

## 开关稳压电源系列

## 降压转换器使用的功率电感注意事项

在降压转换器中使用的电感，各个厂家都有大量的电感销售，经常会遇到从中选择哪一个比较好的问题。在本应用手册中，将说明功率电感的特征和注意事项。

## 功率电感种类

降压转换器所使用的功率电感大致分为 3 种。铁氧体绕组型，又分为仅在鼓型铁氧体磁芯上缠绕线圈的开磁型和在其外侧覆盖铁氧体线圈架的闭磁型（屏蔽型）。开磁型体积小，电感不易饱和，因此性能优良，但直流电阻比闭磁型大，而且磁通量泄漏到电感外部，可能会对其他电路产生不良影响。这种铁氧体绕组型功率电感是降压、升压、反转型 DC/DC 转换器中最常见的，特别是像车载这样对减轻噪音要求高的地方使用了闭磁型。

金属复合型是在模具中插入线圈，放入计重的磁性粉，用高压压床成一体成形。金属复合磁芯与铁氧体磁芯相比，饱和磁通量密度约为 2 倍，因此体积为 1/4 就可以积累相同的能量。但是，一般来说，磁导率比铁氧体低，为了得到相同的电感值，需要增加卷数。虽然适合小型大电流用途，但电感值只能比铁氧体绕组型小。还有需要注意它是直流电压耐压为 30V 的低电压器件。

叠层型是在铁氧体薄板上印刷了导体金属，并重叠起来形成

线圈，可以做到非常小型化。虽然不能制作大的电感值和大电流，但是面向高频开关动作的小电流用的 DC/DC 转换器来说，电感值很小也可以使用。

## 目录里记载的项目

制造商的目录中除了电感值、容许差以外还记载了主要的电气特性。Table 2 是太阳诱电制造的铁氧体绕组型电感的目录记载例子。

## 直流阻抗

直流电阻是绕线（铜线）的电阻，影响大电流时的效率。由于电阻的作用，电感会产生与电感电流平方成比例的发热，如果电阻值高，则会增加因发热而产生的能量损耗，从而降低转换效率。等效串联电阻低的电感尺寸变大，成本也会上升，所以需要折衷提高效率。金属复合型与铁氧体绕组型相比，为了获得相同的电感值，需要增加绕组（铜线）的卷数，所以直流电阻有很大的倾向。

项目	铁氧体绕组型	金属复合型	叠层型
构造	铁氧体磁芯上缠绕铜线	金属粉末和绕线一体成型	铁氧体薄板上印刷导体金属，并重叠起来
电感值	大(大概 $\geq 4.7\mu\text{H}$ )	中(大概 $\leq 4.7\mu\text{H}$ )	小(大概 $\leq 4.7\mu\text{H}$ )
直流电阻值 DCR	小	大	大
Q	大	小	小
额定电流值	中	大	小
饱和时直流重叠特性	电感值急剧减少	难以饱和，因此电感值稳步减少	电感值急剧减少
高温时特性	差	良好	良好
用途	降压、升压、反转降压、 中电流 大概 $\leq 1\text{MHz}$	降压 大电流、低电压 大概 $\geq 1\text{MHz}$	降压 小电流 大概 $\geq 3\text{MHz}$

Table 1. 各功率电感的特征

●NRH2410屏蔽型

型号	EHS	标称电感值 [μH]	电感量公差	自共振频率 [MHz] (min.)	直流电阻 [Ω] (±20%)	额定电流 ※) [mA]				测试频率 [kHz]
						直流重叠允许电: Idc1		温度上升允许电流: Idc2		
						Max.	Typ.	Max.	Typ.	
NRH2410T R68NN 4	RoHS	0.68	±30%	120	0.060	2,200	2,300	1,570	1,810	100
NRH2410T 1R0NN 4	RoHS	1.0	±30%	106	0.070	1,800	1,950	1,410	1,640	100
NRH2410T 1R5MN	RoHS	1.5	±20%	94	0.110	1,550	1,640	1,160	1,320	100
NRH2410T 2R2MN	RoHS	2.2	±20%	77	0.150	1,290	1,340	970	1,110	100
NRH2410T 3R3MN	RoHS	3.3	±20%	56	0.220	1,000	1,140	770	890	100
NRH2410T 4R7MN	RoHS	4.7	±20%	50	0.290	880	930	670	780	100
NRH2410T 6R8MN	RoHS	6.8	±20%	43	0.410	750	765	570	650	100
NRH2410T 100MN	RoHS	10	±20%	32	0.690	550	605	450	520	100
NRH2410T 150MN	RoHS	15	±20%	27	1.02	470	520	370	430	100
NRH2410T 220MN	RoHS	22	±20%	22	1.47	390	405	300	340	100

