

新型电路结构——“四套法” 接地系统的理论性证明*

无线电技术教研室 吴本炎

提 要

本文论述一种新型电路结构——“四套法”接地系统。它与现有的“悬浮地”和“交流地——直流地”相比较，可以进一步提高电路的稳定性和安全性——这正是我国研制现代化电子整机时需要解决的重要课题。

(这种新技术的实验证明，以后另述。)

一、前言——问题的引出

电路地网络程式的研究，是电子系统电磁兼容性学科中的一个重要内容，它对于电路稳定而又安全地工作具有十分重要的意义。

电路地网络应该具备抗干扰和安全保护两大功能。长期以来，一般采用“直流地——交流地”和“悬浮地”两大程式。但是，前者没有解决公共地阻抗引起的干扰耦合作用，后者在抗干扰和安全保护两方面都不够好。目前，我国正越来越多地研制各种现代化电子设备，在抗干扰和安全保护两方面提出了越来越高的要求，迫切需要寻求最佳的电路地网络程式。这方面课题已列入国家科技规划。现将新型电路结构——“四套法”接地系统的理论性证明详述如下。

二、研究的出发点——最佳电路地网络的条件?

1. 公共地阻抗的影响——干扰耦合作用

现研究图1所示的电路。

图1(a)中，电路1单独通过一根接地线而接地，接地线的阻抗为 Z_G ，这时电路1的对地电压 U_{1G} 为：

$$U_{1G} = I_1 \cdot Z_G$$

式中， I_1 为电路1的地电流。

图1(b)中，电路1和2共用一根接地线而接地，接地线阻抗仍为 Z_G ，这时电路1的

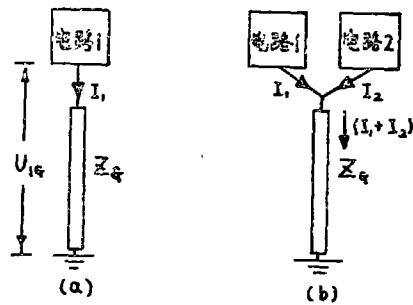


图 1

* 本文的主要论点于1977年邮电部研究单位举行的学术活动中宣讲，获得好评，并正在使用。

对地电压从 U_{1G} 改变为 U'_{1G} , 而 U'_{1G} 为:

$$\begin{aligned} U'_{1G} &= (\sum I_i) \cdot Z_G \\ &= (I_1 + I_2) \cdot Z_G \\ &= I_1 Z_G + I_2 Z_G \\ &= U_{1G} + U_{2G} \end{aligned}$$

式中 I_1 和 I_2 分别为电路 1 和 2 的地电流。

由此可知 $U_{1G} \neq U'_{1G}$,

并且

$$\begin{aligned} U'_{1G} &= f(I_1, I_2) \\ U'_{1G} &= f(U_{1G}, U_{2G}). \end{aligned}$$

这表明, 电路 1 与电路 2 共用一根地线后, 电路 1 的地电压则受到电路 2 地电压的影响, 受到电路 2 地电流 I_2 的调制, 致使电路 1 工作失常。这种干扰作用的主要原因在于公共地阻抗 Z_G 。可见, 公共地阻抗有干扰耦合作用, 这是有害的, 应该设法消除它。

2. 公共地阻抗的计算方法

设: 地线长度为 l [mm],

地电流频率为 f , 波长为 λ [mm],

地线的每一方射频电阻为 R_{RF} [Ω /方] (见注)。

这根地线的地阻抗 Z_G 可按下列计算式求出:

$$Z_G = R_{RF} \left[1 + \left(\operatorname{tg} 2\pi \frac{l}{\lambda} \right) \right] l \quad [\Omega].$$

对于各种导体

$$R_{RF} = 0.26 \times 10^{-6} \sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{G_r}} \quad [\Omega/\text{方}],$$

式中: μ_r ——地线材料相对于铜的导磁率; (见表 1)

G_r ——地线材料相对于铜的导电率; (见表 1)

f ——地电流频率 [HZ]。

对于铜, $R_{RF} = 0.26 \times 10^{-6} \sqrt{f} \quad [\Omega/\text{方}]$ 。

公式表明:

当 $l > \frac{\lambda}{8}$ 时, 地阻抗 Z_G 很大;

当 $l < \frac{\lambda}{10}$ 时, $Z_G \approx R_{RF} \left(1 + 2\pi \frac{l}{\lambda} \right) l$;

