$$v_1=\frac{2x}{(r+1)^2+x^2}=\frac{2\times1}{(1.4+1)^2+1^2}=\frac{2}{6.76}=0.296$$

式(1-2)より

$$\text{MAG}=\sqrt{u^2+v^2}=\sqrt{0.29^2+0.296^2}=0.414$$

$$\text{ANG}=\tan^{-1}\frac{v}{u}=\tan^{-1}\frac{0.296}{0.29}=45.6^\circ$$

よって，反射係数(Γ_1)＝0.414　∠45.6°

これを(u，v)極座標上に書くと(**図**1-17)になります．

これと同じ直径のスミス・チャート(**図**1-18)にZ_1＝70Ω＋j50Ωをプロットすれば，(**図**1-17)Γ_1と(**図**1-18)Z_1のプロット点は完全に重なります．

〔例2〕インピーダンスがZ_2＝20Ω－j30Ωの場合

Z_2を正規化インピーダンスにすれば，$z_2=r+jx=0.4-j0.6$です．

反射係数(Γ_2)＝u_2+jv_2なので，式(1-1)にrとxの値を代入すれば，

$$u_2=\frac{r^2+x^2-1}{(r+1)^2+x^2}=\frac{0.4^2+(-0.6)^2-1}{(0.4+1)^2+(-0.6)^2}=\frac{-0.48}{2.32}=-0.207$$

$$v_2=\frac{2\times(-0.6)}{(r+1)^2+x^2}=\frac{-1.2}{(0.4+1)^2+(-0.6)^2}=\frac{-1.2}{2.32}=-0.517$$

式(1-2)より

$$\text{MAG}=\sqrt{u^2+v^2}=\sqrt{(-0.207)^2+(-0.517)^2}=0.557$$

$$\text{ANG}=\tan^{-1}\frac{v}{u}=\tan^{-1}\frac{0.517}{0.207}=68.2^\circ$$

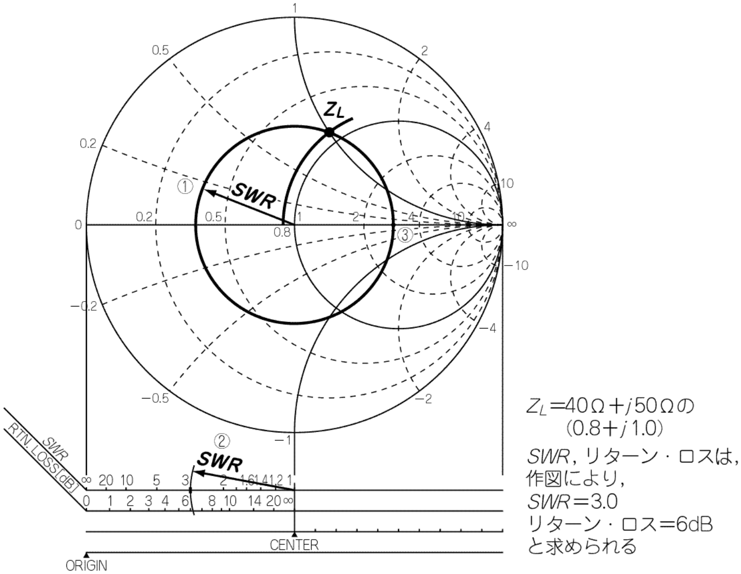
第3象限にあるので－(180°－68.2°)＝－111.8°

よって，反射係数(Γ_2)＝0.557　∠－112°(←有効数字は3桁で十分)

