

变频调速是供水系统节能的最佳选择

The Frequency Conversion Speed Control Technique is the Best Way of Energy-saving in the Water Supply System

北京市市政工程设计研究总院 陈运珍

Chen Yunzhen

摘要: 从供水系统特点出发, 分析了几种调流技术的实际效果, 论述了水工业领域调速节能的必要性, 同时指出采用变频调速是节能的最佳选择。实践是检验各种调速节能高新技术优劣的唯一标准, 理论问题已解决了, 现在要加强各行业实践中的应用研究。

关键词: 水工业领域 调速技术 节能 优化策略

Abstract: In terms of the characteristics of water supply system, the article analyses some practical effect of the frequency conversion speed control technique, and it discusses the essentiality of speed control technique and the energy-saving in water industry field. It also indicates that the frequency conversion speed control technique is the best way of energy-saving. The practice is the only standard to proving whether speed control and energy-saving is good or not. Now the theory being resolved, we should enhance the practice research in all fields.

Key words: Water industry field Frequency conversion speed control technique Energy-saving Optimize strategy

[中图分类号] TK730

[文献标识码] B

文章编号 1561-0330(2005)01-0104-05

1 引言

由于全国各省市城镇化建设的飞速发展, 近年来出现严重缺水现象。许多城市出现限电限水现象。国家出巨资进行大规模的给水排水工程建设。据统计及预测, 全国城市缺水 $2000 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 排放污水量约 $1 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$, 我国每年新建扩建的水厂近 $600 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 污水处理厂的处理能力将达到 $700 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 左右。建好管好给水厂和污水处理厂是缓解水工业与现代化城镇建设的矛盾, 是关系到国计民生的重要课题。在给排水工程的建设和管理运行中, 设备运行管理费用很高, 其中水厂的电耗约占 50%。综观给水排水行业绝大多数是老企业, 设备陈旧, 供电设备老化, 自动化水平低下, 药耗严重, 先进控制技术极少采用。近几年, 新上的给排水厂自动化水平高些, 也采用了一些先进控制技术, 也组建了一些优化调速的综合自动化监控系统。但大多数新建的 FCS、DCS、PLC 监控系统也不能进行网络化监控, 造成许多资源的消费。有许

多厂站存在先天性的缺陷, 变电站位置不合理, 配电网电缆太多太长, 变压器等设备选择不合理, 特别是水泵机组选择不合理, 工艺流程总体布局不合理, 使给水排水系统的电耗居高不下。给排水厂运行管理, 应从工艺流程及其配套用电设备的变配电系统的综合设计系统、加药系统、水泵机组系统的三方向进行重点研究, 要制定每吨水的综合制造单位电耗和药耗标准, 即从每吨水的投资到运行的最佳的代价做文章。在这里, 单就水泵机组的最佳节能技术在实际中的选择进行分析和研究。

2 城市供水系统特点

2.1 城市供水系统工况特点

一个城市的供水系统特点, 就是多水源、多泵站、多水厂、多管网、变化大。一年之中, 随季节而变的日变化, 一日之内又随时间而变化的时变化。进水水质和流量也是非线性的在变化。

设计中一般均以高日高时为设计点,表面上看已满足了供水需求,但实际上大部分系统均不能满足实际的水变化。一个供水系统,一个水厂的综合水泵扬程是由几何高差和管道摩阻变化所组成。几何高差是不变的,而管道摩阻是随流量的平方而变化。当输配水管道距离长而选的几何高差较小时,管道摩阻在扬程中所占比重就增大;而在后半夜或所需供水量极小时,配水扬程就变得很低,将使水泵的工作点远离高效区。

