

# 自动绕线机用储能磁环和漆包线性能特征探讨

姜茂明

**摘要：**文章主要介绍用于自动绕线机和用于人工绕制的储能磁环与漆包线，两种绕制方式对磁环与漆包线的性能特征要求差异，以及如何改善磁环与漆包线，使之适应自动绕线机绕制。

**关键词：**自动绕线机，磁环，漆包线，等效电阻

## 1 现状

随着人工市场价格提高，采用机器人生产迫在眉睫，然而机器人生产方式有时与人工生产方式并不完全相同，这些不同可能会带来致命的缺陷。

以储能磁环电感为例，机器人生产的储能磁环电感有极少数会出现，在通电后极短时间内磁环温度超过370℃，而电路正常工作。直至漆包线碳化，引起着火。因为直至着火，电路的保护电路都不能启动，所以其危害也特别大。

## 2 分析原因

仔细分析机器人生产方式与人工生产方式。传统人工生产时，通过钩子拉动漆包线将其绕制在磁环上，漆包线受力部分是铜芯。此工艺的缺陷是，为了让铜芯受力，需折弯部分漆包线，即使简化到一个绕组折弯一次漆包线，也会打断生产连续性，无法实现无人值守的机器人生产。为了实现无人值守的机器人生产，必须对此工艺作大幅修改，将漆包线受力部分由铜芯改为漆膜。通过上下两个橡胶轮驱动漆包线，使前后绕组绕制动作前后连贯。但是事物总是要一分为二的看待，漆包线的驱动力靠橡胶轮与漆包线漆膜间的摩擦力提供，如果此摩擦力大于漆包线漆膜与铜芯间的附着力，则漆包线漆膜受损脱落。

与此同时，为了将绕组均匀地绕制在磁环上，磁环在绕制时，需由橡胶轮与磁环漆膜间的摩擦力提供驱动力作旋转动作。同样的道理，如果此摩擦力大于磁环漆膜与磁环本体间的附着力，则磁环漆膜受损脱落。

而我们知道，做储能电感用的磁环，一般是粉芯类磁心材质，其本体相当于半导体，且本体等效电阻并不受控。如果漆包线漆膜和磁环漆膜受损位置相对应，且本体等效电阻足够小，以致相当于电感并联一个电阻的效果。则会出现上述不良现象。如图1所示。

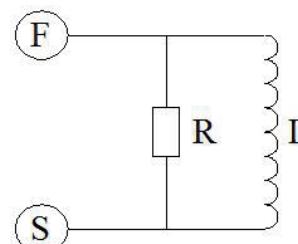


图1 不良电感等效模型

## 3 验证分析

为了验证上述猜想是否正确，设计如下实验：采用相同的电源电路，依此使用表1中1号至7号试验品电感，通电20分钟后测试电感温度。

表1：验证实验分类

序号	因素A： 漆包线漆膜	因素B： 磁环漆膜	因素C： 磁环本体 等效电阻	实验结果
实验1	去膜线	无损	高	正常
实验2	无针孔线	裸环	高	正常
实验3	无针孔线	无损	低	正常
实验4	去膜线	裸环	高	正常
实验5	去膜线	无损	低	正常
实验6	无针孔线	裸环	低	正常
实验7	去膜线	裸环	低	温度高

实验结果表明：只有实验7会出现温度高不良现象，说明之前的猜想是正确的。

## 4 改善措施

上述实验同时表明，三个因素至少阻断一个，则不会出现不良现象。所以我们针对三个因素逐一分析：

1、漆包线漆膜。机器人生产方式是通过橡胶轮与漆包线漆膜间的静摩擦力拉动漆包线，使漆包线绕制在磁环上。这样的生产方式对漆包线漆膜的耐刮及静摩擦力性能特征提出更高的要求。通过改善漆包线的耐刮及静摩擦力性能

特征，可以有效降低绕制后漆包线漆膜破损程度。

2、磁环漆膜。机器人生产方式是通过橡胶轮与磁环漆膜间的静摩擦力转动磁环，使漆包线均匀绕制在磁环上。改善磁环漆膜的耐刮及静摩擦力性能特征，可以有效降低绕制后磁环漆膜破损程度。

