

パターン間のグラウンド線

ボード設計の際に、パターン間のクロストークを回避する目的でパターン間にグラウンドパターンを挿入する例を多く見かける。

これは何となくシールドの効果があるように思われるが、間に挿入するグラウンドパターンは、両端を接地しているため、反射係数は両端とも -1 であり、逆相反射を繰り返すことによって、定在波が生じることが容易に予測できる。

本稿では、グラウンドパターンの挿入がクロストークに及ぼす影響について考察する。

1. 2本線路と3本線路のクロストーク

図1は、表面層で、パターン#1が加害者線路、#2が両端をグラウンドに接続されたパターン、#3が被害者線路で#3の近端クロストーク v_{31} を考える。

各線路のパターン幅 W はいずれも $100\mu\text{m}$ 、ドライバの出力抵抗を $R_1 = 33\Omega$ 、パターン長は 10cm とする。

ここで、次の3通りの比較をする。

- (a) #2が存在しない $G = 100\mu\text{m}$
- (b) #2が存在しない $G = 300\mu\text{m}$
- (c) #2が存在する $G = 100\mu\text{m}$

図2は、(a)と(b)の v_{31} を解析した結果を示す。ギャップ G を広げれば、クロストークは当然小さくなる。

なお、本稿の解析は、各モードの遅延時間の差に起因するひげ状の信号を回避するために、ドライバの波形は折れ線ではなく、ステップ波形にベッセルLPFを通した波形を用いている。¹⁾