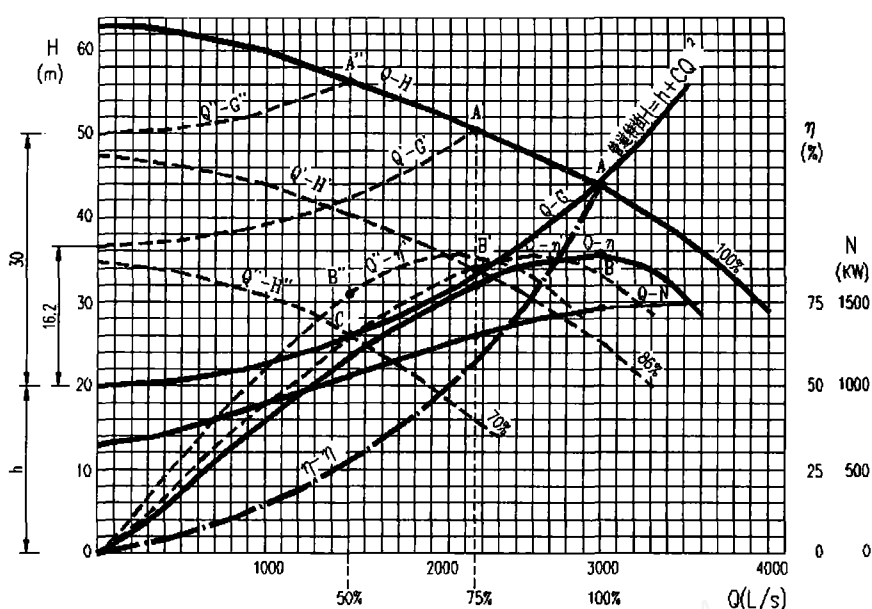


图1 水泵不同调速方式运行工况图

要原因。也说明水泵机组优化调速节能的潜力巨大。

变频调速是各种调流方式的最佳选择

水泵的特性曲线有 $Q-H$, $Q-P$, $Q-\eta$, $Q-G$ 管道特性曲线。见图1。它们分别表示流量与扬程、流量与轴功率、流量与效率、流量与管道摩阻特性之间的关系。

(1) 用水量总是变化的,当用水量减小时,如果水泵正常运行,则系统压力将增高。当流量减小到75%和50%时,它们的变化是:

用水量减小时,系统压力增高,而 H_f 将加大, $Q-G$ 曲线平移到 $Q'-G'$ 、 $Q''-G''$ 曲线上,它们与 $Q-H$ 曲线交点为 A' 和 A'' 点,由曲线可知,水泵的工作效率降低了,大量水头损失掉了,漏水量也将大大增加。

(2) 为了使水泵工作效率仍保持在高效区,采用关小出水闸阀的角度来调流,此时,水头损失全浪费在闸阀上。

(3) 为了适应流量的变化,可改变水泵运转台数和组合,此时,水泵的工作点将运转在低效率上,大量的能源将浪费在管道的水头损失上。

(4) 采用变频调速来适应流量变化

$$Q/Q'/Q'' = n/n'/n'' \quad (2)$$

$$H/H'/H'' = n^2/n'^2/n''^2 \quad (3)$$

$$P/P'/P'' = n^3/n'^3/n''^3 \quad (4)$$

$$n = 60f(1-s)/p \quad (5)$$

其中: n 为转子实际转速;

S 为电机转差率;

f 为定子频率;

(1) H 变化系数 K_{d1}

最高日用水量与年平均日用水量之比叫高日系数 K_{d1} ,而低日系数为当日最低用水量与年平均用水量之比 K_{d2} 。一般 K_{d1} 在1.2至1.5之间,为了宏观定性分析,取 $K_{d1} = 1.4$, $K_{d2} = 0.6$ 。

(2) 时变化系数 K_{h1}

高时系数 K_{h1} :最高小时用水量与日平均小时用水量之比; K_{h1} 在1.3至1.6之间,一般取1.4;

低时系数 $K_{h2} \approx 0.5$ 左右。

净配水厂站流量变化

(1) 取水厂站流量变化:

一般,取水厂站选泵的扬程按每年最大流量,每年最低水位来考虑,其流量变化系数为:

$$K_Q = K_{d1}/K_{d2} = 1.4/0.6 = 2.33$$

水泵工作扬程: $H = H_h + H_f = H_h + CQ^2$ (1)

H_h 为几何高差,一般不变化; $H_f = CQ^2$ 为管道摩阻水头。

摩阻水头变化 $H_{fmax}/H_{fmin} = K_{d1}^2/K_{d2}^2 = 5.4$

实际上每年最低水位机率很小,每年绝大多数时间均高于这个低水位,所选泵的扬程长期不能运转在高效率区域内。

(2) 净配水厂站流量变化

用水的高峰季节,在分压供水系统中要增加供水管网的压力,就要调节管网的供水量,按最大供水量、最高管网压力来选择配水泵及台数。

配水系统流量变化是:

$$K_J = K_{d1} \cdot K_{h1}/K_{d2} \cdot K_{h2} = 1.4 \times 1.4/0.6 \times 0.5 = 6.53$$

