**测功机用永磁同步电机温度补偿方法研究**

**1绪论**

1.1课题研究背景与意义

1.2国内外研究现状

1.3主要的研究内容与工作

**2基于温度扰动的永磁同步电机动态数学模型建立**

2.1 PMSM结构特点与工作原理

2.2 PMSM定子绕组与磁链变化

2.4 三相静止坐标系下PMSM数学模型（坐标变换）

2.5 dq坐标系下PMSM数学模型

2.6空间矢量脉宽调制

2.7基于温度扰动的PMSM仿真模型

**3 BP神经网络原理**

3.1 BP算法

3.2 BP神经网络原理

3.3 BP神经网络特征与功能

3.4 BP神经网络实现

3.5 BP神经网络仿真模型

**4 基于BP神经网络的PMSM温度补偿系统仿真与结果分析**

4.1 PMSM转子磁场定向矢量控制原理

4.2 PMSM温度补偿原理

4.3速度环PI控制

4.4电流环PI控制

4.5系统仿真模型

4.6仿真结果分析

**5测功机用PMSM控制系统硬件设计**

5.1控制系统总体结构

5.2主控制器

5.3电源电路设计

5.4电机驱动电路设计

5.5反馈检测电路设计

5.6通信电路设计

6**测功机用PMSM控制系统软件设计**

6.1软件总体架构

6.2数据采集程序设计

6.2 SVPWM脉宽调制程序设计

6.3工况判断程序设计

6.4数据通信程序设计

**7 实验与结果分析**

7.1实验平台

7.2实验结果分析

额定转矩：11.5N/m

额定电压：48V

温度：26-120℃

转矩下降百分比：（11.28 - 10.20）/ 11.5 \* 100% = 9.39%



1. Te

1.3.4 PMSM温度场分析概况

近年来国内外对于PMSM的温度基本上采用具有快速计算速度的集中参数热网络法和具有较高精度的温度场有限元方法进行分析。文献[14]分析了永磁材料的剩磁和矫顽力会随着温度的变化情况，进而得到温度对永磁体磁链的影响，根据仿真得到的数据使用曲线拟合的方法建立温度方程，再基于BP神经网络模型设计控制器，对经典的矢量控制系统进行改进，实现PMSM的输出转矩温度补偿。文献[15]分析了在电机运行中线圈绕组随着温度的升高，引起电机参数变化并估算了温度升高对于PMSM磁链和转矩的影响。其研究成果表明：在PMSM运行转速为120 r/min时温度对其影响较小，而在1200 r/min时温度对其影响较明显，甚至系统不稳定。文献[16]利用有限元方法综合考虑热、电磁和控制策略的损耗和瞬态温升的非线性仿真分析。瞬态温升分析显示线圈绕组端部温度最高成为薄弱环节；短时间工作时，绕组比永磁体温度高，但在连续或者循环运行时两者温差不大。文献[17-19]采用气隙等效导热系数处理定转子间的热交换问题。给出三相定子绕组的等效热模型。在进行绕组铜耗计算时考虑温升对定子绕组阻值的影响，试验测定壳体与定子铁心间因装配间隙而产生的热阻值。在此基础上建立PMSM三维全域瞬态温度场有限元模型，计算电机在峰值转速运行时的温度场变化，并进行试验验证[20-21]。可以看出，已有的研究主要关于如何建立线性模型来描述退磁曲线和退磁行为对于温度的依赖性，以及基于有限元分析的场效应模型，但是对于因温度升高而引起电机输出功率的降低，大都没有提出相应的具体解决方案。

### 1.4.2拟解决的关键技术

（1）在现有的仿真模型中，电机模型的参数都是固定不变的，在考虑到电机温度时就需要重新建立电机参数随温度变化的模型；并且需要将BP神经网络与经典的永磁同步电机矢量控制相结合，在传统的永磁同步电机矢量控制的基础上，加入神经网络的相关算法，合理的训练网络，并且采用合适的算法对网络的权值与阈值进行优化，以使网络输出的补偿量更加准确。

（2）现有的测功机测量系统中，在控制过程中没有考虑到电机温度变化和系统电压的变化对系统性能的影响，对随着电机的运转速度越来越快，发热量也增加的越快，电机的定子绕组阻值可能在一定的范围内变化，定子绕阻阻值的增加，所需输入的电流也随之增加 ，电机的效率下降，导致电机的温度升高过快，很快到达保护点，并且温度的增加会使q轴的电感量也随之变化，从而使得控制的过程变得更加复杂。所以需要在控制过程中实时地辨别电机的各个参数并对其作出相关的补偿处理，选择合适的控制算法处理电机由冷态到热态的过程。

随着温度的升高，电机定子绕组阻值逐渐增大，转子永磁体产生的磁链将逐渐减小，由2.5节PMSM数学模型分析建立可知，阻值与磁链的变化会导致电机电磁转矩出现波动，在长时间工作情况还会出现下降趋势，导致其输出转矩不稳定，影响电机的工作性能。