

基于新技术工艺构建功率传感器的选择与应用

Selection and application of power sensor
based on new technology

鲁思慧

摘要:本文将就基于静磁屏蔽技术工艺的功率电感器的选择与应用作研讨。着重就解决降低或减少功率电感器漏磁通的静磁屏蔽技术与开放磁路结构、闭合磁路结构的功率电感器特征与选用作分析。与此同时,对新型功率电感器应用与发展作说明。

关键词:漏磁通,磁屏蔽,噪音,3D可视化系统,汽车电子

Abstract: This paper discusses the selection and application of power inductor based on magnetostatic shielding technology. This paper focuses on the analysis of the magnetostatic shielding technology for reducing the flux leakage of power inductors and the characteristics and selection of power inductors for open and closed magnetic circuit structures. At the same time, the application and development of the new power inductor are described.

Keywords: magnetic flux leakage, magnetic shielding, noise, 3D visualization system, automotive electronics

1 问题的提出

1.1 漏磁对功率电感器的危害

在笔记本电脑、平板电脑、智能手机、电视机以及车载电子设备等运行时,有时会听到“叽”的噪音。该现象称为“啸叫”,导致该现象出现的原因可能在于电容器、电感器等无源元件,尤其是功率电感器更为显著。而功率电感器啸叫原因是间歇工作、频率可变模式、负荷变动等可能导致人耳可听频率振动;磁性体磁芯磁致伸缩(磁应变)作用与磁性体磁芯磁化导致相互吸引。除此之外,而其功率电感器主体振动以及噪音扩大的机制来源于漏磁通。这是因为漏磁通导致绕组振动。而噪音放大原因就在于其它元件接触,漏磁通导致对周边磁性体产生作用以及与包括基板在内的组件整体固有振动数相一致所造成。

1.2 漏磁通的产与危害

众所周知,用于电子设备电源中的小型SMD线圈称为功率电感器。将铜线卷绕在铁氧体鼓芯上的绕组型以及金属一体成型的金属线圈是该产品主流。在磁性体的磁环磁芯(圈状磁芯)上进行卷绕,并流过电流时,磁通将会

在磁芯内部进行回流,这种磁路称为闭合磁路;使用棒状或鼓状磁芯时,磁通将从磁芯内部流出至外部,成为漏磁通,并再次回到磁芯中,形成一个环状,这称为开放磁路。尤其在流过大电流的功率电感器中,由于漏磁通更大,因此很多产品中均采用了各种磁屏蔽结构,以尽可能防止磁通泄漏至外部。而功率电感器产生的漏磁较大时会对周围元件造成影响,并会产生噪音与振动,这对电子设备可靠性来说是一种危害。

面对上述挑战,如何应用新技术工艺来构建功率电感器并降低漏磁通对其功率电感器危害从而提高电子设备的可靠性是制造厂商与设计人员必须应对的课题。近几年来,随着静磁屏蔽新技术与工艺的发展则降低漏磁的磁屏蔽结构功率电感器风生水起,由此合理选用新类型的产品十分重要。

据此本文将就基于静磁屏蔽技术工艺的功率电感器的选择与应用作研讨。着重就解决降低或减少功率电感器漏磁通的静磁屏蔽技术与开放磁路结构、闭合磁路结构的功率电感器特征与选用作分析。与此同时,对新型功率电感器应用与发展作说明。

2 基于静磁屏蔽技术的开放磁路结构以及闭合磁路结构功率电感器的特征与选用

从磁屏蔽方面来看, 功率电感器可分类为开放磁路结构以及闭合磁路结构等几种类型。在分析此问题前首先应对什么是磁屏蔽结构电感器的问题作说明。值此仅与此相关的磁屏蔽、静磁与静磁屏蔽概念作阐述。

* 磁屏蔽 把磁导率不同的两种介质放到磁场中, 在它们的交界面上磁场要发生突变, 这时磁感应强度 B 的大小和方向都要发生变化, 也就是说, 引起了磁感线的折射。

