



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Diplomová práce

Ověření funkce bezkontaktního snímače hladiny paliva v palivové nádrži.

Vypracoval: Petr Haikl
Vedoucí práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D

Anotace:

Tato práce obsahuje měřicí principy pro měření hladiny kapalin v nádržích se zaměřením na paliva. Jsou zde popsány nejčastěji používané druhy snímačů hladin kapalin se zaměřením na paliva. Práce obsahuje návrh vybraného technického řešení snímače hladiny paliva a jeho technickou realizaci včetně jeho technické realizace a ověření jeho funkce a kalibrace.

Abstrakt:

This work includes measurement principles for measuring liquid level in tanks with a focus on fuel. Are described most frequently used types of liquid level sensors, focusing on fuel. The work includes design chosen technical solutions fuel level sensor and its technical implementation, including the technical implementation and verification of its functionality and calibration.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Ověření funkce bezkontaktního snímače hladiny paliva v palivové nádrži“ jsem vypracoval samostatně pod vedením doc. PaedDr. Petr Adámka, Ph. D a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW) uvedené v příloze, tzn., že nebyla porušena autorská práva a práce není plagiátem.

Prohlašuji, že v souladu s § 47 zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své Magisterské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Hrdějovicích dne 6. 6. 2013

Petr Haikl

PODĚKOVÁNÍ

Úvodem bych rád poděkoval RNDr. Jiřímu Kalčíkovi CSc., Ing. Petru Tesařovi a doc. PaedDr. Petru Adámkovi PhD., za cenné rady a připomínky k diplomové práci. Rovněž bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a trpělivost.

Obsah Magisterské práce

Úvod a cíle práce.....	8
I.1 Principy snímání hladiny – využití fyzikálních jevů.....	9
I.2 Druhy snímačů polohy hladiny kapalin a jejich princip.....	9
I.2.1 Plovákové hladinoměry	12
I.2.2 Hladinoměry založené na měření hmotnosti	13
I.2.3 Vztlkové hladinoměry.....	14
I.2.4 Vibrační a lopatkové hladinoměry.....	16
I.2.4 Hydrostatické hladinoměry.....	17
I.2.4.1 Přímé měření hydrostatického tlaku	17
I.2.4.2 Měření s probubláváním.....	18
I.2.5 Elektrické hladinoměry.....	20
I.2.5.1 Vodivostní hladinoměry	20
I.2.5.2 Kapacitní hladinoměry	21
I.2.5.3 Tepelné hladinoměry	24
I.2.5.4 Fotoelektrické hladinoměry	24
I.2.6 Ultrazvukové hladinoměry	25
I.2.7. Radarové hladinoměry.....	28
I.2.7.1 Reflektometrické hladinoměry	30
I.2.8 Radioizotopové hladinoměry.....	31
I.3.1 Výběr vhodného typu snímače hladiny pro měření paliva v automobilové nádrži.....	33
I.3.2 Potenciometr.....	33
I.3.3 Indukční snímač.....	34
I.3.4 Kapacitní snímač	36
I.3.5 Magnetický snímač s jazýčkovým relé.....	37
I.3.6 Magnetický snímač s Hallova sondou.....	38
I.3.6.1 Základní teorie Hallova jevu	38
I.3.6.2 Unipolární čelní režim	41
I.3.6.3 Unipolární klouzavý režim	42
I.3.6.4 Bipolární klouzavý režim	43
I.3.6.5 Bipolární klouzavý režim (kruhový magnet).....	44
I.3.6.6 Systém s pólovými nástavci	45
I.3.6.7 Systém s před magnetizací (bias) magnety.....	46
I.3.6.8 Hallův jev v integrovaných senzorech.....	47
I.3.6.9 Magnetický AMR senzor.....	49
I.3.6.10. Princip AMR senzorů	50
I.3.6.11 Použití AMR senzorů	51
I.2.7 Magnetický GMR senzor.....	52
I.3 Porovnání systémů a jejich vhodnost při použití měření paliva	53
I.4 Nejvíce používané snímače pro měření hladiny paliva	53
I.5 Použití snímače s Hallova sondou.....	54
I.6 Snímače s Hallova sondou od firmy Melexis.....	54
II. Aplikace bezkontaktního měřiče hladiny paliva	58
II.1 Kalibrace a ověření funkčnosti konkrétního senzoru u ukazatele množství paliva v nádrži pro nádržový modul.	59
II.2 Optimalizovaný návrh vhodného technického řešení konfigurace snímače hladiny paliva v nádrži.	60