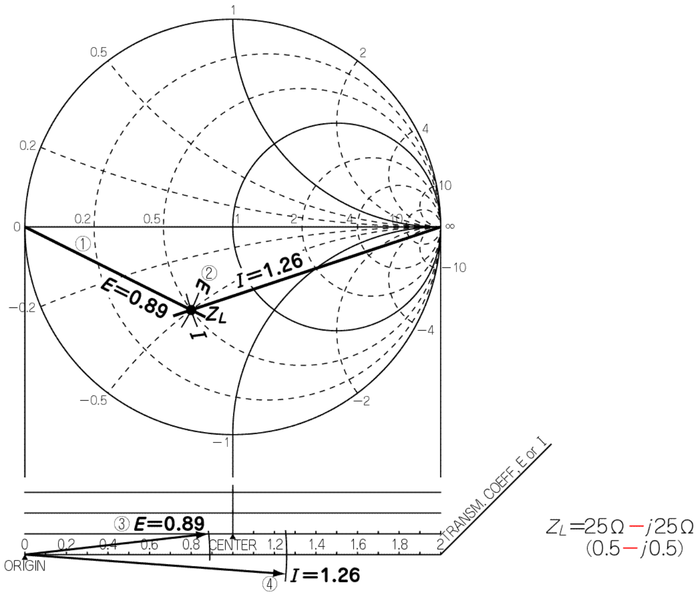
これを(u，v)極座標上に書くと(**図**1-19)になります．

これと同じ直径のスミス・チャート(**図**1-20)にZ_2＝20Ω－j30Ωをプロットすれば，(**図**1-19)Γ_2と(**図**1-20)Z_2のプロット点は完全に重なります．

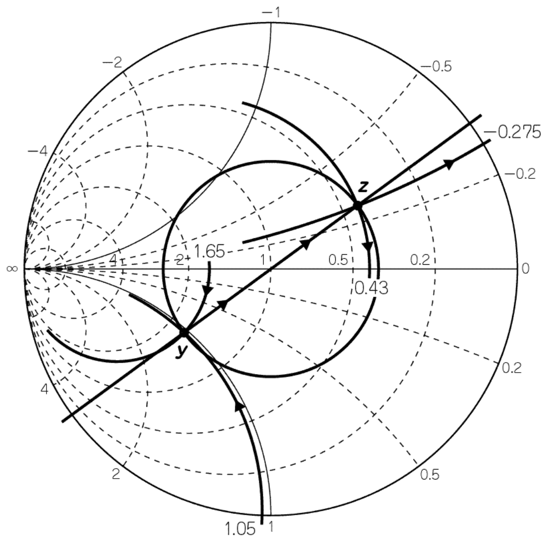
実用的には，反射係数をスミス・チャート上に直接プロットします．



［図1-23］負荷(Z_L)点のSWR，リターン・ロスを求める



［図1-24］負荷(Z_L)点の電圧または電流値を求める



[図2-8] アドミタンス・チャート上でYからZへ変換する

インピーダンスからアドミタンスへの変換は，本章2-1の「直列回路⇔並列回路の相互変換」で計算済みなので，その結果を使って計算します．

$Z_1 = 20\,\Omega - j\,20\,\Omega$ をアドミタンスに変換すると，$Y_1 = 25\mathrm{mS} + j\,25\mathrm{mS}$ です．

$Z_2 = 100\,\Omega + j\,50\,\Omega$ をアドミタンスに変換すると，$Y_2 = 8\mathrm{mS} - j\,4\mathrm{mS}$ です．

$Y = Y_1 + Y_2$ なので，

$$Y = (25+8)\mathrm{mS} + j\,(25-4)\mathrm{mS}$$
$$= 33\mathrm{mS} + j\,21\mathrm{mS}$$

この合成アドミタンスを正規化すれば，$y = 1.65 + j\,1.05$ になります．これをアドミタンス・チャートにプロットしたのが，**図**2-8のY点です．

この Y 点の点対称の位置がインピーダンス Z 点です．目盛りを読むと，$r = 0.43$ と $x = -0.275$ です．

正規化値からインピーダンスに戻せば，$Z = 21.5\,\Omega - j\,13.8\,\Omega$ になります．

これで Z_1 と Z_2 の並列合成インピーダンスが求められます．

これを式(2-1)を使って計算すると，

[表3-6] 図3-3(b)のZ_4とC_Sの直列回路のプロット値(周波数=100MHz)

プロット	Y_{4n}=($Z_4=R_4+jX_4$)+(C_SのX_C)		正規化値
⓪	Z_{40}=25Ω−j10Ω+j0.0Ω	=25Ω−j10.0Ω	=0.5−j0.20
①	Z_{41}=25Ω−j10Ω+j5.31Ω	=25Ω−j15.3Ω	=0.5−j0.306
②	Z_{42}=25Ω−j10Ω+j15.9Ω	=25Ω−j25.9Ω	=0.5−j0.518
③	Z_{43}=25Ω−j10Ω+j53.1Ω	=25Ω−j63.1Ω	=0.5−j1.26
④	Z_{44}=25Ω−j10Ω+j159Ω	=25Ω−j169Ω	=0.5−j3.38
⑤	Z_{45}=25Ω−j10Ω+j531Ω	=25Ω−j541Ω	=0.5−j10.8
⑥	Z_{46}=25Ω−j10Ω+j∞Ω	=25Ω−j∞Ω	=−j∞

