



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111082608 A

(43)申请公布日 2020.04.28

(21)申请号 201911174323.1

(22)申请日 2019.11.26

(71)申请人 华北电力大学

地址 102206 北京市昌平区朱辛庄北农路2号

申请人 包头东华热电有限公司

(72)发明人 赵海森 郭星岚 任博文 戴鑫

陈龙 康锦萍 杨亚秋 刘晓芳

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理

有限公司 11246

代理人 张文宝

(51)Int.Cl.

H02K 15/00(2006.01)

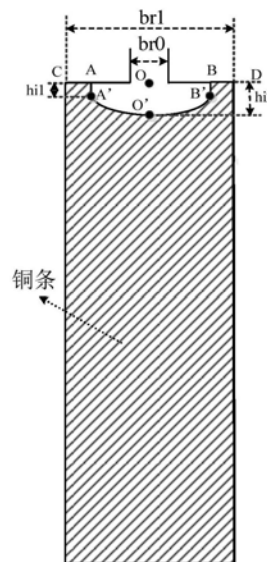
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法

(57)摘要

本发明属于电机设计制造技术领域,尤其涉及一种高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,包括:从转子铜条的上表面的距离槽两侧一段距离的位置开始分别垂直向下切割一段距离后,再转向中间切割形成内凹曲面,定子绕组、定子铁心和转子铁心维持原结构不变。该再制造方法充分考虑了在用电机现场改造的方便性和经济性,在最大限度保证正常生产的同时,该方法能有效降低原有电机稳态运行由高频谐波引起的导条附加损耗,而且也能降低由起动过程持续大电流引起的转子槽口的高损耗及高温升现象,达到有效提升电机运行效率、改善电机转子槽口局部温升以及避免导条因局部温升过高引发的断条的目的。



CN 111082608 A

1. 一种高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,其特征在于,包括:从转子铜条的上表面的距离槽两侧一段距离的位置开始分别竖直向下切割一段距离后,再转向中间切割形成内凹曲面。

2. 根据权利要求1所述高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,其特征在于,所述转子铜条的竖截面的原上层边的边长为 $br1$ ,原上层边中点定义为坐标原点 $O(0,0)$ ,原上层边的两端点定义为 $C(-\frac{1}{2}br1,0)$ 和 $D(\frac{1}{2}br1,0)$ ,原上层边的两个切割起点分别为 $A(-\frac{1}{3}br1,0)$ 点和 $B(\frac{1}{3}br1,0)$ 点。

3. 根据权利要求2所述高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,其特征在于,所述转子铜条的竖截面的两个切割转向点分别为 $A'(-\frac{1}{3}br1, -hi1)$ 点和 $B'(\frac{1}{3}br1, -hi1)$ 点,转子铜条的竖截面的内凹曲线最低点为 $O'(0, -hi2)$ ;

$$hi1=0.7 \times \sqrt{\frac{\rho \times (1+T \times \Delta t)}{\pi \times (\frac{Q_1}{P}-1) \times f_s \times \mu}}$$

$$hi2=1.2 \times \sqrt{\frac{\rho \times (1+T \times \Delta t)}{\pi \times (\frac{Q_1}{P}-1) \times f_s \times \mu}}$$

式中: $T$ 为导体的电阻率温度系数, $\Delta t$ 为当前摄氏温度, $\rho$ 为导体 $0$ 摄氏度时的电阻率, $Q_1$ 为定子槽数, $P$ 为电机极对数, $f_s$ 为电机的工作频率, $\mu$ 为导体的磁导率。

4. 根据权利要求3所述高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,其特征在于,所述转子铜条的竖截面的内凹曲线的方程为:

$$\begin{cases} x = \pm \frac{br1}{3} & , (-hi1 \leq y \leq 0) \\ \frac{x^2}{(\frac{1}{3} \times br1)^2} + \frac{(y+hi1)^2}{(hi2-hi1)^2} = 1 & , (y < -hi1) \end{cases}$$

其中,转子铜条的竖截面的原上层边为 $x$ 轴, $OO'$ 为 $y$ 轴。

5. 根据权利要求1~4任一所述高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,其特征在于,所述转子铜条为插入式铜条,直接对原有电机转子铜条进行加工改造。

6. 根据权利要求5所述高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,其特征在于,所述电机包括:正弦或变频供电条件下的异步和永磁电机。

