

YIZHI DIANZI DIANLU ZAOSHENG DE FANGFA

[目] 北大图书馆藏 • 刘宗基译

抑制
电子电路噪声的
方法

4123

丁

如果你觉得本书很好，请浏览后删除并购买原版书籍阅读。

73.4123

855

抑制电子电路噪声的方法

〔日〕北大路刚 著

刘宗惠 译

冯瑞荃

赵学泉 校

雷永山



人民邮电出版社

8510493

DU20/15

前 言

在研制电子设备时，按理论所设计的电路图进行布线、装配的电子设备，未经调试便能达到原设计的性能的事例，几乎是没有的。实际上，调试工作是很费时间的。

在调试中，经常会发现“交流声”、寄生振荡、“工作不正常”等等现象。有时要费几天甚至昼夜“苦战”也无法解决，致使设备不能如期完成。电子设备完工，投入使用后，出了故障要专程去修理，所花经费也不可小看。有时花了很大数目的修理费，结果只换了一个价值很小的电容器。这种情况还并不少见。这是由于理论和实际有距离，电路图和实际电路结构不同所造成的。即使准确无误地按理论设计的电路图布线、安装，也不能达到预期的效果。噪声是引起上述故障干扰的主要祸根。能有办法抑制这种噪声就省事了。但目前都是凭实验技术人员的经验行事。这是一种实验技术，它虽没有很深奥的学问，但要系统地阐述清楚倒也¹很难，故理论上的指导书籍甚少。不过工作多年的人，通过成功与失败的经验教训，可具有丰富的实践经验。

正因为如此，初级电子技术工作者希望能知道一些抑制噪声的启示和“诀窍”。本书竭力避免用数学推导，完全从实用出发，对具体的实验技术加以归纳整理。全书以提问题的形式编写，每节说明一个问题。各节内容彼此独立，读者无需从头至尾地读，可视需要选读。

目 录

前 言

第一章 噪声及其种类

- 1.1 什么是噪声..... 1
- 1.2 按理论设计安装为什么还会出现噪声..... 3
- 1.3 噪声有几种..... 5
- 1.4 不同原因引起的各种噪声..... 7
- 1.5 正态噪声（串联噪声）和共态噪声（不平衡噪声）的区别..... 9

第二章 噪声的量度及其测量

- 2.1 怎样表示噪声或信号的大小..... 12
- 2.2 如何识别噪声..... 14
- 2.3 测量噪声及信号大小应具备哪些知识..... 16
- 2.4 什么是信噪比（SN）及分贝单位..... 18
- 2.5 什么是噪声系数，如何测量..... 19

第三章 噪声与电子元件

- 3.1 怎样使用固定电阻（器）..... 21
- 3.2 怎样使用可变电阻（器）..... 23
- 3.3 怎样使用电源变压器..... 25
- 3.4 怎样使用线圈..... 27
- 3.5 电容器有哪些种类，其特征如何..... 29
- 3.6 在抑制噪声的措施上，怎样掌握电容器的特性..... 31
- 3.7 使用电容器应特别注意哪些问题..... 33
- 3.8 使用旁路电容器应掌握的知识..... 35

3·9	从抑制噪声上考虑怎样正确使用旁路电容器	37
3·10	怎样使用耦合或去耦电容器	39
3·11	在抑制噪声观点上怎样正确使用滤波器	41
3·12	如何利用积分电路抑制噪声	42
3·13	怎样使用半导体元件	43
3·14	怎样使用开关和继电器	45
3·15	怎样使用斩波器, 应注意哪些事项	48
3·16	怎样使用半导体开关元件及磁饱和电抗器	50
3·17	如何利用变压器或光耦合器来抑制噪声	52
3·18	怎样避免指示灯所引起的噪声	54
3·19	怎样合理使用电池	56
3·20	怎样合理使用电声器件	58

第四章 电路结构及布线

4·1	看电路图必须注意哪些问题	61
4·2	在元件安装位置方面应注意哪些问题	63
4·3	选择布线用的导线及导体时应注意哪些问题	65
4·4	布线环路与噪声有何关系	68
4·5	怎样使用双绞线	70
4·6	怎样考虑布线的杂散电容	71
4·7	电路的公共阻抗与噪声有什么关系	74
4·8	设计印刷电路板时应注意哪些事项	76
4·9	在元件安装方面应注意哪些事项	78
4·10	元件、布线的连接以及在焊接中应注意哪些事项	80

第五章 噪声与地线

5·1	地线有什么作用	83
5·2	接地电路如何构成	87
5·3	噪声与接地方式有什么关系	89

5.4 确定接地电极时应注意哪些问题.....	91
-------------------------	----

第六章 噪声与屏蔽

6.1 感应噪声是怎样产生的.....	94
6.2 怎样实施静电屏蔽.....	96
6.3 怎样实施磁屏蔽.....	98
6.4 怎样实施电磁屏蔽.....	100
6.5 使用屏蔽线应注意哪些问题.....	102

第七章 温度与噪声

7.1 有关元件温升方面应注意哪些问题.....	105
7.2 半导体元件的特性是怎样随温度而变化的.....	107
7.3 怎样处理晶体二极管和晶体三极管的温升问题.....	109
7.4 如何考虑设备的自然冷却.....	111
7.5 如何考虑设备的强制冷却.....	113

第八章 寄生振荡

8.1 寄生振荡是怎样产生的.....	116
8.2 非正弦波与寄生振荡有什么关系.....	118
8.3 放大器在什么情况下会发生振荡.....	120
8.4 如何处理寄生振荡.....	123

第九章 脉冲电路与噪声

9.1 脉冲波形具有什么样特征.....	126
9.2 脉冲波形是如何随着电路条件不同而变化的.....	128
9.3 脉冲波形与噪声有什么关系.....	130
9.4 上冲或振铃是怎样产生的.....	132
9.5 怎样减小上冲或振铃.....	134
9.6 怎样对脉冲波形进行整形.....	136

9·7	怎样消除混入脉冲信号中的噪声.....	138
9·8	怎样利用选通脉冲来消除噪声.....	140
9·9	怎样消除混入触发脉冲中的噪声.....	142
9·10	怎样消除脉冲波形的相移.....	145
9·11	怎样消除加在脉冲波形上的交流声.....	147
9·12	在脉冲传输中应注意些什么.....	148
9·13	为抑制噪声,在脉冲电路结构上应注意哪些事项.....	150

第十章 抑制噪声的一般注意事项

10·1	在电路设计方面应具备哪些必要知识.....	153
10·2	怎样处理加在微弱信号上的噪声.....	155
10·3	对噪声源应采取哪些措施.....	157
10·4	为了抑制噪声,在设备维护上应注意哪些事项.....	159
10·5	对付噪声应抱什么态度.....	161

第一章 噪声及其种类

1.1 什么是噪声

〔1〕**噪声** 收音机、电话、内线对讲电话、扩音器、磁带录音机、立体声放音设备等电子设备都是用来真实地重放声音的。但在这些电子设备中，除了有用的声音信号外，常常还叠加诸如“嗡嗡”的交流声、“咔嚓咔嚓”、“嘎啦嘎啦”的“喀喇”声，以及“噗——”等连续振荡声。这种使有用的声音信号听不清，或给人以不愉快感觉的噪音，统称自然噪声。而把叠加在声电信号上（反应声音强弱的电变化）起干扰作用的电变化叫电噪声，简称噪声。

电视或传真等传送的影象或图片中，有时会出现白斑、波纹及镶边现象，造成图象模糊不清。这种对图象信号（影象或图片的电变化）起干扰作用的电变化，虽然和声音没有直接关系，但广义来讲，仍然可称为噪声。

更进一步扩大这个概念，例如在控制装置中，指令信号以外的电变化，使指示或指令工作失常；在测量仪器中，混入了应该检测的信号以外的电变化，会使测量指示产生误差；计数器计入了干扰脉冲，就会显示错误的计数值；造成电子计算机错误工作的各种干扰；影响机器正常工作的各种原因，例如冲击电压，或其他电的变化等，统统都称为噪声。

总之，所谓噪声的定义就是有用成分（信号）以外的干扰因素或造成恶劣影响的变化部分的总称。

〔2〕**噪声波形** 一般说来，电信号的波形表征某一个参

变量随时间而变化的情况。图1·1分别示出有用成分（信号）以及信号上叠加了噪声后的波形。从这一图中可以明显地看出，噪声使原信号波形失真了，或者说由于加上了多余的部分而变形了。

由图可知，我们所统称的噪声，具有各种不同的性质。噪声的种类及其引起的原因也是各式各样的，要从理论上来分类极为困难。根据具体情况，有的是一种原因引起的简单噪声，也有多种原因引起的几种相互混合叠加的复杂噪声。还有一种断续出现的噪声或者大体上虽能正常工作但又不时出现的噪声。产生噪声的条件是各种各样的，仅就上述情况，可以看出

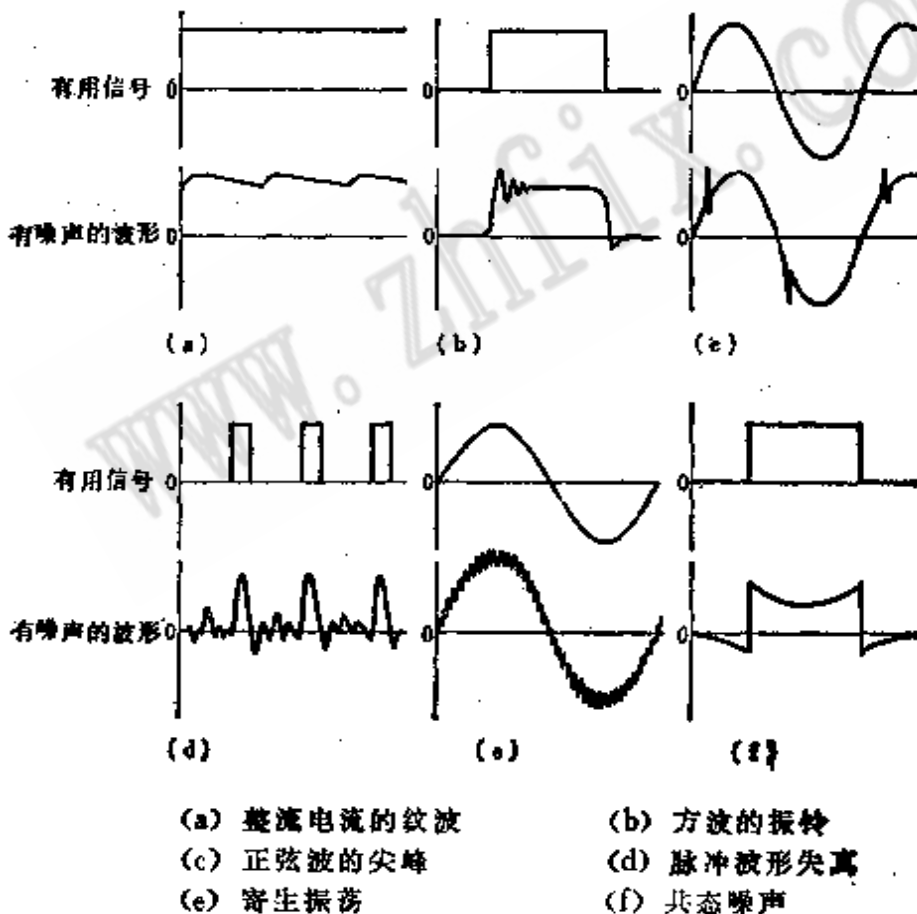


图 1·1

防止或消除噪声可不是件容易的事。

1.2 按理论设计安装为什么还会出现噪声

〔1〕 **电路图与真实电路的差异** 即使完全按照理论设计的电路图来安装布线，电路图和实物还有很大差别。图上用一根线表示的导线设计时是假设它无电阻的，但实际的导线却具有一定的电阻值。另外，当电流流过这段导线时，在它周围将产生磁场，导体本身也多少具有电感，它和其他被绝缘的导体间还具有一定的电容值。如将实际电路中的实际情况都画出来，就如图1.2所示。

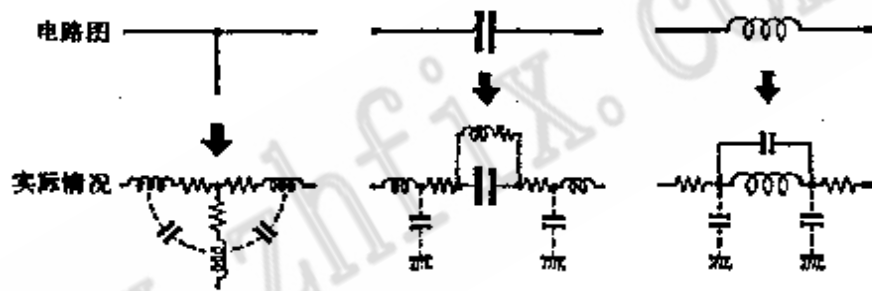


图 1.2

由图可知，实际上存在的很小的那些R、L、C在电路图中完全省略了。然而，即使这些数值很小，往往也会造成恶劣的影响。例如，当电路的使用频率很高时，被省略的C或L的电抗值分别为 $1/2\pi fC$ 或 $2\pi fL$ ，将成为一个不能忽视的数值。另外，电流流过导体时，因导体有电阻而要发热。发热不仅使阻值增大，而且导体中的电子也会因热骚动而产生电的起伏，这些均与噪声有关。

在电原理电路图上完全可按理想情况来标明电路元件。但是，例如一个标明0.1微法的电容器，其电容值并不正好就是

0.1微法，它还有 $\pm 10\%$ 的误差。再者，在频率较高的情况下，用于某些部位的电容器，就不能忽略它的引线电感的作用，因此它不是理想的电容。电容C除了起电容的作用外，还存在一个漏电阻，因而有漏电流流过。其他的绝缘导线间和导线和底板间的电容，变压器或线圈的漏磁通，高频电流通过电路的电磁辐射，开关接点间的接触电阻，焊接部分或异种金属间的接触电动势等等，都是图中没有表示的许多因素。这些实际存在的各种因素在电路图上全都省略了。

〔2〕**电路图和实际装置在结构上的差异** 电路图是用一些符号在平面上表示出来的，它把电路结构用图画出来，能使人容易看懂。但实际装置是立体的。从元件的形状、大小，以及配置来看，这与电路图当然并不一致。另外，从绝缘的种类或电流大小来选择导线的粗细、走线路径、连接线捆束方法等等都是实际制作时需要考虑的许多问题。在结构上也会遇到很多没有预料到的问题，所谓忠实地按电路图来安装布线的说法本身是不能成立的。

〔3〕**外部影响** 因为所安装的设备，是在地球上或宇宙空间工作的，当然必须考虑到外部噪声的干扰，例如太阳或其他天体辐射出的电磁波，地面的广播电台或通信发射台的多种信号的电磁波也充满了整个空间。另外，象交通工具、工厂或家庭使用的电气装置发出的电的或磁的干扰噪声也要穿过空间或通过电源线进入设备。例如，当使用汽车收音机时，由于其旁边有发动机点火装置，就会混入“嘎啦”声和点火装置发出的火花噪声。又如邻居使用理发吹风机时，电视图象上就会出现白斑。这些外部影响所产生的噪声的确是难以估计的。除此以外，气象条件、空中雷电、气温、湿度，甚至于地磁的影响，有时都不能忽视。

• 4 •

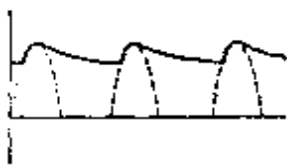
〔4〕 **元器件的质量** 组成电路的元器件，首先要选用质量合格的产品。但元件并不是每一个都真的经过检查，而是在批量中作抽样检查。这就难免要混入不合格的元件。若碰巧用上一个不合格元件，或使用可能不久就会损坏的元件，这都是造成故障的原因。

1.3 噪声有几种

〔1〕 **规则噪声** 电子设备的电源一般都是市用交流电（50赫或60赫）经半波或全波整流，再通过平滑滤波电路而得到的直流电源。这样得到的直流并不是像由电池供给的电源那样，是完全平滑的稳定电压，而是如图1.3所示那样，多少含有脉动成分（波纹）。在直流上迭加有电源频率（半波整流）或其二倍电源频率（全波整流）的噪声。另外，电源变压器及交流继电器的漏磁与电路耦合而产生的交流电动势，有时也会变成噪声。这种噪声称为交流声。这时听到的声音就有“嗡嗡”的固定音调。此外，由于电路的杂散耦合，当电路有放大作用时，部分输出将正反馈传至输入端，这时若电路条件合适，就会产生连续噪声。往往还有一种规则噪声，是由于感应其他电子设备的信号而产生的。

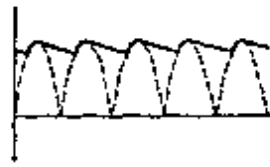
〔2〕 **连续的不规则噪声** 质量差的电阻器、电容器或半导体元件等，它们的额定值以及特性要随使用条件而变化。此外，整流子型的马达、半导体开关元件的压控电路，或者荧光类放电灯管，以及振动式断续器等在工作时，其产生的电流都要经过一个过渡变化，从而产生振幅、频率以及波形不规则的噪声。其波形如图1.4所示。

另外，电阻还会因温度升高而产生噪声电压。这是由于构



(a)

(a) 半波整流 的 波纹



(b)

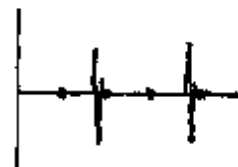
(b) 全波整流 的 波纹

图 1.3



(a)

(a) 整流子产生的噪声



(b)

(b) 半导体开关元件的噪声

图 1.4

成物质原子的外层电子离开了原子核的束缚，获得了与绝对温度成正比的热能，在各原子间不规则地运动而产生一个起伏电动势。由于电子的运动极不规则，出现了频谱极宽的噪声。大家知道，绝对零度时的电子能量为零，当温度每增加一度，能量增加 1.38×10^{-23} （焦耳），这叫波耳兹曼常数，一般用K表示（ $K = 1.38 \times 10^{-23} [J/K^\circ]$ ）。把常温 17°C 换算成绝对温度，即为 $273 + 17 = 290^\circ\text{K}$ ，在这个温度下，电子能量为

$$1.38 \times 10^{-23} \times 290 \approx 4 \times 10^{-21} [\text{焦耳}]。$$

如将上述能量视作电子的动能，则因一个电子的质量m为 9.105×10^{-31} 〔千克〕，由等式 $1/2mv^2 = 4 \times 10^{-21}$ 〔焦耳〕可求得速度v约为 10^5 米/秒。即电子的速度每秒约达10万米之多。而且电子的运动范围仅限于大约 $2 \sim 3 \times 10^{-10}$ 米的原子间隙中。电子在如此狭窄的范围内，作激烈迅速的运动，就产生了几乎占据整个频谱的噪声，这种噪声称作白噪声。

〔3〕间歇噪声或瞬时噪声 断续或间歇的噪声多半是外来噪声，是由于邻近的或共用同一电源线的电焊机或机床等在间断地工作时产生的。但也有由电子设备本身产生的间歇或瞬时噪声。例如电路中若有焊接不牢靠之处，则在某种条件下也会因接触不良而产生噪声。便携式电子设备或受到震动冲击的

电子设备会因振动或冲击而使电路工作条件变化，而产生噪声。

有的设备本身有指示灯等显示部分，根据要求应不规则地明灭。若是钨丝灯，则开灯时的瞬间电流要高达平时的电流5倍之多。当指示灯较多时，这种不规则的明灭作用往往也要引起间歇噪声。

1.4 不同原因引起的各种噪声

〔1〕内部噪声 这是设备内部产生的噪声，可以分为下列几种。

(a) 热骚动噪声 如1.3(2)节所述，当电阻在某一绝对温度 T 〔°K〕时，由于热能作用，电子骚动所产生的噪声几乎覆盖整个频谱。其有效噪声功率 P_n 由下式给出

$$P_n = KTB$$

式中 K 为波耳兹曼常数 (1.38×10^{-23} 〔J/°K〕)， T 是绝对温度〔°K〕， B 是带宽〔赫〕。这种噪声除了在超低温外是不可避免的。可以说不管怎样处理，所有电阻都会产生噪声。但温度越低噪声越小，所以要尽量抑制温度的上升。

(b) 颤噪噪声 (话筒效应噪声) 当设备受到机械冲击或振动时，元件或配线随之而振动，电路常数随之而变化，好象一个微音器，在电路内要产生起伏电压，这就是颤噪噪声。

(c) 散粒 (效应) 噪声 电子管阴极所放射的各个电子，半导体中的载流子都是一个个彼此独立的，所以在各个暂短的瞬间，它们都不是连续的而是不规则的。这种不规则性产生的电性能变化，就成为这种频谱范围很宽的噪声。

(d) 闪变(效应)噪声 电子管阴极物质的电子释放条件随时间而异,从而引起电性能的变化形成这种噪声。

(e) 交流声 电子设备的电源必须是直流的,一般都用交流市电整流而得。当平滑滤波器的性能不十分好时,会混入交流而产生噪声。另外,电子管的灯丝电路或指示灯电路的感应以及电源变压器的漏磁通,都会产生感应交流分量而成为噪声。

(f) 接触不良引起的噪声 电路布线的连接不牢靠或开关等接点接触不良都会引起噪声,这叫“喀咧”噪声或“噼啪”噪声。

(g) 尖峰或振铃噪声 由电路中电流的突变而在电感中引起冲击形或衰减振荡形的噪声。

(h) 感应噪声 由于电路的布线或元件相互间的静电感应、磁感应或电磁感应,使各电路间相互干扰产生的噪声。这种噪声是由于元件配置不合理或布线不适当以及接地不良等原因产生的。

(i) 自激振荡 是由于具有放大功能的电路中,其输出的一部分通过寄生耦合以正反馈加至输入端而产生的。

(j) 反射噪声 上下级电路不匹配,使传输的信号在接合点处引起反射,产生相位偏移,这就成为一种叠加在信号上的噪声。

(k) 内部失真引起的噪声 信号波形由于电路条件而产生畸变,其高次谐波分量受电路常数的影响更大,从而形成噪声。

(l) 元件结构或特性不良引起的噪声 扬声器或微音器等设备的结构不良或其它元件的特性不良所引起的噪声。

[2]外部噪声 来自设备外部的干扰引起的噪声,其种类

如下。

(a) 天电噪声 雷电现象或大气的电离作用，以及其他气象现象产生的电波，或空间电位变化所引起的噪声。

(b) 来自其他设备的干扰引起的噪声 一般说来，动力机械是一个较强的噪声源。使用整流子的电动机，高频炉及电焊机等无疑要产生噪声。甚至荧光灯或水银灯等放电灯管也不例外。这些噪声形成电波在空间传播开来，或通过电源线进入电子设备产生干扰。除此而外，邻近不同种类的电子设备也要产生干扰噪声，例如开关、电流断路器、过载继电器或其他继电器等动作时具有瞬变过程的设备，以及使用半导体开关元件的控制装置等等，也都是一个极强的噪声发生源。

(c) 无用电波引起的噪声 由于无用电波（其中包括有意的或无意的）的影响而感应的噪声。

(d) 天体噪声 太阳或其他恒星辐射电磁波产生的噪声。来自太阳的叫太阳噪声，来自其他天体的叫宇宙噪声。

1.5 正态噪声（串联噪声）和共态噪声 （不平衡噪声）的区别

〔1〕正态噪声（串联噪声） 如图1.5 (a) 所示，当两个电路靠近具有如图中斜线部分所示的公共面积时，流入一个回路的电流所产生的磁通与另一回路交链而产生感应电动势。这种感应电动势加在该回路电压上，相互形成另一回路的噪声。

在图 (b) 中，a-b为两回路电流的公共通路，由于 a-b段的导线有一微小的电阻，因此在a-b间产生一个与两回路电流之和成正比的电位差。这就使一个回路中的电压降加到另一回路上。

图 (c) 所示，两个靠近的回路即使没有象图 (a) 那样的公共交链面积，也会形成噪声。这是由于在成束的布线中，当两回路的导线平行时，一方电流的磁通与另一方交链，或者通过两导线间的分布电容，感应到另一方而造成的。总之，所谓正态噪声，就是由于某些原因，在信号电压 V_s 上加上一个串联的噪声电压 V_n 的分量，其情况如图 1.5 (d) 所示。就其意义来说，可叫串联噪声；如按其性质来说，也称平衡噪声，一般称为正态噪声。

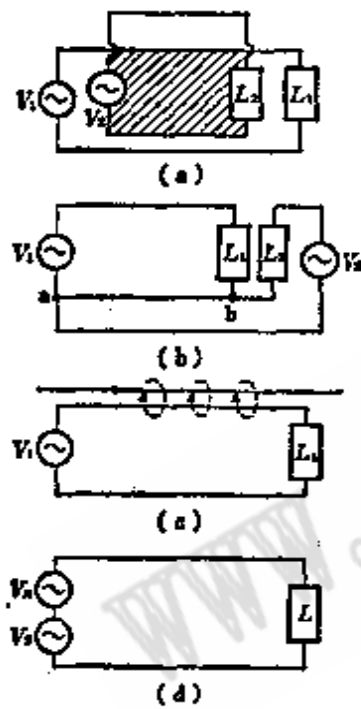


图 1.5

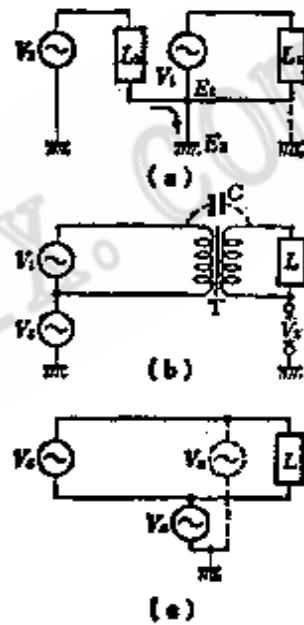


图 1.6

〔2〕共态噪声（共模噪声） 图 1.6 (a) 所示，在接地点 $E_1 - E_2$ 间，若有另一电路的电流流过时，即使 $E_1 - E_2$ 间的电阻极小，也要产生电位差 V_1 。这就使 L_1 整个回路对地的电位发生变化。另外，如图 (b) 所示，电压 V_1 加在变压器的初级端，则变压器次级端将出现电压 aV_1 (a 是变压比)。如果初级侧与

地之间存在一个电位差 V_2 ，则通过变压器绕组间的杂散电容，使次级线圈和地之间也加有电压 V_2 。换言之，次级整个电路的对地电位要因 V_2 而变化。这种相对于地电位产生的信号以外的电压变化，就叫共态噪声。就其意义而言，可称对地噪声，就其性质而言也可称为不平衡噪声。一般称为共态噪声，其一般情况如图(c)所示。图中 V_s 是信号电压， V_n 就是噪声电压。

〔3〕正态噪声与共态噪声的波形 图1·7是当信号为直流电压时，正态噪声与共态噪声二者的波形差别。

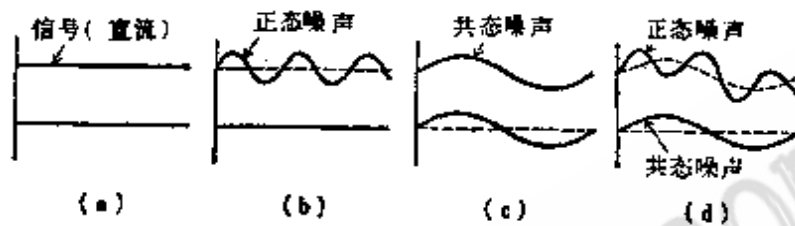


图 1·7

图(a)表示单纯的直流信号电压，图(b)表示信号电压串联加上交流电压的波形，也就是有正态噪声时的波形。图(c)表示基准电位—地电位的变动时的情况，也即产生共态噪声时的情况。图(d)表示同时受二者影响的叠加波形。

第二章 噪声的量度及其测量

2.1 怎样表示噪声或信号的大小

〔1〕声音 声音在媒质中传播时，媒质中某一点的密度与无声音传播时相比将产生忽大忽小的变化。换言之，该点媒质将产生疏密变化，从而引起压力的变化。图2.1 (a) 就表示了这种状态。现在假设媒质是大气，当没有声音传播时该点的气压为 P_0 ，有声音时该点的瞬间压力为 P_s ，则其变化情况犹如图 (b) 所示。一般把差值 $P_s - P_0$ 称为声压。实际上，有效声压值用下式表示，单位是压力的单位“微巴”。

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (P_s - P_0)^2 dt} \quad (\text{微巴})$$

也就是说，用瞬间声压平方的均方根值表示，和一般用随时间变化的有效值的表示方法是一样的。

为了度量更方便，常常用与某一基准声压（如果没有事先说明，就是通常人耳能听到的最低声压0.0002微巴）之比来表示。这个比值一般都很大，故常用对数值来表示，单位是分贝。

$$P = 10 \log_{10} \frac{p^2}{(0.0002)^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{0.0002} \quad (\text{分贝})$$

换句话说，若现在有某一音量是人耳能听到的最小音的10倍，则称该音的响度为20分贝，如果是100倍就是40分贝，1000倍就是60分贝。

表示噪声大小所使用的单位是“呖”，这种噪声单位要考

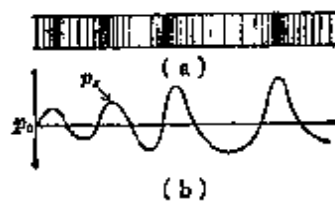


图 2.1

虑频谱。因为即使是同一声压，人耳感觉的声音强弱却因频率不同而不同。因为人耳对特别低的音或特别高的音感觉比较迟钝，所以要换算成1000赫频率的音来表示。例如，地铁噪声的音量为80听，这就意味着，人耳对该噪声的感觉到的响度等于人耳能听到的最小的1000赫声音的10000倍。

〔2〕**电信号或电噪声** 电信号或电噪声是时间的函数，和声音一样，其大小时刻都在变化，难以确定它的瞬时值。其度量方法和声音一样，也用常用电压的均方根值 $V_{r.m.s.}$ 表示，单位是伏特。然而，对峰值影响较大的噪声来说，由实测的均方根值即使很小，实际上却包含有害的很高的尖峰电压。所以噪声电压常用峰值电压 V_p 或峰—峰值 V_{p-p} 来表示，单位是伏特。 V_p 、 V_{p-p} 及 $V_{r.m.s.}$ 的情况表示于图2.2中。

在一般音频通信电子设备中，各机盘相互连接时，其接口阻抗多为600欧姆。所以用600欧姆的负载上消耗1毫瓦功率为相对功率的标准功率，并取其比值的对数（分贝）为单位。若以电压表示，则以0.775伏为零分贝，其电平大小如下式所示。

$$L = 10 \log_{10} \frac{P}{1 \text{ (毫瓦)}} \approx 20 \log_{10} \frac{V}{0.775} \text{ (分贝)}$$

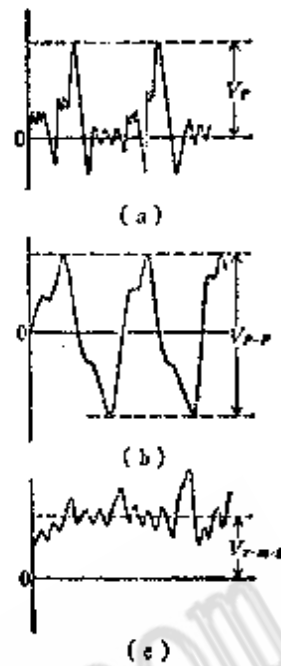


图 2.2

例如电信号电压的大小为7.75伏时，则其信号电平为20分贝，若为77.5伏，则信号电平为40分贝。

2.2 如何识别噪声

〔1〕混在直流上的噪声 主要指交流经过整流而得到的直流中所含的交流分量。这种交流分量（纹波）往往是产生噪声的原因。其大小用纹波系数来度量，定义如下：

$$\text{纹波系数 } r = \frac{\text{纹波电压 } V_r}{\text{脉动平均值(直流电压) } V_D} \times 100\%$$

其中纹波电压 V_r 是交流，因此有用有效值表示的，也有用振幅值表示的。一般经整流后直流电源都经图2.3 (a)所示的平滑电路或图 (b) 所示的稳压电路来供给负载所需直流电流。若 C_1 、 C_2 的电容量不够大时，纹波系数就很大。

由图可以看出，纹波系数也随c-d端所接负载而变化，所以当用示波器观测纹波分量时，必须在加载情况下，将示波器的输入端跨接在负载上即可。

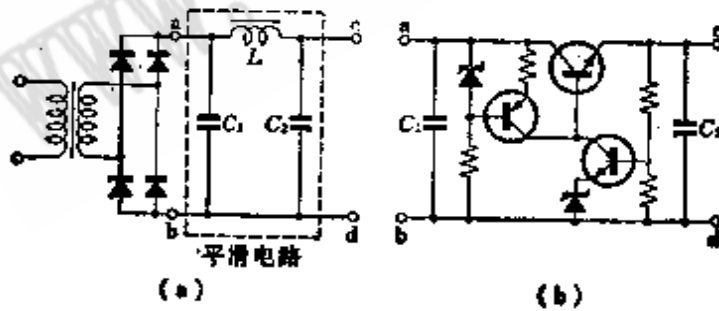


图 2.3

〔2〕混在交流中的噪声 一般所谓交流是包括正弦波与非正弦波。电子设备中所处理的信号如音响信号和图象信号固不待言，锯齿波及脉冲也属非正弦波。为了说明这类信号和噪声

的区别，首先，必须弄清非正弦波的含意。一般说来，非正弦波不论其波形如何，都是由很多大小不同，频率各异的正弦波叠加的结果，由于叠加情况不同，就能得到各种非正弦的波形。现列举一两例如图2·4所示。

图中 (a) 及 (b) 是在基波为 F 的正弦波上，叠加了二次谐波。由图 (b) 可以推知，如再迭加一些频率更高的正弦波时，最后就变成了图 (c) 所示的锯齿波。图 (d) 及 (e) 是叠加了 3 次谐波的结果。由图 (e) 可知，如再迭加一些更高次的谐波最后可能变成图 (f) 所示的方波。换句话说，锯齿波和方波都显然包含了从低频到高频的许多频率分量。如果这种非正弦波上叠加了噪声，从频率上来区分噪声是困难的。要区分噪声和信号，只好用示波器观测波形，或者用听觉来识别。若为图象信号则可观看实际的图象，这倒是一种最为迅速简易的辨别方法。

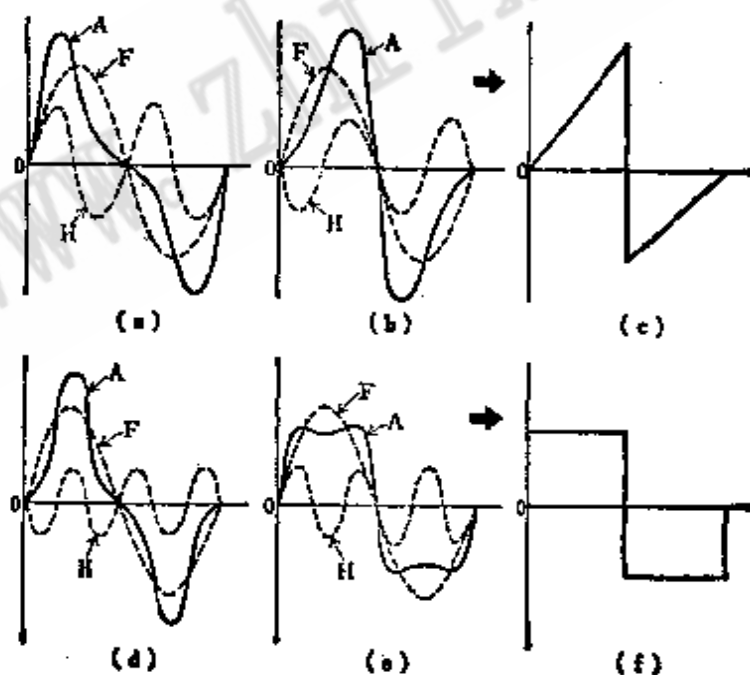


图 2·4

2.3 测量噪声及信号大小应具备哪些知识

〔1〕**测量中的注意事项** 电压表不仅有交流、直流之分，按结构、性能分类就更多。必须在了解所测信号或噪声性质的基础上，选择适当的电压表。否则，不仅测不准，有时甚至完全不能进行测量。例如，用测量电力的交流电压表来测量高频电压，用万用表测量方波，其指示都是无意义的。因此在测量之前，必须弄清以下诸点。

①电压是直流还是交流；若是直流，是平稳直流还是脉动直流；若是交流，其频率大致多高。

②电路的阻抗性质如何，从测定看进去的输出阻抗是高阻抗还是低阻抗。

③电压是什么形状，是正弦波还是非正弦波。

④要测量的电压值，是峰值，平均值还是有效值。

⑤所测电压以伏特为单位还是测其电平的分贝数。

⑥电压的大概数值，是毫伏级 (mV) 还是微伏级 (μV)。

要在弄清上述几点的基础上来决定测量仪器及测试电路。


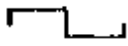



〔2〕主要测量仪器的性能

(a) 动圈式电压表 对这种程式的直流表，即使灵敏度高的，要使指针满度偏转，一般也需要流过大约500微安 (μA) 的电流。同时，电压量程越小，内阻就越低，故只能测量低阻抗点的电压。另外，由于可动部分的惯性，指针的偏转大小与流入动圈的电流平均值成正比，故在测量脉动电流时，指示的电压为平均值。

(d) 整流式电压表 内有整流器的电压表是将两端所加交流电压进行整流后，用动圈式表头来指示电压的。其刻度是交

流正弦波的有效值。因此在测非正弦波时需要根据被测电压波形，按表2·1进行换算。因为这种电压表的输入阻抗较低，不能用来测量高频交流电压。又因内部串联电阻在千欧姆级以下，故只能测量低阻抗点的电压。

表 2·1

波形种类	波 形	电表指示值	波峰值	有效值
正弦波		M	$\sqrt{2} M$	M
方 波		M	0.9M	0.9M
锯齿波		M	1.8M	1.04M
三角波		M	1.8M	1.04M
半波整流正弦波		M	$2\sqrt{2} M$	$\sqrt{2} M$

(c)真空管电压表 输入阻抗高达几兆欧或十几兆欧，可测频率范围：从10赫至几兆赫，电压范围：从毫伏级至几百伏；若用高压探针，则能测几千伏的高压。

(d)电平表 具有输入阻抗为600欧姆的低阻抗输入端子和10~50千欧姆的高阻抗的输入端子，故测量时可选取和所测设备的输出阻抗较为接近匹配的那一端子。调节所附可变电阻衰减器，就能测出电平的分贝值。

(e)示波器 在测量中，要用具有电压校准装置的同步式示波器。在刻度板上将校准电压的幅度和被测电压波形的幅度进行比较，根据倍率系数，求出电压值，就能测出各种波形的电压峰值。但是尖峰噪声测量要用宽带延迟扫描示波器。