〔考え方①〕

このZ$_{40}$点から，0.5定抵抗円を左回りに∞方向に，容量性リアクタンスぶんを正規化した値(**表**3-4)を加算した位置にプロットする方法です．

〔考え方②〕

表3-6のように，インピーダンス(Z_4)とC_Sのリアクタンス(X_C)の合成インピーダンス(Z_{40}～Z_{46})を求めて，その正規化値をプロットする方法です．

〔考え方①〕，**〔考え方②〕**ともにC_Sの軌跡は，**図**3-4の(b)になります．

● シリーズ・レジスタの抵抗値を0から無限大まで可変した場合

回路に直列に入った抵抗=シリーズ・レジスタ(R_S)の抵抗値(Ω)を0から無限大まで可変します．抵抗だけの場合は，周波数との関係はなくなります．

ここでは，**表**3-7のように0Ωから∞Ωまで七つの値をとって作図してみます．

プロット⓪ポイントは，R_Sのレジスタンスが小さくなり0になったときで，直列に入った抵抗はショート状態です．したがって，回路になにも影響を与えません．

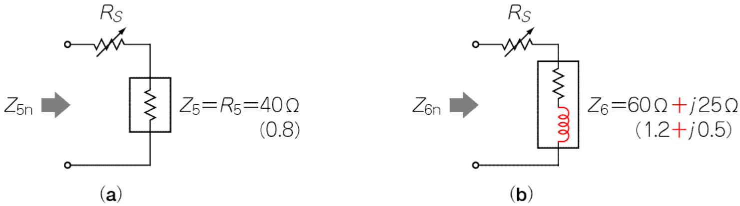
プロット⑤ポイントは，R_Sのレジスタンスが大きくなり無限大になったときで，この抵抗はオープン状態なので，回路的にもオープン状態になります．

▶ R_Sだけの場合

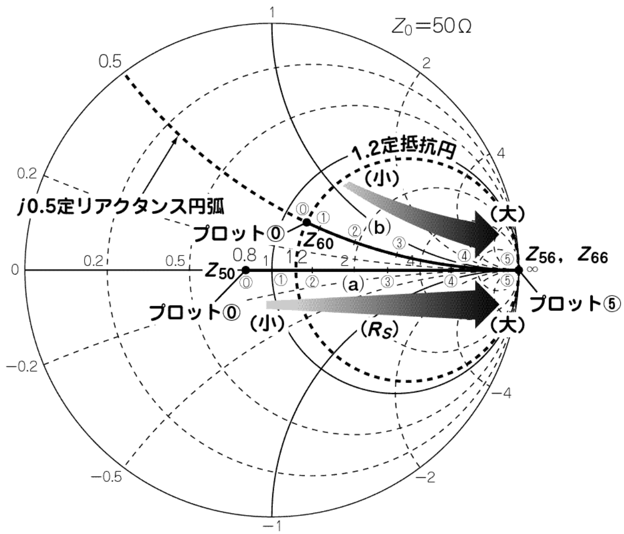
抵抗単体なので，スミス・チャートの抵抗直線上を0から∞方向に，抵抗値を正規化した値(**表**3-7)にプロットします．図は省略します．

▶ 任意の抵抗(R_5)とR_Sの場合

図3-5(a)に示すように，抵抗(R_5)=40Ωとします．この直列抵抗の値を正規化した値は0.8です．**図**3-6(a)のZ_5のスタート・ポイントZ_{50}(R_5)点は，スミス・チャートの抵抗軸($X=0$)直線上の0.8になります．



[図3-5] シリーズ・レジスタンス(R_S)



