessa, mutta trilead:iä saa etsiä kyllä ihan rauhassa. Tietääkseni toistaiseksi ainoa käytössä oleva antennin trilead-syöttöjohto löytyy Padasjoelta, mikä voisi tietenkin olla jälleen kerran myös loistava geokätkö...

Kaksivaiheisen ja kolmivaiheisen maailman väliin ovat "paksusähköihmiset" aikoinaan kehittäneet ns. Scott-T-muuntajan, jossa tietenkin pelaillaan kolmen neliöjuurella (kaksivaiheisessa maailmassa kikkaillaan kahden neliöjuurella). Tällainen Scott-T-muuntaja on myös täysin tehtävissä RF:llä ja skribenttinne on itse tällaisia orastavasti kokeillut mm. VHF:llä ja HF:llä kolmivaiheisten signaalien tarkasteluun vanhanaikaisilla IQ-vektori- ja konstellaationäytöillä sekä vastaanotinantennien kokeiluissa (kuva 3).

Kolmivaiheinen antenni HF:lle

Mutta miksi tämä tarve siirtää radiotehoa kolmivaiheisella siirtojohdolla? Kovasti on työpaikalla ihmetelty, miksi tyytyä monopoliin (jonka säteilykuvio on ensinnäkin surkea kotimaan työskentelyyn) tai edes dipoliin, joka sentään saadaan säteilemään oikeaan suuntaan kotimaan työskentelyä varten (ylöspäin), mutta joka toisekseen kehittää sekin lineaarisen polarisaation. HF:llä tarvittaisiin optimaalisesti pyörivä polarisaatio ensisijaisesti ("monitie-") häipymisen minimoimiseen, MIMO:sta (Multiple Input, Multiple Out-

put) ja diversiteetistä nyt puhumattakaan. (Itsensä fiksunoloiseksi haluavat ja trendinoloisiksi vaikuttavat saattaisivat puhua myös Angular Orbital Momentumista, mutta pysytäänpä asiassa, eli miksi.) Ideaalinen kiertopolarisaation (pyörivän polarisaation) antenni on luonnollisesti tripoli (kuva 4). Tässä antennissa on siis kolme 120 asteen kulmassa toisiinsa nähden olevaa viikseä ja niitä syötetään helpoiten kolmivaiheisella kierretyllä siirtojohdolla, jollaiseksi käy amatööritille siis tavallisesta verkkojohdosta valmistettu kaapeli.

Antennien kiraalisuudesta

Kiraalisuudella tarkoitetaan kätsyyttä ja määritelmät vasenkätiselle (Sinister) kiertopolarisaatiolle ja oikeakätiselle (Dexter) kiertopolarisaatiolle on esitetty kirjallisuudessa sekä lukuisissa kiertopolarisaatiota koskevissa esitelmissäni. Muistutetaan tässä vielä kerran, että ionosfäärin dominoiva polarisaation kiertosuunta riippuu siitä, ollaanko maapallon pohjoisella vai eteläisellä pallonpuoliskolla maapallon magneettikentän napaisuudesta johtuen (tämä siis 10 pisteen vihjeeksi DX-workkijoille, jotka tähtäävät maailmanherruuteen seuraavan sukupolven antennillaan).

VUSHF-radioamatööritille kiertopolarisaatio on luonnollinen asia ja on tullut tutuksi mm. satelliittien workkimisesta (jossa kiertopolarisaatiolla vältetään lineaarisen polarisaation ristipolarisaatiosta ajoittain syntyvät minimi) sekä EME-kusoilusta (jossa alimmilla taajuuksilla alueillamme esiintyy samoista ionosfäärin mekanismeista johtuvaa polarisaation Faraday-kiertymistä, mutta ylemmillä

taajuuksilla kuun pinnan epätasaisuudesta johtuvaa takaisin sironneen signaalin polarisaation satunnaistumisesta). Suhinabandien workkijat puhuvat jouheasti keskenään RHCP:stä (Right Hand Circular Polarization) ja LHCP:stä (Left Hand Circular Polarization). Sen sijaan tutkimusmaailma on käsitellyt samaa asiaa termeillä Ordinary Mode (o mode) ja Extraordinary Mode (x mode), joiden historia juontaa viime vuosisadan alkupuolelle. Vaan onpa olemassa vielä z-modekin, mutta sekin on jo oma tarinansa, joten yritetään pysyä aiheessa.