II.3. Funkční zkoušky měření hladiny	65
II.4. Výsledky funkčních zkoušek.....	71
II.5 Výsledky funkčních zkoušek bezkontaktního snímače polohy při přechodových jevech.....	72
Detailní analýza statického magnetického pole.....	75
II.6 Vyhodnocení vhodnosti použití snímače s Hallovou sondou pro měření hladiny paliva v automobilové nádrži.	82
Závěr	82
Seznam použité literatury a odkazy na www stránky	83

Úvod a cíle práce

Jelikož již čtvrtým rokem pracuji ve firmě Robert Bosch v Českých Budějovicích kde jedním z nosných výrobních programů je výroba nádržových modulů a mé bakalářské studium mělo zaměření na měřicí techniku, tak mne zaujala problematika měření hladiny paliva, jež je jedna z funkcí čerpadlového modulu.

Nádržový modul primárně slouží k dopravě paliva z nádrže automobilu k motoru, ale jsou do něj integrovány i další funkce jako regulace systémového tlaku, filtrace paliva a měření hladiny paliva v nádrži. Základní součásti nádržového modulu jsou zásobník paliva, příruba se zákaznickými konektory a ukazatel množství paliva v nádrži. Dále mohou moduly obsahovat elektrické čerpadlo, palivový filtr, regulátor tlaku paliva a další speciální komponenty.

Cíle práce

a) hlavní cíl práce – hlavním cílem práce bylo:

➤ kalibrace a ověření funkčnosti snímače hladiny

b) dílčí cíle práce – pro vlastní realizace práce bylo třeba splnit tyto dílčí cíle:

- navrhnout technické řešení konfigurace snímače hladiny paliva
- seznámit s používanými snímači hladiny kapalin se zaměřením na paliva
- seznámit s problematikou měření hladiny kapalin se zaměřením na paliva

I.1 Principy snímání hladiny – využití fyzikálních jevů

V úvodní části jsou popsány principy měření a typy snímačů s ohledem na zvolené téma práce, takže výčet metod a snímačů pro měření hladiny kapalin není úplný. Množství kapalin v různých zásobnících a nádržích se měří přes polohu (výšku) hladiny. Je to sice zjednodušené měření, ale je to praktické. Zásadní je, například kolik ještě zbývá v palivové nádrži paliva, což je důležitá informace pro stanovení dojezdu automobilu. Z údajů o změřené výšce hladiny je možné vypočítat množství paliva v nádrži. Tvar nádrže je v dnešních automobilech velmi složitý s různými výdutěmi a o to je výpočet množství paliva náročnější a vyžadující při výpočtu použití výpočetní techniky, což je automobilu řídicí jednotka. Při měření v nádrži, ve které je průřez se změnou výšky v přímé závislosti, je snadné množství kapaliny spočítat. V technické praxi se měří různé kapaliny různé hustoty viskozity a rozdílných chemických vlastností, což vyžaduje i různá měřicí zařízení využívající jiných fyzikálních principů. Vlivy ve kterých snímače pracují, tzn. od vakua, až vysokým tlakům v širokém rozsahu teplot jsou někdy velmi náročná na použití měřicího zařízení. Tato různorodost nároků na měřicí zařízení, pak ve výsledku znamená velký počet měřicích metod a zařízení, které se používají pro měření hladiny. Výběr vhodné metody [1] je ovlivněn mnoha faktory. Jsou to především tlak (otevřené a uzavřené nádoby), teplota, korozivní účinek média, rozsah, citlivost a přesnost měření, potřeba kontinuálního měření nebo zobrazení pouze určitého stavu hladiny jako je maximum nebo minimum a na základě těchto mezních stavů je pak spuštěna signalizace nebo jiný proces např. odčerpání nebo dočerpání kapaliny.

Snímače polohy hladiny je možné klasifikovat podle různých hledisek. Nejčastěji se třídí podle použitého funkčního principu. Rozdělení snímačů hladiny jsou přehledně uvedené v [Tabulka č. I.2.1](#) rozdělení snímačů hladiny spolu se stručnou charakteristikou a hlavními možnostmi použití příslušného měřicího principu.

