

Trasformatori, balun, unun, choke: tutto quello che avreste voluto sapere e non avete mai osato chiedere

IK1HSS, Marco Cadeddu

(liberamente tratto da varie fonti bibliografiche)

Indice

Pitolo 1	definizioni
Capitolo 2	il trasformatore
Catolo 3	il choke
Calo 4	il nostro amico balun
Lo 5	e gli unun?
6	come misurarli

L'argomento sembra essere sempre attuale e lo scopo di questo articolo è chiarire in modo semiserio il tema e illustrare come determinare le caratteristiche di questi oggetti. FERMI!!! Non scappate!! Ce ne è per tutti anche per chi non ha particolare strumentazione!

1 Definizioni

Intanto facciamo un po' di luce, ci si vede meglio e si evita di battere il naso! Da un certo numero di anni chiacchiero e sento chiacchierare di questo argomento e molto spesso mi trovo di fronte a male interpretate parole, cattive traduzioni, peggiori comprensioni etc. Inoltre con il nostro solito malvezzo di beatificare con l'uso comune le castronerie dopo un po' si rischia di fare la figura dell'alocco ad usare i termini corretti!

Ad esempio: molto spesso si sente chiamare l'isolatore centrale di un dipolo con il termine "balun" confondendo il dispositivo che alcune volte, correttamente, viene inserito all'interno di questo oggetto che invece avrebbe la mera funzione di mettere insieme i due pezzi di filo con la linea di trasmissione. Per aggiungere un po' di confusione, qualcuno, forse con il nobile scopo di differenziare ... invece che "balun" dice / scrive "balum" lasciando il dubbio tra l'errore di battitura, maggiori ed esoteriche conoscenze o altro.

Allora dicevo fermi tutti, allacciate le cinture di sicurezza, fumate pure se volete..

- Per trasformare il valore di una tensione alternata o il valore di una impedenza, lo dice il ragionamento stesso ..., si usa un TRASFORMATORE.
- Per impedire disgusti provocati dalla presenza di radiofrequenza che si propaga, inopportunamente, lungo un generico conduttore, si usa un CHOKE (.. lo strangolatore !)
- Per collegare in modo indolore due dispositivi dei quali uno bilanciato ed uno sbilanciato si deve interporre tra i due un BALUN

L'unun? Tranquilli arriva dopo!

Adesso che ci siamo chiariti le idee sui nomi voltiamo pagina e cerchiamo di chiarire il funzionamento e l'uso di tutti questi dispositivi.

2 Il trasformatore

Come accennato prima il trasformatore trasforma.

Prima domanda: cosa?

Prima risposta: in genere il valore di una tensione alternata (quindi compresa una tensione a radio frequenza) da un valore V_1 applicato al suo ingresso ad un valore V_2 che viene misurato alla sua uscita.

Semplice no? In casa, se pagate regolarmente le bollette, avete la possibilità di ricevere corrente alternata alla tensione di 220 V con frequenza di 50 Hz. Questa meraviglia, se applicata correttamente e non fatta scorrere tra le due orecchie consente di far funzionare molti simpatici apparecchi che rendono più comoda la nostra permanenza in questa valle di lacrime (N.B. applicata alle due orecchie invece la rendono più breve!). Non tutti questi simpatici apparecchi funzionano però a 220 V, per rendere la vita più varia, alcuni hanno altre tensioni di alimentazione: ad esempio i faretto alogeni per illuminazione funzionano a 12 V e se collegati direttamente alla rete a 220 V illuminano di più ma per un tempo molto breeeeeve. Dunque, con un bel trasformatore si risolve il problema.

Seconda domanda: come è fatto?

Seconda risposta: sempre restando sulle generali, con due avvolgimenti detti primario e secondario con caratteristiche diverse a secondo dell'applicazione specifica. In dipendenza dalle caratteristiche dei due avvolgimenti si definisce il rapporto di trasformazione.

Terza domanda: come funziona?

Terza risposta: senza entrare nei dettagli che i più curiosi andranno ad approfondire sui testi richiamati in bibliografia, diciamo che il trasformatore è un circuito dove il prodotto $V \times I$ ovvero tensione applicata all'avvolgimento primario per la corrente che colì ci scorre è uguale a quanto si verifica sull'avvolgimento secondario dove si sviluppa una tensione con valore generalmente diverso e di conseguenza una corrente diversa. Il tutto mantenendo (quasi) costante l'eguaglianza tra la potenza applicata sul primario e quella ottenuta dal secondario (per far contento Lavoisier togliamo il quasi e ricordiamoci delle perdite che vengono trasformate in calore).

Si vabbè e allora? Sveliamo il trucco se combiniamo il numero delle spire del primario e secondario con il valore delle tensioni vale: $V_1/N_1 = V_2/N_2$ ovvero $V_1/V_2 = N_1/N_2$ questo valore corrisponde al rapporto di trasformazione di tensione.

Un esempio numerico: supponiamo di voler modificare un trasformatore che ha un avvolgimento primario di 1000 spire con alimentazione 220 V. Per realizzare un avvolgimento secondario che eroghi 12 V questo dovrà avere $N_2 = V_2 * N_1 / V_1 = 12 * 1000 / 220 = 55$ spire.

Cosa centra con le antenne? Adesso ci arrivo! Calmi ehh!

Ve la ricordate ancora la legge di Ohm? Bene allora vediamo un po' cosa ci possiamo aspettare che succeda in due circuiti che vorremmo mettere d'accordo con un trasformatore:

Supponiamo un trasmettitore che generi 100W su una impedenza di 50 Ω e di doverci adattare una antenna con impedenza 200 Ω che possibilmente butti fuori tutti e 100 i Watt che gli mettiamo gentilmente a disposizione.

Per la legge di Ohm nei due rami del circuito si possono misurare i seguenti valori:

Trasmettitore

$$Tensione = \sqrt{W * R} = \sqrt{100 * 50} = 70,7V$$

$$Corrente = 100 W / 70,7V = 1,41 A$$

Antenna

$$Tensione = 141,4V$$

$$Corrente = 0,707 A$$

Credo che ormai avrete già immaginato che tra il trasmettitore e l'antenna potremmo inserire un trasformatore da 70,7 a 141,4 V e risolvere così il problema... come sarà fatto il trasformatore? Supponiamo per comodità (poi vedremo meglio) che il primario (avvolgimento lato trasmettitore) abbia 10 spire e il secondario ne dovrà avere $141,4 \cdot 10 / 70,7 = 20$ spire.

Allora, per adattare 200 Ω a 50 Ω serve un trasformatore con rapporto di trasformazione di tensione 1:2 o, per renderci la vita più facile, con rapporto tra le spire pari a 2 si trasforma 4 volte l'impedenza! Generalmente, parlando di antenne ed accessori, sentiamo dire ad esempio "trasformatore 4:1" intendendo un trasformatore che trasforma l'impedenza con fattore 4.

Il procedimento indicato permetterebbe di tenere sempre a mente i principi di funzionamento, però sarebbe un po' noioso per i nostri usi.. se rimaneggiamo tutte le relazioni, possiamo legare il numero delle spire con il voluto rapporto di trasformazione impedenza così:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2}$$

Nel caso visto prima si verifica che $200/50 = 4 = 400/100$

Per progettare un trasformatore di impedenza che abbia buone possibilità di funzionamento, dobbiamo fare alcune considerazioni e qualche calcolo.

- Trasformatore a banda stretta o a larga banda
- Potenza applicabile
- Scelta dei materiali
- Calcolo

Dato che il trasformatore deve essere solitamente usato su una antenna multibanda, ci occuperemo di quelli a larga banda. Un primo problema che sorge è che purtroppo viviamo in un mondo reale dove non c'è nulla di puro... cioè con il fatto che le induttanze che realizziamo hanno associate delle capacità parassite che determinano la frequenza di risonanza della stessa: per realizzare un circuito a larga banda dobbiamo evitare risonanze nel campo di frequenza di interesse.

