

圆形横截面磁环及 θ 型圆形横截面磁环电感器

Circular Cross Section Magnetic Ring Core and θ Type Circular Cross Section Magnetic Ring Core Choke

何可人, 须建, 鞠万金, 杨建民

1 前言

在网络通讯、自动控制、电力驱动、交通运输、计算机、太阳能和风力发电等广泛领域, 所使用的各种电子设备和装置中的电源变换器(开关电源、不间断电源、变频电源等), 都大量地使用了各类环形电感器, 诸如: 抑制传导电磁干扰的 EMC 滤波器中的共模电感器和差模电感器、抑制谐波电流以改善电流波形的交流滤波电感器、功率因数校正电路中的电感器、降低直流电压纹波的直流滤波电感器等等。

制造各类环形电感器时, 如采用圆形横截面磁环替代传统的横截面为矩形的磁环, 将因绕组的绕制工艺较易而节省工时, 因绕组的铜线用量较少而节省材料。由于各类环形电感器的应用范围极其广泛, 市场需求的数量极其庞大, 因此推广使用本实用新型圆形横截面磁环, 具有重要的经济和环保价值。

[一种圆形横截面磁环及 θ 型圆形横截面磁环电感器]
实用新型专利号: 2019 2 0745391.8

2 圆形横截面磁环简介

1) 通用圆形横截面磁环:

因受压制磁环的模具和工艺要求的限制, 很难制造全圆形横截面的磁环, 实际上要将磁环的内圆和外圆截去一小段圆弧, 其横截面的形状为由左右两段长圆弧和上下两段短弦所构成的近圆形。根据各类环形电感器的功能不同, 圆形横截面磁环的材料有多种软磁材料可供选择, 制成诸如: 铁氧体磁心、铁磁粉心、铁硅铝磁粉心和铁镍钼磁粉心等等。

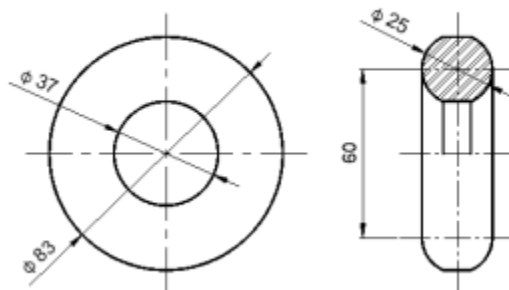


图 1

2) θ 型圆形横截面磁环:

A. 磁桥位于磁环正中的 θ 型圆形横截面磁环

在磁桥两侧的磁环上, 绕制两个对称的共模绕组 ($L-L'$ 和 $N-N'$), 组成用于单相交流 EMC 滤波器的差模—共模复合电感器 (简称 DCCC)。磁心的材质是相对磁导率 $\mu_i \geq 7000$ 的锰锌铁氧体。

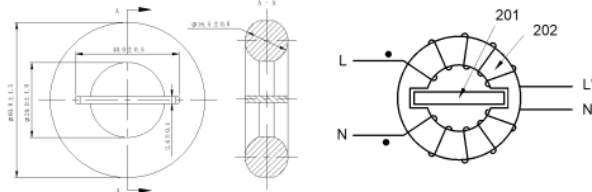


图 2

B. 磁桥位于磁环一侧的 θ 型圆形横截面磁环

在磁桥两侧的磁环上, 长圆弧一侧绕有三个相线绕

组 (A-A'、B-B'、C-C'), 短圆弧一侧绕有中线绕组 (N-N'), 组成用于三相四线交流 EMC 滤波器的三相四线共模—差模电感器 (简称 TFCD)。磁心的材质是相对磁导率 $\mu_i \geq 7000$ 的锰锌铁氧体。

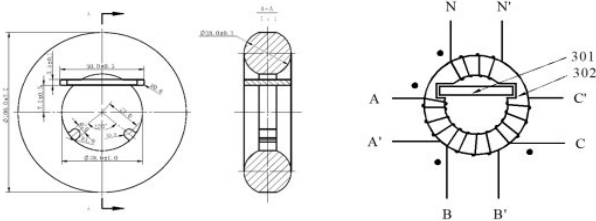
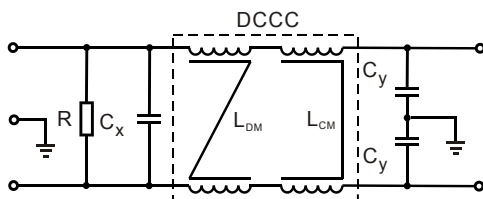


