

## 如何利用 LTpowerCAD 電阻分壓器工具

## 提高電源輸出調節精度

本文將展示如何為設計選擇正確的電源容差。具體來說，本文將使用 LTpowerCAD 電阻分壓器工具箱來展示如何使用元件容差，並估算輸出電壓中的相應誤差。透過這些資訊，設計人員就能正確決定其應用允許的容差。

■作者：Jose SanBuenaventura / ADI 系統應用工程師  
Henry Zhang / ADI 應用總監

## 簡介

幾乎任何電路中都能找到電源。從無線電收發器到微處理器、FPGA 和放大器，電源模組必定存在於其中某個位置，它是任何類比或數位電路的重要組成部分。

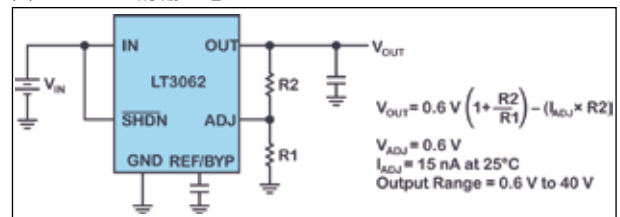
如同任何其他元件，電源也具有很多形狀和形式。不同架構（例如線性穩壓器或切換模式穩壓器）各有優缺點，這導致在某些應用中會產生一種架構優於另一種架構的情況。在所有這些架構中，一個共同點是輸出通常由外部元件（尤其是回饋電阻）的組合決定。

在模擬工具的幫助下，我們可以設計電源以滿足必要的規格，並得出滿足規格的元件值。儘管模擬結果顯示較為理想，但實際情況則存在著侷限性。一個常見的例子是元件容差。實際上，電阻或電容等元件的額定值有所不同，容差就是用來描述這種差異的。輸出 5 V 信號的 57 kΩ 和 23 kΩ 電阻的模擬電阻組合，會與實際的 57 kΩ 和 23 kΩ 組合不同，因為元件存在差異。除了 IC 固有的誤差外，該容差也會影響直流輸出電壓的精度。

## 穩壓器輸出計算

ADI 的許多穩壓器 IC 均具備一個輸出回饋接腳 (FB 或 ADJ 接腳)。因此，輸出電壓可以透過一對外部電阻  $R_{TOP}$  和  $R_{BOT}$  來設定，其中  $R_{TOP}$  連接到  $V_{OUT}$  和 FB 接腳， $R_{BOT}$  連接 FB 接腳和 IC 訊號接地

圖 1: LT3062 的輸出電壓



接腳。通常標準 IC 數據手冊會提供如下公式：

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

其中  $V_{REF}$  為 IC 內部基準電壓，用於回饋誤

表 1: 針對常見電壓輸出位準的 LT3062 R1 和 R2 組合

$V_{OUT}$ (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

差放大器的內部輸入。我們以 LT3062 線性穩壓器的輸出電壓公式為例。圖 1 顯示其計算的輸出電壓。

利用內部產生並假定為準確的基準電壓 (LT3062 的  $V_{REF} = 0.6\text{ V}$ )，輸出分壓器回饋網路 (R1 和 R2) 決定 IC 調節的電壓位準。在 LT3062 公式中，還有一個來自  $I_{ADJ}$  的附加項，即從 ADJ 接腳流出的非理想偏置電流。其典型值為  $15\text{ nA}$ ，但最高可達  $60\text{ nA}$ ，如電氣特性 (EC) 表所示，其將導致額外的  $V_{OUT}$  調節誤差。

如果使用 1% 容差的 R1 和 R2，那麼由電阻分壓器引起的總  $V_o$  誤差是多少——1% 還是 2%？對於某個應用，是否應該使用 0.5% 或 0.1% 容差的電阻？輸出電壓可能需要一定的精度，選擇合適的電阻非常重要。如果使用較高容差的電阻可以達到目標誤差，您可能不想使用容差非常低的電阻 (它可能相當昂貴)。

### LTpowerCAD 電阻分壓器工具

為了協助設計，我們可以使用 LTpowerCAD 電阻分壓器工具。LTpowerCAD 是一款完整的電源設計程式，具備一個設計工具箱，其中包括電阻分壓器設計工具。電阻分壓器工具接受諸如所需輸出電壓位準  $V_{OUT}$  和穩壓器基準電壓  $V_{REF}$  (ADJ 接腳或 FB 接腳電壓) 之類的輸入，然後根據所

