

БЕЗКОНТАКТНО УСТРОЙСТВО ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ПОСОКАТА НА ВЪРТЕНЕ

С.В. Лозанова¹, М.Л. Ралчев¹

¹ *Институт по роботика при Българска Академия на Науките
Ул. “Акад. Г. Бончев”, бл.2, София 1113, България
Email: lozanovasi@abv.bg*

CONTACTLESS DEVICE FOR DETERMINING THE DIRECTION OF ROTATION

S.V. Lozanova¹, M.L. Ralchev¹

¹ *Institute of Robotics at Bulgarian Academy of Sciences
“Acad. G. Bonchev” Str., Bl.2, Sofia 1113, Bulgaria
Email: lozanovasi@abv.bg*

Abstract

Contactless device for determining the direction of rotation of shafts, containing a multipolar magnetic system (actuator) in the ring form and digital Hall circuit, is investigated. An alternating sequence of identical in shape and induction north (N) and south poles (S), as well as neutral zones (nu) are located on ring periphery. The digital integrated Hall is located near to the actuator. The sensor chip contains an analog orthogonal Hall element and electronic module with one input and one output for converting the Hall signal into digital one. The Hall output is connected to the input of the module. The direction of rotation of the actuator - clockwise or counterclockwise is determined by the very different characteristics and type of the digital module output voltage. This new device possesses universal applicability in contactless automation, robotics, energetic plants, etc.

Keywords: Digital Hall sensor circuitry; contactless automation; crankshaft direction of rotation; magnetic modulator system.

ВЪВЕДЕНИЕ

Роботиката, безконтактната автоматика, точното машиностроене, енергетиката, електропроизводството, автомобилостроенето, и др. са ключови приложения на сензориката на магнитното поле. В основата на тази технология на управление е промяна във взаимното разположение на магнитна система и преобразувател на магнитно поле - полупроводников елемент на Хол, магнитотранзистор, рид-реле, магнитодиод, магниторезистор, и др. В опростен вид най-често се използва линейно преместване на единичен постоянен магнит със съответна конфигурация на двата полюса, прикрепен неподвижно към обект, част от конкретен процес в производството. В резултат напрежението на Хол е функция от големината

на механичното преместване. Цифровизацията на автоматичното управление изисква съществено по-сложни магнитни системи, известни като модулаторни или актуаторни. В индустриалния сектор най-разпространени са машините, генериращи въртливо движение, на което се контролират характеристики като скорост и посока на въртене, времетраене и реверсиране на процеса и др. Независимо от прогреса в безконтактното управление, включително и с елементи на изкуствен интелект, един от неизяснените в достатъчна степен проблеми на автоматизацията е определянето на посоката на въртене на валове, турбини, електромотори и др. Използваните за целта решения съдържат монтирана на вал многополюсна магнитна система във вид на ринг,

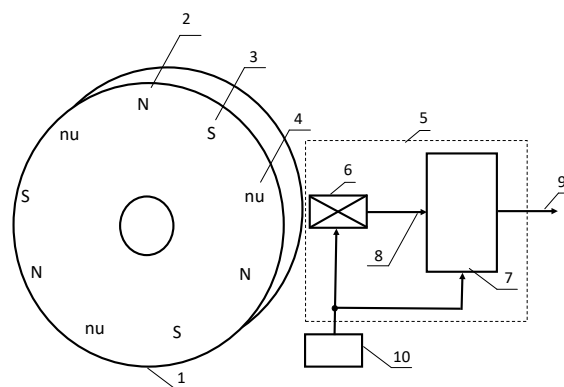
по периферията на който еквилидистантно са разположени еднакви по форма и индукция северни (N) и южни (S) полюси, редуващи се последователно ... – N – S – N – S ... и т. н. В близост до периферията на този рингов магнит и на фиксирано разстояние от него има две интегрални схеми на Хол с цифрови изходи. Те съдържат аналогови четириконтактни микросензори на Хол, изходите на които са свързани с входовете на модули за преобразуване на сензорния сигнал в цифров вид. Важно изискване е интегралните схеми да са разположени с висока точност една спрямо друга на разстояние $\frac{1}{2}$ от размера на който и да е от полюсите N или S. Тригерното превключване на изходните нива *max – min* се осъществява от преминаващите полюси на въртящата се магнитна система, като цифровите сигнали са дефазирани на 90 градуса. Изходите на интегралните схеми на Хол са свързани с електронен блок с два входа и един изход. Посоката на въртене на магнитния актуатор – по часовниковата стрелка или обратно на нея се определя по характеристиките и формата на изходния сигнал, [1-5].

