



# 单点接地与共阻干扰

## V 1.0

2013.11.28

—— By: Mythink



## 目 录

<b>1、本章出发点与适用读者 .....</b>	<b>1</b>
1.1、本章出发点 .....	1
1.2、本章适用的读者 .....	1
<b>2、论述的前提条件与主要内容.....</b>	<b>1</b>
2.1、前提条件 .....	1
2.2、主要内容 .....	1
<b>3、共阻干扰存在的几种形式 .....</b>	<b>2</b>
3.1、共阻干扰的几种形式 .....	2
3.2、敏感点与不敏感点 .....	5
<b>4、单点接地 .....</b>	<b>6</b>
4.1、单点接地与“敏感信号段”的联系 .....	6
4.2、如何去理解单点接地 .....	6
<b>5、理论的延伸.....</b>	<b>8</b>
5.1、既然有单点接地，那么有没有“单点接电源”？ .....	8
5.2、讨论“电源纹波抑制” .....	8
<b>6、本章精要 .....</b>	<b>11</b>



## 1、本章出发点与适用读者

### 1.1、本章出发点

本章基于“噪声的起源”一章所提到的噪声产生的原理，进一步论述简单而实用的应用：数模混合音频系统中最简单的规避地噪声手段——“单点接地”。让读者明白“为什么要单点接地”。希望读者着重认清单点接地的原理，从而化用、推广到其他地方，而不是简单地记住本章中所提到的例子。

本章内容较多是作者本人的感悟、实践的结论，可能有不当之处，故请广大读者**仅作参考讨论**使用。

欢迎拍砖，呵呵！

### 1.2、本章适用的读者

“单点接地”是否有似曾相识的感觉？

假如你现在的情况是“听说过单点接地，但是不知道具体应该如何单点接地；或者大致知道如何单点接地，但是不能清楚地理解单点接地的原理”。那么很幸运，本章为你而写！

## 2、论述的前提条件与主要内容

### 2.1、前提条件

基于低频数字信号、数模混合电路、有敏感信号源的系统进行论述，和“噪声的起源”章节的前提完全相同。

### 2.2、主要内容

列举现实应用中，共阻噪声存在的几种形式，论述其“敏感点（段）”或“不敏感点（段）”的原理。在现实应用中，为了避免“敏感段”出现噪声而引出“单点接地”的做法。

最后，更进一步。论述“单点接电源”的概念，进而探讨：常见的“模拟和数字”这两种电路的“电源纹波抑制比”的能力存在差别的根源。





这个说法好像有道理，但是实际和理论都是不对的。原因如下：（1）人耳朵在安静环境中，通过耳机，人们能清楚地听到毫伏级（几毫伏）的音频噪声信号，而普通示波器一般无法捕捉到这么微弱的波形。因为普通的数字示波器接上探头后显示在屏幕上的噪声电平有 20mV 左右，非常昂贵的示波器在拔掉探头的情況下，显示在屏幕上的底噪才可能小于 1mV。所以人耳朵能听到噪声但是示波器看不到，这很正常。（2）即使数字电路本身工作频率远超过 20KHz，但 MCU 内部模块间的启动关闭动作的频率有可能落在音频范围。而且，即使大于 20KHz 的数字信号，经过导线的分布电感与分布电容“滤波”后，形成 V1\_niose 将落在音频范围。这是我们能听到数字噪声的原因。

### 3.1.3、共阻噪声 1:1 放大输出

干扰不被放大、直接呈现在输出端。  $A_{v-noise} = 1$ :

