Ridurre le CMC col choke

By iw2fnd Lucio

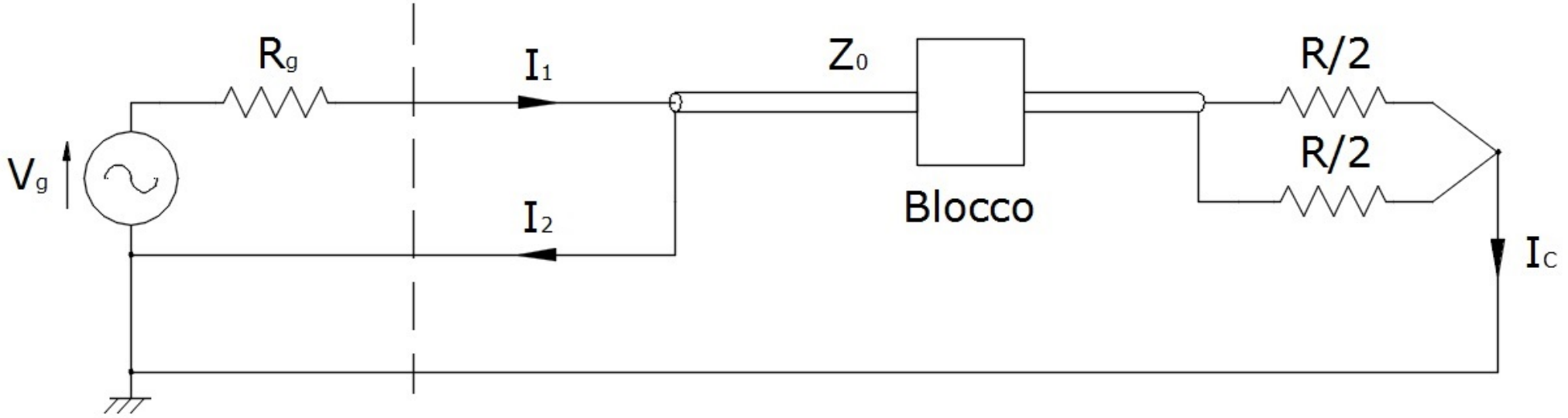
Correnti di modo comune (CMC)

Le correnti di modo comune (CMC) sono quelle che percorrono entrambi i conduttori della linea di trasmissione nella stessa direzione e sono la causa dell'irradiazione di radiofrequenza nello spazio circostante la linea. La riduzione della corrente di modo comune riporta le correnti che scorrono nella linea di trasmissione ad essere bilanciate e quindi alle sole correnti di modo differenziale (CMD).

La riduzione della CMC si attua inserendo un circuito di blocco nella maglia ove scorre la corrente di modo comune tale da non ostacolare la corrente di modo differenziale.

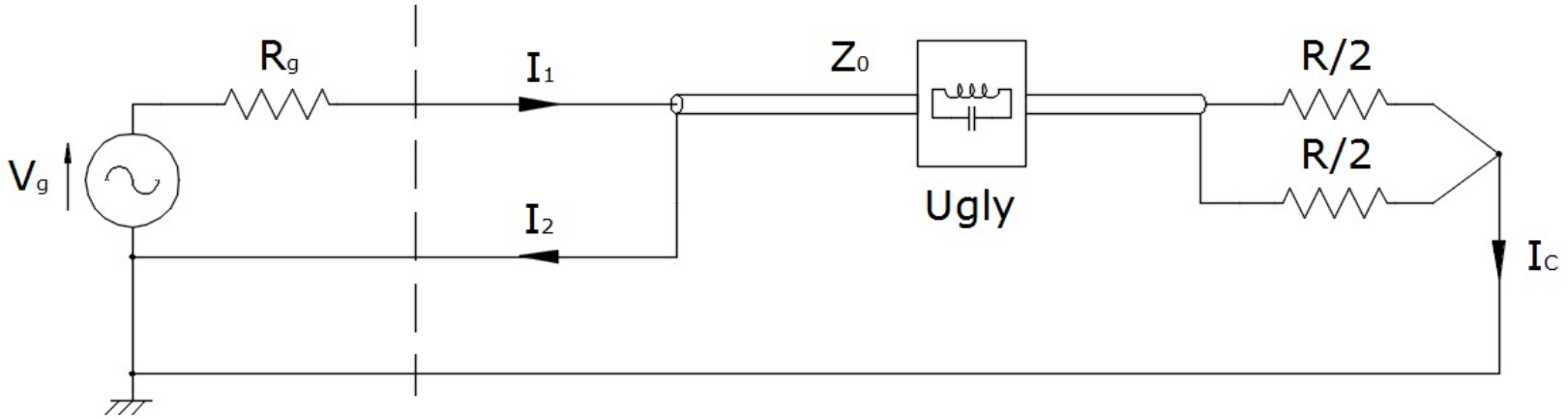
I circuiti di blocco utilizzati nella pratica sono di due tipologie:

- Risonatore parallelo, detto comunemente Ugly Bal-Un;
- Induttanza di blocco, detta comunemente Choke (strozzatore).



UGLY Bal-Un

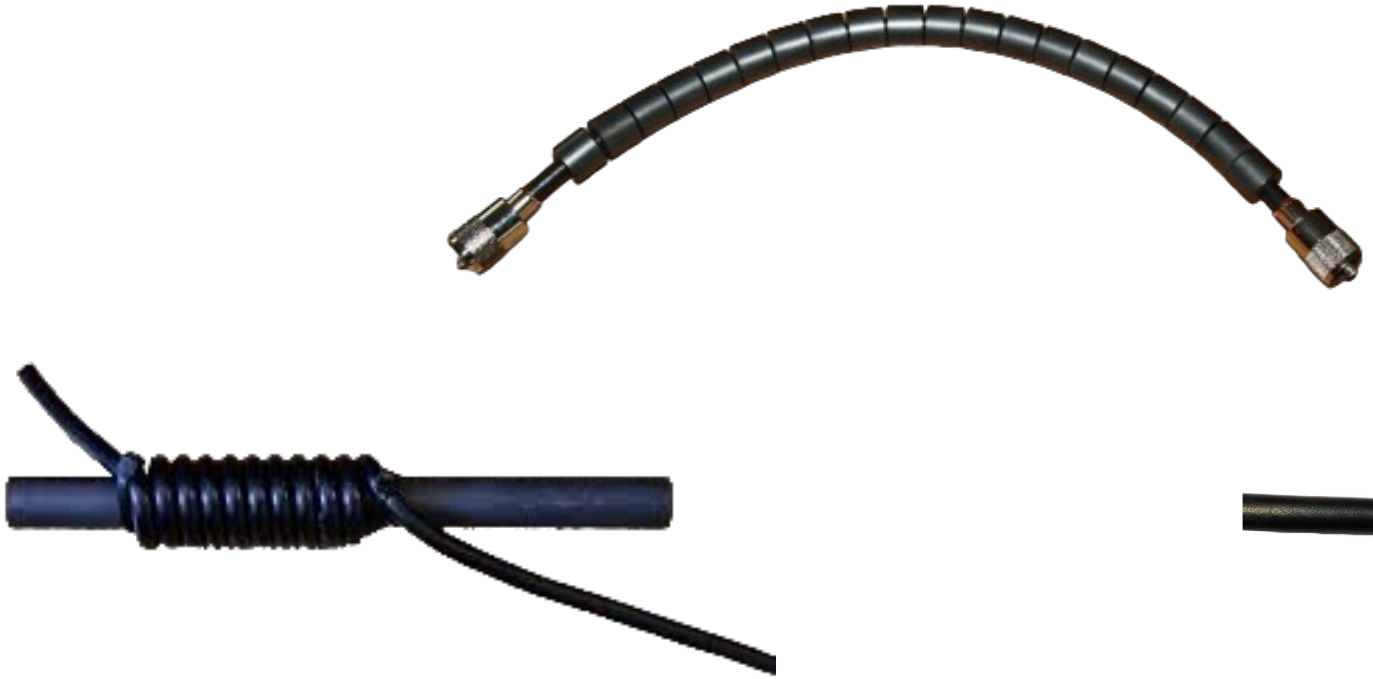
L'Ugly Bal-Un è un risonatore di tipo parallelo che si realizza avvolgendo N spire di cavo coassiale.
Infatti, il cavo coassiale avvolto è di fatto un'induttanza in aria mentre la capacità distribuita che si crea tra le spire del coassiale costituisce il condensatore in parallelo.