〔3〕测量电路结构上应注意之点 在测量中应注意以下几点：

①确定是否需要接地，要接地时应采用正确而牢靠的接地方法。

②应考虑到电路的阻抗，一般应在匹配状态下进行测量。

③即使测量内部噪声，也决不能使输入短路，而应接以特性阻抗。

2.4 什么是信噪比(SN比)及分贝单位

〔1〕信噪比(SN比) 表示有用成分(信号)与干扰成分(噪声)的相对大小，即二者的比值称为信噪比或简称SN比。一般设信号功率为 P_s ，信号电压的有效值为 S ，噪声功率为 P_N ，噪声电压的有效值为 N 时，则用分贝(dB)单位表示的信噪比如下。

$$SN = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_N} = 20 \log_{10} \frac{S}{N} = 20 (\log_{10} S - \log_{10} N) \text{ (dB)}$$

由上式可知，信噪比的值越大，就意味着噪声的影响越小。信噪比为放大器或接收机等电子设备以及信号传输电路的性能指标之一。当信号及噪声电平都用分贝值表示时，信噪比即可以取其差值。

〔2〕分贝(dB) 除了信噪比而外，在处理信号或噪声的电压电平、放大器增益、滤波器和电阻衰减器的衰减量时，其比值大多也用分贝单位来表示。现在设两种功率为 P_1 ， P_2 ，则 P_1 和 P_2 之比值的常用对数值，即为贝尔(B)作其单位。在应用上为了便于处理，取贝尔的1/10为辅助单位，称分贝(dB)。然而功率与电流或电压的平方成正比，所以用电压或电流表示时其关系式为：

$$\begin{aligned} \log_{10} \frac{P_2}{P_1} [dB] &= 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} [dB] = \\ &= 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} [dB] = 20 \log_{10} \frac{I_2}{I_1} [dB] \end{aligned}$$

比值与分贝数的关系如表2·2所示。

表 2·2

比值	1/10	1/7	1/5	1/3	1/2	1/√2	1	√2	2	3	5	7	10	100	1000倍
dB数	-20	-17	-14	-9.5	-6	-3	0	3	6	9.5	14	17	20	40	60

若比值为4倍，就是 2×2 ，即 $6 + 6 = 12$ (dB)；若为6倍，就是 2×3 ，即 $6 + 9.5 = 15.5$ (dB)；8倍就相当于 $2 \times 2 \times 2$ ，即 $6 + 6 + 6 = 18$ (dB)；50倍就是 5×10 ，即 $14 + 20 = 34$ (dB)，按此方法即可直接从比值求出dB数。

2·5 什么是噪声系数，如何测量

〔1〕噪声系数 为了说明信号传输电路、接收机及放大器等电子设备内部噪声的大小，使用了噪声系数这个指标，用符号NF表示。它的定义是：设备输入端的信噪比与输出端的信噪比之比。设输入端和输出端的信号及噪声大小各为 S_i 、 S_o 及 N_i 、 N_o ，则噪声系数表示如下：

$$NF = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \quad \text{或} \quad NF [dB] = 10 \log_{10} \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o}$$

一般来说，由于加上了内部噪声，输入端的信噪比必然大于输出端的信噪比。两者的比值NF通常要大于1。所以比值越大，就表示传输设备中产生的内部噪声越大。即用噪声系数的大小，就能判断设备噪声性能的好坏。

〔2〕噪声系数的测量 以饱和二极管作为噪声源，其热骚动噪声作为被测设备的输入信号。这种能直接读出噪声系数的测量仪器有各种类型，图2·5是噪声系数测量电路的一例。

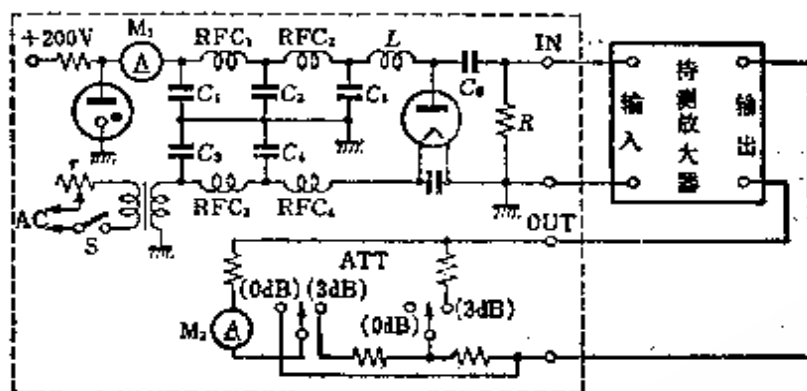


图 2·5

把待测放大器接在噪声系数测量仪上，使开关S断开，电阻衰减器ATT接在0dB档，读取电表M₂的指示。然后把电阻衰减器ATT接在3dB档上，接通s，调节r，当M₂的指示和S未接通前所读数相同时，读出M₁的指示。当R = 50欧姆，M₁是毫安表时，就能直接从M₁的指示读出噪声系数值。

第三章 噪声与电子元器件

3.1 怎样使用固定电阻（器）

〔1〕**电阻值和噪声** 电阻不论是线绕电阻还是薄膜电阻都是电子电路中必不可少的组成元件。在它的两端加上电压时，按照欧姆定律，必然有电流流过。大家都知道，电流流过电阻时，就要产生焦耳热，电阻的温度将随之上升。因热骚动而产生的噪声与电阻的绝对温度成正比，这是由于电阻内的电子随热能而产生不规则运动造成的。其有效噪声功率则用 $K \cdot T \cdot B$ 来表示（参阅1.4-〔1〕）。因此，噪声电压的大小与绝对温度和电阻值乘积的平方根成正比。电阻值越大，温度上升越高，产生的噪声也越大。电阻值的大小是由电路要求来决定的，因而要抑制噪声，就必须抑制温度的上升。

〔2〕**电阻功率容量** 电阻除了要标出电阻值而外，还要标出额定功率值，例如， $20K\Omega$ 、 $1/2W$ ，或 $5K\Omega$ 、 $2W$ 。从外形上看，额定功率的瓦数越大，体积一般也就越大。体积大，就易于散热，以防电阻温度上升过大。允许加在电阻两端的最高电压可由下式求得：

$$\text{工作电压} = \sqrt{\text{瓦数} \times \text{电阻值}}$$

例如上述 $20K\Omega$ 、 $1/2W$ 的电阻最高允许电压为 $\sqrt{1/2 \times 20000} = 100[V]$ ，流入电阻的电流最高允许值为 $100[V] \div 20[K\Omega] = 5[mA]$ ，使用的最高电压尽管取决于上式，但从结构考虑，仍有如表3.1所示的最高限定值。

但是，即使在这临界值内还是不能令人放心的。从噪声抑制措施来说，温度高于常温是不利的，故额定功率应该有足够的富裕量。

表 3·1

额定功率		1/8	1/4	1/2	1	2	3	4	5
最高允许 电压 (V)	薄膜电阻	250	250	250	500	750	750	750	1000
	实体电阻	—	250	250	500	500	—	—	—

〔3〕电阻的安装方法 当一个电阻的额定功率、阻值选定后，且加在其两端的电压决定后，通过这电阻的电流当然也就决定了。不论电阻的形状大小如何，所产生的热量都是一固定值。但温升的大小还与采取什么散热措施有关。在不能采用强制通风而依靠自然空气对流来散热的情况下（如图3·1所示），在安装方法上必须做到使空气充分流通。当几个电阻集中在一起，且与接线板平行安装时，要受相互散热的影响，故应特别注意相互之间的隔离和使空气便于对流。

〔4〕线绕电阻 一般的线绕电阻既是电阻又是线圈。例如用电阻丝按图3·2(a)所示的绕法绕制的电阻，留在其轴向存在变化的磁通时就要产生感应电动势而形成噪声。反之，若在其

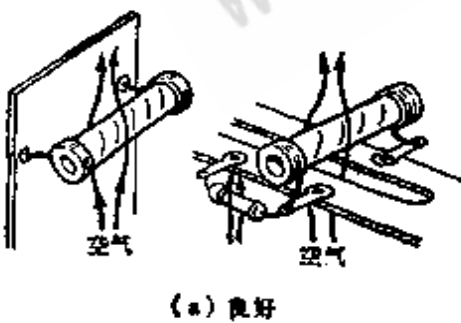


图 3·1

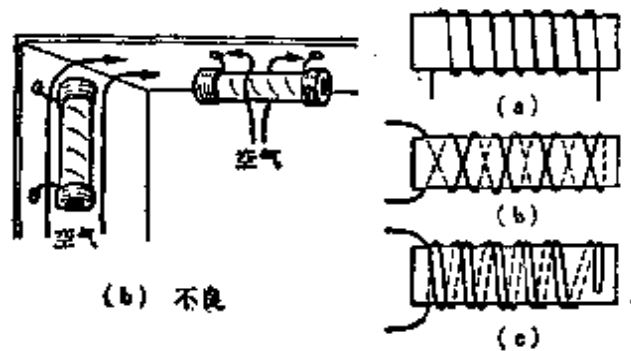


图 3·2

中流过交变电流，则在其周围要产生变化的磁通，它对其邻近电路可能产生干扰。因而线绕电阻应采用图(b)、(c)所示无感绕线法。同时，还要采用减小对其他部分影响的安装方法。

3·2 怎样使用可变电阻(器)

〔1〕**电阻值和噪声** 和固定电阻一样，可变电阻也会产生与电阻值和绝对温度乘积的平方根成正比的热噪声。为了不改变电路要求所决定的电阻值，而要尽量抑制焦耳热引起的温度上升，故应选取有一定富裕量的额定功率。

〔2〕**电阻的功率容量** 额定功率容量和电阻值在可变电阻的盖子上或侧面都有数字标明，因此只要注意加在两端的电压。它和固定电阻一样，不能超过下式所规定之值。

$$\text{最高工作电压} = \sqrt{\text{额定功率} \times \text{电阻值}}$$

由于结构和绝缘等关系，尽管根据额定功率，按上式求出了临界值，但使用电压一般还应低于该值。另外，流经电阻的电流在整个电阻可变范围内的任一点，都不得超过由下式求出的数值。例如， $5\text{K}\Omega$ 、 2W 的可变电阻，其允许电压和电流分别为

$$\text{工作电压} = \sqrt{2 \times 5000} = 100 \text{〔伏〕}$$

$$\text{工作电流} = 100/5000 = 20 \text{〔毫安〕}$$

用图3·3所示的连接方法，即使a-c间的电压低于使用电压



图 3·3

也是不恰当的。这是因为当滑动触点b靠近a时,a-b间的电流有过大的危险。所以必须注意,在任何使用状态下,流经电阻任一段的电流都不能超过上述数值。

〔3〕考虑到噪声时可变电阻的使用方法 可变电阻通称电位器,多用于信号分压,串在电路中限制电流。电阻本身有线绕的、薄膜的及实体的3种。不管哪一种类型,都是通过滑动触点的位置来改变其阻值的。为了抑制噪声,特列出以下使用要点。

①因线绕电阻的阻值是跳变的,如迅速地移动滑动触点,就容易出现“喀喇”“喀喇”的噪声。所以在必须经常改变阻值的地方,最好不要使用。

②有些时候滑动触点和电阻的接触点因长期使用而变化,会造成接触不良而引起噪声,所以应避免使用质量低劣的可变电阻。

③当用于限制电流时,如按图3-4(a)的连接方法,由于接触不良,有时会引起回路电源的瞬时中断。因此以采用图(b)的连接方法为宜。

④可变电阻的种类有密封和非密封之分,非密封式的可变电阻尽管价格低廉、体积小,但是易受潮气及尘埃的影响。这种影响很容易成为产生噪声的原因。所以最好选用密封式的。

⑤与转轴连动的带开关式的电位器和同心双轴双连式的电位器应用得很广泛,但有时由于相互感应而会产生噪声,或者引起振荡。故最好避免将两个相距很远的电路同用一个同轴电位器。

⑥在使用可变电阻器时,必须注意以下之点。因为调节轴要伸出到面板上,所以从电路的连接点到电位器的接线往往是比较长的。在这种情况下,即便是印刷电路板,接线也不在印

刷电路板上走线而应直接用两根绝缘线（双股绞线）或屏蔽线以最短距离连接，也就是采用所谓的跨接线的布线方法。这对于抑制噪声是有效的，见图3·5的布线例（参见4·5节）。

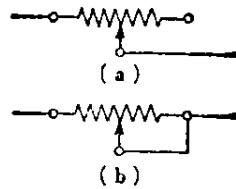


图 3·4



图 3·5

3·3 怎样使用电源变压器

〔1〕漏磁通的处理 电子设备中电源变压器的作用多是将50赫或60赫，100伏或220伏的电力线电源变换成所要求的高压或低压。电流流过初级绕组产生磁通和次级绕组交链，在次级产生与线匝成正比的电动势。但产生的磁通并不是全都有效地作用于电压变换，在变压器外面会出现漏磁通。这一漏磁通将影响其他电路，形成噪声。

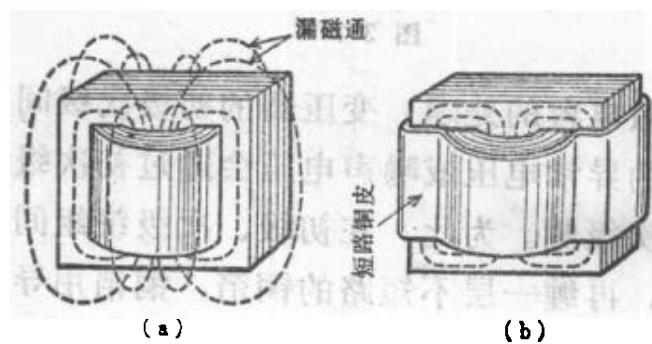


图 3·6

即使是图3·6所示的壳式铁心变压器，如该图（a）所示，也有漏磁通溢出铁心。为了防止漏磁通，可如图（b）所示，在变压器的周围包一层铜皮，且两头焊接，使之短路，也可以是用短路线圈。乍看起来，好象是这个短路线圈会妨害正常工作，但事实并不是对所有磁通短路，因为铁心整个在短路圈里面，和短路圈交链的只是漏磁通，对其它磁通无影响，故流过短路圈的电流并不太大，只有抵消漏磁通的作用。不过只是这样还不能完全防止漏磁通。要更完全避免漏磁通，可以把变压器装在良好的屏蔽罩内。如果由于屏蔽罩的导磁率不够大，可在内侧再装一层矽钢片或坡莫合金片。用坡莫合金时，如要进行切割等加工而硬化，降低其导磁率，故在割断或弯曲后一定要进行退火。加了这些措施后一般可以认为是没有什么问题的了，但如果还不放心，在装配时可使电源变压器远离易受影响的电路（参见6·3节）

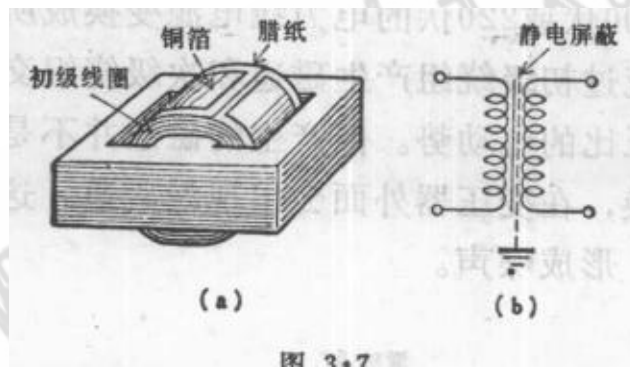


图 3-7

〔2〕对杂散电容的处理 变压器的初级次级间虽然是绝缘的，但初级侧的异常电压或噪声电压会通过初次级绕组间的静电电容耦合到次级侧。为此，在初级、次级绕组间除了夹上腊纸或塑料膜外，再缠一层不短路的铜箔，铜箔用导线接地（见图3·7）。于是初、次级绕组间只有磁耦合，而静电耦合则因被隔离而消除了。初级侧的噪声或异常电压也就不可能再通过绕

组间的电容出现在次级侧。然而在已制成的变压器上，再进行这样的加工是很费事的，所以考虑到使用上的需要，在订购时要注明“带静电屏蔽”。特别在工业计量上所用的微电压变压器对屏蔽的要求更高，要用两层或三层上述那样的铜箔来隔离。

〔3〕安装上应注意事项 变压器的安装方法或安装位置与噪声很有关系。例如小形变压器的安装螺栓，它既用以固定屏蔽罩，还用以紧固铁心，故在安装时，如果此螺丝上得不紧，不仅铁心要哼哼作响，还会增大漏磁通。另外，变压器的安装必须远离怕受影响的电路，而且还要选择有利于散热的位置。

3.4 怎样使用线圈

〔1〕扼流圈的处理 低频电路用的带铁心的扼流圈如图3.8所示。由于其磁路的中夹有硬纸板之类的东西，形成了一个空气隙，故其外形虽然和变压器大致相同，但其漏磁通却比变压器多。此外，流入扼流圈的电流很少是正弦波，一般都为非正弦波。这种电流在扼流圈两端要产生随电流变化的反电动势，这种反电动势就往往成为电路的噪声源。为了抑制噪声，在扼流圈的安装位置或安装方向上必须充分考虑到和其他电路的关系。整流电流的平滑电路，如在平滑电容器上的电荷为零的状态下接通电源，在接通的瞬间，平滑电容器的两端电压为零。此时整流的脉动电流达最大值，则在所用扼流圈的两端将产生很高的电压。因此，如果线圈的层间绝缘不良，层间的绝缘就会遭到破坏而烧毁。这时即使在平时一般工作的电压之下，只要稍有一点异常的漏电流流过，都可能成为形成噪声的原因。为此，必须采用绝缘良好的扼流圈，特别是输出直流电压高的大容量整流电源，应串接一个限流电阻，使它在平滑电

容器起动瞬间起限流作用。

(2)空心线圈的使用 高频回路的扼流圈、变压器以及滤波器的电感线圈、调谐回路的线圈等,全用胶木骨架或橡胶电木骨架,也有用陶瓷骨架及塑料骨架的。线圈的绕法有平绕式和蜂房式两种。线圈工作时,一方面在其周围要产生随电流而变化的磁通,另一方面,如果在周围存在着磁通并与线圈相交链,那么就要在线圈里产生随这外磁通而变化的电动势。不论哪种情况都会产生噪声。因而,应注意考虑屏蔽问题。为了同时对线圈进行静电屏蔽和电磁屏蔽,可把线圈放在铝罩内。线圈罩的尺寸要比线圈的直径和长度大一些,要有足够的余量。当然线圈罩要很好地接地。为使线圈罩和线圈的相对位置不致随振动或冲击而变动,必须妥善固定(参见6·4节)。

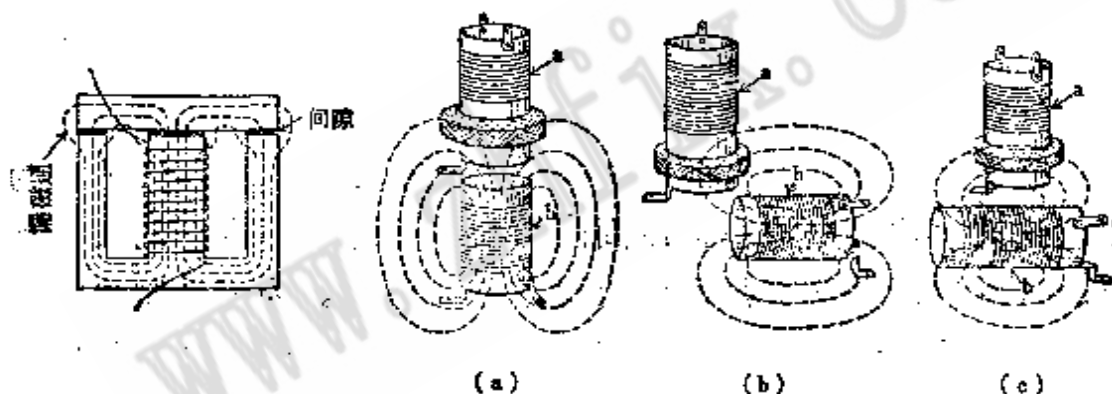


图 3·8

图 3·9

根据电路条件,当需要把几个线圈安装在一起时,应设计一种最佳的安装方法,使一个线圈产生的磁通不与或很少与另一线圈交链。图3·9中举出了三种安装情况。

图(a)中,a、b两线圈的轴线一致,a、b线圈的磁通相互产生影响。还有一种情况是两线圈其轴线相互平行地安装(图上没有画出来)。这时其结果与(a)相同,只是交链的

磁通方向相反。图 (b) 比图 (a) 的交链磁通少得多，但仍有交链。最好安装成图 (c) 那样的丁字形。乍一看，好象不恰当，因为b线圈的磁通还是不少经过a线圈，而a线圈的磁通也通过b线圈。实际上，由于a线圈的磁通在b线圈左半部分和右半部分交链的磁通方向相反，电动势相互抵消，故在b线圈的两端不会出现电动势。而b线圈产生的磁通则因其方向与a线圈平面相平行，故也不感应电动势。

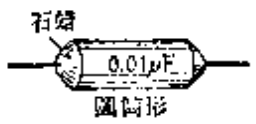

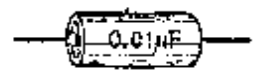


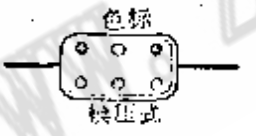


3.5 电容器有哪些种类，其特征如何

〔1〕固定电容器 表3.2汇总了各种固定电容器的大概结构和特点。此外，还有大容量电容器和由几个电容器组合成的组合电容器，除了表3.2外，还有铝电解电容和钽电解电容，其特点是耐压低，有极性（也有无极性的），体积小，电容量大。

〔2〕可变电容器 旋转转轴，动片转动，改变相对于定片的面积，这样的结构可以使电容量从最小值变动到最大值。常见电容片的几种形状如图3.10所示。图 (a) 的旋转角度与容量变化成正比，叫线性容量式；图 (b) 的旋转角度与谐振频率（当它与某一线圈组成谐振回路时）成正比，叫线性频率式；图 (c) 的形状是旋转角度与谐振波长成正比，叫线性波长式。这是为了适应各个不同用途，使度盘刻度能刻成等间隔的。

另外，有一种俗称薄膜可变电容器的小型可变电容器，其动片和定片间用聚乙烯薄片隔开，使二者不能接触，同时可以加大静电容量。还有供调整用的半可变式微调电容器以及垫整电容器，这些都是在金属电极间隔以云母片，通过调节螺钉的

表 3-2

名 称	外 形	结 构	特 点
纸〔质〕电容器		铝箔夹着绝缘纸，卷成圆筒，用石蜡固封。	廉价，重叠圆筒，容易得到各种电容值。
金属化纸介电容		金属蒸发在绝缘纸上，卷成圆筒。	比纸质电容小，即使绝缘一度被击穿，也能自然恢复。
油浸电容器		铝箔夹绝缘纸卷成圆筒，浸于绝缘油中，装入塑料筒内。	耐压比纸质电容高，稳定性好，适用于高压电路。
聚苯乙烯 (薄膜)电容器		用聚苯乙烯代替绝缘纸，卷成圆筒。	温度变化对电容量的影响小，损耗小，绝缘电阻非常高。
聚酯树脂电容器		铝箔夹聚酯树脂薄膜卷成圆筒。	频率特性好，且稳定，但温度特性不太好。
云母电容器		用云母作绝缘物，用酚醛塑料固封。	绝缘性能好，损耗小，电容量变化小，但电容量小。
钛(介质)电容器		是以氧化钛作原料的陶瓷制品，和薄膜电阻很相似。	高频损耗小，适用于微小容量的电容器。
陶瓷电容		钛酸钡四片作基片，其上涂以银层作电极。	介电常数非常高，体积小而电容量大。

松紧来调节电容量。这两种电容器的外观示于图3-11。此外，还有在一轴上纵向连接2个或3个可变电容器的双连或3连可



图 3·10

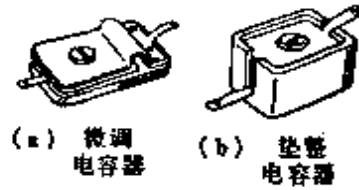


图 3·11

变电容器。

由可变电容器产生的噪声，大多是由于动片与定片间夹有尘土等脏物的缘故。当动片和定片间加上高压时，将有电流通过尘土，或者使尘土碳化而产生很大的噪声。也可能在极片间附着金属粉末以及转轴中心因松动而造成两组极片间产生活动短路而引起噪声。

3·6 在抑制噪声的措施上， 怎样掌握电容器的特性

〔1〕电容器的非额定特性 作为电路元件的电容器一般只考虑其电容量值，通常标称值也只标出电容量。在理论上也只是按电容量来处理。但实际上一个电容器的等效电路却如图 3·12 (a) 所示。这是由于好多电容都卷成圆筒形故而存在着电感和极间绝缘电阻，同时，对小容量电容器还存在着不可忽视的引线电感等等。这些阻抗是随频率而变的，其阻抗频率特性如图 (b) 所示的 V 形特性。其具体情况又随电容器的种类或电容量的不同而有各种各样的形状，如图 (c) 所示。

从理论上分析，电容器的阻抗为 $1/\omega C = 1/2\pi fc$ ，故通常都认为，电容 c 越大，频率 f 越高，阻抗就越小。但由图 3·12 可知并不一定如此。因而当作为旁路电容，或作为滤波电容及耦合电容时必须注意这种情况。因此，在有的电路中，在一个大容

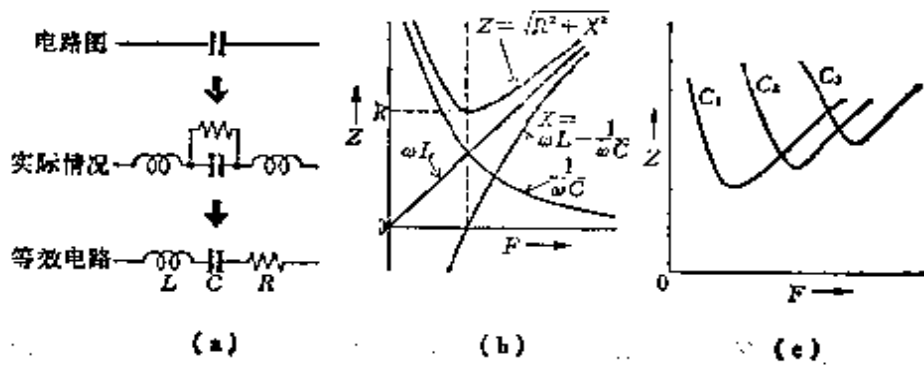


图 3-12

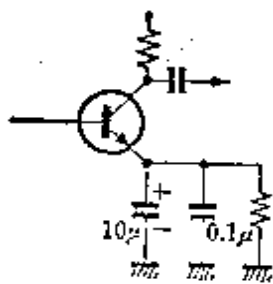


图 3-13

量的电容器旁还并联一个比它小得很多很多的小容量电容器，如图3-13所示。其原因是由于大容量电容器常常存在明显的电感，故在高频时它的阻抗并不小。为使高频时也能很好地旁路，故又并联一个小容量电容器。此外，由于布线等原因也常采取这种做法。

〔2〕耐压、额定电压及工作电压 能安全地加在电容器两极板间的电压是有一定限度的，它取决于电容器两极间的间隔和绝缘介质的性质。也就是说，所加电压超过某一临界值时，绝缘就会被破坏，两极间形成短路（通称击穿），也可能引起爆炸。电容器能承受的最高电压叫耐压，用加在两极间的电压峰值（ V_p ）表示。此外，电解电容器等通常可使用的电压叫额定工作电压，用工作电压（WV）的符号表示。而实际使用的工作电压应低于标称值。使用电压和额定值的比，叫电容器的应变系数。它越小，电容器越不容易损坏，故障率就越低。例如，在常温下使用铝电解电容器，若工作电压选在额定电压的1/2，其故障率约可降低到应用额定值时的1/5左右。可见从安全角度出发，应选择额定工作电压高一些的电容器，产生故

障的可能性就小。但是这样会增大体积，且价格也贵。应当二者兼顾来选择适当的电容器。

〔3〕**极性** 对一般电容器无需注意加在两极上的电压极性，但电解电容器则有极性规定，用 \oplus ， \ominus 号标明。一旦弄错极性，加上电压就要损坏。即使电压平均值的极性符合要求，也还必须弄清楚当叠加上交流及尖峰噪声的负峰值以后，是否会出现反极性现象。

〔4〕**环境温度的影响** 电容器的额定电压一般是规定在常温下使用的电压，工作温度大约可达 40°C 。但根据实际情况，不得不在高温下使用时，应适当降低工作电压。表3-3给出了电压降低率。

表 3-3

种 类	环境温度($^{\circ}\text{C}$)					
	40	50	60	70	80	85
纸质电容器〔%〕	100	98	89	77	60	51
金属化纸介电容器〔%〕	100	98	93	86	75	68

3.7 使用电容器应特别注意哪些问题

〔1〕**电解电容器的使用** 电解电容器是在铝或钽薄片上经过处理附上一层氧化膜，浸入糊状电解液，卷成圆筒装在铝壳内（有的也有用纸壳的）。电解电容器的体积小，电容量大，但耐压较低，有极性。此种电容器可用来作整流电源的平滑电容器及偏压回路的旁路电容器等。使用时注意事项如下。

(a) **漏电流** 通过极间绝缘物流过的漏电流比其他种类

的电容器的电容值，而且其电流值不定。特别是受到机械冲击或振动时，极片受振动，漏电流的大小也随之变化，这就是引起噪声的原因之一。如在音频电路中就会出现“囉囉”或“吱吱”等讨厌的噪声。由于漏电流引起的热损耗，电容器本身也要发热，密封电容器如果没有图3·14 (b) 所示的防爆阀，铝壳就要膨胀产生变形，甚至有时还会由于压力增得太大而爆炸。最近还出现图3·14 (b) 所示将封套部分作成防震型的低噪声电解电容器。它不仅有防爆阀，而且能防止电极振动，能减小噪声。这种电容器常用于汽车收音机及其他经常移动的携带式电子设备中。

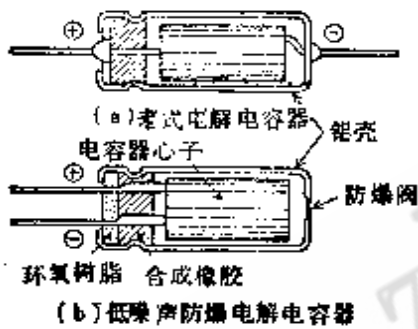


图 3·14

(b) 阻抗特性 电容器的电极结构，大多是卷成圆筒形，这样可使电容量大，但因此电感也大，对于高频其阻抗也就相当的大。所以单独用电解电容器来做高频电路和脉冲电路的旁路电容器时，很容易产生自激振荡，对抑制噪声是不合适的（参见3·5〔1〕或8·2）。

(c) 电容量衰退 由于电解液的性质或电极氧化状态的变化，在长期使用中，其电容量将逐渐减小。在较坏的情况下，甚至会下降到标称值的 $\frac{1}{10}$ 以下。平滑电容器出现这种情况时，就会引入剧烈的交流声；用作旁路的电容器出现这情况时就要产生振荡。在极端情况下，甚至电容器内部引线和极片连接处断开了，致使电容量等于零。这些情况在外表上都是看不出来的。

(d) 击穿 由于过压或质量不好产生局部漏电，继而发

展到使两电极短路叫击穿。电解电容器特别容易产生击穿，对付它的最好办法是使工作电压尽量低于额定电压。

(c) 安装 因为电解电容器不耐热，应把它安装在距离发热电阻和真空管较远而且散热良好的位置。另外，外壳是 \ominus 极，一般没有绝缘物覆盖，如和其他导体接触，就成为噪声和故障的原因。安装时必须牢实地固紧。特别是对于携带式或易受振动的设备，尤其应当注意。

〔2〕小容量的电容器 用在高频电路中的电容器，因为其电容量是极微小的，只有几微微法，不能忽视引线电感。因此要尽量缩短连接导线的长度。但仅仅这样做是有限度的，还必须在电极引出线上想办法。现有图3·15所示的各种结构，可根据产品目录选择适合的电容器。图(a)是大家都熟悉的钛电容器，其容量只有几十微微法。图(b)、(c)、(d)、(e)为适用于高频电路的电容器。其中(e)完全没有引线。

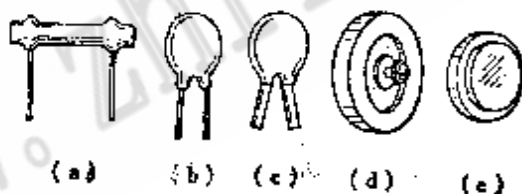


图 3·15

3·8 使用旁路电容器应掌握的知识

〔1〕旁路电容器 若有一个直流和交流叠加在一起的电路，但其中的交流成分是不需要的，为了提取只与直流电流成正比的电压分量，可用一个电容器和负载电阻并联，这个电容就叫旁路电容，如图3·16中的c。众所周知，直流电流不能通过电

容器，交流电流则既流入电阻也流入电容器C。不过在交流频率足够高，或C的容量足够大时，C的电抗将远小于R，则大部分交流成分将流过C，所以R两端的电压基本上只与直流成分成正比。这情况常见于电子管电路或晶体管电路的偏压电路中。

〔2〕旁路电容器中的电流 流过单纯交流电路中的调谐电容器的交流电流大致与理论值相符合，但旁路电容的情况则由于有直流分量存在而有所不同。也就是说，在图3·16的电路中，在正常工作时电容器由R两端的直流电压分量充电，另外因为C很大，故其交流电压分量极小。因而流过C的交流电流

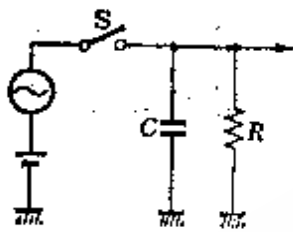


图 3·16

并不那么大。但在开始瞬间，即当开关S刚闭合的瞬间，由于C上的电荷为零，这时就有很大的瞬变电流流过电容器。因而在这种场合必须选择能经受大电流的电容器。下面再分析一下整流电源中的平滑电容器的工作特点，它和上述旁路电容的情况相类同。

在图3·17所示的全波整流电路中，若不接负载R，则当电源开关S闭合的瞬间，电源变压器的次级端感应的交流电压在交流的每半周交替地通过整流管 D_1 及 D_2 给电容器C充电，直至其两极电压达到次级端交流电压的最大值，并保持该电压不变。当接上负载R后，就成图(b)所示的脉动电流而产生纹波分量。这时流过平滑电容器的电流波形如图(b)下面所示的曲线。图中电流零轴上侧表示从电源流入电容器的充电电流波形，而下侧表示从电容器流入负载的放电电流波形。在交、直流叠加的情况下，一般可以简单地认为交流流过C，直流流过R。当然这和实际电流的流向多少有些差异。但是，这样看待

稳态工作还是可以的。问题在于开关S刚闭合的瞬间，在图(a)中，由于在充电电流回路中串接了大电感L，所以对C₂来说，问题不大，但对C₁来说整流电压直接加在它的两端，流过C₁的瞬时充电电流就很大。

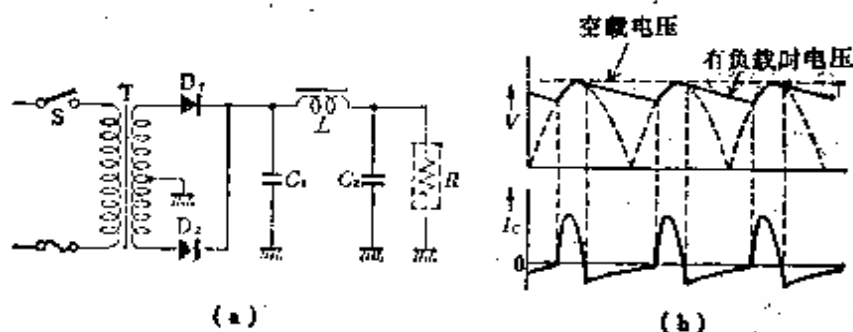


图 3-17

[3] 电容器上的电压和电流的关系 电容器充电时两端电压逐渐上升，电容器放电时两端电压逐渐下降，其变化曲线如图3-18所示。在图(a)所示电路中，开关S合向1端时电容C充电，经一定时间后，S合向2端使之放电。这时C两端的电压随时间的变化曲线示于图(b)，图(c)则表示电流的变化。

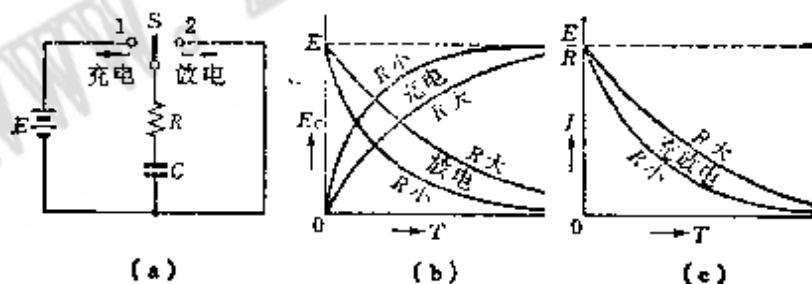


图 3-18

3-9 从抑制噪声上考虑怎样正确使用旁路电容器

[1] 自偏压 电子管电路或晶体管电路的偏压，一般都是

利用阴极电流或发射极电流的直流成分流过电阻来产生的，这叫自给偏压。由于信号的交流成分叠加在阴极电流或发射极电流上，所以要在这电阻上并接一电容器，使交流接地，如图3·19。因为这个电容是起旁路作用的，故称旁路电容。自偏电阻两端的电压一般较低，故旁路电容器的耐压也可稍低，但要求电容器容量较大。因此一般都使用电解电容器。

当信号频率是音频范围的低频时，只用一个电解电容器就行了。一到高频，电容器本身的电感及引线电感的作用就不能忽视。因此，在原理电路图上可以画成图3·19(b)，但实际布线应按图(c)所示那样，尽量缩短电容器的引线。对更高频率或脉冲回路，如图(d)所示，就应并接小容量电容器，尽量降低合成阻抗（参见3·6节）。

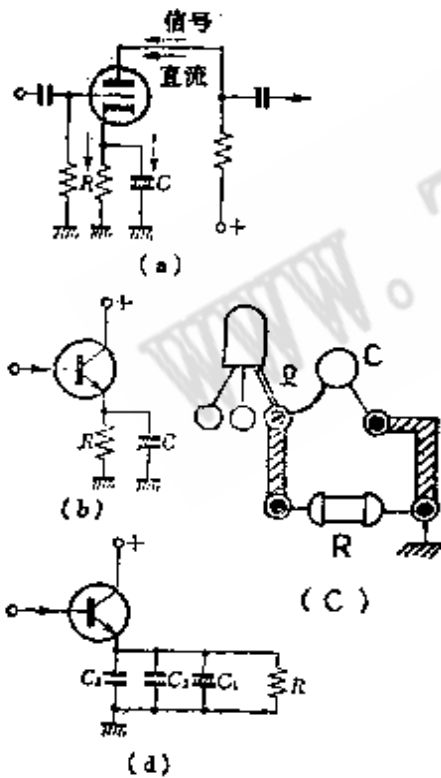


图 3·19

在这种场合下应注意，要使小容量电容器的接地导线尽量缩短，而且各个电容不要分别接地，而要并在一起后在一点接地。流过电阻的电流是直流成分，所以引线即使长一点也问题不大。

