

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Magnetické senzory a jejich využití (rešerše)

**vedoucí práce: Ing. Josef Girg
autor: Petra Timurová**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petra TIMUROVÁ**
Osobní číslo: **E09B0092K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Magnetické senzory a jejich využití (rešerše)**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte teoretický rozbor problematiky (základní principy senzorů).
2. Uveďte oblasti využití senzorů v praktické činnosti.
3. Udělejte přehled senzorů dostupných v současné době na trhu, porovnejte je navzájem.

Anotace

Tématem bakalářské práce jsou magnetické senzory a jejich využití (rešerše). Práce je rozdělena na tři hlavní části. Úvodem je zmíněna historie samotného magnetismu a důležitost senzorů v současné době. V první části je popsán teoretický rozbor a jednotlivé, nejčastěji se vyskytující, magnetické senzory. V další části jsou popsány oblasti využití senzorů v praktické činnosti. V poslední části je přehled senzorů dostupných v současné době na trhu.

Klíčová slova

Magnetismus, senzor, magnetorezistivní, Hallův senzor, magnetoinduktivní, fluxgate, magnetostrikční, magnetoelastické, jazýčkové senzory.

Abstract

Main topic of this bachelor thesis is magnetic sensors and their applications. It is structured into three main parts. First of all there is a history of magnetism and importance of sensors in the present time. First part includes theoretical analysis and description of all known sensors. Next part describes fields of use of sensors in practical activities. Third part is focused on availability of sensors on current market.

Key words

Magnetism, sensor, magnetoresistive, Hall Sensor, magnetoinductive, fluxgate, magnetostriction, magnetoelastic, Reed sensors.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefovi Girgovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce, které mi pomohly při řešení práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1. TEORETICKÝ ROZBOR	10
1.1. DEFINICE.....	10
1.2. FUNKCE.....	10
1.3. FYZIKÁLNÍ PRINCIP	11
1.4. VŠEOBECNÉ ZÁKLADNÍ POŽADAVKY	11
1.5. INTELIGENTNÍ SENZOR	12
1.6. SNÍMAČE MAGNETICKÝCH VELIČIN	12
1.6.1. <i>Hallovy senzory</i>	12
1.6.2. <i>Magnetorezistivní senzory</i>	14
1.6.3. <i>Magnetoinduktivní senzory</i>	15
1.6.4. <i>Fluxgate senzory</i>	16
1.6.5. <i>Magnetrostrikční senzory</i>	17
1.6.6. <i>Jazýčkové senzory přiblížení</i>	18
2. OBLASTI VYUŽITÍ SENZORŮ V PRAKTICKÉ ČINNOSTI	19
2.1. MAGNETOINDUKTIVNÍ SENZORY	19
2.1.1. <i>Senzory pro pneumatické válce</i>	21
2.2. MAGNETOSTRIKČNÍ SENZORY	21
2.3. HALLOVY SENZORY	22
2.4. FLUXGATE SENZORY	23
2.5. OSTATNÍ OBLASTI VYUŽITÍ.....	23
3. PŘEHLED SENZORŮ, DOSTUPNÝCH V SOUČASNÉ DOBĚ NA TRHU	25
3.1. POROVNÁNÍ.....	26
3.2. VÝROBCI TURCK A BALLUFF	30
3.3. ZASTOUPENÍ V ČR - FIRMY SICK A FESTO.....	30
3.4. SHRNUTÍ	31
4. ZÁVĚR	32
POUŽITÁ LITERATURA	33
PŘÍLOHY	36

Úvod

V elektrotechnice má magnetismus jako fyzikální jev řadu uplatnění. Magnetické vlastnosti materiálů jsou dány uspořádáním jejich magnetických domén. Ty také umožňují členit jednotlivé magnetické materiály na různé typy podle vlastností, které z pohledu magnetismu vykazují. Výraz „magnet“ nebo „magnetický“ pochází z regionu Magnesia v Thesálii (Řecko), kde byla naleziště magnetovce (magnetitu), železné rudy Fe_3O_4 . Termín „magnet“, pocházející z řeckého „magnetes lithos“ [1], můžeme do naší řeči přeložit jako „magnesiový kámen“. První zprávy v Evropě o působení magnetických sil pochází z oblasti Thales Miletus z období kolem roku 600 př. n. l. [1] Zkoumání magnetismu a elektřiny probíhalo samostatně až do 19. století, kdy byly tyto dvě nauky spojeny dohromady objevem elektromagnetismu. Od té doby byl magnetismus stavěn na analogii nauky elektrostatického pole.

Magnetické senzory jsou nepostradatelnou součástí našeho každodenního života. Kromě přímého měření magnetického pole mohou být také použity pro geometrické parametry, jako délka, úhel, poloha nebo měření rychlosti. S narůstající automatizací výrobních procesů je požadováno, aby stroje a zařízení byly vybavovány stále dokonalejšími řídicími systémy a senzory. Senzory jsou smyslové orgány strojů, monitorující polohy částí stroje, detekují chyby a poškození nástrojů a vytvářejí data, která jsou dodávána k dalšímu zpracování. Moderní senzory vycházejí vstříc požadavkům současného trhu a nacházejí široké spektrum aplikací. Cílem mé práce je rešerše jedné z mnoha skupin senzorů a to senzorů magnetických.

Seznam použitých symbolů a zkratek

B	[T]	indukce magnetického pole
I	[A]	elektrický proud
SMD	[-]	součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
U_h	[V]	Hallovo napětí
G	[S]	vodivost

A/D		převod signálu z analogového na digitální
AMR		anizotropní magnetorezistory
CAD		počítačem podporované navrhování
CIM		počítačově integrovaná výroba
CD		kompaktní disk
GMR		velký magnetorezistenční jev
LED		dióda emitující světlo

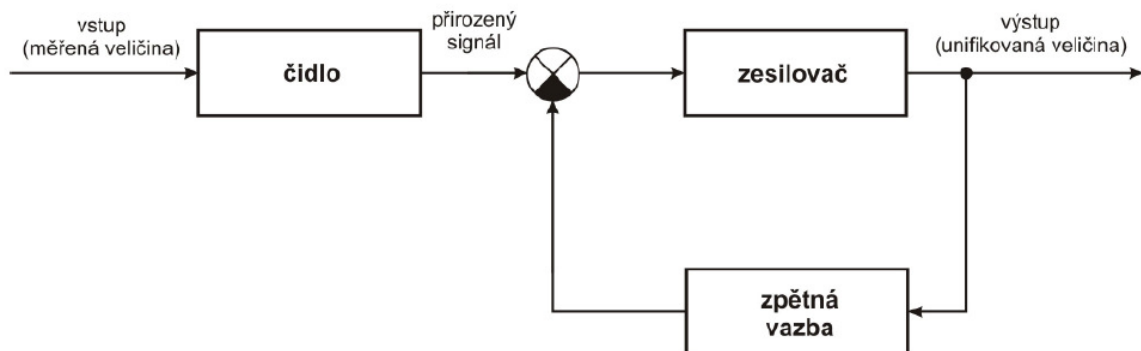
1. Teoretický rozbor

1.1. Definice

Senzor je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém kontaktu s měřeným prostředím. Pojem *senzor* je ekvivalentní pojmu snímač či detektor. Senzor jako primární zdroj informace snímá předem stanovenou fyzikální, chemickou či biologickou veličinu. Dále ji podle definovaného principu transformuje na veličinu vhodnou k dalšímu zpracování. Nejčastější typem takovéto veličiny je elektrická veličina (napětí, proud, odpor, indukčnost, kapacita). Vlastní citlivá část senzoru (snímací místo) je označována jako čidlo. [1]

1.2. Funkce

Senzor je prvním členem měřicího řetězce. Obecně snímač měřené veličiny zprostředkovává vazbu mezi měřeným objektem a dalšími členy řetězce, jež zpracovávají měřený signál. Snímání měřené veličiny probíhá přímo nebo nepřímou a převádí ji do informačního parametru informačního signálu. Základním prvkem každého senzoru je čidlo, které převádí měřenou veličinu. Tato veličina je dále zpracovávána zesilovačem. Vhodným nastavením zesilovače se zápornou zpětnou vazbou lze potlačit vnější rušivé vlivy. Zpětnovazební člen svými vlastnostmi určí celkový přenos obvodu. Senzor nemá měřenou veličinu ovlivňovat. [2] Základní princip senzoru můžeme popsat blokovým schématem (*Obr. 1.1*), kde vidíme převod přirozeného signálu z čidla např. proudu od změny teploty na výstup unifikovaného např. proudového signálu (0 až 20 mA nebo 4 až 20 mA).



