

基於三端雙向可控矽的 高效能 LED 照明調光方案

文：Luigi Galioto, RanajayMallik/ 意法半導體

摘要

三端雙向可控矽開關是家用、商用和工業用白熾燈、鹵素燈等照明系統最常用的調光方案，因能效優異和成本低廉而深受市場歡迎。不過，標準 LED 驅動晶片不能直連三端雙向可控矽調光器。本文將討論意法半導體最新開發的基於 VLED815PF 的可調光 LED 驅動晶片。

前言

調光是控制光源亮度的過程。調光已成為 LED 等照明燈具的必備功能。

三端雙向可控矽調光方法是透過阻斷或濾除部分 AC 波形來降低傳向電阻性負載的電能；傳遞的功率與容許透過的 AC 波形的相對量成正比。三端雙向可控矽是一個簡易、低廉的調光方案。

LED 驅動晶片不是電阻性負載而是閉環模式的開關電源，雖然輸入電壓不斷變化，但輸出電流卻保持恒定。為確保三端雙向可控矽調光設計適用 LED 驅動電源，離線 LED 驅動電源應滿足下

列要求：

- LED 電流應與輸入電壓成正比，並受控於調光器導通角度。
- 線路電壓電流應盡可能同相，以獲得高功率因數，確保調光器操作正確
- 輸入濾波器設計須能夠使調光電流維持在三端雙向可控矽的保持電流之上，以避免 LED 閃爍

下文介紹一個滿足上面全部要求的基於 HVLED815PF 晶片的 LED 驅動方案。

意法半導體的系統方案

意法半導體的 9W LED 驅動解決方案具有三端雙向可控矽調光、功率因數高、THD 總諧波失真低等特性，如圖 1 所示。

該方案解決了將 40W 至 60W 白熾燈或小型螢光燈改造成 LED 光源所需的低成本 LED 驅動電源的難題。基於意法半導體的新 LED 驅動晶片 HVLED815PF，該解決方案能夠支持高達 15W 的

AC-DC LED 驅動電源。HVLED815PF 是一款可直連整流市電電源的一次側高壓開關，其優點是需要極少的週邊元件，功率因數高(>0.90)，開關能效高，尺寸精巧，成本低廉。該驅動模組在同一個封閉內整合高性能低壓 PWM 控制晶片和 800 V 耐崩潰功率 MOSFET 管。PWM 晶片是一個電流式控制器，為(零電壓開關)反激式 LED 驅動電源專門設計，輸出恒流整流電路(CC)採用意法半導體的一次側檢測整流專利技術(PSR)。這樣設計節省了光耦合器、二次側參考電壓和電流檢測元件，同時 LED 電流還能保持良好的精確度(+/-5%)。

該模組還提供恒壓(CV)輸出穩壓器：當 LED 燈泡壞死導致燈串開路時，該穩壓器可確保其它燈泡安全工作。此外，該模組還

圖 1：STEVAL-ILL044V1

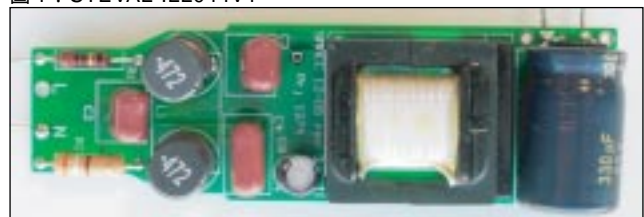
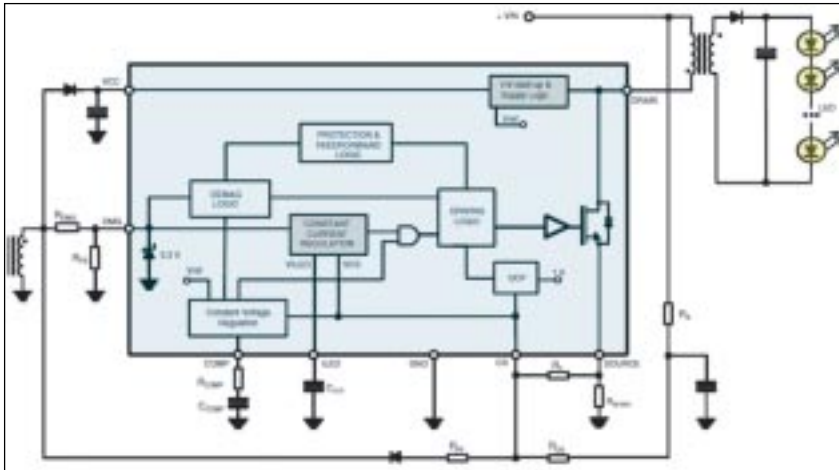


