

如何选择合适的线性 DC 系统电源

通常认为，测试系统要求使用线性电源，因为线性电源具有输出噪声低、快输出响应等优势。但是，精心设计的开关电源同样会实现优异的性能，可以与优秀的线性电源相媲美。从成本、体积和供货时间等因素考虑，在更高的功率上，通称只能在不同的开关电源中进行选择。实践证明，根据对电源性能、空间和成本要求来选择电源，而不是根据电源的工作类型来选择，将是最明智的方法。

线性 DC 电源结构

如图 1 所示，线性 DC 电源的概念和基本实现方式相对来说都非常简单：

1. 变压器把 AC 电压转换成与要求的最大 DC 输出电压相一致的值。
2. AC 电压被整流为 DC 电压。
3. 大功率电解电容器滤波掉叠加在未稳压的 DC 电压上的大部分 AC 纹波电压。
4. 串联的功率晶体管控制着未稳压的 DC 电压和稳压的 DC 输出电压之差。为正确稳压，在串联的晶体管中必需保持一些电压。
5. 误差信号放大器比较输出电压与参考电压，在期望的设置上稳定输出。
6. 最后，输出滤波电容器进一步降低 AC 输出噪声和纹波，降低输出阻抗，实现更加理想的纯电压源特点。

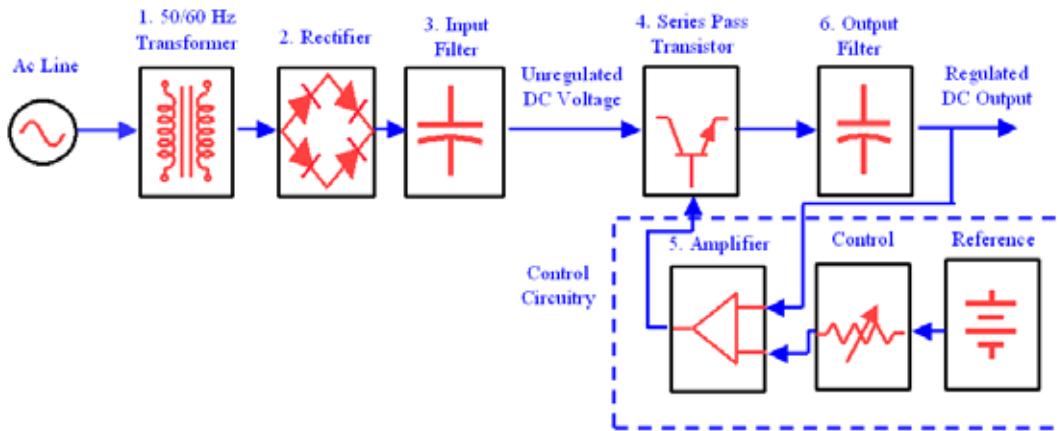


图 1: 基本线性 DC 电源结构

线性 DC 电源设计已经非常成熟，现在主要是逐渐增加效率和改善热量管理。在正确实现时，其简明配置具有某些固有的优点：

- 对 AC 源和负载的变化具有快速的输出瞬态响应
- 低输出噪声和纹波
- 低电流共模噪声
- 在较低输出功率上非常经济 (在大约 500 瓦以下)

它还有一些固有的缺点：

- 功率效率差，在全部输出电压时一般不到 60%，在更低的输出电压设置上，效率会进一步下降
- 物理尺寸大，重量高
- 在较高的功率上成本高 (在大约 500 瓦以上)

