

工业与民用建筑 电磁兼容设计

吴忠智 著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书阐述工业与民用建筑中常遇到的电磁干扰与电磁兼容设计问题，内容共分九章，对各种电磁干扰源的种类、特性、允许值，电子设备、线路及人体对电磁干扰的容许值和防护间距，滤波器，屏蔽物的结构及效能，电波无反射室的设计，电子设备的接地与干扰，电磁兼容参数的测试，以及工业与民用建筑物的选址与电磁防护间距等专题作了比较详细的介绍。

书中列有各种有关的标准规范、理论计算公式、实测数据、计算图表及设计实例，可供建筑电气设计人员、大专院校及工厂电气技术人员参考使用。

* * *

责任编辑 刘家屿
技术设计 马江燕
责任校对 赵明霞

工业与民用建筑电磁兼容设计

吴忠智 著

*
中国建筑工程出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京顺义燕华印刷厂印刷

*
开本：787×1092毫米 1/16 印张：11³/₄。字数：284千字

1993年1月第一版 1993年1月第一次印刷

印数：1—5,100册 定价：6.15元

ISBN 7—112—01757—2/TU·1336

(6789)

目 录

第一章 总论	1
第一节 问题的提出	1
第二节 电磁兼容系统的组成	1
第三节 干扰源的种类及其特性	2
第四节 电磁干扰耦合方式	2
第五节 电磁兼容设计步骤	8
第二章 工业干扰源的特性及其允许值	10
第一节 工、科、医设备电磁干扰特性及其允许值	10
第二节 架空输电线、变电站电磁干扰特性及其允许值	18
第三节 车辆、机动船和火花点火发动机驱动装置的电磁干扰特性及其允许值	22
第四节 收音机和电视接收机的电磁干扰特性及允许值	25
第五节 电动工具、家用电器和类似器具的电磁干扰特性及其允许值	29
第六节 荧光灯的电磁干扰特性及其允许值	34
第七节 数据处理设备的电磁干扰特性及其允许值	35
第八节 电磁脉冲 (EMP)	36
第九节 建筑物的反射干扰	37
第三章 电子设备、线路及人体对电磁干扰的容许值和防护间距	38
第一节 对有源干扰防护间距的计算	39
第二节 对工、科、医设备防护间距的计算	40
第三节 对架空电力线路防护间距的计算	40
第四节 航空无线电导航台站对电磁干扰的容许值及防护间距	40
第五节 架空电力线路与调幅广播收音台的防护间距	44
第六节 同轴电缆载波通信系统抗无线电广播和通信干扰的容许值	45
第七节 架空明线载波通信系统抗无线电广播和通信干扰的容许值	45
第八节 微波辐射对人体的危害及其容许值	46
第四章 滤波	50
第一节 滤波器的种类、特性及其构成	50
第二节 集中参数元件滤波器	52
第三节 有源滤波器	56
第四节 同轴吸收滤波器	57
第五节 微带滤波器	60
第六节 滤波器的安装方式	65
第五章 屏蔽	66
第一节 屏蔽的种类	66
第二节 屏蔽判别式及性能指标的确定	67
第三节 板式屏蔽效能计算	70

第四节	多层板式屏蔽效能计算	79
第五节	薄膜及镀层屏蔽	83
第六节	网和孔洞屏蔽	84
第七节	磁屏蔽	92
第八节	屏蔽接缝及其门	93
第九节	屏蔽室的总效能及各种结构形式	98
第六章	电波无反射室	104
第一节	电波吸收材料	104
第二节	无反射室的设计	108
第三节	无反射室的性能	112
第七章	电子设备的接地	115
第一节	概述	115
第二节	接地与干扰量的关系	117
第三节	电子设备的接地系统	130
第四节	接地系统的设计	133
第五节	几种电子设备的接地实例	137
第八章	电磁兼容参数测量	143
第一节	工业无线电干扰的测量	143
第二节	电源滤波器效能的测试	151
第三节	屏蔽室效能的测试	153
第四节	电波无反射室参数的测试	162
第九章	电磁兼容设计实例	166
第一节	工业与民用建筑物地址的选择	166
第二节	建筑物之间的电磁防护间距	169
第三节	建筑内电力线与其他线路之间的电磁兼容	170
第四节	电气、电子设备的选型及接地	172
第五节	防止干扰的抑制措施	174
第六节	高效节能变频器的应用	178
附录	电磁兼容材料设备的生产施工单位地址	181
主要参考文献		182

第一章 总 论

第一节 问题的提出

在工业与民用建筑设计中往往碰到弱电线路遭受强电线路干扰的问题，例如，干扰使电话听不清，杂音增大；使控制线路不稳定，设备运行误动作；使电视机图象时有跳动、重影、失真变形等。这就提出在设计时弱电线路该离强电线路多远才不会受到干扰，才不影响正常工作的问题。有这样的一个仪器厂，在刻制导航罗盘刻度时，信号源还没有开起来罗盘上就有了指示刻度，使导航罗盘刻度工作无法进行，检查结果是因为距离2km处有100kW工业高频炉在工作，其频率刚好在这一刻度范围内；又例如，在某地上空一架飞机接受到一个“着陆信号”，待飞机下降时，飞行员发现下面是一大片房子，并不是飞机场，后查知该地工厂有100kW工业高频炉在工作，干扰了航空信号。这两个例子提出这样的问题，工业高频炉应建在什么地点？是否需要屏蔽？哪些测试仪器需要屏蔽？干扰源与被干扰设备相互之间的距离应有多远？防护率应该多大？再就是高频设备在建筑内对人体的危害如何？该采取什么防护措施？还有，为了保密防止信息泄漏或被窃听，在建筑设计时如何屏蔽等等。因此，在工业与民用建筑设计中必须进行电磁兼容设计，使建筑内外的电气线路和设备，在电和磁的条件下，既不干扰其它线路和设备，又不受其它线路、设备的干扰，互相兼容，彼此共存。