〔2〕电源电路 架空电线不只是供给市用交流电，而且还是又长又大的天线，它引入的各种高频电波成分，通过电源变压器（分布电容），成为电子电路噪声的来源。抑制噪声应采取防患未然的办法，也就是说在电源变压器的初级侧加低通滤波器或旁路电容器。通过这一电源进线低通滤波器或旁路电容

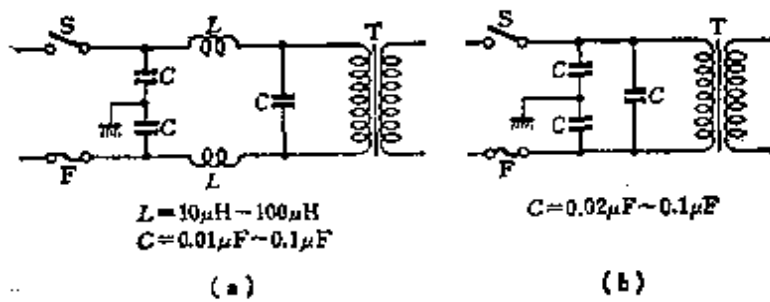


图 3·20

器使高频干扰入地。电路举例见图3·20。

如要更好地抑制噪声，就要像图3·21那样，在整流电路及直流输出端也接以高频旁路电容器，并使脉冲式冲击性噪声入地（接地方法参阅第5章）。

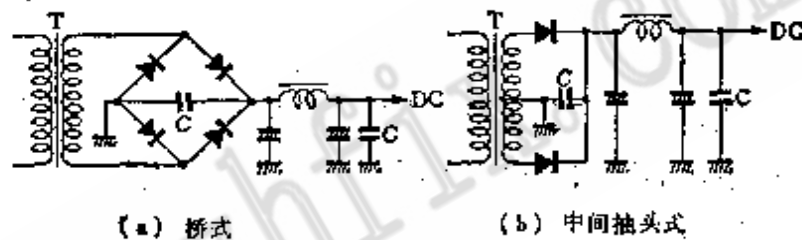


图 3·21

这些电路用的旁路电容器的高频特性要好，也要有足够高的耐压性能，故多用云母电容器。容量可取0.02微法左右。

3·10 怎样使用耦合或去耦电容器

〔1〕去耦电容器 从作用来看，去耦电容器和旁路电容器相似。如果说整流电源平滑电容器的作用是消除可能从电源端流入负载端的纹波成分，则去耦电容器的作用就是防止负载端产生的变动成分返回电源端从而对其它部分电路产生干扰。也就是说，当把负载端电路看成噪声源时，去耦电容器的作用就

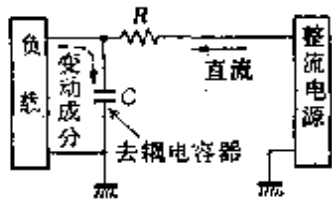


图 3·22

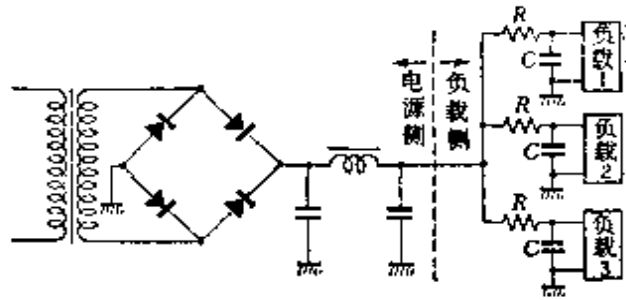


图 3·23

和平滑电路的旁路电容的作用是相同的，见图3·22。

当一个整流电源要供给几个电路的直流时，如图3·23所示，必须在接近各电路的直流输入处分别接上去耦电容器。

要是不加这种去耦电路而直接汇接，某一个负载的变化将会通过电源而影响其他负载，例如高增益放大器等，终端的变化会影响前级的激励器，因而产生汽船声等，故应设法消除它的影响。去耦电容器对电路下限频率必须具有很低的阻抗，而且要采用能耐高压的优质电容器。要注意，它一旦被击穿，就要造成电源短路。

〔2〕耦合电容器 耦合电容器也叫隔直流电容器。在阻容耦合放大电路中，当交流和直流同时存在时，耦合电容器的作用是不让直流通过，只让交流通过，图3·24即为一例。必须选用没有直流漏电而且绝缘性能好的电容器，且其电容量对电路下限频率应呈现很低的阻抗。否则会造成低频特性不好或偏压不稳定而使信号失真，从而成为噪声的来源。要是采用大容量电容器来改善低频特性，又因寄生电感增大而影响高频特性。在普通音频放大器中，一般可另外再并上一个0.1微法左右的电容器（参见3·6节）。

〔3〕共用阻抗的影响 当电流从两处流入一根共用导线时，这导线的阻抗对两个电路都有影响。这种共用导线的阻抗

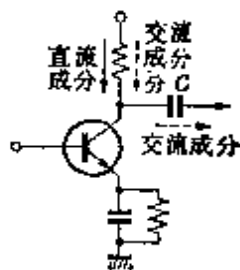


图 3·24

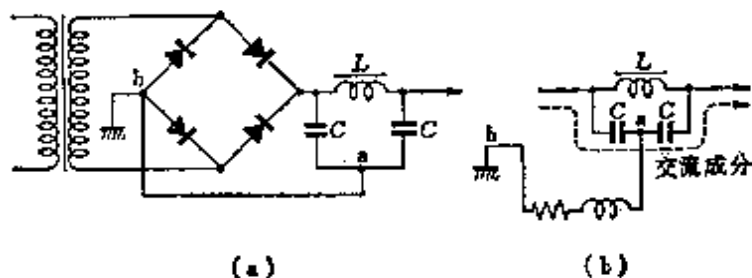


图 3·25

叫共用阻抗。例如按照图3·23的整流电源电路图进行布线时，实际上电路应如图3·25(a)所示。而a、b间的真实等效电路则如图(b)所示。这样一来平滑电容器对高频来说不但没起旁路作用，却反而起着耦合电容器的作用，如虚线所示，反而产生交流声。

3·11 在抑制噪声观点上怎样正确使用滤波器

〔1〕**滤波器** 滤波器是一种让给定频带的电流通过而对其他频率电流产生很大衰减的电路。整流电源的平滑电路是让直流通过，阻止交流，所以也是一种滤波器。接在电源交流输入端，滤除混入市电频率的高频噪声干扰防止器也是滤波器。滤除高频分量、让低频分量通过的滤波器，叫低通滤波器(LPF)；反之，滤除低频分量，让高频分量通过的滤波器，叫高通滤波器(HPF)；只能通过某一频率范围，高于或低于该频率范围都不能通过的滤波器，叫带通滤波器(BPF)；与带通作用相反的叫带阻滤波器(BEF)。表3·4为这些滤波器的大致特性。

〔2〕**抑制噪声** 当有用信号频率和噪声频带不同时，采用滤波器来抑制噪声是有效的。

表 3.4

种 类	LPF	HPF	BPF	BEP
电 路 形 式				
π 形 电 路				
截止频率	$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L_1 C_1}}$	$f_c = \frac{1}{4\pi \sqrt{L_1 C_1}}$	$f_{c1} f_{c2} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 C_1 + L_2 C_1) \pm \sqrt{L_1 C_1}}}$	$f_{c1} f_{c2} = \frac{1}{8\pi \sqrt{L_1 C_1 (L_2 C_2 + 16 L_1 C_1 \pm L_2 C_2)}}$
特 性				

3.12 如何利用积分电路抑制噪声

〔1〕积分电路 简单的积分电路如图 3·26(a) 所示，只由电阻 R 和电容 C 组成。若在 a-b 端加上图 (b) 所示电压波形，而且当 C、R 的乘积（时间常数）又符合要求时，则电容 C 就反复进行充放电，在 c-d 端出现的电压波形将如图 (c) 所示。另外，当 a-b 端加上图 (d) 的波形而电容 c 两端的电压又远小于电阻 R 两端的电压时，c-d 两端的输出电压波形则为图 (e) 所示。因此在 c-d 端得到了 a-b 端电压波形随时间而积分的电压波形，这种电路就叫积分电路。

〔2〕用积分电路抑制噪声 要想从图 3·27(a) 所示那样的含有噪声的信号中消除噪声成分，可通过时间常数 RC 大于噪声周期、小于信号周期的积分电路，来抑制噪声成分，而变成图 (b) 所示的电压波形。用这种电路抑制噪声，特别是尖峰噪声是有很有效的。

另外，作为一种特殊的使用方法，积分电路可用来抑制内线对讲电话机收发转换瞬间因室内混响而产生的声回授哨叫。

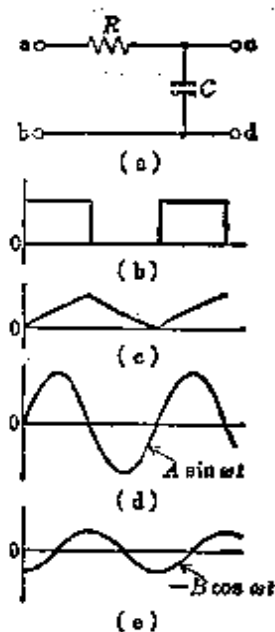


图 3-26

RC秒才工作,所以能抑制送话时的混响哨叫声。

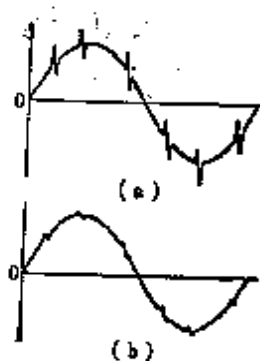


图 3-27

声。也就是说,放大器输入级的直流电源通过积分电路来供给,并且和收发转换开关连动,在转换过程中只控制这电路的直流供电。由于放大器在收发开关转换时要迟后

3.13 怎样使用半导体元件

〔1〕消极的噪声抑制措施 为了在使用二极管或晶体管尽可能减小噪声,本节叙述怎样对付半导体本身产生的噪声。

(a) 温度问题 半导体对温度极为敏感,使用时必须倍加小心。要特别记住锗器件比硅的耐热稳定性能更差。关于温度的详细处理将在第7章噪声和温度中叙述(参见7.2)。

(b) 光照问题 对于有金属外壳的器件可不必担心光的作用,但有的管子如图3.28所示其外壳是玻璃封装,外面加了层黑色涂层,要是使用不当,涂层脱落,就会暴露于光照之中。半导体遇光后,电子就会上升至较高的能级,导带电子数就增加,因此也就具有了和光敏二极管或光敏三极管同样的作

用。管子的输出电压就会随光通量的变化而变化，因而产生噪声。当然最好不用外表黑色涂层褪色的管子，即使要用也要小心，决不能使涂层脱落。

(c) 结电容 晶体三极管与二极管一样也有结电容。现在举二极管为例，当加上反向偏压时，载流子空穴和电子分别被吸向结面的两极，这恰与电容器的作用相同。此电容器还取决于偏压的大小，实际上电抗可变的变容二极管也就是利用这种特性。结型二极管和晶体三极管或多或少也具有这种电容。因而在高频使用时，由于结面产生的电容而使管子失去本来的功能，甚至造成二极管或晶体三极管完全失去其单向导电的作用。所以对于管子的这种频率特性必须引起注意。

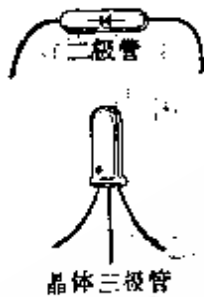


图 3-28

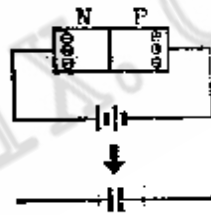


图 3-29

(d) 引线电感 因为二极管或晶体三极管的耐热性能较差，在印刷电路板上安装时，为使焊接时的热量不致通过引线影响元件性能，往往如图3·30所示，采用加长引线或把引线作一个小圈的方法。电路工作频率低时，这种方法尚能采用。当电路工作频率特别高时，例如100兆赫以上的电路，多这1匝线圈后其阻抗就有影响，这就是造成脉冲波形失真的原因。因此，在脉冲电路或甚高频电路等高频电路中的二极管或三极管，在用自动焊接装置焊接时，先不要完全焊妥，然后为便于散热，用无线电钳或扁咀钳夹住引线，再用细头小烙铁迅速地焊接要焊

之处，并要尽量缩短引线。



图 3-30

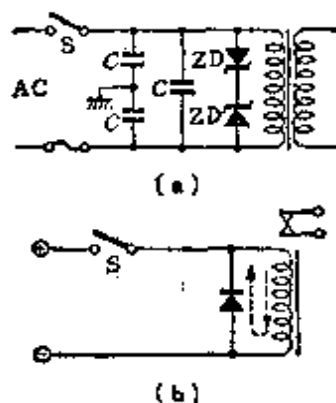


图 3-31

〔2〕积极的抑制噪声的措施 电感大的变压器或继电器线圈等，当电流突变时，会产生高冲击电压，并在电路的 C 、 L 间产生衰减振荡，成为噪声。另外，天电的冲击波通过架空线，从电源线进入设备中，这不仅产生噪声，有时甚至使电路元件发生故障。为了排除这些冲击性的高电压以保护电路，可用二极管防止噪声。图3-31 (a)就是一具体例子，在变压器输入端接上齐纳二极管。图 (b)表示其作用原理，即当电磁开关或继电器线圈电流突然中断时，它所产生的如虚线所示方向的反电动势将通过二极管而泄放，从而防止了开关S两极间加上高压。

3-14 怎样使用开关和继电器

〔1〕接点 开关和继电器的种类很多，形状和工作功能也是多种多样的。这些器件的关键部分是接点。也就是说，接点的接触电阻可能随触点的接触条件而变，有时会因此而产生噪声。所以，下面叙述一下与接点接触条件有很大关系的，诸如：尘埃、污染、锈蚀、烧损、弹簧压力的衰退、可动部分的磨损以及间隙造成的旷动等问题。

(a) 尘埃及污染 敞开式电源开关、电路转换用旋转开关、拨动开关以及其他电磁继电器等，在长期使用中由于室内尘埃或烟灰等进入设备的通风孔而使接点受到污损。特别是灰尘多或油烟多的地方使用的电子设备，污染就更严重。另外，由于在焊接时焊剂擦洗不净而扩散，或转轴的润滑油外流也都会使接点污染。在这类情况下，尘埃或污物一旦粘在接点上，其接触电阻就会增大，而且接触状态还会随时改变。这不仅要产生噪声，有时还会使接点发热而烧毁。因此，发现接点污染，须用浸渍纯酒精或氨水的纱布等擦净。在徒手难以擦拭之处，可用空气式的接点除尘器来吹去尘埃，或者用细的吸液玻璃管把除尘液注入接点，进行清洗以保持清洁。

(b) 锈蚀及烧损 在长期使用中，由于接点金属生锈、氧化或者烧损，产生接触不良，从而成为产生噪声的原因。在这种情况下，如果可能，就将零号细砂布截成细长条，叠成两折，穿过接点，来回擦拭几次。擦时应注意，不要改变接触面的接触状况。用砂布擦拭以后，采用(a)项叙述的方法拭去擦下来的渣滓。特别是烧损严重和接点材料的接触面已经磨损，或已形成了空隙和凹陷的接点，应连同开关本体一起换掉。

(c) 功能不良 紧压接点的弹簧压力衰退或可动部分磨损所造成的旷动，不能只作简单的修理，最好换掉。继电器往往由于电磁铁的电极附近吸有铁粉而引起故障。这种情况可在线圈不通电的状态下，用棒状磁铁把铁粉吸掉。如果光用磁棒处理，吸取的铁粉将附在磁铁上面，要去除铁粉也不容易。所以，应先用薄纸或细布包住永久磁棒的前端，等吸下铁粉后抽出磁棒，铁粉就留在纸或布上，这就很容易去掉。如此反复多次，继电器上的铁粉几乎全部都能去掉。

在灰尘或烟雾多的地方，开关之类最好使用密封型的，但

必须注意，密封型开关的温度容易升高。

〔2〕火花及异常电压的防止 在有电感的大直流电路中，因为开关或继电器会使电路电流突变，从而产生很高的反电动势。用开关或继电器切换电路的瞬间，这种高电压和直流电源电压一齐加在接点上而产生火花，有时形成电弧，不仅会烧毁接点，还会产生高频振荡，并辐射电磁波，成为一种噪声源。为了避免接点间的异常高压，必须采取图3·32所示各种办法。当电路的直流电压较低时，可如图（a）所示，在尽量接近电感L的地方，用短导线与L并联一个电阻电容的串接电路。电阻值约为10~50欧姆，电容值约为0.1~0.5微法，可按电感L的大小来选择适当的阻容数值。当电路的直流电压比较高时，可采取如图（b）所示的方法，将R、C与接点S并联。另外，如同图（c）所示，也可以与L并联一个半导体变阻器，变阻器的电流特性与所加电压的 n 次方成正比。例如电压变化2倍时，电流则变化4倍乃至20倍。可根据电路需要选择适当特性的变阻器。也可以如图（d）所示，在L两端并联上二极管和齐纳二极管。图（c）的变阻器也可以和图（b）一样，并联在开关S上。但不论哪种情况，具体数值及接法都应按照电路电压来决定（参看10·3）。

交流电路的情况并不完全象直流电路一样，但L大且电流也大时，也会发生火花，产生噪声，故仍可和直流同样，接上图3·32（a）、（b）、（c）的任何一种消弧电路。

〔3〕防止电磁开关或继电器的跳跃现象 电流流入电磁铁线圈吸引动铁片时，若复位弹簧的性能不好、或者动铁片的可动范围（冲程）过大以及流入线圈的工作电流变化等等，就有可能产生铁片跳动，接点接触不紧，而发生断续接触现象，这就叫跳跃现象。这种不完善的工作状态，会使电路工作不正常

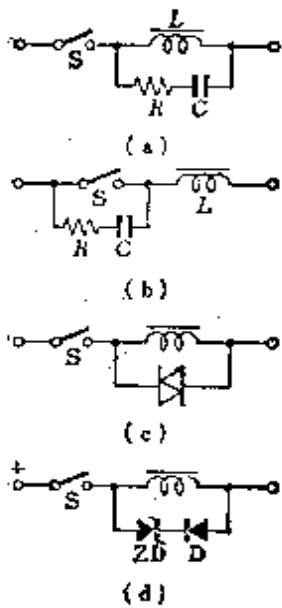


图 3-32

或产生噪声。改善的措施是：调节复位弹簧的强度、动铁片冲程和接点的间隔。同时还可以升高工作电压以便提高流入线圈的工作电流。在正常情况下，当动铁片碰上电磁铁极靴时，应有“卡

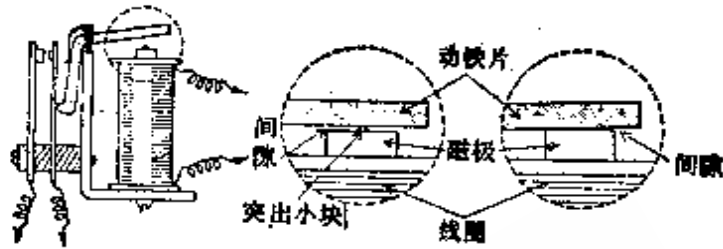


图 3-33

嚓”一声。这是因为：若在闭合时电磁铁极靴与动铁片间有间隙存在的话，则当工作电流稍有波动时就容易产生跳跃现象。但是，若把动铁片和电磁铁片间作成完善的面接触，由于剩磁的原因，当电流切断时有可能吸着不放的状态。故最好在极靴上做成一突出块，使吸动时只能触及一小面积，如图 3-33 所示。

即便是水银开关或水银继电器，由于水银的流动惯性，也往往会因接点移动而引起上述相同的现象。这时，也要仔细调整工作机构。

3-15 怎样使用斩波器，应注意哪些事项

〔1〕斩波器 在遥测温度和位移量时，或者根据该量进行自动控制时，所要检测的直流电压必须经过放大器进行放大。一般放大，交流信号比放大直流信号来得容易。所以必须有把

直流电压按比例变换成交流电压的装置。起这种变换作用的装置之一就是斩波器。斩波器有机械斩波器和电子斩波器两种，图3·34 (a)是一个机械斩波器的例子。当有交流流过振动线圈M时，振动器的振动子随着所加交流电的频率而振动，使接点a、b交替接合。变压器中的初级线圈上、下半圈交替地流入直流，在次级线圈上就产生了图 (b)所示波形的交流电动势。由于不是正弦波，含有大量的杂波分量，因而必须整形使其波形尽量接近正弦波。

(2) 整形 为使交流输出波形尽量近似于正弦波，需加以下措施。

(a) 调整触点 在图3·34 (a) 中，振动子和接点a、b的关系如下：斩波器处于非工作状态时，a、b两接点都不接通；振动子一振动，则又有以下几种情况：即 (1) 一方首先闭合，在它打开以后，另一方才闭合；(2) 一方打开的同时，另一方闭合；(3) 一方打开之前，另一方已闭合；(4) 两方同时闭合等。但从波形考虑，最好是一方打开的同时，另一方刚好闭合。因此要调整接点间隔，使振动子处于中心位置，且使振动子稍一振动，一方就能处于打开的位置，而另一方就处于接合状态。

(b) 加装阻容整形网络 方法是在AC输出端并联一个电阻和电容器。用示波器观测波形，选择最佳的电阻、电容值。电阻小，则

波形失真小，但输出电压也要降低，因此所用电阻不能太小。

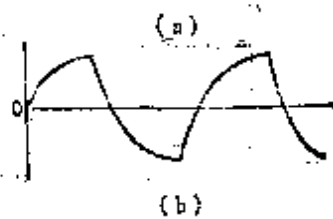
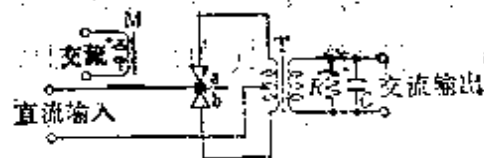


图 3·34

3·16 怎样使用半导体开关元件及磁饱和电抗器

〔1〕半导体开关元件及其噪声 半导体开关元件，主要指可控硅整流器(SCR)。图3·35 (a)为其外形，图 (b)表示它的4层结构，图 (c)为它的符号表示。若换接成晶体管电路，就如图 (d)所示。

硅可控整流器的作用过程如下：若控制极G不加电压（对K来说为正的电压），即使接上A为正，K为负的电压，整流器仍然没有电流流过。但若控制极G加上正电压，这时只要A的电压（阳极电压）不为零，就有电流流过A、K。因此，若在A—K间加上交流电压，而且在G上加以适当的控制电压，就有如图3·36 (a)所示的电流流过A—K间。改变控制极电压的相位，就可以改变其平均值，因此，可以作为控制元件广为应用。由图可知，在控制电流流通的瞬间，电流由零急剧增大，由于这种电流的突变，可能会产生同图 (b)所示那样的噪声电压。电流上升越迅速，或电路电感越大，这种噪声就越大。为了不产生噪声，就必须在A—K间并联一个电阻、电容器的串联网路。其中所用电阻一般为几欧姆~几十欧姆，对100

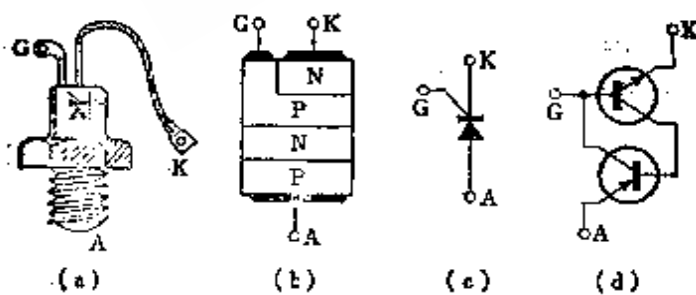


图 3·35

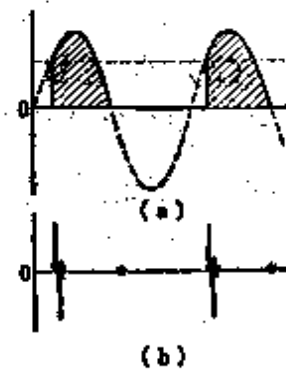


图 3·36

安以下的小容量电路，电容器的容量为0.1~0.2微法，容量更大的电路，就用0.5~1微法的电容器。

〔2〕磁饱和电抗器及其噪声 当用具有图3·37 (a) 所示那样的B—H (磁化曲线) 特性的磁心绕成按图 (b) 所示那样的一对线圈，且在线圈一侧通过直流电，而另一侧则通过负载接有交流电源。当直流一侧的线圈没有直流电流流过时，磁心不会饱和。这时由于交流一侧的线圈阻抗非常高，所以负载电路上几乎没有电流流过。但若闭合S，调节R的大小，这时只要有适当大小的直流流过，就要产生直流磁通。如以交流的半周来

考虑时，这直流磁通就和电压滞后 $\frac{\pi}{2}$ 的励磁电流所产生的极小的磁通相加。相加的磁通若超过饱和磁通量，交流一边线圈的阻抗就几乎为零，这时就有图3·38所示波形的电流通过负载。由图可知，负载电流是具有急剧上升前沿的非正弦波。因此这种磁饱和电抗器或由两个磁饱和电抗器相连接组成的磁放大器，和半导体开关元件一样，也要产生噪声。

一般在应用时，总要在电路交流端接一整流器，如图3·39所示。流过负载的电流是整流后的脉动电流的平均值。这时为了抑制噪声，便采用如图所示方法，接一电阻、电容的串联网络。电阻大约为10~50欧姆，电容大约为0.1~0.2微法。

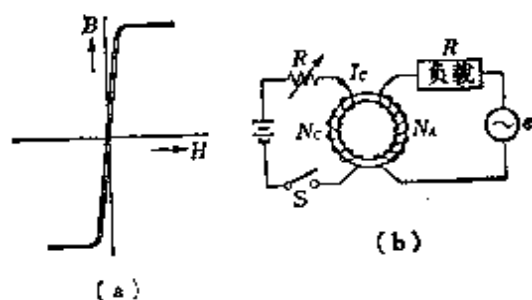


图 3·37

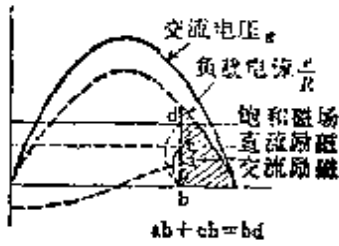


图 3-38

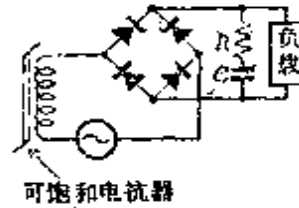


图 3-39

另外，电阻和电容的接线要尽量短，特别重要的是整流器和磁饱和电抗器的位置要尽量靠近。

3·17 如何利用变压器或光耦合器来抑制噪声

〔1〕接“地”问题 如图3·40(a)所示，当信号从信号源传输到负载时，使信号源 E_1 端接地(底盘或公共地线)，负载 E_2 端接地。若 E_1 和 E_2 的电位完全相同，这样接就不成问题。但若它们之间有电位差，并且其数值在变化，则这一变化成分就会迭加在信号上，而加至负载，这就是所谓的共态噪声(参阅1·5节-(2))。为了避免这种噪声，如图(b)所示，负载不在 E_2 直接接地，而用专线接到 E_1 ，然后在 E_1 处一端接地。但是这样一来，负载电路的接地点太远，负载电路可能仍有问题。为解决这一矛盾，可如图(c)那样，中间加一隔离变压器，而信号源端和负载端都就近接地，这时即使 E_1 、 E_2 间有电位变化也没关系，关于这点将在下面叙述。

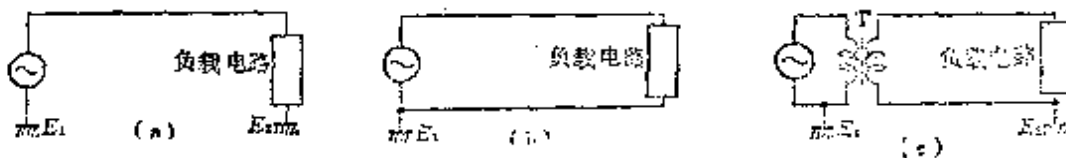


图 3-40

〔2〕利用变压器 如图3·40(c)所示,用屏蔽的隔离变压器对信号源和负载作电气性的隔离,这时信号成分通过变压器,由次级供给负载,且以最近的 E_1 点接地;另一方面,负载端也以最近的接地点 E_2 接地。从而 E_1 - E_2 间的电压变化成分即共态噪声就不会产生。换言之, E_2 的电位相对于信号源端接地点 E_1 的电位变化时,虽然负载电路相对于 E_1 的电位有所变化,但对于该电路接地点 E_2 的电位不则会产生浮动。然而,应注意采用隔离变压并不能完全消除噪声。这是因为这种电路只对消除稍感棘手的共态噪声有效,而对于变压器引入的正态噪声,变压器和负载电路连线所检拾的噪声,以及使用变压器导致的高次谐波噪声等还是无效的。再者,这种方法由于使用了变压器,显然不能用于直流电路,即使用于脉冲电路也有些困难。

〔3〕利用光耦合器 如图3·41所示,所谓光耦合器就是发光二极管和光敏晶体管的组合体。图(a)表示耦合器外观,图(b)是它的符号。一旦发光二极管有信号输入,它就输出与电流大小相适应的光通量。光敏晶体管又将接收到的光通量变换成相应的电流。下面列举光耦合器与变压器相比的特征。

①变压器是以磁通量为媒介质,而光耦合器则是以光为媒介质的,后者变换响应无滞后现象,响应速度非常迅速。

②完全不必顾虑象变压器那样,由于漏磁通,会给其它回路造成噪声。

③直流、脉冲都能变换。

④输入输出间的隔离良好,无须担心寄生电容的杂散耦合。

⑤体积小,重量轻,便于操作。

⑥输出端的信号不会反过来影响输入端。

⑦线性较好,但输入信号电平较低时,特性稍差些。

⑧变换比小于1。

⑨使用频率的上限最高为100千赫左右。

图3·42是一应用例子，图(a)是交流信号时情况，(b)是脉冲信号时的情况。如图3·41所示，连接时必须注意发光二极管的白色标记及引线的极性。

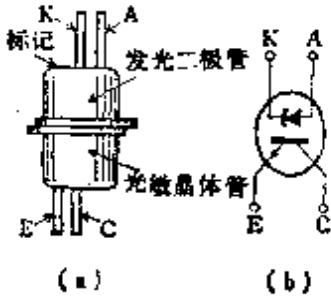


图 3·41

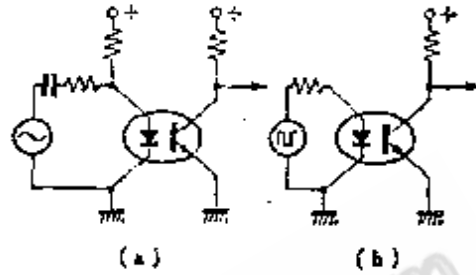


图 3·42

3·18 怎样避免指示灯所引起的噪声

〔1〕指示灯的特点 指示灯用的灯泡有氖灯泡和钨丝白炽灯泡。以下着重从抑制噪声的措施方面来叙述指示灯的正确使用。

(a) 氖灯 如图3·43(a)、(b)所示，小形氖灯有管形和小灯泡形两种。也有象配电盘上用的外形稍大的螺丝灯头指示灯。不论那种外形，都是在管内封入氖气(也有封入氩气的)。当在管子两端加上一定值电压后(电路中串有高值限流电阻)，就产生辉光放电，发出气体特有的辉光。这种指示灯如用交流供电，则导电的起始电压稍高于放电的终止电压，如图(c)所示。只在电压高到一定值以上时，如图中斜线所示部分，灯管才能发光。在辉光放电时会产生微小噪声。使用时，希望要远离怕受噪声影响的电路，并作单独布线。

(b) 白炽灯泡 钨丝的电阻值在室温时(冷值)和点燃时(热值)大不一样,热值高达冷值的7~8倍。表示设备电源接通或断开的指示灯,在设备工作中总是亮着的,以表示它正在工作。监视其工作情况的电磁开关或继电器等所用的指示灯,则是在适当时刻亮或灭的。当使用6伏、0.3瓦的小形灯泡时,灯亮时的电流是50毫安;刚亮那一瞬间大约是它的7~8倍,即有350~400毫安的电流流过。在极短的时间里,电流马上减小到50毫安。换言之,灯每亮一次,电路电流就急剧变化一次。由于电路中有电感存在,就会产生很高的异常电压,这就可能成为其他电路的噪声源。

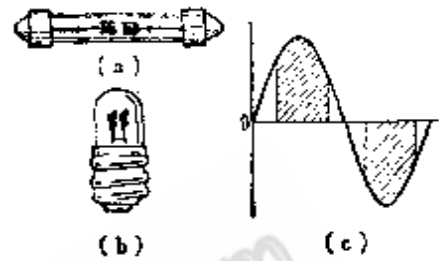


图 3-43

〔2〕指示灯电路中抑止噪声的措施 为了抑制灯泡刚通电那一瞬间的冲击电流的影响,可如图3·44所示,在灯泡开关上并联一电阻,平时开关断开时,使流过钨丝的电流小于正常发光时的电流,使钨丝的温度提高些,这样可以减小钨丝的冷、热值的温度差。从而使冲击电流小一些,干扰弱一些。

另外,指示灯一般都是拧入灯座来使用的,拧得不紧,或者出现自然松弛(移动式或携带式设备以及易受机械振动的电子设备易于产生这种现象),就使接触电阻改变,造成时灭时亮,而成为噪声源,这也必须注意。

〔3〕指示灯的布线

灯座的选择 灯座有图3·45 (a)所示的简单敞开式和(b)所示的托架式等各种形式,选择管座时应注意:象图(a)那样单根接线的管座其本身就有一端接地。虽然它体积小,重量轻,价格低廉,但不宜选用,一定要选用双线都绝缘

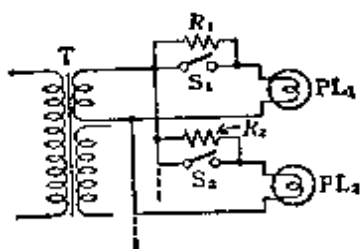


图 3·44

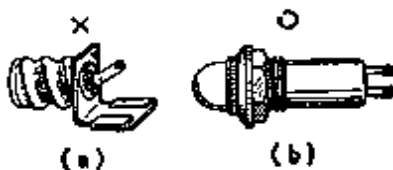


图 3·45

的管座。

布线 由于指示灯是安装在面板上容易看到的位置上，接线往往较长，容易成为交流声的噪声源。因而指示灯引线要远离信号电路，而且要使两根线扭合得很紧，而且以一点接地，就能减少干扰。一般认为指示灯应以直流供电为好，显然，用电池供电的好处是很明显的，勿庸多说，但用由交流整流的直流供电则不然，它和用交流供电几乎一样，没有什么意义。

3·19 怎样合理使用电池

(1) 干电池 电子设备中使用的干电池主要是单节1号 (UM-1)，单节2号 (UM-2) 等锰电池、碱电池以及水银电池。图3·46 (a) 是单节3号 (UM-3) 锰电池，(b) 是水银电池。水银电池外壳是⊕极，这与锰电池、碱电池的极性恰好相反。注意不要把极性弄错了。另外，还必须记住，锰电池的电动势是1.5伏，而水银电池却是1.3伏。水银电池的体积虽小，容量却很大，比锰电池约大3倍之多，并且电动势随使用时间而下降的幅度较小，但价格昂贵，因而适用于超小形设备或提供基准电压。碱电池可以与锰电池同样使用。以下从抑制噪声入手，列举出使用这些电池的注意事项。

① 表面经常保持清洁，要特别注意，防止产生不正常的漏电流。

②经常检查电池夹架的弹簧及接触片，使夹持状态稳妥牢实。更不能使弹簧及接触片生锈、腐蚀及污损，一定要保证它与电池两极接触良好。

③经长期保存或长期使用后，电池的端电压都要下降，应经常检查。

④最好不要长时间连续使用，应稍稍间断一段时间，使下降的电压恢复以后，再继续使用。

⑤端电压下降到一定程度的电池，要及时换新，尽量不要采用提高增益的办法来补偿电源电压的不足，因这样会使设备的指标变坏。

⑥避免高温曝晒。

⑦与电路连接时，必须使用电池夹，绝对不要直接焊在电极上。

[2]干电池的负载特性 干电池的电动势大约是1.5伏，这是没有负载电流流过时的端电压。使用过的电池，即使用电表测得的端电压是1.5伏，但使用时端电压往往要下降。这是由于使用过的电池内阻增大所致。即使是新电池，特别是当负载电流较大时，或负载变动时，也必须考虑负载特性。图3.47表示干电池的电流和端电压的关系曲线。因此，对于交、直两用的便携式电子设备，特别是带有稳压器的测量设备，在交、直

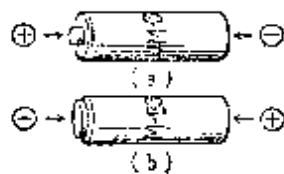


图 3·46

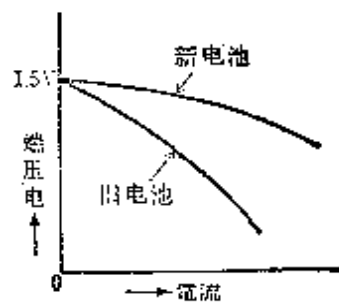


图 3·47

流换接时，如果贸然认为电池电压是恒定的，那就可能按图 3.48 (a) 所示那样，在负载连接端换接电池。但这是错误的，原因如前所述，因为电池电压是随负载而变动的，所以正确的方法是应象图 (b) 那样，在稳压电路之前进行换接。

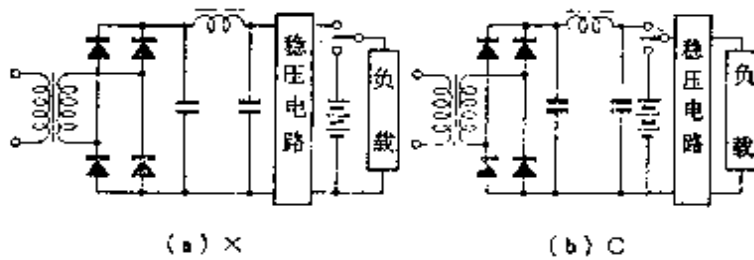


图 3.48

〔3〕浮充运用 当负载电流变化很大时，电源必须具有充分的富裕量。但这种用法很不经济。在负载电流变化很大时往往把蓄电池和整流电源并联使用。平时整流电源对蓄电池充电，当负载大时，就可由蓄电池及整流电源同时供电，这样得到的直流比用电容器作平滑滤波的纹波更小。

3.20 怎样合理使用电声器件

〔1〕传声器（送话器） 传声器无论从原理上或从结构上来分，种类都很多，形状也各种各样，这里只从抑制噪声的观点出发，介绍一下使用时应注意事项。

- ①根据不同使用场所和目的，可选用全向性（无方向性）或单方向性的传声器。
- ②不能使传声器受到碰撞、冲击。
- ③传声器屏蔽线不要扭曲，不要过度弯折，也不要用力拉拔。