由此可见,流量变化是很大的,配水泵站比取水厂站的流量变化更大,这说明水工业领域必须考虑调流的主

P 为电机极对数;

Q 为综合流量;

H 为水泵扬程;

P 为电机功率。

如果选用变频调速,就是通过改变定子频率,来改变异步电动机转子的实际转速,同时,又要满足电动机转矩的要求,达到水泵运转在高效率区域内。

速度改变了,水泵的流量、扬程、功率都随着改变。优化了整个工艺流程运转条件,消除了水锤破坏的事件。

从公式(2)(3)(4)(5)可知,当流量减小到75%和50%时, $Q-H$ 曲线变成 $Q'-H'$ 、 $Q''-H''$ 曲线,其效率曲线由 $Q-\eta$ 变成 $Q'-\eta'$ 和 $Q''-\eta''$,水泵效率(B、B'、B'')基本不变,还在高效区域内,而水泵所需的轴功率也减小了。转速下降了,水头损失不存在,其工作效率却很高。另一方面,水泵组合的扬程处处能与管道综合的系统阻力相适应,始终保持管网末梢的压力稳定。

当采用液力耦合器或电磁滑差离合器来调速,改变流量,均有一定的节能效果,但转差功率损失了,低速时损耗更大,效率更低;当采用串级调速技术时,无论采用外串

还是内馈,需增设起动电阻和电容补偿,功率因数低,低速时更低。

4 实例分析

上世纪80年代,我院承担的百万吨大规模的北京市第九水厂设计中,从工艺流程到变配电设备选型,不是按最高日最高时的流量和其对应的压力为工作点来选不同容量水泵和水泵组合;而是在满足最大设计水量的基础上,尽量使调速高效特性曲线接近系统的特性曲线,也就是说,尽量将各种调速泵组合的高效区能套入出现机率最高的工作段或点上。调速泵台数,应在全年内运行工况中开泵出现次数最多的台数为需要的台数,而备用泵选用定速泵,如图2所示。

先看取水泵站。取水泵站的各种台数组合的高效中心线,均在系统特性曲线的左侧。在设计运转台数时,应将高效中心线包入最大流量点的曲线段,曲线向右下方移动,流量加大而扬程降低,使其与4台泵运转的系统特性曲线重合或靠近,水泵综合运转效率就会更高。从系统分析看,水泵同时运转4台为最经济,考虑分期建设,第一期选用两台容量最大的水泵调速将更经济合理。

再看配水厂站配置。从电算可知,首期2台泵运转出现机率最高,其次为3台,同时各种台数组合的高效区均能包入高日高时流量的基础上向右下方移动,见图2。加大额定流量降低额定扬程,使配水泵综合的高效中心线介于两、三台水泵运转时系统特性曲线之间,二期后同时运转需要4台,再考虑日变时变率,运转泵均为调速泵比较合理。当一台调速泵有故障时,三调一定运转,其综合效率降低一点,而工作扬程还是较高。所以,备用泵选用定速泵比较经济合理。只上一台机组,既增加了投资,又无实际意义。