I.2 Druhy snímačů polohy hladiny kapalin a jejich princip

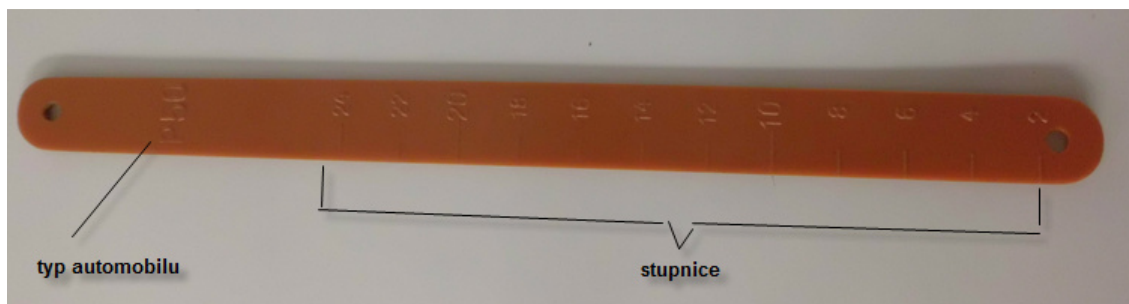
Tabulka č. I.2.1 Rozdělení snímačů hladiny, převzato a upraveno z [2].

Skupina	Typ snímačů	Princip měření	Možnosti použití
mechanické	plovákové	snímání polohy plováku	vhodné zejména pro čisté a kapaliny s malou viskozitou
	vztlačové	měření a kompenzace vztlačové síly ponorného tělesa	vhodné zejména pro čisté a kapaliny s malou viskozitou i pro měření polohy mezi stavů hladiny kapalin; hodnota závisí na hustotě měřeného média
	vibrační	vyhodnocení útlumu vibrací indikačního prvku	vhodné pro měření mezní polohy hladiny kapalin, nezávisí na elektrických vlastnostech měřeného média,

hydrostatické	snímače hydrostatického tlaku	měření hydrostatického tlaku	vhodný zejména pro čisté kapaliny; hodnota je odvislá na hustotě měřeného média
	Pneumatické s probubláváním	měření hydrostatického tlaku při probublávání měřeného média vzduchem	nízká pořizovací cena; hodnota závisí na hustotě měřené kapaliny
elektrické	změny vodivosti	vyhodnocení změny elektrické vodivosti mezi elektrodami	jednoduchý a levný snímač pouze pro elektricky vodivé kapaliny;
	kapacitní	měření elektrické kapacity snímače	použitelné pro měření elektricky vodivých i nevodivých kapalin, vhodné pro mezní i spojitě měření, a to i při vysokých tlacích a teplotách; umožňuje snímání polohy mezi stavů hladiny kapalin;
	tepelné	změna odvodu tepla z vyhřívaného rezistoru	pro mezní měření polohy hladiny kapalin
	fotoelektrické	vyhodnocení změny intenzity světla	jednoduché provedení, vhodné i pro vyšší teploty; a pro kapaliny ulpívající na měřicí sondě
Bezdotykové	ultrazvukové	měření doby šíření ultrazvukového signálu	bezdotykové, neinvazivní měření; vhodné pro kapaliny, i agresivní kapaliny s měnícími se vlastnostmi; nevhodné pro měření za nízkých a vysokých tlaků
		vyhodnocení útlumu ultrazvukového signálu	vhodné pro mezní měření
	radarové	měření doby šíření mikrovlnného signálu	bezdotykové, neinvazivní měření; vhodné k použití za extrémních podmínek pro velmi agresivní i toxické kapaliny za vysokých teplot a tlaků, pro viskózní a lepivé kapaliny, nevhodné pro kapaliny s malou permitivitou
	reflektometrické (radary TDR)	měření doby odrazu impulsu mikrovlnného signálu od fázového rozhraní	měření polohy mezi stavů hladiny kapalin; měření není ovlivňováno teplotou a tlakem, nevhodné pro kapaliny s malou permitivitou

	radioizotopové	vyhodnocení absorpce radioaktivního záření	bezdotykové, neinvazivní měření s gama zářičem vhodné k použití za extrémních podmínek pro toxické, agresivní a abrazivní kapaliny při jakýchkoliv teplotách a tlacích; snímače se umísťují vně nádob; povinná ochrana obsluhy; povinné pravidelné kontroly
--	----------------	--	---

