

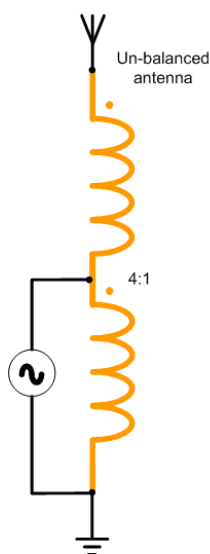
# A Ruthroff típusú, széles sávú feszültség-transzformátorok tervezése

M. Ehrenfried – G8JNJ

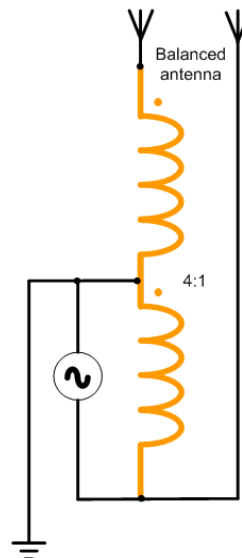
Magyarra fordította: HA5JA Attila, 2023.03.31.

## Bevezető

Kezdetben széles sávú Ruthroff transzformátorok tervezését tanulmányoztam, miután készítettem néhány HF-antennát. Az alábbi problémák különösen akkor jelentkeztek, amikor egy ilyen transzformátort rövid vertikális antennához szereltem, amelynek segítségével külső, koax kábeles hangolót (Tuner-t) használhattam. Széles (1 - 55 MHz) sávot akartam átfogni, és az antennák optimalizálása során azt tapasztaltam, hogy nehézségekbe ütközik számos szélessávú transzformátor megfelelő működése, különösen a különböző publikált tervek felhasználása esetén, melyek az alacsony permeabilitású, 2-es vagy 6-os típusú por-vasmagok használatát javasolták. A felmerülő problémák a korlátozott sáv szélesség, az alacsony impedancia-transzformáció, a magas átmenő veszteség és a saját rezonanciából eredő nagy impedancia-mélység különösen akkor, amikor reaktív terhelésekkel, pl. antennákkal használják őket. Ezekből a problémákból sokat a széleskörűen használt, alacsony permeabilitású mágneses anyagok használatával lehet összefüggésbe hozni, amelyek szerintem nem alkalmasak erre a célra. A tanulmányozás közben felfedeztem más tényezőket is, amelyeknek kulcsszerepük van egy sikeres tervezés végrehajtásában. Ezek közül néhány nem teljes mértékben egyezik meg az eddig megjelent cikkekben szereplő információkkal, és jó ötletnek tartom, ha bárki visszajelzést ad az alábbiakban felvázolt témákban.



Ez a jegyzet elsősorban a 4:1-es, mindkét felől kiegyenlítettlen (UnUn), Ruthroff , feszültség transzformátorok építésével kapcsolatos, ahol a tekercsek egyik végét a földre kapcsolják, és a középső kapcsolódási pont használható 50 ohmos táplálási pontként. Ez a konfiguráció kisebb felső frekvenciahatárt tesz lehetővé ugyanannál a transzformátornál, ha egy szimmetrikus terhelést táplálunk vele. Az okát később magyarázom el. Az alapelvek sok esetben érvényesek lesznek más impedancia-arányokhoz, illetve, szimmetrikus-aszimmetrikus (BalUn) átalakítók esetén is.



Dokumentáltam az eredményeimet és összefoglaltam a hatékonyságra gyakorolt hatásokat. Annak érdekében, hogy bemutassak néhányat a megfigyelt problémákból, három T200A-2 maganyaggal tekercselt trafót készítettem el és mértem meg a teljesítményüket.

A grafikonok sorrendje kapcsolódik az alábbi transzformátorokhoz.



**Piros** görbe - 1mm-es zománcozott rézhuzal, szorosan bifilárisan tekercselve. (Ennél a példánál a mag PTFE [teflon] szalaggal van körbetekerve, hogy elkerüljem a lakkszigetelés sérülését). Ezzel a konkrét dizájnnal játszottam a teljesítmény optimalizálása és a jó egyenletes válasz érdekében. Ne feledje, hogy a tekercselés nem egyenletesen helyezkedik el a gyűrű mag körül. Erről később még említést teszek.

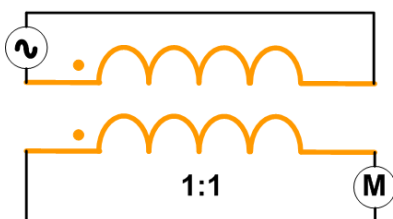


**Kék** görbe – kéteres hangszórókábel, sok publikált kivitelre jellemző.



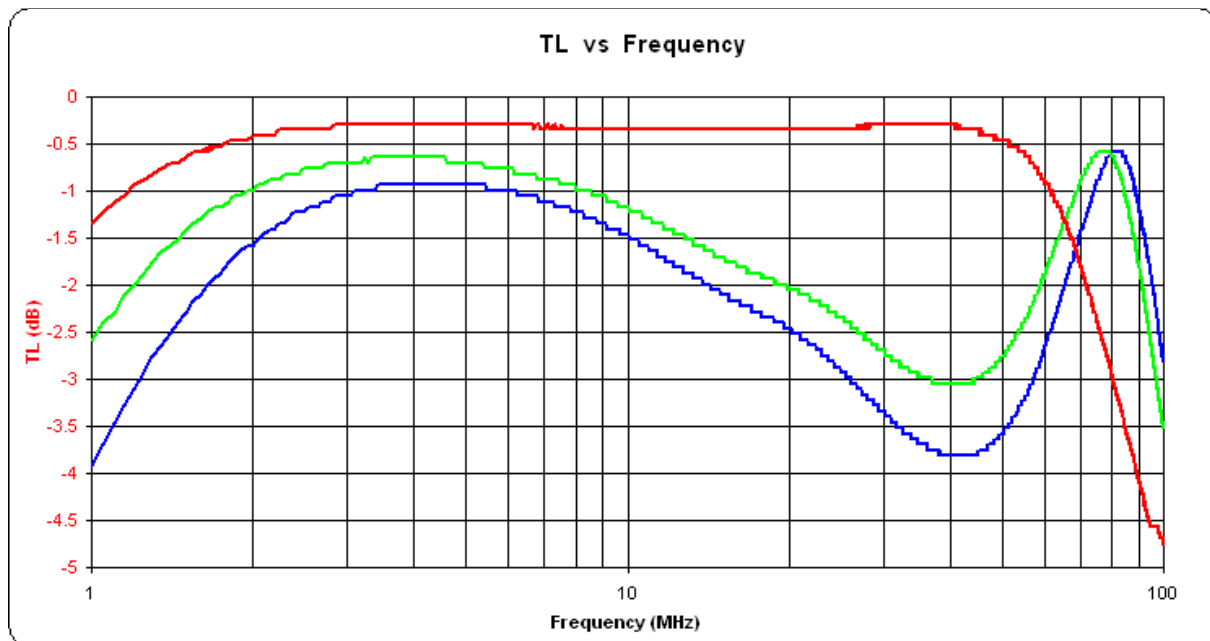
**Zöld** görbe – Kéteres hangszórókábel, de szorosan egymás mellé tekerve annak bemutatására, hogy az építési variációk hogyan képesek befolyásolni a hatékonyságot.

Az első grafikon az 1:1-es széles sávú transzformátor átmenő veszteségét mutatja. Ne feledje, hogy ez nem tápvonal-transzformátor, hanem két, szorosan egymás mellett tekercselt vezeték. Ennek célja annak bemutatása, hogy a különböző tekercselési stílusok hogyan változtathatják meg a csatlósi együtthatót.



Signal source

Measuring device



Piros nyomgörbe - 1mm-es zománcozott huzallal, két egymáshoz szorosan rögzített, bifiláris tekercs  
 Kék nyomgörbe - kéteres hangszóró kábel  
 Zöld nyomgörbe - kéteres hangszóró kábel szorosan egymás mellé tekercselve

Figyeljük meg, hogy a mag alacsony permeabilitása hogyan korlátozza a teljesítményt alacsony frekvenciákon, és az ebből eredő vezetékhozz korlátozza a teljesítményt magas frekvenciákon. Körülbelül 40 MHz-en mélypont van, ahol az átviteli vezeték elektromos hossza  $\frac{1}{4}$  hullámhossz és egy csúcspont 80 MHz körül, ahol a tápvona elektromos hossza  $\frac{1}{2}$  hullámhossz. (Itt számolásnál a két vezetékszál hosszát össze kell adni! /a Fordító/)

Ebből nyilvánvaló, hogy a 2-es típusú vasmag-anyaga (a 6-os típus még rosszabb) nem rendelkezik elég nagy permeabilitással ahhoz, hogy ennyi menetszámmal használható legyen HF transzformátorként.

Mint korábban említettem, azt tapasztaltam, hogy tekercseléssel befolyásolni tudtam a transzformátorok teljesítményét ha a szomszédos menetek közelebb kerültek egymáshoz, ami arra késztetett, hogy tovább vizsgálódjak.

Először nézzük meg, hogyan épül fel a Ruthroff tápvonal-transzformátor! Az Unun konfigurációban az tápvonal-vezeték egyik vége a jelforráshoz csatlakozik.

Az első vezeték vége a második vezeték elejéhez is csatlakozik, amely távvezeték képez.

