

智能集成：整合模拟元件和ARM微控制器内核，解决棘手的嵌入式系统问题

作者：Colin Duggan和Denis Labrecque，ADI公司

鉴于在性能、成本、功耗、尺寸、新功能和效率等方面宏大的提升目标，未来嵌入式系统的设计面临着复杂的挑战。不过，一种有望解决这些复杂问题的设计选项已开始崭露头角——即模拟元件与ARM®微控制器内核的智能集成。这种方案与传统模拟集成的区别在于，新方案具有超高的性能，还经过了多种优化，以解决具体的系统级问题。虽然每个市场对这些提升领域的优选次序都有着自己的认识，但同时满足多个因素的要求实为众望所归，可以通过集成多个分立式元件来实现。从逻辑上讲，组合多个器件可以实现这些嵌入式系统目标中的一大部分，但只是简单地把多个分立式元件与一枚处理器集成到一个封装之中，这并非答案所在；解决方案要复杂得多，需要智能集成。

模拟与数字的智能集成

高性能模拟元件(放大器、ADC、DAC、基准电压源、温度传感器、无线收发器等)与ARM 32位处理器内核的智能集成，再加上正确的数字外设，这种方式可以实现分立式解决方案无法望尘莫及的目标。为了构造出最佳混合信号控制处理器，不但需要对整个系统有着深入的了解，需要知晓是否有正确的知识产权(IP)可用，同时还具备有关该知识产权的专业知识。毫无疑问，负责为这些集成器件制定功能要求的芯片设计师和系统工程师必须对最终应用需求有着充分的了解。这种领域知识至关重要，包括对电路板级要求的深入了解，包括尺寸、温度范围、制造考虑因素、功耗、成本和信号链中的配套元件。图1所示为智能集成器件中经常用到的模拟和数据IP模块。

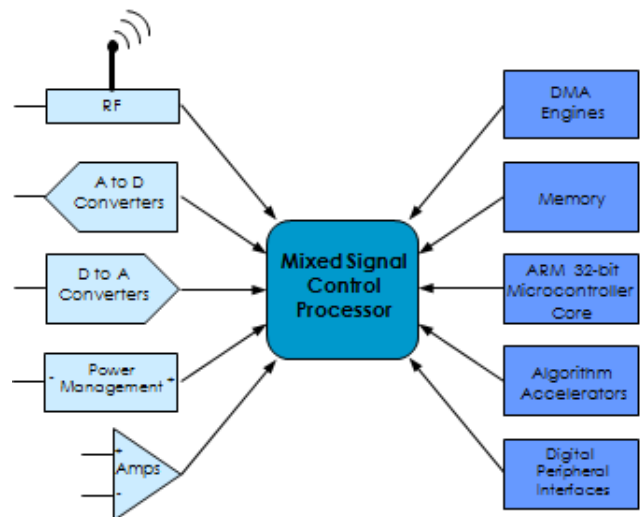


图 1. 智能集成：针对目标应用而优化的模数组式IP

有正确的知识产权可用，这是实现系统级目标的有力起点。这个起点是缩短混合信号控制处理器开发周期的必要条件。越来越多地，适用于具体应用的知识产权本身的获取/形成和实施需要由半导体制造商来协调。在此基础上，还需要对这些知识产权进行调整以满足两点具体要求。第一点是基于主要目标应用的需求优化性能和运行，由此实现系统级效益的最大化。第二点是优化知识产权，使其与混合信号控制处理器中的其他补充性知识产权模块良好、方便兼容。

最后，在业务层需要有协调机会，将系统制造商与半导体制造商的专长和知识有机地结合起来，从而实现独特的优化设计。

混合信号控制处理器应用

有许多应用都可以从集成了高性能模拟和ARM微控制器内核的器件受益，包括温度检测、压力检测、气体检测、太阳能逆变器、电机控制、医疗生命体征监护、汽车监控系统以及水表/电表/气表。本文将考察两个具体的应用领域，其中，优化高性能模拟与ARM微控制器内核的集成可在成本、功耗、尺寸和性能四个方面带来极大的优势：

1. 太阳能光伏(PV)系统专用逆变器, 其目标是提高效率, 降低物料(BOM)成本, 集成智能以支持与智能电网的连接。
2. 电机控制, 其目标是提高效率以促进环保事业, 以及降低成本。

