

为你的 DC-DC 转换器 选择最合适的电感

Leonard Crane
Coilcraft



了解数据表

概述

要选择合适的电感就需要充分了解电感性能以及想要达到的内部电路性能与供应商数据表中的信息有何关联。此文为经验丰富的功率转换专家和非专业人员讲解电感目录和重要规格。

介绍

DC-DC 转换器的使用越来越普遍了。由于电子系统越来越小型化、移动化、复杂化和受欢迎，功率要求也就变得多样化了。可用的电池电压、要求的工作电压、尺寸和形状要求不断地在改变，这就使设备设计人员需要不停地寻找新的功率转换解决办法。产品要求通常会促使性能改进和尺寸减缩，因此最优化是极其重要的。对于功率转换，“一体适用”并不适合所有应用。例如，图 1 所示的薄型元件需求量大。

不但转换器的市场购买增长，而且许多电路设计人员现在都会设计他们自己的 DC-DC 转换电路，而不用依靠电源专业公司。这就使选用元件的电路设计人员增加。基础的 DC-DC 转换电路是非常成熟的技术并且发展相当缓慢。正因为如此，作者制订的设计辅助手册是相当实用和有用的，

借助于它，设备设计人员就能够进行他们自己的转换器设计。推动这些设计的软件也很容易获取¹。

在确定电路拓扑后，设计的关键任务之一是选择元件。很多电路设计程序会列出所要求的元件参数值。设计人员的任务就是从明确要取得的电感值到选取一个可用的元件以开展工作。能够用于 DC-DC 转换器的电感形状和尺寸繁多。图 2 和 3 显示了可能使用的两种电感形状。为了对比类型和选择最理想的应用元件，设计人员必须正确地理解所公布的规格。



图 1. 薄形电感用于扁薄转换器设计

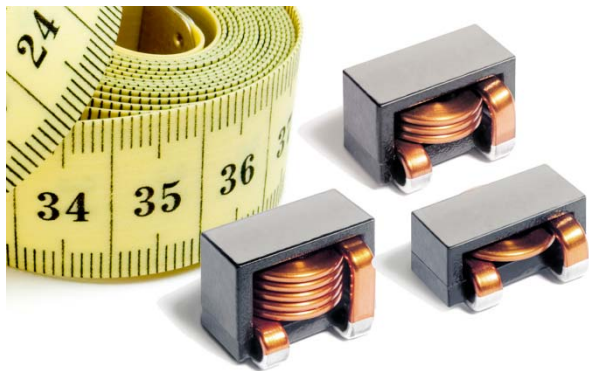


图 2. 用扁平线绕制的 E 形铁芯电感



图 3. 结构坚固磁屏蔽型模压电感用于高密度电路

DC-DC 转换器要求

简单地说，DC-DC 转换器的功能就是在给定的输入电压下提供稳定的直流输出电压。在给定的负载电流范围和/或输入电压范围下，转换器通常需要调节直流输出电压。最理想的是，直流输出是“纯净的”，即纹波电流或电压低于规定的水平。此外，负载功率要来自于规定效率的电源。要实现这些目标，功率电感的选择是一个重要的步骤。

功率电感参数

电感性能可以用一些数字来说明。表 1 显示的是用于 DC-DC 转换器中的一个表贴功率电感的典型数据表摘录。

表 1. 典型电感目录摘录²

Part number	L ±20% ^a (µH)	DCR max (mOhms)	SRF typ (MHz)	Isat ^b (A)	Irms ^c (A)
XAL4020-102	1.0	14.6	79	8.7	9.6

- a. 在 1 MHz, 0.1 Vrms 下测试的电感值
- b. 电感值下降 30% (typ) 的 Isat
- c. 引起 40° C 温升(typ)的 Irms
- d. 在 25° C 下测试的所有参数

要正确地使用额定值就必须理解它们是如何得来的。由于数据表不可能显示所有工作条件下的性能，这就有必要了解额定值在不同的工作条件下是如何变化的。

电感值 (L)

电感值是实现所需电路功能的主要参数，也是大多数设计程序中第一个要计算的参数。计算的电感值要能够提供最小的能量储存（或伏特-微秒容量）以及减少输出电流纹波。使用小一点的电感值会增加直流输出的交流纹波。使用太大或太小的电感值可能会使转换器在连续与非连续运行模式之间变化。