Недостатък на устройството е често възникващата грешка в установяване посоката на въртене на вала с магнитната система в резултат на ограничените възможности за високоточен монтаж на интегралните схеми на Хол една спрямо друга и на нужното фиксирано разстояние от ринга. Друг проблем е усложнената конструкция, изискваща задължително две идентични интегрални схеми с цифрови изходи, определени чрез предварителен подбор. От значение е комплицираната схемотехника - необходимост на два канала за връзка на интегралните схеми с допълнителния електронен блок за обработка и дигитализиране на двата аналогови сигнали от сензорите на Хол. В настоящата статия е предложено ново безконтактно устройство за определяне посоката на въртене с индустриална приложимост, в което посочените проблеми са преодолени.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ

Иновативната задача е реализирана на механизъм за определяне посоката на вър-

тене на валове с минимална грешка и опростена конструкция и схемотехника. На Фигура 1 е показано устройството. То съдържа въртящ се многополюсен магнит 1 във вид на ринг, по периферията на който са разположени по един и същ брой еднакви по форма и индукция северни (N) 2 и южни полюси (S) 3, както и неутрални зони (nu) 4, несъдържащи магнити.



Фиг. 1. Конструкция на устройството за определяне посоката на въртене (обозначенията са указани в текста)

Последователното им редуване е както следва: северен 2, южен полюс 3, неутрална зона 4, северен 2, южен полюс 3, неутрална зона 4 и т. н. (... N, S, nu, N, S, nu,...). В близост до периферията на магнитната модулаторна система 1 е монтирана една интегрална схема на Хол 5, състояща се от аналогов сензор на Хол 6 и модул 7 за преобразуване на сензорния сигнал в цифров с един вход 8 и един изход 9, съединена с токоизточник 10. Изходът на аналоговия сензор 6 е свързан с входа 8 на модула 7, като цифровият изход 9 е изход на устройството. Посоката на въртене на ринга 1 – по часовниковата стрелка или обратно на нея се определя по характеристиките и вида на изходния сигнал на устройството.

РЕАЛИЗАЦИЯ НА УСТРОЙСТВОТО

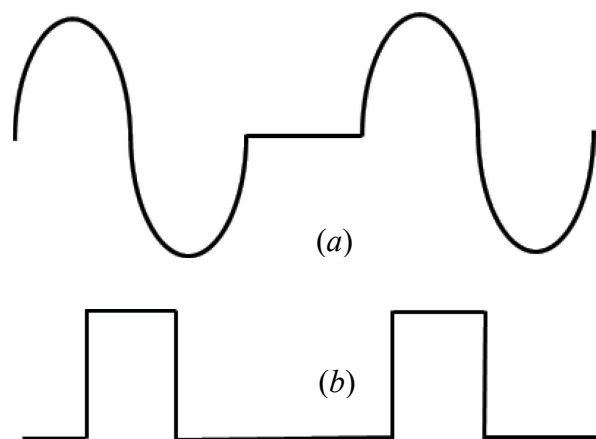
Заложеният принцип на функциониране на системата от Фиг. 1 е безконтактно определяне на специфичното разположение на магнити ... N-S-N-S... чрез изходното напрежение на интегралната схема 5. Тя съдържа аналогов с ортогонално активизиране четириконтактен елемент на Хол 6, из-

