



Índice general

Presentación	XV
Prólogo	XIII
Agradecimientos	XV
PARTE I. EL PROBLEMA DE LAS INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS	
1. Introducción al problema de las interferencias	3
1.1. Introducción	3
1.2. Definiciones de compatibilidad y susceptibilidad	4
1.3. Fuentes, acoplamientos y receptores de interferencias	4
1.4. Tipos de interferencias	7
1.5. Métodos generales de solución	8
CUADRO - Pasos previos en el diagnóstico EMI fuera del laboratorio	9
CUADRO - Contenido del maletín de trabajo para resolver problemas de EMI/EMC	10
1.6. Normativa	11
1.7. Instrumentación y medidas	12
1.8. Resumen	14
2. Fuentes de interferencia (I): Imperfecciones en componentes pasivos	15
2.1. Introducción	15
2.2. Resistencias	15
2.3. Condensadores	17
CUADRO - Dieléctricos	17
2.4. Inductores	19
2.5. Núcleos de ferrita	21
2.6. Transformadores	22
2.7. Conductores	23
2.8. Cables	25
2.9. Circuitos impresos	27
2.10. Resumen	27
3. Fuentes de interferencia (II): Transitorios, conmutaciones y descargas	29
3.1. Introducción	29
3.2. Transitorios de conmutación en circuitos R, L, C	29
3.2.1. Transitorio de cierre	30
3.2.2. Transitorio de apertura	32
3.3. Fenómenos no lineales en contactos: rebotes y arcos	32
3.3.1. Rebotes mecánicos	33
3.3.2. Arco de apertura*	33
3.4. Conmutadores estáticos	34
3.5. Representaciones temporal y frecuencial de las perturbaciones	34
3.5.1. Espectro de frecuencias de las perturbaciones	35
3.5.2. Espectro de frecuencias de los interruptores	36
3.6. Perturbaciones e imperfecciones de la red	37
3.6.1. Tipos de perturbaciones en la red	37
3.6.2. Armónicos en la red de alimentación	38
3.6.3. Perturbaciones de red por conexión y desconexión de cargas	39
3.7. Descargas atmosféricas	41
3.8. Impulsos electromagnéticos	42
3.9. Interferencias electromagnéticas de origen mecánico	42
3.10. Otras fuentes de interferencia	43
3.11. Resumen	43
4. Acoplamientos de las interferencias	45
4.1. Introducción	45
4.2. Acoplamientos por conducción (impedancia común). Bucles de masa	45
4.3. Acoplamiento capacitivo o eléctrico	49
4.4. Acoplamiento inductivo o magnético	54

4.5. Acoplamiento electromagnético o por radiación EM	56
4.6. Resumen	57
5. Susceptibilidad de componentes y circuitos electrónicos	59
5.1. Introducción	59
5.2. Efectos de las interferencias de entrada en circuitos integrados analógicos	59
5.2.1. Susceptibilidad frente a interferencias RF	59
5.2.2. Susceptibilidad frente a interferencias en la banda de paso	62
5.2.3. Índice de susceptibilidad	62
5.3. Efectos de las interferencias de entrada en circuitos integrados digitales	63
5.4. Susceptibilidad de los circuitos integrados analógicos a las interferencias en la alimentación	66
5.5. Susceptibilidad de los circuitos integrados digitales a las interferencias en la alimentación	68
5.6. Resumen	69
6. Descargas electrostáticas en semiconductores	71
6.1. Introducción	71
6.2. Generación de cargas electrostáticas	71
CUADRO - Resistividad superficial	72
6.3. Modelos de descarga electrostática	74
6.4. Daños en componentes por descargas electrostáticas	77
6.5. Materiales y equipos de protección	78
6.6. Programa de protección	79
6.7. Resumen	81