圖 2：基於 HVLED815PF 的大功率因數的反激式轉換器



提供二次側短路整流器(例如，當燈泡壞了導致燈串短路)或變壓器飽和電壓檢測功能。

只有使用大功率因數的反激式轉換器拓撲，才能保證功率因數值較高(PF>0.9)。圖 2 所示是基於 HVLED815PF 的 LED 驅動電源模組的示意圖。

STEVAL-ILL044V1 的主要電氣系統參數見表 1。

STEVAL-ILL044V1 是一個高功率因數的反激式轉換器，並附加下列元件：

- 1) 在輸入濾波器內增加一個阻尼電路
- 2) 用於 LED 均流調整的正弦參考電壓

表 1：STEVAL-ILL044V1 的主要電氣系統參數

Vin：輸入電壓	90Vac-132Vac
Pout：最大總輸出功率	9W
Iout, LED 輸出電流	175mA
PLED：每支 LED 的功率	500mW
N：燈串中 LED 的數量	18
H：能效	>86%
PF：功率因數	>0.98
THD：總諧波失真	<20%

圖 4：採用標準濾波器的調光器產生的線路電流波形

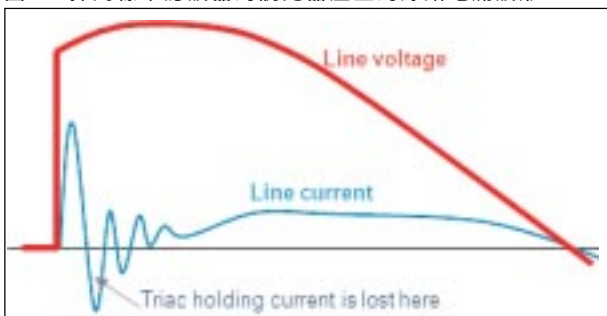
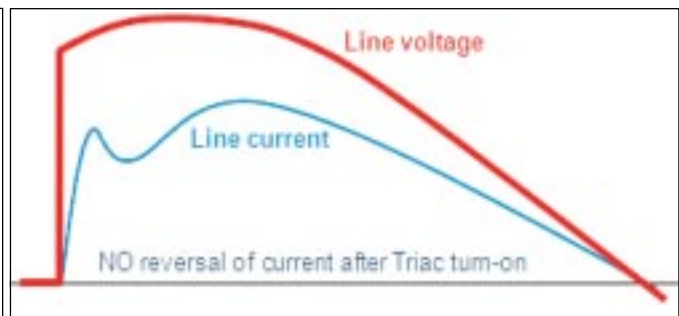