Obr. 1.1 Blokové schéma základního principu senzoru

Magnetické senzory pracují na principu velmi blízkém principu indukčních senzorů, včetně jejich konstrukčního uspořádání a elektrického řešení. Konstrukčně jsou tvořeny

cívkou, která spolu s kondenzátorem tvoří rezonanční obvod. Za obvodem je zapojen vyhodnocovací stupeň, jehož výstup je spojen se vstupem spínacího zesilovače. V blízkosti rezonančního obvodu je umístěn kovový pásek z magneticky měkkého materiálu s velkou permeabilitou, v němž se působením elektromagnetického pole obvodu magnetického senzoru indukují vířivé proudy, které odebírají energii a tím obvod tlumí jeho kmitání. Na rozdíl od indukčních senzorů, kde je rezonanční obvod tlumen kovovým předmětem, který tento senzor detekuje. Spínací signál nastane přiblížením magnetického pole k magnetickému senzoru, to způsobí rychlé nasycení pásku z magneticky měkkého materiálu, zároveň dojde ke snížení ztrát způsobených vířivými proudy, v důsledku toho i tlumení rezonančního obvodu. Tento stav je vyhodnocen jako signál k sepnutí výstupního obvodu senzoru. [3]

1.3. Fyzikální princip

Základním principem všech senzorů je převod tj. přenos informací z jednoho systému do druhého. V případě magnetických senzorů se mění vlastnosti nebo parametry měřené veličiny vlivem působení magnetického pole. Například v magnetooporových zařízeních je využívána změna odporu, způsobená změnou magnetického pole. Vztah mezi elektrickým výstupem a fyzikální vlastností definuje kvalita senzoru, jeho linearita, rozsah, citlivost, opakovatelnost, šum atd. Elektrický signál je jako výstupní jednotka preferován pro jeho snadné změření a zpracování.

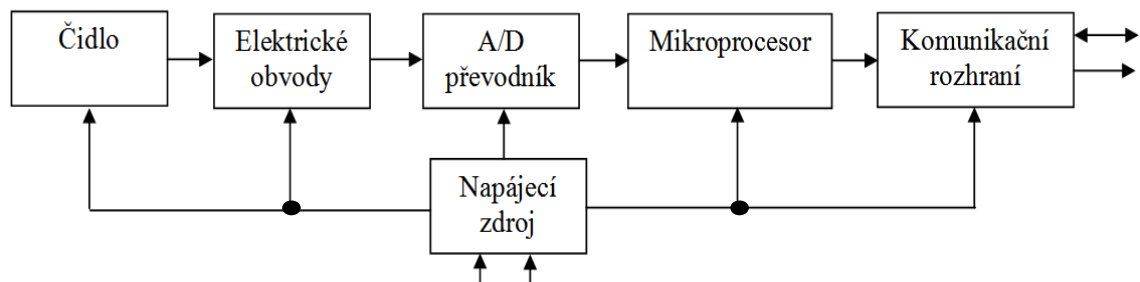
Většina magnetických senzorů jsou senzory vektorové, které měří složku magnetického pole jen v jednom směru. Pouze rezonanční senzory jsou skalárního typu, tj. měří absolutní velikost pole bez ohledu na jeho směr [4].

1.4. Všeobecné základní požadavky

Mezi základní požadavky na senzory je řazena vysoká spolehlivost, vysoká přesnost, malé rozměry, jednoduchá konstrukce, široký rozsah. Další důležité požadavky jsou snadná údržba, jednoznačná závislost výstupní veličiny na veličině vstupní, citlivost, minimální závislost na parazitních jevech jako jsou vlhkost, chvění, teplota, tlak. Senzory jsou potřebné ke splnění požadavku na zvýšení flexibility stejně, jako pro automatickou kontrolu kvality, vyšší bezpečnost práce, úsporu materiálu a energie. Senzory proto musí být přizpůsobeny pro tyto podmínky a musí umět komunikovat s různými systémy. V neposlední řadě je požadována cenová dostupnost.

1.5. Inteligentní senzor

K vývoji inteligentních senzorů došlo především díky rozvoji elektroniky a elektronických obvodů. Základní technologie těchto senzorů spočívá ve spojení čidla měřené veličiny s navazujícími integrovanými obvody. Jsou tvořeny obvody pro úpravu signálu, převodníkem, zesilovačem, stabilizátorem, komparátorem, generátorem, pamětí, mikroprocesorem, atd. [5] Blokové schéma inteligentního senzoru je znázorněno na obrázku (Obr. 1.2).



Obrázek č. 1.2: Blokové schéma inteligentního senzoru [5]

K výhodám inteligentního senzoru oproti klasickému patří optimalizace pracovního bodu, omezení a kompenzace rušivých vlivů, možnosti zapojení do sítě, dálková diagnostika, obousměrná komunikace po sběrnicích, atd. Nevýhodou inteligentního senzoru je vysoká cena a vzhledem k větší složitosti i vyšší pravděpodobnost poruchy.

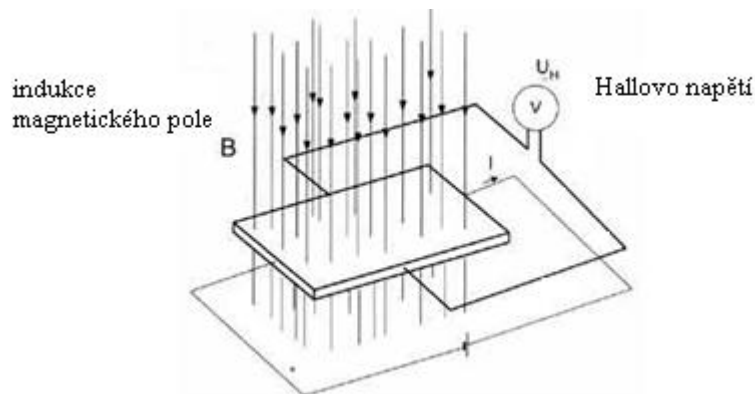
1.6. Snímače magnetických veličin

V současné době jsou nejčastěji využívané senzory magnetoinduktivní, magnetogalvanické, magnetostrikční, fluxgate a magnetorezistivní. V praktické činnosti jsem se nejvíce setkala s magnetorezistivními, magnetostrikčními a magnetoinduktivními senzory.

1.6.1. Hallovy senzory

Senzory jsou založeny na principu Hallova jevu. Hallův jev, tedy vliv magnetického pole na směr toku elektrického proudu, byl objeven v roce 1879 E. Hallem. Potvrdil vliv magnetického pole na změnu odporu vodiče. Hallův jev spočívá ve vychylování směru toku elektrického proudu v závislosti na velikosti indukce magnetického pole (B), které je kolmé na polovodičovou (křemíkovou) tenkou destičku. Výsledkem je generování rozdílového napětí na bočních stranách elementu úměrné právě velikosti působícího magnetického pole či

jeho kolmosti vzhledem k destičce. Na obrázku (Obr. 1.3) je vyznačen princip činnosti Hallova jevu.



Obr. 1.3 Princip Hallova jevu [6]

Jeho velikost vypočteme podle vztahu: $U_H = k \cdot I \cdot B$ [V, -, A, T] [6]

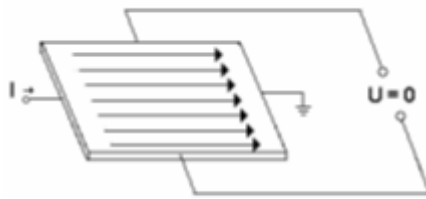
k – konstanta závislá na materiálu, tloušťce a struktuře polovodičové destičky

I – stejnosměrný proud protékající destičkou

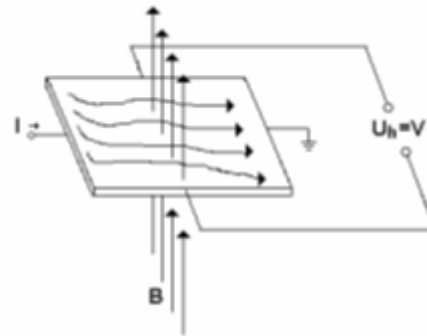
B – indukce magnetického pole, v němž se destička nachází

Senzor je vyroben z bloku polovodičového materiálu a proudového obvodu, připojeného po jeho obou stranách. Na zbývajících stranách je připojen obvod pro sledování napětí. Magnetické pole působící na senzor v kolmé ose způsobuje změny protékajícího proudu, což se výsledně projevuje jako změna napětí na sledovacích svorkách. [6]

V roce 1965 byl vytvořen první plně integrovaný křemíkový bezkontaktní spínač s Hallovým jevem, který poté našel masové nasazení. Dnes je jedním z nejrozšířenějších snímačů magnetických veličin. [7] Kromě křemíku se při výrobě Hallových senzorů používá GaAs, InSb, InAs, Ge a další polovodiče. Uplatnění Hallova jevu bychom našli např. v klávesnicích.



