

[变压器]

一种磁阻式旋转变压器 在新能源汽车电动机上的应用

文/法雷奥西门子电动汽车动力总成（天津）有限公司 周 斌

随着新能源汽车的发展，旋转变压器的应用越来越多。阐述了旋转变压器的分类，进而简述了磁阻式旋转变压器的概念、原理和特点，然后着重介绍了一种旋转变压器偏移角度的计算方法，最后汇总说明造成旋转变压器偏移角度偏差的几种原因。

面对日益严峻的环境危机和能源危机，节能减排工作的重要性不言而喻，而汽车耗能是造成大气污染和温室效应的主要原因，也是导致石油压力的根源。在此背景下，新能源汽车在近年来得到了蓬勃发展。新能源汽车的驱动电动机多为永磁同步电动机，因此提供电动机转子绝对位置和速度的磁阻式旋转变压器的应用也越来越多。

旋转变压器的分类方法有很多，主要有如下几种：有无电刷、滑环——有刷式和无刷式；极对数的数量——单极式和多极式；信号输出类型——正余弦式、线性式和特殊函数式等；转子有无绕组——绕线式和磁阻式。

磁阻式旋转变压器

按定子之间可变磁阻效应原理工作的无刷旋转变压器，即磁阻式旋转变压器（简称旋变）

根据转子外圈与定子间隙的导磁率，而产生的特定波形曲线（正弦波）。定子里有一组励磁绕组和两组输出绕组，如图1所示。根据检测转子和定子间的间隙变化，以sin和cos式波形的变化来输出两相输出电压，如图2所示。

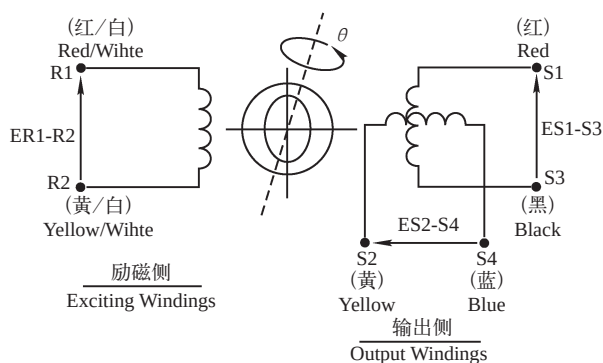


图1 旋变理论接线图

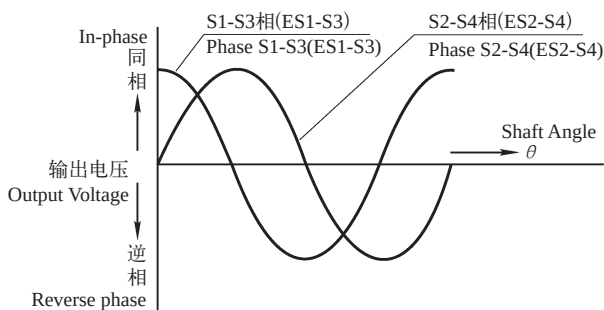


图2 旋变输出电压特性

通过逆变器的解码芯片将旋变输出的模拟电压信号，转变为控制单元能够识别的数字信号，

以实现控制电动机运行的功能。

磁阻式旋转变压器具有如下特点：①结构牢固、可靠性高，抗振动冲击、耐油污、粉尘、高温和高湿等能力强，能够连续高速、长寿命的运行；②抗电磁干扰能力强，检测准确度高；③体积小小型化、结构简单、制造方便且成本低。

一种旋变偏移角度的计算方法

1. 旋变偏移角度

旋变具有零角度轴（零位置轴）。如果这个零角度轴与电动机零角度轴（定子绕组系统）不重合，这个角度差称为旋变偏移角度。这个偏移量通常用电角度数来表示，并根据这两个系统零角度轴的机械偏移（机械角度差）乘以旋变的极对数来计算。

旋变偏移角度如何选取，取决于逆变器类型和逆变器软件对于解码的需求和定义，因此逆变器默认的所能识别的旋变偏移角度会加入一些其他相关量，特说明本文所指旋变偏移角度定义为：电动机定子线电压 U_w-u 过零点与旋变定子输出端的正弦波电压信号 U_{sin} 过零点之间的电角度偏移量（由负向正过零点，即：上升沿）。

