

理解线性程控电源 的工作原理

应用指南 1554

目录

线性可编程电源工作原理综述	2
输出特性	3
扩展电压和电流的输出范围	5
电源的快速编程能力	6

这篇应用指南讲述了线性程控电源的基础，同时详细描述了其输出特性，以帮助您更好了解和使用可编程线性电源。



线性电源工作原理综述

电源的基本设计模型，包括了整流器和负载器件，以及串联在一起的控制元件。图1是串行调整电源的简化电路图，它包括了作为电源开关的相位控制预调整器，串联在一起的可变阻抗元件。该相位控制的预调整器通过保持串联元件上稳定的低压降，把功耗减到了最小。一个反馈控制电路连续监测电源的输出，并调整串行阻抗，以稳定一个连续的输出电压。图1所示，电源中的可变电阻串联器件，实际上是由工作在线性模式下的一个或多个功率晶体管构成；因此，采用这种类型调整器的电源通常称为线性电源。线性电源有许多优点。凭借高稳定和低声的输出，成为研发工作台上电源的最简单和有效的解决方案。

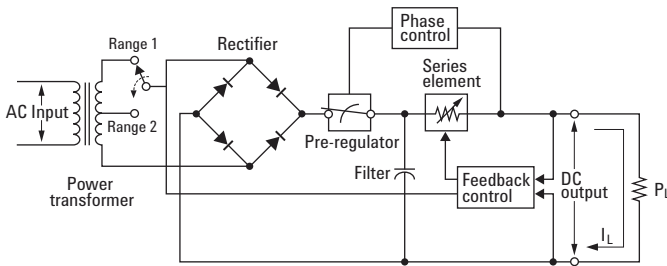


图1. 串联电源简化电路图

图1所示电源是个双量程电源，允许电源在低电流时有较高的电压，或在低电压时有较高的电流。而对于普通的单量程电源，只有在其电压和电流输出都达到最大时，其输出功率才会达到最高。双量程线性电源则能在两个量程的最大电压和电流输出时，提供最大的输出功率。在双量程电源中，在初级变压器的次级线包中，除了终端接线头外，在中间还有个抽头，预调整器前的开关可以在这两个输出接头直接切换，已决定后端输出的高电压、低电流模式，或者低电压、高电流模式。这种技术对降低串行器件功耗是非常有效的。

在性能方面，线性电源有极其良好的源和负载特性，能快速响应电网和负载的变化。因此它的电源调整率、负载调整率和瞬态恢复时间等指标，优于绝大多数的开关电源。线性电源还有很多其它优势，例如超低的纹波和噪声、容许环境温度变化和高可靠等。

在程控线性电源中，数字控制电路驱动DAC的输出控制电平，以成正比地控制电源的编程电压值。电源输出端同时向控制电路发送一个电压，以表明它已经按照要求输出了电压。控制电路接收来输出端的电压信息后，将该信息发送到显示器上。同样，控制电路还会把电源的输入和输出状况，通过GPIB、RS-232、USB或LAN等PC接口，告诉其它设备。这些PC接口直接接地，而且，在控制电路与电源直接采用了光隔离。

