

SKYWORKS®

時脈樹設計原則

在高效能應用中，例如通訊、無線基礎設施、伺服器、廣播視訊以及測試和測量裝置，當系統整合更多功能並需要提高效能水準時，硬體設計就變得日益複雜，這種趨勢進一步影響到為系統提供參考時序的電路板設計階段 (board-level) 時脈樹 (clock tree)。在進行時脈樹設計時，「一體適用」的策略並不適用，優化時脈樹以滿足效能和成本的要求取決於多種因素，包括系統架構、IC 時序需求 (頻率、訊號格式等) 和終端應用的抖動需求。

參考時序 - 何時使用石英晶體或時脈

第一個設計原則是釐清硬體設計的參考時脈需求，並選擇用於系統中處理器、FPGA、ASIC、PHY、DSP 和其他元件的參考時脈類型。如果 IC 已整合振盪器和鎖相迴路 (PLL) 用於內部時序，那麼通常可以使用石英晶體 (crystal)。石英晶體具備成本效益，因其優異的相位雜訊特性而被廣泛使用，配置在接近 IC 的位置以簡化電路板佈局。然而，石英晶體的缺點之一是在不同溫度範圍內頻率有顯著變化，超出許多 SerDes (serializer-deserializer) 應用中高精度 ppm 等級的穩定性需求。在許多要求高穩定性的高速 SerDes 應用中，更適合使用較石英晶體穩定的石英振盪器 (XO)。當需要多個參考頻率時，通常使用時脈產生器 (clock generator) 和時脈緩衝器 (clock buffer)。在某些應用中，FPGA/ASIC 有多個時脈域用於資料通路、控制平面和儲存控制器介面，需要多個特定參考頻率。如果 IC 不提供石英晶體輸入，或者當 IC 需要與外部參考 (source-synchronous 應用) 同步時，又或者當所需高頻參考值很難由石英晶體生成時，時脈產生器和緩衝器也是優先選擇。

自由運行 vs. 同步時脈樹

一旦確定硬體設計，並且為部分元件選擇了石英晶體，接下來的步驟就是為剩下的時脈選擇時序架構：自由運行 (free-Running) 或同步。對於需要一個或多個獨立參考時脈，且沒有任何特殊鎖相迴路或同步需求的應用來說，XO、時脈產生器和時脈緩衝器是理想選擇。處理器、儲存控制器、SoC 和週邊元件 (例如 USB 和 PCI Express 轉換器) 通常使用 XO、時脈產生器和時脈緩衝器組合，為自由運行和非同步的應用提供參考時序。如果應用需要一到兩個時序來源，XO 是最好的選擇；而時脈產生器和緩衝器更適合同時需要多個獨立時脈的應用。時脈產生器能夠合成多個不同頻率的時脈，但與由時脈緩衝器加上 XO 組成的時脈樹相比，犧牲部分抖動效能。時脈緩衝器可以與 XO 參考聯合分配多個相同頻率的時脈，並且為多輸出時脈樹實現最低抖動。

同步時脈用於需要連續通訊和網路級同步的應用，例如光傳輸網路 (OTN)、SONET/SDH、行動回程網路、同步乙太網和 HD SDI 視訊傳輸。以上應用需要發射器和接收器在相同頻率操作。同步所有的 SerDes 參考時脈到一個高精度網路參考時脈 (例如，Stratum 3 或 GPS)，保證所有節點同步。在這些應用中，基於低頻寬 PLL 時脈提供漂移和抖動濾波 (抖動消除)，以確保網路級同步。在網路線路卡 PLL 應用中，帶有壓控振盪器 (VCO) 的專用抖動衰減時脈或離散式 PLL 是 SerDes 定時首選的時脈解決方案。為了獲得最佳效能，抖動衰減時脈應放置在時脈樹末端，直接驅動 SerDes 元件，時脈產生器和緩衝器可為其他系統提供參考。