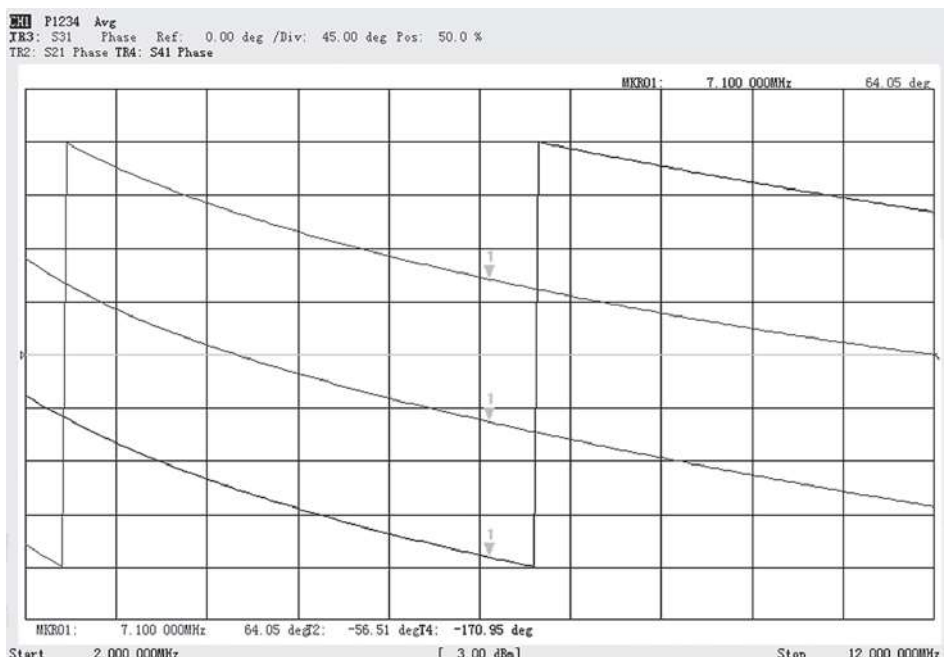
Kiertosuunnan vaihto

Sähköjärjestelmiin perehtyneelle on selvää, että pyörivän polarisaation kiertosuunnan valinta tapahtuu vaihtamalla mitkä tahansa kolmivaihesyötön kaksi vaihetta keskenään, ja radioamatööri tekee tämän helpoiten kaksinapaisella vaihtoreleellä. Tämä jo senkin vuoksi, että kiertosuunta pitää vaihtaa lähetyksellä ja vastaanotolla. Samaan ohjaukseen on tietenkin hyvä rakentaa myös "perusvalintakytkin", jolla valitaan, kummankätinen polarisaatio on käytössä lähetyksellä, jolloin vastakkainen polarisaatio on käytössä vastaanotolla. Toki orastavia polarisaatiokokeiluja voi tehdä ihan vipukytkimellä tai vaihtamalla vain johtimia keskenään käsin (oh2aue-YouTube-kanavalla on useita esimerkkejä tästä).

