

## Анализ на основните подходи за управление на магнитно поле на постоянен магнит

Венцислав Кесеев

***Analysis of the main ways for permanent magnet field control:** The paper justifies the need for a thorough scientific study in the field of magnetic field control. There are many patents claiming for useful achievements in that scope. Differentiation of the common ways of redirection has been done. Theoretical analysis of representatives of some of the available ways has been made.*

**Key words:** Magnetic Field Control, Permanent Magnet, Ferromagnetic Core, Flyback Transformer.

### ВЪВЕДЕНИЕ

В днешно време магнитите са на всякъде около нас и хората са свикнали с тях до такава степен, че малцина се запитват от къде произтича тяхната сила. Ако определена магнитна сила е необходима за извършване на дадена работа, като притегляне на метален обект например, тогава едно от възможните решения е да се направи електромагнит. Електромагнита ще консумира определено количество енергия за да създаде необходимата магнитна сила. Докато ток тече през неговите навивки магнитна сила ще има. В момента в който се прекъсне захранването тя ще изчезне.

За разлика от електромагнита, постоянния магнит не консумира енергия и притежава относително постоянна магнитна сила. Магнитите са навсякъде около нас и те вършат работа с години без да изискват и капка допълнителна енергия. Технологиите се развиват ежедневно и за разлика от близкото минало, днес съществуват много по-мощни магнити с относително дълъг живот. За неодимовите магнити, които са едни от най-силните на пазара се твърди, че са силно устойчиви на външни магнитни въздействия, като едновременно с това се славят и с дълъг живот простиращ се според различни източници от 10 до 20 години. Не е тайна, че именно поради тези си качества, те се използват като съставна част в различни съвременни апарати, каквито са например безчетковите постоянноотокови електродвигатели. След като съществуването на относително постоянна магнитна сила е възможно, би трябвало да има начин при определени условия тази сила да може да бъде пренасочена или казано с други думи управлявана с цел извършване на полезна работа.

Според закона на Фарадей за електромагнитна индукция, който се е доказал във времето ако проводник бъде пресичан от силовите линии на променящо се магнитно поле, тогава в краищата му ще се появи електродвижещо напрежение [11]. Базирано на този закон може да се заключи, че ако се постигне пренасочване по различни канали в пространството на магнитното поле, на постоянен магнит, то тогава това вече изкуствено създадено променливо магнитно поле може да се използва за извършване на полезна работа и дори за генериране на електроенергия. Въпроса е дали такова пренасочване е възможно да се постигне и ако е, дали е възможно да стане с по-малка входна сила от колкото е пренасочваната изходна. В различни сфери на съвременните наука и промишленост съществуват ярки примери ясно показващи, че това е възможно да стане при определени условия. Един от тези ярки примери е масово използвания транзисторен ключ, който позволява с малка входна мощност по-голяма изходна да бъде превключвана.

Направен е патентен обзор в сферата на апарати използващи различни начини за пренасочване на полето на постоянни магнити, който разкри наличността на разработки датиращи от 1900 година до наши дни [12]. Докато в миналото подобни апарати вероятно биха били крайно неефективни поради липсата на достатъчно

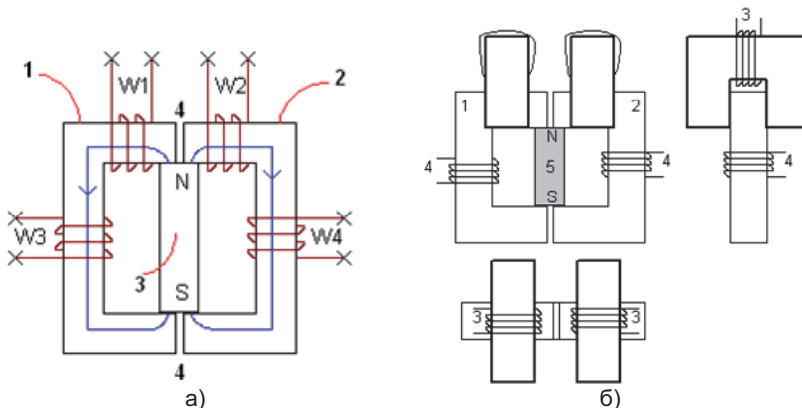
силни магнити, в днешно време тази пречка вече не съществува. Последните разработки на подобни устройства са буквално от преди няколко години и те претендират ясно и открито за реално постигнати работещи резултати в тази област [1,2,4,7,8,10].