A terhelés az első vezeték elejére és a második vezeték végére van csatlakoztatva.

A második vezetékbe olyan feszültség indukálódik, amely megegyezik az első vezetéken lévő feszültséggel.

Ez a forrásfeszültséggel fázishelyesen adódik össze, és a terhelésen a bemeneti feszültség kétszeresét hozza létre. A bemeneti áram és feszültség szorzatának meg kell egyeznie a kimeneti áram és feszültség szorzatával (mínusz az esetleges veszteségek). Ez a bemeneti impedanciához képest négyszeres kimeneti impedanciának felel meg (mivel az energiamegmaradás törvénye

értelmében a kimeneti feszültség kétszeres és a kimeneti áram pedig a bemeneti áram fele, és ezek hányadosa négyszeres szorzót eredményez /a Fordító/).

A fő probléma az, hogy az első vezeték közvetlenül a forráshoz csatlakozik, ezért elég nagy reaktancia kell ahhoz, hogy megakadályozza a bemeneti jel földzárlatát.

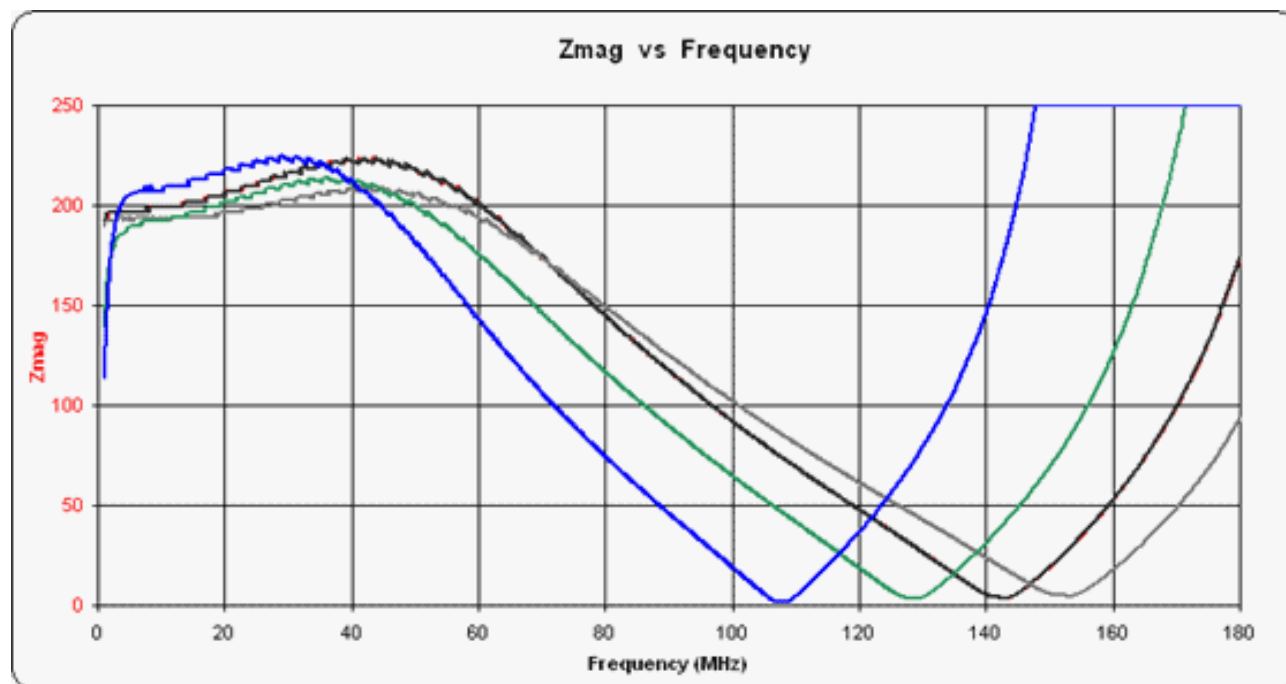
A második probléma az, hogy a második vezeték mentén fáziseltolódás történik, ami fázisfordítást eredményez, ha a vezeték  $\frac{1}{2}$  hullámhosszú; ekkor a kimeneti feszültség nullává válik. Tehát a gyakorlatban ez egy olyan pontra korlátozza a felső működési frekvenciát, ahol a vezeték  $\frac{1}{4}$  hullámhosszú (90 fokos fáziseltolódásnak felel meg). Ezen a frekvencián túl a teljesítmény csökkenése sokkal nagyobbá válik.

Vegye figyelembe, hogy minden közös módusú áram közös módusú impedancia eltolódásként jelenik meg a bemeneten, csökkentve a teljesítményt. Tehát ez a paraméter nagyon fontos a sikeres tervezés megvalósításában.

A Ruthroff transzformátor készítése bifiláris tekercselés helyett, koax-kábel használatával is lehetséges. Ebben az esetben a közös módusú áramok a koaxiális árnyékolás külső oldalán fognak folyni. A koaxiális árnyékoló harisnya belseje, és a belső vezető szál kiegyensúlyozott távvezeték-párost alkot. Ahogy egy Ruthroff transzformátor esetében is ez kétvezetékes tápvonal, ahol a magas közös módusú impedancia fenntartása ugyanúgy fontos, amint azt később látni fogjuk.

#### Nagy frekvenciás tulajdonságok

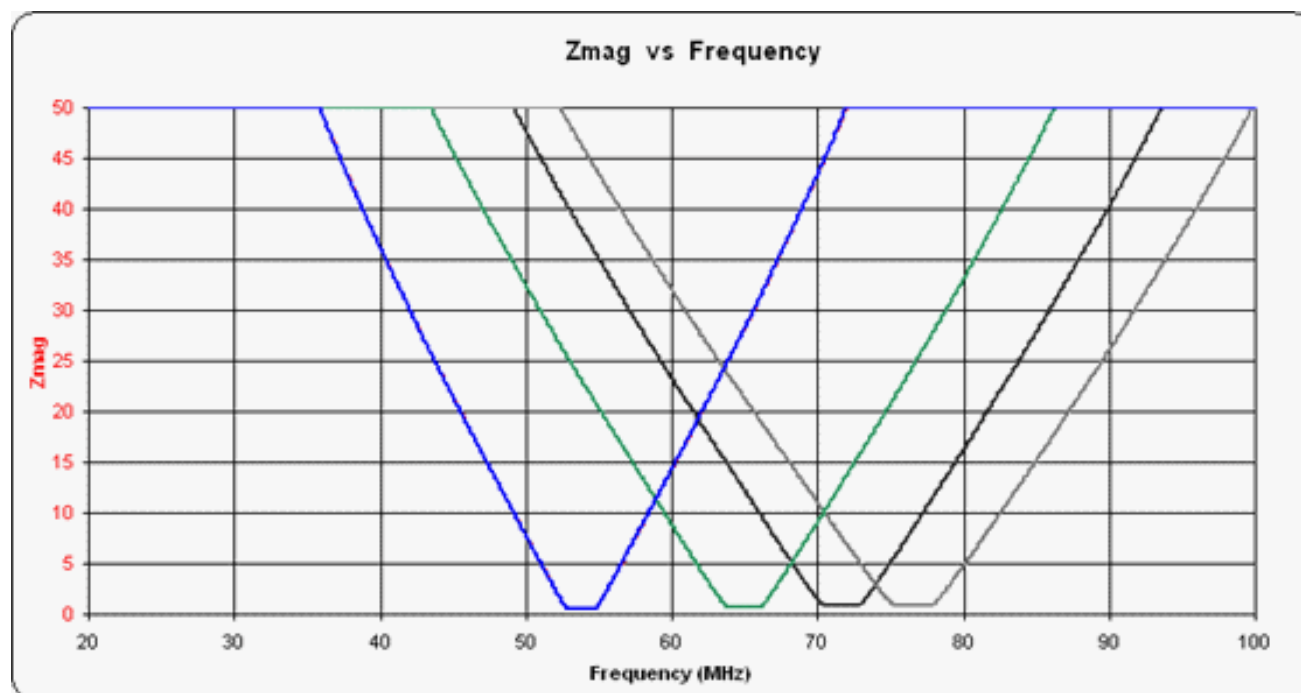
A következő grafikon különböző magok 4:1-es Ruthroff transzformátorként tekercselt, szekunder oldali impedanciáját mutatja, ha a primer oldalon 50 ohmos terhelés van. A tekercsek minden esetben a 2-52 MHz-es frekvenciatartományban, teljesítményre optimalizáltak voltak. A maganyagok egymástól eltérő permeabilitása kissé eltérő menetszámot igényelt, ezért eltérők a kábelhosszak.



Figyelje meg a válaszgörbék bevágásait 110 és 150 MHz között.

Ezeket a kábelhosszakat,  $\frac{1}{2}$  hullámhosszú tápvonalakként értelmezték. Ez lehet, hogy jobban látható a következő grafikonon, amely a tekercseléshez használt kábel bemeneti impedanciáját mutatja, ha a transzformátor szekunder oldala nincs lezárva (nyitott áramkör).

A következő grafikon az előző grafikon egy kiválasztott része, amely a transzformátor viselkedését Unun konfigurációban mutatja. Azért választottam ezt, hogy bemutassam a frekvenciákat a különböző, elektromosan  $\frac{1}{4}$  hullámhosszúságú tekercsek esetén.