Inverted-Y NVIS-Tripoli

Ensimmäinen tripoli syntyi hetken huumassa, kun näitä asioita oli pohdittu hyvin laajasti OH2JCP:n kanssa hyvän

Kuva 3. Scott-T-muuntaja HF:lle, vaihe-ero-plotti.



tovin. Tripolia oli "speksattu" jo pari vuotta ennen kuin syntyi inspiraatio rakentaa HF:stä skaalattu malli SHF:lle ja noin tunnin rypistyksen jälkeen oltiinkin jo mittaamassa 2,4 GHz:n kolmiviiksisistä tripolia, jonka pikamittaukset sisätiloissa oikeakätisesti ja vasenkätisesti pyörivillä helixeillä osoittivat systeemin toimivuuden. Tulokset olivat niin kertakaikkisen lupaavia, että siltä istumalta oli siirryttävä ulkotiloihin kannibalisoimaan suko-jatkojohtoa ("CEE 7/4") siirtojohdoksi sekä leikkaamaan lankaa 40 metrin bandin viiksien elementeiksi. Koko komeus nostettiin maaston kosteus huomioiden ja yleisenä valistuneena arviona 9 m:n korkeuteen ja ensimmäiset testit käynnistettiin. Tarvittiin vielä aimo annos säätämistä ja punnertamista, mutta viikon rupeaman jälkeen oli tripoli saanut syöttöönsä lähetintehojakin hyvin kestävän kolmivaiheisen syöttöjärjestelmän. Antenni toimii erinomaisesti, ja inverted-Y-asennossa on antennin lähtökulma juurikin toivottu eli suoraan ylöspäin. Kotimaan signaalit OH-maan päästä päähän tulevat niin kuin 40 m:llä pitääkin, paitsi merkittävästi vähemmällä häipymisellä. Myös aurin gon ollessa aktiivinen on polarisaation valinnasta etua, sillä mm. kiertosuunnan

käännyttyä "väärinpäin" pystyy silti hyödyntämään hetkellisesti tehokkaampaa "väärän" napaisuuden polarisaatiota.

Vaiheensiirtimistä

Kuvassa 5 on esitetty eräs ratkaisu inverted-Y-tripoliantennista syöttöjärjestelmään. Jos käytettävissä on tavallinen transceiver, eikä ohjelmistoradio, tarvitaan RF-signaalin prosessoimiseen jonkin verran rautaa. Jos katsotaan tilannetta lähettimen kannalta, tulee lohkokaaion tapauksessa signaali normaalilla 50 ohmin koaksiaalilla trigatuurihybridille, jossa tämä teho jaetaan kolmeen sama-amplitudiseen lähtöporttiin, jolloin ideaalisesti kunkin portin lähtöteho on kolmasosa lähettimen tehosta (teoriassa siis -4,77 dB) siten, että kunkin lähtöportin välillä on 120 asteen vaiheensiirto. Trigatuurihybridin kolme muuta porttia ovat balansointipäätevastuksille ("roskakoreille"), jotka voidaan romulaatikosta löytyvien komponenttien ohjaaman valintamekanismin perusteella kytkeä tähteen tai kolmioon. Hybridin voi rakentaa hyvin monella eri tavalla, mutta kyseisissä kokeiluissa on käytetty enimmäkseen menetelmää, jossa on rakennettu toroideilla kolmeen jakaja Wilkinson-periaatteella. Itse vaiheistus voidaan toteuttaa tietenkin yksinkertaisimmillaan bandikohtaisesti koaksiaalilinjalla, mutta esimerkiksi 80 m:llä on reilussa 50 metrisessä 240 asteen vaiheensiirtokoaksiaalissa äkkiä aika paljon vaimennusta myös. On myös lu-

