

# 电源的干扰

## V1.0

2014.01.22

--By: Mythink

### 目 录

1、什么是电源干扰 .....	1
1.1、普通的电源纹波 .....	1
1.2、本章讨论的电源纹波及其起因 .....	1
2、干扰“转嫁”的原理 .....	2
2.1、电流干扰变成电压干扰.....	2
2.2、电压干扰的“越级转嫁” .....	2
3、干扰转嫁的危害 .....	3
3.1、电流转电压干扰的危害.....	3
3.2、“越级转嫁”的危害 .....	3
4、善于利用“干扰转化”与“越级干扰”去除干扰 .....	3
4.1、利用“干扰转化”将有害干扰化解.....	3
4.2、利用“越级干扰”将有害引开.....	3
4.3、批判利用本节中的“旁门左道” .....	4
5、本章重点 .....	4

本章讨论的是有些书本讲到的“电源的轨道塌陷”，这个其实就是电源的纹波干扰。

## 1、什么是电源干扰

看到这个标题，您先不要觉得它过于简单而嗤之以鼻。其实，本章重点思想不在于网络上经常提到的“电源纹波”，而是深入讨论一种“电源纹波的起源与转化”。

### 1.1、普通的电源纹波

读过笔者《噪声的起源》（第4节“常见噪声的产生方式”）的读者已经非常清楚，数字电路工作会“由于电源、导线的阻抗”而产生“电源噪声”，这种噪声产生的原因可以归结为“**电源内阻**”。