Table 2. 太阳诱电目录

(出典:太阳诱电电感目录 2020)

### 直流重叠容许电流

直流叠加容许电流是表示电感电流与电感值如何变化的电流值。在 Table 2 的例子中, 记载了电感值比初始值减少 30% 时的直流电流值, 但是这个条件因制造商和电感系列而异, 所以和其他电感比较时需要注意。

特性例子如 Figure 2 所示。当直流电流流过电感时, 随着电流的增加, 铁氧体开始磁饱和, 从而导致磁导率降低, 电感值降低。金属复合型的饱和磁密度比铁氧体绕组型的高, 所以即使电流增加, 电感值也会像 Figure 3 那样平稳减少。

直流叠加容许电流值根据 Figure 1 所示电感电流的峰值电流值是否满足规格来判断。请选择相对于电感规格具有余量的电感。

### 温度上升容许电流

温度上升容许电流是表示电感对电感里流动的电流如何发热的电流值。特性例子如 Figure 4 所示。在 Table 2 的例子中, 记载了电感温度上升 40° C 时的直流电流值, 但是因测量基板

的散热性或测量位置的不同等而异, 因制造商和电感的系列而异, 所以和其他电感比较时需要注意。

温度上升容许电流根据 Figure 1 所示电感电流的平均电流值是否满足规格作为判断基准。请选择相对于电感规格的 Max. 值具有余量的电感。

### 温度特性

如果降压转换器电路的电感值发生变化, 则波纹电流也会发生变化。在 Figure 5 和 Figure 6 中显示铁氧体绕组型和金属复合型电感的温度特性。铁氧体绕组型的磁性材料的温度特性很大, 特别是在高温下直流叠加特性恶化。金属复合型由于使用了磁性饱和和温度特性都很优秀的金属磁性材料, 电感值的温度变化会变小。铁氧体绕组型由于自身发热导致温度上升导致电感值减少, 因此电流的峰值增加, 进而温度上升, 进一步电感值减少, 容易引起恶性循环。

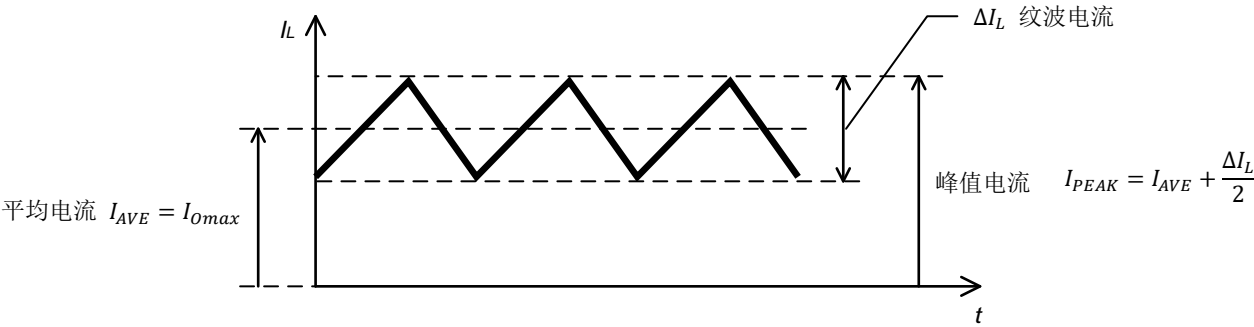


Figure 1. 电感电流

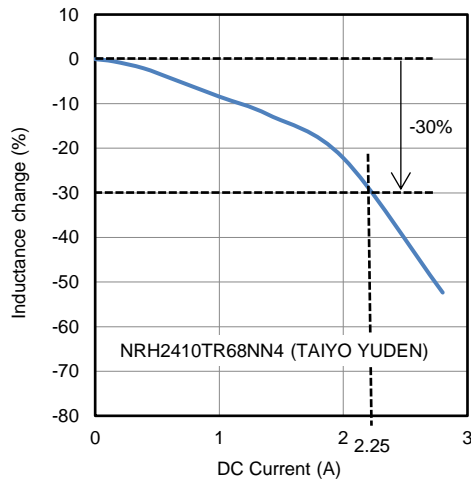


Figure 2. 直流叠加特性、Table2 的例子

(出典: 太阳诱电技术资料 2015 年)

