

电源纹波的产生、测量和抑制

Power Supply Line the Creation of Ripple, Measure and Repress

姚晓平, 江苏联合职业技术学院南京工程分院电子工程系 (江苏 南京 210003)

Yao Xiaoping, Department of Electronic Engineering, Nanjing Technical Vocational College of Jiangsu Union
Technical Institute (Jiangsu Nanjing 210003)

摘要: 电源纹波是电源检测的重要指标, 纹波电压对电子电路会产生影响, 在设计电子产品时我们都要考虑纹波的影响。本文从实践中归纳了电源纹波测量和抑制方法等内容。

关键词: 电源纹波 纹波产生 纹波测量 抑制方法

Abstract: Power ripple is one of the most important criteria for power supply measurement, and ripple voltage affects electronic circuit, thus ripple can be one factor to be considered when we design electronic products. This article summarizes from practice ways to measure and suppress power ripple.

Keywords: Power ripple, Emergence of ripple, Ripple measurement, Method of suppression

[中图分类号] TM932

[文献标识码] A

文章编号: 1561-0349(2009)11-0040-04

1 引言

对于电子产品来说唯一不可缺少的是电源,但是它除了提供能量外,也带来了纹波、噪声等影响电子产品正常工作的影响。纹波电压对高放、本振、混频、滤波、检波、A/D变换等电路都会产生影响,在设计控制设备、电子仪器、电视、摄像机等电子产品时都要想办法尽量减小纹波。为此就要了解纹波、知道它是如何产生的、如何测量以及抑制方法。

2 电源纹波

纹波是附着于直流电平之上的包含周期性与随机性成分的杂波信号,指在额定输出电压、电流的情况下,输出电压中的交流电压的峰值。狭义上的纹波电压,是指输出直流电压中含有的工频交流成分。

纹波用示波器可以看到,在直流电压上下轻微波动,就像水平面上波动的水纹一样,所以被称为纹波(见图1)。

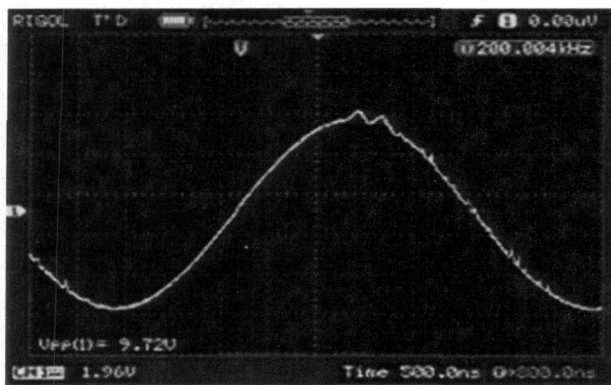


图1 RIGOL 示波器 DS1302 观察的纹波信号波形

2.1 电源纹波产生

我们通常在产品中用的电源主要有线性电源和开关电源两大类,输出的直流电压是一个固定值,由交流电压经整流、滤波、稳压后得到。由于滤波不干净,直流电压中含有交流成分,这就产生了纹波。纹波是一种复杂的杂波信号,它是围绕输出直流电压上下来回波动的周期性信号,但周期和

振幅不是定值,随时间而变,不同电源的纹波波形不一样。

产生电源纹波的因素有许多,即使你用电池供电也会因负载的波动而产生波纹。

(1) 线性电源

由于我国供电频率是50Hz,所以它的纹波主要来自工频50Hz变压器,纹波电压的频率常常是 $50n\text{Hz}$, n 取自然数,大小取决于整流电路的类型。对于半波整流,是1;对于全波整流,是2;对于三相全波整流,是6,即300Hz。所以这种电源的输出端纹波主要是50HZ或它的整数倍,幅值小,较易滤除,通常纹波可做到几mV。

如假定整流桥输出负载电流 I_L ,负载电压 V_L ,整流桥输入交流电压幅值 V_m 及其输入交流电压频率 f ,则其输出的纹波电压由表1各式计算。

表1 整流纹波电压^[1]

整流形式	半波整流(平均值)	全波整流(平均值)
纹波电压	$(I_L \times V_L) / (2\sqrt{3}fCV_m)$	$(I_L \times V_L) / (4\sqrt{3}fCV_m)$

