

# 无刷直流电机用旋转变压器的调零方法

薛力铭, 陈铎霄, 郑楠

沈阳仪表科学研究院有限公司, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2023年4月10日; 录用日期: 2023年6月13日; 发布日期: 2023年6月21日

## 摘要

无刷直流电机由于内部没有电刷, 只能通过位置传感器将转子的位置信号传递给控制器, 实现电子换向功能。旋转变压器作为位置传感器, 具有结构简单、动作灵敏、运行可靠, 对环境条件要求低等特点。无刷直流电机在安装旋转变压器时, 需要有一个调节零点过程, 以保证其可以正常的运转。本文提供一种无刷直流电机用旋转变压器调节零点的简便方法, 该方法不需要过多的电气设备, 操作简单、上手方便, 可以有效的降低调零门槛与成本, 对无刷直流电机用旋转变压器零点的调试具有一定的工程指导意义。

## 关键词

无刷直流电机, 旋转变压器, 调节零点, 方法

# Zero Point Adjustment Method for Rotary Transformers Used in Brushless DC Motors

Liming Xue, Duoxiao Chen, Nan Zheng

Shenyang Institute of Instrumentation Science Co., Ltd., Shenyang Liaoning

Received: Apr. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 13<sup>th</sup>, 2023; published: Jun. 21<sup>st</sup>, 2023

## Abstract

Due to the lack of internal brushes, brushless DC motors can only transmit the position signal of the rotor to the controller through position sensors, achieving electronic commutation function. As a position sensor, a rotary transformer has the characteristics of simple structure, sensitive action, reliable operation, and low requirements for environmental conditions. When installing resolver, brushless DC motor needs a zero adjustment process to ensure its normal operation. This article provides a simple method for adjusting the zero point of a rotary transformer used in

brushless DC motors. This method does not require too much electrical equipment, is simple to operate, and is easy to use. It can effectively reduce the debugging threshold and cost, and has certain engineering guidance significance for the zero point debugging of a rotary transformer used in brushless DC motors.

## Keywords

Brushless DC Motor, Rotating Transformer, Adjust Zero Point, Method

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

无刷直流电机由于其结构简单、不存在电刷产生的机械损耗、运行稳定可靠，并且其性能优异，具有效率高、调速平滑、起动转矩大等优点，而且随着永磁材料性能的快速发展，高性能、小体积的无刷直流电机问世，因此被市场广泛应用于家用电器、工业控制、医疗器材、新能源汽车、航空航天等各行各业。

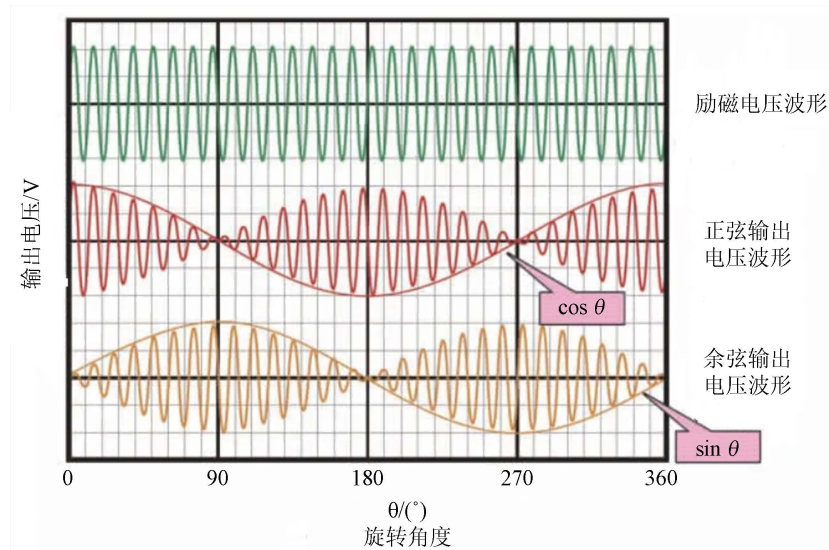
无刷直流电机的运行需要配合位置传感器。位置传感器种类有很多，其中旋转变压器作为电磁式位置传感器应用较为广泛，无论工作在多么恶劣的环境中，其仍然运行在高可靠性和高稳定性的状态[1]。用旋转变压器的无刷直流电机在生产装配时，需要有一个旋转变压器调节零点的过程，以保证旋转变压器可以有效的检测无刷直流电机转子的位置，将信号准确的反馈给控制器，这样才能保证无刷直流电机的正常运转。旋转变压器零点的调节方法研究比较多，比如刘彦良通过建立芯片硬件标定系统来完成旋转变压器零点的调节[2]；李彦龙基于转子预定位方法实现旋变零位偏角的标定[3]，肖毅设计了一种旋转变压器和正余弦编码器的专用伺服驱动器来实现零点的定位与校准[4]，张帅提出一种永磁同步电机用旋转变压器的零点位置计算方法[5]。上述调节旋转变压器零点的方法，是面向自动化大批量生产过程的，其操作过程难免复杂繁琐，需要的电气设备较多，成本较高。本文提出一种简便的旋转变压器零点调试方法，该方法操作简单、方便，不需要过多的专业知识和专业设备，即可完成无刷直流电机用旋转变压器零点的调节过程。