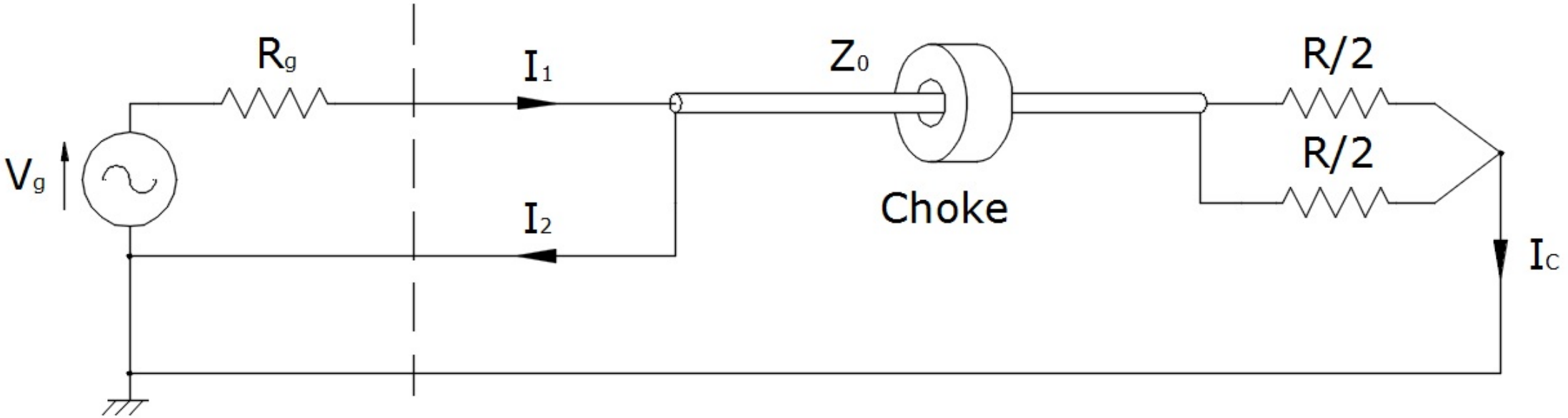
L'effetto bloccante di un circuito così fatto è molto elevato alla frequenza di risonanza perché, di solito, il Q del circuito è piuttosto grande. Purtroppo, la sua frequenza di risonanza è influenzata dalla posa e dai fattori ambientali esterni. Inoltre, questi dispositivi, a causa del Q elevato, non sono in grado di coprire efficacemente più di due o tre bande di frequenza.
La difficoltà nella taratura e l'incertezza della sua efficacia fa sì che l'Ugly Bal-Un sia poco utilizzato.

Il choke

Il choke è un’induttanza di blocco che si attua inserendo un’induttanza lungo il percorso della CMC.
Di solito l’induttanza si realizza inserendo dei manicotti di ferrite lungo la linea o più convenientemente avvolgendo il coassiale attorno a del materiale ferromagnetico; come una bacchetta di ferrite o un toroide.