第二节 电磁兼容系统的组成

工业与民用建筑电磁兼容系统由工业干扰源、耦合通道、接收部分及其抑制措施四个部分组成，如图1-1所示。它使建筑内的电气系统或设备在外界的电磁环境中或在本身工作所产生的电磁环境中能正常地工作。图中建筑内的电子设备或工、科、医（ISM）使用的射频设备，有

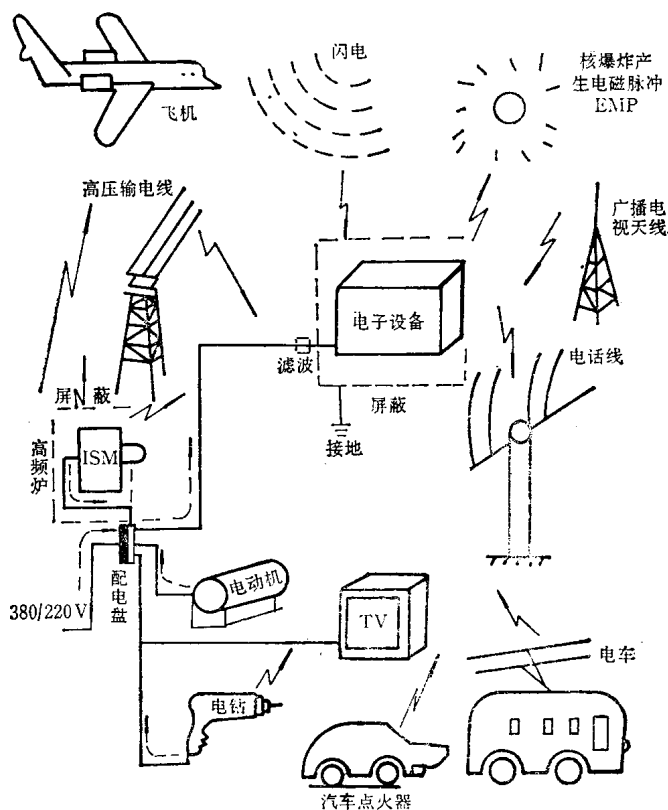


图 1-1 电磁兼容系统的组成

火花的电动设备，电视等都能正常工作，彼此不干扰，它们既不干扰外界的设备（如飞机等），又不受外界核爆炸电磁脉冲（EMP）的影响；高压线路不危害电话线路、电视及控制线路等。要使它们彼此能正常工作，除了考虑相互之间要有一定防护间距之外，有的还要有屏蔽措施，滤波和设备的良好接地，最后还要评价这些措施的好坏，使之达到良好的效果。这一切统称为电磁兼容。

第三节 干扰源的种类及其特性

干扰源分自然干扰源和人为干扰源两大类。自然干扰源有地球上的如大气的雷电、下降的冰雪等，频率在100kHz以下，宽频带，高电平，大电流；地球外的有来自太阳的、宇宙的、星系外的干扰，这些在我们这里不做讨论。我们这里研究的主要是人为的。人为的干扰源又分故意的和非故意的。故意的干扰源如无线电雷达、导航系统、广播电视系统。非故意的即是在正常工作时产生对外界的干扰，如瞬态开关，包括接触开关、继电器、逻辑电路等；换向装置，包括马达、信号装置、换流器、振动器、电铃、蜂鸣器等；气体火花放电器，包括荧光灯、氙灯、气体整流器、火花插头等；电晕放电，包括高压输电线路、配变电设备金具等；接触电位，金属接触不良或脱开；正弦波信号源，包括ISM设备振荡频率和谐波；非正弦信号源，包括逻辑门、脉冲电路、计算机、多谐振荡器，可控硅整流器及调节器；电磁脉冲，包括核爆炸等。这些人为的非故意的干扰源产生干扰的机理、频谱特性及允许极限将在第二章详细讨论。只有知道它们的特性，我们才能讨论抑制措施，使其相互共存。

第四节 电磁干扰耦合方式

电磁兼容的第二个问题是：由上节所述我们知道了干扰源，那么它们是怎样把这些无用的干扰传到信号电路中去呢？那就涉及到电波传播及电路的传导问题，就是电磁场的干扰信号通过何种方式耦合到有用的电路中去的问题。由图1-2我们可知，电磁干扰是通过