当 $l < \frac{\lambda}{20}$ 时, $Z_G \approx R_{RF} \cdot l$;

当 $l = \frac{\lambda}{8}, \frac{3\lambda}{8}$ 时, $Z_G \approx 2R_{RF} \cdot l$ 。

可见： $Z_G \propto l$, $Z_G \propto R_{RF}$,
 而 $R_{RF} \propto f^{\frac{1}{2}}$ $R_{RF} \propto \mu_r^{\frac{1}{2}}$ $R_{RF} \propto G_r^{-\frac{1}{2}}$

3. 接地环的害处

环形的地线称为接地环，如图 3 所示。

表 1

常用材料的 μ_r 和 G_r 数据：

材料名称	μ_r	G_r
铜	1	1
银	1	1.05
金	1	0.7
铝	1	0.61
镍	1	0.20
锡	1	0.15
钢	1000	0.1
铅	1	0.08
不锈钢	500	0.02

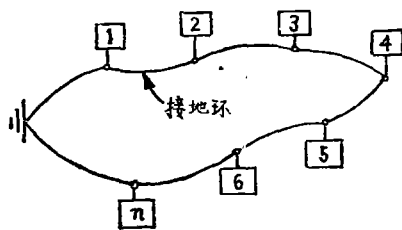


图 3

图 3 中，电路 1 ~ n 连接于环形的地线上。

接地环的害处是：

① 由于地线是闭合的环形，所以对于外来的磁场容易产生感应电压，亦即干扰，从而影响电路工作。接地环中的磁感应电压 e_H 为：

$$e_H = -s \frac{d\beta}{dt}$$

式中： s —— 接地环的包围面积；

$\frac{d\beta}{dt}$ —— 外来磁场的磁通密度 β 相对于时间 t 的变化率。

可见： $e_H \propto s$

所以为了消除磁感应电压 e_H ，就要求避免环形的地网络——接地环。

即 当 $s = 0$ 时， $e_H = 0$ 。

试验结果证明了接地环的这个害处，如图 4 所示。

图 4 (a) 中，有接地环，并且有外来的低频磁干扰 ($f < 1MHz$)，磁力线穿过接地环而在接地环中产生磁感应电压。取这种情况的抗磁干扰能力为基准，即磁干扰衰减量 L 为：

$$L [db] = 20 \lg \frac{P_1}{P_2} = 0 [db]$$

式中： P_1 —— 入射的干扰功率 [瓦]；

P_2 —— 感应的功率 [瓦]。

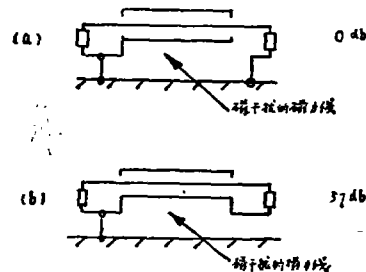


图 4

图4(b)中, 没有接地环, 则磁干扰衰减量 L 为:

$$L[db] = 20 \lg \frac{P_1}{P_2} = 57[db],$$

这时, 抗磁干扰能力大大提高了。

② 接地环中的地电流是各级电路地电流之总和。当地电流较大时, 在接地环地阻抗上引起的地电压也较大, 于是各级电路之间通过地阻抗而寄生耦合, 出现干扰现象。

高增益放大器就是一个典型实例, 如图5所示。

图5中地线从第一级放大器开始, 贯穿各级, 并且各级之间的电缆屏蔽层也作为地线的一环, 于是构成包络面积很大的接地环。又因为接地环中包括末级功率放大器的地线, 所以地电流很大, 对前级低电平信号有强烈的干扰。

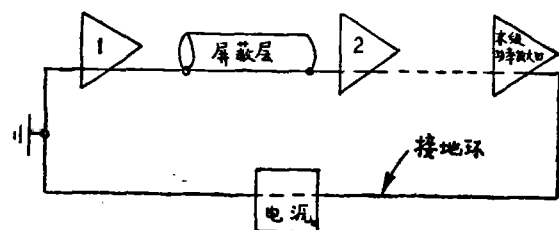


图 5

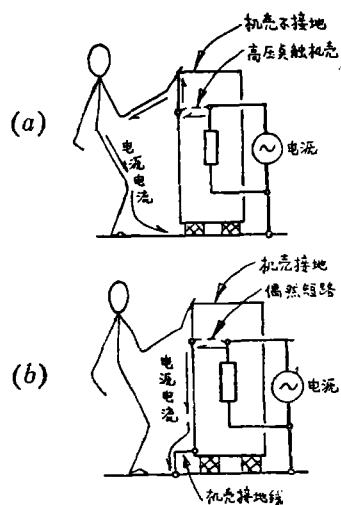


图 6

4. 接地的安全作用

电子系统要求在金属机壳偶尔触及高压时, 以及雷击闪电时都保证安全。

第一种安全要求防止人身触电:

图6(a)表示电路的高压点(例如220伏交流电源的火线)偶尔触及机壳的情况。当人身碰到机壳时, 电源电流则经过手——身体——脚底而流到水泥地面和大地。如果流过身体的电流达 $75mA$ 时, 人将致死, 这就是触电的危险情况。

但是, 如结象图6(b)那样, 机壳接地, 那么上述人身触电情况可以避免, 因为这时交流线在机壳上产生大电流而使保险丝烧毁, 于是从机壳上卸去电源电压。

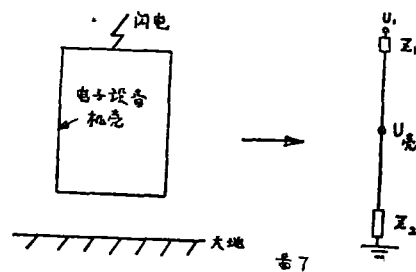


图 7

这表明: 为了使电子设备具有避免触电的安全性能, 机壳必须接地。

第二种安全要求——防雷防闪电:

图7中, U_1 ——雷击闪电的电压(100KHZ以下、宽带、高电平、可达100兆伏, 并引起大约3万安培的电流)。

Z_1 —— U_1 电位点和机壳之间的寄生阻抗;

$U_{壳}$ —— 电子设备机壳的电位;

Z_2 —— 电子设备机壳和接地点之间的阻抗。

这时, 机壳电位 $U_{壳}$ 是:

$$U_{壳} = U_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)$$

可见: $U_{壳} \propto Z_2$

当 $Z_2 \approx \infty$ 时, 则 $U_{壳} \approx U_1$; 当 $Z_2 \approx 0$ 时, 则 $U_{壳} \approx 0$ 。

具体地说, 在极短促时间内 (仅仅10微秒) 产生很大的冲击电流, 同时在空间形成急速变化的强大电磁场, 处于这个电磁场中的金属导体 (例金属结构的机房、电子设备的机壳) 将感应很高的冲击电压, 并产生大电流。感应大电流对电子设备的影响, 取决于机壳接地阻抗 Z_2 的大小: 如果电子设备对大地是短接的 ($Z_2 \approx 0$), 则感应的闪电大电流流向大地 ($U_{壳} \approx 0$), 电子设备和操作者是安全的; 反之, 如果电子设备机壳没有接大地 ($Z_2 \approx \infty$, 即“悬浮地”), 或者接地不良 (Z_2 很大), 则感应的闪电电流不能流向大地。但感应的闪电大电流仍要寻找低阻抗通道流动, 于是该大电流可能流向电子设备的导线和机壳, 并在导线和机壳内流动时产生高热甚至着火, 足以把变压器、输入滤波器、马达和电子设备烧毁。实际使用中, 这种现象确实发生过。

这也表明: 为了使电子设备具有防雷防闪电的安全性能, 机壳也必须接地。

5. 机壳的抗干扰作用

外界的干扰电场会在电子设备机壳上产生感应电荷, 并积累大量电荷。如果机壳不接大地 (即“悬浮地”), 则机壳上的电荷将在电子设备内部产生二次感应, 使内部电路受干扰, 如图 8 所示。所以, 从抗干扰要求来考虑, 为了耗散干扰, 电子设备机壳亦必须接地。

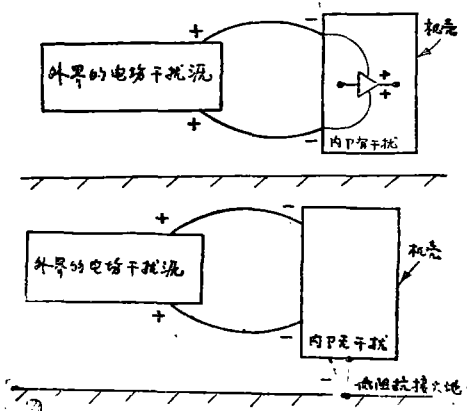


图 8

电路地网络的设计要求:

- | |
|---------------|
| 抗干扰 |
| — 降低地阻抗 |
| — 避免接地环 |
| — 屏蔽和机壳必须接地良好 |
| 安全 |
| — 防止人身触电 |
| — 防雷防闪电 |

表 2

6. 电路地网络的设计要求

从前面的分析可以引出电路地网络的设计要求 (见表 2):

三、推导——最佳电路地网络的规律

1. 敏感信号地与不敏感信号地的独立性

现研究两个电路，如图9所示。

图9中，电路1和2的接地点是用一根地线串联起来的。

I_i ——第 i 级电路的地电流；

Z_i ——第 i 级到第 $i-1$ 级电路接地点之间的地阻抗；

U_i ——第 i 级电路的地电位。

其中
$$\begin{cases} U_1 = (I_1 + I_2) \cdot Z_1 \\ U_2 = (I_2 \cdot Z_2) + U_1 = I_2 \cdot Z_2 + (I_1 + I_2) \cdot Z_1 \end{cases}$$

即
$$\begin{cases} U_1 = f_1(I_1, I_2, Z_1), \\ U_2 = f_2(I_1, I_2, Z_1, Z_2). \end{cases}$$

可见，各级的地电位 U_i 不仅与本级的地电流 I_i 有关，也与他级的地电流有关。

如果电路1为低电平，而电路2为高电平，则电路1将受到电路2的干扰而失常。

如果把上列串联接地方式改为并联接地方式，如图10所示，

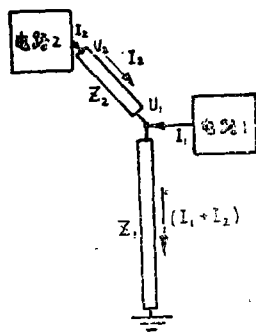


图 9

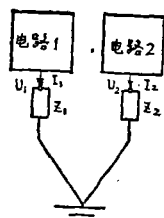


图 10

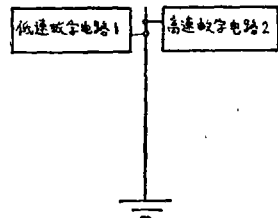


图 11

这时，各级电路的地电位 U_i 为：

$$\begin{cases} U_1 = I_1 \cdot Z_1 \\ U_2 = I_2 \cdot Z_2 \end{cases}$$

所以，各级地电位 U_i 只与本级的地电流 I_i 有关，与他级地电流无关。即使电路 i 为低电平，其它级为高电平的话，电路 i 也不受他级电路的干扰。这表明：低电平电路地线与高电平电路应当各自保持独立性，不应当共用一根地线。

低速数字电路地线与高速数字电路，也应当各自保持独立性。从图11可说明这一点。

设：高速数字电路2的脉冲信号电平为 $15mA$ ，

上升时间为 $2.5ns$ ，地线长度为 $1000mm$ ，

地线上的分布电感为 $0.8\mu h$ 。

则这根地线上产生的瞬态干扰电压 e 为：

$$e = L \frac{di}{dt} \approx L \frac{\Delta i}{\Delta t} = (0.8 \times 10^{-6}) \left(\frac{15 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-9}} \right) = 4.8 \text{ 伏}$$

这个地线上的寄生电压较是大的，它也加在低速数字电路1的地电位上，从而严重影响其工作。这表明：低速数字电路与高速数字电路不能共用一根地线，而要分别设置两根地线。

以此类推，低频电路地线与高频电路地线，或者小功率电路地线与大功率电路地线，都要单独设置。

2. 构件地的独立性

图12(a)中，印制电路插件板通过插座把接地点连接于机架上，以机架作为信号电路的地线。图12(b)是直接用电路来表示，该电路以机架作为地线；图12(c)表示机柜中有地电流流过时的情况。由于机柜有阻抗，所以地电流 I_G 在接地点 G_1-G_2 之间的地阻抗 Z_G 上引起一个地电压 ($I_G \cdot Z_G$)，这电压加在电路输入端，起着寄生信号的作用，于是输入端电压从原来的设计值 e 改变为 $e + I_G \cdot Z_G$ ，从而改变电路的性能，这是不希望的情况。

