

第3章

スミス・チャートの使い方

スミス・チャート上で
インピーダンス解析を行う手順をしっかりと身に付けます。
コイルやコンデンサなど素子の軌跡を
スミス・チャート上で細かく見てみましょう。

3-1

特定の周波数で L , C , R を可変する

周波数は固定したままで、 L , C , R の値を小→大に可変したときのスミス・チャート上での軌跡は次のようになります。

- 直列コイル = L_S (シリーズ・インダクタ) の軌跡は、定抵抗円に沿って右回り(時計回り)方向に描きます。
- 直列コンデンサ = C_S (シリーズ・キャパシタ) の軌跡は、定抵抗円に沿って左回り(反時計回り)方向に描きます。
- 直列抵抗 = R_S (シリーズ・レジスタ) の軌跡は、定リアクタンス円弧に沿ってオープン(∞)方向に描きます。

● シリーズ・インダクタを0から無限大まで可変した場合

回路に直列に入ったコイル = シリーズ・インダクタ (L_S) のインダクタンス (H) を0から無限大まで可変した場合を考えます。周波数は10MHzとします。

インダクタンスの小→大により、誘導性リアクタンス (X_L) は小→大になります。 $X_L = \omega L_S = 2\pi f L_S$ となり、これらは比例します。

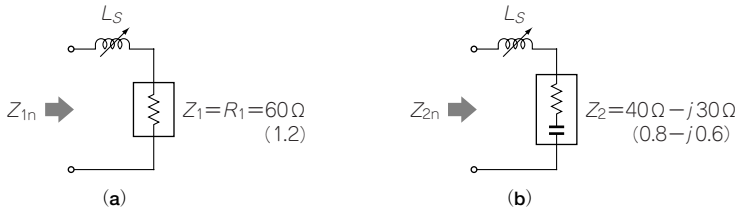
ここでは、表3-1のように0Hから ∞ Hまで七つの値をとって作図してみます。

[表3-1] プロットするコイルのリアクタンス値
(周波数 = 10MHz)

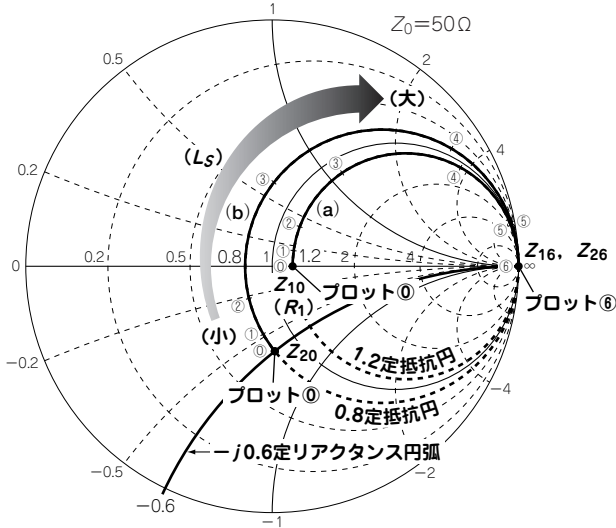
No.	インダクタンス	リアクタンス	正規化値
①	0H	$X_{L0} = j0.0\Omega$	$= j0.0$
②	$0.1\mu\text{H}$	$X_{L1} = j6.28\Omega$	$= j0.126$
③	$0.3\mu\text{H}$	$X_{L2} = j18.8\Omega$	$= j0.378$
④	$1.0\mu\text{H}$	$X_{L3} = j62.8\Omega$	$= j1.26$
⑤	$3.0\mu\text{H}$	$X_{L4} = j188\Omega$	$= j3.78$
⑥	$10\mu\text{H}$	$X_{L5} = j628\Omega$	$= j12.6$
⑦	∞H	$X_{L6} = j\infty\Omega$	$= j\infty$

[表3-2] 図3-1(a)の $Z_1(R_1)$ と L_S の直列回路の
プロット値(周波数 = 10MHz)

