

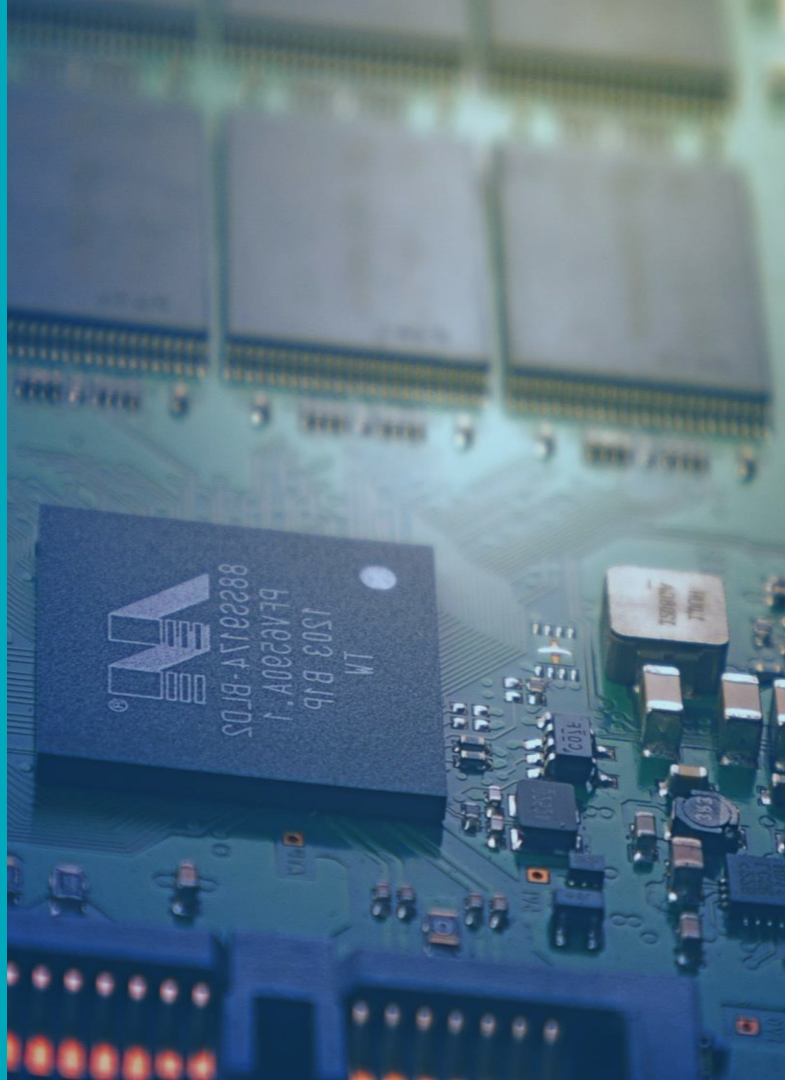


SILINTECH

以IC竞争力分析的视野 深入洞悉ToF芯片

冯琪

苏州芯联成软件有限公司



通过对芯片内部电路的提取、整理与分析，实现对芯片的**系统架构、设计细节、工艺制程、器件与版图结构**等全方面的深入洞悉，了解芯片设计的前沿趋势与技术发展路线，分析技术难点，规避专利陷阱，消化吸收核心设计理念，加速新产品的研发和技术再创新，助力国产替代等战略需求。

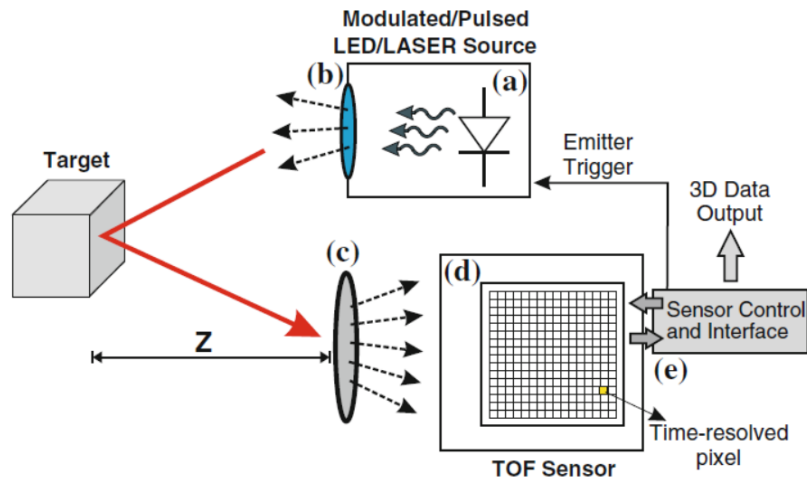
从集成电路设计的发展历史来看，通过IC竞争力分析服务了解市场现有芯片的技术路线和设计信息是被国际各大芯片设计公司普遍采用的技术手段，是集成电路设计不断进步的重要推力，对于当前中国集成电路设计的加速发展更是必不可少。

苏州芯联成软件有限公司(Silintech)成立于2015年，主要从事芯片工艺分析，EDA软件研发和IC竞争力分析等业务，拥有国内领先水平的专业芯片分析实验室，能为客户提供成熟的14nm以上芯片分析技术服务。公司自主研发的EDA软件系统BunnyGS，不仅能为客户提供快速和高质量的IC竞争力分析服务，还能提供全定制化的分析解决方案。



ToF是Time of Flight的简写，直译为飞行时间，是一种光学测距技术，通过给目标连续发送光脉冲，然后用传感器接收从物体返回的光，通过探测光脉冲的飞行时间来得到目标物的距离。

- a、近红外脉冲/调制发光源
- b、光学扩散器
- c、聚光镜
- d、ToF传感器芯片
- e、通讯接口

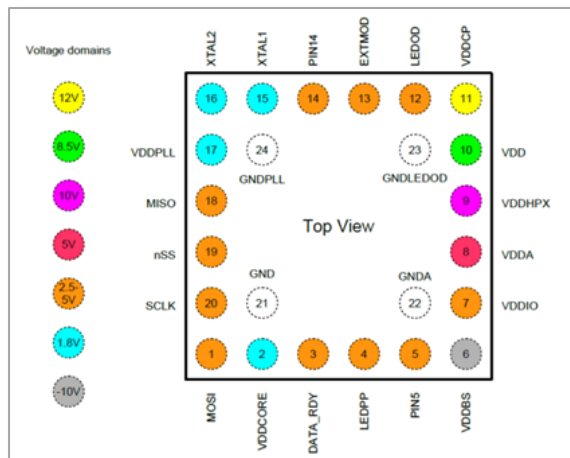
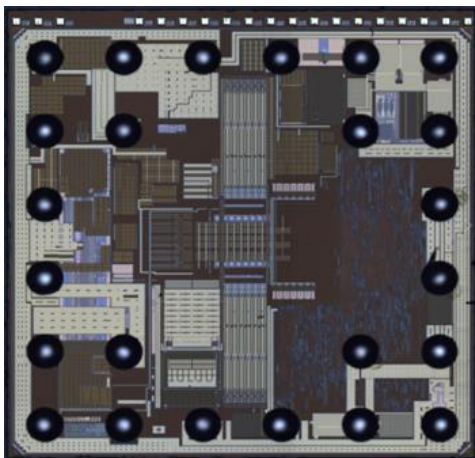