Questo problema si risolve facilmente realizzando avvolgimenti con poche spire che oltretutto sono più comodi da fare, ma...

Una regola empirica vuole che l'avvolgimento esibisca alla frequenza di lavoro una reattanza pari a 5÷6 volte il valore dell'impedenza in gioco: vale a dire che l'avvolgimento, ad esempio del lato a 50 Ω deve avere una reattanza di almeno $250 \div 300 \Omega$.

Lo so che ve lo ricordate, ma giusto per onor di cronaca preferisco suggerire la formuletta per calcolare la reattanza di una induttanza

$$X = 2 \pi fL$$

Dove X è la reattanza, f è in MHz e L in μH.

Allora vediamo che, se il nostro trasformatore 4:1 deve lavorare in 40 metri, i due avvolgimenti dovrebbero avere rispettivamente 300 e 1200 Ω di reattanza: questi valori sono associati a induttanze di 6,8 e 27,3 μH.

Se pensassimo di realizzare le due bobine su un supporto di diametro di 5 cm, il primario sarebbe costituito da 14 spire su una lunghezza di 6 cm, mentre il secondario avrebbe 28 spire. Sembra incredibile ma il rapporto delle spire è ancora 2:1! A causa delle capacità parassite, l'avvolgimento secondario risuonerà intorno a circa 20 MHz, ma l'uso sarebbe limitato a non più di 14 MHz, quindi

un trasformatore di questo tipo andrebbe bene solo per una antenna per i 40 metri, ma se la nostra antenna deve essere usata anche sulle altre bande... saremmo a piedi! Dobbiamo quindi fare degli avvolgimenti con meno spire ma che mantengano il valore di reattanza previsto.

Esistono materiali detti "ferromagnetici" che inseriti all'interno dell'avvolgimento hanno varie conseguenze, una di queste è di aumentare, a parità di spire, il valore di induttanza. Questi materiali sono disponibili sotto forma di bacchette o di anelli (detti toroidi) con diverse caratteristiche studiate per le varie applicazioni. Per applicazioni a larga banda nel campo delle onde corte, si impiegano ferriti messe in vendita da diversi produttori (Siemens, Amidon, Fair Rite, Philips etc.). Guardando le caratteristiche, ad esempio della FT 240-43 (toroide in ferrite della Amidon, ferrite tipo 43 diametro 2,40 pollici) si vede che la nostra induttanza da 27,3µH si può fare con sole 4 ÷ 5 spire quindi siamo a cavallo!

Resta solo un ultimo punto da verificare: la potenza applicabile.

Lavorando con induttanze avvolte in aria ci si preoccupa del diametro del filo per limitare le perdite ed eventualmente del tipo di isolamento se sono previste tensioni di lavoro elevate. Quando si lavora con i materiali ferromagnetici si va incontro ad altre problematiche dovute alla trasformazione in calore di parte dell'energia in transito: l'aumento di temperatura del nucleo può portare alla sua rottura. Per tenere sotto controllo questo aspetto, bisogna rispettare alcuni valori limite del flusso che è calcolabile sulla base di alcuni elementi quali la sezione del nucleo utilizzato, il numero di spire, la tensione applicata. Per le ferriti valgono i seguenti limiti

Frequenza (MHz)	0,1	1	7	14	21	28
Densità di flusso (gauss)	500	150	57	42	36	30

Il flusso viene così calcolato

$$b \text{ max} = \frac{E_{pk} * 10^2}{4,44 * A_e * N * f}$$

Dove E_{pk} = tensione applicata Vrms; A_e sezione del nucleo in cm^2 , N numero di spire, f la frequenza in MHz.

Nel caso del FT240-43, la sezione è di 1,57 cm^2 ; nell'esempio fin qui discusso, ricordiamo che per 100 W di potenza la tensione sui due avvolgimenti vale 70 e 140 V e i due avvolgimenti fatti con questo nucleo avranno 2 e 4 spire. Il valore di flusso a 7 MHz per il primario e secondario vale quindi 72 gauss che è superiore al limite riportato in tabella. Verifichiamo cosa succede con un nucleo più piccolo come ad esempio il FT 114A-43 che è circa la metà di dimensioni.

In questo caso l'induttanza necessaria sarà ottenuta con 4 e 8 spire; la sezione di questo nucleo è 0,69 cm^2 ed il flusso risulterà 40 gauss rispettando il limite previsto dalla tabella.

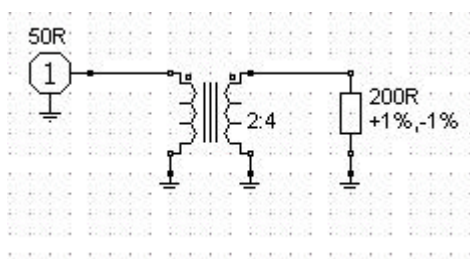


Figura 1

Tutto chiaro fin qui? Allora è ora di confondere un poco le idee!

3 Il choke

Un problema abbastanza comune è rappresentato da segnali a radiofrequenza di una certa intensità che seguono percorsi non previsti con effetti di solito non graditi. A molti è successo, specialmente usando antenne filari (anche con valori di SWR decenti), di vedere il TRX spegnersi quando si va in trasmissione oppure la tensione di alimentazione scendere con luci lampeggianti non appena si supera un certo livello di potenza.

Questo tipo di fenomeno è principalmente dovuto a correnti a radiofrequenza che raggiungono la terra scorrendo lungo l'esterno della linea coassiale.

Il trasferimento "regolare" della potenza erogata dal trasmettitore in una linea coassiale avviene nel dielettrico contenuto tra la calza ed il conduttore centrale, in condizioni ottimali all'esterno del cavo coassiale non dovrebbero circolare correnti. Quando ad esempio alla linea coassiale venga collegata una antenna simmetrica (bilanciata rispetto a terra) l'esterno della calza del cavo coassiale viene interessata da correnti che alterano il funzionamento dell'antenna (variazioni del diagramma di irradiazione) e possono inoltre provocare gli inconvenienti cui si è accennato. Il choke (dall'inglese strozzare) è un dispositivo che strozza appunto il cavo coassiale impedendo alle correnti a radiofrequenza di scorrere sull'esterno della calza. L'effetto viene ottenuto inserendo lungo la linea coassiale dei dispositivi che aumentando l'induttanza associata al conduttore stesso frenano il flusso di corrente senza influire sul normale trasferimento di energia dal trasmettitore all'antenna. Anche qui ci sono dispositivi sintonizzati ed altri a banda larga. Una volta tanto quelli a banda larga sono più semplici da realizzare e non richiedono tarature!

La nostra amica ferrite ci dà nuovamente una mano... un'altra delle forme commerciali in cui le ferriti sono disponibili è quella di manicotti usati particolarmente (guarda caso) per sopprimere le interferenze. Ne esistono di vari formati e ci sono dei tipi che possono essere calzati su cavi come il RG213 o il RG58. Si tratta di ferriti ad elevata permeabilità che permettono di ottenere dei valori di induttanza elevata per la singola spira rappresentata dal cavo che passa dentro al nucleo. Calzando un numero adeguato di questi manicotti lungo il cavo si impedisce lo scorrere di tali correnti. Il numero varia in funzione della frequenza di lavoro e delle caratteristiche della ferrite impiegata; di seguito vedremo come verificare il funzionamento. Prima ancora due parole su dove metterle...: qualsiasi posizione lungo la linea di trasmissione funzionerà da freno, ma fra tutte queste posizioni (tra le quali alcune poco pratiche) soffermiamoci su due in particolare. Se le posizioniamo vicino al trasmettitore, quasi sicuramente risolviamo il problema con comodità, se invece le posizioniamo al termine della linea di trasmissione vicino alla connessione con l'antenna si isolerà la linea dall'antenna evitando le alterazioni del diagramma di irradiazione di quest'ultima ed evitando che la linea irradi. Ecco perché "antenne" come l'EH o la CFA cessano di funzionare quando si inserisce il choke. In questo caso il choke prende anche il nome di "balun in corrente" poiché forza correnti uguali nei due rami del dipolo.