## 2. 工作原理

无刷直流电机由于内部不存在电刷，无法完成机械换向功能，需要对电机转子的位置进行识别，将信号反馈给控制器，实现电子换向功能。

控制器需得到任意时刻电机转子相对于定子的转角角度  $\theta$ ，用程序中  $\theta$  角对标的 dq 轴电流来控制电机的旋转。而旋变变压器的功能主要就是标定旋转变压器定、转子之间位置的角度  $\theta$  角[6]。

旋转变压器一共有六根接线端，Ref+和 Ref-为激励信号的输入端，Sin+和 Sin-为正弦绕组输出端，Cos+和 Cos-为余弦绕组输出端，其在工作时，励磁端输入正弦交变信号，旋转变压器定子保持不动，旋转变压器转子旋转，其输出电压波形以一对极旋转变压器为例，如图 1 所示，其中波形曲线从上至下，分别为输入的励磁电压波形、输出的正弦输出电压波形和余弦输出电压波形[7]，控制器通过算法分析正弦和余弦输出电压波形，即可检测出转子的位置角度。



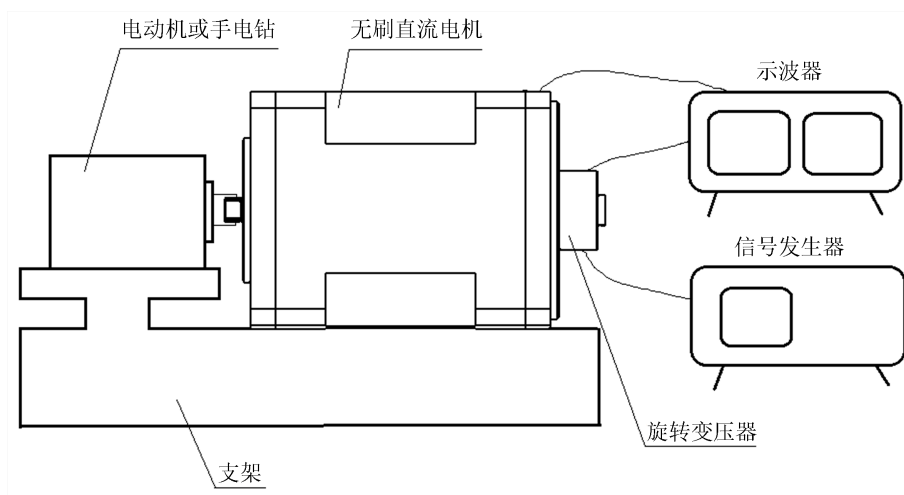
**Figure 1.** Input and output voltage waveform curve of rotary transformer  
**图 1.** 旋转变压器输入与输出电压波形曲线

### 3. 调节零点

无刷直流电机由于其结构的特殊性，必须需要控制器对其励磁绕组加以控制，持续的输出脉冲电压，才能实现换向功能。至此，作为位置传感器的旋转变压器给控制器反馈无刷直流电机转子的实时位置，需要有一个调节零点的过程，才能保证实时反馈转子位置的正确性，否则无刷直流电机不能正常运行。

本文提出一种无刷直流电机用旋转变压器调节零点的方法：无刷直流电机三相绕组中任意一相绕组的反电势波形曲线过零点，视为电机转子的初始位置；旋转变压器输出绕组中，正弦或余弦输出电压波形中任意一相过零点，视为旋转变压器的零点；当无刷直流电机任意一相绕组反电势波形曲线的零点与旋转变压器正余弦任意一相绕组的输出电压波形曲线过零点相重合时，视为调节零点成功，此时连接至控制器，即可控制无刷直流电机的旋转。

所需工具设备：支架、信号发生器、示波器、电动机或手电钻，如图 2 所示。



**Figure 2.** Schematic diagram of zero adjustment equipment  
**图 2.** 调节零点设备示意图

调节零点过程:

1) 将旋转变压器安装至无刷直流电动机上, 其中旋转变压器转子安装于无刷直流电机的主轴上, 旋转变压器定子安装于后端盖上, 不要将固定螺钉拧死, 保证旋转变压器定子可以旋转, 以方便调试零点。

2) 将未通电的无刷直流电机, 保持不通电的状态放置于支架上, 然后将手电钻(或电动机, 手电钻操作更为方便、简单, 控制转速更方便)放置于支架上, 将手电钻的旋转头夹住电机的输出轴, 确保手电钻的旋转可以带动无刷直流电机的旋转, 以获取电机反电势波形曲线。

3) 将信号发生器连接至旋转变压器的 Ref+和 Ref-激励信号的输入端, 设置信号发生器输出幅值为 7 V, 频率为 2000 Hz 的交变正弦信号, 作为旋转变压器的励磁信号(可以根据需要设定)。

