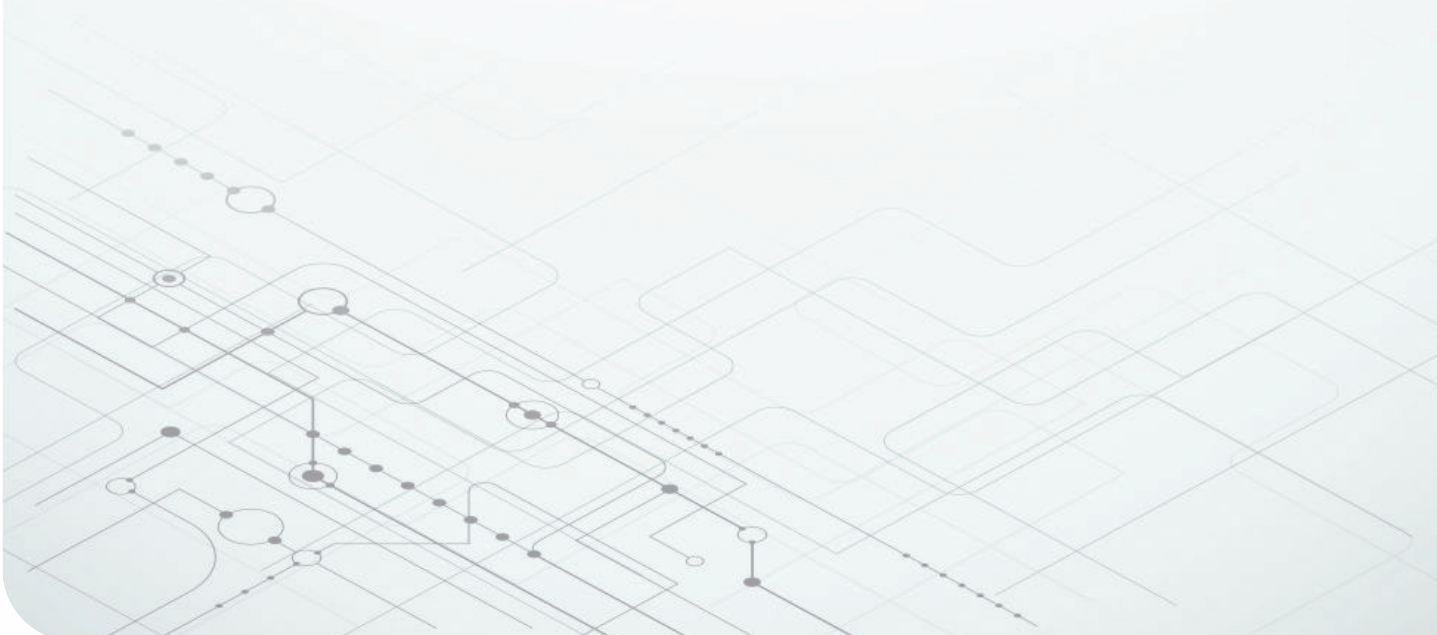


揭秘直流/直流稳压器中的输入电源 电流：从关断到满载



Frank De Stasi
Applications Engineer
Texas Instruments



静态电流可能是直流/直流转换器相当令人困惑的规格之一，倘若您不熟悉开关稳压器的具体工作原理，会更加困惑。因为制造商使用的术语和定义不同，所以您经常会看到“静态电流”、“IQ”或“输入电源电流”互换使用。

在本文中，我将重点讨论输入电源所需的流入降压稳压器的电流，尝试消除一些困惑。阅读数据表时，最好关注获取输入电流时存在的条件，而不是被困在术语中。让我们看看典型用户感兴趣的一些最重要的电源电流。请参阅图 1。

关断电流

关断电流通常是指稳压器关闭时测得的电源电流。在这些条件下，稳压器的输出为零，存在标称输入电压，向使能（或关断）输入施加“关闭”逻辑电平。稳压器关闭时需要一些电流似乎很奇怪。事实上，许多转换器在关闭时仅消耗很小的漏电流，通常在纳安范围内。数据表应在整个温度范围内指定该电流，因为漏电流随着温度的升高而迅速增大。然而，一些稳压器即使在关断模式下也需要保持运行某些辅助控制功能。这些功能需要有限的偏置电流来为内部电路供电，可能在微安范围内。对于具有内部功率金属氧化物半导体场效应晶体管的稳压器，会有一些从输入端流入开关引脚的漏电流。该电流将流经电感器并流向负载。在某些情况下，这对于应用而言可能是个问题。同样，数据表应指定开关泄漏参数。当通过电池为稳压器供电（例如在汽车或便携式应用中）时，所有这些电流的总和非常重要，因为它从输入电源汲取的最小电流。