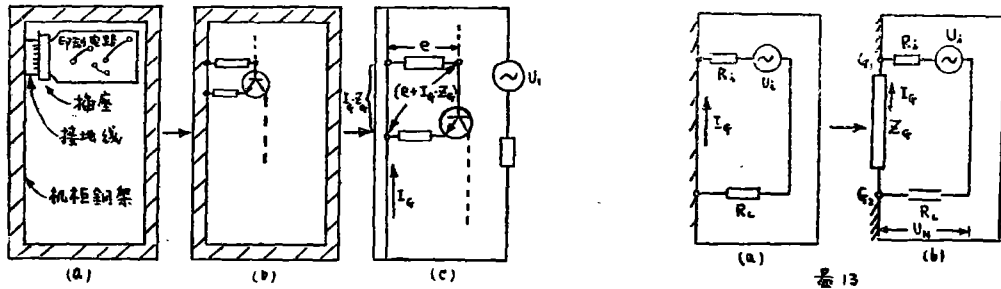


图 12

图13表示一般情况。

图13(a)中： U_i ——信号电路电压； R_i ——信号电路内阻；
 R_L ——负载； Z_G ——接地点 G_1-G_2 之间的地阻抗；
 U_N ——地电压在负载上引起的干扰电压。

$$\therefore \frac{U_N}{U_G} = \frac{R_L}{R_i + R_L + Z_G},$$

$$\therefore U_N = \frac{U_G \cdot R_L}{R_i + R_L + Z_G}.$$

可见： $U_N \propto U_G$,

而 $U_G = I_G \cdot Z_G$,

故 $U_N \propto Z_G$ 。

设：机架是镀锌钢板， $\mu_r = 1000$ ， $G_r = 0.1$ ；

接地点 G_1-G_2 的间距 $l = 600mm$ ；

机架上的地电流频率 $f = 100MHz$ ；波长 $\lambda = 3000$ 米。

则机架地线的每一方射频电阻 R_{RF} 为：

$$R_{RF} = 0.26 \times 10^{-6} \sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{G_r}} = 0.26 \times 10^{-6} \sqrt{\frac{1000 \times 100 \times 10^6}{0.1}} = 0.26 [\Omega/\text{方}]$$

接地点 G_1-G_2 之间的地阻抗 Z_G 为：

$$\begin{aligned}
 Z_G &= R_{RF} \left[1 + \left(tg 2\pi \frac{l}{\lambda} \right) \right] l \\
 &= R_{RF} \left[1 + \left(tg 2\pi \frac{600}{1000} \right) \right] 600 \\
 &= 0.26 [1 + 3.73] 600 \\
 &= 733 [\Omega]
 \end{aligned}$$

这数据表明：以机架作地线时，地阻抗可能相当大，故地电流流过它时引起的地电压 U_G 也较大，在负载上引起的干扰电压 U_N 也较大。因而，以机架作信号电路地线是不合适的。

有时，机架上有感应的干扰电压，如图14所示。

图14中，外圈迴路表示机架，内圈迴路表示信号电路，

U_R ——机架上感应的干扰电压，

Z_R ——机架上 $G_1 - U_i - G_2$ 之间的阻抗。

$$\therefore \frac{U_G}{U_R} = \frac{Z_G}{Z_R + Z_G}, \quad \therefore U_G = \frac{U_R \cdot Z_G}{Z_R + Z_G},$$

然后，地电压 U_G 又在 R_L 引起干扰电压 U_N ，

$$\therefore \frac{U_N}{U_G} = \frac{R_L}{R_i + R_L + Z_G},$$

$$\begin{aligned}
 \therefore U_N &= \frac{U_G \cdot R_L}{R_i + R_L + Z_G} \\
 &= \frac{U_R \cdot Z_G \cdot R_L}{(Z_R + Z_G) \cdot (R_i + R_L + Z_G)}.
 \end{aligned}$$

可见： $U_N \propto U_R$

$U_N = f(U_R)$ 。

即机架上感应的干扰电压 U_R 将影响信号电路中负载的干扰电压 U_N 。所以，当机架上有感应的干扰电压时，更不宜把机架作为信号电路地线。

(图15是构件地的错误(左图)与正确(右图)型式举例。)

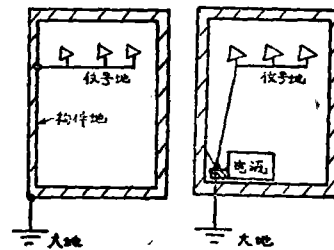
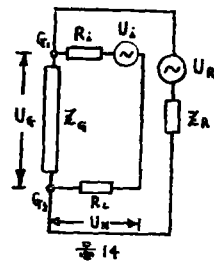