Verifica e dimensionamento del choke

Si può fare con strumentazione di vario livello:

- Generatore RF e voltmetro elettronico, oscilloscopio, analizzatore di reti e ...altro!
- Generatore RF e tester

Per generatore si intende qualsiasi cosa in grado di produrre un segnale RF di livello adatto al rivelatore che si impiega quindi nel primo caso un generatore propriamente detto, nel secondo il nostro RTX alla potenza più bassa (5 ÷ 10W). Servono inoltre un pezzo di cavo coassiale (30 ÷ 40cm) adatto ai manicotti di ferrite disponibili, un pezzo di basetta ramata o di lamiera stagnata, una coppia di resistenze, possibilmente non induttive (carbone) di wattaggio compatibile con il tipo di generatore in uso e di valore tale che la loro somma sia (circa) 50 Ω (ad esempio 22 e 33 Ω). Nel

caso che non si abbia a disposizione il voltmetro elettronico serviranno ancora pochi particolari per costruire il trasformatore di corrente descritto in seguito che può tornare utile per altre esperienze.

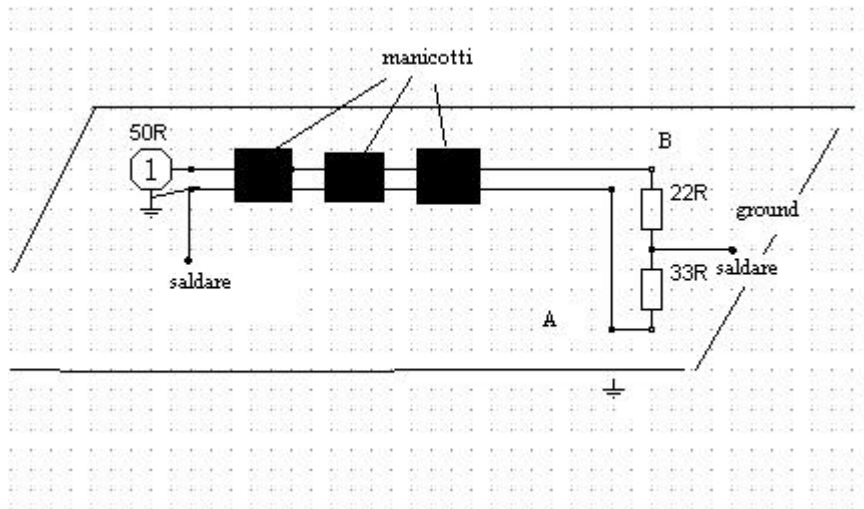


Figura 2

In assenza di correnti che scorrono sull'esterno della calza del cavo coassiale, applicando tensione RF al bocchettone del punto 1, le tensioni RF lette tra il punto A e ground e tra B e ground dovranno essere in accordo con i valori delle resistenze impiegate, ovvero se i manicotti di ferrite fanno il loro mestiere, le correnti che scorrono tra A e ground e tra B e ground devono essere uguali quindi ricordando il buon Ohm sarà $I_1 = I_2 = V_1/R_1 = V_2/R_2$

Come al solito tanto per confondere.. supponiamo che il generatore tiri fuori 1 V. Nel carico di 55 Ω della figura scorreranno 18mA. Tra A e ground si svilupperà una tensione di $0,018 \cdot 33 = 0,6V$ mentre da B e ground si dovrà leggere $0,018 \cdot 22 = 0,4V$. Se ci sono dei percorsi alternativi per il circuito, ovvero se il choke non strozza, i valori di tensione letti si scosteranno da quelli attesi.

Procedura: montare l'accrocchio con alcuni manicotti, impostare sul generatore la frequenza di interesse, fare le letture e verificare la corrispondenza. Se tutto corrisponde togliere un manicotto e ripetere la misura e ripetere l'operazione fino a quando si notano scostamenti significativi dal valore teorico (5%). Se siete stati avari e al primo tentativo le differenze tra le letture pratiche e i valori teorici sono superiori al 5%, aggiungete un manicotto e riprovaate oppure aumentate la frequenza fino a rientrare nei limiti previsti: quella sarà la frequenza più bassa di funzionamento del choke.

Misura povera (tx e tester)

Come detto prima, in questo caso si dovrà costruire un rilevatore di corrente per misurare (anche grossolanamente) l'intensità della che scorre lungo la calza. Servono: 1 dei manicotti suddetti oppure un nucleo di quelli aperti (splittato) per soppressione interferenze, un diodo al germanio (pardon germanio!) una resistenza da 47 Ω un trimmer da 10kΩ, un condensatore da 1nF ed un po' di filo di rame smaltato da 0,3mm.

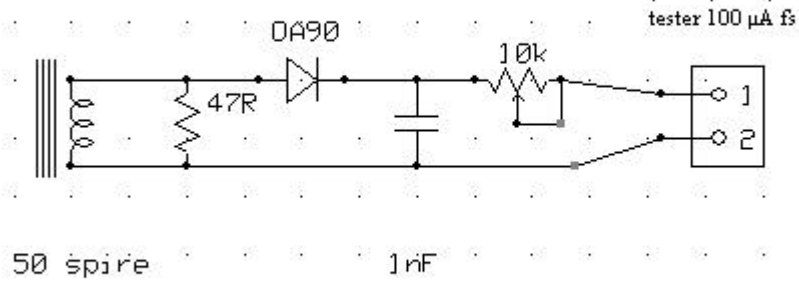


Figura 3

Il trasformatore può essere realizzato avvolgendo 50 spire di filo di rame smaltato da 0,1 ÷ 0,3 mm su un toroide in ferrite (FT 50-43 o simili) oppure su un manicotto di ferrite (come se fosse un toroide spesso) o su il mezzo nucleo (vedi figura 3a) di uno di quei soppressori apribili quindi fissare le spire con del nastro isolante o con della colla a caldo. Montare gli altri componenti in aria o su un pezzetto di basetta millefori. Fatto?



Figura 3a

Allora ritorniamo al setup di prima con il TX al posto del generatore e montiamo il nostro trasformatore di corrente sul cavo tra la connessione alla piastra e il primo manicotto come indicato in figura 4.

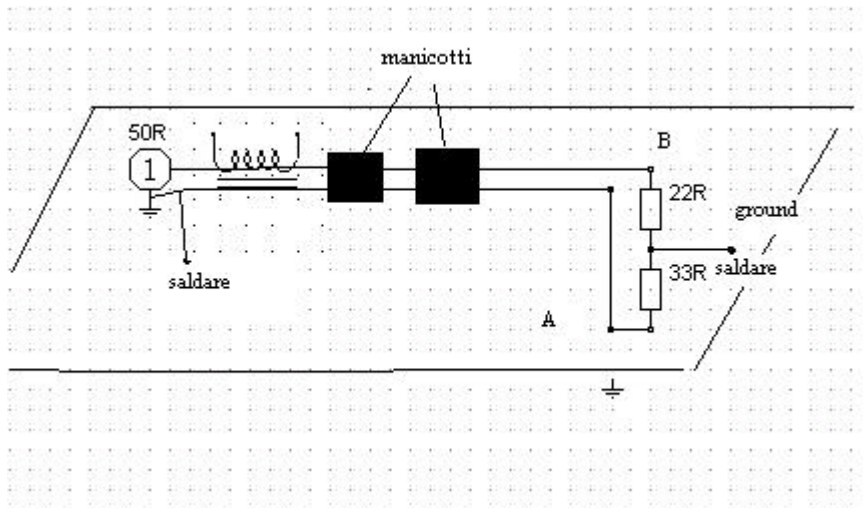


Figura 4

Attenzione: per eseguire questo tipo di misura è necessario che la potenza dissipabile dalle resistenze sia compatibile alla potenza minima erogabile dal TRX, tipicamente $5 \div 10W$. Impostare il TRX sulla frequenza di interesse, modo FM o CW, potenza al minimo. Passare in trasmissione e regolare il trimmer del trasformatore in modo da avere una lettura. Provare ad aumentare la frequenza (almeno 1 MHz) e vedere se la corrente diminuisce significativamente: in caso positivo continuare a salire fino a raggiungere il minimo di corrente: annotarelo. Se non diminuisce, diminuire la frequenza fino a quando non si vede crescere la corrente: questa sarà la frequenza minima cui il choke è efficace. In alternativa aggiungere o togliere manicotti e trarre le conclusioni.