圖 5：採用濾波器和阻尼電路的調光器的線路電流波形



內建阻尼電路的輸入濾波器

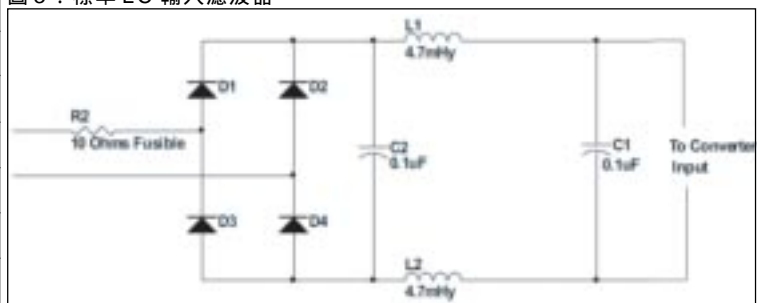
三端雙向可控矽調光電路會產生非正弦的市電 AC 電壓，並幾乎立即施加到 LED 驅動電源的 LC 輸入濾波器上(見圖 3)。

這個快速升高的電壓在 EMI 濾波器內感應出一個隨濾波器輸入電容變化的環形波電流，如圖 4 所示。

這個環形波形有時導致調光器電流低於三端雙向可控矽保持電流，這時，三端雙向可控矽會停止導通，並在下半個週期重新導通，這個通斷過程有時會重複幾個週期，可能引起 LED 燈光閃爍，甚至會燒毀燈泡。

若相維持三端雙向可控矽保持電流，則必須濾除環形波形。最好的解決之道是在網路阻抗最高的地點即濾波器輸出端增加一

圖 3：標準 LC 輸入濾波器



個阻容網路。

理論上，輸入電流波形應該像圖 5 所示一樣。

三端雙向可控矽關斷時間約 20us，如果電流換向時間小於 20us，某些高頻環形波是可以容忍的。灌電流負載的典型阻尼網路是由電容(C3)和電阻(R1)串聯而成。電感器線圈電阻和熔斷式電阻器提供某些附加的阻尼功能。

圖 6 所示是在 STEVAL-ILL044V1 上最終實現的濾波器。

圖 7 所示是在採用這個濾波器後且在調光情況下的瞬間輸入波形(黃色曲線 = 三端雙向可控矽調光線路電壓；深紅色 = 線路電流)。

正弦參考電壓電路

基於 HVLED815PF 的反激式轉換器具有優異的 LED 輸出電流調整功能和良好的功率因數。

該晶片的平均輸出電流控制功能使得輸出電流不再受輸入電壓(Vin)或輸出電壓(Vout)的影響，更不受變壓器電感值的影響。變壓比(N)和檢流電阻(Rsense)是決定平均輸出電流的外部參數，而固定參考電壓(V_{CLED} = R * I_{ref} = 0.2V)是決定平均輸出電流的內部參數。