3、磁环本体等效电阻。如果提高磁环本体的等效电阻，使之足够大，以致在电路中，电阻 R 相当于开路。如试验

4 所示，即使漆包线漆膜和磁环漆膜破损，漆包线铜芯与磁环本体短路，电感温度也不会出现异常现象。

## 5 小结

通过改善上述三个方面的性能特征，可以将不良现象出现的概率降低至足够低。从而安全地实现机器人生产。

### 上接145页

可以看到，由于待优化参数较多且与约束条件的关系较复杂，前面六百多次的计算中并未得到满足约束条件的设计结果。随着种群的进化，才逐渐产生了满足约束条件的设计结果，最终得到最小的损耗。找到满足约束条件的最小损耗对应的参数变量值，见表 3。此时，变换器磁元件总损耗为 7.653W，电感损耗为 2.386W，变压器损耗为 5.267W，输入电流纹波系数为 18.377%，电感感量为 14.02uH。

表 3 最小损耗对应的参数变量值

参数说明	取值
电感总气隙长度 $lg$	1.9mm
电感绕组匝数 $NL$	12
电感绕组线径 $dI$	0.5mm
电感绕组每根 Litz 线层数 $n0$ (股数为 $n0^2$ )	4
电感绕组并联数 $nII$	2
变压器原边匝数 $Npl$	6
变压器副边匝数 $Nsl$	50
变压器原边铜箔厚度 $Wcu$	0.05mm
变压器副边绕组线径 $ds_{ax}$	0.35mm
变压器副边绕组每根 Litz 线层数 $ns0$ (股数为 $ns0^2$ )	1
变压器原边绕组并联数 $Nhp$	2
变压器副边绕组并联数 $Nns$	5

## 5 结论

在分析电流型推挽全桥变换器工作原理的基础上，根据变换器电感和变压器的电磁特性建立相应的理论数学模型从定量上描述各参数对变换器总损耗的影响。确定影响磁元件总损耗的主要参数为待优化参数，从而利用 modeFRONTIER 优化平台，以磁元件总损耗最小为优化目标，采用改进的遗传算法 MOGA-II 进行多参数单目标优化设计。最终得到磁元件总损耗最小的设计方案，其中磁元件最小损耗为 7.653W。本文提出的优化设计方法统筹了

变换器电感和变压器两者的损耗，不仅克服了传统设计方法上分开单独设计的缺陷，而且可推广应用到其他含有多个磁元件的变换器优化设计。

## 参考文献

- [1] 马兰, 钱荔, 肖嵒. 电流型推挽全桥双向变换器的研究 [J]. 电力电子技术, 2008, 42(1):21-23.
- [2] Chen W, Huang X, Zheng J. Improved winding loss theoretical calculation of magnetic component with air-gap[C]// International Power Electronics and Motion Control Conference. 2012:471 - 475.
- [3] Dowell P L. Effects of eddy currents in transformer windings[J]. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 1966, 113(8):1387-1394.
- [4] CHEN Wei, WANG Jinghui. PWM 波及直流偏磁励磁下磁芯损耗模型研究 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(10):2601-2606.
- [5] Steinmetz C P. On the Law of Hysteresis (Part II.) and Other Phenomena of the Magnetic Circuit[J]. American Institute of Electrical Engineers Transactions of the, IX(1):619-758.
- [6] 旷建军, 郑力新, 卢小芬, 等. 非正弦励磁下磁芯损耗的计算 [J]. 磁性材料及器件, 2009, 40(1):44-46.

## 作者简介 :

谭尉辰 (1991-) , 男, 硕士研究生, 主要研究方向 : 高频磁技术, E-mail : Tan\_weichen@126.com。

陈为 (1958-) , 男, 博士生导师, 教授, 研究方向 : 电力电子功率变换、高频磁技术、电磁兼容诊断与滤波器、电磁场分析与应用和电磁检测等。