图 15

3. 噪声地的干扰性

电子设备中，传动机构或风扇用的电动机是噪声源，因为碳刷和整流子之间的电弧火花是干扰。这种干扰的频率是以中波到甚高频范围连续分布的(大约为 $100KHZ \sim 400MHZ$)。这种干扰通过导线的传导作用和空间幅射作用而影响其它电路。

此外，电动机起动或停止时的过渡过程、在地线中引起瞬态冲击。

开关和继电器触点打开时产生的电弧火花，也是噪声源。这种干扰的产生过程是这样的：对于电磁式继电器来说，它有一个螺旋状线圈，圈数很多，并且有铁芯，电感是较大的。当打开继电器控制电路的开关时，线圈中的电流断开（亦即能量消失），线圈中将感应一个强的反向电压 $(-L \frac{di}{dt})$ 。反电压在微秒时间内可能达到电源电压的10~20倍之多，这

个大幅度的电压冲击是一个很陡的波，在断开的触点之间引起电弧火花。开关触点反复打开和闭合时，则不断出现电弧火花的干扰。它的频率范围很宽，是传导性和辐射性干扰。虽然采用各种电弧控制电路可以减小干扰，但是不可能完全消除，剩余干扰仍然传导或辐射出去，所以继电器电路的地线中包含着干扰。

可见，电动机或继电器之类的噪声源地线有干扰性（实验情况也证明了这一点，一个小功率继电器，仅6V电压、几mA电流，也在TTL集成电路中引起干扰，致使门错误动作）。所以，噪声源地线应当与信号地线分别设置，以减小干扰作用。

图16表示信号噪路和风机的接地方式。

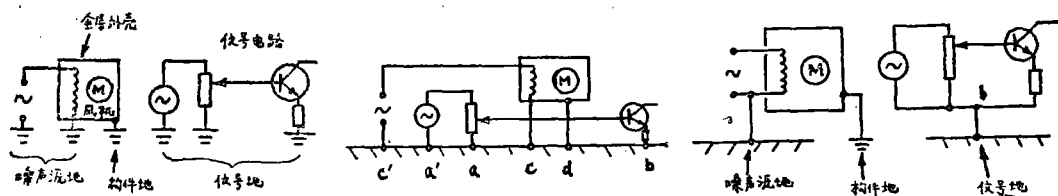


图 16

4. 电源地线的重要性

图17表示一个直流电源对一个信号电路供电的情况。

图17中： U_{dc} ——直流电源电压；

R_s ——直流电源内阻；

L_T, R_T, C_T ——直流电源馈线的电感、电阻和电容；

容；

R_L ——负载（例一个信号电路）。

这个直流电源电路的性能包括两方面：静态（即直流）特性和瞬态（即噪声）特性。

① 静态特性：负载 R_L 上的直流电压 U_L 为：

$$U_L = U_{dc} - I_L (R_s + R_T)$$

式中， I_L ——负载电流。

而直流电源馈线电阻 R_T 为：

$$R_T = \rho \frac{l}{A}$$

其中： ρ ——直流电源馈线材料电阻率 $[\Omega \cdot mm]$ ；

l ——直流电源馈线长度 $[mm]$ ；

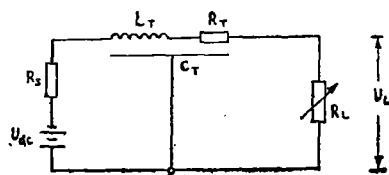


图 17

A ——直流电源馈线横截面[mm^2]。

$$\therefore U_L = f(R_T \dots \dots)$$

即 $U_L = f(l \dots \dots)$

可见，直流负载电压 U_L 与直流电源馈线长度 l 有关。

② 瞬态特性：直流电源馈线电路的瞬态噪声电压是由于负载电流的突变而产生的。如果负载电流有瞬时的变化量 ΔI_L ，则负载上的瞬时电压变化量 ΔU_L 为：

$$\Delta U_L = Z_0 \cdot \Delta I_L$$

式中， Z_0 ——直流电源馈线的特性阻抗。

而 $Z_0 = \sqrt{\frac{L_T}{C_T}}$

其中： L_T 、 C_T ——直流电源馈线的电感和电容。

Z_0 是直流电源馈线的噪声特性量，它的大小直接影响噪声电压 ΔU_L 。为了获得最佳的低噪声性能，希望 Z_0 尽量小，亦即希望直流电源馈线的电感 L_T 小。减小 L_T 的方法有：缩短馈线长度 l ，或采用扁线。

