

高性能电脑横机用电源变压器的优化设计

卢怡, 李天福, 陈景波, 卢达

(常熟理工学院 江苏省纺织机械工程研究中心, 江苏 常熟 215500)

摘要:针对高性能电脑横机因编织工艺需要,选用的驱动电机、动作执行元件电磁阀种类多、数量多和对电源变压器性能要求高的问题,对变压器优化设计方法进行研究,分析变压器铁芯材料国产化替代的可行性。在以变压器效率和电压调整率为主要优化目标、调整铁芯工作磁感应强度和绕组电流密度的基础上,完成变压器电磁参数的设计计算和样机试制,经与国外同规格高档电脑横机电源变压器的对比试验,证明优化设计的合理性和可行性。

关键词:高性能电脑横机;电源变压器;电压调整率;优化设计

中图分类号:TS 183.4⁺2

文献标志码:B

文章编号:1000-4033(2014)11-0029-03

The Optimal Design of Power Transformer Used on High-performance Computerized Flat Knitting Machine

Lu Yi, Li Tianfu, Chen Jingbo, Lu Da

(Jiangsu Textile Machinery Engineering Research Center, Changshu Institute of Technology, Changshu, Jiangsu 215500, China)

Abstract:In terms of the problem of high requirement on a great variety of drive motors, solenoid valves for actuators, and power transformer for high-performance computerized flat knitting machine, the optimal design method of power transformer is studied, and the feasibility of replacing the imported iron core of the transformer with the domestic products is analyzed. The primary optimization goals are the efficiency of the transformer and the voltage regulation. Based on the adjustment of the magnetic flux density of iron core and the current density of windings, the electromagnetic parameters of the transformer are designed and calculated, and the prototype of the transformer is manufactured. After comparative test with the transformer used in equivalent foreign imported high-performance computerized flat knitting machine, the rationality and feasibility of the optimal design is proved.

Key words:High-performance Computerized Flat Knitting Machine; Power Transformer; Voltage Regulation Factor; Optimal Design

高性能电脑横机是集计算机控制技术、机电一体化技术与针织工艺技术为一体的针织设备,通过传动系统、送纱系统、摇床系统、编织系统、牵拉卷取系统、密度调节系统间的协调动作,能高效完成多种复杂花样的编织^[1]。各运动系统根据编织工艺需要,选用的电驱动元件种类多,且动作稳定性、可靠性要求高。这些不同电压等级的电

驱动元件及驱动电路均由电源变压器供电,因此,电源变压器性能直接影响各驱动元件能否正常工作及电脑横机整机运行的可靠性。

本文在分析国外高档电脑横机用电源变压器性能基础上,将铁芯材料、变压器效率和电压调整率作为优化目标,以变压器绕组电流密度 j 和铁芯工作磁感应强度 B_m 为变量,对变压器电磁参数、结构参数

优化进行研究,在完成两台变压器样机试制基础上,通过试制变压器与国外同规格电脑横机电源变压器对比,验证设计合理性和可行性。

1 高性能电脑横机对电源变压器的要求

高性能电脑横机要实现多种复杂花型的高速自动编织,除需对花样软件、编织控制软件功能提升外,必然会增加一些编织机构,同

基金项目:江苏省产学研联合创新基金项目(BY2009130)。

作者简介:卢怡(1982—),女,实验师,硕士。主要从事纺织设备电气自动控制及机电一体化方面的研究。

时也需对多台电动机、电磁阀实现更精确的驱动控制以确保它们高速、精确、可靠的动作。

编织时众多的电动机、电磁阀高速启动、停止及通、断,使电源变压器绕组电流变化大且可能出现瞬间大电流,使变压器处于短时过载状态。经实测,不管是单系统还是双系统普通电脑横机,其整机瞬时功率均达到平均功率的一倍以上^[2]。这就要求所设计变压器要有较强的过载能力和一定的输出电压稳定性。同时,高档电脑横机整机结构设计时给电源变压器留出的空间尺寸有限,这就对电源变压器可靠性及小型化方面提出了更高的要求。以上几点,在变压器参数优化设计及铁芯材料选用时必须给予充分考虑。

2 高性能电脑横机电源变压器优化设计的措施

2.1 电压调整率与变压器结构系数的关系

电压调整率 ΔU 由式(1)表示^[3]。

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, ΔU 单位为 V; U_{20} 为变压器空载输出电压, V; U_2 为变压器负载输出电压, V。

电压调整率与变压器结构系数的关系, 如式(2)所示。

$$A_z = 18 \times \frac{P_1 Z}{f^2 B_m^2 K_m} \times \frac{(1 - 0.5 \Delta U)}{\Delta U} \quad (2)$$

式中, P_1 为变压器输入功率, W; f 为电源频率, Hz; B_m 为变压器工作磁感应强度, T; Z 为与温度有关的因子; K_m 为铁芯窗口利用系数。