[図3-6] シリーズ・レジスタンス R_S を可変した軌跡

[表3-7] プロットする抵抗値

No.	直列抵抗値	正規化値
⓪	R_{S0} = 0 Ω	= 0
①	R_{S1} = 10 Ω	= 0.2
②	R_{S2} = 30 Ω	= 0.6
③	R_{S3} = 100 Ω	= 2.0
④	R_{S4} = 300 Ω	= 6.0
⑤	R_{S6} = ∞ Ω	= ∞

※抵抗値を可変する

[表3-8] 図3-5(a)の R_5 と R_S の直列回路のプロット値

プロット	$Z_{5n} = R_5 + R_S$	正規化値
⓪	Z_{50} = 40 Ω + 0 Ω	= 0.8
①	Z_{51} = 40 Ω + 10 Ω	= 1.0
②	Z_{52} = 40 Ω + 30 Ω	= 1.4
③	Z_{53} = 40 Ω + 100 Ω	= 2.8
④	Z_{54} = 40 Ω + 300 Ω	= 6.8
⑤	Z_{56} = 40 Ω + ∞ Ω	= ∞

の合成アドミタンス(Y_{20}〜Y_{26})を求めて，その正規化値をプロットしていく方法です．

通常はこの方法によりプロットしていきます．

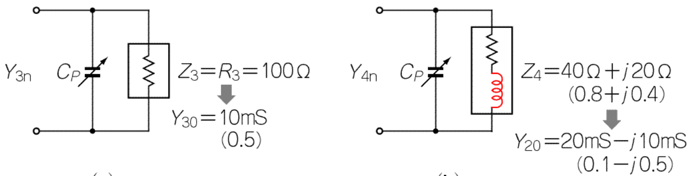
〔考え方①〕と〔考え方②〕ともにL_Pの軌跡は図4-2(b)のようになります．

▶ L_Pだけの場合

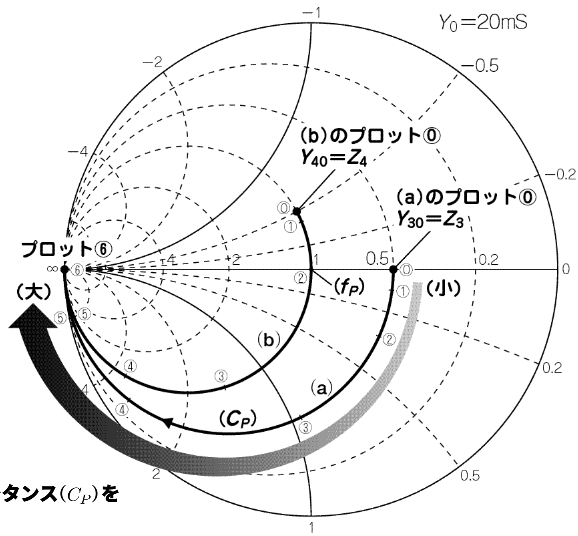
基礎編第6章の「イミタンス・チャート」の項で説明します．

● パラレル・キャパシタ(C_P)を0から無限大まで可変した場合

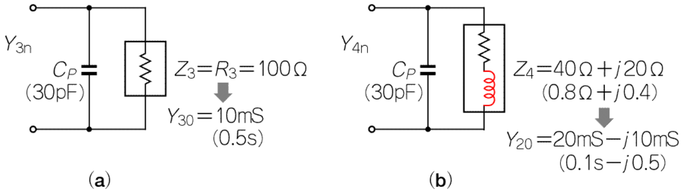
回路に並列に入ったコンデンサ＝パラレル・キャパシタ(C_P)のキャパシタンス(F)を0から無限大まで可変する場合を考えます．周波数を100MHzとします．



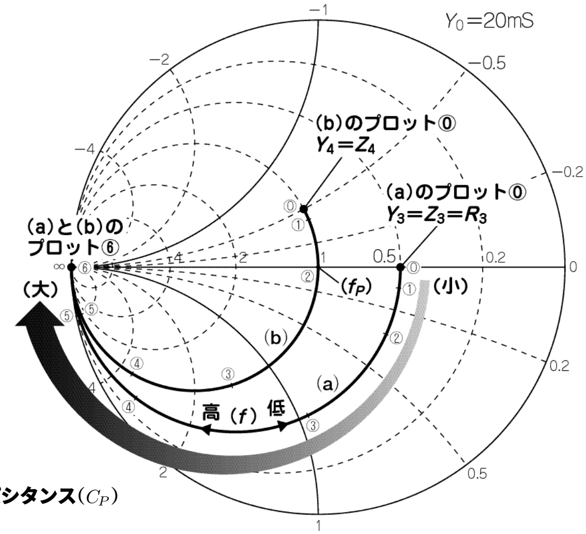
［図4-3］パラレル・キャパシタンス(C_P)を可変する(f＝100MHz)



