

自适应实时DSP架构可以监控电网中的谐波成分和各种电源品质因数

作者: Gabriel Antonesei, ADI公司

简介

在过去, 谐波分析仪不仅非常昂贵, 而且难以集成到大规模制造的电表。因此, 对电网进行谐波污染分析是一件非常困难的事情, 只能偶尔由专业操作员在某些特定位置进行。如今, 芯片不仅可以集成更多的信号处理功能, 而且尺寸更小、价格更低廉, 能够实现对电网的高效使用和监控。

过

去几十年来, 电源系统呈指数式增长, 其非线性特性引起了严重的谐波污染。这可能带来多方面的不利影响, 例如: 电气设备过温和过早老化, 传输线路损耗增加, 以及继电器保护失灵等。

因此, 业界越来越关注谐波污染问题, 并采取了各项措施以实现更好的电网管理。其中, 最佳的一个方法是在电网内设置更多的观测和分析点, 并且延长监控时间。随着智能电表在全世界范围内的加快部署, 满足上述要求的最佳器件会被用于其中。用于智能电表的ASIC集电能计量特性与谐波分析功能于一身, 可能是最适合当下的理想解决方案。请切记, 考虑到一块芯片内要嵌入大量DSP资源, 同时又必须廉价、尺寸小、功耗低, 可想而知频谱分析绝非易事。本文将讨论一种尝试满足所有这些需求的DSP架构解决方案。

基频估算和频谱成分提取

电网上不断变化的负载与相对恒定的发电输出之间存在一种动态的平衡关系, 这导致在负载较高时, 主电源频率会略微降低, 而在负载较低时, 主电源频率会略微提高。在电网高度发达并受到密切监控的国家, 频率偏移量相当小, 但在电网控制不佳的地区, 频率偏移量可能大到足以影响电气设备。为此, 业界已进行大量研究工作, 试图找到通过优化各种参数, 如精度、速度、噪声和谐波抗扰度等, 来实现跟踪频率的最有效方法。

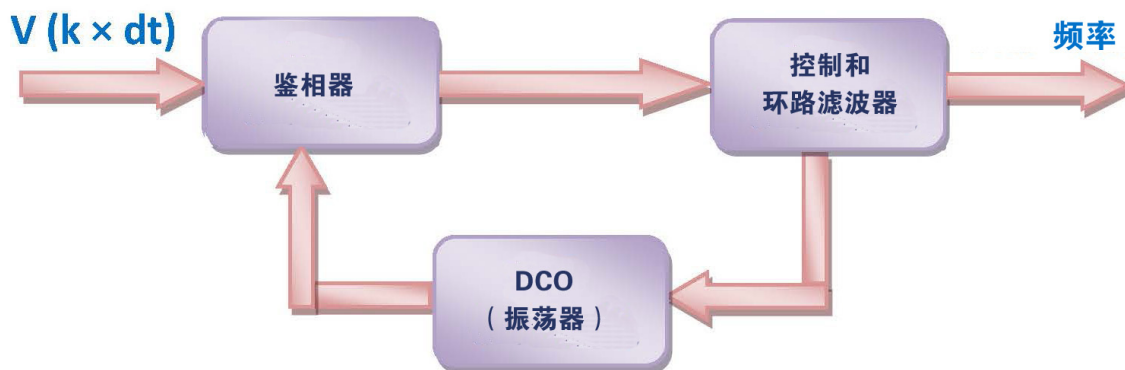


图1. 基于数字PLL结构的频率估算

就电源系统的安全性、稳定性和效率而言，电网的频率是与电流和电压同等重要的工作参数。可靠的频率测量是有效的进行电源控制、负载减轻、负载恢复和系统保护的先决条件。

检测和估算频率的方法有许多种。例如，过零方法通过测量两个相继过零点之间的时间间隔来检测频率，这种方法的优点是非常容易实现，缺点是精度较低，并且易受谐波、噪声、直流成分等影响。基于DFT的算法可以利用采样序列来估算频率，但它对输入信号中的谐波非常敏感。针对本文所述的DSP架构，我们考察了一种基于数字PLL的方法，发现它很有效，具有高抗扰度，同时还能提供精确的频率估算。

图1所示为标准数字PLL结构及其三个主要模块。相位误差检波器将输出发送到环路滤波器，环路滤波器进一步控制一个数字振荡器，目的是最大程度地降低相位误差。因此，最终可以获得输入信号基频的估算值。控制环路经过优化，在45 Hz到66 Hz的标准电网频率范围内可提供最佳的锁定参数性能。