Il choke

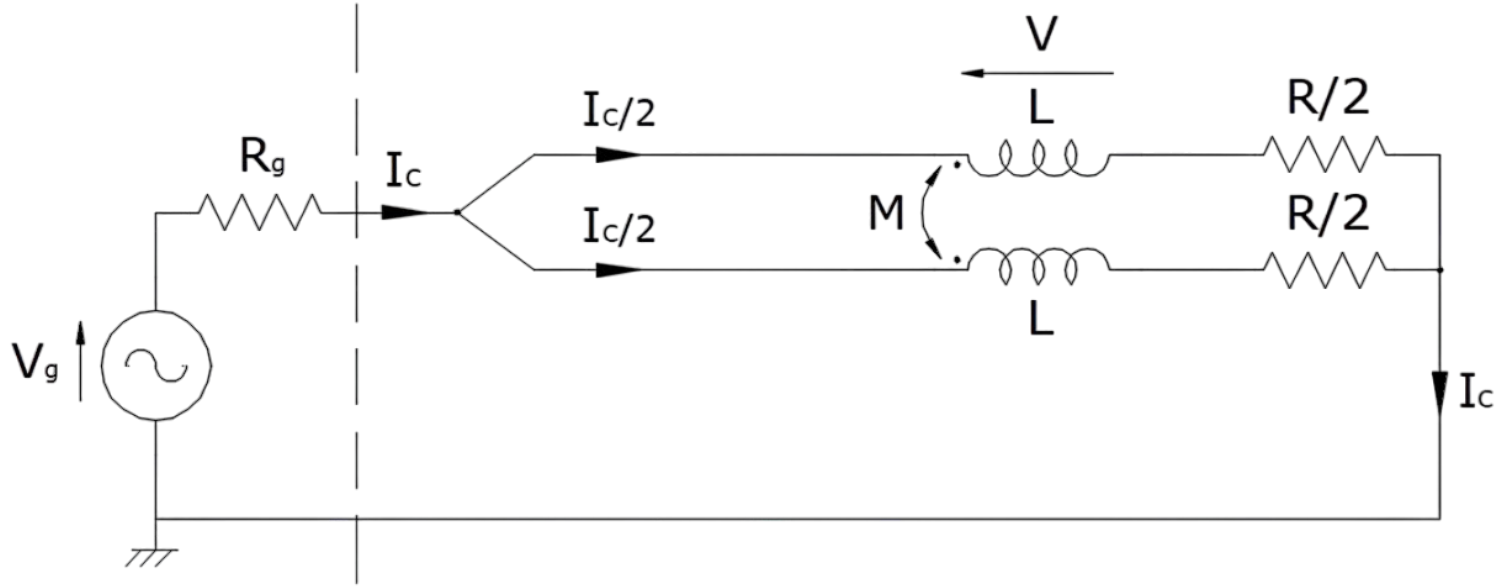


L’effetto bloccante di un circuito così fatto è meno elevato di quello risonante ma non è influenzato dalla posa e dai fattori ambientali esterni. Inoltre, l’uso della ferrite, permette di coprire diverse bande di frequenza e talvolta anche tutto uno spettro di frequenze; come le HF.

Nel video tratteremo questa tipologia di choke ed in particolare quelli avvolti su toroide di ferrite.

Il choke

Inserire un choke lungo una linea di trasmissione equivale ad inserire un'induttanza su entrambi i conduttori. L'induttanza agirà SOLO sulle correnti di modo comune. Infatti, le correnti di modo differenziale vedranno solamente l'induttanza dispersa!
La corrente di modo comune, scorrendo in entrambi i conduttori, si può sintetizzare nel seguente modo:



Di solito la corrente di modo comune I_C si divide a metà sui due conduttori della linea; perché le induttanze L prodotte dal choke sono uguali ed il carico è bilanciato. Inoltre il coefficiente di accoppiamento k delle induttanze è molto vicino all'unità. Per cui, la mutua induttanza M≈L e quindi l'induttanza dispersa è molto piccola. Questo avviene soprattutto se si usano cavi coassiali; cioè quasi sempre.

Realizzazione del choke con toroide di ferrite

1. Scelta della ferrite migliore;
2. Decidere il numero di spire minimo;
3. Scegliere il coassiale;
4. Verifica della ferrite;
5. Realizzare il choke;
6. Testare il choke col VNA.

1) Scelta della ferrite migliore

La ferrite si sceglie in base alla frequenza di utilizzo. Di solito si sceglie la ferrite che abbia nel centro banda la permeabilità magnetica μ più alta possibile.

Ricordo che la permeabilità è

$$\mu = \sqrt{\mu'^2 + \mu''^2}$$

Per cui contano entrambi i contributi.

Volendo costruire un choke per le HF cerchiamo la ferrite che abbia un μ elevato da 1,8 a 30MHz.

Dal sito Fair-Rite scegliamo la ferrite di grado #43.