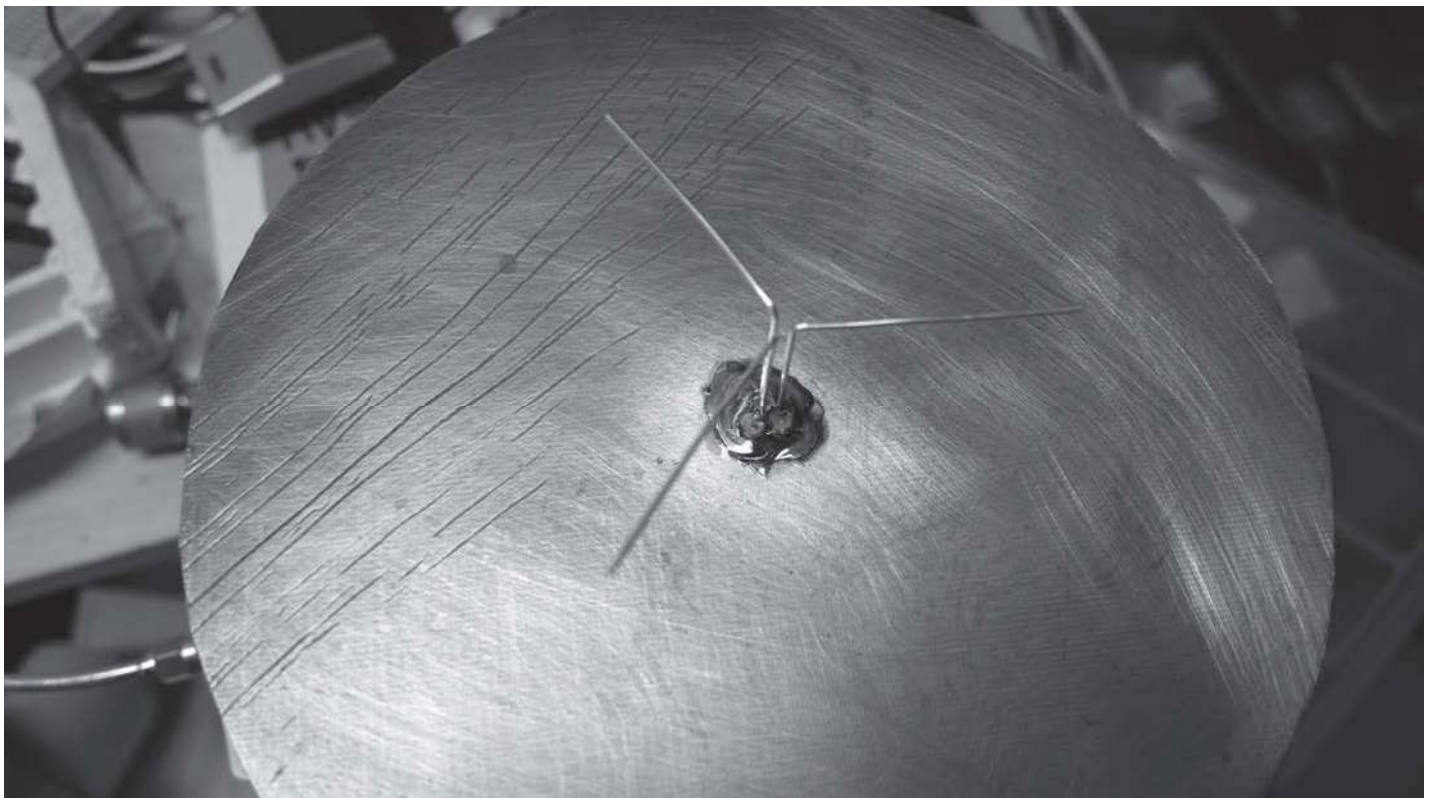
kuisia LC-viivelinjaratkaisuja. Toteuttaessa kiertopolarisaatio ristidipolein on 90 asteen kvadratuuri tehty helposti yksinkertaisella pii-suotimella. Porrastamalla vaihesiirto useampaan pieneen pykälään saadaan haluttaessa myös 120 ja 240 asteen viiveet tai vaikkapa 60 ja 120 asteen viiveet. Haasteellisempaa on laajakaistarakituksen toteuttaminen, mutta tällainen syntyy esimerkiksi kvadratuurirakenteisilla allpass-suotimilla ja Scott-T-muuntajan yhdistelmällä, mutta tähän pitää löytää myös impedanssien vakausratkaisu. Variaatioita on lukuisia, mikä on tietenkin radioamatööritoiminnan rikkauksia. OM Kride, OH2FHJ, on ideoinut käyttävänsä ensin 180 asteen hybridiä, jolloin tarvittaisiin "enää" 60 astetta vaiheensiirtoa.