Obr. 1.4 Směr proudu bez působení magnetického pole na element [8]



Obr.1.5 Směr proudu při působení magnetického pole na element [8]

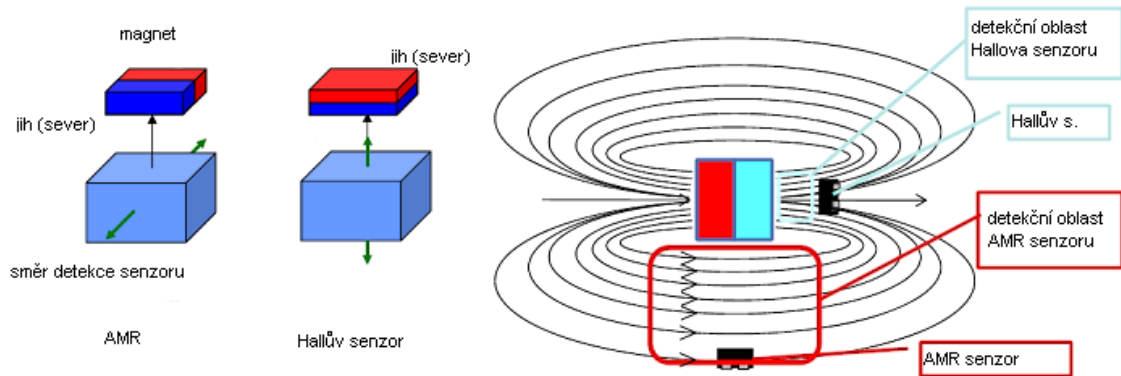
1.6.2. Magnetorezistivní senzory

Tyto senzory pracují na principu magnetorezistivity, závislosti elektrického odporu některých materiálů na intenzitě magnetického pole.

Nejvíce používaným materiálem je polovodičová destička, často InSb, ve kterém jsou příměsí NiSb, tedy z polovodičů s velkou pohyblivostí nábojů. Změna odporu je pak dána tzv. magnetoodporovým jevem, který se projeví při působení magnetického pole na polovodič. Pokud je magnetorezistor v klidu bez působení vnějšího magnetického pole, pohybují se v něm nosiče náboje nejkratší možnou cestou z jednoho konce na druhý. Pokud ovšem na magnetorezistor začne působit vnější magnetické pole, vychýlí toto pole nosiče náboje z dráhy, jejich dráha bude potom delší a tím pádem bude i vyšší elektrický odpor. Když začne působit magnetické pole, proud se stranově vychýlí, musí urazit delší dráhu, a destička vykáže větší odpor. Existuje i provedení, kdy je destička vyrobena z feromagnetického materiálu – permalloy. Tento materiál je během výroby zpracován tak, že elementární magnety mají jednu přednostní orientaci v podélném směru pásku. Bez magnetického pole je odpor pásku největší. Jakmile se indukce pole zvětšuje, odpor pásku klesá. [9]

AMR senzory – principem je AMR jev, který spočívá ve změně elektrického odporu velmi tenké vrstvy magnetického materiálu při jeho vložení do podélného magnetického pole. AMR reaguje na podélné horizontální siločáry a nerozlišuje jejich směr, na rozdíl od Hallova senzoru, reagujícího na kolmé magnetické siločáry (Obr. 1.6). Není tedy závislý na směru magnetického pole. Změna odporu nastává již při velmi malých hodnotách magnetické indukce (T až mT). Má velmi vysokou citlivost a rychlou reakci. Jádro AMR senzoru je vyrobeno z tenké vrstvy magnetického materiálu (NiFe), nanesené na silikonové destičce, ve

formě odporového pásku. Při změně magnetického pole dochází ke změně odporu, kladeného protékajícímu proudu, v závislosti na úhlu směru proudu a směru magnetizace. Správná funkce senzoru může být ohrožena silným vnějším magnetickým polem, které by zničilo vnitřní uspořádání.



Obr. 1.6 Porovnání detekce magnetického pole AMR senzorem a Hallovým senzorem [10]

Hlavní výhodou AMR senzorů je vyšší citlivost, kterou lze efektivně potlačit použitím magnetické zpětné vazby (kompenzace měřeného magnetického pole). K tomu mají mnohé senzory integrovanou zpětnovazební cívku. Anizotropní magnetorezistory lze využít pro měření magnetického pole Země, v detektorech a vyhledávačích, pro měření polohy a rychlosti otáčení v automobilovém průmyslu a pro méně přesné kompasy do hodinek a mobilních telefonů. [10]

GMR senzory - principem je GMR jev objevený v roce 1988, který spočívá v závislosti elektrického odporu na velikosti působícího magnetického pole. Pracuje na úrovni nanovrstev a jednotlivých atomů. U GMR je vliv magnetického pole na změnu odporu výrazně větší než u AMR senzorů, konkrétně o 10 až 50% jmenovité hodnoty odporu v porovnání s několika procenty v případě AMR. Významné využití GMR je ve čtecích hlavách harddisků. [11]

1.6.3. Magnetoinduktivní senzory

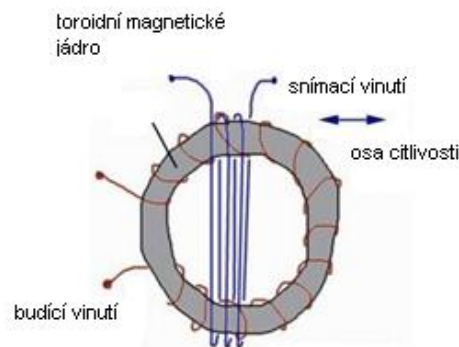
Relativně novým principem, který bylo možné použít až se zvládnutím technologie amorfního kovu, jsou magnetické senzory s nasycovaným jádrem cívky. Kompletní senzor v průmyslovém provedení se pak obvykle nazývá magnetoinduktivní příp. magnetoindukční. Magnetoinduktivní senzory využívají princip snímání založený na nasycení jádra snímací cívky, který umožňuje detekovat permanentní magnety s různou intenzitou magnetického

pole. [12] Magnetoinduktivní senzor přiblížení obsahuje podobné vnitřní elektrické bloky jako indukční senzor. Hlavní rozdíl je prakticky pouze ve snímači, resp. provedení cívky a jejího jádra. Obecně tedy vnitřní zapojení senzoru obsahuje několik za sebe řazených bloků elektrických obvodů.

Konkrétně je princip magnetoinduktivního senzoru tvořen jádrem cívky z amorfního kovu. Vůči Hallovým a magnetorezistivním sondám mají vyšší citlivost. Indukčnost celé cívky je pak závislá na reverzibilní permeabilitě jádra. Jestliže je tedy cívka buzena střídavým proudem konstantní amplitudy, který vyvolá rozkmit intenzity magnetického pole H okolo pracovního bodu, pak působením vnějšího magnetického pole dojde k posuvu bodu na magnetizační křivce. Důsledkem je snížení permeability a tím i indukčnosti cívky. Mírou intenzity magnetického pole je pak měřený úbytek napětí na cívce nebo změna kmitočtu a amplitudy signálu generovaného oscilátorem, kterého je cívka snímače součástí. [13]

1.6.4. Fluxgate senzory

Fluxgate senzory jsou speciální senzory pro snímání velmi malých magnetických indukcí v řádech nT - μT . Samotný fluxgate senzor je tvořen feromagnetickým jádrem s vysokou permeabilitou, na kterém jsou navinuty jedna, častěji dvě nebo i více cívek. Jedna cívka je používána jako budící, pomocí níž se magnetizuje jádro. Druhá a ostatní cívky slouží ke snímání. Ty jsou citlivé na magnetické pole. Na obrázku (*Obr. 1.7*) je znázorněno uspořádání fluxgate senzoru.