@1,8 MHz μ'=911 e μ''=182

@ 16 MHz μ'=205 e μ''=276

@ 30 MHz μ'=117 e μ''=202

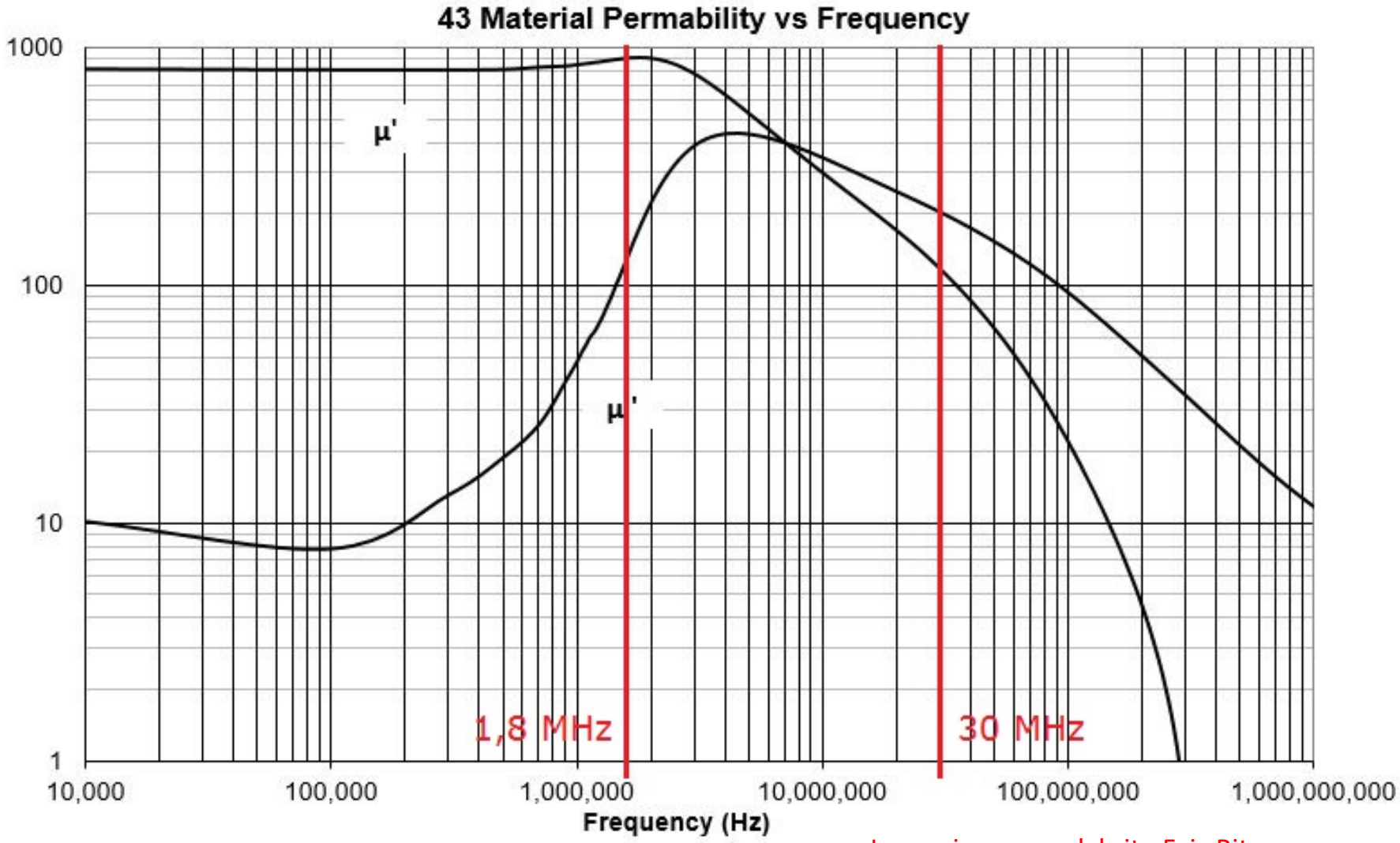


Immagine presa dal sito Fair-Rite

1) Scelta della ferrite migliore

Immagine presa dal sito Fair-Rite

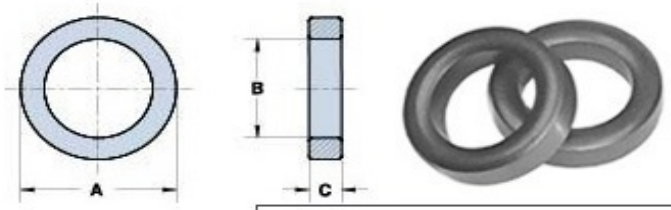
La ferrite di grado #43 esiste in diverse forme.

Noi radioamatori utilizziamo principalmente la <u>forma toroidale</u> ed in particolare l'FT140 o l'FT240.

Le due ferriti si differenziano per il diametro esterno. Per l'FT140 è di 1,4 pollici (35,55 mm) mentre per l'FT240 è di 2,4 pollici (61,00 mm).

Per il nostro progetto utilizzeremo la ferrite di maggiore diametro, cioè l'FT240-43, che ha un A_e = 1,58 cm^2.

Su questa ferrite si possono avvolgere fino a 17 spire di coassiale da 5 mm e la lunghezza media della spira è 70mm.



