

## マッチング回路を「足し算」で計算できるようになれば スミス・チャートでマッチングをとる原理が分かる (後編)

著者: 石井 聡

### はじめに

「スミス・チャートでのマッチングを説明しよう」と思い立って書き始めてみると、あっという間に 3 冊 (?) 目の技術ノートになってしまいました (汗)。丁寧に説明しようとする、なかなか…。どうしても紙面を食ってしまいます。とはいえ、これより多くの方に、「なんだかよく分からない」と思われがちなスミス・チャートでのマッチングの考え方をご理解いただけたら幸いとも思っております。

### 前回までで分かったことは

これまでの技術ノート (TNJ-041, TNJ-042) で分かったこととしては、

- 素子の接続を直交座標上でグラフィカルに計算したいなら直列接続を「足し算」で計算する
- 並列接続はアドミッタンスで考えればアドミッタンス直交座標上で「足し算」でグラフィカルに計算できる
- インピーダンス直交座標軸全体を反射係数で座標変換して極座標上に表すものがスミス・チャート
- しかしインピーダンス軸とアドミッタンス軸は別々の軸空間

ということでした。つまり直並列に接続されるマッチング回路を、インピーダンス $Z$ 軸とアドミッタンス $Y$ 軸を相互に活用してグラフィカルに描画として計算するためには、すくなくとも

$$Y = \frac{1}{Z} \quad (1)$$

という数値変換が必要になってしまうわけです (なお $Y, Z$ はベクトルです)。そこで

- $Z$ 軸と $Y$ 軸の間を行き来するため、毎度逆数を取っていくことは面倒だ
- $Z$ 軸と $Y$ 軸とが一つのグラフ上に描かれていたらいいな

という希望が出てくるということでありました。

### 反射係数を正規化アドミッタンスで表してみる

TNJ-042 で示した反射係数の式(4)を再掲すると

$$\Gamma = \frac{\frac{Z_L}{Z_0} - 1}{\frac{Z_L}{Z_0} + 1} = \frac{z - 1}{z + 1} \quad (2)$$

$z$ は正規化インピーダンス (複素数) で

$$z = \frac{Z_L}{Z_0} \quad (3)$$

式(2)に式(1)を代入してみましょう。いちおうこまごまと見ていくことにします。まず正規化アドミッタンス $y$ は

$$y = \frac{1}{z} = \frac{Z_0}{Z_L} \quad (4)$$

なおあたりまえですが (汗)、

$$z = \frac{1}{y} \quad (5)$$

$y, z$ もベクトルです。式(5)を反射係数の式(2)に代入してみます。

$$\Gamma = \frac{z - 1}{z + 1} = \frac{\frac{1}{y} - 1}{\frac{1}{y} + 1} = \frac{1 - y}{1 + y} \quad (6)$$

ここから正規化アドミッタンスを求める式に変形してみると、

$$y = \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} \quad (7)$$

なんだか中学 1 年生の数学という感じですが、このような結果となりました…。それではここで、TNJ-042 でおこなった「反射係数平面への変換をいくつか試してみる」を逆にひねって、「反射係数平面からアドミッタンスへの変換をいくつか試してみる」というのをやってみます。

### 反射係数平面からアドミッタンスへの変換をいくつか試してみる

まず反射係数 $\Gamma = 0$ の場合をみてみましょう。これを正規化アドミッタンスに変換すると

$$y = \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} = \frac{1 - 0}{1 + 0} = 1 \quad (8)$$

正規化アドミッタンス $y = 1$ なら、正規化インピーダンス $Z_0 = 50 \Omega$ とすれば、実アドミッタンス $Y_L = 1/50 \text{ S}$ になります。

つづいて、 $\Gamma = -1$ の場合です。これを正規化アドミッタンスに変換すると

$$y = \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} = \frac{1 + 1}{1 - 1} = \infty \quad (9)$$

実アドミッタンスも $Y_L = \infty$ です。

さらに、 $\Gamma = +1$ の場合をみてみましょう。これを正規化アドミッタンスに変換すると

$$y = \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} = \frac{1 - 1}{1 + 1} = 0 \quad (10)$$

実アドミッタンスもゼロです。

つづいて虚数軸をみてみましょう。 $\Gamma = j$ の場合です。

# アナログ電子回路技術ノート

TNJ-043

$$y = \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} = \frac{1 - j}{1 + j} = -j \quad (11)$$

この計算は TNJ-042 の式(9)などで示した共役複素数を分母・分子に掛け算することで求められます。実アドミッタンスは  $-j/50$  S になります。

さらに  $\Gamma = -j$  の場合、正規化アドミッタンスは

$$y = \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} = \frac{1 + j}{1 - j} = +j \quad (12)$$

実アドミッタンスは  $+j/50$  S になります。これらをまとめてみると、図 1 のように変換されています。

しかしこれでは、相互に座標変換した図として、どうもすっきりしませんね。そこで図 1 のアドミッタンス直交座標の「向き」自体を変換してみましょう。図 2 のように実数軸のゼロを右側に、また虚数軸の  $+j$  側を下側、 $-j$  側を上側にしてみます。

こうすると左右の図（直交座標と極座標）の各点の位置関係がすっきりしてくることに気がつきます。

これは一つ前の技術ノート TNJ-042 の図 15 や図 16 (図 3、図 4 として再掲) のインピーダンス直交座標と似ており、その変換の向きを左右逆にしたものと同様です。

またこの直交座標の表記方法は、軸をアドミッタンスにした TNJ-041 の図 14 に近いことにも気がつきます。実はこれが全ての謎を解くカギなのです (大げさ…)