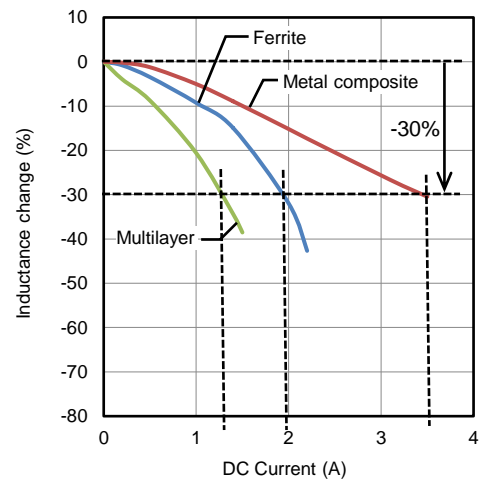


Figure 3. 直流叠加特性、按构造区分

铁氧体绕组: NRH2410T1R0 (TAIYO YUDEN)  
 金属复合: MAKK2520T1R0 (TAIYO YUDEN)  
 叠层: CKP25201R0-T (TAIYO YUDEN)

(出典: 太阳诱电技术资料 2015 年)

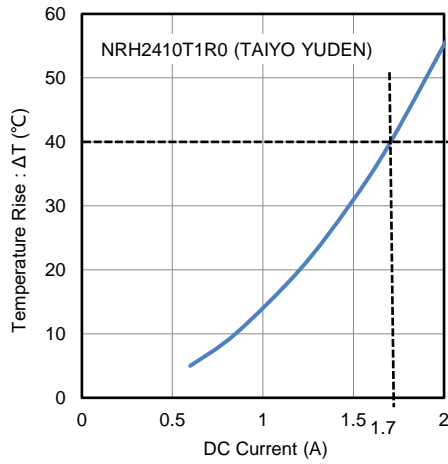


Figure 4. 温度上升特性、Table2 的例子

(出典: 太阳诱电技术资料 2015 年)

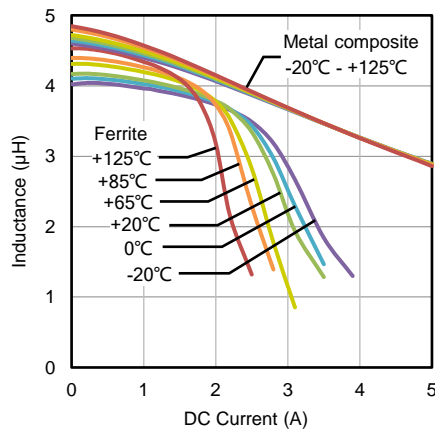


Figure 5. 温度特性

铁氧体绕组: NRS5014T4R7 (TAIYO YUDEN)  
 金属复合: MDPK5050T4R7 (TAIYO YUDEN)

(出典: 太阳诱电技术资料 2015 年)

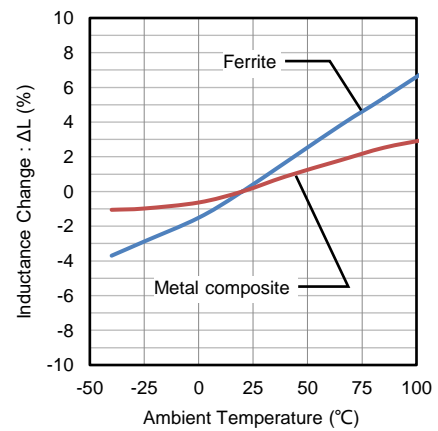


Figure 6. 温度特性

铁氧体绕组: NRS5014T4R7 (TAIYO YUDEN)  
 金属复合: MDPK5050T4R7 (TAIYO YUDEN)

(出典: 太阳诱电技术资料 2015 年)

## 电感值低下产生的问题

如上所述,在电感中直流电流流通的话,由于磁饱和和电感值会减少,但如果所使用的电感的容许电流与实际流动的峰值电流之间没有余量的话,则电流的剧增会导致控制不稳定。

电感的容许电流相对于峰值电流有充分余量的情况下,即使电流增加降低的电感值也很小,因此可以按照设计进行控制。

没有余量的情况下,像 Figure 7 那样因电流增加而引起的磁饱和导致电感值降低,电感值减少导致峰值电流进一步增加。这样一来,过电流保护会启动,输出会停止。电流增加的速度过快的话,过电流保护的動作会赶不上,IC 可能会损坏。