Obr. 1.7 Základní uspořádání jednoduchého fluxgate senzoru [14]

Toto uspořádání je určeno pro měření pole v jednom směru, kolmém na snímací cívku. V provedení s jednou cívkou slouží vinutí zároveň k buzení jádra i ke snímání, přičemž musí být

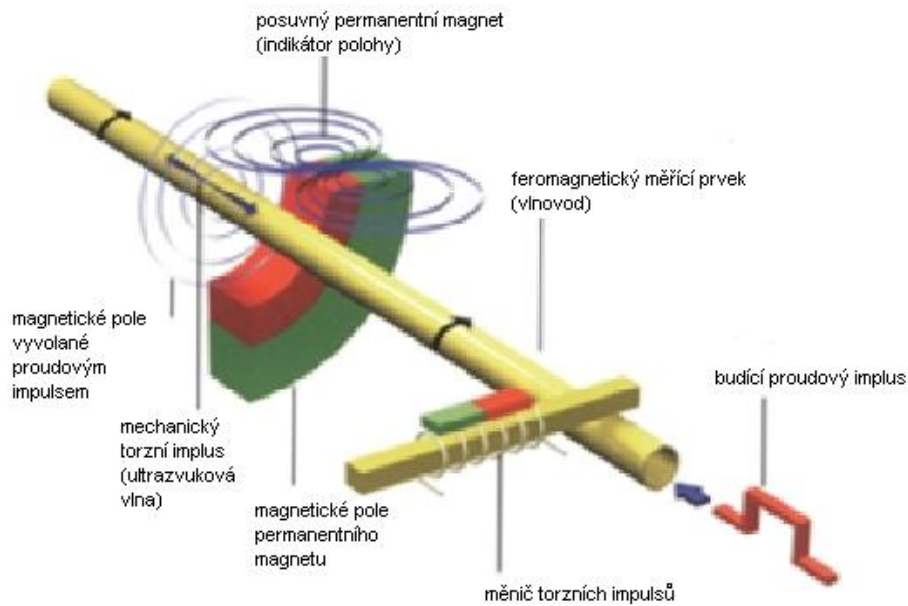
za pomoci vyhodnocovací elektroniky potlačen budící signál a zároveň zesílen nasnímaný signál. [15], [16]

1.6.5. Magnetostrikční senzory

Magnetostrikce je fyzikální vlastnost feromagnetických materiálů (Fe, Ni, Co a jejich slitin), která je známa jako Jouleův jev, kdy materiál mění své rozměry v magnetickém poli nebo naopak vykazuje magnetizaci při deformaci. Ve spojení s moderní mikroelektronikou se využívá k přesnému a bezdotykovému měření vzdálenosti. Princip magnetostrikčních snímačů polohy spočívá na dvou magnetomechanických jevech: magnetostrikční Wiedemannův jev a magnetoelastický Villariho jev. Wiedemannův jev spočívá v tom, že prochází-li dlouhou a tenkou tyčí z feromagnetického materiálu umístěnou v podélném magnetickém poli proud, namáhá se tyč krutem. Za Villariho jev se označuje změna magnetických vlastností, např. permeability nebo změna materiálu feromagnetické tyče, která je vyvolána její deformací v podélném směru. [8].

Základními částmi magnetostrikčního senzoru vzdálenosti jsou feromagnetický měřicí prvek tvaru tyče, označovaný jako vlnovod, a posuvný permanentní magnet, spjatý se sledovaným objektem, který vytváří ve vlnovodu podélné magnetické pole (*Obr. 1.8*). [8]

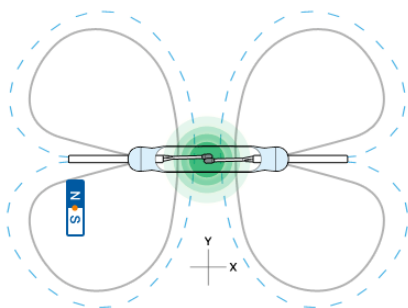
V celé délce feromagnetického magnetostrikčního vodiče je vyvoláno magnetické pole přivedením krátkého proudového impulsu. V měřicí délce vodiče je pohyblivý permanentní magnet, pohybující se po měřené dráze v těsné blízkosti magnetostrikčního vodiče. Pomocí interakce magnetického pole pohyblivého permanentního magnetu a magnetického pole vodiče (Wiedemannův jev) vznikne ve feromagnetickém vodiči magnetostrikční impuls, který se velmi rychle šíří od místa vzniku k oběma koncům válce. Impuls je pohlcen tlumícím prvkem na vzdáleném konci feromagnetického vodiče, za účelem zabránění jeho odrazení a rušivému vlivu na měření. Na začátku vodiče se druhá část mechanického vzruchu zachytí snímacím zařízením. Časová prodleva od vyslání budícího proudového impulsu (při známé rychlosti šíření tohoto vzruchu v daném feromagnetickém materiálu) určí polohu místa, kde vznikl mechanický vzruch, a tím pádem i polohu permanentního magnetu vůči začátku senzoru. Předním výrobcem magnetostrikčních senzorů polohy je firma MTS, vlastníci některé důležité patenty. Ostatní firmy jsou z důvodů patentové ochrany nuceny používat mírně odlišných technologií. [17]



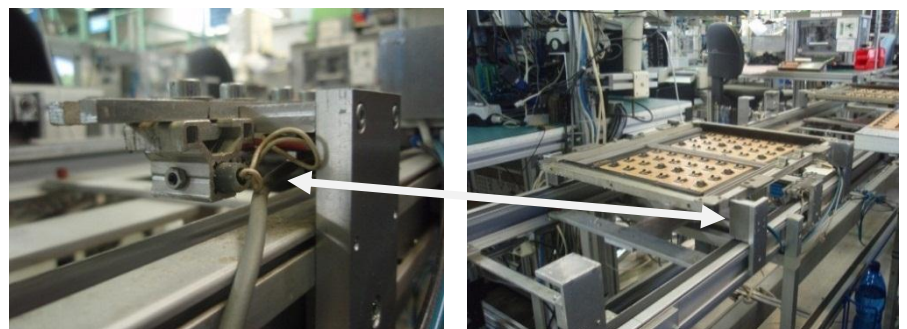
Obr. 1.8 Princip magnetostrikčního měření vzdálenosti [8]

1.6.6. Jazyčkové senzory přiblížení

Tyto jednoduché senzory jsou tvořeny jazýčkovým kontaktem. Ve skleněné baňce s interním plynem jsou uloženy magnetické kontakty, které jsou citlivé na vlivy magnetických polí, vytvářené procházejícím elektrickým proudem nebo magnety (Obr. 1.9). Opačná polarita plášťů, vznikající indukci, způsobí sepnutí nebo rozepnutí kontaktu. Jejich spínací vzdálenost závisí na použitém magnetu a neměla by přesáhnout 10 cm. Vodivý povrch kontaktů, tvořený slabou vrstvou vodivého kovu např. zlato, wolfram, rhodium, umožňuje napájení nízkonapěťových obvodů nebo vedení indukční zátěže. Tento senzor se vyznačuje velkou spínací frekvencí, dosahující až stovek Hz a dlouhou životností. Obrázek (Obr. 1.10 a Obr. 1.11) ukazuje instalovaný jazýčkový senzor na dopravníkovém pásu výrobního zařízení [foto autor].



