

电源纹波测量--从入门到精通

作者：许聪源

摘要：电源纹波是电源品质的重要指标之一，除了工程师外，普通用户也会关心纹波的大小。通常在实验室中示波器被用来测量电源纹波，但是具体操作流程存在随意性大，可复现性低等问题。本文从基本概念出发，以 **Raspberry Pi Pico** 为例，介绍了电源纹波测量的基本流程。本文以实测演示对比来描述精通纹波测量需要掌握的技巧和注意要点，帮助用户实现纹波测量又快又准的目标。

本次内容将通过视频和文稿的形式体现，视频和文字内容互为补充。

关键词：电源；示波器；纹波测量

本篇将按照以下顺序分期叙述：

第一期：经验—电源测量为什么重要，及电源纹波的概念和基本测量：**Raspberry Pi Pico** 电源简介、示波器设置、测量波形

第二期：精通纹波测量：用好示波器的自动测量功能、电压探头衰减、接地线的影响

第三期：精通纹波测量：示波器底噪的影响、开启 FFT 观察纹波的频率分布
总结+参考文献+视频彩蛋

第一期： 经验—电源测量为什么重要？ 及电源纹波的概念和基本测量

1. 电源纹波的概念

随着集成电路的发展进步，用电设备的电源电压越来越低。例如目前主流微处理器的供电电压已经低至 1V 左右，用于移动设备的 LP-DDR 系列存储器，供电电压最高也不超过 1.8V。这些非常接近硅阈值电压的用电设备，对电源的品质也提出了越来越高的需求。除了电源工程师会关注电源品质外，普通用户在经受低质量电源困扰之后，也会通过不同手段来关注、改善电源的质量。例如在高保真（Hi-Fi）音响爱好者圈子里，就流传着“火电力度大，水电解析力高，雅鲁藏布江的水电效果好”等段子。更不乏为了改善电源质量，花重金购买一根昂贵的电源线材。Hi-Fi 爱好者的部分观点和行为虽然缺乏足够的科学依据，但也从一个侧面可以反映出电源对用电设备的影响是举足轻重的。

电源品质中，一个比较重要的指标是电源纹波。电源纹波（ripple）通常认为是在直流电源输出中，叠加在直流分量上的并不需要的交流分量。这些交流分量通常是在交流转直流过程中，由于电路的局限性无法完全滤除不需要的频率分量而产生的。值得注意的是，虽然电池产生的电压在短时间内是固定不变的，并且原理上不存在纹波，但是对于使用电池供电的设备，我们仍然需要关注电源的纹波。一方面，随着电池容量的消耗，电压会逐渐降低，为了保证用电设备的输入电压恒定，电池的电压会经过 DCDC 转换器进行变换，此时会引入额外的交流分量。另一方面，用电设备对电压的需求不一致，一款消费级设备就会需要多个不同的电源轨，因此会引入多个电压转换器，进而产生不同的交流分量。

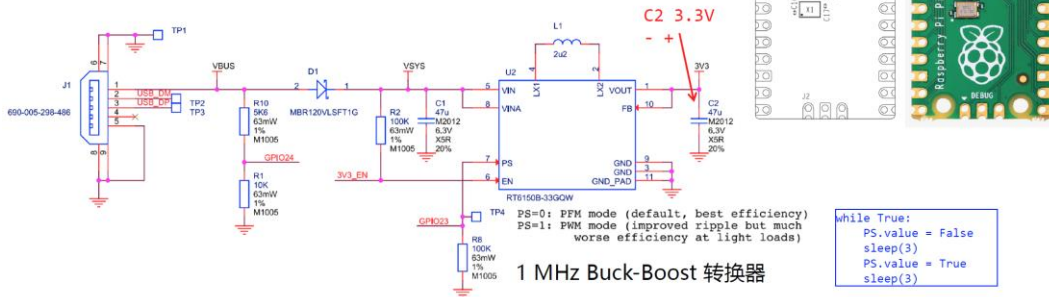
2. 电源纹波的基本测量

这里以一个常见的 Raspberry Pi Pico 开发板的电源模块为例，介绍电源纹波测量的基本流程。

2.1 Raspberry Pi Pico 电源简介

Raspberry Pi Pico 是一个小巧实用的 MCU 板子，供电由一颗来自 RICHTEK 的 RT6150B 完成，输出电压是 3.3V，电路如图 1 所示。RT6150B 是一个 Buck-Boost 转换器，因此输入电压既可以高于也可以低于 3.3V。板子的供电来自 USB 接口的 5V，实现的是降压转换。值得注意的是，RT6150B 有一个 Power Save Mode（PSM）。当芯片的 7 脚（PS）拉低时，PSM 启用，芯片工作在 PFM 模式，效率较高，但是纹波也较高。当 PS 拉高时，PSM 禁用，芯片工作在 PWM 模式，轻载时效率降低，但是纹波也较低。

供电电路



<https://datasheets.raspberrypi.org/pico/pico-datasheet.pdf>

图 1: Raspberry Pi Pico 的供电电路

实际测量时，我们通过软件控制 PS 拉低或拉高，从而使供电模式在 PFM 和 PWM 之间切换，进而对比二者的差异。测量点位方面，供电输出处有一颗电容 C2，我们可以测量 C2 两端的电压来测量纹波。

2.2 示波器设置

探头：纹波是叠加在电源直流分量上的一个交流电压分量，因此和普通电压信号测量比较类似，选择一个无源电压探头即可。如果探头上可以设置衰减，例如有 1X 和 10X 两个档位，需要设置到没有衰减，即 1X 的档位上。

探头接地线：拔掉。没错，去掉探头上所有的接地延长线，包括最常用的接地夹。探头的接地要使用接地弹簧。接地弹簧是无源探头的标准配件，可以用最短的路径就近接入板上的地线。

垂直通道：设置为 AC 耦合；带宽限制设置为 20 MHz；本着先粗后细的原则，垂直刻度可以先设大一些，例如 50mV/div；检查并确认探头的衰减正确设为了 1X。图 2 是一个示波器垂直通道的设置示例。

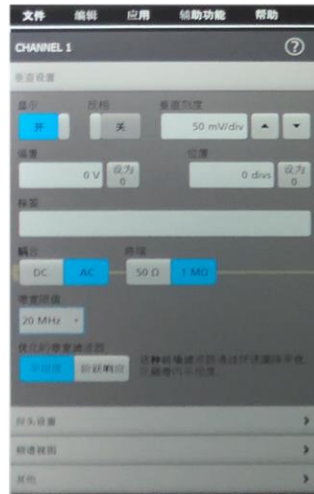


图 2: 示波器垂直通道设置

时间刻度：本着先粗后细的原则，时间刻度可以先设大一些，例如 $1\text{mV}/\text{div}$ 。待后续观察到信号后，再放大查看细节。

触发系统：由于使用 AC 耦合，触发电平可以设为 0V ，使用边沿触发即可。

2.3 测量波形

使用上述配置，可以测得输出电容两端的交流电压如图 3 和图 4 所示。为了方便对比，2 张图的垂直刻度都统一设置为了 $5\text{mV}/\text{div}$ 。

我们不难发现，相比 PWM 模式，PFM 模式下，电源的纹波是明显大的，这和 datasheet 的描述是一致的。



图 3：PFM 模式的纹波



图 4：PWM 模式的纹波

具体纹波的数值，可以通过数格子、光标或示波器的自动测量功能获取。

未完待续。。。