Súlyos következményekkel jár, ha egy 4:1-es Ruthroff transzformátort szeretne tekercselni, 1,9-52MHz széles frekvenciasávra. A felső frekvenciahatár meghatározza a feltekercselt vezeték maximális alkalmazható hosszát, és ezáltal az adott gyűrűmág méretéből adódó maximális menetszámot.

A jó teljesítmény elérése érdekében az alsó frekvenciahatárhoz közel nagyobb permeabilitású anyagot kell használni, vagy csökkenteni kell a magméretet.

Az induktivitás növelése nagyobb mélységű gyűrűmág használatával is lehetséges, például kétszeres magasságú változattal (A-típus), de ez nem javít ezen a helyzeten, mert a menetek csökkenését ellensúlyozzák a megnövekedett, egyes menetekhez szükséges vezetékhozzak. Valójában a vezeték hossza szinte állandó marad az induktivitás egy adott értéke esetén.

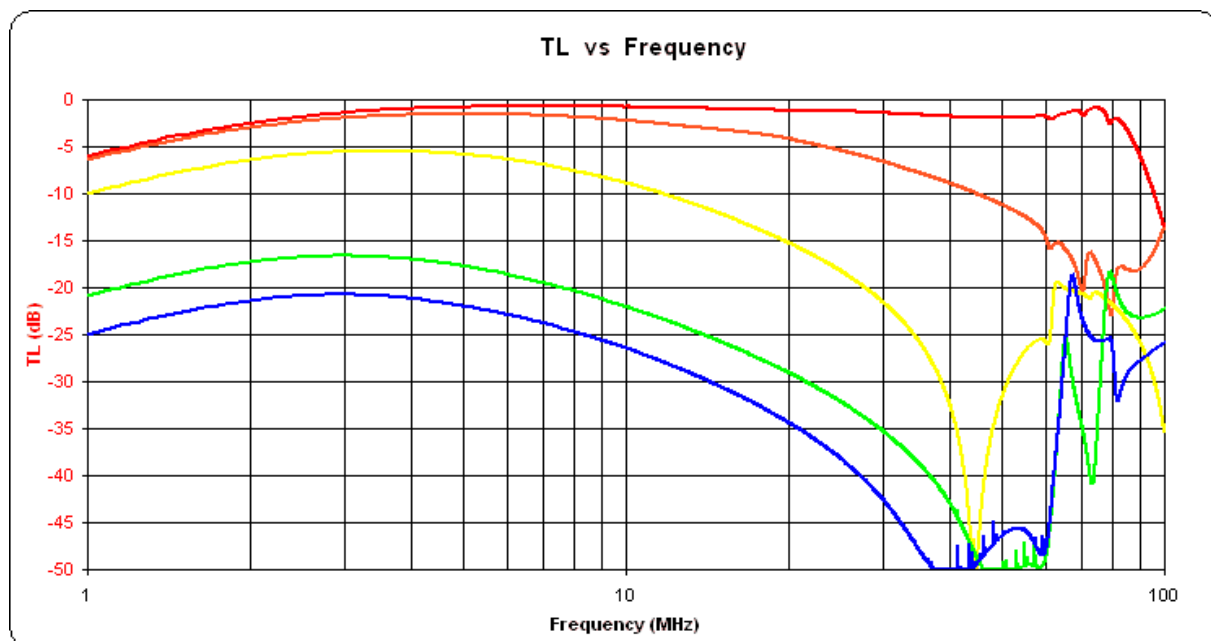
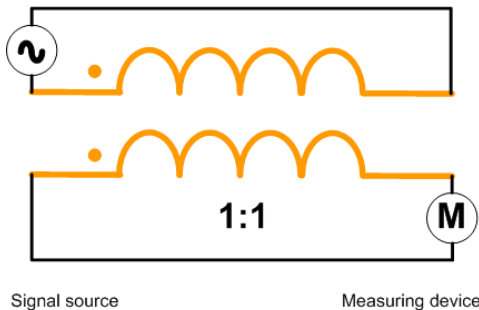
Sok népszerű, széles sávú transzformátor körülbelül 2" (5cm) átmérőjű gyűrűmagot használ, ami megfelel a maximális menetszámhoz, amely a megfelelő teljesítmény biztosítása érdekében szükséges. A kívánt frekvenciatartomány a HF vége. 50 MHz-es felső frekvenciahatárnál ez körülbelül 8...10 menet, 30 MHz-en pedig körülbelül 20 menet szükséges. A 2-es és 6-os típusú por-vasmagok általában nem elég nagy permeabilitásúak ahhoz, hogy jó, alacsony frekvenciájú teljesítményt nyújtsanak ezzel a menetszámmal.

Sajnos a menetszám növelésének van egy másik mellékhatása is a használható frekvencia csökkenésén kívül az, hogy meglehetősen kiszámíthatatlan önrezonanciákhoz vezet. Főleg ha reaktív terhelések, például antennák táplálására használják.



## Alacsony frekvenciás tulajdonságok

A mag alacsony frekvenciájú hatékonyságának vizsgálatához megpróbáltam megmérni a csatolás mértékét a különböző helyzetekbe állított tekercsek közt, egy T200A-2 anyagú por-vasmagon. A jel betáplálása a fehér tekercsen, és a kimeneti mérések a különböző színű tekercseken történtek.



Piros görbe – bifiláris a bemeneti tekercseléssel

Narancssárga görbe – tekercselés a bemeneti tekercsen

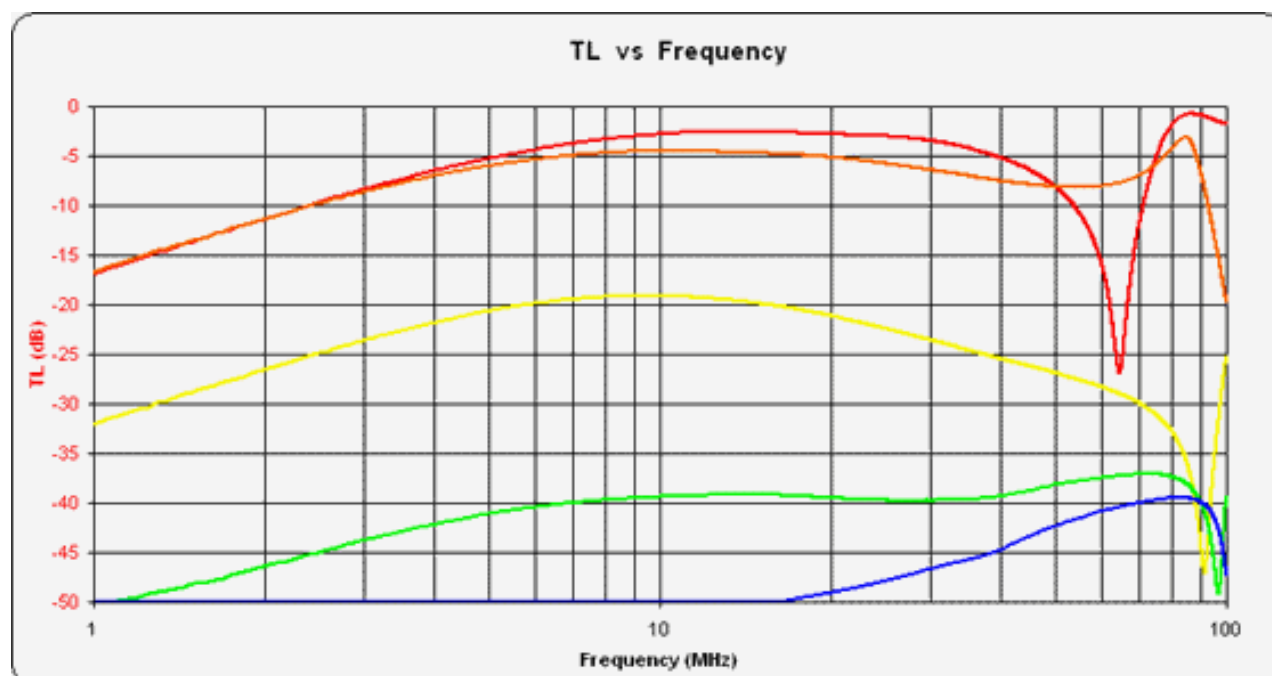
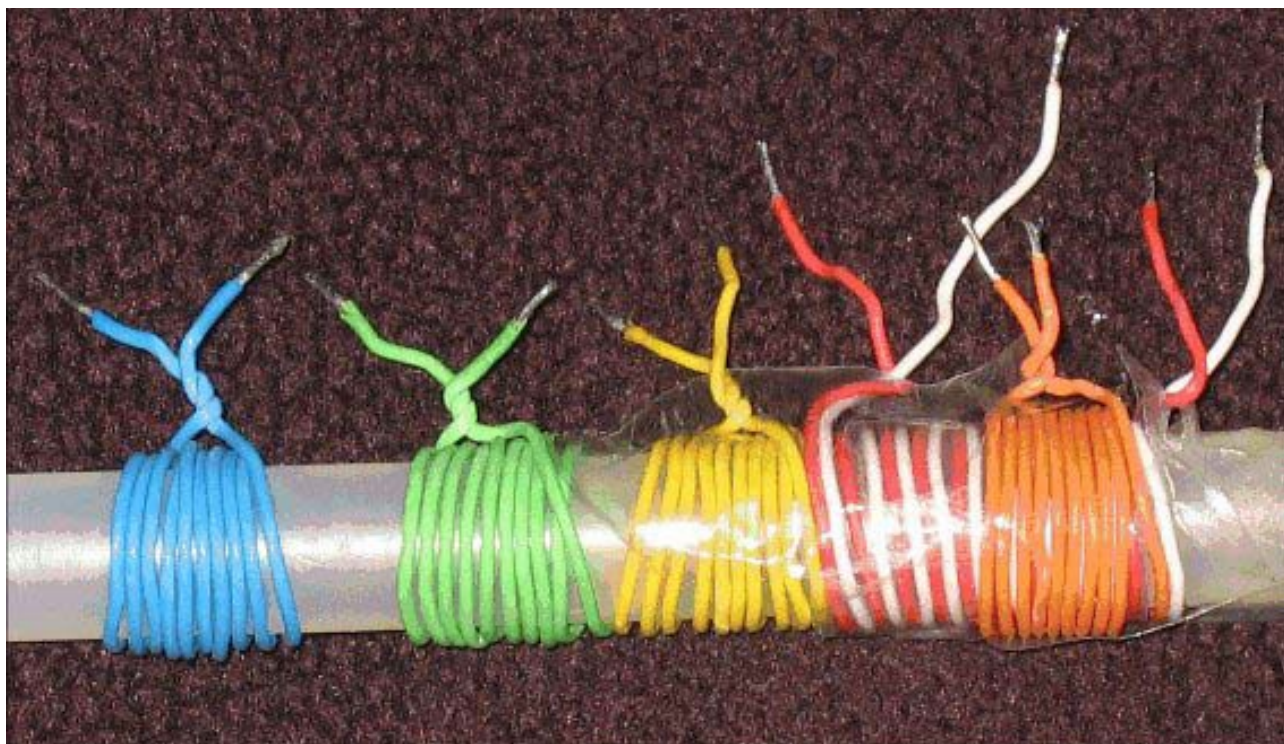
Sárga görbe – tekercselés a bemeneti tekercs mellett