Obr. 1.9 Jazýčkový kontakt [18]



Obr. 1.10 Jazýčkový senzor instalovaný na dopravníkovém pásu

2. Oblasti využití senzorů v praktické činnosti

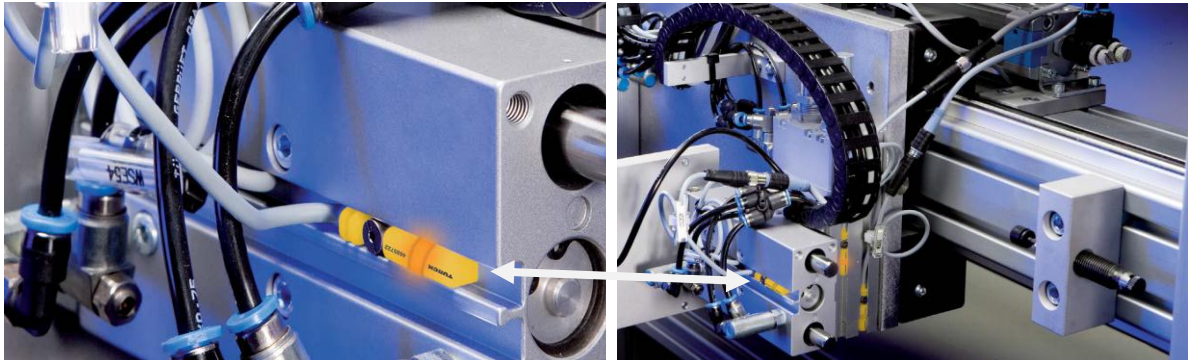
Automatizace je téměř nepředstavitelná bez sensorové techniky. Oblast využití magnetických senzorů je široká a záleží na nápaditosti projektanta, konstruktéra nebo třeba pracovníka údržby, kde je použije. Magnetické senzory mají velké uplatnění v různých průmyslových aplikacích i ve fyzikálních měřeních. V průmyslové praxi se nejčastěji využívají senzory na měření přiblížení, otáček, proudu, na snímače hlav pro čtení z magnetických záznamových médií, atd. Ve fyzikální oblasti dosahují uplatnění např. senzory magnetického pole pro dálkový výzkum Země, pro monitorování geomagnetického pole a v archeologických výzkumech, v kompasech letadel, atd. Magnetické senzory jsou využívány ve strojírenství, průmyslové výrobě, dopravě, energetice a ve spoustě dalších neméně významných odvětvích. Zcela specifické obory pro využití senzorů jsou automobilový a strojní průmysl, automatizace dveří, bran a výtahů, manipulační a balící technika, tiskařský a papírenský průmysl, domácí spotřebiče, ekologie, laboratorní přístroje, ale i vědecká oblast. Senzory našly také velké uplatnění v lékařství. Stále se zvyšující kvalitativní požadavky mají za následek vznik stále nových typů senzorů.

Magnetické snímače pro snímání objektu přispívají nemalou měrou k výkonnosti, kvalitě a produktivitě. Rozdíl mezi výrobcí spočívá především v inovacích, odborných systémových znalostech, přístupu k zákazníkovi v podobě instalace, údržby, logistiky či poprodejního servisu. Výrobci nabízejí senzory v nových rozměrech jako např. nejmenší pouzdro - nejvyšší výkon. Na trhu najdeme výrobky nabízející spolehlivou ochranu proti teplotnímu, chemickému a mechanickému zařazení. Pro zákazníka je velmi důležitá spolehlivost a vysoká kvalita snímače.

2.1. Magnetoinduktivní senzory

Magnetoinduktivní senzory reagují na magnetické pole. Použitím amorfních materiálů a vývojem obvodových technologií našly uplatnění především v průmyslu. Vůči Hallovým a magnetorezistivním sondám mají řádově vyšší citlivost. Magnetoinduktivní senzory hlásí např. koncové polohy válců. Koncová poloha musí být zároveň mechanickým dorazem. V opačném případě magnet sensor přejede a výstupní signál se změní. Díky velké citlivosti se magnetoinduktivní senzory hodí pro uchycení do drážek v pláštích pneumatických válců všech průměrů. Spínací vzdálenost je vždycky větší než tloušťka stěny. Na obrázku (*Obr.2.1*)

je ukázka vestavby senzoru firmy Turck do výrobního zařízení a jeho detailní uchycení (Obr.2.2).



Obr.2.1 Vestavba magnetoinduktivního senzoru [14]

Obr. 2.2 Detailní pohled uchycení [14] do výrobního zařízení

Montáž lze provést vedle sebe nebo za sebou. Většina výrobců umožňuje usadit senzor do drážky podélně i shora. K upevnění senzoru obvykle stačí šroubovák.

Mezi další typické aplikace pro magnetoinduktivní senzory patří kontrola dveří a vrat. Tím, že jsou magnetoinduktivní senzory aktivovány externími magnetickými poli, dosahují i přes malá provedení senzoru velkých spínacích vzdáleností. Senzor řady M12 od firmy Turck dosahuje s ovládacím magnetem DMR31-15-5 jmenovitou spínací vzdálenost až 90 mm. Jejich využití uplatníme např. u manipulačních robotů, v upínacích válcích, balící a procesní technice, ve sledování poloh upínačů, v průtokoměrech atd. Z jiných, ale podobných použití, je třeba jmenovat zjišťování předmětů (plováků s magnety) za stěnami nádob z nerezové oceli nebo plastů. Spínací vzdálenost je přitom několik cm. [9] Na obrázku (Obr. 2.3) jsou zobrazeny magnetoinduktivní senzory firmy Turck s příslušenstvím a detail magnetoinduktivního senzoru do kruhové drážky (Obr. 2.4).



Obr. 2.3 Magnetoinduktivní senzory firmy Turck příslušenstvím [12]



Obr. 2.4 Magnetoinduktivní senzor do kruhové drážky [12]

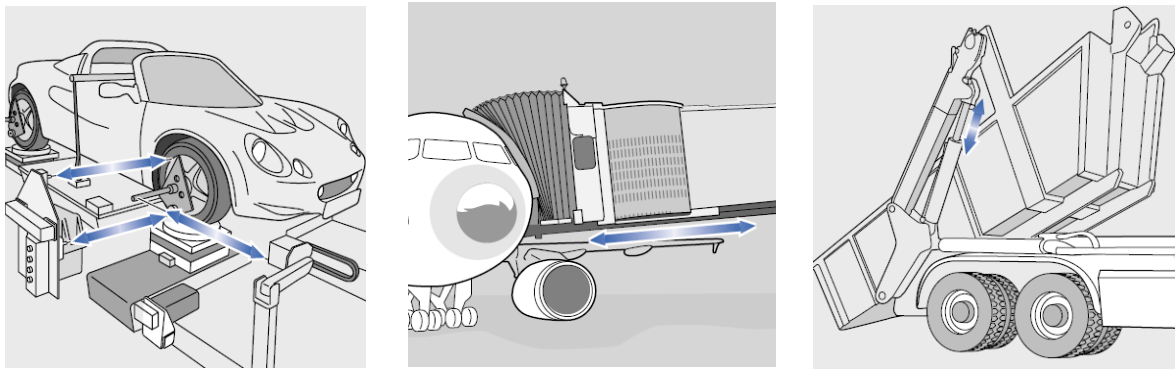
2.1.1. Senzory pro pneumatické válce

Magnetické senzory detekují magnetické pole permanentního magnetu, umístěného v pístu válce a tím vlastně nepřímo také polohu pístnice. Musejí být nutně přizpůsobeny použitým magnetům, vzdálenosti od magnetu, geometrii a toleranci drážky. Připevňují se mechanicky v místě požadované polohy sepnutí, do drážky pohonu. Jakmile píst pohonu dosáhne této polohy, změní se stav spínacího signálu. Tento standardizovaný binární signál je propojen např. s volně programovatelným automatem a používá se k řízení procesu.

Identifikace polohy pístů v pneumatických válcích využívá toho, že magnetické pole může prostupovat i nemagnetickým kovem. Přes těleso pneumatického válce, vyrobené z hliníku, je tedy možné snímat polohu pístu, nesoucího magnet. Využívá se funkční princip plně elektronického bezkontaktního systému snímání magnetoinduktivními i magnetorezistivními senzory anebo systému založeného na funkci jazýčkových relé.[12]

2.2. Magnetrostrikční senzory

V automatizační technice je často zapotřebí spojitě zjišťovat polohu různých objektů přesným měřením jejich vzdálenosti od zvoleného vztažného bodu. V průmyslové praxi se dává přednost bezdotykovým metodám měření polohy a vzdálenosti, reprezentovaným např. stále častěji se vyskytujícími magnetrostrikčními senzory. Vyznačují se tím, že měří vzdálenost bezdotykově, přesně a s velkým rozlišením, spolehlivě a bez opotřebovávání i ve ztížených provozních podmínkách.



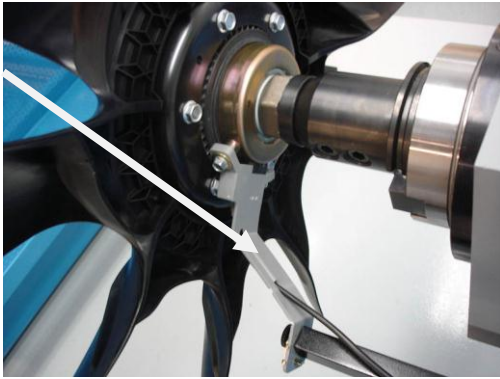
Obr. 2.6 Magnetostrikční senzory – užití v praxi [19]

Magnetostrikční senzory měří vzdálenost, či určují polohu objektu např. na válcovacích stolicích, v lisech, vstřikovacích strojích pro plasty, na strojích pro ražení tunelů, v plovákových snímačích polohy hladiny kapalin, v autosedadlech, těžících zařízení, vysokozdvížných vozících, X/Y/Z měřicích přístrojích, v mobilních hydraulických válcích, atd. Na obrázku (Obr. 2.6) vidíme praktické využití magnetostrikčních senzorů v automobilové testovací stoličce, na pohyblivé rampě a ve vysokozdvížném sklápěči.