プロット	$Z_{1n} = (R_1) + (L_S \text{の } X_L)$	正規化値
①	$Z_{10} = 60\Omega + j0.0\Omega$	$= 1.2 + j0.0$
②	$Z_{11} = 60\Omega + j6.28\Omega$	$= 1.2 + j0.126$
③	$Z_{12} = 60\Omega + j18.8\Omega$	$= 1.2 + j0.378$
④	$Z_{13} = 60\Omega + j62.8\Omega$	$= 1.2 + j1.26$
⑤	$Z_{14} = 60\Omega + j188\Omega$	$= 1.2 + j3.78$
⑥	$Z_{15} = 60\Omega + j628\Omega$	$= 1.2 + j12.6$
⑦	$Z_{16} = 60\Omega + j\infty\Omega$	$= 1.2 + j\infty$



[図3-1] シリーズ・インダクタンス(L_S) ($f = 10\text{MHz}$)



[図3-2] シリーズ・インダクタンス L_S を可変した軌跡

[表3-3] 図3-1(b)の Z_2 と L_S の直列回路のプロット値(周波数=10MHz)

プロット	$Z_{2n} = (Z_2 = R_2 + jX_2) + (L_S \text{の } X_L)$		正規化値
①	$Z_{20} = 40\Omega - j30\Omega + j0.0\Omega$	$= 40\Omega - j30.0\Omega$	$= 0.8 - j0.6$
②	$Z_{21} = 40\Omega - j30\Omega + j6.28\Omega$	$= 40\Omega - j23.7\Omega$	$= 0.8 - j0.474$
③	$Z_{22} = 40\Omega - j30\Omega + j18.8\Omega$	$= 40\Omega - j11.2\Omega$	$= 0.8 - j0.222$
(f_S)	$Z_{22} = 40\Omega - j30\Omega + j30\Omega$	$= 40\Omega \pm j0.0\Omega$	$= 0.8$ (共振)
④	$Z_{23} = 40\Omega - j30\Omega + j62.8\Omega$	$= 40\Omega + j32.8\Omega$	$= 0.8 + j0.66$
⑤	$Z_{24} = 40\Omega - j30\Omega + j188\Omega$	$= 40\Omega + j158\Omega$	$= 0.8 + j3.18$
⑥	$Z_{25} = 40\Omega - j30\Omega + j628\Omega$	$= 40\Omega + j598\Omega$	$= 0.8 + j12.0$
⑦	$Z_{26} = 40\Omega - j30\Omega + j\infty\Omega$	$= 40\Omega + j\infty\Omega$	$= 0.8 + j\infty$

※コイルが $0.477\mu\text{H} = +j30\Omega$ のとき、10MHzに直列共振する

プロット①ポイントは、 L_S のインダクタンスが小さくなり0になったときで、リアクタンス(X_L)は $+j0\Omega$ なので、このコイルは正にショート状態です。したがって、このコイルは回路になにも影響を与えません。

プロット⑦ポイントは、 L_S のインダクタンスが大きくなり無限大になったときで、リアクタンス(X_L)は $+j\infty\Omega$ です。したがって、合成インピーダンスは誘導性で $\infty\Omega$ になり、高周波的にはオープン状態です。

▶ 任意の抵抗(R_1)と L_S の場合

図3-1(a)に示すように、抵抗(R_1) = 60Ω とします。この抵抗値を正規化した値は1.2です。図3-2の(a)において、 $Z_1 = R_1$ のスタート・ポイント Z_{10} 点は、スミス・チャート上の抵抗軸($X = 0$)直線上の1.2になります。

この Z_{10} ($Z_1 = R_1$)点から、1.2定抵抗円を右回りに ∞ 方向に、誘導性リアクタンスぶんを正規化した値(表3-1)を加算した位置にプロットします(表3-2)。

▶ 任意のインピーダンス($Z_2 = R_2 + jX_2$)と L_S の場合

図3-1(b)に示すようにインピーダンス(Z_2) = $40\Omega - j30\Omega$ とします。このインピーダンスを正規化した値は $0.8 - j0.6$ です。