传统的开关 DC 电源结构

图 2 所示的基本开关电源要复杂得多：

1. 首先对 AC 输入进行整流和滤波，提供未稳压的高压 DC，为下一步 DC 到 DC 转换电路供电。
2. 功率晶体管开关将直流转换为 20 kHz - 50 kHz 高压高频 AC 脉冲。
3. 根据输出电压的要求选择适当线匝比率的 AC 脉冲电压变压器
4. 这个变压器将 AC 脉冲电压整流成脉冲 DC 电压。
5. LC (电感器-电容器)输出滤波器把脉冲 DC 电压平均成电源输出上的连续 DC 电压。
6. 与线性电源一样，误差信号放大器比较 DC 输出电压与参考电压，在期望的设置上稳定输出。
7. 调制器电路把误差信号放大器信号转换成高频脉宽调制的波形，驱动开关电源晶体管。

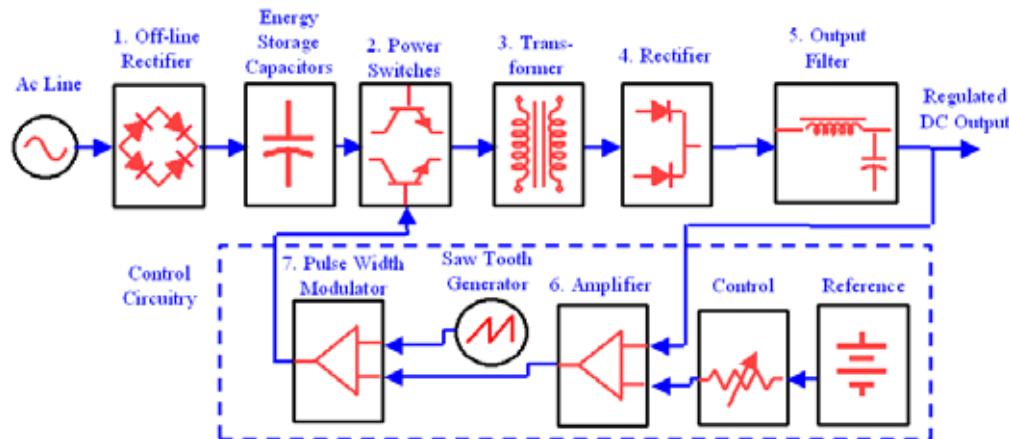


图 2: 基本开关 DC 电源电路

传统开关 DC 电源具有某些固有的优点：

- 功率转换效率高，一般达到 80%
- 对于较高功率可以做得体积小，重量轻
- 成本比较低，特别是在较高功率时

传统开关 DC 电源还有某些典型的缺点：

- 高输出噪声和纹波
- 高共模电流噪声
- 对 AC 源和 DC 输出负载变化响应慢

传统开关 DC 电源性能在很大程度上是针对成本、效率和体积优化的结果，而这几个方面正是线性 DC 电源所缺乏的。在正确优化时，开关 DC 电源可以与线性 DC 电源有效地展开竞争。

电子行业需要更多的功率和电流

新一代通信和数字信息系统所需的 DC 功率和电流一直在呈指数级提高。与此相适应，分布式功率结构(DPAs)也在不断发展，如图 3 所示。这推动着开关电源设计的性能和效率不断提高，而且要求更高的功率，从而给测试设备市场带来了技术的改进，以便为这些市场上的供电设备和测试设备提供支持。