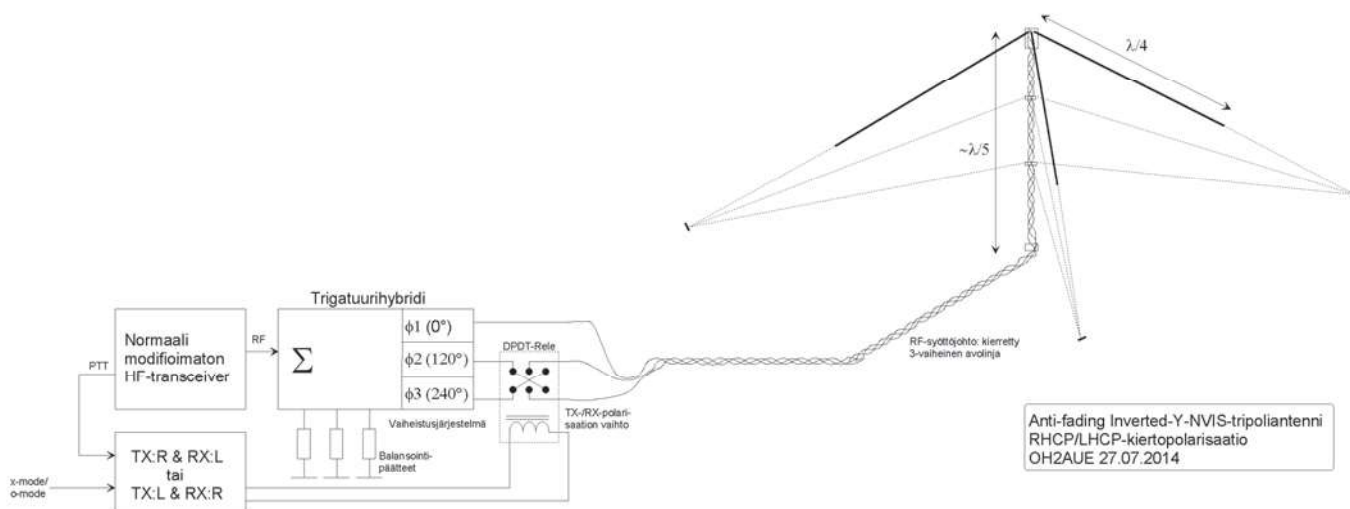
Se että millä polarisaatiolla kannattaa lähettää ja kummalla vastaanottaa riippuu käytetystä bandista, kelistä ja, kuten jo mainittu, maapallonpuoliskosta. Asia on vielä kotimaan kusoissa yksinkertainen käsittää ja käsitellä, mutta tietenkin DX-tapauksessa tilanne on huomattavasti monimutkaisempi kompleksisen linkkijänteen vuoksi.

Historian kertausta

Olen usein kuullut sanottavan, että kaikki on jo keksitty, että mitään uutta tutkittavaa ei enää ole. Se on totta, että monet asiat on keksitty 100 - 200 vuotta sitten, mutta radiotekniikan puolella ei välttämättä noihin aikoihin ollut niitä työkaluja ja komponentteja, joita nyky-

Kuva 4. 2.4 GHz tripoli.