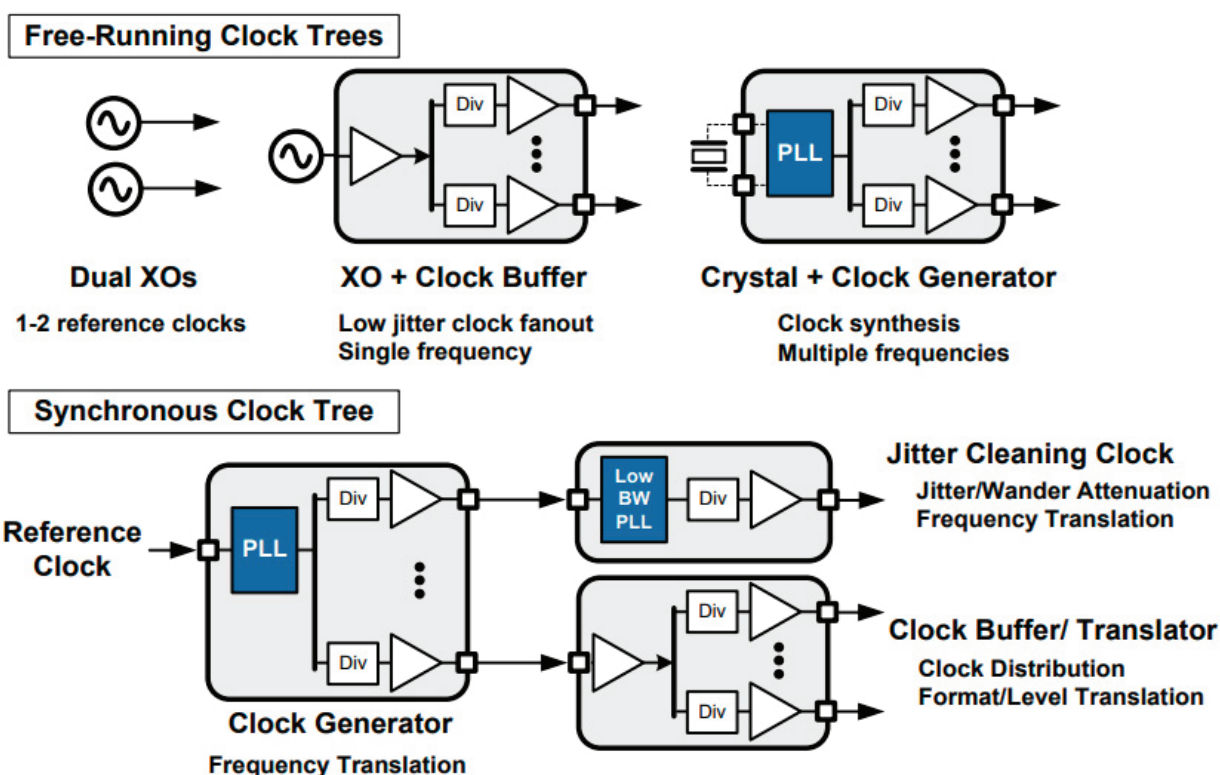


圖 1. 時脈樹示例

時脈抖動

時脈抖動是時序元件的一個關鍵指標，因為過多的時脈抖動會影響系統效能。有三種常見的時脈抖動類型，並且在不同的應用中，某種抖動類型可能比另外兩種更重要。

- 相鄰週期抖動 (cycle-to-cycle jitter) 是指任意兩個相鄰時脈週期之間，時脈週期的最大差異，通常測量 1000 個時脈週期以上。
- 週期抖動 (period jitter) 是指在大量週期 (通常為 10000 個時脈週期) 中，實際週期與理想週期的最大偏差。相鄰週期抖動和週期抖動在計算數位系統的建立和保持定時餘裕時有一定作用，而且是 CPU 和 SoC 元件常見的效能係數。
- 相位抖動 (phase jitter) 是高速 SerDes 應用的效能係數。他是雜訊功率對訊號總功率的比值，是透過對時脈訊號單邊帶相位雜訊所在的偏離載波訊號的頻帶範圍進行積分計算而得。相位抖動在 FPGA 和高速 SerDes 定時應用中非常關鍵，過度的相位抖動會增加高速串列介面的位元錯誤率。

在時脈樹設計和元件選擇期間，基於最大抖動效能來評估元件非常重要。一般的抖動規格並不能確保元件在所有情況下 (包括製程、電壓、溫度和頻率變化) 皆能符合效能。最大抖動涵蓋了這些額外因素，提供更全面的規格。