次に、図1の解析をする。

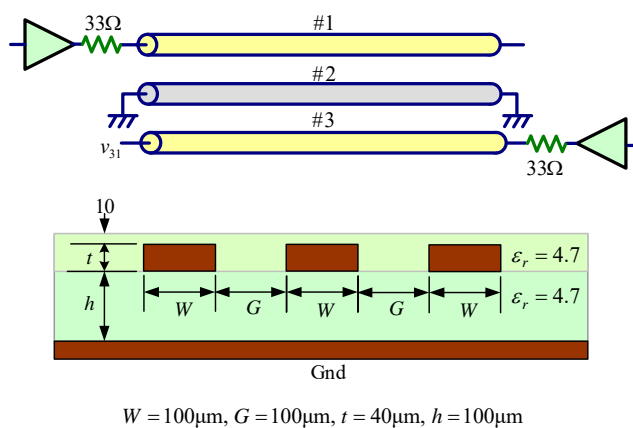


図1. Gndを挟んだパターン

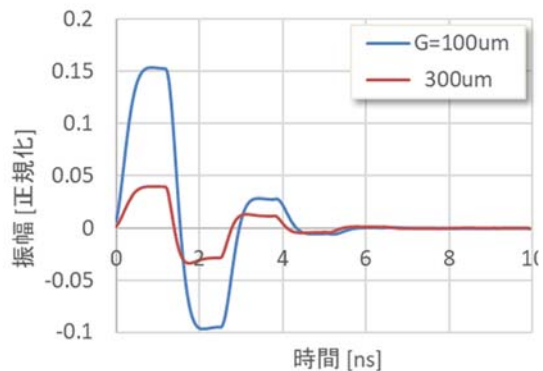


図2. 2本線路のクロストーク

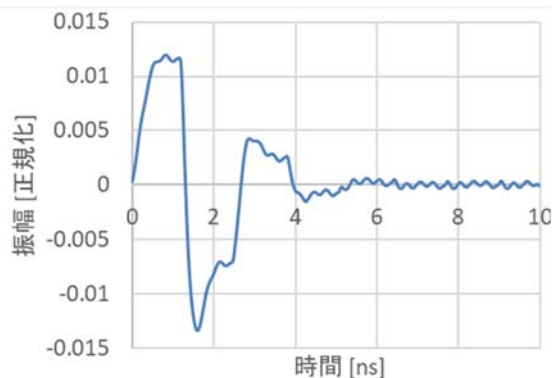


図 3. 線間に Gnd パターンが存在する場合

同図のクロストークが収束した後に、細かい振動波形が認められる。これが、グラウンドパターンが両端を接地していることによる振動波形である。

同図は、パルス繰り返し周期 100ns、パルス幅 10ns の場合であるが、周期を変えると、振動波形の様子が変化する。

図 4 は、周期を 577.3ns にしたときのクロストーク波形である。最初のクロストークの後に、振動

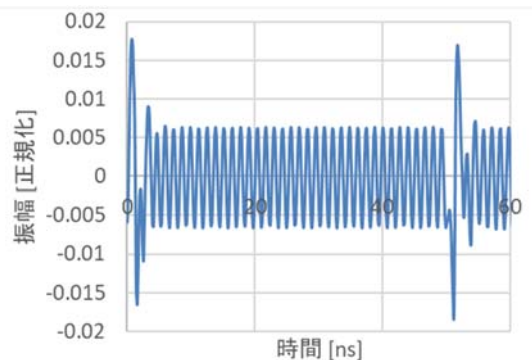


図 4. 周期が 577.3ns の場合

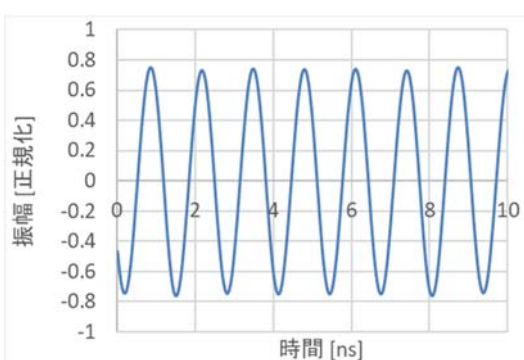


図 5. 周期が 13.12ns の場合

が持続している。この周期には特別の意味があって、13.12ns にすると、図 5 のように、#1 の波形とは無関係に振動が持続する。しかもその振幅は±0.7 程度とかなり大きい。

このように大きなクロストークになる理由については、次節で述べる。

2. グラウンドパターンへのクロストーク

グラウンドパターンへのクロストークは、両端を接地しているので、近端、遠端ともに 0 (ゼロ)であるが、ギターの開放弦のように中間点にはクロストークが生じていることは容易に想像できる。

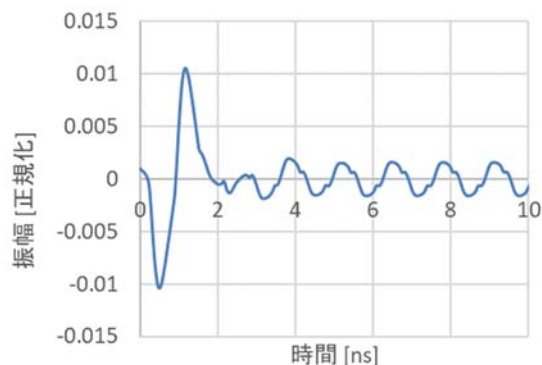


図 6. Gnd パターンの中点の波形

3 本線路のインダクタンスとキャパシタンスのマトリクスから、3 つのモードの固有ベクトル、特性インピーダンスおよび伝搬遅延時間を求め、近端と遠端の境界条件により積分定数を求める。²⁾

図 3 はパターン間にグラウンドパターンが存在、すなわち上記(c)の場合の解析結果である。ギャップが 300 μ m の場合のおよそ 0.04 に比べて、グラウンドパターンが存在する場合は 0.011 程度に小さくなっている。

図 6 は、グラウンドパターンの中点の波形である。 $(T_w / T = 10\text{ns} / 100\text{ns})$

この波形は、図 3 とは異なり、微小な振動が継続している。

このグラウンドパターンの中点の周波数特性、すなわち、ドライバからグラウンド中点までの伝達関数を求める。

図 7 はこの伝達関数である。かなり急峻なピークを有し、ピークは 50dB、すなわち 300 倍にも達する。このピークは周波数軸の分解能を細かくしてようやく見つかる極めて高い Q を有する。

このような極めて Q の高い高周波の振動が、外部からの観測ができない、グラウンドパターンの中点に生じていることは、たぶん電波放射も生じていることが容易に推測できる。

