

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 6 月 16 日 (16.06.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/090956 A1

(51) 国际专利分类号:
H02P 6/16 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2015/087607

(22) 国际申请日: 2015 年 8 月 20 日 (20.08.2015)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201410745779.X 2014 年 12 月 8 日 (08.12.2014) CN

(71) 申请人: 中国矿业大学 (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。

(72) 发明人: 陈昊 (CHEN, Hao); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。韩国强 (HAN, Guoqiang); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。程鹤 (CHENG, He); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。王千龙 (WANG, Qianlong); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。

221116 (CN)。王青 (WANG, Qing); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。王星 (WANG, Xing); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH,

[见续页]

(54) Title: FAULT-TOLERANT CONTROL METHOD FOR POSITION SENSOR OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

(54) 发明名称: 一种开关磁阻电机位置传感器故障容错控制方法

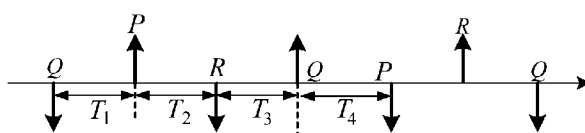


图 2 / Fig. 2

(57) Abstract: A fault-tolerant control method for a position sensor of a switched reluctance motor, if the position sensor of the switched reluctance motor runs without a fault, detecting, in real time, four equal-interval or equal-angle continuous edge pulses of an output signal of the position sensor, the fourth edge pulse being the current edge pulse, and detecting time intervals (T1, T2, T3) between each two adjacent edge pulses sequentially, thereby calculating a time interval (T4) between the current edge pulse and a next edge pulse following the current edge pulse; if the position sensor of the switched reluctance motor fails, and the next edge pulse following the current edge pulse is lost, reconstructing the next edge pulse after the interval time (T4) of the current edge pulse of the output signal of the position sensor. The method can be used, when one or more position sensors of a rotatory and linear switched reluctance motor having various phases and various topology structures fail, to reconstruct an edge pulse after lost.

(57) 摘要: 一种开关磁阻电机位置传感器故障容错控制方法, 当开关磁阻电机位置传感器无故障运行时, 实时检测位置传感器输出信号的四个等间距或等角度连续边沿脉冲, 第四个边沿脉冲为当前边沿脉冲, 依次检测到各相邻两个边沿脉冲间隔时间 (T1, T2, T3), 由此计算出紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲与当前边沿脉冲之间的时间间隔 (T4), 若开关磁阻电机位置传感器发生故障, 紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲丢失, 就在位置传感器输出信号当前边沿脉冲时刻间隔该时间间隔 (T4) 后, 重构下次边沿脉冲。可用于多种相数、多种拓扑结构、旋转式和直线式开关磁阻电机单个及多个位置传感器故障时的边沿脉冲丢失后重构。



WO 2016/090956 A1



CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD,
TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种开关磁阻电机位置传感器故障容错控制方法

技术领域

本发明涉及一种开关磁阻电机位置传感器故障容错控制方法，尤其是适用于多种相数、多种拓扑结构、旋转式和直线式开关磁阻电机位置传感器故障容错控制。

背景技术

由于灰尘、碰撞等原因，为开关磁阻电机系统转速计算和电机换相提供转子位置信号依据的位置传感器会发生失效故障，导致沿脉冲的丢失，电机换相失败，不能正常运转。因此对开关磁阻电机系统位置传感器输出信号重构，实施位置传感器故障容错控制十分重要。传统的位置传感器输出信号重构的容错控制方法没有考虑开关磁阻电机变转速、变加减速工况，重构的位置传感器输出信号在电机变转速、变加减速工况下偏差较大，影响容错控制的效果。