## 一种高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电机设计制造技术领域,尤其涉及一种高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法。

### 背景技术

[0002] 在现实使用中,高压大功率电动机故障频繁发生会给整个生产系统安全运行带来严重威胁。在高压大功率鼠笼式异步电机发生的故障中,转子槽口区域由于高频谐波电流产生的损耗导致局部过热,使得导条转子槽口融化甚至断裂情况发生,这也是工程实际中较常见的一种故障。针对如何解决在用高压大功率鼠笼式异步电动机减小转子导条断条几率,使之实现高效安全稳定运行的问题,目前并没有很好的办法,如若直接淘汰、替换这些正在运行的电机,将会给企业造成巨大的运营成本压力;因此,如何能够针对正在运行的高压大功率电机,进行实施适当的再制造加工工艺,避免此类断条故障发生,是企业必然面临的一个重要难题。

### 发明内容

[0003] 针对上述问题,本发明提供了一种高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,包括:从转子铜条的上表面的距离槽两侧一段距离的位置开始分别竖直向下切割一段距离后,再转向中间切割形成内凹曲面。

[0004] 所述转子铜条竖截面的原上层边的边长为 $br1$ ,原上层边中点定义为坐标原点 $O(0,0)$ ,原上层边的两端点定义为 $C(-\frac{1}{2}br1,0)$ 和 $D(\frac{1}{2}br1,0)$ ,原上层边的两个切割起点分别为 $A(-\frac{1}{3}br1,0)$ 点和 $B(\frac{1}{3}br1,0)$ 点。

[0005] 所述转子铜条竖截面的两个切割转向点分别为 $A'(-\frac{1}{3}br1,-hi1)$ 点和 $B'(\frac{1}{3}br1,-hi1)$ 点,转子铜条竖截面的内凹曲线最低点为 $O'(0,-hi2)$ ;

$$[0006] \quad hi1=0.7 \times \sqrt{\frac{\rho \times (1+T \times \Delta t)}{\pi \times (\frac{Q_1}{P}-1) \times f_s \times \mu}}$$

$$[0007] \quad hi2=1.2 \times \sqrt{\frac{\rho \times (1+T \times \Delta t)}{\pi \times (\frac{Q_1}{P}-1) \times f_s \times \mu}}$$

[0008] 式中: $T$ 为导体的电阻率温度系数, $\Delta t$ 为当前摄氏温度, $\rho$ 为导体 $0$ 摄氏度时的电阻率, $Q_1$ 为定子槽数, $P$ 为电机极对数, $f_s$ 为电机的工作频率, $\mu$ 为导体的磁导率。

[0009] 所述转子铜条竖截面的内凹曲线的方程为:

$$[0010] \quad \begin{cases} x = \pm \frac{br1}{3} & , (-hi1 \leq y \leq 0) \\ \frac{x^2}{(\frac{1}{3} \times br1)^2} + \frac{(y+hi1)^2}{(hi2-hi1)^2} = 1 & , (y < -hi1) \end{cases}$$

[0011] 其中,转子铜条竖截面的原上层边为x轴,00' 为y轴。

[0012] 所述转子铜条为插入式铜条,直接对原有电机转子铜条进行加工改造。

[0013] 所述电机包括:正弦或变频供电条件下的异步和永磁电机。

[0014] 所述导体的电阻率温度系数取值为0.0039。

[0015] 所述导体0摄氏度时的电阻率取值为 $1.65 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 。

[0016] 所述导体的磁导率取值 $1.256 \times 10^{-6} H/m$ 。

[0017] 本发明的有益效果为:

[0018] (1) 采用本发明所提出的转子铜条消谐槽加工方法,由于是依据电机旋转方向,重点考虑了导条上表面的电流密度分布和磁力线走向两个因素,加工的转子铜条形状,在减少涡流损耗和磁路的磁阻,提高电机的运行效率,获得较明显的节能效果。

[0019] (2) 采用本发明所提出的转子铜条消谐槽加工方法,由于加工转子铜条上表面时考虑了一阶齿谐波和工作频率的影响,故大大减少了转子导条的谐波损耗和起动时导条的大电流引起的损耗和温升,不仅大幅度消除了转子槽口的电密谐波含量,而且能显著降低电机起动时转子槽口的电流密度,从而提高电机的运行效率,获得较明显的节能效果。