为了防止峰值电流增加导致电感值急剧下降,需要注意电感的容许电流特性来选择电感。

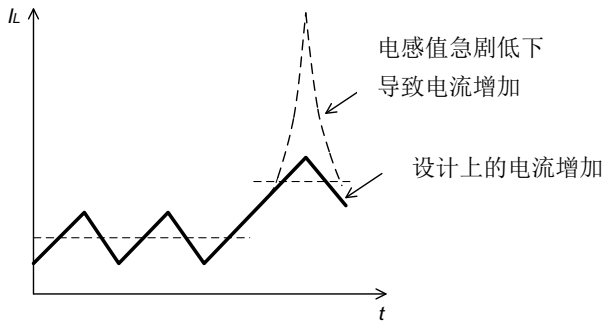


Figure 7. 电感值低下导致电流增加

## 功率电感损耗

电感损耗包含目录中记载的等效串联电阻 $R_{dc}$ ,这会影响大电流范围的效率。当开关频率变高到数 MHz 时,交流电流对应的电阻 $R_{ac}$ 也是重要的要素。这个在整个电流范围内影响效率。因为这个数据一般很少公开,所以需要从电感供应商那里获取。

Figure 8 表示功率电感的等效电路模型。交流电阻的数据 (Figure 9) 是以 $R_{dc}$ 和 $R_{ac}$ 合成的值提供的。频率低的时候,因 $R_{ac}$ 值小,所以 $R_{dc}$ 占主导地位,但是随着频率的增加而 $R_{ac}$ 也增加。

如 Figure 10 所示,交流电流的损耗是由卷线引起的铜损耗 (表皮效应、接近效果) 和磁性体的铁损耗 (滞后损失、涡流损耗、残留损耗) 引起的。

绕线电阻是直流电流造成的损耗。缠绕线 (铜线) 的电阻成分会影响损耗,大电流时占电感损耗的大部分。

表皮效应是高频电流流过导体时,电流密度在导体表面变高,在中心变低的现象。频率越高电流越集中在表面 (例如: 铜线 100kHz 表皮的深度 0.21mm、1MHz 表皮的深度 0.066mm、

10MHz 表皮的深度 0.021mm)。

接近效应是在邻接的导体流通交流电流的情况下,如果电流方向相同,则会产生排斥力,如果电流方向相反,则会产生吸引力作用,从而导致导体内的电流发生偏差的现象。

滞后损耗是磁芯改变磁场方向时的损耗。用滞后环线表示,其大小与被环线包围部分的面积成比例。在交流的情况下,丢失的能量与绕环线的次数成比例,所以损耗与频率成比例。

$$P_h = k_h f B_m^{1.6}$$

Ph: 滞后损耗

f: 频率

Bm: 最大磁通量密度

Kn: 比例常数

涡流损耗是指,在具有导电性的磁芯上缠绕的线圈上通过交流电流时,随着磁通量的变化而产生的涡流。这个电流由于磁芯材料的电阻而发热,产生损耗。损耗与频率的平方成正比。

$$P_e = k_e \frac{(t f B_m)^2}{\rho}$$

Pe: 涡流损耗

t: 铁板厚度

f: 频率

Bm: 最大磁通量密度

$\rho$ : 磁性体的电阻率

Ke: 比例常数

残留损耗是滞后损耗和涡流损耗以外的损耗。各电感厂商正在开发降低铜损、铁损的产品。

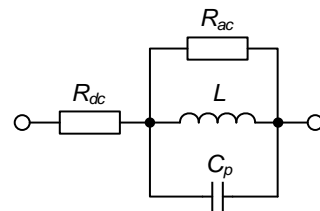


Figure 8. 功率电感的等效电路模型

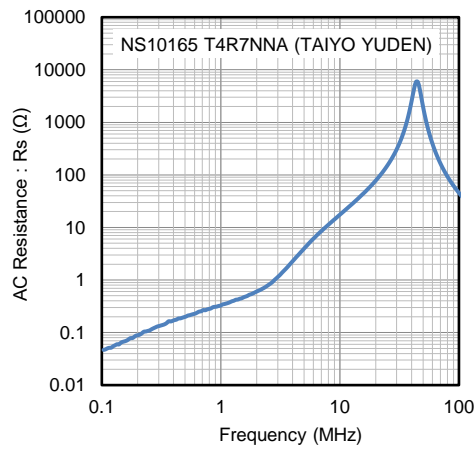


Figure 9. 交流阻抗的频率特性  
(出典: 太阳诱电技术资料 2015 年)