Противно на патентния обзор, научния обзор показва наличието на малко научни изследвания в областта [4]. Това е тревожно т.к. въпреки високото развитие на технологиите днес, известен е факта че човек далеч не знае всичко. Науката въпреки високо развита, има още дълъг път да извърви до пълното разкриване на всички природни тайни.

## ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ И РАЗГРАНИЧАВАНЕ НА ПОДХОДИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МАГНИТЕН ПОТОК

### Разграничаване на откритите начини за пренасочване на магнитен поток

Направения патентен обзор разкри наличието на различни разработки на устройства за пренасочване на полето, на постоянен магнит. Тези устройства се приема да се наричат магнитни ключове т.к. тяхната работа наподобява именно работата на реален превключвател. Всички открити дизайни могат да се разделят основно на 2 групи, първата от които ключове с подвижни части и втората неподвижни ключове. Повечето от тези разработки работят на принципа на създаване на противоположна магнитодвижеща сила или промяна на магнитната проникваемост на каналите през които протича магнитния поток. Подвижните части обикновено са крайно нежелани т.к. почти винаги те са слабо звено във веригата, изискващи периодична поддръжка и по тази причина основно се наблюдава на проверка и подобряване, на дизайните на неподвижните ключове.



Фиг.1 – Модели на магнитни ключове.

а) Директен модел. 1,2 – половини на ферромагнитния магнитопровод, 3 – вграден постоянен магнит, 4-въздушна междина, W1,W2 – управляващи намотки, W3,W4-изходни намотки.

б) Индиректен модел. 1,2 – половини на ферромагнитния магнитопровод, 3 – управляващи намотки, 4- изходни намотки, 5 – вграден постоянен магнит.

Повечето от неподвижните модели на ключове работят на принципа на пренасочване на магнитния поток посредством управляващи намотки. Съществуват два различни подхода на пренасочване, единия наречен директен а другия който се различава до известна степен е наименован индиректен. Всеки от тези подходи има своите различни начини на изпълнение. Примерни графични модели на двата

подхода на управление, според патенти твърдящи постигнати работещи резултати, са дадени на фиг.1.

Директния подход е значително по-опростен и претенциите за постигнати резултати са съвсем ясно заявени [2]. По тези причини изследването стартира с анализ и последващо пресъздаване на описания принцип на работа за проверка на заявените от изобретателите резултати.

Съществуват съвременни изследвания, на разработки на магнитни ключове, на японски учени с по-различна конструкция, използващи принципа на магнито-стрикционния ефект, контролиран посредством пиезо-електричен превключвател [4]. Този метод на управление изключва управляващи намотки. При него посредством специално създадените превключватели се променя магнитната проникваемост на средата, в следствие от което става преразпределение на магнитния поток. Поради малкото налична информация по въпроса, той няма да бъде разглеждан към настоящия момент.

### Теоретичен анализ на директния подход на управление

Директния подход, на пренасочване на магнитния поток, се отличава с наличието на само един феромагнитен магнитопровод, в който се вгражда магнита и около който са навити управляващите и изходните намотки. При захранване на коя да е от управляващите намотки, протичащия ток създава магнитодвижеща сила  $F_m$ , която взаимодейства с тази на постоянния магнит и води до по-голям магнитен поток протичащ в едната половина на магнитопровода, за сметка на този в другата (1).

$$F_m = N \times I, \quad (1)$$

където  $N$  – брой навивки,  $I$  – ток през навивките.

Основната разлика при този подход е, че управляващия магнитен поток на практика се слива с този на магнита в главния магнитопровод. При индиректния метод, управляващия магнитен поток се очаква да се съсредоточи в собствен магнитен контур, като този допълнителен магнитен пръстен има общ участък с главния магнитопровод, в който участък става взаимодействието между управляващата магнитодвижеща сила и тази на магнита. При захранване на другата управляваща намотка, процеса протича в противоположна посока.