Detto così per inciso, gli stessi manicotti toroidi etc. montati sui cavi di alimentazione delle nostre radio evitano di portare RF a spasso sugli stessi evitando di solleticare gli alimentatori stabilizzati o di andare ad infettare la rete a 220V che a sua volta potrebbe poi portare la RF al televisore del vicino...

Un'altra nota: anche quando si impieghino potenze relativamente alte, l'entità di queste correnti di sbilanciamento dovrebbe essere contenuta quindi il dimensionamento fisico dei nuclei non è critico. Alcuni decenni addietro W2UN ideò un choke balun leggero in modo da non appesantire l'isolatore centrale del dipolo utilizzando uno spezzone di cavo isolato in teflon del diametro di pochi mm con una trentina di toroidi in ferrite calzati. Il tutto è messo arrotolato in un tubo di plastica con i terminali di antenna, occhielli e SO239. L'aggeggio è kW rated. Negli States costa alcune decine di dollari, vi lascio immaginare cosa costa in Italia. Il sottoscritto usa da anni per il dipolo dei 160m uno spezzone di RG213 con 6 manicotti pagati all'epoca meno di 1000 lire l'uno... meditate gente meditate!

4 Il nostro amico balun

La parola deriva dalla contrazione dei termini inglesi balanced – unbalanced e identifica come precedentemente accennato un dispositivo atto a interfacciare correttamente un carico bilanciato ad una linea sbilanciata (coassiale) o viceversa.

È importante? In teoria sì... in pratica può esserlo meno! Ci sono alcuni casi in cui come abbiamo visto nel precedente capitolo in cui un accoppiamento malfatto può avere conseguenze spiacevoli e l'uso di un balun (choke balun) può essere salutare, ma sicuramente conoscete anche voi un discreto numero di radioamatori che hanno usato e usato dipoli connessi direttamente al cavo coassiale senza inconvenienti. Il dipolo è una antenna simmetrica ovvero i due rami (anche quello impropriamente e

comunemente detto freddo) sono distanti allo stesso modo da terra. Tutti quanti sappiamo che il diagramma di irradiazione di un dipolo ha una forma simile ad un 8, ma quasi tutti sappiamo anche che la corrente che scorre nell'antenna ne determina il comportamento. Anche senza avere conoscenze specifiche dell'argomento, solo basandoci sul senso comune o sul nostro senso estetico, secondo voi se le correnti nei due rami non sono uguali, quell'8 sarà proprio regolare? Adesso che avete immaginato l'effetto su un semplice dipolo, provate a pensare a quella Yagi che avete amorosamente montato e regolato: non stupitevi se poi lavorate i giapponesi con l'antenna che punta a NW.. non si tratta di particolari cammini propagativi ma di convergenza dell'antenna che il gommista non può correggere, ma un balun sì. Quindi, magari non è indispensabile, però costa poco, se ben fatto ha perdite di inserzione trascurabili e può risolvere alcune anomalie allora usiamolo!

Esistono due tipi di balun: uno detto "current balun" che forza correnti uguali nei due rami e questo lo abbiamo già visto e l'altro detto "voltage balun" che forza tensioni uguali nei due rami dell'antenna. Questo tipo di balun esiste in diverse versioni basate sui modelli ideati da Ruthroff: troviamo balun 1:1, 1:4 etc.

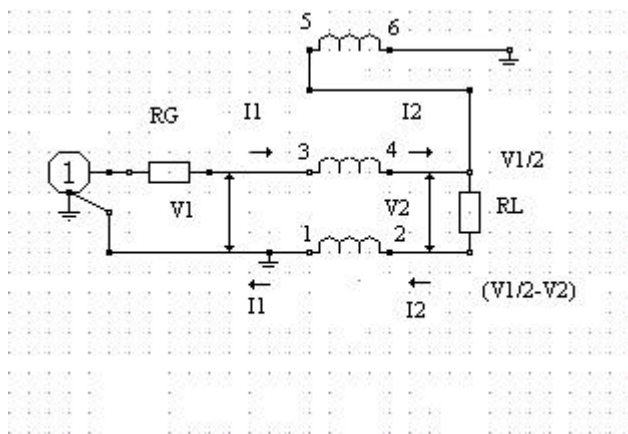


Figura 5

Incominciamo da quelli facili ovvero dal balun 1:1. Consiste in un avvolgimento trifilare (3 avvolgimenti uguali e paralleli) avvolti su un toroide o su bacchetta di ferrite.

I due avvolgimenti in serie 3-4 e 5-6 provocano una caduta di tensione pari a $-V1$, quindi, i terminali 4 e 5 si trovano a potenziale, rispetto a terra intermedio e pari a $+V1/2$. Il terminale 2, sarà a potenziale $(V1/2 - V2)$. Se gli avvolgimenti 1-2 e 3-4, che in realtà sono delle linee di trasmissione sono terminati sulla loro impedenza caratteristica ($RL0$) allora sarà $V1 = V2$ e il terminale 2 sarà a potenziale $(V1/2 - V2) = V1/2$ ovvero i due estremi del carico saranno bilanciati rispetto al potenziale di terra. Da notare che il centro di RL può essere collegato in questo caso al terminale 1 (terra) poiché si trova a potenziale 0 (zero).

Nella trattazione originaria di Ruthroff, il terzo avvolgimento (5-6) doveva servire a completare il circuito di magnetizzazione, ma successivamente si è visto che nel caso di applicazione su antenne, se la reattanza degli avvolgimenti 3-4 e 1-2 è molto maggiore di RL il terzo avvolgimento è superfluo e lo schema può essere ridisegnato così:

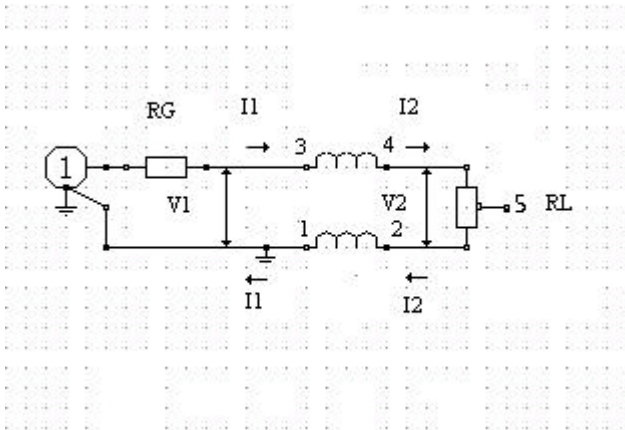


Figura 6

Se gli avvolgimenti hanno un adeguato effetto choke, l'impedenza di ingresso del balun corrisponde a quella di una linea terminata che tradotto in linguaggio comune significa che lo stesso balun è sempre 1:1 a prescindere dell'impedenza di carico. Come descritto parlando del trasformatore, e del choke, è necessario che gli avvolgimenti presentino una elevata induttanza con poche spire; anche in questo caso verranno utili toroidi o bacchette di ferrite. Ma cosa va meglio? Ambedue le forme possono soddisfare la maggior parte delle applicazioni, ma i toroidi presentano alcuni vantaggi:

- Permettono di estendere meglio la risposta alle basse frequenze
- Permettono l'uso di conduttori più spessi da usare con potenze alte
- Se l'applicazione è nel campo da 50 a 200 Ω permettono una maggior larghezza di banda
- In alcuni casi il balun viene usato in unione a trasformatori: un balun toridale offre un miglior isolamento.

