L'adattatore in quarto d'onda

- Uno dei problemi da affrontare nella progettazione di circuiti a radiofrequenza ed antenne, è quello di ridurre la potenza riflessa al carico, cioè di ottenere un coefficiente di riflessione quanto più piccolo possibile

- Reti che agiscono in tal senso si dicono adattatori

- Un adattatore deve fondamentalmente trasformare l'impedenza di un carico e renderla uguale all'impedenza della linea che lo precede

- L'adattatore in quarto d'onda è concettualmente uno dei più semplici: un tratto di linea con impedenza caratteristica Zox, lungo $\lambda/4$, trasforma un carico R_L nell'impedenza

$$Z_{in} = \frac{{Z_{0x}}^2}{R_L}$$

L'adattatore in quarto d'onda

- Allora si può pensare di usare tale circuito come rete adattatrice, in cui il parametro di progetto è l'impedenza caratteristica dell'adattatore

- Se vogliamo che al suo ingresso presenti un'impedenza pari a Zo, impedenza caratteristica della linea cui vogliamo adattare, avremo

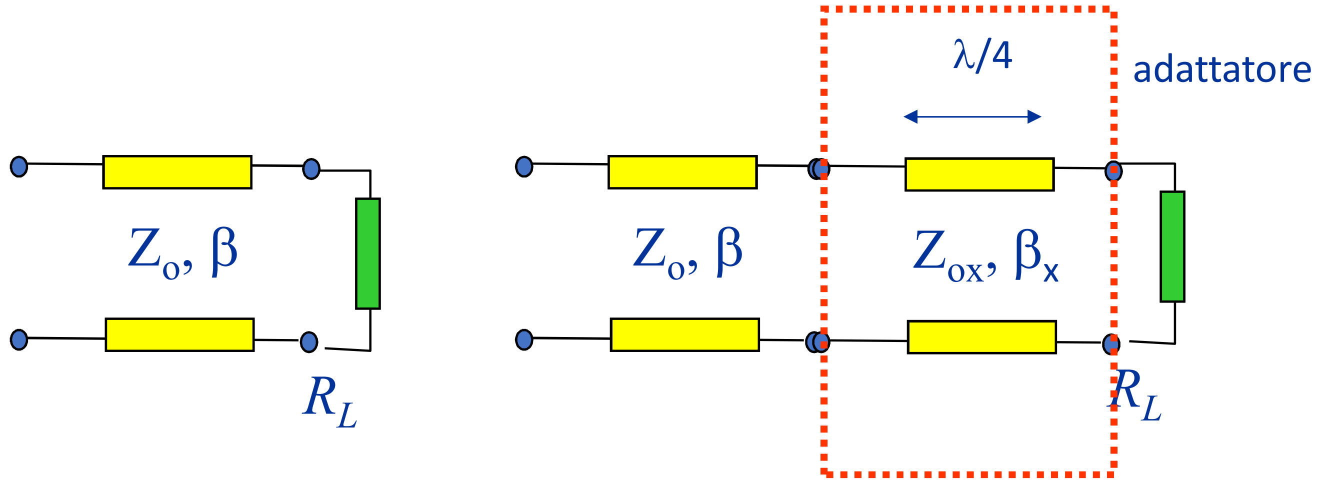
$$Z_0 = \frac{{Z_{0x}}^2}{R_L}$$

- Da cui

$$Z_{0x} = \sqrt{Z_0 R_L}$$

- Cioè, basta scegliere l'impedenza caratteristica della rete pari alla media geometrica tra l'impedenza di carico e quella della linea cui vogliamo adattare il carico

L'adattatore in quarto d'onda

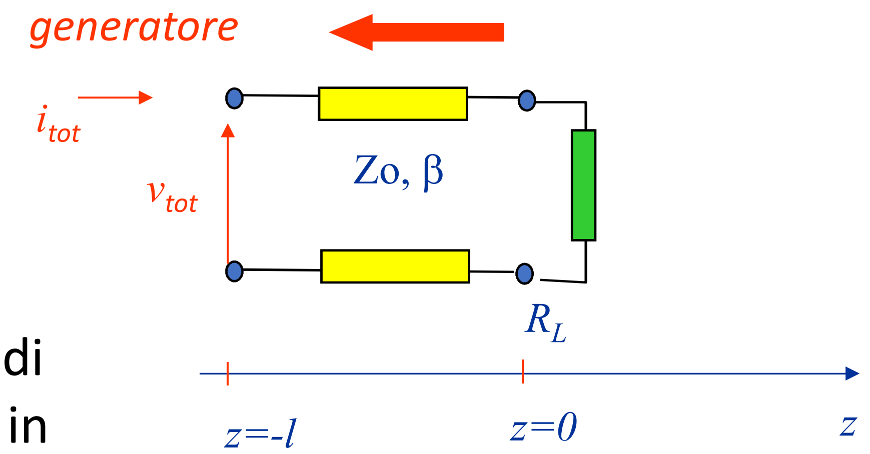


- Ci sono ovviamente alcuni inconvenienti:
  - l'adattamento dipende da λ, e quindi dalla frequenza: è a "banda stretta"
  - Non in tutti i tipi di linea è possibile scegliere le impedenze caratteristiche a piacere: è possibile solo nelle linee stampate, non nei coassiali
  - L'impedenza caratteristica deve essere reale, quindi R_L reale; se non lo è si può ricorrere ad un trucco: aggiungere un pezzetto di linea tra il carico e l'adattatore, che renda il carico reale; del resto sappiamo che in alcuni punti della linea l'impedenza è massima e reale, e pari $S \cdot Z_0$

Linee di Trasmissione e soluzioni grafiche: La Carta di Smith

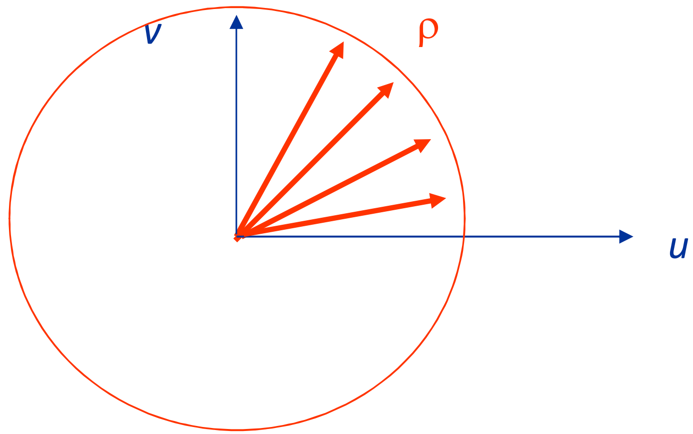
- Rappresentazione del coefficiente di riflessione sul piano complesso

$$\rho(-l) = \frac{V^- e^{-j\beta l}}{V^+ e^{j\beta l}} = \rho(0) e^{-2j\beta l}$$