Магнитния материал може да се приеме, че е съставен от множество елементарни магнитни диполи или казано с други думи, микроучастъци със собствен магнитен момент [11]. При липса на външно приложена магнитодвижеща сила, диполите са „хаотично“ ориентирани в пространството. Хаотично е образно казано, т.к. реално те са ориентирани по начин по който собствените им магнитни полета взаимно се балансират, като сумарното поле на целия магнитопровод е нула или близко до нула, т.к. винаги остава някаква минимална остатъчна намагнитеност. При прилагане на външна магнитодвижеща сила, пропорционално на нейната големина определено количество диполи се ориентират паралелно на нея.

В случая с директния подход, върху магнитните диполи на главния магнитопровод действат две сили. Едната сила е създадената управляваща, а другата тази на постоянния магнит фиг.2. В този случай магнитните диполи се очаква да се ориентират по посоката на по-голямата сила, когато двете сили действат в противоположни посоки или да се върнат към първоначалната си хаотична ориентация, когато двете сили са еднакви и взаимно се балансират.

Магнитопровода със симетрично вградения магнит в него, без задействана управляваща намотка, може да се приеме за балансирана система, в която двете половини на магнитопровода са еднакво намагнитени до степен зависеща от силата на магнита, но в противоположни посоки. При захранване на управляваща намотка  $W1$ , създадената магнитодвижеща сила се стреми да създаде едностранно намагнитване на феромагнитния магнитопровод. В лявата половина на магнитната

сърцевина 1, тя ще съвпада по посока с тази на постоянния магнит, което ще доведе до пропорционално нарастване на магнитния поток. В дясната половина 2, тя ще се противопоставя на тази на магнита, което ще доведе до пропорционално отслабване на потока в нея. В крайна сметка се очаква определена приложена сила, съответно енергия, да създаде определен дисбаланс в системата, който при отпадането и ще се възстанови до първоначално положение, при което би трябвало да се отдаде приблизително същото количество енергия, с изключение на загубите. Приблизително същото количество енергия ще се отдаде поради факта, че при процеса на размагнитване всички параметри на магнитната верига остават непроменени в сравнение с времевия интервал на намагнитване. Известно е, че енергията запасена в соленоид е пропорционална на половината от произведението на броя навивки и квадрата на тока течащ през тях (2)

$$W = \frac{1}{2} I^2 L \quad (2)$$

$$L = \mu \frac{N^2 A_E}{l}, \quad (3)$$

където  $\mu$  – магнитна проницаемост,  $N$  – брой навивки,  $A_E$  – сечение на магнитопровода,  $l$  – дължина на магнитна силова линия.

$$B = \mu H = \mu \frac{NI}{l} \quad (4)$$

Ако (3) и (4) след преобразуване се заместят в (2) за енергията се получава (5).

$$W = \frac{A_E B^2 l}{2\mu} \quad (5)$$

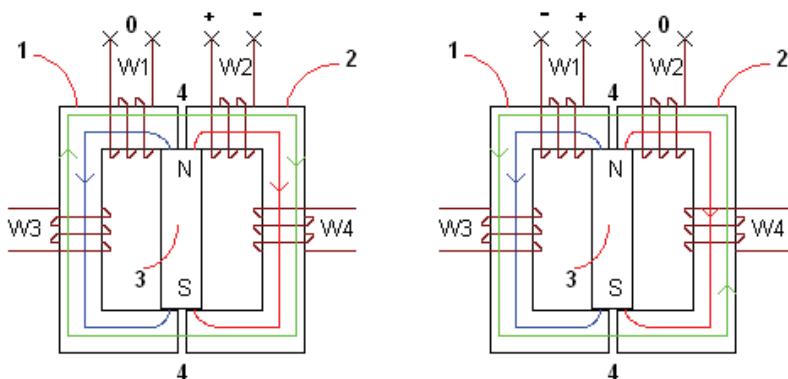
От (5) ясно се вижда, че енергията е пропорционална на квадрата на магнитната индукция. Останалите параметри на практика остават непроменени. Входната и изходната отдадена в последствие енергии, за един период, ще са пропорционални на квадрата на промяната в плътността на магнитното поле или в идеалния случай те трябва да са равни, т.к. става дума за един магнитопровод и за една и съща стойност на магнитната индукция.

Посочения принцип на работа е валиден само и единствено за случая когато при задействане на коя да е управляваща намотка веригите на останалите са отворени. Според описанията в патентите се остава с впечатление, че тези устройствата трябва да работят по начин близък на обратен импулсен преобразувател, при който енергия в изхода се отдава само при отворен вход, а на входа се консумира само при отворен изход.