知道了要从频谱中所提取成分的精确频率后，我们就可以考察各种用于提取的选项。谈到采样系统的频谱分析，我们自然会想到利用离散傅里叶变换(DFT)这个工具将信号从时域映射到频域。有多种数值算法和处理架构专门用于实现这种变换，FFT是最著名的一种。对比考虑提取的信息量和所需的DSP资源量，每种方法都有其优点和缺点。

有一种交流电源系统理论使用复平面中的相量来代表电压和电流，该理论与一种以类似格式提供频谱成分的DFT变化形式相一致。从根本上说，在目标频率直接实现DFT公式也能达到同样的效果。但是，为使测量具有实时性，我们采用了一种从DFT公式获得求和元素的递归方法。实施方式有多种（取决于可用的DSP资源），但必须牢牢控制一个重要方面，这就是最大程度地降低频谱泄漏和噪声引起的误差。

图2以框图形式说明了频谱成分提取的工作原理。

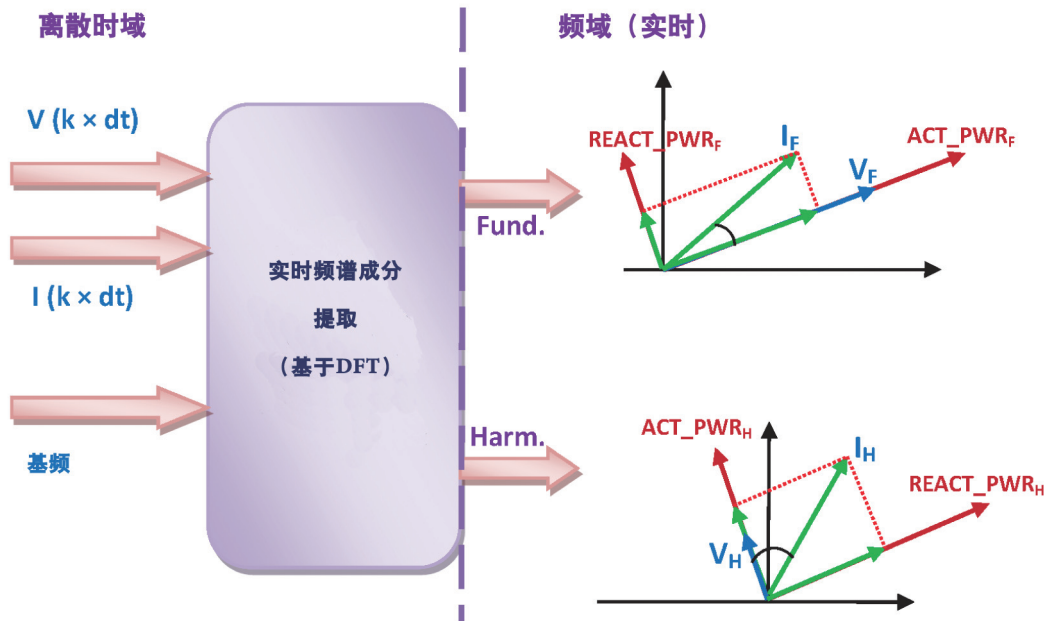


图2. 提取基波和谐波频谱成分

某一相的采样电压和电流与基波频率值一起通过一个计算模块，该计算模块以相量形式提供计算结果。针对每个基波频率和某些用户可选的谐波频率，都会提供一对相量（电压和电流）。有了这些分量之后，我们就可以运用电源理论中的已知方法来提取RMS值和功率。RMS值相当于这些相量的幅度，视在功率则等于这些幅度的乘积。将电流相量直接投影到电压上并将二者相乘，就可以获得有功功率。分解电流的另一个正交元素与电压相乘就得到无功功率。

说到这里，我们要讨论一下采用实时方法的可能优点（动机）。例如，这种架构能够很好地监控变压器中的浪涌电流。这种电流发生在变压器通电期间，由磁芯的部分周期饱和引起。初始幅度为额定负载电流的2到5倍（然后慢慢降低），并具有极高的二次谐波，四次和五次谐波也会携带有用的信息。如果只看总RMS电流，浪涌电流可能会被误认为短路电流，因而可能错误地让变压器退出服务。为了识别这种情形，必须获得二次谐波幅度的精确实时值。当我们只需要几个谐波的信息时，运用完整的FFT变换可能不是非常有效。

这种有选择地计算几个谐波成分的方法可能比FFT方法更有效率，所谓三次谐波序列就是另一个很好的例子。有时需要特别注意三次谐波的奇数倍谐波（3、9、15、21...）。在接地Y型系统中，当电流在零线上流动时，这些谐波就会成为一个重要问题。它会引起两个典型问题：零线过载和电话干扰。有时候，零线的三次谐波序列压降导致线路到零线电压严重失真，致使某些设备发生故障。本文提出的解决方案可以只监控零线电流以及所有相位电流之和上的这些谐波。

