

GHz 帯差動伝送に関する研究

—高速伝送路の信号品質改善と電磁ノイズ低減に関する研究—

(第 32 報)

中部エレクトロニクス振興会

名古屋市工業研究所

令和元年 11月

<目 次>

1. 緒言	3
2. 評価用基板の作製	4
3. 電磁界シミュレータの利用について	7
3-1. 電磁界シミュレータについて	
3-2. 利用した電磁界シミュレータについて	
3-3. 解析モデルの作成	
4. 近傍磁界の可視化システムによる測定と電磁界シミュレーション	8
4-1. 近傍電磁界可視化システム	
4-2. 近傍磁界の可視化と電磁界シミュレーションでの検証	
4-3. 近傍電磁界・可視化システムによる放射エミッション測定(RITA 社にて)	
5. 差動伝送・基板を Mixed-Mode S-Parameter と、アイパターンで評価	16
5-1. 非等長・差動パターンの Mixed-Mode S-Parameter 解析	16
5-1-1. 非等長基板<Scd21,Sdd21>の VNA 測定	
5-1-2. 非等長・差動伝送路の<Sdd21, Scd21>理論	
5-1-3. 非等長基板における Scd21 の測定値と理論計算の比較	
5-1-4. 非等長基板における Sdd21 の測定値と理論計算の比較	
5-1-5. 等長基板<Scd21>測定値の検証	
5-2. 非等長・差動伝送路の解析 —— 電気長補正(Port Extension)の利用 ——	23
5-3. VNA(Vector Network Analyzer)による放射エミッション(Differential, Common)測定	25
5-4. Mixed-Mode S-Parameter(VNA 実測)と電磁界シミュレーション	31
5-5. 擬似ランダム信号(PRBS_Pseudo- Random Bit Sequence)によるアイパターン<SI>評価	33
6. 結論(設計指針の提案)	40
6-1. Mixed-Mode S-Parameter 測定値と、電磁界シミュレータ計算結果の比較	
6-2. 擬似ランダム信号(PRBS_Pseudo- Random Bit Sequence)によるアイパターン<SI>評価	
6-3. 差動伝送・パターンからの放射電磁界の測定と、電磁界シミュレータ計算結果の比較	
6-4. 差動伝送路の 2 本の信号パターン長・差と Mixed-Mode S-Parameter<Sdd21, Scd21>の関係	
6-5. 差動パターン設計で許容できる非等長差に関する設計指針を、Mixed-Mode S-Parameter <Sdd21,Scd21>の測定と理論計算により解明した。	
6-6. その他	
7. 成果と今後の課題	42
8. 謝 辞	42

参照文献

- a) Appendix-I 『プリント基板設計セミナー』2018-02-28 テキスト。 1～34
中部エレクトロニクス振興会 電磁環境委員会・主催
・『分布定数で考える』
名古屋工業大学 名誉教授 池田 哲夫 氏 (技術委員会・顧問)
- b) Appendix-II 『プリント基板設計セミナー』2018-02-28 テキスト。 1～35
中部エレクトロニクス振興会 電磁環境委員会・主催
・『プリント基板開発における高速信号伝送・ノイズ対策設計の基礎』
RITA エレクトロニクス株式会社 執行役員 CTO 田中 顕裕 氏
- c) Appendix-III 名古屋工業大学 名誉教授 池田 哲夫 氏 (技術委員会・顧問)・指導資料 1～18
・第1分科会資料 「結合線路とモード分解」
・第1分科会資料 「不等長のコモンモード発生」
・第1分科会資料 「許容される Scd21 と不等長」
- d) Appendix-IV 1～4
・第1分科会資料 「差動伝送路の Mixed-Mode S パラメータ」
・第1分科会資料 「デジタル信号・伝送路の必要帯域について」

1. 緒言

情報化社会の進展はめざましく、IoT(Internet of Things)、ICT(Information and Communication Technology)、ビッグデータ、AR(Augmented Reality)、VR(Virtual Reality)、AI(Artificial Intelligence)など、IT 技術があらゆる所に利用されています。

それらの大容量データの伝送路は、ますます高速化が進み、パソコン内では PCI Express(PCIe 4.0 規格 16GT/s(Transfer per Second))、パソコンとのデータ送受信を行う USB(USB 3.0_5Gbps, USB 3.1_10Gbps, USB Type-C) など、従来のシングルエンド伝送に代わって差動シリアル伝送(Differential serial transfer)が使用され、放送業界では 12G-SDI (Serial Digital Interface, 11.880Gbps)、28GHz 帯(10.1Gbps)などの帯域を利用した 5G (5th Generation)通信機器の開発が活発化しています。