EN 输入电流

一些电流可能会流入使能（或关断）控制引脚。虽然在大多数情况下使能引脚是一个简单的互补金属氧化物半导体逻辑输入，仅消耗纳安级电流，但事实并非总是如此。市场上的一些稳压器可能会使用该输入为某些内部电路提供电流；请检查数据表进行确认。如果在 EN 输入端使用分压器，则必须考虑该电流。

非开关电流

一个更令人困惑的术语是非开关电流，它是指稳压器启用但不产生输出电压时的输入电源电流。该电流通常在开环条件下进行测量，反馈引脚上的电压高到足以阻止稳压器开关，从而不产生输出电压。当稳压器开启但没有产生有用的输出时，为什么要关心消耗的电流呢？简单的答案是您可能不关心，因为这些不是稳压器应用中使用的条件。但是至少有两个很好的理由可以说明为何该规格出现在数据表中。首先，对于处于已知状态的稳压器，该电流可以很好地衡量内部电路运行状况，并且可以在集成电路制造期间在生产环境中轻松测量。然后，更重要的是，该电流是稳压器在无负载运行时使用的总电源电流的一部分。

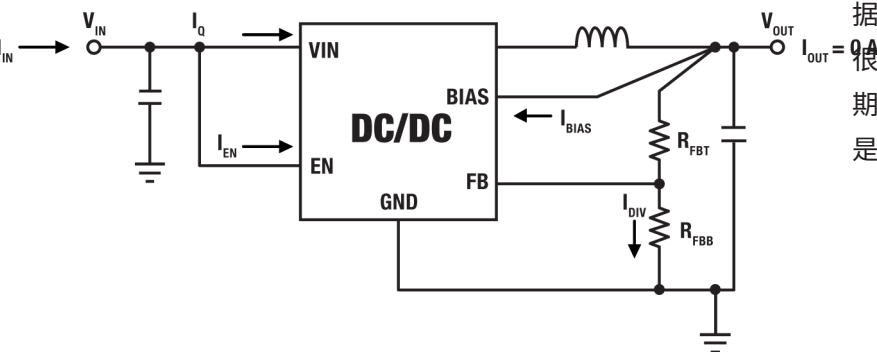


图 1. 典型的直流/直流降压转换器。

空载输入电流

更有用的电源电流规格是空载时所需的工作电流。在这种情况下，转换器会调节输出电压，但负载电流为零。该模式通常称为睡眠模式或待机模式。大多数稳压器会降低开关频率和/或跳过开关周期，以便在输出上无负载（或负载非常轻）时将输入电流降至最低。许多转换器会根据负载电流自动切换到睡眠模式，但有些转换器需要系统控制器

来指示稳压器更改模式。当系统也处于待机模式时，稳压器上的负载将非常轻，因此用户需要知道输入电源需要多大的电流。

您通常可以在数据表中找到当前的规格；但请仔细检查条件，确保列出的电流实际上是空载工作电流。例如，请参阅图 2 中 LM63625-Q1 数据表的这一部分。

System characteristics						
The following specifications apply only to the typical applications circuit component values. Specifications in the typical (TYP) column apply to $T_J = 25^\circ\text{C}$ only. Specifications in the minimum (MIN) and maximum (MAX) columns apply to the case of typical components over the temperature range of $T_J = -40^\circ\text{C}$ to 150°C . These specifications are not ensured by production testing.						
PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
SUPPLY VOLTAGE (VIN PIN)						
I_{SUPPLY}	Input supply current when in regulation	$V_{\text{IN}} = 12\text{ V}, V_{\text{OUT}} = 3.3\text{ V}, I_{\text{OUT}} = 0\text{ A}, R_{\text{FBT}} = 1\text{ M}\Omega$		23		μA