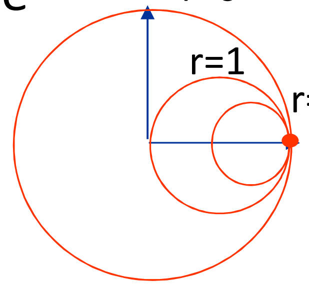
- In una linea senza perdite il coefficiente di riflessione non varia in modulo, ma solo in fase

- Sul piano complesso “ruota” in senso negativo (orario) andando verso il generatore



La Carta di Smith

- Periodicità $\lambda/2$
- Inoltre il coeff di riflessione è legato da una trasformazione bilineare all'impedenza di carico (vista nella sezione arbitraria)



$$\rho(-l) = \frac{Z_{in}(-l) - Z_0}{Z_{in}(-l) + Z_0} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

- L'idea a questo punto è di calcolare i luoghi dei punti a Re(Z_L) costante o a Im(Z_L) costante e di graficarli nel piano complesso, così che ad ogni punto nel piano coincida un determinato coefficiente di riflessione G ed al contempo un definito Z_L
- Posto $z_L = Z_L / Z_0 = r + jx = (1+\rho)/(1-\rho)$
- Si ottiene che i luoghi a r=costante sono circonferenze di raggio e centro:

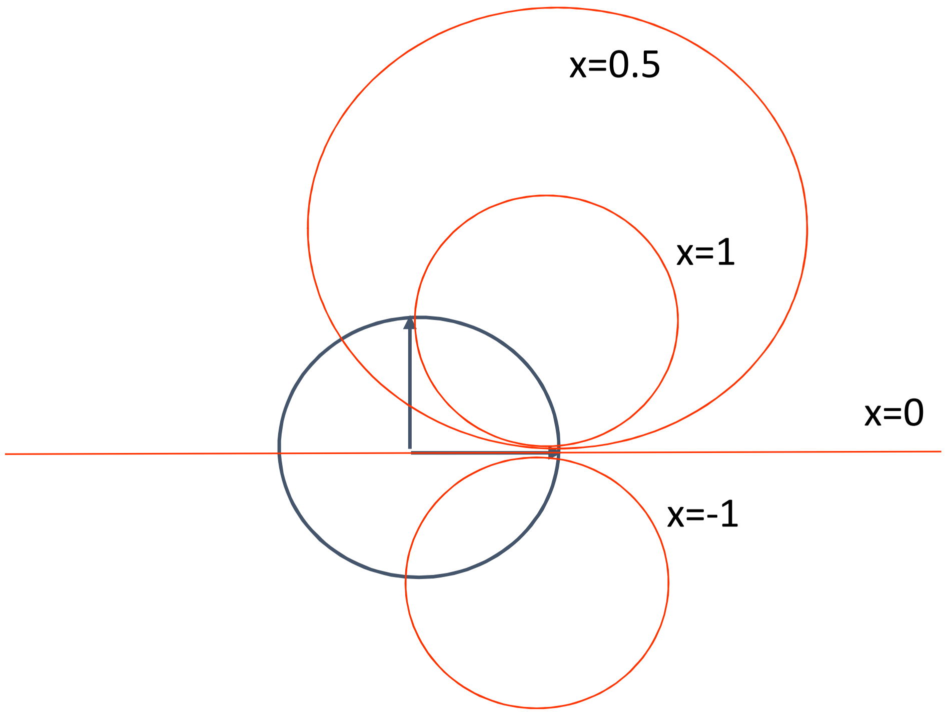
$$R = 1/(1+r); \quad C = (r/(1+r), 0)$$

La Carta di Smith

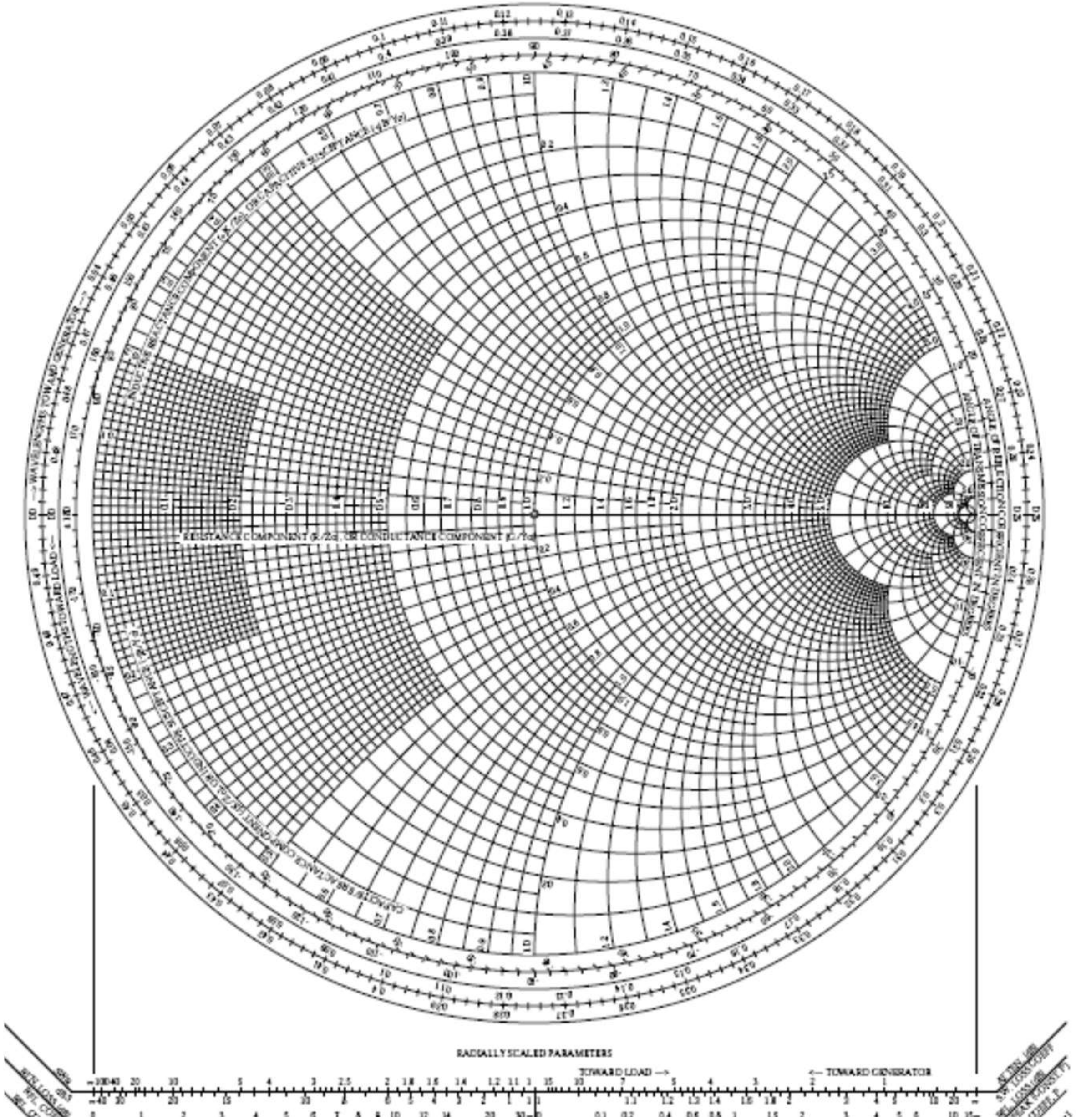
- Si ottiene che i luoghi a x=costante sono anch'essi circonferenze, ma di raggio e centro:

$$R = 1/|x|; \quad C = (1, 1/x)$$

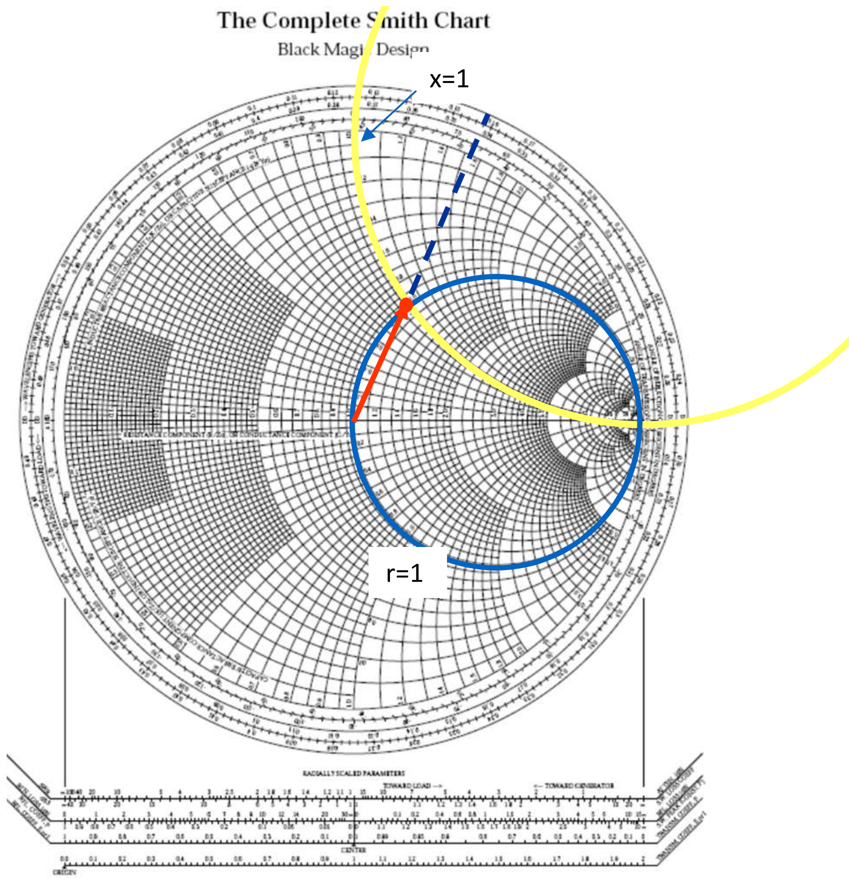
- Notate: i carichi induttivi sono nel semipiano superiore, quelli capacitivi nel semipiano inferiore



La Carta di Smith



La Carta di Smith



- In definitiva: normalizzata un'impedenza all'impedenza caratteristica della linea, possiamo individuarla sulla CdS: es. 50+j50Ω, su una linea di 50Ω, da un'impedenza normalizzata 1+j1
- Individuate subito il coefficiente di riflessione: il modulo si ottiene facendo una proporzione (il raggio della CdS individua il max coefficiente di riflessione, 1); se d è la lunghezza del vettore che rappresenta il coefficiente di riflessione e R il raggio della CdS otteniamo
$$|\rho| = d / R$$
- La fase, l'angolo, lo leggiamo sul bordo della CdS;
- Sul bordo in particolare trovate sia l'angolo che i valori di rotazione in frazioni di λ: sappiamo che un giro completo è $\lambda/2$, mezzo giro $\lambda/4$ ecc.
- Ecco che la CdS vi permette di calcolare sia che valore di impedenza è associato ad un coefficiente di riflessione (e viceversa) sia come l'impedenza si modifichi sulla linea, visto che lungo la linea (senza perdite) solo la fase del coefficiente di riflessione varia

La Carta di Smith

- Ricordate poi che in una linea, dove vi è un massimo di tensione, si ha un massimo di impedenza, e che tale impedenza è reale, pari a

$$Z_{\max} = Z_0 S$$

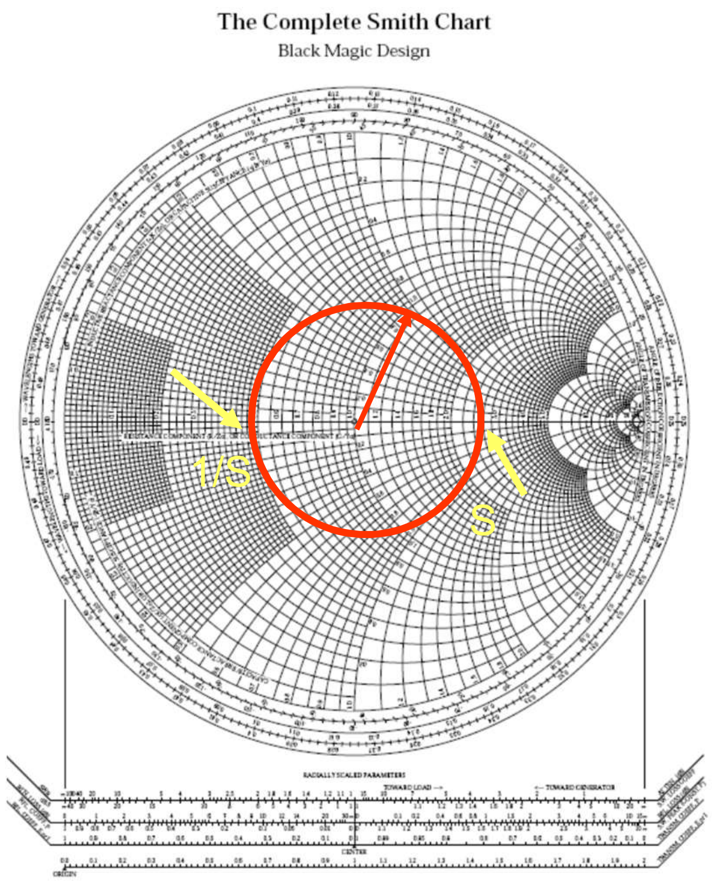
- Dove S è il ROS; ovvero in termini normalizzati