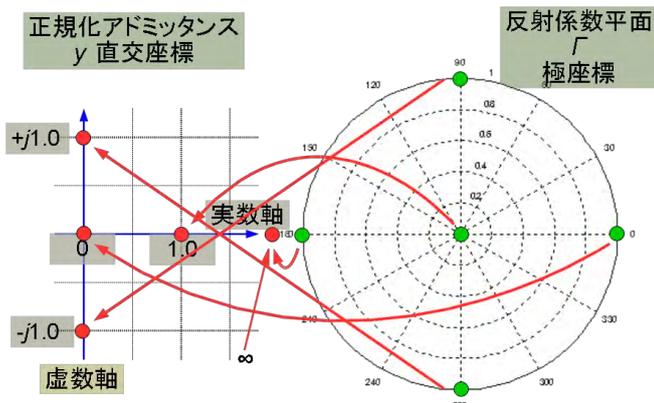


図 1. リアクタンス素子を追加してマッチングを実現できる

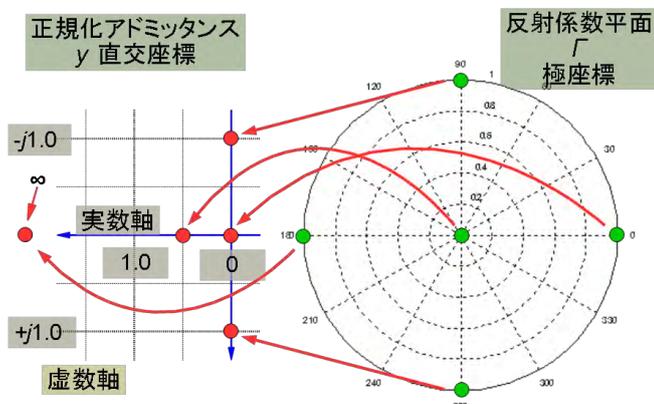


図 2. 正規化アドミッタンス直交座標の実数軸のゼロを右側に、虚数軸の天地をひっくりかえて表記し、反射係数平面と対比してみる

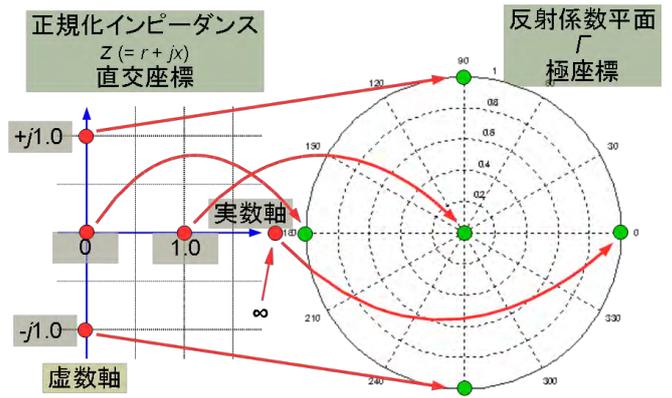


図 3. TNJ-042 の図 15 再掲 (正規化インピーダンス直交座標を反射係数平面に変換した ①)

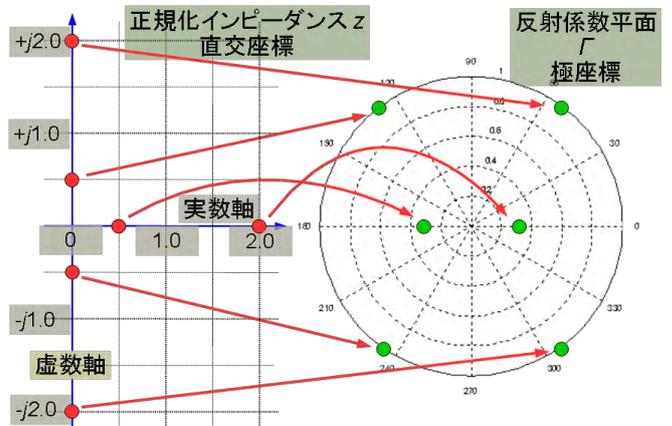


図 4. TNJ-042 の図 16 再掲 (正規化インピーダンス直交座標を反射係数平面に変換した ②)

## 反射係数平面のうえにアドミッタンス直交座標軸全体をひいてみる

ここまでの説明は

- ある正規化アドミッタンスを反射係数平面からアドミッタンス直交座標に変換した
- 変換時に (変換先の) アドミッタンス直交座標の天地左右を逆転させると見た目すっきりする
- 天地左右を逆転させるとインピーダンス直交座標と反射係数との位置関係と似ている

というはなしでした。また前回の技術ノート TNJ-042 で

「インピーダンス直交座標軸全体を反射係数で変換して、それを極座標上に表してみる」

としたものがスミス・チャートであると説明しました (図 5)。同様に、アドミッタンスについて図 2 を用いて考えていきます。図 2 ではアドミッタンス直交座標のゼロ位置を右側に、対応する反射係数平面上の位置は

$$|\Gamma| = 1, \phi = 0^\circ$$

で極座標の右側と示しました。他の座標位置も同様に対応位置をプロットしました。これを延長して、アドミッタンス直交座標軸自体を反射係数平面のうえに引いてみるとすれば、これは (ここまでの説明を考えれば) 図 6 のように「スミス・チャートが左右反転したかたち」と同様になる、という答えになります。

# アナログ電子回路技術ノート

TNJ-043

このようにして得られた図（図 6 の左側）はスミス・チャートの「アドミッタンス版」ともいえるものです。これと「アドミッタンス・スミスチャート」、「アドミッタンスでマッピングされたスミス・チャート」、「スミス・チャートのアドミッタ