即 $\Delta U_L = f(Z_0 \dots \dots)$ $\Delta U_L = f(L_T \dots \dots)$ $\Delta U_L = f(l \dots \dots)$

如果一个直流电源电路对 n 个信号电路供电（图18），则也要注意直流电源馈线阻抗使 n 个信号电路耦合而干扰的作用。

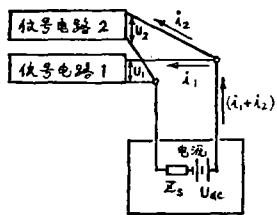


图 18

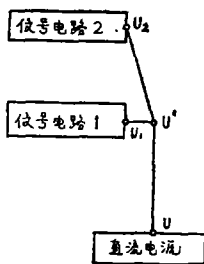


图 19

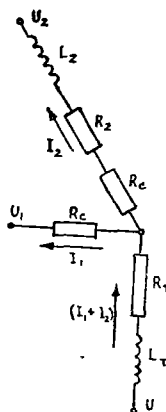


图 20

图18中，当电路2的电流 i 瞬变时，引起电源电流 $(i_1 + i_2)$ 变化，电源内阻 Z_s 上的电压降 U_s 也变化，而直流电源电压 U_{ac} 是常数，所以电路1得到的电源电压 U_1 有变化，即电路2干扰了电路1。这时，公共直流电源内阻 Z_s 和公共直流电源馈线阻抗 Z_T 则是 n 个电路之间相互干扰的耦合源。

其中，公共直流电源馈线阻抗 Z_T 引起的电路干扰作用，现分析如下：

图19为一个直流电源对两个信号电路供电的示意图。

其等效电路如图20所示。

图20中： L_T 和 R_T ——公共直流电源馈线 U 到 U' 之间的电感和电阻；

L_2 和 R_2 —— U' 到 U_2 之间的电感和电阻;

R_c —— U' 连接点的电阻。

电压 U_1 和 U_2 为:

$$\begin{cases} U_1 = U - L_T \left(\frac{dI_1}{dt} \right) - L_T \left(\frac{dI_2}{dt} \right) \\ \quad - R_T (I_1 + I_2) - R_c \cdot I_1 \\ U_2 = U - L_T \left(\frac{dI_1}{dt} \right) - L_T \left(\frac{dI_2}{dt} \right) \\ \quad - R_T (I_1 + I_2) \\ \quad - (R_c + R_2) I_2 \\ \quad - L_2 \left(\frac{dI_2}{dt} \right) \end{cases}$$

即
$$\begin{cases} U_1 = f_1(L_1, R_1, \dots) \\ U_2 = f_2(L_1, R_1, L_2, R_2, \dots) \end{cases}$$

下面以一个小小的集成电路门为例来说明公共直流电源馈线阻抗所引起的噪声严重性。

设有一个 TTL 集成电路:

门导通时, 直流电源电流 $i_1 = 5mA$;

门截止时, 直流电源电流 $i_2 = 1mA$;

(此电流变化量 $\Delta i = 4mA$);

门从导通改变为截止的转换时间 $\Delta t = 5nS$;

直流电源馈线电感量 $L_T = 0.5\mu H$ 。

这一个 TTL 门改变工作状态时, 在直流电源馈线上产生的瞬态噪声电压 U_N 为:

$$\begin{aligned} U_N &= L \frac{di}{dt} \approx L \frac{\Delta i}{\Delta t} \\ &= (0.5 \times 10^{-6}) \left(\frac{4 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-9}} \right) \\ &= 0.4 \text{ 伏} \end{aligned}$$

而 TTL 集成电路的直流电源电压只有 5 伏, 所以噪声电压 0.4 伏将占直流电源电压 5 伏的 8%, 它是仅仅 $4mA$ 电流变化量引起的一个严重噪声问题。可见: 如果这直流电源馈线是 n 个集成电路群的公共馈线, 那么, 这个 0.4 伏噪声电压就成为 n 个电路的噪声源, 影响极大。