［図4-4］パラレル・キャパシタンス(C_P)を可変した軌跡



[図4-9] パラレル・キャパシタンス(C_P)を可変する($C_P=30$pF)



[図4-10] パラレル・キャパシタンス(C_P)周波数を可変した軌跡

ンス(B_C)は$+j0$Sなので高周波的にはオープン状態です．したがって，コンデンサは回路に何も影響を与えません．

- プロット⑥ポイントは，周波数が無限大になったとき，　C_Pのサセプタンス(B_C)は$+j\infty$Sなので，このコンデンサは正にショート状態です．したがって，合成アドミタンスもショート状態になります．

▶ 任意の抵抗(R_3)とC_Pの場合

抵抗(R_3)＝100Ωとします．これをコンダクタンスに変換すれば10mSです(**図**4-9(a))．Y_3のスタート・ポイントのY_{30}(R_3)点は，アドミタンス・チャートのコンダクタンス軸($B=0$)直線上の0.5になります(**図**4-10(a))．

〔例1〕のとき，Q の値は**図5-4**のように作図して求めます．

① 距離間隔の広い(z_{a1}-∞)間の垂直二等分線を引くと，v 直線との交点が Q 円弧の中心になる(図5-4(a))

② チャート上で a と b の長さを測る

式(5-2)より，

$$Q=\frac{\text{チャートの半径}}{Q\text{円弧の半径}}=\frac{32.5\text{mm}}{40.0\text{mm}}\quad 0.8$$

(チャート上の実測値はチャートの大きさによって変化するが比は変わらない)

Q 円弧は，任意の負荷(Z_L)点と，極座標上の(－1，0)と(1，0)点，(スミス・チャート上では，負荷点と，抵抗軸(X＝0)直線の0点と，∞点)の3点を通過する円弧です．

Q 円弧を描くための円の中心は，次の①と②の直線(垂直二等分線)の交点です．

垂直二等分線とは，2点からどの位置も等間隔になる点の集合(直線)です．垂直二等分線を引く手順は，まず，2点を中心にして，同じ半径の円弧を重なるように描き，次に，その円弧の重なる2点を通る直線を引きます．

① スミス・チャートの0点と∞点の2点の垂直二等分線．すなわち，スミス・チャートの中心を垂直に通る線

② 任意の負荷点と，0点または∞点との垂直二等分線

0点または∞点は，負荷点から遠い点を選んだほうが精度が上がります．

●〔例2〕インピーダンスが50Ω－j100Ω，RFトランスのステップ比が4：1

Z_{a2}＝50Ω－j100Ωとし，RFトランスのインピーダンスのステップ比は4：1とします．

これを式を使って計算すればRFトランスを通して見たインピーダンス Z_{b2} は，Z_{a2} の実数部，虚数部それぞれをステップ比倍した値になります．

$$Z_{b2} = (50 \times \frac{1}{4})\Omega - j(100 \times \frac{1}{4})\Omega = 12.5\,\Omega - j\,25\,\Omega$$