Nejstarším měřidlem výšky hladiny je tyčové měřidlo, které bylo používáno ve vozidlech značky Trabant k měření hladiny benzínu v palivové nádrži viz Obr.I.2.1 taková měřidla se i dnes využívají k orientačnímu měření. Další skupinu tvoří průhledové hladinoměry (skleněné trubice nebo průzory), které se používají pro vizuální sledování polohy hladiny zejména v malých kotlích a nádržích. Takovýto průhledový hladinoměr měl i osobní automobil zn. Volha u karburátoru, takže bylo snadné zkontrolovat hladinu paliva v plovákové komoře viz Obr. I.2.2.. Průhledové hladinoměry se často zanášejí nečistotami, jako je kal a jiné usazeniny. Průzory lze použít i pro velké tlaky až do 10 MPa. [2]

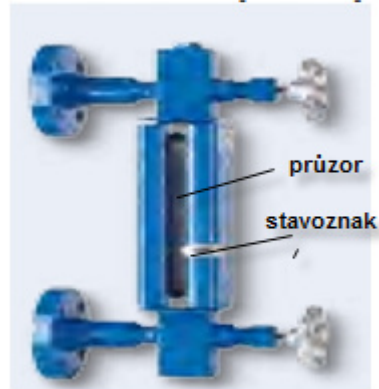


Obr. I.2.1 Plastová měrka hladiny paliva v palivové nádrži vozidla Trabant, převzato a upraveno z [3].



Obr. I.2.2 Průhledový hladinoměr v plovákové komoře karburátoru K-124 pro osobní vůz značky Volha, převzato a upraveno z [4].

Předností těchto měřidel je jejich jednoduchost, nevýhodou pak je skutečnost, že neposkytují vhodný signál pro přenos a další zpracování naměřených údajů. [2]



Obr. I.2.1.1 Průhledový hladinoměr, převzato a upraveno z [5].

I.2.1 Plovákové hladinoměry

Základní součástí plovákového hladinoměru je plovák, obvykle v podobě lehkého dutého tělesa nebo tělesa vyrobené z materiálu o velmi malé hustotě. Plovák je ponořen do kapaliny jen velmi málo (poměr ponořené části plováku k jeho celkové výšce se rovná poměru hustot plováku a kapaliny). Při měření menších změn polohy hladiny (do 1 m) se používají plováky ve tvaru koule, pro měření velkých změn hladiny (do 40 m) se používají plováky válcového tvaru s vodící tyčí.

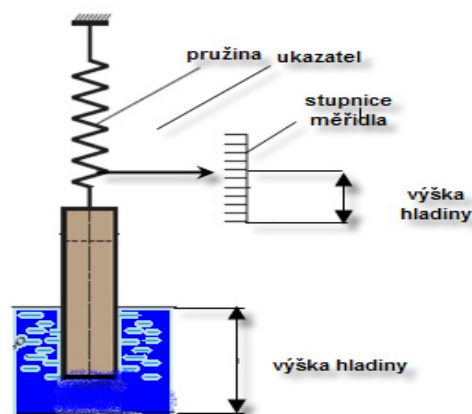
Plováky mohou být umístěny přímo v provozních nádobách zavěšené na tyčích, lanech, řetězech nebo planžetách. Pohyb plováku může být vyveden z otevřené nádrže přes kladku lankem nebo řetízkem, obvykle ve spojení s protizávažím. Takto zavěšený plovák je obvykle veden tak, aby se při neklidné hladině nerozkývával. Poloha plováku se určuje buď přímo přečtením polohy protizávaží na podložené stupnici, nebo se převádí na elektrický signál prostřednictvím čidla využívající elektrického odporu změny magnetického pole apod. [1]