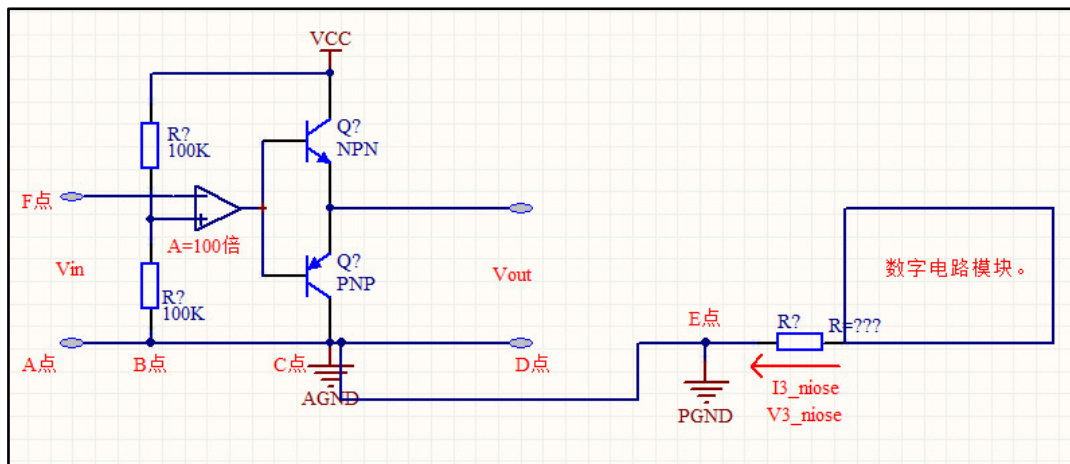


## 3.1-3

如图，若数字噪声只流过 R8，那么  $V_{out} = V_{in} \times 100 + V2\_noise$ ，存在数字噪声，但是噪声没有被放大，所以一般情况下，数字噪声不明显，只是在安静的环境中可能可以听得到。

### 3.1.4、共阻干扰被衰减后输出

干扰会被功放器件抑制， $Av\_noise \ll 1$ ：



3.1-4

如图，假如在数字电路端单点接地。那么，数字噪声  $V3\_noise$  可以直接回流到电源，并没有流经功放区域，（其实深究起来，还是有非常微小的部分噪声流经 EC 段 PCB，并从其他路径构成回路，但是这个影响非常小。回路路径如何形成？根据“噪声的起源”章节中的内容，其实足以领悟出来。）所以不会造成地线的共阻干扰噪声。但是，有两点值得担心的：

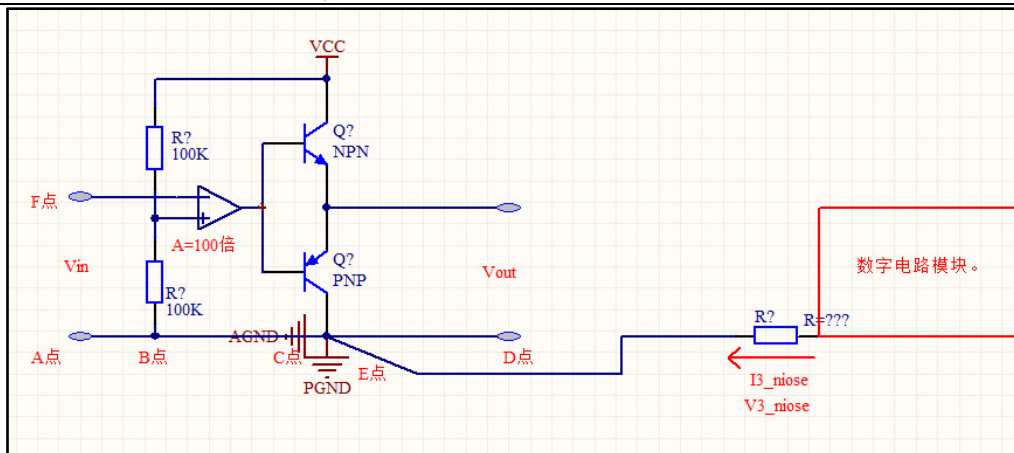
（1）电源不是理想的电源，会存在“内阻”，所以数字电路会通过“干扰公共的电源从而干扰功放”——幸运的是，这个干扰非常小，一般情况下都不会引起系统出现噪声，原因是：功放的电源纹波抑制比一般非常高！

（2）C 与 E 之间同样是铜箔，实际上也存在内阻！这段地线也会产生共阻干扰。但是，实际上采用这种布线方式也不会出现干扰问题，原因是：一、其阻抗引起的干扰相当于电源抖动的干扰，而功放有一定的电源纹波抑制能力（这个是地纹波抑制，实际测试过的一些芯片，都是电源纹波抑制能力比地纹波抑制能力好，这应该与 Bypass 电路有关，有兴趣者可以深究）。二、这个干扰一般是声音较大时干扰才比较大，但是声音大后，噪声会被音乐“盖住”，所以人感受不到噪声的存在。

### 3.1.5、在电路板上不会存在地噪声

如图 3.1-5，电池、数字地、模拟地的单点接地点都接在 C、E 点的重合处。这样接地，在电路板上不会出现噪声， $Av\_noise=0$ 。（但是，电池接上后，同样会产生“3.1.4”的类似情况，因为每个电源都有内阻。这个读者自行构建模型分析！）