采用功率匹配法或等效电流源法计算纹波电压,一般表示为:

$$\Delta U = I_L \sin 2\omega t / (2\omega C) \quad (1)$$

从式(1)中可以看出,纹波频率为输入频率的两倍,其幅值正比于变换器的输出电流,反比于输入电压频率和平滑电容的大小。

(2) 开关电源

产生的纹波比较复杂、很难滤除且幅值较大。主要来源于五个方面:除低频纹波外还有高频纹波、共模噪声、开关器件产生的噪声和调节控制环路引起的纹波噪声。一般开关电源的纹波比线性电源的纹波要大,频率要高。

①高频纹波。高频纹波来源于开关变换电路。开关电源的开关管在导通和截止的时候,都会有一个上升和下降时间,这时候在电路中就会出现一个与开关上升与下降时间的频率相同或者奇数倍频的噪声,一般为几十MHz。同样二极管在反向恢复瞬间,其等效电路为电阻电容和电感的串联,

会引起谐振,产生的噪声频率也为几十MHz。还有高频变压器的漏感也会产生高频干扰。这些噪声一般叫做高频纹波噪声,幅值通常要比纹波大得多。

如假设输出整流电容 C_f 有限,实际电容也有损耗,流进电容的电流 i_c 是脉动的,使 V_o 脉动,形成纹波电压。假定 D 为占空比、 L 为储能电感、 C 为滤波电容、 f_s 为开关频率,则常用的4种基本类型变换器的输出纹波电压列于表2。

表2 高频纹波电压^[1]

电路形式	BUCK	BOOST	BUCK-BOOST	CUK
纹波电压	$(1-D)/8LCf_s^2$	D/RCf_s^2	D/RCf_s^2	$(1-D)/8LCf_s^2$

从表2可以看出,通常高频的输出噪声,大小与开关电源的频率和输出滤波器有关。电源的开关频率越高,电感和电容值越大,则输出纹波越小。

②共模噪声。功率器件与散热器底板和变压器原边与副边之间存在寄生电容,导线存在寄生电感,因此当电压作用于功率器件时,导致开关电源的输出端产生共模纹波噪声。

③开关器件产生的噪声。随着开关的开启和关闭的切换,电感 L 中的电流也是在输出电流的有效值上下波动。所以在输出端也会出现一个与开关同频率的纹波。

④调节控制环路引起的纹波噪声。实际电路中控制环路要有时间响应,不能做到线性调节,故输出电压瞬间会忽高忽低,甚至有可能造成电源系统的振荡,由此产生了纹波噪声。

2.2 纹波电压危害

在调试产品时会遇到以下这些现象:

喇叭或听筒发生嗡嗡的杂音,这可能是音频范围内的类似正弦波的纹波信号推动喇叭的纸盆或话机的听筒而形成杂音;

调试信号放大系统时,能看到纹波电压对放大信号产生调制,形成杂波;

如果电视图像的背景上有细横条向上或向下滚动,可能是由激励器中调制、校正等中频单元的供电电源纹波过大引起。

以上现象都可能是纹波在捣乱。纹波电压高了,有可能使电子产品产生谐波、调制等,干扰正常的工作状态;导致电源效率降低,影响数字电路的逻辑关系;干扰信号的正常传递等等。较强的纹波会产生浪涌电压或电流,有可能烧毁用电设备。要使纹波足够小,必须准确地测出纹波的大小。

3 电源纹波测量

电源纹波的测量分两大类,一类是单独电源的鉴定,另

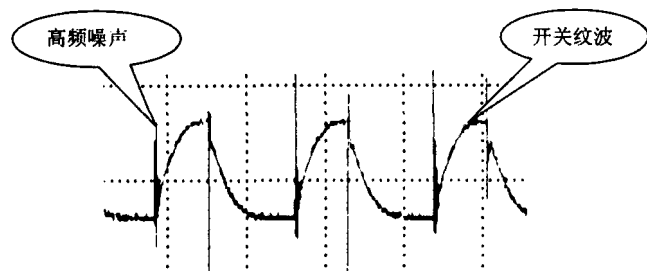


图2 开关纹波和高频噪声

一类是产品的调试测量。

在电源行业和电源用户对电源鉴定时,要求选择在 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的室内进行,湿度应小于80%,周围对测量有影响的机械震动及电磁干扰应减到最小,标准仪器与被检电源应在以上的检定环境下放置24h以上。对纯电源来讲,测量电源纹波时,要求在加载时测量,所加负载要使输出电流大于额定输出电流的80%以上。除选低噪声的纯阻性负载或电子负载外,还要选择对应的测量标准。不同的标准会有不同的测量结果。