$$I_{out} = \frac{N}{2} \cdot \frac{V_{CLED}}{R_{sense}}$$

在 HVLED815PF 電流控制框圖(圖 8)內，ILED 針腳電壓在內部與 CS 針腳電壓對比，CS 針腳電壓是主 MOSFET 的峰值電流產生

圖 6：內建阻尼電路的 LC 輸入濾波器

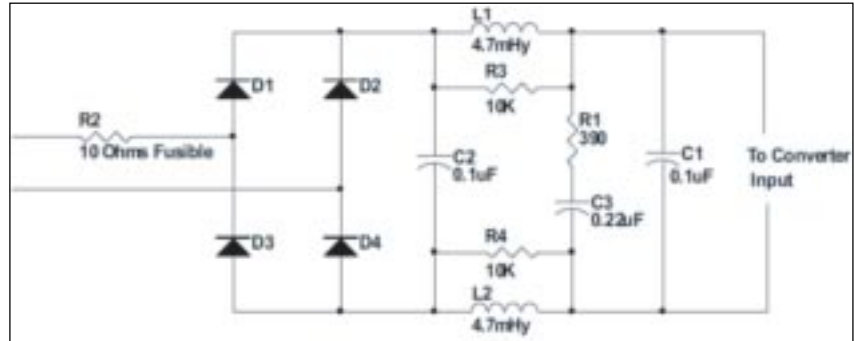


圖 7：線路電壓和線路電流

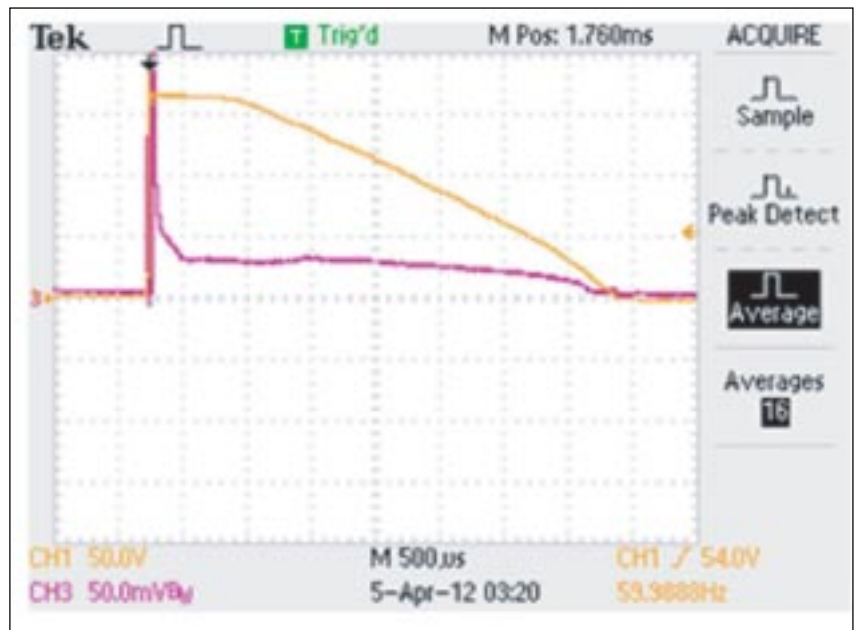
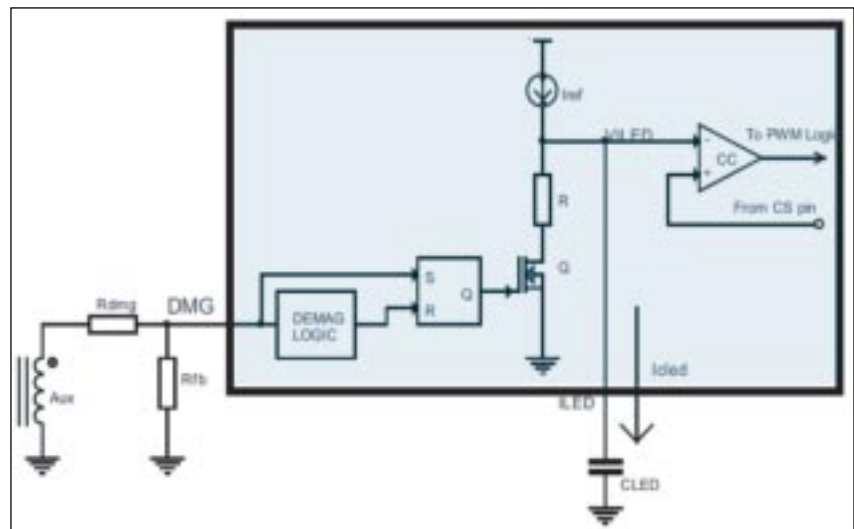