$$z_{\max} = S$$

- Allo stesso modo, l'impedenza è reale anche in un punto di minimo e risulta

$$Z_{\min} = Z_0 / S \qquad z_{\min} = 1/S$$

- In tale punto la fase del coefficiente di riflessione è 180°

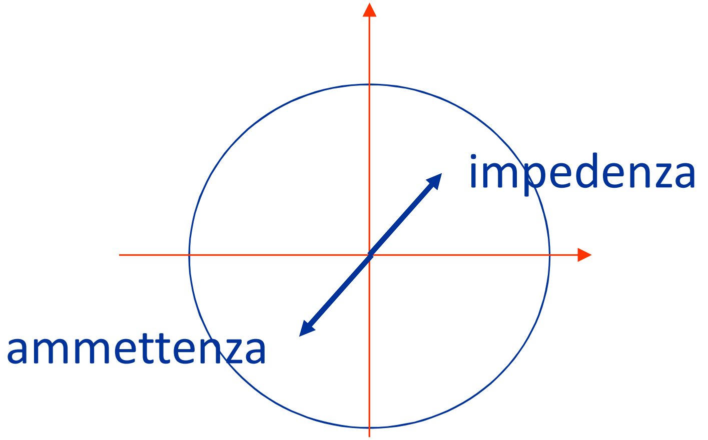


La Carta di Smith per le ammettenze

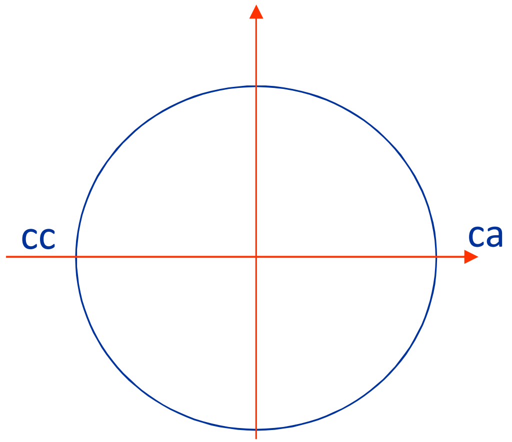
- A questo punto notiamo che

$$\rho_L = \frac{z_L - 1}{z_L + 1} = \frac{1/y_L - 1}{1/y_L + 1} = -\frac{y_L - 1}{y_L + 1}$$

- Cioè, ripetendo le operazioni per un'ammettenza otterremmo solo un segno - di differenza, cioè occorrerebbe scambiare ρ con - ρ
- Ovvero, sulla CdS, ruotare ρ di 180°
- In pratica: sulla CdS possiamo ottenere da un'impedenza (normalizzata), un'ammettenza (normalizzata) semplicemente cercando il punto simmetrico rispetto all'origine

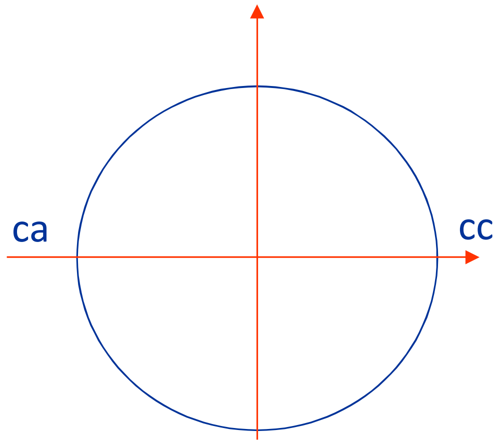


La Carta di Smith per le ammettenze



- Chiaramente, se interpretiamo una CdS come carta di ammettenze, i ruoli di corto circuito e circuito aperto sono scambiati. Infatti avevamo visto che il corto circuito (r=0,x=0) è il punto (-1,0)

- E che il circuito aperto (r=∞,x=0) è il punto (1,0)



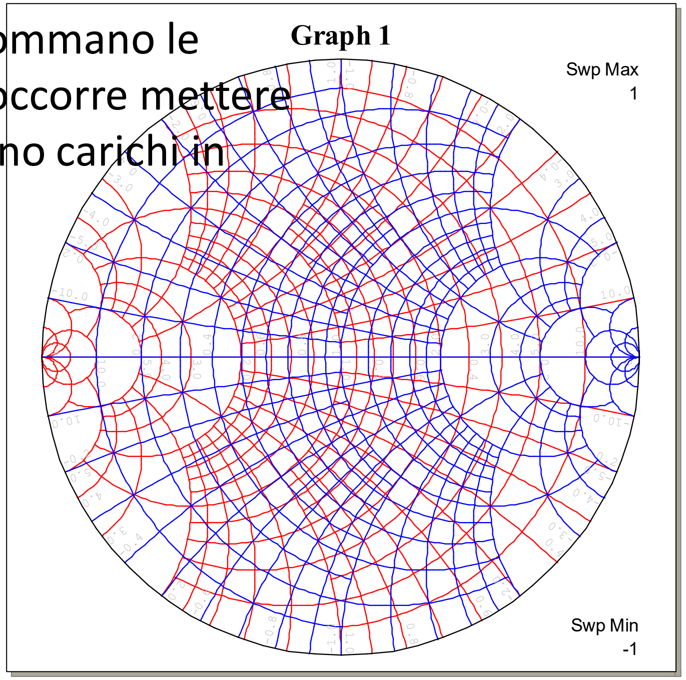
- Chiaramente se ora la CdS rappresenta delle ammettenze, il punto r [o meglio indichiamo con g la conduttanza] g=0 diviene il circuito aperto

- In tutti i casi, l'origine coincide con la condizione di adattamento. *Le operazioni per adattare un circuito appariranno graficamente come una serie di passi per trasformare un punto nell'origine.*

Che tipi di "trasformazione" possiamo operare facendo riferimento alla CdS?