图 2. 输入电源电流规格示例。

参数 I_{SUPPLY} 是在空载情况下调节至指定输入和输出电压所需的总输入电流。该器件将在轻负载时自动进入睡眠模式。

有时您可能在数据表中找不到该输入，或者未在您需要的条件下指定该输入。在此类情况下，可以通过公式 1 来估算降压稳压器的空载输入电流：

$$I_{\text{IN}} = I_{\text{Q}} + I_{\text{EN}} + \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} \times (I_{\text{BIAS}} + I_{\text{DIV}}) \quad (1)$$

让我们来看看该公式。第一项标记为 I_{Q} ，是前面讨论的非开关静态电流。下一项 I_{EN} 是流入稳压器 EN 引脚的电流。

I_{BIAS} 项需要进一步说明。许多直流/直流转换器都有一个内部低压降稳压器 (LDO)，用于为转换器的内部电路供电。在现代稳压器中，LDO 的输入通常作为转换器的外部引脚

提供。该引脚通常称为偏置引脚；请查看数据表，确保您拥有正确的引脚。通过将该输入连接到稳压器的输出，偏置电流充当转换器输出上的额外负载。就像任何其他负载一样，该负载按照输入电压与输出电压的比率进行下变频。最好采用该连接，由于它减小了在输入端看到的电流，因而提高了效率。

I_{DIV} 项是反馈分压器使用的电流，可以使用公式 2 进行计算：

$$I_{\text{DIV}} = \frac{V_{\text{OUT}}}{R_{\text{FBB}} + R_{\text{FBT}}} \quad (2)$$

公式 1 给出了最佳情况估算，因为它没有考虑转换器中的损耗。我们以 LM61460-Q1 为例。图 3 所示的数据表另一段摘录列出了 I_{Q} 、 I_{BIAS} 和 I_{EN} 的典型值。

Electrical characteristics						
The following specifications apply only to the typical applications circuit component values. Specifications in the typical (TYP) column apply to $T_J = 25^\circ\text{C}$ only. Specifications in the minimum (MIN) and maximum (MAX) columns apply to the case of typical components over the temperature range of $T_J = -40^\circ\text{C}$ to 150°C . These specifications are not ensured by production testing.						
PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
SUPPLY VOLTAGE AND CURRENT						
$V_{IN_OPERATE}$	Input operating voltage ⁽¹⁾	Needed to start up	3.95		V	
		Once operating	3.0			
$V_{IN_OPERATE_H}$	Hysteresis ⁽¹⁾		1		V	
I_Q	Operating quiescent current (not switching); measured at VIN pin ⁽²⁾	$V_{FB} = +5\%, V_{BIAS} = 5\text{ V}$	0.6	6	μA	
I_{BIAS}	Current into BIAS pin (not switching, maximum at $T_J = 125^\circ\text{C}$) ⁽²⁾	$V_{FB} = +5\%, V_{BIAS} = 5\text{ V}$, Auto Mode	24	31.2	μA	
I_{SD}	Shutdown quiescent current; measured at VIN pin	$EN = 0\text{ V}, T_J = 25^\circ\text{C}$	0.6	6	μA	
ENABLE						
V_{EN}	Enable input threshold voltage - rising		1.263		V	
V_{EN_ACC}	Enable input threshold voltage - rising deviation from typical		-8.1	8.1	%	
V_{EN_HYST}	Enable threshold hysteresis as percentage of V_{EN} (TYP)		24	28	32	%
V_{EN_WAKE}	Enable wake-up threshold		0.4		V	
I_{EN}	Enable pin input current	$V_{IN} = EN = 13.5\text{ V}$	2.3		nA	

图3. LM61460-Q1 电气特性。

如果您要将 12V 输入转换为 5V 输出，且总反馈分压器电阻为 1M Ω ，则公式 3 可提供该空载输入电流值：

$$I_{IN} = 0.6 \mu\text{A} + 2.3 \mu\text{A} + \frac{5}{12} \times (24 \mu\text{A} + 4 \mu\text{A}) = 14 \mu\text{A} \quad (3)$$

请注意，对于该器件，数据表还指定了一种典型条件下的空载输入电源电流，如图 4 所示。

I_{Q_VIN}	Operating quiescent current ⁽¹⁾	$V_{OUT} = 3.3\text{V}, I_{OUT} = 0\text{ A}$, Auto mode, $R_{FBT} = 1\text{ M}\Omega$	7	μA
		$V_{OUT} = 5\text{V}, I_{OUT} = 0\text{ A}$, Auto mode, $R_{FBT} = 1\text{ M}\Omega$	10	

