

## 变频器供电对永磁电机振动噪声源的影响研究

孟 游

江西江特电机有限公司, 江西 宜春 336000

**[摘要]** 永磁电机应用广泛, 为我国各项生产生活带来极大便利, 但在其运行工作中, 由于外部因素施加影响, 电机振动产生噪声, 对生产环境造成不利影响。文章基于变频器的不同供电效果展开分析, 对气隙磁场、电磁激振力做以详细探讨, 针对不同种的供电环境下, 结合案例分析做出电机振动频率、频次的相关数据, 对三维声场进行有限元计算。最终得出具体结论, 给永磁电机工作中的降噪处理工作提出理论支持。

**[关键词]** 降噪处理; 永磁电机; 变频器; 计算

DOI: 10.33142/ec.v3i6.2087

中图分类号: TM921.51; TM351

文献标识码: A

### Research on Influence of Inverter Power Supply on Vibration and Noise Source of Permanent Magnet Motor

MENG You

Jiangxi Jiangte Electric Motor Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 336000, China

**Abstract:** Permanent magnet motor is widely used, which brings great convenience to the production and life of our country. However, in its operation, due to external factors, the motor vibration produces noise, which has a negative impact on production environment. Based on the analysis of different power supply effects of frequency inverter, the air gap magnetic field and electromagnetic exciting force are discussed in detail. In view of different power supply environment, combined with case analysis, the relevant data of motor vibration frequency and frequency are made and the three-dimensional sound field is calculated by finite element method. Finally, the specific conclusion is drawn, which provides theoretical support for the noise reduction of permanent magnet motor.

**Keywords:** noise reduction; permanent magnet motor; inverter; calculation

#### 引言

永磁电机的发展对于我国各项事业高效运行有着促进作用, 传统行业如纺织化纤类、发电站类、石油化工类, 在采用了永磁电机设备后, 有效将生产效率增加, 并提高相应功率因数, 由此节约了大量能源, 将生产运行变得可靠。现今使用永磁电机更多的产业是汽车生产制造, 通过电机的高效运作, 保持汽车良好机械性质, 将电机调速特性发挥至极致。电机作为机械使用中的噪声来源, 将电机进行降噪处理, 是近年来电机生产设计的最大目标, 为切实将人民的生活水平提高, 对电机降噪要求也逐渐增加。

#### 1 针对气隙磁场展开分析

##### 1.1 意义及公式说明

变频器装置对永磁电机进行电量供应, 本文进行探讨具体噪声源影响, 应在变频器良好供电环境下, 再对电机的气隙磁场展开分析, 确保数据结果得出过程符合科学化, 保证数据绝对精确, 由此将永磁电机的相关振动频率, 加以技术层面的准确调整。气隙磁场在电机中的运作, 有其确定的数学表达式, 当在无磁阻干扰下, 实现较接近理想状态的运行情况, 具体如下:

$$b(\theta, t) = f(\theta, t) \lambda(\theta, t)$$

上述表达式能将气隙磁场与振动频率的关系进行展示, 其中  $f$  代表气隙磁场关系下的磁动势, 另一系数代表比磁导。根据表达式具体分析可知, 在电机理论中, 通过数学准则可将基波、转子、定子三者下的磁动势进行整合, 作为气隙磁场中的完整磁动势数据来源。当在变频器进行供电操作时, 由不同种类下的供电动势, 由此数据可对电机振动中的噪声源条件, 电机基波电流将造成永磁电机内部定子磁动势发生一系列规律变化。为将  $F_0$  作为初始数值, 可通过后续供电情况的影响下, 而对最终磁动势变化产生特定影响。气隙磁场中, 因基波电流发生变化, 则会进而影响到定

子运作时的谐波磁进行具体分析。

## 1.2 融合案例的分析

由公式及上文推导可知,气隙磁场的变化情况,对变频器不同供电条件下引发的电机振动特点,有影响作用,因此对气隙磁场的相关案例分析,由此展开不同的变化情况下,究竟会对噪声特点有哪些影响。

案例选用 20 千瓦功率的永磁电动机作为实验设备,给予气隙磁场波形的相关环境支持,电动机运行中保持稳定的 20 千瓦功率输出,该情况下,其额定频率数值显示 82.5 赫兹,转速达到每分 450 转,其数值的得出均为一定时间内平均值。进行该气隙磁场的额定计算时,需对电机定子的绕组设备中施加谐波电流,模拟变频器供电情况,其数值为 3000 赫兹,该条件下,能够将波形计算的数据显示较为合理,且符合现实电机运行情况<sup>[1]</sup>。

当实验步骤布设完毕,在分析供电条件的不同影响下,可发现在定子电流进行额定输出时,将产生数量较大的高次时间谐波,从而相应毛刺现象出现,对此可知,定子电流的供电模式,将会对电机振动产生一定影响。另外在幅值区间上,最大频率达到了 3302 赫兹,比初始 3000 赫兹要高一些,因此形成了频率变化曲线,而且从特定赫兹数值来看,当赫兹数值位于 4-5 时,电机内主要的谐波频率将会发生一定改变,其与开关频率之间形成一定联系,联系状况较为紧密。

## 2 针对电磁激振力的分析

### 2.1 意义及公式说明

气隙磁场的相关分析结束后,可看出在永磁电机内部因素中,定子电流不同数值施加下,将会对电机振动频率产生相应影响,并且在振动频率的表现上,与开关频率也有一定联系,由此磁场谐波产生的定子与转子之间的相互作用,便成为了新的研究对象。在产生电磁激振力的过程中,该项过程主要作用于定子设备表面,当振动频率于电机内部产生时,进而带动产品共振振动,由此产生噪声。因为是在定子设备表面产生的噪声,所以该项定子供电过程,噪声源位于定子。