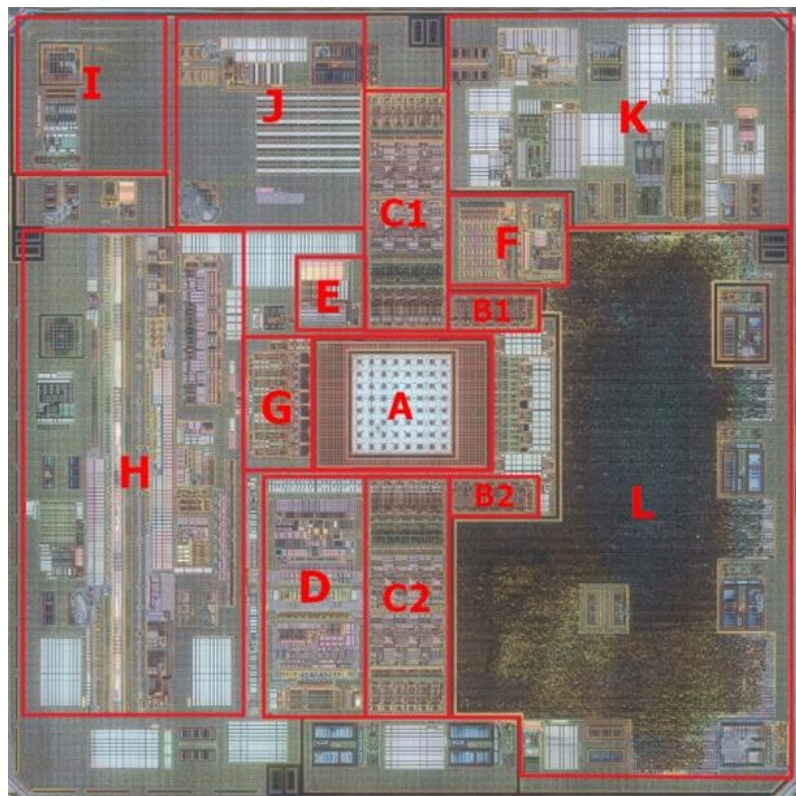
- 与基于结构光 (Structured Light) 的三角测距法相比, ToF具有体积小、低功耗、成本低、测量距离远、3D信息重构速度更快与光学环境要求低等特点。最新的苹果iPhone 12也抛弃了之前的结构光, 转而采取ToF镜头。
- 可搭载于工业机器人和无人机等移动设备, 在安防监控、工业视觉和无人驾驶等领域广泛应用, 实现移动物体探测、精确避障和SLAM数据采集等。
- 在虚拟现实 (Virtual Reality) 和现实增强 (Augmented Reality) 应用上, ToF深度感知测量更是核心技术。
- 据IC Insights报告估计, 到2021年时, ToF技术驱动CIS市场规模将达到159亿美元, 年出货量将破80亿颗。



Espros EPC611 ToF Imager

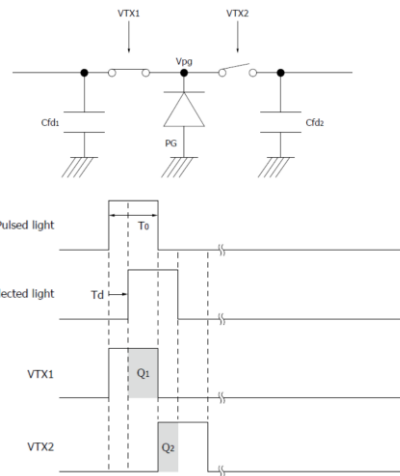
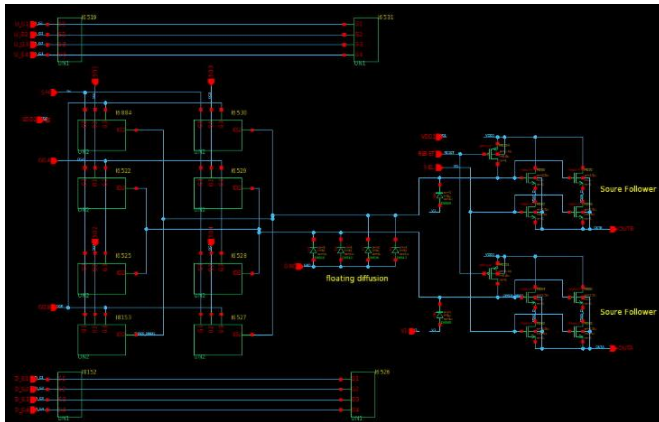
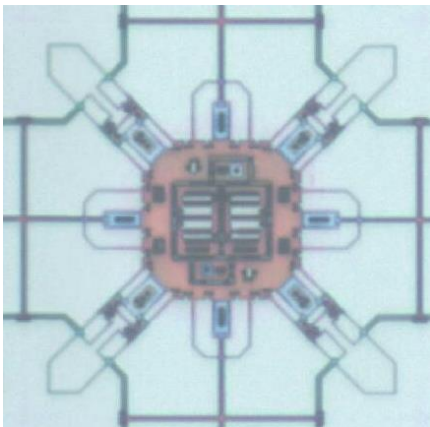
芯片的外形尺寸为2.6mmX2.6mm，采用24针脚的WLCSP芯片级封装，通过工艺分析确定了芯片的制造工艺为TSMC 0.13um 6M1P CMOS工艺。芯片的整个Psub衬底被隔离成了4块区域，分别对应数字区，模拟区，LED驱动区和PLL时钟调制区，其衬底地通过不同管脚引出，可以有效隔离不同区域噪声串扰。芯片外部输入8.5V电源电压和-10V传感器偏置电压，其他所需电压均通过内部电源管理模块生成，包括了4个LDO降压变换器和1个电荷泵升压变换器，所有的调压电路都配有过压和欠压保护。芯片的中央为一个8x8阵列的近红外（850nm峰值波长）光电传感器，探测器阵列采用背照式入射光，因此芯片厚度被减薄至250um。





模块	功能定义	功能描述
A	CCD	CCD结构光电传感器阵列
B	SAT_DETECT	光电传感器输出信号饱和检测
C	COL_ADC	光电信号列放大读出和12位模数转换
D	ABS	环境光积分检测和消除
E	TEMP_SENSOR	用于校准的测温电路
F	EEPROM	存储缺省配置和校准数据的EEPROM
G	ROW_VDRIVER	行扫描电压驱动模块
H	PMU_AND_REF	芯片内部电源管理和基准产生
I	HV_GEN	高压电源生成
J	LED_OD_DRIVER	LED模拟驱动输出
K	SYS_CLOCK	系统时钟的生成、调制与移相控制
L	MC_DG	芯片核心数字控制模块

➤ **PhotoDiode Pixel Cell Structure** (CMOS工艺实现的仿CCD高速电荷转移结构, 纳秒级转移速度, 单电源)



$$V_{out1} = Q_1/C_{fd1} = N \times I_{ph} \times \{(T_0 - T_d)/C_{fd1}\}$$

$$V_{out2} = Q_2/C_{fd2} = N \times I_{ph} \times (T_d/C_{fd2})$$

$$T_d = \{V_{out2}/(V_{out1} + V_{out2})\} \times T_0 \quad \text{When } C_{fd1}=C_{fd2}$$