只从理论上研究单台水泵机组调速并不能解决任何实践需要,这种学究式的理论研究是没有任何意义的事情。

5 供水系统选用变频调速技术应注意的问题

5.1 供水系统可选的几种变频调速技术

从上世纪80年代开始,我国水工业真正步入了变频调速时代。如北京水源九厂、深圳梅林水厂、深圳中西部源水系统各泵站、北方南

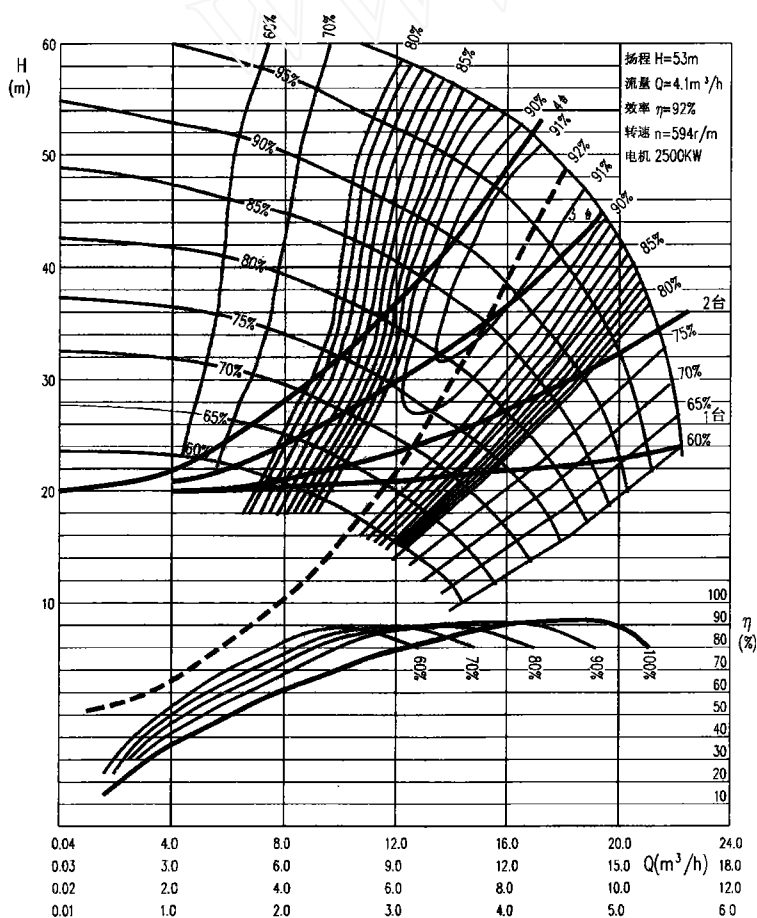


图2 九厂配水泵特性曲线

水北调各大输水泵站、上海原水公司和自来水公司、上海排水管理公司、广州、福州、厦门、东莞、天津、重庆、石家庄、昆明、成都、潮州、大庆油田等自来水公司的上百个大中型水厂和泵站都选用了变频调速装置。水泵电机容量从315kW到2500kW,采用变频调速装置的台数1000台以上。200kW以下容量选用变频调速装置就更多了。

由于电流型变频器是全控桥整流,谐波非常丰富,对电网公害大,抑制谐波的措施比较复杂,在价格和可靠性上失去了优势,在水工业领域中已很少采用了。

220kW及以上水泵机组可选择的变频调速装置有以下5种:

(1) “中-低-中”变频器

优点是变频器价格低,缺点是增加了占地面积和成本,增加了两级变压器损耗,可靠性大大降低了,在低速时,变压器效率更低,功率因数也低。

(2) 低压大功率变频器

国产低压变频器已做到1000kW,国外已做到2000kW。建议尽量选用1.7kV、2.3kV、3.3kV多相特殊电动机。

(3) 中-低压大功率变频器

其优点是中压输电损耗小,低压变频效率高,输入变压器一侧采用角(Δ)接法,可吸收变频系统中的高次谐波。

(4) 中-中压变频器

- 中压IGBT PWM变频器。额定功率因数 ≥ 0.96 ,系统器件由60支减为24支,电路简化了,可靠性提高了。

- 中压IGCT PWM变频器。额定效率 $> 98\%$,额定功率因数 > 0.95 。

(5) 多重化多级串联中压变频器

美国ROBICON公司、日本安川、富士、东芝公司等公司,都先后推出了多重化多级串联中压变频调速装置。采用多电平结构和多级低压小功率IGBT PWM变频单元串联输出中压变频交流电,实现了大功率集成。额定效率 $\geq 96\%$,额定功率因数 ≥ 0.95 。但必须指出,同一容量采用中压设备不但价格贵得多,且可靠性也下降了。

5.2 关于水泵电机采用矢量控制或直接转矩控制的变频调速控制方案的思考

矢量控制系统(VC)和直接转矩控制系统(DTC),都是高性能的交流变频调速系统,都是转矩控制,都是基于异步电动机的动态数学模型设计的。矢量控制系统的特点是:通过坐标变换,按转子磁链定向,电机模型需要电机参数多,定向准确度受参数变化影响大。