发明内容

技术问题：本发明的目的是克服已有技术中的不足之前，提供一种方法简单、容错能力强、可靠性高、效果好的开关磁阻电机位置传感器故障容错控制方法。

技术方案：本发明的开关磁阻电机位置传感器故障容错控制方法：

当开关磁阻电机位置传感器无故障运行时，实时检测位置传感器输出信号的四个等间距或等角度连续边沿脉冲，第四个边沿脉冲为当前边沿脉冲，按时间顺序，第三个边沿脉冲早于第四个边沿脉冲，第二个边沿脉冲早于第三个边沿脉冲，第一个边沿脉冲早于第二个边沿脉冲，第一个边沿脉冲与第二个边沿脉冲的间隔时间为 T_1 ，第二个边沿脉冲与第三个边沿脉冲的间隔时间为 T_2 ，第三个边沿脉冲与第四个边沿脉冲的间隔时间为 T_3 ，由公式：

$$T_4 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (1)$$

$$A = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2}{T_3(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

$$B = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2 + T_2(T_2 + T_3)^2(T_1 - T_2)}{(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (3)$$

$$C = -T_2T_3(T_2 + T_3) \quad (4)$$

计算出紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲与当前边沿脉冲之间的时间间隔为 T_4 ；

若开关磁阻电机位置传感器发生故障，紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲丢失，就在当前边沿脉冲时刻时间间隔 T_4 后，重构下次边沿脉冲，实现开关磁阻电机位置

传感器故障容错运行。

有益效果：本发明对多种相数、多种拓扑结构、旋转式和直线式开关磁阻电机匀速、匀加速、匀减速、变加速和变减速运行时单个位置传感器及多个位置传感器故障容错控制适用，当开关磁阻电机位置传感器无故障运行时，通过实时检测位置传感器输出信号的四个等间距或等角度连续边沿脉冲，第四个边沿脉冲为当前边沿脉冲，依次检测到各相邻两个边沿脉冲间隔时间，由此计算出紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲与当前边沿脉冲之间的时间间隔，若开关磁阻电机位置传感器发生故障，紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲丢失，就在位置传感器输出信号当前边沿脉冲时刻间隔该时间间隔后，重构下次边沿脉冲，使得开关磁阻电机系统能够在位置传感器故障情况下容错运行，提高了系统的使用寿命。本发明重构的位置信号时刻准确，算法实现简单，用无故障的位置传感器的输出信号重构发生故障的位置传感器的输出信号，容错能力强、可靠性高，进一步提高了系统可靠性，具有良好的应用前景。

附图说明

图 1 是三相 12/8 结构开关磁阻旋转电机位置传感器安装示意图；

图 2 是三相 12/8 结构开关磁阻旋转电机位置传感器输出信号边沿脉冲检测及信号重构示意图；

图 3 是四相 8/6 结构开关磁阻旋转电机位置传感器安装示意图；

图 4 是四相 8/6 结构开关磁阻旋转电机位置传感器输出信号边沿脉冲检测及信号重构示意图。

图 5 是三相 6/4 结构开关磁阻直线电机位置传感器安装示意图；

图 6 是三相 6/4 结构开关磁阻直线电机位置传感器输出信号边沿脉冲检测及信号重构示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的实施例作进一步的描述：

实施例一：如图 1 所示的三相 12/8 结构开关磁阻旋转电机三个位置传感器 P、Q、R 对称安装示意图，间隔角度 α 为 60° 。当开关磁阻电机位置传感器无故障运行时，如图 2 所示，实时检测位置传感器输出信号的四个等角度连续边沿脉冲 Q、P、R、Q，从左起第四个边沿脉冲 Q 为当前边沿脉冲，按时间顺序，第三个边沿脉冲 R 早于第四个边沿脉冲 Q，第二个边沿脉冲 P 早于第三个边沿脉冲 R，第一个边沿脉冲 Q 早于第二个边沿脉冲 P，第一个边沿脉冲 Q 与第二个边沿脉冲 P 的间隔时间为 T_1 ，第二个边沿脉冲 P 与第三个边沿脉冲 R 的间隔时间为 T_2 ，第三个边沿脉冲 R 与第四个边沿脉冲 Q 的间隔时间为