PARTE II. SOLUCIONES AL PROBLEMA DE LAS INTERFERENCIAS

7. Blindajes o pantallas	85
7.1. Introducción	85
7.2. La efectividad de los blindajes	86
7.3. Pérdidas por absorción	87
7.4. Pérdidas por reflexión	89
7.5. Blindajes contra el acoplamiento capacitivo (eléctrico)	92
7.6. Blindajes contra el acoplamiento inductivo (magnético)	93
7.7. Blindajes contra el acoplamiento por radiofrecuencia	93
7.8. Las descargas electrostáticas y los blindajes	94
7.9. Efecto de las aperturas en los blindajes	95
7.10. Comparación de materiales	97
7.11. Otras técnicas de apantallado	97
7.11.1. Juntas elásticas conductoras	97
7.11.2. Blindaje de cajas de plástico	98
7.11.3. Galvanizado selectivo (electrodepósito)	98
7.11.4. Pinturas conductoras	99
7.11.5. Láminas conductoras	99
7.11.6. Otras técnicas de depósito de capas conductoras	99
7.12. El blindaje de los cables apantallados	101
CUADRO - Selección de cables apantallados	102
7.12.1. Blindajes trenzados	102
7.12.2. Blindajes en forma de espiral	103
7.12.3. Blindajes laminados	103
7.12.4. Blindajes combinados	103
7.13. Selección de cables apantallados	104
7.13.1. El acoplamiento capacitivo en los cables apantallados	104
7.13.2. El acoplamiento por conducción en los cables apantallados	104
7.13.3. El acoplamiento inductivo en los cables apantallados	105
7.13.4. El efecto de las descargas electrostáticas en los cables apantallados	105
CUADRO - Métodos de prueba de cables apantallados	106
7.14. Resumen	107
8. Masas y tierras	109
8.1. Introducción	109
8.2. La toma de tierra y la masa	109
8.3. La toma de tierra de seguridad	110
8.4. La masa en las señales de baja y alta frecuencia	112
8.5. Masa centralizada: conexión en serie	113
8.6. Masa centralizada: conexión en paralelo	113
8.7. Masa distribuida	114
8.8. Masas híbridas	114
8.9. La conexión a masa de los cables blindados	115
8.10. Comparación entre varias conexiones de cables blindados	116
8.11. Puesta a masa de subsistemas	117

8.12. Resumen	122
9. Equilibrado y medidas diferenciales	125
9.1. Introducción	125
CUADRO - Acondicionamiento de señales	125
9.2. Medidas unipolares	126
9.3. Medidas flotantes	127
9.4. Medidas diferenciales	129
9.5. Líneas de transmisión unipolares	130
9.6. Líneas de transmisión diferenciales	131
9.7. Resumen	134
10. Aislamiento. Métodos magnéticos y ópticos	135
10.1. Introducción	135
10.2. Métodos magnéticos	136
10.3. Transformadores de aislamiento	137
10.4. Métodos ópticos para el aislamiento de señales	139
10.5. Optoacopladores	141
10.6. Aislamiento mediante condensador	141
10.7. Otros métodos de aislamiento	142
10.8. Instrumentos con guarda	143
10.9. Circuitos de guarda	144
10.10. Resumen	144
11. Filtrado (I): técnicas de desacoplamiento y distribución de alimentación	145
11.1. Introducción	145
11.2. Reducción de la inductancia	145
CUADRO - Influencia del encapsulado y la disposición de patillas de alimentación en la reducción de la inductancia y las interferencias	147
11.3. Características de la fuente de alimentación	149
11.4. Impedancia de una pista y de un plano de masa en una tarjeta de circuito impreso	150
11.5. Distribución de las líneas de alimentación	152
11.6. El condensador de desacoplamiento	155
CUADRO - Influencia de la capacidad y la inductancia en una línea de alimentación	156
11.7. Desacoplamiento a distintos niveles	159
11.8. Localización de componentes	160
11.9. Comparación de las familias lógicas frente al desacoplamiento y la radiación	162
11.10. Desacoplamiento en circuitos analógicos	164
11.11. Resumen	166
12. Filtrado (II): filtros antiparasitarios y otras técnicas	169
12.1. Introducción	169
12.2. Función de transferencia de los filtros	169
12.3. Adaptación de impedancias fuente - filtro - carga	171
12.4. Filtros de red	174
12.4.1. Configuración de los filtros de red	174
12.4.2. Corrientes de fugas y aislamiento de filtros de red	175
12.4.3. Emplazamiento y montaje de filtros de red	176
12.4.4. Redes con múltiples filtros	177
12.5. Filtros de salida en fuentes de alimentación	177
12.6. Filtros para líneas de datos y control	179
12.7. Conectores para EMC	179
12.8. Filtrado mediante técnicas de software	180
12.8.1. Métodos de control de fallos basados en hardware	180
12.8.2. Métodos de control de fallos basados en software	181
12.9. Resumen	181
13. Protección de contactos y relés	183
13.1. Introducción	183
13.2. Protección de contactos	184
13.3. Protección de cargas resistivas	185
13.4. Protección de cargas capacitivas	187
13.5. Protección de cargas inductivas	187
13.6. Limitación de sobretensiones en bobinas de relés	191
13.7. Protección de relés de estado sólido	193
13.8. Resumen	195
14. Protección contra descargas atmosféricas y otras sobretensiones	197
14.1. Introducción	197
14.2. Origen de las sobretensiones	198
14.3. Características de las descargas atmosféricas	199
14.4. Daños y efectos en equipos no protegidos	201