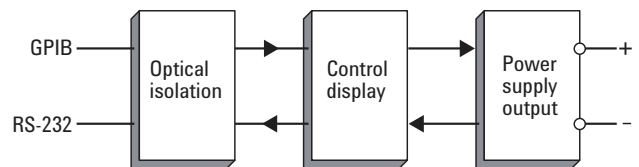


图2. 显示光隔离的电源框图

输出特性

在所有情况下，理想的恒压电源其输出阻抗应该为零。如图3所示，无论负载吸取的电流如何变化，电压都应始终保持为常数。

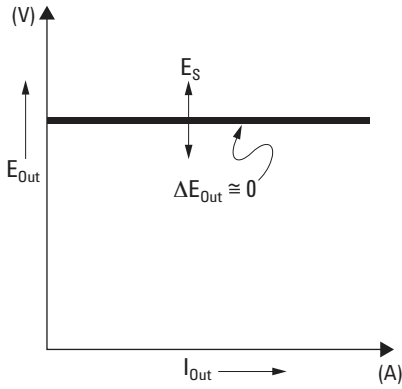


图3. 理想的恒压电源

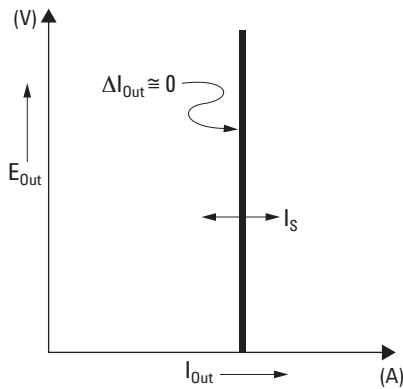


图4. 理想的恒流电源

在所有情况下，理想的恒流电源的输出阻抗应为无穷大。如图4所示，理想的恒流电源通过改变输出电压，来适应负载电阻的改变，其量值正好保持输出恒定的电流。

该电源的输出即可工作于恒压(CV)模式，也可工作在恒流(CC)模式。在某种不确定的条件下，电源可能既不在CV，也不知或CC模式，而处于非调整状态。

图5显示的是该电源输出的工作模式。电源的工作点分别在线 $R_L = R_C$ 的上方或下方。这条线表示的是负载恰好工作在设定的输出电压和输出电流位置。当负载 $R_L > R_C$ 时，这时负载的工作电流低于设置值的电，电压主导了输出，此时电源处于恒压模式。点1处的负载的电阻值要高于 R_C ，输出电压即为设置的电压，而输出电流则要小于设置的电流。在这种情况下，电源为恒压模式，而设置电流则成为了限制电流。

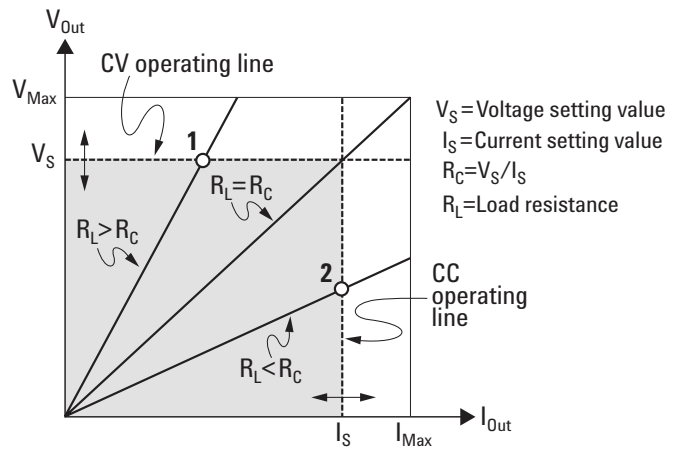


图5. 输出特性

当负载 $R_L < R_C$ 时，这时负载实际电压要低于设置的电压，电流主导了输出。此时电源处于恒流模式。此时，点 2 处负载的电阻值要低于 R_C ，输出电压就会低于设置电压，而输出电流等于设置的电流，电源处在恒流模式，设置电压则成为了作为限制电压。

非调整状态

如果电源进入既非 CV、也非 CC 的工作模式，它就处于非调整状态。此种模式的输出是不可预期的。非调整模式的出现原因，可能是供电的交流电源电压低于规范值的结果。非调整条件可能在瞬间出现。例如，当编程输出非常高的电压跳变时，输出电容器或大的电容性负载会用最大的设定电流充电。在输出电压上升期间，电源即处于非调整模式。在电源从 CV 转换的 CC 状态的过程中，如果这时输出端短路，在转换过程中也可能产生短暂的非调整状态。

不需要的信号

理想电源应该有完美的 DC 输出，在通道直接没有串扰信号，也没有任何信号从地线串扰到输出端。但实际上，电源输出端上存在有限的噪声；在输出端与大地之间，由于阻抗不是无穷大，也存在一些漏电流。前者称为差模(或串模)电压噪声，后者称为共模电流噪声。图 6 就是关于共模和差模噪声源的简图。