ンス軸」 「スミス・チャートのアドミッタンス・グリッド」 などと呼ぶようですが、この技術ノートでは簡潔さを考慮して、

## アドミッタンス・チャート

と以降、呼ぶことにします。

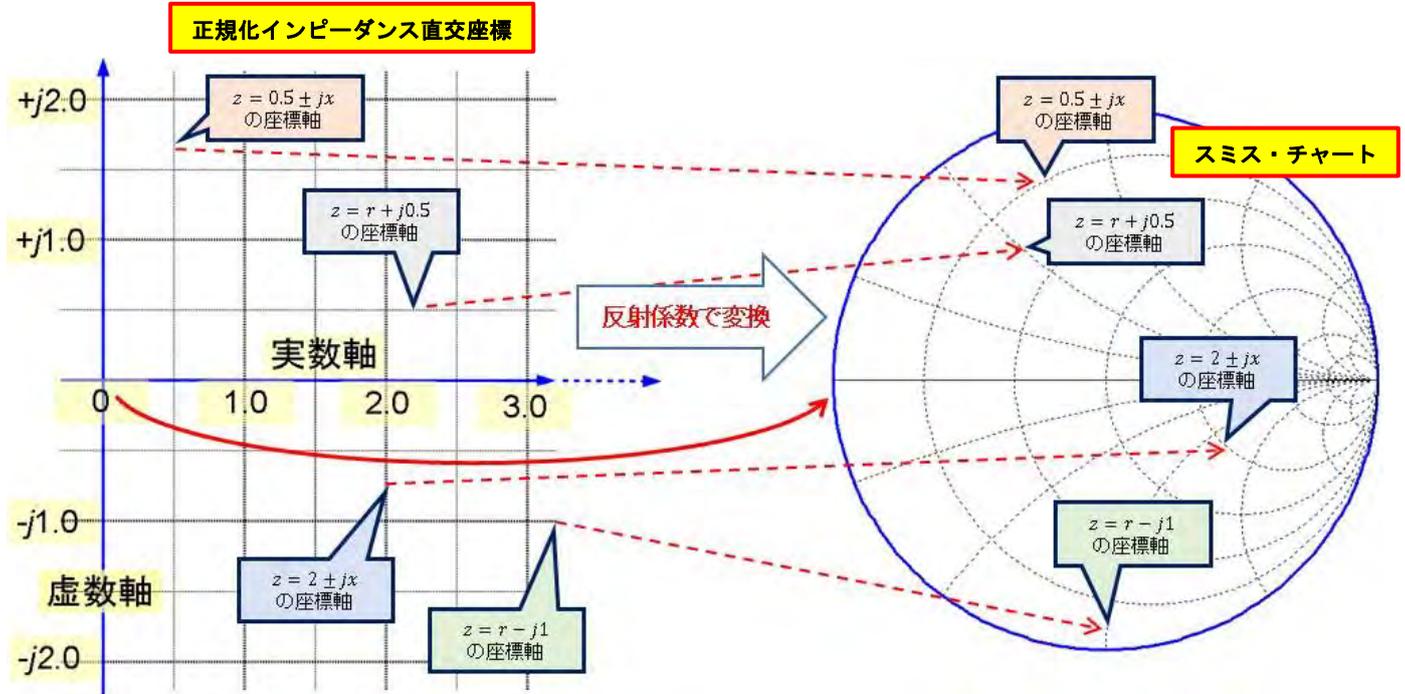


図 5. インピーダンス直交座標軸全体を反射係数で変換し極座標上に載せたものがスミス・チャート

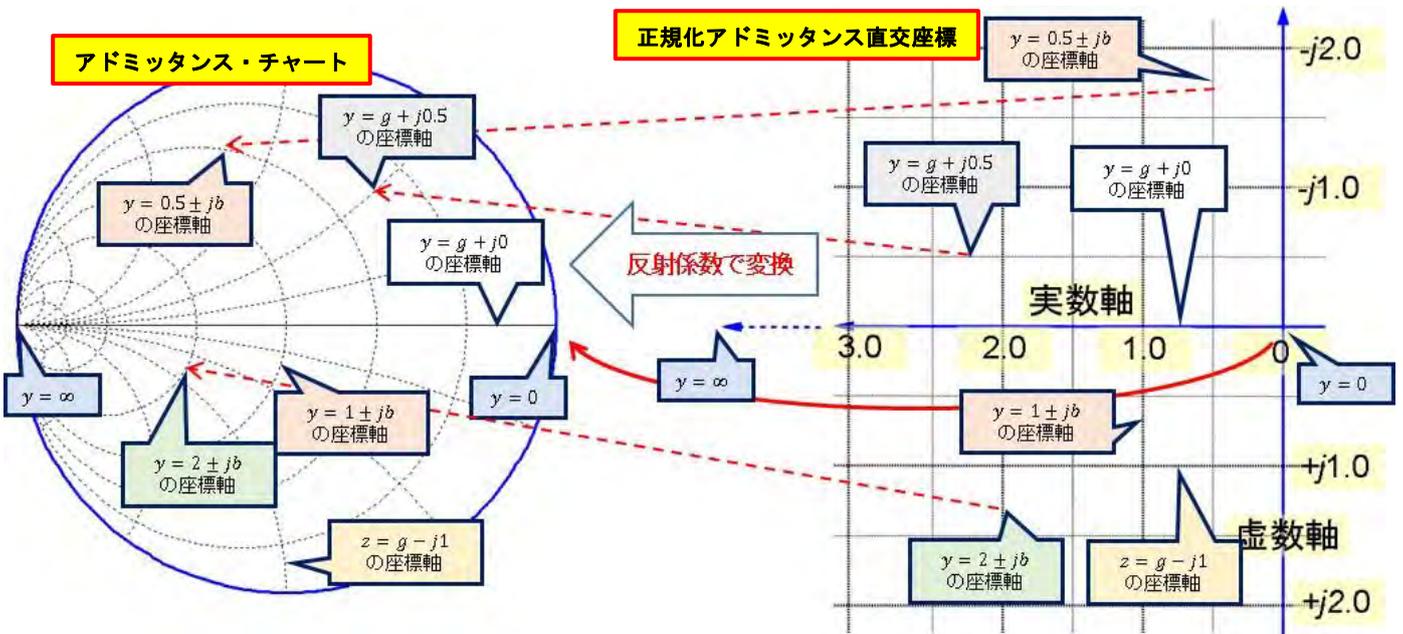


図 6. スミス・チャートと同じ考えでアドミッタンス直交座標軸全体を反射係数で変換する

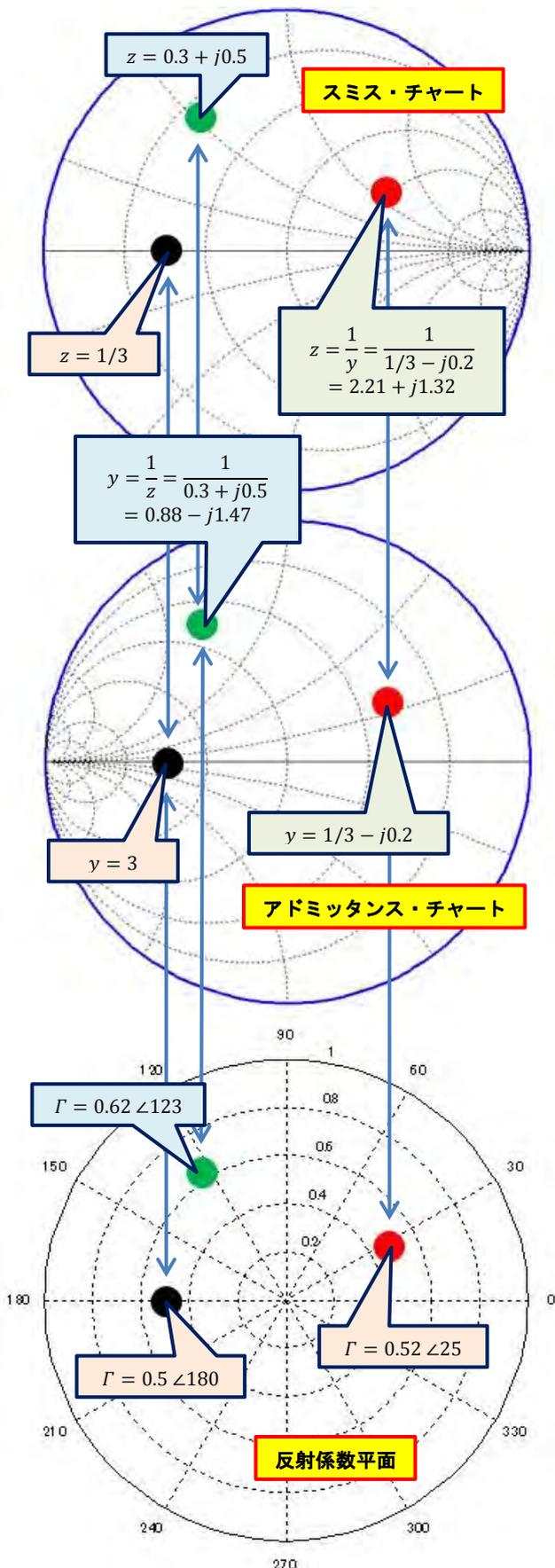


図7. すべて同じ物理現象、物理的接続状態を見ている

これでインピーダンスとアドミッタンスを同一図上の同一位置で表せるようになった

ここまできて（実は）ようやくこの「スミス・チャートでのマッチングを説明しよう」技術ノート3部作（TNJ-041, TNJ-042, TNJ-043）のゴールが見えてきたのです（涙）。本技術ノートの最初にしめたように、リアクタンスの直並列回路でマッチングをとっていく場合に