圖 8：HVLED815PF 電流控制框圖



的電壓。電容 CLED 必須使 ILED 針腳保持恒壓。

STEVAL-ILL044V1 採用了這種控制方法，具有三端雙向可控

圖 9：AC 訊號注入 ILED 針腳

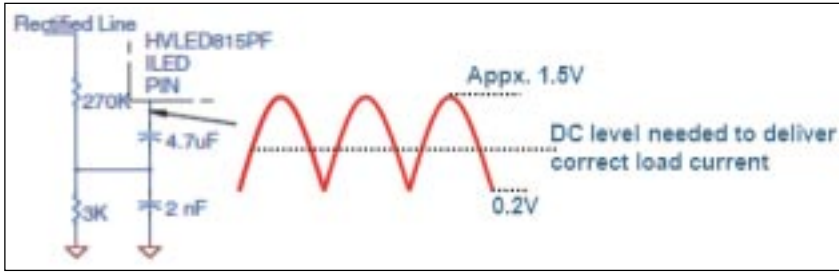


圖 10：在 ILED 針腳導入 AC 訊號後主要波形的變化

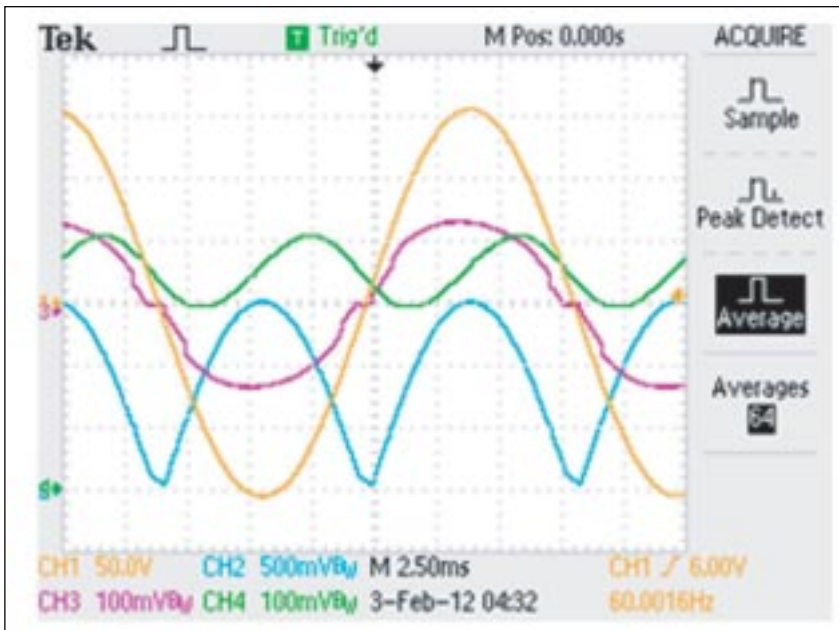
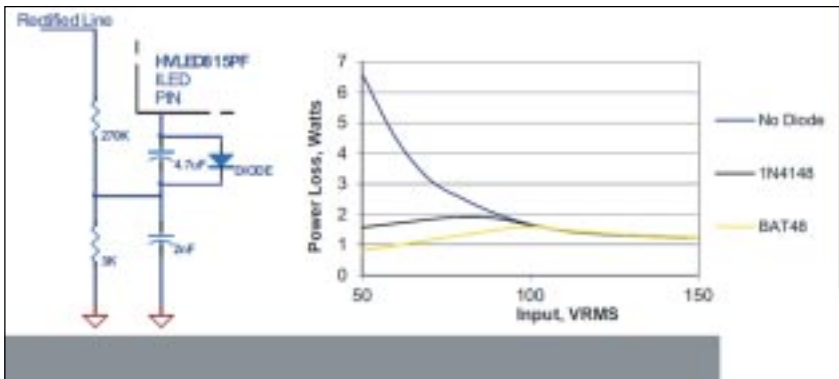


圖 11：在增裝最佳化二極體的 ILED 針腳導入 AC 訊號後主要波形的變化



矽控制功能，同時改進了輸入電流的諧波成分。

既然 LED 平均電流值和主 MOSFET 一次側峰流取決於 ILED 針腳電壓，如果該針腳被注入 AC 電壓訊號，則

- 注入的 AC 電壓平均值可直接調整 LED 的平均輸出電流
 - 一次側瞬間峰值流值跟隨 AC 波形
- 圖 9 所示是將一小部分線路電壓注入 ILED 電容的底電極，在小電阻上連接一個小電容只是用