以上分析表明: 采用公共直流电源对 n 个电路供电的方式时, 公共直流电源馈线阻抗 (L_T 和 R_T) 必须尽量减小, 亦即缩短公共直流电源馈线长度 l 、或采用扁线。

公共直流电源馈线长度为最短 ($l=0$) 的接线型式, 如图 21 所示。



图 21

四、研究结果——“四套法”接地系统

上一节的两条规律，反映了电路地网络最佳化的四大要素：

要素一：信号的敏感程度这是从电平、速度、频率、功率差来划分地线（例如，两电路的电平相差甚大时，低电平信号对高电平信号是敏感的，故它们应当分别设置地线）。

低电平（或低速、或小功率）信号地线称为“第一套接地通道”；

高电平（或高速、或大功率）信号地线称为“第二套接地通道”。

要素二：噪声源。

噪声源电路是非工作信号电路，它的地线不能与工作信号地线共用一根地线，应当单独设置。

噪声源电路地线——称为“第三套接地通道”。

要素三：安全。

为了防雷防闪电和防止触电的安全保护，机壳底板等金属构件应当接地，但由于它本身包含的电流是寄生感应的干扰信号和危险电流，故也应当单独设置。

金属构件地线——称为“第四套接地通道”。

要素四：公共直流电源馈线阻抗。

这阻抗要小，就要求其馈线短。所以，从直流电源引出上述四条接地通道的出发点，应选在直流电源的最近位置，因而，应当把直流电源输出端作为出发点，以此引出四条接地通道。即：

四条接地通道交点的最佳位置——选在直流电源的最近位置。

综上所述，可以推导出抗干扰性较高、安全性较好的最佳电路地网络型式——“四套法”接地系统，如图22所示。

图 22 的说明：

“四套法”接地系统是把电子系统中的地线划分为四大类型：

①第一套接地通道——敏感信号地：它包括低电平信号电路、前级放大器、混频器、逻辑电路等；

②第二套接地通道——不敏感信号地：它包括高电平信号电路、后级功率放大器、大电流和大功率电路等；

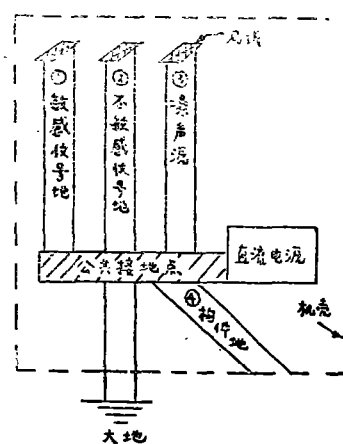


图 22

③ 第三套接地通道——噪声地：它包括电动机、风扇、继电器电路等；

④ 第四套接地通道构件地：它包括机壳、底板、机门、面板等。

四套接地通道之间，必须保持严格的电隔离—电绝缘良好。否则，“四套法”接地系统失去其意义。

公共接地点——四套接地通道的出发点、必须尽量靠近电源。

“四套法”接地系统的主要目的，是为了使接地通道中的噪声干扰为最小值，同时又具有良好的安全保护作用。它具备前一个优点的原因是因为它可以使公共地阻抗的干扰耦合作用降低到最低程度，并且没有接地环。后一个优点的原因，是因为它不是“悬浮地”，并且专门设置了一条“构件地”起安全作用的缘故。

使用“四套法”接地系统时，可能出现较长的地线。高频时，长地线有较大的电感和地阻抗，地电压（即干扰）也较大，这是不希望。怎样解决长地线引起的较大的地阻抗和地电压呢？这可以采用扁线来解决，因为扁线具有低电感的特性。如果将铜扁线表面镀银，则可以适应高频电流的集肤效应，从而进一步降低地阻抗和地电压。这样的话，“四套法”接地系统既适用到低频，也适用于高频，用途较广泛。

注：

如果有一方形导体，如图 2 所示。

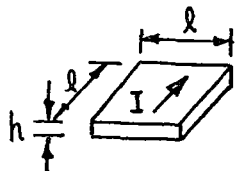


图 2

其电阻值 R 为：

$$R = \rho \frac{l}{s} = \rho \frac{l}{h \cdot b} = \frac{\rho [\Omega \cdot mm]}{h [mm]} = \frac{\rho}{h} [\Omega]$$

即每一方形的电阻值 R [Ω] 称为每方电阻 [Ω /方]。

参 考 书 目

吴本炎：《电子设备的稳定性设计》——电磁兼容性理论和实践
(邮电出版社即将出版)