- インピーダンス平面とアドミッタンス平面の間を行き来するため、毎度逆数を取っていくことは面倒だ
- Z軸とY軸とが一つのグラフ上に描かれていたらいいな

という課題がありました。ある回路のインピーダンスの大きさ&位相と、その逆数であるアドミッタンスの大きさ&位相が

- 同一のグラフ上で、同一の点にプロットされていたら
- インピーダンス軸とアドミッタンス軸を行き来するために、毎度逆数を取っていく必要がなくなり
- 素子の直並列接続をグラフ上で「足し算」でグラフィカルにおこなえる

となるわけです。

インピーダンス座標（スミス・チャート）もアドミッタンス座標（アドミッタンス・チャート）も同じ反射係数平面のうえに描かれているんだ

図5と図6は異なる図のように感じるかもしれませんが、ここまでの説明から分かるように、結局は同じ素子の接続により生じる「インピーダンス | アドミッタンス」を反射係数平面上で表現しているもので、この図の任意の点における「インピーダンス | アドミッタンス | 反射係数」はすべて同じ物理現象、物理的接続状態を見ていることとなります。つまり「表現方法が違うだけ」なのです。これを図7に示します。

これにより、ようやく…

「Z軸とY軸とが一つのグラフ上に描かれていたらいいな」

が実現できることになるわけです。これができることにより、上記に説明したような「同一のグラフ上で…（中略）、グラフィカルにおこなえる」も実現できることになるわけです。

これでなぜ TNJ-041 でアドミッタンス直交座標を「実数軸の右をゼロ、虚数軸は上方向がマイナス」で表していたかの理由が判明する

この「スミス・チャートでのマッチングを説明しよう」技術ノート3部作のルーツを遡（さかのぼ）った TNJ-041 の図14で、

「アドミッタンス直交座標で並列接続を足し算の概念で表せる（実数軸の右がゼロ、虚数軸は上方向がマイナスなので注意）」

として、図自体とキャプションで示しました。本文では

「そのため（というより、以降で説明する「イミッタンス・チャート」を説明する流れをスムーズにするために）、このアドミッタンス直交座標では実数軸の右をゼロ、虚数軸の上方向をマイナスにしてあります」

と説明しました。いっぽうここまでの直交座標と反射係数平面（極座標）の図の組み合わせから分かるように、

- インピーダンス直交座標を「実数軸左をゼロ、虚数軸の上方向を**プラス**」として表して、それを折り曲げ圧縮するように反射係数平面上にインピーダンス直交座標をプロット（座標変換）していくとスミス・チャートになる

# アナログ電子回路技術ノート

TNJ-043

- アドミッタンス直交座標を「実数軸右をゼロ、虚数軸の上方向をマイナス」として表して、それを折り曲げ圧縮するように反射係数平面にアドミッタンス直交座標をプロット（座標変換）していくと…、
- それがまさに用語定義した「アドミッタンス・チャート」であり
- 極座標上に任意のインピーダンス/アドミッタンスを同じ位置として表せる
- Z軸とY軸とを一つのグラフ上に描くことができる

なんだか繰り返して説明しているようですが、これが TNJ-041 で説明した「アドミッタンス直交座標では実数軸の右をゼロ、虚数軸の上方向をマイナス」という理由なのです。

## インピーダンスとアドミッタンスを反射係数平面に座標変換したものを使って TNJ-041 のマッチング計算をやってみる

ようやくこれで、本シリーズを遡ったルーツである TNJ-041 において計算で示したインピーダンス・マッチングを、グラフィカルに行えることになりました。

### TNJ-041 の図 7 の信号源抵抗とインダクタの並列接続部分をアドミッタンス・チャートでグラフィカルに求めてみる

TNJ-041 の図 7 を図 8 に再掲します。このインピーダンス・マッチングをここまで得られたチャートを使ってグラフィカルに求めてみましょう。

正規化インピーダンスの基準となるインピーダンスを  $50\Omega$  とします。周波数は  $f = 1\text{MHz}$  で考えます。まず信号源抵抗  $R_S = 50\Omega$  は

- 正規化インピーダンス  $z = 1.0\angle 0^\circ$
- 正規化アドミッタンス  $y = 1.0\angle 0^\circ$

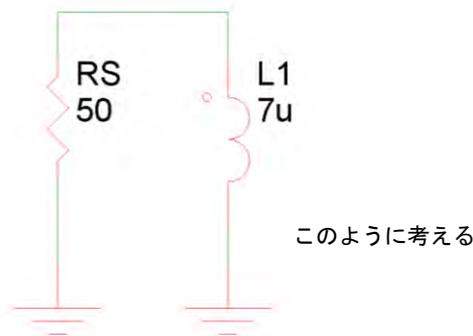
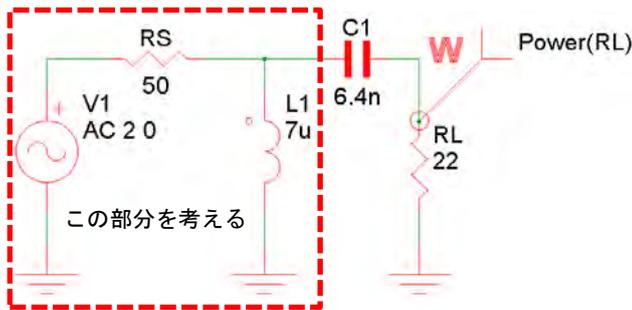


図 8. TNJ-041 の図 7 再掲

となり、図 9 のようにアドミッタンス・チャート上の中心にプロットできます。いきなりここでアドミッタンスにした理由は、ここに接続されるものが「並列接続」のインダクタ（受動素子 L/C/R ならなんでもいいのですが）だからです。

つづいて並列に接続されるインダクタ  $L1 = 7\mu\text{H}$  を考えてみましょう。これはリアクタンスとして  $1\text{MHz}$  において