公差

大多数 DC-DC 转换器的应用对电感公差没有特别严格的要求。对于大多数元件来说，选择标准公差产品合乎成本效益，并且能够满足绝大多数转换器的要求。表 1 的电感公差是±20%，适用于大多数转换器。

定义

L – 电感值 电感的主要功能参数。它是用转换器设计公式计算的数值，用以确定电感处理输出功率和控制纹波电流的能力。

DCR – 直流电阻 元件的电阻，取决于所使用的绕线铜线的长度和直径。

SRF – 自谐频率 电感线圈的电感值与其分布电容产生共振的频率点。

Isat – 饱和电流 通过电感时导致铁芯饱和，致使电感值下降的电流。

Irms – 均方根电流 连续地通过电感，引起允许最大温升的电流。

测试条件

- 电压。额定电感值应说明应用的频率和测试电压。大多数目录额定电感值是基于“小”正弦电压。对于电感供应商来说，这是最容易且重复性最高的方法，并且给出了适于大多数应用的电感值。
- 波形。正弦电压是标准的仪表测试条件，通常它能很好地确保取得设计公式计算出的电感值。
- 测试频率。大多数功率电感在 20 kHz ~ 500 kHz 的范围内不会变化很大，因此经常会使用一个基于 100 kHz 的额定值，而且也比较合适。必须记住的是，随着频率增加，电感值最终会减小。这可能是由于所使用的铁芯材料的频率响应特性或线圈电感值与其分布电容共振。由于大多数转换器在 50 kHz ~ 500 kHz 的范围内工作，因此 100 kHz 是合适的标准测试频率。随着开关频率增加到 500 kHz、1 MHz 及以上，考虑使用基于实际应用频率的额定值就更为重要了。

电阻

直流电阻 (DCR)

DCR 只是电感所使用的铜线的一个量度。它严格基于铜线直径和长度。在目录中通常规定为“最大值”，但也可以规定为带公差的标准值。第二种方法通过给出标准值或预期电阻可能更具指导性，但同时也会不必要地收紧规格，因为产品的电阻太小总不会有坏处。

跟通常为铜材的线圈材料的电阻率一样，DCR 随温度的变化而变化。DCR 额定应考虑环境测试温度，这是很重要的。铜电阻温度系数约为每摄氏度 +0.4%³。因此，所示的最大额定值为 0.009 Ohms 的产品在 85°C 下相应的最大额定值为 0.011 Ohms，只差 2 毫欧，但总变化约为 25%。预期直流电阻与温度关系如图 4 所示。

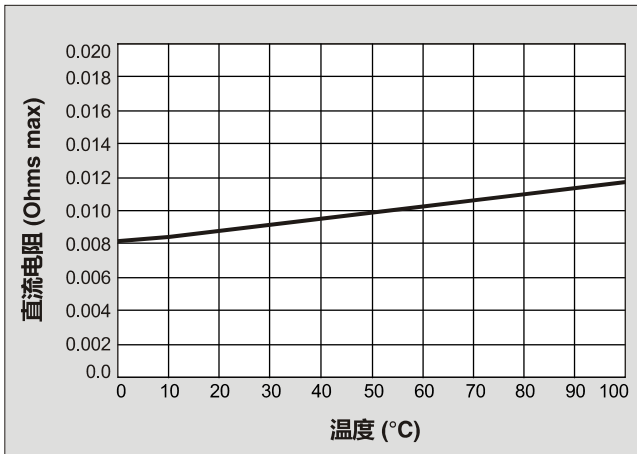


图 4. 基于 25°C, 0.009Ω Max 的预期直流电阻

交流电阻

此参数一般不会在电感数据表中显示，它通常不是一个问题，除非工作频率或电流的交流成分比直流成分大。

由于集肤效应，大多数电感线圈的电阻随工作频率的增大而增大。如果交流或纹波电流相对于平均或直流电流要小，那么 DCR 是一个很好的电阻损耗度量标准。集肤效应随铜线直径和频率的变化而变化³，因此，要包含此数据就需要目录所列的每一电感的完整频率曲线。

