

电子设备的屏蔽设计

——干扰的产生及其克服办法——

〔日〕荒木庸夫 著

赵 清 译 叶宗林 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书从干扰源出发，分别叙述外部干扰和内部干扰的产生、感应、传播及对电子设备的影响等问题，并介绍了克服干扰的办法及屏蔽原理。

本书可供从事电子设备的设计和制造的工作人员参考。

電子機器の遮蔽設計
——妨害の発生とその対策——
〔日〕荒木庸夫
日刊工業新聞社，1970

★
电子设备的屏蔽设计
——干扰的产生及其克服办法——
〔日〕荒木庸夫 著
赵 清 译 叶宗林 校

★
国防工业出版社出版
北京市书刊出版业营业许可出字第074号
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

★
787×1092¹/₃₂ 印张 87¹/₈ 187千字
75年6月第一版 1975年6月第一次印刷 印数：00,001—10,000册
统一书号：15034·1412 定价：0.93元

译 者 序

干扰是电子设备在工作中出现的主要问题之一。干扰有的来自设备外部，有的来自设备内部。因此，如何抑制这些干扰就成为电子设备在设计、制造时的主要课题。屏蔽是抑制干扰及防止设备自激振荡的有效手段，所以有关电子设备的屏蔽设计问题就显得非常重要。

日本荒木庸夫所著《电子设备的屏蔽设计》对这方面问题作了比较系统的阐述。此书从抑制干扰的观点出发，分析了干扰源的性质，并对干扰的传播、感应等理论作了扼要的综述。同时结合具体实例，分别叙述了外部干扰及内部干扰的产生、感应、传播以及对干扰的克服办法。另外还以广播接收机和中波广播发射机为例，分析了放大器自激振荡现象，提供了防止自激振荡的办法。对从事电子设备的设计和制造的工作人员有一定参考价值。因此我们将此书译成中文。

对原书中的错误和不够严谨的地方，在译文中分别作了改正和加了注释。为了形成系统概念、便于设计时使用，在第四章中我们补充了两节关于金属网和金属板屏蔽效能计算的内容。

由于我们水平有限，译文可能仍有不少错误和不妥之处，希望读者批评指正。

译 者

目 录

第一章 干扰源	9
1.1 概论	9
1.2 放电噪声	9
1.2.1 概论	9
1.2.2 电量放电噪声	12
1.2.3 火花放电噪声	13
1.2.4 放电管噪声	16
1.3 电气干扰源	19
1.3.1 工频干扰	19
1.3.2 射频干扰	20
1.3.3 电子开关	23
1.3.4 脉冲发生器	24
第二章 干扰波的感应	26
2.1 干扰波的感应	26
2.2 静电耦合感应	28
2.3 互感耦合感应	36
2.4 共阻抗感应	42
2.4.1 设备内部的感应	43
2.4.2 系统问题	44
2.5 辐射电磁场引起的干扰电压的感应	46
第三章 干扰波的传播	50
3.1 概论	50
3.2 电磁场传播	51
3.3 导线干扰	57
3.3.1 线路上的波动传播	57

3.3.2	线间电压和对地电压	60
3.3.3	配电线的感应及干扰抑制	63
3.3.4	信号线传播干扰波	65
3.4	脉冲传输线的工作原理	67
3.4.1	概论	67
3.4.2	理想线路上的传播	68
3.4.3	非对称线路上的传播	71
3.4.4	对称线路上的传播	76
3.4.5	双绞线间的感应噪声	84
3.4.6	有不连续点的双绞线间的感应噪声	89
第四章	屏蔽原理	95
4.1	屏蔽目的及种类	95
4.1.1	概论	95
4.1.2	静电屏蔽	95
4.1.3	电磁屏蔽	97
4.1.4	低频磁屏蔽	99
4.1.5	屏蔽系数	100
4.2	电磁屏蔽	103
4.2.1	金属板的电磁屏蔽作用	103
4.2.2	金属网屏蔽	107
4.2.3	缝隙的电磁泄漏	109
4.2.4	通风孔或转动装置的电磁泄漏	110
4.3	磁屏蔽	112
4.4	屏蔽室	114
4.5	金属网屏蔽效能计算	117
4.5.1	传输系数的适用性——金属网壳体 与小电流环的相互耦合影响	118
4.5.2	单层金属网屏蔽效能	121
4.5.3	双层金属网屏蔽效能	126
4.6	金属板屏蔽效能计算	136
4.6.1	无缝屏蔽壳体的传输系数	137
4.6.2	孔隙对屏蔽效能的影响	142
附录 I		146