$$X_L = +j43.98\Omega$$

これを正規化アドミッタンス（正規化サセプタンス）にしてみると

$$y = \frac{50}{+j43.98} = -j1.137$$

正規化インピーダンスの逆数ですから、基準となるインピーダンスの「50」が分子にあります。

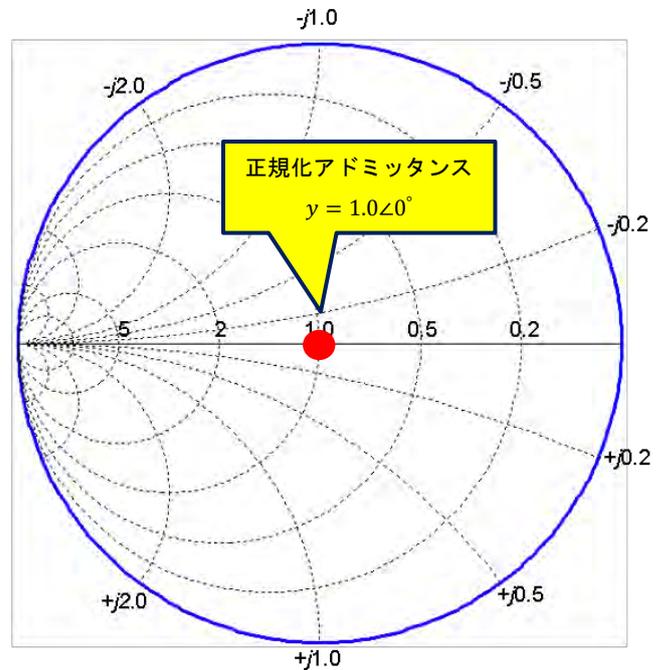


図 9. 図 8 の信号源抵抗の「正規化アドミッタンス」をアドミッタンス・チャート上にプロットする

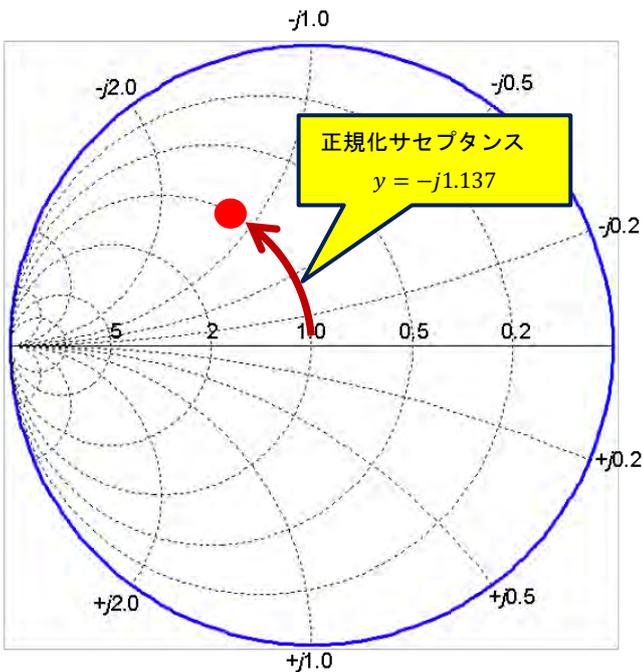


図 10. 「インダクタの並列接続」をアドミッタンス・チャート上でグラフィカルに足し算で描画できる

この「インダクタの並列接続」をアドミッタンス・チャート上で表せば、グラフィカルに（そのアドミッタンス直交座標軸上で）足し算で描画することができます。これはこれまで説明してきたとおりです。これを図 10 に示します。この「インダクタ  $7\mu\text{H}$  の並列接続をグラフィカルに足し算」する操作は、図上では「なんだかカーブしているぞ」というように見えますが、結局これは、直交座標上でのグラフィカルな足し算と全く同じことなのです。

つづいて並列接続された信号源抵抗とインダクタに、容量を「直列接続」する操作をグラフィカルに求めてみます。

### 信号源抵抗とインダクタの並列接続部分をスミス・チャートに変換する

図 8 の回路でマッチングを実現するには、同図のように並列接続されたインダクタに対して、さらに容量を直列に接続する必要があります。これは「インピーダンスの直列接続」ですね。

そこでここまでの「正規化アドミッタンスでグラフィカルな足し算」をした結果を、正規化インピーダンスに変換する必要があります。それは

$$z = \frac{1}{y} \quad (13)$$

であり、もともとの直交座標を用いたなら（これまでの説明のとおり、当然ながら）、同じ軸上に表すことはできません。しかしアドミッタンス・チャート（アドミッタンス直交座標軸相当）とスミス・チャート（インピーダンス直交座標軸相当）では

- 極座標上に任意のインピーダンス／アドミッタンスが同じ位置として表されている
- Z軸とY軸とが一つのチャート上に描かれている

となっているわけです。そこでつづいて図 10 の位置（正規化アドミッタンス）を図 5 のスミス・チャートの軸で読み出します。

まず「取り急ぎ(?)」この位置を反射係数として求めてみると

$$|\Gamma| = 0.494, \phi = 120^\circ$$

この位置も一応、極座標の図として図 11 に示しておきましょう。

つづいて、図 10、図 11 のプロット位置をスミス・チャート（インピーダンス直交座標軸相当）上に載せたものを図 12 に示します（位置は同じです）。これを「なんだかカーブしているぞ」の湾曲したインピーダンス直交座標軸上で読み出してみると