其中, $A_z = \frac{S_c^2 S_M}{l_m}$ 为与变压器结构尺寸有关的结构系数, cm^2 ; S_c 为铁芯有效截面积, cm^2 ; S_M 为铁芯窗口面积, cm^2 ; l_m 为绕组平均匝长, cm。

由式(1)可知, 电压调整率影响变压器输出电压从空载到满载

的变化大小。对于电脑横机电源变压器, 其电压调整率不能太大, 否则将使输出电压变化增大, 影响负载特性和电脑横机的稳定运行。因此, 电压调整率是变压器的重要指标, 在变压器设计中有一定制约作用^[4]。

2.2 变压器损耗与效率的关系

变压器为静止电器, 其损耗主要由铁芯损耗(铁损) P_{fe} 和绕组损耗(铜损) P_{cu} 组成, 单位均为 W, 分别由式(3)、式(4)表示。

$$P_{fe} = K \cdot f^\alpha \cdot B_m^\beta \quad (3)$$

式中: K 、 α 、 β 均为损耗系数; f^α 为考虑电流频率对铁损非线性影响后的频率值, Hz; B_m^β 为考虑磁感应强度对铁损非线性影响后的 B_m 值, T。

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = (j S_1)^2 R_1 + (j S_2)^2 R_2 \quad (4)$$

式中: I_1 、 I_2 为变压器输入、输出绕组的电流值, A; R_1 、 R_2 为直流电阻值, Ω ; S_1 、 S_2 为绕组的截面积, mm^2 ; j 为绕组电流密度, A/mm^2 。

其中铁损 P_{fe} 在正常工作条件下为不变损耗, 铜损 P_{cu} 则随负载的变化而变化。设负载系数 $\beta = \frac{I_2}{I_{2N}}$,

其中 I_2 为负载电流, A; I_{2N} 为额定负载电流, A; 则铜损 $P_{cu} = \beta^2 P_{cuN}$, 变压器总损耗 P_{less} (W) 可表示为式(5)。

$$\sum P_{less} = P_{fe} + P_{cu} = P_{fe} + \beta^2 P_{cuN} \quad (5)$$

式中: P_{cuN} 为变压器额定负载时的铜损, W。

忽略负载时次级输出电压变化, 变压器输出有功功率 P_2 (W) 如式(6)。

$$P_2 = U_{2N} I_2 \cos \varphi_2 = \beta S_{2N} \cos \varphi_2 \quad (6)$$

式中: U_{2N} 为变压器二次电压额定值, V; S_{2N} 为变压器输出额定容量, VA; $\cos \varphi_2$ 为变压器的功率因数。

设 P_1 为变压器输入有功功率, 则变压器效率 η 如式(7)。

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P_{less}} =$$

$$\frac{\beta S_{2N} \cos \varphi_2}{\beta S_{2N} \cos \varphi_2 + P_{fe} + \beta^2 P_{cuN}} \quad (7)$$

式(7)对 β 求导, 当 $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$ 时, 效

率最高, 得 η_{max} 对应值 $\beta = \sqrt{P_{fe}/P_{cu}}$, 此时 $P_{fe} = \beta^2 P_{cuN} = P_{cu}$ 。因此, 变压器铁损等于铜损时效率最高。

2.3 变压器优化设计措施

2.3.1 铁芯材料的优化选用

硅钢片常用作工频电源变压器的铁芯, 在变压器工作时起电能传递作用, 其材质好坏直接影响变压器性能^[5]。德国斯托尔公司、日本岛精公司的高端电脑横机电源变压器铁芯材料均采用性能优良的冷轧取向硅钢片。目前, 国产电脑横机所用电源变压器多由国内电源变压器制造厂生产, 为降低成本, 大多仍选用价格低的热轧硅钢片作为电源变压器铁芯材料。目前, 国产冷轧硅钢片质量稳定, 国产冷轧无取向硅钢片价格虽比热轧硅钢片高 10%~20%, 但性能明显优于热轧硅钢片, 所以本文选用 35WW270 冷轧无取向硅钢片, 这有利于变压器工作可靠性、稳定性的提高及变压器的小型化。

2.3.2 优化设计计算

本文所设计变压器配套用于编织幅宽 1 219.2 mm (48") 的双系统高性能电脑横机, 变压器给定参数为: 输入电压 220 V, 输出电压 220 V、110 V、42 V 或 24 V, 工作频率 50 Hz, 输出功率 2 kW, 选用铁芯材料牌号为 35WW270 冷轧无取向硅钢片, 采用 ED 型壳式铁芯结构。由公式(3)、(4)可知, 电源频率为定值时, 工作磁感应强度 B_m 和电流密度 j 分别决定了变压器铁损和绕组铜损。设 B_m 取值范围为 1.2~1.3 T, j 取值范围为 2.5~3.5 A/mm^2 , 在以上范围内分别等间隔取值, 计算变压器其他参数, 如铁损、铜损、效率、体积等, 并对所得结

