



IHLP 系列电感器用于汽车应用 Using IHLP's in Automotive Applications

简介

大部分汽车领域的创新是由电子设备的创新推动的，这些创新逐渐成为汽车不断增长的生产成本的一部分。减小体积、提高 DC/DC 转换器的开关频率和功率密度是行业不断追求的目标。再加上恶劣的环境及严格的质量评定程序，意味着设计师面临着十分艰巨的任务。

汽车行业有若干推动技术改进的因素，如乘客的舒适性、安全性以及环境方面的原因。所有这些都需要尽可能减小电子设备的空间，VISHAY 的厚度小、复合表面贴装、全屏蔽 IHLP 电感器的设计正是用来解决这一问题。IHLP 主要针对两大应用：大功率电线的 EMI 滤波以及高频 DC/DC 转换器

的储能。

为了达到 PCB 基板、可用高度及功率密度要求，设计师需要一个厚度小、大电流、全屏蔽功率电感器。VISHAY 的 IHLP 系列电感器符合这些要求，并自 2002 年以来用于众多汽车应用。

IHLP 基本知识

IHLP 电感器的制造过程是把一个铜线圈用超声波焊接到一个引线框上。然后围绕电感线圈压实带有环氧粘合剂的铁粉，形成电感器的最终形状。图 1 呈现了 IHLP 的构造。

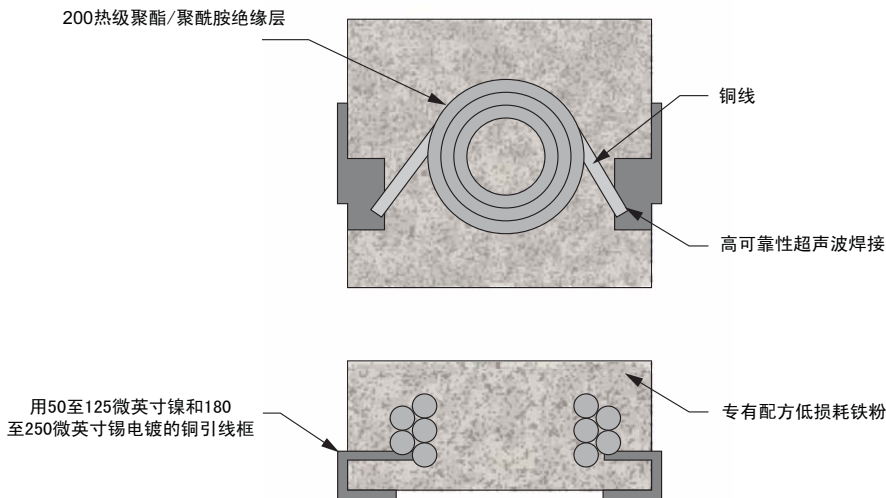


图 1

IHLP 电感器内的漆包铜绕组是独立的，并且可以承受高达 200°C 的工作温度。

IHLP 系列使用的粉末材料能够在最坏情况负载条件，高达 125°C 工作温度下提供稳定的性能。工作温度的定义是电感器自热温度与环境温度之和。目前，IHLP 最大工作温度为 125°C，符合 AEC-Q200 标准。如果将热老化效应考虑在内（见下文），IHLP 可在 125°C 以上的温度工作。VISHAY 正在研发一种 IHLP 材料，能够在 155°C 温度下工作，并且不存在老化，该产品可用时，将另行公布。

EMI 滤波

EMI（电磁干扰）滤波器是一种特定类型的滤波器，用于减小电力电子设备产生的电磁干扰。这是一个重要的电路元件，因为电磁干扰会对汽车内其它电子设备产生负面影响。对于 EMI 滤波器设计师而言，其重要的性能指标包括衰减、插入损耗、压降及需要的滤波段数量。IHLP 具有较低 DCR，这一优点对滤波器的设计师有极大的帮助，因为上述滤波器设计相关的性能指标均在某种形式上与 DCR 相关。如果需要多个滤波段，则会进一步加剧压降。

汽车电子设备的一个关键要求是在不过度降低工作电压的条件下，避免或消除电磁干扰和电磁辐射及其对电子电路产生的负面影响。电流往往需要经过相当长的电缆才能到达汽车

IHLP 系列电感器用于汽车应用 Using IHLP's in Automotive Applications

的电控单元 (ECU)，因此电缆压降与 EMI 滤波器密切相关。EMI 滤波器和电缆组合电阻为 200mΩ 在电流为 10A 的情况下可能会造成 2 V 的压降。