Kuva 5. Antifading inverted-Y NVIS-tripoli kolmivaiheisella kierretyllä trilead-syöttö-kaapelilla.

päivänä on saatavilla noiden vanhojen keksintöjen toteuttamiseen. Tästä käy hyvänä esimerkkinä matkapuhelintekniikka ja yleisradiolähettimien linearisointitekniikat, joita on sovellettu laajemmalti vasta viime vuosina, vaikka ensimmäinen EER-linearisoitu SSB-lähetin on rakennettu Leonard Kahnin toimesta jo 1952. Chireix-tekniikkaa käytettiin yleisradiopuolella jo alusta alkaen, mutta EER- ja Doherty-tekniikkaa on sovellettu laajemmin ammattitekniikassa vasta viime vuosina. Radioamatöörit ovat olleet tietenkin edelläkävijöitä jo 1970-luvun

alusta EER-tekniikasta kehitetyllä HELAPS-tekniikalla, jossa sitä on käytetty satelliittitranspondereissa ja vasta tämän jälkeen otettiin HELAPS käyttöön myös joissakin kaupallisissa satelliiteissa.

Artikkelissa käsiteltävän HF-signaalien kiertopolarisaation aiheuttavat prosessit on osoitettu teoreettisesti 1928 ja osoitettu kokeellisesti 1934, mutta soveltaminen on jäänyt melkein täysin pelkätään tutkimusmaailman kuriositeetiksi, vaikka tästä olisi iso apu niin ammattilaisille kuin amatööreillekin. Tripoli antennien teoreettisia käsittelyjä ilmaantuu ajoittain varsinkin UHF:lle, mutta HF-sovellukset ovat loistaneet poissaolollaan vailla mitään muuta järkevää syytä kuin se, että ionosfäärin asettamien kiertopolarisaation haasteita ja mahdollisuuksia ei ole ymmärretty kuin hyvin pienissä ammattilaispiireissä. Vanhimmat löytämäni tripoli-kirjallisuusviittaukset ovat

1950-luvulta, mutta HF:lle ei tätä mainiota ratkaisua ole tietävästi ehdotettu aiemmin. Tripolissa on useita etuja, mm. edellä tulleiden seikkojen lisäksi vaikkapa mekaaniset toteutusmahdollisuudet.

Haaste

Trilooppi on ns. peruskauraa, ja on toteutettavissa samoin eduin kuin täysimittaiset ristidipolit, mutta toteutettaessa se sähköisesti lyhyenä voidaan optimoida saavuttaa lisäksi pääsääntöisesti magneettikenttään kytkeytyvän antennin kaltainen lähtökulma ja signaali/häiriö-suhde-etuisuus. Analogisen syöttämisen monimutkaisuus asettaa kuitenkin radioamatöörille omat haasteensa.

Mutta kukapa rakentaa ensimmäisen kolmioon kytketyn deltapolin kotimaan HF-työskentelylle tai kolminapaisen Yagi-Uda-biimin DX:ien workkimiseen?

SRAL:s medlemssidor

Medlemmarna har tillgång till styrelseprotokoll, gamla nummer av tidningen RA i pdf-format mm. på medlemssidorna i SRAL:s webb. Adressen är www.sral.fi

members. För att komma åt materialet måste man ha ett användarnamn och ett lösenord. Man kan registrera sig på samma sida om man har egenanrops-

tjänsten i bruk, annars måste man be om registrering av webmaster@sral.fi.

Ilmoita kutsumuutoksista QSL-piirimanagerille

Kun hankit uuden kutsun, muista ilmoittaa kutsun numeron mukaiselle QSL-piirimanagerille minne haluat korttisi. Jos sinulla on esimerkiksi OH3-alkuinen kutsu, ota yhteyttä

OH3-piirin QSL-manageriin. Voit pyytää kortit esimerkiksi SRAL:n toimistolle tai paikalliskerholle, jos olet kerhon jäsen. Jos haluat kortit suoraan kotiin, sovi postimaksujen maksamisesta QSL-piir-

managerin kanssa. QSL-piirimanagerien yhteystiedot saat OH-luettelosta, SRAL:n toimistolta tai Liiton kotisivuilta osoitteesta <http://www.sral.fi/sral/toimihlot.html>.