[0020] (3) 采用本发明所提出的转子铜条消谐槽加工方法,并未改动电机的定子和转子铁心,解决了现有在用转子导条局部过热和转子易断条问题,具有操作简单成本低的优点,最大经济性的且有效的实现了电机再制造过程,达到了最优节能的目的。如果能够有效解决这一问题,一方面可以实现正在运行的电机的高效加工,另一方面,可以避免运行故障,大大提高大型电机运行的安全性与可靠性。

## 附图说明

[0021] 图1为本发明中所提出的转子铜条加工示意图。

[0022] 图2为1600kW 8极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在起动初始状态某导条上层电流密度波形对比图。

[0023] 图3为1600kW 8极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在稳态运行时的导条内转子电流密度波形对比图。

[0024] 图4为1600kW 12极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在起动初始状态某导条上层电流密度波形对比图。

[0025] 图5为1600kW 12极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在稳态运行时的导条内转子电流密度波形对比图。

## 具体实施方式

[0026] 本发明提供了一种高压大功率笼型电机转子铜条消谐槽加工方法,该转子槽铜条的加工依据电机旋转方向,采用与导条电密分布和磁力线分布相似的曲线对转子铜条进行

加工;加工去除的部分充分考虑了电机一阶齿谐波的影响及电机起动时工作频率对转子导条的影响。通过以上技术措施,使得电机在稳态运行及起动过程中,能有效降低起动过程中的持续大电流产生的转子高损耗以及正常稳态运行时由谐波磁场产生的高频附加损耗,能从根本上有效解决由上述原因引起的转子槽口局部过热和转子易断条问题,进而确保电机在实际生产中的安全可靠运行。下面结合具体实施例和附图对本发明做进一步说明。

[0027] 实施例一:

[0028] 以1600kW 8极鼠笼式异步电动机为例,依据本发明专利提供的方法,确定转子铜条加工的具体尺寸如下: $br1=10.5\text{mm};hi1=1.5\text{mm};hi2=2.6\text{mm}$ 。

[0029] 附图2为1600kW 8极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在起动初始状态某导条上层电流密度波形对比图。可以看出,采用原转子铜条电机的起动转子电流密度波形在一个工作周期内,谐波含量很大,且在起动初始状态某导条上层电流密度基波幅值为 $1.83 \times 10^8 \text{A}/\text{m}^2$ 。而采用本发明中加工的转子铜条的起动转子电流密度波形在一个工作周期内,起动初始状态某导条上层电流密度波形平滑很多,已大大消除了电密谐波,且在起动初始状态某导条上层电流密度基波幅值为 $1.56 \times 10^8 \text{A}/\text{m}^2$ 。采用本发明中加工的转子铜条后,不仅大幅度消除了转子槽口的电密谐波含量,而且能显著降低电机起动时转子槽口的电流密度。

[0030] 表1为1600kW 8极鼠笼式异步电动机分别采用原转子铜条和本专利的加工的转子铜条起动时一个工频周波内损耗数据对比。可以看出,在电机起动瞬间,在一个工频周波内,采用本发明专利加工的转子铜条的电机比原转子铜条的电机各部分损耗均有所降低,转子铜耗降低明显。

[0031] 表1. 1600kW 8极电机采用原转子铜条和采用新转子铜条起动时的损耗数据对比

损耗项 (kW)	定子铜耗	转子铜耗	铁耗	电气总损耗
原转子铜条	360.7	2058.7	14.0841	2433.5
新转子铜条	301.82	1542.2	14.2313	1858.2

[0033] 附图3为1600kW 8极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在稳态运行时的导条内转子电流密度波形对比图。从图3中可以看出,采用本发明中加工的转子铜条电机稳态运行时的转子电流密度幅值明显比采用原转子铜条电机稳态运行时的转子电流密度幅值低。傅里叶分析可知,稳态运行时,采用本发明中加工的转子铜条后,大大削弱了电机稳态运行时的转子铜条各次谐波电密幅值。

[0034] 表2为1600kW 8极鼠笼式异步电机分别采用原转子铜条和采用加工的转子铜条空载运行时的损耗数据对比;表3为1600kW 8极鼠笼式异步电机分别采用原转子铜条和采用加工的转子铜条满载运行时的损耗数据对比。从表2中数据可以看出,采用本专利的加工的转子铜条后,电机空载损耗比采用原转子铜条的空载损耗降低约35%,且各部分损耗均有所降低,尤其转子铜耗降耗显著。从表3电机满载运行时的损耗情况对比来看,采用本专利的加工的转子铜条后,电机在满载运行时,转子铜耗比原来降低了约39%,大大缓解了电机运行时转子导条的发热情况,电机效率提升了近1个百分点,节能效果明显。