无论如何，对于图中的电路，这已经是最好的接地方式了！而且这种接地方式从未出现过噪声！



3.1-5

## 3.2、敏感点与不敏感点

由 3.1 的内容知道，PCB 走线不当，噪声会被“成倍放大”、或会被“1 倍放大”。产生这种状况说明：对于音频功放放大电路，PCB 上存在“地噪声敏感点和不敏感点”（或者说是敏感段）。

### 3.2.1、地噪声敏感段 PCB

图 3.1-2 的 AB 段的噪声会被成倍放大，所以 AB 段是“地噪声敏感段 PCB”，经过敏感段 PCB 的数字地噪声将会被“加倍放大”后输出。

之所以会被加倍放大，是因为噪声信号经过功放的前端放大电路的地回流，这段 PCB 对应于实际应用中的很多功放的“Bypass 电容接地点（如图 3.1-2 中 B 点）与功率地（如图 3.1-2 中 C 点）之间的 PCB”。也就是：BC 间的 PCB 连走线极有可能成为地噪声敏感段 PCB。

### 3.2.2、地噪声不敏感段 PCB

图 3.1-3 的 CD 段是地不敏感段 PCB，因为经过这一段 PCB 的噪声放大倍数是 1，噪声不会被加倍放大。其原因在于地噪声没有经过功放的前级放大区域，所以噪声信号只会原原本本地在喇叭端输出。





## 4、单点接地

本章重点：第 3 节共阻干扰的各种案例中，存在地噪声可能会流经“敏感段 PCB”这个现象。所以为了最大地减小地噪声，要单点接地，让噪声不要经过敏感段 PCB。

### 4.1、单点接地与“敏感信号段”的联系

细心的读者已经发现，第三节已经存在单点接地。单点接地不应单纯理解为：在 PCB 上有一个物理的接地点；而应该理解为：在 PCB 上有一个接地点，而且不同性质的地回流信号（比如模拟回流和数字回流）不会存在这个接地点以外的“公共路径”（公共路径——即地线上数字与模拟公有的 PCB 电阻“R5”，前面已经解释过）。

图“3.1.4 和 3.1.5”其实就是单点接地的情况，所以此处不再赘言。本节重点写：如何去真正理解单点接地。

### 4.2、如何去理解单点接地

单点接地的思想，在《印刷电路板排版设计》有很详细的讲解。很老的书，工艺可能和现在不同，但其设计思想不变！而且，作者认为这是国产少见的 不是“Ctrl + C”和“Ctrl + V”的书。郑诗卫写的，感谢郑老前辈！

#### 4.2.1、理解原理的重要性（经验性废话）

平时我们经常会听到“单点接地”这个词，很多人说“去掉数模混合电路噪声的终极武器就是单点接地”。但是某日有个鞋童泪流满面的奔过来嚎叫：我已经单点接地了，可是噪声尚在……

何故？

额！哥！不是单点接地就可以去掉噪声，而是要“正确的单点接地”才能够去掉噪声。正确的数字、模拟前端、电池、功率地的单点接地点是：功放的功率地引脚（或者功率地、功放电源的去耦电容引脚。）

以上的例子说明：我们总会碰到很多法则、经验、定理，记住它们并不是什么坏事。但是假如不明白其所以然，那么不但会记得十分辛苦，而且不懂在实践中如何灵活应用，反受其害。

例如，我们在设计一个实在的产品时，存在很多互斥不可兼得的“布线定理”时，我们如何取舍？究竟是让这个电路符合 A 法则、放弃 B 法则好呢，还是符合 B 法则、放弃 A 法则好呢？要做正确做出这种判断，就要求我们清楚：什么是影响最大的、而什么的影响几乎可以忽略不计的。