$$z = 0.436 + j0.496$$

と読むことができます。さらにこれをインピーダンス直交座標上で表したものを図 13 に示します。

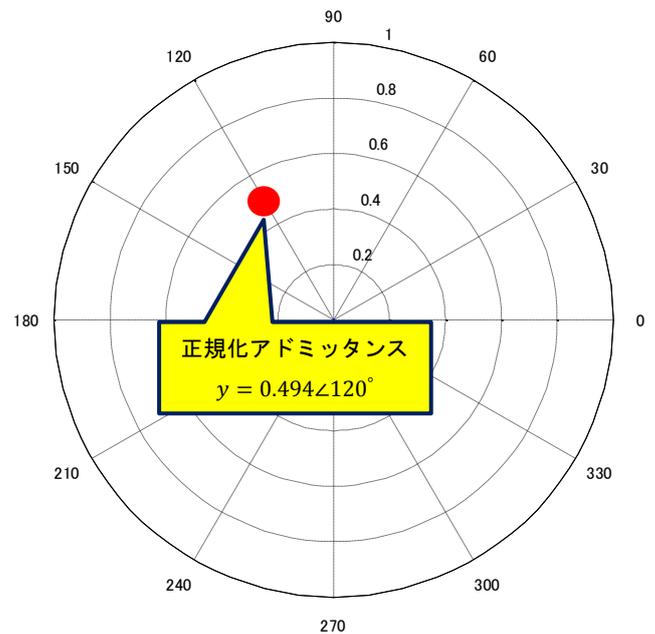


図 11. 図 10 の位置を反射係数平面にプロットしてみる

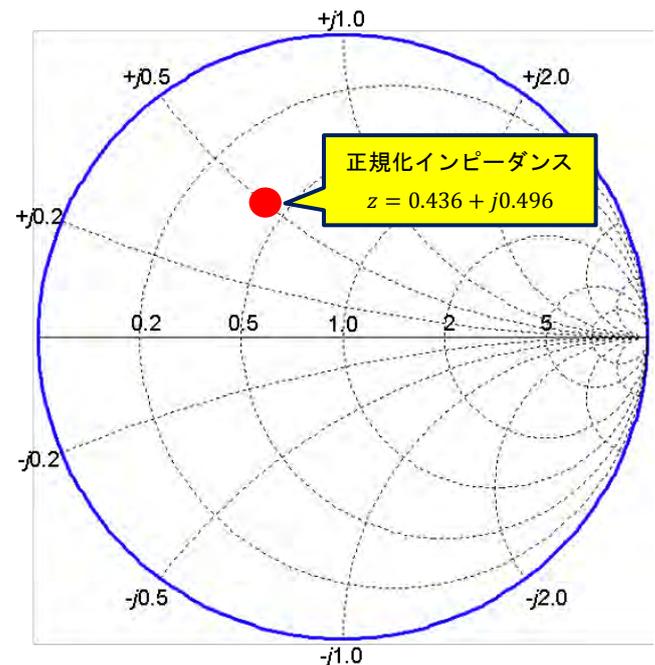


図 12. 図 10、図 11 のプロット位置をスミス・チャートの軸で読み出してみる

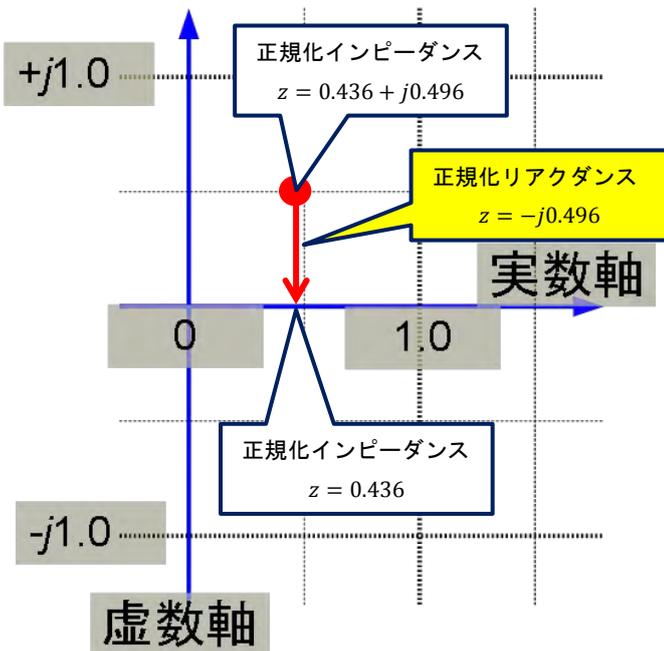


図 13. 図 12 のスミス・チャートでのプロット位置をインピーダンス直交座標軸上で表してみる（「容量の直列接続」もグラフィカルに足し算した表記も記載）

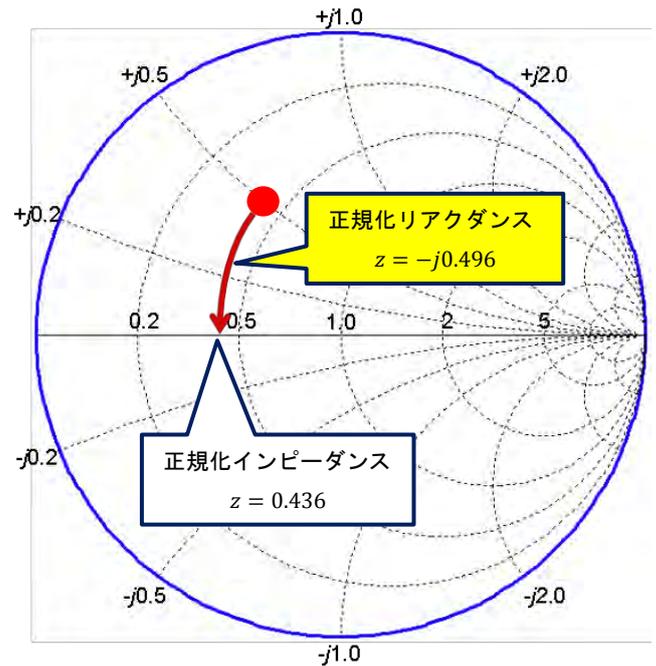


図 14. 「容量の直列接続」をスミス・チャート（インピーダンス直交座標相当）上でグラフィカルに足し算してみる

### コンデンサの直列接続をグラフィカルに求めてみる

ここで図 8 では、 $C1 = 6.4\text{nF}$  を直列接続して  $22\Omega$  に対してマッチングをとっていますが、この直列に接続される容量は、リアクタンスとして

$$X_C = -j24.80\Omega$$

です。これを正規化インピーダンス（正規化リアクタンス）にしてみると

$$z = \frac{-j24.80}{50} = -j0.496$$

図 13（インピーダンス直交座標）の位置から虚数軸（縦軸）のマイナス方向に  $-0.496$  動くこと「足し算」すると、実際にやっていることは引き算ですが…。「マイナス方向に足し算すると」が適切でしょうか、実数軸（横軸）上にぴったり乗ることが分かりますね。これで  $22\Omega$ （正規化インピーダンスとして「0.436」。 $22/50$  で 0.44 になります）にインピーダンス変換ができるわけです。

これをスミス・チャート（インピーダンス直交座標軸相当）上で「足し算」でグラフィカルにやってみると、図 14 のようになります。0.436 の位置に移動することが分かりますね。

結局は図 13 の足し算を、スミス・チャート（図 14）上で「なんだかカーブしているぞ」というインピーダンス直交座標に相当する湾曲した軸上を移動しているだけで、同じことをしているのです。

### ようやく出てくるイミッタンス・チャート

ここまでの話で

- マッチングをグラフィカルに計算したいなら「足し算」で計算するしかない
- 並列接続はアドミッタンスで考えればアドミッタンス直交座標上で「足し算」でグラフィカルに計算できる
- インピーダンスZ軸とアドミッタンスY軸を相互に活用してグラフィカルに描画で計算するために

$$Y = \frac{1}{Z}$$

という数値変換が必要

- その間を行き来するため、毎度逆数を取っていくことは面倒だ
- Z軸とY軸とが一つのグラフ上に描かれていたらいいな

それを実現できそうなのが、

- ① 反射係数平面
- ② スミス・チャート（インピーダンス直交座標軸相当）
- ③ アドミッタンス直交座標軸全体が反射係数で変換された極座標上（アドミッタンス・チャート）

という3要素なわけです。

結局はこれらを「図 15 のように重ね合わせればいだけ」の話でありまして…。それがここまで 2 回の技術ノートでご紹介してきた、図 16 の「イミッタンス・チャート」です。

このイミッタンス (Immittance) とは、「Impedance + Admittance」から作られた「造語」です。

# アナログ電子回路技術ノート

TNJ-043

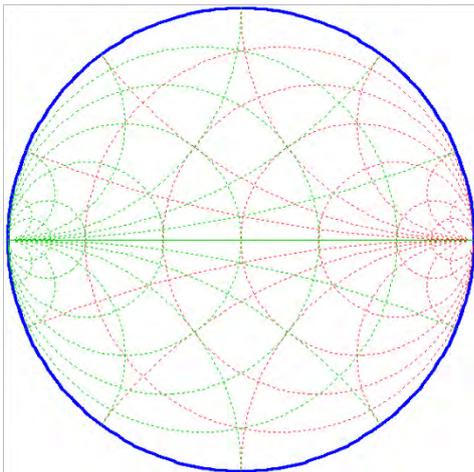


図 15. Z軸とY軸とが一つのグラフ上に描かれていたら…を実現するなら、それぞれを重ね合わせればよい（正規化インピーダンス軸に相当するスミス・チャートを赤、正規化アドミッタンスに相当するアドミッタンス・チャートを緑でプロットしてある）