DC/DC 转换器

有关额定电流的讨论

IHLP 电感器最普遍的应用是非隔离 DC/DC 转换器。功率处理能力和器件大小逐渐成为当前和未来电源发展的驱动力。为了满足这些要求，设计师需要提高工作频率。提高频率就能够使用较小的元件，但是这种策略的缺点是会增加损耗。DC/DC 转换器还被要求在更高的环境温度下工作。而这需要电感器除了功率损耗导致的自身温升外，还要在更高的温度下工作。众所周知，铁粉会以磁芯损耗增加的形式显现出在较高温度下的老化效应。这些损耗在设计过程中必须考虑在内，以便于复合电感器能够在元件温度超过 125°C 的条件下

使用。通过将电感器温度最大值限制在 125°C 或更低，热老化效应可以降低至最低。但是，这并不意味着电感器不能在超过 125°C 的条件下使用，所有这些都需要在设计过程中充分考虑。

热老化

VISHAY 根据实验观察确定，在时间和温度的作用下，表现为磁芯损耗增加的老化在超过 125°C 时发生。温度超过 125°C 越多，磁芯损耗增至给定水平所用时间越短。这种老化的发生是由于粉末颗粒间的电气绝缘介质导电性增强了。实验表明无粘结剂或绝缘材料的纯铁元件与有粘结剂的完全绝缘的老化元件的电阻率大致相同。IHLP 产品系列在高温磁芯损耗 2500 小时到 9000 小时后趋于平稳。(见图 2)。温度越高，越快趋于平稳。

磁芯损耗与时间 不同温度下的老化

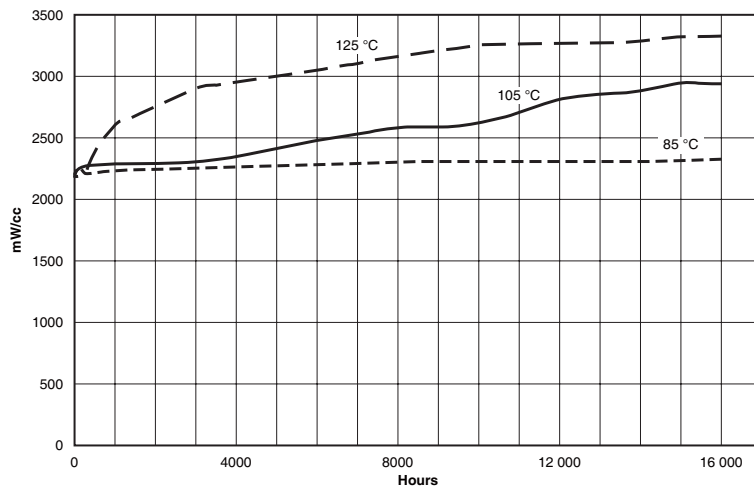


图 2

热老化讨论

有证据表明，温度升高并存在氧气时铁粒子的绝缘涂层会发生反应，减小它的电阻，导致涡流增加，最终导致更高的磁芯损耗。

损耗的一小部分，由于老化造成的磁芯损耗的增加对电感器最终工作温度的影响很小。要确定 IHLP 的磁芯损耗，请参考 VISHAY 文件号为 34250 的文件——SELECTING IHLP COMPOSITE INDUCTORS FOR NON-ISOLATED CONVERTERS UTILIZING VISHAY'S APPLICATION SHEET (“使用 VISHAY 应用表为非隔离转换器选择 IHLP 复合电感器”) [2]。

APPLICATION NOTE

一旦涂层用尽，绝缘层停止退化，磁芯损耗稳定，最终趋于“平稳”，如图 2 老化曲线所示。

对于图 3 所示的现象一直受到业界的广泛关注，图 3 显示了功率电感器的热散逸状态。为了发生热散逸状态，电感器应用的主要损耗应为磁芯损耗。VISHAY 建议，磁芯损耗应大约占总损耗的三分之一，环境温度与磁芯损耗造成的电感器温升之和应小于 125°C。如果需要在超过 125°C 的条件下工作，建议将磁芯损耗保持在总损耗的 1/6，以减轻热老化效应。VISHAY 进一步建议，不考虑环境温度，所有损耗因素 (磁芯损耗、铜损、临近损耗、集肤效应) 造成的电感器总温升应保持在 40°C 或更低。如果磁芯损耗只占了电感器总