При това разглеждане е важно да се вземе в предвид и явлението памет на магнитните вериги, описано в различни литературни източници [3,5,6]. Според описаното явление, магнитния поток протичащ през даден канал с висока магнитна проницаемост, отказва да се пренасочи и балансира при поява на алтернативни канали със същите параметри. Това явление би оказало негативен ефект върху работата на подобни устройства и е необходимо по подробно да се изследва.

Базирано на описаната теорията на магнитните диполи, може да се заключи че е малко вероятно магнита да е в помощ и да допринесе за по-голяма изходна енергия от приложената входна в случаите на директен подход на управление. Все

пак претенциите на изобретателите изразени в патентите ясно заявяват, че е постигнат работещ модел. Съвременната наука, въпреки високото си ниво на развитие, все още не е достигнала своя връх, което означава че съществува много незнание. Често сме свидетели на нови открития. Възможно ли е съществуването на явление непознато на науката благодарение на което тези устройства да работят? Много съществуващи патенти, заявяващи възможността за пренасочване полето на постоянен магнит и липсата на научни изследвания в тази конкретна област, определят необходимостта от провеждане на експериментални изследвания и проверяване на декларираните резултати.



Фиг. 2 – Магнитен поток при захранване на управляваща намотка

### Теоретичен анализ на индиректния подход на управление

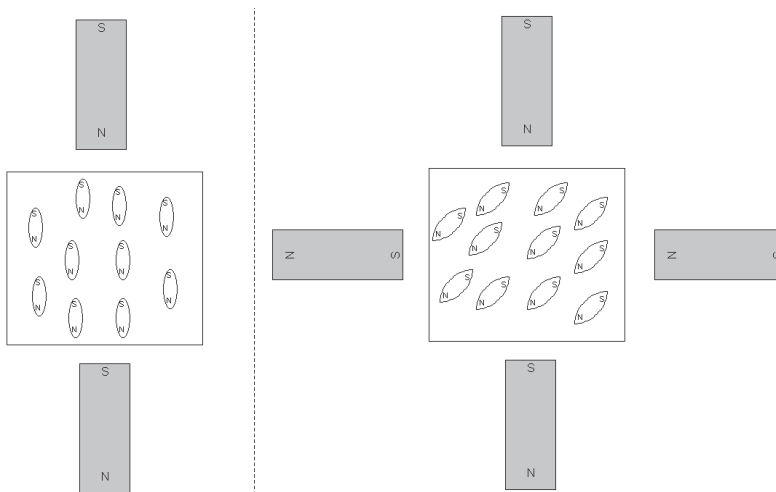
Съществуват различни варианти за индиректно управление. Общото между тях е, че управлението винаги става с помощни магнитни вериги имащи общ участък с главния магнитопровод. Тези допълнителни вериги позволяват разграничаване между входно-изходните параметри и разширяват възможностите за управление чрез по-гъвкав дизайн. Различните решения на индиректни превключватели имат определени различия в принципа си на работа и изискванията, които трябва да се спазват при проектиране.

На фиг.1 б) е даден дизайн на индиректен подход на управление, който е заимстван от патент [2] претендиращ за постигнати резултати. Захранване на някоя от управляващите намотки води до намагнитване на съответния магнитопровод около която е навита тя. Според патента, това намагнитване ще доведе до намаляване на магнитната проницаемост на участъка който е общ с управляващия магнитопровод. Общия участък е там където магнитопроводите се застъпват. Намалената магнитна проницаемост би трябвало да доведе до отклоняване на част от магнитния поток на постоянния магнит към противоположната половина на главния магнитопровод.

Погледнато от теорията на магнитните материали, изградени от микро-магнитни диполи, вероятно това би било възможно. Реално промяна в магнитната проницаемост няма да има, а по скоро върху диполите в общите участъци отново ще действат 2 сили. В конкретния случай, силите се очаква да действат в равнини перпендикулярни една на друга. Очакваната реакция при равни по големина сили е диполите да се ориентират по направление 45 градуса, от коя да е ос на действащите сили, фиг.3. Тази преориентация би трябвало да действа подобно на увеличаване на магнитното съпротивление в съответния участък, което да доведе до желаното отклоняване на част от магнитния поток. Възможно е да се направи и индиректно управление, при което магнитодвижещата сила да действа в посока

противоположна на магнитната. В този случай дизайна се усложнява поради появата на алтернативни вериги с висока магнитна проницаемост по които магнитния поток би могъл да се отклони.