2. 机械偏移

机械偏移包括两种情况。

1) 定子偏移：旋变定子零点不在电动机定子定义的“零点”上。

2) 转子偏移：旋变转子的凸极位置与电动机转子的N极位置不一致。转子偏移应避免，因为预测转子偏移非常困难。因此必须确保旋变转子的凸极与电动机转子的N极同轴（磁通量同轴），如图3所示。

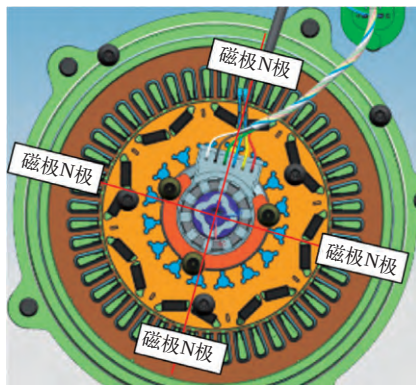


图3 电动机转子与旋变转子对应关系

综上所述，只需要考虑定子的机械偏移。

3. 定义电动机定子零点

作为旋变偏移角度计算的参考，使用了相绕组U的 α 轴， α 轴的机械位置可从“定子绕组图”中获得， α 轴在每个线圈组中居中，电流左侧流入，右侧流出，如图4所示。

从图4中可以看出： α 轴位于槽10/11、22/23、34/35和46/47之间。U相输入位置位于槽1和槽2，V相输入位置位于槽45和槽46，W相输入位置位于槽41和42。

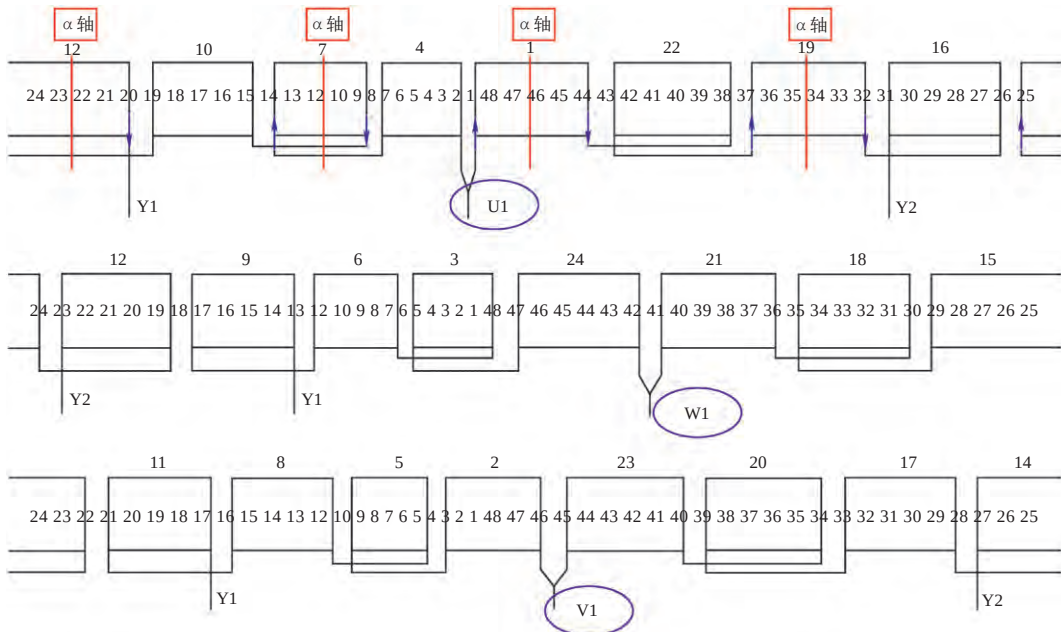


图4 电动机定子 α 轴的位置

4. 定义旋变定子零点

从旋变厂家提供的文件,如图5所示,确定旋变的旋转方向和零点的位置。旋变零点处,正弦信号的振幅为零,余弦信号的振幅最大。其中 θ 为旋转变转子的机械旋转角度。

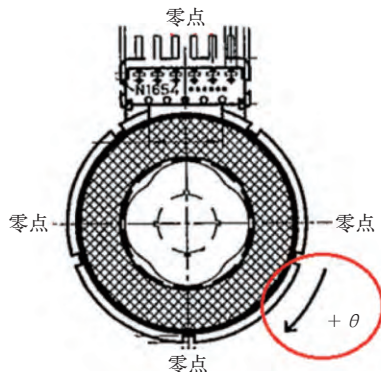


图5 旋变定子零点位置及转向

5. 确定机械偏移角度

通过绘图确定机械偏移角度,如图6所示,定义如下:

- 1) 电动机定子U、V和W相位位置(红色)。
- 2) 根据电动机转子的旋转方向(蓝色),确定电动机定子供电电压相序U-V-W。
- 3) 旋变零位(绿色)。
- 4) 旋变制造商定义的旋变转子旋转方向(浅蓝色)。
- 5) 电动机定子U相的 α 轴(深红色);对于斜槽定子, α 轴的位置必须设置在定子铁心的中心。
- 6) 机械偏移角度(橙色)。

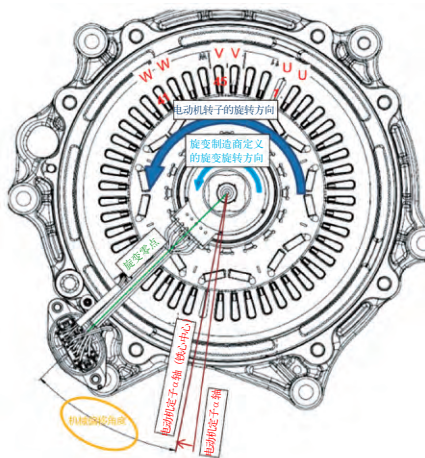


图6 机械偏移角度的结构图

6. 确定电偏移角度

根据逆变器的情况定义以下内容,并绘制相量图:

- 1) 确定电动机转子的旋转方向,使电动机定

子电压相序为U-V-W。

- 2) 选择电动机的U相在最大磁通量时($t=0$ 时,U相磁通量最大)与电动机定子U相 α 轴方向一致。

- 3) U相电压超前U相磁通量 90° 电角度;U、V和W三相电压电角度互差 120° ,U相超前V相,V相超前W相。

4) 从旋变厂家可以得到:旋变输出电压信号 $U_{\sin}$ 的输出波形(如图7所示);其中: $t=0$ 时,旋变输出的正弦电压信号幅值为零,而其磁通量此时最大。根据相量图,在这种情况下,电动机坐标系和旋变坐标系磁通量之间有一个 180° 电角度偏移。

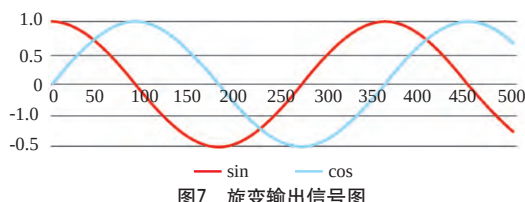


图7 旋变输出信号图

根据上述内容,可以很顺利地绘制出相量图如图8所示。依据此图便可算出电偏移角度(旋变偏移角度),即: U_{w-u} 和 $U_{\sin}$ 电压之间的电角度位移(这是逆变器默认的认识值)。

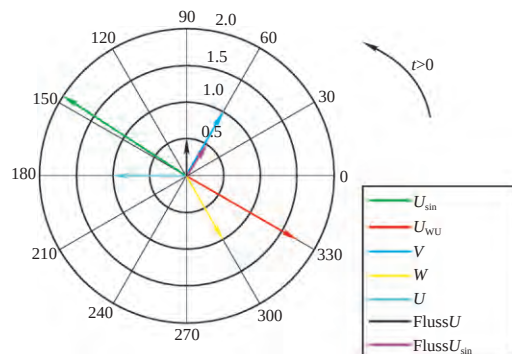


图8 电偏移角度的相量图

旋变偏移角度偏差的原因

量产中,旋变偏移角度偏差失效的原因:①旋变定子绕组或引线断路;②旋变定子绕组或引线对地绝缘电阻失效;③旋变定子绕组或引线虚接;④旋变定子或转子铁心开裂;⑤旋变定子或转子铁心磕伤;⑥旋变定、转子铁心装配错位或倾斜;⑦安装旋变转子部位的转轴在充磁过程中被磁化。

结束语

在永磁同步电动机的本体设计中,旋变偏移角度的设计是非常重要的部分,通过本文的介绍,希望对大家有一些帮助。EA

(收稿日期:2019.11.07)

(编辑:朱金凤)