6

附录Ⅱ	147
附录Ⅲ	150
附录Ⅳ	153
第五章 外部干扰源引起感应的抑制方法	156
5.1 概论	156
5.2 隔离	156
5.3 对称电路(平衡电路)	159
5.4 接地和搭接	160
5.4.1 接地.....	160
5.4.2 搭接.....	164
5.4.3 连接设备的屏蔽导线和导线管的搭接.....	164
5.4.4 设备的接地.....	167
5.5 屏蔽举例	168
5.5.1 导线的屏蔽.....	168
5.5.2 设备的屏蔽.....	170
5.6 滤波器	172
补遗 接地电阻与土质的关系	176
第六章 高频噪声源的干扰抑制法	182
6.1 消除继电器触点的火花	182
6.1.1 概论.....	183
6.1.2 单式灭火花电路.....	184
6.1.3 非线性电阻的利用.....	186
6.1.4 复式灭火花电路.....	187
6.1.5 用于灭火花电路的电阻和电容的额定值.....	188
6.2 使用小型整流子电动机的设备噪声	189
6.3 荧光灯噪声	191
6.4 汽车噪声	193
6.5 其它干扰源	197
第七章 设备内部产生的干扰电压及其抑制方法	200
7.1 概论	200

7.2 非线性元件产生的干扰电压	201
7.2.1 概论	201
7.2.2 交扰调制	204
7.2.3 调制干扰	207
7.3 电源哼声	210
7.3.1 电源整流电路的脉动电压产生的哼声	210
7.3.2 感应哼声	213
7.3.3 接地电路上的杂散交流电压引起的交流声	217
7.3.4 热阴极电子管的交流声	218
7.4 调变交流声	222
7.4.1 由放大元件的非线性产生的调变交流声	222
7.4.2 电源整流电路的调变交流声	224
7.4.3 由外部原因产生的调变交流声	226
7.5 脉冲电路的噪声抑制	227
7.5.1 积分电路	227
7.5.2 噪声抑制电路	229
7.6 由元件不良产生的噪声	229
7.7 机械噪声	234
第八章 接收机的异常振荡及抑制方法	235
8.1 放大器的振荡现象	235
8.2 超外差接收机的振荡现象	236
8.2.1 概论	236
8.2.2 按振荡频率分类	237
8.2.3 按振荡的稳定性分类	239
8.3 中频振荡	240
8.3.1 由静电反馈引起的振荡	240
8.3.2 由电磁反馈引起的振荡	246
8.3.3 由共阻抗引起的振荡	248
8.3.4 低频放大器和检波器的中频输出	250
8.4 高频放大电路的振荡	251
8.5 音频放大电路的振荡	252
8.5.1 高端振荡 (哨声)	253

8.5.2 低端振荡 (汽船声)	253
8.5.3 负反馈放大器的高端振荡和低端振荡	254
8.6 调制振荡	255
8.6.1 高频汽船声	255
8.6.2 高频哨声	256
8.7 寄生振荡	264
8.8 防止振荡的检查方法	265
8.9 接收机外来噪声的减轻法	268
第九章 发射机的异常现象	271
9.1 概论	271
9.2 近似频率振荡	272
9.3 由机壳电流引起的异常现象	273
9.3.1 机壳电流	273
9.3.2 屏蔽线外皮导体的处理	274
9.4 由高频扼流圈产生的异常现象	275
9.4.1 在发射频率上的谐振	275
9.4.2 在超声频范围内的谐振	276
9.5 短波振荡	278
9.6 超高频振荡	281
9.7 负阻振荡	283
9.8 音频放大器的低频振荡	284

电子设备的屏蔽设计

——干扰的产生及其克服办法——

〔日〕荒木庸夫 著

赵 清 译 叶宗林 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书从干扰源出发，分别叙述外部干扰和内部干扰的产生、感应、传播及对电子设备的影响等问题，并介绍了克服干扰的办法及屏蔽原理。

本书可供从事电子设备的设计和制造的工作人员参考。

電子機器の遮蔽設計
——妨害の発生とその対策——
〔日〕荒木庸夫
日刊工業新聞社，1970

★
电子设备的屏蔽设计
——干扰的产生及其克服办法——
〔日〕荒木庸夫 著
赵 清 译 叶宗林 校

★
国防工业出版社出版
北京市书刊出版业营业许可出字第074号
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