④为了试一试，有人常常对着传声器吹气，这样会使传声器溅入唾沫，或者过量气流，这都对传声器不利。

⑤放大器和传声器的阻抗要很好匹配。

⑥尽量避免使用太长的传声器线。不得已时，也要用低阻抗匹配。若用插接件将几根短传声器屏蔽线接起来使用时，接插件都容易检拾噪声。

⑦使用无线步谈机等设备时，常常有人把天线卷缠在手指上，但要慎重，搞不好会降低工作效能。另外，电池应经常换新，不要使用电压很低的电池。

〔2〕拾音器 拾音器也有各种形式。从抑制噪声的观点考虑，使用时应注意以下各点。

①针尖压力要在规定值内。

②要小心操作，不要使唱针撞击唱片上或唱盘。

③在放唱中，注意不要触动电唱头臂或使唱头受振动。

④不要用手指触摸针尖，也不要让尘埃灰土以及油脂等粘在针尖上。

⑤针尖磨损后就应换新的。换针时安装要牢固，不能松弛，安装角度要正确。

⑥唱片表面也要保持清洁，有尘埃和灰土污染的唱片，或者有伤痕的唱片不要放唱，否则易弄坏唱针或唱头芯子。唱片常带有静电，把尘埃灰土吸进入凹沟内，所以必须注意。同时还可涂上静电防止液等来保养唱片。

⑦唱针的类型要与要唱的唱片一致，弄错了不但音质不好且易损坏唱针及唱片。

〔3〕录音头及放音头 录、放音头可以说是磁录音机的要害部分。下面从考虑噪声及音质的角度，对这部分及其有关的操作提出一些注意事项。

①录、放音头磁心的间隙只有10~30微米左右，不要用手抚摸，或用不清洁的布拭擦，否则易生锈，从而使性能变坏，因此必须加以注意。另外要经常保持录、放的磁带干净，且清洁录、放头表面。

②录、放头上压磁带的毡垫如果硬化，就容易导致压力过弱或过强，这都不适宜的，故要经常检查使之保持适当的压力。

③和上面一样，控制走带速度的主动轮和压在主动轮上的输带轴之间的接合若不适当，磁带就不能很正确地录、放，这是应很好注意的。

〔4〕扬声器 一般广泛应用的是电动式扬声器，它的构造是在一个强力的永久磁铁的磁极间放置一个可动线圈(音圈)。当音频电流流过音圈而使音圈产生振动，从而带动纸盆使声音重放。这里仅就抑制噪声的问题谈一谈使用时应注意之点。

①注意不要让铁粉进入磁极间隙。

②扬声器箱的各个部分不能有隙缝或松裂，特别是里盖要密封。

③引线要固定在扬声器箱上。

④不要放在特别干燥和潮湿的地方。经常放在室外的要采用能防雨和防雾型的扬声器。

⑤考虑到阻抗的匹配，当几个扬声器并联时，要根据放大器的输出阻抗，正确地连接。

⑥要在额定输出功率以下使用，要留有充分的富余量。

⑦考虑到声音的传播，也要充分考虑声反射及混响等问题，特别是在同一场地使用多个扬声器时，要使声辐射彼此同相地连接。

第四章 电路结构及布线

4.1 看电路图必须注意哪些问题

〔1〕元件的选定 在1.2节曾提到关于按理论设计的电路图总是用理想连线来表示的。如果根据这种电路图来选择、配置及连接实际元件，就要引入许多电路图上没有表示出来的因素。现在从抑制噪声的角度来分析一下元件的选择。

如图4.1所示的电路图上的电容器，它仅表示出电容量是0.01微法。但实际还应考虑很多其他因素，例如电容器耐压要多少伏，介质损耗因数即 $\tan\delta$ (δ 为损耗角)要选多大，体积要选多大等等。同时还要决定是选用云母电容器呢，还是纸质电容器或是陶瓷电容器？此外，还必须决定：引线要多长，放在什么位置，与哪个接线点连接。如果不是采用最有效的安装方法，仍然存在着产生噪声等各种故障的因素。因而不可能完全“忠实地按电路图”来安装及布线，阅看电路图时必须考虑到以下几点。

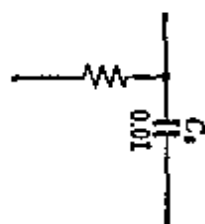


图 4.1

- ①该部分电路的电压大小。
- ②流过该元件的电流大小。
- ③该元件所在部位的工作频率。
- ④该元件在电路中起什么作用？
- ⑤可以预见的异常事态及故障影响情况。
- ⑥对其他电路有什么影响？

这些不只限于电容器，在选择电阻、半导体器件及其他所有的电路元件时，都是必须首先考虑的。

〔2〕布线的选择 在电路图上只用一根直线表示的连线，在实际布线时，就必须考虑以下几点。

- ①是用裸线好呢还是带绝缘皮的导线好？
- ②是用导线好呢还是就以底板为导体好？
- ③是用印刷板上铜箔好呢，还是直接用导线连接为好？
- ④用一般的导线好呢？还是非用屏蔽线不可？或者是需要用同轴电缆？
- ⑤绝缘导线的绝缘强度要多大？是否有必要用高压导线？
- ⑥要求导线的容许电流多大？
- ⑦和其他导线捆成线束好呢？还是分散布线好？
- ⑧是否有必要用低噪声导线或耐热外皮的导线之类的特殊导线？
- ⑨是用平双线好呢？还是用绞合双股线好？
- ⑩是否违反电气规程的基本规定？
- ⑪是否需要考虑导线的颜色？
- ⑫是否可用元件本身的引线而不必另用导线？

〔3〕选定走线路径及接线点 例如图4·2 (a) 所示的电路图，实际的布线或接线方法有很多种。但从抑制噪声着眼，就宜按图 (b) 那样连接。图(a)的画法是从容易看懂电路功能的角度来描画的，实际上要考虑到最佳走线路径，特别要仔细考

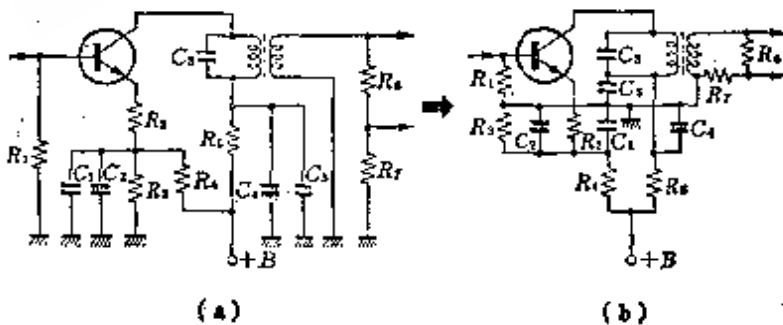


图 4·2

虑接地点，所以实际上应以图 (b) 所示的布线来理解电路图。

4.2 在元件安装位置方面应注意哪些问题

〔1〕从温升上的考虑 电流流过有一定阻值的导体时，必然会产生热量。实际上除了在超低温外，一切导体都有电阻，因此，在有电流流过的一切导体都要发热。即使手摸上去感觉不出发热，也不能错误地认为没有产生热量。例如一个 5 千欧姆、5 瓦的电阻器，若在它的两端加上 100 伏电压，流过的电流就是 20 毫安，电阻上消耗的功率为 2 瓦。但因为该电阻器的功率比 2 瓦大很多有足够富余量，就并不显得怎么热。事实上仅这一个电阻工作 5 小时，就要产生 8640 卡的热量。这等于使 15℃ 的 1 杯水达到沸腾的热量。而且在电子设备中还使用了许多种其他发热的电路元件，所以不能低估它们的发热量。考虑到元件温度上升会对其功能产生很大影响，故提出着重须注意之点。

①元件要安装在不妨碍空气对流的位置，和对流面积大的方向上，这对电阻器更要注意（参见图 3.1）。

②发热量较大的部件要尽量安装在设备的上方，易受热影响的半导体器件安装在下方。如有必要就按垂直方向分开，并用隔热板隔离。

③元件的额定容量要有富余量。这不仅是为发热着想，从寿命方面来看也是重要的。若采用额定值的二分之一左右，使用寿命会延长 10 倍之多。

④外壳的通风孔要尽量开大些，但也要考虑防尘措施。

⑤底面积大的元件及印刷电路板要竖直安装。必要时应开通风孔。

⑥接线片的间隔要稍宽点，而且按图 4.3 (b) 那样开通风

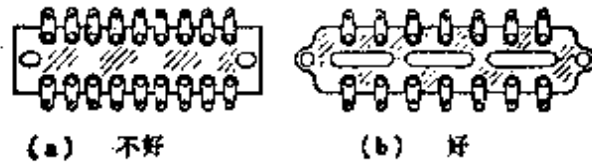


图 4-3

孔为好。

〔2〕关于引线电感的考虑 即使只是一根直的导线，当有电流流过时，在其周围都要产生磁通。如果电流变化，磁通也要变化。磁通的变化又引起反电动势，阻止电流变化，也就是说导线是具有自感的。导线越长，其自感值越大。若电流变化急剧，即频率越高时，对电路的影响就越大。在安排元件位置时，必须加以考虑上述因素。以下列举主要注意之点。

①考虑元件安装位置时，要使引线尽量短。

②不同用途的引线不要平行。

③万不得已必须平行时，要使两根线尽量离开些，并且位置及方向都要考虑。

④除了排列整齐、外观好看外，元件排列首先要重视其电性能。前者便于维修，但更重要的是考虑保证设备的性能良好。

⑤根据电路的功能不同分别集中。例如，高频部分和低频部分等各种电路的元件不能相互混杂在一起。

⑥特别是脉冲部分和高频部分的引线“要尽量短而粗”。

〔3〕关于杂散电容的考虑 相互绝缘的两根导体相对放置，在其间必然形成一个微小电容。两导体的相对面积越大，距离越近，此电容就越大。由于电路结构考虑不周，这种电容将会影响电路性能。为了防止这种弊病，必须注意以下各点。

①元件排列和布线时，要极力减少相互绝缘的各导体的平行部分。

： 64 ：

②和底板之间能形成电容的元件，要安装在远离底板的位置上。要记住，底板是一个面积很大的接地电极。

③排列元件时，若不得不相互靠近安装，这时要想防止杂散电容，就应采用静电屏蔽（参见6·2节）。

4·3 选择布线用的导线及导体时应注意哪些问题

〔1〕导线的粗细乍看起来，导线的粗细似乎和噪声没有关系，可是实际上关系却很大。单股线的直径，或绞合线的标称截面积，决定其电流的容许值。这个容许值同时还要根据绝缘外皮的种类，乘以校正系数，根据周围温度，还要乘以减少系数。这样作的主要目的是防止由于导线温度上升而使绝缘性能劣化，造成漏电事故。但电子设备与一般电力配线不一样，它在使用中遇到的则还有另一类问题影响容许电流值，主要是考虑到电压降的影响，还有对于高频电流的趋肤效应（流过导体的高频电流，越接近表面，电流密度越大，越接近轴线几乎没有电流流过）。因此，若简单地用导线表中所给出的容许值来设计使用，就不能发挥所希望的功能，或者造成错误动作，或者不能获得足够功率。如果通过提高增益加以补偿，势必增大噪声。

表4·1给出了在几种绝缘线的数据，包括：最大容许电流、电阻及最大容许电流时的电压降（都指双线环路值）。例如，20米的一般常用的直径为1.6毫米的绝缘线流过最大容许电流时，至接收端的电压降为 $0.49 \times 20 = 9.8$ 〔伏〕，很显然，电压下降约达10伏之多。因此，必须记住，作为选用导线的大体标准是主要考虑电压降，所以容许电流取电线表上的 $\frac{1}{3}$ 左右为

佳。例如直径为1.6毫米的导线，电线表的容许电流值为27安培，但考虑到电压降，容许电流值可取9安培左右。若是100千赫以上的高频电流，考虑到上述的趋肤效应，根据频率的高低，其容许电流还应取得更小些，约为上述值的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 。就

是说，对于100千赫左右的高频电流，其容许电流约为4.5安培；当频率高达10兆赫时，容许电流就只为3安培。因为这时导线轴心部分几乎不流过电流，故最好用比电线直径稍大些的空心铜管作导体。根据经验，铜管外径常取按容许电流值计算所需电线直径的3倍。

〔2〕扁平编织线 用镀锡铜线编成图4·4样的线辫，常宜用作地线。它柔软有挠性，便于操作。这种线也常用来作大型电子管的电极引线。另外，两部分之间由于振动等原因，相对位置要产生移动时，也可用辫线连接。辫线除了阻值低，能流过



图 4·4

大电流且有挠性外，就没有更大的优越性了。对于高频电路，辫线反而由于趋肤效应，电流从各裸线间流过时，因裸线间的接触电阻而使损耗增大，这反倒是它的缺点。

〔3〕铜板 作导体用的铜板，从大电流的汇流条到印刷电路板的箔条状导线，其大小是各式各样的。由于趋肤效应的原因，高压及高频电路常用标准尺寸的铜板而不用单线和绞线。这里讲一下一般印刷电路板的大致标准。

印刷电路板的铜箔厚度一般是35微米，若将铜箔作成宽 W 〔毫米〕，长 l 〔毫米〕的条状导线，则其电阻为 $5 \times 10^{-4} \times l/W$ 〔欧姆〕。另外，容许电流还要随印刷电路板上安装的元件种类、数量及印刷电路板安装方向的散热效果而变化。考虑到安全，条

表 4-1

单 线 直 径 (毫米)	绞 线 标称截面积 (毫米 ²)	容许电流 (安培)	电阻值〔欧姆/千米〕20℃		通过最大容许 电流时每米导 线的电压降 (伏)
			软 铜	硬 铜	
1.0		16	22.6	23.3	0.74
1.2		19	15.8	16.5	0.61
1.6		27	8.92	9.29	0.49
2.0		35	5.65	5.83	0.40
2.6		48	3.35	3.45	0.33
3.2		62	2.21	2.28	0.28
4.0		81	1.41	1.46	0.23
5.0		107	0.904	0.932	0.19
	0.9	17	20.0	21.7	0.71
	1.25	19	16.6	17.1	0.64
	2.0	27	9.24	9.63	0.50
	3.5	37	5.20	5.41	0.39
	5.5	49	3.33	3.47	0.33
	8	61	2.31	2.41	0.29
	14	88	1.30	1.35	0.23
	22	115	0.824	0.849	0.19
	30	139	0.623	0.642	0.17
	33	162	0.487	0.502	0.16
	50	199	0.378	0.394	0.15
	60	217	0.303	0.313	0.13
	80	257	0.229	0.237	0.12
	100	298	0.180	0.185	0.11

状线的宽度若为W〔毫米〕，就可以认为容许电流是 $0.15 \times W$ 〔安培〕。

4.4 布线环路与噪声有何关系

(1) **电流环路** 电流要从电源流向负载，必须有去路和归路，仅仅用一根线，电流是不能流通的。这就是说电路必须构成一个环路（回路）。如图4.5(a)所示，乍一看，似乎是用一根导线馈电，实际上它是以“地”作为“归路”而构成回路的。例如，汽车的电气系统全是用一根配电线，通过车身或机架返回至电源负端。图(b)简略地表示汽车部分电路的情况。不只限于汽车，电子设备也完全是一样的，很多以底板或外壳构成往返回路，例如图(c)所示。图中实线表示的环路是直流通路，虚线表示的是交流通路。一般的电子设备是以更复杂的回路构成的，因此有许多环路，流过的电流也是各种各样的，而且可能是相互重叠的。然而，这些环路恰好可以看成是单匝线圈。当然，只要有电流流过此环路，就要产生磁通变化。显然，除了回路本身有自感作用外，重叠的环路间还有互感作用。因此当某一环路电流发生变化时，其产生的磁通变化，就要在另一环路上产生感应电动势，这就会产生噪声。尽管是单匝线圈，若某一环路的电流大，频率高，其影响也是不小的。

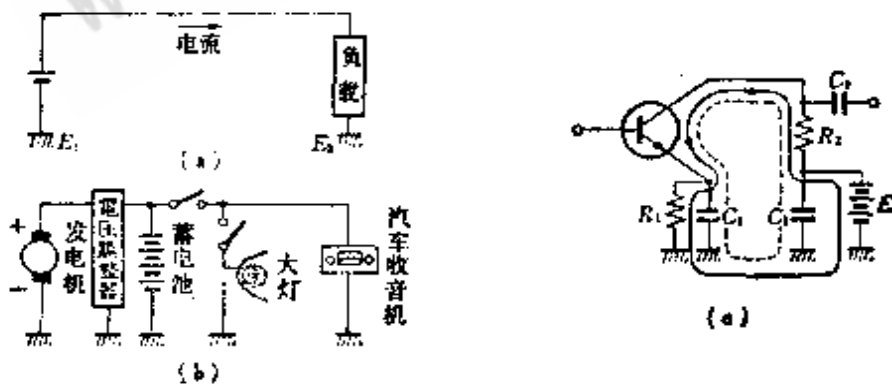


图 4.5

必须把这种现象抑制到最小限度。防止这种噪声的办法大致有以下几方面。

〔2〕**环路处理** 关于电子电路的环路，试以图4·5(c)为基础进行分析。对电路来说，接成图4·6(b)那样与图4·6(a)那样连接是完全相同的。对于直流来说，因为不产生磁通变化，所以环路再大也没有什么影响。但如果是信号一类的交流成分，随着电流的变化，就会产生磁通变化，因而要求环路面积越小越好。从图4·6可知，图(b)的环路面积远比(a)小得多。在图(b)中没有（或很少）交流成分流过地线，故比(a)优越。总之，要记住：“一个电路若不成环路，就不可能有电流，但要尽量缩小环路所包围的面积。”

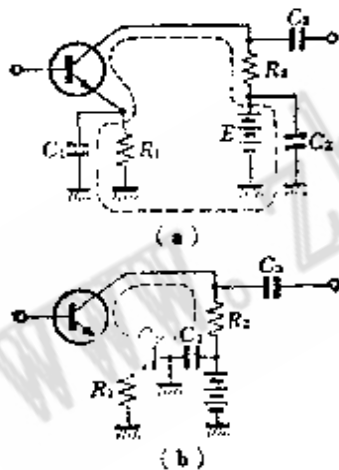


图 4·6

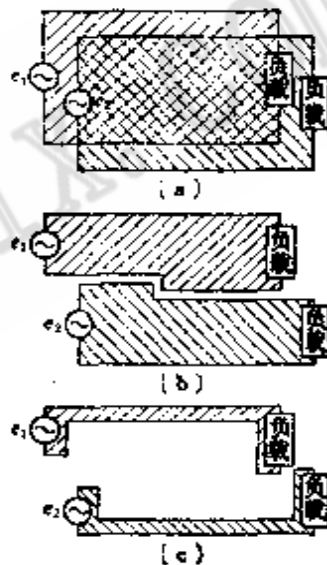


图 4·7

其次是两个环路的相互干扰问题。如图4·7(a)所示，两环路重合的面积大，相互交链的磁通就多，相互影响也大。图(b)所示的两个环路面积虽不重叠，但还不够。在考虑元件位置、布线时，还要使各个环路中包围的面积尽量小，如图4·7(c)所示。

4.5 怎样使用双绞线

(1) 双绞线 上节已讲过，电子设备中形成电流环路时，从抑制噪声来说，当然要使环路所占面积尽量地缩小。然而，即使是环路面积减得很小的平行线当其相互平行时，如图 4.8 (a)，一个环路里的电流所产生的磁通，仍会在另一个环路中产生感应电动势，而成为噪声。为此，应如图 (b) 所示，使一个环路的两条导线扭在一起。这时，在两根导线所产生的总磁通将相互抵消，就能防止感应噪声。这样的一对绝缘导线就叫双绞线。但用双绞线，未必一定能防止感应噪声。比如说象图 (c) 所示的那样，节距完全相等的两组双绞线在对应的位置上平行排列，则其所产生感应电动势是相加的，这就失去了扭绞的作用，故必须按图 (d) 那样改变节距。此种扭绞的方法不那么美观，但是正因为它不规则，效果反而好些。

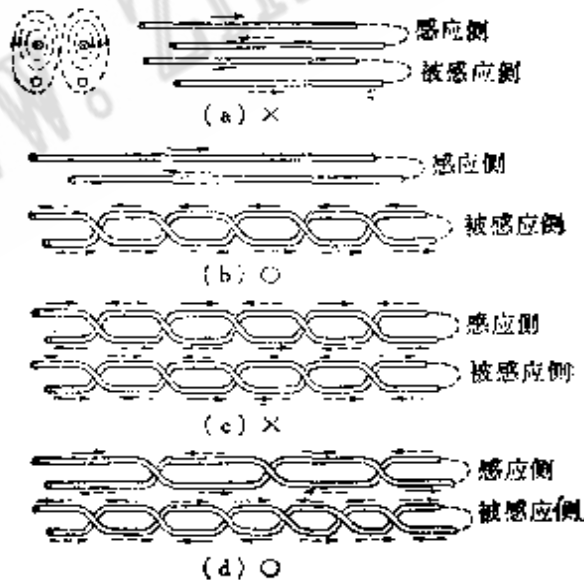


图 4.8

〔2〕使用双绞线应注意之点 有关双绞线的杂散电容将在下节再讲。本节只讲抑制电磁感应噪声方面的注意事项。首先，根据常识，必须用双绞线的是：电子管加热用的灯丝电路、指示灯以及继电器电路等。图4·9即为一个例子。电子管加热用的灯丝电流及指示灯电流一般比信号电流要大很多，而且它的频率是市电频率，因而形成交流噪声的可能性是极大的。所以，这些电路除了必须远离信号电路外，其布线一定要用双绞线。

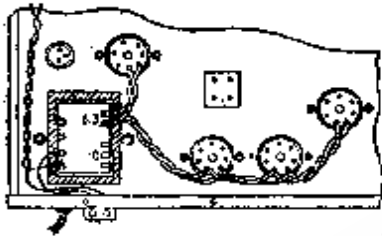


图 4·9

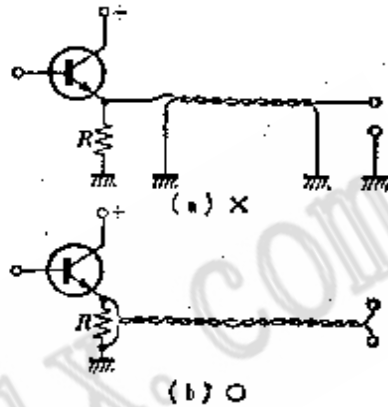


图 4·10

另外，脉冲电路等当脉冲信号的传输线稍长一些时，也常用双绞线。为了减小检拾噪声的可能性，常用射极跟随器电路，以降低输出阻抗，接收端也用低阻输入。在这种情况下，若以为问题不大了若不注意，在接线端把双线前面一段打开如图4·10(a)那样连接，这样，扭合段减短，同时却增大了拾取噪声的环路，减弱了使用双线的效果。因此，应如图(b)所示，从头到尾都必须保持双线的绞合状态，一点也不能粗心大意。

4·6 怎样考虑布线的杂散电容

〔1〕杂散电容 在4·2节已讲了在元件配置方面注意杂散

电容的问题〔参照4·2〔3〕〕。本节主要是讲布线及回路结构中的杂散电容。

电路的布线若形成了环路，由于电磁感应就要产生干扰，于是就要尽量缩小环路面积。前面已经讲过，往返布线最好用双绞线。但这样作的结果，两线间的杂散电容就会增加，也要产生噪声干扰。在某种意义上说，是“顾此失彼”的相互矛盾着的两方。这在电路结构上是很难处理的问题。在考虑抑制噪声时，首先应该记住的问题是：“怎样处理杂散电容的电力线？”也就是说，当导体处于某一电位时，若有被绝缘的其他导体在旁边，就要感应电力线及异性电荷。当一方电位变化，另一方的电位也要随之而变化。结果，在两导体间，通过绝缘介物会产生交流电流。这和一般的电容器的作用完全相同。两导体的相对面积越大，距离越近，导体间绝缘物的介电常数越大，电容的作用就越大。另外，杂散电容产生作用的位置也是不定的，故更难对付。防止的方法只有增大两导体的距离，或设法截断电力线。

〔2〕印刷板条状线间的杂散电容 一般用的印刷板是在酚醛树脂或环氧树脂基板上，用粘接剂贴上35微米厚的铜箔，经过腐蚀处理，留下所要的电路部分作布线用。这时，各导体不是宽面相互对着的，故杂散电容比较小，其电力线分布情况如图4·11(a)所示。在图(b)中，当条状线宽为 W 〔毫米〕，间隔为 d 〔毫米〕时，每1厘米长的平行条状线的杂散电容如图4·12所示。例如当条状线宽2毫米，间隔2毫米，平行长度为4毫米时，在图4·12上读取A点的纵坐标为0.35微微法/厘米。即杂散电容值为

$$0.35 \times 4 = 1.4 \text{〔微微法〕}。$$

当频率低时，这样量级的电容算不了什么，但对于频率极高的

电路或前沿陡峭的脉冲电路来说，这就是一个不可忽视的数值。

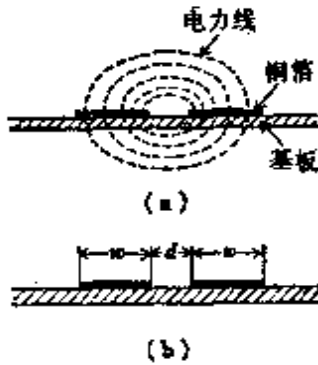


图 4-11

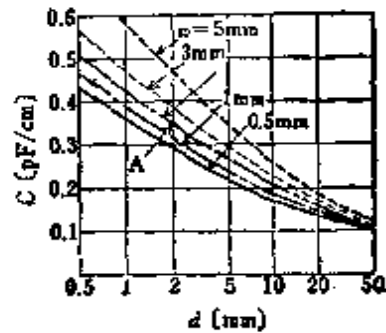


图 4-12

3) 减小杂散电容的措施

(a) 跨接线 由于电路图的要求，在设计印刷板时，有时为了某一、二条连线的关系，不得不费尽心机走弯曲的路径，因而导致很多布线平行较长距离。遇到这一情况时，不如断然地把这一条连接线用外接绝缘线代替，而不用印刷导线。这种接线叫跨接线。这样，可使杂散电容小得多。

(b) 隔离电极 在印刷基板上，设法在两根带状线间再插入一根带状线，并让其接地，以减少两线间的杂散电容。这根接地的线就叫隔离电极，如图 4-13。当然，即便这样，也还残留有和地之间的电容。

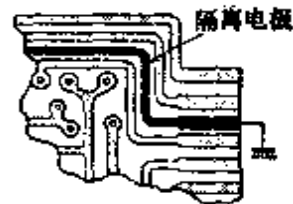


图 4-13

(c) 屏蔽 象铝或铜那样的良接地导体，那怕是一片薄片，但只要它保持零电位，就能完全截断电力线。例如在变压器绕组间插入一层铜箔（接地），就能起到防止杂散电容的作用（参见图3-7）。另外，绝缘线的外面套上编织线的屏蔽层（即所谓屏蔽线或隔离线）也是有作用的（参见6-5）。

4.7 电路的公共阻抗与噪声有什么关系

〔1〕公共阻抗 本节分析一下图4.14这样的仅有电阻的电路。图中 R_1 为36欧姆， R_3 为3欧姆，都是固定电阻，当 R_2 变化时，分析一下流过 R_1 的电流如何变化？若 R_2 和 R_1 都同为36欧姆，则电路总电阻 R 为：

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{36 \times 36}{36 + 36} + 3 = 21\Omega$$

这时电路总电流为 $84 \div 21 = 4$ 安培，从而流过 R_1 的电流为2安培。当 R_2 为12欧姆，即减至原来的 $\frac{1}{3}$ 时，流过 R_1 的电流减至1.75安培。流过 R_3 的电流随 R_2 而变化，当然也影响 R_1 的电流。在交流电路中，由于电感及电容的关系，问题就更复杂一些。所谓公共阻抗就是处在两电路电流都要通过的公共路径上的阻抗。

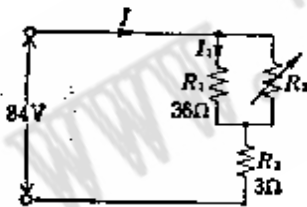


图 4.14

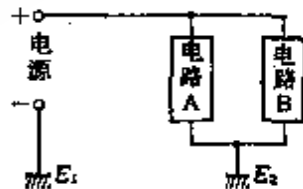


图 4.15

再分析一下图4.15。乍一看是通常的电路结构。但和图4.14进行比较就很清楚，存在于 E_1-E_2 间的阻抗就是A、B两个电路的公共阻抗，根据上例，若电路B的电流变化，就会影响A电路。换言之，电路A就要拾取噪声。不过若 E_1-E_2 间的阻抗为零，就没有这一问题。可是实际情况并不是所希望的那样，如果印刷板所作图案不妥，有1欧姆左右的阻抗是不足为

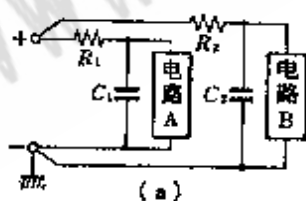
奇的。那么，怎样处理这个公共阻抗才能防止这种噪声呢？下面介绍几种主要的方法。

〔2〕对付公共阻抗的措施 作为一种方法来说，最简单的方法是各电路单独布线，使之不存在公共阻抗。但这说起来容易，做起来可不简单。首先遇到的问题是怎样接地。有关接地方法将在第5章详细叙述，本节只讲最大限度减小公共阻抗的方法。

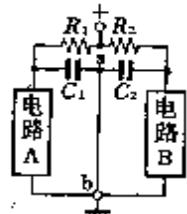
(a) 去耦电容的利用及一点接地 在电路图4·15中，当 E_1 ~ E_2 间的公共阻抗成为问题时，可如图4·16(a)所示那样，通过去耦电容 C_1 、 C_2 对每一电路供电，并以一点接地为佳。但若不小心考虑走线，虽然能防止公共阻抗引起的噪声干扰，却又会产生环路噪声。故对元件排列及布线要作全面考虑。若按图

(b)那样连接，图中a-b间的阻抗又成为 C_1 、 C_2 电路的公共阻抗，而使 C_1 ~ C_2 变成耦合电容，在电路A、B间起耦合作用，结果又造成了干扰噪声。所以a-b间要尽量用粗而短的导线。

(b) 一点接地 在电子电路中，公共阻抗的问题几乎都是接地电路产生的。如按图4·17(a)的电路图布线，常用的方法

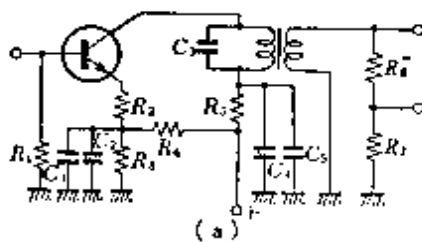


(a)



(b)

图 4·16



是拉一根公共地线，遇要接地处就随时在接至这根地线上。这就是产生公共阻抗的根源，必须绝对避免这种作法。高频电路无论如何要象图(b)那样，找一个可靠的接地点，该电路各元件需接地的都单独引线直接接在这一点作为接地(参见图4·2)。

4·8 设计印刷电路板时应注意哪些事项

〔1〕印刷电路基板的选择 笼统地说，由于印刷电路基板有各种特性，所以必须根据用途适当选择。表4·2是广泛应用的几种主要印刷电路基板。

基板有单面铜箔的和两面都有铜箔的两种。最好采用两面式基板，把元件全部装在一面，而另一面铜箔全接地。

〔2〕图形结构上的注意之点 因为不同电路有各种不同的特殊性，本节列出一般的注意事项。

①元件排列大体与电路上的位置相适应。

②由于是平面，因而不能交叉布线。但硬要迂回走线，不如就用跨接线，或者就直接让电阻电容跨接。

③条状线不要在长距离平行(参见4·6-〔2〕)，不得已时加隔离电极(参见4·6-〔3〕)。

④条状线虽系导线，也要看作是电阻线，其宽度由流过它的电流的种类、强度来决定(参见4·3-〔3〕)。

⑤接地条状线象河流一样，根据电流通路逐渐加宽，最窄也要有3毫米。

⑥绝对不要形成环路，特别是环绕外周的环路，在噪声上是很致命的问题。

⑦旁路电容器的引线不能太长，特别是高频旁路电容器是不带引线的，但要考虑接地。

表 4-2

日本工业标准 (JIS)名称 C6180	品级名称	基料	树脂	连续使用 最高温度 (℃)	吸湿性 (%)	摘 要
PP-6	XP	纸	酚醛树脂	120	2.2	机械特性一般, 价格低且吸湿性大。
PP-4	XXP	纸	酚醛树脂	120	1.0	特性较好, 但高频特性不太好, 用于收音机、电视机。
PP-2	XXXP	纸	酚醛树脂	120	0.7	电气性能很好, 但在低温下打孔加工很困难。
PP-3	XXXPC	纸	酚醛树脂	120	0.5	和PP-2的电气特性很相似, 且能进行低温打孔加工。
PE-1	FR-3	纸	环氧树脂	120	0.3	本身有灭火性, 也能在低温进行打孔加工, 适宜电子计算机用。
GE-4	G-10	玻璃布	环氧树脂	130	0.13	机械强度大, 电气特性良好, 加工稍难。
—	聚四氟乙 烯树脂G	玻璃布	氟化一烯 树脂	180	0	高频特性特别好, 价格虽高, 但实用价值最高。

⑧元件要垂直地安装在基板上, 使其对流、散热效果好; 同时还要特别注意, 耐热性能差的二极管、晶体管等半导体元件及电解质电容器的位置(参见4-2-(1))。

⑨不要形成公共阻抗(参见4-7)。

⑩当用集成电路时, 要让它跨越平行的地线和电源线, 见图4-18。

⑪电路比较复杂的印刷板可如图4-19所示那样, 把一块长方形的两面铜箔基板垂直地插入印刷板上, 其一面作电源, 一

面作为接地汇流条。在将印刷基板装在设备上时，要使汇流条成铅垂方向。

⑫不要把同类元件，特别是全部电阻集中在一起。

⑬要特别留意接地电路。若以为地线越宽越好，而随便扩大接地面积，则一不注意反而会增大元件与地之间的杂散电容。



图 4-18

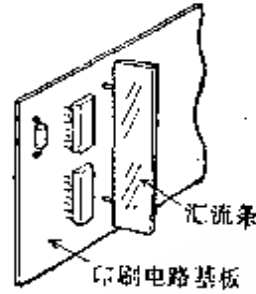


图 4-19

总之，在试制阶段要进行充分的研究，在实际试用中再进一步改善不合理的地方，然后确定方案。印刷电路一旦确定以后，如发现干扰或毛病也就难于处置了，故事先应反复地考虑周到。

4-9 在元件安装方面应注意哪些事项

〔1〕更换元件上的考虑 二极管、电阻以及电容器等元件寿命是有限的，另外，也常由于事故而损坏，故有可能需要进行更换。所以在设计、安装时，必须考虑到更换元件时的方便。如取图4-20(a)所示的连接方法，当任一个电容器发生击穿时，就无法立即取下来。此外，可变电阻器，电子管插座之类以及开关、接线片等在连接端都有小孔，为了不致脱落，常常通过这个小孔来接线。这就应按照图(b)的方法焊接。照这样

一个接一个地连接，要取出个别元件时就不致切断全部布线，当然还应使之焊接可靠。然而通过接线片或印刷基板的小孔安装元件时，还要注意引线的弯曲方向，如图4·21所示，既要容易取下，又希望连接牢固。

另外，油浸电容器及变压器之类的元件是用小螺钉固定在机壳上的，更换时，往往必须全部卸开拔出螺钉，这就很费时间。另外，拆时螺钉、螺母容易散落，一旦陷入布线或元件之间，不仅难找，还会有产生短路的危险。所以要在安装方法上下功夫。如图4·22(a)、(b)所示，若采用压板方式或者缺口形式，将螺钉松动一下就能很容易地取下部件。

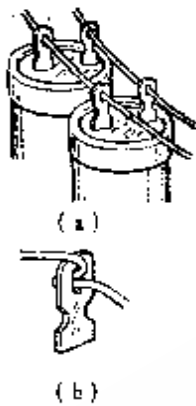


图 4·20

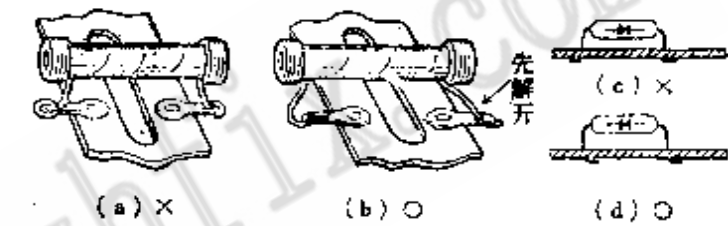


图 4·21

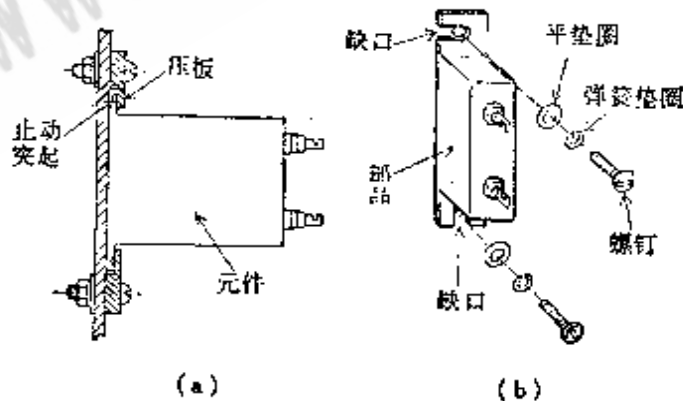


图 4·22

〔2〕元件或布线的固定 毫无疑问，移动或携带式电子设

备的元件及布线必须正确和可靠地支撑或固定。就是放置不动的设备也不例外。

①元件必须连接在固定点上，即使管状元件，也不能悬空。

②元件的引线要剪短使用，不能采用图4·23那种不稳定的安装方法。

③稍重的元件一定要固定本体，避免只用引线单独支撑元件。

④各元件间不要相互接触，要保持适当的距离。

⑤要考虑到往后维护检查及修理的方便，不管要求体积多小，也不能让元件及布线相互缠在一起。

⑥长区间布线可在中途安装几种象图4·24那样的塑料卡子，用它来把布线固定在机壳或底盘上。

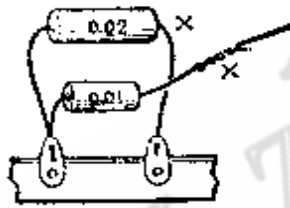


图 4·23



图 4·24

4·10 元件、布线的连接以及在焊接中应注意哪些事项

〔1〕接触电阻 置于空气中的导体，其表面或多或少要氧化而覆盖一层氧化膜。因此，当将两导体搭接扭接时，根据接触条件，在接头间存在着一定的电阻，这种电阻就叫接触电阻。接触电阻的变化，往往就会引起噪声。即使仔细擦拭，从表面看来虽然已露出金属光泽，那也不行，铝和铬的氧化膜都相

