

如何利用LTpowerCAD 电阻分压器工具提高 电源输出调节精度

Jose Ramon San Buenaventura, 系统应用工程师
Henry Zhang, 应用总监

摘要

本文将演示如何为设计选择正确的电源容差。具体来说，本文将使用LTpowerCAD电阻分压器工具箱来展示如何使用元件容差并估算输出电压中的相应误差。有了这些信息，设计人员就能正确决定其应用允许的容差。

简介

几乎任何电路中都能找到电源。从无线电收发器到微处理器、FPGA和放大器，电源模块必定存在于其中某个位置，它是任何模拟或数字电路的重要组成部分。

同任何其他元器件一样，电源也有很多形状和形式。不同架构（例如线性稳压器或开关模式稳压器）各有优缺点，这导致在某些应用中，一种架构优于另一种架构。在所有这些架构中，一个共同点是输出通常由外部元件（尤其是反馈电阻）的组合决定。

在仿真工具的帮助下，我们可以设计电源以满足必要的规格，并得出满足规格的元件值。尽管仿真结果显示较为理想，但实际情况存在局限性。一个常见的例子是元件容差。实际上，电阻或电容等元件的额定值有所不同，容差就是用来描述这种差异的。输出5 V信号的57 kΩ和23 kΩ电阻的仿真电阻组合，会与实际的57 kΩ和23 kΩ组合不同，因为元件存在差异。除了IC固有的误差外，该容差也会影响直流输出电压的精度。

稳压器输出计算

ADI公司的许多稳压器IC有一个输出反馈引脚（FB或ADJ引脚）。因此，输出电压可以通过一对外部电阻 R_{TOP} 和 R_{BOT} 来设置，其中 R_{TOP} 连接到 V_{OUT} 和FB引脚， R_{BOT} 连接FB引脚和IC信号接地引脚。通常，标准IC数据手册会给出如下公式：

$$V_{OUT} = V_{REF} \times (1 + R_{TOP}/R_{BOT}) \quad (1)$$

其中 V_{REF} 为IC内部基准电压，用作反馈误差放大器的内部输入。我们以LT3062线性稳压器的输出电压公式为例。图1显示了其计算的输出电压。

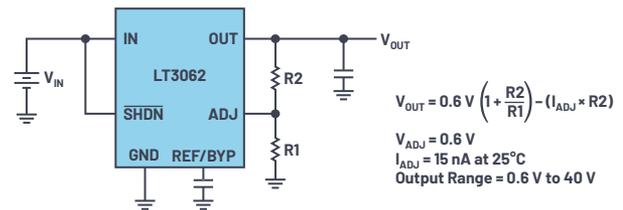


图1. LT3062的输出电压

利用内部生成并假定为准确的基准电压（LT3062的 $V_{REF}=0.6V$ ），输出分压器反馈网络（R1和R2）决定IC调节的电压电平。在LT3062公式中，还有一个来自 I_{ADJ} 的附加项，即从ADJ引脚流出的非理想偏置电流。其典型值为15 nA，但最高可达60 nA，如电气特性(EC)表所示，它会导致额外的 V_{OUT} 调节误差。

表1. 针对常见电压输出电平的LT3062 R1和R2组合

V_{OUT} (V)	R1 (kΩ)	R2 (kΩ)
1.2	118	118
1.5	121	182
1.8	124	249
2.5	115	365
3	124	499
3.3	124	562
5	115	845
12	124	2370
15	124	3010

如果使用1%容差的R1和R2，那么由电阻分压器引起的总 V_{OUT} 误差是多少——1%还是2%？对于某个应用，是否应该使用0.5%或0.1%容差的电阻？输出电压可能需要一定的精度，选择合适的电阻至关重要。如果使用较高容差的电阻可以达到目标误差，您可能不想使用容差非常低的电阻（它可能相当昂贵）。

LTpowerCAD电阻分压器工具

为了帮助设计，我们可以使用LTpowerCAD®电阻分压器工具。LTpowerCAD是一款完整的电源设计程序，具备一个设计工具箱，其中包括电阻分压器设计工具。电阻分压器工具接受诸如所需输出电压 V_{OUT} 和稳压器基准电压 V_{REF} （ADJ引脚或FB引脚电压）之类的输入，然后根据所选容差推荐能够实现所需电压的市售标准电阻值。使用此工具估算两个误差：1) 由标准分立标准电阻值引起的误差。注意：对于给定 V_{OUT} 和 V_{REF} ，该工具会自动选择最佳匹配的标准电阻值对以使此误差最小，因而实际 V_{OUT} 最接近目标值。2) 对于给定的 V_{OUT} 和 V_{REF} 组合，由电阻容差引起的误差。事实上，使用一对精度为1%的电阻分压器时，分压器有效容差将是分压比的函数，范围在1%到2%之间。LTpowerCAD电阻分压器工具将这两个误差相加以获得电阻分压器总容差。这让工程师可以轻松查看总误差，从而确定满足最终目标需要何种水平的电阻容差（0.1%、0.5%、1%还是2%）。