選容差推薦能夠實現所需電壓的市售標準電阻值。使用此工具估算兩個誤差：1) 由標準分立標準電阻值引起的誤差。請注意：對於給定  $V_{OUT}$  和  $V_{REF}$ ，該工具會自動選擇最佳匹配的標準電阻值對以使其誤差最小，因而實際  $V_{OUT}$  最接近目標值。2) 對於給定的  $V_{OUT}$  和  $V_{REF}$  組合，由電阻容差引起的誤差。事實上，使用一對精度為 1% 的電阻分壓器時，分壓器有效容差將是分壓比的函數，範圍在 1% 到 2% 之間。LTpowerCAD 電阻分壓器工具將這兩個誤差相加以獲得電阻分壓器總容差。這讓工程師可以輕鬆查看總誤差，進而確定滿足最終目標需要何種水準

圖 2: 打開 LTpowerCAD 工具箱中的電阻分壓器工具



圖 3: LTpowerCAD 電阻分壓器工具：電阻對推薦

### 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	
<b>Please enter voltage values Here:</b>			
Desired output voltage, $V_{OUT}$	12 V		
Internal reference voltage, $V_{REF}$	0.6 V		
<b>Voltage divider base value pair suggestion:</b>			
Standard tolerance selection:	1% res		
Suggested $R_{TOP}$	2150 $\Omega$		
Suggested $R_{BOT}$	113 $\Omega$		
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 $V_{OUT}$ ( $V_{OUTmax}$ , $V_{OUTmin}$ )	2.05462 -1.75107 %		
Worst case actual $V_{OUTmax}$ , $V_{OUTmin}$	12.24655 11.78987 V		

的電阻容差 (0.1%、0.5%、1% 還是 2%)。

該工具還能在給定頂部或底部電阻 (用戶輸入) 時求取另一電阻值, 同時考慮目標或允許的元件容差。

除了提供推薦電阻值之外, 該工具還會顯示與元件容差相關的誤差計算 (相對於理想和實際  $V_{OUT}$ )。

有了這些參數, 在給定元件容差的情況下, 設計人員便可大致瞭解預期電壓範圍, 並評估它是否適合目標應用。

最後, 該工具還能夠為任何給定值找出標準值電阻, 以幫助簡化元件搜索。

## 其他誤差和注意事項

需要指出的是, 此電阻分壓器工具僅估計電阻分壓器導致的直流誤差。它不包括其他直流誤差, 而要獲得總電源  $V_{OUT}$  調節精度, 應將這些誤差加到電阻分壓器誤差上。這些額外的誤差包括: 1) IC 內部基準電壓  $V_{REF}$  誤差, 其典型值在 0.5% 到 1.5% 範圍內, 可以在 IC 數據手冊 EC 表中找到; 2) 電源電壓和負載調整率誤差, 這些也可以在 IC EC 表中找到; 3) ADJ

或 FB 接腳漏電流誤差, 例如在 LT3062 示例中,  $R_{BOT}$  值應比較低以減少該誤差; 4) 本地 IC 和遠端負載元件之間的 PCB 電阻引起的其他誤差等。設計電源時, 總誤差估計應考慮到所有這些誤差。

此外, 高精度電子系統還可能對總電源輸出電

圖 4: LTpowerCAD 電阻分壓器工具:  $R_{TOP}$  或  $R_{BOTTOM}$  求解器

If User Selected $R_{TOP}$ :			
User select $R_{TOP}$ =	5400 $\Omega$		
Standard tolerance selection:	1% res		
$R_{TOP}$ standard value=	5360 $\Omega$		
$R_{BOT}$ standard value=	280 $\Omega$		
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 $\Omega$		
Standard tolerance selection:	1% res		
$R_{TOP}$ standard value=	2100 $\Omega$		
$R_{BOT}$ standard value=	110 $\Omega$		
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	

圖 5: LTpowerCAD 電阻分壓器工具: 電壓誤差計算

If User Selected $R_{TOP}$ :			
User select $R_{TOP}$ =	5400 $\Omega$		
Standard tolerance selection:	1% res		
$R_{TOP}$ standard value=	5360 $\Omega$		
$R_{BOT}$ standard value=	280 $\Omega$		
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 $\Omega$		
Standard tolerance selection:	1% res		
$R_{TOP}$ standard value=	2100 $\Omega$		
$R_{BOT}$ standard value=	110 $\Omega$		
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	