T_3 ，由公式：

$$T_4 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (1)$$

$$A = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2}{T_3(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

$$B = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2 + T_2(T_2 + T_3)^2(T_1 - T_2)}{(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (3)$$

$$C = -T_2T_3(T_2 + T_3) \quad (4)$$

计算出紧接着当前边沿脉冲 Q 之后的下次边沿脉冲 P 与当前边沿脉冲 Q 之间的时间间隔为 T_4 ；若开关磁阻电机位置传感器发生故障，紧接着当前边沿脉冲 Q 之后的下次边沿脉冲 P 丢失，就在当前边沿脉冲 Q 时刻时间间隔 T_4 后，重构下次边沿脉冲 P，实现开关磁阻旋转电机位置传感器故障容错运行。

实施例二：如图 3 所示的四相 8/6 结构开关磁阻旋转电机两个位置传感器 P、Q 对称安装示意图，间隔角度 β 为 75° 。当开关磁阻电机位置传感器无故障运行时，如图 4 所示，实时检测位置传感器输出信号的四个等角度连续边沿脉冲 P、Q、P、Q，从左起第四个边沿脉冲 Q 为当前边沿脉冲，按时间顺序，第三个边沿脉冲 P 早于第四个边沿脉冲 Q，第二个边沿脉冲 Q 早于第三个边沿脉冲 P，第一个边沿脉冲 P 早于第二个边沿脉冲 Q，第一个边沿脉冲 P 与第二个边沿脉冲 Q 的间隔时间为 T_1 ，第二个边沿脉冲 Q 与第三个边沿脉冲 P 的间隔时间为 T_2 ，第三个边沿脉冲 P 与第四个边沿脉冲 Q 的间隔时间为 T_3 ，由公式：

$$T_4 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (1)$$

$$A = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2}{T_3(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

$$B = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2 + T_2(T_2 + T_3)^2(T_1 - T_2)}{(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (3)$$

$$C = -T_2T_3(T_2 + T_3) \quad (4)$$

计算出紧接着当前边沿脉冲 Q 之后的下次边沿脉冲 P 与当前边沿脉冲 Q 之间的时间间隔为 T_4 ；若开关磁阻电机位置传感器发生故障，紧接着当前边沿脉冲 Q 之后的下次边沿脉

冲 P 丢失，就在当前边沿脉冲 Q 时刻时间间隔 T_4 后，重构下次边沿脉冲 P，实现开关磁阻旋转电机位置传感器故障容错运行。

实施例三：如图 5 所示的三相 6/4 结构开关磁阻直线电机三个位置传感器 P、Q、R 对称安装示意图，间隔间距 x 为 30mm。当开关磁阻电机位置传感器无故障运行时，如图 6 所示，实时检测位置传感器输出信号的四个等间距连续边沿脉冲 Q、P、R、Q，从左起第四个边沿脉冲 Q 为当前边沿脉冲，按时间顺序，第三个边沿脉冲 R 早于第四个边沿脉冲 Q，第二个边沿脉冲 P 早于第三个边沿脉冲 R，第一个边沿脉冲 Q 早于第二个边沿脉冲 P，第一个边沿脉冲 Q 与第二个边沿脉冲 P 的间隔时间为 T_1 ，第二个边沿脉冲 P 与第三个边沿脉冲 R 的间隔时间为 T_2 ，第三个边沿脉冲 R 与第四个边沿脉冲 Q 的间隔时间为 T_3 ，由公式：

$$T_4 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (1)$$

$$A = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2}{T_3(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

$$B = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2 + T_2(T_2 + T_3)^2(T_1 - T_2)}{(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (3)$$

$$C = -T_2T_3(T_2 + T_3) \quad (4)$$

计算出紧接着当前边沿脉冲 Q 之后的下次边沿脉冲 P 与当前边沿脉冲 Q 之间的时间间隔为 T_4 ；若开关磁阻电机位置传感器发生故障，紧接着当前边沿脉冲 Q 之后的下次边沿脉冲 P 丢失，就在当前边沿脉冲 Q 时刻时间间隔 T_4 后，重构下次边沿脉冲 P，实现开关磁阻直线电机位置传感器故障容错运行。

