

EMC 概論

目次

第1章 環境電磁工学（EMC）概説▷ 7

- 1.1 EMCの特徴▷ 9
- 1.2 EMCの歴史▷ 15
- 1.3 実例▷ 17
- 1.4 電氣的寸法▷ 19
- 1.5 デシベルと共通のEMC単位▷ 23
 - 1.5.1 ケーブルでの電力損失▷ 32
 - 1.5.2 信号源の仕様▷ 38
- 参考文献▷ 45
- 演習問題▷ 45

第2章 電子システムに求められるEMC必要事項▷ 51

- 2.1 国家規格として求められる要求事項▷ 51
 - 2.1.1 アメリカ合衆国で販売する商用製品への要求事項▷ 52
 - 2.1.2 アメリカ合衆国以外の国々で販売する商用製品に求められる要求事項▷ 58
 - 2.1.3 アメリカ合衆国で販売される軍用製品に求められる要求事項▷ 62
 - 2.1.4 商用製品エミッションの適合検証測定▷ 67
 - 2.1.4.1 放射エミッション▷ 67
 - 2.1.4.2 伝導エミッション▷ 70
 - 2.1.5 製品からのエミッション一般例▷ 72
 - 2.1.6 規制値への適合の難しさを示す簡単な例▷ 77
- 2.2 製品に求められるその他の要求事項▷ 79
 - 2.2.1 放射サセプタビリティ▷ 80
 - 2.2.2 伝導サセプタビリティ▷ 80

- 2.2.3 静電気放電 (ESD)▷ 80
- 2.3 製品における設計制約▷ 81
- 2.4 EMC設計の利点▷ 82
- 参考文献▷ 84
- 演習問題▷ 85

第一部 基本電磁理論

第3章 電磁界理論 (Electromagnetic Field Theory)▷ 89

- 3.1 ベクトル解析▷ 89
- 3.2 マクスウェル方程式▷ 94
 - 3.2.1 ファラデーの法則▷ 94
 - 3.2.2 アンペールの法則▷ 98
 - 3.2.3 ガウスの法則▷ 100
 - 3.2.4 電荷保存▷ 102
 - 3.2.5 媒質の構成パラメータ▷ 103
- 3.3 境界条件▷ 104
- 3.4 正弦的定常状態▷ 107
- 3.5 電力の流れ▷ 108
- 3.6 一様な平面波▷ 109
 - 3.6.1 無損失性媒質▷ 113
 - 3.6.2 損失性媒質▷ 116
 - 3.6.3 電力の流れ▷ 118
 - 3.6.4 導体と誘電体▷ 118
 - 3.6.5 表皮の深さ▷ 121
- 参考文献▷ 122
- 演習問題▷ 122

第4章 伝送線路 (Transmission Line)▷ 129

- 4.1 伝送線路方程式▷ 131

- 4.2 単位長当たりのパラメータ▷ 136
- 4.3 時間領域の解法（過渡現象）▷ 154
 - 4.3.1 図式による解法▷ 154
 - 4.3.2 数値的方法▷ 161
- 4.4 周波数領域の解法（正弦的定常状態）▷ 166
 - 4.4.1 位置の関数としての電圧と電流▷ 167
 - 4.4.2 電力の流れ▷ 175
 - 4.4.3 損失の取り込み▷ 177
- 4.5 集中定数回路近似モデル▷ 178
- 4.6 時間領域から周波数領域への変換▷ 182
 - 参考文献▷ 182
 - 演習問題▷ 183

第5章 アンテナ▷ 189

- 5.1 基本ダイポールアンテナ▷ 189
 - 5.1.1 電気（ヘルツ）ダイポール▷ 189
 - 5.1.2 磁気ダイポール▷ 193
- 5.2 半波長ダイポールと1/4波長モノポール▷ 195
- 5.3 アンテナアレー▷ 205
- 5.4 アンテナを特徴づける諸量▷ 211
 - 5.4.1 指向性と利得▷ 211
 - 5.4.2 実効開口面▷ 216
 - 5.4.3 アンテナファクタ▷ 218
 - 5.4.4 平衡化の効果とバラン▷ 222
 - 5.4.5 インピーダンス整合化と減衰器の利用▷ 225
- 5.5 フリスの伝送方程式▷ 228
- 5.6 反射の影響▷ 232
 - 5.6.1 鏡映法▷ 232
 - 5.6.2 境界面への一様な平面波の垂直入射▷ 234
 - 5.6.3 複数の伝搬路による影響▷ 239

- 5.7 広帯域測定アンテナ▷ 247
 - 5.7.1 バイコニカルアンテナ▷ 248
 - 5.7.2 ログペリオディックアンテナ▷ 251
- 参考文献▷ 254
- 演習問題▷ 254