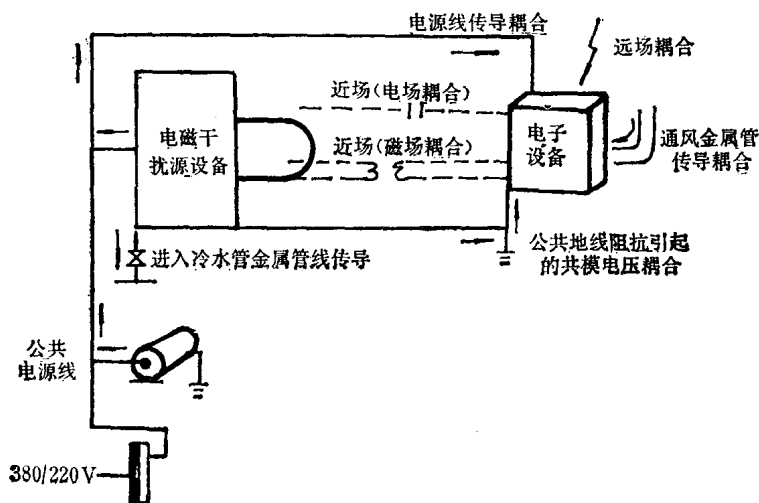


图 1-2 电磁干扰耦合方式

空中电磁场辐射耦合及金属管线电路传导耦合的。

一、辐射耦合

1. 辐射形成

有些设备由于没有屏蔽外壳（仅用塑料外壳）或者金属外壳有开口部分，如各种轴孔、配合表面、连接器、保险丝孔、板缝、门缝等；或者设备的外壳接地不良；或者通过连接的线缆、连接器向外辐射；有的由于表面生锈、电晕放电，零件之间的充电和绝缘击穿造成非正常辐射；有的多谐振荡器、整流器、变换器和数字无线电系统处于工作状态形成辐射。

2. 辐射的特点

一根足够短的、长度为 L 的载流导线产生的场，或者一个足够小的、面积为 A 的载流环产生的场，仅仅取决于流过该导体的电流（这里的小与短是与波长和观测点 P 的距离相比而言），如图1-3所示，用球坐标 (r, θ, ϕ) 表示。图1-3(a)为直线导线源，长度为 L ，观测点为 P 。图1-3(b)为圆环形导线源，面积为 A ，观察点为 P 。导线中流过的电流为 I 。

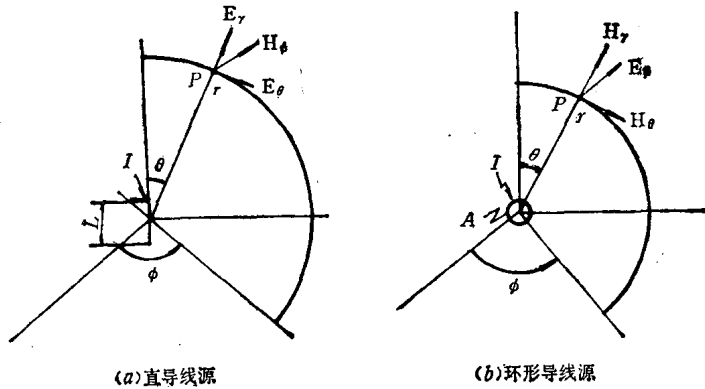


图 1-3 辐射源（球坐标系）

直导线产生的场分别由下式计算：

$$E_{\theta} = \frac{IL\beta^3}{4\pi\omega\epsilon_0} \left[\frac{-1}{j(r\beta)} + \frac{1}{(r\beta)^2} + \frac{1}{j(r\beta)^3} \right] \sin\theta \quad (1-1)$$

$$E_r = \frac{IL\beta^3}{2\pi\omega\epsilon_0} \left[\frac{1}{(r\beta)^2} + \frac{1}{j(r\beta)^3} \right] \cos\theta \quad (1-2)$$

$$H_{\phi} = \frac{IL\beta^2}{4\pi} \left[\frac{1}{j(r\beta)} + \frac{1}{(r\beta)^2} \right] \sin\theta \quad (1-3)$$

式中 ω ——角频率 $=2\pi f$;

f ——频率，Hz; $\lambda f = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$;

β ——相位常数 $=2\pi/\lambda$;

ϵ_0 ——自由空间的介电常数 $=1/(36\pi \times 10^9)$, F/m;

I ——载流导线电流，A;

L ——载流导线长度，m;

r ——观察点离源的距离，m。

当 $L \ll \lambda$ 、 $L \ll r$ ，此时 L 足够短，可以认为是点源，而且认为该点电流 I 是不变的，这就足够模拟观察点 P 是在自由空间，而不是靠近金属表面或处在电介质中，所以得出上式。

对圆环形导线，当圆环直径比 r 小很多、也小于 λ 时，流过的电流也不变，产生的场为：

$$H_{\theta} = \frac{IA\beta^3}{4\pi} \left[\frac{-1}{r\beta} - \frac{1}{j(r\beta)^2} + \frac{1}{(r\beta)^3} \right] \sin\theta \tag{1-4}$$

$$H_r = \frac{IA\beta^3}{2\pi} \left[\frac{-1}{j(r\beta)^2} + \frac{1}{(r\beta)^3} \right] \cos\theta \tag{1-5}$$

$$E_{\phi} = \frac{IA\beta^4}{4\pi\omega\epsilon_0} \left[\frac{-1}{(r\beta)} - \frac{1}{j(r\beta)^2} \right] \sin\theta \tag{1-6}$$