Low-Medium Permeability, 43 (ui=800) material

Dimensions: Top numbers are in millimeters, bottom numbers are in r

Part Number	Frequency Range	A	B	C	Wt. (g)	A_L(nH)	Ae(cm^2)	l_e(cm)	V_e(cm^3)
5943011101	43 Material	073.65 ±1.50 (2.900")	38.85 ±0.75 (1.530")	12.70 ±0.40 (0.500")	188	1300 ±25%	2.14	16.5	35.3
5943003821	43 Material	062.80 Max (2.472" Max)	34.20 Min (1.347" Min)	13.70 Max (0.539" Max)	106	1075+20%, -25%	1.58	14.5	22.8
5943003801	43 Material	061.00 ±1.30 (2.400")	35.55 ±0.85 (1.400")	12.70 ±0.50 (0.500")	120	1075 ±20%	1.58	14.5	22.8
5943017301	43 Material	047.50 ±1.20 (1.902")	31.50 ±0.80 (1.252")	19.05 ±0.35 (0.750")	94	1275 ±25%	1.55	12.2	18.9
5943018601	43 Material	043.60 ±1.00 (1.717")	23.10 ±0.50 (0.909")	18.00 ±0.50 (0.709")	90	1830 ±25%	1.78	9.8	17.5
5943002721	43 Material	036.80 Max (1.449" Max)	21.95 Min (0.864" Min)	13.70 Max (0.539" Max)	33	885+20%, -25%	0.78	8.9	7
5943002701	43 Material	035.55 ±0.75 (1.400")	23.00 ±0.55 (0.906")	12.70 ±0.50 (0.500")	33	885 ±20%	0.78	8.9	7

2) Decidere il numero di spire minimo

Per determinare l numero di spire minimo (N_{min}) è necessario decidere l'attenuazione minima (IL_{min}) che si vuole ottenere col choke e la frequenza minima (f_{min}) ove deve avvenire. Il calcolo matematico è piuttosto complesso ma lo possiamo semplificare utilizzando un'astuzia col VNA.

L'astuzia consiste nel misurare col VNA l'impedenza di una spira stretta attorno alla ferrite che vogliamo utilizzare alla frequenza minima. Le operazioni da fare sono:

A. Misurare col VNA la resistenza (R_1) e la reattanza (X_1) di una spira alla frequenza f_{min};
B. Con R_1 ed X_1 calcolare il modulo dell'impedenza Z_1 della spira: $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$ [Ω];
C. Ora occorre ricavare l'impedenza minima (Z_{min}) che deve avere il nostro choke per produrre l'attenuazione IL_{min} voluta. Per trovare il valore dovremo fare il seguente calcolo:

   $Z_{min} = 100\left(10^{\frac{IL_{min}}{20}} - 1\right)$ [Ω];

D. Noto Z_{min} otteniamo il numero minimo delle spire da avvolgere: $N_{min} = \sqrt{\frac{Z_{min}}{Z_1}}$.

<u>L'attenuazione minima (IL_{min}) non deve essere inferiore ai 20dB;</u> meglio sarebbero 30dB. Infatti, con trenta dB si attenuano di 31 volte le correnti di modo comune.

2) Decidere il numero di spire minimo

ESEMPIO

Vogliamo realizzare un choke per le HF, da 3,5MHz a 30 MHz, con attenuazione IL_{min} di 30dB usando una ferrite FT240-43.

A. Col VNA misuriamo l'impedenza di una spira alla frequenza minima di 3,5MHz ed otteniamo: R_1=8,98 Ω e X_1=16,6 Ω @3,500MHz;

B. Il modulo dell'impedenza $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{8{,}98^2 + 16{,}6^2}$=18,87 Ω;

C. L'attenuazione minima IL_{min} voluta è 30dB, per cui l'impedenza minima da realizzare col choke è:

$$Z_{min} = 100\left(10^{\frac{IL_{min}}{20}} - 1\right) = 100\left(10^{\frac{30}{20}} - 1\right) = 3062\ [\Omega];$$

D. Il numero minimo di spire da avvolgere è: $N_{min} = \sqrt{\frac{Z_{min}}{Z_1}} = \sqrt{\frac{3062}{18{,}16}} = 12{,}74$ spire.