当硬，是铜的10倍以上，而且电阻值大，只几毫米的厚度，电阻值就可达几万欧姆之多。例如，把石墨电极平稳地压在仔细研磨过的铬电极上，测其电阻为1万欧姆左右。而对铜及黄铜压紧的电极，测其电阻值近似于零。后者是由于破坏了铜的氧化膜，使两导体的金属真正接触了。破坏氧化膜所需用的压力随导体种类而异。另外，当接触面受到污染，或粘上尘埃灰土时，接触电阻就有显著变化。

〔2〕导线的连接 在电子设备中，要尽量避免在元件引线加一段延长连接线。在万不得已需要延长的时候，这时要安装中间接线端子，把延长线焊接在该点，该中间接线端子用螺钉固定。固定方法示于图4·25 (b)。

所用导线不管是单股线或绞线，都不要用它本身来固定，一定要压着接线头焊接安装，用双重螺帽固定。若采用图(a)的安装方法，日久以后绝缘物一旦变形，就会使螺母松弛，从而造成接触不良。这种接触不良的噪声往往是间断发生的，不易发现。所以一开始就要牢固地安装紧，必要时涂上磁漆，防止转动。

〔3〕接续器 插头、插座、以及同轴插头等的种类很多，难以一一详述，本节只提出几点在使用上最基本的注意事项。

①在插、拔时，要在插入方向对正后才可加力，不要摇晃或扭转，也不要用力拉软线。

②接触部分要保持清洁，注意不要粘上尘埃灰土及油脂等。

③在端子上焊接引线时，注意不要在接触片上加上不必要的压力以致产生变形。

〔4〕焊接 从抑制噪声的角度来说，元件及布线的焊接，不论是从电气上或机械上来考虑，主要是连接必须可靠。有两点

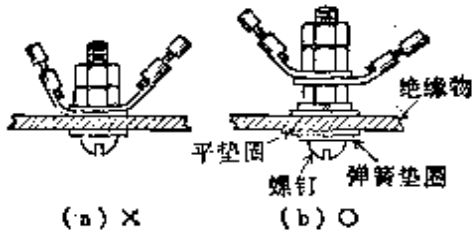


图 4·25

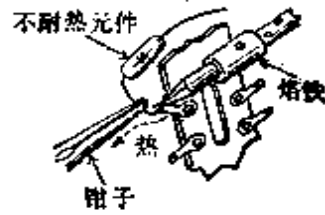


图 4·26

要提请注意：一是在焊接部分的电阻不能有变化；二是不要使焊接时的热量导致元件性能变坏。由于保证做到这两点，就要：

- ①在焊接前要仔细擦亮连接部分以保持清洁。
- ②在焊接时要用中性的而且质量好的焊剂，或用纯松脂。
- ③预先在要焊接的部分，分别上锡，然后再焊接。
- ④焊接时，加热了的烙铁沾上焊锡，在连接部分使焊锡流动2~3秒钟。让焊锡自然流动直到表面成光滑状时，烙铁才能离开。在这种情况下，耐热性能差的半导体器件及电解质电容器之类的元件，通过引线会把热量传给元件本身，可能损坏元件。所以要如图4·26那样，用钳子把元件引线夹住，使热量散失在钳子上。另外，焊接时动作要迅速。
- ⑤当使用自动焊接机时，耐热性能差的元件留着以后用一般烙铁来焊。
- ⑥焊接后残留的焊剂及松脂用浸酒精的纱布擦去，并涂上清漆等涂料。

第五章 噪声与地线

5.1 地线有什么作用

〔1〕地线 地线也可称为接地。所谓接地就是要与地球保持同电位。即是说应与大地通过导线接通。在电气设备技术标准中所规定的工程接地标准如表5.1所示。

表 5.1

接地工程的种类	适用范围, 使用目的	接地电阻
第1种接地工程	避雷器或特别高压的电气设备的机器外壳等	10欧姆以下
第2种接地工程	从高压降至低压的变压器的低压端及外箱	$\frac{150}{I}$ (地线网络电流) 欧姆以下
第3种接地工程	低压室内配线的金属管, 低压机器的外箱	100欧姆以下 使用断路器时在500 欧姆以下
特殊的第3种接地工程	400伏低压机器的外箱	10欧姆以下

另外, 机器的铁座或金属外箱的接地规定如表5.2所示。

但这些标准毕竟是从预防干扰的角度规定的, 和电子设备本身其它方面需用的接地概念并不一样。船舶、飞机及人造卫星上的电子设备也不可能是这样的接地概念。尽管如此, 所有机载电子设备仍必须接“地”。那么一般的电子设备或装置的接“地”是什么意思呢? 这里“地”是指基准电位点, “接地”

表 5-2

机 器 分 类	接 地 工 程
300伏以下的低压设备	第 3 种接地工程
超过300伏低压用的设备	特殊的第 3 种接地工程
高压或特别高压用的设备	第 1 种接地工程

就是使与基准电位的各点连接。对于飞机或人造卫星，就把机身或卫星壳体看成基准零电位，与它连接，保持和它同电位就叫接地。

在电路图中这类接地与真的与大地相接，在符号上也有区别，如图5.1所示。

必须记住，一般的非移动式电子设备或装置采用第 3 种接地工程就足够了，就是移动式的设备，只要在机器内部有一个可靠的接地点也就可以了。

〔2〕接地电阻 地球本身可以看成是电的良好导体。在图5.2中，可以把打入大地的金属棒a—b间的一段地段看成是并联了无穷多个电阻，故a—b间的电阻很小，而a—b间电阻的测量值可以认为只是a和大地间的接触电阻加上b和大地间的接触电阻。这种a和大地以及b和大地之间的接触电阻称a及b的接地电阻。显然，接地电阻将随接地导体和大地的接触面积以及接触条件而异。埋在大地里的水管可以认为是接地电阻低的优良的接地电极。

〔3〕地电位 地球是导体而且体积非常大，因而其静电容

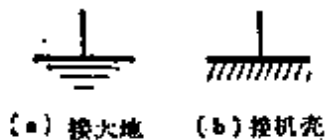


图 5-1



图 5-2

量也极大，电位比较恒定，故把它的电位当作基准电位，也就是零电位。当然，当雷云靠近时，由于正负电荷相吸引，往往也会使地面上部分地区的电位产生变化，但一般都是恒定的。当用导体与大地相联，即使有接地电阻，只要没有电流流入导体，则导体的各部分以及与该导体连接的其他导体，全都和大地一样，仍为零电位。理想的情况就是将这种和大地一样具有零电位的接法称作接地。电子设备及装置在工作时，它和基准电位之间有电位差，因为实际上要完全不让电流流入接地点就能使设备工作几乎是不可能的。因而，接地电位的变化是电子设备产生噪声的最大原因之一。

〔4〕交流电源的接地 如图5·3所示，市用交流电的配电是通过架空输电线，以6600伏的高压传送，用户由邻近电杆上的降压变压器将高压降至220伏或110伏。这时的接地一般都是将低压侧的某一条线沿电杆与大地相接。这是为了避免当变压器等发生故障时，高压窜入低压引起电击或触电等危险。就是发生事故，也不让电位上升到超过150伏。正因为电灯输电线的一线是处于地电位，所以用手去摸这条线也不会触电，但另一根导线（火线）相对大地有100伏或220伏的电位，一旦与手接触就要触电，发生危险。在设备安装上应注意以下几点：当使用图5·4所示的自耦变压器电路时，如按图（a）所示方向把电源插头插入插座，这时即便把设备的机壳 E_2 与实际的地电极接在一起也不成问题。但如图（b）所示反相地插入插头时，则 E_2 相对于大地的电位差将达100伏（或220伏）。这时，如果把设备的机壳接地点与实际大地连接，就有如虚线所示的很大的地网电流流过，而发生危险。若机壳不与接地极连接，则人体接触机壳就要触电。另外，直接用电灯交流电源作倍压整流的无变压器电路，也会产生同样情况。因而在这种情况下，电源插

头必须采用具有方向性的插头及插座。如果采用隔离变压器就可防止产生此类现象。

〔5〕**隔离变压器与接地** 固定的大型电子设备姑且不论，就是由电灯电源供电的一般电子设备，特别是对测量仪器及医疗设备的地电位必须加以注意；无论插头的插入方向如何，一定不能存在地电流。因此，应采用隔离变压器使得在电气上

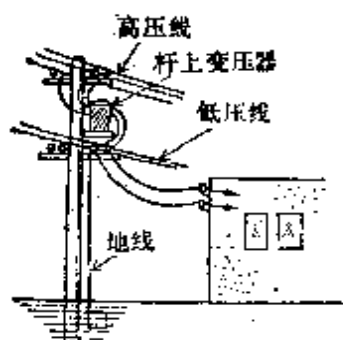


图 5.3

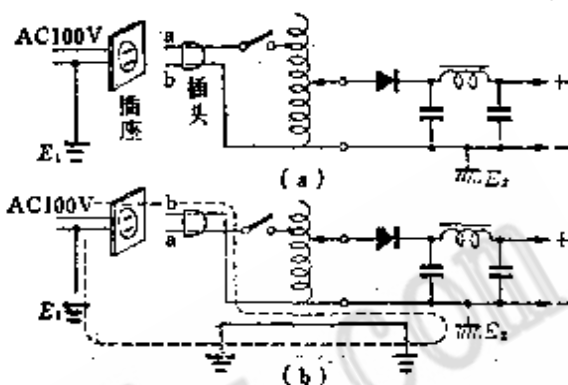


图 5.4

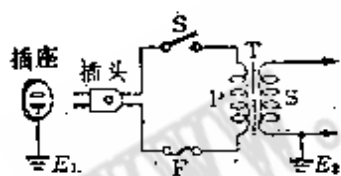


图 5.5

与交流电源端隔离，只剩下磁性耦合。在图 5.5 中，次级的接地点 E_2 与交流电源侧的接地点 E_1 之间或变压器的初、次级之间，只要不存在大的杂散电容，就没有电流流过。

〔6〕**接地点** 电力设备的接地如表 5.1 及表 5.2 所示，根据规定，主要从预防危险着眼，因此一定要接实际的大地。然而从电子设备的性能来看，特别是只为了抑制噪声，就不一定要使所有电子设备都真的接大地。例如在钢筋混凝土地面上的电子设备，除发射机通常要从机器接地端引一根长地线到户外的接地棒外，其它大部分设备可以不必那样作。只要相对于各个设备及装置从总体上设一个基准的零电位点，并把它当成接地点

即可。一般是将所有底板及框架作电气上的连接，在适当的位置上设一个可靠的端子，它就是接地点。

〔7〕**接地回路** 因为电子设备或装置的底板或框架一般都是金属作的，全部接地点在电性能上是相通的，故可以取这些点的任一点接地。这样一来，就有从电路各部分来的电流流过这点，从而产生各种干扰（参见4·4）。本来“接地电路”的叫法是不恰当的，而且不应有电流流过地线；但应该记住，为了作出与基准电位相等的等电位点，可用导体把各部分全都连起来。但无论怎样注意，实际上总会有或多或少的从直流到高频的各种电流通过接地点。所以，处理好接地电路是抑制噪声的关键，这样说并不过分。

5·2 接地电路如何构成

〔1〕**接地电路的形式** 要使电子设备中应接地的部分，全部直接和接地端连接，实际上这不仅在结构上不可能，如勉强这样作将使远离接地端的电路部分，由于地线拉得太长，则因引线电感等影响，效果反而不好。一般常见的接地办法归纳起来有图5·6所示的各种形式。

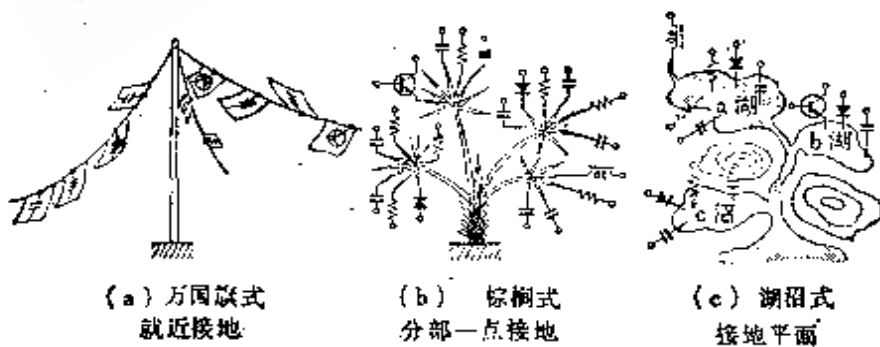


图 5·6

在原理电路图上，需要接地时就可随处加上接地符号；然而问题在于这些接地点，在具体的实际布线中应接在什么地方，如果不经考虑任意布线，那么接地环路、接地引线电感、杂散电容、公共阻抗等等，就将产生意想不到的噪声，要消除它往往是很困难的（参见4·7）。

〔2〕**高频电路的接地** 对于信号频率非常高的高频电路，各元件的引线及布线本身的电感都要起作用，故希望尽量利用粗而短的导线。要求各元件特别是旁路电容器接地端的引线非常短。换句话说，高频电路的接地要近处接地，即一定要在最靠近的接点上接地。为此，在高频电路的近旁，必须有可靠的接地点。最好用图5·6(b)或(c)的接地形式。而(c)只限于用印刷基板的场合。对于高阻抗电路，其主要问题是和接地平面间的杂散电容。所以最好用(a)的接地形式。图5·7(a)是单面铜箔的印刷基板的接地平面式，(b)表示两面铜箔的印刷基板的例子。

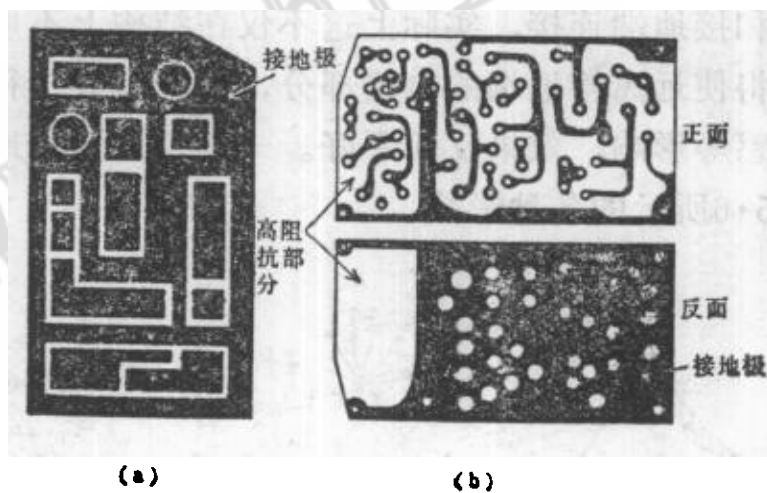


图 5·7

〔3〕**低频电路的接地** 据一般的常识，高频电路应就近接地，低频电路却要用一点接地。在低频电路中，布线或元件的

引线电感并不是什么大问题。然而，接地电路形成的环路，对噪声影响很大。如图5·6(b)所示，要在每部分选好接地点，然后将这些接地点用足够粗的导线跟作为接地点的端子连接起来，以一点作为总的接地点。在这种情况下，应注意，即使邻近部分的接地点很近，也不要如图5·8所示那样，使一部分的几个应接地各点分别接至两个分接地点时，就会形成环路，产生噪声干扰。

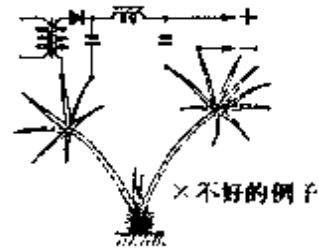


图 5·8

5·3 噪声与接地方式有什么关系

〔1〕**接地环路** 若不经考虑地以最近的接地点或地线接地，通过地线就会形成图5·9(a)所示的交流回路，结果造成了两个噪声源。这时 e_1 的信号电流经 L_1 从接地点 E'_1 流经地线回到 E_1 。另一信号源 e_2 的电流通过 L_2 从 E'_2 流经地线回到 E_2 。由于 E'_1-E_2 部分是地线或底板，在它那儿流过两种不同的电流。如图(b)所示， e_2-L_2 电路的电流在 E'_1-E_2 间产生的电位差 e_a ，将串联地加在 e_1-L_1 电路中了，这就形成一个噪声源。另一个噪声源则如图(c)所示，是由于通过斜线表示的那部分面积为两电路所共有，因而 e_2-L_2 电路的电流所产生的磁通将与 e_1-L_1 电路交链。由此而产生的感应电动势 e'_a 也仍然串联地加在 e_1-L_1 电路中，从而产生噪声。凡是接地的地方不妥，都会产生这种噪声。若地线部分用线太细或者印刷基板上的条状线宽度太窄，则地线本身的阻抗就高，影响也就更大。另外，如果两个环路的公共面积大，噪声也就大。象图5·9(a)所示的电路，不仅要注意使两电路的环路不重合，而且要缩小每一环路

本身的面积，应按图5·10所示那样来布线（参见4·4节）。

〔2〕和底板间的杂散电容 上述从防止接地环路的噪声干扰来说，建议采用图5·10的接地方法。但实际上这并不是任何时候任何地点都通用的好办法。如图5·11(a)所示，如果使 e_2-L_2 间的布线沿底板走线，特别在高频电路中，由于布线及地线与底板间的杂散电容，从各部分都有电流流入底板，并通过底板返回 e_2 ，该涌浪电流和底板阻抗乘积的增量，就使 L_2 的电压浮动。为了减小杂散电容，布线与底板间要有足够的距离，且如图(b)所示，在底板上铺一片铜板并使它接地。通过这种直接导地的方法来减小阻抗。在高频大功率设备中，还要采取些其他措施，一般都采用铺铜板的方法。

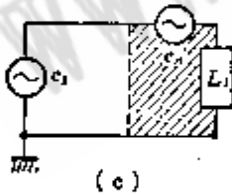
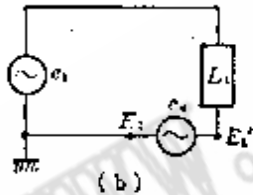
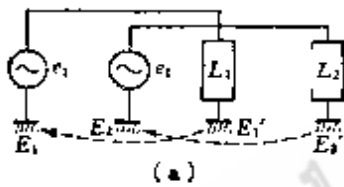


图 5·9



图 5·10



图 5·11

〔3〕地线的连接 几块印刷基板或几组底板组装时，即便各部分都有可靠的接地点，如果连接方法不好，整个电路对基准电压来说就会是浮动的。这就会产生共态噪声（参见1·5）。这时要查究原因是非常麻烦的。例如在组装一个仪器时，要把

印刷基板装在底板上，又把底板装在机架上，印刷基板的接地部分附带有L形配件，用螺钉把它固定在底板上，再把底板固定在机架的框架上。即使上述各部分连接良好，但不能保证不发生问题。这时还需用粗的跨接线可靠地连接各部分，并需周密考虑以使整个仪器的地电位完全相同。

5.4 确定接地电极时应注意哪些问题

〔1〕印刷基板的接地电极 用印刷板接插件的印刷基板插脚如图5.12所示。这种情况一般都是让接脚1和18作为接地电极，在一般情况下，除了用作输入输出，电源等接头以外，还要空几个接脚。当然总希望让输入输出接头之间离得远一点。例如1、2作为输入端，16、17就作为输出端，其他用作电源接脚等等以后，还要剩一些空脚。因此，在输入和电源，输出和电源等不同的插脚之间的空脚也都用作接地电极，使与底板的接地电极连接，作为隔离电极用（参见4.6-(3)）。

〔2〕底板或框架的接地电极 当底板或框架上有接地端子时，端子和底板或框架间的电气连接一定要可靠。如底板或框架的材料是铁制的，就可以把螺栓直接焊在上面；当材料是铝时，可如图5.13所示。首先要选择一个适当的安装地点，在底



图 5.12

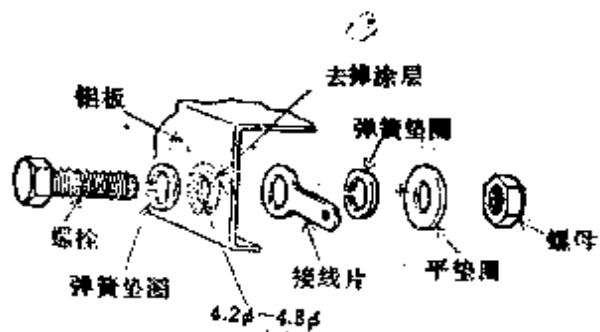


图 5.13

板或框架上开个孔，其直径比所用螺栓稍小一点。若螺栓为5毫米，材料较薄时，开孔可为 $\phi 4.2$ ；材料较厚时，则开孔可为 $\phi 4.8$ 。然后将螺栓穿过一个弹簧垫圈使劲地拧入，并要用力拧到底。然后如图所示，将接线片垫圈等套入，用螺母牢固地钳紧。注意，在安装时要先除掉底板上小孔周围的涂层或氧化膜，并仔细擦净。

〔3〕接地电极 实际的接地电极除了可用接地金属棒、接地导线、接地金属板外，还可用自来水管子等。

(a) 接地棒 简单的接地棒往往用长30~40厘米的一头尖的金属棒，但除了临时使用（例如测量用）的以外，最好不用这种地线。当需要长时间连续使用时，要把长1米，截面积为S形的两根接地棒并排打入大地，以直径为2.6毫米的导线作地线连接起来。打入地点要靠近设备。即使是粘土或有水的低地都行，但接地棒和导线的连接部分会受雨露等的影响而产生氧化腐蚀，所以要有防水措施，这是很重要的。

(b) 辐射状地线 将好些段直径约为2毫米的裸铜线，埋在挖掘成辐射状的沟道中，且把每根线的一端集束在一起（要焊接）作为接地电极。这种方法需要相当宽广的地方，除了广播站外，一般用得不多。

(c) 接地板 把面积约为1平方米，厚1毫米左右的铜板，埋在地下1米深的地方可作为接地电极。在地里连接铜板和导线时，可以用焊接的方法，也可以如图5·14(a)所示，在铜板一边切开1厘米左右宽的边条（但不完全切断）。并象图(b)那样，拉出地面作为引线。在铜板的两面放上木炭，使得有充分的吸水量，以减小接地电阻。埋好后填土时，要使铜板的正上方地面稍洼下一点，可以保持雨水，使土质总保持潮湿状态。

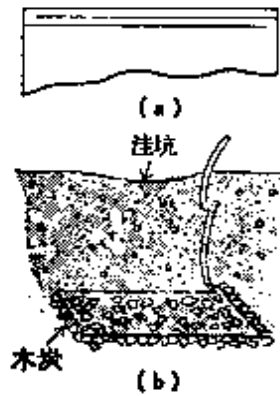


图 5·14



图 5·15

(d) 自来水管管道 电气设备技术标准第21条规定，以管道作为接地电极最主要的是为了简便，但要注意，有些地方也有使用乙烯基管或其它塑料管作水管的，这时就不能使用了。图5·15就是以水管用作地线的例子。

此外，建筑物的钢筋或电灯配电线的金属管也可用作接地电极。

第六章 噪声与屏蔽

6.1 感应噪声是怎样产生的

〔1〕**静电感应噪声** 如图6.1所示,若将带电体接近金属箔验电器,在电力线的作用下,将引起电极上的电荷移动,电极下端的金属箔由于同种电荷的相斥作用而张开。若将带电体接近或远离验电器的电极,则金属箔就随之而张开或闭合。这就是说,由于电力线的变化,从一方至另一方传送了静电的变化。这就叫静电感应作用。电容器能流过交流电流也完全是由于这种作用的缘故。在布线间或布线与底板之间,形成的大小不定的杂散电容所产生的静电感应,也就是引起噪声的原因。换言之,由电力线的作用产生的噪声是静电感应噪声,其起因是回路的杂散电容。

〔2〕**磁感应噪声** 如图6.2那样,若把磁铁接近铁或镍之类的磁性物质,由于磁性物质的磁阻比空气的磁阻小,铁钉等就被磁化而成磁铁。这种由于磁力线的作用,使磁性物质磁化的

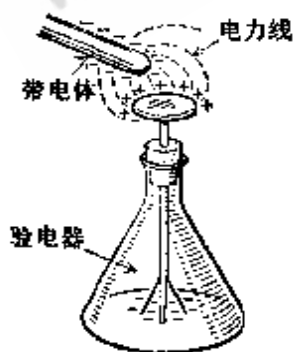


图 6.1

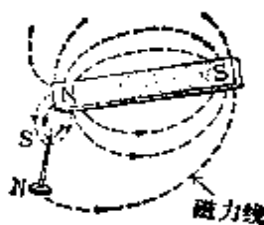


图 6.2

现象就叫磁感应。现将磁铁更接近或更远离铁钉，由于通过铁钉的磁力线的变化，铁钉的磁性也将发生变化。如果磁场发生变化，也就是说，磁力线（定量的说来就是磁通）发生变化，则置于该磁场中的磁性物体也将受到影响。如果磁带录音机的变压器漏磁，就要影响录音磁带而产生噪声。类似于这种原因产生的噪声就是磁感应噪声。

〔3〕**电磁感应噪声** 如图6·3 (a) 那样，在磁铁放入线圈或从线圈取出的瞬间，线圈中就会产生电动势。如图 (b) 所示，若以一个流过电流的线圈（即电磁铁）代替磁铁，而放入取出另一线圈时，也同样会产生电动势。又如图 (c) 所示，若把电磁铁放在线圈内不动，而以电磁铁电流的断通来代替，电磁铁的运动，或者用交流电流来取代电源的断通（如图d），都会产生同样现象。它的根本原因是当穿过线圈的磁场发生变化时，在该线圈中就会产生相应的电动势。这种作用就叫电磁感应。推而广之，即使不是线圈而是一根导线，只要在其周围有磁场变化，就要在该导线中产生电动势。这种以变化的磁场为媒介而产生的噪声就是电磁感应噪声。

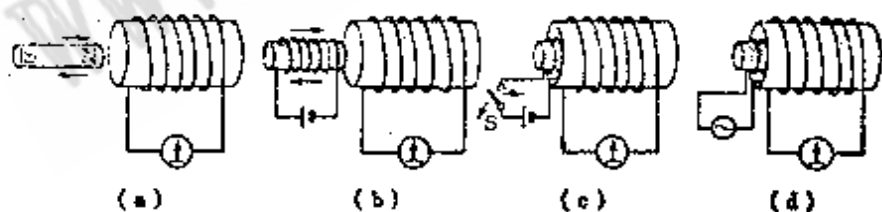


图 6·3

〔4〕**电磁波的感应噪声** 当高频电流流过导体时，在该导体周围产生的电力线和磁力线，将随导体各部瞬时电荷的变化（与频率相适应）而变化，这就成为一种在空间传播的电磁波。处于电磁波空间中的导体，由于电磁波的作用便会感应出

相应频率的电动势。如果这一电动势是不需要的频率成分，那它就是电磁波感应噪声。从长波至整个微波范围的电磁波一般称为无线电波。整个空间都充满了这种无线电波，由此产生的噪声叫电波噪声。

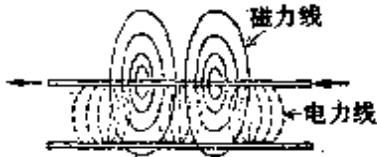


图 6·4

电波噪声是一种完全无目的的不规则的干扰噪声；即使是各种有用的电波，但当对某一特定接收设备来说是不需要的话，对该接收设备来说也称噪声。

6·2 怎样实施静电屏蔽

〔1〕静电屏蔽 若在带正电的物体A旁边，放上另一个导体B，由于静电感应就产生图6·5 (a) 所示那样情况，影响导体B中的电荷分布。如果如图(c)那样用导体c把带电体A包围起来，在A和C间由于静电感应，在C的内侧集中了和A相反极性的电荷，而在外侧则分布同种极性的电荷。又由于C和B的静电感应，结果，对B来说和图 (a) 的相同。但是若使导体C接地，则情况完全不同了，这时C外侧正电荷被导入大地，C表面就不带电，B也就不受A的影响。这种遮蔽静电感应影响的作用叫静电屏蔽。所谓静电屏蔽，也就是遮断从带电体伸出的电力线。要作完全的静电屏蔽，就要用导体把带电体完全包围起来，并将导体完善地接地，使电力线不得外伸。

这里值得注意的是，当带电体A的电荷变化时，在图6·5 (a) 中，在导体B的邻近A的一方，电荷受到静电感应而变化，远离A一端的电荷也相应变化，结果在导体B中就有电流流过。然而如图 (c) 所示，如果加以静电屏蔽，则导体B中的

电荷也就没有任何变化。这是由于屏蔽罩C内侧的电荷虽随带电体A而变化，但其外层由于接大地故其电荷情况不变。换句话说，带电体A的电荷变化，只导致屏蔽罩C的地线上有相应的电流流过。若带电体A是导体，它和屏蔽罩C间就形成一电容器，因为电容的一极接地而形成静电屏蔽，必然会产生地电流。若A是通过高频电流的导体，加以屏蔽后虽然防止了对周围的影响，但不能清除通过和地之间的杂散电容，而产生的电流。

〔2〕静电屏蔽的方法 两个相互绝缘的导体相对放置时，一方的电荷变化，必然要通过电力线影响另一方。但若在其间放置一接地的金属导体，就有了静电屏蔽的作用。作屏蔽用的金属导体可以是薄的铝箔或铜箔。例如，要屏蔽变压器被级次级间的静电感应，只须在绕组间放入一层铝箔，效果就很好。但要用绝缘纸夹开，以防铝箔两端接触而形成单匝短路线圈（参见3·3—〔2〕）。其它象电视的高压电路、调谐电路、特别是特高频电路都是使每个外壳接地而屏蔽的。因为带电体要辐射电力线，必须在需要屏蔽的方向上，放上屏蔽板或屏蔽膜。

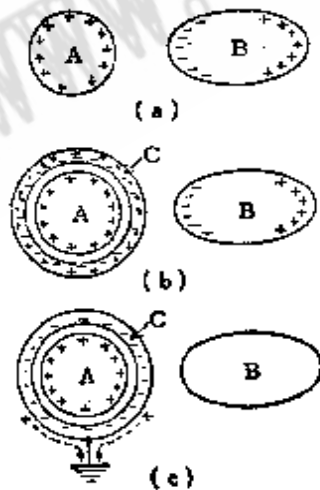


图 6·5

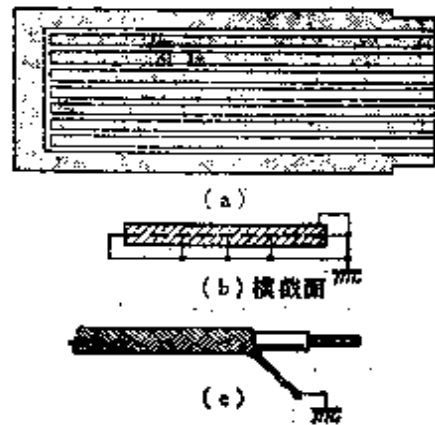


图 6·6

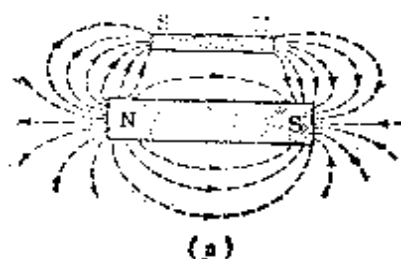
若要求完全屏蔽，就必须把周围完全包围起来。印刷板的条状线间的隔离电极也是静电屏蔽的一种形式（参见4·6-[3],5·4-[1]）。还有象图6·6 (a) 那样的称为转接用的印刷线路板或印刷接插板，在实际应用中，都使用两面带箔的，并且如图 (b) 所示，条状线每隔一根接地，使条状线之间形成静电屏蔽。这样一来，被屏蔽的条状线，不仅不受外电场的影响，也能防止它影响其他部分。另一种静电屏蔽，如图 (c) 所示的屏蔽线，其外层金属皮接地，就能保护心线不受外电场的影响，也防止心线产生的电力线伸向外面。

这种静电屏蔽也兼有下面6·4节所述的电磁屏蔽作用。

6·3 怎样实施磁屏蔽

〔1〕磁屏蔽 如图6·7 (a) 那样，在一磁场中放上一个铁或镍等磁性物质，由于磁性物质的导磁率较高，故磁通多集中于该磁性物质，因而被磁化。当想避免磁性物质被磁化时，可如图 (b) 所示那样，用高导磁率的屏蔽板隔开，磁通就都进入屏蔽板，磁性物质就能避免磁化。但若屏蔽板太薄或导磁率低时，将仍有一部分磁通穿过屏蔽板，对磁性物质仍有影响。因此不能用箔片作磁屏蔽层。在电子设备中，成为噪声源的磁场，不是象图中那种磁力线恒定的永久磁铁的磁场，一般都是象变压器那样的磁通有变化的漏磁通磁场。故还要考虑磁通变化时产生的涡流影响。若用薄的屏蔽板，磁通就会穿过屏蔽板而使屏蔽作用减弱。若用厚板，由于通过屏蔽板的磁通变化，就会产生图6·8所示的涡流，这种涡流在屏蔽板内要消耗能量，在大功率高频装置中，往往会因此而发热。这种涡流还要产生与穿过屏蔽板的磁通方向相反的磁通，因此磁通难以穿过的屏蔽板，

故屏蔽板厚一些效果好。可是从机器结构考虑，屏蔽板不能太厚，应该用导磁率高的硅钢片或坡莫合金，必要时用镍铁钼导磁合金。特别必要时还可用双层的。



(a)



(b)

图 6·7

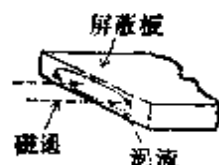


图 6·8

〔2〕磁屏蔽方法 磁屏蔽也和静电屏蔽一样，屏蔽的目的要对其他部分不产生噪声影响；另一作用是保护特定的部分，使之不受外部影响。但在所需屏蔽的二者之间，如只象静电屏蔽那样加一块薄屏蔽板，实际效果甚微。

(a) 变压器的磁屏蔽 磁屏蔽式变压器的外形示于图6·9

(a)，其内部结构如图(b)所示。在软钢板的外罩中装着变压器本体。本体与外罩间装着沥青等填充物，用带有接线端子的底盖密闭起来。这时即使变压器本体有漏磁通，此漏磁通将被外罩遮断（如外罩足够厚的话），几乎不伸出外部。外罩的轮廓都不成直角，而稍呈圆形，其作用是使其不易产生穿过外罩的漏磁通。

没有屏蔽的变压器，可以装在一个比它四围稍大一些的外壳里，在这种情况下，必须注意变压器的温升。另外，用坡莫合金作磁屏蔽当然好，但由于加工时磁性能变化很大，故加工后要作退火处理。在组装结束后，就很难处理了，因而要先处理，然后再组装（参看3·3）。

(b) 录放音磁头的磁屏蔽 图6·10所示为易受磁影响的

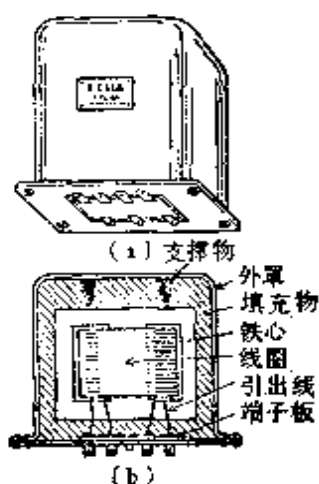


图 6.9



图 6.10

磁带录音机的录放音磁头。这些部件除了磁极外，要装在屏蔽壳内，其目的是保护磁头本体免受电源变压器漏磁通的影响。同时也不让其漏磁通穿出外部。计算机的存储器及磁心式延迟线也必须同样考虑。

6.4 怎样实施电磁屏蔽

(1) **电磁屏蔽** 如图6.11所示，当交流电流通过线圈时就产生交变磁场，在这一磁场中的其他线圈或回路便与此磁通相交链。交链的磁通随流过线圈的电流而变化，这就必然要产生感应电动势，造成噪声。为了防止这种干扰，二者之间必须屏蔽。屏蔽的一种方法是如图(b)所示，用线圈罩把线圈包围起来。这时穿过线圈罩的磁通，将在线圈罩上产生涡流，从而产生抵消原磁通的反向磁通，抑制磁通伸出罩外。若再将屏蔽罩接地，则还具有静电屏蔽的作用，也可防止电力线伸出罩外。所以叫做电磁屏蔽。这样的电磁屏蔽应将需屏蔽的元件全部罩起来，并且不能有缝隙。若不全部罩住而只在二者之间放一块

屏蔽板，则磁力线还要迂回进入屏蔽板的另一侧，这是和静电屏蔽的情况还不一样的。特别是工作在高频时，频率越高，对屏蔽严密性的要求也就越高。稍微有一点孔隙，甚至引出线的小孔都会产生漏磁。屏蔽材料常用铝或铜等良导体，厚些薄些关系不大。

〔2〕**电磁屏蔽方法** 电磁屏蔽与工作频率的关系很大，例如，市用交流电的电源变压器，只要沿变压器包上一圈短路铜带就很有效（参见图3·6）。但频率一增高，这种方法也就不行了。高频线圈等必须装在铝制线圈罩内。但要注意，线圈罩的直径应远大于线圈的直径。若用小直径的线圈罩，线圈的电感就会大大减小，从而改变回路参数。若线圈与线圈罩的相对位置随振动而变化，则线圈电感也要变化，这也是不符合要求的，因而线圈与线圈罩的位置必须保持固定。

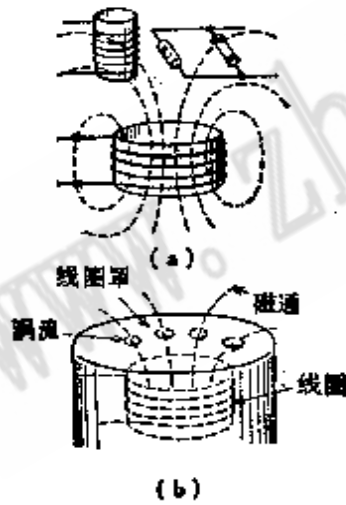


图 6·11

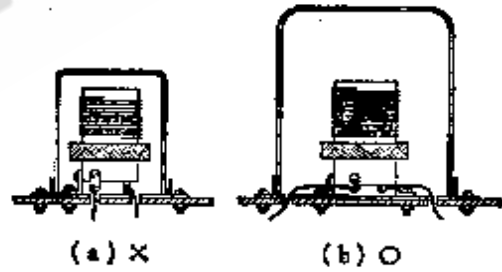


图 6·12

线圈的支撑要用两个以上的L形夹具来固定，线圈罩直径最好至少是线圈直径的2倍半以上。引出线的孔要尽量小，且位置也要仔细考虑。图6·12示出正确与错误的一例子。

线圈罩采用未经处理的铝或铜都可以。对变压器及其他电

子元件或各电路部分进行电磁屏蔽时，一定要考虑该部分的发热量。为了加强散热效果，罩子内外都要加黑色涂层。同时要考虑到屏蔽罩本身的散热问题。

对外来噪声电波的屏蔽或电路辐射的屏蔽，一定要采用电磁屏蔽。这是因为电波是交变的电磁场。测量仪器等设备是用来检测微小电压的，只用磁屏蔽不太有效，最好既用电磁屏蔽又用磁屏蔽的方法。当然，电磁屏蔽也兼有静电屏蔽的作用，但要切记：“屏蔽设备必须可靠地接地”。最好连被测件在内的每一个测量设备都放进一个屏蔽室内。这时应特别留意的是不要让交流电源线引进噪声。在交流电源线的入口要加合适的滤波器，而且此处屏蔽要做到特别严密。