该工具还能在给定顶部或底部电阻（用户输入）时求取另一电阻值，同时考虑目标或允许的元件容差。

除了给出推荐电阻值之外，该工具还会显示与元件容差相关的误差计算（相对于理想和实际 V_{OUT} ）。

有了这些参数，在给定元件容差的情况下，设计人员便可大致了解预期电压范围，并评估它是否适合目标应用。

最后，该工具还能对任何给定值找出标准值电阻，以帮助简化元件搜索。

其他误差和注意事项

需要指出的是，此电阻分压器工具仅估计电阻分压器导致的直流误差。它不包括其他直流误差，而要获得总电源 V_{OUT} 调节精度，应将这些误差加到电阻分压器误差上。这些额外的误差包括：1) IC内部基准电压 V_{REF} 误差，其典型值在0.5%到1.5%范围内，可以在IC数据手册EC表中找到；2) 电源电压和负载调整率误差，这些也可以在IC EC表中找到；3) ADJ或FB引脚漏电流误差，例如在LT3062示例中， R_{BOT} 值应比较低以减少该误差；4) 本地IC和远程负载器件之间的PCB电阻引起的其他误差等。设计电源时，总误差估计应考虑到所有这些误差。

此外，高精度电子系统还可能对总电源输出电压容差有严格要求，包括直流误差和交流纹波。例如，许多大电流ASIC和FPGA要求 $\pm 2\%$ 或 $\pm 3\%$ 的总容差窗口，其中包括直流误差和交流纹波。为满足这一严格要求，电源设计必须提供快速瞬态响应，并具有大输出电容，以使快速负载阶跃瞬态期间的 V_{OUT} 纹波最小化。在这种情况下，选择具有极小 V_{REF} 容差的IC至关重要。高电流轨需要具有远程电压检测能力的稳压器。此外，相比于使用0.5%甚至0.1%电阻造成的成本小幅上升，输出电容节省的空间和成本要大得多。使用集成模块也很有帮助，例如ADI LTM 系列 μ Module®稳压器，它指定了完整高性能电源解决方案的总直流调节容差（包括 V_{REF} 、电压和负载调整率误差）。



图2. 打开LTpowerCAD工具箱中的电阻分压器工具

Standard Resistor Divider Selection Program (Version 2.0)			
This program selects the standard resistor divider pair and suggests the best matching of resistor pair values that give the smallest error on output voltage.			
In case if multiple pairs give the same smallest error, only the first pair of standard value is given.			
Values entered by user		Calculated values	
Please enter voltage values Here:			
Desired output voltage, V_{OUT}	12 V		
Internal reference voltage, V_{REF}	0.6 V		
Voltage divider base value pair suggestion:			
Standard tolerance selection:	1% res		
Suggested R_{TOP}	2160 Ω		
Suggested R_{BOT}	113 Ω		
With accurate R_{TOP} & R_{BOT} , V_{OUT}	12.01593 V		
Error of V_{OUT} (with accurate R_{TOP} & R_{BOT})	0.13274 %		
Error of actual V_{OUT} due to resistors' tolerance			
(V_{OUTmax}, V_{OUTmin})	1.91919	-1.88119 %	
Worst case total error of V_{OUT} (V_{OUTmax}, V_{OUTmin})			
V_{OUTmin}	2.05462	-1.75107 %	
Worst case actual V_{OUTmax}, V_{OUTmin}	12.24655	11.78987 V	