2.3. Hallovy senzory

Největší část vyráběných magnetických senzorů tvoří Hallovy senzory. Jejich použití je vhodné pro magnetické indukce vyšší než 1 mT, v rozsahu teplot cca -100 až +100 °C a pro frekvence od 0 do 30 kHz. Jsou používány zejména pro snímání polohy i rychlosti otáčení a bezkontaktní měření stejnosměrného i střídavého proudu, či detekci přítomnosti magnetických i feromagnetických materiálů. V automobilovém průmyslu jsou tyto senzory používány např. v protiblokovacích systémech, ve spojce (Obr. 2.7), tachometrech či při řízení zapalování. Integrované Hallovy senzory jsou robustní, odolávají znečištění a prostředí. Pro měření polí slabších než 1 mT nemusí již Hallův senzor vyhovovat. Vhodnější může být použití AMR senzorů, případně při nejvyšších nárocích fluxgate senzoru [4].

Možností použití senzorů s Hallovými elementy je velké množství. Díky možnosti miniaturizace Hallova elementu z křemíkového polovodičového materiálu je možné detekovat výrazně menší objekty, jako například počítat jednotlivé zuby i malého ozubeného kola. K tomuto účelu lze použít miniaturní křemíkové senzory, dnes již nabízené i v SMD provedení. Dále lze mimo klasických 1D senzorů najít v nabídkách i snímání ve 2D a v rozvoji je 3D detekce. [20]. Na obrázku (Obr. 2.8) vidíme typické využití Hallových sond v měřicí technice.



Obr. 2.7 Hallův senzor ve spojce automobilu [21]



Obr 2.8 Klešťové ampérmetry s Hallovým generátorem [6]

Hallové senzory byly vyvinuty pro zajištění spolehlivé zpětné vazby při regulaci polohy a pohybu, k detekci směru i rychlosti pohybu. Příkladem dalšího použití jsou vstupní turnikety a počítačová průchodů. Odolná konstrukce umožňuje práci těchto zařízení i za nepříznivých povětrnostních podmínek. [22]

2.4. Fluxgate senzory

Doposud jsou to nejpresnější vektorové magnetické senzory fluxgate senzory najdeme např. v elektronických kompasech, navigačních zařízeních, v automobilovém průmyslu pro řízení dopravy, při magnetickém popisu i při měření a zkoumání geomagnetického pole Země, při detekci magnetického pole od silového vedení, jsou používány v ochranných a zabezpečovacích zařízeních. [23].

2.5. Ostatní oblasti využití

Detekce kovových předmětů, geofyzika - Pro detekci vodivých předmětů se používá senzorů na principu vířivých proudů. Dosah těchto senzorů je zhruba roven rozměrům detekční smyčky. Pro hledání hlubokých feromagnetických předmětů (např. nevybuchlých leteckých bomb) a archeologický průzkum se používá radiometrů na principu fluxgate. [4].

Zařízení do kosmu i pro armádu - Fluxgate senzor se využívá i v kosmickém výzkumu nebo ve vojenských zařízeních. Pomocí fluxgate senzoru lze v zemi zjistit přítomnost bomby nebo odhalit rudná ložiska. Vylepšené fluxgate senzory neobsahují žádné pohyblivé části, ani komůrky plněné plynem, takže jsou velmi vhodné pro aplikace například v kosmické technice, kde dochází k velkým rozdílům tlaků.

Nový magnetický senzor by mohl zkoumat lidský mozek - Fyzikové ze Spojených států amerických vyvinuli malý přenosný přístroj, který je dostatečně citlivý na to, aby mohl

detekovat magnetické pole vyvolané elektrickými signály v mozku. Tento přístroj se skládá z komůrky vyplněné párou, tvořenou atomy rubidia a může detekovat změny magnetického pole. Bezprostřední aplikace by mohly být vyvinuty v oblasti neinvazivního mapování elektrických signálů, vznikajících v mozku nebo dokonce v srdci ještě nenarozených dětí. V praxi zatím výzkumná skupina použila prototyp nového senzoru k detekování magnetických signálů ze srdce myši. Výzkumníci dále doufají, že dojde ke zlepšení citlivosti, což by mohlo dovolit mapovat funkce mozku[24]

Dále jsou magnetické senzory využívány také např. v magnetických značkách proti odcizení, v detekci a rozpoznávání vozidel a ponorek, navádění střel, atd.

3. Přehled senzorů, dostupných v současné době na trhu

V oboru výroby a vývoje senzorů najdeme především velké firmy s bohatou historií, které mají dlouhá léta zkušeností a vysokou úroveň technických znalostí. Ve své práci zmiňují výrobce magnetických senzorů, mající zastoupení také v České republice, a kteří dodávají senzory pro výrobní zařízení do společnosti, ve které pracují.

Své nabídky senzorů mají výrobci dostupné v tištěných nabídkových katalozích, on-line na svých webových stránkách, případně poskytují katalog na CD. V katalozích výrobců, produkcujících magnetické senzory, vyhledáváme vhodný typ především podle technických dat, jako jsou parametry, elektrická data, mechanická data. Dále je možné vyhledávat např. podle typového označení, typu výstupu, schéma zapojení. Součástí nabídky bývá i fotografické zobrazení, rozměrový výkres pouzdra a další informace, které usnadňují výběr požadovaného senzoru. Výrobci obvykle uvádějí vhodné příslušenství pro zapojení.

Nejdůležitějším krokem při výběru senzoru zůstává volba správného funkčního principu, u něhož jsou kritickými faktory: materiál snímaného předmětu, spínací vzdálenost a elektrické připojení. Mezi údaje magnetického senzoru přiblížení v katalogovém listu patří:

napájecí napětí - rozsah napětí, kterým je snímač napájený, při kterém je zaručena jeho správná činnost

klidový proud - proud, který snímač odebírá ze zdroje při max. napájecím napětí

spínací proud - maximální proud, který je možno odebírat z výstupu

spínací vzdálenost/rozsah - vzdálenost od čela snímače, ve kterém bude vyhodnocena přítomnost magnetu (tato hodnota je vždy závislá na použitém magnetu)

výstupní spínací / rozpínací funkce - definuje typ spínání / rozpínání výstupu senzoru

hystereze - rozdíl mezi bodem sepnutí a bodem rozepnutí spínací frekvence (maximální počet sepnutí za sekundu) [13]

Na základě uvedených parametrů jednotlivých senzorů můžeme porovnat přesnost, měřitelný rozsah, ochranu proti vnějším vlivům, nebo rychlost odezvy na změnu.

Vedle běžných parametrů mají magnetické senzory některé parametry specifické. Ne vždy výrobci senzorů tyto parametry svých senzorů uvádějí, jako např. rozsah, linearita, teplotní závislost citlivosti, šum, crossfield chyba (nelineární závislost na pole ve směru kolmém k měřenému), offset či perming (jedná se o změnu offsetu po vystavení senzoru silnému magnetickému poli). K tomuto efektu dochází u všech senzorů obsahujících

feromagnetické materiály. Důležitá je samozřejmě cena a další parametry podobně jako u jiných senzorů. [4]