ходният сигнал на който е линейна и полярна функция от стойността и посоката на магнитното поле B , [2-7]. Напрежението от аналоговия сензор 6 постъпва на входа 8 на интегрирания в същия силициев чип електронен модул 7, съдържащ диференциален усилвател, компаратори и тригери. Аналоговият Холов сигнал се обработва и преобразува в цифров вид, при което на изхода 9 се формира цифров сигнал, съдържащ две възможни нива – високо *max* и ниско *min*. В отсъствие на магнитно поле, $B = 0$, изходното напрежение на аналоговия сензор 6 е със стойност, равна на половината от подаденото на него захранващо напрежение от токоизточника 10, т.е. генерира се средното ниво. Тази ситуация се реализира, когато при въртенето на актуатора 1, срещу цифровата интегрална схема на Хол 5 преминава неутралната зона *ni* 4, Фиг. 1. Актуаторната система 1 се осъществява чрез формиране на относително тънък цилиндричен блок от немагнитен материал или компаунд по технология 3D принтиране, по периферията на който се разполагат отделните магнити, Фиг. 1. Като магнити е целесъобразно да се използват такива с висока коерцетивна сила H от тип Alnico 5H или Alnico 8H. В някои от приложенията са необходими суперсилните магнити тип SmCo28H. В иновацията могат да се приложат тригерни схеми от тип А 3421 и А 3422 на Allegro Microsyst., съдържащи и необходимата логика за подпомагане установяването посоката на въртене. Също удачно е приложението и на IC схема MLX90224 на Melexis Corp. В случаите на дискретна реализация на електронния модул 5 като аналогови сензори на Хол 6 могат да се използват както елементи с ортогонална активация, така и преобразуватели с равнинна магниточувствителност – например с три, четири, пет, шест и повече омични контакти, [2,6,7].

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ПОСОКАТА НА ВЪРТЕНЕ

При въртене на магнитомодулаторната система 1, когато срещу активната повърхност на сензора на Хол 6 преминава единият от магнитните полюси (например, северния N 2), изходният сигнал от елемента 6 е с

форма, подобна на отрицателна синусоидна полувървна, разположена изцяло под средното ниво. Ако при въртенето на ринга 1 срещу повърхността на елемента на Хол 6 преминава другият магнитен полюс (южният S 3), изходният сигнал от него е с форма, подобна на положителна синусоидна полувървна, която е разположена изцяло над средното ниво. При завъртане на актуатора 1 в едната от двете възможни посоки – например по часовниковата стрелка, срещу активната повърхност на елемента 6 магнитните полюси ... – N – S – N – S ... преминават последователно в строго определен ред – неутрална зона 4 - южен полюс 3 - северен полюс 2 – неутрална зона 4 – южен полюс 3 – северен полюс 2 и т. н (... *ni-S-N-ni-S-N...*).

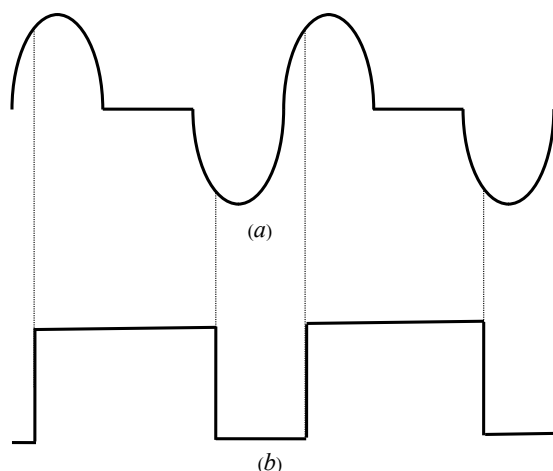


Фиг. 2. Изходни сигнали на аналоговия сензор на Хол - (a) и на дигиталното устройство 7 - (b), по които еднозначно се определя посоката на въртене – по часовниковата стрелка.

При това на изхода на аналоговия сензор 6 се формира сигнал, показан на Фиг. 2(a), съдържащ последователност от различни криви, съответстващи на реда, в който полюсите 1 преминават срещу повърхността на сензора на Хол 6. Последователността е следната: отсечка със средно ниво – положителна синусоидна полувървна над средното ниво – отрицателна синусоидна полувървна под средното ниво – отсечка със средно ниво – положителна синусоидна полувървна над средното ниво – отрицателна синусоидна полувървна под средното ниво и т. н.