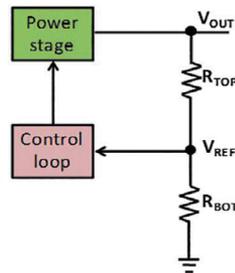


图3. LTpowerCAD电阻分压器工具：电阻对推荐

If User Selected R _{TOP} :			
User select R _{TOP} =	5400	Ω	
Standard tolerance selection:	1% res		
R _{TOP} standard value=	5360	Ω	
R _{BOT} standard value=	280	Ω	
With accurate R _{TOP} & R _{BOT} , V _{OUT} =	12.08571	V	
Error of V _{OUT} (with accurate R _{TOP} & R _{BOT})=	0.71429	%	
Error of actual V _{OUT} due to resistors' tolerance			
(V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	1.91919	-1.88119	%
Worst case total error of V _{OUT} (V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	2.64791	-1.18105	%
Worst case actual V _{OUTmax} , V _{OUTmin} =	12.31775	11.85827	V
If User Selected R _{BOT} :			
User select R _{BOT} =	111	Ω	
Standard tolerance selection:	1% res		
R _{TOP} standard value=	2100	Ω	
R _{BOT} standard value=	110	Ω	
With accurate R _{TOP} & R _{BOT} , V _{OUT} =	12.05455	V	
Error of V _{OUT} (with accurate R _{TOP} & R _{BOT})=	0.45455	%	
Error of actual V _{OUT} due to resistors' tolerance			
(V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	1.91919	-1.88119	%
Worst case total error of V _{OUT} (V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	2.38292	-1.43564	%
Worst case actual V _{OUTmax} , V _{OUTmin} =	12.28595	11.82772	V

图4. LTpowerCAD电阻分压器工具: R_{TOP}或R_{BOTTOM}求解器

If User Selected R _{TOP} :			
User select R _{TOP} =	5400	Ω	
Standard tolerance selection:	1% res		
R _{TOP} standard value=	5360	Ω	
R _{BOT} standard value=	280	Ω	
With accurate R _{TOP} & R _{BOT} , V _{OUT} =	12.08571	V	
Error of V _{OUT} (with accurate R _{TOP} & R _{BOT})=	0.71429	%	
Error of actual V _{OUT} due to resistors' tolerance			
(V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	1.91919	-1.88119	%
Worst case total error of V _{OUT} (V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	2.64791	-1.18105	%
Worst case actual V _{OUTmax} , V _{OUTmin} =	12.31775	11.85827	V
If User Selected R _{BOT} :			
User select R _{BOT} =	111	Ω	
Standard tolerance selection:	1% res		
R _{TOP} standard value=	2100	Ω	
R _{BOT} standard value=	110	Ω	
With accurate R _{TOP} & R _{BOT} , V _{OUT} =	12.05455	V	
Error of V _{OUT} (with accurate R _{TOP} & R _{BOT})=	0.45455	%	
Error of actual V _{OUT} due to resistors' tolerance			
(V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	1.91919	-1.88119	%
Worst case total error of V _{OUT} (V _{OUTmax} , V _{OUTmin})=	2.38292	-1.43564	%
Worst case actual V _{OUTmax} , V _{OUTmin} =	12.28595	11.82772	V

图5. LTpowerCAD电阻分压器工具: 电压误差计算

Find a standard resistor for any given value:	
user enter resistor value=	503 Ω
Standard tolerance selection:	0.1% res
Standard resistor value=	505 Ω

图6. LTpowerCAD电阻分压器工具: 标准电阻查找器

结论

各种目标应用都需要一定水平的电源V_{OUT}容差。几毫伏的误差可能是不同系统的一个关键方面，因此必须满足适当的设计要求。

影响稳压器精度的一个外部可控因素是元件容差。使用容差为0.5%的电阻与使用容差为2%的电阻之间的差异，可能会对系统性能产生重大影响，而选择正确的元件可以减少出错的可能性。选择合适的元件还有助于最大限度地降低成本并提高可靠性，因为这样就不需要更换元件，或者更换次数大大减少。

利用LTpowerCAD电阻分压器工具，工程师可以观察元件容差对其电源设计的影响。通过初步选择目标输出电压和基准引脚电压，设计人员可以：(1) 为目标电压获得最佳匹配的标准电阻对，(2) 求解顶部或底部电阻，以及(3) 实现所需范围的电压误差（由电阻分压器容差引起）。

凭借其提供的功能，加上标准电阻查找器，该电阻分压器工具已被证明对电源设计大有帮助，尤其是可以帮助初涉电源设计的工程师熟悉这一领域。工程师使用此工具可以设计出符合目标应用所需规格的电源，并确保向不同系统模块提供优化的性能和功率。



作者简介

Jose Ramon San Buenaventura是在菲律宾甲米地工作的一名系统应用工程师。他于2018年加入ADI公司，并在德拉萨大学拉古纳分校获电子和通信工程学士学位。在ADI公司任职期间，他从事多个不同项目，涉及传感器和传感器模拟前端(AFE)、传感器融合，以及使用不同平台进行编程，如MATLAB、C、Python、数字信号处理和算法。联系方式：jose.sanbuenaventura@analog.com。



作者简介

Dr. Henry Zhang (张劲东博士) 是ADI的Power by Linear™应用总监。他于1994年获得中国浙江大学颁发的电子工程学士学位，分别于1998年和2001年获得弗吉尼亚理工学院暨州立大学(黑堡)颁发的电子工程硕士学位和博士学位。他于2001年加入凌力尔特(现在已成为ADI的一部分)。联系方式：henry.zhang@analog.com。