また、IoTに代表される様に、すべての情報がインターネットに接続 (IP_Internet Protocol 伝送) され利用される時代が近づいており、IT 機器を開発、製造する技術者にとって、差動シリアル伝送の基礎、基板パターン設計技術は必須となっています。

中部エレクトロニクス振興会 技術委員会・第 1 分科会では、これまで信号伝送系を中心に高周波特性の諸研究を行ってきました。

本研究は、技術委員会・第 1 分科会で平成 25 年 4 月に纏めた研究成果(未出版)をさらに発展させ、

a) 差動伝送パターンの等長設計

差動伝送・パターンの等長、非等長 1mm/2mm(～8.5GHz, VNA(Vector Network Analyzer)測定に、4.4mm/9.7mm を加えて広帯域 VNA(～20GHz)で評価。

b) 非等長・差動パターンを Mixed-Mode S-Parameter <Scd21, Sdd21>などで解析

- ・非等長による<Scd21, Sdd21>と、SI (Signal Integrity)の関係について。
- ・非等長による<Scd21>の Differential→Common へのモード変換について。

c) 電磁界シミュレータと実測値(S-Parameter、近傍電磁界)を比較検証して、シミュレータの有効性を検証

- ・電磁界シミュレーションによる VNA 等の測定値との比較検証については、JMAG-Studio(JSOL)から、SEMCAD-X(Schmid & Partner EngineeringAG), CST-MW(AET, INC.), Femtet(ムラタソフトウェア)に変更し、解析モデルの作成は SolidWorks(3D-CAD, Dassault Systèmes)を利用する。

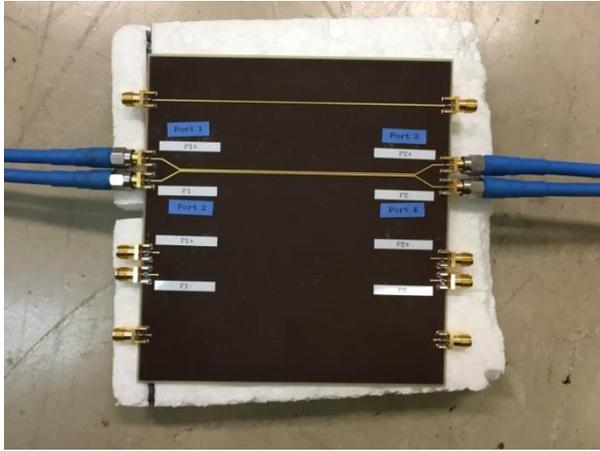
に重点を置いて、広帯域化する差動シリアル伝送路をさらに深く研究し、実用的な設計指針となる諸問題について検討を行った。

本研究に対して池田先生(技術委員会・顧問)、RITA エレクトロニクス株式会社・田中様から、多大なご指導、ご支援をいただきました。本研究の参照文献として巻末に、了解を頂き掲載いたしました。

2. 評価用基板の作製

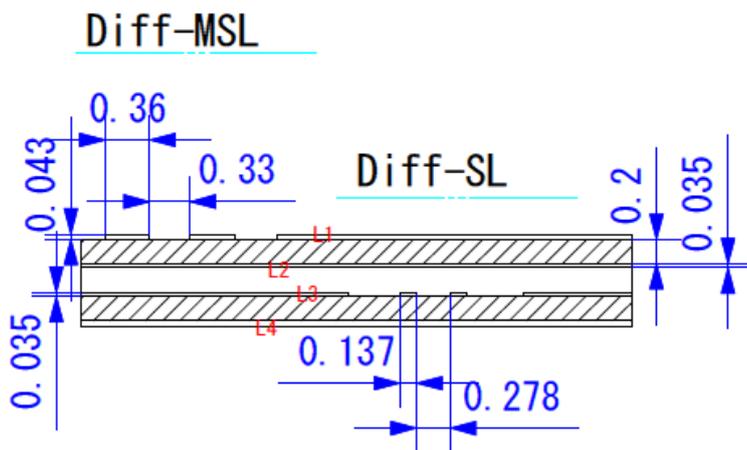
本研究では次の実用的な2種類の4層基板を作製し、その中の Diff-MSL (Differential Micro Strip Line)及び Diff-SL (Differential Strip Line)パターンを対象として評価を行った。

