

YIZHI DIANZI DIANLU ZAOSHENG DE FANGFA

[日] 北大路刚著 · 刘宗惠译

抑制 电子电路噪声的 方法

人民邮电出版社



版
社

73.4123
855

抑制电子电路噪声的方法

〔日〕北大路剛 著
刘宗惠 译
冯瑞荃
赵学泉 校
雷永山

人民邮电出版社

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“喀啦”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，有时要出现白斑、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

8510493

• 1 •

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

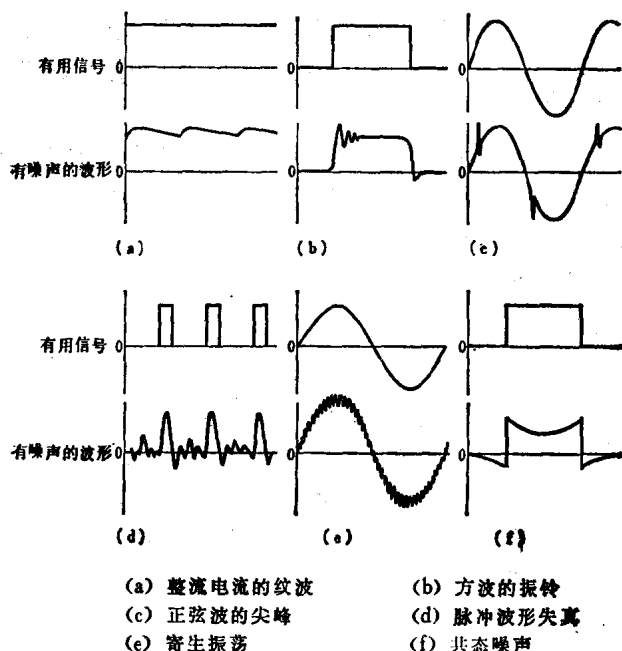


图 1·1

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。

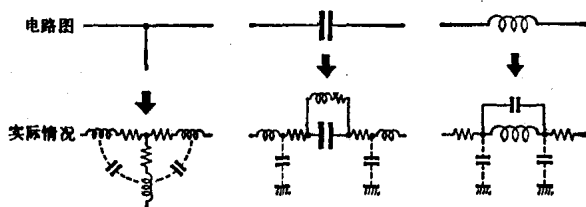


图 1.2

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。

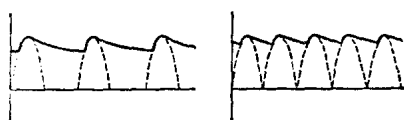
〔4〕 **元器件的质量** 组成电路的元器件，首先要选用质量合格的产品。但元件并不是每一个都真的经过检查，而是在批量中作抽样检查。这就难免要混入不合格的元件。若碰巧用上一个不合格元件，或使用可能不久就会损坏的元件，这都是造成故障的原因。

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。

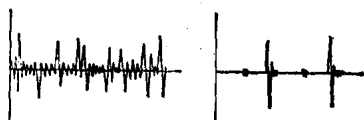
〔2〕 **连续的不规则噪声** 质量差的电阻器、电容器或半导体元件等，它们的额定值以及特性要随使用条件而变化。此外，整流子型的马达、半导体开关元件的压控电路，或者荧光类放电灯管，以及振动式断续器等在工作时，其产生的电流都要经过一个过渡变化，从而产生振幅、频率以及波形不规则的噪声。其波形如图1.4所示。

另外，电阻还会因温度升高而产生噪声电压。这是由于构



(a) 半波整流的波纹
(b) 全波整流的波纹

图 1-3



(a) 整流子产生的噪声
(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 $17^\circ C$ 换算成绝对温度，即为 $273 + 17 = 290^\circ [K]$ ，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 $T(^{\circ}\text{K})$ 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 ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/^{\circ}K}$)， T 是绝对温度 $[^{\circ}\text{K}]$ ， 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) 閃爍(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。

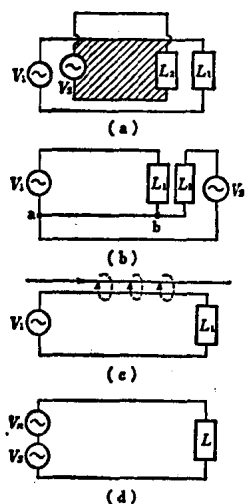


图 1.5

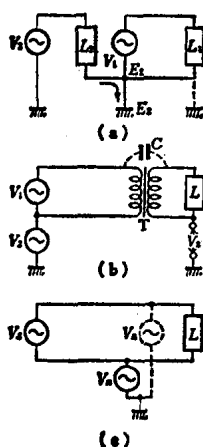


图 1.6

〔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