* 静磁屏蔽 静磁场是稳恒电流或永久磁体产生的磁场。静磁屏蔽是利用高磁导率 μ 的铁磁材料做成屏蔽罩以屏蔽外磁场。它与静电屏蔽作用类似而又有不同。

静磁屏蔽的原理可以用磁路的概念来说明。如将铁磁材料做成截面回路, 则在外磁场中, 绝大部分磁场集中在铁磁回路中。这可以把铁磁材料与空腔中的空气作为并联磁路来分析。因为铁磁材料的磁导率比空气的磁导率要大几千倍, 所以空腔的磁阻比铁磁材料的磁阻大得多, 外磁场的磁感应线的绝大部分将沿着铁磁材料壁内通过, 而进入空腔的磁通量极少。这样, 被铁磁材料屏蔽的空腔就基本上没有外磁场, 从而达到静磁屏蔽的目的。材料的磁导率愈高, 筒壁愈厚, 屏蔽效果就愈显著。因常用磁导率高的铁磁材料如软铁、硅钢、坡莫合金做屏蔽层, 故静磁屏蔽又叫铁磁性材料中的静磁屏蔽。

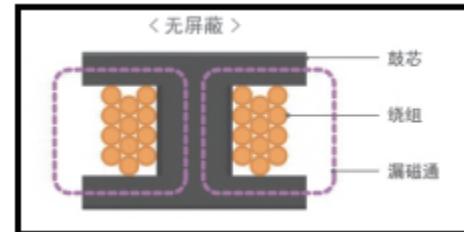
* 静磁屏蔽技术在电子器件中有着广泛的应用

变压器或其它线圈产生的漏磁通会对电子的运动产生作用, 影响示波管或显像管中电子束的聚焦。为了提高仪器或产品的质量, 必须将产生漏磁通的部件实行静磁屏蔽。前面指出, 静电屏蔽的效果是非常好的。这是因为金属导体的电导率要比空气的电导率大十几个数量级, 而铁磁物质与空气的磁导率的差别只有几个数量级, 通常约大几千倍。所以静磁屏蔽总有些漏磁。为了达到更好的屏蔽效果, 可采用多层屏蔽, 把漏进空腔里的残余磁通量一次次地屏蔽掉。所以效果良好的磁屏蔽一般都比较笨重。但是, 如果要制造绝对的“静磁真空”, 则可以利用超导体的迈斯纳效应。即将一块超导体放在外磁场中, 其体内的磁感应强度 B 永远为零。超导体是完全抗磁体, 具有最理想的静磁屏蔽效果, 如今已得到广泛应用。而下述的开放磁路结构

以及闭合磁路结构的功率电感器均基于静磁屏蔽技术与工艺而制作。

2.1 开放磁路结构有无屏蔽型 (其工艺结构见图 1A 示)

仅仅在鼓芯上进行卷绕, 几乎没有磁屏蔽的类型。其特征是此漏磁通与其它线圈或配线图案等发生磁耦合后会发形成噪音, 会通过绕组或端子后会产生涡流。



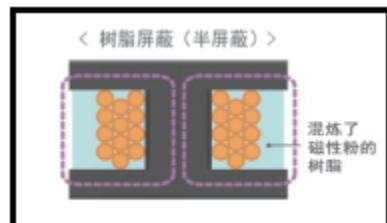
图示 1A 为无屏蔽型工艺结构

2.2 闭合磁路结构有树脂屏蔽、全屏蔽型、金属一体体型

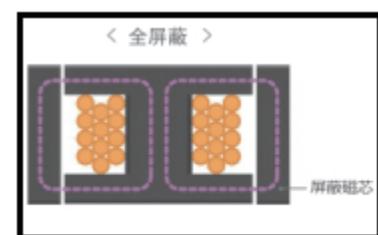
* 树脂屏蔽 (半屏蔽) 型 (其工艺结构见图 1B 示) 通过混炼了铁氧体或软磁性金属等磁性粉的树脂, 在所卷绕鼓芯周围进行成型的类型。虽然磁屏蔽效果有限, 但拥有能够降低成本的优点。其特征是一般情况下屏蔽效果有限, 但通过高性能树脂后, 会使屏蔽效性提高。

* 全屏蔽型 (其工艺结构见图 1C 示) 通过将铁氧体屏蔽磁芯覆盖在鼓芯周围, 形成接近闭合磁路结构的类型。但磁屏蔽并不完美, 屏蔽磁芯与鼓芯结合部的气隙以及端子部会发生漏磁通。屏蔽磁芯拥有环型、L 型等各个形状, 除了漏磁通强度及分布之外, 成本也会因结构而有所不同。其特征是磁通会在鼓芯与屏蔽用磁芯中回流, 因此会降低漏磁通。