第2部 EMC設計への応用

第6章 部品の非理想的特性▷ 261

- 6.1 導線▷ 262
 - 6.1.1 導線の抵抗値と内部インダクタンス▷ 265
 - 6.1.2 平行二線の外部インダクタンスと静電容量▷ 269
 - 6.1.3 平行線の集中等価回路▷ 270
 - 6.1.4 部分インダクタンスの概念▷ 273
- 6.2 プリント回路基板（PCB）ランド▷ 285
- 6.3 部品リードの効果▷ 294
- 6.4 抵抗▷ 297
- 6.5 コンデンサ▷ 305
- 6.6 インダクタ▷ 314
- 6.7 フェライト及びコモンモードチョーク▷ 319
- 6.8 フェライトビーズ▷ 326
- 6.9 電気機械部品▷ 329
 - 6.9.1 DCモータ▷ 329
 - 6.9.2 ステップモータ▷ 332
 - 6.9.3 ACモータ▷ 333
 - 6.9.4 ソレノイド▷ 334
- 6.10 デジタル回路装置▷ 334
- 6.11 部品のばらつき▷ 335
- 6.12 機械スイッチ▷ 336
 - 6.12.1 スイッチ接点でのアーキング▷ 337

- 6.12.2 回路効果▷ 341
- 6.12.3 アークの抑制▷ 344
- 参考文献▷ 348
- 演習問題▷ 349

第7章 信号スペクトル▷ 357

- 7.1 周期信号▷ 357
 - 7.1.1 直交基底関数と級数展開▷ 357
 - 7.1.2 フーリエ級数による表現▷ 362
 - 7.1.3 周期信号に対する線形システムの応答▷ 370
 - 7.1.4 大切な計算手法▷ 376
- 7.2 デジタル回路における波形のスペクトル▷ 383
 - 7.2.1 台形（クロック）波のスペクトル▷ 383
 - 7.2.2 台形波のスペクトル境界▷ 388
 - 7.2.2.1 立ち上がり／立ち下がり時間がスペクトル成分に与える影響▷ 389
 - 7.2.2.2 周波数とデューティサイクルの影響▷ 397
 - 7.2.2.3 リンギングの影響（アンダーシュート／オーバーシュート）▷ 399
 - 7.2.3 線形システムの出力スペクトル境界の計算へのスペクトル境界の利用▷ 402
- 7.3 スペクトラムアナライザ▷ 403
 - 7.3.1 基本原理▷ 405
 - 7.3.2 尖頭値と準尖頭値▷ 408
- 7.4 周期性のない波形の表現▷ 409
 - 7.4.1 フーリエ変換▷ 409
 - 7.4.2 周期性のない入力に対する線形システムの応答▷ 412
- 7.5 線形システムの周波数領域応答を用いた時間領域応答の導出▷ 412
- 7.6 ランダム信号の表し方▷ 415
 - 参考文献▷ 418

演習問題▷ 418

第8章 放射エミッションと放射サセプタビリティ▷ 429

- 8.1 導線とPCBのランドに対する単純なエミッションモデル▷ 429
 - 8.1.1 ディファレンシャルモードとコモンモード電流▷ 430
 - 8.1.2 ディファレンシャルモード電流のエミッションモデル▷ 435
 - 8.1.3 コモンモード電流エミッションモデル (Common-Mode Current Emission Model)▷ 440
 - 8.1.4 カレントプローブ (Current Probe)▷ 444
 - 8.1.5 実験結果▷ 449
 - 8.2 導線とPCBランドについての単純なサセプタビリティモデル▷ 458
 - 8.2.1 実験結果▷ 466
 - 8.2.2 同軸ケーブルと表面伝達インピーダンス▷ 469
- 参考文献▷ 473
演習問題▷ 475

第9章 伝導エミッションと伝導サセプタビリティ▷ 481

- 9.1 伝導エミッションの測定▷ 481
 - 9.1.1 擬似電源回路網 (L I S N) ▷ 482
 - 9.1.2 コモンモード電流とディファレンシャルモード電流の再考▷ 485
- 9.2 ACノイズフィルタ▷ 489
 - 9.2.1 フィルタの基本特性▷ 489
 - 9.2.2 一般的なACノイズフィルタの構造 (Power Supply Filter Topology)▷ 493
 - 9.2.3 コモン及びディファレンシャルモード電流に対するフィルタを構成する素子の効果▷ 494
 - 9.2.4 診断のための伝導エミッションのコモン及びディファレンシャルモード成分への分解▷ 499
- 9.3 電源▷ 507
 - 9.3.1 リニア電源▷ 508

- 9.3.2 スイッチング電源 (SMPS)▷ 509
- 9.3.3 電源の構成部品が伝導エミッションに与える影響▷ 512
- 9.4 電源とフィルタの配置▷ 517
- 9.5 伝導サセプタビリティ▷ 518
- 参考文献▷ 519
- 演習問題▷ 519