式中 A ——圆环面积， m^2 ；

其它符号意义与前相同。

要求一根很长的导线流过的电流均匀一致，而且在导线的末端电流为零是不太容易办到的，但在分析时可以把导线长度 L 分为一小段一小段的，然后把它串起来。这样就可把长度 L 上的电流变化考虑进去了。图1-4(a)示出上述情形，设某一小段导线为 L_n ，相应的电流为 I_n ，离观察点 P 的距离为 r_n ，于是每一小段产生的场强都可应用式(1-1)、式(1-2)、式(1-3)计算了。同样也可把一个大圆环分为若干小圆环，面积为 A_n ，其小圆环的场强可用式(1-4)、式(1-5)、式(1-6)计算，而总场强等于每小环场强之和，如图1-4(b)所示。这六个式子表示，不管观察点 P 离源多少距离， P 点的总场强都可用这些式子计算。但在分析这些式子时，没有用到近场或远场的概念，下面我们将分析这个问题。在式(1-1)到式(1-6)中，当 r 变大时，含有 r^{-1} 项为辐射场，含 r^{-2} 项为感应场，含 r^{-3} 项为静态场。能量传输到很远只有 r^{-1} 项才有可能，只有辐射场的形式进行传输。如果能量很大也可以以感应场、静态场传输。所有这三种场就是电磁干扰(EMI)辐射干扰的特点。

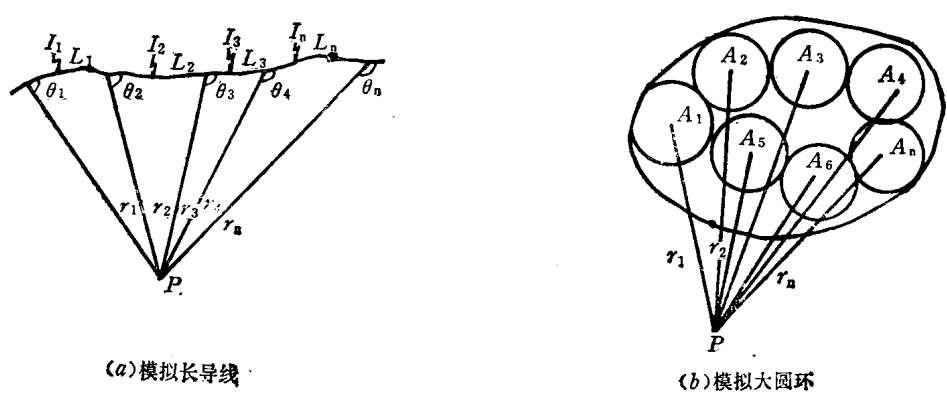


图 1-4 模拟辐射源

对于大的阵列辐射源，或是其它方向性很强的辐射源，例如一个孔径尺寸为 D 的抛物面天线，其增益远大于各向同性辐射体或偶极子辐射体的增益，此时只有当 $r > 2D^2/\lambda$ 时才是远场， $r < 2D^2/\lambda$ 时是近场。如果偏离开天线主射束方向，在天线的旁边或背面，其增益相对较低，此时场的特点就比较接近简单的偶极子场，这种场在 $r = \lambda/2\pi$ 处，远场和

近场相等。

在电磁辐射源周围的场，在该点总电场与总磁场之比为波阻抗。如果是偶极子的辐射源，其波阻抗就是 E_θ 与 H_ϕ 、 H_r 矢量和之比，或是 E_θ 、 E_r 的矢量和与 H_ϕ 之比，分别见式(1-1)到式(1-6)。图1-5给出了波阻抗随 r 距离变化的函数曲线。当 $r = \lambda/2\pi$ 时，或 $r > \frac{\lambda}{2\pi}$ 时，呈现为平面波；当 $r < \frac{\lambda}{2\pi}$ 时，为近场。呈现高阻抗，为电场；低阻抗，为磁场。此关系式，在计算屏蔽效能很有用处。

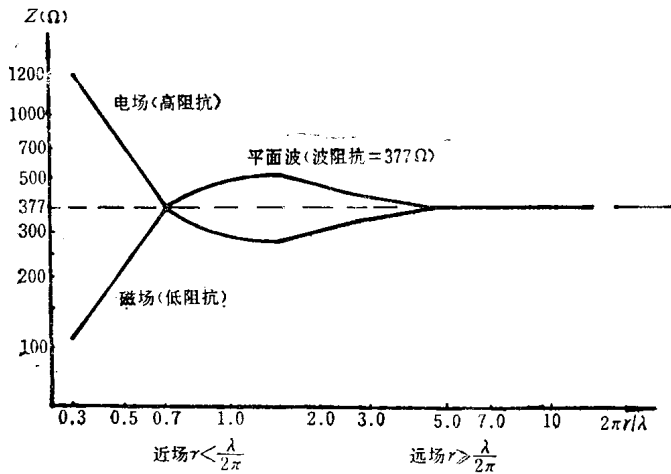


图 1-5 电偶极子和磁偶极子的波阻抗

波阻抗可由式(1-1)至式(1-3)直接推出，当 $r \rightarrow \infty$ 时：

$$E_\theta \approx \frac{-IL\beta^2}{j4\pi\omega\epsilon_0 r}$$

$$E_r \approx 0$$

$$H_\phi = \frac{-IL\beta}{j4\pi r}$$

波阻抗

$$Z_\theta = \frac{E_\theta}{H_\phi} = 377 \Omega \quad (1-7)$$

从这些分析中我们就可得出一个概念，任何一根载流导线都相当于一根辐射天线，相应地处在电磁场中的任何一根导线也相当于接收天线。实际上，一根导线可以同时起到接收天线和发射天线两种作用，这就是辐射耦合的理论基础。