この変化をスミス・チャート上での軌跡で見れば**図5-5(a)**のようになります．

① Z_{a2} ＝50Ω－ j100Ω点を正規化すれば，z_{a2} ＝1.0－ j2.0になる

この点をスミス・チャート上にプロットし，抵抗軸上の0と z_{a2} と∞の3点を結ぶ Q 円弧を描きます．

4：1のRFトランスによる軌跡は，この Q 円弧に沿って，ステップ・ダウンするので左方向に移動します．

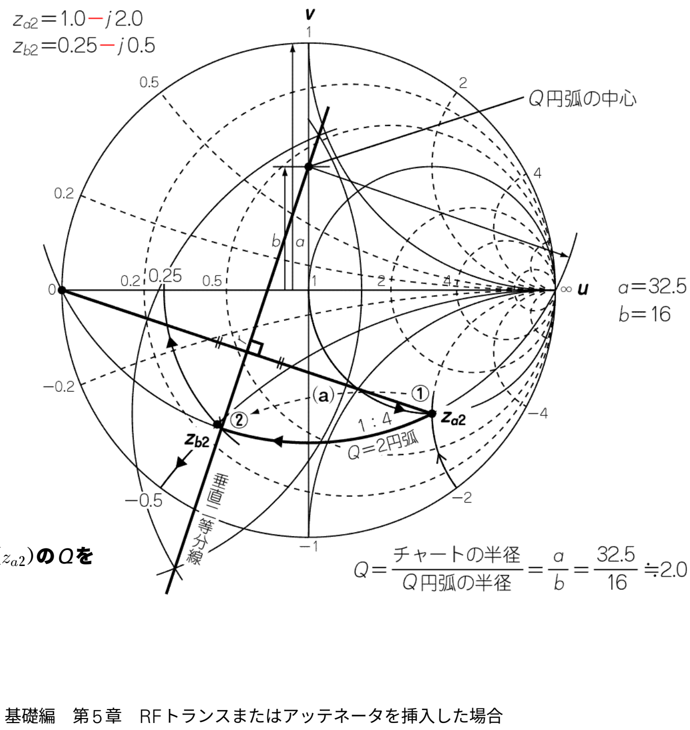
② 抵抗値1.0をステップ比の1/4倍すれば0.25になる

ここではステップ・ダウンなので，軌跡は左方向に進み，0.25定抵抗円との交点が z_{b2} 点になります．この点は z_{b2} ＝0.25－ j0.5なので，正規化値からインピーダンスに戻せば，Z_{b2} ＝12.5Ω－ j25Ωになり，計算値と一致します．

① 距離間隔の広い(0-Z_2)間の垂直二等分線を引くと，v 直線との交点が Q 円弧の中心になる

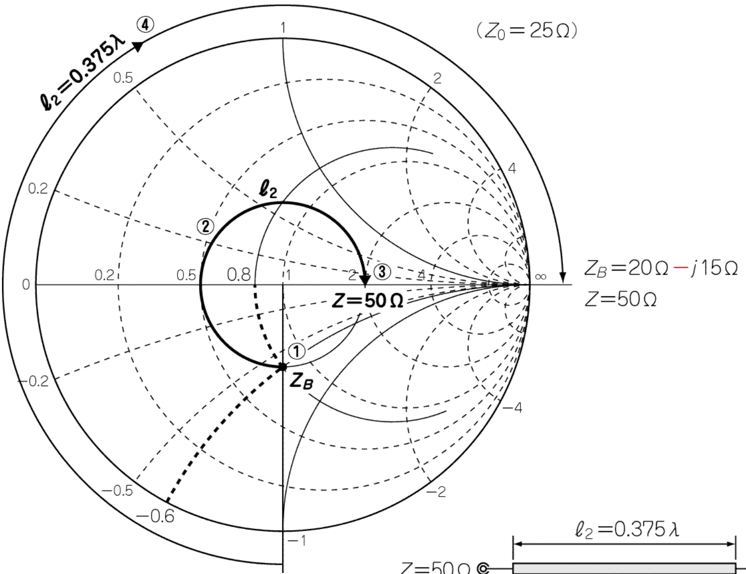
② チャート上で a と b の長さを測り，その比を求める

式(5-2)より，

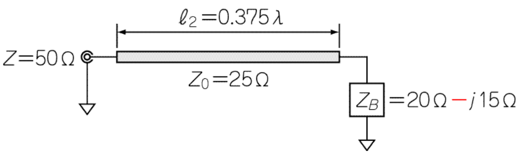


[図5-5] 負荷点(z_{a2})の Q を求める作図

$$Q = \frac{\text{チャートの半径}}{Q\text{円弧の半径}} = \frac{a}{b} = \frac{32.5}{16} \fallingdotseq 2.0$$



［図 B3-7］Z_Bを求める場合のステップ 2 で伝送線路の長さℓ_2を求める作図



［図 B3-8］図 B3-4，図 B3-7 より得られた整合に必要な伝送線路

⑥ Z_B点とZ_0点とを通る円を描く

⑦ この円と抵抗軸($X = 0$)直線との交点の抵抗目盛りを読み取ると，0.25となる．
この値を正規化して抵抗値に戻すと，$R = 12.5\,\Omega$になる