圖 6: LTpowerCAD 電阻分壓器工具: 標準電阻查找器

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

壓容差有嚴格要求，包括直流誤差和交流漣波。例如，許多大電流 ASIC 和 FPGA 要求  $\pm 2\%$  或  $\pm 3\%$  的總容差視窗，其中包括直流誤差和交流漣波。為滿足這一項嚴格要求，電源設計必須提供快速瞬態響應，並具有大輸出電容，以使快速負載階躍瞬態期間的  $V_{OUT}$  漣波最小化。在這種情況下，選擇具有極小  $V_{REF}$  容差的 IC 非常重要。高電流軌需要具有遠端電壓檢測能力的穩壓器。此外，相較於使用  $0.5\%$  甚至  $0.1\%$  電阻造成的成本小幅上升，輸出電容節省的空間和成本多出許多。使用整合模組也很有幫助，例如 ADI LTM 系列 Module 穩壓器，它指定了完整高性能電源解決方案的總直流調節容差（包括  $V_{REF}$ 、電壓和負載調整率誤差）。

## 結論

各種目標應用都需要一定水準的電源  $V_{OUT}$  容差。幾毫伏的誤差可能是不同系統的一個關鍵方面，因此必須滿足適當的設計要求。

影響穩壓器精度的一個外部可控因素是元件容差。使用容差為  $0.5\%$  的電阻與使用容差為  $2\%$  的電阻之間的差異，可能會對系統性能產生重大影響，而選擇正確的元件可以減少出錯的可能性。選擇合適的元件還有助於大幅降低成本並提高可靠性，因為這樣就不需要更換元件，或者更換次數大幅減少。

利用 LTpowerCAD 電阻分壓器工具，工程師可以觀察元件容差對其電源設計的影響。透過初步選擇目標輸出電壓和基準接腳電壓，設計人員可以：(1) 為目標電壓獲得最佳匹配的標準電阻對，(2) 求解頂部或底部電阻，以及 (3) 實現所需範圍的電壓誤差（由電阻分壓器容差引起）。

憑藉其提供的功能，加上標準電阻查找器，該電阻分壓器工具已被證明對電源設計大有幫助，尤其是可以協助初涉電源設計的工程師熟悉這一領域。工程師使用此工具可以設計出符合目標應用所需規格的電源，並確保向不同系統模組提供優化的性能和功率。 **CTA**

## 2020/2021 APICTA Awards 臺灣代表隊奪 4 金 15 銀

2020/2021 亞太地區資通訊領域菁英同場競賽的盛事 - 「亞太資通訊科技聯盟大賽 (APICTA Awards)」，今年首次移師至線上，由馬來西亞主辦，共有 15 個經濟體推派 260 個企業與學生組隊參賽。在台北市電腦公會 (TCA) 及產學專家，率臺灣代表隊共 28 家企業團隊及 7 組學生隊參賽，榮獲 4 金 15 銀之佳績，創下我國參賽以來最佳成績，總獎牌數 19 面更位居各國之冠。

本次競賽 4 面金牌由宇能科技於「消費者應用 - 消費場域」類別、奕智鏈結於「商業服務 - 資安解決方案」類別、圖靈鏈於「商業服務 - 市場專業服務」類別及中央大學於「大學生組 - 消費服務」應用類別中各獲得 1 金；15 面銀牌則由米菲多媒體於「商業服務 - 資通訊科技服務」類別、博斯資訊安全及大宏數創意皆於「商業服務 - 資安解決方案」類別、憶象在「工業應用 - 製造與物流」類別、海盛科技在「工業應用 - 一般工業」及「人工智慧科技」兩個類別、資策會 (數位轉型研究所) 於「公共服務 - 數位政府」類別、鈦隼生物科技在「社群服務 - 健康照護」及「研究與發展」兩個類別、瑞比智慧在「社群服務 - 教育應用」類別；世創生物科技於「研究與發展」類別及陽明交通大學於「大學生組 - 商業與工業應用」類別中各獲得 1 銀、科豆教育機構的三組學生團隊皆於「高中生組」及「國中小學生組」各獲得 1 面銀牌。

APICTA 的 16 個會員經濟體涵蓋亞太地區主要的市場，透過與各國團隊及競賽評審交流，能進一步瞭解各國市場生態及技術程度，促進雙方合作機會，有助進一步取得目標市場商機。