所以，除了实践，还得最终把握其原理。

#### 4.2.2、例说：了解敏感信号区的方法

使用前想评估某个特定芯片有哪些特征，需要一定的理论 + 专业常识，推断出芯片内部的构造，从而可以判断“哪些是信号敏感点，哪些不是敏感点”。

以功放为例，目前绝大多数 AB 类音频功放内部构造如下图所示。前端为电压放大，相当于运放，一般由偏置电路与共射放大电路组成，该部分功能是：对



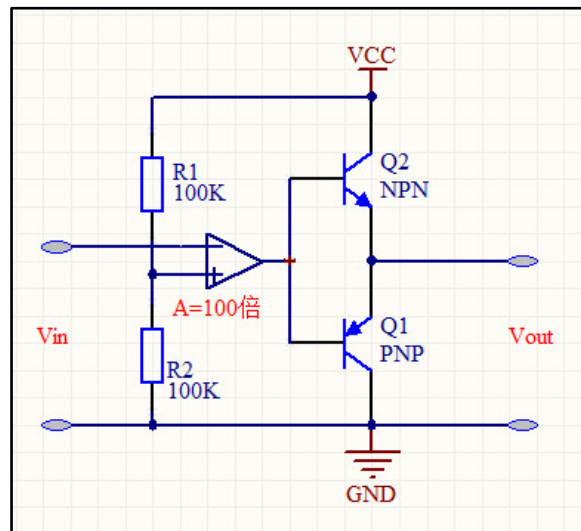


输入的信号（包括噪声）进行电压放大。而后级为射极跟随电路，一般电压放大倍数为 1（没有电压放大能力），只是增强了输出电流驱动能力。

图中的运放“+”端，通常相当于功放的“Bypass”引脚；而 Q1 的接地点的地相当于功放的功率地引脚。Bypass 引脚通常接一个去耦电容到地，该电容的地到功放的功率地间的 PCB 走线相当于图 3.1-2 中的 AC 段 PCB。假如这段 PCB 存在噪声，那么相当于噪声混进了功放前级的运放，噪声将会被“极大地放大”！

这就是“噪声混进了信号敏感段 PCB”。

所以单点接地的目的是：不让噪声地回流经过“敏感信号区的地线区域”。



4.2-1



## 5、理论的延伸

本章重点：从单点接地引出单点接电源，从单点接电源的“不够普遍”这个现象探讨“电源纹波抑制比”。从原理上论证：模拟芯片电源纹波抑制比较强，而数字芯片无电源纹波抑制能力。

### 5.1、既然有单点接地，那么有没有“单点接电源”？

显然，答案是肯定的。

但奇怪的是：为什么总是听到前辈强调“单点接地”，却很少听到他们强调“单点接电源”？

日常生活常见的一个现象是：当一个事情经常出现或者出现的后果十分严重时，经历过的人们时常会把它挂在嘴边，没经历过的人也能耳熟能详。但当事情出现的概率很小、或者后果影响很小时，人们时常会把它忽略掉。

同样，“单点接电源”也是如此，电源当然会产生共阻噪声。但是在音频功放中，其影响通常非常小（原因是功放电源的纹波抑制比高），即在喇叭端一般听不到电源的纹波噪声；而且在电源端的共阻干扰不会出现“噪声被成倍放大”的情况（因为 Bypass 电容接到地，而不是接到电源）。所以一般情下电源存在共阻干扰，但是在输出音频上听不到，所以在音频领域一般不会引起很大的重视。（这是对集成芯片而言，对于分立元件搭建的功放电路，有些构造对电源纹波还是非常敏感的。）

**注意：**电源处理不好会加重模块间的干扰，增加数字电路的电磁辐射。所以，在数字电路中，必须得权衡是否要加强模块间的电源隔离（这个理论可以在“噪声的起源” 4.4 节中看到）。

### 5.2、讨论“电源纹波抑制”

#### 5.2.1、综述：对电源纹波的敏感程度

模拟、数字电路通常对“电源纹波噪声”的抑制能力表现不同，**一般来讲模拟器件对电源纹波不敏感，基本不会将电源纹波反应在输出上；而数字电路通常会将电源纹波完全反应在输出上。**

**注意：**模拟电路对信号噪声敏感，混进了噪声后，直接影响输出信号；数字电路对信号的噪声相对不敏感，因为即使噪声很大，IO 口都能正确地判断出高低电平。

#### 5.2.2、模拟电路电源纹波抑制能力强的原因

一般的功放和运放处理的都是模拟信号，它们可以将信号放大、缩小  $N$  倍，一般都有很强的电源纹波（噪声）抑制能力。至少将电源上的噪声衰减 10000 倍以上输出。

为什么运放等模拟器件有这么强的电源抑制能力？

归根结底，因为稳压电源、恒流源、放大区的共射放大电路、非饱和状态的射级放大电路等都有很强的电源纹波（噪声）抑制能力——而运放、功放等都由这些基本电路作为其内部的偏置、放大电路单元，所以电源纹波抑制比很强。