请注意，尽管这些智能集成混合信号器件是针对具体的最终应用而优化的，但它们也可以很好地用于功能要求类似于主要目标应用的关联应用。

太阳能光伏逆变器：降低成本以扩大应用范围，集成智能以支持智能电网

在过去5年中，尽管太阳能光伏发电系统的年增长率超过50%，但其在全球电力总装机量中所占比重仍然很小。尽管在某些地区，太阳能光伏发电已实现与化石燃料发电的平价，但在多数地区，这一目标尚未实现，而这种平价又多取决于政府补贴。

为了提高与传统能源(如天然气、煤、石油)的竞争优势,太阳能光伏发电降低成本的最佳方式是既提高效率,又降低系统BOM成本。一方面,太阳能面板的成本和效率朝着正确的方向发展,另一方面,新技术也为太阳能光伏逆变器的进步提供了保障——这是太阳能面板发电与电网之间的接口。这些新技术包括NPC 3级/5级/多级、高频开关拓扑结构,采用基于碳化硅(SiC)和亚硝酸镓(GaN)材料的快速功率晶体管。

图2所示为一种二级太阳能光伏逆变器系统。来自面板的电能为直流源，被转换成交流电，以馈入电网。第一级为DC-DC转换，将电平升高，以使其兼容电网峰值电压。第二级为DC-AC转换。红线所标区域所示为低电压控制元件，当与单混合信号控制处理器相结合时，可产生系统级效益。通过将多个元件集成到单个器件之中，通过提高新高速开关拓扑结构的效率，由此实现节省成本的目标。结果降低了单位kW的装机成本。由于可以使用较小电感，因此还可以通过新型拓扑结构来节省成本。这既有利于节省BOM成本，同时还可减小逆变器的尺寸。

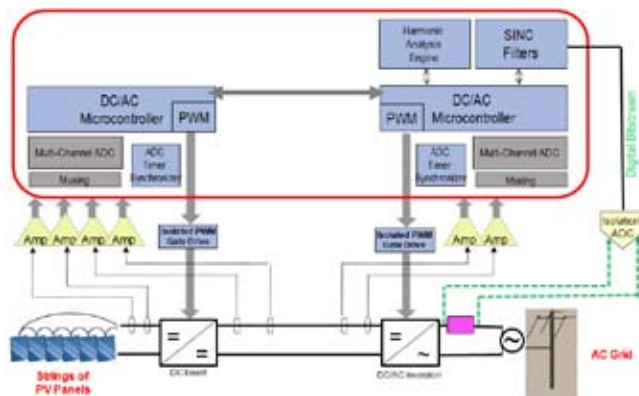


图2. 二级太阳能光伏逆变器系统功能框图;
红色区域所示为智能集成模块

高速逐次逼近型寄存器(SAR) ADC非常适合这种应用，因为，此类ADC拥有适当的精度(13 ENOB)，其超快的转换速率可支持较高频率的控制环路，能对多个输入通道进行多路复用，还具有低延迟($<1\mu\text{s}$)的特性。该系统有两个ADC，用于对电网电流和电压进行同步采样。需要大量输入通道来连接ADC，以便对系统中的多个点进行监控——有时最多需要24个通道。为满足该要求，我们设计了带缓冲功能的特殊多路复用通道，并与ADC接口。

为了支持多级转换和高速控制环路，需要选择架构性能适当且具备高速运行能力的处理器内核。在本例中，设计温度范围运行速率大于200 MHz的ARM Cortex™-M4即可满足该需求。

正弦滤波器(如图2所示)与隔离式ADC结合使用。这样可对电网中的电流以及直流注入进行测量,以防止变压器饱和。传统方法是用一个霍尔效应电流传感器,但与隔离式ADC相比,这种方法成本较高。该方法假定,正弦滤波器集成于混合信号控制处理器之中,从而消除了物料清单中表现为可编程逻辑的额外芯片的必要性。另外,相对于霍尔效应传感器,ADC正弦滤波器组合的隔离还具有线性度更佳的额外优势,有利于减少谐波失真。

