

1. はじめに

通常、特定の差動インピーダンス値を得るには、2本の信号導体は同一の断面寸法を持つものと仮定されます。これは、平衡線路(Balanced Tracks)といい、殆どのインピーダンス計算ソフトウェアにて採用されています。ところが、製造技法や許容誤差が原因で、2本の導体の断面寸法が異なることがあります。これを、不平衡線路(Unbalanced Tracks)といいます。この文献では、導体の不均衡が差動インピーダンスの値に与える影響について説明します。

不平衡線路の差動インピーダンスの計算は、幾何学的及び電氣的均衡を利用できない為、平衡線路のインピーダンス計算よりも複雑になります。今回、CITS25 や Si6000 ソフトウェアにて採用している計算方法と同一のものを用いて、2導体のキャパシタンス及びインダクタンスのマトリックスを計算しました。これらのマトリックスにより差動インピーダンスを決定することができます。

2. 計算結果

ここでは、導体幅として極めて実用的な値を用いて、エッジ結合のマイクロストリップ及びストリップラインの計算結果を使います。平衡線路を基準として、中心線の位置は維持したまま、右側導体の幅を最大 $\pm 20\%$ まで変動させます。下の表における**中心線**の値は、左側導体の左端から右側導体の中心線までの距離です。ブロードサイド結合ストリップラインの考察も行いましたが、この場合、平衡二線がグラウンド面間の中心線を挟んで均衡が取れている状態から、二線の下側導体のみ、上下に最大 $\pm 20\%$ 移動することとします。

2-1 マイクロストリップ

表 1 は、条件の異なるマイクロストリップの構成において右側の導体幅を $\pm 20\%$ 変化させた場合のインピーダンス値の変動を示しています。グラフ1は、基板厚が $1000\ \mu\text{m}$ で、固定中心線間隔が $90\ \mu\text{m}$ と $130\ \mu\text{m}$ の表面型エッジ結合マイクロストリップの差動インピーダンスにおける変動率を示しています。

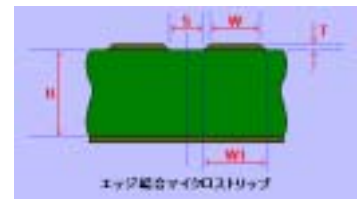
一般的に、差動インピーダンスが大きくなるにつれて、インピーダンスの変動率は小さくなります。実際、100 を越えるインピーダンスは $\pm 7\%$ 程しか変化せず、100 に満たないインピーダンスにおいては、平衡状態の差動インピーダンスが減少するに従い変動は大きくなります。更に、変動の大きさは、2線路間の間隔(S)にも依存します。中心線間隔が $90\ \mu\text{m}$ 、平衡線路の導体幅が $51\ \mu\text{m}$ で導体間隔が $13.5\ \mu\text{m}$ の場合、インピーダンスは61.7 であり、変動は $20.7\% \sim 17.0\%$ となります。これに対して、中心線間隔が $2100\ \mu\text{m}$ で平衡線路での導体幅が $1250\ \mu\text{m}$ の場合(導体間隔が $225\ \mu\text{m}$)のインピーダンスは80.3 であり、変動は $19.1\% \sim 15.2\%$ となります。

この工程を、埋込型(表 2)、及び、コーテッドマイクロストリップ(表 3)においても行いました。

表1 (表面型)エッジ結合マイクロストリップ

基板厚(H)	中心線	導体幅(W)	Z_{diff} の変動()		Z_{diff} の変動(%)	
1000.0	90.0	51.0	49.0	72.8	-20.7	17.9
1000.0	130.0	51.0	106.4	119.6	5.7	6.1
500.0	90.0	51.0	49.0	72.8	-20.7	17.9
500.0	130.0	51.0	106.4	119.6	5.7	6.1
1000.0	2100.0	1250.0	60.6	92.5	-19.1	15.2
1000.0	3000.0	1250.0	102.8	118.6	-7.1	7.2
500.0	2100.0	1250.0	51.4	75.1	-17.0	14.2
500.0	3000.0	1250.0	74.3	86.7	-7.4	8.0