图 3

C. 采用 DCCC 和 TFCD 组成的 EMC 滤波器的特点: DCCC 和 TFCD 的特点不仅是具有较大的共模感值 (LCM), 而且还具有较大的寄生差模电感值 (LDM), $LDM > 5\% LCM$ 。采用 DCCC 和 TFCD 所组成的 EMC 滤波器, 具有以下优点:

- a) 滤波性能好 (共模、差模插入损耗高, 传导电磁干扰电平低),
- b) 体积小,
- c) 重量轻,
- d) 损耗少,
- e) 成本低。

单相交流 EMC 滤波器



三相四线交流 EMC 滤波器

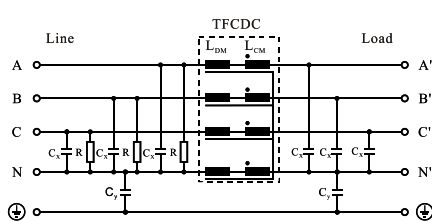


图 4

3 圆形横截面磁环与矩形横截面磁环绕组用铜量之比较

1) 圆铜线平绕组电感器:

设圆形横截面磁环与正方形横截面磁环的有效磁路长度 l_e (约为磁环内、外圆周长的平均值) 和横截面积 S_e 都相等, 并由相对磁导率 μ_i 相同的磁性材料制成, 那么这两种磁环的电感系数 $AL (AL = \mu_0 \mu_i S_e / l_e)$ 是相等的。当绕组的圈数 N 相同时, 这两种磁环电感器的电感值 $L (L = ALN^2)$ 也是相等的。

现对这两种磁环电感器圆铜线绕组一圈的长度进行比较:

磁环正方形横截面的边长为 A , 磁环正方形横截面的面积为 $S_e = A^2$, 正方形横截面磁环电感器圆铜线绕组一圈的长度为 $l_2 = 4A$,

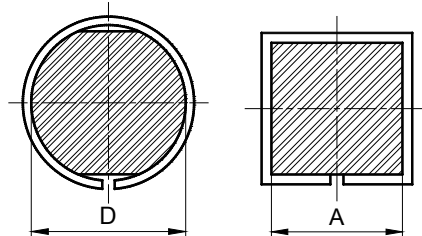


图 5

磁环圆形横截面的面积为:

$$S_e = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$\begin{aligned} \text{磁环圆形横截面的直径为: } D &= \sqrt{\frac{4S_e}{\pi}} = \sqrt{\frac{4A^2}{\pi}} \\ &= 1.128A \end{aligned}$$

圆形横截面磁环电感器圆铜线绕组一圈的长度为:
 $l_1 = \pi D = 3.544A$

两种电感器圆铜线绕组一圈长度之比为: $l_1 / l_2 = 3.544A / 4A = 0.886 l_1 = 0.886 l_2$

(选用正方形横截面磁环电感器与圆形横截面磁环电感器相比较, 是因为在面积相同的矩形图形中, 正方形的周长是最短的)。

圆铜线绕组的用铜量 (铜线的重量) W 与铜线的体积 $S_{Cu} l_{Cu}$ 成正比, $W = \gamma_{Cu} S_{Cu} l_{Cu}$ 。当两种电感器绕组圆铜线的

横截面积 S_{Cu} 相同时, 绕组的用铜量与铜线的长度 l_{Cu} 成正比, 故圆形横截面磁环电感器绕组的用铜量 W 可以节省约 11.4%。考虑到现有磁环的横截面多为长、宽边长不等的矩形, 且电感器绕组的铜线又不能绕制得紧贴磁环表面, 实际上圆铜线绕组一圈的长度 $l_2 > 4A$, 所以, 采用圆形横截面磁环替代传统矩形横截面磁环时电感器绕组圆铜线的用量应可节省 12% 以上。

电感器绕组的电阻 R_{Cu} 与绕组铜线的长度 l_{Cu} 成正比, 与绕组铜线的横截面积 S_{Cu} 成反比, $R_{Cu} = \rho_{Cu} l_{Cu} / S_{Cu}$ 。因铜线的横截面积相同, 故采用圆形横截面磁环替代传统矩形横截面磁环时, 电感器绕组的电阻 R_{Cu} 会减少 12% 以上, 相应地电感器绕组的铜耗 $p_{Cu} = I^2 R_{Cu}$ (式中 I 为电感器的的工作电流) 也会减少 12% 以上。

若选择保持电感器绕组的铜耗不变, 亦即电感器绕组的电阻不变 ($R_{Cu1} = R_{Cu2}$), 则圆形横截面磁环电感器绕组圆铜线的横截面积应按比例减小, 可进一步节省绕组的用铜量。

