

Technical Note

ELSENA

分布定数と集中定数

文書管理番号: ELS5013_S000_10

2006年4月

株式会社エルセナ

分布定数と集中定数

目次

1 はじめに.....	3
2 分布定数回路とは	3
2-1 何が分布しているのか.....	3
2-2 線路定数.....	3
3 集中定数回路.....	3
4 分布定数と集中定数.....	4
4-1 伝搬遅延.....	4
4-2 立ち上がり時間と伝搬遅延.....	4
5 回路図上の部品配置.....	5
改版履歴.....	6
参考文献.....	6

1 はじめに

デバイスの立ち上り／立ち下りの高速化に伴い、短い線路長であっても分布定数回路として考慮する必要がでてきました。分布定数回路の振る舞いを正しく理解することは、反射やクロストークなどの対策を講じる上でも重要です。

この資料では、分布定数回路と集中定数回路ではどのように信号の振る舞いが違うのか、またその境界はどこにあるのかなどについて解説します。

2 分布定数回路とは

2-1 何が分布しているのか

プリント配線板(以下ボードといいます)のパターンやケーブルなどの導線(線路と呼びます)を電気信号が進む場合に、グラウンドに対するキャパシタ C と配線自身を持っているインダクタ L を介して伝わっていきます。図1はこの等価回路です。これらの C と L はいずれも空間的な広がりをもって存在しています。変化の遅い信号の場合にはこの空間的広がりを意識する必要はありませんが、変化が速い信号の場合には広がりを意識する必要があります。このように、 C や L の空間的広がりを意識しなければならない回路を分布定数回路といいます。線路だけに注目すると分布定数線路といいます。

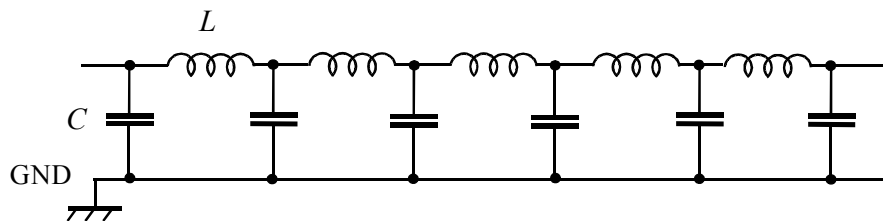


図1 分布定数線路

2-2 線路定数

このように分布して存在する C や L のことを線路定数といいます。これらは、どちらも単位長あたりの値で表されます。 C は通常、 80pF/m から 130pF/m 程度、 L は 300nH/m から 500nH/m 程度です。これらは、ボードの材質、パターンのグラウンドからの距離、パターン幅などによって変わります。

このほかに、線路には抵抗 R やコンダクタンス G (グラウンドに対する電流の漏れ) も存在します。この R や G はギガビット伝送以外では一般に無視できます。無視できる場合を無損失分布定数線路、無視できない場合を有損失分布定数線路と区別します。

3 集中定数回路

分布定数回路に対して C や L の空間的広がりを意識しないですむ回路を集中定数回路といいます。集中定数回路では、回路図中の、単なる線で結ばれた個所はすべて同じ電圧、電流です。一方、分布定数回路では、回路図中の、単なる線で結ばれた個所でも、ある瞬間では異なる電圧、電流の値をとります。この場合には単なる線ではなくて、信号の伝わる線路という意識が必要になってきます。

4 分布定数と集中定数

どこまでが集中定数とみなせて、どこから分布定数とみなす必要があるかは、その線路を伝わる信号の変化の速さ(立ち上がり/立ち下がり時間)で決まります。立ち上がり時間が遅い場合には、線路の全ての点の波形がほぼ同一となります。立ち上がり時間が速いと駆動側(近端といいます)での変化が、線路を伝わって受信側(遠端といいます)にはまだ信号が伝っていないので、波形が異なります。

4-1 伝搬遅延

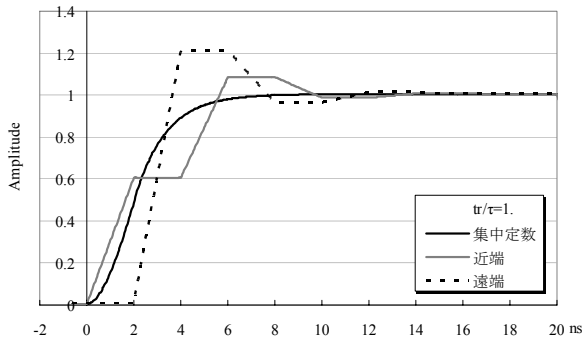


図 2. $tr = \tau$

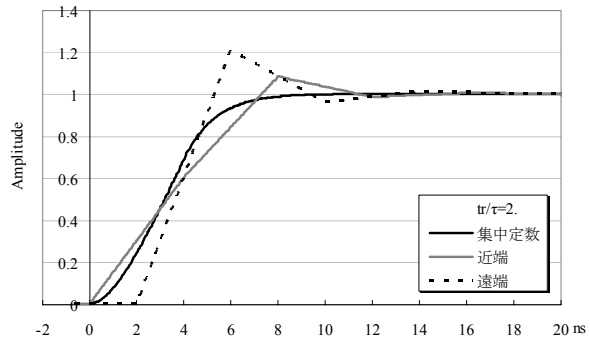


図 3. $tr = 2\tau$

一般のボード上では、信号は光のおよそ半分(約0.5倍)の速度で伝わります。光の速度は、一秒間に 3×10^8 メートルですから、1m進むのに 3.3 ns(ナノ= 10^{-9} 秒)を要します。信号が 1mの距離を進むのに要する時間は 6.5ns程度です。この時間のことを単位長あたりの伝搬遅延といいます。50cmではこの半分の 3.25ns、10cmでは 0.65nsまたは 650ps(ピコ= 10^{-12} 秒)となります。