於阻上雜訊進入電路。

在 STEVAL-ILL044V1 評估板上，HVLED815PF 將 ILED 針腳電壓控制在大約 0.2 V 至 1.5 V 之間。這種方法大幅改進了輸入電流的諧波成份：THD 實際測量值小於 20%(符合工業標準的最大值要求)。在設計線路電壓範圍內，功率因數十分優異(大於 0.98)。

圖 10 所示是 110V 輸入電壓時的實際電流波形(黃線 = 線路電壓，紫線 = 線路電流 50mA/div，藍線 = ILED 針腳電壓，綠線 = LED 電流 50mA/div)。

為提高該評估板的能效，在 ILED 針腳上增裝一個二極體，以限制該針腳電壓和一次側峰流。圖 11 報告了使用兩種不同二極體的測試結果。

輸出電流調整效果非常好，對負載條件要求非常寬，在注入 AC 電壓和增裝二極體後，電流控制效果仍然很好，但 90V 輸入電壓除外(見圖 12)，因為在這個電壓值，當 LED 燈泡超過 13 顆時，二極體限流器將會啟動。

在 ILED 針腳上注入部分正弦波(透過三端雙向可控矽)，而不是注入全部正弦波，可以改變該針腳電壓的平均值，也能改變 LED 電流的平均值，實現三端雙向可控矽調光特性。上文提到的二極體在低導通角度時可提高調光性能。