Arrotondiamo le spire all'intero superiore e aggiungiamo una spira per stare sul sicuro. Quindi le spire da avvolgere sono 14.

3) Scegliere il coassiale

La scelta del coassiale è strategica perché la potenza viene trasportata tutta dal coassiale. Inoltre, il coassiale dovrà essere avvolto attorno al nostro toroide pertanto il raggio di curvatura minimo dovrà essere almeno di 8mm. Altrimenti potrebbe non essere garantito lo stesso ritardo di fase a tutte le frequenze o addirittura l'impedenza caratteristica Z_0 della linea. Per questo motivo i coassiali con dielettrico solido e compatto sono da preferire.
Dal catalogo Huber+Suhner ho ricavato i dati che ci servono per la scelta.

Sigla	Z_0	D_e [mm]	VF	V_{max} [Vrms]	R min. [mm]	P_{max} [W]	P_{max} [W]
RG 58 C/U	50 +/-2	4,95	0,66	2500	25	105 @1GHz	606 @30MHz
RG 142 B/U	50 +/-2	4,95	0,69	2500	30	407 @1GHz	2350 @30MHz
RG 316 /U	50 +/-2	4,95	0,69	1500	15	135 @1GHz	779 @30MHz
SUCOFORM 141 FEP	50 +/-2	4,10	0,71	1900	8	560 @1GHz	3233 @30MHz

La potenza massima CW viene espressa dal costruttore alla frequenza di 1GHz. Per poterla sapere a frequenze diverse occorre applicare la seguente formula:

$P_f = \frac{P_{max}\,@1GHz}{\sqrt{f}}$ Con la frequenza f espressa in GHz.

In tabella trovate i valori già calcolati alla frequenza di utilizzo più elevata: 30 MHz. Però, è buona norma non superare mai il 60 – 70% della potenza massima.
Infine, è evidente che il cavo da scegliere è quello semirigido SUCOFORM 141 FEP. Infatti risponde a tutti i requisiti di progetto: Z_0 = 50 Ω; R_{min} = 8 mm e P_{max} > 500 W @30 MHz.

4) Verifica della ferrite

43 Material Data Sheet

This NiZn is our most popular ferrite for suppression of conducted EMI from 20 MHz to 250 MHz. This material is also used for inductive applications such as high frequency common-mode chokes.

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability@ B < 10 gauss		μ_i	800
Flux Density @ Field Strength	Gauss Oersted	B H	3500 10
Residual Flux Density	Gauss	B_r	2200
Coercive Force	Oersted	H_c	0.36
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	Tan δ/μ_i	100 1.0
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20 -70°C)	%/°C		1.25
Curie Temperature	°C	T_c	>130
Resistivity	ohm-cm	ρ	1×10^5

4) Verifica della ferrite

La ferrite di grado #43 ammette una densità di flusso massimo di 350 mT (3500 Gauss).
La formula per il calcolo del flusso in un toroide è quella dei trasformatori.

$$B_{Max} > \frac{10 \cdot V_{eff}}{\sqrt{2}\pi f \cdot n_p \cdot A_e} \text{ [mT]}$$

Se la frequenza f è in [MHz], l'area A_e in [cm^2] il risultato sarà in [mT].
Però, non è semplice sapere qual è la tensione efficace V_{eff} a cui è soggetto il nostro choke. Infatti la corrente di modo comune non è nota a priori. Sappiamo però che non può essere superiore alla corrente di modo differenziale. Ma se la corrente di modo comune fosse uguale a quella differenziale avremmo un funzionamento anomalo; un guasto. Condizione che non si può escludere.
Quindi faremo il calcolo pensando che la corrente di modo comune sia uguale a quella differenziale.

La potenza legale in Italia è di P_{leg} = 500W per cui la tensione efficace (V_{eff}) sul choke sarà data:

$$V_{eff} = \sqrt{Z_0 \cdot P_{leg}} = \sqrt{50 \cdot 500} = 158 \text{ V}$$

Ora, facciamo il calcolo sapendo, dal datasheet della ferrite, che A_e=1,58 cm^2:

$$B_{Max} > \frac{10 \cdot V_{eff}}{\sqrt{2}\pi f \cdot n_p \cdot A_e} = \frac{1580}{4{,}44\ 3{,}5 \cdot 13 \cdot 1{,}58} = 4{,}95 \text{ mT}$$

. Il valore molto inferiore a quello massimo di 350mT.