深入的理论剖析并非一章一节可以阐明，并且作者也自认为没有足够深厚的功底。下面将简单论述芯片内部其中一种电路模型：为何放大区的共射电路有很强的电源纹波抑制比！

PS：请有兴趣深入研究的读者可以理解《模拟电子技术基础》（童诗白 第4版 3、4 章节等相关内容）章节后，再进一步学习。

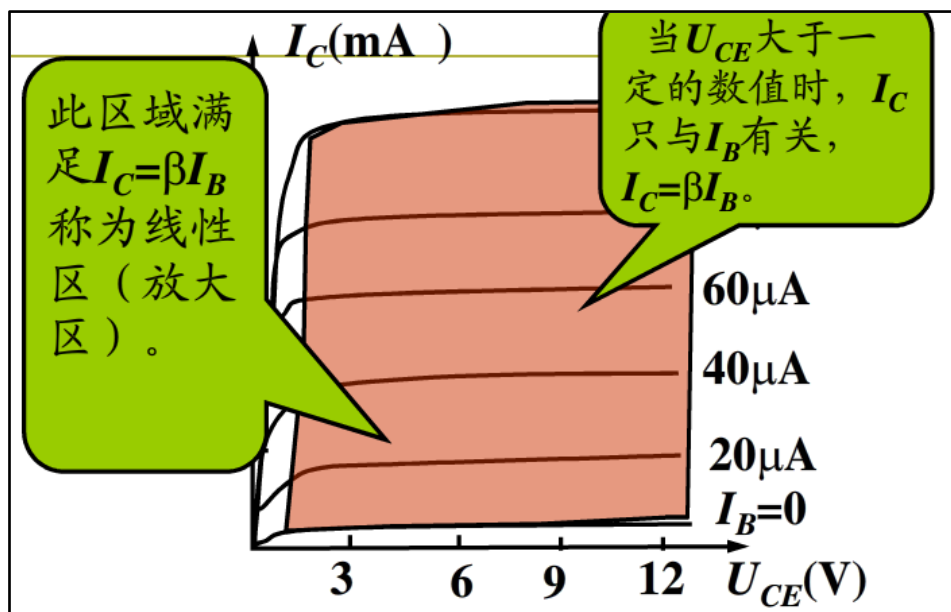


图 5.2-1

该图是经典的“三极管特征曲线图”，该图已经蕴含了“共射放大区有很强的电源纹波抑制能力”这个信息！

真的吗？不会吧？！

我啥时候骗过你？——请看分析。

**对于共射放大电路。**假设在放大区（图中棕红色区域），给三极管 B 极提供固定的电流  $I_{B1} = 20\mu A$ ，那么即使电源电压（ $U_{ce}$  电压）在 3~9V 波动，而  $I_{C1}$  基本保持不变（这个图中可以看到）。 **$I_{C1}$  保持不变，意味着共射放大电路的电压输出不变！**（理解这句话的前提是：理解共射放大电路。）

所以，对于图中的三极管共射放大电路，假如在 B 极输入一个信号  $V_{in}$ ，即使电压在 3~9V 波动，输出只和输入有关，基本不受电源电压波动的影响！这表明：这个放大电路有很强的电源抑制能力！

### 5.2.3、数字电路没有电源纹波抑制能力

小功率三极管在输出电流不是很大的情况下，饱和导通的管压降非常小，可以认为是 0（对于这个压降问题，有不少有了工作经验的硬件工程师也经常质疑。那么，烦请各位用使用数据验证。呵呵！）。所以，当输入为 3.3V 时，输出为 3.3V。