2-1. 評価基板<A>



品名：4R100-A1

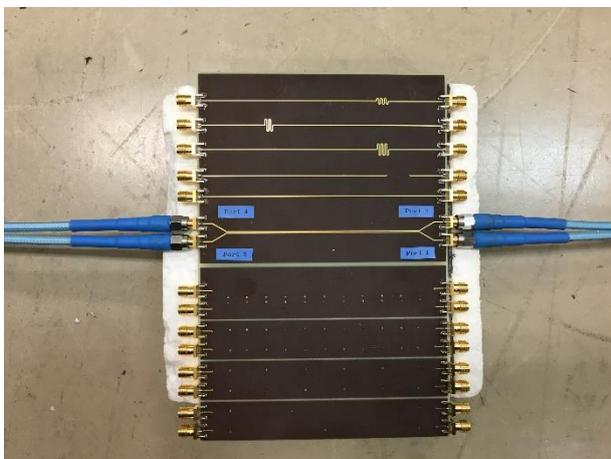
- ・材 質：FR-4
- ・構 造：4層基板・0.6t (0.2mm絶縁層)
- ・銅箔厚：外層 $43\mu\text{m}$ 内層 $35\mu\text{m}$
- ・サイズ：W130mm×L140mm×t0.8mm
差動パターン長 100mm
- ・銅箔の表面処理は、金フラッシュ。



評価基板<A>、の加工図面から作成した Diff-MSL 及び Diff-SL 解析モデルのパターン寸法(断面)を示す。

- *コア基板(両面_L2, 3)を挟んでプリプレグ (t=0.20mm)、銅箔(L1, L4)を積層。
- *ビア形成めっきにより、L1, 4 パターン厚 $43\mu\text{m}$ 。

2-2. 評価基板



品名：4R100-B1

- ・材 質：FR-4
- ・構 造：4層基板・0.6t(0.2mm絶縁層)
- ・銅箔厚：外層 $43\mu\text{m}$ 内層 $35\mu\text{m}$
- ・サイズ：W130mm×L220mm×t0.8mm
差動パターン長 100mm
- ・銅箔の表面処理は、金フラッシュ。
- ・各回路パターン分離用のVカット

2-3.評価基板の基材スペック

本研究で作成した4層基板の基材について、「パナソニック株式会社 オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社」のホームページから以下に抜粋する。

■性能表			R-1766
試験項目	単位	処理条件	実測値
体積抵抗率	MΩ・m	C-96/20/65	5×10 ⁷
		C-96/20/65+C-96/40/90	1×10 ⁷
表面抵抗	MΩ	C-96/20/65	5×10 ⁸
		C-96/20/65+C-96/40/90	1×10 ⁸
絶縁抵抗	MΩ	C-96/20/65	1×10 ⁸
		C-96/20/65+D-2/100	1×10 ⁷
比誘電率(1MHz)	-	C-96/20/65	4.7
		C-96/20/65+D-24/23	4.8
比誘電率(1GHz)	-	C-24/23/50	4.3
誘電正接(1MHz)	-	C-96/20/65	0.015
		C-96/20/65+D-24/23	0.016
誘電正接(1GHz)	-	C-24/23/50	0.016
はんだ耐熱性(260℃)	秒	A	120以上
引き剥がし強さ	銅箔:0.012mm(12μm)	A	1.35
		S ₄	1.35
	銅箔:0.018mm(18μm)	A	1.57
		S ₄	1.57
	銅箔:0.035mm(35μm)	A	1.96
		S ₄	1.96
	銅箔:0.070mm(70μm)	A	2.94
		S ₄	2.94
耐熱性	-	A	240℃60分ふくれなし
曲げ強度(ヨコ方向)	N/mm ²	A	490
吸水率	%	E-24/50+D-24/23	0.06
耐燃性(UL法)	-	AおよびE-168/70	94V-0
耐アルカリ性	-	浸漬(3分)	異常なし

●プリプレグラインアップ

公称厚さ	R-1661(G)							
	0.20mm				0.15mm			
区分	GB	GD	GE	GG	GB	GC	GE	GG
樹脂量	42±3%	45±3%	48±3%	51±3%	42±3%	44±3%	48±3%	52±3%
ガラスクロススタイル	7628				1501			

公称厚さ	0.10mm			0.06mm	
	GB	GE	GG	GD	GG
樹脂量	42±3%	48±3%	53±3%	62±5%	70±5%
ガラスクロススタイル	2116			1080	