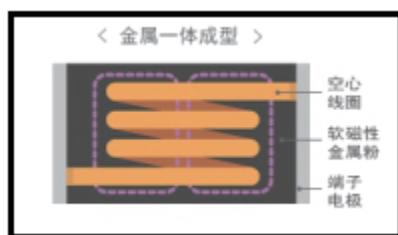
* 金属一体体型 (其工艺结构见图 1D 示) 其并非使用了鼓芯的绕组型, 而是制作空心线圈, 并将其埋设在与粘合剂 (耦合材料) 混合的软磁性金属粉中进行一体成型的类型。由于没有气隙, 因此其减少漏磁通的效果优于全屏蔽型, 但其表面等会发生极少的漏磁通。其特征是软磁性金属粉中埋设空心线圈, 一体成型。其特点在于漏磁通较少。



图示 1B 为树脂屏蔽(半屏蔽)工艺结构



图示 1C 为全屏蔽型工艺结构



图示 1D 为金属一体成型工艺结构

2.3 值此仅以插件一体成型大电流全磁屏蔽功率电感器作解析

其一、一体成型电感器典型产品与应用 以 DIP 插件形式粉末成型电感的为例。其特征是体积小，同尺寸高度，是具有防止电磁波干扰的效果电感结构，具有大电流、低损耗；可抑制共模噪音，可确保耐电流电感值降幅平顺；而一体成型的结构可防止噪音并可在 5MHz 频率下应用；其产品适合无铅焊锡和无铅 SMT 加工。

该一体成型电感产品的应用：适合于影片磁碟机、电源供应器、个人电脑和其它掌上型电子设备中电源线路及工控机、DVR 硬盘录放机等产品上批量应用。

其二、磁屏蔽电感器绕组（如 VLF3010AT-2R2M1R0 型）特点与用途 VLF252010MT 系列通过采用的磁性材料及优化设计，实现电源 DC-DC 转换器的电

压转换效率。作为用于需要在设计上考虑节省尺寸的移动设备等的开关电源的扼流线圈，它是的产品的特点是，采用小型低背设计，即部件安装面积为 2.5mm 平方，而高度为 1.0mm 的低背型；最适用于便携式机器的 DC-DC 转换器用的扼流圈；由于采用磁力屏蔽结构，可适用高密度安装；本产品不含铅，可适用无铅焊料；本产品是无卤。用途为智能手机、手机、DSC、数字摄录机、HDD、LCD 及小型电源模块。

2.4 基于将漏磁通可视化的 3D 图形新技术测量的功率电感器构建与选择

在同时考虑成本、性能以及尺寸等时，选择哪种类型的功率电感器成为困扰设计者们的问题。随着 3D 技术深入发展，基于将漏磁通可视化的 3D 图形的新技术的功率电感器由此产生。它就是通过使用近磁场测量系统测量功率电感器的漏磁通，并将其可视化，以帮助构建并选择出最为适合的功率电感器。该可视化的 3D 图形的新技术实现设备有光谱分析仪、电脑及近磁场测量系统组成，图 2.2 所示为该测量系统的基本结构。

从图 2.2 可知，使用带微小环状天线的磁场探针，以半个功率电感器高度扫描贴装在 DC-DC 转换器评估板上的功率电感，测量功率电感器周边磁场强度。得到的时间波形数据通过光谱分析形，并将其转换为 3D 图形显示在屏幕上。光谱分析仪用于测量频率——开关频率周围范围。

由此选用的漏磁通极少功率电感器产品有树脂屏蔽的 VLS-EX 系列、全屏蔽 CLF-NI 系列及金属一体成型 SPM 系列，见图 3 所示。图中为 3 款为功率电感器产品的近磁场（水平与垂直磁场）的 3D 图形。

图 3 中 VLS-EX 系列为树脂屏蔽(半屏蔽)，CLF-NI 系列为全屏蔽，SPM 系列为金属一成型的功率电感器。测量使用的尺寸基本相同。水平磁场拥有方向性，环状天线面与磁通垂直相交时，环状天线的电动势为最大。因此，对于水平磁场，将探针旋转至四个方向（每 45°），测量最大电压。越接近红色磁场强度越大，越接近蓝色则越小。在水平方向以及垂直方向，CLF-NI 产品比 VLS-EX 产品的磁场强度小，漏磁通更少；而 SPM 产品则比 CLF-NI 产品的磁场强度小，漏磁通更少。那么随之而来还需要解决的是，当今降低或减少漏磁通对功率电感器影响应具备什么样的举措呐？