- Muoversi lungo una linea senza perdite equivale a ruotare sulla CdS, con modulo del coefficiente di riflessione invariato
- Potremo poi mettere suscettanze in serie o in parallelo: se variamo solo la parte immaginaria di un carico ci muoviamo su cerchi a r=costante
- Se chiaramente variamo la parte reale ci muoviamo su cerchi x=costante

- Ovviamente in parallelo si sommano le ammettenze ed in serie si sommano le impedenze: conviene usare la CdS come carta per "impedenze" se occorre mettere carichi in serie, e come carta per le "ammettenze" quando si pongono carichi in parallelo
- La scelta del "serie" o del "parallelo" è spesso vincolata dal tipo di tecnologia
- Talvolta i due tipi di operazione coesistono, e si utilizzano CdS in cui si rappresentano contemporaneamente impedenze ed ammettenze

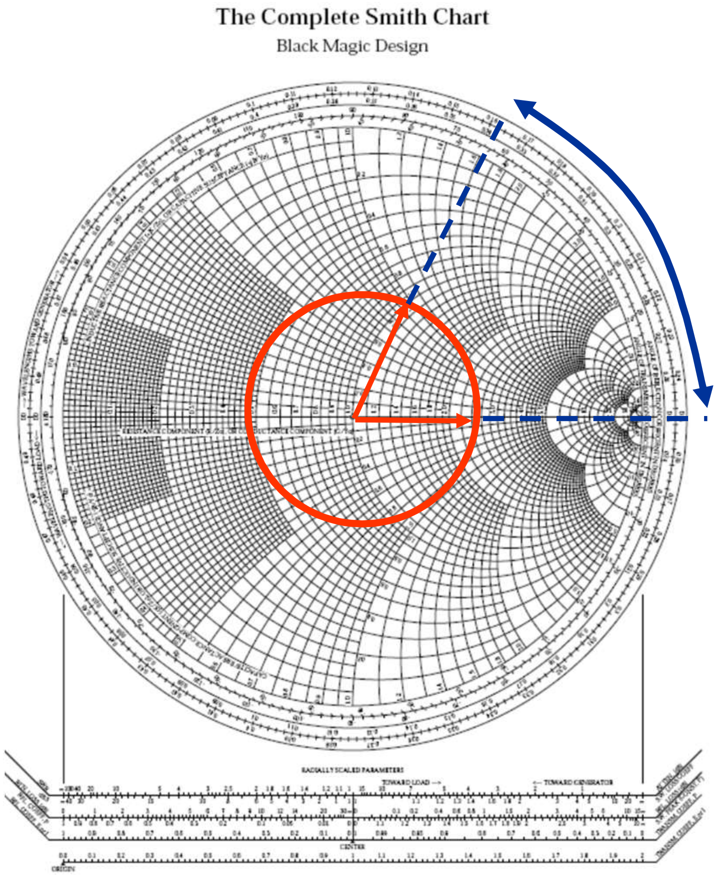


Adattatore in quarto d'onda

- Ricordiamo che l'adattatore in quarto d'onda si ottiene inserendo, tra carico e linea di trasmissione, un tratto di linea lungo un quarto d'onda e di impedenza caratteristica pari a

$$Z_{0x} = \sqrt{Z_0 Z_L}$$

- Questo adattatore è utilizzabile solo se si ha la possibilità di realizzare impedenze caratteristiche pressoché arbitrarie, cioè nelle guide planari. Se il carico è complesso, occorre posizionare l'adattatore non direttamente tra carico e linea, ma interporlo in un punto della linea che renda il carico reale. Individuare tale punto sulla CdS è facilissimo, poiché basta ruotare il coefficiente di riflessione fino a che la sua fase non sia 0° o 180°, nel primo caso l'impedenza normalizzata è S, e nel secondo 1/S.



- Sulla CdS leggiamo quindi di "quante frazioni di λ " ci siamo spostati lungo la linea
- Se il carico fosse 1+j1
- Troveremmo subito il ROS=2.6
- Ed una rotazione di λ=0.25-0.162=0.088λ

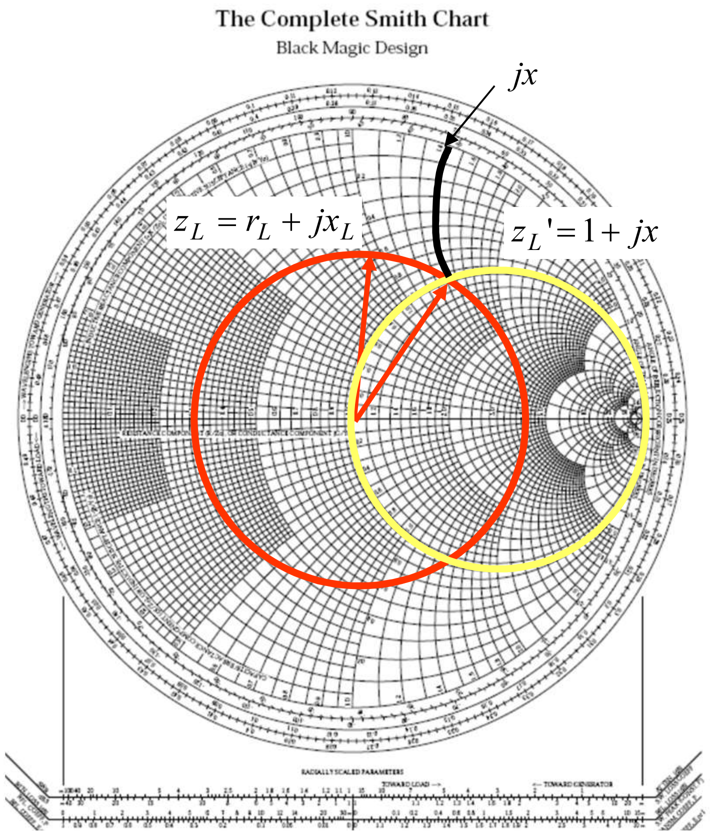
Adattatore a singolo Stub

- Uno stub è un tratto di linea in corto circuito o circuito aperto che realizza una suscettanza o una reattanza pura
- La tecnica di adattamento con singolo stub prevede di muoversi sulla linea fino ad avere la parte reale dell'impedenza (o dell'ammettenza) pari a 1, così che in tale punto si veda un'impedenza normalizzata

$$z_L = 1 + jx$$

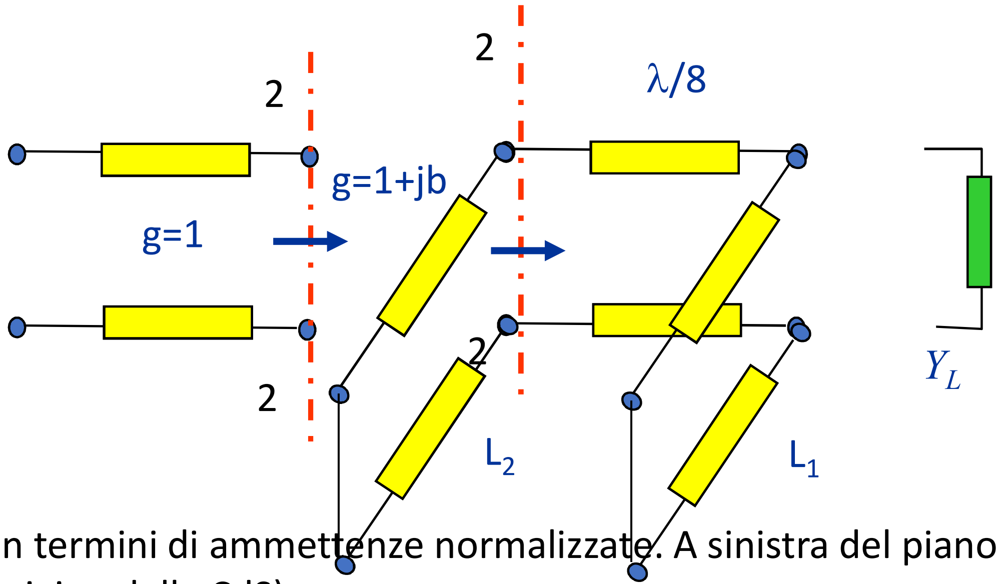
- Ed in tal punto mettere un'impedenza in serie pari a -jx, così da "cancellare" la residua parte immaginaria