顶层DSP架构

上述DSP模块已添加到一个根据基本公式计算总RMS值和功率的现有架构。我们还加入了一个用于计算多个电源品质因数的元件。首先，我们计算谐波失真(HD)，以便根据基波RMS值归一化所有谐波RMS值。然后，利用总RMS值和基波RMS值，我们根据标准定义计算总谐波失真加噪声(THD+N)。最后，根据有功功率与视在功率的比值，提取所有功率因数。如图3所示，三个相位并行执行所有这些信号处理，但谐波分析模块是例外，任一给定时间只能将该模块分配给某一相位。

通过计算谐波功率因数，可以找出电网中的谐波源。虽然业界仍然对查找主要谐波源的最佳方法存在争议，但是其中一种传统方法是基于“有功功率的流动方向”。这相当于确认该特定谐波频率在系统某一点或多个点上的有功功率符号。在失真电压下工作时，线性负载会针对每个谐波产生有功功率，而且如果客户端存在非线性元件，该功率会进入网络。通过测量污染谐波电压和电流的相位角度，然后计算其差值，可以确定该值。而在此架构中则不必如此，因为谐波功率因数可以提供该信息。

这种DSP架构已在三相电能计量器件上成功实现，它具有如下硬件资源：单MAC架构，工作时钟频率为16 MHz，信号采样速率为8 kHz，具有1k字的数据存储器。所有三相的基波测量结果连续计算，谐波分析仪则能从给定相位（A、B或C）连续提取三个随机谐波值。该架构是可扩展的，某些性能参数已根据已知的电网工作条件进行了优化。

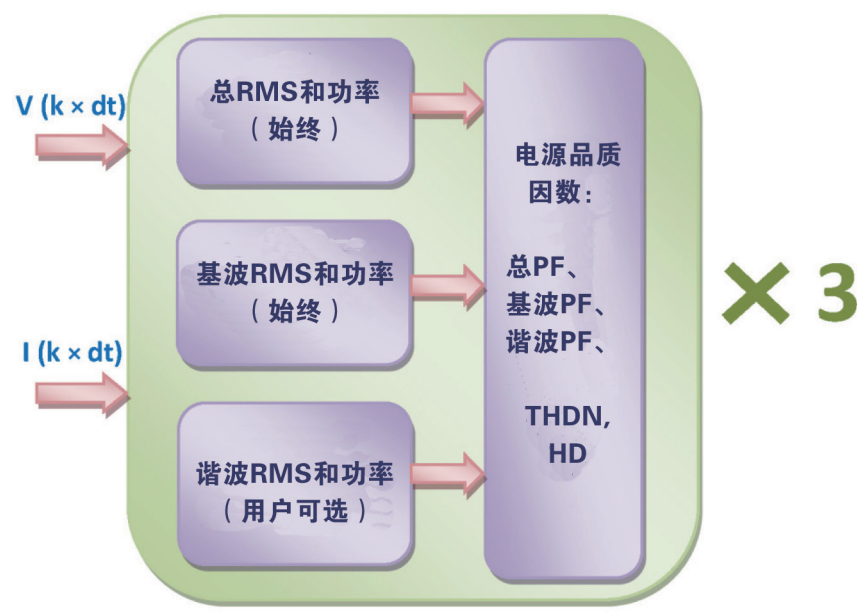


图3. 顶层DSP架构

虽然不能一次性提供所有谐波值看起来像缺点，但我们要记住，电网中的谐波污染最重要的影响还是在于准稳现象。实际上，对于工业和商用负载，建议分析至少一周内的谐波污染，而应避免任何零星的测量。在上述前提下，凭借该架构的多功能性，用户可以通过扫描所有三相上的所有可用谐波内容来获取近似FFT的结果。

结束语

在过去，谐波分析仪不仅非常昂贵，而且难以集成到大规模制造的电表。因此，对电网进行谐波污染分析是一件非常困难的事情，只能偶尔由专业操作员在某些特定位置进行。将更多信号处理功能集成到小型且经济的芯片中将彻底改变

这一现状，为更有效地理解和使用电网打开方便之门，让电力公司和消费者均将从中获益。本文介绍的DSP架构现已集成到ADI公司的一款器件中，该器件是ADI电能计量部门针对多相市场推出的最新器件 (ADE7880) 之一。

资源

若要了解有关电能计量的更多信息，请访问：energy.analog.com.zh。

本文提到的产品

产品	描述
ADE7880	集成谐波监控的多相多功能电能计量IC