Zöld görbe – a mag  $\frac{1}{4}$ -én

Kék görbe – a mag másik felén

Amint az a grafikonon látható, a vörös és fehér, bifiláris tekercsek adták a legjobb teljesítményt. Fokozatosan egyre magasabb a veszteség szintje, ahogy a tekercsek egyre távolabb kerülnek egymástól a magon. Minél nagyobb a mag átmérője, annál nagyobb a veszteség. Láttam néhány példát transzformátorokra, külön tekercsekkel feltekerve egy gyűrűmag ellentétes oldalain.

Szerintem ez a grafikon drámai módon szemlélteti, hogy ez miért nem jó ötlet. A T200A-2 mag alacsony permeabilitása korlátozza a teljesítményét, és érdemes összehasonlítani ezeket az eredményeket hasonló méretű, műanyag rúdra feltekercselt, hasonló távolságot használó tekercsek esetén.

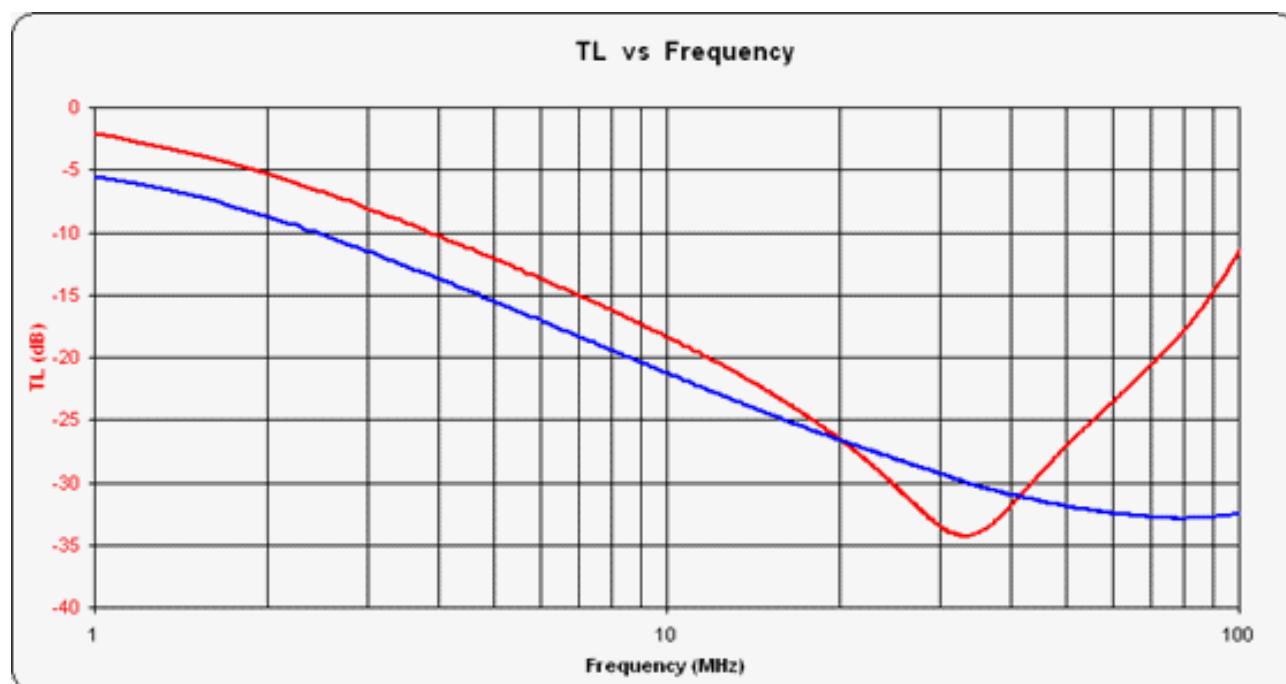


Piros görbe – a tekercs bifiláris a bemeneti tekercscsel  
 Narancssárga görbe – narancssárga tekercs a bemeneti tekercsen  
 Sárga görbe – sárga tekercs a bemeneti tekercs mellett  
 Zöld görbe – zöld tekercs a sárga tekercs mellett  
 Kék görbe – kék tekercs a zöld tekercs mellett

A két grafikonzet összehasonlításával látható, hogy a mag anyaga hogyan befolyásolja az alacsony frekvencián a teljesítményt.

Ezek a mérések azt is jelezték, hogy kicsi a maganyagon keresztüli fluxus-csatolás, csak közvetlenül a tekercsek közt. Ennek a pontnak a további bemutatására álljon itt egy grafikon a jóval nagyobb permeabilitású magok egymással szemközti oldalán tekercselt tekercsek közötti csatolásáról. Ebben az esetben két különböző típusú ferrit anyag is felhasználásra került.

A mag számlájára írható kicsi csatolás csak a frekvenciatartomány alsó végén lehet észrevehető. Később visszatérek ehhez a témához.



Kék görbe - FT 240-61

Piros görbe - FT 180-43

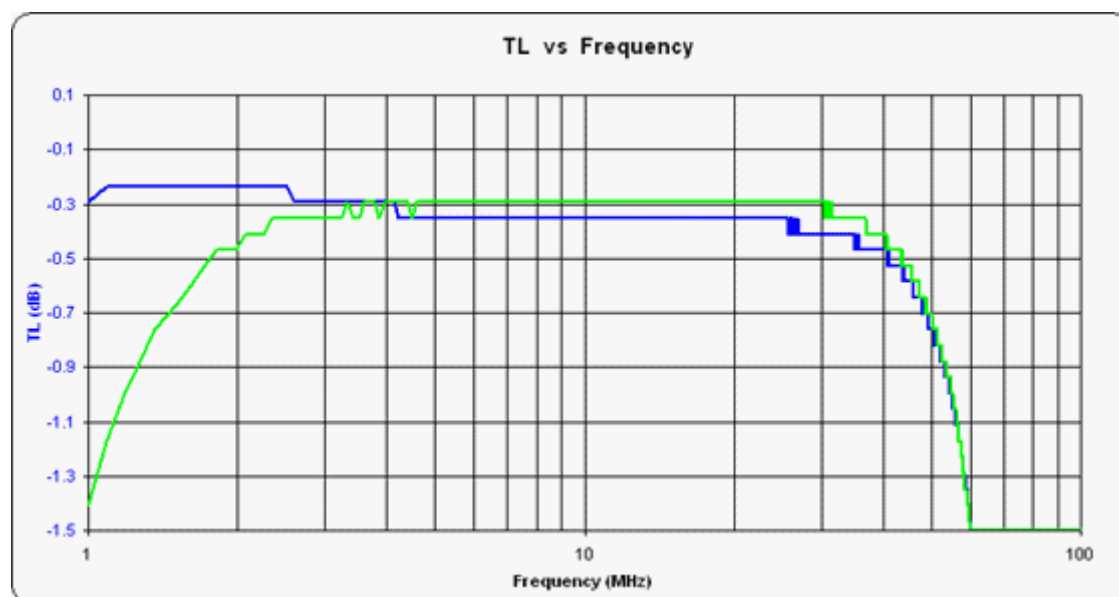
Megdöbentett, hogy a gyűrű-mag használata a transzformátor építéséhez nem olyan fontos, mint sok esetben javasolták. A fő érv az, hogy a gyűrűs magra tekercselt transzformátor kevésbé érzékeny a magtelítődésre, mint egy ugyanabból az anyagból készült rúdon. Ezekből a mérésekből arra a következtetésre jutottam, hogy nagyon kevés mágneses fluxus volt körben az egész magban, és ez a kis mennyiség is csak a spektrum alacsony frekvenciájú részén észrevehető.