3. 辐射耦合

辐射耦合就是从一电路传输到另一个电路的能量传输，这种传输路径有小到一个系统内或一个设备内极小的距离，有大到星际空间的距离。本书只讨论近距离的传输。

在一个系统内部，通过电磁场产生的耦合是很显著的，都属于近场，如图1-6所示，两条线路，相距为 r ，由分布电容

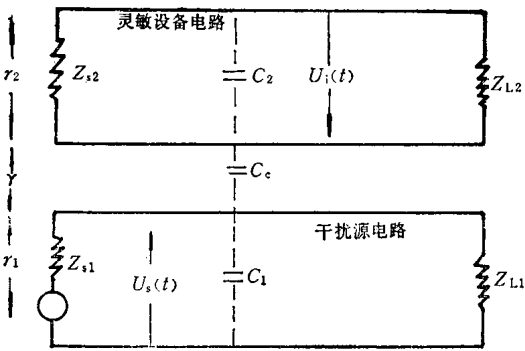


图 1-6 近场电容耦合

C_c 产生容性电流引起静态场并耦合传输到另一电路,其值按下式计算:

$$C_c = \frac{1.21}{\lg\left(\frac{2r}{d}\right)} \times 10^{-11} \quad (\text{F/m}) \quad (1-8)$$

式中 r —— 两根导线之间的距离, m;

d —— 灵敏电路线路的直径, m。

同样的情况,可以计算出每个电路两根线之间的电容,此时式(1-8)中的 r 分别用 r_1 、 r_2 代替。

干扰源的电压 U_s , 通过两个电路之间的互耦电容 C_c 在灵敏设备电路中产生的感应电压 U_i 为:

$$U_i = \frac{Z_{c_2} Z_2 / (Z_{c_2} + Z_2)}{Z_{c_c} + Z_{c_2} Z_2 / (Z_{c_2} + Z_2)} \cdot U_s \quad (1-9)$$

式中 $Z_2 = \frac{Z_{s2} \cdot Z_{L2}}{Z_{s2} + Z_{L2}}$, 为等效阻抗, 并可用图1-7的等效电路代替图1-6;

$$Z_{c_2} = \frac{1}{j\omega C_2};$$

$$Z_{c_c} = \frac{1}{j\omega C_c}.$$

再代入式(1-9):

$$U_i = \frac{j\omega Z_2 C_c}{1 + j\omega Z_2 (C_2 + C_c)} \cdot U_s \quad (1-9)'$$

式中 $\omega = 2\pi f$, 假若 $j\omega Z_2 C_2 \ll 1$, 近似于低频, 此时:

$$U_i = j2\pi f Z_2 C_c U_s \quad (1-10)$$

在高频时, 图1-7(c)的情况:

$$U_i = \frac{C_c}{C_2 + C_c} U_s \quad (1-11)$$

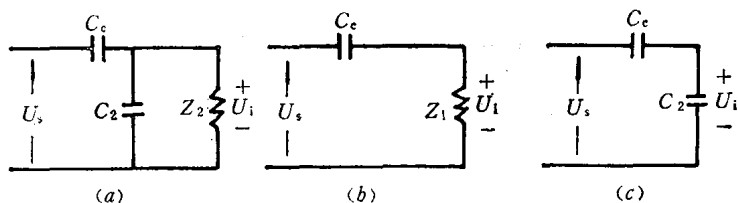


图 1-7 图1-6的等效电路

这些方程式表明: 在近场电容耦合到灵敏电路的感应电压决定于干扰源电压的幅值、频率、耦合电容及灵敏电路的阻抗。在低频时灵敏电路的感应电压随着干扰源电压、耦合电容及灵敏电路阻抗的增加而增加。在高频时其感应电压, 或者随耦合电容而增加, 或者随灵敏电路寄生电容而减少。

在近场中, 感应场是由电感电流引起的, 如图1-8所示。一根载流导线在其周围产生的磁场由安培定律决定为:

$$\int H \cdot dl = i(t) \quad (1-12)$$

式中, H 是磁场强度, dl 是沿着闭合路线一小单元长度, 积分其磁场强度为:

$$H = \frac{i(t)}{2\pi r} \quad (\text{A/m}) \quad (1-13)$$

式中 $i(t)$ —— 导线中的电流;
 r —— 离导线的距离。

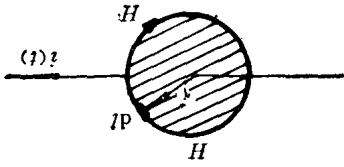


图 1-8 一根载流导线产生的磁场

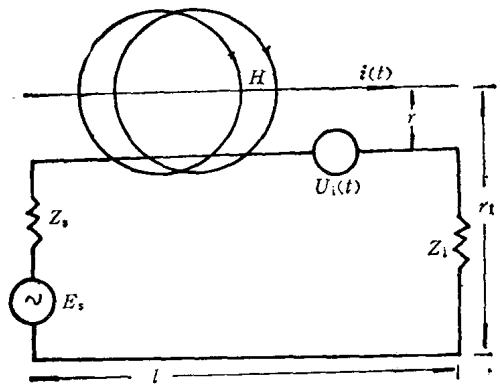


图 1-9 电感耦合

对附近电路中感应的电压按下式计算, 感应情况如图1-9所示。

$$|U_i|_{\max} = \mu_0 i f I_m \ln \frac{r_1}{r} \quad (\text{V}) \quad (1-14)$$

式中 μ_0 —— 真空中导磁率 $4\pi \cdot 10^{-7} \text{H/m}$;
 l —— 被感应线路长度, m;
 r, r_1 —— 干扰导线离被干扰两根线分别的距离, m;
 f —— 干扰源电流的频率, Hz;
 I_m —— 干扰源电流的幅值, A;
 $|U_i|_{\max}$ —— 产生的干扰电压, V。