直接转矩控制系统(DTC),在转速环内,利用转矩反馈

直接控制电机的定子转矩磁链。DTC受转子侧参数影响不大,而VC受转子参数变化影响大,DTC鲁棒性比VC强。

DTC系统由电机的电压和电流计算出定子磁链和转矩,采用砰-砰控制来实现变频器的PWM控制,其着眼点是电压,而矢量控制的着眼点是电流,存在电流调节时间滞后,而DTC没有电流控制环路,没有任何电流反馈,电机可以获得较大的加速电流,产生较快的电流响应和转矩响应,DTC转矩响应比VC快4~5倍。

DTC由于采用砰-砰控制,其开关频率不稳定,其电流的谐波比VC稍大些,变频器效率略比VC低一些,就是说DTC控制变频器的稳态指标要比VC差一些。无速度传感器控制是DTC和VC控制系统共同的研究课题,并不是DTC的发明专利,它们都采用同样的交流电机数学模型。DTC的低速控制性能不好,用转子磁链控制来补偿DTC的低速性能,控制系统低速时用ISR,高速时过渡到DTC。在水泵机组、生化处理、加药系统中选用DTC系统,还是VC系统,要注意选择,否则有害无益。DTC和VC系统作为高性能的调速系统,在本质上是相同的,都能实现较高的静、动态性能。DTC和VC系统,由于控制方法上的差异,各有特色,各有不同的优缺点,各有侧重的应用领域。矢量控制更适应于宽范围调速系统和伺服系统,直接转矩控制更适应于快速转矩响应,鲁棒性好的大滞后运动控制系统,两种系统都存在一些不足,两种系统的研究和开发工作都朝着克服其缺点方向发展。

5.3 变频调速的水泵机组必须联网受控

现在是网络化、电子数字化时代。供水系统是一个非常复杂的受多变量参数影响的大滞后的流程企业系统。“网络就是控制器”。大水泵机组调速是关系到供水质量的重要一环,必须按总的供水调度的需要进行工作。随着工业以太网TCP/IP技术的不断完善和Internet技术的不断发展,网络监控,可以“e网到底”,水泵机组等各工艺流程的重要设备的调速装置,就像是底层的其他测试仪表一样,是网络上的一个节点,是整个供水系统监控网络的一个棋子。他们都是有机的统一体,各泵站的水泵机组群体,根据综合最小电耗药耗指标,出厂水流量、压力的瞬间需要,由优化控制策略来确定其运转状态。总之,要使现场生产层、控制层和管理决策中心层集成一个管控一体化的生产系统,确保生产运行始终处在最佳状态。

6 结束语

一个现代化城市的迅猛发展,加速了水工业系统工程

的大量上马。水工业领域中的泵类负荷约占全国用电负荷的 40%。纵观我国水工业系统绝大部分都设备陈旧、技术落后、耗能严重。1998 年发布的我国“节约能源法”明文规定:“逐步实现电动机、风机、泵类设备和系统的经济运行,发展电机调速节电和电力电子技术”;“十五”规划又进一步强调:“积极开展资源回收利用大力提高资源综合利用率”,“加快转换工业增长方式,改善质量节能降耗”、“鼓励采用高新技术,带动产业结构优化升级”。

生产机械的自动化和现代化,是水工业可持续发展的关键一环,采用交流电机变频调速等高新技术是生产自动化的重要手段,是电气传动方面的一场革命。技术设备落后,是我们很多水厂无法低成本、高质量生产的根源,大力推广变频调速优化调度等高新技术,就有可能使老设备一步到位的进入二十一世纪,调速节能势在必行,齐心协力,让水工业在我们的手里尽快优化升级。各研究所及产品制造方面的专家学者,综合各行各业的生产实践,将那高深莫测的理论研究去解决实践中的生产需要,才会有点价值。

参考文献

- [1] 陈伯时,陈敏逊. 交流调速系统. 北京:机械工业出版社,1998,.
- [2] 张燕宾. SPWM 变频调速应用技术. 北京:机械工业出版社,1997,.
- [3] 陈运珍. 水工业领域与调速节能技术. 变频器世界, 2002(1):4-7.
- [4] 陈运珍. 变频调速技术在水工业中的应用及问题. 变频器世界. 2002(10):8-11.
- [5] 陈伯时. 交流变频传动控制的发展. 北京:第一届变频器与伺服企业论坛. 2004:1-3.