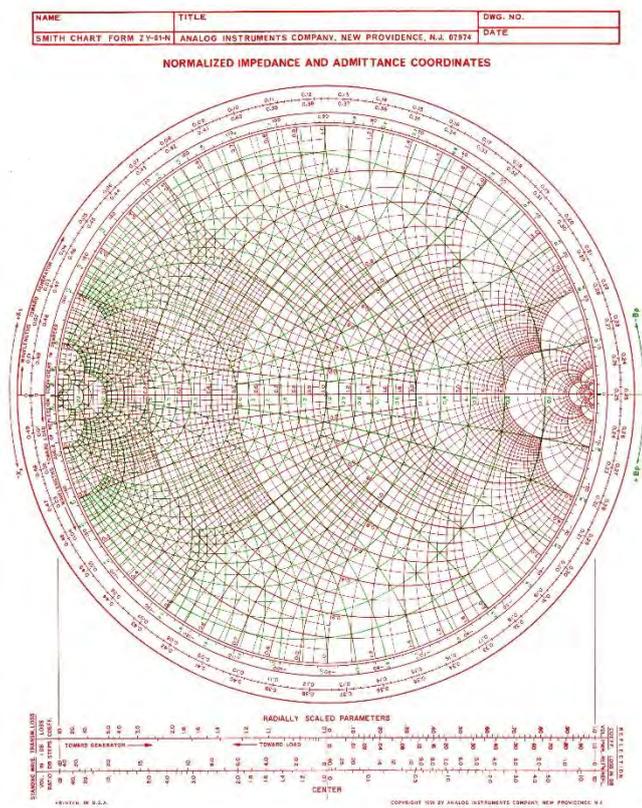


図 16. ようやく意味を解き明かしたイミッタンス・チャート

## リアクタンスとサセプタンスでルート割り出しを行えばイミッタンス・チャート上でマッチング計算をグラフィカルに行える

ここまでのストーリーでは、マッチングをとる直並列リアクタンスは、TNJ-041 で求めた既知の定数を用いてきました。しかし実際に、ある信号源インピーダンスと、それとは異なる大きさの負荷インピーダンスとの間のマッチングを取っていくときは、それぞれのリアクタンス（サセプタンス）は「未知」なわけです。

## マッチング演習をやってみる

この未知のリアクタンス（サセプタンス）を求めるには、ここまでの話を応用すればいいだけです。イミッタンス・チャート上でインピーダンス直交座標とアドミッタンス直交座標に沿ったかたちで、「ルート」を選定すればいいだけです。

それではマッチングの取り方を演習形式で、図 16 のイミッタンス・チャートをつかって、 $50\Omega$  から  $22\Omega$  にインピーダンス変換する（マッチングをとる）手順を説明してみましょう。

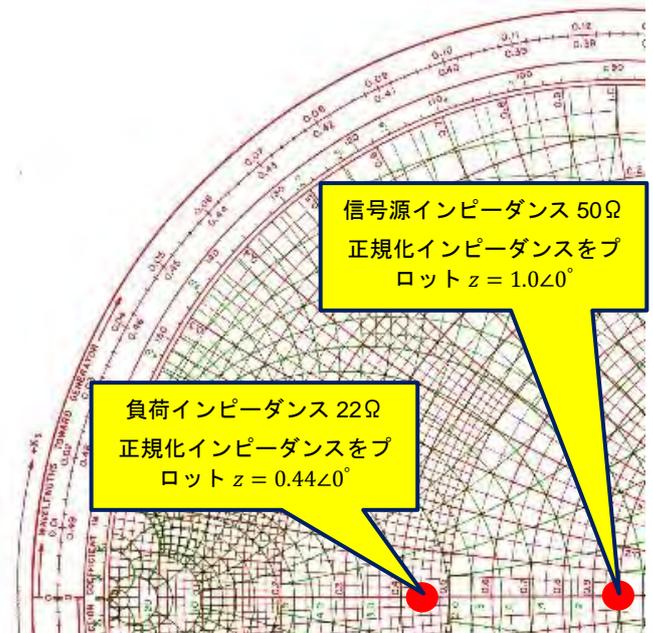


図 17. 最初に信号源と負荷の正規化インピーダンスをプロットする（インピーダンスもアドミッタンスも同じ位置なのでどちらもインピーダンスで位置を決めてよい）

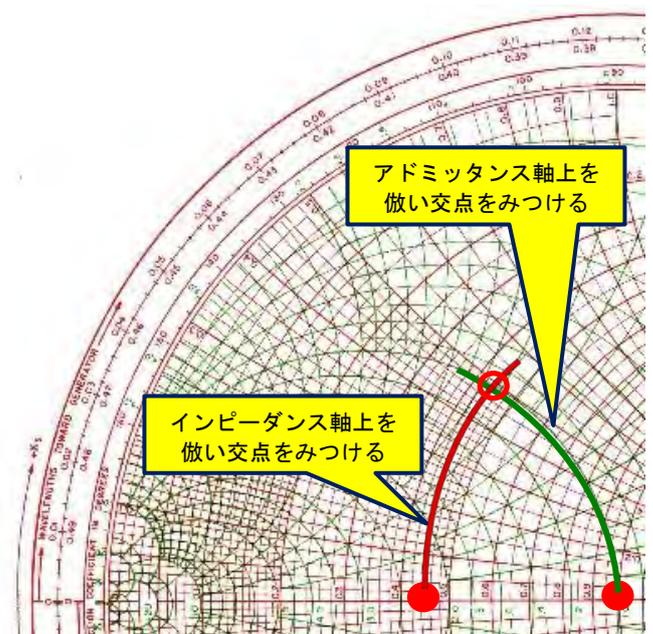


図 18. 信号源と負荷インピーダンスからインピーダンス軸／アドミッタンス軸上を做（なら）い交点を見つける

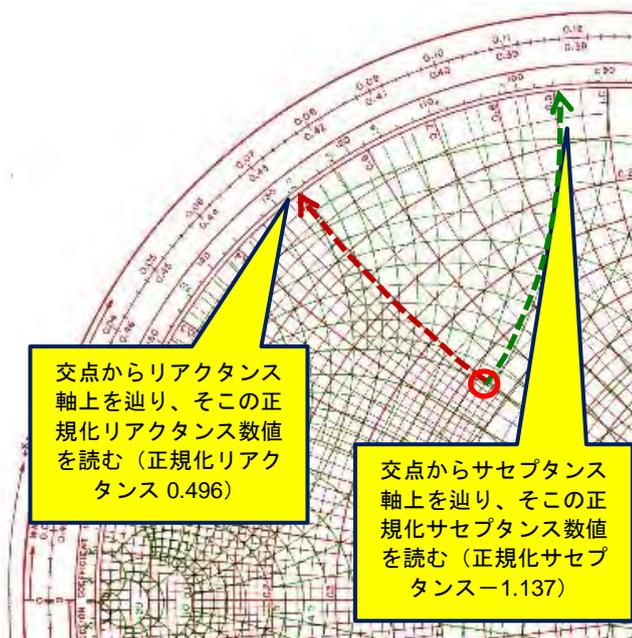


図 19. 交点からリアクタンス軸/サセプタンス軸上を辿り、その数値を読む

最初は図 17 のように、信号源と負荷の正規化インピーダンスをプロットします。アドミッタンスも含めて考えていく必要はあるのですが、イミッタンス・チャート上ではインピーダンス表記もアドミッタンス表記も同じ位置なので、どちらもインピーダンスで位置を決めてしまってもかまいません。