★
787×1092¹/₃₂ 印张 87¹/₈ 187千字
75年6月第一版 1975年6月第一次印刷 印数：00,001—10,000册
统一书号：15034·1412 定价：0.93元

译 者 序

干扰是电子设备在工作中出现的主要问题之一。干扰有的来自设备外部，有的来自设备内部。因此，如何抑制这些干扰就成为电子设备在设计、制造时的主要课题。屏蔽是抑制干扰及防止设备自激振荡的有效手段，所以有关电子设备的屏蔽设计问题就显得非常重要。

日本荒木庸夫所著《电子设备的屏蔽设计》对这方面问题作了比较系统的阐述。此书从抑制干扰的观点出发，分析了干扰源的性质，并对干扰的传播、感应等理论作了扼要的综述。同时结合具体实例，分别叙述了外部干扰及内部干扰的产生、感应、传播以及对干扰的克服办法。另外还以广播接收机和中波广播发射机为例，分析了放大器自激振荡现象，提供了防止自激振荡的办法。对从事电子设备的设计和制造的工作人员有一定参考价值。因此我们将此书译成中文。

对原书中的错误和不够严谨的地方，在译文中分别作了改正和加了注释。为了形成系统概念、便于设计时使用，在第四章中我们补充了两节关于金属网和金属板屏蔽效能计算的内容。

由于我们水平有限，译文可能仍有不少错误和不妥之处，希望读者批评指正。

译 者

目 录

第一章 干扰源	9
1.1 概论	9
1.2 放电噪声	9
1.2.1 概论	9
1.2.2 电量放电噪声	12
1.2.3 火花放电噪声	13
1.2.4 放电管噪声	16
1.3 电气干扰源	19
1.3.1 工频干扰	19
1.3.2 射频干扰	20
1.3.3 电子开关	23
1.3.4 脉冲发生器	24
第二章 干扰波的感应	26
2.1 干扰波的感应	26
2.2 静电耦合感应	28
2.3 互感耦合感应	36
2.4 共阻抗感应	42
2.4.1 设备内部的感应	43
2.4.2 系统问题	44
2.5 辐射电磁场引起的干扰电压的感应	46
第三章 干扰波的传播	50
3.1 概论	50
3.2 电磁场传播	51
3.3 导线干扰	57
3.3.1 线路上的波动传播	57

3.3.2	线间电压和对地电压	60
3.3.3	配电线的感应及干扰抑制	63
3.3.4	信号线传播干扰波	65
3.4	脉冲传输线的工作原理	67
3.4.1	概论	67
3.4.2	理想线路上的传播	68
3.4.3	非对称线路上的传播	71
3.4.4	对称线路上的传播	76
3.4.5	双绞线间的感应噪声	84
3.4.6	有不连续点的双绞线间的感应噪声	89
第四章	屏蔽原理	95
4.1	屏蔽目的及种类	95
4.1.1	概论	95
4.1.2	静电屏蔽	95
4.1.3	电磁屏蔽	97
4.1.4	低频磁屏蔽	99
4.1.5	屏蔽系数	100
4.2	电磁屏蔽	103
4.2.1	金属板的电磁屏蔽作用	103
4.2.2	金属网屏蔽	107
4.2.3	缝隙的电磁泄漏	109
4.2.4	通风孔或转动装置的电磁泄漏	110
4.3	磁屏蔽	112
4.4	屏蔽室	114
4.5	金属网屏蔽效能计算	117
4.5.1	传输系数的适用性——金属网壳体 与小电流环的相互耦合影响	118
4.5.2	单层金属网屏蔽效能	121
4.5.3	双层金属网屏蔽效能	126
4.6	金属板屏蔽效能计算	136
4.6.1	无缝屏蔽壳体的传输系数	137
4.6.2	孔隙对屏蔽效能的影响	142
附录 I		146