C_{fd1}, C_{fd2} : integration capacitance of each output

N : charge transfer clock count

I_{ph} : photocurrent

T_0 : pulse width

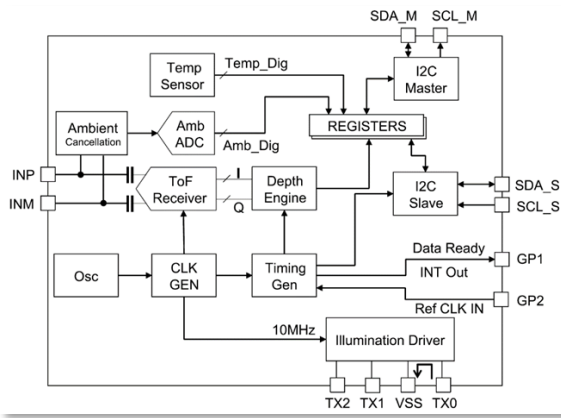
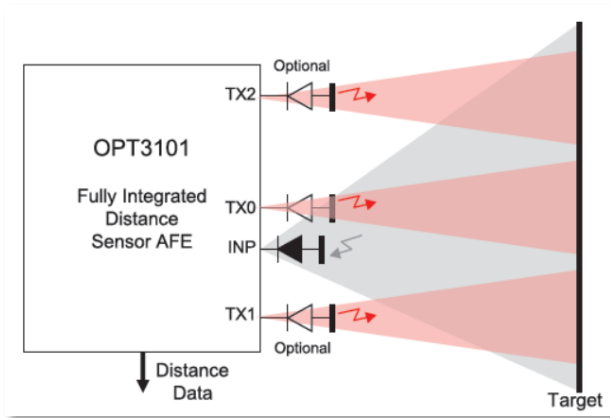
T_d : delay time

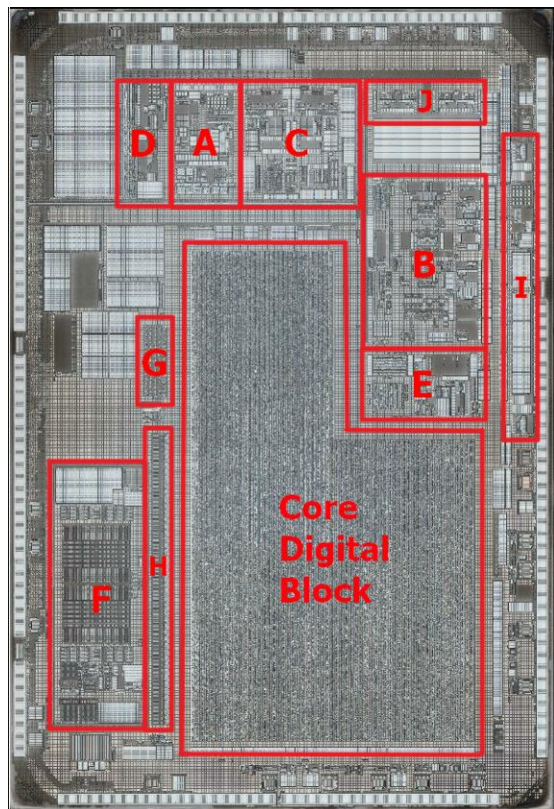
T_d : delay time

$$L = 1/2 \times c \times T_d = 1/2 \times c \times \{V_{out2}/(V_{out1} + V_{out2})\} \times T_0$$

TI OPT3101 (AFE based on ToF)

OPT3101芯片是一颗基于Indirect-ToF原理的全集成AFE，适用于远距离精确测距。该芯片集成了完整的深度信息处理链路，包括信号输入放大与ADC、时序序列器和数字计算引擎。该芯片还集成了一个DAC控制调节的照明驱动电路，环境光抑制抵消电路以支持非常高的环境条件。时序序列器具有高度可配置性，能够针对特定应用提供功耗与性能之间的折衷。该器件提供包含相位、振幅和环境测量结果的深度数据。校准子系统支持相位数据校准，从而校准温度和串扰导致的不准确性。