- Se lo stub deve essere messo in parallelo dobbiamo invece lavorare sulla carta di Smith delle ammettenze

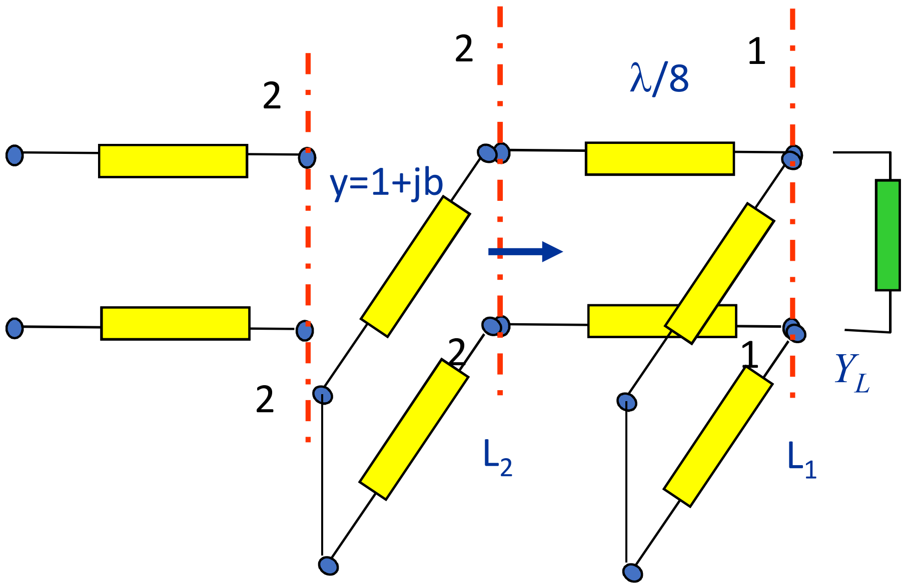


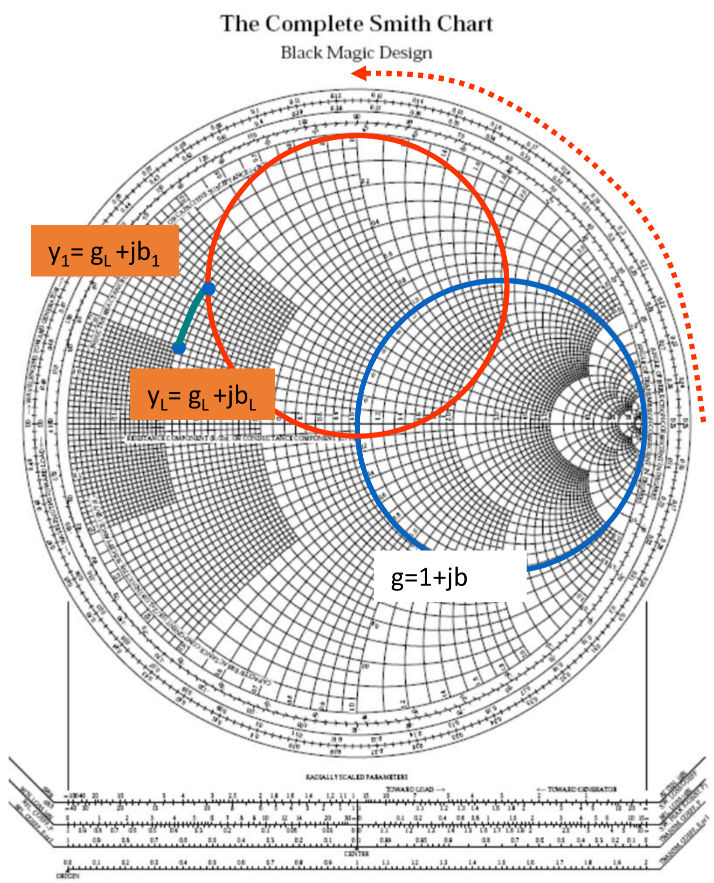
Adattatore doppio stub

- Talvolta può non essere conveniente utilizzare la “posizione dello stub lungo la linea” come parametro di progetto
- Si possono per esempio usare 2 stub a distanza predeterminata: i 2 parametri di progetto divengono le lunghezze degli stub
- Supponiamo, per esempio, che l’adattatore sia costituito da 2 stub in parallelo distanti $\lambda/8$