4-2 立ち上がり時間と伝搬遅延

図 2~図 4 に信号の立ち上がり時間 tr が、線路の片道の遅延時間 τ に対して、1 倍、2 倍、4 倍の場合について近端および遠端の波形、および線路の静電容量を集中定数とみなしたときの波形を同時に示します。信号がドライバから出て、レシーバに達し、そこで反射してふたたびドライバに戻るまでの時間は、線路の伝搬遅延の 2 倍です。この反射波形がドライバに戻ってくるまでに波形が立ち上がってしまう場合、すなわち図 2 の場合は分布定数と考えます。ちょうど反射波形がドライバに戻ったときに波形が立ち上がったとしたとき、すなわち図 3 の場合を分布定数と集中定数とのおよその境界と考えます。この境界は厳密なものではなく、図 4 に示す、線路の伝搬遅延の 4 倍と考えるケースもあり、多分に主観も入ります。

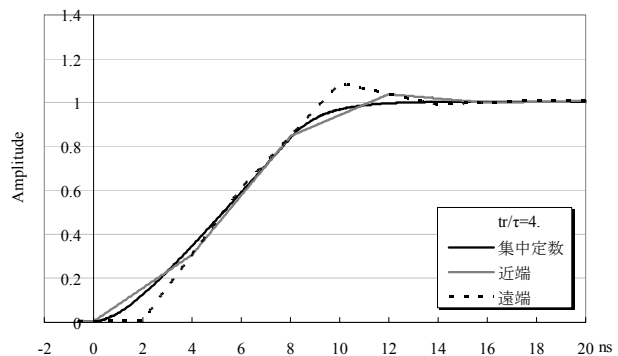


図 4. $tr = 4\tau$

ドライバの信号の立ち上がり時間を 0.5ns とすると、この境界は、 $6.5\text{ns/m} \times \text{配線長} \times 2 = 0.5\text{ns}$ から求まる配線長さすなわち $0.5\text{ns} \div 13\text{ns/m} = 3.8\text{cm}$ となります。伝搬遅延の 4 倍とするとこの境界は 1.9cm となり、ずいぶん短いという印象を与えます。逆にいうと、ボード上のほとんどの配線は分布定数と考える必要があるということになります。

5 回路図上の部品配置

例えばある IC の出力(A 点とします)と別の IC の入力(B 点とします)との間を接続する場合、回路図上の表記は単に線でつなぐだけです。集中定数回路では、A 点と B 点との波形は同じですが、分布定数回路では多くの方が経験しているように波形が異なります。A 点は階段状に徐々に立ち上がり、B 点は振動したような波形になる例によく出会います。B 点の波形の振動を解消するために、ダンピング抵抗を挿入しますが、挿入する場所は A 点のすぐ近くです。何気なく回路図上の A 点と B 点との間に抵抗を書き入れると、意味を理解していないアートワーク作業者はひょっとしたら B 点の近くに抵抗を入れるかもしれません。

このように、分布定数回路では、回路図上の単なる接続のための線にも空間的広がりを意識する必要があります。一方、集中定数回路では、空間的広がりを考えなくていいので、単に部品と部品とを接続するだけで問題ありません。

改版履歴

Version	改定日	改定内容
1.0	2006年04月	・新規作成

参考文献

- 碓井 有三「ボード設計者のための分布定数回路のすべて(改訂版)」自費出版
<http://home.wondernet.ne.jp/~usuivy/>, 2005.10

免責、及び、ご利用上の注意
 弊社より資料を入手されましたお客様におかれましては、下記の使用上の注意を一読いただいた上でご使用ください。

1. 本資料は非売品です。許可無く転売することや無断複製することを禁じます。
2. 本資料は予告なく変更することがあります。
3. 本資料の作成には万全を期していますが、万一ご不審な点や誤り、記載漏れなどお気づきの点がありましたら、弊社までご一報いただければ幸いです。
4. 本資料で取り扱っている回路、技術、プログラムに関して運用した結果の影響については、責任を負いかねますのであらかじめご了承ください。
5. 本資料は製品を利用する際の補助的なものとしてかかれたものです。製品をご使用になる場合は、英語版の資料もあわせてご利用ください。

本社
 〒163-0928 東京都新宿区西新宿 2 丁目 3 番 1 号 新宿モリス 28F TEL 03-3345-6205 FAX 03-3345-6209

松本営業所
 〒390-0815 長野県松本市深志 1-1-15 朝日生命松本深志ビル 1F TEL 0263-39-6134 FAX 0263-39-6135

大阪営業所
 〒532-0003 大阪市淀川区宮原 3 丁目 4 番 30 号 ニッセイ新大阪ビル 17F TEL06-6397-1090 FAX06-6397-1091

名古屋営業所
 〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅 3 丁目 11 番 22 号 IT名駅ビル 4F TEL 052-566-2513 FAX 052-566-2514