[0035] 表2. 1600kW 8极电机采用原转子铜条和采用加工的转子铜条空载运行时的损耗数据对比

损耗项 (kW)	定子铜耗	转子铜耗	铁耗	电气总损耗
----------	------	------	----	-------

原转子铜条	1.6052	17.769	16.6702	36.044
新转子铜条	1.5287	7.1915	14.5773	23.2975

[0037] 表3. 1600kW 8极电机采用原转子铜条和采用加工的转子铜条满载运行时的损耗数据对比

[0038]	损耗项 (kW)	定子铜耗	转子铜耗	铁耗	电气总损耗	效率 (%)
	原转子铜条	12.012	39.798	16.2296	68.039	95.45
	新转子铜条	12.009	24.161	14.2936	50.4636	96.43

[0039] 实施例二：

[0040] 以1600kW 12极鼠笼式异步电动机为例，依据本发明专利提供的方法，确定转子铜条加工的具体尺寸如下： $br1=8.5\text{mm}$ ； $hi1=1.5\text{mm}$ ； $hi2=2.6\text{mm}$ 。

[0041] 附图4为1600kW 12极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在起动初始状态某导条上层电流密度波形对比图。可以看出，采用原转子铜条的起动初始状态某导条上层电流密度最大值为 $2.513 \times 10^8 \text{A/m}^2$ ，而采用本专利中加工的转子铜条的起动初始状态某导条上层电流密度最大值为 $1.454 \times 10^8 \text{A/m}^2$ 。采用本专利中加工的转子铜条后，显著降低了电机起动时转子槽口的电流密度。

[0042] 表4为1600kW 12极鼠笼式异步电动机分别采用原转子铜条和本专利的加工的转子铜条起动时一个工频周波内损耗数据对比。可以看出，在电机起动瞬间，在一个工频周波内，采用本发明专利加工的转子铜条的电机比原转子铜条的电机各部分损耗均有所降低，转子铜耗降低明显。

[0043] 表4. 1600kW 12极电机采用原转子铜条和采用新转子铜条起动时的损耗数据对比

[0044]	损耗项 (kW)	定子铜耗	转子铜耗	铁耗	电气总损耗
	原转子铜条	392.68	1137.7	9.2882	1539.67
	新转子铜条	351.89	1005.5	9.1709	1366.56

[0045] 附图5为1600kW 12极鼠笼式异步电动机采用原转子铜条与采用本发明中所提出的加工的转子铜条在稳态运行时的导条内转子电流密度波形对比图。从图5中可以看出，采用本专利中加工的转子铜条电机稳态运行时的转子电流密度幅值明显比采用原转子铜条电机稳态运行时的转子电流密度幅值低。傅里叶分析可知，稳态运行时，采用本专利中加工的转子铜条后，大大削弱了电机稳态运行时的转子铜条各次谐波电密幅值。

[0046] 表5为1600kW 12极鼠笼式异步电机分别采用原转子铜条和采用加工的转子铜条空载运行时的损耗数据对比；表6为1600kW 12极鼠笼式异步电机分别采用原转子铜条和采用加工的转子铜条满载运行时的损耗数据对比。从表5中数据可以看出，采用本专利的加工的转子铜条后电机空载损耗比采用原转子铜条的空载损耗降低了250W，具有一定的降耗效果。从表6电机满载运行时的损耗情况对比来看，采用本专利的加工的转子铜条后，各部分损耗均有所降低，效率有所提升。

[0047] 表5. 1600kW 12极电机采用原转子铜条和采用加工的转子铜条空载运行时的损耗数据对比

[0048]	损耗项 (kW)	定子铜耗	转子铜耗	铁耗	电气总损耗
--------	----------	------	------	----	-------

原转子铜条	0.7142	0.5736	8.0044	9.2922
新转子铜条	0.7135	0.3909	7.9403	9.0447

[0049] 表6. 1600kW 12极电机采用原转子铜条和采用加工的转子铜条满载运行时的损耗数据对比

[0050]	损耗项 (kW)	定子铜耗	转子铜耗	铁耗	电气总损耗	效率 (%)
	原转子铜条	20.347	25.515	10.8301	56.6921	96
	新转子铜条	20.435	21.541	10.5169	52.4929	96.24