下面左图是没有噪声的电源；右图是有噪声的电源。

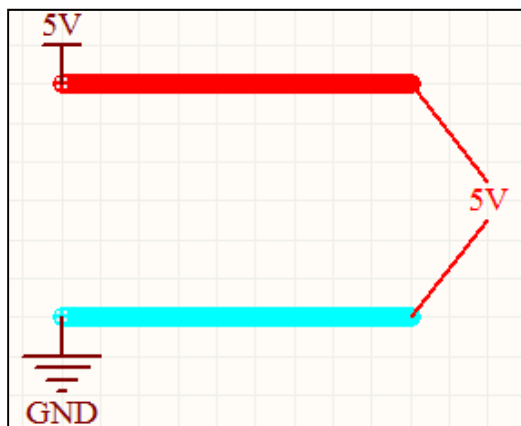


图 1.1-1

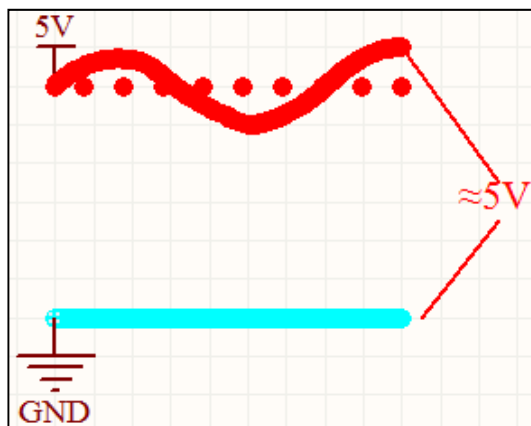


图 1.1-2

### 1.2、本章讨论的电源纹波及其起因

本章讨论的电源纹波，并非简单地由“直接的电源内阻”引起，**而是从整条电源链条去考虑**。初步电源结构如下图：

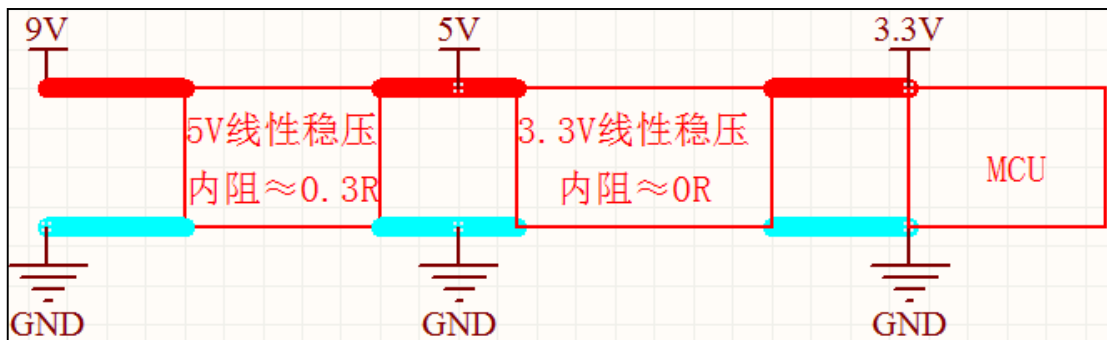


图 1.2-1



假设上图 MCU 每毫秒产生一次 10us 的动作，该动作瞬间耗电为 700mA。会出现什么情况呢？

分析如下：

（1）3.3V 稳压电源的情况：如上图所示，对于 700mA 的瞬态电流，由于 3.3V 内阻 $\approx 0$ ，故 3.3V 电源不会存在波动。

（2）5V 电源的情况：由于是线性稳压电路，700mA 的电流通过 3.3V 模块“转嫁到”5V 模块、再从 5V 模块“转嫁到”9V 电源，最终整个 700mA 的电流全部来自于 9V 供电电源。

由于 5V 稳压模块等效内阻约等于  $0.3R$ ，其产生的压降是  $0.3 \times 0.7 = 0.21V$ 。故每当数字电路产生动作时，3.3V 并不会直接出现纹波，而是通过稳压模块，把纹波转嫁到了 5V 电源！

可见，在整条电流链条中，5V 稳压最“脆弱”，所以出现强烈的纹波，有些书本上形象地称之为“**电源轨道塌陷**”。

## 2、干扰“转嫁”的原理

### 2.1、电流干扰变成电压干扰

由于 MCU 每 1ms 产生 10us 的电路，该电流有瞬态特性。又由于稳压模块具有内阻。当瞬态电流从稳压模块流过时，产生压降。所以，电流干扰“ $I$ ”通过稳压模块的“等效阻抗”转化为电压干扰。

**注意：**之所以说是“等效阻抗”，是因为稳压源并不是理想的恒压源，它具有一定的“输出电阻”。而且稳压管这个“瞬态电阻”不是普通意义的电阻，它受到“**电源抑制比**”和**内部负反馈系统**这两个东西的影响，而且具有明显的频率特性。

很多线性稳压电路，对于 10KHz 数量级以上的纹波抑制能力会急剧下降。有兴趣的读者可以自行深入研究。

### 2.2、电压干扰的“越级转嫁”

为什么会“越级转嫁”？为什么出现轨道塌陷？

上图中，本来“瞬态电流”经过 3.3V 稳压源，也经过 5V 稳压源。这个最直接影响的是 3.3V 稳压源，可是问什么偏偏 5V 出现问题？!! 1.2 小节的分析中已经提到了其原理——由于 700mA 瞬态电流流经的“链条中”，5V 稳压源的阻抗最大，有  $0.3R$ ；而 3.3 稳压源阻抗可忽略不计。还有一个原因就是：3.3V 的纹波抑制能力高。

所以，这个“干扰转嫁”的根源是：链条中某些地方特别强壮（3.3V 驱动力强，输出阻抗小，纹波抑制能力高），某些地方特别脆弱（5V 驱动力弱，输出阻抗大）。



### 3、干扰转嫁的危害

#### 3.1、电流转电压干扰的危害

当一个电路对电压干扰比电流干扰更加敏感，则干扰转化为电压后，更容易干扰整个系统。

那是不是电流干扰比电压干扰好呢？答案是：哪个都不好，假如只能选一个，那么得看自己的系统对哪个更敏感。

在不更改电源芯片情况下，可以通过增加电容、电感这种储能元件来减小干扰能量的尖峰（电流能量或者电压能量）。但是，对于上述的干扰，干扰频率较低，能量又强（瞬间 700mA），所以一般的电容、电感处理作用起效不大。

#### 3.2、“越级转嫁”的危害

越级干扰有什么坏处呢？

（1）当一个系统错综复杂，而又存在干扰的越级转嫁，那么问题分析、问题定位将变得十分麻烦。

（2）越级干扰存在时，往往不知哪一级最终“受害”，假如“受害”者恰好是电路中最脆弱、最敏感的一环，那么系统将出现崩溃之象。

（3）越级干扰，让整个干扰路径都存在危险。上图例子说的是 5V 受到了干扰。实际上 9V 也有可能受到波及。甚至，假如供电电池的内阻较大，则干扰直接在电池两端产生。很多时候数字电路中的电池存在很强的辐射，就是因为这种“越级转嫁”效应而产生。

