

## 目次

## 第 1 章 分布定数回路と集中定数回路

<b>1.1.</b>	<b>分布定数回路とは.....</b>	<b>1</b>
1.1.1.	何がどのように分布しているのか.....	1
1.1.2.	特性インピーダンス.....	3
1.1.3.	伝搬遅延.....	5
<b>1.2.</b>	<b>ほとんどの回路は分布定数回路.....</b>	<b>7</b>
1.2.1.	分布定数回路と集中定数回路.....	7
1.2.2.	高速化との関連.....	10
<b>1.3.</b>	<b>駆動回路による遅延の違い.....</b>	<b>11</b>
1.3.1.	集中定数回路.....	11
1.3.2.	分布定数線路.....	12
<b>1.4.</b>	<b>線路定数.....</b>	<b>14</b>

## 第 2 章 波形伝搬の基本

<b>2.1.</b>	<b>反射発生のしくみ.....</b>	<b>19</b>
2.1.1.	進行波の反射と透過.....	19
2.1.2.	右行波と左行波.....	21
<b>2.2.</b>	<b>図表による反射の解法.....</b>	<b>25</b>
2.2.1.	Bergeron 図表.....	25

2.2.2.	格子線図.....	28
<b>2.3.</b>	<b>ラプラス変換による反射の解法.....</b>	<b>35</b>
2.3.1.	分布定数線路の等価回路.....	35
2.3.2.	基本式.....	36
2.3.3.	微分方程式の解の意味.....	37
2.3.4.	境界条件と一般解.....	38
<b>2.4.</b>	<b>それぞれの反射の解法の特徴.....</b>	<b>42</b>

## 第3章 反射とその対策

<b>3.1.</b>	<b>ドライバの駆動能力と反射.....</b>	<b>45</b>
3.1.1.	駆動能力が大きい場合.....	45
3.1.2.	双方向伝送.....	46
3.1.3.	送端終端伝送.....	47
3.1.4.	低駆動能力ドライバ.....	48
3.1.5.	オーバシュートとその跳ね返し.....	49
<b>3.2.</b>	<b>配線方法と反射.....</b>	<b>51</b>
3.2.1.	途中で特性インピーダンスが異なる場合.....	52
3.2.2.	1対n伝送.....	53
3.2.3.	線路の途中からの1対n伝送.....	55
3.2.4.	スタブ.....	56
3.2.5.	容量反射.....	57
<b>3.3.</b>	<b>反射による波形乱れへの対応策.....</b>	<b>59</b>
3.3.1.	整合終端.....	59
3.3.2.	遠端ダイオード終端.....	60

3.3.3.	近端ダイオード終端.....	62
3.3.4.	能動軽終端.....	63
3.3.5.	ダンピング抵抗.....	65
3.3.6.	各対応策の比較.....	66

## 第4章 クロストーク

<b>4.1.</b>	<b>結合分布定数線路.....</b>	<b>69</b>
4.1.1.	結合線路上の2種類の波形伝搬モード.....	70
4.1.2.	2種類の伝搬モードの重ね合わせ.....	72
<b>4.2.</b>	<b>結合分布定数線路の解法.....</b>	<b>74</b>
4.2.1.	基本式.....	74
4.2.2.	結合線路の特性インピーダンス.....	76
4.2.3.	基礎クロストーク係数.....	79
4.2.4.	近端と遠端の電圧.....	82
<b>4.3.</b>	<b>ラプラス変換による解.....</b>	<b>87</b>
4.3.1.	基本式.....	87
4.3.2.	微分方程式の解の意味.....	90
4.3.3.	境界条件と一般解.....	91
<b>4.4.</b>	<b>能動線路へのクロストーク.....</b>	<b>92</b>
4.4.1.	受動線路から能動線路へのクロストーク.....	92
4.4.2.	能動線路から能動線路へのクロストーク.....	94
<b>4.5.</b>	<b>平行線長と飽和クロストーク.....</b>	<b>95</b>
<b>4.6.</b>	<b>多線条クロストーク.....</b>	<b>97</b>
4.6.1.	基本式.....	97