随着电网智能化步伐的加快，太阳能光伏逆变器将需要具备更多智能，以帮助解决电网不平衡问题。这是指来自多个源的电力超过需求的情况。为此，业界十分重视光伏系统智能，以电网整合为目标，电网的每个供电商必须相互合作以实现电网的稳定。电网整合要求更好地对馈入电网的电进行测量、控制和质量分析。一种专门为电网电力质量监控而设计的谐波分析引擎有助于满足该需求。通过计算几个变量(包括谐波失真、功率、rms电压、rms电流、VAR、VA和功率系数，可以实现对电力质量的监控。用于执行这些计算的专用引擎不但可以带来超高的精度，同时还能减轻ARM Cortex-M4内核的负担，使其无需执行该任务。

利用在设计时充分考虑了这种最终应用的混合信号控制处理器，太阳能逆变器可以在系统层面获得极大的优势。基于对市场趋势的了解以及坚实的系统知识，可以打造出智能化集成芯片，这种芯片不但能支持新一代拓扑结构，减少芯片数量，同时还能带来更多功能以支持与智能电网的接口。

电机控制：提升效率，增进环保事业，发扬全寿命成本节省精神

在关于发电方式的环保担忧之外，人们还十分关心能源的使用效率问题。鉴于电机占全球用电量的40%，所以问题是如何提高这些系统的环保性。答案在于提高其效率，由此减少能耗。通过普及高效电机而节省的能量十分可观：每年可节省数千亿千瓦时的用电量，可减少大气中二氧化碳排放量数百万吨。显然，高效电机的影响具有十分重要的意义。

具体地，有多个关键因素推动着高效电机的应用。其中一个环保问题推动的政府立法。欧盟已经实施相应的法规，将来还会实施更多法规，强制要求使用更高效的电机系统。另一个关键推动因素是全寿命成本优势。在电机控制系统的成本中，材料约占15%，运行所用能源成本占85%。可见，通过提高效率，降低电机系统全寿命成本的潜力是非常巨大的。

提高效率的方式包括特别的电机设计，电机类型的选择，为不具备这种控制的系统添加可调速驱动器(ASD)，以及针对效率而优化的控制算法。就特别的电机设计和特定电机类型的选择而言，永磁电机一直是关注重点，其使用呈增长之势。永磁电机的效率最高可达96%，超过了欧洲超高效能效标准(IE3)。

智能集成式混合信号控制处理器有可能实现ASD和控制算法的改进。以成本优势明显的方式集成基于ARM的CPU子系统、PWM、ADC和多路复用功能，结果可以在系统层省去ASD的物料成本。

利用转换时间较快的高精度ADC，可以改进控制算法。结果可增进电机系统的总体效率。精度高于12位的ADC可提高精度，用来控制相位电流。然而，不能用采样转换延迟控制来换取更高的精度。这样就不能选择通过均值或过采样方式提升SNR的ADC。需要以终端机器(比如，贴片机的运动速率来测量变量。快速转换时间，加上快速ARM微控制器内核，可以加快控制环路的运行速率，改进响应时间，缩短建立时间。反过来，这又能提高生产线系统的吞吐量和效率，从而降低生产成本。

就如太阳能光伏应用一样，SAR ADC是电机控制的良好选择。在电机控制的例子中，可以设计出高性能SAR ADC，无需均值或过采样也可达到要求。

图3中的各种知识产权模块都经过精心设计，相互配合良好。需要的结果是一种高度敏捷的仪器仪表子系统，可以采集多个计划精确的采样，并高效地将其交付给ARM的主存储器。对于电机控制，相位绕组电流和其他测量值均可在PWM周期中的精确指定点进行同步采样。在此基础上，采样数据可以在不产生开销的情况下高效地移至微控制器的存储器以进行处理。为了实现这一目标，混合信号控制处理器中有5个不同的模块需要协同工作。

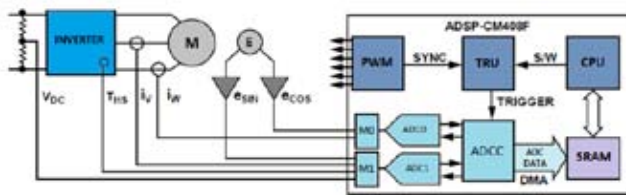


图3. 电机控制系统功能框图

周期开始时，发送一个PWM脉冲到触发路由单元(TRU)，后者负责将触发主机连接至触发从机。在本例中，PWM为触发主机，ADC控制器(ADCC)定时器为触发从机。ADCC需要具备管理大量事件的能力，并使用定时器(TMR0/TMR1)来跟踪从PWM触发到启动特定ADC事件所需时间。在定时器与特定事件相匹配的情况下，选择的是ADC输入多路复用(M0和M1)和通道(ADC0和ADC1)。接下来，将转换开始信号发送至ADC。采样数据从ADC移至ADCC，然后从ADCC通过DMA移至微控制器SRAM。