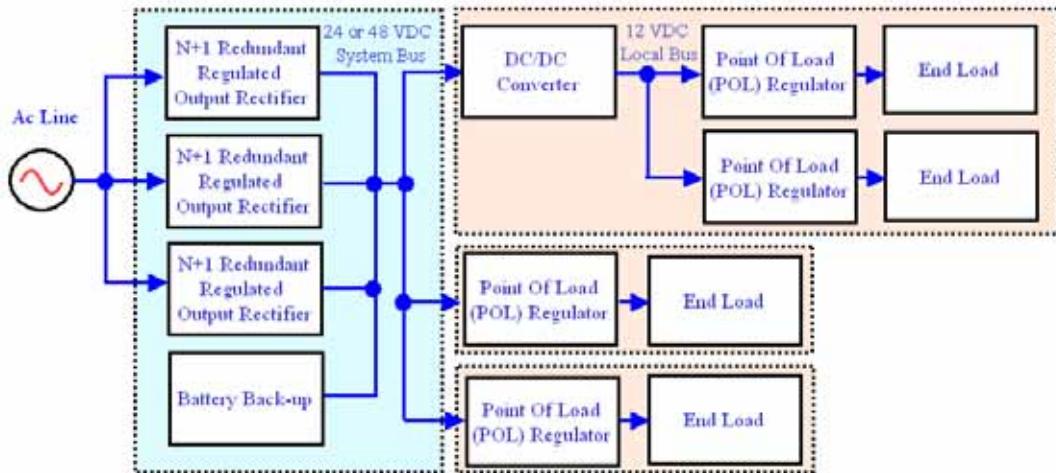


图 3: 分布式电源结构实例

这些系统中的许多元器件和组件都要求高达几千瓦的 DC 功率，如基站 RF 功放和海量数据存储设备。许多设备从 24V 或 48V DPA 总线供电。它们可能采用 DC/DC 转换器，创建较低的本地总线电压。负荷点(POL)稳压器为最终负荷提供最终电压电平，而不管其是微处理器、数字电路、模拟电路还是其它器件。POL 稳压器可以量身定制，提供特定负荷所需的性能。

为适应这些市场趋势，测试设备供应商现在针对这些市场为测试设备提供了功率更高、密度更高的系统 DC 电源。其中一个实例是 Agilent N5700 DC 电源家族，如图 4 所示。这些电源在真正的 1U 高的全机架宽度封装中，提供了 750 瓦或 1,500 瓦的输出功率及 6 V - 600 V 输出。多台设备可以连接起来，实现更高的功率。这些功能使其特别适合高功率测试应用，包括测试基站功放和数据存储系统，同时最大限度地降低测试机架空间要求。



图 4: Agilent N5700 系列 DC 电源家族

高性能不再是线性电源领域所独有的优势

通过采用 POL 稳压器，DPA 还在需要的地方提供了更高的性能，如为灵敏的模拟和混合信号组件供电。测试设备供应商再次作出反应。更高的开关频率、基于交替开关的结构、完善的滤波技术及精心设计，创造出能够达到线性电源性能的新一代程控测试用系统 DC 电源。其中一个实例是 Agilent N6700 模块化电源系统，如图 5 所示。其密度约比同类的线性电源高出三倍，拥有最高 4 个输出，在 1U 高的封装中提供总计高达 400 瓦的输出功率。同时，其输出噪声和瞬态响应与线性电源相当，如表 1 所示。它特别适合许多低噪声测试应用，如模拟 PCB 测试，而过去只有线性程控 DC 电源才被视为可以接受的电源。



图 5: Agilent N6700 模块化电源系统

参数	传统 线性电源	Agilent N6762A	传统开关电源
对 0.15% 电压的终值的瞬变 响应速度	50-100 us	<100 us	1-2 ms
纹波和噪声源(20 Hz- 20MHz)	0.3-1 mV _{rms} / 3-15 mV _{pp}	1 mV _{rms} / 6 mV _{pp}	10-20 mV _{rms} / 75-100 mV _{pp}

1. 基于 50V 输出电压

表 1: 传统 DC 电源和新一代 DC 电源性能比较

共模噪声电流考虑因素¹

在共模噪声电流性能上，线性 DC 电源一般要优于开关 DC 电源。这在某些对噪声敏感的应用中可能会成为问题。如图 6 所示，共模噪声电流是从输出端与地之间的电流噪声信号。相对较高的相关阻抗，共模噪声本身就是电流信号。