4.6.2.	解析例.....	98
<b>4.7.</b>	<b>縦続接続線路のクロストーク.....</b>	<b>99</b>
4.7.1.	縦続接続線路の電圧.....	99
4.7.2.	等長の2本の線路の縦続接続の例.....	101
4.7.3.	短い線路を追加した縦続接続の例.....	103
4.7.4.	クロストーク倍増のしくみ.....	104
4.7.5.	クロストーク倍増の例.....	105

## 第5章 クロストークの実際と対策

<b>5.1.</b>	<b>ボード上で出会うクロストーク.....</b>	<b>107</b>
5.1.1.	逆方向伝送.....	108
5.1.2.	順方向伝送.....	112
<b>5.2.</b>	<b>クロストーク低減方法.....</b>	<b>117</b>
5.2.1.	パターン間距離.....	117
5.2.2.	特性インピーダンス.....	119
5.2.3.	ドライバの駆動能力の最適化.....	120
5.2.4.	平行線長とドライバの遷移時間.....	121
5.2.5.	パターン厚.....	122
<b>5.3.</b>	<b>Hyperbola 終端.....</b>	<b>124</b>

## 第 6 章 バス接続された伝送形態

6.1.	バス接続された伝送形態の特徴.....	131
6.2.	小振幅伝送.....	135
6.3.	高速インタフェースの種類.....	137

## 第 7 章 分布定数線路の周波数応答

7.1.	ラプラス変換から周波数応答へ.....	147
7.1.1.	基本式の周波数応答.....	147
7.1.2.	近端と遠端の周波数応答.....	151
7.2.	線路の周波数特性.....	153
7.2.1.	線路の入力インピーダンス.....	153
7.2.2.	線路の伝達関数.....	155
7.3.	線路の縦続接続.....	156
7.3.1.	縦続行列.....	156
7.3.2.	2本の線路の縦続接続.....	160
7.3.3.	集中定数回路の縦続行列.....	161
7.4.	フーリエ変換による解析.....	162
7.4.1.	入力波形の周波数特性.....	163
7.4.2.	波形の計算.....	165
7.4.3.	クロストーク計算への適用.....	165
7.4.4.	フーリエ解析の特徴.....	166

## 第 8 章 有損失線路

<b>8.1.</b>	<b>有損失線路.....</b>	<b>171</b>
8.1.1.	等価回路と基本式.....	171
8.1.2.	ラプラス変換による解.....	172
8.1.3.	ステップ波形に対する応答.....	174
8.1.4.	波形の例.....	177
<b>8.2.</b>	<b>表皮効果.....</b>	<b>180</b>
8.2.1.	表皮の深さ(skin depth).....	180
8.2.2.	周波数特性.....	182
8.2.3.	解析.....	184
<b>8.3.</b>	<b>誘電損.....</b>	<b>188</b>

## 第 9 章 ギガビット伝送

<b>9.1.</b>	<b>線路損失の顕在化.....</b>	<b>191</b>
9.1.1.	長い線路の高速伝送.....	191
9.1.2.	線路の損失.....	192
9.1.3.	パルス波形と帯域.....	195
9.1.4.	アイパターンの評価.....	196
<b>9.2.</b>	<b>対策技術.....</b>	<b>198</b>
9.2.1.	エンコード(encode).....	198
9.2.2.	プリエンファシス(pre-emphasis).....	199
9.2.3.	イコライザ(equalizer).....	201

<b>9.3.</b>	<b>ギガビット伝送方式.....</b>	<b>202</b>
9.3.1.	伝送方式.....	202
9.3.2.	特性インピーダンスと終端.....	203
9.3.3.	回路形式.....	204
9.3.4.	駆動方式と容量反射.....	205
<b>9.4.</b>	<b>差動伝送方式のクロストーク.....</b>	<b>206</b>
9.4.1.	基本的考え方.....	206
9.4.2.	差動伝送のクロストークの近似計算.....	208
	参考文献.....	211

## 付録

付録 1	ラプラス変換による線形解法.....	215
付録 2.	ラプラス変換の例.....	217
付録 3.	単一分布定数線路方程式詳細.....	219
付録 4.	結合線路基本式の解の詳細.....	222
付録 5.	結合線路の最初の立ち上がり電圧詳細.....	223
付録 6.	近端クロストークの解詳細.....	225
付録 7.	結合分布定数線路方程式詳細.....	228
付録 8.	非対称結合分布定数線路の解.....	232
索引	.....	235