Balun 1:4

Abbiamo già visto un trasformatore 1:4, nella figura 7 viene mostrato lo schema di un balun 1:4.

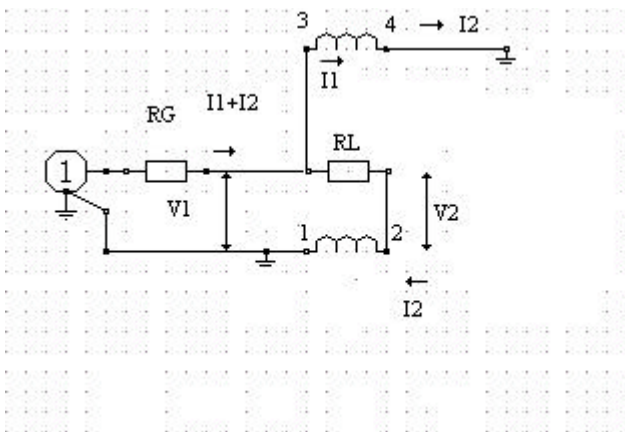


Figura 7

Il principio di funzionamento, si basa sul fatto che il lato sinistro di RL è a potenziale $+V1$ visto che è direttamente collegato al punto di alimentazione. Il lato destro di RL a causa del gradiente negativo dato dall'avvolgimento 1-2 si trova a potenziale $V2 = -V1$ quindi agli estremi di RL troveremo una tensione pari a $2V1$ e ricordando il trasformatore diventa facile capire come

avvenga la trasformazione di impedenza. Inoltre, l'uscita è anche bilanciata rispetto a terra essendo i due estremi del carico a $\pm V1$ rispetto al potenziale 0.

Se confrontate la figura 7 con la figura 5, vedrete che con un avvolgimento in meno, si ottiene un balun 4/1 invece che 1/1!

5 Gli Unun..

Ormai l'avete già capito, gli Unun sono gli unbalanced – unbalanced ovvero dei trasformatori che trasformano da sbilanciato a sbilanciato. L'Unun 1:4 è probabilmente quello più conosciuto ed impiegato in molti casi di adattamento interstadio oppure su antenne.

Anche in questo caso, l'approccio di Ruthroff si basò sull'applicazione delle linee di trasmissione e vedremo che il rapporto di trasformazione dell'impedenza è indipendente dal numero di spire ma dipende dal numero di avvolgimenti e da come sono connessi. I trasformatori precedentemente illustrati sono forse più flessibili poiché variando il numero delle spire del primario e del secondario si possono ottenere tutti i rapporti di trasformazione desiderabili, gli Unun, che richiamano molto gli autotrasformatori, hanno meno flessibilità ma consentono ampio spettro di applicazione e basse perdite di inserzione. Inoltre utilizzando per gli avvolgimenti delle linee di trasmissione caratterizzate se ne possono fare di veramente speciali.

Prendiamola bassa e vediamo l'Unun 1:4

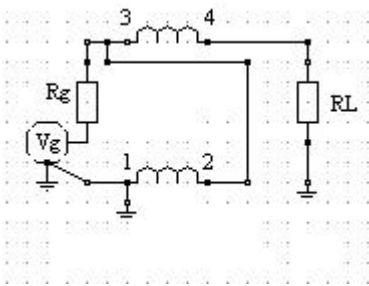


Figura 8

Credo che tutti l'abbiano visto almeno una volta... come nel caso del trasformatore, la tensione ai capi di RL è 2 volte quella applicata tra 3 e 1 quindi l'impedenza viene moltiplicata per 4. Dallo schema si vede che il circuito richiama molto quello dell'autotrasformatore.

Vediamo cosa succede ad aggiungere un avvolgimento:

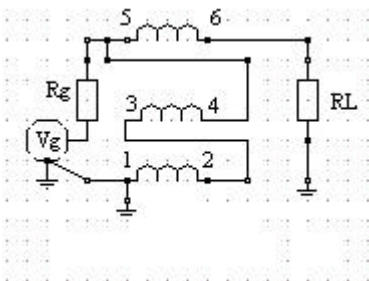


Figura 9

In questo caso ai capi di ogni avvolgimento, la tensione sarà $V1/2$ e quindi tra il terminale 6 e 1, ovvero ai capi di RL la tensione sarà $3/2V1$. Dato che nulla si crea e nulla si distrugge ma tutto si trasforma (Lavoisier) se all'ingresso abbiamo una tensione $V1$ con una corrente $I1$, all'uscita dove $V2 = 3/2V1$ avremo una corrente $I2=2/3I1$. Il valore di impedenza di uscita sarà quindi $V2/I2 = (3/2V1)/(2/3I1)=9/4 Rg$ ovvero 2,25 volte.

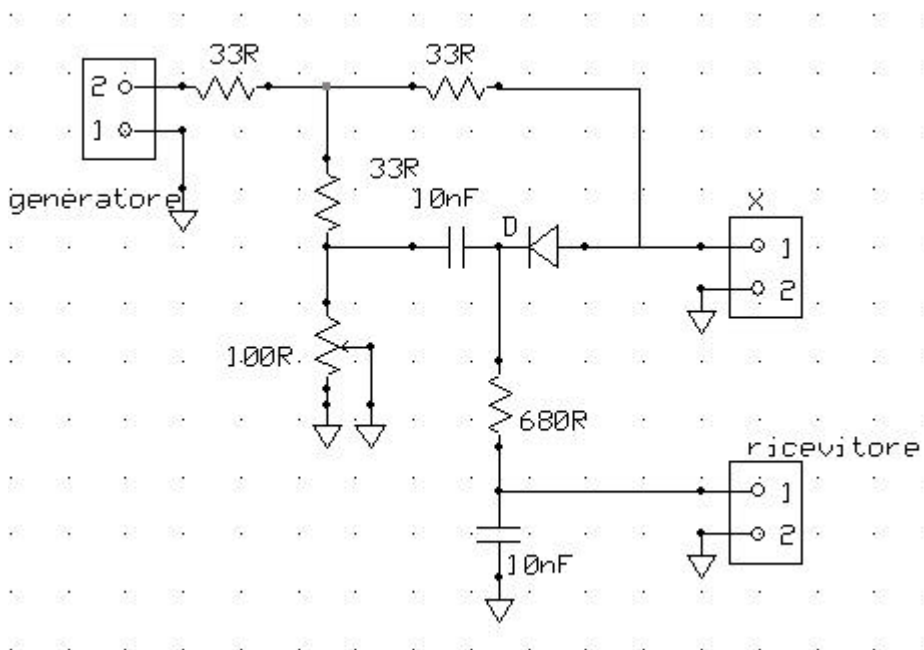
Se collegassimo il generatore alla connessione 1-3 realizzeremmo un Unun 1:9.

Questi Unun possono essere realizzati con conduttori normali (filo di rame smaltato o teflonato), ma le prestazioni migliori si ottengono quando gli avvolgimenti sono realizzati con delle linee di trasmissione ad impedenza pari a RL diviso il numero di avvolgimenti.