ピークの周波数 762.18MHz は、線路の往復時間、およそ 1.3ns の逆数に相当する。

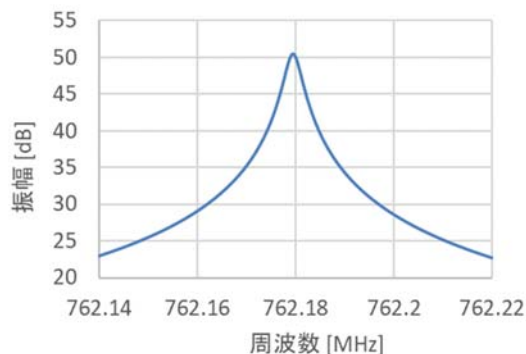


図 7. Gnd パターンの中点の周波数特性

3. 繰り返し周期を変えた解析

信号源のパルスのスペクトルは、繰り返し周期 T の逆数の $1/T$ ごとの線スペクトルである。

周波数特性のピークは、762.18MHz であるから、 $1/T$ の n 倍の繰り返し周期とすると共振が再現できるはずである。

図 8 は、 $n=10$ の場合、すなわち、 $T = 10 / 762.18\text{MHz} = 13.12\text{ns}$ のときの、グラウンドパターンの中点の波形である。

n は 10 に限らないので、この辺りの周期ならこの共振が生じることに注意が必要である。

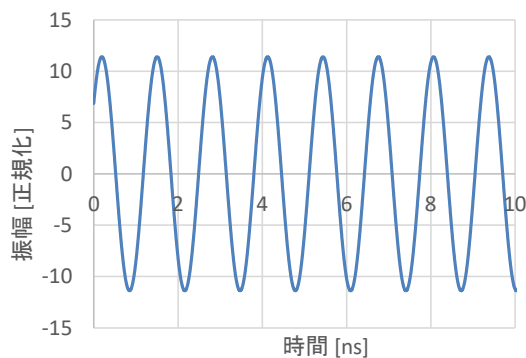


図 8. 繰り返し周期の 10 倍が共振点

4. 共振を抑えるには

グラウンドパターンが存在しない、2 本線路でパターン間ギャップが $300\mu\text{m}$ の場合、クロストークは、前述のように、図 2 から 0.04 程度であるが、グラウンドパターンを挿入することにより、図 3 に示すように 0.011 に低減する。ただし、繰り返し周期に依存する共振が生じるので、この構成は避けるべきである。

共振は、周期が線路の往復時間の逆数であるので、グラウンドパターンに、たとえば、2cm おきにスティッチングビアを設ける対策が考えられる。このときの共振が生じる周期は、線長が $1/5$ なので、10cm のときの 5 倍、すなわち 3.7~3.8GHz となり、共振しても立ち上がり時間に埋もれてしまう。

ただし、ステッチングビアを設けるために、グラウンドパターンの幅は、最小でも0.5mm程度となり、クリアランスを考えると、配線間の距離は0.7mmとなる。

この状態で、グラウンドパターンを省くと、パターン間ギャップGは0.7mmとなる。このときのクロストークは、図9に示すように、0.009程度となり、共振のリスクを負ってグラウンドパターンを設ける必要はないと考える。

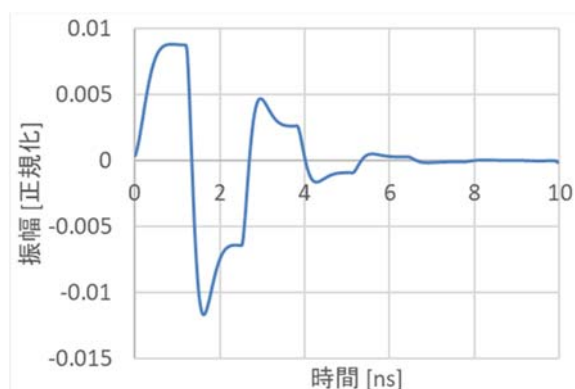


図9. パターン間ギャップG=0.7mmの場合

なお、中間層についても同様の解析を行ったが、共振問題は生じない。

5. まとめ

パターン間にグラウンドパターンを挟むと、クロストークが低減すると安易に考えがちであるが、両端を接地したパターンのふるまいが危険であることを十分に認識しておく必要がある。

単純にパターン間の距離を十分にとることが安全と考える。

参考文献

- 1) 碓井有三：“ラプラス変換を用いたベッセルフィルターの応答”，マクニカ，碓井有三のスペシャリストコラム，
<https://www.macnica.co.jp/business/semiconductor/articles/basic/143961/>
- 2) 碓井有三：“ボード設計者のための分布定数回路のすべて 第3版”，自費出版，
(<http://radioy.a.la9.jp/book/book.htm>)，pp.215-219，2016年