本发明对有三只位置传感器的三相 6/4 结构、三相 24/16 结构开关磁阻电机适用，对有四只位置传感器的四相 8/6 结构、四相 16/12 结构开关磁阻电机，有两只位置传感器的四相 8/6 结构、四相 16/12 结构开关磁阻电机，旋转式和直线式开关磁阻电机等的单个位置传感器及多个位置传感器故障容错控制也适用。

权利要求书

1. 一种开关磁阻电机位置传感器故障容错控制方法，其特征在于：

当开关磁阻电机位置传感器无故障运行时，实时检测位置传感器输出信号的四个等间距或等角度连续边沿脉冲，第四个边沿脉冲为当前边沿脉冲，按时间顺序，第三个边沿脉冲早于第四个边沿脉冲，第二个边沿脉冲早于第三个边沿脉冲，第一个边沿脉冲早于第二个边沿脉冲，第一个边沿脉冲与第二个边沿脉冲的间隔时间为 T_1 ，第二个边沿脉冲与第三个边沿脉冲的间隔时间为 T_2 ，第三个边沿脉冲与第四个边沿脉冲的间隔时间为 T_3 ，由公式：

$$T_4 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (1)$$

$$A = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2}{T_3(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

$$B = \frac{T_1(T_1 + T_2)(T_2 - T_3)^2 + T_2(T_2 + T_3)^2(T_1 - T_2)}{(T_2 + T_3)(T_1 - T_2)} \quad (3)$$

$$C = -T_2T_3(T_2 + T_3) \quad (4)$$

计算出紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲与当前边沿脉冲之间的时间间隔为 T_4 ；

若开关磁阻电机位置传感器发生故障，紧接着当前边沿脉冲之后的下次边沿脉冲丢失，就在当前边沿脉冲时刻时间间隔 T_4 后，重构下次边沿脉冲，实现开关磁阻电机位置传感器故障容错运行。