Princip

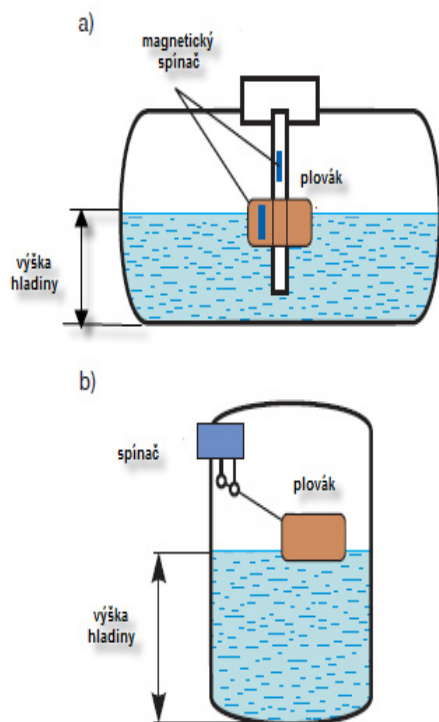
- poloha plováku je přenášena na vyhodnocovací zařízení
- mechanicky
- magneticky
- elektricky

Přesnost měření je ovlivněna:

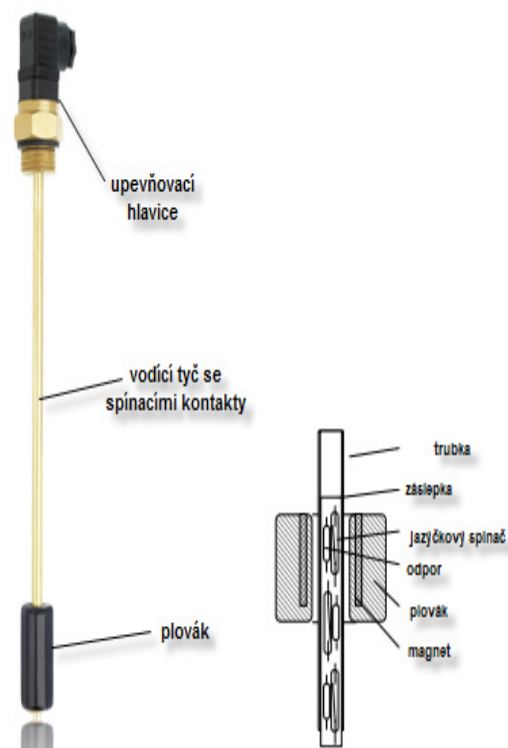
- tvarem a průřezem plováku
- pasivními odpory mechanického převodu
- hustotou kapaliny



Obr. I.2.1.1 Plovákový hladinoměr, převzato a upraveno z [2].



Obr. I.2.1.2 plovákové hladinoměry, převzato a upraveno z [2].



Obr. I.2.1.1 plovákový hladinoměr Nivoflix LC, převzato a upraveno z [5].

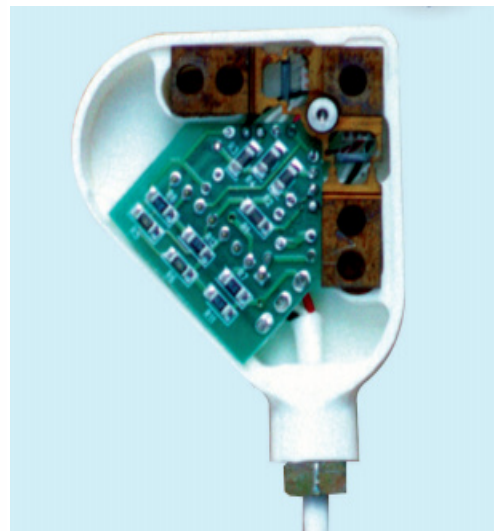
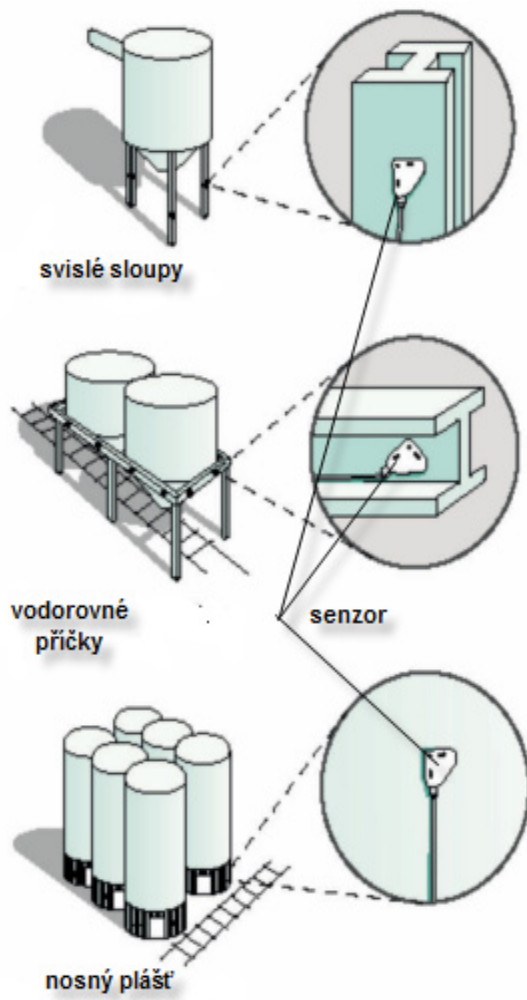
Přesnost plovákových hladinoměrů závisí především na tvaru a průřezu plováku, pasivních odporech v převodovém mechanismu a na změnách hustoty měřené kapaliny. Plovák by pokud možno neměl mít žádné horizontální plochy, na kterých se mohou udržovat kapky kapaliny a usazovat případné nečistoty.