差模电压噪声由与电网频率相关的纹波以及某些随机噪声叠加构成的。在优高品质台式电源中，这两种噪声输出都很小。同时，为了减少周围环境引入噪声，需要使用双绞线与被测件连接，并且让电源远离大功率设备及其它噪声源，以保持低差模电压噪声。

对于一些以大地为参考灵敏电路，共模噪声可能会成为问题。当一个电路以大地为参考时，与交流电网相关的很小的漏电流可能会从输出端流入大地。由于这个漏电流的存在，对地之间的任何阻抗都会产生一个压降，这个压降等于该电流乘以阻抗值。为了将它降到最低，可以将输出端直接接地。此外，任何对地阻抗都应有与之互补的对地阻抗值，从而抵消任何产生的电压。如果这个电路不是以大地为参考，那么共模电源噪声通常就不会成为问题。

电源的输出会随负载的改变而改变。当负载加大时，输出电流的上升，会引起输出电压的一小点压降，这是由于输出端的输出阻抗(R)造成的。而任何电源与负载的连接线都会存在电阻，从而增加了电源输出到负载端的总电阻，引起了负载端电压进一步的下降。您应该尽可能用大线径的电缆连接线减小这一压降。并同时在负载处使用远地感应线，用于补偿由于电源到负载端导线的电阻造成的电压降。

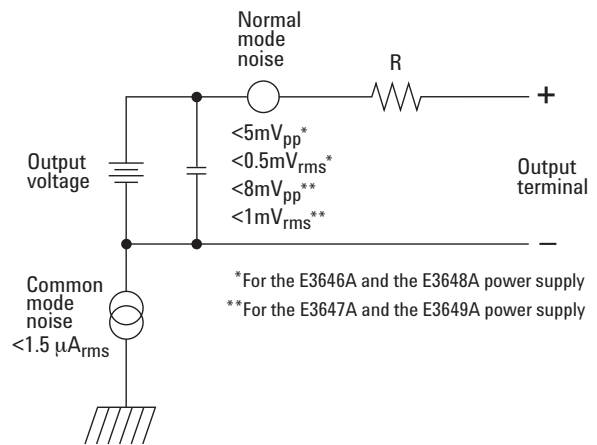


图 6. 共模和差模噪声源简图

当负载出现迅速改变，如继电器触点闭合时，连接线和电源输出中的电感将使负载上出现电压尖峰。该尖峰是负载电流变化率的函数。如果在测试时有这样的情况出现，可把一个电容与一个低值电阻串联，然后再并联到电源上。在继电器闭合到负载的瞬间，这个RC网络就能有效抑制这些电压尖峰减。

扩展电压和电流的输出范围

如果电网电压等于或高于其标称值时，电源可提供高于额定值的最大输出电压和电流。通常可超过额定输出的3%，而不会损坏电源，但输出的性能也许达不到规定指标。当电网电压处于上限值时，电源有可能在规定指标范围内工作。如果仅是电压或电流超过，电源一般仍可满足指标要求。

串联

如果您需要高于单台电源所能提供的最高电压，可把相互隔离的两台或多台电源输出端串联使用。你既可以把两台电源串联在一起加到负载上，或者把每台电源分别加到独立的负载上。在高品质台式电源的输出端之间，连接着极性反转二极管，如果你将它与其它源串联工作时，就不会因负载短路或其中一个串联电源单独开机而造成损坏。

在电源串联使用时，输出电压是各单台电源电压的总和，而电流是任何一台电源的电流。您必须调整每一台电源，以得到要求的总电压。

并联

如果您的电源在恒压和恒流模式之间自动转换，您就能把两台或多台电源并联，以得到大于单台电源的总输出电流。总输出电流是各电源输出电流的总和。您可分别设置各电源的输出电流。在并联时，应把其中一台电源作为主电源 (Master)，将其输出电压设置为系统要求的输出电压，用于控制整套系统的电压。而其它的电源则为从电源 (Slaver)，设置的电压要稍高于系统的输出电压。由于这些从的设置电压电源略高于主电源，它们将提供恒流输出，直到其输出电压降到等于主电源的输出电压；主电源则将保持恒压工作，并提供部分的总额定输出电流，使总电流达到负载的要求。