远场耦合, 在干扰源离灵敏电路距离 $r \gg \frac{\lambda}{2\pi}$ 时, 电场 E 和磁场 H 单独产生而且在传播方向互相垂直, 按平面波方式传播, 其波阻抗为自由空间波阻抗 (等于 377Ω), 可用偶极子进行模拟。在低频时, 辐射导线的长度小于 $\lambda/2$, 不能与周围介质匹配则辐射是很弱的, 其辐射的功率为:

$$P = I^2 R \quad (\text{W}) \quad (1-15)$$

式中 I —— 为导线中电流, A;
 $R = 80\pi^2 (L/\lambda)^2$ 。 (1-16)

对于短偶极子 (中间处电流最大, 两端为零), 则:

$$R = 20\pi^2 (L/\lambda)^2 \quad (1-17)$$

二、电路传导耦合方式

电路传导主要通过电源线、金属水管、热力管、风管及接地公共阻抗线进行传导, 只要将两个电路直接连起来就会发生传导性耦合, 耦合到电子设备中去, 如图1-10所示。若导线的长度 $l \geq \lambda/8$ 更易于接收和发射干扰。下面分析几种传导耦合干扰量的计算:

1. 一路电源线带几台电子、电气设备, 通过公共导线 (包括内阻) 引起的传导干扰,

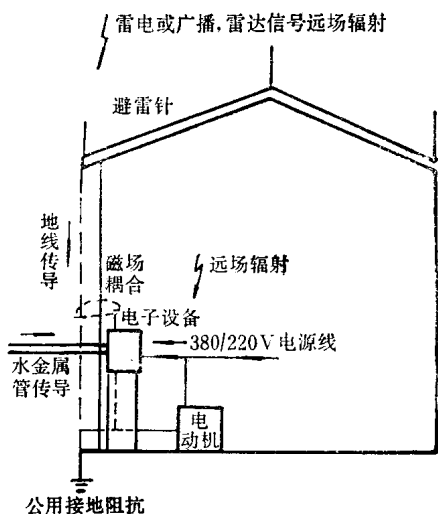
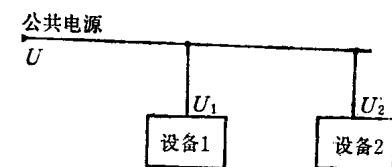
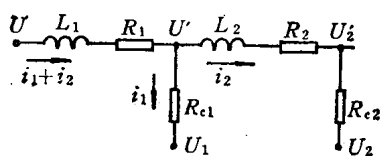


图 1-10 电路传导耦合方式



(a) 方块图



(b) 等效电路

图 1-11 一个电源带两台设备引起干扰的示意图

如图1-11所示，并用下式进行计算：

$$U_1 = U - L_1 \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) - (i_1 + i_2)R_1 - i_1 R_{c1} \quad (1-18)$$

$$U_2 = U - L_1 \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) - (i_1 + i_2)R_1 - L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 (R_2 + R_{c2}) \quad (1-19)$$

如果外界有干扰电压还要加在 U 上进行计算。式中 U 为电源电压 (V)， L_1 、 R_1 为 U 至 U' 处线路的电感和电阻； L_2 、 R_2 为 U' 至 U_2 间线路的电感和电阻； R_{c1} 、 R_{c2} 为两个负载电阻 (Ω)； i_1 、 i_2 分别为两个负载的电流 (A)。这两公式表明，各个设备上的电压都要受到另一台设备所需电流的干扰。

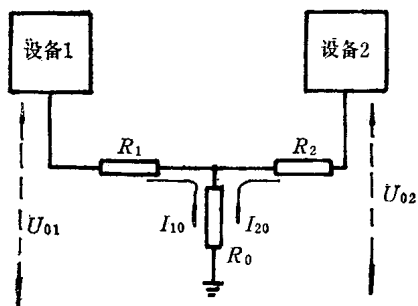


图 1-12 几台设备共用一接地极的传导耦合

2. 几台设备共用一个接地极的耦合形式如图1-12所示，两台设备共用一接地极，其每台设备地电位计算如下：

$$U_{01} = I_{10}R_1 + (I_{10} + I_{20})R_0 \quad (1-20)$$

$$U_{02} = I_{20}R_2 + (I_{10} + I_{20})R_0 \quad (1-21)$$

从这两式看出，每台设备地电位都要受到另一台设备地电流的影响，形成干扰，有的电子设备地电位高于信号电压，发生错误信号。

第五节 电磁兼容设计步骤

工业与民用建筑电磁兼容设计是建筑电气设计的一部分，应与基本建设基建设计同步，其设计应分几步：

1. 首先了解建筑内外有无人为电磁干扰源设备、线路等，如有则需了解甚至测定电磁干扰源的特性、实际的干扰场强，是否满足国家标准允许值的要求。各种干扰源的特性及允许值见第二章。

2.调查了解建筑内外是否有灵敏的电子设备、线路等，容许外界的干扰值多大，本身灵敏度多高，距干扰源的距离有多远，若有ISM高频设备还需了解民航局的要求。

3.调查了解耦合方式，是远场还是近场，传导电源线，金属管线是否直接相连，接地极的关系等。

4.确定抑制方式，防护间距是否够，在不满足时是否需要用屏蔽来解决空间电磁波的传播问题，是磁屏蔽还是电场屏蔽或电磁屏蔽等；在传导方面是用隔离还是用滤波解决，确定方案后要进行屏蔽、滤波等设计（在第四、五章中详述），这些设备接地极的形式和接地阻值要进行确定（见第七章），有的还要设计电波无反射室（见第六章）。