### 4、善于利用“干扰转化”与“越级干扰”去除干扰

#### 4.1、利用“干扰转化”将有害干扰化解

假如你的系统对瞬态电压干扰特别敏感，那么，通过在电压的两端加上电容，毛刺电压将转化为平缓的电压模型。最终，整个环路的原有的“瞬态电压引起瞬态电流”将变成“电流一直很平缓”。——干扰得以去除。（其实，这就是电容滤波。）

还有很多方法，只要认清原理，实际应用就变化万千了。

#### 4.2、利用“越级干扰”将有害引开

假如你的一个具体系统中，想要对已经存在的干扰去除非常困难，那么，我们想另一个办法：把它引开。

哈哈！是不是很奇怪？也许你经常听说的是：把干扰干掉（把干扰源去除）、把干扰隔开（切断干扰路径）、增强受干扰者的抗干扰能力。但是，却没有听说过奇怪的：把干扰引开。

其实，它包含于以上三种情况之中。比如隔离。

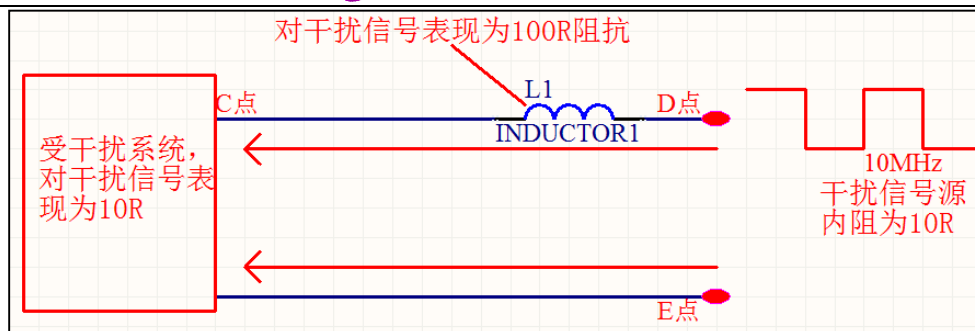


图 4.2-1

如上图所示，假设没有  $L1$ ，那么系统  $C$  点收到的干扰强度为  $1/2$  干扰电压 ( $10R / (10R + 10R)$ )。但是，加上了  $L1$  后，系统  $C$  点只有不到  $1/10$  的干扰电压——干扰电压被转嫁到了最薄弱的“ $L1$ ”处。

这就是通常所说的“加电感隔离”。但是其机理与上面的电源干扰的“越级转嫁”却是如出一辙。（看到这里不要骂我，哈哈！我只是想说明日常很多现象原理的相同性。）

类似将干扰转嫁的情况非常常见，下面很多情况下都有某种程度“转嫁干扰危害”思想：单点接地、将电气性能相似的元件模块化布局、不同“地”间的耦合电容……现象不胜枚举，请读者慎思之。

### 4.3、批判利用本节中的“旁门左道”

本章中介绍的方法即使在某种情况下可以“初步解决问题”，但终不是非常“正统”的方法。

正统的方法是：减小整个电源的阻抗（当然包括电池的内阻），减小整个电路的环路面积、大面积铺地等等，如很多书本所说的一样。只是这有可能增加成本，有些使用上的局限性。

所以，读者需具体情况具体分析。

## 5、本章重点

(1) 在整条电流链条中，5V 稳压最“脆弱”，所以出现强烈的纹波，有些书本上形象地称之为“**电源轨道塌陷**”。

(2) 稳压管这个“瞬态电阻”不是普通意义的电阻，它受到“**电源抑制比**”和内部**负反馈系统**这两个东西的影响，而且具有明显的频率特性。

(3) 很多时候数字电路中的电池存在很强的辐射，就是因为这种“越级转嫁”效应而产生。

(4) 善于利用“干扰转化”与“越级干扰”去除干扰。

(5) 本章中介绍的方法即使在某种情况下可以“初步解决问题”，但终不是非常“正统”的方法。