При завъртане на актуатора 1 в другата възможна посока (противоположната) –

против часовниковата стрелка, срещу активната повърхност на сензора на Хол 6 магнитните полюси на системата 1 преминават също последователно в строго определен ред, който обаче съществено се отличава от предишния: неутрална зона 4 – северен полюс 2 – южен полюс 3 – неутрална зона 4 – северен полюс 2 – южен полюс 3 и т. н (... ni-N-S-ni-N-S...).



Фиг. 3. Изходни сигнали на аналоговия сензор на Хол - (a) и на дигиталното устройство 7 - (b), по които еднозначно се определя посоката на въртене – обратно на часовниковата стрелка

При това на изхода на сензора на Хол 6 се формира напрежение, показано на Фиг. 3(a). Последователността от изходните криви, съответстващи на реда, в който магнитните полюси на модулатора 1 преминават срещу активната повърхност на сензора 6 е както следва: отсечка със средно ниво – отрицателна синусоидна полуwave над средното ниво – положителна синусоидна полуwave над средното ниво – отсечка със средно ниво – отрицателна синусоидна полуwave под средното ниво – положителна синусоидна полуwave над средното ниво и т. н. Следователно на всяка от двете възможни посоки на въртене на актуаторната система 1 по- или против- часовниковата стрелка съответства изходен сигнал от сензора 6 с точно определен вид (форма). Тези два изходни сигнала (за всяка от двете възможни посоки на въртене), показани на Фиг. 2(a) и Фиг. 3(a) се отличават съществено по вида си един от друг, което не се наблюдава в известното решение, [1,3,4].

Следователно формата на изходния сигнал от елемента на Хол 6 съдържа точната информация за посоката на въртене на ринга с магнитите 1.

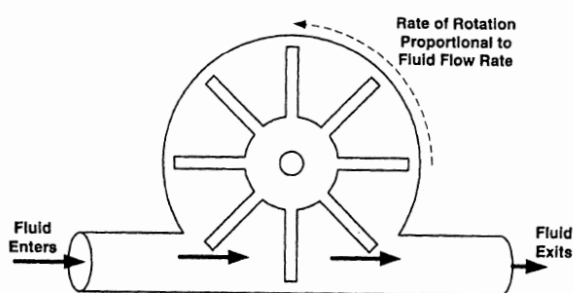
Съгласно описаната по-горе схемна реализация, при подходящ подбор на праговите напрежения на компараторите от електронния модул 7, за едната възможна посока на въртене на модулатора 1 се формира периодичен правоъгълен сигнал с коефициент на запълване на импулсите 1/3, показан на Фиг. 2(b). За другата възможна посока (противоположна на първата) на въртене на актуатора 1 се формира периодичен правоъгълен сигнал с коефициент на запълване на импулсите 2/3, показан на Фиг. 3(b). По този начин, контролирайки на изхода 9 на устройството 7 това напрежение чрез осцилоскоп (или чрез измерване на средната му стойност с волтметър), може електронно да се идентифицира посоката на въртене. При изходен сигнал 9 с коефициент на запълване на импулсите 2/3, средната стойност на изходното напрежение 9 е два пъти по-висока, отколкото при изходен сигнал 9 с коефициент на запълване на импулсите 1/3. Това позволява еднозначно да бъде идентифицирана посоката на въртене по измереното постоянно напрежение на цифровия изход 9.

ПРИЛОЖИМОСТ НА УСТРОЙСТВОТО

Приложимостта на устройството от Фиг. 1 се определя от постигнатите предимства по отношение на известното решение. При определяне посоката на въртене грешката в регистриране на посоката е минимална в резултат от опростената конструкция, използваща само една интегрална схема на Хол. Тя се монтира срещу периферията на ринг-магнита 1, Фиг. 1, без необходимост от прецизно установяване спрямо определен маркер/маркери. С помощта на опростената схематехника отпада необходимостта от използване на допълнителен електронен блок с два входа и един изход за обработка на два сензорни сигнала за извличане на информацията от тях за посоката на въртене. Намаленият брой компоненти в конструкцията и произтичащите от това редуцирани връзки между тях повишава

надеждността при определяне посоката на въртене за целите на индустриалните приложения.