圖 13 描述了 40Vrms 調光輸入電壓和增裝 BAT48 二極體後的主要波形(黃線 = 線路電壓，紫線 = 線路電流，藍線 = AC 注入電

圖 12：輸出電流調整

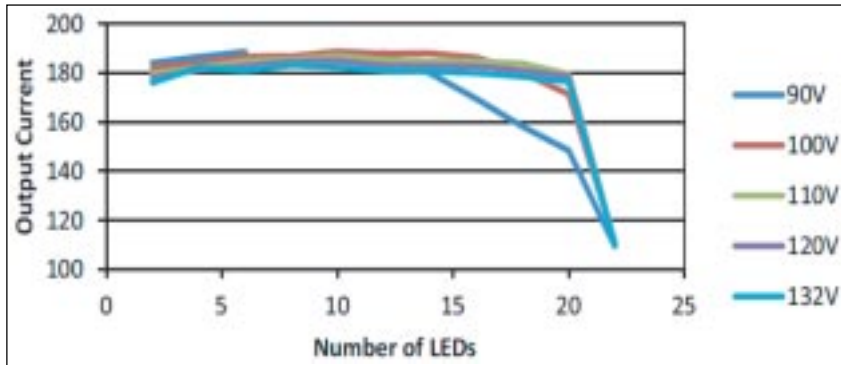


圖 13：示波器測量的 40Vrms 調光輸入電壓和增裝 BAT48 二極體後的主要波形

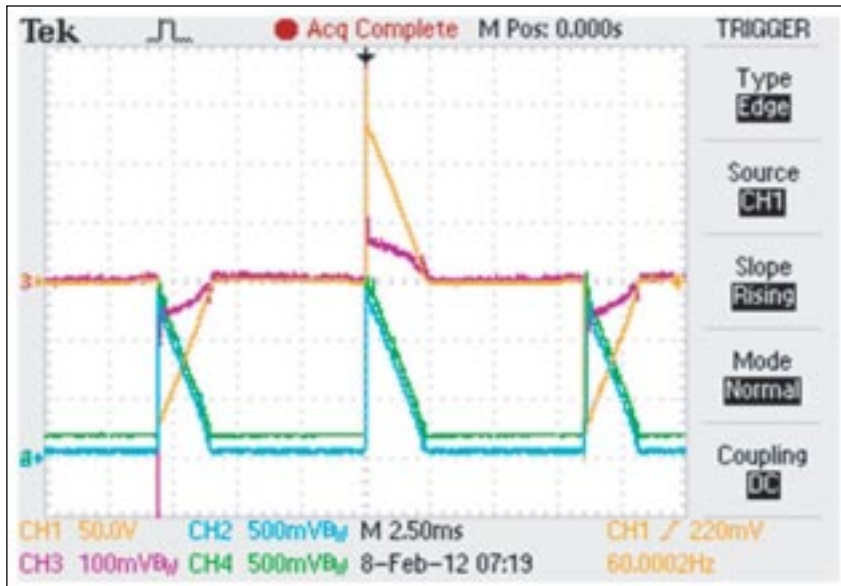
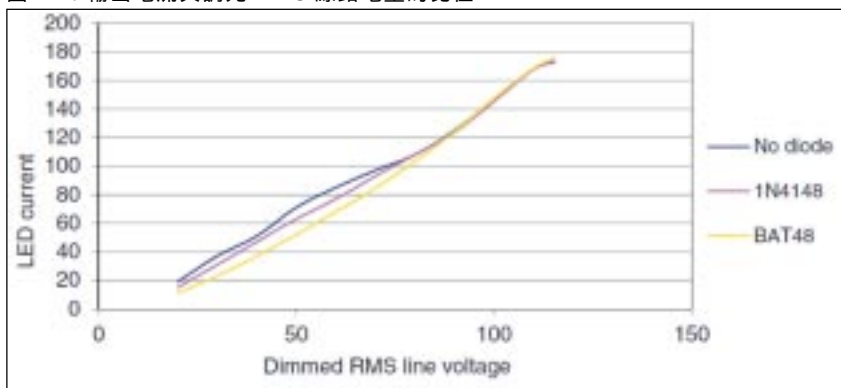


圖 14：輸出電流與調光 RMS 線路電壓的比值



壓，綠線 =ILED 針腳電壓)。

圖 14 所示是調光性能(輸出電流與調光 RMS 線路電壓的比值)。

在整個輸入電壓範圍內，且滿負載條件(18顆 LED 燈泡)下，該

評估板的能效大約 86%。

最後，如此精巧、簡易的隔離型 LED 驅動模組能夠取得這樣的能效、功率因數和 THD 失真值已經十分不錯。 CTA

Moldex3D 打造完整設計 製造模擬平台

科盛科技(Moldex3D)為 IC 封裝產業量身打造了完整且先進的模擬平台。科盛科技的 2.5D 和 3D 晶片堆疊底部充填製程解決方案的模擬平台，可滿足設計端、製造端等廣泛應用領域的需求。

科盛科技總經理楊文禮說：「即使是複雜的晶片封裝製程，Moldex3D 解決方案都能協助達成設計優化及驗證目標，為半導體封裝產業帶來更完整且高效率的分析利器。」

Moldex3D 為封裝產業提供的模擬平台，完整結合了前處理、後處理、封裝過程模擬和結構分析等所有階段，其中並包括適當的澆口和流道設計。分析過程更同時整合了晶片設計、材料屬性和加工條件等關鍵成型要素。晶片封裝在 3D 建模過程中最大的挑戰之一，就是為模擬分析產生合適的網格。Moldex3D 的前處理器不但可以產生高效能的網格，還可任選網格形狀，包括四角形、六角形、楔形、金字塔形，以及可作進階分析的邊界層網格。使用者可用最小的網格，簡化整個幾何模型並進行分析。

新版的 Moldex3D 封裝模擬平台除了擴大原有的各項功能之外，更成功與 Cadence 結合，可直接導入 .3di 檔案至 Moldex3D 分析；同時也整合 ANSYS、ABAQUS，使用者可輸入 Moldex3D 的模流分析結果作後端結構分析，大幅提升分析的精準度。藉由三維的模流動畫技術，製程中可能出現的金線偏移、導線架偏移、氣孔、翹曲和殘留應力鬆弛等潛在問題都可事先預測並一一擊破。