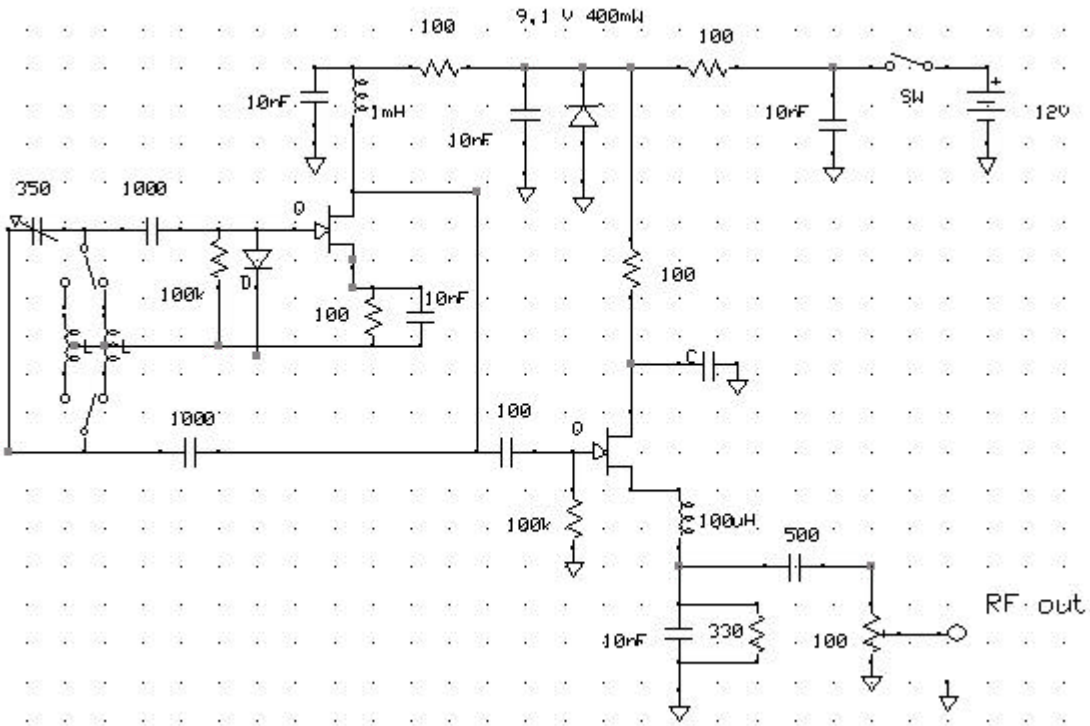
Richiamando ancora il principio dell'autotrasformatore, possiamo realizzare praticamente tutti i rapporti di trasformazione: 1:4, 1:9, 1:16 usando 2, 3, 4 avvolgimenti. Cambiando il modo di connessione tra gli avvolgimenti ed il posizionamento del carico e del generatore si possono ottenere altri rapporti come 1:2,25 oppure 1,67 etc. e per di più se su un avvolgimento collocheremo una più prese si potranno ottenere dei rapporti intermedi.

6 Misure

Dato che ci sono diverse variabili in gioco, quali le caratteristiche dei nuclei, il tipo di circuito ed altro ancora, è conveniente eseguire qualche misura per caratterizzare i nostri balun, unun o trasformatori prima di impiegarli sul campo. Esistono diversi strumenti quali analizzatori di reti vettoriali e non, analizzatori di spettro e quant'altro; probabilmente se ne possedete uno e lo sapete usare non sarete arrivati a leggere fin qui.. se non li avete potete sempre pensare di costruirli (alcuni progetti si sono già visti sia su Radio Rivista che su altre riviste amatoriali come ad esempio il PNA di Steve Hageman o il VNA di N2PK Paul Kiciak). Se avete un Noise Bridge potete usarlo per determinare i vari rapporti di trasformazione. Il Noise Bridge è facile da realizzare un po' meno da tarare.. lo schema è riportato su praticamente tutte le edizioni dell'ARRL Handbook e degli ARRL Antenna Handbook. Almeno per iniziare consiglieri un piccolo generatore ed un ponte resistivo utilizzando un ricevitore come rivelatore. Di seguito due semplici schemi.



Ponte resistivo – Figura 10



Generatore – Figura 11

Per i possessori di “antenna analyzer” come l’Autek RF1 o V1, MFJ 259 e simili, il generatore è già pronto!

Esempi pratici

Di seguito vengono riportati gli schemi elettrici degli unun o balun precedentemente descritti corredati di fotografie chiarificatrici (i fili di colori diversi fanno capire meglio come fare i collegamenti!).