圆形横截面磁环电感器绕组的电阻: $R_{Cu1} = \rho_{Cu1} l_{Cu1} / S_{Cu1}$

正方形横截面磁环电感器绕组的电阻: $R_{Cu2} = \rho_{Cu2} l_{Cu2} / S_{Cu2}$

保持电感器绕组的电阻不变, 即: $\rho_{Cu1} l_{Cu1} / S_{Cu1} = \rho_{Cu2} l_{Cu2} / S_{Cu2}$

两种电感器绕组铜线横截面积之比为: $S_{Cu1} / S_{Cu2} = l_{Cu2} / l_{Cu1} = 0.886$ $S_{Cu1} = 0.886 S_{Cu2}$

两种电感器绕组的用铜量之比为: $W_1 / W_2 = \gamma_{Cu} S_{Cu1} l_{Cu1} / \gamma_{Cu} S_{Cu2} l_{Cu2} = 0.886 \times 0.886 = 0.785$ $W_1 = 0.785 W_2$ 。

由此可见, 采用圆形横截面磁环替代正方形横截面磁环, 并保持电感器绕组的电感值和铜耗不变时, 圆形横截面磁环电感器绕组的用铜量 W_1 为正方形横截面磁环电感器绕组用铜量 W_2 的 78.5%, 即绕组的用铜量可以节省约 21.5%。

考虑到现有磁环的横截面多为长、宽边长不等的矩形, 且电感器绕组的铜线又不能绕制得紧贴磁环表面, 实际上绕组铜线的长度, 大于正方形横截面磁环电感器绕组铜线的长度, 所以, 采用圆形横截面磁环替代传统矩形横截面磁环时, 电感器绕组圆铜线的用量应可节省 22% 以上。

2) 扁铜线立绕绕组电感器:

设圆形横截面磁环与正方形横截面磁环的有效磁路长度 l_e (约为磁环内、外圆周长的平均值) 和横截面积 S_e 都相等, 并由相对磁导率 μ_1 相同的磁性材料制成, 那么这两种磁环的电感系数 AL ($AL = \mu_0 \mu_1 S_e / l_e$) 是相等的。当绕组的圈数 N 相同时, 这两种磁环电感器的电感值 L ($L = ALN^2$) 也是相等的。现对这两种磁环电感器扁铜线绕组一圈的长度进行比较:

磁环正方形横截面的边长为 A , 磁环正方形横截面的面积为 $S_e = A^2$, 正方形横截面磁环电感器扁铜线绕组一圈的长度 (以内圆的周长近似地替代) 为: $l_2 = \pi \sqrt{2} A = 4.443A$

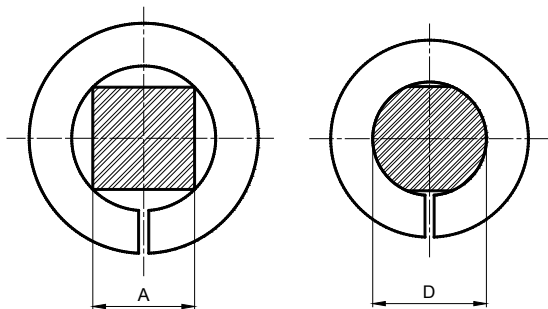


图 6

磁环圆形横截面的面积为: $S_e = \frac{\pi}{4} D^2$

磁环圆形横截面的直径为: $D = \sqrt{\frac{4 S_e}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 A^2}{\pi}} = 1.128A$

圆形横截面磁环电感器扁铜线绕组一圈的长度 (同样以内圆的周长近似地替代) 为: $l_1 = \pi D = 3.544A$, 两种电感器扁铜线绕组一圈长度之比为: $l_1 / l_2 = 3.544A / 4.443A = 0.798$, $l_1 = 0.798 l_2$ 。

由此可见, 采用圆形横截面磁环替代正方形横截面磁环时, 圆形横截面磁环电感器一个绕组扁铜线的长度 ($l_{Cu1} \approx N l_1$) 为正方形横截面磁环电感器一个绕组扁铜线的长度 ($l_{Cu2} \approx N l_2$) 的 79.8%; 扁铜线绕组的用铜量 (铜线的重量) 与铜线的体积成正比, 铜线的横截面积 S_{Cu} 相同时, 绕组的用铜量与铜线的长度成正比, 故绕组的用铜量可节

