

# Y 系列感应电机采用低谐波绕组的高效化改造

贾宁 舒汉女 杨焱

江苏大学; 江苏省镇江市京口区象山街道学府路 301 号 江苏镇江 212000

**摘要:** 采用低谐波绕组的方式是对感应电机进行高效化改造的重要技术,也是主要途径。本文将 Y 系列感应电机作为案例,采用低谐波绕组的方式对定子进行绕组改进,通过有限元计算和分析,得出经过改造后,感应电机的能耗降低、功效提升,电机的性能明显得到改进。

**关键词:** Y 系列感应电机; 低谐波绕组; 高效化改造

## 1 前言

感应电机中气流间隙存在一定的磁场,而这个磁场中的谐波主要来源于两个方面,其一是定转子发生开槽现象进而引发的齿谐波,其二是相带存在而产生相带谐波。对前者的谐波进行消除的方式可通过斜槽、软磁槽楔实现,对后者的谐波进行消除的方式可通过增加相数、调整绕组分布实现。在对感应电机进行设计时,可通过低谐波绕组的方式,也就是合理设计槽内的绕组数量,让定子能够依据绕组形式顺着圆周呈正弦分布,这样有效降低气流间隙存在的磁场相带谐波,进而减少损耗,降低电机承受的电、磁负荷,提升过载能力和电磁性能。但是在实际应用中,由于槽内导体数量有一定的限制,很难将定子按照正弦排布,故低谐波绕组的方式中很有可能会出现一些高次谐波。

根据工业化及相关部门提出的“提升电机能效”计划要求,在我国目前的技术中提升电机的效率,降低能耗主要是改造低效旧电机。本文通过有限元分析法对 Y 系列感应电机进行电磁消耗分析,并通过低谐波绕组的方式替代传统绕组方式,进而降低铁耗,提升电机效率。

## 2 低谐波绕组理论及设计

低谐波指的是双层同心式不等匝绕组。通过低谐波绕组能够确保槽内匝数足够,对槽内线圈匝数进行调整和布置,让定子电流能够沿着铁心的表面呈正弦分布,产生的电磁也会随之呈现正弦样式,通过这样的方式能够将气流缝隙之间磁场的谐波含量减少,降低损耗,进而提升电机的整体运行效率。低谐波绕组的方式与传统绕组方式相比,只将定子的排列方式和线圈匝数进行合理的改变和调整,电机的其他参数保持原定不变。

根据低谐波绕组的理论,对 Y 系列感应电机的钉子

数量进行调整。该电机的定数槽数为  $Q_1=36$ ,极对数为  $p=1$ ,每级每相槽数为  $q=6$ 。将低谐波绕组电机的平均节距设计为  $y=12$ ,当每相串联的匝数总数为 48 时,每级每相槽数为 6,而每个相带中各个槽内的线圈数量比例一致,进而可计算出各个槽内线圈的匝数。在这里线圈数量比值表示为:

$$N_1 : N_2 : N_3 : N_4 : N_5 : N_6 = 9.40 : 8.11 : 6.58 : 4.85 : 2.97 : 1$$

其中,  $N$  表示负相带。

## 3 电磁分析与计算

### 3.1 改造系数

未经改造的电机绕组系数为:

$$k_{dqv} = \frac{\sin\left(\frac{qv\alpha}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{v\alpha}{2}\right)} \sin\left(\frac{\pi v\beta}{2}\right) \quad (1)$$

式中:  $q$  表示每级每相槽数量;  $v$  表示谐波次数;  $\alpha$  表示槽之间的夹角;  $\beta$  表示节距比值。

采用低谐波绕组的方式电机绕组系数:

$$k_{dqv} = \frac{N_1 \sin\left(\frac{\pi v\beta_1}{2}\right) + N_2 \sin\left(\frac{\pi v\beta_2}{2}\right) + \dots + N_n \sin\left(\frac{\pi v\beta_n}{2}\right)}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} \quad (2)$$

式中:  $N_n$  表示各个线圈的匝数;  $\beta_n$  表示各个线圈之间的节距比值。

将经过低谐波绕组和经过改造之前的绕组系数进行比较,比较结果如表 1 所示:

**表 1 绕组系数比较结果**

谐波次数	改造后	改造前
1	0.863	0.868
3	-0.375	-0.398
5	0.0498	0.0502
7	-0.0099	-0.0401
9	0.065	0.210
11	0.002	-0.121
13	-0.004	-0.213

通过分析上表可知,采用低谐波绕组方式能够有效改进绕组系数,并能够有效降低能耗。

### 3.2 气流空气磁场

通过特定的软件构建有限元模型,并对 Y 系列的感应电机进行仿真,这里在创建电机有限元模型要注意的是:

(1) 硅钢片发生的损耗是根据损耗曲线计算的,并不是单纯对铁心涡流损耗、磁滞损耗以及其他损耗能计算得到的。

(2) 其中定子载流导体中出现的集肤效应影响可以忽略。

(3) 铁心材料要设计为不同的方向的,但是具有一样的性质即可。

(4) 电机轴向特定的范围内电磁场要用二维场处理和计算,忽略顶部和尾部的效应。

采用低谐波绕组的方式能够针对低次谐波绕组的系数进行控制,并能够得到很好地控制成果,使得电机的

低次谐波含量有所下降,其齿谐波产生的谐波绕组系数也会随之下降。

### 3.3 额定点电磁性能

Y 系列的感应电机在改造之前电机线圈的跨距为 10,节距比值为 0.83。当采用低谐波绕组的方式后,线圈跨距分别为 12、10、8、6,其中段跨距的线圈匝数比值较高,节距比值减低了 0.02。故定子绕组顶端尺寸缩小,匝数比值降低,进而定子相电阻减小,谐波绕组系数加大,电机的气流磁场中的谐波绕组系数减少。这就会减少其他消耗,谐波在转子中产生的铜耗也会相应减少。在感应电机进行额定点运行时,低谐波绕组感性电机中的励磁电流较小,相电流也会随之减少,定子铜耗减少。

### 4 结语

采用低谐波绕组方式对定子进行改进,没有改变定转子铁耗的分布,只是对定子槽内线圈匝数进行调整,得到气隙磁密的谐波含量减少,电机的低次波得到明显控制和减少,进而降低感应电机的损耗,提升性能。

### 【参考文献】

- [1] 李娟,沈建新. Y 系列感应电机采用低谐波绕组的高效化改造 [J]. 电工电能新技术, 2014, 33(012):10-14.
- [2] 侯宇,王立名. 低谐波绕组异步起动永磁同步电动机空载特性分析 [J]. 防爆电机, 2020, v.55;No.213(02):32-35.