第10章 クロストーク▷ 523

- 10.1 3つの導体からなる線路とクロストーク▷ 523
 - 10.1.1 時間領域でのクロストークと周波数領域でのクロストーク▷ 523
 - 10.1.2 伝送線路方程式▷ 527
 - 10.1.3 単位長さ当たりのパラメータ▷ 530
 - 10.1.3.1 均一および不均一媒質▷ 531
 - 10.1.3.2 線路を十分離れた場合の近似▷ 533
 - 10.1.4 周波数領域 (正弦波で表される定常状態) でのクロストーク▷ 543
 - 10.1.4.1 一般解▷ 544
 - 10.1.4.2 損失の無い均一媒質での厳密解▷ 549
 - 10.1.4.3 誘導および容量性結合▷ 553
 - 10.1.4.4 損失の導入-共通インピーダンス結合▷ 558
 - 10.1.4.5 実験結果▷ 560
 - 10.1.5 時間領域 (遷移状態) でのクロストーク▷ 566
 - 10.1.5.1 誘導および容量性結合▷ 567
 - 10.1.5.2 損失の導入-共通インピーダンス結合▷ 571
 - 10.1.5.3 実験結果▷ 573
 - 10.1.6 集中回路近似モデル▷ 579
 - 10.1.7 損失の無い結合線路に対する厳密なSPICEモデル▷ 580
 - 10.1.7.1 均一媒質内の無損失線路▷ 587
 - 10.1.7.2 非均一媒質内の無損失線路▷ 593
- 10.2 シールド線▷ 601
 - 10.2.1 単位長さ当たりのパラメータ▷ 605

- 10.2.2 誘導性及び容量性結合▷ 609
- 10.2.3 ピッグテイルの影響▷ 622
- 10.2.4 多重シールドの効果▷ 628
- 10.2.5 MTLモデルによる予測▷ 631
- 10.3 より線状の導線 (twisted wires)▷ 631
 - 10.3.1 単位長さ当たりのパラメータ▷ 635
 - 10.3.2 誘導性結合と容量性結合▷ 639
 - 10.3.3 ツイストの効果▷ 645
 - 10.3.4 平衡化の効果▷ 654
- 10.4 多導体伝送線路と入射電磁界の影響▷ 657
 - 参考文献▷ 657
 - 演習問題▷ 660

第11章 シールド▷ 671

- 11.1 シールドの効果▷ 675
- 11.2 シールド効果—遠方界の発信源▷ 677
 - 11.2.1 厳密解▷ 677
 - 11.2.2 近似解▷ 681
 - 11.2.2.1 反射損▷ 682
 - 11.2.2.2 吸収損▷ 684
 - 11.2.2.3 多重反射損▷ 685
 - 11.2.2.4 総合損失▷ 687
- 11.3 シールドの効果—近傍界の発信源▷ 690
 - 11.3.1 近傍界と遠方界▷ 691
 - 11.3.2 電氣的放射源▷ 694
 - 11.3.3 磁氣的放射源▷ 695
- 11.4 低周波磁界領域のシールド▷ 696
- 11.5 開口(aperture)の影響▷ 700
 - 参考文献▷ 703
 - 演習問題▷ 704

第12章 静電気放電 (ESD)▷ 707

12.1 ESDの原因▷ 707

12.2 ESDの影響▷ 713

12.3 ESD発生を低減する設計技術▷ 714

12.3.1 ESD発生の防止▷ 716

12.3.2 ハードウェア・イミュニティ▷ 716

12.3.3 ソフトウェア・イミュニティ▷ 726

参考文献▷ 727

演習問題▷ 727

第13章 EMCを考慮したシステム設計▷ 731

13.1 接地法▷ 733

13.1.1 セーフティグラウンドとシグナルグラウンド▷ 738

13.1.2 一点接地と多点接地▷ 741

13.1.3 グラウンドループ▷ 750

13.2 システム構成▷ 754

13.2.1 システムきょう体▷ 755

13.2.2 パワーラインフィルタの配置▷ 756

13.2.3 複数のプリント回路基板の相互接続▷ 757

13.2.4 内部ケーブルの配線とコネクタの配置▷ 759

13.2.5 プリント回路基板とサブシステムの配置▷ 760

13.2.6 サブシステム間のデッカプリング▷ 761

13.3 プリント回路基板設計▷ 761

13.3.1 部品の選定▷ 761

13.3.2 クリスタル/オシレータ周波数の分離▷ 762

13.3.3 部品の配置▷ 764

13.3.4 その他の種々の考慮▷ 770

13.3.5 プリント回路基板の格子分割したグラウンドの重要性▷ 772

13.3.5.1 導線の局所的なインダクタンスとプリント回路基板の
ランド▷ 773

13.3.5.2 グラウンドの電圧降下▷ 780

13.3.5.3 グラウンドの電圧降下の測定▷ 781

13.3.5.4 重要な格子分割したグラウンドシステム▷ 783

13.3.6 電源供給とデカップリングコンデンサ▷ 787

13.3.7 ループ面積の縮小化▷ 792

13.4 まとめ▷ 795

参考文献▷ 795

演習問題▷ 796

索引▷ 803