

Technical Note

ELSENA

反射の基礎

文書管理番号: ELS5011_S000_10

2006 年 4 月

株式会社エルセナ

反射の基礎

目次

1 はじめに.....	3
2 反射と透過.....	3
2-1 電圧と電流の連続性	3
2-2 電圧と電流との関係	3
2-3 反射係数.....	3
2-4 接続点における反射	4
3 CMOS の場合	4
3-1 CMOS 伝送の反射係数.....	4
3-2 ダンピング抵抗.....	4
3-3 駆動能力と出力抵抗との関係.....	4
改版履歴.....	6
参考文献.....	6

1 はじめに

信号の伝送速度は年々高速化してきています。従来のように線を繋げば動作するということは、ほとんどなくなってきました。数十 Mbps を超えてくると反射やクロストークの収束が待てなくなり、問題が顕在化してきます。以前の設計でダンピング抵抗を 33Ω にしていたから、今回も 33Ω という具合ではいずれ対応できなくなり問題が生じてきます。経験則だけではなく、そのメカニズムをきちんと理解することが重要です。

この資料では、反射のメカニズムについて理論的に解説します。

2 反射と透過

2-1 電圧と電流の連続性

図 1 に示すように、定数の異なる線路の接続点や線路と集中定数との接続点で反射が生じます。この接続点に入ってくる信号を入射波、元に戻っていく(反射する)信号を反射波、接続点より先に進む信号を透過波といいます。電圧は信号の向きにかかわらず常に加算されるので、入射波を v_1 、反射波を v_1' 、透過波を v_2 とすると、

$$v_1 + v_1' = v_2 \dots\dots\dots(1)$$

となります。一方、電流に関しては、右に進む波をプラスと考えると、

$$i_1 - i_1' = i_2 \dots\dots\dots(2)$$

の関係があります。

2-2 電圧と電流との関係

入射波のある側の特性インピーダンスを Z_1 、透過波のある側の特性インピーダンスを Z_2 とすると、電圧と電流の比は、右行波、左行波ともに特性インピーダンスなので、

$$\frac{v_1}{i_1} = Z_1 \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{v_1'}{i_1'} = Z_1 \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{v_2}{i_2} = Z_2 \dots\dots\dots(5)$$

の関係があります。

2-3 反射係数

これらの式を入射波 v_1 を既知として解くと、

$$\frac{v_1'}{v_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \dots\dots\dots(6)$$

が得られます。これが反射係数 r です。

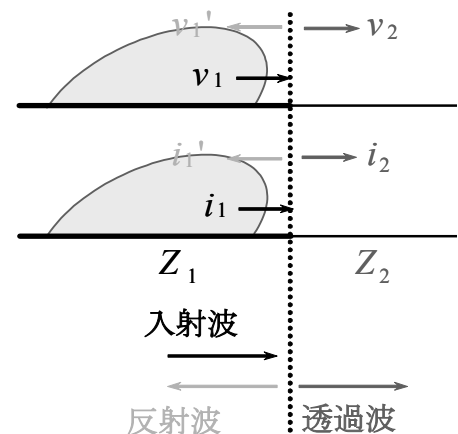


図 1. 進行波の透過と反射

Z_1 と Z_2 とが等しい場合には $r=0$ になり、反射は生じません。 Z_2 が無大、すなわち開放の場合には、反射係数は1になって、振幅を変えずにそのまま反射して戻ります。 Z_2 が小さい、極端な例として $Z_2=0$ のとき、反射係数は-1となって極性が反転してそのまま反射して戻ります。その途中の場合は、「開放ぎみ」とか「短絡ぎみ」と考えると分かりやすいでしょう。