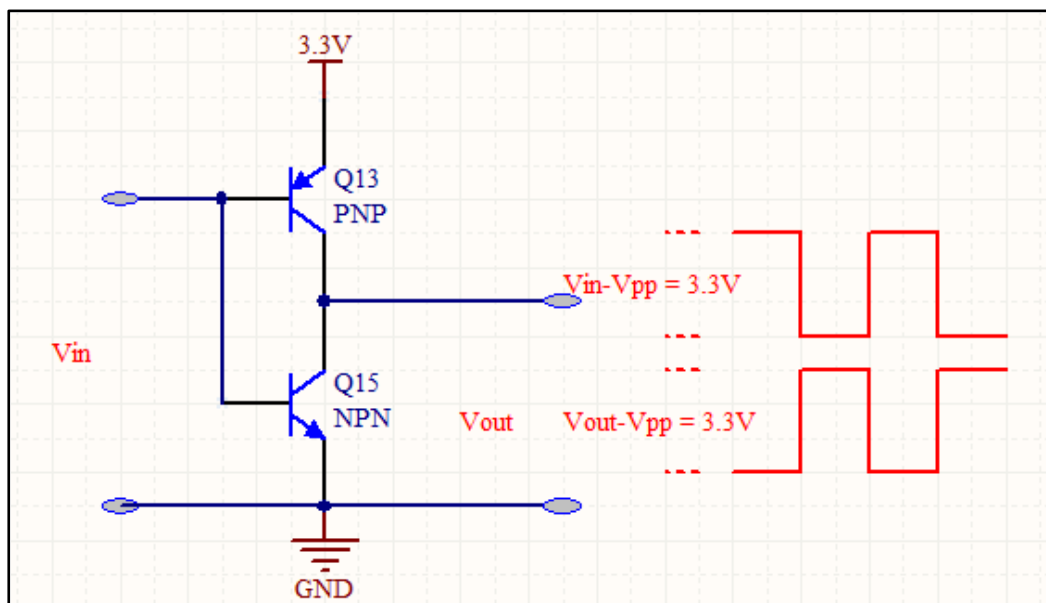


图 5.2-2

当电源电压由 3.3V 变为 10V 时，所有数字电路都工作在 10V 电源下，每个数字门电路的电压也为 10V——所以最终的结果是： $V_{in}$  和  $V_{out}$  都变成一样：都是 10V 输入、输出电压。

所以，由于数字电路 IO 口的电压工作在饱和导通状态（不可以特殊的 ECL 等电路来论述），输出电压永远等于电源电压。所以电源波动毫不保留地反应在输出上，导致其电源纹波抑制能力为 0。这种特性在数字电路相互干扰的处理要十分留心。

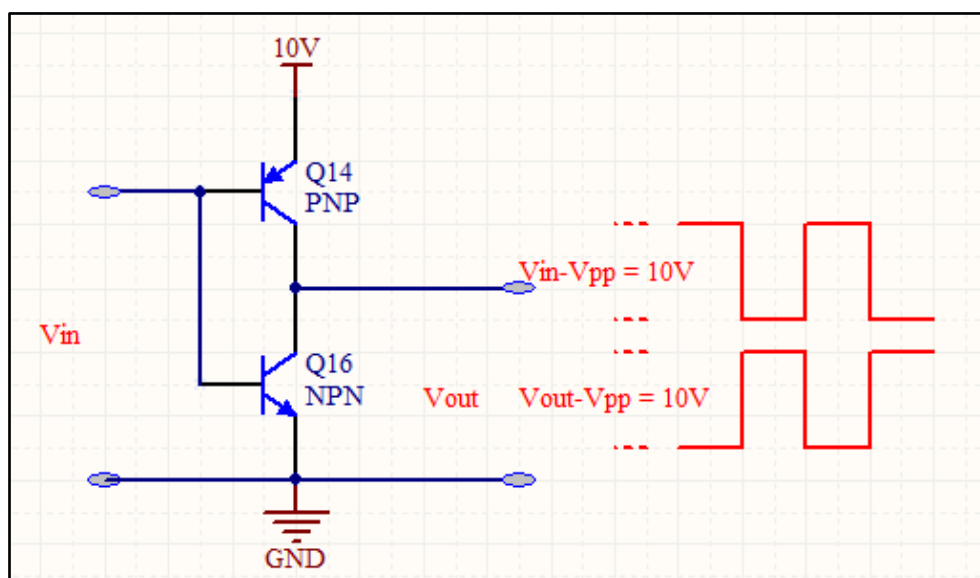


图 5.2-3



## 6、本章精要

- (1)、因为有共同回流路径而产生的干扰现象叫“共阻干扰”。
- (2)、人耳朵在安静环境中，通过耳机，人们能清楚地听到毫伏级（几毫伏）的音频噪声信号，而普通示波器一般无法捕捉到这么微弱的波形。
- (3) 因为共阻干扰存在地噪声的“敏感段 PCB”，所以要单点接地，让噪声不要经过敏感段 PCB。
- (4)、单点接地的思想，在《印刷电路板排版设计》有很详细的讲解。（作者：郑诗卫）
- (5)、一般来讲模拟器件对电源纹波不敏感，基本不会将电源纹波反应在输出上；而数字电路通常会将电源纹波完全反应在输出上。