寸法は全て(μm)、導体厚は全て35μm、基板 ϵ_r は4.2



グラフ1 (表面型)エッジ結合マイクロストリップの百分率変動

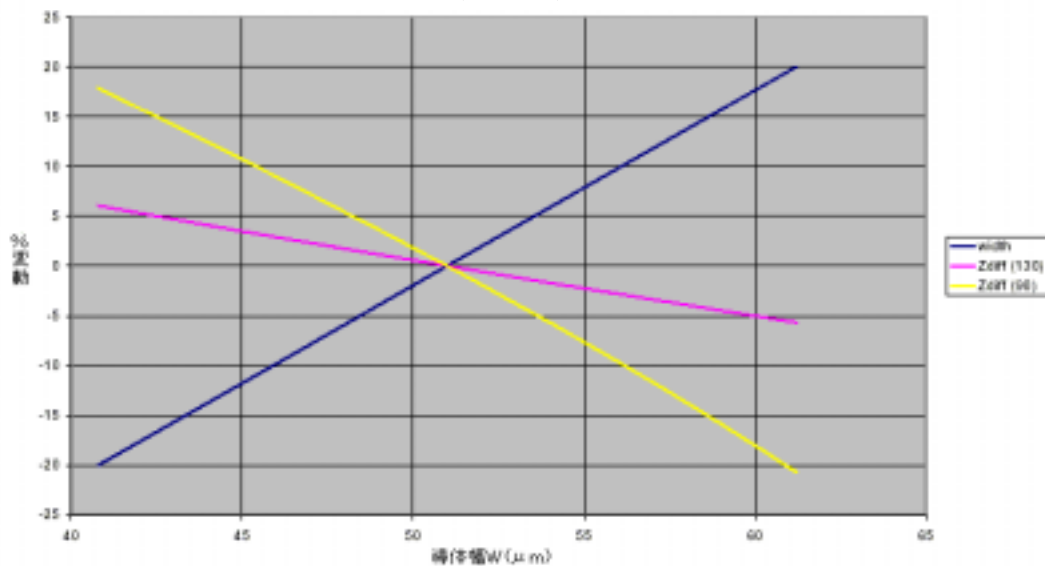


表2 (埋込型)エッジ結合マイクロストリップ

基板厚(H)	中心線	導体幅(W)	Z_{diff} の変動()		Z_{diff} の変動(%)	
1000.0	90.0	51.0	31.2	48.3	-22.8	19.7
1000.0	130.0	51.0	74.7	84.2	-5.8	6.1
1000.0	2100.0	1250.0	45.3	64.0	-18.7	15.0
1000.0	3000.0	1250.0	67.6	77.5	-6.2	7.6

寸法は全て(μm)、導体厚は全て35μm、埋込位置(H1)は500μm、基板 ϵ_r は4.2

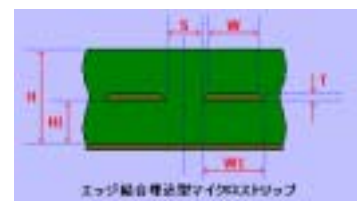
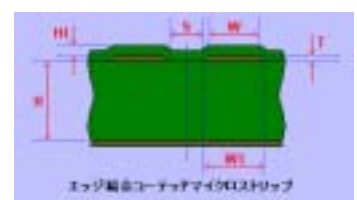


表3 エッジ結合コーテッドマイクロストリップ

基板厚(H)	中心線	導体幅(W)	Z_{diff} の変動()		Z_{diff} の変動(%)	
1000.0	90.0	51.0	32.3	50.9	-23.5	20.5
1000.0	130.0	51.0	81.9	92.5	-6.0	6.2
1000.0	2100.0	1250.0	54.9	88.3	-21.4	16.3
1000.0	3000.0	1250.0	100.1	115.4	-6.0	7.1

寸法は全て(μm)、導体厚は全て35μm、ソルダレジスト厚(H1)は50μm、基板 ϵ_r は4.2



2-2 ストリップライン

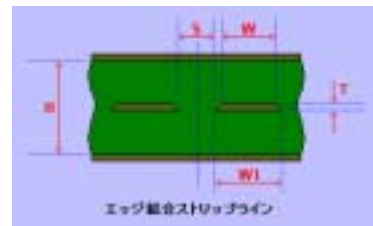
表4では、エッジ結合線路の一方の導体幅が±20%変動するときの差動インピーダンスの変動を示しています。

エッジ結合ストリップラインにおいては、差動インピーダンスの変動がエッジ結合マイクロストリップの場合と類似します。よって、差動インピーダンスの変動は、2 導体間の間隔が大きく、高インピーダンスよりも、2 導体間の間隔が狭く、低インピーダンスの方が、大きくなります。グラフ2では、その例を示しています。