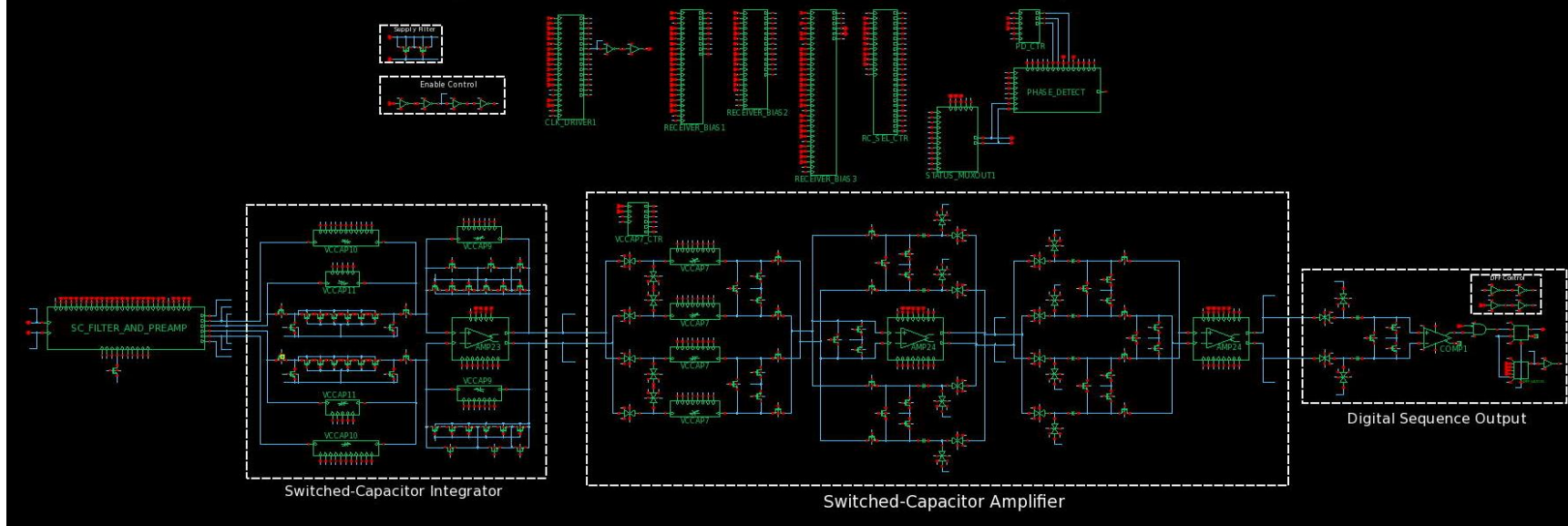




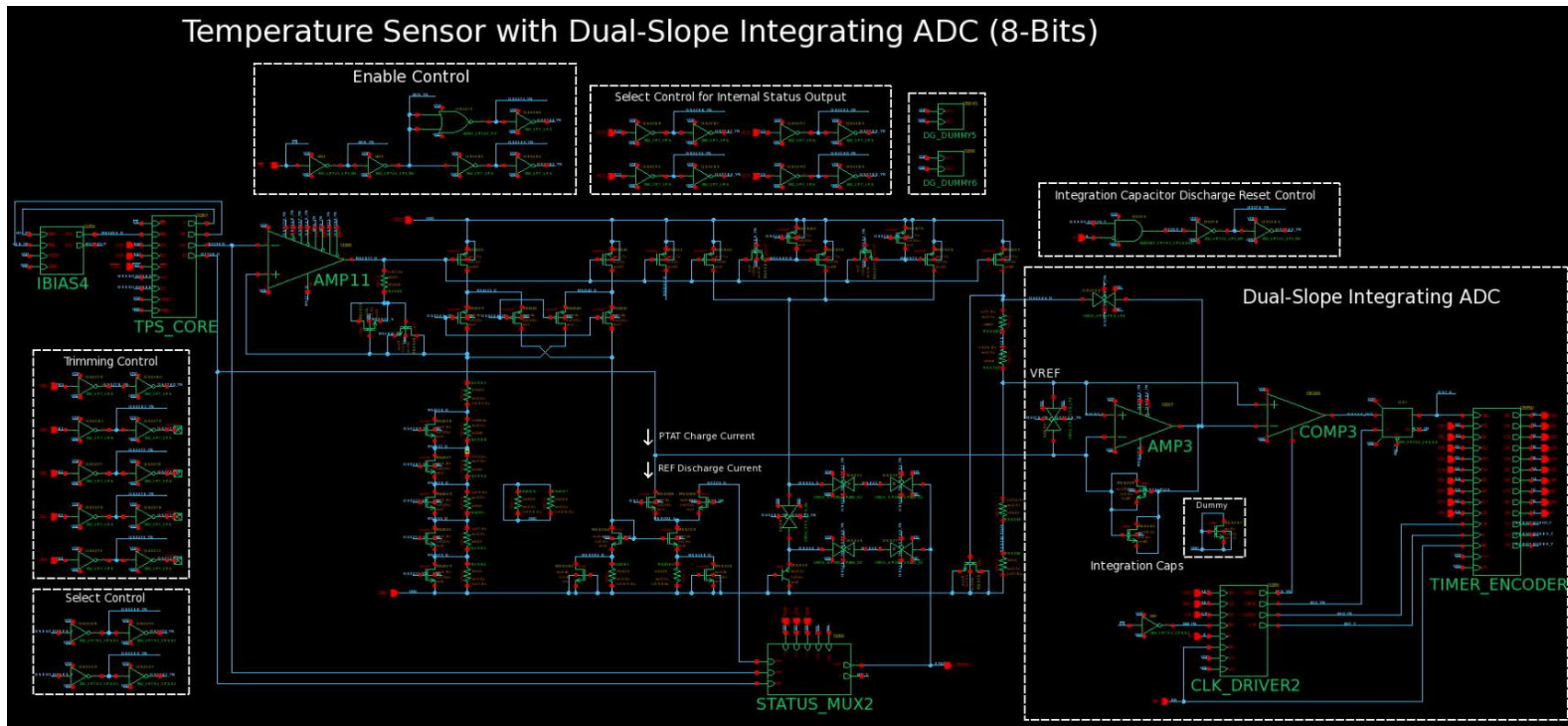
BLOCK	DEFINATION	Functional Description
A	PRIMARY_BIAS	芯片的电压和电流偏置
B	TOF_RECEVIER	ToF 信号输入与16位Sigma-Delta ADC转换
C	AMBIENT_CANCELLATION	用于环境光抵消的信号输入与16位Sigma-Delta ADC转换
D	TEMP_SENSOR	温度检测与8位双斜率积分ADC转换
E	CLOCK_BLOCK	时钟序列器
F	LED_DRIVER	多通道可选LED驱动输出
G	MEMORY	移位寄存器,基于Mfuse的OTP
H	OTP	基于Pfuse的OTP
I	REGULATOR	生成1.8V电压的2个LDO模块
J	DC_BIAS	外部光电检测管偏置控制

ToF Receiver Block

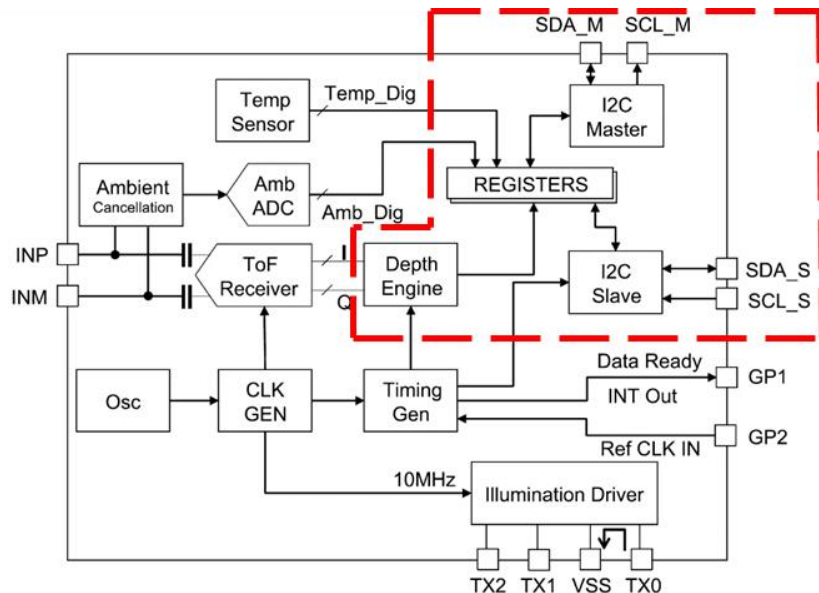
ToF Signal Receiver Path with Sigma-Delta ADC Output



Temperature Sensor and ADC Block



OPT3101核心数字模块功能

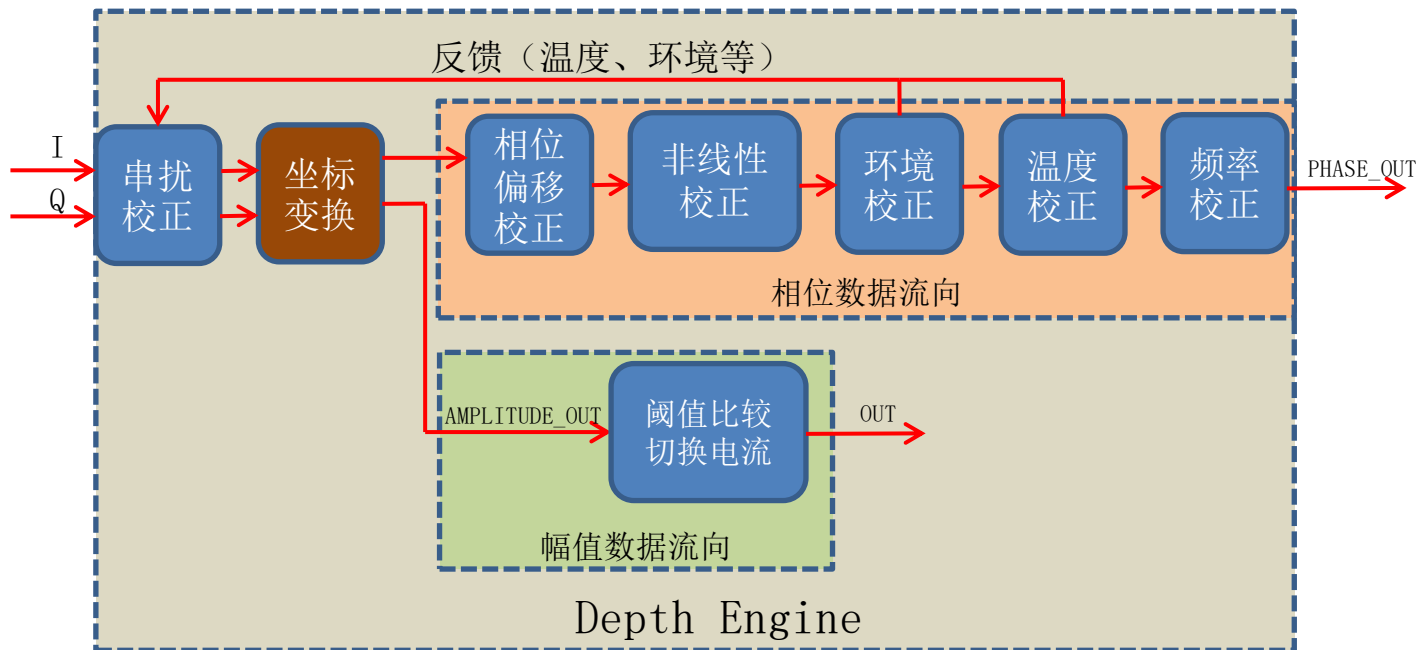


OPT3101数字部分:

1. I2C主机;
2. I2C从机;
3. Depth Engine深度引擎;
4. REGISTERS寄存器组。

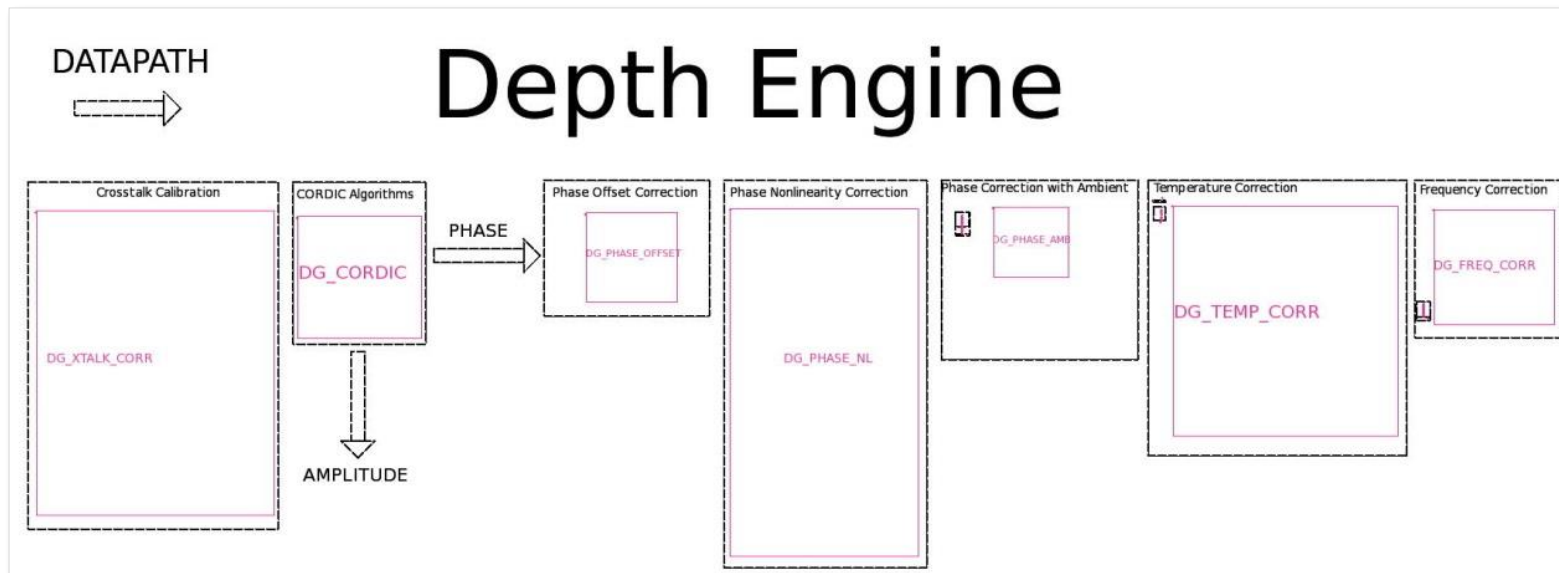
OPT3101功能框图

深度引擎 (Depth Engine) 数据流分析



深度引擎数据流向图

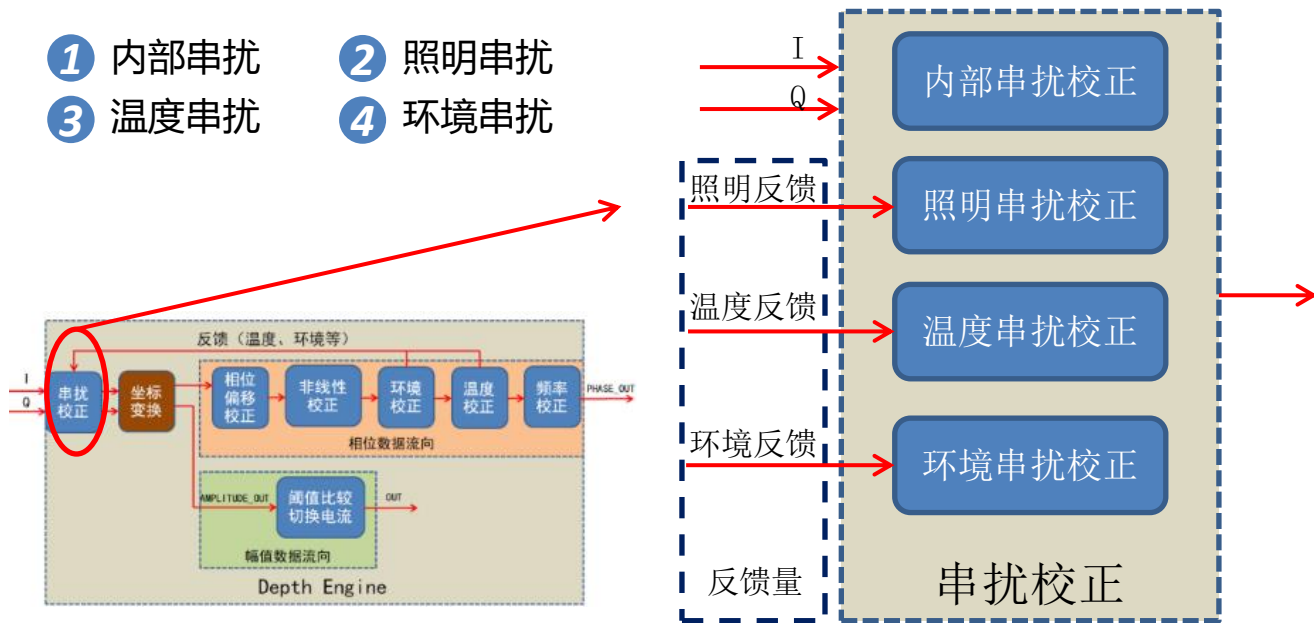
深度引擎整理后顶层电路图



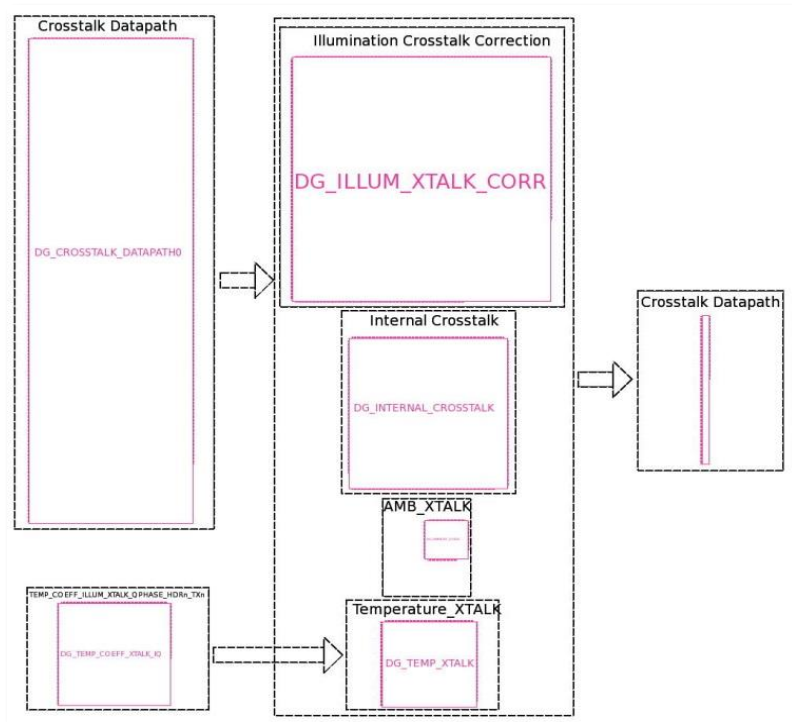
串扰校正模块

串扰 (Crosstalk) 校正：校正高频驱动和温度照明带来的串扰量。

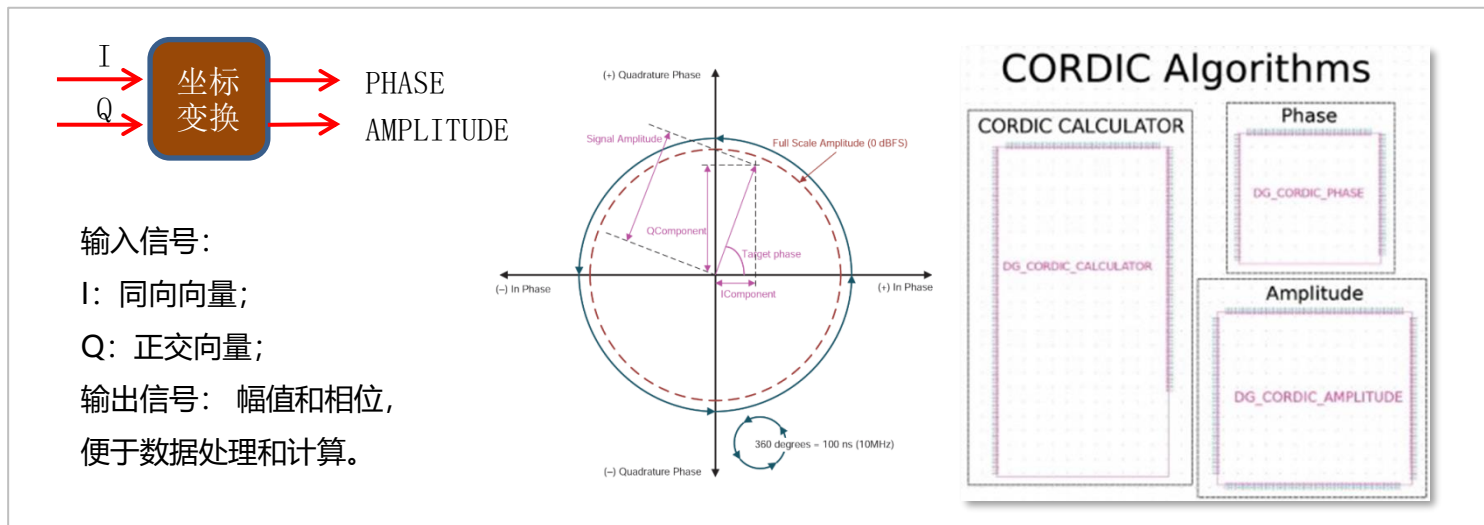
- 1 内部串扰
- 2 照明串扰
- 3 温度串扰
- 4 环境串扰



串扰校正模块整理后顶层电路