5.对屏蔽、滤波、电波无反射室、接地等施工完后进行测试效果评价（见第八章）。

经过这五个步骤的实践，电磁兼容设计才算告一段落。

第二章 工业干扰源的特性及其允许值

在第一章中我们知道了干扰源有自然的和人为的两种，在本章主要研究人为的、非故意造成的电磁干扰，研究它们产生干扰的机理及频谱特性，并列出国际电工委员会下属国际无线电干扰特别委员会（简称CISPR）和我国对这些干扰源的允许值的规定，以明确如何进行电磁兼容设计。

第一节 工、科、医设备电磁干扰特性及其允许值

工业、科学和医疗射频设备（简称ISM设备）是指那些可能产生对0.15 MHz~18 GHz频段内无线电接收造成干扰的设备。它是通过射频振荡将50Hz交流电变为射频的变频装置，例如工业用的感应和电介质加热设备，医用电热和外科手术工具，超声波发生器、微波炉等。以工业射频加热装置为例，它常常是将工频交流电压升压到1kV，经整流后输出直流高压1.35kV，再通过振荡电路得到射频高压电流，然后把射频高压降至100V以下，输出到感应器进行加热，其工作原理图如图2-1所示。从图中可以看出，射频振荡器和射频输出组件都装在设备外壳内，被屏蔽好。当然屏蔽外壳不可避免地有缝隙、孔洞、管线进出，或接地不良等，从而向外泄漏电磁能量。但这种泄漏远比工作线圈直接外露向外辐射场强小得多，因此我们直接研究加热线圈的辐射至关重要。加热线圈是一个扼流线圈，由于有高频电流通过，在被加工的导体内产生了感应电动势，被加工件内的涡流使工件发热，即电能变成热能而做功；而未做功的能量通过工件以偶极子的形式向外辐射，甚至又耦合到一次侧，通过接地不良的设备、电源线等（象天线式的）向外辐射。例如某厂使用的高频淬火炉，功率为60kW，振荡频率为200~300kHz，在工作时测得感应线圈附近的电场强度为170V/m，磁场强度为60A/m。又例如某一热合机，在人操作部位头部电场强度为40~50V/m，操作部位胸部为80~100V/m，操作部位膝部为50~70V/m，操作脚踏杆处为100V/m，距模具10cm处为150~200V/m。因此可把工作线圈视为辐射天线，把高频加热感应线圈看成环状天线线圈。辐射功率与线圈辐射电阻 R_a 及辐射器线圈中通过电流的平方之乘积成正比，其公式如下：

$$P_t = R_a I_{rms}^2 \quad (W) \quad (2-1)$$

式中 I_{rms} ——槽路电流，A；

R_a ——感应线圈辐射电阻， $R_a = 640 \frac{\pi^4 S^2}{\lambda^4}$ ，其中面积 $S = \pi r^2$ 。

经过换算可得：

$$R_a = 7.59 \times 10^{-5} r^4 f^4 \quad (2-2)$$

式中 r ——感应线圈半径，m；

f ——工作频率，MHz（计算谐波时按谐波频率）。

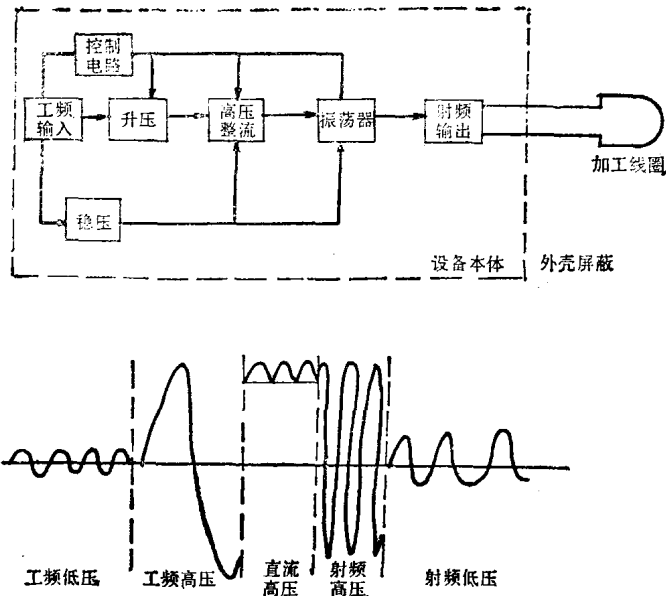


图 2-1 工、科、医射频装置原理示意图

线圈辐射出的场强与线圈增益有关，并与距离成反比衰减，可用下式计算：

$$E = \frac{\sqrt{30P_t G_t}}{r} \quad (\text{V/m}) \tag{2-3}$$

- 式中 P_t ——辐射功率，W，按式（2-1）计算，
- G_t ——天线线圈增益，一般取1.5；
- r ——被测点离辐射线圈之间的距离，m。

高频电炉场强计算与实测值见表2-1。

100kW高频炉泄漏场强 表 2-1

工作频率 (MHz)	线圈直径 (m)	槽路电流 (A)	场 强 (dB)							
			计算或 实 测	距 离 (m)						
				20	26	64	106	211	400	500
0.23	0.2	7	计 算 值	35	32.72	24.89	20.5	14.53	8.97	
0.23	0.2	7	实 测 值	42.5	40	34.89	32.04	22	12	
0.69	0.2	5	计 算 值	51.16	48.88	41.05	36.67	30.69	25.14	23.20
0.69	0.2	5	实 测 值	62	53	46	41	36	29	25
0.75	0.2	4	计 算 值	50.67	48.39	40.57	36.19	30.21	24.65	22.71
0.75	0.2	4	实 测 值	57	51	46	39	33	30.1	25