表4 エッジ結合ストリップライン(固定中心線)

導体位置 (注1)	中心線	導体幅(W)	Zdiffの変動()		Zdiffの変動(%)	
750.0	625.0	250.0	93.4	112.7	-8.6	4.8
750.0	1250.0	250.0	131.3	141.3	-3.4	4.0
1250.0	625.0	250.0	81.1	91.6	-5.7	6.6
1250.0	1250.0	250.0	97.5	106.8	-4.1	5.0

寸法は全て(μm)、導体厚は全て35 μm、基板 ϵ_r は4.2、基板厚(H)は1500 μm
注1: 下側グラウンド面から導体までの距離



グラフ2

百分率変動: ストリップライン、エッジ結合、固定中心線

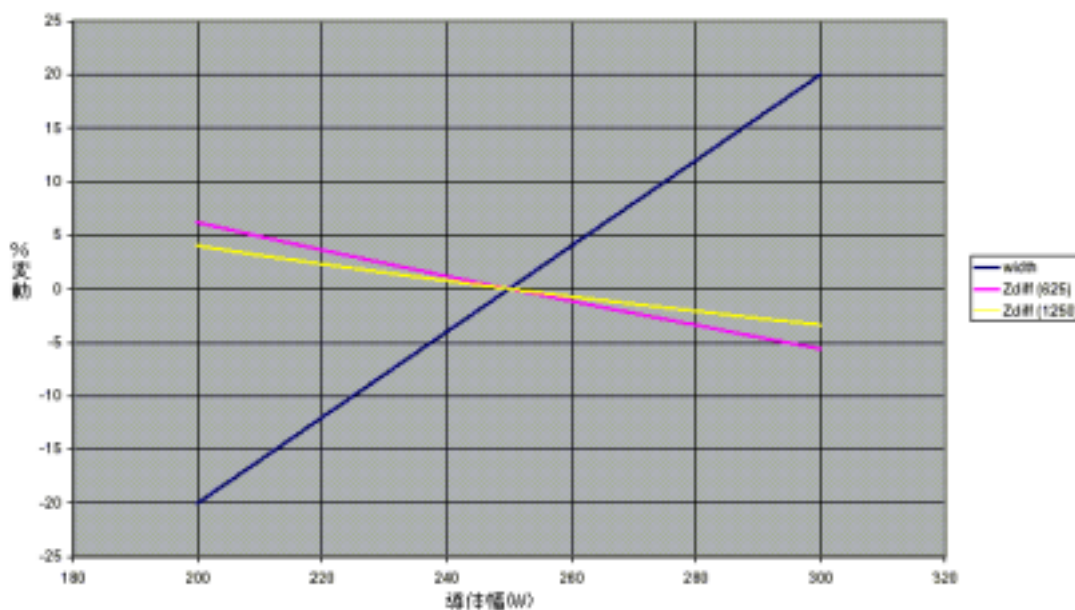


表 5 では、ブロードサイド結合線路の下側導体の位置が上下に ±20%変動するときの差動インピーダンスの変動を示しています。

グラフ 3 は、ブロードサイド結合線路の差動インピーダンスの変動を示しています。2 導体間の間隔がグラウンド面間の間隔の半分である時、インピーダンスの変動は殆どありません。この現象は、導体幅やグラウンド面間隔が異なる時も確認できます。

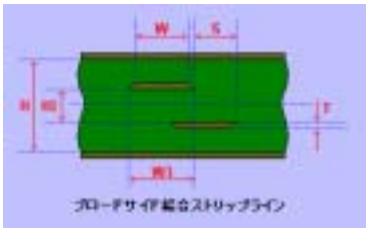
グラフ 3 に示すように、2 導体間の間隔がグラウンド面間隔の半分に至らない場合、差動インピーダンスには、より大きな変動が生じます。

表5 ブロードサイド結合ストリップライン

上側導体位置(注1)	平衡線路の間隔	導体幅(W)	Zdiffの変動()		Zdiffの変動(%)	
900.0	300.0	250.0	65.3	95.3	-21.9	14.0
1125.0	750.0	250.0	106.9	105.7	-0.1	-1.3

寸法は全て(μm)、導体厚は全て35μm、基板 εrは4.2、基板厚(H)は1500μm

注1: 下側グラウンド面から上側導体までの距離



グラフ 3 百分率変動: ストリップライン、ブロードサイド結合、導体幅250(μm)