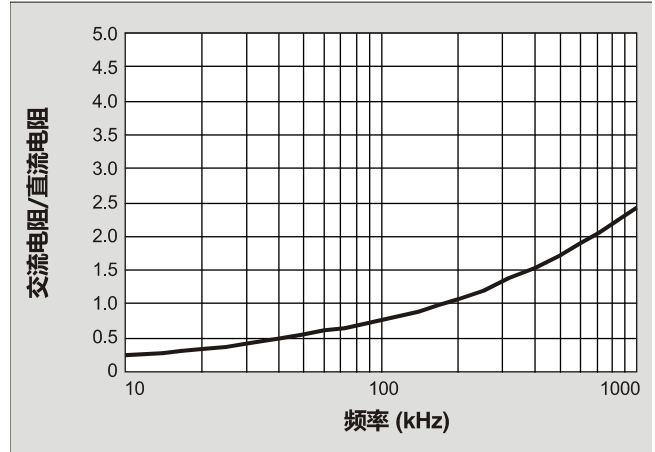


图 5. 美规线#22 号圆铜线的交流电阻/直流电阻

这对低于 500 kHz 的大多数应用来说都是不必要的。从图 5 可以看出，在低于约 200 kHz 的频率下，交流电阻不能与直流电阻相比。即使高于这个频率，如果交流电流不比直流成分大的话，交流电阻也不是一个问题。然而，对高于 200-300 kHz 的频率，建议向供应商索取损耗与频率的信息，作为对所公布的信息的补充。

如果元件的尺寸要最小化，设计人员应选择有尽可能大电阻的元件。通常情况下，减小 DCR 意味着必须使用较大的铜线，总体尺寸就可能比较大。因此，优化 DCR 选择即是功率效率、元件允许的压降和元件尺寸之间的权衡。

自谐频率 (SRF)

每个电感线圈都有一些联带的分布电容，与电感值一起形成一个有自谐频率的并联谐振回路。对于大多数转换器来说，电感最好是在远低于 SRF 的频率下工作。这个通常在电感数据中显示为“典型”值。

电流额定值

在确定一个功率电感时，电流额定值或许是最难确定的额定值。在整个开关循环过程中，通过 DC-DC 转换器电感的电流总是在变化，并且可能是循环到循环的变化，这取决于转换器的运作，包括由于突加负载或线路变化而产生的瞬变电流或尖峰电流。这就产生一个不断变化的电流值，有时具有非常高的峰均比。正是峰均比使规格的确定变得困难。

如果用最大瞬时峰值电流作为“电流额定值”来选择电感是不必要的；但如果用平均电流作为电流额定值来选择电感，当通过峰值电流时，电感可能不能很好地工作。解决此问题的方法是寻找有两种电流额定值的电感，一个用来应付因峰值电流导致的铁芯饱和，一个是解决平均电流的发热问题。

饱和电流

电流通过电感的一个影响是铁芯饱和。DC-DC 转换器的电流波形一般都有一个直流成分。此直流电流通过电感时偏置铁芯从而导致其磁通量饱和。设计人员需要知道，当发生饱和时，电感值下降，元件功能也不再表现为电感。图 6 是一个带气隙的铁氧体磁芯的电感值与电流的曲线图。可以看到，当电感进入饱和区域时，这条曲线有一个“拐点”。因此，对饱和电流的定义就显得有些随意，但必须对其进行定义。在表 1 的例子中，饱和电流被定义为电感值下降 10%时的电流。在 10-20%的范围内进行定义是很普遍的，但应注意的是，有些电感目录可能会定义为电感值下降 50%时的电流。这会增大电流额定值，但就电流的可用范围而言，这可能会引起误导。