电源的快速编程能力

电源的快速编程能力是指电源能够快速改变输出电压的能力，它包括电源迅速提升电压的能力（也称为快速上编程）和让电压迅速下降的能力（或称之为快速下编程）。影响输出电压改变速度的最重要因素，包括了输出电容和负载电阻。

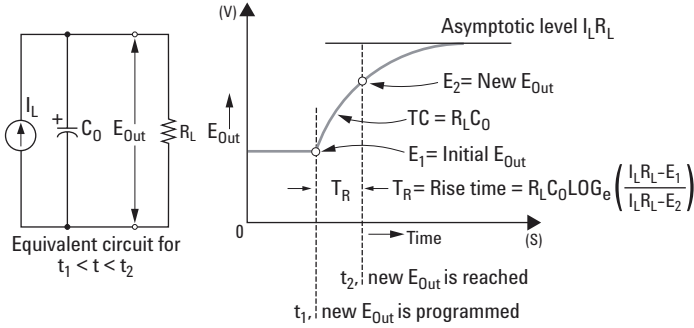


图7. 响应速度: 电源电压的快速上编程(满负载)

在图7中，您可看到电源快速上编程时的等效电路和输出电压波形特性。当要上升到一个新的设定输出电压时，电源调整电路首先检测到当前的输出低于要求值，于是开启串联调整器，使负载电流 I_L 达到最大值，即电流极限或恒流设置。

该恒定负载电流 I_L 对输出电容 C_0 和并联负载电阻 R_L 充电。输出电压从的 $R_L I_L$ 指数上升到电压 $I_L R_L$ ，这个值可能会高于新的设置输出电压。

一旦当电压指数上升达到新的设定电压值时，恒压放大器将恢复到常规的调整方式，以保持恒定输出。上升时间可使用图7中的近似公式计算得出。

如果电源输出端上未接负载电阻，那么在输出电压上升时，电压将以 C_0/I_L 的速率线性上升，所可能的最短上编程时间为 $TR = C_0 (E_2 - E_1)/I_L$ 。

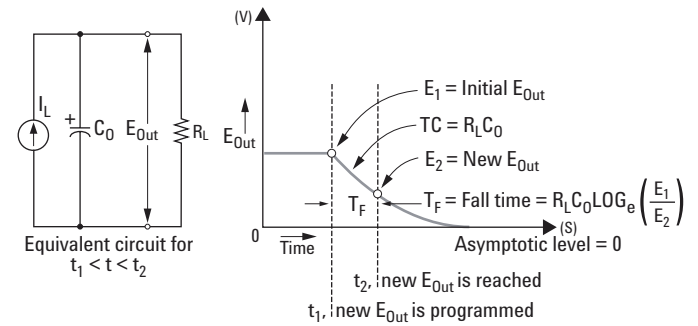


图8. 响应速度: 电源电压的快速下编程

图8显示的是示出电源输出电压下编程时的情况，调整器检测到输出电压高于要求值后，完全关断串联晶体管。由于控制电路不能让串联调整器晶体管反向导通，因此输出电容只能通过负载电阻和内部电流源 (I_S) 进行放电。

在无负载时，输出电压以 I_S/C_0 的斜率跌落，在到达新设定的输出电压时停止下跌。如果连接的是满负载，输出电压将更快地指数下降。

由于上编程速度得到串联调整器晶体管的帮助，而下编程的输出电容放电通常得不到有源器件的帮助，因此台式电源的上编程一般要比下编程快得多。

术语表

线性电源 – 在电源内部的输出调整电路，是用一个或多个大功率晶体管把输出电压降到正确值。这些功率晶体管都工作在线性区域。

理想恒流电源 – 电源在任何负载时都会输出编程设置电流，其理论输出阻抗为无穷大；

理想恒压电源 – 电源在任何负载时都输出编程设置电压，其理论输出阻抗为零；

单量程电源 – 最高输出功率等于最大电压和最大电流的乘积，并可输出该极限内的任何电压与电流的组合。

双量程电源 – 在功率的限制范围内，电源有两个输出的最大电压和最大电流的组合。双量程电源能比单量程电源覆盖更多的电压电流组合。

自动量程电源 – 通常也称为定功率电源。这种电源在允许的功率范围内，低电压的工作时，能有更大的电流输出；如果电流不高时，就能输出较高的电流。而最大电流和最大电压值的乘积则会高于最大功率值。相比于单量程或双量程电源，自动量程电源能覆盖更多的电压和电流组合。