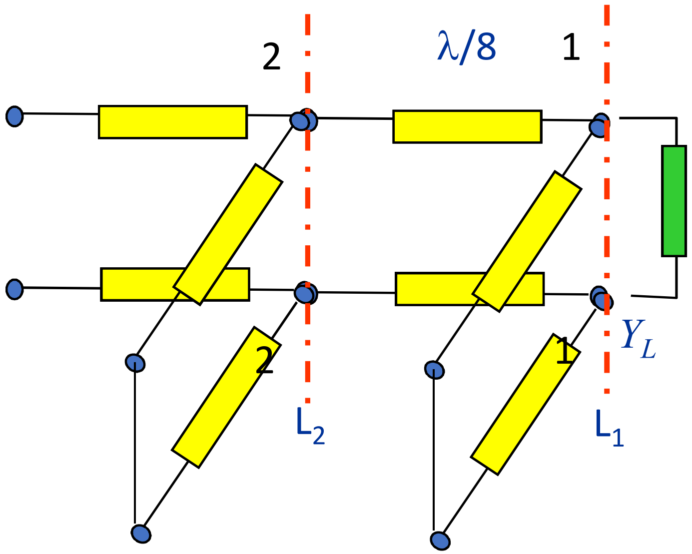


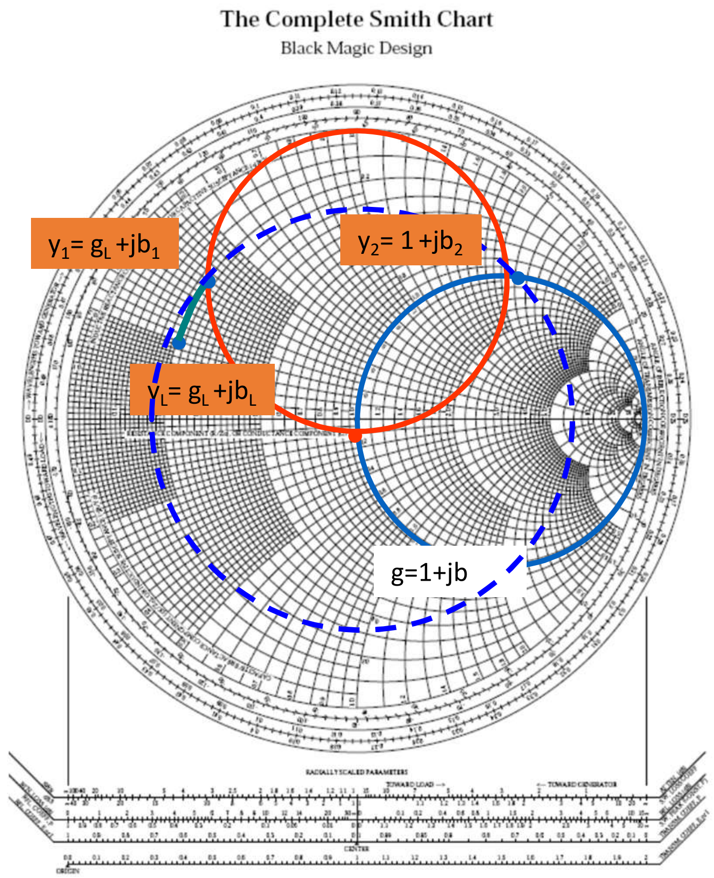
- Ragioniamo quindi in termini di ammettenze normalizzate. A sinistra del piano 2-2 dovremmo avere g=1 (adattamento, origine della CdS)
- Quindi a destra dello stub L2 dovremmo vedere y=1+jb, visto che lo stub può alterare solo la parte immaginaria





- Dovremmo quindi essere sulla circonferenza evidenziata
- Ma questo avviene dopo il tratto di linea a $\lambda/8$, che "ruota" tutti i carichi di $\lambda/8$, ovvero 90°. Quindi, spostandoci verso il carico, il tratto di linea trasforma tutti i punti a g=1 in punti di una circonferenza ruotata (in rosso) in senso antiorario
- Quindi vogliamo che alla sezione 1-1 il carico sia stato portato sulla circonferenza ruotata
- Lo stub 1 avrà appunto il compito di portare il carico sulla circonferenza rossa, modificando la sola parte immaginaria





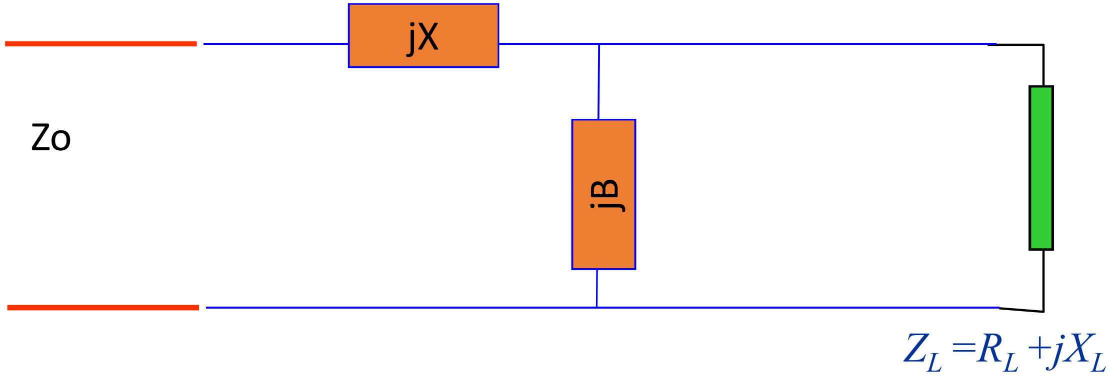
- Operativamente:
  - Disegniamo la circonferenza g=1 ruotata in senso antiorario di una quantità pari alla distanza tra gli stub
  - Individuiamo $y_L = g_L + b_L$ e l'intersezione della circonferenza g_L con quella ruotata: $y_1 = g_L + b_1$. Il primo stub fornisce la sucettanza necessaria

$$y_L + y_{stub1} = y_1 \Rightarrow y_{stub1} = j(b_1 - b_L)$$

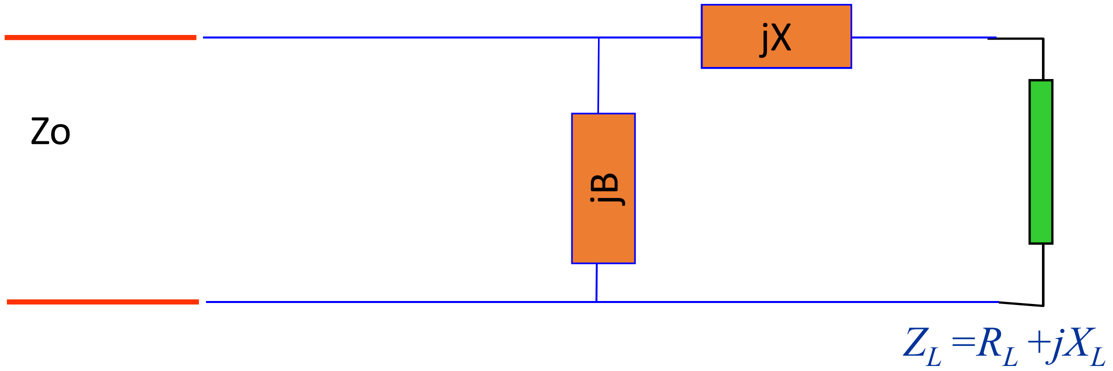
  - Dal carico andiamo verso il generatore: il tratto di linea ruoterà y_1 in una $y_2 = 1 + j\,b_2$
  - Il secondo stub cancellerà la parte reattiva rimanente: $ystub_2 = -j\,b_2$

Adattatori a costanti concentrate

- È possibile usare 2 reattanze per adattare un carico: si tratta di una rete “a L”, con un tratto serie ed uno parallelo. Ci sono due possibili configurazioni



- Utilizzabile se $R_L > Z_0$ ovvero se nella CdS siamo dentro il cerchio 1+jx e



- Utilizzabile se $R_L < Z_0$ ovvero se nella CdS siamo fuori del cerchio 1+jx

- Per ottenere i valori di X e B basta imporre che l'impedenza di ingresso della rete sia proprio Zo e si ottiene così, per il primo caso

$$B = \frac{X_L \pm \sqrt{R_L / Z_0}\sqrt{R_L{}^2 + X_L{}^2 - Z_0 R_L}}{R_L{}^2 + X_L{}^2}$$