坐标变换模块

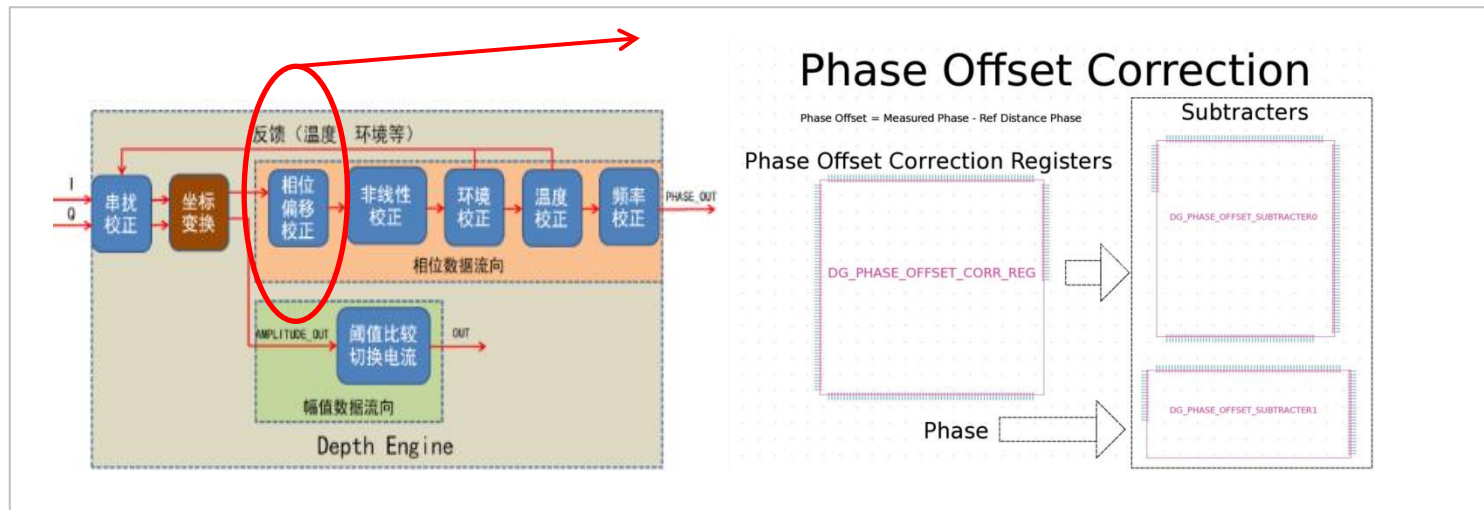
坐标变换：CORDIC算法实现 $(I + j*Q) \rightarrow (\text{AMPLITUDE}, \text{PHASE})$ 

ToF 信号的矢量图表示

相位偏移校正模块

相位偏移 (Phase Offset) 校正:

$$\text{Phase Offset} = \text{Measured Phase} - \text{Ref Distance Phase}$$

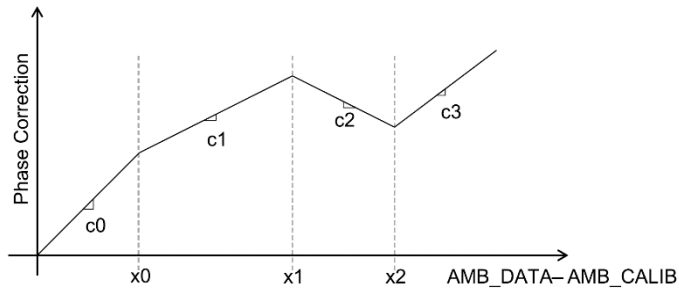


环境校正模块

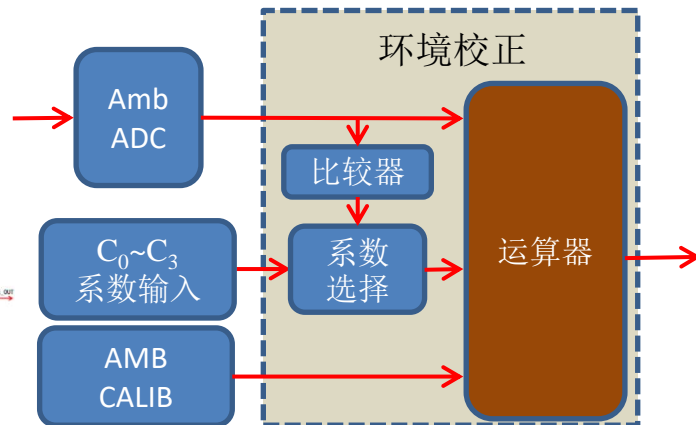
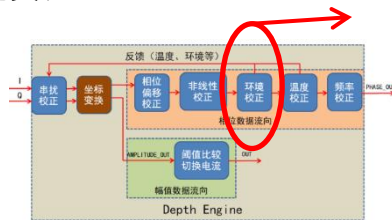
环境 (Ambient) 校正:

使用分段线性 (PWL) 算法校正因环境光影响光电二极管带来的误差。

片上Ambient ADC输入AMB_DATA。



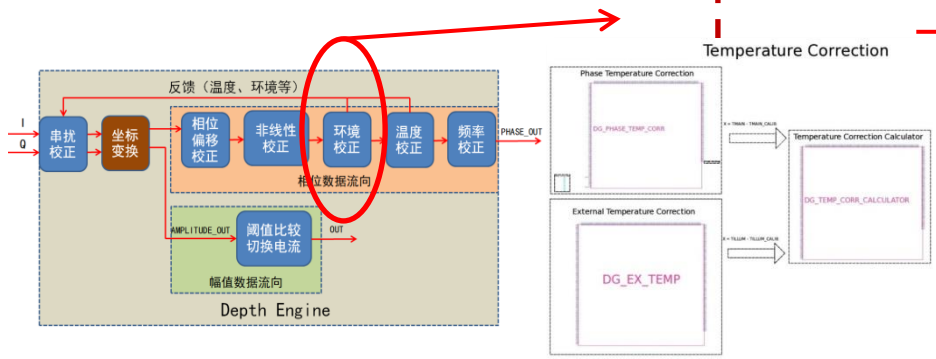
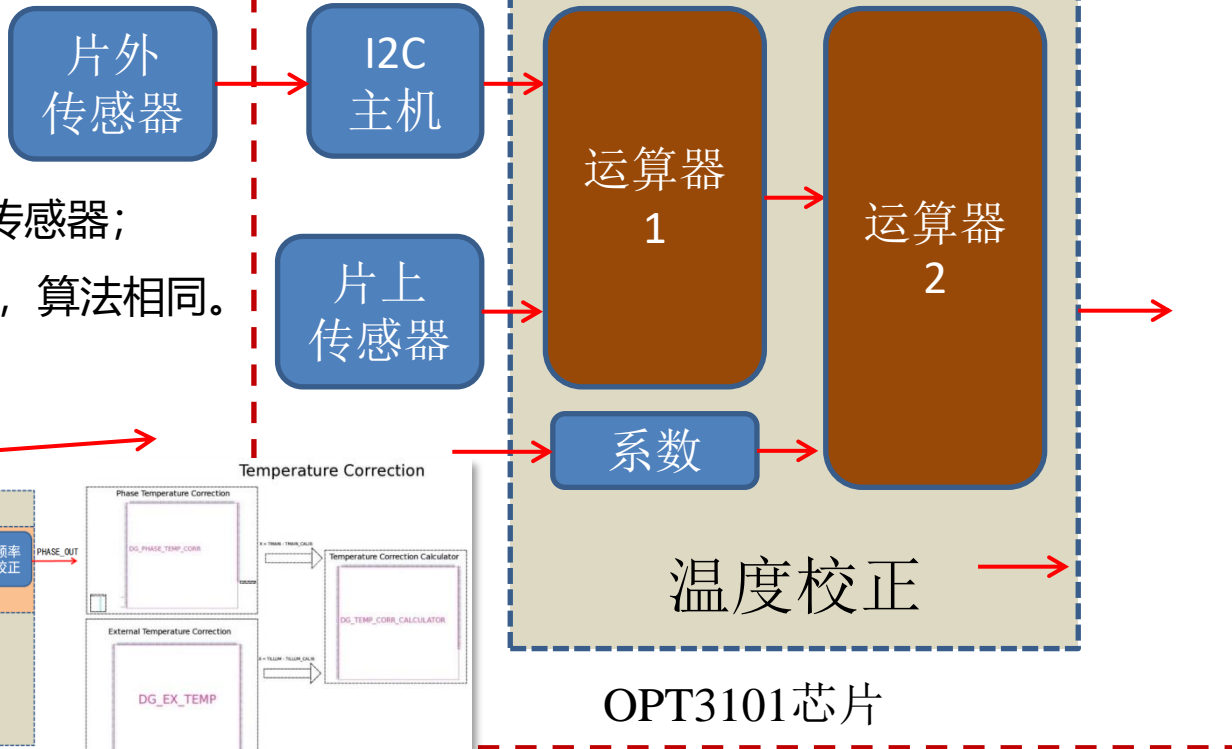
分段线性校正环境因素的实现



温度校正模块

温度 (Temperature) 校正:

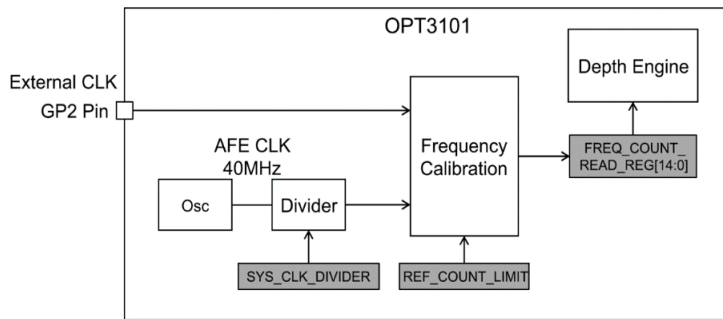
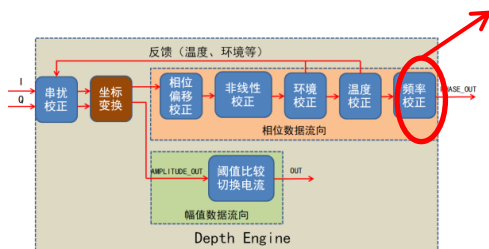
- 1. 芯片内置温度传感器;
 - 2. 作为I2C主机读取片外温度传感器;
- 两种方式, 温度数据来源不同, 算法相同。



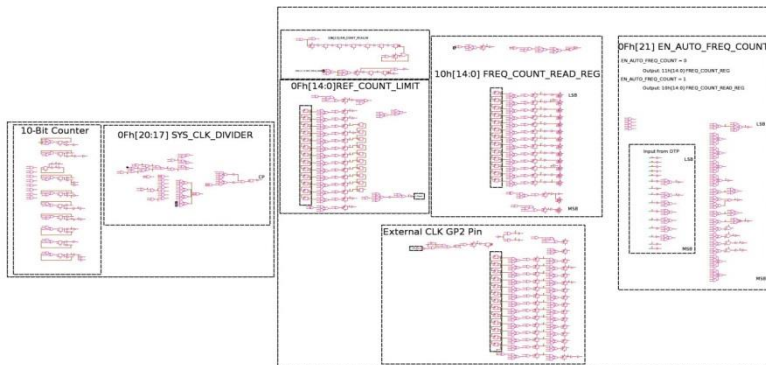
OPT3101芯片

频率校正模块

- 频率 (Frequency) 校正: 1.使用外部参考时钟 (GP2 Pin) 外部低频参考时钟进行内置频率校正
2. 片上频率微调 (Osc) Osc提供频率在3%的范围内微调