图4. LM61460-Q1 输入电流规格。

公式 3 中的计算值有些不同，但对于粗略估算来说已足够接近。

这些公式旨在显示空载输入电流如何取决于输入电压、输出电压和其他因素。您可以看到，对于较大的输出电压和较小的输入电压，输入电流会增加。因此，最好的办法是

使用这些公式来估算空载输入电源电流，然后在实际应用条件下测量实际值。

输入电源电流

还可以使用效率曲线来计算直流/直流转换器的输入电流，但不能在空载时计算。根据定义，空载时效率为零，因此您必须使用本文前面概述的方法来估算空载电源电流。

在任何其他负载下，可以使用数据表中的效率曲线以及公式 4：

$$I_{IN} = \frac{V_{OUT}}{\eta \times V_{IN}} \times I_{OUT} \quad (4)$$

其中 η 是相关条件下的效率。

仍然使用 LM63625-Q1 数据表中的示例，对于 13.5V 输入电压、5V 输出电压、1mA 负载和脉宽调制 (PWM) 频率设置为 400kHz 的器件，效率约为 80%；请参阅图 5。

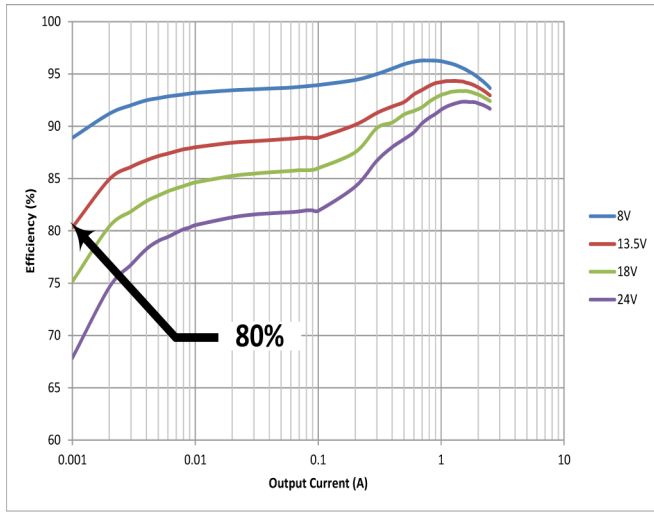


图5. LM63625-Q1 的效率示例。

通过公式 5 可以计算出输入电流约为 500μA:

$$I_{IN} = \frac{5 \times 0.001}{0.8 \times 13.5} \cong 500 \mu A \quad (5)$$

请注意，我在上面的示例中提到了开关频率。LM63625-Q1 在轻负载（例如 1mA）下进入睡眠模式以提高效率。在这些轻负载下，效率在某种程度上取决于功率电感值，该值是根据 PWM 频率选择的。在查找数据表曲线以用作效率或 I_{IN} 估算的基础时，请记住这一点。

您可以在任何一组条件下使用公式 4，而不仅仅是针对非常轻的负载。您还可以使用数据表中的效率曲线来估算数据表中未提供的条件下的效率。首先，找到一条接近您的输入电压、输出电压、负载和开关频率的曲线。然后使用表 1 中的规则来大致调整效率。

参数	对效率的影响
输入电压	随电压升高而降低
输出电压	随电压升高而提高
开关频率	随频率升高而降低

表 1. 效率随系统参数的变化。

结论

使用数据表中的各种参数来估计输入电源电流并不困难，只要确保所查看的值适用（或接近）于您的特定应用条件

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

即可。本文已尽可能阐明了一些参数的含义以及如何正确使用它们。通过关注电流流向何处以及如何使用数据表中给出的值（而不是仅了解定义），您可以对输入电源电流做出合理的估算。

参考文献

- Glaser, Chris。 “精确测量超低 I_Q 器件的效率”，德州仪器 (TI) 模拟设计期刊 SLYT558，2014 年第 1 季度。
- Glaser, Chris。 “ I_Q : 定义、常见误解及其使用方式”，德州仪器 (TI) 模拟设计期刊 SLYT412，2011 年第 2 季度。
- Naik, Jatan。 “执行精确的节能模式效率测量”，德州仪器 (TI) 应用报告 SLVA236A，2018 年 12 月。
- [LM636x5-Q1 数据表](#)。
- [LM61460-Q1 数据表](#)。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司