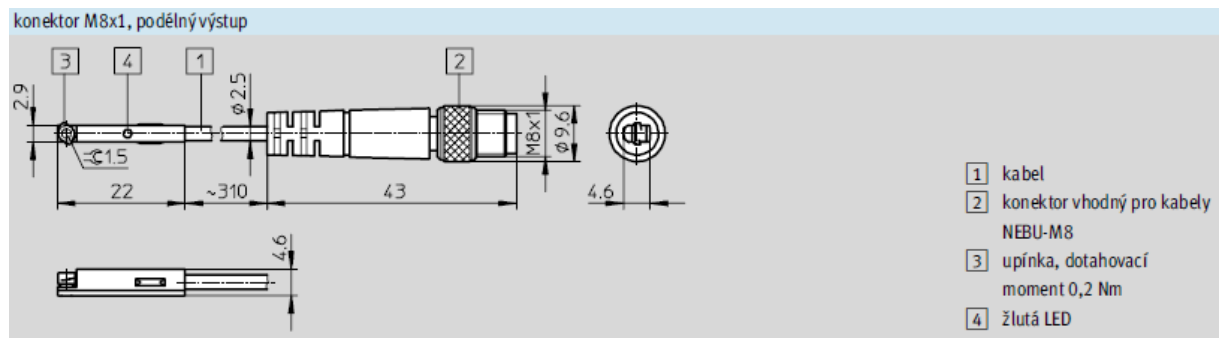
Magnetické senzory slouží obecně k bezdotykové a bez opotřebení probíhající detekci poloh v řídicí technice a v dnešní době patří mezi základní průmyslové senzory. Jejich výhodou je měření pouze na základě přítomnosti magnetického pole. Mezi hlavní oblasti využití magnetických senzorů, reagujících na vnější magnetické pole, je sledování polohy pístů pneumatických válců, a to dokonce přes stěny z neferomagnetických materiálů, jako jsou hliník, mosaz a nemagnetické oceli. Magnetická pole totiž prochází všemi nemagnetickými materiály, a tak mohou tyto senzory rozpoznávat magnety, které jsou umístěny např. za stěnami z barevných kovů, ušlechtilé oceli, hliníku, umělých hmot nebo dřeva.

Na našem trhu dominují pro snímání objektů senzory magnetorezistivní, magnetoinduktivní a jazýčková relé.

3.1. Porovnání

Výrobní zařízení ve společnosti, kde jsem zaměstnána, jsou nejčastěji vybavena magnetickými senzory od firmy Festo. Jsou to senzory, speciálně přizpůsobené a optimalizované pro pohony téže značky. Snímají magnetické pole permanentního magnetu, umístěného v pístu válce, a hlásí tak nepřímo polohu pístnice. Jsou konstruovány pro drážku T a C a vyráběny v kulatém i hranatém tvaru.

Konkrétní instalovaný senzor na montážním pracovišti výrobního zařízení je polovodičový magnetický senzor firmy Festo – magnetorezistivní senzor typ: SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D. Rozměrový výkres pouzdra tohoto senzoru je na obrázku (*Obr. 3.1*) a jeho přímé užití v konečné kontrole montážního zařízení na následujícím obrázku (*Obr. 3.2, Obr. 3.3*).



Obr. 3.1 Rozměrový výkres pouzdra senzoru firmy Festo SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D [uvedeno v mm] [25]



Obr. 3.2 Detailní pohled na umístění senzoru firmy Festo SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D



Obr. 3.3 Celkový náhled umístění senzoru firmy Festo SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D

Porovnání tohoto senzoru s možnými ekvivalentními senzory jiných výrobců je uvedeno v tabulce (Tab. 3.1). Uvedený senzor je porovnáván se senzorem firmy Turck s typovým

označením BIM-UNR-AP6X-0,3-PSG3M, firmy Balluff s typovým označením BMF 07M-PS-D-2-SA2-S49-00,3 a firmy Sick s typovým označením MZN1-06VPS-KP0.

Výše uvedené firmy nabízí i kompletní systémy pro rozpoznání pozice hydraulického válce. Jedná se o celý balíček z následujících komponentů: senzor magnetického pole, software (program, který podporuje výpočty požadovaných magnetických systémů), tester magnetu a příslušenství jako magnety a připevňovací materiál. Obecně výrobní programy těchto firem nabízí typ pouzdra M12 a M8 pro tradiční aplikace magnetické detekce, senzory nabízí ve válcovém či kvádrovém tvaru, dvou, tří a čtyř drátové provedení. Kryty jsou vyráběny z eloxovaného hliníku, ušlechtilé ocele nebo polyamidu.

Tab 3.1 Porovnání senzorů výrobců Festo, Turck, Balluff a Sick [katalogové listy]

VÝROBCE	FESTO	TURCK	BALLUFF	SICK
Typové označení senzoru	SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D	BIM-UNR-AP6X-0,3-PSG3M	BMF 273K-PS-C-2A-SA2-S49-00,3	MZN1-06VPS-KP0
KONSTRUKCE				
Konstrukční tvar	pro C drážku	pro C drážku	pro C drážku	pro C drážku
Funkce spínaného prvku	spínací	spínací	spínací	spínací
Spínaný výstup	PNP	PNP	PNP	PNP
Opakovatelná přesnost sepnutí	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm	≤ 0,1 mm
Rozměry	18 x 2,9 x 4,6 mm	18 x 2,9 x 4,6 mm	25,7 x 2,85 x 4,8	25 x 2,8 x 3,6 mm
Materiál pouzdra	plast PA	plast PP	plast PP	plast PA
Ukazatel polohy sepnutí	LED žlutá	LED žlutá	LED	LED
TECHNICKÉ ÚDAJE				
Elektrické připojení	M8x1, 3 piny	M8x1, 3 piny	M8x1, 3 piny	M8x1, 3 piny
Napájecí napětí	5 - 30 V DC	10 - 30 V DC	10 - 30 V DC	10 - 30 V DC
Pokles napětí	2 V	1,8 V	≤ 2,5 V	2,5 V
Zbytkový proud	0,06 mA	≤ 0,1 mA	≤ 8 mA	≤ 8 mA
Doba sepnutí	≤ 0,33 m/s	≤ 3 m/s	≤ 0,07 m/s	≤ 0,1 m/s
Odolnost zkratu	ano	ano / taktovaná	ano	ano
Ochrana proti přepólování	ano kompletní	ano kompletní	ano kompletní	ano kompletní
Stupeň krytí	IP65, IP67	IP67	IP67	IP67
PROVOZNÍ A OKOLNÍ PODMÍNKY				
Elektrické připojení	kabel s konektorem	kabel s konektorem	kabel s konektorem	kabel s konektorem
Kabel délka, materiál	0,3 m, PUR	0,3 m, PUR	0,3, PUR	0,3, PUR
Provozní teplota okolí	-20 - 60 °C	-25 - 70 °C	-25 - 70 °C	- 25 - 75 °C
CENA				
Aktuální cena	844,-Kč	1311,-Kč	1413,-Kč	400,-Kč

Uvedené senzory se shodují se v konstrukčním tvaru, spínaném výstupu, délce kabelu i materiálu a se stejným typem elektrického připojení. Stupeň krytí je IP67 – firma Festo nabízí i v provedení IP65. Samozřejmostí je u všech ochrana proti přepólování a odolnost proti

zkratu. Popisované senzory pracují v rozmezí napájecího napětí od 10 – 30 V DC, senzor firmy Festo už od 5 V DC.

Senzory se liší především v hodnotách poklesu napětí, zbytkového proudu a v době sepnutí. Rozměry jsou také různé. Všechny porovnávané senzory jsou zpracovány podle nejnovějších trendů, a jejich komponenty vyhovují aktuálním technologickým potřebám. Běžně je k těmto sensorům nejrůznějších typů k dispozici široká škála různě tvarovaných pracovních magnetů, elektrických konektorů, upevňovacích pomůcek a uživatelsky orientovaného softwaru.[8]

3.2. Výrobci Turck a Balluff

Rozdíl mezi výrobci spočívá především v inovacích, odborných systémových znalostech, přístupu k zákazníkovi v podobě instalace, údržby, logistiky, či poprodejního servisu. Výrobci nabízí senzory v nových rozměrech: nejmenší pouzdro – nejvyšší výkon a výrobky s dlouhou spínací vzdáleností, nabízející spolehlivou ochranu proti teplotnímu, chemickému a mechanickému zařazení. Pro zákazníka je velmi důležitá spolehlivost a vysoká kvalita snímače. Německý výrobce, firma Turck, vyrábí různé typy magnetoinduktivních a magnetorezistivních senzorů pro pneumatické válce. Tento výrobce dodává také magnetoinduktivní senzory přiblížení v provedení odolném vůči střídavým magnetickým polím, jež jsou určeny pro svařovny a svařovací linky a do prostředí s nebezpečím výbuchu. Německý výrobce firma Balluff má navíc v nabídce magnetické senzory s odolností vůči vysoké teplotě a magnetoinduktivní snímač miniaturního provedení. Firma Balluff navíc nabízí k magnetickým sensorům jedinečný koncept montážních upínacích zařízení. Magnetické spínače s integrovaným upínacím zařízením se vyznačují kompaktní konstrukcí a velmi snadnou montáží. Naprostou novinkou v nabídce této firmy je magnetický snímač BMF 235 s novým upevňovacím konceptem pro pevné uchycení v T-drážce, kde firma zaručuje nemožnost vypáčení. Snímač má délku pouhých 23 mm. Pro snímače firmy Balluff jsou specifické zelené a pro firmu Turck žluté LED diody, indikující provozní napětí.