IHLP 系列电感器用于汽车应用 Using IHLP's in Automotive Applications

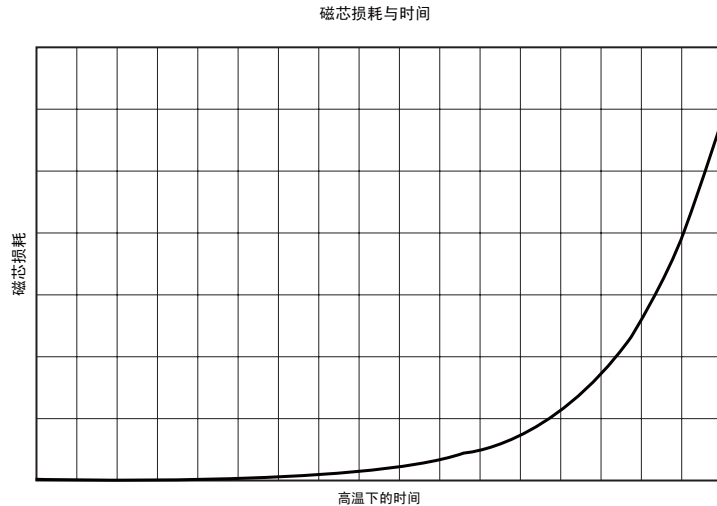


图 3

如前所述，如果磁芯损耗是主要损耗因素，且只有电感器阻抗控制电感器的电流限值，才会发生热散逸状态。随着磁芯损耗增加，有效电感和储能 ($1/2LI^2$) 就会减小。如果增加转换器的脉冲宽度以维持负载调节能力，就会增加电感器中的电流，导致热散逸。越来越多的电流、越来越多的热量等等，最终导致热散逸。

但是，如果电路在开关晶体管中有电流限制，那么稳压器将关闭，不会发生热散逸。电感器由于老化将仍不支持储能，但是如果电流受到限制，就不会发生灾难性的升温。此外，如图所示，铁粉材料的损耗永远不会成倍增长。由于原铁的磁性特性在这些温度下不会受影响，因而其损耗只会增至与铁粉芯损耗相等的点。

PCB 走线规格相关内容

持续预测 PCB 走线的温升。1973 年，为 MILSTD-275 取代，随后在 1999 年为 IPC-2221 取代，但是也同样未能成为 PCB 走线设计设定准确的标准。尽管这些文件在预测载流能力方面取得了一定的成绩，但是他们没有解决使用 PCB 走线散热的表面贴装元件的问题。

设计师被越来越多地要求设计更小更便宜的电源以满足市场需求。为了完成这一任务，设计师往往减小印刷电路板走线宽度和 / 或厚度。这一做法的最终结果是部件过热，效能降低、代价高昂的重新设计或者产品召回。这一问题的产生来自于使用 PCB 走线散热的表面贴装元件（此处为电感器）的功率损耗。

每个功率电感器制造商都会为他们的产品提供“额定电流”值。这些额定电流通常基于温升或者饱和。大多数情况下，制造商都将温升作为额定电流的决定性因素。很多时候，额定电流值就是导致 40°C 温升 (DCR) 或自热（电感器同线圈电阻）的直流电流值。这一额定电流仅适用于直流条件，且不考虑磁芯损耗导致的自热。这是另一篇文章的主题。但是，额定电流值是假设设计师设计的印刷电路板上的端接垫和铜线走线能够有效负载额定电流并排散铜线绕组产生的热量。如制造商数据表所示，许多设计师不考虑用以处理流入电感器的大电流所必需的铜线数量，结果会导致更多的温升。诸多因素会影响印刷电路板的传热能力，VISHAY 已设定标准，确保选择正确的走线宽度处理大电流。