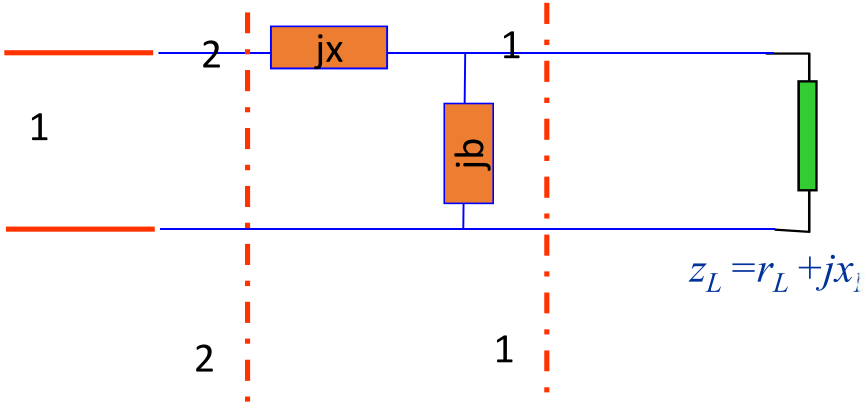
$$X = 1/B + (X_L Z_0)/R_L - Z_0/(BR_L)$$

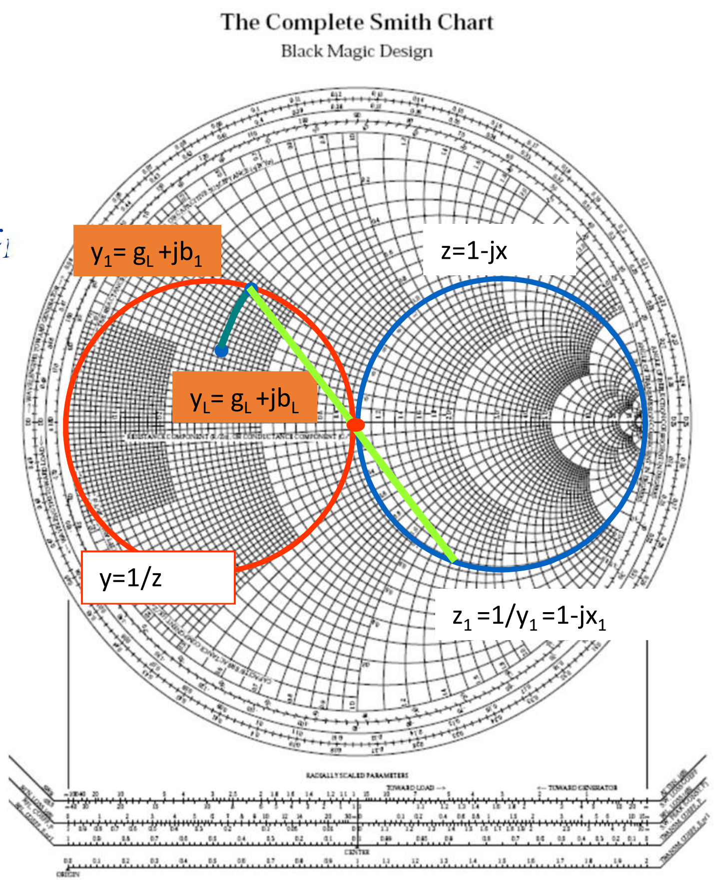
- E per il secondo caso

$$B = \frac{\pm\sqrt{(Z_0 - R_L)/R_L}}{Z_0}$$

$$X = \pm\sqrt{R_L(Z_0 - R_L)} - X_L$$

- Risultati analoghi li possiamo ottenere con la CdS
- Consideriamo il primo caso e normalizziamo

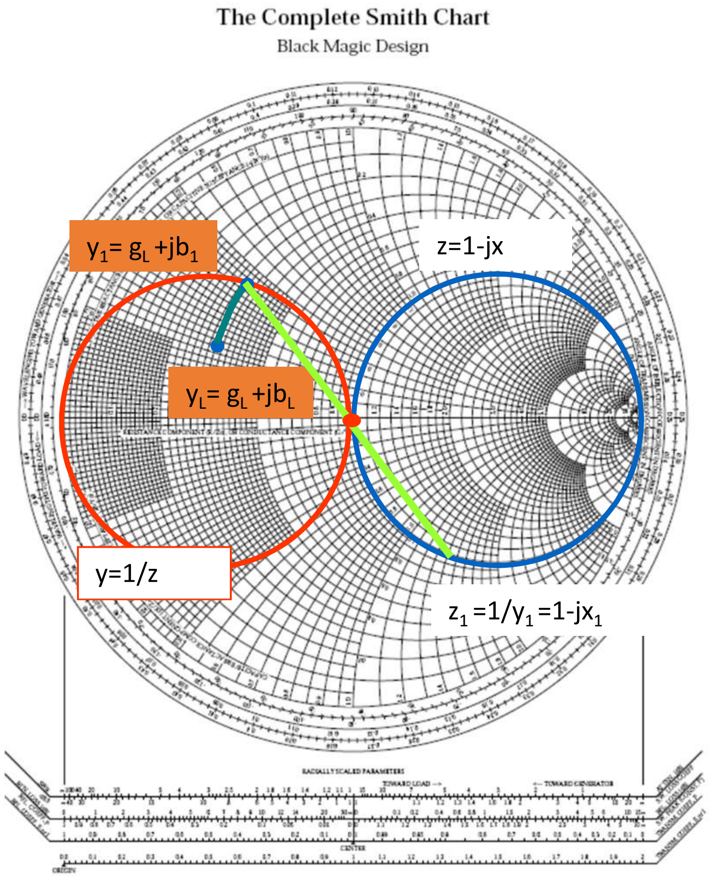




- Alla sezione 2 dovremo avere zin=1, quindi alla 1 zin=1-jx, ovvero dobbiamo essere sul cerchio a parte reale unitaria.
- Il compito di jb è di portare il carico su tale cerchio; ma jb è in parallelo, ed occorre ragionare in termini di ammettenze: tutti i carichi z=1+jx si trasformano nelle ammettenze ribaltando rispetto all'origine della CdS
- Quindi jb deve essere tale da portare yL sulla circonferenza rossa, in y1

$$b = b_1 - b_L$$

- Mentre, posto z1=1/y1, deve essere $x = x_1$



- Come ci aspettavamo, non saremmo riusciti nel caso in cui il cerchio che individua la parte reale di yL non avesse avuto punti di contatto con la circonferenza rossa (cioè se Re(yL)>1) e saremmo dovuti ricorrere alla seconda topologia.