6.5 使用屏蔽线应注意哪些问题

〔1〕屏蔽线 如图6.13所示，屏蔽线有很多种。用外皮镀锡的铜线编织成的管状线作屏蔽使用时，应使编织外皮接地，它主要起静电屏蔽作用，以便保护心线不受感应噪声的干扰。

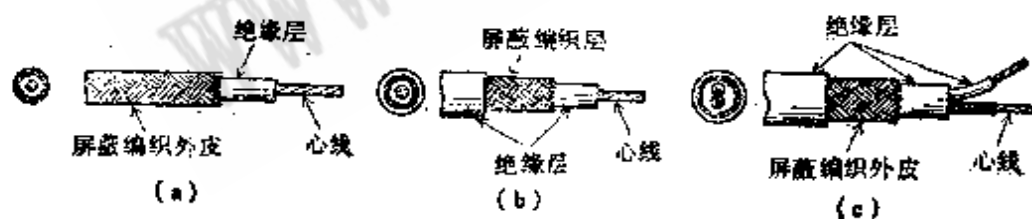


图 6.13

另外还有屏蔽电缆和类似同轴电缆的屏蔽线。前者是把几根屏蔽线捆成束，外面再加以绝缘和屏蔽处理；后者用于传输特高频信号。图6.13 (a) 是布线用的屏蔽线，图 (b) 的一般叫话筒软线，适用于音频信号，图 (c) 是双股心线的屏蔽

线，用于音频信号或脉冲信号的传送（参见4·5）。

〔2〕屏蔽线的末端处理 图6·13 (a) 所示的屏蔽线可按图6·14所示的顺序进行末端处理。

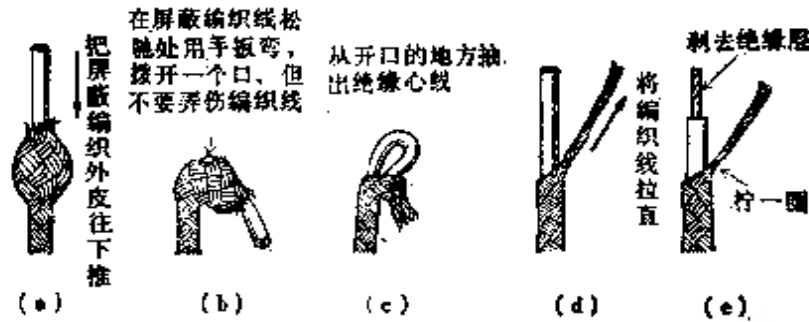


图 6·14

心线的顶端及编织外套的顶端镀上焊锡。然后根据需要，安装接线片。在编织外套外面还包有绝缘层的屏蔽线，如图6·13 (b)，要不损伤编织套只剥去外皮是比较困难的。但按图6·15所示的要领来剥，就可以很好地完成。剥去了外绝缘层以后，仍可按图6·14的要领处理。

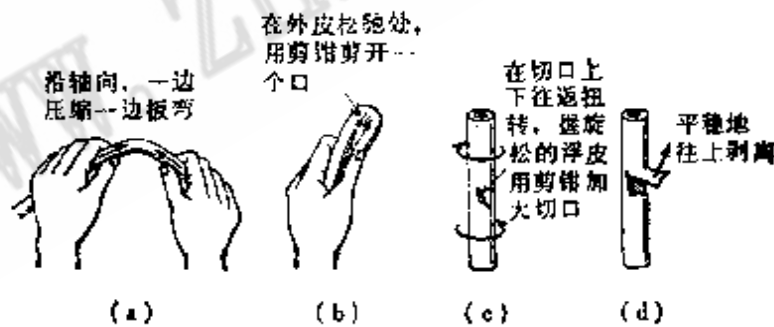


图 6·15

〔3〕接线时的注意事项 用屏蔽线传输信号，当频率低时，用图6·16 (a) 所示方法尚可；但在传输脉冲或高频信号时，最好按图 (c) 的方法连接，以便不与地线构成环路。为此，可用双心屏蔽线，这里屏蔽外皮只在接收端接地。

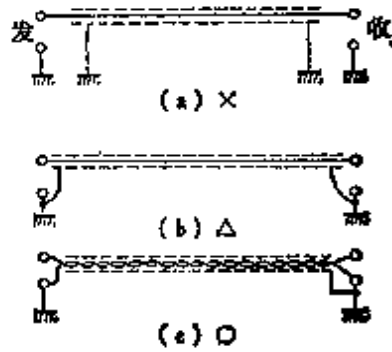


图 6-16

即使是屏蔽线，也不能任意走线，用屏蔽线形成的环路与不是屏蔽线时完全一样，若受到与它交链的磁通变化的影响，就会拾取噪声。也就是说，要记住屏蔽线对电磁感应的屏蔽作用较差。

另外，有时使用介电常数大的聚乙烯作绝缘层时，由于振动等原因，可能由于绝缘层磨擦而产生静电，这也是产生噪声的根源，故屏蔽线要固定起来。

第七章 温度与噪声

7.1 有关元件温升方面应注意哪些问题

〔1〕使用温度的极限 电子元件的使用温度极限取决于它的绝缘强度和本身的电气特性。由于温度上升，可能使绝缘物质变质，或者软化变形，从而使绝缘强度降低。所以要根据绝缘物质的种类和使用方法，来决定其安全使用的温度极限。象半导体等元件，其电气特性随温度而显著地变化，因而为了保持元件特性不变，就必须给它规定一个温度极限值。

〔2〕额定值与削减率 即使规定了使用温度的极限，在使用中要一个一个地测量元件的温度是很困难的。由于考虑到温升，阻值相同的电阻，其体积也随其额定功率不同而不同，例如同为 100Ω 的两个电阻，一个是 $\frac{1}{2}$ 瓦，另一个为2瓦。那

么当然2瓦的体积一定要比 $\frac{1}{2}$ 瓦的大。因此当消耗功率变成热能时，散热条件较好，虽然电阻温度上升也不致于超过极限值。然而由于使用的场所或使用方法不同，尽管使用功率还未达到额定功率极限，其所消耗的功率也可能使温度超过使用极限。因而必须根据不同的使用条件，低于其额定功率值来使用。这一降低后的功率相对于原额定功率的比率叫削减率。图7.1是碳膜固定电阻的环境温度与削减率的关系曲线。从图中看出，当环境温度是 40°C 时，可按额定功率值使用；当环境温度达到 100°C 时，只能按额定功率值的30%使用。这种与温度的

关系问题，也不只是电阻一类元件是这样，可以说不管是电容器的额定电压，或其他元件都有类似的问题。

〔3〕故障率与寿命 电子设备中使用的元件，象电池等消耗元件当然使用寿命是有限的；就是能在很长时期中使用的元件，如电阻或晶体管的寿命可以说也只是半永久性的。在使用一定时间之后，它们就要发生由于性能劣化或损坏造成故障。图7·2是碳膜电阻在环境温度为20℃和40℃时，使用时所采用的削减率与故障率的关系曲线。由图可知，环境温度越低，或使用功率较额定值越低，则故障率就越低；寿命的情况也与此相同。但是非用额定值就不能正常工作的继电器等是一种例外。对一般元件来说使用于低于额定值的工作值时，元件寿命可延长许多倍。

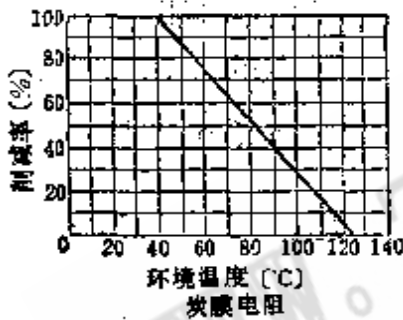


图 7·1

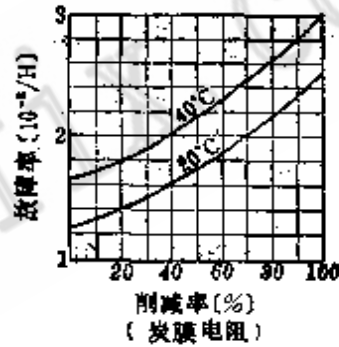


图 7·2

〔4〕温度系数 导体或半导体工作时起作用的只是载流子的移动，因为载流子对温度很灵敏，故其特性随温度而变化。一般电阻在温度上升时，其阻值就增加，而热敏电阻的阻值则一般随温度上升而减小。这种随温度而变的特性除可应用于温度测量等方面外没有别的好处。实际上，晶体二极管、三极管及电阻等的特性都要受温度影响。温度每升高1℃，特性变化程度的比例称为温度系数。因此，在电路设计阶段，必须了解设备工作条件，并且充分注意各元件的温度系数，然后决定元

件数值。电子设备特别是测量设备的漂移现象也主要与温度系数有关系。这一点应引起注意。

〔5〕**热骚动** 导体中的电子获得了热能后，不规则运动将增剧，从而引起电场变化。温度越高，其作用越大，从而产生所谓热噪声。这种现象的影响对于电阻或半导体元件来说是不可避免的。为了尽量减少热骚动噪声，必须控制温度上升。

7.2 半导体元件的特性是怎样随温度而变化的

〔1〕**反向电流** 晶体二极管及三极管等都是以前和硅半导体单晶为原料制成的元件，它对温度的变化极为敏感。半导体中的电子，由于温度上升得到热能，从而能级上升，导带载流子增多，电阻减小。结果，二极管的反向电流和晶体三极管的集电极截止电流增大，使其在低的反向电压下，就处于击穿状态。图7.3 (a) 是二极管的反向电流随温度的变化曲线，图 (b) 是当晶体三极管的基极接地时，集电极截止电流 (I_{CES}) 随温度的变化曲线。

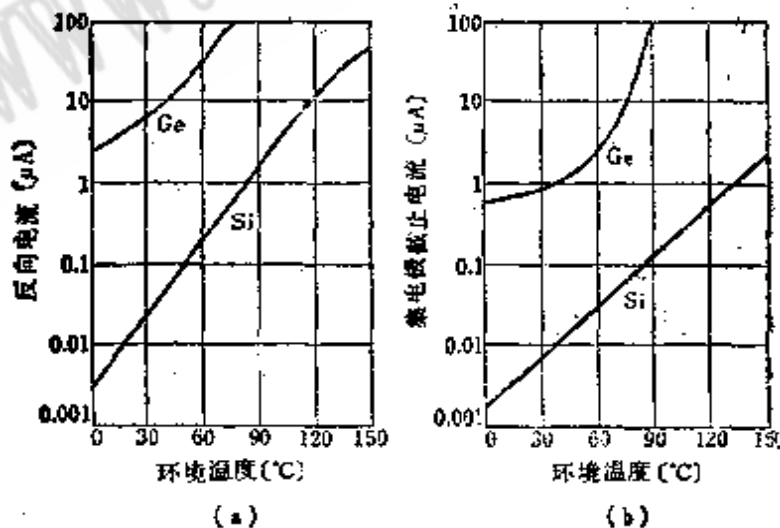


图 7.3

由图知道，环境温度越高，反向偏压时的电流就显著地增加。特别是锗，其曲线的斜率更大，温度比常温升高7~8度时，电流就增加2倍；若比常温升高30度时，电流就增加8倍之多。

〔2〕齐纳电压 稳压二极管是利用硅二极管反向特性的器件。它的反向击穿电压叫齐纳电压，在直流稳压电源中，要得到基准电压，稳压二极管是必不可少的。但齐纳电压又是要随环境温度而变化的。因而有可能使直流输出电压产生偏移，造成电压不稳。若用该直流电源供给直流时，电路的功能就会受到影响。齐纳电压为6伏的稳压管，例如RD6A等不怎么受温度的影响；而齐纳电压更高的那些稳压管如RD9A、RD13A等，当温度升高时，齐纳电压也将明显上升；反之象RD5A等低于6伏的管子的特性却是齐纳电压随温度的上升而下降。

〔3〕功耗 晶体二极管或晶体三极管就是加上正向电压，也有一定的电阻值，那么当有电流流过它们时，在其内部当然也要产生功耗。然而由于这功耗又转换成热能，于是使二极管或晶体三极管本身的温度上升，结果又使导电率上升，从而电流更加大，形成了温度越来越高的恶性循环。然而也不是说这种温度会无限地升高。因为和环境温度的温差越大，其散热作用也越大，当到达某一温度也就平衡了。若散热不好，温度可以升得很高，使二极管或晶体管烧坏。即使没有达到烧坏程度，也会给电路造成极坏的影响，以致不能正常工作。

对晶体管来说，其本身消耗功率越小越好，但不可避免地总有一定的功率损耗。为使晶体管安全工作，根据环境温度及散热方式，在特性表中一般都规定了最大容许功耗。图7·4是集电极的最大容许功耗与环境温度的关系曲线。

〔4〕暗电流 光电二极管或光敏晶体管即使没有光线照

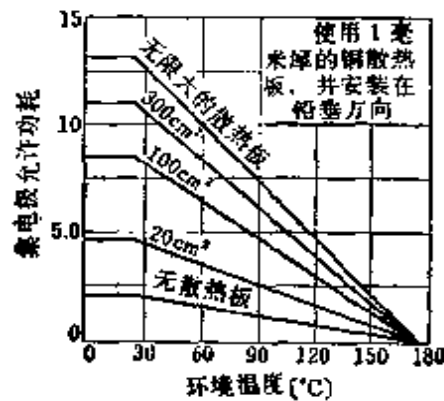


图 7·4

射，若加上电压也有微弱的电流，这就叫暗电流。当环境温度升高时，暗电流就大为增加，若环境温度从25℃升到50℃，暗电流将增加7~10倍之多。

从以上各点可知，半导体最忌温度升高。

7·3 怎样处理晶体二极管和晶体三极管的温升问题

〔1〕**散热措施** 如7·2节所述，晶体二极管或晶体三极管等半导体元件，在使用中因内部损耗而产生的热量，要尽量散掉，以使温度不致上升。为此，小功率的管子姑且不说，功率稍大的管子就需在其表面加黑色涂层，以提高散热效率；更大一些的管子就要安装散热板或散热器来增加散热面积，提高散热效果。用散热板或散热器时，为使空气自然对流好，应使散热板或散热鳍片垂直安装，并且要给散热板或散热器加黑色涂层。图7·5是几个例子：图（a）是小功率晶体管散热器；图（b）是温度平衡型晶体管散热器，常用于特性完全一样的推挽晶体管对，防止特性随温度而偏移；（c）是用于更大功率的晶体管散热器，它附有普通的散热板。（d）、（e）是专用

散热器。对于 (c)、(d)、(e)，其散热板或散热器的绝缘问题必须加以充分考虑。

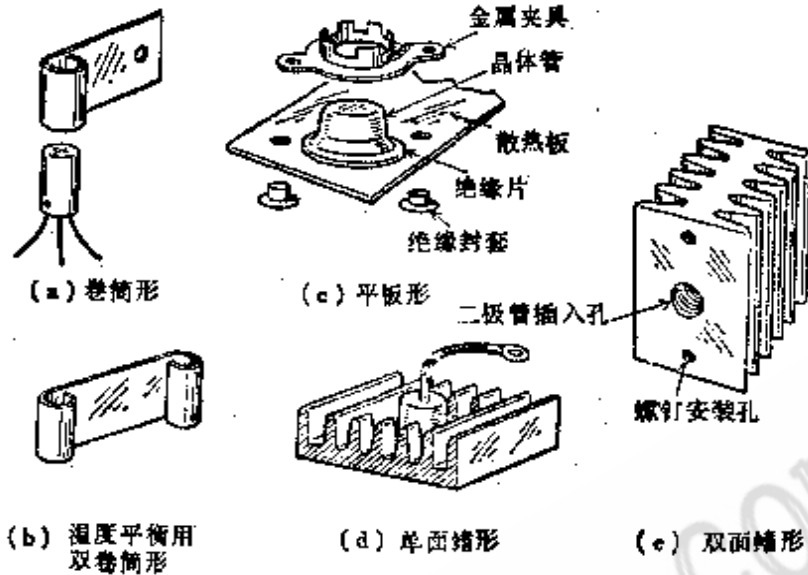


图 7.5

〔2〕减少发热量的措施 晶体二极管或晶体三极管上装上散热板或散热器，就能抑制温度上升。如果二极管或晶体管产生的热量较小，就可以用小型散热片或散热器，这就能减小设备所占的空间。即使环境温度低，最好也按7.1节讲的削减率使用额定值。晶体二极管或三极管的可靠性虽然有所提高，但产品目录上标出的额定值对每个具体的晶体二极管或晶体三极管也多少有些差别的。在实际使用时，电压、电流应该用特性表上额定值的70%以下。至于功耗，由于它与电流或电压成平方关系，故实际值最好大约是额定值的50%以下。于是集电极损耗在额定值的二分之一以下，发热量也抑制在二分之一以下，温度的上升更是在这数量级以下了。这里应该注意的是，由额定值表示的 P_c （集电极最大容许功耗）一般是指25℃时的数值。因为环境温度越高，容许功耗就越小，一不小心，马上

就会超过容许值。

〔3〕和其他电路元件的关系 晶体二极管及晶体三极管除考虑本身发热量引起的温升外，还必须考虑其他电路元件（电源变压器、电阻等）的热辐射引起的温升。所以在元件排列中，应考虑空气的对流。应按图7·6(c)所示方法安排不耐热元件和发热元件的位置，这里安装了隔热板，将发热元件隔开，另外应将发热量大的元件安装在上方。

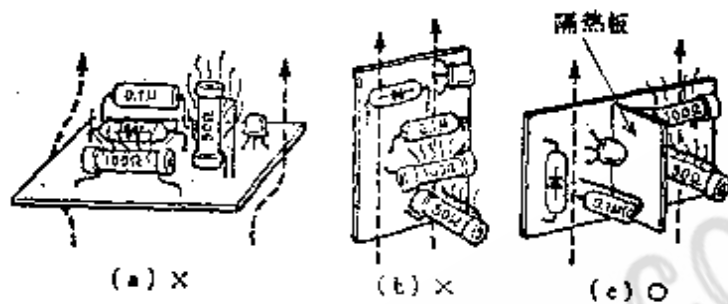


图 7·6

7·4 如何考虑设备的自然冷却

〔1〕功耗与温度 象直流电源之类的电子设备，其直流输出约是交流输入的百分之几十，其它都消耗在设备内部了。电子计算机之类的设备则几乎全部交流输入都消耗在机器内部。不管哪种情况，其输入输出之差都变成了内部的消耗功率。同时差不多全部机内所消耗的功率都要转换成热量。这个热量就导致设备温度上升。图7·7所示曲线表示温度上升与设备单位面积消耗功率的大致关系。例如，有一电源装置，其大小是长45厘米，宽25厘米，高35厘米；直流输出为25伏、10安和50伏、5安，此时交流输入为715瓦，则有：

$$\text{功耗 } P = 715 - (25 \times 10 + 50 \times 5) = 215 \text{ [瓦]}$$

全部表面积 $A = (0.45 \times 0.25 + 0.45 \times 0.35 + 0.25 \times 0.35) \times 2 = 0.715$ [米²] 即 $P/A = 215/0.715 \approx 300$ 。从图7·7查出温升为24度。这主要考虑表面散热的作用。若设计通风口, 从而考虑到从内部自然对流的散热, 就能进一步抑制温度的升高。

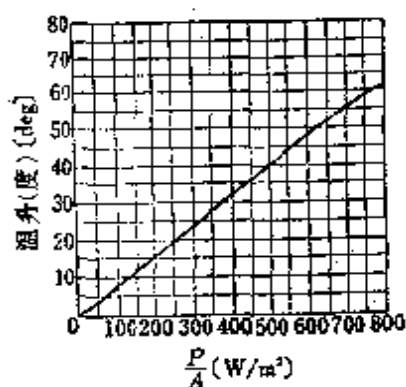


图 7·7

但若从图7·7求得的值超过了30度时, 就得装风扇作强制冷却。

〔2〕通风口 从电子设备的性能来说, 当然不希望温度上升。若只从这一角度来看, 不用外壳就最好。但实际上这是不行的。有效的方法是使通风尽量良好, 提高散热效果。这就需要合理设计通风口的位置、大小, 以及外观等问题。

通风口越大通风效果当然越好。图7·8示出开在设备侧面的几种通风口的方案。

如考虑对流通风, 通风量最多的是(d), 而(a)、(b)、(c)的位置都是不恰当的。若考虑整个设备, 并根据内部结构, 就通风而言, 在底面和上面安设通风口是最好的。但对于安装在地面上的装置又要担心尘埃的影响。故在设计时, 既要考虑内部结构, 又要使通风口宽大、位置适当。图7·9就是一个例子。从不耐热的元件处引入外部空气, 流向发热量大的元件一方, 最后从上方通风口流出到大气中去。在考虑空气的对流通风时的原则为: 外部空气首先通过组装有电容或半导体元件的印刷基板等; 其次再流过由小容量电阻组成的电路; 使发热量大的电路依次向后排; 最后通过电源或某些温度稍稍升高一点也不影响性能的少数电路, 然后流出机外。

〔3〕机架上的组装位置 组装时依各种不同的功能分为若

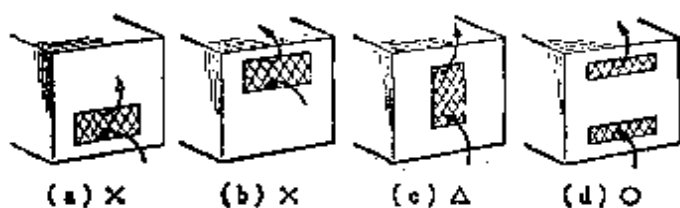


图 7·8



图 7·9

于个单元，再把每个单元装到机架上。对于各单元的装置，电源部分虽然笨重也决不放在下层，要尽量放在上层。最下面安装由不耐热的元件组成的逻辑电路或放大电路等，总之，应根据各单元发辐射的热量由小到大顺次由下向上安装。然而为了便于操作，又不能把调节旋钮、开关或指示仪表安装在靠底层很低的位置上，应安装在适当高度处。在这种情况下，各单元要有间隔，并用隔板隔开。

7·5 如何考虑设备的强制冷却

〔1〕强制冷却 当电子设备的功耗过大，只靠自然散热，温度仍过高时，就要装上风扇，强制通风，加速散热作用。如7·4节所述，用图7·7求出的温度值超过30度作为一个大致的标准，一般不让超过此标准。设内部功耗为 P 〔瓦〕，用风扇强制通风，空气流的总面积为 S 〔米²〕，准许温升为 t 度，则强制通风量 Q 〔升/分钟〕由下式求出。

$$Q = 53 \left(\frac{P}{t} - 12s \right) \text{〔升/分钟〕}$$

例如，当内部功耗为200瓦，机壳或印刷基板等强制通风的空气流的面积总和为0.75米²，温升控制在20度，则强制通风量 Q 为

$$Q = 53 \left(\frac{200}{20} - 12 \times 0.75 \right) = 53 \text{ [升/分钟]}$$

显然，安装一个每分钟能流过空气53升的风扇就行了。

以下作一简单计算，给出一个大概的计算值以供考虑冷却效果时作参考。空气的比热是0.238卡/克。1升的质量为1.2克，1卡是4.2焦耳，则1升空气每秒温度升高1度的功为

$$0.238 \times 1.2 \times 4.2 = 1.19952 \approx 1.2 \text{ [焦耳]}$$

换言之，以升/秒的速率流过的空气，若全部温度升高为1度，则能带走消耗电功率1.2瓦时所产生的热量。

〔2〕**风扇** 功耗小的电子设备或装置，一般用图7·10所示

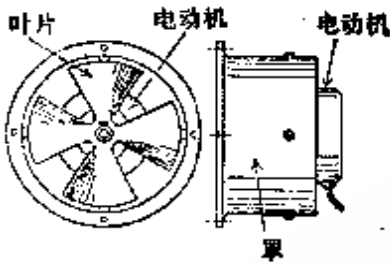


图 7·10

的小型风扇。它是用2极或4极电容式单相感应电动机转动风扇的，装在机器后上方，把内部的空气向外抽，从下面的通风口吸进外部空气，使各部分冷却。电源用60赫或50赫，其转速也有所不同，风量也稍有不同，大体上每分钟是3~4米³左右。

〔3〕**使用电风扇的注意事项** 风扇的通风量大多指在1个大气压的空气中，并在没有任何阻碍时所得风量来表示。但实际使用时，风扇装在内部，通过防护网把流过各元件间的空气排到机外，故空气的流通是有阻碍的，通风量必然要少得多。因为空气的阻力随元件的配置或内部空气的流通情况而变化，要准确计算空气阻力的值是困难的，因此决定使用风扇的大小时，不可能作精确的理论计算。选用风扇的通风量应大致比计算值大一倍。根据经验这种选择是正确的。

但是，一旦风扇发生故障停止工作，问题就大了，这时内

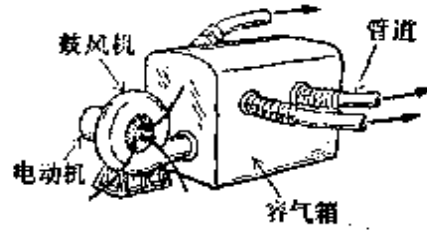


图 7·11

部温度上升，使设备损坏。如果是有人在旁边操作的测量设备，问题不大，否则要在设备中附加电源自动切断装置、或用恒温器的温度警报装置，一旦风扇停止转动就把电源切断发出警报。

通风量大，尘土积压率也高，设备应勤加清扫。电动机是感应电动机，除了轴承以外就没有磨损，即使连续运转，要经常上油，就可用2~3年。

〔4〕**鼓风机** 大型装置使用鼓风机比个别安装风扇为好，通过通风管道把空气送到各部分。为了把所需的空气量送进各个部分，鼓风机首先把空气送进容气箱里，以一定气压，通过管道送至各个设备。若不设置容气箱，则离鼓风机远的管道的风量就要小于近处的风量。

第八章 寄生振荡

8.1 寄生振荡是怎样产生的

〔1〕寄生振荡 例如放大器等装置，由于元件排列或布线不合理以及电路结构上的缺陷，往往产生不需要的电振荡，从而引起干扰。这种振荡叫寄生振荡。这种振荡几乎都是由于具有放大功能部分的输出，通过预料不到的感应回路，反馈至输入端而产生的。如图8.1所示，输出的一部分经反馈而叠加在输入上，如反馈信号的相位与输入信号相同，则相互加强，这种反馈叫正反馈，寄生振荡就是由于这种正反馈而产生的。

对于那些工作的信号为宽频带特性的脉冲或高频简谐波的电路，由于估计不到的杂散电容或引线电感形成了谐振电路，常常使某一特定频率的振荡得到加强而产生寄生振荡。另外，高频振荡回路引起的衰减振荡也是寄生振荡的一例。以下列举容易产生寄生振荡的某些电路条件：

- ①具有高增益放大电路的场合。
- ②输入端及输出端挨近，或者输入环路和输出环路相互重叠，或布线平行。
- ③当输入电路的接地和输出电路的接地有共同的接地环路。
- ④旁路电容器的电容量太小，或安装位置较远且用细导线连接。

* 译者注：原文为寄生振荡，从文意可知为L.C振荡回路电感电容交换能量形成的衰减振荡，故译为衰减振荡，以示将“异常发振”译为“寄生振荡”相区别。

⑤接地不牢固，或离地线接点较远，用长的引线接地。

⑥布线太长并多种电路的布线相混杂，或印刷电路板设计不合理。

⑦不管是用多级放大器或集成电路的复杂电路，直接从电源并联供给直流电压（未用电源退耦电路）。

⑧未考虑匹配的电耦合。

⑨由于考虑不周，高频信号的接线拉得太长。

⑩采用覆盖超过需要的高频的宽频带特性的电路。

⑪电路装配结构不牢固，受到机械振动影响。

〔2〕振荡机理 如图8·2 (a) 所示。若在一悬物上加一个力 F ，则振子按长度 l 作周期性的振动。由于空气的阻力，振幅逐渐减小。这种振动叫衰减振动。如图 (b) 所示，若使支点作周期性地摆动，振子就继续保持某一振幅的振动。在电路中也有类似现象发生。在图8·2 (c) 的电路中， R 、 L 、 C 为某一定值，若接通开关 S ，则通过回路的电流产生与图 (a) 相

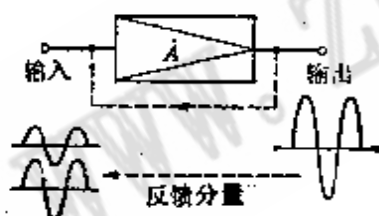


图 8·1

同的振动，电阻 R 和振子中的空气阻力的作用一样。把电池换成频率与该电流振动周期恰好一致的交流电压 e ，就能保持与图 (b) 一样的连续振动的谐振状态。这时 L 或 C 两端电压比 e 的电压高得多。这里值得注意的是，

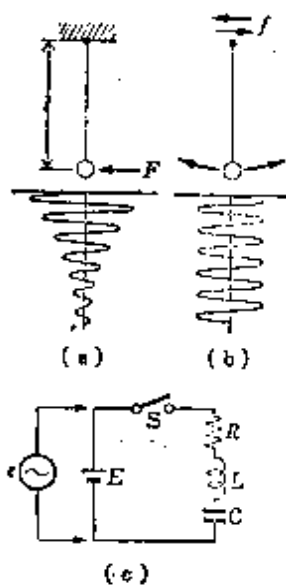


图 8·2

当 (a) 或 (b) 不是在空气中而是在水中，就会由于阻力过大而难于振动；在 (a) 的情况就立即衰减掉，在 (b) 的情况，则为振幅极小的振动。(c) 的情况也相同，当 R 的阻值大时，就不容易产生电振荡。

8.2 非正弦波与寄生振荡有什么关系

〔1〕引线谐振对非正弦波的影响 这里举一个易懂的例子。若有频率为 f_L 与及 f_H 的两个正弦波电压叠加而形成一非正弦波 e_i (参见 2.2—〔2〕)，它通过一段导线。此导线可等效成如图 8.3 所示的网络。假设引线电感 L 为 25 微亨，杂散电容 c 为 4 微微法， e_i 由频率 $f_L = 10$ 千赫，电压为 2 伏的信号迭加频率 $f_H = 16$ 兆赫，电压为 0.01 伏的信号，并

假定 r 是 0.01 欧姆。于是对于频率 f_L 来说， c 两端的电压即 e_o 为：

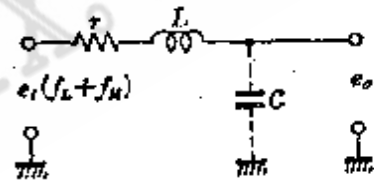


图 8.3

$$e_o = \frac{e_i}{\sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \times \frac{1}{\omega C}$$

$$= 2 + 1 \sqrt{0.01^2 + \left(2\pi \times 10^4 \times 25 \times 10^{-6} - \frac{10^{-4} \times 10^{12}}{2\pi \times 4}\right)^2}$$

$$\times \frac{1}{2\pi \times 10^4 \times 4 \times 10^{-12}} \approx 2 \text{ [伏]}$$

而对频率 f_H 来说，用同样方法求得其输出电压为 e'_o 。

$$e'_o = \frac{0.01}{\sqrt{(0.01)^2 + \left(2\pi \times 16 \times 10^6 \times 25 \times 10^{-6} - \frac{10^{-4} \times 10^{12}}{2\pi \times 16 \times 4}\right)^2}}$$

$$\times \frac{1}{2\pi \times 16 \times 10^6 \times 4 \times 10^{-12}} \approx 1 \text{ [伏]}$$

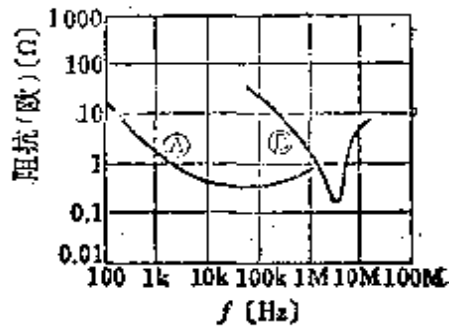
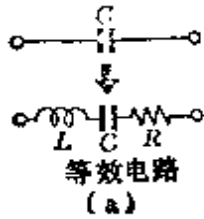
尽管10千赫的电压没有什么变化，但16兆赫的电压竟升高100倍之多。实际上，即使不发生这种极端情况，但由于这种存在杂散电容、引线电感的谐振而产生的危害则是常常遇到的。

〔2〕非正弦波与杂散电容的关系 先分析一下非正弦波信号经导体传送时，若有其它电路的导体与其平行，而两导体间又有杂散电容存在的情况。非正弦波的信号含有各种高次谐波，其中，基波为 f_1 ，高次谐波为 f_2 、 f_3 、…… f_n 。设两导线间的杂散电容为 C ，对于各个频率，两线间的电抗 X_i 为

$$X_i = \frac{1}{2\pi f_i C} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

频率越高，电抗越低。和其他导体相联结的电路，偶而与高频中的某一成分谐振时，就会产生该频率的振荡。而且 C 值一大，电抗就更小，影响也更大。然而在一般电子设备中所用的信号，语言、音乐信号不说，图象信号或脉冲信号都是非正弦波，这些有用信号，可以说都是非正弦波。

〔3〕非正弦波与电容器 如3.6节所述，电容器不只是有电容值，而且还有引线电感、卷筒电极的电感，以及引线电阻与电容损耗换算成的电阻等等。所以其等效电路如图8.4 (a)所示，其频率特性如同图 (b) 所示。在脉冲信号之类的非正弦波电路中，信号包含了从非常低的频率到高频各次谐波分量。处理这类电路时，如果认为旁路电容器越大越好，而且只用一个，那么通过电容器应该入地的高次谐波还是要出现在输入端或输出端，造成干扰（参见3.9）。另外用作去耦电容时（参见3.10），可以说也有同样情况，会产生寄生振荡造成许多麻烦。



A: 铝电解电容器 $100\mu\text{F}$
B: 管伏电容器 $0.1\mu\text{F}$

图 8·4

8·3 放大器在什么情况下会发生振荡

〔1〕放大器的反馈相位 当放大器的增益在零分贝以上时，即当输出与输入之比在1以上时，并且由于某种原因而输出的一部分反馈至输入端时，如果输入波形和反馈波形恰好叠加，就可能产生振荡。在图8.5中有两放大级 A_1 、 A_2 ，若它们各自的输入与输出的相位都反相，即相差 180° ，那么如图所

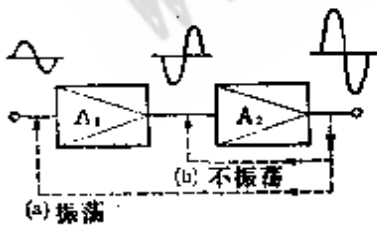


图 8·5

示、放大级 A_2 的输出即使通过反馈回路或者由于感应而反馈到它本身的输入端，一般寄生反馈支路或感应支路的最大相位移也不过 90° ，故不会产生振荡。若放大级 A_2 的输出反馈至前级放大级 A_1 的输入，则因由于相位一致而可能产生振荡。

〔2〕相移 不管是放大器或反馈支路由于它们都是电子电路，且又是处理交流的电，当然应该考虑相位。所谓放大系

数，不只是输出输入信号幅度的简单比，而是一个矢量值。对反馈支路来说也与此相同，反馈系数也不只是反馈分量与输出信号的幅度比而也是一个矢量。即当频率变化时，不只是与输入相对应的输出信号的大小要变化，而且相位也要产生偏移。对应于输出相位的变化，反馈分量的相位也要偏移。一个简单串联回路各元件的相移与频率的简单关系示于图8·6。现在分析一下图(a)中电阻两端的电压 e_R 与输入信号电压 e 的关系。当频率低时，电流或各元件两端的电压如图(b)所示， e_R 的相位比 e 超前 θ 角。反之，当频率高时，各相位情况如图(c)所示，这时 e_R 的相位比 e 迟后 ϕ 角。若当某一频率使 e_L 和 e_C 的大小相等时，则 e_R 和 e 的相位相同而为同相。放大器也会产生类似现象，其相移随频率不同而改变。另外，放大器输入、输出相位总是偏移 180° *。例如，RC耦合放大器或运算放大器用的直接耦合的直流放大器等，每级输入与输出的相位都是相反的。

然而，为了改善放大器的性能，有一种所谓反馈放大器，它是有意地把输出一部分反馈至输入端，或进而反馈至前级放大器。这种情况，一般都是用负反馈（简称NFB或NF）。因为放大器和反馈支路构成一个环路，如果对某一频率这个环路的相移为 180° ，则当环路放大系数等于、大于1时，就产生该频率的振荡。

〔3〕放大系数与相移 当不加反馈时的放大系数为 A_0 ，反馈系数为 β 时，反馈放大器的放大系数 A 可用下式表示。

$$A = \frac{A_0}{1 - A_0\beta}$$

* 这一结论在低频时是大致正确的，但在高频时就很不严格了。——译者

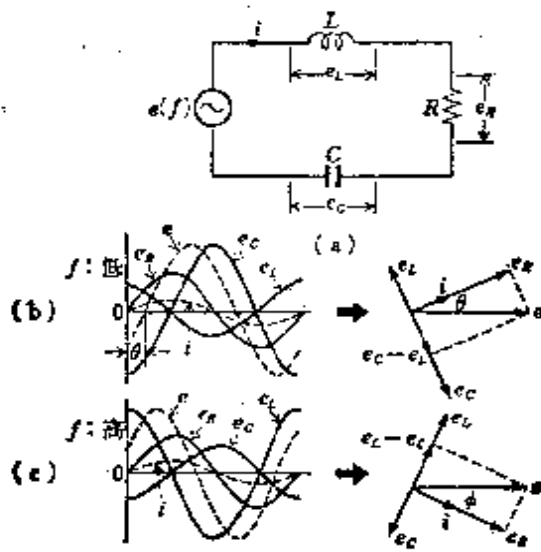


图 8-6

当 $A_0\beta = 1$ 时， A 为无限大，因而产生振荡。一般当加上负反馈时，放大系数就下降，内部失真或噪声将减小，频率特性也可获得改善。基于这些优点。负反馈放大器得到了广泛的运用。必须注意，在多级放大器中，由于频率变化，放大系数以及反馈系数的相位往往都有变化。也就是说，如果放大器的频率特性如图 8-7 (a) 所示，就不会振荡；但若如图 (b) 所示，就要产生振荡。