纹波电压可以用绝对量,也可以用相对量来表示。纹波电压幅度与直流电压幅度之比称为电源的纹波系数,常用对数方式表示。例如一个电源工作在稳压状态,其输出为10V/1A,测得纹波的有效值为10mV,这10mV就是纹波的绝对量。而相对量即纹波系数=纹波电压/输出电压=10mV/10V=0.1%,即等于千分之一。电源纹波的测量可以用毫伏表或示波器。

3.1 示波器测量电源纹波

目前常用示波器来测量电源纹波,除了可测量纹波的各种电压值,还可以看到波形。如使用数字示波器,注意存储深度和干扰,否则可能造成无法正确的测量。可以用模拟示波器,泰克公司生产的示波器有专门配备的电源纹波测量软件。

用示波器对电源纹波测量的连线方式有以下几种。

(1) 靠连法

使用带有地线环的示波器探头,将探针直接接触正输出的管脚,线环直接接触负输出的管脚,这样从示波器中读出的峰值为输出线上的纹波与噪声,如图3。

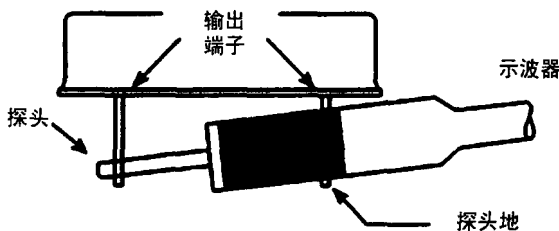


图3 靠测法

(2) 直连法

将地线环直接与负输出管脚连接,利用探头接地环进行输出端测试,如图4。

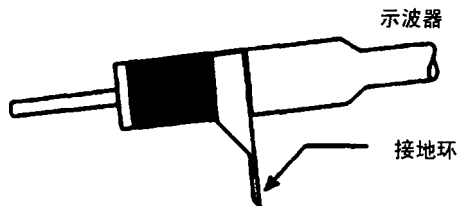


图4 直测法

(3) 绞连法

输出管脚接双绞线后接电容,在电容两端用示波器测量。

在用以上方法连接测量时要注意:首先,根据要求规定示波器测量纹波的带宽上限,以避免拾取超出纹波带宽上限的高频噪声,一般带宽上限设为20MHz,为了滤除叠加的直流电压,采用AC耦合输入方式;其次,摘掉探针的“帽子”,直接用探头的屏蔽地和信号输出地连接,减短长接地引线形成的天线;为减小探头感应的影响,多数情况下都采用在探头接入点的位置并联小电解电容和瓷片电容,并联电容可以减少外界干扰信号进入示波器,也可以将一段短线绕在探针接地引线周围,并使之与电源地相连接。这样做的好处是缩短暴露在电源附近高强度电磁辐射中的探针长度,从而进一步减少高频拾取。此外,把示波器引线绕在铁芯上可减小共模电流,因为这样会形成一个不影响差分电压测量、但可降低由共模电流产生的测量误差的共模电感,在隔离电源中,真正的共模电流是由在探针接地引线中流动的电流产生的,这就使得在电源地和示波器地之间产生电压降,表现为纹波。

3.2 交流毫伏表测量电源纹波

用交流毫伏表来测量纹波电压,是因为毫伏表只对交流电压响应,并且灵敏度高,可测量很小的交流电压,而纹波往往是比较小的交流电压。毫伏表可直接读出纹波电压的有效值、峰值和平均值。但结果与毫伏表的频响有关,在使用交流数字电压表时,要注意其频响范围,不同范围会有不同的测量结果。

4 电源纹波抑制

抑制纹波电压的通常做法是,加大滤波电路中电容量,或采用LC滤波电路,或采用多级滤波电路;以线性电源代替开关电源;合理布线等。但如果能有针对的采取措施可能会起到事半功倍的效果。

4.1 低频纹波的抑制

对开关电源来说,可采用前级预稳压和增大DC/DC变换器闭环增益来消除。低频纹波是输入整流纹波通过DC/DC变换器传递到输出的,它的大小取决于整流滤波电容器的电容量和反馈调节回路的调节器性能。根据开关电源的公式,输出纹波和输出电容值成反比,电感内电流波动大小和电感值成反比。所以加大电容值和电感值可以减小输出纹波。适当配置调节器的参数,增大交流反馈,也可以有效地降低纹波。