Ennek az elméletnek a bemutatására por-vasmagon tekercseltem egy 4:1-es Ruthroff transzformátort, és megmértem a csatolási veszteséget. Aztán kivágtam egy szeletét a magnak és ismét elvégeztem a mérést.



Íme, a grafikon, ami bemutatja a veszteségesbeli különbséget a módosítás előtt és után.



Kék görbe – teljes mag

Zöld görbe – hiányos mag

Figyelje meg, hogy a grafikon válaszgörbéi gyakorlatilag megegyeznek, kivéve a nagyon alacsony frekvenciák felé. A kék görbe a veszteséget mutatja normális esetben, a zöld pedig a veszteséget, amikor a szeletet eltávolítottam a magból, ami 2 MHz-en csak körülbelül 0,2 dB-es különbséget jelent. Úgy gondolom, hogy ez egyértelműen mutatja, hogy a mag anyaga milyen csekély változást okoz a mag körül keringő fluxusok szempontjából. Nyilvánvalóan ez hatás nagyobb lenne, ha kicsi magokat használnánk, mivel a teljes mag nagyobb hányada a tekercsben húzódó fluxusmezőn belül lenne (kisebb lenne a légrés /a Fordító/). Az alacsony permeabilitású magokkal kapcsolatosan további tényezők is jelentkeznek, melyek közül az első a korlátozott induktivitás ami azt jelenti, hogy a teljesítmény javítható a szomszédos menetek közötti távolságok csökkentésével ahelyett, hogy a menetek egyenletesen lennének elosztva a mag kerületén. Ennek pozitív hatása van a közös módusú impedancia kismértékű növelésére. Egy másik probléma az alacsony permeabilitású gyűrűmagok használatával, hogy a tekercs alakja tovább alakul, ami csökkenti a szorosan elhelyezett tekercsek induktivitását. Gyűrű magra tekercseléskor a mag külső oldalán lévő menetrészek távolabb vannak egymástól, mint a mag belsejében lévő.

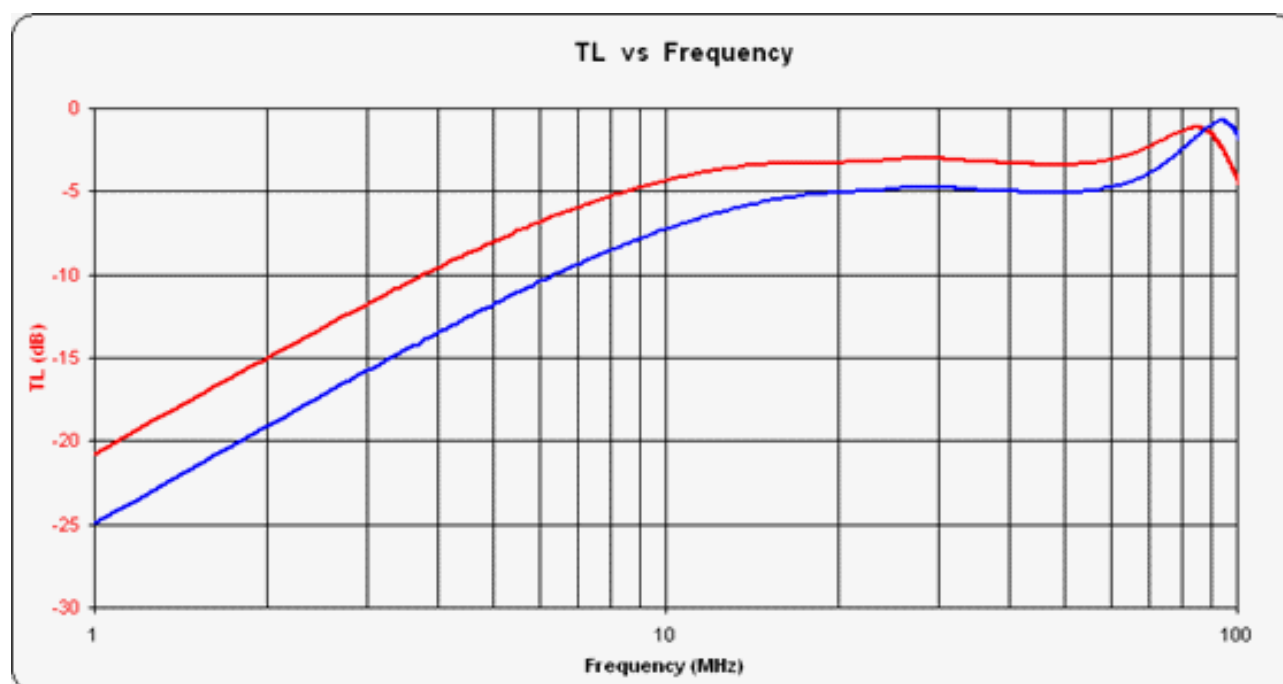
Hogy ezt bemutassam, megmértem két, 1:1 arányú, bifilárisan tekercselt, légmagos trafót, két különböző kialakítással.



Az alábbi grafikon piros görbéje a hagyományos módon készített tekercs esetét mutatja

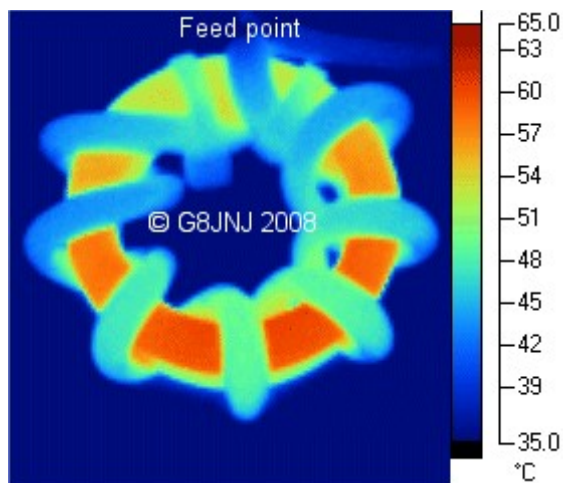


Az alábbi grafikon kék görbéje a gyűrűmag alakra széthúzott tekercs esetét mutatja  
A veszteséget mindkét alakzat esetén az alábbi grafikon szemlélteti.

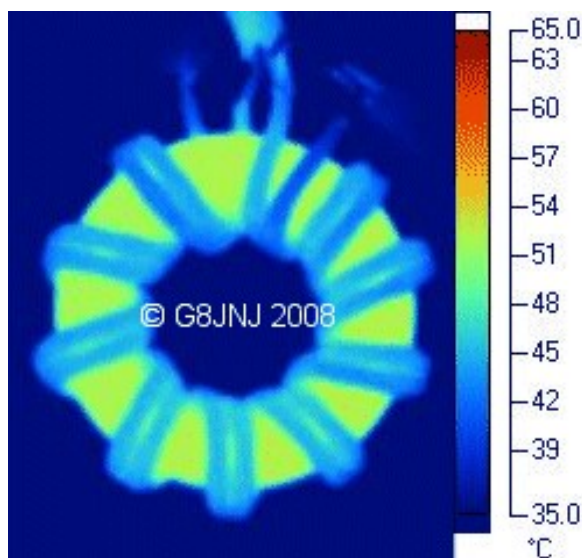


Piros görbe – zárt tekercselés  
Kék görbe – ívelt tekercselés

Ahogy látható, a hatás az alacsony frekvenciás tartományban jobban észrevehető, ahol a tekercsek közti csatolás csökkenése 5 dB-es különbséget mutat. Egy másik érdekes jelenség az alacsony permeabilitású magoknál a mágneses fluxus koncentrációja a tekercsek közepébe. Ez helyi fűtést okoz a maganyagban, amit egy hőkamerával könnyen észrevehetők. Az alábbi kép, mely egy 4:1-es, koax-kábellel tekert transzformátorról készült, amit 100 watt RF-el, 5 percig fűtöttem, nagyon jól mutatja ezt a jelenséget, mivel kb. 10 fokos hőmérsékleti eltérés van a mag részei között.



Ez nem történik meg magasabb permeabilitású anyagokkal és a fűtés egyenletesen eloszlik a mag teljes területén.