作者简介

陈运珍(1941-) 男 高级工程师 1965 年毕业于天津大学工业企业电气化与自动化专业, 1965 年至现在均在北京市政设计研究总院工作。从事电气与自控专业的设计工作, 现任中国电工技术学会水工业电工专委会秘书长。

分立无源元件不会被取代 仍继续推动市场

在最近欧洲无源元件产业召开的 CARTS 技术会议上, 有人认为, 电容(C)、电阻(R)和电感(L)可以通过硅片解决方案实现, 因此将使多数分立无源元件成为过时的东西。有厂商一直建议, 可以利用模数转换器和 DSP 技术实现滤波功能, 利用离子植入器件可以把电容器嵌入到硅片结构中, 低温共烧陶瓷(LTCC)模块中的整合式无源材料, 或者 FR4 模块(杜邦公司, 3M 公司)中的整合式无源基板将取代分立无源元件。对此, 市场研究机构 Paumanok Group 的主席 Dennis M. Zogbi 断然予以否定, 并通过回顾历史上有类似预测的 NEMI 报告, 证明硅片解决方案并不能取代分立无源元件。

Zogbi 介绍说, 1996 年美国电子机器制造者协会(NEMI)在报告中提出了类似的预言。报告预测, 到 2003 年, 80% 的全部分立无源元件功能(滤波, 退耦, 电阻和电感)将被有源元件取代。NEMI 报告认为, 到 2004 年, 70% 的手持设备(手机, 寻呼机, 数字音频与视频)、60% 的电信基础设施(路由器, 服务器)和 35% 的电脑, 将通过分立无源元件以外的方法实现电容、电阻和电感。报告指出, 替代性解决方案, 特别是整合式无源基板和嵌入式硅片解决方案, 将在 2004 年以前取代 4,500 亿个单独的分立式无源元件(预计市场规模的 35%)。报告预测, 1996-2003 年底单独的分立元件的单位消费量年增长速度将低于 4%。

Zogbi 指出, 从目前看来, NEMI 报告的说法是错误的。实际上, 1996-2003 年全球核心分立无源元件(电容器, 电阻和电感)单位出货量从 6,550 亿个增长到 16,070 亿个, 平均年增长率为 13.5%。在全部分立无源元件中, 被硅片解决方案或整合式无源基板取代的不超过 2%。

Zogbi 解释说, NEMI 报告的预测大失水准的原因是, 虽然其多数

假设是成立的, 但不是全部成立; 而且虽然 NEMI 报告中的多数假设是合理的, 但结论却有问题。

首先, NEMI 报告假设终端产品的尺寸将变得越来越小, 同时功能却越来越先进, 因此报告认为, “体积效率(volumetric efficiency)”大幅提高将需要放弃无源元件。Zogbi 反驳说, 关于体积效率将成为关键因素的假设是正确的; 关于成本将决定实现电容、电阻和电感的方式的假设也是正确的; 但是, NEMI 报告低估了单个分立元件缩小尺寸的潜力, 以及进一步提高性能的潜力。

Zogbi 指出, 实际上, 元件尺寸目前已缩小至 01005, 而且纳米技术和其它各种技术进步提高了元件性能。因此, 实际上, 分立无源元件仍然大行其道, 成为提高成本效益和体积效率的最佳方式。

其次, NEMI 报告还认为, 无源元件在手机的 RF 功能中所占的比重将下降。Zogbi 评价说, 这个假设也正确的, 但是报告低估了新型终端产品的功能(如相机手机)将导致对于无源元件的需求增加, 对于抵消 RF 功能中无源元件需要量下降绰绰有余。

再次, Zogbi 表示, 报告低估了 OEM 和 EMS 厂商对于面向分立元件的取放设备所作的大量承诺。这意味着使用替代分立电容器、电阻和电感的方法, 将限于新产品。

此外, NEMI 报告还低估了分立无源元件厂商在产品尺寸不断缩小的情况下持续提高其产品性能的能力, 如降低 ESR 和 ESL。

基于上述理由, Paumanok Group 的主席 Dennis M. Zogbi 总结说, 预计未来将使用更多的分立无源元件, 而不是减少。同时, Zogbi 也预期近期厂商不会大规模弃用单独的分立无源元件, 转而采用片上或整合式解决方案。