[0051] 综上所述,该电机再制造转子铜条的加工方法充分考虑了在用电机现场加工的方便性和经济性,在最大限度保证正常生产的同时,该方法能有效降低原有电机稳态运行由高频谐波引起的导条附加损耗,而且也能降低由起动过程持续大电流引起的转子导条高损耗的影响。在有效提高电机运行效率、改善电机转子槽口局部温升的同时,保证了在用电机在正常使用过程中实现较短时间内的高效再制造。

[0052] 实施例仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

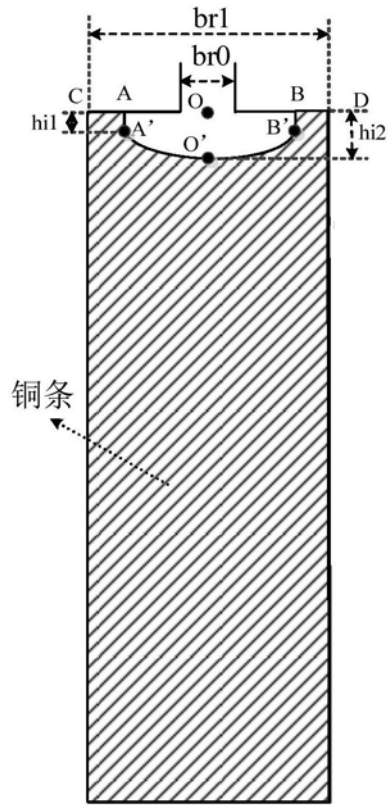


图1

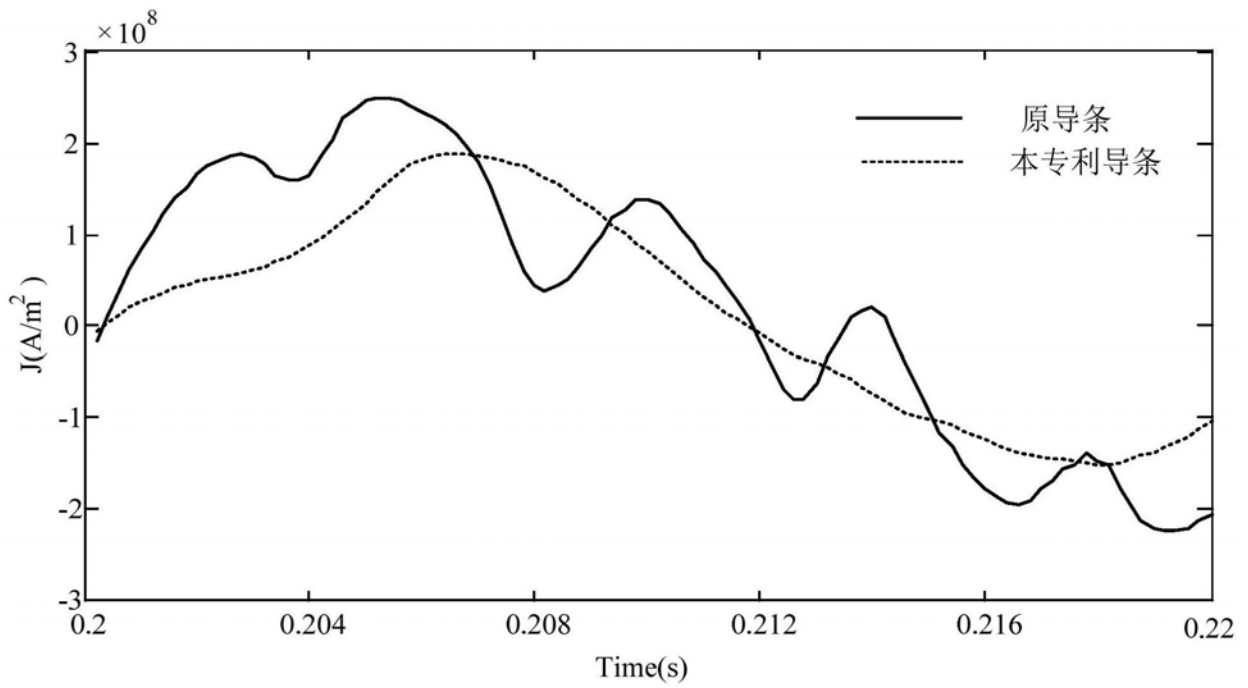