下面的图4所示为PWM脉冲、PWM同步和ADCC所控制ADC事件之间的相对时序。

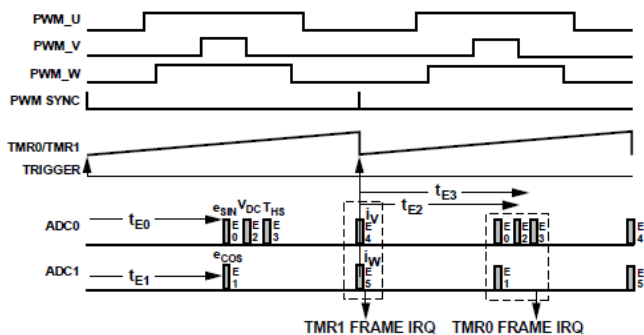


图4. 用ADC对5个不同电机控制变量进行采样的时序

对于面向电机控制的混合信号控制处理器设计，其在PWM、TRU、多路复用、缓冲、SAR ADC和DMA方面有着良好的知识产权基础。然而，为了在PWM周期中实现ADC采样的精密时序，必须对这些模块的设计进行特别的改动。ADCC模块的必要性是有事实依据的，即其他知识产权模块集成于单枚芯片中，它们之间需要协调。ADCC即专门针对这一要求而设计，充分发挥了两个ADC引擎的高速优势，这些ADC引擎的转换时间快达380 ns。

结论

高级基础技术只是个开端而已——芯片设计师必须对客户的系统有着全面的了解，并在精密模拟和数字元件的设计、应用及优化方面具备深厚的专业知识。另外，芯片制造商必须愿意并有能力与系统制造商进行直接互动和协作，共同打造新型产品。选用最合适元件，针对目标终端应用进行优化，对知识产权模块进行改动，使其默契配合。只有这些条件得到满足，才能将优化的独立元件有机地整合起来。ADI公司即推出了此类智能集成产品的良好典范，其中包括ADuCM360(一款完全集成式3.9 kSPS、24位数据采集系统)以及ADSP-CM403F和ADSP-CM408F(集成两个高精度16位ADC和ARM Cortex-M4处理器内核的混合信号控制处理器)。有关更多信息，请访问：www.analog.com。

参考文献

- [1] M. Murnane, "Robust Completely Isolated Current Sense Circuit with Isolated Power Supply for Solar Photovoltaic Converters" www.analog.com/CN0280.
- [2] M. Murnane, "Isolation Technology Helps Integrate Solar Photovoltaic Systems onto the Smart Grind" *Analog Dialogue* 46-09, September 2012.
- [3] D. O'Sullivan, J. Sorensen, A. Murray, "Motor Control Feedback Sample Timing Using the ADSP-CM408 ADC Controller" www.analog.com/ADSP-CM408.
- [4] M. J. Melfi, S. Evon, R. McElveen, "Induction vs. Permanent Magnet Motors" *Industry Application Magazine*, IEEE 15-6, November-December 2009.
- [5] "ADSP-CM402F/CM403F/CM407F/CM408F Mixed-Signal Control Processor with ARM Cortex-M4," www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADSP-CM402F_CM402F_CM403F_CM407F_CM408F.pdf.

作者简介



Colin Duggan在波士顿区长大学、就读小学和中学，获东北大学电气工程理学学士学位。毕业后，他在ADI谋到第一份工作，以后，一直在该公司效力，目前已超过20年。Colin在应用工程和营销领域担任过多个职位。目前在嵌入式系统产品技术部任营销总监。在该岗位上，他为ADI处理器类产品的战略、营销和营销运营做出了突出贡献。



Denis Labrecque是ADI嵌入式系统产品技术部的营销计划和业务开发经理。Denis已在ADI公司工作14年，任现职前，他一直在ADI SoundMAX® PC音频部担任营销经理。Denis编辑并撰写了大量技术文章和演示文稿，曾在多次大型工业展销会上担任特邀发言人。

资源

分享本文

[facebook](#)[twitter](#)