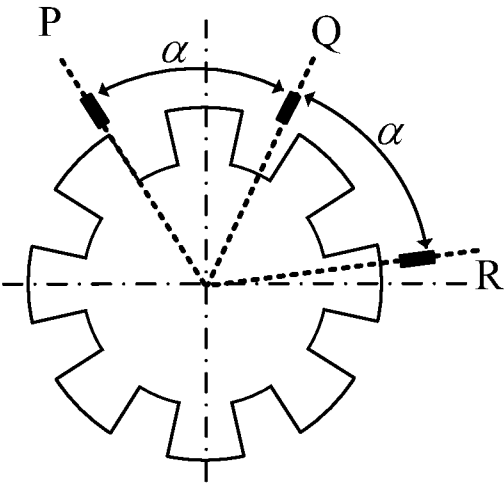


图 1

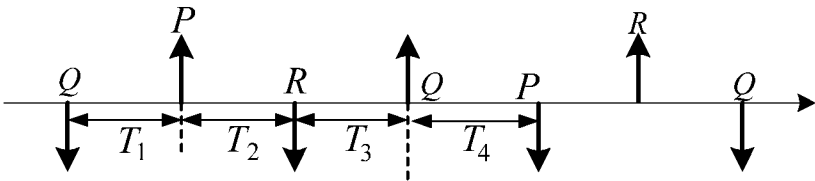


图 2

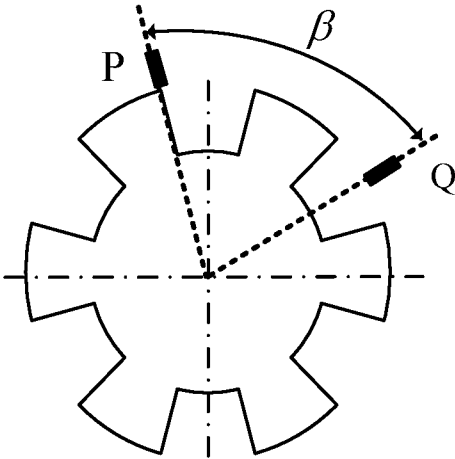


图 3

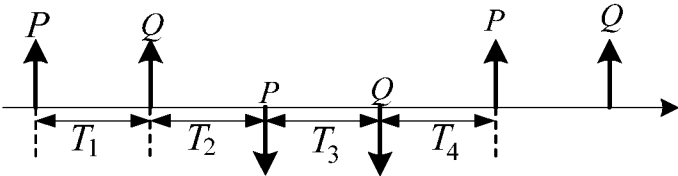


图 4

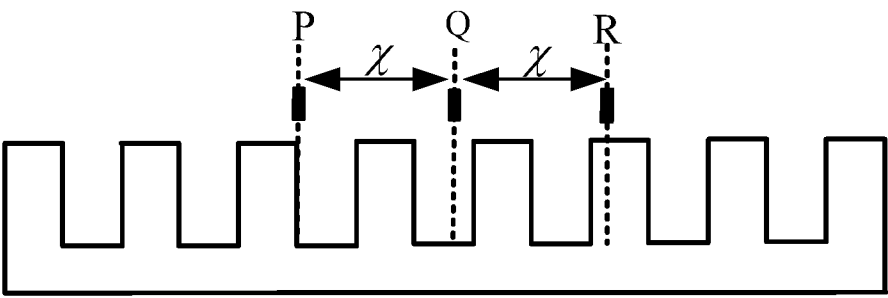


图 5

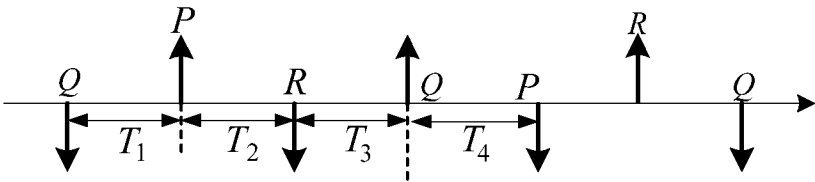


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/087607

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 6/16 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: switched reluctance, SRM, sensor, tolerance, tolerant, fault, pulse, edge, signal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104467566 A (UNIV CHINA MINING & TECHNOLOGY BEIJING) 25 March 2015 (25.03.2015) claim 1	1
A	CN 103439655 A (NANJING AERONAUTICS & ASTRONAUTICS UNIVERSITY) 11 December 2013 (11.12.2013) the whole document	1
A	CN 103414408 A (TAIYUAN TECHNOLOGY UNIVERSITY) 27 November 2013 (27.11.2013) the whole document	1
A	XUE, Peilin et al. "Fault Diagnosis and Fault-tolerant Control of Position Signals for Switched Reluctance Motor" Proceedings of the CSEE, vol. 31, no. 33, 25 December 2011 (25.11.2013), pages 123 to 129	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 23 September 2015	Date of mailing of the international search report 19 October 2015
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer HUO, Yan Telephone No. (86-10) 62089881

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/087607

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104467566 A	25 March 2015	None	
CN 103439655 A	11 December 2013	None	
CN 103414408 A	27 November 2013	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/087607

A. 主题的分类

H02P 6/16 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H02P

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 开关磁阻, 传感器, 容错, 脉冲, SRM, switched reluctance, sensor, tolerance, pulse, edge, signal

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 104467566 A (中国矿业大学) 2015年 3月 25日 (2015 - 03 - 25) 权利要求1	1
A	CN 103439655 A (南京航空航天大学) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 全文	1
A	CN 103414408 A (太原理工大学) 2013年 11月 27日 (2013 - 11 - 27) 全文	1
A	许培林等. “开关磁阻电机位置信号的故障检测与容错控制” 中国电机工程学报, 第31卷, 第33期, 2011年 11月 25日 (2011 - 11 - 25), 第123-129页	1

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2015年 9月 23日

国际检索报告邮寄日期

2015年 10月 19日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)
北京市海淀区蓟门桥西土城路6号
100088 中国

传真号 (86-10) 62019451

授权官员

霍艳

电话号码 (86-10) 62089881

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/087607

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	104467566	A	2015年 3月 25日	无	
CN	103439655	A	2013年 12月 11日	无	
CN	103414408	A	2013年 11月 27日	无	