CUADRO - Climatología de las descargas atmosféricas	202
CUADRO - Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano	207
CUADRO - Cómo protegerse personalmente de las descargas atmosféricas	209
14.5. Tomas de tierra de protección	210
14.6. Protecciones primarias	212
14.7. Limitadores de sobretensión	215
CUADRO - Criterios de selección de limitadores de sobretensión	216
CUADRO - Comparación cualitativa de los limitadores de sobretensión	217
CUADRO - Dispositivos supresores	220
14.8. Circuitos de protección secundaria y terciaria	221
14.9. Resumen	228

PARTE III. APLICACIONES

15. Interferencias electromagnéticas en subsistemas analógicos	231
15.1. Introducción	231
15.2. Amplificadores diferenciales y de instrumentación	231
15.3. Amplificadores de aislamiento	234
15.4. Amplificadores de alterna	236
15.5. Derivas y ruido en componentes pasivos	238
15.6. Derivas y ruido en componentes activos	239
15.7. Fuerzas termoelectromotrices	240
15.8. Aplicación: puentes de transductores resistivos	241
15.9. Aplicación: puentes de transductores capacitivos	242
15.10. Aplicación: amplificadores para termopares	243
15.11. Aplicación: amplificadores para fotodiodos	244
15.12. Protecciones de entrada y salida	245
15.13. Diseño de circuitos impresos para sistemas analógicos	247
15.14. Resumen	248
16. Interferencias electromagnéticas en subsistemas digitales	251
16.1. Introducción	251
16.2. Diafonía en tarjetas de circuito impreso	251
CUADRO - Líneas de transmisión. Ecuaciones generales. Ondas viajeras	252
CUADRO - Modos de transmisión	256
CUADRO - Cálculo de la diafonía entre dos pistas de circuito impreso	261
16.3. La diafonía y las familias lógicas	262
16.4. Interferencias radiadas en tarjetas de circuito impreso	264
16.5. Diseño de tarjetas de circuito impreso	266
16.6. Conexiones E/S	270
16.7. Supresión de rebotes en contactos	275
16.8. Distribución de la alimentación en la instalación de equipos informáticos	276
16.9. Resumen	280
17. Interferencias electromagnéticas en instalaciones de potencia	283
17.1. Introducción	283
17.2. Clasificación de señales y ambientes	283
17.3. Red de alimentación en equipos e instalaciones	283
17.3.1. Principios generales de diseño de la red de alimentación	284
17.3.2. Reducción de acoplamientos por impedancia común. (Interferencias conducidas)	284
17.3.3. Reducción de EMI acopladas por la red	287
17.3.4. Reducción de acoplamiento por radiación	287
17.4. EMC en convertidores estáticos	288
17.4.1. Problemática de los disipadores de calor	288
17.5. EMC en convertidores de conmutación asistida por red	289
17.5.1. Conmutadores en paralelo	289
17.5.2. Conmutadores en serie con la carga	290
17.6. EMC en convertidores de conmutación forzada	291
17.7. EMC en convertidores de conmutación resonante	291
17.8. EMI en algunos tipos de cargas industriales y domésticas	292
17.8.1. Máquinas eléctricas rotativas	292
17.8.2. Equipos de arco	292
17.8.3. EMI en equipos domésticos	293
17.8.4. Otras cargas	293
17.9. EMC en instalaciones de alta tensión	293
17.9.1. Origen y espectro de frecuencias de las perturbaciones	293
17.9.2. Propagación	293
17.9.3. Medidas de protección	294
17.10. EMC en grandes instalaciones	294
17.10.1. Partición de la instalación por zonas y tipos de señal	295
17.10.2. Instalación en zonas de tipo A	297