果进行分析。变压器参数计算程序采用Matlab编写,计算结果见表1。

表1中,当 B_m 为1.2 T、 j 为2.5 A/mm²时,变压器效率达最大值92.79%,此时铁损和铜损几乎相等,仅差5 W,且总损耗最低,这验证了前面所述的效率最优理论。

变压器体积是变压器优化设计需要考虑的另一个重要指标,变压器结构参数的优化设计在上述电磁参数优化设计后进行,完成后再综合考虑,必要时微调。最终确定变压器主要参数如下:铁芯工作磁感应强度为1.2 T,绕组电流密度为2.5 A/mm²,绕组每伏匝数为1.36 匝/V,铁芯尺寸为35 mm×95 mm×165 mm×150 mm。优化后的变压器铁芯尺寸比目前国产1 219.2 mm双系统电脑横机电源变压器减小约10%,铁芯质量减少约15%。

3 变压器性能对比试验

3.1 试验方法

根据上述优化设计结果,试制两台电源变压器,并与进口岛精SIG-122SV全自动电脑横机电源变压器对比试验,以确定优化设计结果是否正确及是否符合高档电脑横机实际使用要求。为使试验真实反映变压器总体性能,根据JB/T 501—2006《电力变压器试验导则》要求,进行了如下试验^[6]:

a. 变压器空载试验,测空载电流 I_{10} (A)、空载输出电压 U_{20} (V)及空载输入功率 P_{10} (W),求得铁损 P_{fe} ;

b. 变压器短路试验,测得短路损耗 P_d (W)和阻抗电压 U_d (V),求得变压器铜损 P_{cu} ;

c. 变压器负载试验,保持被测变压器输入电压为额定值,调节变压器负载大小,测取5~7点不同负载时变压器输入、输出电流,电压,功率值,获得变压器外特性曲线

表1 高性能电脑横机电源变压器优化结果

工作磁感应强度 B_m /T	电流密度 j /(A·mm ⁻²)	铁损/W	铜损/W	总损耗/W	效率/%
1.20	2.5	75.2	80.2	155.4	92.90
1.20	3.0	75.2	85.9	161.1	92.54
1.20	3.5	75.2	92.1	167.3	92.28
1.25	2.5	81.3	77.2	158.5	92.66
1.25	3.0	81.3	81.8	163.1	92.46
1.25	3.5	81.3	86.7	168.0	92.25
1.30	2.5	87.5	73.2	160.7	92.56
1.30	3.0	87.5	77.6	165.1	92.37
1.30	3.5	87.5	84.2	171.8	91.09

表2 变压器对比试验结果

变压器编号	铁损/W	铜损/W	效率 η /%	功率因数 $\cos \varphi$	电压调整率/%
1	62	68	94.0	0.95	2.51
2	78	82	93.5	0.98	2.28
3	75	85	93.5	0.96	2.73

注:1为进口变压器;2、3为试制变压器。

$U_2=f(I_2)$,了解变压器带负载能力。

通过上述3项试验,可得变压器力能指标:效率 η 、功率因数 $\cos \varphi$ 和电压调整率 ΔU 。

3.2 试验结果比较

表2为上述3项对比试验结果,图1为试验所得变压器外特性曲线。根据表2试验结果,2#、3#试制变压器的铜损、铁损值与前面所得优化设计结果相差很小,且效率等主要性能指标接近进口变压器,3台试验变压器的外特性曲线斜率也近似相同,可见采用国产冷轧硅钢片优化设计后的变压器可满足国产高性能电脑横机对电源变压器的要求。

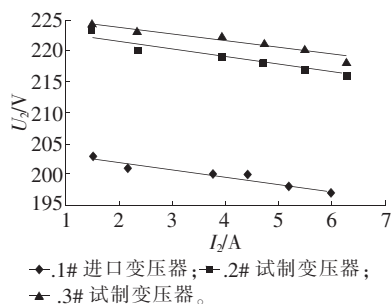


图1 变压器外特性曲线

4 结束语

本文提出一种基于国产铁芯

材料电源变压器的优化设计方法。在完成优化设计计算的基础上,将试制变压器与同规格国外高端电脑横机电源变压器进行对比试验,结果表明:试制变压器主要性能指标已达到或接近国外同规格变压器,因此,本文所提优化设计方法是合理的、可行的。通过对制造工艺的进一步优化,争取早日量产,使其配套于国产高性能电脑横机。

参考文献

- [1]司晓艳.国产电脑横机的现状与发展趋势[J].针织工业,2012(5):25-27.
- [2]金作军,李崎渊.电脑横机的安装与工作环境分析[J].针织工业,2012(12):20-21.
- [3]尹克宁.变压器设计原理[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [4]王全保.新编电子变压器手册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2007.
- [5]王刚,杨慧娜.大功率非晶合金电子变压器的优化设计[J].华北电力大学学报,2012,39(3):41-46.
- [6]霍毓宇,华强,卢达,等.基于虚拟仪器的针织机械用高速电磁测试系统[J].纺织学报,2011,32(12):134-140.

收稿日期 2014年3月18日