电感的选择步骤

从多个电感中选择种类。虽然在 Table 1 中显示了各电感的特征，但在 Figure 11 中显示了更具体的数值。这张图只是一种手段，请作为选择的头绪使用。

电感值可以参考 IC 的 Datasheet 中指定的值或者由计算方法导出。

从各个厂家的目录中，寻找能够满足所需电气特性和尺寸的产品。

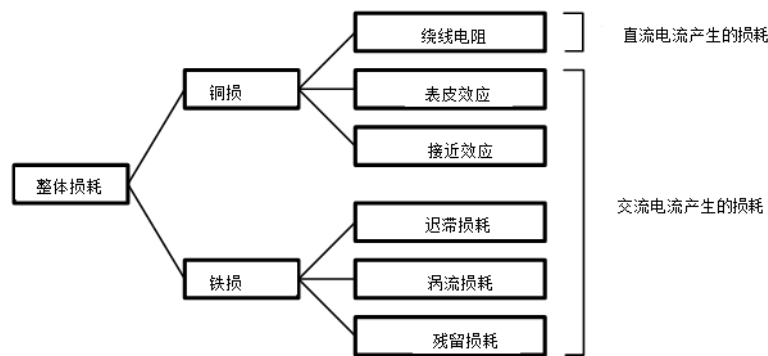


Figure 10 电感损耗

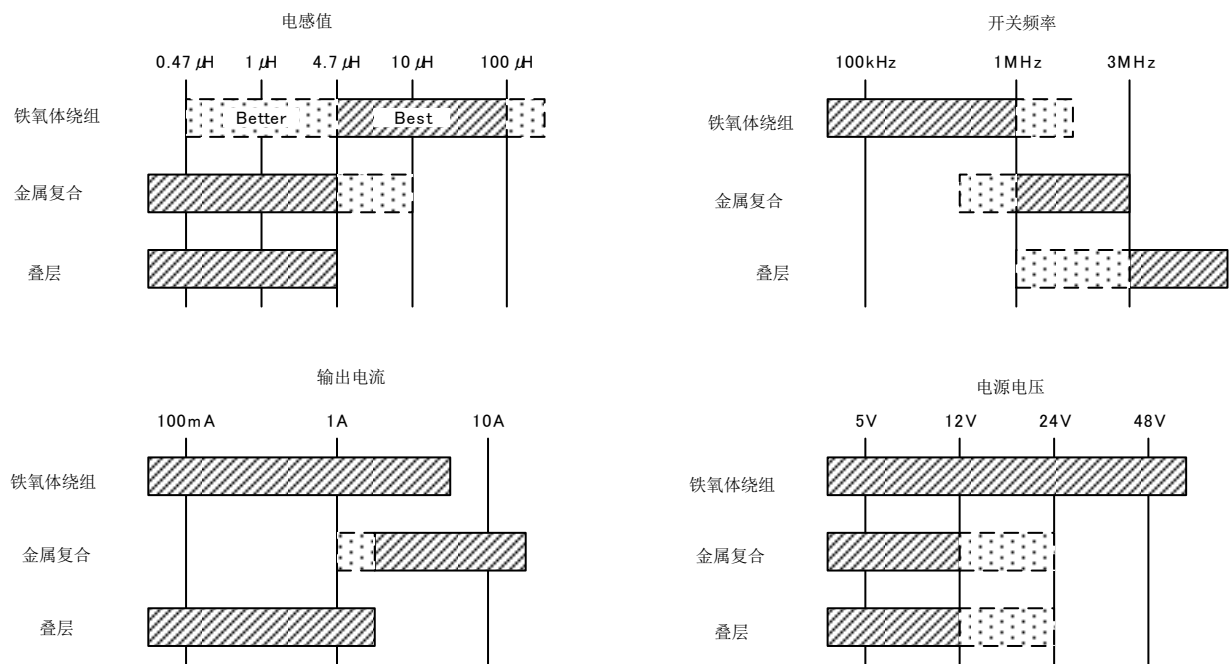


Figure 11 选择电感种类的图示方法

## Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.  
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.  
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

## ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.com/contact/>