17.10.3. Instalación en zonas de tipo B	297
17.10.4. Instalación en zonas de tipo C	297
17.10.5. Instalación en zonas de tipo D	298
17.10.6. Instalación en zonas de tipo E	298
17.10.7. Resumen de precauciones en grandes instalaciones	299
17.11. EMC en automóviles y sistemas de ignición por chispa	299
17.11.1. EMI originadas en los circuitos de baja tensión	299
17.11.2. EMI originadas en el circuito de ignición	300
17.11.3. Supresión en la bobina	300
17.11.4. Sistemas de ignición blindados	300
17.11.5. Resumen de técnicas de supresión en vehículos	300
17.12. Resumen	301
18. Interferencias electromagnéticas en fuentes de alimentación	303
18.1. Introducción	303
18.2. Generadores, cargas e interruptores	304
18.2.1. Reglas básicas en la concepción de un convertidor	304
18.2.2. Representación genérica de interruptores	305
18.2.3. Configuración de convertidores	305
18.3. El transistor en conmutación y las EMI	306
18.4. El comportamiento de los diodos y las EMI	306
18.4.1. Los diodos en la conmutación a conducción	307
18.4.2. Los diodos en la conmutación a bloqueo	309
18.5. Los transformadores de las fuentes conmutadas y las EMI	310
18.6. Generación de interferencias en las fuentes conmutadas	310
18.6.1. Las interferencias y los convertidores CC/CC	313
18.6.2. Las interferencias y los reguladores de tensión conmutados	314
18.7. Técnicas de supresión de los dv/dt y los di/dt	314
CUADRO - Las sobretensiones y las conexiones	315
18.8. La conexión y desconexión de las fuentes conmutadas	316
18.9. Las redes de ayuda a la conmutación	316
18.9.1. Red de ayuda a la conmutación a bloqueo	317
18.9.2. Red de ayuda a la conmutación a conducción	318
CUADRO - Cálculo de las redes de ayuda a la conmutación	319
18.10. Los filtros en las fuentes conmutadas	321
18.11. La carcasa y la disposición de componentes	322
CUADRO - Normas de conexionado y localización de componentes en fuentes de alimentación conmutadas	324
18.12. Susceptibilidad de las fuentes de alimentación conmutadas	324
18.13. Interferencias en fuentes de alimentación lineales	326
CUADRO - Protecciones activas y pasivas de los transistores de una fuente de alimentación conmutada contra las perturbaciones internas y externas	327
18.14. Resumen	328
PARTE IV. NORMAS Y MEDIDAS	
19. Normativa	333
19.1. Introducción	333
19.2. Normas y reglamentos. Certificación y homologación	333
19.2.1. Definiciones	333
19.3. Organismos relacionados con la EMC	334
19.4. Normas relativas a EMC	336
19.5. Normas y HD de CENELEC relativos a EMC	336
19.6. Normas IEC relativas a EMC	337
19.6.1. Normas del comité CISPR. (IEC)	337
19.7. Normas UNE relativas a EMC	338
19.8. Normas VDE relativas a EMC	339
19.9. Normas FCC	340
19.10. Normas militares relativas a EMC	340
19.10.1. Normas MIL-STD (USA)	341
19.10.2. Normas VG (R.F. Alemania)	341
19.11. Directivas europeas sobre EMC	341
19.12. Disposiciones reglamentarias en España	342
19.13. Otras normas relativas a EMC	342
19.14. Resumen	342
20. Instrumentos de simulación y medida de interferencias	345
20.1. Introducción	345
20.2. Esquema general de simulación y medidas de EMC	345
20.3. Medida de interferencias	345
20.3.1. Medidas en el dominio temporal y el frecuencial	345
20.3.2. Tipos de interferencias a efectos de medida	346