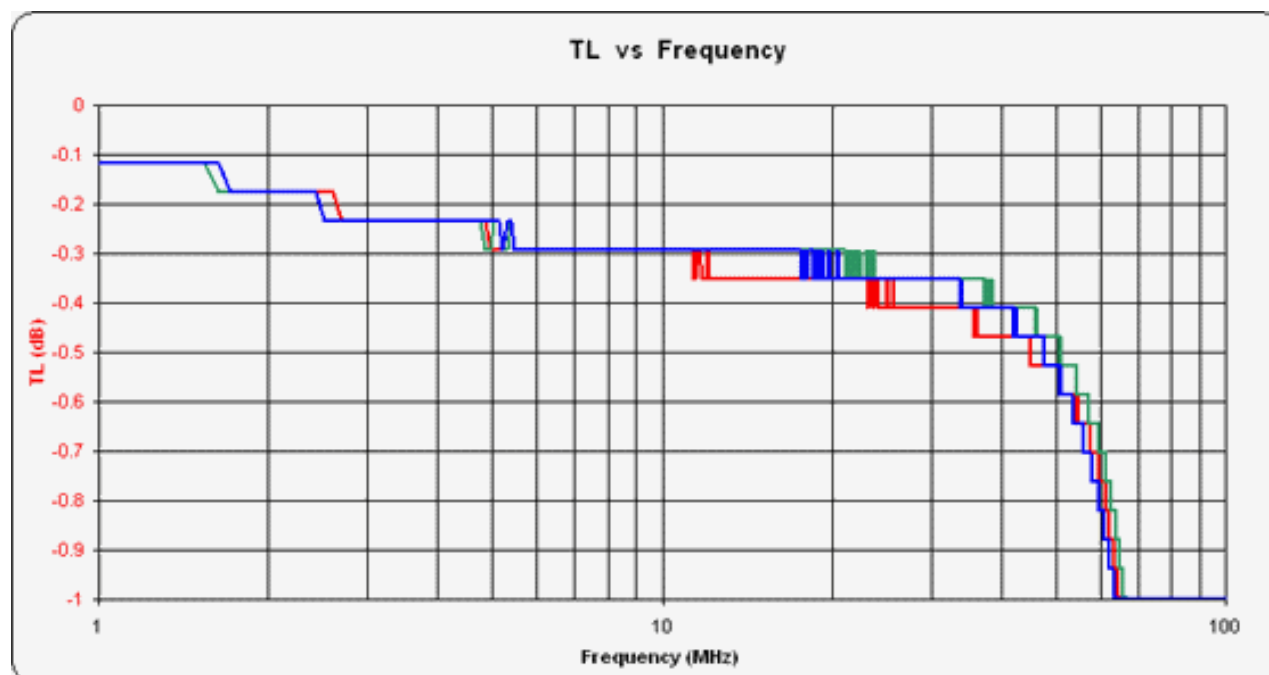
## Egyéb tényezők

Ráadásul a vezetékek közti csatolás mellett a tápvonaat alkotó menetekben veszteség is fellép, amit figyelembe kell venni.

Ennek a veszteségnek a magas frekvenciákon történő minimalizálásának egyik módja az, hogy csökkentjük a tápvonal szórt szivárgását. Ezt csavart bifiláris vagy trifiláris tekercsekkel érhetjük el.

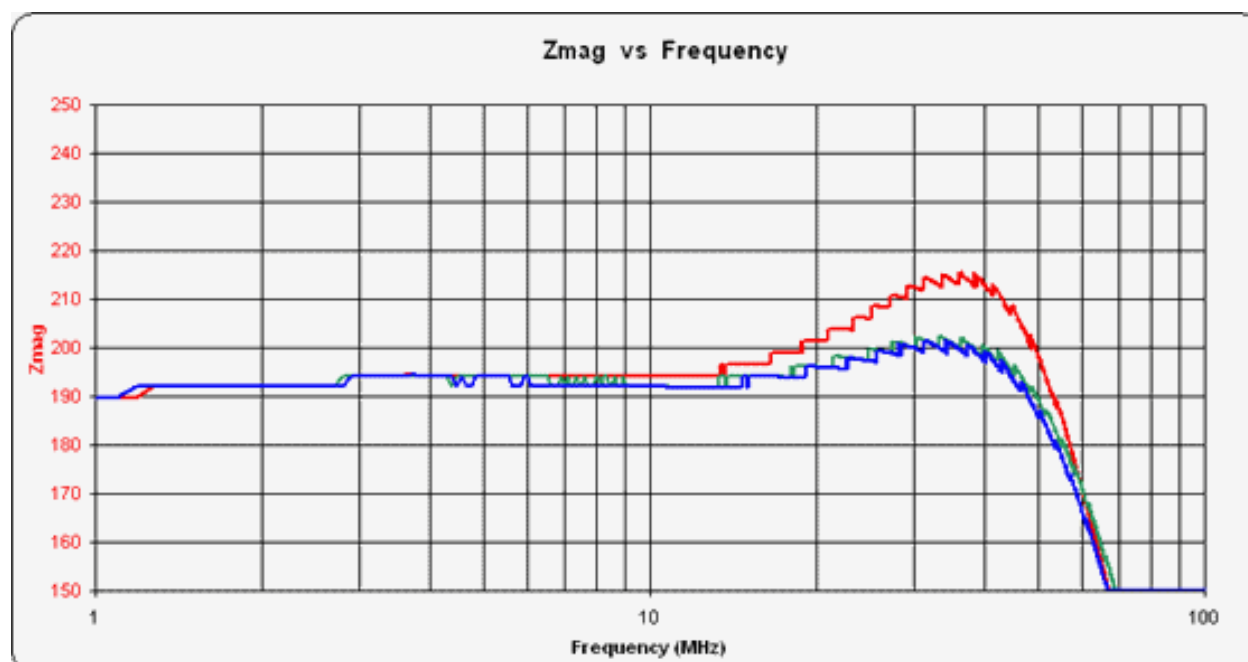
Illetve, ahogy korábban jeleztem, koaxszal tekercselt transzformátorral is jó eredményeket lehet elérni. Ruthroff azt javasolja, hogy az átviteli görbe karakterisztikus impedanciáját kell megválasztani úgy, hogy megfeleljen a szükséges impedancia transzformációs aránynak. Tehát egy 4:1-es transzformátornál az tápvonal-impedancia 100 ohm kell, legyen. Azonban egyik kísérletem sem mutatta ki, hogy elengedhetetlen lenne pontosan a karakterisztikus átviteli impedanciának megfelelő vezetékpárt használni. Ennek a ténynek a további illusztrálására készítettem három különböző típusú, koaxiális kábellel tekercselt, 4:1-es Ruthroff transzformátort, amelyek mindegyike FT180-43 típusú ferrit magra volt tekerve (ez vélhetően FT200-61 akart lenni... /a

Fordító/). A következő grafikon az FT200-61 magra tekercselt, 4:1-es transzformátoron keresztül mért veszteséget mutatja.



Kék görbe - 50 ohm koaxiális  
Zöld görbe - 75 ohm koaxiális  
Piros görbe - 95 ohm koaxiális

A következő grafikon a szekunder oldali impedanciát mutatja, 50 ohm-os primer oldali terhelésnél mérve.



Kék görbe - 50 ohm koaxiális, Zöld görbe - 75 ohm koaxiális, Piros görbe - 95 ohm koaxiális kábelekkal tekercselve.



Eltekintve az enyhe impedanciacsúctól azon a frekvencián, ahol a koaxiális vonal  $\frac{1}{4}$  hullámhosszú, nagyon kicsi a különbség a görbék között.

Úgy találom, hogy a transzformátor tekercselése koaxiális kábellel, különösen PTFE dielektromos szigeteléssel ellátott típusokkal, kiszámíthatóbb eredményeket, kevesebb veszteséget, gyorsabb megépítést és jobb szigetelési ellenállást eredményez, mint a kéteres, „8-as keresztmetszetű” hangszórókábelt vagy a hálózati vezetékek magvait felhasználó tervek.

A transzformátort nem kell gyűrűs mag köré tekerni. Azért, hogy ezt bemutassam, készítettem egy változatot, amely egy darab hangszórókábelből és néhány ferrithüvely-magból áll. Ez világosan szemlélteti a javulást a keskeny sávú,  $\frac{1}{4}$  hullámú átviteli vonal transzformátortól a széles sávú távvezeték-transzformátorig a ferrithüvelyek hozzáadásával. Ezek növelik a betápláláson keresztül csatlakoztatott vezeték reaktanciáját, és elnyomják a közös módú áramokat is, amelyek mindkét vezetéken végigfolyhatnak.

Először kéteres hangszórókábelből készítettem transzformátort (a megmért átviteli vonali impedanciája  $Z_0=126$  ohm volt), 40 MHz-en,  $\frac{1}{4}$  hullámhossznyi elektromos hosszal.



Piros görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült Ruthroff transzformátor.



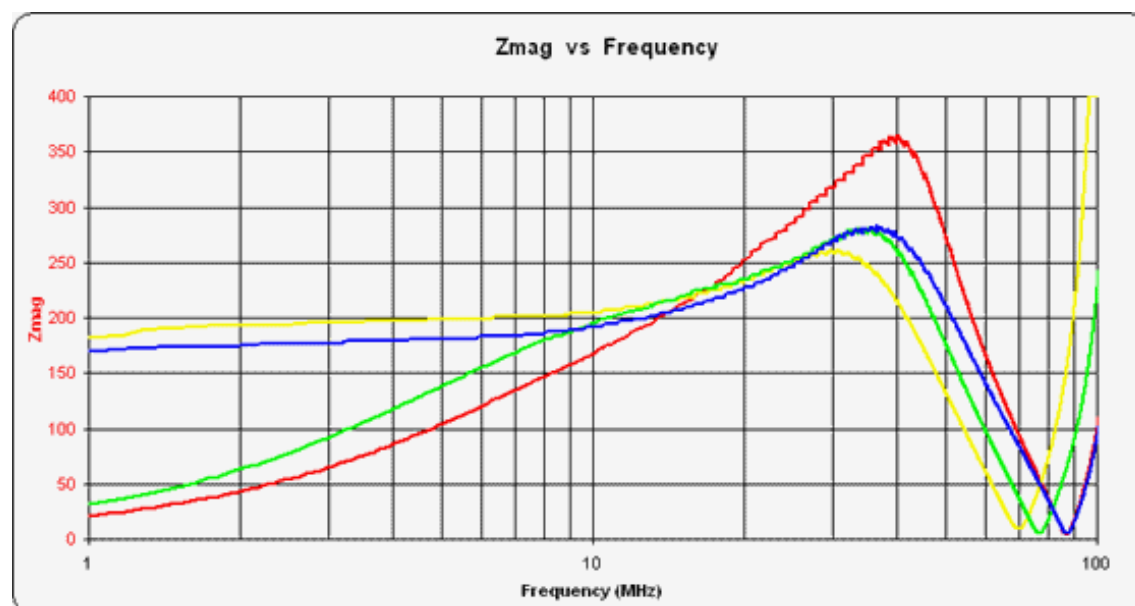
Zöld görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült, 4:1-es Ruthroff, légmagos transzformátor.