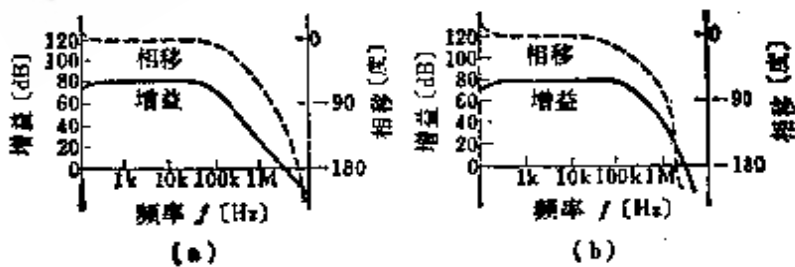


图 8-7

8·4 如何处理寄生振荡

〔1〕查振源 在电子电路或控制系统中，若产生寄生振荡，正因为它不是预期的振荡，要查明其原因或找出振源，往往是非常麻烦的。另外，即使查明了，要消除其振荡，往往更是费事。认为“消除寄生振荡的措施就是使用电容器”，而在电路上不管哪里任意地接上电容器是不对的。因为这样搞不好即使能消除振荡，但同时电路的特性也将显著恶化，或者失去了预定的性能要求。这样一来，往往既费劳力又费时间。因此，一旦碰见寄生振荡，首先应根据以下要领查明振源及原因，然后再着手解决。

(a) 判断振荡类型 先区别是连续振荡、瞬时衰减振荡还是间歇振荡，并估计其频率范围。振源大致可分为三个部分：①有放大作用的电路；②反馈支路；③布线、元件。按此分析一下各部分可能振荡的主要部位。如果认为是放大器部分，则试降低增益，看振荡是否停止。如果停止振荡，就可把范围缩小到放大电路。如果还认为布线可疑，可摇动布线或元件，看频率是否变化。就这样作一大致摸索之后，再对重点怀疑部进行仔细分析检查。

(b) 敲一敲看振荡是否变化 轻击机件，看振荡是否变化。在音频设备中，声音从扬声器或输出变压器的铁心传到机箱或底板，由机箱或底板再传至输入元器件从而影响输入而产生振荡。以这种机械振动作媒介所产生的振荡可用机械的措施来解决。

(c) 顺次逐段接地试探法 用2~3种容量的电容器，使电路的各个部分逐一接地，从末级开始顺次向前探索，直至

发现接地时振荡停止的那部分电路，则振源很可能就在这段电路中。

(d) 根据振荡波形及其大小来分析 用同步示波器观测电路各部分的波形。使输入交流短路，接入方波对各个电路进行观察，这种方法最为方便而迅速。这种方法对于偶然的振荡或者即将产生振荡的状态也可发觉。根据方波前沿及后沿的变化、振铃状态、稳定度如何等，都能大致判断电路是否稳定工作或临振等。

〔2〕防止振荡的措施

(a) 对放大电路的措施 最值得注意的是放大器的稳定性，即无论是增益还是相位都希望有充分的安全系数。这个应在设计阶段就加以解决。理论证明，当频率特性曲线在高频端下跌时，其相移与频率特性曲线下降率 m （分贝/倍频程）有关，一般认为放大器的输入、输出的相移为 $15m$ 度。故 $m = 12$ （分贝/倍频程）时，就有 180 度的相移。特性曲线用折线表示。具有如图8·8所示频率特性的放大器，若不加改变地加上负反馈时，当环路增益在1以上时，就要产生振荡。所谓6分贝/倍频程，即频率增加1倍，放大系数变化一倍（即为原来的2倍或 $\frac{1}{2}$ 倍）。换言之，若频率增加至原来的10倍，放大系数就为原来的10倍或 $1/10$ 倍。同样，对于12分贝/倍频程来说，若频率变化至原来的10倍，放大系数就为原来的100倍或 $1/100$ 倍。因此，在设计时希望对反馈支路的相移加以考虑，高频特性控制在6分贝/倍频程左右。但实际上，若按图8·8进行设计的多级放大器，若牺牲些带宽，也可以在级间接入些小容量的电容器，进行频率特性补偿。

(b) 电路结构上的措施 虽说是寄生振荡，但就其本质来说，是由于拾得噪声而产生的，其防止方法与抑制噪声的措施

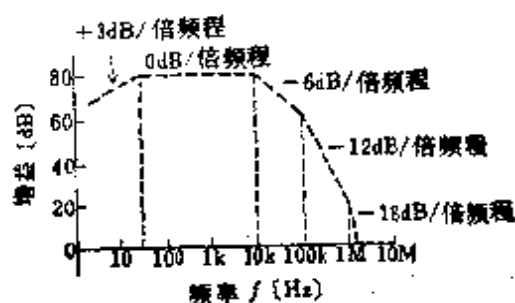


图 8-8

完全一样。也就是说，其扼制措施不外乎通过适当使用电容器的方法（参见3·7~10），及注意元件的排列或布线方式（参见4·2，4·4~7），接地方式（参见第5章）等的改善等等。关系到寄生振荡的主要事项有以下三点，也是处理的重点。

- i) 寄生电容的杂散耦合，
- ii) 引线电感及公共阻抗，
- iii) 接地方式及各环路间的杂散耦合。

第九章 脉冲电路与噪声

9.1 脉冲波形具有什么样特征

〔1〕脉冲波及方波 如图9.1所示，断续的直流形成的电压波形或电流波形，就叫脉冲波或方波。常见的有图（a）、（b）所示的两种波形，即顶部与底部时间相等与不等两种。图中 t 称重复周期，其倒数，即每秒的脉冲数称重复频率。 t_p 叫脉冲宽度。脉冲宽度与重复周期的百分比 $\frac{t_p}{t} \times 100$ 〔%〕叫占空系数。一般习惯把占空系数在10〔%〕以下者叫脉冲，在10%以上者叫方波。但在实际使用中，区分得并不太严格。一般重复频率高的，即使占空系数在10〔%〕以上，也叫脉冲。实际脉冲波形也并不是如图9.1所示那样理想的长方形，其波形随不同的电路常数而有图9.2所示那样不规则形状。这个波形各部分的名称如下：

A：脉冲幅度〔伏〕

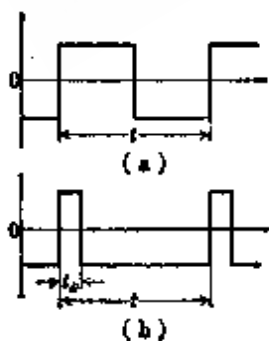


图 9.1

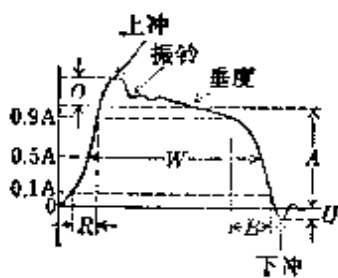


图 9.2

W: 脉冲宽度〔秒、毫秒、微秒〕

R: 前沿上升时间〔毫秒、微秒、毫微秒〕

E: 后沿下降时间〔毫秒、微秒〕

O: 上冲 = $O/A \times 100$ 〔%〕

U: 下冲 = $U/A \times 100$ 〔%〕

另外, 上冲过大, 往往要产生衰减振荡, 这叫振铃。顶部倾斜叫垂度。垂度用波顶前沿最高点高度与后沿高度的和与差之比的百分率来表示。

〔2〕脉冲频率 脉冲波形, 不用说像图9·2那样的不规则波形, 即使像图9·1那样的理想波形也显然是非正弦波形。脉冲波形是由无数从低频到高频的各种频率和各种大小的正弦波叠加而成的。可以说理想的脉冲波形所含频率成分的带宽是极宽的。就图9·3而言, 图(a)的脉冲, 包含了频率从零, 即从直流到无限高频率的成分。在图(b)中, 最低频率等于重复频率, 而最高频率则是由前沿的斜率决定的频率, 或者振铃频率中较高频率所决定。并包含最低与最高频率之间的率二频率成分。因此, 脉冲波形包含的频带极广。而且重复频率越低, 波形越接近理想, 其频带也就越宽。

〔3〕高次谐波的相位 如前所述, 脉冲波是在直流分量上或是最低基频上叠加许多具有整倍数频率的高次谐波而成的; 但即使是大小相同的基波, 和大小相同频率相同的高次谐波叠加时, 也还存在着叠加方式的问题, 为便于理解, 现在分析一下在基波上仅叠加3次谐波时的情况。一种是按图9·4(a)所示的叠加方式, 另一种是按图(b)所示的叠加方式。显然其合成波形是不同的。在图(b)中, 所叠加的第3次谐波比基波迟后 90° 。若比较一下二者不同的非正弦波波形, 就能明白高次谐波的相位对波形影响。因为脉冲波形是无数高次谐波叠加而

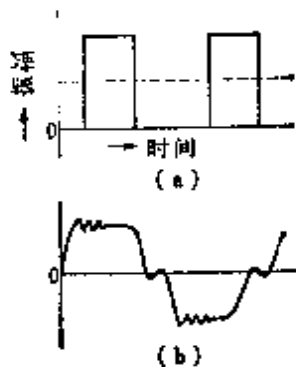


图 9.3

成的，故不但各高次谐波的振幅与合成波形有关。而且其相位也对合成的非正弦波形有很大影响，应记住这点。

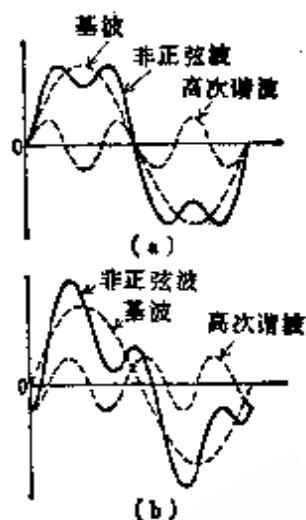


图 9.4

9.2 脉冲波形是如何随着电路条件不同而变化的

〔1〕瞬变过程及脉冲 当电路电压从某一值变到另一值时，其电路电流如何变化，要随电路元件而异。在这种瞬变过程中产生的现象叫瞬变现象。脉冲电压加在电路上的现象与图 9.5 (a) 的电路中，有规律地交替地把转换开关 S 接在 1 端或 2 端的情况相似。当 S 先在 2 端，突然又转换到 1 端时，流入回路的电流随时间的变化如同图 (b) 所示。当电流为 i 时，L 两端的电压为 $L \frac{di}{dt}$ ，R 两端的电压为 Ri ，故

$$E = L \frac{di}{dt} + Ri$$

由此式解 i ，得

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

当 $L/R = t$ 时

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - \frac{1}{e} \right) \approx 0.632 \cdot \frac{E}{R}$$

L/R 秒后的电流为稳态电流值 $\frac{E}{R}$ 的 63.2〔%〕。这里 L/R 叫时间常数。经足够长的时间后，把 S 接在 2 端，其电流变化曲线如图 (c) 所示。另外，若如图 9·6(a) 那样，把图 9·5(a) 中的 L 换成 C 时，就有图 9·6 (b) 那样的电流曲线。这时的时间常数是 RC，RC 秒后的电流为初始电流的 36.8〔%〕。

如果如图 9·7 (a) 那样，电路中接有 R、L、C 而把 S 从 2 端转换到 1 端时，若 $R < 2\sqrt{L/C}$ ，则流过的电流是振荡电

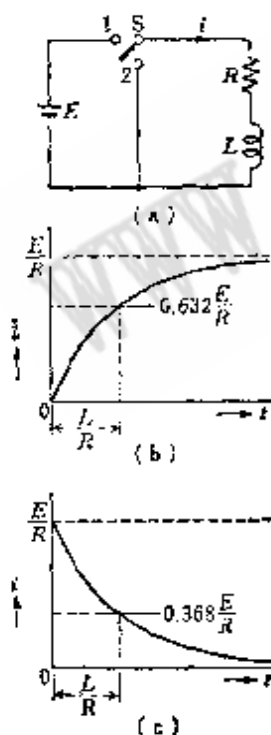


图 9·5

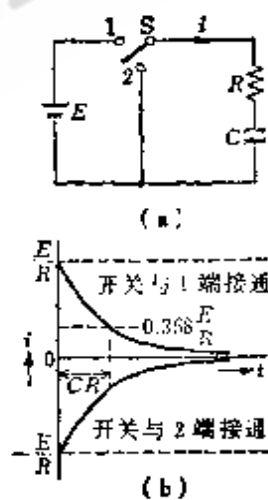


图 9·6

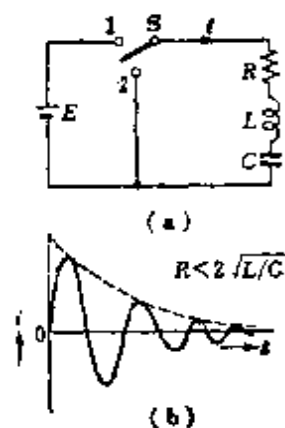
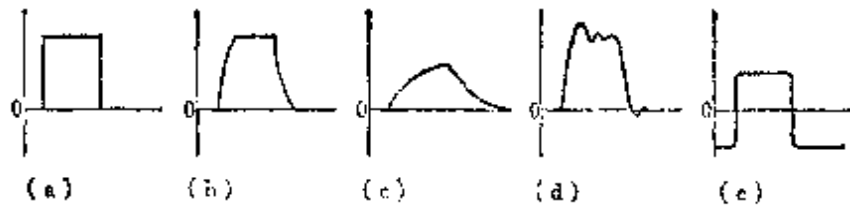


图 9·7



(a) 原形 (b) 时间常数小 (c) 时间常数大
(d) 有L、C元件 (e) 隔直流

图 9.8

流，如同图 (b) 所示，其振幅随时间而衰减。当电流为 0 以后，再把 S 转换到 2 端时，也将出现类似于图 (b) 的衰减振荡曲线，不过是与此图相对称的（以时间轴为对称轴）。

由以上各点很清楚地看出，脉冲波好似是直流的瞬变现象重复地进行的結果。

〔2〕脉冲波形的瞬变 将图 9.8 (a) 所示的脉冲波形加在具有各种不同的电路上，其输出波形也将不同，其有代表性的波形如图 9.8 (b) ~ (e) 所示。

电子电路总包含一些电阻、电感及电容元件，再加上半导体元件的特性等造成的影响，实际上就具有各种频率特性。带宽非常宽的脉冲波形，不管它所经过的电路如何简单，都要发生变形现象。除此而外，还与其他电路的感应或电源电压的变动等等因素有关，要达到所要求的脉冲波形，就必须周密考虑。

9.3 脉冲波形与噪声有什么关系

〔1〕模拟信号与数字信号 电压或电流的大小、电阻值、长度或时间等一般的物理量，其大小可变换成近似于连续的数值。这种量叫模拟量。利用模拟量的变化作为信号，这是模拟

信号。其典型代表就是音响信号。与此相对应，当计算物体的数量时，用0、1、2、3，……n，等数，这种用整数表示的量叫数字量。以它作信号就是数字信号。电信号用0或1，即有或没有一定值的电压或电流，换句话说，就是以一定值脉冲的有无，用2进制来表示的信号叫数字信号。

除了用电压表的指针偏转幅度表示模拟电压值的电压表外，也有用数字表示电压值的数字电压表。它是把模拟量的电压值转换成数字值，在数字指示器上，用数字表示的电压表。就这样，模拟信号可以转换成数字信号，而数字信号也可以转换成模拟信号。

〔2〕脉冲信号应具备的条件 数字信号所用的理想的脉冲波形，有以下几点要求

- ①幅度一定，
- ②重复周期及脉冲宽度一定，
- ③波形无畸变，
- ④没有相位偏移，
- ⑤零电平不动。

但实际上，由于各种各样的电路条件，上述要求不是全部都能满足的。例如通过电容就失去了直流分量，零电平就要发生变动；如遇电感就产生相移，而且随频率而变化。在包含频率分量很宽的脉冲波中，其每个频率的相移大小各不相同，故要产生波形畸变。这种畸变即使并不全是噪声，但脉冲信号电路与音响信号或正弦波的模拟信号电路相比，可以说要产生更为麻烦的问题。

〔3〕脉冲波形上的噪声 如图9·9所示，在大致理想的脉冲波形上，载上不规则的高频间歇振荡时，这可说是很明显的噪声。由于脉冲本身具有从低频到高频的频率成分，故要按频

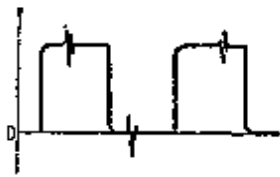
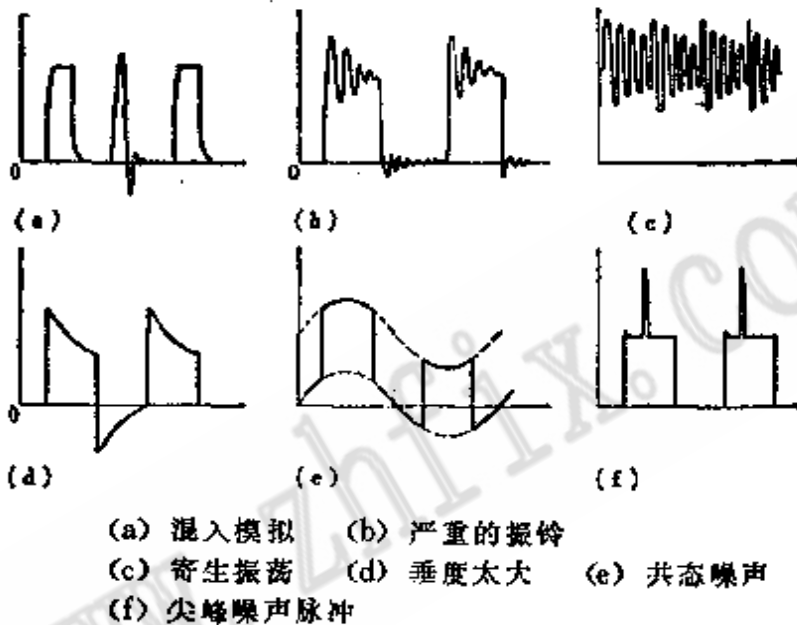


图 9-9

率来分离出噪声是极为困难的。当用示波器观察波形时，很难判别只是电路的波形畸变呢，或是其他电路影响的噪声电压产生的畸变。因之在处理脉冲波形的噪声时，就应扩大音响电路中所说的噪声概念。凡妨碍脉冲信号进行正常工作的因素，全都可以看成可能噪声的原因。脉冲的主要畸变及噪声干扰波形举例示于图9-10。



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

- (a) 混入模拟 (b) 严重的振铃
(c) 寄生振荡 (d) 垂度太大 (e) 共态噪声
(f) 尖峰噪声脉冲

图 9-10

总之，要抑制脉冲波形上的噪声，其主要措施只有防止其波形畸变，并对畸变的波形加以整形，尽量重现原来的波形，以防止错误工作。

9.4 上冲或振铃是怎样产生的

[1]产生上冲或振铃的条件 在图9-11 (a) 所示的电路中，当转换开关S由2倒向1时，在接通后的某一短暂时间

内，流入回路的电流 i 与 c 两端的电压 e 的变化曲线如同图 (b) 所示。但要说明，这种衰减振荡产生的条件是 $R < 2\sqrt{L/C}$ 。当 R 、 L 及 C 越小，振荡的重复周期就越短。由图可以看出，这种振荡的幅度是随时间而减小的。就是在脉冲电路中，也产生与此完全相同的现象。在图 9·12 所示的脉冲放大电路中，若 a — b 间的引线太长，引线的电阻和电感以及引线和地之间的杂散电容就不能忽视，故其等效电路如同图 (b) 所示。它与图 9·11 (a) 的完全一样，即使 a — a' 间有如图 (c) 的脉冲波形，但在 b — b' 间的脉冲就产生图 (d) 所示那样的波形失真。即引线电阻使脉冲的平均振幅减小，引线电感和杂散电容，使产生上冲及振铃。

(2) 引线电阻的影响 在图 9·11 (a) 所示的电路中，当引线电感 L 和地线之间的杂散电容 C 不变时，若引线电阻较大，

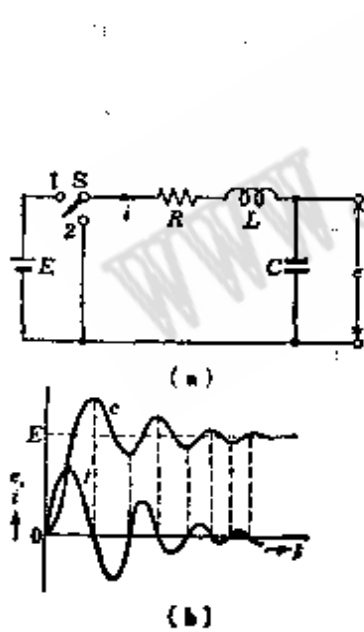


图 9·11

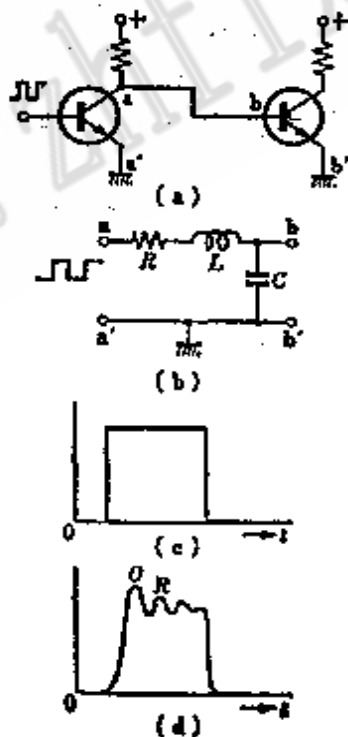


图 9·12

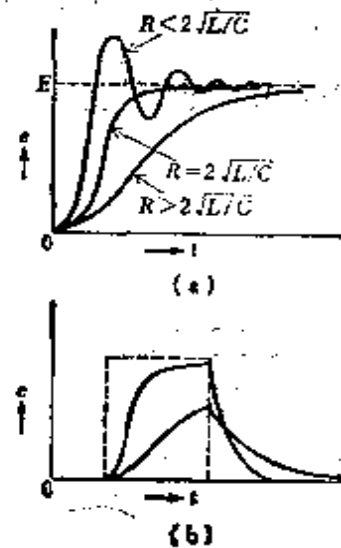


图 9·13

或接入了串联电阻，使 $R \geq 2\sqrt{L/C}$ 时，就不会产生如图9-13(a)所示的上冲或振铃。但是接了电阻以后，将产生畸变，如图(b)所示。其中虚线为原脉冲，实线为畸变后的波形。从这里可看出严重时不但发生变形，且振幅还要减小，前沿上升缓慢。但在具体电路中常用这种方法来防止上冲和振铃。有关这种方法及注意事项将在9.5节中讲述。

〔3〕**引线电感的影响** 即使前沿上升时间相同，上冲或振铃还与引线电感L大有关系，L越小，上冲或振铃现象就小。在前沿上升时间短的脉冲电路中，必须使引线电感L尽量小。

〔4〕**杂散电容的影响** 引线和地之间不但存在其本身的杂散电容，而且还并联有负载的电容，故必须总的来考虑。当C太大时，将发生脉冲的时延和前沿上升时间增大等不良影响。

〔5〕**和脉冲前沿上升时间的关系** 即使电路条件相同，当脉冲的前沿上升时间短时，上冲的峰值将极高。例如对前沿上升时间为1微秒左右的脉冲没有问题的电路，但对上升时间为 $\frac{1}{10}$ 微秒的（100毫微秒左右）脉冲，则其上冲将增大约10倍。

这时振铃也不能忽视，因而要采取抑制措施。

9.5 怎样减小上冲或振铃

〔1〕**串联电阻的方法** 如9.4-〔2〕节所述，脉冲传输线的导线电阻较大，或者人为地串联入适当大小的电阻作阻尼，这时虽然牺牲一些脉冲振幅或增大一些前沿时间，但却能减小上冲或振铃的程度。可是当串联电阻r的数值过大时，不仅脉冲幅度要过于减小，还会产生脉冲前沿的延时。因此应在示波器上观察波形，选择适当值的电阻。电阻要选用无感电阻；连接位

置要尽量靠近下级的输入端,如图9·14 (a) 所示。其结果如同从图 (b) 所看到的, 虽然要增长一些前沿时间及牺牲一些幅度, 但上冲或振铃可以获得改善。另外, 当有几个输出端时

(如图9·15所示), 应分别在最靠近下级输入的位置上串接入各个阻尼电阻。

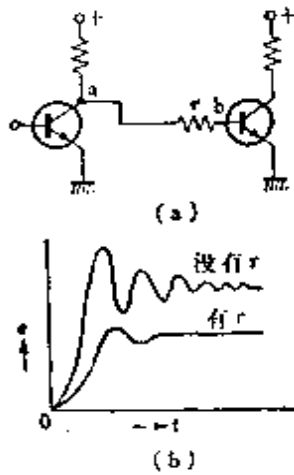


图 9·14

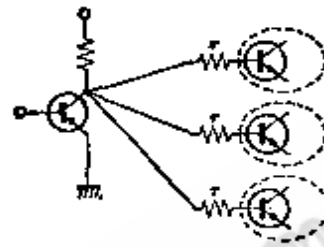


图 9·15

然而, 必须注意, 不能因输入端接入电阻反而增长了引线; 也不能因电阻值小而用线绕电阻, 使引线电感增加。观察波形的示波器不能应用上截止频率太低的示波器。示波器的上截止频率太低就不能观测。观测振铃现象要用宽频带高精度的同步示波器。

〔2〕减小引线电感的考虑 尽量减小引线电感, 这是元件排列要考虑的主要问题。就图9·14 (a) 而言, 为了尽量缩短 a - b 间的距离, 就要考虑晶体管或集成块的安装位置与方向, 而且要用粗线按最短距离连接。如果可能, 就用铜条或者抽去屏蔽外皮的心线、或者扁平编织线, 并且沿绝缘的底板布线。用印刷基板时, 就用双面箔的基板, 一面作为接地平面, 另一面的接线用宽的条状线。对于前沿时间短的脉冲应特别注意。

〔3〕关于前沿时间的考虑 上冲或振铃除了与电路条件有关外, 还与脉冲前沿的时间也有密切关系。前沿时间是毫微秒

(10^{-9} 秒) ~ 微秒 (10^{-6} 秒) 级的脉冲时, 一般会发生振铃现象。特别是前沿时间为10毫微秒的脉冲, 几乎总要在防止上冲或振铃方面下功夫。故必须根据使用目的, 反复揣摩选取具适当前沿时间的脉冲信号。例如用按键式携带式计算机, 就应以手指动作的速度为限。只要在按钮操作的时间内, 能运算结束就行了, 没有必要用重复频率过分高的脉冲, 更没有必要要求脉冲的前沿非常陡峭。因此, 根据不同的要求, 采用与之相适应的最低限度的工作响应速度就行了。尽量采用低频率的脉冲, 就可以少为振铃现象操心。

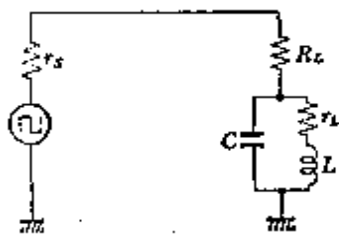


图 9·16

〔4〕对于负载电路的考虑 当负载的接地电路太长时, 其等效电路就如图9·16所示。由于太长的接地线的电感和杂散电容很易产生上冲或振铃, 因此负载电路的L、C也要尽量小。

9·6 怎样对脉冲波形进行整形

〔1〕脉冲整形的方法 因为电路条件的关系, 脉冲波形要发生畸变或检拾噪声, 故必须给予整形使恢复成原来的正确波形。就图9·17Ⓐ所示的受振铃及尖峰噪声干扰的波形, 可以按以下顺序整形。首先将脉冲Ⓐ放大成脉冲Ⓑ, 然后按原脉冲的振幅值E进行削波, 得到波形Ⓒ。这样使前沿、后沿都得到了改善。经过整形, 可得到近似于原波形的脉冲。这种情况, 放大器和限幅器都能用于整形。各种变形脉冲的整形, 有各种不同电路, 兹将其主要的几种叙述如下。

〔2〕钳位电路 使脉冲波形的波峰或波谷与某一电压一

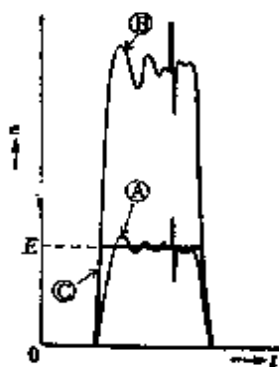


图 9-17

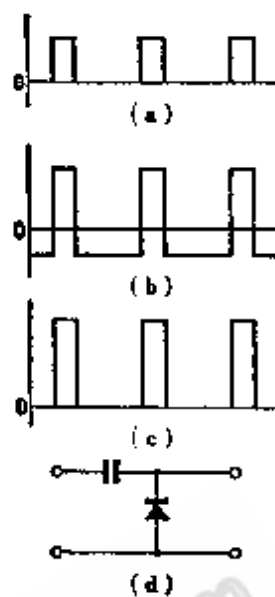


图 9-18

致，这就叫钳位。具有这种作用的电路叫钳位电路。图 9·18 (a) 所示的脉冲，经 RC 耦合放大器放大，或经脉冲变压器变压后，就会失去了直流成分而变成同图 (b) 所示的波形。如重新使失去了直流成分的脉冲波谷与 0 伏对齐，成为图 (c) 所示，就要用钳位电路，这种钳位电路也称直流恢复电路。在这种情况下，脉冲波形是正向的，故叫正钳位电路，图 (d) 就是这种电路。此外，还有让波峰值与 0 伏对齐，使脉冲为负向的负钳位电路，以及使波峰或波谷与所要求的某一特定直流电位一致的钳位电路。

〔3〕削波、限幅及脉冲限幅器 削去输入波形的一部分，即把波峰或波谷抑制到某一电平的作用叫削波。具有这种作用的电路叫削波器。削去波峰值的叫峰值削波器，削去波谷值的叫波谷削波器，同时具有这两种作用的电路就叫限幅器*。如表

* 这都是习惯的叫法，我国一般“削波”与“限幅”的概念是不分的，例如不管“削波”或“限幅”都有单向与双向之分。——译者

9.1中最后一种那样，使脉冲变为较平滑的波形的电路，叫平滑器（slider）。以下综合这些基本的类型列于表9.1中。

表 9.1

	峰值削波	波谷削波	双向限幅	平滑器
输入波形				
电路				
输出波形				

〔4〕门电路 上述的钳位电路或削波电路等都是对波的振幅方向进行整形；除此而外，也有在时间轴方向上整形的必要。

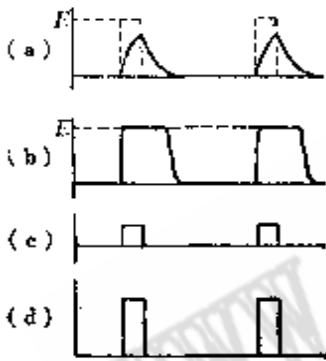


图 9.19

如在图9.19 (a) 中，当用虚线表示的脉冲，变形成为实线所示的脉冲时，先将它放大，再利用峰值削波，把幅度削到E值，就如图 (b) 所示。从图中看出，这时脉宽仍比原来增加了。这时若使该脉冲通过一门电路，而用图 (c) 所示的脉冲来控制门电路，就能得到图 (d) 所示的原形脉冲。

9.7 怎样消除混入脉冲信号中的噪声

〔1〕削波器的利用 如图9.20 (a) 那样，当噪声电压低于脉冲波形的波峰值时，可通过同图 (d) 所示的波谷削波器，使只有高于电压E（此电压应稍高于噪声电压最大值）

的电压能通过，结果可使噪声消失。留下的仅是脉冲峰值部分，如图 (b) 所示。将它放大后，就得到图 (c) 所示的没有噪声的脉冲波形。

〔2〕平滑器的利用 噪声不一定都象上述情况那样。总出现在波谷中，有时也可能出现在波顶，如图9·21 (a) 所示。这

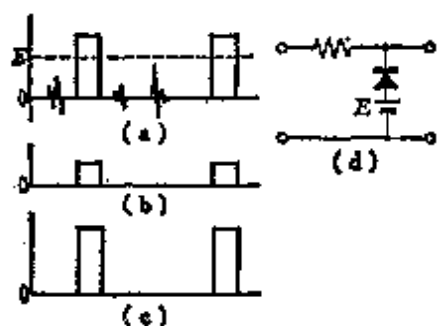


图 9-20

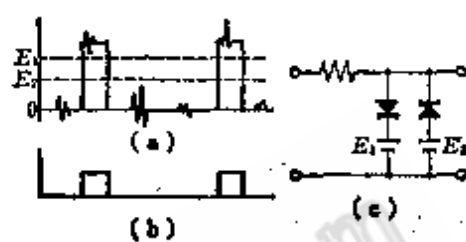


图 9-21

时可采用图 (c) 所示的平滑器，截取没有噪声电压影响的脉冲部分，可得到图 (b) 所示的不含噪声的脉冲，然后进行放大，就能得到原波形的脉冲。但这种方法，只能用于噪声的幅度比脉冲幅度小的场合。各种限幅器也只能用于大体相同的目的。当噪声电压的幅度不是远小于脉冲幅度时，噪声就削不掉，因而这种方法也就无效。总之，凡是混入脉冲或脉冲之间的噪声电压，若接近或大于脉冲幅度时，都不能清除。如图9·22所示，若脉冲中叠加共态噪声时，同样可用平滑器削去噪声部分，进行整形。

〔3〕施密特触发电路的利用 图9·23 (a) 是用电子管构成的施密特触发电路；图 (b) 是用晶体管的电路，其作用原理完全一样。故这里只对晶体管电路加以叙述。在图 (b) 中，在稳态时 Q_1 截止， Q_2 导通。若在输入端加上包含噪声的脉冲波 e_1 ，则在某点上 Q_1 就从截止状态转换到导通状态。这时的输

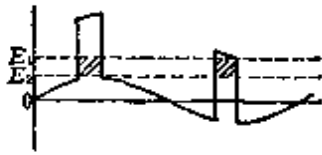


图 9-22

入电压就叫“上触发点” (UTP) 或叫启动点。这时, 由于 BG_1 集电极电压下降, 使 Q_2 的基极电压也下降, 所以 Q_2 截止。接着当 e_1 下降时, 就达到“下触发点” (LTP) 也叫释放点, Q_1 截止。 Q_1 一截止, Q_2 的基极电压上升, Q_2 恢复导通状态。这时 Q_1 、 Q_2 的集电极电压 V_{C1} 、 V_{C2} 和 Q_2 发射极电压 v_e 就如同图 (c) 所示。从图中可看出这电路有类似上述平滑器的作用, 也能消除脉冲噪声。但也和上述各限幅器一样, 对振幅大的噪声是无能为力的。

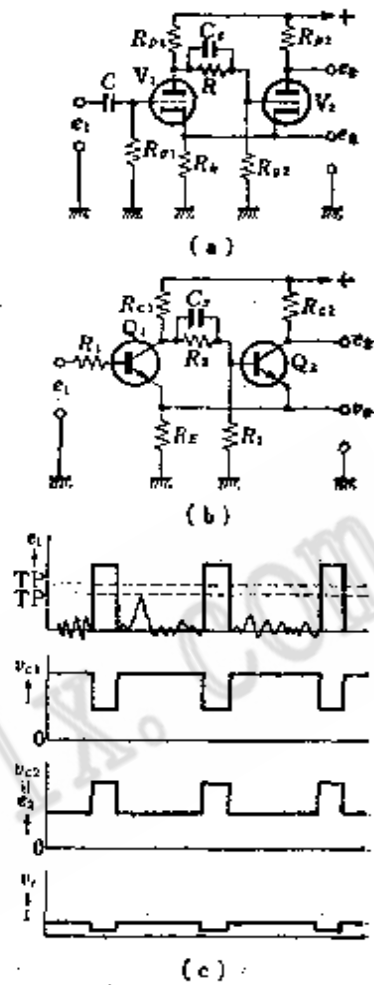


图 9-23

9-8 怎样利用选通脉冲来消除噪声

〔1〕基本功能 如图9-24 (a) 所示, 当两脉冲间隔期间混入振幅大的噪声电压 (模拟脉冲) 或如图 (b) 那样, 当噪声电压周期比脉冲长而且振幅又大时, 无论用削波、限幅或平滑器, 都不能消除噪声的。这时可以应用选通脉冲控制门电路的方法来消除噪声。

设信号波形是图9·25 (a) 所示的某种节拍的脉冲受到噪声干扰, 如图 (b) 那样造成很大的波形畸变时, 想要重现原脉冲, 无论是用波谷削波器削波, 只留下峰值, 或是以 $E_1 - E_2$ 的电压作门限的平滑器, 将仍残存图中用 N 表示的噪声成分。因此, 要完全恢复原脉冲就必须进行下列步骤: 首先要用 $E_1 - E_2$ 为门限的平滑器进行截波, 并对所取波形充分地放大, 再通过峰值限幅器, 以 E 值为门限, 削掉该波形的顶部。于是就得到图 (c) 所示波形的脉冲。显然其中不仅残留有噪声脉冲, 而且脉冲宽度也和原脉冲不同。这时再将图 (d) 的同步脉冲和图 (c) 的脉冲作为两个输入信号, 加在“与”门电路上。按与门电路的功能, 只有当两输入脉冲同时加上, 才有脉冲输出, 所以当 (c) 和 (d) 的脉冲重合时, 才有脉冲输出。这刚好就是原信号 (a) 的脉冲。因此, 即使是象图 (b) 那样畸变的波形也能重现原信号。用于这种目的的 (d) 脉就叫选通脉冲。

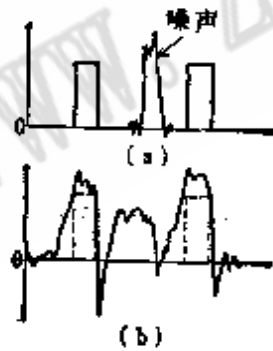


图 9·24

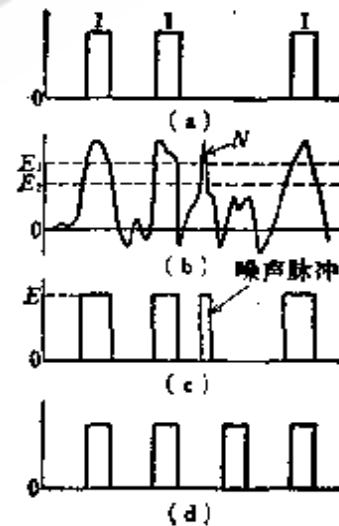


图 9·25

〔2〕具体应用举例 在前述方法中, 当噪声脉冲碰巧与选通脉冲同步时, “与”门电路的输出中就也有噪声脉冲, 这种

概率是相当大的。要降低噪声脉冲的输出概率，更彻底地消除噪声，可用以下方法。例如，当读出电子计算机的磁存储装置中的写入信号时，如得到的读出代码波形是与写入代码波形很不相同的零乱信号。若要从这一畸变很大的信号中提取与写入信号相同的脉冲可用图9·26所示的程序。