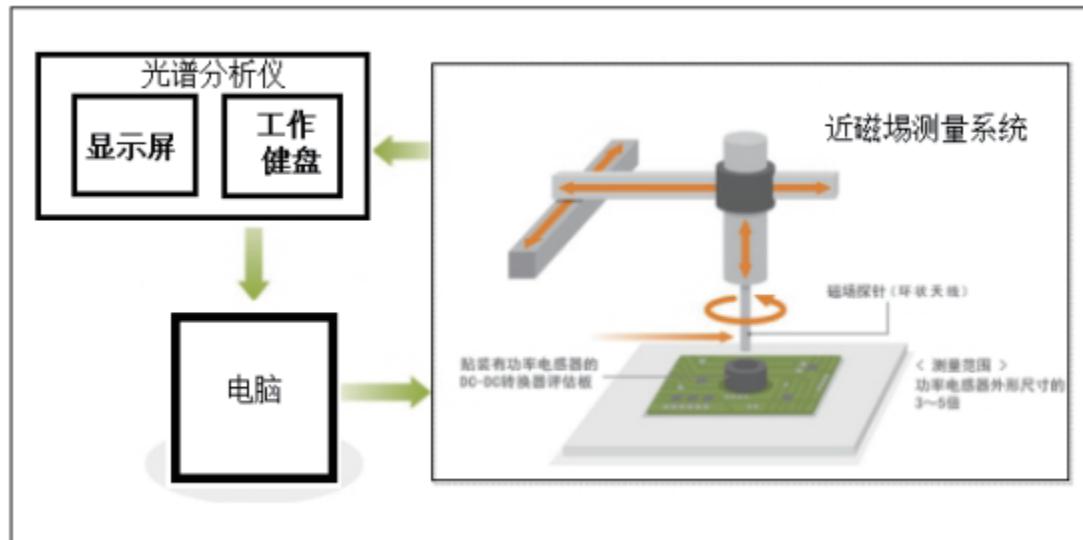


图 2.2 为实现漏磁通可视化的 3D 图形新技术测量系统组成示意

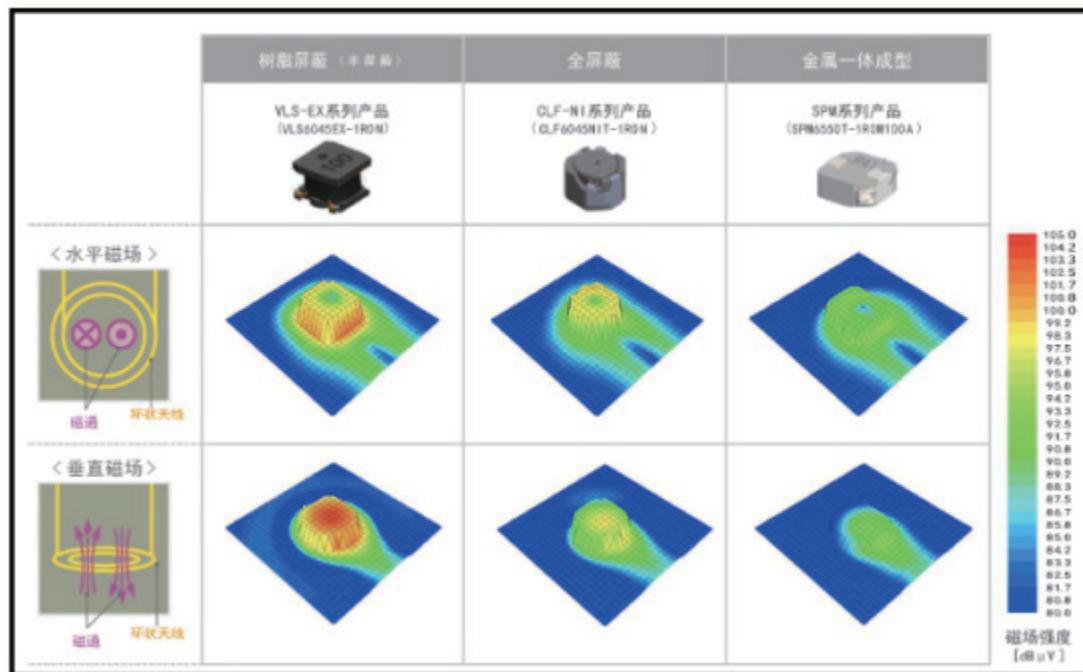


图 3 为图中为 3 款为功率电感器产品的近磁场 (水平与垂直磁场) 的 3D 图形

3 解决降低或减少漏磁通对功率电感器影响的举措

改变线圈极性、改变配线图形等不失为是一种有效使举措。如今即使是闭合磁路结构的磁屏蔽型，也不可能不产生漏磁通。漏磁通取决于线圈的结构。同时，在纵向卷绕

线圈中，由于极性也会有所影响，因此在于信号相互增强的方向以及相互减弱的方向中，漏磁通的影响也各不相同。无论是无屏蔽型、半屏蔽型还是全屏蔽型的功率电感器，都需要注意周围信号线的配线。