3.3. Zastoupení v ČR - firmy Sick a Festo

Z pohledu zastoupení jednotlivých výrobců v ČR: Firmy Festo i Sick jsou nadnárodní společnosti, založené v Německu. V České republice mají hlavní sídlo v Praze a v každém kraji zastupující pobočku. Odborní zástupci obou firem jsou k dispozici k technickému

poradenství, k předvedení nových výrobků, či návrhu obvodů. Zároveň organizují produktová a technická školení i celé vzdělávací programy. S firmami je možné dojednat individuální cenovou politiku. Obě firmy mají ve své historii celou řadu úspěšných inovací, obě firmy rozšiřují neustále své aktivity na poli výzkumu a vývoje.

3.4. Shrnutí

Senzory jsou klíčovými prvky pro další pokrok v mnoha oborech elektroniky. V kombinaci s rostoucím zapojením elektroniky a průběžným rozvojem přesné a vysoce přesné mechaniky, senzory přispívají ke zvyšujícím nárokům bezpečnosti mnoha výrobků. Toto platí pro automatizační technologie, měření a výrobu, automobilovou výrobu, biomedicínské i environmentální technologie.

Na druhou stranu jsou senzory stále více používány k získávání přístupů k datovým bankám. Přirozeným důsledkem je pak stále se rozšiřující pole uplatnění, včetně skutečnosti, že senzory podněcují zájem o oblasti CAD a CIM. Dále pak více národních a mezinárodních společností vstupuje na trh, aby koordinovaly a vyvíjely nové technologie senzorů. Počet etablovaných specializovaných symposií a konferencí podtrhuje slibnou budoucnost připisovanou senzorům.

Klíčová role senzorů je založena na následujících aspektech:

- inovace výrobků je často možná pouze jako důsledek vhodných senzorů
- nízkonákladové, inteligentní a velmi přesné senzory stanovují tempo vývoje automatizačních technologií na poli výroby a produkce
- senzorové technologie také podporují informační a komunikační technologie
- v oblasti automobilových technologií hrají senzory významnou roli v bezpečnosti, environmentálních problémech a usnadňují obsluhu (nástrojů atd.).

4. Závěr

Různé senzory a snímače jsou vstupem do systémů automatizovaných výrobních procesů.

Kvalitnější technické prostředky jsou obvykle finančně náročnější. Při porovnávání nákladů však uživatelé často berou v úvahu pouze pořizovací cenu jednotlivých komponent. Mnohem důležitější je ovšem uvažovat celkové náklady vynaložené za dobu používání celého systému, protože opotřebení, zhoršená kvalita, častější recalibrace nebo náročné úpravy komponent při změně výrobního zařízení mohou být příčinou výrazného nárůstu celkových provozních nákladů. Domnělé úspory při pořizování levnější techniky mohou být jen dočasné z hlediska následných nákladů.

Pokud lze posuzovat senzory dle úspěšnosti na trhu, můžeme potom konstatovat tvrzení: Trh senzorů se bude v nastávajících letech pravděpodobně rozšiřovat, magnetických senzorů nevyjímaje. Význam senzorů stále roste ve většině oblastí lidské činnosti.

Použitá literatura

- [1] Göpel, W.- Hesse, J.- Zemel, J.N.: *Sensors: Magnetic Sensors*. 5. vydání. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1989. ISBN 3-527-26771-9.
- [2] Elektro. *Základní pojmy a veličiny* [online]. 20. 3. 2012. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36742>.
- [3] Automa. Klos, O.: *Miniaturní magnetické senzory přiblížení* [online]. 20. 2. 2012. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30486>.
- [4] VUTBR. Ripka, P.- Platil, A.: *Přesné magnetické snímače a jejich aplikace* [online]. 7. 10. 2011. Dostupné z: <www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1006.pdf>.
- [5] Coptel. Kochaniček, L.: *Nejpoužívanější snímače v automatizaci* [online]. 17. 4. 2012. Dostupné z: <<http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=7943&instance=1>>.
- [6] ElektriKa.cz. Kolektiv profesorů: *Hallova sonda* [online]. 2. 5. 2012. Dostupné z: <<http://elektriKa.cz/data/clanky/clanek.2006-04-01.2480110481>>.
- [7] Automatizace.hw. Vojáček, A.: *Magnetické senzory s Hallovým efektem – 1. princip* [online]. 23. 11. 2011. Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-1-princip>>.
- [8] Automa. Kabeš, K.: *Magnetostrikční snímače vzdálenosti* [online]. 23. 3. 2012. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34229>.
- [9] Martinek, R.: *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vydání. BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [10] Automatizace.hw. Vojáček, A.: *Integrované AMR senzory magnetického pole* [online] 25. 5. 2012. Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/integrované-amr-senzory-magnetickeho-pole>>.
- [11] Automatizace.hw. Vojáček, A.: *GMR senzory mag. pole - 1. díl - princip a struktura* [online] 25. 5. 2012. Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/gmr-senzory-mag-pole-1-dil-princip-a-struktura>>.

- [12] Automa. David, J.: *Magnetoindukční senzory pro detekci polohy pístů v pneumatických válcích*. 21. 3. 2012. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28319>.
- [13] Jonatan. Vojáček, A.: *Magnetické senzory přiblížení* [online]. 8. 10. 2011. Dostupné z: <http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/magneticke_senzory.htm>.
- [14] Turck. Firemní katalog: *Magnetoinduktivní senzory* [online] 25. 5. 2012. Dostupné z: <http://pdb.turck.de/media/_cz/Anlagen/d101652.pdf>.
- [15] VUTRB: Gřešek, R.: *Mikrosenzory a mikromechanické systémy*[online]. 2. 5. 2012. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/.%5Cprojekty_2004%5CGresek%5Cindex.htm#_Toc88390992>.
- [16] Automatizace.hw. Vojáček, A.: *Fluxgate senzory pro měření mag. polí - 1. část princip* [online]. 2. 5. 2012. Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART265-fluxgate-senzory-pro-mereni-mag-poli--1-cast-princip.html>>.
- [17] ČVUT. Přednáška: *Magnetrostrikční senzory* [online]. 2. 5. 2012. Dostupné z: <<http://fieldbus.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3M38MSZ/Magnetrostrikcni.pdf>>.
- [18] Meder. Reed switch[online] 22. 5. 2012. Dostupné z: <http://www.meder.cz/magnet_actuation_cz10.html>.
- [19] ASM. Firemní prospekt: *3 principy dokonalých polohových senzorů ASM*. [online] 25. 4. 2012. Dostupné z: <http://www.rem-technik.cz/pdf/ASM_senzory_cz.pdf>.
- [20] Automatizace.hw. Vojáček, A.: *Magnetické senzory s Hallovým efektem - 2. použití* [online]. 16. 4. 2012. Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-2-pouziti>>.
- [21] Wikipedia. *Hall efect sensor* [online] 1. 6. 2012 Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Clutch_with_Hall_Effect_sensor.jpg>.
- [22] Automa. Vlček, J.: *Magnetické a optické snímače polohy Renishaw* [online]. 25. 2. 2012 Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31020>.

- [23] Pepperl+Fuchs. *Magnetické snímače* [online]. 5. 3. 2012. Dostupné z: <http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_145.htm?view=productlist>.
- [24] FyzWeb. Žák, V.: *Nový magnetický senzor by mohl zkoumat lidský mozek* [online]. 22. 12. 2011. Dostupné z: <<http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=94>>.
- [25] Festo. *Firemní kalalog* [online] 1.6.2012 Dostupné z: <http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_CS/PDF/CZ/SMX_CZ.PDF>.

Přílohy

Příloha č. 1 – Katalogový list firmy Balluff - senzor_BMF273K_PS_C_2A_SA2_S49_00,3

Příloha č. 2 – Katalogový list firmy Festo - senzor_SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D

Příloha č. 3 – Katalogový list firmy Sick - senzor_MZN1-06VNS-KP0

Příloha č. 4 – Katalogový list firmy Turck - senzor_BIM-UNR-AP6X-0,3-PSG3M