図3-2の(b)において、 Z_2 のスタート・ポイント Z_{20} 点は、スミス・チャート上の0.8定抵抗円と $-j0.6$ 定リアクタンス円弧の交点になります。

[考え方①]

この Z_2 のスタート・ポイント Z_{20} 点から、0.8定抵抗円を右回りに ∞ 方向に、誘導性リアクタンスぶんを正規化した値(表3-1)を加算した位置にプロットする方法です。

[考え方②]

表3-3のように、インピーダンス(Z_2)と L_S のリアクタンス(X_L)の合成インピー

ダンス ($Z_{20} \sim Z_{26}$) を求めて、その正規化値をプロットする方法です。通常はこの方法によりプロットします。

[考え方①]と[考え方②]ともに L_S の軌跡は図3-2の(b)のようになります。

▶ L_S だけの場合

基礎編第6章の「イミタンス・チャート」で説明します。

● シリーズ・キャパシタを無限大から0まで可変した場合

回路に直列に入ったコンデンサ = シリーズ・キャパシタ (C_S) のキャパシタンス (F) 値を無限大から0まで可変した場合を考えます。周波数は100MHzとします。

キャパシタンスの大→小により、容量性リアクタンス (X_C) は小→大になります。

$$X_C = \frac{1}{\omega C_S} = \frac{1}{2\pi f C_S}$$

となり、値は反比例します。

ここでは、表3-4のように ∞F から $0 F$ まで七つの値をとって作図してみます。

プロット④ポイントは、 C_S のキャパシタンスが大きくなり無限大になったときです。リアクタンス (X_C) は $+j0\Omega$ 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、このコンデンサは回路になにも影響を与えません。

プロット⑥ポイントは、 L_S のキャパシタンスが小さくなり0になったときで、リアクタンス (X_C) は $+j\infty\Omega$ です。したがって、合成インピーダンスは容量性で $\infty\Omega$ になり、高周波的にはオープン状態です。

▶ 任意の抵抗 (R_3) と C_S の場合

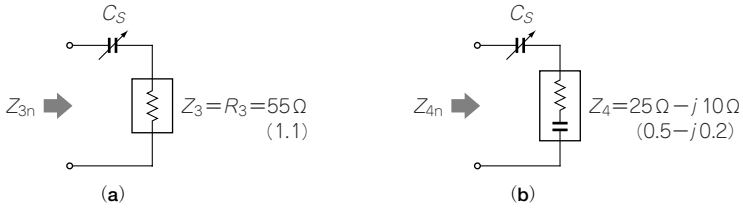
図3-3(a)に示すように、抵抗 (R_3) = 55Ω とします。この抵抗値を正規化した値は1.1です。図3-4(a)に示した Z_3 のスタート・ポイント $Z_{30}(R_3)$ 点は、スミス・チャート上の抵抗軸 ($X=0$) の直線上の1.1になります。

この $Z_{30}(R_3)$ 点から、1.1 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を加算した位置にプロットします。

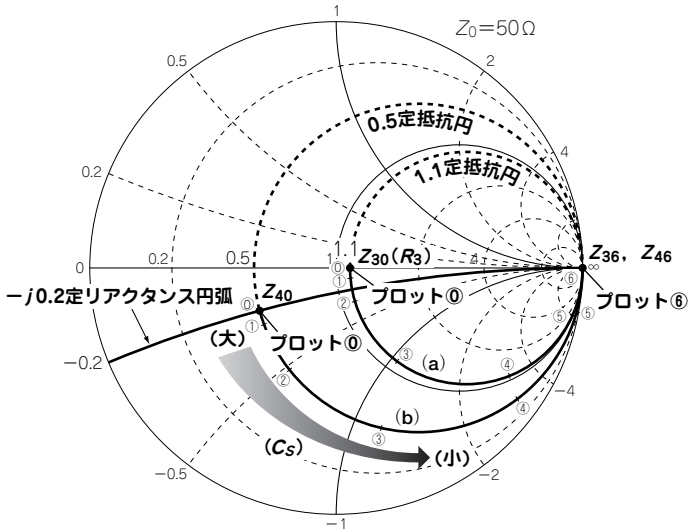
▶ 任意のインピーダンス (Z_4) = $R_4 + jX_4$ と C_S の場合