若仔细设计之后仍然未能降低来自功率电感器漏磁通

的影响时，可进行以下措施或对策：改变线圈极性、改变配线图形、更换为屏蔽效果更好的产品、更换为更为小型的产品（可降低漏磁通的影响）等。

应该说，当今新型（如TDK）金属一体成型型SPM系列功率电感器的漏磁通较少，适合必须配置在信号线附近，或因使用了树脂外壳导致从箱体中发出噪音时亦可使用。同时，与全屏蔽型相比，由于一体成型结构没有磁芯组合，因此还可有效降低噪音。而使用了铁氧体磁芯的功率电感器的特点在于，电感的种类更多，可应对较高的电感值。其量产性优异，多用于各类设备中。各类型功率电感器拥有各自的特长与优点。应区分使用，使其各得其所，从而为产品制造提供支持。

当电子设备在变得高性能的同时，其电源转换器的需求不断增加，而功率电感器又是左右其性能的重要元件。如今已拥有多种多样的产品，据此就符合电源转换器所需特性的功率电感器选择方法进行说明。值此以下仅以金属一体体型功率电感器为例作分析。

4 金属一体体型功率电感器的选用

4.1 最佳功率电感器功率的选择

值此以在DC-DC转换器中的选用为例作分析。由于功率电感器产生的漏磁较大时会对周围元件造成影响，并会产生噪音。为降低漏磁可使用拥有磁屏蔽结构的功率电感器，因此选择合理类型的产品十分重要。

* 据此先对图4的降压型DC-DC转换器（二极管整流型）基本电路架构述起。根据功率电感器特性相关的参数相互间存在着复杂的权衡关系，由此来选择功率电感器不乏是一种理想举措，这是为什么呐？值此先对图4的降压型DC-DC转换器（二极管整流型）基本电路架构述起。

从图4可知功率电感器（线圈）可使直流电流顺利流过，而对于发生变化的电流，则会产生妨碍其变化的电动势。这称为自感应，针对交流电流，其拥有频率越高越难通过的性质。为此，当电流流过电感器时会将其储存为能量，屏蔽电流时会释放能量。功率电感器正是利用了此性质，并且主要用于DC-DC转换器等电源电路中。而功率电感器是左右其性能的重要元件。该电路工作运行：开关器件ON时功率电感器会存储能量，而开关OFF时将释放能量，并流过电流。通过设置占空比（相对于开关周期的ON时间比）将电压降低所需水平。

* 最佳选择要领

为什么根据功率电感器特性相关的参数相互间存在着复杂的权衡关系是一种理想举措呐？这是因为电感器的设计难度在于其特性会随电流大小或温度等而发生变化。例如，电感（L）拥有随电流增大而降低的性质（直流重叠特性），同时，随着电流增大，温度会随之上升，由此磁芯导磁率（ μ ）及饱和磁通密度（Bs）会发生变化。即使电感值相同，直流电阻（Rdc）值也会随绕组的粗细及匝数变化，并且发热的程度也会有所不同。此外，磁屏蔽结构的差异也会对噪音特性造成影响。由此类参数相互之间存在复杂的权衡关系，由此从DC-DC转换器的效率、尺寸以及成本等综合角度出发选择最佳的功率电感器显得十分重要了。