Sárga görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült, 4:1-es Ruthroff, transzformátor ferrit rúdon.



Kék görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült, 4:1-es Ruthroff, transzformátor ferrit csöveken át dugva.



Piros görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült Ruthroff transzformátor.

Zöld görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült, 4:1-es Ruthroff, légmagos transzformátor.

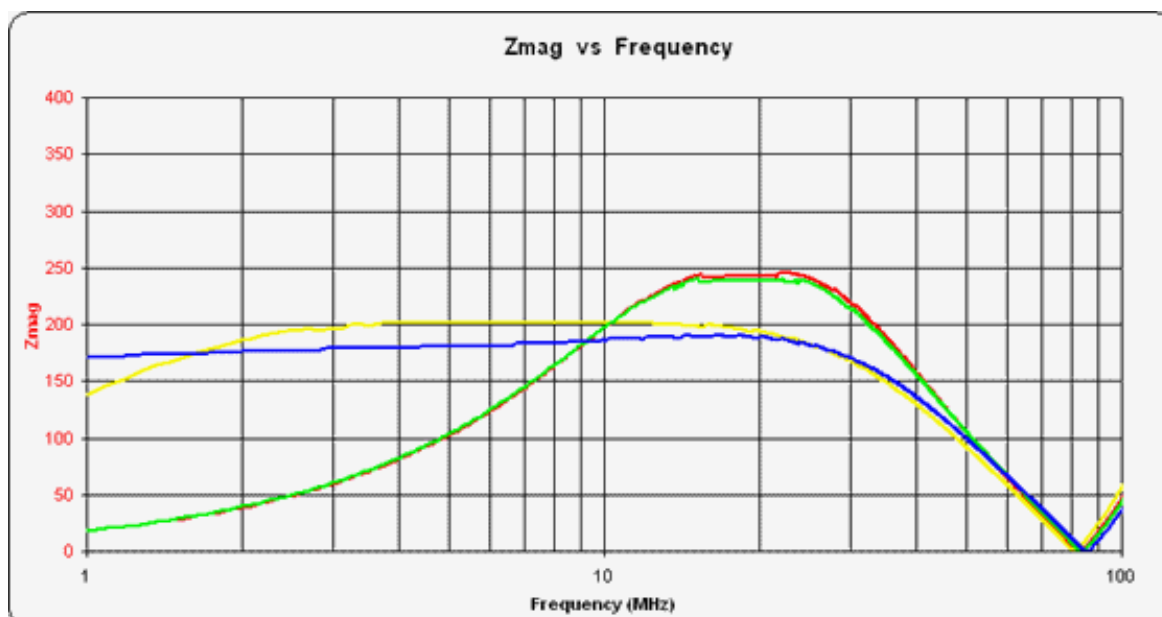
Sárga görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült, 4:1-es Ruthroff, transzformátor ferrit rúdon

Kék görbe az alábbi grafikonon – kéteres hangszóróvezetékéből készült, 4:1-es Ruthroff, transzformátor ferrit csöveken átdugva.

Ez sokkal világosabban mutatja az átmenetet az  $\frac{1}{4}$  hullámhosszú tápvonal transzformátortól a széles sávú transzformátorig, az induktivitás növelése esetén.

Két másik tényező is megfigyelendő. Az első a szekunder impedancia csúcsa a frekvencián ahol a tekercsek vezetékai elektromosan  $\frac{1}{4}$  hullámhosszúak. A második a „bevágás” frekvenciájának enyhe eltolódása körülbelül 80 MHz-re, ahol a tekercs két vezetéke együttesen, elektromosan  $\frac{1}{2}$  hullámhosszú.

Itt van egy másik grafikon, de ezúttal 50 ohmos koaxiális kábelt használtam. A konfigurációk és a színek ugyanazok, mint korábban, és a koax-ot 40 MHz-en értelmezett  $\frac{1}{4}$  hullámhosszra vágtam, így a grafikonnak nagyon hasonlóknak kell lennie.



Piros görbe – 50 ohmos koax-kábelből készült Ruthroff transzformátor.

Zöld görbe – 50 ohmos koax-kábelből készült, 4:1-es Ruthroff, légmagos transzformátor.

Sárga görbe – 50 ohmos koax-kábelből készült, 4:1-es Ruthroff, transzformátor ferrit rúdon

Kék görbe – 50 ohmos koax-kábelből készült, 4:1-es Ruthroff, transzformátor ferrit csöveken átdugva

Van azonban néhány különbség. Az impedancia csúcsa lecsökken, és alacsonyabb frekvencián van. Szerintem ez a koax sebességtényezőjének köszönhető. A légmagos, tekercselt koax (zöld görbe) úgy tűnik, hogy nem rendelkezik elegendő fojtó impedanciával. Ferrit mag hozzáadásával (sárga görbe) ez növelhető, ami sokkal jobb válaszgörbét eredményez.



Valójában a zöld görbétől a sárga görbéig változtathattam a viselkedést, a ferritmag fokozatos becsúsztatásával a légmagos koaxiális kábeltekercs középebe. A nagyobb permeabilitású magok használatával lehetséges a kábel jelentős rövidítése, amivel kompenzálható a felső frekvencia korlát csökkenése.

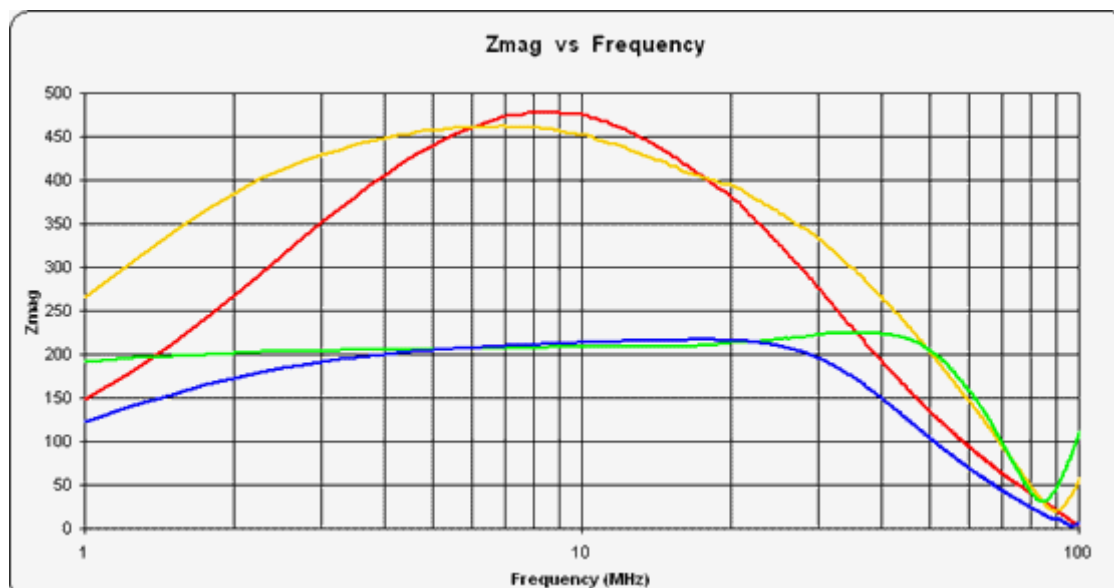
Figyelje meg az alábbi képen, hogy ez a rövidített változat most már hasonlít a binokuláris ferritmagokkal készült széles sávú transzformátorokhoz!



ferrit-anyagok összehasonlítása

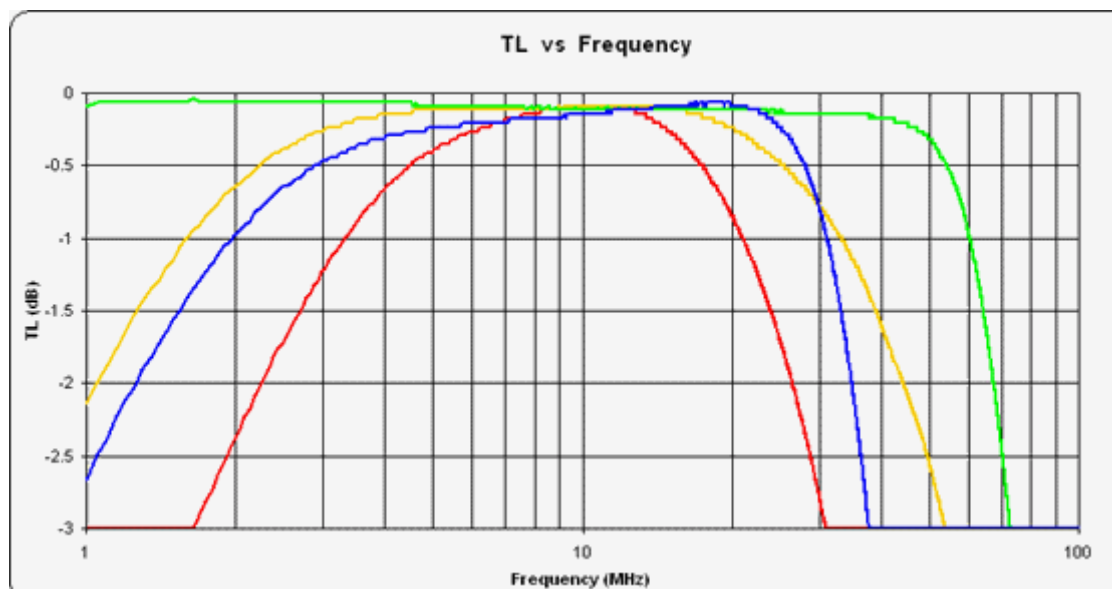
Kiegészítő kísérletként egy méréssorozatot végeztem, 4:1-es és 9:1-es Ruthroff Unun, porvasmagos és ferrit-magos transzformátorok segítségével. Mindkét esetben optimalizáltam a tekercseket annak érdekében a lehető legnagyobb sáv szélességet és a legkisebb veszteséget biztosítsák.