つまり，整合に必要な伝送線路の特性インピーダンス(Z_{line})は，

$$(Z_{line}) = \sqrt{12.5 \times 50} = 25\,\Omega$$

と求めることができます．

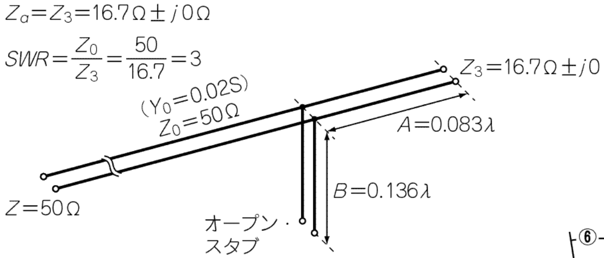
ステップ 2―整合に必要な伝送線路(Z_{line})の長さを求める

別のスミス・チャートを($Z_0 = 25\Omega$)として作図してみましょう(**図** B3-7)．

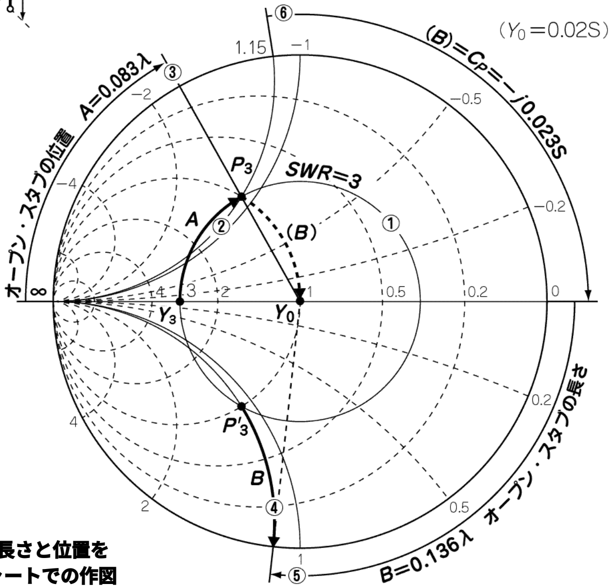
① $Z_B = 20\,\Omega - j15\,\Omega$を正規化すると$z_B = 0.8 - j0.6$となる
このZ_B点をスミス・チャート($Z_0 = 25\,\Omega$)上にプロットする

② チャートの抵抗軸($X = 0$)直線上の1.0を中心にZ_B点を通る円を描く

③ Z_B点から右回りに抵抗軸($X = 0$)直線との交点が$Z = 50\,\Omega$となる



［図B3-12］求められた結果．Aはオープン・スタブの位置，Bはオープン・スタブの長さ



［図B3-13］オープン・スタブの長さと位置を求めるためのアドミタンス・チャートでの作図

以上で$A = 0.167\lambda$と，$B = 0.114\lambda$のショート・スタブになります．

▶$Z_a < Z_0$の場合

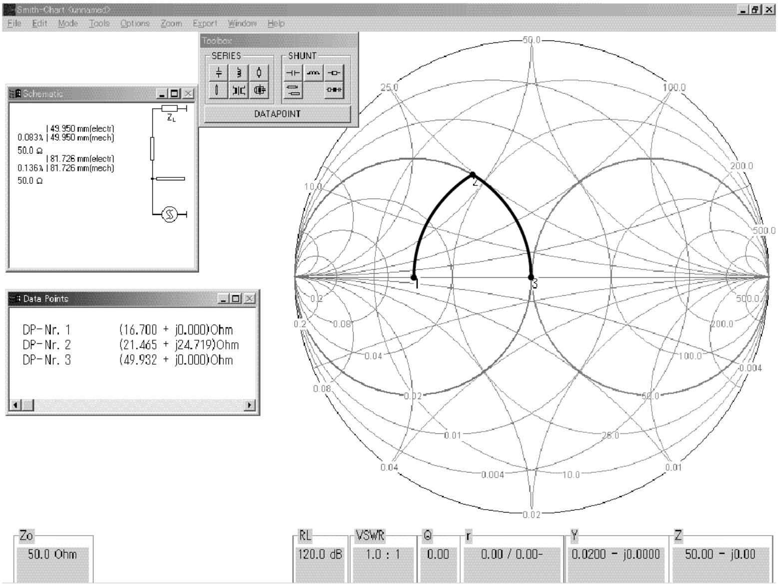
$Z_3 = 16.7\,\Omega \pm j0\,\Omega$，$Z_0 = 50\,\Omega$とします($SWR = 3$)．