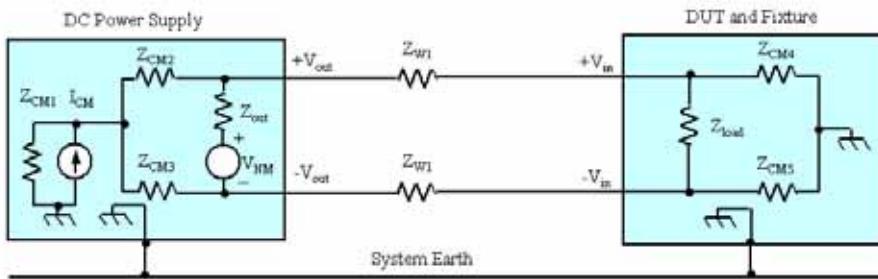


图 6: 共模噪声电流和通路

在传统开关 DC 电源中，共模噪声电流通常要高得多。开关晶体管的高压转换(dV/dt)在电容上耦合到输出，生成高达几百毫安的峰值高频电流。相比之下，正确设计的线性 DC 电源通常只会生成几微安的峰值共模噪声电流。值得一提的是，如果设计不慎，即使线性 DC 电源仍能够生成几毫安的峰值共模噪声电流。

高频峰值电压叠加在 DC 输出电压上时，共模噪声电流可能会成为问题。这取决于 DUT 通路中的电流幅度和阻抗不平衡。如果足够大，这要比常模(差模)噪声电压更加麻烦。一般来说，微安级的线性 DC 电源可以忽略不计，而传统开关 DC 电源几百毫安的电流则可能会引起关注。由于共模噪声电流经常被错误理解或忽略，人们可能会留下错误的印象，即开关 DC 电源有高共模噪声电流，从而认为所有开关 DC 电源都不适合进行测试。

但事实证明，共模噪声电流通常对大多数应用并不是问题，大多数应用对噪声相对并不敏感。例如，这里讨论的通信和数字信息系统使用的器件在实际使用时就通过开关 DC 电源供电。同样，数字电路在电路板上生成相当大的噪声，本身就有明显的噪声余量。

在共模噪声电流是问题的情况下，例如，与某些灵敏的模拟电路一样(如雷达中)，增加滤波技术是一个选择。然后，测试工程师会利用开关 DC 电源提供的优势。优秀的开关 DC 电源可以在测试夹具上采用相应的低通滤波技术，能够衰减共模噪声电流中存在的高频谐波。这些滤波技术还可以有效用于其它高频噪声上，包括 AC 源 EMI 和接地环路拾取噪声。不管采用哪种电源结构，都可能会存在这些其它噪声。

表 2 汇总了各种 DC 电源典型的共模噪声电流性能。通过认真设计电源，可以最大限度地降低共模噪声电流，使系统开关 DC 电源适合低噪声测试的应用。例如，Agilent N6762A DC 电源模块就是专门设计的开关 DC 电源，其峰值共模噪声电流不到 2 毫安。由于其更接近于线性电源的性能，而不是传统开关电源的性能，因此不管用于什么应用，其都不可能成为问题。

参数	传统 线性电源	Agilent N6762A	传统开关电源
共模噪声电流, 20Hz–20MHz	最高几十 μ A _{pp}	< 2 mA _{pp}	最高几百mA _{pp}

表 2: 共模噪声电流特点

摘要

电子产品的竞争格局正在不断变化，特别是通信和信息系统，这需要更高的 DC 功率和电流为其组件和器件供电。在选择系统 DC 电源时，更高的功率要求给测试带来了新的挑战。对更高功率的应用，由于体积、供货时间和成本，开关系统 DC 电源通常是首选。新一代开关系统 DC 电源可以达到线性电源的性能，同时提供更高的功率密度。在许多情况下，这可能是更好的整体选择，它可以节约机架空间，降低成本，同时满足性能需求。因此，根据要求、而不是根据电源的工作类型来选择电源，是最明智的方法。

参考资料：

1. 揭开开关电源噪声的神秘面纱：理解没有指定的噪声电流来源及怎样测量这些噪声电流，让您头脑更清楚 Craig Maier, 惠普公司。© 1991 Penton 出版公司。

作者：Ed Brorein, 安捷伦科技公司