高频电炉的振荡频率一般都在广播、通讯、导航的频率范围内，因此各国都规定了允许标准，若超过允许标准都要采取屏蔽措施，电源线上都要加装滤波器。1975年 CISPR 第11号出版物，特别对工业、科学和医用射频设备无线电干扰的允许值做了规定，并要求世界各国在制订标准时采用它的规定，我国1984年的标准 GB4824.1~4824.2-84，参照了这一规定并做出了规定。CISPR关于端子干扰电压允许值的规定见表2-2，辐射场强允许值见表2-3，我国关于辐射允许值如表2-4。表中所列数值不包括国际电信联盟规定的

端子电压允许值(CISPR规定)

表 2-2

频 率 范 围 (MHz)	无线电功率在5kW以下的微波炉 dB(μV)	一切其它ISM设备 dB(μV)
0.15~0.2	66	70
0.2~0.5	66	66
0.5~5	60	60
5~30	66	60

CISPR规定辐射场强允许极限

表 2-3

频 率 范 围 (MHz)	离设备距离(试验场检验)		距离(非试验场检验)		
	30m	100m	距使用者建筑外墙距离		离设备300 m
			30m	100m	
	dB (μV/m)	dB (μV/m)	dB (μV/m)	dB (μV/m)	dB (μV/m)
0.15~0.285		34		34	34
0.285~0.49		48		48	48
0.49~1.605		34		34	34
1.605~3.95		48		48	48
3.95~30		34		34	34
30~470	在电视通道30 通 道 外54		在电视通道30 通 道 外54		46
470~1000	在电视通道40 通 道 外54		在电视通道40 通 道 外54		46

ISM设备辐射允许值(我国规定)

表 2-4

频 段 (MHz)	在 试 验 场		在 现 场			
	离设备距离 (m)	允 许 值 dB (μV/m)	离用户企业边 界 距 离 (m)	允 许 值 dB (μV/m)	离设备距离 (m)	允 许 值 dB (μV/m)
30~48.5	30	40	30	40	300	46
48.5~72.5	30	30	30	30	300	46
72.5~76	30	40	30	40	300	46
76~108	30	30	30	30	300	46
108~167	30	40	30	40	300	46
167~223	30	30	30	30	300	46
223~300	30	40	30	40	300	46

自由辐射频率，其端子电压的允许值适用于低压和中压（100~415V）。网路供电的所有ISM设备，为了满足辐射允许值要求，电源线上必需安装电源滤波器，根据干扰电压的情况表中无需规定30MHz以上端子电压。

所有医用设备应在试验场进行测试。只要实际上可能，所有其它ISM设备也应在试

验场中进行测试。否则，设备就应符合不在试验场测试所规定的允许值。

低于30MHz的频率，只需测试辐射场的磁场分量；高于30MHz的频率，辐射场的水平极化分量和垂直极化分量都应进行测试。额定功率小于或等于5kW的微波炉，可以安放在居民住宅内，在这种情况下，表2-2所列的允许值可能偏大，不能为居民提供良好的广播、电视条件，采用时可以参考此值。

对于1~18GHz频率的加热和医疗微波设备，其允许值为57dB（pW）。

表2-4中我国只做了30~300MHz频段内的ISM设备的辐射允许值，其有关注意事项可参考CISPR规定。但在1986年12月31日，对辐射允许值也做了一些放宽的规定，在试验场测试时，将电视、调频广播频段内的允许值30dB放宽到40dB，将电视调频广播频段外的允许值40dB放宽到50dB。在现场测量时，将当地使用的电视、调频广播频段外的允许值从原定30dB放宽到50dB。

以下是几个国家的有关工、科、医无线电设备（ISM）电磁干扰场强（指辐射场强）允许值的规定。

（1）奥地利：奥地利的规定见表2-5和表2-6。

辐 射 场 强 允 许 值							表 2-5		
频 率 范 围 (MHz)	允 许 场 强 (μV/m)								
	A 类		B 类		C类 (在现场检验)				
	距设备距离(试验场检验)				距用户外 墙 距 离 30m	距 设 备 距 离			
	30m	100m	10m	30m		100m	300m		
0.01~0.15	在 准 备 中								
0.15~0.285		50		50		50	50		
0.285~0.49		250		50		250	250		
0.49~1.605		50		50		50	50		
1.605~3.95		250		50		250	250		
3.95~30		50		50		50	50		
30~41	500		50		30	50	200		
41~68	30		50		30	50	200		
68~87	500		50		30	50 ②	200		
87~108	30		50		30①	50	200		
108~162	500		50		30	50	200		
162~230	30		50		30	50	200		
230~470	500		50		30	50	200		
470~960	100		200		100~500②		200		
960~1000	500		200		100~500②		200		

注：①在正在使用的电视频道内，ISM必须遵守此值；
②此频率除电视频道外，ISM允许使用此极限。

（2）比利时：端子干扰电压允许值见表2-7，干扰场强允许极限见表2-8，括号中的数值应用在试验场检验。没有括号的数值应用在现场检验，离使用者外墙的距离与在现场检验的距离只有同一允许极限。

（3）加拿大：加拿大使用每一个ISM无线电频率能量产生器，一直遵守下列条件：