2-4 接続点における反射

図2を元に、接続点における反

射を説明します。50Ωと75Ωの

ケーブルが接続された場合をし

めします。50Ω側から進んできた

信号を1Vとすると、式(3)によ

り、この電圧は、20mAの電流と

共に進みます。反射係数は、式

(6)により、0.2であるから、0.2V

が反射して戻ります。反射波の

電流は、式(4)から4mAとなりま

す。75Ω側に進む信号は、電圧

は、1Vと0.2Vとの和、すなわち、

1.2Vとなります。電流は、右行

波(すなわち入射波)の20mAと、左行波(反射波)の4mAとの差、すなわち、16mAとなります。こ

の1.2Vと16mAとの比が、75Ωとなり、式(5)を満たしていることが分かります。

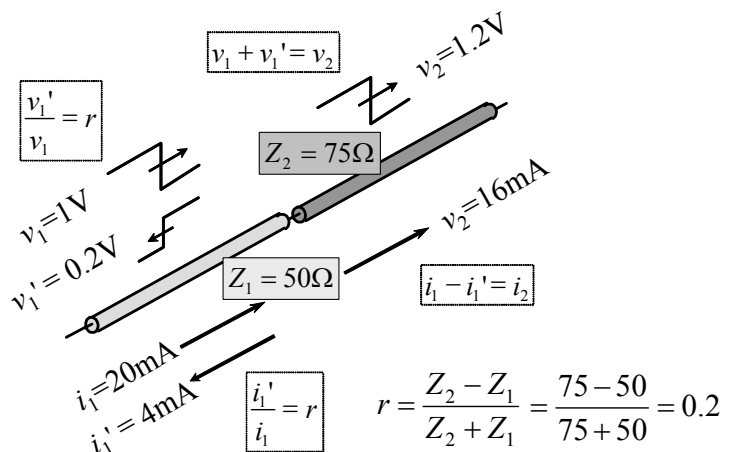


図2. 接続点における反射

3 CMOS の場合

3-1 CMOS 伝送の反射係数

CMOSドライバは、一般的に出力抵抗が小さく、「短絡ぎみ」で、反射係数はマイナスです。レシーバ側は開放なのでプラス1です。したがって、ドライバからレシーバに到達した信号は、レシーバ端でそのまま反射してドライバに戻ります。ドライバ端では、マイナスの反射係数により反転して再度レシーバ側に進んでいきます。レシーバ端で再度反転して、近端のマイナスと遠端のプラスの反射係数によって、振動波形のような反射が持続します。駆動能力が大きいほど、反射係数の絶対値は大きいので、反射の振幅は大きく、かつ長く持続します。

3-2 ダンピング抵抗

これらを回避するためには、近端または遠端の反射係数をゼロに近づける必要があります。最も簡単な方法は、ドライバに抵抗(いわゆるダンピング抵抗)を追加して、近端の反射係数をゼロに近づけます。そうすることによって、遠端から近端に戻った反射波が近端で再び反射することなく、収束します。

3-3 駆動能力と出力抵抗との関係

図3はドライバの駆動能力と出力抵抗との関係を示したものです。ドライバの駆動能力は、多くは、 $V_{OL}=0.4V$ で規定(V_{OH} は電源マイナス0.4V)されています。駆動能力は、規格(min)に対してある

程度のマージンがあります。これは、デバイス・メーカによって差異がありますが、およそ 50%程度のマージンがあるようです。同図(a)は、規格(min)値に対して、50%のマージンを持った場合を図示したものです。24mA の駆動能力を持つドライバは、その 1.5 倍、すなわち、36mA の駆動能力を持つと仮定しています。同図(b)は、36mA@0.4V の駆動能力を抵抗近似したもので、およそ 11Ω の抵抗とみなせます。他の駆動能力に対しても、同図に示すように、比例して計算することができます。

ここで述べた等価出力抵抗はあくまで反射の様子を理解するための目安です。きちんと解析するためには、SPICE モデルや IBIS モデルによって波形を求めます。

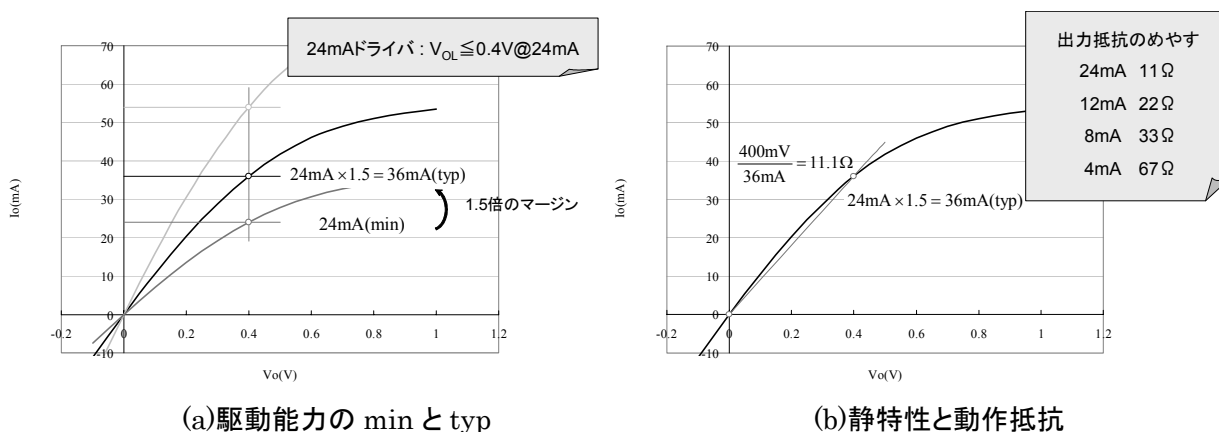


図 3. ドライバ駆動能力と出力抵抗

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 新宿モノリス 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