Ty jsou příčinou změny hmotnosti plováku, a tím i změny jeho ponoření. Plováky určené pro tlakové prostory jsou nejčastěji kulového tvaru. Někdy bývají naplněny inertním plynem na tlak odpovídající maximálnímu tlaku v nádrži.

Plováky se často zhotovují z mosazi, korozi-vzdorné oceli, polyethylenu, polypropylenu, PVC, polystyrenu atd. [1]

I.2.2 Hladinoměry založené na měření hmotnosti

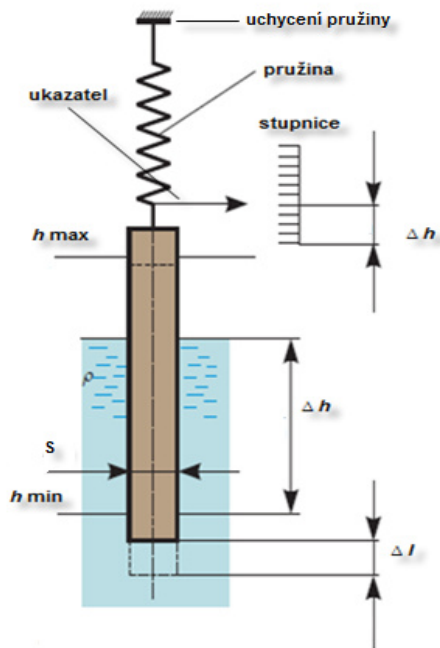
Ke zjišťování polohy hladiny (množství kapaliny v nádrži) lze využít i měření hmotnosti nádrže s materiálem. Hmotnost nádrže se zjišťuje vážením při použití např. vhodného siloměrného členu, jehož citlivým prvkem nejčastěji bývá tenzometrický senzor. Tento způsob měření se často používá při dávkování a směšování různých kapalných i sypkých materiálů. [1].



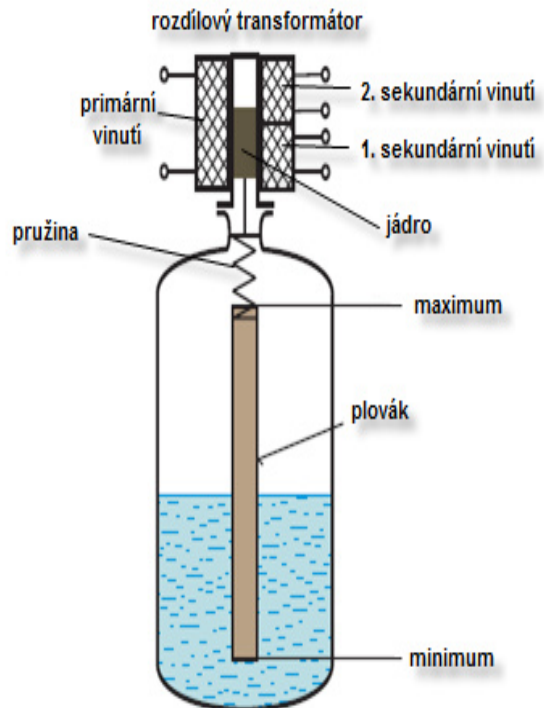
Obr.I.2.2.1 Hladinoměry založené na měření hmotnosti popis umístění a detail vážícího senzoru L-Cell, převzato a upraveno z [6].