Balun tensione 1:1 Fig. 12 e Fig. 13

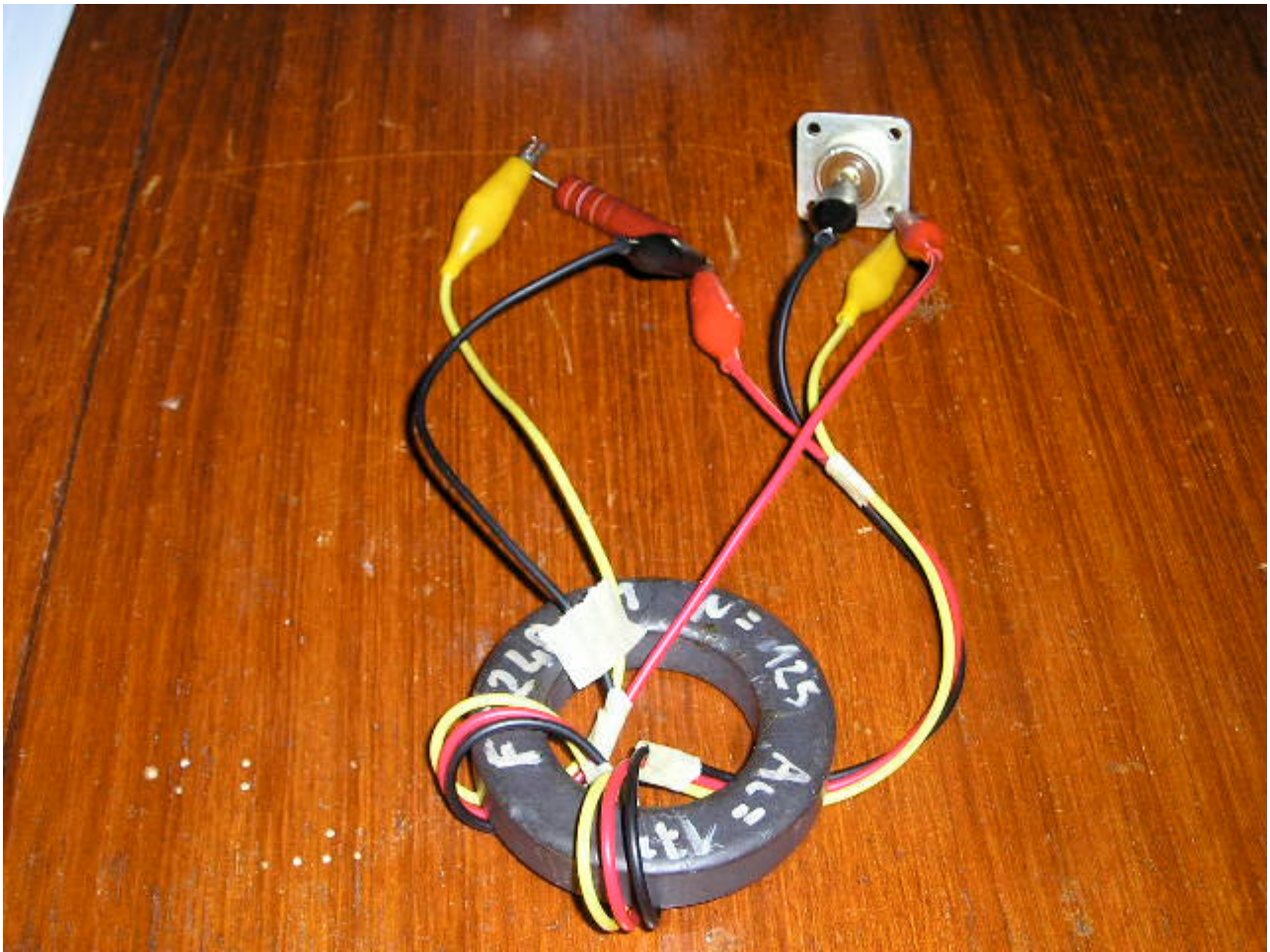


Figura 12

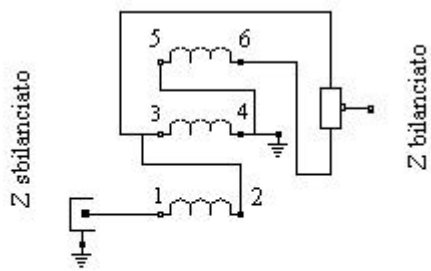


Figura 13

Balun tensione 4:1 Fig. 14 e Fig.15

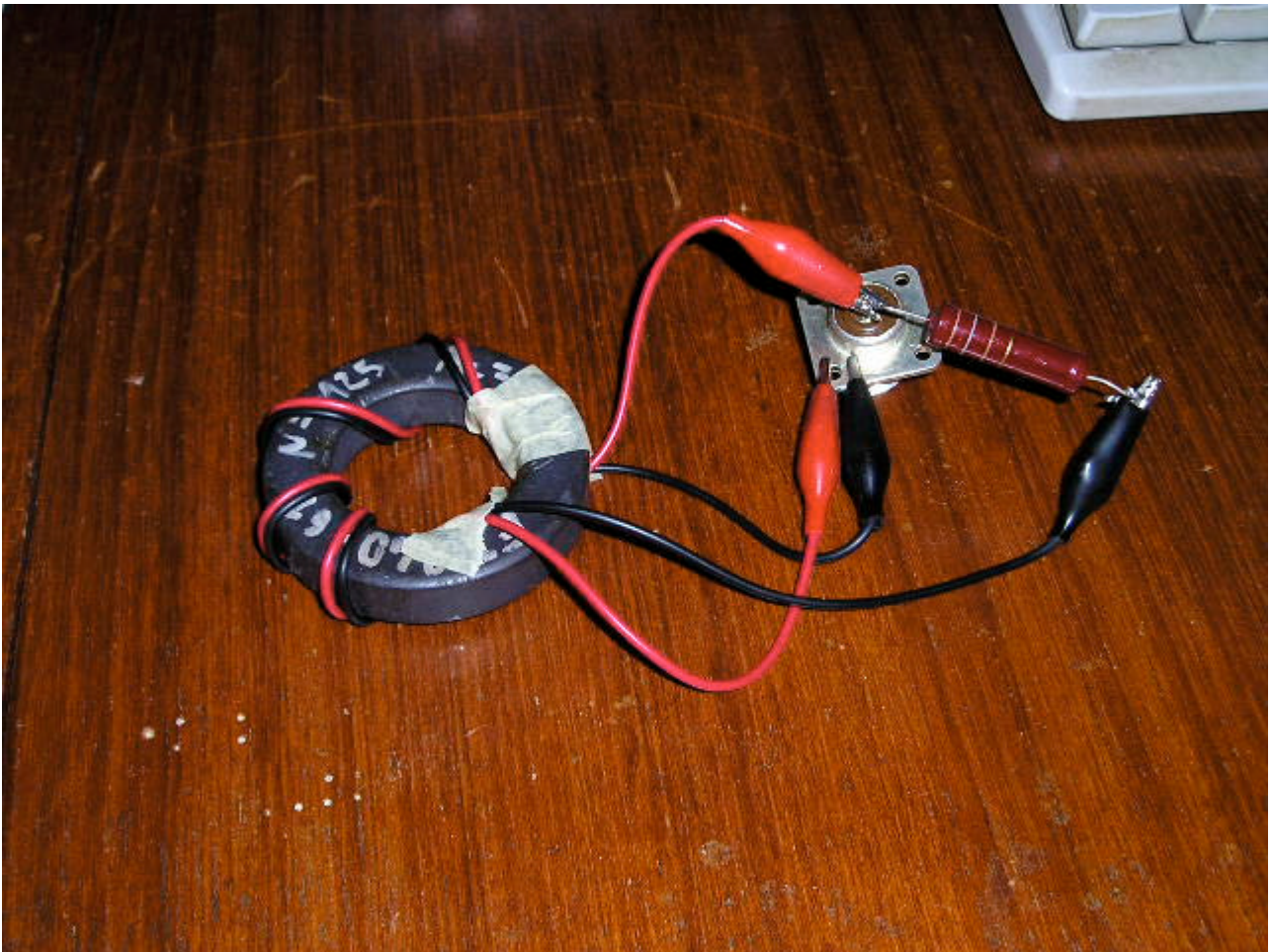


Figura 14

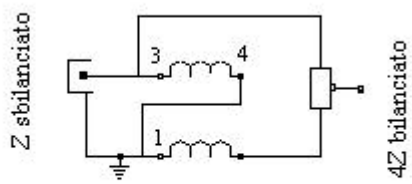


Figura 15

Choke = balun corrente 1:1 Fig. 16 e Fig.17

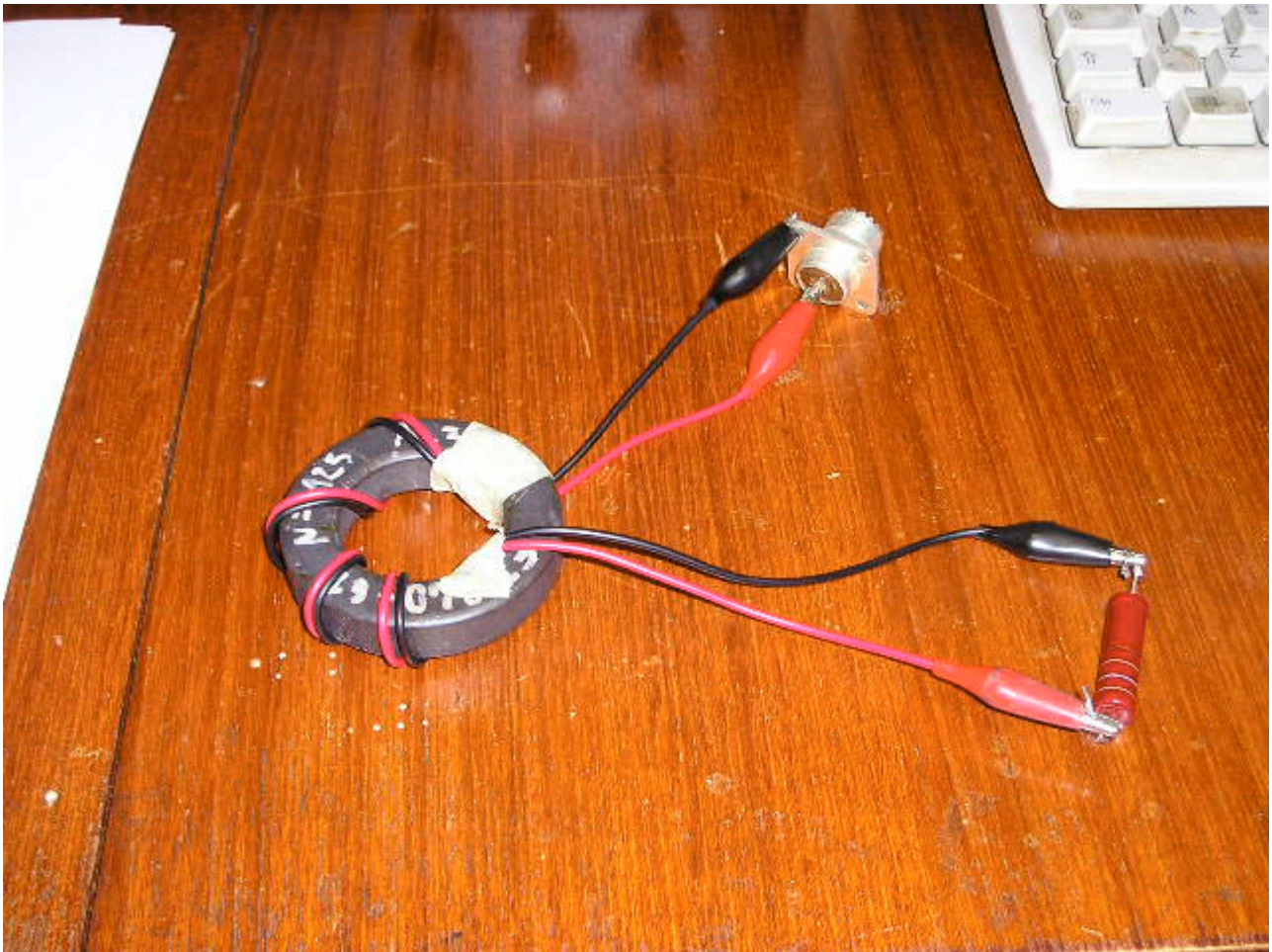


Figura 16

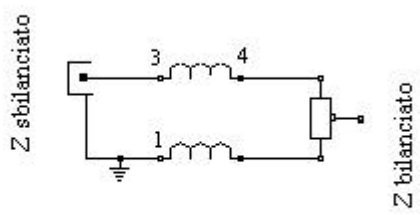


Figura 17

Unun (trasformatore a linea di trasmissione) 4:1 Fig. 18 e Fig. 19

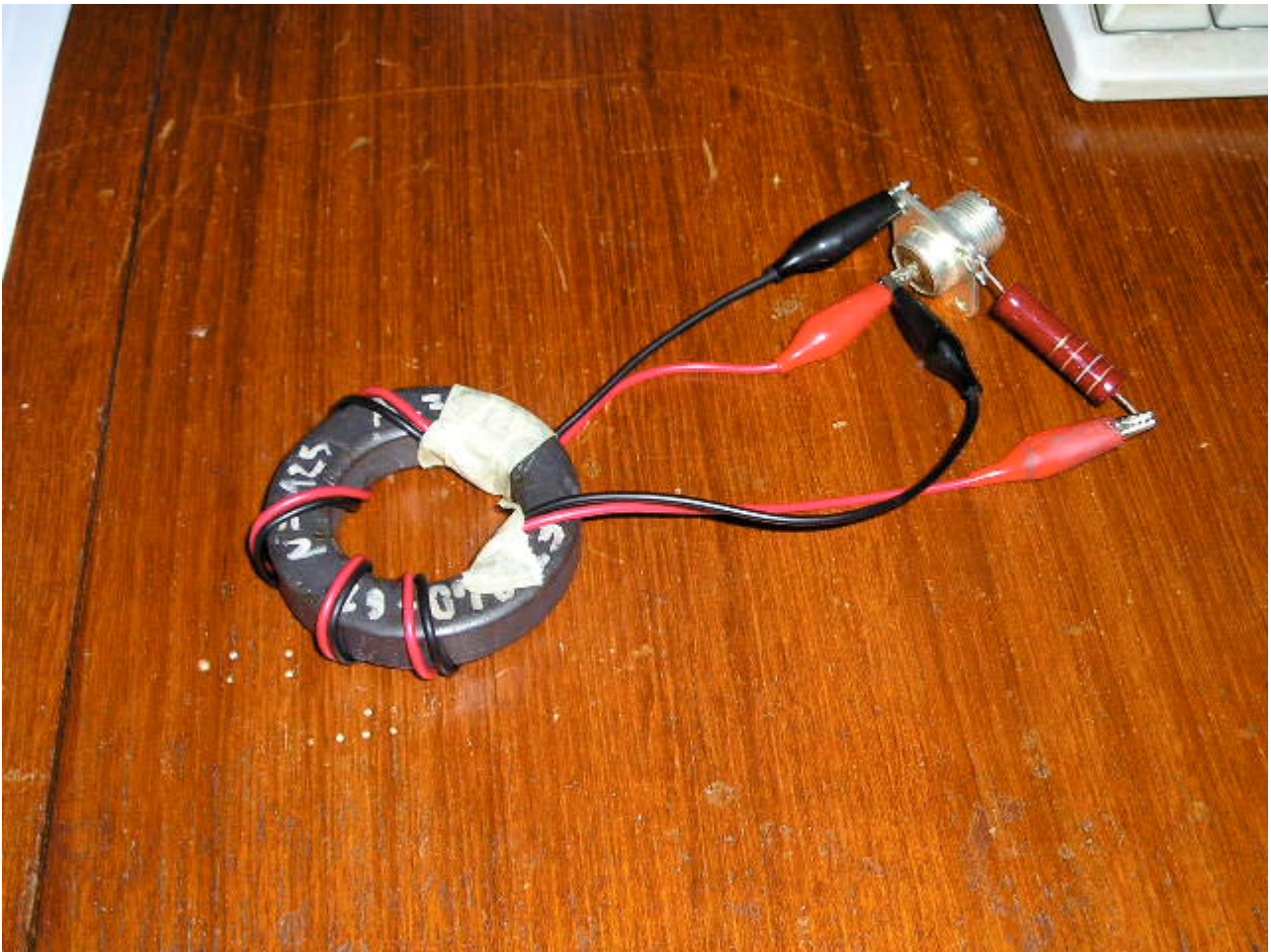


Figura 18

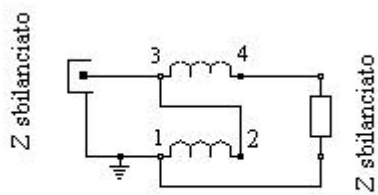


Figura 19

Commenti

Adesso sapete tutto: non resta che mettere in pratica! Tanto per gradire alcune linee guida su cosa usare perché a questo punto tra trasformatori, balun di corrente o balun di tensione choke etc. si rischia di fare la fine dell'asino di Buridano!

Dipolo $\lambda/2$: è una antenna simmetrica fatto salvo che non l'abbiate montata in modo disgraziato.. teoricamente nei due rami dovrebbero scorrere tensioni e correnti uguali. Se l'impedenza del dipolo è uguale a quella del cavo (50 Ω per una inverted V o 75 Ω per un dipolo orizzontale ad adeguata altezza dal suolo) il choke 1:1 realizzato con un adeguato numero di manicotti di ferrite calzati sul cavo prima dell'isolatore centrale è la mia scelta preferita: è semplice ed economico. Un balun 1:1 in tensione (quello di Figura 12/13) è comunque una scelta accettabile. Un dipolo con