IHLP 系列电感器用于汽车应用 Using IHLP's in Automotive Applications

表 1——建议的基于温升的外部走线⁽¹⁾ 负载能力

温升	30 °C			40 °C			50 °C			60 °C			70 °C		
走线厚度 (MM)	0.0175	0.035	0.07	0.0175	0.035	0.07	0.0175	0.035	0.07	0.0175	0.035	0.07	0.0175	0.035	0.07
走线厚度 (MM)	最大电流 (A)														
0.250	0.6	0.8	1.2	0.7	0.9	1.4	0.7	1.0	1.5	0.8	1.1	1.6	0.8	1.2	1.8
0.500	1.0	1.4	2.1	1.1	1.6	2.4	1.3	1.8	2.6	1.4	2.0	2.8	1.5	2.1	3.0
0.750	1.4	2.0	2.9	1.6	2.3	3.3	1.7	2.5	3.6	1.9	2.7	3.9	2.0	2.9	4.2
1.000	1.7	2.5	3.6	2.0	2.8	4.1	2.2	3.1	4.5	2.4	3.4	4.9	2.5	3.6	5.3
1.250	2.1	3.0	4.3	2.3	3.4	4.9	2.6	3.7	5.4	2.8	4.1	5.9	3.0	4.4	6.3
1.500	2.4	3.4	5.0	2.7	3.9	5.6	3.0	4.3	6.2	3.2	4.7	6.8	3.5	5.0	7.3
1.750	2.7	3.9	5.6	3.1	4.4	6.4	3.4	4.9	7.0	3.7	5.3	7.6	3.9	5.7	8.2
2.000	3.0	4.3	6.2	3.4	4.9	7.1	3.8	5.4	7.8	4.1	5.9	8.5	4.4	6.3	9.1
2.250	3.3	4.7	6.8	3.7	5.4	7.8	4.1	6.0	8.6	4.5	6.5	9.3	4.8	6.9	10.0
2.500	3.6	5.1	7.4	4.1	5.9	8.4	4.5	6.5	9.3	4.9	7.0	10.1	5.2	7.5	10.9
2.750	3.8	5.5	8.0	4.4	6.3	9.1	4.8	7.0	10.1	5.2	7.6	10.9	5.6	8.1	11.7
3.000	4.1	5.9	8.6	4.7	6.8	9.8	5.2	7.5	10.8	5.6	8.1	11.7	6.0	8.7	12.5
3.250	4.4	6.3	9.1	5.0	7.2	10.4	5.5	8.0	11.5	6.0	8.6	12.5	6.4	9.3	13.4
3.500	4.6	6.7	9.7	5.3	7.6	11.0	5.8	8.4	12.2	6.3	9.2	13.2	6.8	9.8	14.2
3.750	4.9	7.1	10.2	5.6	8.1	11.6	6.2	8.9	12.9	6.7	9.7	14.0	7.2	10.4	15.0
4.000	5.2	7.5	10.8	5.9	8.5	12.2	6.5	9.4	13.5	7.0	10.2	14.7	7.6	10.9	15.8
4.250	5.4	7.8	11.3	6.2	8.9	12.8	6.8	9.8	14.2	7.4	10.7	15.4	7.9	11.4	16.5
4.500	5.7	8.2	11.8	6.4	9.3	13.4	7.1	10.3	14.9	7.7	11.2	16.1	8.3	12.0	17.3
4.750	5.9	8.5	12.3	6.7	9.7	14.0	7.4	10.7	15.5	8.1	11.7	16.8	8.7	12.5	18.0
5.000	6.2	8.9	12.8	7.0	10.1	14.6	7.7	11.2	16.1	8.4	12.1	17.5	9.0	13.0	18.8

注

(1) 对于内部走线，最大电流降低 50%

表 1 总结了基于走线宽度和厚度的 PCB 走线建议的最大电流。这些建议值使用以下公式得出：(1)

$$(I = 3.188 \times \Delta T^{-0.45} \times W^{0.79} \times Th^{0.53})(1)$$

该公式 ΔT 单位为 C，宽度 (W) 和厚度 (TH) 单位为毫米。3.188 为常数，基于一个已转换为 SI 单位的常用热力学公式。如果遵循这些电路板走线标准，设计师应当会发现热性能与 IHLP 数据表上列出的热性能非常相似。

向前迈进

随着汽车中电子产品的增加，以及更多的电子系统取代机械系统，大量的电流需要适当的调节和滤波。IHLP 电感器的优势包括低 DCR 及大电流处理能力，因而是 DC/DC 转换器或 EMI 滤波器的极佳选择。不管是现在还是将来，在采用正确设计技术的条件下，IHLP 电感器都可以被汽车电子设计师放心使用，并且可使其获益匪浅。

参考文献

[1] JOHN VANDERSLEEN, “PRINTED WIRING BOARD MANUFACTURING ADVANCES”, POWER ELECTRONICS TECHNOLOGY, 2004 年 9 月, 第 40-43 页

[2] VISHAY INTERTECHNOLOGY 公司网站
WWW.VISHAY.COM 中的文件: SELECTING IHLP COMPOSITE INDUCTORS FOR NON-ISOLATED CONVERTERS UTILIZING VISHAY'S APPLICATION SHEET