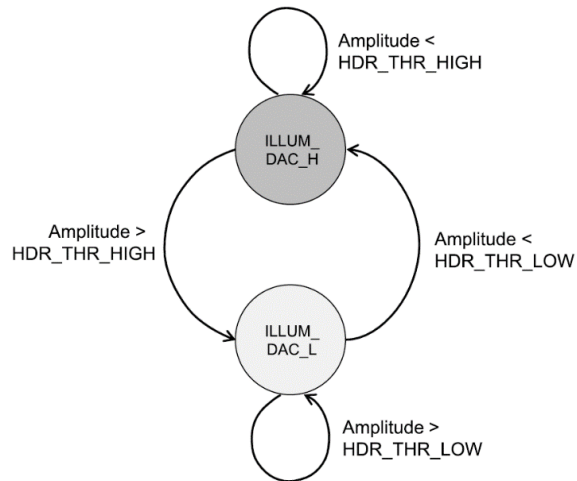
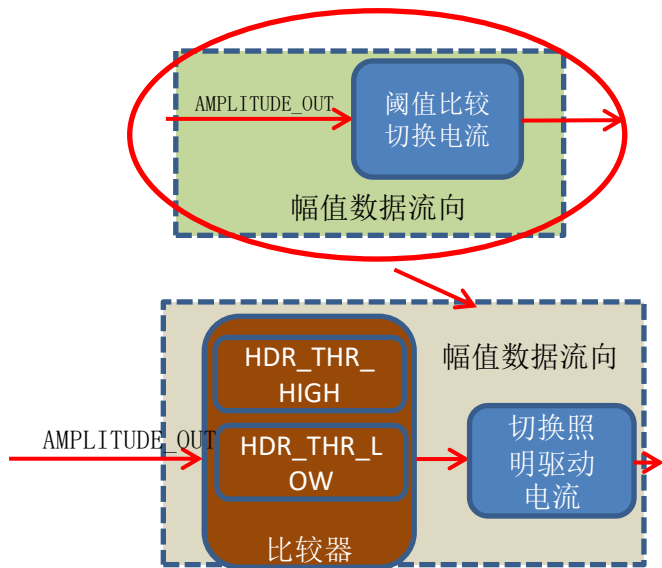
频率校正模块框图



幅值数据流向

幅值 (Amplitude) 数据流向:

在Auto HDR状态下, 幅值与阈值进行比较, 切换照明驱动电流。

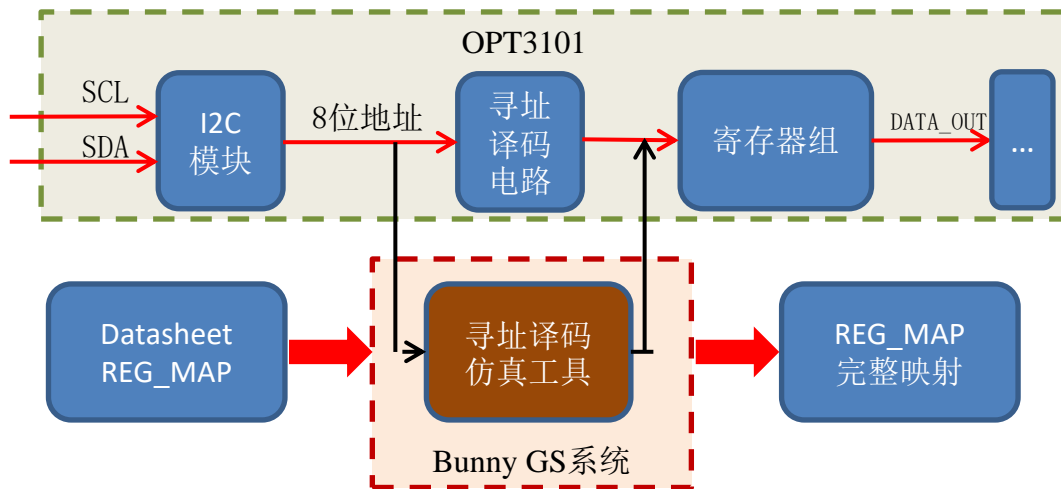


Auto HDR模式状态图

寄存器组整理工具

功能描述：

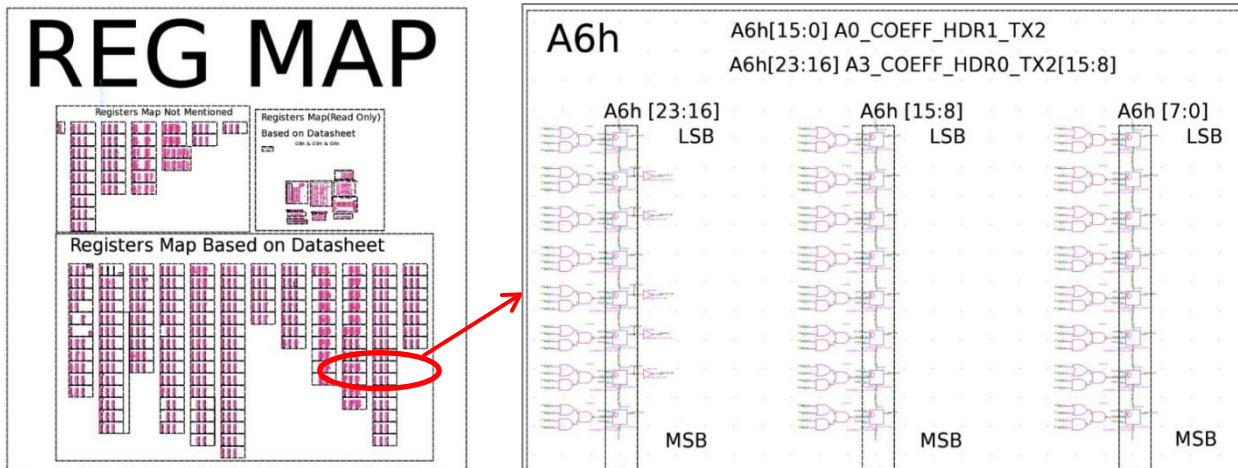
通过芯联成自主研发的Bunny GS内嵌的寻址译码仿真工具，可快速、精确得到寄存器的全部地址映射，便于数据分析和信号追踪。



寄存器组整理效果

OPT3101寄存器组整理:

完成datasheet中定义的140个地址（24位）的Register Map完整映射，**精确到位**。包括了datasheet里未提到的29个内部寄存器。



在这个技术革新日新月异的时代，

苏州芯联成软件有限公司与全球领先趋势共同成长！

帮您快速学习，掌握集成电路一线大厂的先进设计理念与成熟解决方案！



苏州芯联成软件有限公司

为各种工艺制程的集成电路产品提供定制的分析服务

苏州芯联成软件有限公司(Silintech)成立于2015年，主要从事芯片工艺分析，EDA软件研发和电路竞争力分析等业务。2016年，在苏州建有专业芯片分析实验室，拥有多台SEM，ICP，RIBE等各类分析设备，能为客户提供成熟的芯片工艺分析技术服务。公司自主研发的EDA软件Bunny，为客户提供更完整、快速、先进与创新之高质量电路分析技术服务，与全球领先趋势共同成长。

ABOUT US





SILINTECH

THANK YOU

www.silintech.com