impedenza 75 W alimentato con un cavo 50 W presenta alla risonanza un rapporto SWR di 1,5:1 e avrebbe bisogno di un balun 1,5:1 qui la cosa si complica specie se si è in presenza di una antenna multibanda.. la soluzione più semplice prevede un trasformatore 1,5:1 seguito da un choke realizzato con i manicotti di ferrite.

Dipolo asimmetrico (Windom): la risposta è implicita – serve un unun 4:1 o 6:1. Qualora il cavo coassiale non venga via perpendicolarmente ai fili dell'antenna è facile che ci si trovi della corrente sulla calza del coassiale. In questo caso dei manicotti in ferrite posti sul cavo al termine del tratto in verticale dello stesso e magari ancora in stazione alla connessione con il RTX dovrebbero togliere dall'imbarazzo.

Antenne verticali: sono antenne sbilanciate e possono essere alimentate direttamente con il cavo coassiale. Se sono necessarie delle trasformazioni di impedenza alla base dell'antenna un unun è la scelta corretta. In teoria non dovrebbero servire i choke, ma le vie della radio frequenza sono infinite .. se capita si possono mettere i soliti manicotti o un adeguato numero di spire realizzate con lo stesso coassiale.

Bibliografia e letture suggerite

Transmission line transformers – W2FMI Jerry Sevick – ARRL

Analizzatore di reti – Radio Rivista 2/2002

VNA – N2PK su www.n2pk.com

The ARRL Antenna Book –ARRL tutte le edizioni

The ARRL Handbook – ARRL tutte le edizioni

Iron Powder & Ferrite Coil Forms – Amidon Associates