当使用变频器进行电源供应时,电机定子内部电枢会因为发硬磁场而产生谐波频率,该频率的数值相关于开关频率,两者由此产生较为紧密联系。在通过电机磁场时,谐波在磁场内产生关乎频率、频次的相关振动力,该项输出成果为电磁激振力。在进行对该激振力的分析中,由产生该激振力的各项数据分析可知,其数值变化受到定子产生的磁场频率、基波产生的磁场频率影响,两者做差或相加,最终得到了相关电磁激振力。在激振力数值的表现中,可通过数学表达式进行变频器供电条件下的相关影响分析,频率改变如下:

$$F = f_k \pm f_0 = k_1 f_r \pm k_2 f_a$$

上述表达式中, $f_k$ 代表了定子的气隙磁场中相关频率,而  $k_1$ 、 $k_2$  则代表在频率的变化中,不同的奇数、偶数频次下的正整数。由此可知,频率的产生,因为供电模式不同,则在内部产生不同种类下的频率表达,而气隙磁场作为基础环境时,则会受到关于谐波频次的奇、偶影响。

### 2.2 融合案例的分析

在案例讲述中,可通过对盘式的永磁电动机进行相关数值计算,来得出定子表面的电磁激振力,该种计算方式需借助有限元计算软件,并通过三维瞬态磁场环境,将麦克斯韦定律使用到该项过程,最终得到较为精准的实验数据。变频器开始供电,将作用于电机内部定子设备的铁芯表面,此时对激振力的相关波形做出图表分析,可看到在波形较高处,所形成的振动频率也更高,因此在频率的计算中,可运用到相关数学表达式,进行代入运算,发现数据结果和频率的现实表达相同。振动的不同频率,将会对最终内含电机的产品噪声产生不同影响,噪声的具体产生流程,首先经由分布在电机内部定子铁芯表面,将电磁激振力发出,进而带动产品其他部位,最终由于振动频率的高低产生大小不一的噪音。而电磁激振力的频率与电机振动的频率和噪声的频率也呈现出对应的关系,因此可借助电磁激振力频率的表达式计算变频器供电时永磁电机振动的频率和噪声的主要频率<sup>[2]</sup>。

### 3 案例研究

#### 3.1 三维声场的计算

案例具体研究对象选用 20 千瓦功率下的盘式永磁电动机,对其展开三维声场模式下的有限元计算过程,该项过程在计算中较为严谨,计算后结果体现也较为精确,因此在不同案例的实际运用中,取得了较高使用率。

该项案例在运行中,可充分了解在不同的变频器对电机进行供电时,会对电机噪声的大小、噪声源的位置等做以详细解读。在对电机进行三维声场的相关计算中,首先应对正弦波下的电流进行分析,其次应对谐波电流(开关频率数值 3000 赫兹)做以相关控制,并将其加载至电机内部定子绕组中,从而实现将正弦波供电影响数据的目标,另外将变频器供电和实际情况进行了充分模拟,还原度较高。

为了进一步了解人耳对噪声响度的反应,噪声的计算结果均以 A 计权声压级来表示。根据有限元计算得到的在用正弦波和变频器供电时,永磁电机某一项下的测量点噪声,进行 A 计权声压级频谱分析,由此可判断所测点的水平面高度是轴中心高 0.224 米,而沿轴向同永磁电机外壳间保持 1 米的距离<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 计算过程及说明

该项案例下的具体措施,应充分根据所得测点,其在变频器供电时所运用到噪声频谱,最终对实验结果负责。气隙磁场总是在开关频率为 3000 赫兹附近存在谐波,而永磁电机本身的声压级也在开关频率为 3000 赫兹附近存在系列幅值。导致此种情况的原因是变频器电流的谐波与基波彼此相互调制,从而生成新的噪声峰值。对人耳进行分析可知,耳朵较敏感的声音频率范围在 1000-6000 赫兹之间,而噪声频率的峰值也集中在此区间内,因此,当用变频器供电时,永磁电机辐射的噪声便会显著增大。

### 4 结论

综上,永磁电机有其机械运作特点,为各项产业带来生产便利时,也要注意其噪声污染现状,针对变频器供电现象,对影响电机噪声源的不同得出观点如下:第一,在进行变频器供电时,应对电机定子谐波频率做以要求,应满足运行频率和开关频率之间的关系准则;第二,将电机运行中的电磁激振力进行分析可知,由电磁激振力在不同种的供电条件下产生的振动源头频率,应满足气隙磁场和运行奇偶数的数学关系;第三,以正弦波频率供电时,电机振动噪声的频率区间位于低频率段,变频器供电时,噪声频率区间位于开关频率段。因此不同的供电情况,对不同位置噪声频率区间产生影响,需进行不同位置下的管控。

#### [参考文献]

[1]于莫岩,刘茜,陈勇等.变频器供电的电动客车永磁电机高频噪声研究[J].计算机仿真,2019,36(07):120-125.

[2]黄厚佳.永磁同步电机电磁振动噪声的识别和抑制[D].上海:上海电机学院,2019.

[3]周璞.电机电磁激励特性及结构振动响应分析研究[D].北京:中国舰船研究院,2018.

作者简介:孟游(1987-),男,江西江特电机有限公司新能源技术部长,主任工程师,从事新能源永磁电机研发、制造等工作。