Először egy grafikon, amely a szekunder impedanciát mutatja úgy, hogy a primer impedancia 50 ohm-mal terhelt. A 4:1 esetén az impedancia 200 ohm, a 9:1 esetén pedig 450 ohm.



Piros görbe – T200A- 2, 9:1  
Narancssárga görbe – FT240-61, 9:1  
Kék görbe - T200A- 2, 4:1  
Zöld görbe - FT240-61, 4:1

Következő a veszteség, amit úgy mértem meg, hogy két egyforma transzformátort egymással szembe csatlakoztattam (tükrös-szimmetrikusan) és elfeleztem az mért értéket azért, hogy egységnyi veszteséget kapjak.



Piros görbe – T200A- 2, 9:1  
Narancssárga görbe – FT240-61, 9:1  
Kék görbe - T200A- 2, 4:1  
Zöld görbe - FT240-61, 4:1

Ebből látható, hogy a nagyobb permeabilitású ferrit anyagok sokkal alkalmasabbak erre célra. Ez különösen nyilvánvaló a 9:1 Unun-ok esetében, ahol a por-vasmagok sokkal szűkebb működési sáv szélességet adnak. Egyes cégek szeretnek 9:1 arányú, por-vasmagos Unun-okat eladni, rövid függőleges antennákhoz, mert az Unun beépítése úgy tűnik sokkal alacsonyabb SWR-t biztosít az antenna betáplálási pontján. Azonban úgy gondolom, ezek a grafikonok azt mutatják, hogy a csatolás bármilyen növelése részben inkább a rendszer veszteségeit fokozza, semmint a jobb impedancia illesztést. (műterheléssé válnak /a Fordító/)

#### Tervezési paraméterek

Az elsődleges tervezési tényező a szükséges felső frekvenciahatár, mivel ez határozza meg a tekercselés során használható maximális vezeték hosszát. Ennek meghatározása után jöhet az alacsonyabb frekvenciahatár.

Az alsó frekvenciahatárt az anyag permeabilitása határozza meg. Alacsony permeabilitású 2-es és 6-os típusú, por-vasmagok jobban megfelelnek a nagy Q-val rendelkező, rezonáns áramkörökhöz, mint a széles sávú transzformátor hálózatokhoz. A ferritek nagyobb permeabilitást és kisebb veszteséget kínálnak, de kevésbé népszerűek nagy energiafelhasználás esetén, mert nem megfelelő terhelésekkel visszafordíthatatlan károsodást szenvedhetnek a mag felmelegedése folytán.



Nagy menetszám esetén a menetek közötti kapacitás, önrezonanciát okozhat a szükséges frekvenciatartományon belül, vagy annak közelében. Ez különösen problémás a kis veszteségű anyagoknál.

A tekercsek kialakítása különösen fontos a jó nagyfrekvenciás viselkedés és az alacsony teljesítményveszteség érdekében. A veszteség minimálisra csökkenthető csavart bifilárisból, trifilárisból vagy koaxból készült tekercsekkel, különálló szigetelt vezetékek helyett.

A tekercsek vezetékeinek elektromosan, jóval rövidebbnek kell lenniük az  $\frac{1}{4}$  hullámhossznál (a kábel sebességtényezőjével számolva) a kívánt legmagasabb üzemi frekvencián. Némi ráhagyást (mondjuk +20%-kal hosszabbat, mint a kiszámított) hozzá kell adni annak biztosítására, hogy a sebességtényező gyártási eltérései megfelelően figyelembe legyenek véve.

További kísérletekre van szükség a széles sávú hálózat optimális maganyagának meghatározásához, iránymutatásként 100 körüli minimális permeabilitás értéket kell használni.

#### Következtetések

Remélem, hogy ebben a dokumentumban bemutattam néhány problémát és tervezési korlátot a Ruthroff feszültségtranszformátorokkal, különösen a por-vasmagra tekercselt transzformátorok építésével kapcsolatban.

A széles körben ajánlott 2-es és 6-os típusú por-vasmagoknak túl alacsony a permeabilitása és nem biztosítanak elegendő induktivitást egy adott menetszám esetén ahhoz, hogy megbízható eredményeket nyújtsanak az 1-30 MHz frekvenciatartományban.

A fő probléma ezzel a gyakorlatban nem a korlátozott sáv szélesség, nem is a rossz impedancia átalakítás, vagy a nagy veszteség, hanem az önrezonanciák kiszámíthatatlan természete különösen, amikor azok reaktív terhelésekhez, például antennákhoz csatlakoznak.

Ez nagyon változó eredményeket hozhat különösen, ha koaxiális kábellel táplált, rövid vertikális antenna tövébe iktatják be a távoli tuner használatának megkönnyítése érdekében. Méréseim szerint a 61-es vagy a K típusú ferrit anyag sokkal alkalmasabb erre a célra.

Az alsó frekvenciahatárt a mag permeabilitása és a menetek száma határozza meg, míg a felső frekvenciahatárt a tekercsekhez használható vezeték maximális hossza határozza meg.

Úgy tűnik, hogy a transzformátor tekercs céljára használt vezetékpár vagy koax-kábel jellemző impedanciája (távvezetékként mérve) nem befolyásolja drámai módon a teljesítményt. Bármilyen megcsavart bifiláris és trifiláris, vagy koaxiális kábel tekercsek jó csatolást biztosítanak a vezetékek között, és csökkentik a veszteséget.

A mágneses tér a transzformátor testen kívül alig jelenik meg a magban, így egy nagy gyűrű alakú mag is ugyanolyan mértékben tud telítődni, mint egy rúd alakú mag.

Négy fő ajánlásom van:

1. Használjon elég nagy permeabilitású maganyagot a megfelelő reaktancia biztosításához, különösen a kívánt frekvenciatartomány alacsony frekvenciájú végén. Az anyagnak nagy fajlagos ellenállással és alacsony dielektromos veszteséggel kell rendelkeznie, a mag melegedésének minimalizálása érdekében.
2. A tekercs-vezetékeknek a lehető legrövidebbeknek - ideális esetben a legmagasabb működési frekvencián számolt hullámhossz  $1/4$ -énél - rövidebbnek kell lenniük. Ez körülbelül 140 cm-nek felel meg egy 30 MHz-es felső frekvenciahatár esetében (kb. 20 menet 2"-es magon) és 70cm-nek 50MHz-es felső frekvenciahatárnál (körülbelül 8 menet egy 2"-es magon), feltételezve, hogy a használt PTFE szigetelt, koaxiális kábel sebességtényezője valahol 0,6 és 0,7 között van.
3. Olyan tekercseket használjon, amelyek vesztesége a lehető legkisebb. Sodrott bifiláris vagy trifiláris, vagy koaxiális vezetékek használhatók erre a célra. Nagyon kicsi a különbség a teljesítményben Ruthroff transzformátorok esetén, ha 50, 75, 95, vagy 120ohm karakterisztikus impedanciájú vezetékkel készítik a tekercset.
4. A teljesítmény javítása a szükséges teljesítményszinthez való, lehető legkisebb magátmérő használatával érhető el, mivel ez megkönnyíti a fluxus jobb csatolását a magon keresztül, csökkenti a telítés lehetőségét alacsony frekvenciákon és minimalizálja a tekercsekhez szükséges vezeték mennyiségét.

A megjegyzések küldésére ezt az e-mail címet használja: [martinmail2007-balun@yahoo.com](mailto:martinmail2007-balun@yahoo.com)

Köszönet illeti a kutatásaim során nyújtott segítségükért és kitartásukért az alábbiakat:

Owen Duffy - VK1OD  
Tim Hunt - VK3IM  
Clemens Paul - DL4RAJ

V1.0 - 20/06/2008 - kezdeti dokumentum létrehozva

V3.0 - 28-07/2008 - Jelentős átfogalmazás, több pont javítása és az érvénytelen adatok eltávolítása

V3.1 - 08/-2/2010 - További javítások és új megjegyzések a ferrit anyagokhoz és a 9:1 unun-okhoz kapcsolódóan.