此外，要特別注意確認時序元件資料手冊上的抖動測試條件。時脈抖動效能在很多情況下都會變化，包括元件配置、工作頻率、訊號格式、輸入時脈轉換速率、供電電源和電源雜訊。要盡可能尋求完全符合指定抖動測試條件的元件，才能確保在更廣的操作範圍內工作。

時脈和振盪器元件選擇標準

一旦確定基本的時脈樹架構，下一個步驟是選擇元件。表 1 匯總了在自由運行和同步時脈樹設計中時脈和振盪器元件的選擇標準。為了降低物料清單 (BOM) 成本和設計複雜度，我們需要尋求簡化時脈樹設計的特性。

Function	XO	VCXO	Clock Generator	Clock Buffer	Jitter Cleaning Clock
Free-Run Operation	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Synchronous Operation	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Clock Multiplication	No	Yes	Yes	No	Yes
Clock Division	No	No	Yes	Yes	Yes
Jitter Cleaning	No	Yes	No	No	Yes
Design Complexity	Low	High	Medium	Low	Medium
Integration	Low	Low	High	High	High
Features That Simplify Clock Tree Design	Small form factor	Small form factor	Any-frequency, any-output clock synthesis	Format/level translation	Any-frequency clock synthesis
			Format translation	Integrated input mux	Integrated VCXO
			VDD level translation	Glitchless switching between clocks at different frequencies	Integrated loop filter
				Clock division	Hitless switching
				Synchronous output clock disable	Holdover
Integrated power supply filtering					

表 1. 時脈元件選擇標準

消除時脈樹抖動

時脈樹設計完成之前，要評估總體時脈樹抖動，以保證有足夠的系統級設計餘裕。相當重要的是，總體時脈樹 RMS 抖動有效值遠低於資料手冊中多個元件規格的簡單相加。時脈樹的抖動定義如下：

$$Tj(RMS) = \sqrt{J_1^2 + J_2^2 + \dots + J_n^2}$$

其中， Tj = 總體抖動有效值， J_n = 單個元件抖動有效值

注意：如果抖動分佈是高斯類型 (Gaussian) 和非相關的，這個方程式可應用於計算總體週期抖動和相位抖動；方程不適用於相鄰週期抖動，那表示是抖動峰值，而不是有效值。

元件抖動可透過資料手冊中的抖動規格進行估算，或從相位雜訊資料中計算。Skyworks 提供簡的工具，把時脈相位雜訊轉換成抖動。詳細資訊，請瀏覽網站：<https://tools.skyworksinc.com/jittercalculator/phase-noise-jitter-calculator.aspx>。請注意用最大抖動規格來生成總時脈樹抖動的保守估計值。

簡化時脈樹設計

除了基本的時脈生成和分配之外，許多時脈還要具備特殊功能。例如，格式/電平轉換（例如 3.3V LVPECL 到 2.5V LVDS）、不同頻率的時脈切換、時脈分頻、接腳選擇的輸出啟動控制和為降低電磁干擾 (EMI) 的 CMOS 驅動強度（輸出阻抗）控制。如果採用 離散式設計，實現這些功能將為時脈樹設計增加大量成本和複雜性。Skyworks 推出的 Si5330x 通用緩衝器/轉換器系列產品，整合格式/電平轉換、時脈多工、時脈分頻和其他 關鍵的時脈樹功能。上述元件可以用單個時脈緩衝器 IC 取代多個 LVPECL、LVDS、CML、HCSL 和 LVCMOS 緩衝器。除了簡化時脈樹設計（見圖 2），Si5330x 晶片最大限度的降低 BOM 成本和設計複雜度，簡化採購過程，並提高系統效能。