4.2 高频纹波的抑制

输出纹波从频谱上分主要由低频纹波、开关频率纹波和尖峰三个方面组成。而尖峰是纹波的主要部分,它的大小基本决定了纹波的大小。因为高频变压器初级、次级存在漏感,开关管在导通和截止的瞬间,漏感中的电流无法释放便产生了尖峰。整流尖峰的产生原因是高频整流管的PN结存在结电容,整流管在导通和截止的瞬间,结电容的充放电也会产生尖峰。从示波器中可看到开关电源输出尖峰的频率约50MHz~100MHz,远高于滤波电感器的截止频率,不能用常规的电感滤波方式来解决。实际工作中只能采取减小变压器漏感和采用软恢复特性的高频整流管;采用高频滤波器;采用多级滤波;提高开关电源工作频率。

4.3 共模纹波的抑制

对于共模纹波噪声的常用方法:

(1) 减小控制功率器件、变压器与机壳地之间的寄生电容,并在输出端加共模抑制电感及电容;

(2) 采用EMI滤波器;

(3) 降低开关毛刺幅度。

4.4 控制环路的抑制

控制环路参数不当会引起纹波,当输出端波动时通过反馈网络进入调节器回路,可能导致调节器的自激振荡,引起附加纹波。此纹波电压一般没有固定的频率。抑制方法有:

(1) 调节器输出增加对地的补偿网络,调节器的补偿可抑制调节器自激引起的纹波增大;

(2) 合理选择环路的放大倍数。放大倍数过大会引起调节器的振荡或自激,使输出纹波增加,放大倍数过小使输出电压稳定性变差,所以调节器的放大倍数的参数要合理选取,调试中应根据负载状况进行调节。

(3) 低噪声低压差线性调节器(LDO)。电源输出端接LDO滤波,这是减少纹波和噪声最有效的办法,输出电压恒定,不需要改变原有的反馈系统,但成本很高,功耗较大。

4.5 PCB设计

开关电源的PCB设计非常重要,PCB分布参数会导致调整误差或滤波效率变差,严重时甚至可能导致自激(一般在特定的负载下发生)。原则是取样回路和滤波回路要尽量贴近开关电源IC,PCB走线不可太长、太细。

5 结语

电源几乎对于每种电子产品都必不可少,电源的性能对一个大型系统产生重要的影响。要确保高可靠性、稳定性、兼容性、安全性,测量是唯一的办法。通过有效的测量和分析,才能保证得到理想的产品。

参考文献

- [1] 陶生桂等.直流开关电源纹波分析.城市轨道交通研究,2003年第4期.
- [2] 徐焕蓉.直流稳压电源的纹波测量问题.计测技术,2008年第28卷第5期.
- [3] 董玉林等.开关电源纹波和噪声的抑制.辽宁工业大学学报,2008年10月第28卷第5期.
- [4] 宋磊.电源系统分析与测试.泰克科技有限公司.

作者简介

姚晓平,男,生于1960年,上海人,高级工程师,工学学士,江苏联合职业技术学院南京工程分院电子工程系,教研室主任,研究方向:仪器测量与电源技术。

(上接第60页)

- [11] 陈星莺,刘孟觉,单渊达.风力发电系统优化输出技术的研究[J].电力自动化设备,2000(5):7-10.
- [12] 潘文霞,陈允平,沈祖诒.风力发电机的发展现状[J].中小型电机,2001,28(4):38-41.
- [13] 武鑫,赵斌.并网型风力发电机组的调节控制[J].太阳能.2003(4):24-25.
- [14] 金如麟,谭 娃.小型风力发电机的最大输出功率[J].中小型电机,2000(2):37-39.
- [15] Erickson RW. Fundamentals of power electronics[M]. 2nded. Norwell, USA: Kluwer Academic, 2001.
- [16] Teodorescu R, Blaabjerg F. Flexible Control of Small Wind Turbines with Grid Failure Detection Operating in Stand Alone and Grid Connected Mode. IEEE Transactions on Power Electronics, 2004, 19(5):1323~1332.
- [17] Wang Q, chang L. An Intelligent Maximum Power Extraction Algorithm for Inverter-Based Variable Speed Wind Turbine System. IEEE Transaction on Power Electronics, 2004,19(5):1242~1249.

注:该项目为校级课题:小型风力发电机的变频系统及控制策略的研究(项目编号:K200912)

作者简介

林波(1983—),男,硕士,讲师,研究方向为自动化技术与新能源。