I.2.3 Vztlkové hladinoměry

Hladinoměry se vztlakem nadnášeného tělesa využívají Archimédův zákon a pracují na principu vyrovnání sil. Podstata je patrná ze vztahu (1). Plovák válcového tvaru je zavěšen na pružině. Síla působící na pružinu je váha tělesa, která je zmenšena o vztlkovou sílu. Při změně polohy hladiny o Δh se změní vztlková síla a vznikne nová rovnováha sil v nové poloze tělesa. Pro rovnováhu ponorného tělesa pak platí vztah (2). Rovnice udává, že při měření hladiny musí být hustota měřené kapaliny konstantní. Délka plováku pro daný měřicí rozsah nesmí být menší než hodnota výrazu (3). Tíha tělesa má být větší než vztlak při plném ponoření. [1]



Obr.I.2.3.1 Vztlakový hladinoměr, převzato a upraveno z [8].



Obr. I.2.3.2 Vztlakový hladinoměr s rozdílovým transformátorem, převzato a upraveno z [8].

Poepis veličin k Obr. I.2.3.1

kde

- Δh je změna výšky hladiny
- Δl je změna polohy plováku
- h_{\min} je minimální výška hladiny
- h_{\max} je maximální výška hladiny
- S je plocha kruhového průřezu plováku

Plocha kruhového průřezu plováku je dána vztahem

$$S = \pi r^2 \quad (1)$$

kde

- S je plocha kruhového průřezu plováku
- π je matematická konstanta
- r je poloměr kružnice

Pro rovnováhu ponorného tělesa pak platí vztah

$$\pi r^2 (\Delta h - \Delta l) \rho g = k \cdot \Delta l \quad (2)$$

kde

π	je matematická konstanta
r	je poloměr kružnice
Δh	je změna výšky hladiny
Δl	je změna polohy plováku
ρ	je měrná hustota
g	je tíhové zrychlení
k	je tuhost pružiny

Pro délku plováku platí vztah

$$L_p > (\Delta h - \Delta l) \quad (3)$$

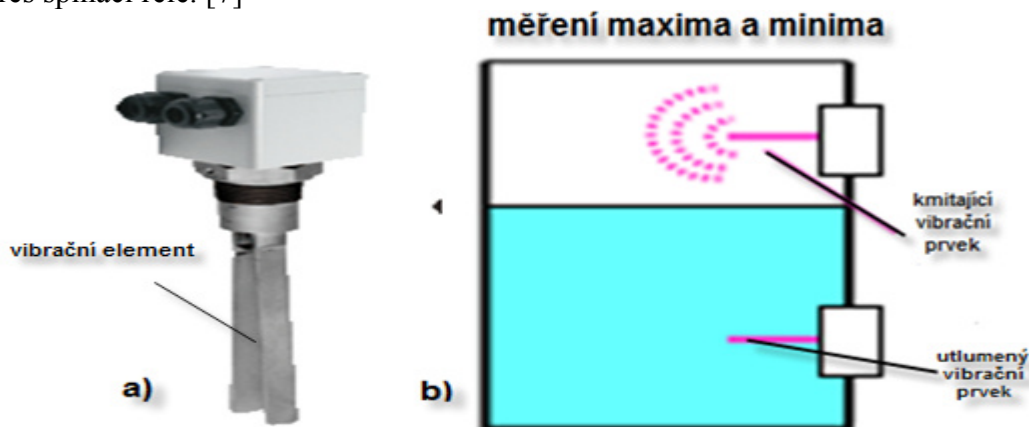
kde

L_p	je délka plováku
Δh	je změna výšky hladiny
Δl	je změna polohy plováku

I.2.4 Vibrační a lopatkové hladinoměry

Podstatnou součástí vibračního hladinoměru obr. I.2.4.1.a) je kmitající indikační prvek vidlicového nebo tyčkového tvaru, obvykle rozkmitávaný piezoelektricky. Indikační prvek kmitá při rezonanční frekvenci např. 1 200 Hz.