恒流模式 – 对于可编程电源来说，是无法刻意将其设为恒流模式，一旦设置的电源输出电流低于负载拖拽的值是，电源会自动调整输出电压，以达到限制电流值。这时电源就处于恒流模式。

恒压模式 – 负载变化时电源将输出编程电压，除非输出电流上升到超过编程设置的电流值。

未调整状态 – 电源的一种特殊工种状态，此时电源既非CV，也非CC模式，而处于未调整状态。此时的输出是不可预计的。

输出电压 – 在输出端测量到的电压。在使用远端感应时，通过补偿导线上的压降，将负载端的电压稳定在编程电压上。

编程电压 – 通过前面板、PC接口或模拟编程端，对输出电压进行设置。

OVP – 过压保护，用以钳制输出电压，来保护负载的独立电路。

纹波和噪声 – 夹杂在直流电源输出上的交流成分；两者都用有效值和峰峰值表示。

共模噪声 – 系统与地构成的电流环路噪声。

差模噪声 – 电源输出端的噪声，其流动方向与电源电流的流动方向一致。

快速下编程 – 电源把输出电压下降到设置的较低值。这是电源会反向强制吸收电流。

编程响应速度 – 电源从一个电压值改变到另一个设定电压值所需的时间。

瞬态响应时间 – 由于负载的变化，会导致输出电压发生瞬态变化。瞬态响应时间是电压恢复到原值所需要的时间。

稳定时间 – 电压输出达到编程设定电压所需要的时间。

www.agilent.com



www.agilent.com/find/myagilent
个性化视图为您提供最适合自己的信息!

安捷伦渠道合作伙伴

www.agilent.com/find/channelpartners
黄金搭档: 安捷伦的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

安捷伦 优势服务



安捷伦优势服务旨在确保设备在整个生命周期内保持最佳状态,为您的成功奠定基础。我们不断投资开发新的工具和流程,努力提高校准和维修效率,降低拥有成本,以便您保持卓越的竞争力。您还可以使用 Infoline 网上服务更有效地管理设备和服务。通过共享测量与服务方面的专业经验,我们能够帮助您设计创新产品。

www.agilent.com/find/advantageservices



www.agilent.com/quality

如欲获得安捷伦科技的产品、应用和服务信息,请与安捷伦公司联系。如欲获得完整的产品列表,请访问:
www.agilent.com/find/contactus

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

安捷伦科技(中国)有限公司

地址: 北京市朝阳区望京北路3号
电话: (010) 64397888
传真: (010) 64390278
邮编: 100102

上海分公司

地址: 上海张江高科技园区
碧波路690号4号楼1-3层
电话: (021) 38507688
传真: (021) 50273000
邮编: 201203

广州分公司

地址: 广州市天河北路233号
中信广场66层07-08室
电话: (020) 38113988
传真: (020) 86695074
邮编: 510613

成都分公司

地址: 成都高新区南部园区
天府四街116号
电话: (028) 83108888
传真: (028) 85330830
邮编: 610041

深圳分公司

地址: 深圳市福田区中心区
福华一路六号免税商务大厦3楼
电话: (0755) 83079588
传真: (0755) 82763181
邮编: 518048

西安分公司

地址: 西安市碑林区南关正街88号
长安国际大厦D座5/F
电话: (029) 88867770
传真: (029) 88861330
邮编: 710068

安捷伦科技香港有限公司

地址: 香港北角电气道169号25楼
电话: (852) 31977777
传真: (852) 25069292

香港热线: 800-938-693

香港传真: (852) 25069233

E-mail: tm_asia@agilent.com

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改

©Agilent Technologies, Inc. 2013

出版号: 5989-2291CHCN

2013年1月 印于北京



Agilent Technologies