6

附录Ⅱ	147
附录Ⅲ	150
附录Ⅳ	153
第五章 外部干扰源引起感应的抑制方法	156
5.1 概论	156
5.2 隔离	156
5.3 对称电路(平衡电路)	159
5.4 接地和搭接	160
5.4.1 接地.....	160
5.4.2 搭接.....	164
5.4.3 连接设备的屏蔽导线和导线管的搭接.....	164
5.4.4 设备的接地.....	167
5.5 屏蔽举例	168
5.5.1 导线的屏蔽.....	168
5.5.2 设备的屏蔽.....	170
5.6 滤波器	172
补遗 接地电阻与土质的关系	176
第六章 高频噪声源的干扰抑制法	182
6.1 消除继电器触点的火花	182
6.1.1 概论.....	183
6.1.2 单式灭火花电路.....	184
6.1.3 非线性电阻的利用.....	186
6.1.4 复式灭火花电路.....	187
6.1.5 用于灭火花电路的电阻和电容的额定值.....	188
6.2 使用小型整流子电动机的设备噪声	189
6.3 荧光灯噪声	191
6.4 汽车噪声	193
6.5 其它干扰源	197
第七章 设备内部产生的干扰电压及其抑制方法	200
7.1 概论	200

7.2 非线性元件产生的干扰电压	201
7.2.1 概论	201
7.2.2 交扰调制	204
7.2.3 调制干扰	207
7.3 电源哼声	210
7.3.1 电源整流电路的脉动电压产生的哼声	210
7.3.2 感应哼声	213
7.3.3 接地电路上的杂散交流电压引起的交流声	217
7.3.4 热阴极电子管的交流声	218
7.4 调变交流声	222
7.4.1 由放大元件的非线性产生的调变交流声	222
7.4.2 电源整流电路的调变交流声	224
7.4.3 由外部原因产生的调变交流声	226
7.5 脉冲电路的噪声抑制	227
7.5.1 积分电路	227
7.5.2 噪声抑制电路	229
7.6 由元件不良产生的噪声	229
7.7 机械噪声	234
第八章 接收机的异常振荡及抑制方法	235
8.1 放大器的振荡现象	235
8.2 超外差接收机的振荡现象	236
8.2.1 概论	236
8.2.2 按振荡频率分类	237
8.2.3 按振荡的稳定性分类	239
8.3 中频振荡	240
8.3.1 由静电反馈引起的振荡	240
8.3.2 由电磁反馈引起的振荡	246
8.3.3 由共阻抗引起的振荡	248
8.3.4 低频放大器和检波器的中频输出	250
8.4 高频放大电路的振荡	251
8.5 音频放大电路的振荡	252
8.5.1 高端振荡 (哨声)	253

8.5.2 低端振荡 (汽船声)	253
8.5.3 负反馈放大器的高端振荡和低端振荡	254
8.6 调制振荡	255
8.6.1 高频汽船声	255
8.6.2 高频哨声	256
8.7 寄生振荡	264
8.8 防止振荡的检查方法	265
8.9 接收机外来噪声的减轻法	268
第九章 发射机的异常现象	271
9.1 概论	271
9.2 近似频率振荡	272
9.3 由机壳电流引起的异常现象	273
9.3.1 机壳电流	273
9.3.2 屏蔽线外皮导体的处理	274
9.4 由高频扼流圈产生的异常现象	275
9.4.1 在发射频率上的谐振	275
9.4.2 在超声频范围内的谐振	276
9.5 短波振荡	278
9.6 超高频振荡	281
9.7 负阻振荡	283
9.8 音频放大器的低频振荡	284

第一章 干 扰 源

1.1 概 论

电子设备工作时，往往在有用的信号电压之外还有一些令人头痛的干扰电压。如何克服这些干扰是电子设备在设计、制造时的主要问题之一。干扰产生于干扰源。干扰源有的在设备外部，也有的在设备内部。外部干扰源可分为：1) 放电噪声，2) 由于电开关的通断产生的噪声，3) 由大功率输电线产生的工频干扰，4) 无线电设备辐射的电磁波等。设备内部产生的干扰可分为：1) 交流声，2) 不同信号的感应，3) 寄生振荡等。本章简要地说明外部干扰源的概况^①。

一般说来，为了抑制干扰，在干扰源方面采取措施是方便的。而且当干扰很严重时，不仅要对所设计的电子设备进行检查，同时也还要对干扰源进行检查。

1.2 放 电 噪 声⁽¹⁾

1.2.1 概论^(1,2)

在干扰各种通信设备或电子设备的噪声中，其产生原因多属于放电现象。在放电现象中属于持续放电的有：1) 电晕放电，2) 辉光放电，3) 弧光放电；属于过渡现象的有：4) 火花放电。在一个大气压的空气中，在曲率半径比较小的两电极间加电压，当慢慢地升高电压时，最初几乎是无电

① 对于接收机的交叉干扰、假信号干扰是接收机的性能设计问题，故省略。