1．計算によるスタブの長さと位置の求め方

前述の式(B3-3)，式(B3-4)より，($2\pi = 360°$)(図B3-12)

$$\tan^{-1}\frac{1}{\sqrt{3}} = 30.0° \qquad \frac{30.0°}{360°} = 0.083 \qquad \therefore A = 0.083\lambda$$

$$\tan^{-1}\frac{3-1}{\sqrt{3}} = 49.1° \qquad \frac{49.1°}{360°} = 0.136 \qquad \therefore B = 0.136\lambda$$



[図B3-14] $Z_a < Z_0$ **の場合のオープン・スタブの軌跡**

ウスでカーソルを移動させ，抵抗軸との交点をクリックします．

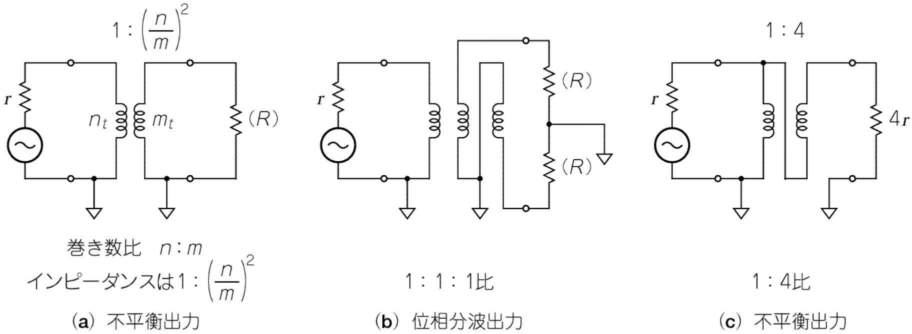
④画面左に， Schematic **ウィンドに解析した結果と回路図が表示される**

$A = 0.083\lambda$ と，$B = 0.136\lambda$ のオープン・スタブになります．

この操作は，「Smith Chart V2.02」を起動している状態から2～3分ほどで結果が得られます．ただし，このようなソフトを使った解析でも，マウスのプロットする位置が微妙にずれたとき，結果の数値がわずかに異なることがあります．しかし，これをあまり気にする必要はありません．

なぜなら，これらの結果を1GHzで，マイクロストリップ・ラインで考えれば，0.01λの長さは，300÷1000×0.01×0.56＝0.168mmです．

あなたは，この長さを基板上で処理できますか?(0.56は基板上の短縮率の例)



[図B4-1] コンベンショナル・トランスの例

● コンベンショナル(含伝送線路系)トランスを使用する方法

コンベンショナル・トランス系は，1次側の巻き線数と2次側の巻き線数との比率を2乗した比率でインピーダンスの変換ができます(**図**B4-1).

● 純伝送線路トランスを使用する方法

広帯域にインピーダンス変換をするためのRFトランスとして，コンベンショナル・トランスを使用しますが，インピーダンス変換と同時にソータ・バラン(同相電流を通過させない)効果を持たすためには，純伝送線路系のRFトランスを使用します(**図**B4-2).

本書では数例しか紹介していませんが，トロイダル・コアを使用したRFトランスの実用回路は数多くあります．詳しくは，専門の書籍をご覧ください.

● スミス・チャート上でRFトランスを通して見た軌跡

RFトランスは，コアに2本または3本の撚り線を巻いて作るので，等価的には，周波数によってはリアクタンスぶんを無視できません．しかしここでは，ほかのコイルやコンデンサなどの素子と同様に，理想トランスとして動作することにして作図します.

RFトランスを通して見たインピーダンスは，基礎編第5章で見たように，計算式とスミス・チャート上のQ**円弧**に沿って作図します.

詳細は，基礎編第5章を参照してください.