つづいて図 18 のようにふたつの点の間を、片方はアドミッタンス軸上を（実際はその定コンダクタンス値の軸に沿って。図中「緑」）、もう一つはインピーダンス軸上を（実際はその定純抵抗値の軸に沿って。図中「赤」）辿っていき、ふたつの点の交点になるところを探します。

さらに図 19 のように、交点から定サセプタンス軸上を辿り、その正規化サセプタンス数値を読みます。チャートの外周円上にこの正規化サセプタンス値が振られています（図中「緑」。正規化サセプタンス  $-1.137$  が読み出せます）。

同じく、交点から定リアクタンス軸上を辿り、その正規化リアクタンス数値を読みます。チャートの外周円上にこの正規化リアクタンス値「 $0.496$ 」が振られています（図中「赤」。正規化リアクタンス  $0.496$ ）。

この振られている正規化サセプタンス値と正規化リアクタンス値はそれぞれ同じ目盛り軸上にありますので、ちょっと見づらい（間違え易い）ので注意してください。

### 得られた値をもとに地図の上を辿るようにマッチング回路を構成する

イミッタンス・チャート…、ということは、これはチャート（地図）です。ここまで得られたふたつの値（正規化サセプタンス  $-1.137$  と正規化リアクタンス  $0.496$ ）をナビゲーションとして、まるで地図の上を辿るようにマッチング回路を構成すればよいのです。

- ① たえば図 17 の  $50\Omega$  のところからスタートして、交点に到着したいなら
- ② アドミッタンス・チャートのサセプタンス軸上に沿って  $1.137$  だけ進む
- ③ そうすると交点に到着できる

- ④ この移動分をリアクタンスで考えれば、 $50\Omega$  系で  $+j43.98\Omega$  ( $50/1.137$ )
- ⑤  $1\text{MHz}$  で考えるなら、 $7\mu\text{H}$  のインダクタ
- ⑥ アドミッタンス・チャートで考えていたので、これは  $7\mu\text{H}$  のインダクタの並列接続になる

つづいて

- ⑦ 交点から再スタートし、 $22\Omega$  ( $0.44$ ) に到着したいなら
- ⑧ スミス・チャート（インピーダンス）のリアクタンス軸上に沿って  $-0.496$  だけ進む。下方方向に進むので、符号がマイナスとなる
- ⑨ そうすると  $22\Omega$  ( $0.44$ ) に到着できる
- ⑩ これは  $50\Omega$  系で  $-j24.8\Omega$  ( $50 \times 0.496$ ) のリアクタンス
- ⑪  $1\text{MHz}$  で考えるなら、 $6.4\text{nF}$  の容量
- ⑫ スミス・チャート（インピーダンス）で考えていたので、これは  $6.4\text{nF}$  の容量の直列接続になる

このように、みごとに図 8 の定数と符合していることが分かります。これがスミス・チャートの使い方です。面倒な計算をすることはありません。地図の上を移動していくように図中でグラフィカルに求めれば、マッチング回路を実現することができます。

### いろいろなインピーダンス間もイミッタンス・チャートでグラフィカルにマッチングがとれる

ここでは  $50\Omega$  と  $22\Omega$  とのマッチングを例にとりましたが、他の抵抗値（たとえば  $100\Omega$  と  $33\Omega$ ）のマッチングも全く同じように図中でグラフィカルに求めることができます。

なお、マッチングをとるもの同士が、インピーダンスとしてリアクタンス（虚数部）をもつものであれば、スミス・チャートのうえで「共役マッチング」としてマッチングをとっていく必要があります。これはページ数の関係で今回の技術ノートでは割愛しますが、稿をあらためてご説明したいと思います。

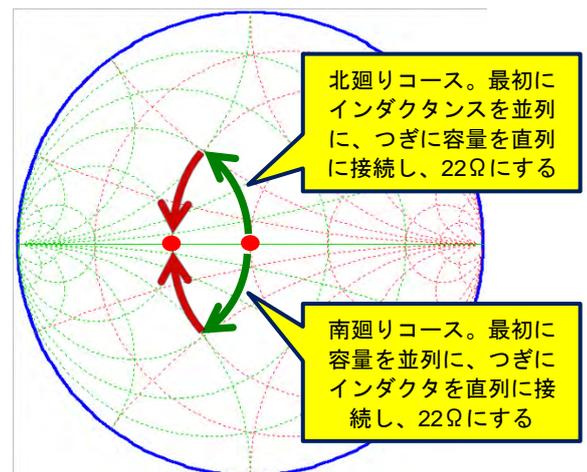


図 20. マッチングをとるには「北廻りコース」と「南廻りコース」の 2 種類がある

## マッチングは「北廻り」と「南廻り」の2ルートが考えられる

上記の説明では、最初に並列リアクタンス、つづいて直列容量というかたちでインピーダンス変換する（マッチングをとる）演習をやってみました。これは「北廻りコース」ともいえるでしょう（誰もこれまで「北廻り」だなんて表現は使ってきませんでした。ちょっとお遊びで…）。図を見て気がつくように、最初に並列容量、つづいて直列リアクタンスという「南廻り」のインピーダンス変換（マッチング）の方法もあります（図20）。

実はこの北廻りと南廻りが、一つ前の技術ノート TNJ-042 の図1のハイパス回路構成（図2がその周波数特性）と、図3のローパス回路構成（図4がその周波数特性）になるわけなのでした。

## まとめ

ようやくこれでスミス・チャート（実際はイミッタンス・チャート）によりインピーダンス変換をする（マッチングをとる）基礎的なところを説明できました。

理解してしまえば別に難しいものではないこと、またとても便利に使えることがご理解いただけたかと思います。

一応ここまでで、この一連の技術ノートは終わりとしませんが、また稿をあらためてスミス・チャートのさらなる活用方法（共役マッチングの話、多重ラダー接続により  $Q$  を低下させて広帯域マッチングを実現する方法、伝送線路とからめたマッチングなど）を説明してみたいと思います。

実は続けてそれらの技術ノートを書こうと思っていたのですが、とある日のとある方との、とあるメールのやりとりで、横道の興味が湧いてきたので、次の技術ノートはそんな話題に突入します（笑）。技術的興味はとどまるところを知りません（笑）。