5 低漏磁通功率电感器在新能源汽车中的应用

5.1 新理念的开拓

目前功率电感器广泛应用于汽车、医疗仪器、计算机产品和外围设备、网络xDSL滤波器、调制解调器、全球定位系统、DC-DC变换器、升/降变换器、放大器、视

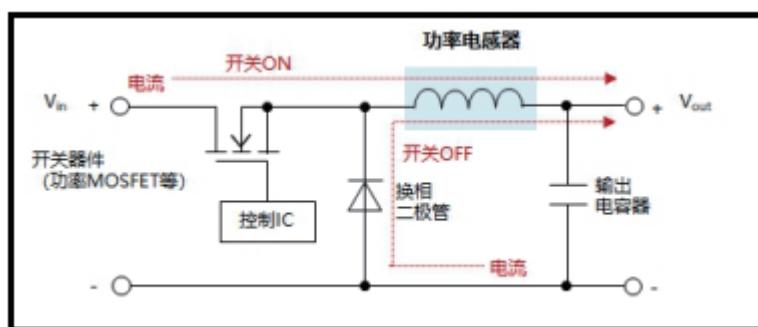


图4 为降压型DC-DC转换器（二极管整流型）的基本电路

听设备、音频设备、噪声滤波器、电源、分析器、显示器、开关稳压器、SCR 和 TRIAC 控制电路、自动化系统、EMI/RFI 抑制滤波器、扬声器伺服网络、输入滤波器、语音处理器、SMPS 和开关交流适配器、功放等。

然而近年来，特别是中国汽车电子市场进入快速发展时期，带动了对磁性元件的需求。由于汽车运行环境的恶劣、振动大、温度高等特殊要求，对磁性元件产品品质要求就显得特别严格。由此大低功率电感器在新能源汽车中的应用成为首选。

这是因为与普通的功率电感或是色环电感相比较，这大低功率电感具有自身的一些优势和特点：即具有全封闭磁屏蔽结构、具有很好的密封性和高稳定性；使用了扁平线和粗铜线，可耐大电流；适用于回流焊 SMT 工艺，尤其适用于电源供应器、个人电脑和其它掌上型电子设备中；又同尺寸直流电阻最低，可确保耐电流电感值降幅平顺与电源线路上直流对直流整流的应用；其产品无铅，符合 RoHS 指令。

5.2 为此以功率电感器在汽车电子中的应用为例作说明

即以高可靠性车载高频率功率电感器可降低故障风险为应用典例作说明。

* 挑战与应对 汽车已经从由人驾驶的时代向辅助驾驶、自动驾驶转变，使用的电子零部件的数量也在进一步增多。一个零部件发生故障，就意味着汽车会丧失本来应有的功能，对零部件可靠性的要求正在进一步提高。如今面向车载可降低故障风险的高可靠性高频率功率电感器方案是众望所归。

* 方案的设计思想 市场需求要求汽车往安全性和节能性发展。安全性是通过机械的自动化、ECU(电子控制单元)的冗余性、功能分担来实现的。另外，由于 xEV (电动车) 的普及，增加了对 xEV 使用环境的需求。因此 ECU 的使用数量有增加，电子零部件需求也随之增长，对于提高零

部件的可靠性，小型、高性能化的要求越来越多。其应用的设计方案分安全趋向与环境趋向二大部分。

其一、安全趋向分别有如下功能：技术趋势向自动驾驶发展；电子控制单元向冗余性、功能分担及数量增加发展；电子零部件等级向需求骤增发展。

其二、环境趋向分别有如下功能：技术趋势向电动车、无线充电发展；电子零部件等级向需求骤增、散热与小型轻量发展。

为此针对高信赖性要求的电子控制单元，应可以提供最优的高可靠性车载用高频率功率电感器。

* 高可靠性车载用高频功率电感器的产品种类 有覆盖大电流低电感范围（如 HPL 系列）、覆盖高电感低电流范围（如 BCL 系列）及介于两者之间（如 TFM-ALVA 系列）等三大系列。它们均是为实现自动驾驶，降低了故障风险的高可靠性车载用高频率功率电感器。

其特点是：HPL/BCL 系列将开路风险降到了最低，TFM 将短路风险降到了最低。HPL 的 Rdc 低磁通漏小，采用 3 端子构造，抗振动冲击性、散热性优异。TFM 系列增强金属材料的绝缘性，实现耐压 40V 保障，还可在蓄电池线路中使用。另外，还可实现磁通漏小、高密度贴装。BCL 通过新冲压法，减少铜线的损伤。磁性材料的损失小，在磁通变大的升压回路中效率很高。另外，可获得大感值，在输入输出压差很大的回路中也可以使用。

其用途上：与面向 ICT 的金属类功率电感器相比，在耐压、可靠性方面改良了特性。HPL 系列覆盖大电流低电感范围、BCL 系列覆盖高电感低电流范围、TFM 系列覆盖两者之间的范围，形成了一个产品系列。大电流小感值的 HPL 系列用来对应 ADAS 图像处理器等大功率电子控制单元；TFM 系列适用于 ADAS 和其它电子控制单元的二次回路；BCL 系列可对应高感值，适合传感器、车身类小功率电子控制单元。