4) 将示波器的一通道与无刷直流电机的绕组输出端任意两根线相连接(无刷直流电机采用星形连接, 绕组输出线共三根), 目的是观测无刷直流电机的反电势波形曲线; 将示波器的另一通道与旋转变压器的正弦 Sin+、Sin-或余弦 Cos+、Cos-, 任意一相输出绕组的相连接, 目的是观测旋转变压器的正弦或余弦输出绕组的电压波形曲线。

5) 开启手电钻开关, 使得手电钻旋转头开始旋转, 带动无刷直流电机主轴旋转, 控制手电钻旋转的转速, 此时, 示波器上开始出现两条波形曲线。一条波形曲线为无刷直流电机的反电势, 另一条波形曲线为旋转变压器的正弦或余弦(取决于接线)输出电压波形曲线。

6) 开始调节零点, 当手动扭转旋转变压器定子时, 示波器上的一条波形曲线: 旋转变压器的正弦或余弦输出电压波形曲线会发生相位上的左右偏移; 而示波器上的另一条波形曲线: 无刷直流电机的反电势波形曲线不发生相位移动。观测两条波形曲线, 示波器屏幕显示如图 3 所示, 当旋转变压器输出电压波形曲线过零点与无刷直流电机反电势波形曲线过零点相重合时, 停止扭转, 视为零点调节成功。

7) 然后固定旋转变压器定子, 使其不再发生转动, 调节零点完成, 完成无刷直流电机的装配工作。

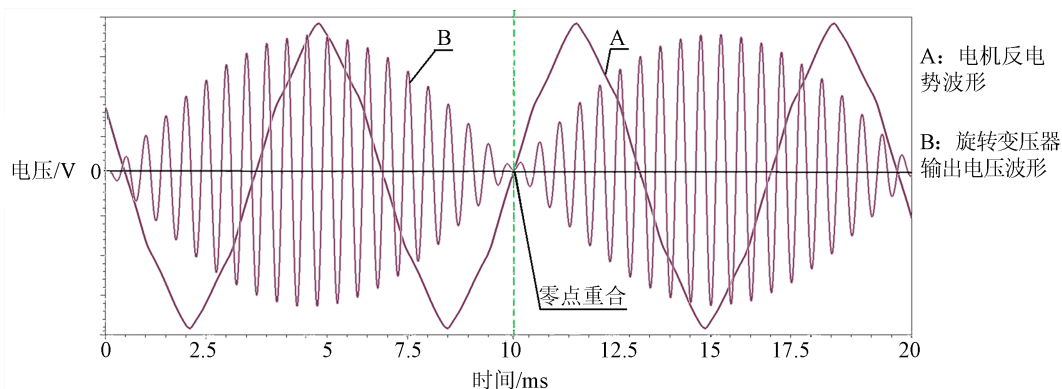


Figure 3. Back electromotive force and output voltage waveform

图 3. 反电势和输出电压波形

#### 4. 结论

本文提供了一种无刷直流电机用旋转变压器零点的简便调节方法, 通过手电钻或电动机拖动无刷直流电机运行, 用信号放生器作为激励, 示波器显示电机反电势和旋转变压器输出电压波形。通过扭转旋转变压器定子, 调节输出电压波形的相位, 当零点重合时, 即可完成旋转变压器零点的调试过程, 操作简单, 上手方便, 不需要过硬的专业知识, 不需要复杂的电子元器件、设备, 即可完成整个调节过程。该方法调试无刷直流电机用旋转变压器, 可以提高调试的效率, 对无刷直流电机的生产装配与试验测试, 具有一定的工程实践意义。

## 参考文献

- [1] 秦毅, 王阳阳, 彭东林, 陈锡侯, 武亮. 电感式角位移传感器技术综述[J]. 仪器仪表学报, 2022, 43(11): 1-14.  
<https://doi.org/10.19650/j.cnki.cjsi.J2210047>
- [2] 刘彦良. 旋转变压器初始位置标定系统开发[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林大学, 2015.
- [3] 李彦龙, 张广利, 贾彤起, 等. 电动汽车永磁同步电机旋转变压器零位偏角标定方法及应用研究[C]//河南省汽车工程学会. 第十七届河南省汽车工程科技学术研讨会论文集: 2020年卷. 2020: 323-325.  
<https://doi.org/10.26914/c.cnkihy.2020.054382>
- [4] 肖毅. 伺服电机旋转变压器及正余弦编码器零点校准系统[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [5] 张帅. 永磁同步电机零位计算及试验验证[J]. 内燃机与配件, 2020(10): 119-121.  
<https://doi.org/10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2020.10.052>
- [6] 刘佳男. 永磁同步电机初始位置检测及电机波形采集分析[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林大学, 2016.
- [7] 薛力铭, 郑楠. 不同绕组结构的旋转变压器输出电压波形与谐波对比分析[J]. 电气工程, 2021, 9(3): 97-104.  
<https://doi.org/10.12677/jee.2021.93011>