图2



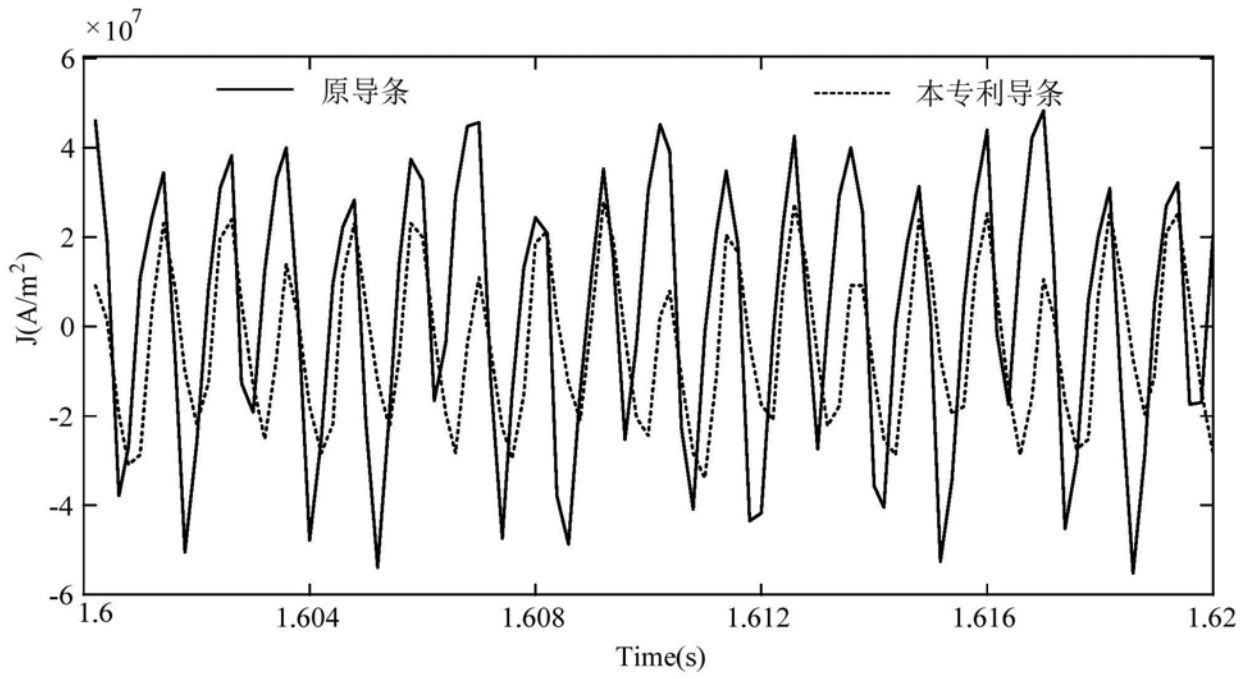


图3

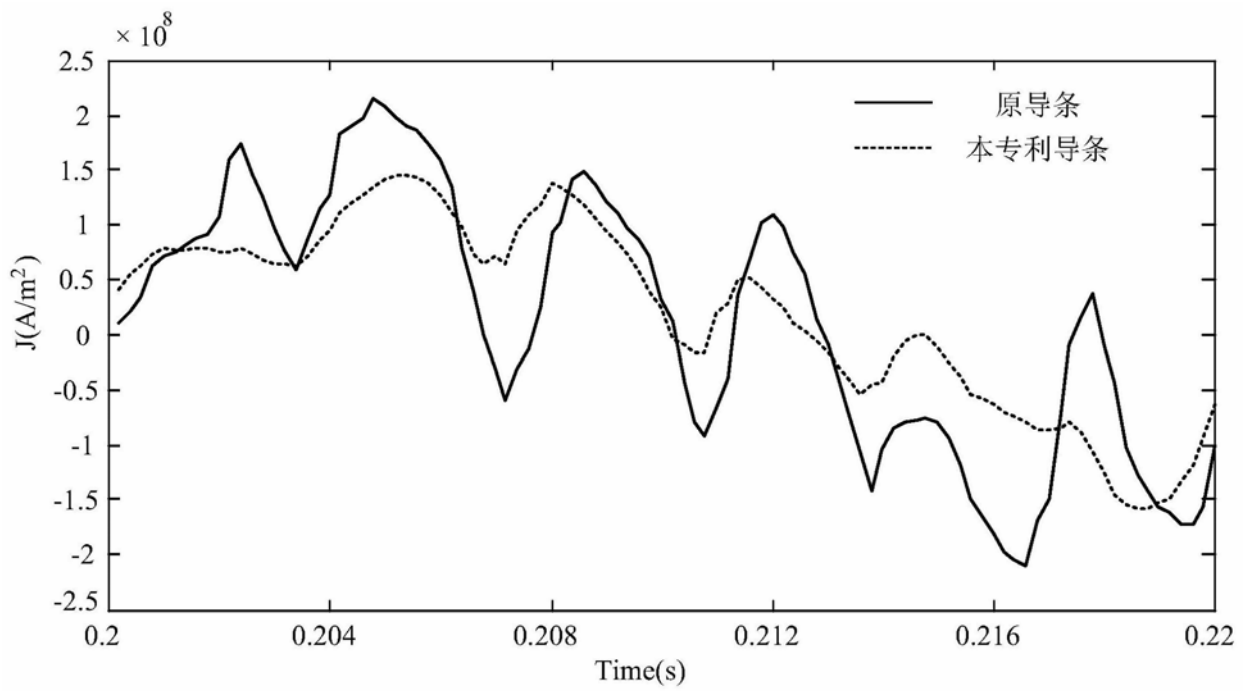


图4

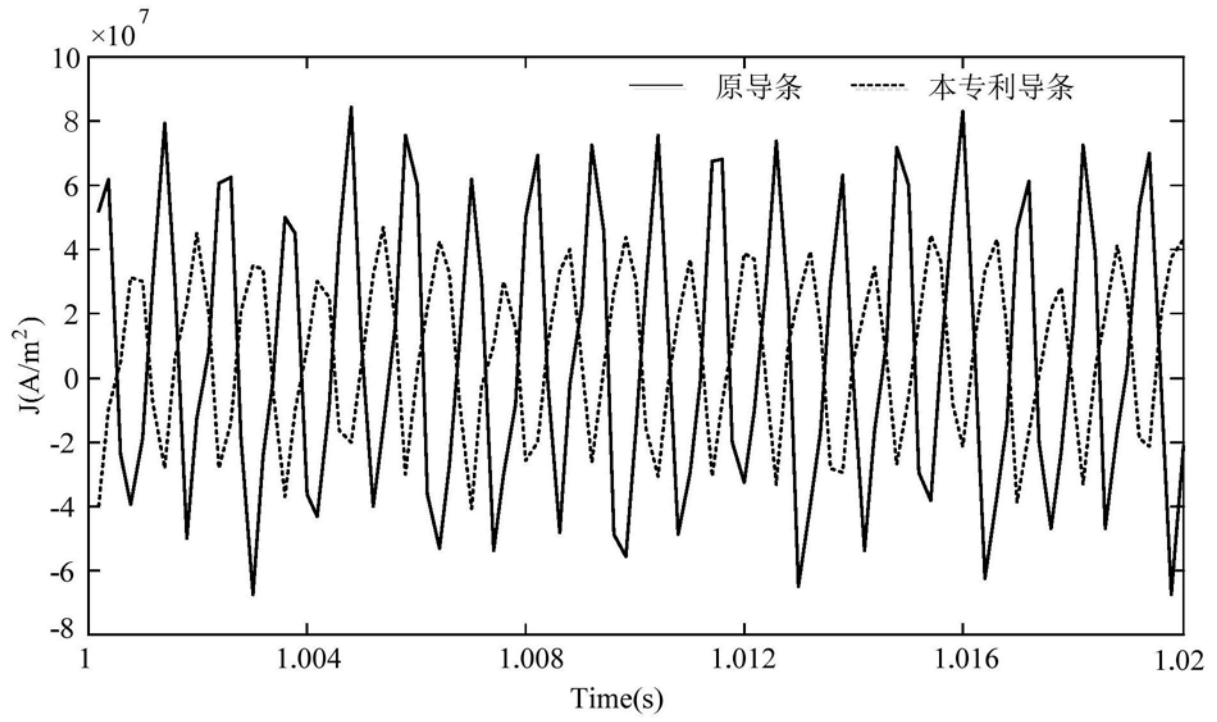


图5