Тези преимущества са свързани с иновативната рингова конфигурация на актуаторната система 1 с вградените в нея неутрални зони *ни* 4. В резултат на изхода 9 на устройството се формират два ясно различни по своите характеристики и форма изходни сигнала, от които да се извлече еднозначна информация за посоката на въртене на ринг-магнита 1. Тъй като “идентификацията” на посоката на въртене е заложена в магнитомодулаторната система (многополюсният магнит 1 с включени по периферията му допълнителни неутрални зони *ни* 4), грешката е драстично намалена. От ключово значение на новото решение е, че се използва само една цифрова интегрална схема на Хол 5, което не изисква специален високоточен монтаж спрямо магнитния актуатор 1.



Фиг. 4. Лопаткова магнито-модулаторна система за измерване дебита и количеството на лесно запалими флуиди – бензин, нефт, метан, съгласно [1].

Предложеното устройство за определяне посоката на въртене на валове има широка гама от приложения. Едно от тях, привличащо специално внимание, е флоуметър за измерване дебита и количеството на лесно запалими флуиди – бензин, нефт, метан, особено актуален в дейността на бензиностанции, танкери с гориво, добива на нефт и др. Предимство в този случай е, че горивните течности нямат никакъв контакт с електрически вериги, като цялата електроника е изнесена извън проточните тръби. Контактът е само с ринг-магнитната система 1, която е разположена на лопатно коле-

ло което се задвижва от преминаващата течност или газ, Фиг. 4, [1].

Високата ефективност на предложеното решение зависи също от стойността на генерираното нееднородно магнитно поле ∇B , топологията на което е свързана с въртеливото движение на актуатора 1, Фиг.1. За тази цел е проектирана и конструирана магнитомодулаторна система 1, магнитите ...N-S... в която са заменени с конфигурация, съдържаща двойки магнити, генериращи около два пъти по-силна остатъчна индукция B_c . Този резултат е постигнат с два обикновени и леснодостъпни постоянни магнита от бариерен ферит $BaO(Fe_2O_3)_6$ с индукция $B_c \approx 0.1$ Т. В нашия случай характерната особеност е, че еднаквите магнити са непосредствено съединени с едноименните си полюси, например N_1-N_2 или S_1-S_2 , противно на известните решения в които двойките магнити са ориентирани или съединени един с друг с разноименните си полюси N-S. Тази нестандартна конфигурация е разположена върху цилиндричния немагнитен ринг, Фиг.1. При непосредственото свързване на полюси N_1-N_2 (или S_1-S_2) се постига практически удвояване на магнитните силови линии (потоците Φ_1 и Φ_2) по съединителната зона на магнитите, [2,6]. По тази причина изходният сигнал 9 е достатъчно усилен от конструкцията. Експерименти с прототипи доказаха целесъобразността на тази актуаторна конфигурация 1 в определяне посоката на въртене на валове.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложеното устройство освен оригиналната конструкция, представлява базова платформа за експериментиране на различни безконтактни решения, съдържащи модулаторни магнитни системи за целите на автоматизацията. Този гъвкав подход предоставя възможност за оптимизиране на конкретни разработки за индустриални приложения в електротехниката, автомобилостроенето, енергетиката и др.

Изследванията са осъществени със съдействието на Националния център за компетентност

QUASAR № BG05M2OP001-1.002-0006

REFERENCE

- [1] Ramsden Ed. Hall-Effect Sensors: Theory and Application, Amsterdam, Second Edition, Elsevier, 2006.
- [2] Roumenin C.S. Solid State Magnetic Sensors, Amsterdam, Elsevier, 1994.
- [3] Wilson J. Sensor Technology Handbook, Amsterdam, Elsevier, 2004.
- [4] Boyes W. Instrumentation Reference Book, Amsterdam, Elsevier, 2009.
- [5] Sinclair I. Sensors and Transducers, Amsterdam, Elsevier, Third Edition, 2001.
- [6] Roumenin C. Microsensors for magnetic field, Chapter 9, in MEMS – a practical guide to design, analysis and applications, ed. by J. Korvink and O. Paul, New York, William Andrew Publ., USA, 2006, pp. 453-523.
- [7] Vanha R.S. Rotary Switch and Current Monitor by Hall-Based Microsystems, PEL, ETH Zurich, 1999.