При индиректното управление се цели дизайна да се направи така, че целия магнитен поток създаден от управляваща намотка да тече в нейния магнитен контур. Ако това се постигне, тогава захранването на коя да е управляваща намотка няма да доведе до индуциране на напрежение в останалите, т.к. те няма да бъдат пресичани от съответния магнитен поток. Входните намотки, с техните лични магнитопроводи могат да бъдат разглеждани като отделни индуктивности. Когато те са захранени енергия се натрупва в магнитопровода. При изключване на захранването трябва да се осигури верига през която да протече размагнитващия ток, при което почти същото количество енергия трябва да се върне обратно, естествено след известни загуби. Ако при този процес, на намагнитване-размагнитване на входен соленоид, се постигне отклонение на част от магнитния поток на постоянния магнит в главния магнитопровод, тогава енергията която ще се отдаде в изходите посредством изходните намотки би трябвало да е в повече. Теоретично изглежда, че в индиректния подход има потенциал и реално работещ модел би трябвало да може да бъде създаден.



**Фиг. 3 – Очаквана ориентация на магнитните домейни изграждащи феромагнитния материал.**

**а) При една външна сила**

**б) При две външни сили приложени в две взаимно перпендикулярни направления**

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От теоретичния анализ може да се заключи, че според начина по който моделите в патентните разработки са описани, вероятно те не биха били работещи. Грешни или зле описани модели са абсолютно възможни във времена на силна конкуренция, в които често изобретатели прикриват тънкости в техните разработки, с цел те да не могат да бъдат пресъздадени от други. Съществуват множество примери потвърждаващи това твърдение.

Теоретичния анализ обаче разкрива реална възможност, при определени условия, описаните в патентите претенции за работещи модели да могат да бъдат

постигнати посредством индиректно управление. Тези възможности могат да бъдат проверени и развити единствено и само чрез създаване и изследване на експериментални модели, с помощта на които постепенно да се достигне до изчистен и работещ дизайн. Един работещ модел би имал многобройни възможности за практическо приложение.

### **БЛАГОДАРНОСТИ**

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на Европейския социален фонд. Русенският университет „Ангел Кънчев“ носи цялата отговорност за съдържанието на настоящия документ, и при никакви обстоятелства не може да се приеме като официална позиция на Европейския съюз или Министерството на образованието и науката.

Проект: № BG051PO001-3.3.06-0008 „ Подпомагане израстването на научните кадри в инженерните науки и информационните технологии”

### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Flynn, C.J., Methods for controlling the path of magnetic flux from a permanent magnet and devices incorporating the same. US Patent No: US 6,246,561 B1, 2001.

[2] Patrick, S., T. Bearden, J. Hayes, K. Moore, J. Kenny. Motionless electromagnetic generator. US Patent No: US 6,362,718, 2002.

[3] Moskowitz, L. Permanent Magnet Design and Application Handbook. Krieger Publishing Company 1995

[4] Ueno, T., T. Higuchi. Novel composite of magnetostrictive material and piezoelectric actuator for coil-free magnetic force control, Japan, Elsevier 2005

[5] Radus, R. Permanent-Magnet Circuit using a Flux-Transfer Principle, Engineers' Digest, 1963

[6] Radus, R. Fail Safe Electromagnetic Lifting Device. US Patent No: US 3,316,514, 1967

[7] Willis, R. Electrical Generator. US Patent App. WO 2009 065219(A1), 2009

[8] Gunderson, G., Solid-State Electric Generator. US Patent App. 2006/0163971 A1, 2006

[9] Kaganov, M., V. Tsukernik. The Nature of Magnetism, Russia, Mir Publishers, 1985

[10] Rivas, E., Electromagnetic generator, US patent 4,006,401, 1977

[11] H. Knoepfel, Magnetic Fields, John Wiley & Sons, 2000

[12] Кесеев, В. Възможности за Развитие на ново поколение токозахранващи блокове, Сборник Научни трудове Русенски Университет, Русе, 2013

### **За контакти:**

инж. Венцислав Кесеев, Катедра “Телекомуникационни системи”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 831, e-mail: vkeseev@uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран.**