省约 20%。

考虑到现有磁环的横截面多为长、宽边长不等的矩形,且电感器绕组又不能绕制得紧贴磁环的四个转角(会损伤绝缘),实际上扁铜线绕组一圈的长度 $l_2 > 4.443A$,所以,采用圆形横截面磁环替代传统矩形横截面磁环时,电感器绕组扁铜线的用量应可节省 20% 以上。

若选择保持电感器绕组的铜耗不变,亦即电感器绕组的电阻不变 ($R_{Cu1}=R_{Cu2}$),则圆形横截面磁环电感器绕组扁铜线的横截面积应按比例减小,可进一步节省绕组的用铜量。

保持电感器绕组的电阻不变,即: $\rho_{Cu}l_{Cu1}/S_{Cu1}=\rho_{Cu}l_{Cu2}/S_{Cu2}$

两种电感器绕组铜线横截面积之比为: $S_{Cu1}/S_{Cu2}=l_{Cu1}/l_{Cu2}=0.798$ $S_{Cu1}=0.798S_{Cu2}$

两种电感器绕组用铜量之比为: $W_1/W_2=\gamma_{Cu}S_{Cu1}l_{Cu1}/\gamma_{Cu}S_{Cu2}l_{Cu2}=0.798 \times 0.798=0.637$ $W_1=0.637W_2$ 。

由此可见,采用圆形横截面磁环替代正方形横截面磁环,并保持电感器绕组的铜耗不变时,圆形横截面磁环电感器绕组的用铜量 W_1 为正方形横截面磁环电感器绕组用铜量 W_2 的 63.7%,即绕组扁铜线的用量可以节省约 36%。

考虑到现有磁环的横截面多为长、宽边长不等的矩形,且电感器绕组又不能绕制得紧贴磁环的四个转角(会损伤绝缘),实际上绕组铜线的长度,大于正方形横截面磁环电感器绕组铜线的长度,所以,采用圆形横截面磁环替代传统矩形横截面磁环时,电感器绕组扁铜线的用量应可节省 36% 以上。

4 结束语

各类环形电感器采用本实用新型提供的圆形横截面磁环替代传统的矩形横截面磁环时,在磁环的有效磁路长度 l_e 和磁路的横截面积 S_e 相等、材质相同、电感系数 AL 值

相同和电感器绕组的圈数 N 相同、电感值 L 相等并保持其铜耗 p_{Cu} 不变的前提下,可带来如下的有益效果:

1) 采用圆形横截面磁环的圆铜线平绕绕组电感器,与采用矩形横截面磁环的圆铜线平绕绕组电感器相比较,绕组的用铜量可节省 22% 以上。

2) 采用圆形横截面磁环的扁铜线立绕绕组电感器,与采用矩形横截面磁环的扁铜线立绕绕组电感器相比较,绕组的用铜量可节省 36% 以上。

3) 采用圆形横截面磁环的扁铜线立绕绕组电感器,与采用矩形横截面磁环的扁铜线立绕绕组电感器相比较,因扁铜线可紧贴磁环表面绕制绕组,不仅简化了绕组的绕制工艺,而且使磁心和绕组一体化的电感器便于安装,节省了工时成本。

4) 比较图 6 的两图可见,采用圆形横截面磁环扁铜线立绕绕组电感器的外径和高度较小,因而与采用矩形横截面磁环的扁铜线立绕绕组电感器相比较,其体积较小。

5) 采用 θ 型圆形横截面磁环绕制的复合电感器 DCCC 和 TFCD C,除具有上述的有益效果外,还具有如下的有益效果: DCCC 和 TFCD C 不仅具有较大的共模电感值 (L_{CM}),而且还寄生有较大的差模电感值 (L_{DM}),因此,在采用 DCCC 组成的单相 EMC 滤波器和采用 TFCD C 组成的三相四线 EMC 滤波器中,不再需要差模电感器,却仍具有很好的滤波性能(共模、差模插入损耗高,传导电磁干扰电平低),且体积小、重量轻、损耗少、成本低。

6) 若采用本实用新型提供的圆形横截面磁环所替代的矩形横截面磁环,系由两个半圆的磁环组成时,因圆形横截面磁环没有气隙,在保持电感器的电感值 L 相等和铜耗 p_{Cu} 不变的前提下,在适当地减少磁环的有效磁路长度 l_e 和横截面积 S_e (保持仍有较大的 AL 值)的同时,还可以进一步减少电感器绕组的圈数 N 和扁铜线的横截面积 S_{Cu} 。因此,采用圆形横截面磁环的电感器,不仅可节省更多的材料(铜线和软磁材料),而且体积更小,重量更轻。