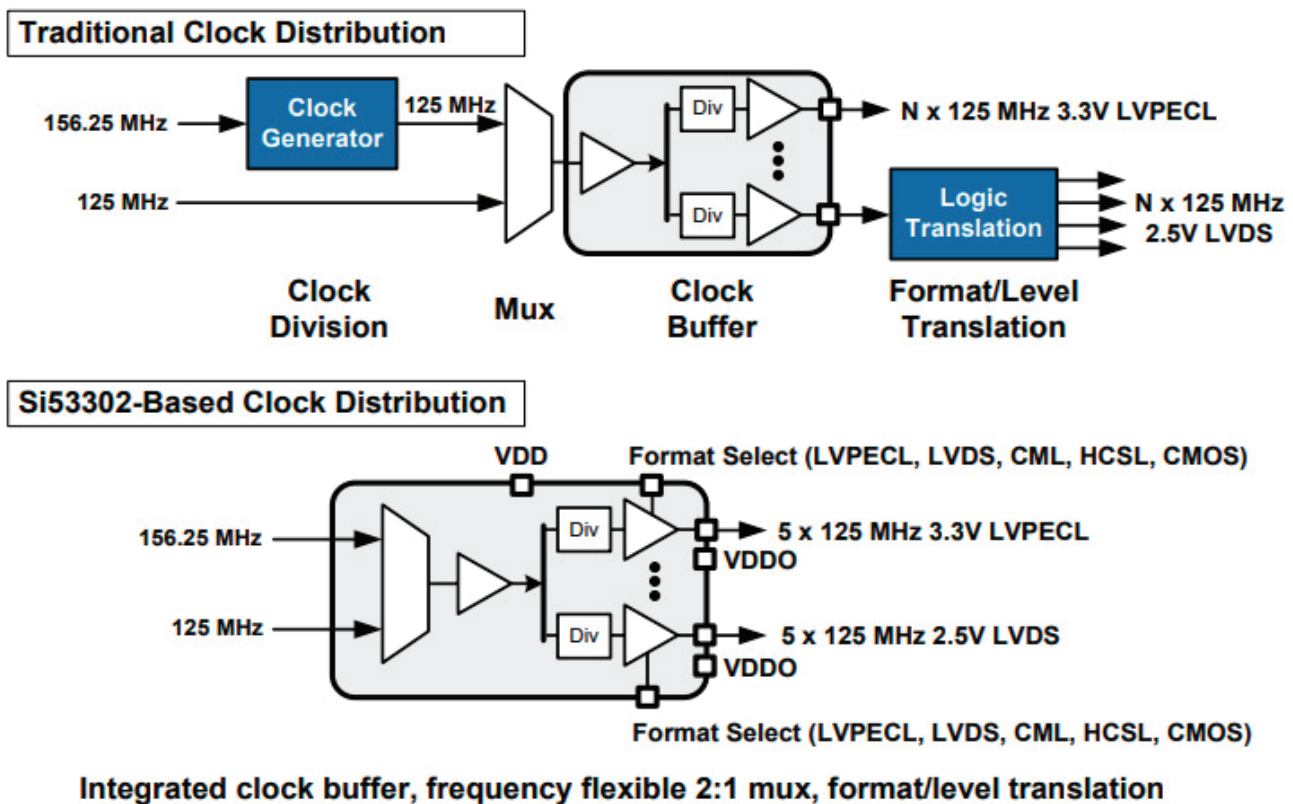


圖 2. Si5330x 時脈緩衝器 IC 簡化時脈樹設計

Skyworks 提供業界最廣泛的頻率靈活的時脈產品組合，包括時脈產生器、時脈緩衝器、抖動消除時脈和 XO/VCXO。透過這一完整的產品組合，Skyworks 提供業界最高效能和整合度的時脈樹解決方案。

Skyworks 致力於投資研究與開發，以幫助我們的客戶採用創新的低功耗、小尺寸、模擬密集型混合信號解決方案開發差異化的市場產品。Skyworks 廣泛的專利組合證明我們具有獨特的发展方式和世界一流工程團隊。



SKYWORKS[®]

Connecting Everyone and Everything, All the Time.

Skyworks | Nasdaq: SWKS | skyworksinc.com | sales@skyworksinc.com

USA: 949-231-3000 | Asia: 886-2-2735 0399 | Europe: 33 (0)1 43548540



Copyright © 2017-2022 Skyworks Solutions, Inc. All Rights Reserved.
ClockBuilder、DSPLL、Ember、EZMac、EZRadio、EZRadioPRO、EZLink、ISOmodem、Precision32、ProSLIC、QuickSense、Skyworks Solutions, Inc. 和 Skyworks 标志是Skyworks.的商标或注册商标。ARM和Cortex-M3是ARM 控股公司的商标或注册商标。ZigBee是 ZigBee Alliance, Inc.的注册商标。所有其它产品名称可能各自属于相应公司的商标