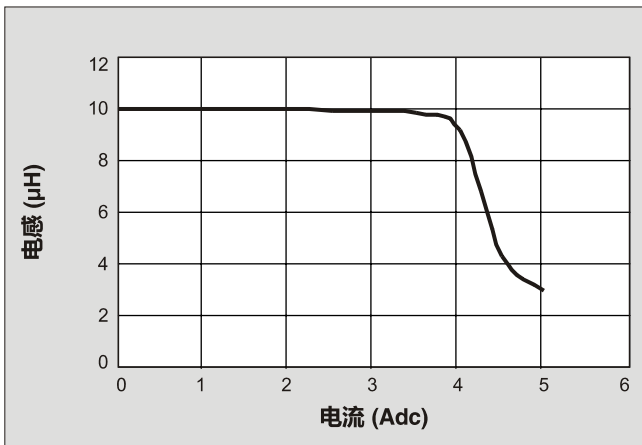


图 6. 线芯 DO3316P-103 的电感 vs 直流偏流

通常能够直接从转换器电流波形中看出电感铁芯饱和， di/dt 与电感值是成反比的。当电感值因铁芯饱和而下降时，电流斜率迅速增大。这就会产生噪声并损坏其他元件。

如果电感在仅仅比饱和电流额定值稍大一些的电流下工作，问题可能不是很大。在很多情况下，

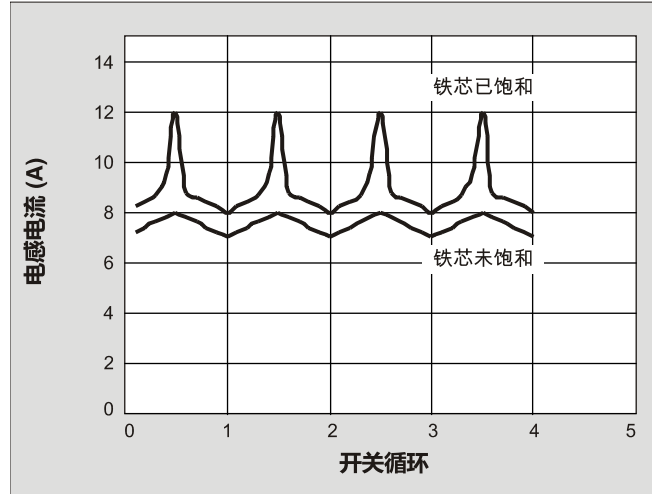


图 7. 铁芯饱和及不饱和时的电感电流波形

电流波形斜率些微增大是可以接受的。在接近饱和额定值的峰值电流下工作是比较可取的，因为这样就能够选用最小的电感。增大饱和电流额定值通常意味着使用一个较大的元件或选择一个相同尺寸但电感值较小的元件。

均方根电流

电流的另外一个重要影响是元件自身发热。均方根电流用于测量多大的平均电流能够连续地通过电感同时产生的温升小于规定值。数据表提供的总是直流或低频交流应用的额定值，这并不包括之前提到的因集肤效应引起的发热或其它高频效应。如示例，电流额定值可针对单一的温升点，或者有些供应商提供温升与电流关系的图表或能够用于计算任何电流的温升的因素。

Irms 额定值应包括测量的环境温度。电感规格一般包括一个工作温度范围。电感预计在此环境温度范围内使用。因自身发热产生的温升可能会导致电感温度高于额定范围。倘若没有超过绝缘额定值，这通常是可以接受的。目前大多数电感使用至少 130°C 或 150°C 的绝缘材。

对于其他参数来说，了解电感的温升是很重要的，在设计选择时，就可以将它与其他参数进行比较评估。如果想要较低的温升，就很可能需要选择较大的元件。

结语

DC-DC 转换器的电感可以用少数几个参数来说明。然而，基于一组工作条件，每个参数可以视为一个“快照”，需要对其进行放大以说明应用条件下的预期性能。表 2 概括了应该出现在功率电感数据表上的参数。

参考

1. *Switchers Made Simple, an Expert System for the Automated Design of DC to DC Converters using Simple Switcher Power Converters Version 4.1*, National Semiconductor.
2. *Magnetics for RF, power, filter and data applications*, p32, Coilcraft Inc, Cary, IL, USA, June 2013.
3. *Reference Data for Radio Engineers 6th Edition*, Howard W. Sams & Co., Inc, Indianapolis, Indiana, USA, 1975.
4. McLyman, Colonel William T., *Designing Magnetic Components for High Frequency dc-dc Converters*, Kg Magnetics, Inc. San Marino, CA, USA, 1993.

表2. 重要电感参数概括

参数	额定值应包括
电感值	<ul style="list-style-type: none">• 标称值• 公差• 测试频率• 测试电压• 环境测试温度
DCR: 铜线电阻。	<ul style="list-style-type: none">• 有公差的标称值或最大值• 环境测试温度
SRF: 线圈电容与电感值产生共振的频率点。	<ul style="list-style-type: none">• 典型值或标称值
Isat: 因铁芯饱和致使电感值下降的电流。	<ul style="list-style-type: none">• 最小值或典型值• 饱和电流的定义
Irms: 引起规定温升的电流。	<ul style="list-style-type: none">• 最小值• 环境测试温度