図3-3(b)に示すように、インピーダンス (Z_4) = $25\Omega - j10\Omega$ とします。このインピーダンスを正規化した値は $0.5 - j0.2$ です。

図3-4(b)に示した Z_4 のスタート・ポイント Z_{40} 点は、スミス・チャート上の0.5 定抵抗円と $-j0.2$ 定リアクタンス円弧の交点になります。



[図3-3] シリーズ・キャパシタンス(C_S) ($f = 100\text{MHz}$)



[図3-4] シリーズ・キャパシタンス C_S を可変した軌跡

[表3-4] プロットするコンデンサのリアクタンス値
(周波数 = 100MHz)

No.	キャパシタンス	リアクタンス	正規化値
①	∞ F	$X_{C0} = -j0.0\Omega$	$= -j0.0$
②	300pF	$X_{C1} = -j5.31\Omega$	$= -j0.106$
③	100pF	$X_{C2} = -j15.9\Omega$	$= -j0.318$
④	30pF	$X_{C3} = -j53.1\Omega$	$= -j1.06$
⑤	10pF	$X_{C4} = -j159\Omega$	$= -j3.18$
⑥	3pF	$X_{C5} = -j531\Omega$	$= -j10.6$
⑦	0F	$X_{C6} = -j\infty\Omega$	$= -j\infty$

[表3-5] 図3-3(a)の R_3 と C_S の直列回路の
プロット値(周波数 = 100MHz)

プロット	$Y_{3n} = (R_3) + (C_S)X_C$	正規化値
①	$Z_{30} = 55\Omega - j0.0\Omega$	$= 1.1$
②	$Z_{31} = 55\Omega - j5.31\Omega$	$= 1.1 - j0.106$
③	$Z_{32} = 55\Omega - j15.9\Omega$	$= 1.1 - j0.318$
④	$Z_{33} = 55\Omega - j53.1\Omega$	$= 1.1 - j1.06$
⑤	$Z_{34} = 55\Omega - j159\Omega$	$= 1.1 - j3.18$
⑥	$Z_{35} = 55\Omega - j531\Omega$	$= 1.1 - j10.6$
⑦	$Z_{36} = 55\Omega - j\infty\Omega$	$= 1.1 - j\infty$

[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	$Y_{4n} = (Z_4 = R_4 + jX_4) + (C_S \text{の} X_C)$		正規化値
①	$Z_{40} = 25\Omega - j10\Omega + j0.0\Omega$	$= 25\Omega - j10.0\Omega$	$= 0.5 - j0.20$
②	$Z_{41} = 25\Omega - j10\Omega + j5.31\Omega$	$= 25\Omega - j15.3\Omega$	$= 0.5 - j0.306$
③	$Z_{42} = 25\Omega - j10\Omega + j15.9\Omega$	$= 25\Omega - j25.9\Omega$	$= 0.5 - j0.518$
④	$Z_{43} = 25\Omega - j10\Omega + j53.1\Omega$	$= 25\Omega - j63.1\Omega$	$= 0.5 - j1.26$
⑤	$Z_{44} = 25\Omega - j10\Omega + j159\Omega$	$= 25\Omega - j169\Omega$	$= 0.5 - j3.38$
⑥	$Z_{45} = 25\Omega - j10\Omega + j531\Omega$	$= 25\Omega - j541\Omega$	$= 0.5 - j10.8$
⑦	$Z_{46} = 25\Omega - j10\Omega + j\infty\Omega$	$= 25\Omega - j\infty\Omega$	$= -j\infty$

[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($Z_{40} \sim Z_{46}$)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 $\infty\Omega$ まで七つの値をとって作図してみます。

プロット①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1.2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1.2になります。