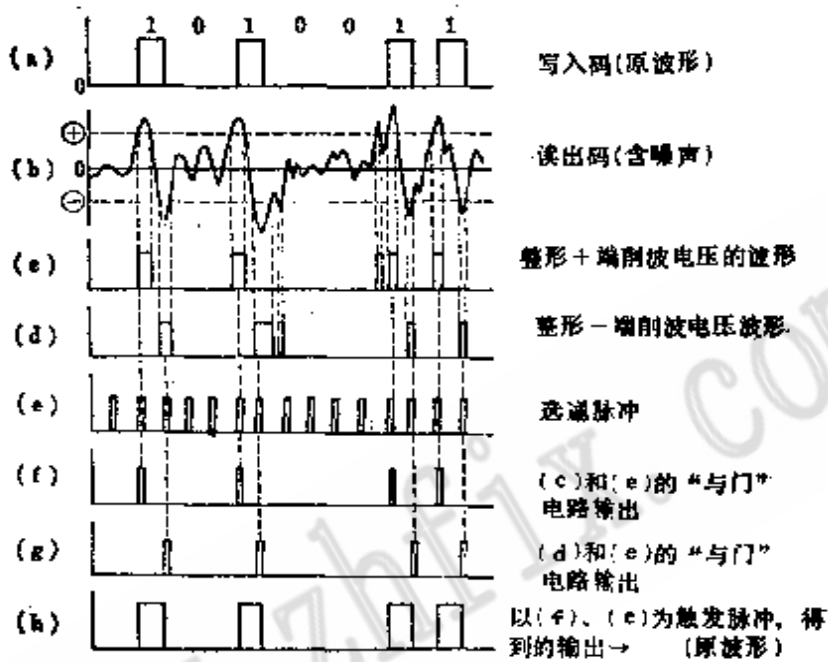


图 9·26

9·9 怎样消除混入触发脉冲中的噪声

(1) 单稳态多谐振荡器的情况 如图9·27 (a)所示的单稳态多谐振荡器中，平时的状态是 Q_1 截止， Q_2 导通。当输入端有正的触发脉冲输入时， Q_1 就导通。由于其集电极电压下降，所以 Q_2 的基极电压 V_{BE} 也突然下降至 d （如同图b所示）。这时 Q_2 截止，其集电极电压上升，转而又使 Q_1 保持导通状态。然而随着 C 上的电荷通过 R 放电， Q_2 的基极电压将上升，当它达到

V_{BE} (通) 时, Q_2 又导通, Q_1 则恢复截止状态。若在 C 放电过程中拾得噪声, 往往会使周期 T 错乱。参看图 9·27, 若噪声的大小相同, 在时间上处于 P 点没有什么影响, 但若处于 Q 点就会使电路提前翻转。欲消除这种影响, 可以使 Q_2 的基极电压的上升路径如图 (c) 所示②的曲线改变为沿③的路径上升; 但图 (a) 的电路无论怎样改变 c 或 R 之值也是达不到这一目的的, 它必须采用特别的电路。但如果能使曲线按图中④的路径上升, 至少也能使噪声的影响抑制一些。而这在图 (a) 的电路只要适当选取 R、C 值是可以做到的。从理论上说, 周期 T 决定于 R、C 的时间常数即 CR 的乘积。在实际电路中, 若取较大的 R 值, 则 C 值较小即可, 这样就成曲线②的轨迹; 若采用较小的 R 值, 而加大 C 值, 则有可能得到如曲线④所示轨迹。这可以说, 不仅是单稳态多谐振荡器, 就是无稳态多谐振荡器也是这样。对 Q_2 的基极电路要特别加以注意, 以免捡取噪声。有时为使 R 可变而装在面板上, 这时要注意不能把接线拉得太长。另外, Q_1 的集电极 \rightarrow C \rightarrow Q_2 的基极所形成的回路的布线也不能太长。

(2) 双稳态多谐振荡器 双稳态多谐振荡器一般叫触发器, 就是图 9·28 所示的电路。在图 (a) 中, 当 Q_1 导通, Q_2 截止时, 若输入端加上正触发脉冲, 已导通的 Q_1 的基极电位即使升高也无影响。但截止管 Q_2 的基极电位升高时, Q_2 就导通。从而 Q_2 的集电极电压下降, 致使 Q_1 的基极电位也下降, 因此 Q_1 就截止。结果, Q_1 的集电极电位上升, 从而 Q_2 基极电位也上升, 使 Q_2 保持导通状态。就这样, 每输入一个触发脉冲, 导通截止就翻转一次。这样, 当输入信号不是触发脉冲, 而是正的噪声电压时, 也要翻转而产生错误触发。为了消除此影响, 可如图 (b) 所示, 加接三个电阻 R_1 、 R_2 及 R。这时, 当 Q_1 导

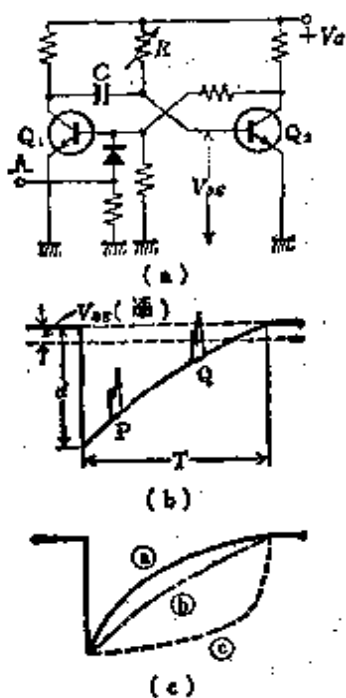


图 9-27

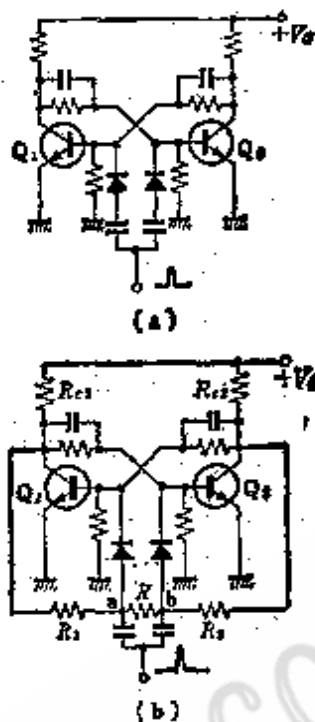


图 9-28

通， Q_2 截止时， Q_2 的集电极电压（几乎等于 V_C ）和 Q_1 的集电极电压之差，就加在 R_1 、 R 、 R_2 上，且 R 两端就有电位差，且截止管一边，即图上 b 点的电位比 a 点高。因此，当低于 b 点电位的噪声电压加在输入端时，也不会使电路翻转。应选择适当的 R 值，使电路恰好按所用触发脉冲来翻转。但这种方法对于幅度高于触发脉冲的噪声还是无效的。应用触发脉冲电路，一般应注意以下几点。

- ①要用前沿上升迅速，而幅度大的触发脉冲。
- ②要适当降低触发脉冲输入端的灵敏度。
- ③按实际电路来决定使用正触发脉冲或负触发脉冲。这时所接二极管的极性恰好相反。

9.10 怎样消除脉冲波形的相移

〔1〕相移 脉冲波形通过电路或导线传输时，既然是以波动形式传递，即使没有干扰，在发送端和接收端也会产生时延。何况在传输途中还存在电感或电容，这就更要产生时延。同一脉冲波形经不同的两个通路传输，二者之间就要产生相位差。各脉冲的相差以脉冲幅度的50%点上的时间差来表示。延时的大小以毫秒（ $1\text{ms} = 10^{-3}\text{秒}$ ）、微秒（ $1\mu\text{s} = 10^{-6}\text{秒}$ ）、或毫微秒（ $1\text{ns} = 10^{-9}\text{秒}$ ）作单位，用符号 τ 表示。

一个每单位长度的电感为 L ，电容为 C 的线路，其延迟时间 τ 等于

$$\tau = \sqrt{LC}$$

即使很小的 τ 值，但对于周期极短或宽度很窄的脉冲就不能忽视。在利用选通脉冲消除噪声，或构成逻辑电路时，脉冲延时的影响很大，并且是工作失常的根源之一。例如在图9.30中，用差动放大器来放大电子计算机磁存储器的读出信号，再通过整形电路，得到整形后脉冲，当以此脉冲作为“与门”电路的A输入时，其间多少要产生时延。如把计时脉冲加在“与门”电路的B输入上，则A和B的输入脉冲间就会产生时差，如图9.26所示。这时选通脉冲就无法同步。因此可通过图9.30中的延迟电路D来调节延迟的时间，使之同步。这样才使偏离

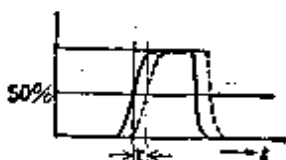


图 9.29

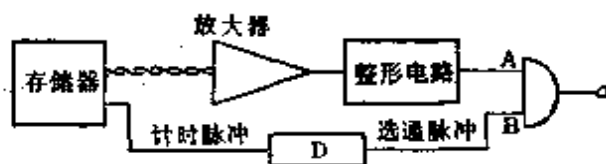


图 9.30

了原来位置的脉冲，达到“与门”电路输入点时获得同步。

〔2〕**延迟电路** 脉冲波形的相位移，虽说是调节定时信号，能使延迟了的信号和定时信号的相位同步，但不可能使延迟了的信号的相位使之超前而与定时信号同步。这时只能通过各种电路，使定时信号的相位延迟来与延迟了的信号的相位一致。根据必要的延迟时间，可以采用以下各种方法。

(a) **延迟线** 延迟线可以用同轴电缆，它通常是用加大电感的方法来增大单位长度的延时。图9·31是常用的延迟线的结构形式。这种延迟线的频率特性好，对脉冲波形的高频成分也不衰减，而且波形畸变也小。但要获得长的延时，延迟线就会太长，这就限制了使用范围。

(b) **低通滤波器** 延迟电缆是具有分布参数的电路，它不能得到长的延迟时间；因而常用电感和电容组成的集中参数电路，即采用线圈和电容器组成的低通滤波器。其缺点是对于高频衰减大，使脉冲波形的前、后沿变得缓慢，产生波形失真。

(c) **超声波延迟装置** 声波比电振动的传播速度慢，所以一旦用压电元件将电的振动转换成超声波，可让超声波在玻璃或镍等媒质中传输，然后再转换成电的振动，这样一来延时就可做得很长，利用这一原理作成各种结构的延迟线叫超声波延迟线。

(d) **电路结构上设法** 构成如图9·32 (a) 所示的逻辑电路时，单元逻辑电路Ⅱ的两个输入中，只是通过电路Ⅰ的那

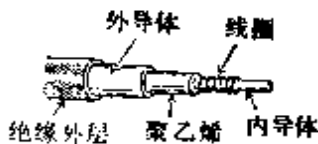


图 9·31

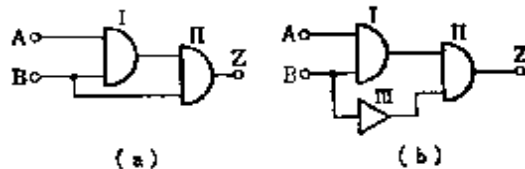


图 9·32

一路产生了时延。为了两路输入同步，所以可如图 (b) 那样，加上一个延迟装置Ⅱ。

9.11 怎样消除加在脉冲波形上的交流声

〔1〕**差动放大器** 由共态噪声加在脉冲波形上的交流声 (参见1.5), 可以用平滑器 (参见9.7—〔2〕) 消除; 但经处理后脉冲幅度变小, 因而必须加以放大。利用差动放大器可既有放大, 又能消除共态 (模) 噪声形式的交流声。图9.33 (a) 是差动放大器的基本电路, 得到的输出电压与加在输入 1 和输入 2 上的信号电压差成正比。差动的基本作用与图 (b) 所示的变压器电路的作用一样。由图可知, 当两个输入电压的同相成分相互抵消时, 就没有输出; 但反相成分仍然被放大而输出。因此, 若差动放大器的一个输入端加入信号 (其实包含噪声) 而另一输入端加上接地部分的电压 (只有噪声), 则两输入端为同相噪声, 故同相部分的噪声无输出, 亦即共态 (模) 噪声部分的交流声就能消除。

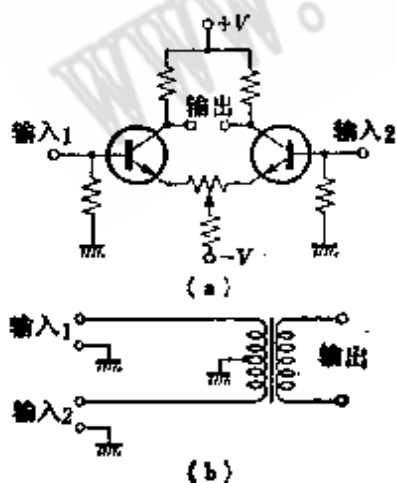


图 9.33

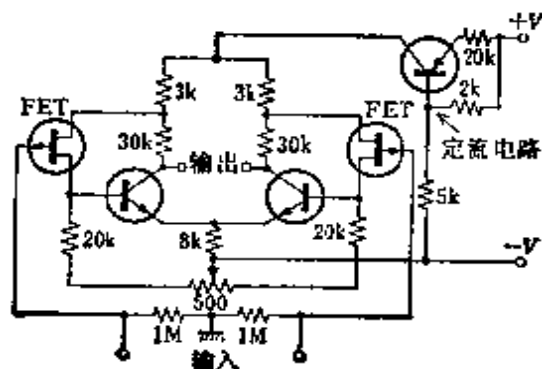


图 9.34

利用一般晶体管的差动放大器,如果增大输入阻抗,则噪声电压也将增加。如用场效应晶体管作成如图9·34所示的电路,它不仅能抑制交流声,就是因环境温度变化而产生的漂移也能抑制,所以可得到低噪声,且温度特性良好的差动放大器。

〔2〕光耦合器(参见3·17—〔3〕)和差动放大器一样,只对于加在脉冲波形上的共态(模)噪声有效。重复频率低,或前沿缓慢的脉冲也可以用脉冲变压器来抑制共态噪声,但波形会变坏。对于频率特别高或前沿陡峭的脉冲,问题就很多。光耦合器的优点是:输入输出间的直线性好,体积小而且以光为媒质,所以输入输出间的电气绝缘良好,响应也快。但当输入小时就难办。另外,对特别高的频率,快速响应特性也还不够好。

〔3〕交流声抵消电路 在一般的脉冲电路中,脉冲波形上的交流声,可用箝位或平滑器(参见9·7)等整形电路来消除,这些在前面都已讲过了。当用这种办法还不能完全消除交流声时,可用图9·35所示的电路。它的工作原理是相加抵消法,即加上与脉冲上的交流声大小相等,相位相反的交流电压,收到对

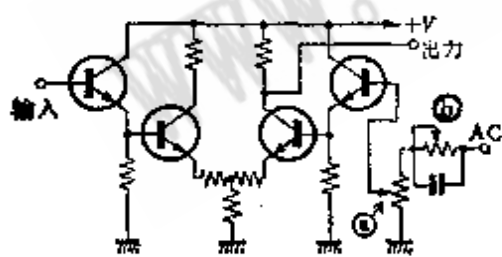


图 9·35

消的效果。这种电路叫交流声抵消电路。用图中的电位器①调节交流声的大小,以电位器②调整其相位,在输出上接上示波器,观测波形,选择消除交流声的最佳调节位置。

9·12 在脉冲传输中应注意些什么

〔1〕传输线 脉冲的重复频率即使较低,但如果前沿陡

峭，也含有高频成分，因此在传输中，必须考虑这一点。重复频率高的脉冲，传输距离越长，问题越多，更必须慎重处理。

(a) 双绞线 (参阅4·5节) 即使传输距离稍长些，不用屏蔽线，而用双绞线也是有效的。一般市售绞线有白、灰，或白、红，或白、绿的绝缘外皮，便于认清来去线。绞线有好几种，有如图9·36 (a) 所示的单独绞线和图 (b) 所示的电缆式的多心绞线。另外，为防止各双线间产生感应噪声，也有图 (c) 那样加有屏蔽的电缆式绞线。特别是当传输距离长且是传输不同类型的信号，例如除了脉冲信号以外，还有模拟信号也同时用电缆传输时，就要用图 (c) 那样的电缆。用屏蔽电缆时，必须注意，屏蔽外皮的接地要慎重，无论哪一端接地，但要使在所有屏蔽外皮上都不能流过电流。

(b) 同轴电缆 重复频率高的脉冲或前沿特别陡峭的脉冲，长距离传输时就用同轴电缆。同轴电缆根据绝缘材料的种类，有各种不同的类型。图9·37是其中一个例子。即在内导体和外导体间填充聚乙烯等高介电常数的绝缘物，以保持其截面为同心圆。在这种电缆中即使频率高，传输功率大些，衰减也很小。另外，若把外皮端接地，由于外皮起屏蔽作用，所以对抑制噪声也是有效的。

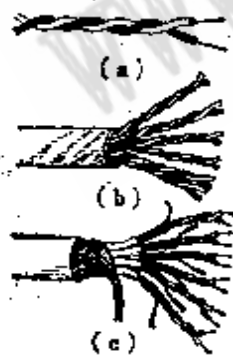


图 9·36

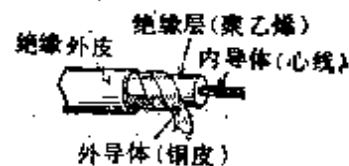


图 9·37

〔2〕脉冲传输方法 传输脉冲的主要注意事项列举如下。

①发送端的信号功率要足够大。

②输出端尽量用低阻抗电路输出，并且输入端用低阻抗电路来接收。

③若可能，用平衡电路传输。

④要使传输电压尽量高些。

⑤按照使用目的，使用重复频率低于极限频率的脉冲。

也就是说，当用双绞线传输脉冲时，双绞线本身的两根线间具有电容，在高频段，阻抗的影响增大，衰减增加，将产生波形失真。为此，必须降低输入输出阻抗。因为它是与两线间的杂散电容并联的，故阻抗越低就等效于减小了杂散电容的影响。因此要使接入端的输入阻抗降低，而且频带又不能变窄，这就产生了接收端输入功率不足的问题，所以发送端必须保证有足够高的电压和功率。这样一来，就是混入一些噪声，信号幅度也比噪声电压大得多。我们知道，信号功率大，噪声的影响相对地说就变小了。另外，如果降低脉冲的重复频率，使用的脉冲宽度又宽，则前沿时间相应地延迟一些也可以，所以传输线的电容影响就更小。为了补偿这点，在长距离脉冲传输中，也还有一种方法，是把所谓的线路激励器以及接收器的电路组成的集成电路，连接在传输线的两端，即输入及输出端。

另外，不平衡电路无论如何都很容易拾得接地噪声，这就是共态噪声，并且一旦拾得就难消除，故在可能条件下，最好用平衡电路。这时可用双绞线，或者双心屏蔽线及屏蔽电缆。必须注意，要采用屏蔽编织线，即外层以乙烯树脂等作绝缘的屏蔽线，而且不要使屏蔽层多点接触底板，形成多个接地点。

9.13 为抑制噪声，在脉冲电路结构上应注意哪些事项

〔1〕噪声容限 在脉冲电路中，若噪声电压较低，信号中

即使混有噪声，也和没有噪声时的工作状态相同。但噪声电压逐渐增加到某一值时，这时电路工作状态就开始失常。这个临界噪声电压的峰值，就是该电路的噪声容限。例如，用幅度为1.5伏的正脉冲，加在输入灵敏度为1.2伏的双稳多谐振荡器上，则双稳多谐振荡器可以正常地翻转，但当输入1.2伏以上的噪声电压时，电路也会翻转，而成为错误触发。但当噪声脉冲幅度低于1.2伏时，电路不会翻转。那么这个双稳多谐振荡器的噪声容限就是1.2伏。反过来说，噪声容限也就是该电路的不致触发的最高电压。因此就一般而言，利用脉冲个数的数字电路总希望精度要高而灵敏度宁可低些。

〔2〕集成电路的噪声容限 近来，脉冲逻辑电路很少应用二极管或晶体三极管的散立电路，而几乎都是用集成电路。然而从价格和使用目的来选择，通常多用二极管晶体管逻辑电路（DTL）或晶体管—晶体管逻辑电路（TTL）。各种集成电路的噪声，可参阅表9·2。15伏级的混合晶体管逻辑电路（HTL）和互补金属氧化物晶体管逻辑电路（CMOS）的噪声容限就大得多，所以用它来组成电路，就可以少为噪声操心。

表 9·2

名 称	使用电压 (伏)	消耗功率 (瓦)	输出阻抗 (欧姆)	噪声容限 (伏)
DTL	5	8m	L5cHcK	1.2
TTL	5	10m	L3cH5cK	1.2
HTL	15	30m	L100H15K	6.0
CMOS	5	5m	1 K	2.3
CMOS	15	25m	250	6.5

L: 高电平

H: 低电平

这里值得注意的是，噪声容限是指输入信号和加在输入信号上的噪声电压一起计算在内的，而混入直流电源的噪声或通

过接地回路进入的噪声需要另外考虑。

〔3〕脉冲电路的组成 脉冲电路结构上的注意事项，可归纳如下。

①用HTL作为电路元件

如前所述，若用15伏级的HTL，由于噪声容限大，即使混入一些噪声，也没有关系。但根据电路要求，只用HTL来构成电路困难较大，因此就必须采用DTL及TTL。在这种情况下，可以采用5伏级的DTL或TTL作为和15伏级的HTL连接起来时的中继用。但这时电源就必须有5伏和15伏两种。

②脉冲的极性

使晶体管导通所必需的功率一般大于使晶体管截止的功率。例如使触发器翻转时，在截止管侧加正脉冲使其翻转和在导通管侧加负脉冲翻转，两者所需要的脉冲功率就不一样。所以在电路组成上，必须考虑使电路工作的脉冲正负极性。

③善于使用旁路电容（参见3·8）

从一个电路、一个集成电路把脉冲信号传输到下一级时，在靠近输出端或输入端，接入旁路电容，引线要尽量短而且要接地。

④要经常考虑其他电路和设备的影响

要考虑噪声是通过电源电路或接地电路等直接进入，还是通过杂散电容的静电耦合而混入；另外也要考虑到各环路相互交链拾得的感应噪声等等。设计时必须充分考虑，使电路不受这种影响。

⑤反复精选元件及材料

使用不良元件或粗劣材料，常常要为想不到的噪声干扰而烦恼。必须按要求严格挑选元件或材料的质量。

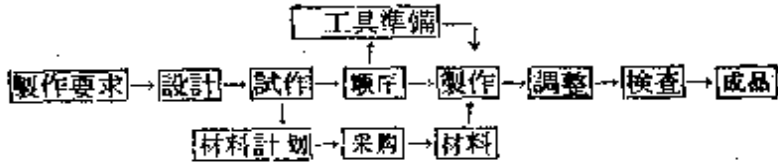
第十章 抑制噪声的一般 注意事项

10·1 在电路设计方面应具备哪些必要知识

〔1〕组成电路图的元件 根据使用目的选定电路、计算电路常数，作出电路图以后，并不是设计的结束，在技术上考虑倒是往后的工作更为重要。首先必须考虑的是元件的选择，例如，即使是选择一个电容器，如 $0.2\mu\text{F}$ 的电容器，由于耐压、损耗、杂散电感、体积大小、引线的长短等等，也有各种形式。因而必须决定元件的选择条件。就各个元件而言，额定值、性能、质量、价格、误差容限度、购备的难易，甚至于发热程度、占有空间体积、形状等等都应加以分析考虑。选择好元件以后，重要的问题就是根据电路图决定元件的配置。在决定元件的配置安装方法上，诸如各元件的安装位置、方向等等，以及对于各元件或布线间的相互影响都要加以考虑。这种元件配置的决定，才是左右电路性能的最重要的因素。从设计到试制之前，在这个所谓“探索试制”的过程中，最精明的技术工作者必须充分重视这一环节。从印刷基板的图案到底板、机壳、面板或机架的每个部分的机械设计都要考虑周到，甚至机器或装置的外观图样都要列入设计思考之列。而且一个真正的电气技术工作者，一定要做到不使在元件组成中降低电路性能。

〔2〕制作顺序的考虑 根据理论进行电路设计，画出电路图，进而选定元件，确定元件配置。这样，设计是否结束了

呢？没有结束。现在分析一下，从开始设计到完成制品的极为一般的过程：



从这个过程来考虑设计的责任范围。首先涉及到的就是确定制作顺序。也就是说，提出组装、布线的顺序方案是很重要的一步。例如在印刷基板上，安装电容器和电阻时，是先安装电阻，再跨过电阻安装电容器呢？还是剪短电容器的引线先焊接在基板上，然后跨过电容器再安装电阻呢？因为这对电路性能的影响很大，所以关于电路结构的制作顺序也要加以周密地考虑。更何况组装部分或布线部分的工作人员并不一定具有整个设备的全面知识，故在技术设计方面，必须事先解决以上问题。

〔3〕有关用户使用条件的考虑 产品使用条件在设计过程中要加以充分考虑。试制的电子设备即使在试制现场能满足性能要求，但不一定在任何条件下都能重复其性能指标。例如，按要求设计试制的设备，转到批量生产，作为产品出售以后，从用户不断提出返修请求的不幸教训也并不罕见。那是由于以下原因造成的：如果设备工作在高温高湿度的化工厂；或者是和间歇工作的大电流工作机器共用电源；或者地线与其他电力系统装在同一管道中，感应了预想不到的噪声。所以在设计阶段，对能预料的使用条件要加以最大限度的考虑。必须考虑到，即使用在某些苛刻的条件下也能满足要求的性能指标。也就是说在设计中一定要为用户着想。那怕是从成本上看，不利于竞争，但从效果方面看会在可靠性上得到好处，从长远的观点看，在抑制噪声方面的投资是决不会受到亏损的。如“价格

低但质量差”，不如价格虽稍高一点，但产品的可靠性好，更能取得用户的信任，这一点值得设计者加以注意。更何况用户即便是经常使用该产品，但对该产品工作性能方面未必是专家。所以要为用户着想，产品要便于用户使用，并且首先要使产品决不会因噪声而影响工作。

10·2 怎样处理加在微弱信号上的噪声

〔1〕微弱信号与热噪声 当遇到电压是毫微伏 ($1\text{nV} = 10^{-9}\text{V}$)，信号电流是微微安 ($1\text{pA} = 10^{-12}\text{A}$) 量级的微弱信号时，怎样处理这种信号是很重要的。往往认为微弱信号是否可用高增益放大器来加以放大但这是不妥的。因为噪声和微弱信号一起加在放大器的输入级，放大信号的同时，噪声也得到了放大。噪声一经放大以后，就极不易消除。无论如何严加注意，总难免有噪声混入信号中，这是由信号源温度引起的热电阻噪声（参见1·4）。温度越高、频带越宽，这种热噪声就越大，那么信噪比就越小。由于这种噪声的原因是由于电子随温度而引起的不规则运动，所以抑制噪声除降低温度，或压缩多余带宽，使之成为窄频带外别无其他方法。因此把信号源放在低温条件下工作当然最理想。这对大量常用电子设备来说是不易做到的。另一办法是减小带宽，但过于加以限制也是有困难的。另外，也有人想到热噪声电压的大小是与信号源内阻的平方根成正比的，那么如果减小信号源内电阻不也可减小噪声电压吗。但请不要忘记，这时信号电压也随之减小了，结果反而不妙。

〔2〕抑制热电动势噪声的方法 在闭合电路中，如果不同种类的两金属相接触，在接触部分的温度与金属另一端的温度

不同，那么根据塞贝克效应（热电效应），在接触面两侧就要产生电位差，即产生热电动势。这种电动势往往形成噪声。在实际电路中有许多接点，故焊锡与铜，锡、锌与铜等不同类型的金属的连接到处都是。虽然在一般情况下这些接点的温差或温度的变化都不会太大，故电动势的值虽也不会太大，但在微小电压的测量中，这种电动势却足以形成测量误差的原因。为此，考虑到热电动势的影响，在电路连接时要用同一种类的金属，要是用铜就全用铜的，它们之间的连接，可以采用压接方法。当必须焊接时，就应用与铜的功函数大致相等的焊料。万不得已，必须连接异种金属时，例如当连接测量用的电阻线和引线等，必须保持接点温度相等，不能有温差存在。

〔3〕抑制电缆噪声的措施 当信号大于一定程度时，电缆本身所产生的噪声是没有影响的。但在辐射线测量中，要把检测出的微弱信号，由探测装置传到指示电表，那就成问题了。即当电缆受弯曲、振动时，导体和绝缘物相互摩擦就会产生摩擦生电，这就成为噪声，对信号起干扰作用。在这种情况下，若用低噪声电缆，噪声电压的大小约为相同长度的普通电缆的



图10·1

1/20。图10·1是低噪声电缆的结构。低噪声电缆不仅用于上述的辐射线测量，也用作输入阻抗特别高的电子管电压表、高精度示波器或pH计等的输入电缆。

〔4〕克服泄漏电流的措施 在信号极为微弱的电路中，导线或电路元件的绝缘都很重要，绝缘物的漏电流造成的噪声，对信号的影响很大。即在一般情况下，处理微弱电流时，总有高增益放大电路，故即使绝缘物表面漏泄的微量电流，由于它是不规则的，故问题很多。特别是对微微安培级电流的测量仪

器，要求具有极高的绝缘电阻值。为此，绝缘电阻材料要用电气特性优良的塑料制品，诸如聚乙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯等，也可用冻石及玻璃等无机材料，而且希望使用中保持其表面清洁。

〔5〕接地与屏蔽（参见第5章、第6章） 如果该电路处理的是微弱信号，就要求比处理一般信号的电路的接地和屏蔽更加完善，避免外来感应噪声窜入。具体方法及注意事项可参阅5、6章的内容，但希望更加完善些。

〔6〕传输上的措施 当传输微弱信号时，要尽量考虑到缩短距离，万不得已，必须长距离传输时，除了用低噪声同轴电缆外，在接近信号源端接入低噪声放大器，经低噪声放大后再进行传输。

10.3 对噪声源应采取哪些措施

〔1〕噪声源 与其说在被干扰的电子电路方面设法不拾得噪声来防止噪声，其效果不如尽量在噪声源方面来抑制噪声更好。这是很普通的道理。当然，象宇宙噪声或空中电磁波干扰等，除了消极防止以外，是别无他法的。现在讲一下噪声源为某些电气设备时应采取的防止措施。现将噪声源的主要类型列举如下。

①放电设备—电焊机、弧光灯、辉光放电管、放电加工设备及火花点火装置。

②旋转设备—直流发电或电动机，交流整流子式电动机。

③控制设备—电压调整器、恒温箱、继电器及开关类。

④高频设备—高频加热装置、高频炉、高频振荡器。

⑤电力设备—工作母机、起重机。

⑥ 电子设备—开关电路。

在这些设备中若由于电流突变及电路电感的瞬变现象就可以产生高频寄生振荡，从而成为噪声源。在图10·2中，设线圈电感为 L ，电阻为 R ，线圈的杂散电容为 C_0 ，加在电路上的电压为正时，这些值若按图中的数值表示，则当开关闭合时，流过回路的稳态电流 I 为：

$$I = \frac{E}{R} = \frac{24}{2 \times 10^2} = 0.12 \text{ [安]}$$

线圈 L 的储能为 $(1/2) LI^2$ ——磁能；当开关 S 断开时，这个能量就变成杂散电容 C_0 上的储能——电能。故线圈中的感应电压 V 为：

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} LI^2 &= \frac{1}{2} C_0 V^2 & \therefore V &= I \times \sqrt{\frac{L}{C_0}} \\ & & &= 0.12 \times \sqrt{\frac{10^{-1}}{2 \times 10^{-10}}} = 2683.2 \text{ [V]} \end{aligned}$$

这个高压通过开关 S 就产生火花放电，从而产生频谱很宽的寄生振荡，形成噪声源。如此小的电流就产生这种现象，何况大电流突变时，还要产生更大的噪声干扰。

〔2〕噪声抑制方法

(a) 衰减振荡的抑制 前述具有电感的电路中，在电流突变产生衰减振荡时，如果在线圈上并联一个 0.2 微法的电容器，则开关打开的瞬间，在相同参数下，线圈上的感应电压约为 84.8 伏；如并联电容器的电容为 0.5 微法时，则约为 54.7 伏。加上这个电容后，在防止开关接点产生火花的同时，也抑制了因衰减振荡而产生的噪声。在这种情况下，并联连接的电容器上的冲击流相当大，在实际电路中，为了对此电流加以限制，在电容器上串联一个适当值的电阻（参见 3·14—〔2〕）。也可用

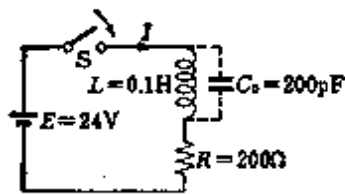


图 10·2

变阻器代替电容器。

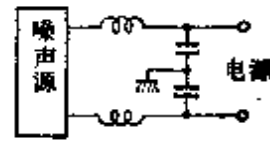


图 10·3

(b) 噪声防止器 随着家用电器的普及, 馈入电源的噪声更意外地多起来。例如由采用整流子电动机的干燥机、电气除尘机、搅拌机、木工的钻孔机, 电锯等产生的噪声, 通过电源回路, 就会传到使用同一电源的电子设备。为防止这种影响, 在产生噪声的机器与电源间, 应接上图10·3所示的低通滤波电路, 以防止上述各种机器产生的噪声馈入电源。用于这种目的的滤波器叫防干扰滤波器。不仅是在噪声发生端, 也常在电子设备的电源输入端接上这种防干扰滤波器 (参见3·3—〔2〕)。

〔3〕噪声源的隔离 不管机器性能如何, 一旦产生噪声, 在其周围都要产生交变电磁场, 故在噪声发生端和受影响的电子设备之间, 必须离开一定距离, 或通过屏蔽来加以隔离。不只是机器本身要隔离, 即使与之相连的导线也不要与噪声源的导线集中捆成一束, 也不要装在同一导管内, 要分别进行隔离, 防止感应噪声。

10·4 为了抑制噪声, 在设备维护上应注意哪些事项

〔1〕防潮 电机或电子设备之所以切忌潮气, 是由于绝缘物质受潮后要降低绝缘强度, 绝缘强度一降低就有漏电流通过。由于漏电流的大小是不规则的 (对时间来说), 因此它是构成电子设备中产生噪声的主要原因。特别在高灵敏度设备

中，问题就更为严重。对于忌潮的电路，更应留意防潮问题。在防止外部湿气流入的同时，常要安装放置防潮剂的容器。防潮剂一般都用硅胶，为了判别吸潮程度，混入以氯化钴染色的颗粒，发现变色就随时调换新的防潮剂。氯化钴不含结晶水时，是蓝色，吸收水分后就变成粉红色。根据这一现象，可以判别吸湿情况。

在难以密封的电路绝缘物上，进行表面防潮处理，也能防止潮气。这时必须经常用镊子夹着沾有无水酒精的脱脂棉或小纱布片去擦拭绝缘物的表面。无水酒精的吸潮性强而且容易蒸发，去掉表面的潮气是有效的。为了使其迅速蒸发，可以吹吹气，但要小心。根据绝缘物的种类和防潮处理方法，若限定只用某种清洁液时，切不可随意应用手头方便的稀释剂和丙酮之类的溶剂。

保管或放置设备的处所，要有足够的防潮措施，要避免放在高湿度场所或混凝土墙根等处。

〔2〕**防尘除尘** 继电器等特别忌沾尘埃，这是毋庸置疑的。对于其他的电子设备，从绝缘和温升来考虑，也必须注意不要积存尘土。由于静电作用而易于吸取尘埃的部分，以及由于对流或强制冷却等原因使外面空气流入的地方，要经常进行清洁处理。可用干燥的排笔或电气除尘器除尘。细微的尘埃就用沾以无水酒精的脱脂棉或纱布擦洗。工作时要带上清洁的薄手套。必须注意，不能用不带手套的手去触摸或摇动绝缘物或高电阻，以免汗水等沾染，使降低绝缘电阻。

〔3〕**防锈、防腐蚀** 金属部分与空气接触会发生氧化，生锈，改变了电阻值，或造成接触不良。这些都会成为噪声的起因。另外，在焊接时用的是酸性焊剂，或焊接后的清洗不彻底，仍然会生锈、腐蚀，也往往会因接触不良而产生噪声。内

附于电池的设备，若干电池长期装着，有时电解液渗出而腐蚀附近的金属部分，引起接触不良，这不仅是产生噪声的原因，往往还会造成故障，使设备不能正常工作。因此，怕生锈的某种金属或焊接处，要涂上瓷漆或清漆来保护表面，在设备保存不用时应将电池取去。另外，在有腐蚀性气体的地方，要有充分的防腐蚀措施。

〔4〕耐振耐冲击措施 当机器工作时，常常出现异常状态，有时不查原因而敲击几下机器，也会偶而恢复正常工作。有人竟对这种俗称“敲打检修”或“冲击疗法”而大为欣赏。其实凭敲打修理好的机器，一定还会由于某种振动或冲击而发生故障或产生噪声的。而且每次这样敲打，最终总会弄得完全不能工作的。这种通过敲打，急剧改变工作状态的机器几乎都是有接触不良，或是因有导体接触而产生短路的毛病。为此，在元件安装或布线固定等方面，要有充分的防振耐冲击措施。特别是在使用各种螺钉时，要采用弹簧垫圈、双重螺帽、涂敷瓷漆等紧固措施。在长距离的布线中，中间要安装紧固点。即使制作时采取了耐振耐冲击措施，但在使用时还得慎重，避免草率地、粗暴地操作。即使是移动式机器，放在桌上时也应注意轻放，不得倒置或摔落，在搬动中注意切勿碰撞。

10.5 对付噪声应抱什么态度

〔1〕基本的态度 对待噪声的基本态度应是：

①虽然不能完全消除噪声，但要注意使它不对设备性能形成有害的影响。

②在设备制成后，再来讲究抑制噪声的方法未免太晚了，要在设计阶段解决，至迟要在试制阶段完全解决。

③对于抑制噪声的问题，没有现成的理论，单独一个人不能解决时，就让几个人会同研究解决。因为一个人不管怎样也可能有没有看到、没有想到或没有注意到的地方。

④不得已时，就边实践边思考。

⑤对于抑制噪声的态度，犹如对付火灾的态度一样（灭火不如防火，一旦出现火灾要消灭起火点）。事先要有足够的措施，否则既耗经费又费时间。

⑥要经常注意留有富裕的容限范围，这是安全的条件。

〔2〕**噪声故障的检修** 原来正常运转的设备，一旦产生噪声，这是明显的故障，这就必须修理。如果投入使用的设备总是产生故障，或者一开始就有噪声，它与环境、使用条件和设备性能有关，这就不是修理而是明显的改进问题了。首先要根据噪声或工作失常的状态来判定是修理还是改进。然后，再根据出现的故障查明原因。例如，发现旁路电容器漏电，换掉后设备就正常工作，修理也就结束了。如果设备需要改进，这一招多半是不凑效的。“头痛医头，脚痛医脚”是比较容易的，但往往过几天又不得不重复同样的操作。所以在判断了需要改进时，对于需要改进的部分一定要彻底改妥，这也是一个关键问题。