20.3.3. Adaptadores de respuesta para medidas EMI	346
20.3.4. Unidades de medida de interferencias	347
20.3.5. Medidas en decibelios	348
20.4. Resumen de métodos de ensayo de EMI	348
20.4.1. Tipos de ensayos y categorías	348
20.4.2. Ensayos de emisión	348
20.4.3. Emplazamientos para ensayos de radiación	349
20.4.4. Ensayos de susceptibilidad	349
20.5. Instrumentos de medida de EMI	350
20.5.1. Medidor estándar	351
20.5.2. Complementos del medidor estándar	352
20.6. Empleo del analizador de espectros para medidas EMI	352
20.7. Redes de estabilización de impedancias (LISN)	352
20.8. Antenas	353
20.9. Sondas de absorción	355
20.10. Simuladores de perturbaciones	355
20.10.1. Generadores de sobretensiones	355
20.10.2. Generadores de perturbaciones de red	355
20.10.3. Generadores para ensayo de acoplamientos	356
20.11. Simulación de interferencias radiadas	357
20.12. Generadores de descargas electrostáticas (IEC 801-2)	358
20.13. Resumen	358
 APÉNDICES	
Apéndice 1. El campo eléctrico	361
A.1.1. Ley de Coulomb. Cargas eléctricas	361
A.1.2. El campo eléctrico y su representación	362
A.1.3. Potencial electrostático	363
A.1.4. Ley de Gauss	364
A.1.5. Representación de algunos campos eléctricos	366
A.1.6. Sistemas de conductores. Pantalla electrostática	370
A.1.7. Capacidad	372
 Apéndice 2. El campo magnético	375
A.2.1. Inducción magnética	375
A.2.2. Ley de Biot y Savart	376
A.2.3. Ley de Ampère	379
A.2.4. Flujo magnético	381
A.2.5. Inducción electromagnética	381
A.2.6. Autoinductancia e inductancia mutua	382
A.2.7. Propiedades magnéticas de la materia	384
 Apéndice 3. Radiación de energía electromagnética	389
A.3.1. Ondas electromagnéticas en medios no conductores	390
A.3.2. Absorción y reflexión de ondas electromagnéticas	391
 Apéndice 4. El decibelio	395
 Apéndice 5. Resumen de métodos generales de reducción de interferencias electromagnéticas	397
A.5.1. Recomendaciones para reducir las interferencias electromagnéticas en la utilización de los equipos	397
A.5.1.1. Normas prácticas de interconexión	397
A.5.1.2. Separación de cables	399
A.5.1.3. Acoplamiento por impedancias comunes	400
A.5.1.4. Técnicas de supresión	400
A.5.1.5. Filtrado	401
A.5.1.6. Actuación sobre el equipo receptor	401
A.5.1.7. Blindajes	401
A.5.2. Recomendaciones para reducir las interferencias electromagnéticas en el diseño de los equipos	401
A.5.2.1. Diseño de circuitos	401
A.5.2.2. Blindaje de los conductores	402
 Apéndice 6. Unidades de medida relacionadas con las interferencias	405
 Glosario	407
 Índice alfabético	415
 Los autores	421