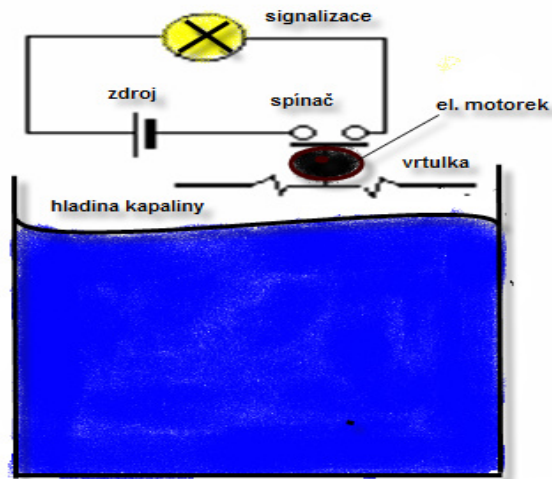
Prostředí, které ho obklopuje, ovlivňuje mechanické oscilace. Lopatky měřící sondy rezonují na určité frekvenci. V okamžiku, kdy dojde k zakrytí lopatek médiem, se změní rezonanční frekvence. Tato změna je registrována a vyhodnocena jako limitní kontakt přes spínací relé. [7]



Obr. I.2.4.1.a) Vibrační hladinoměr, spínač SOLIVIB NSV firmy Kobold, převzato a upraveno z [7].

Obr. I.2.4.2. b) princip vibračního hladinoměru, převzato a upraveno z [8].

Vrtulkové hladinoměry, podobně jako vibrační, využívají útlum, popř. zastavení otáčení vrtulky zavěšené nad hladinou a poháněné elektromotorkem. Při dotyku s hladinou měřené látky se vrtulka zpomalí či zastaví a tím signalizuje dosažení určené polohy hladiny (indikace mezního stavu). Vrtulkový hladinoměr se často používá jako pojistka proti přeplnění nádrží. Výhodou je, že měření není ovlivněno změnami hustoty, vodivosti, relativní permitivity ani viskozity média. [7]



Obr. I.2.4.3. Lopatkový hladinoměr schéma, převzato a upraveno z [9].



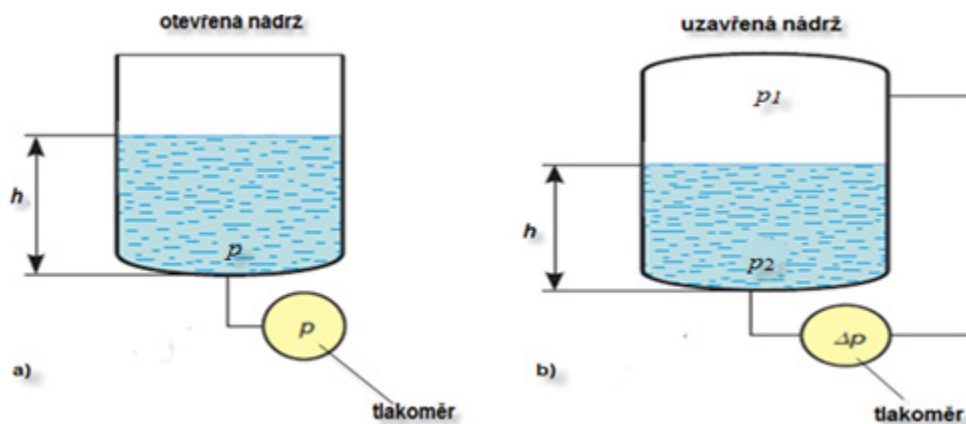
Obr. I.2.4.4. lopatkový hladinoměr NIR-9 firmy Kobold, převzato a upraveno z [7].

I.2.4 Hydrostatické hladinoměry

I.2.4.1 Přímé měření hydrostatického tlaku

Výška hladiny h se odvozuje z hydrostatického tlaku p kapaliny v nádrži. Z rovnice (4) je jasné, že výsledek měření závisí na hustotě ρ , a tedy i na teplotě kapaliny.

K měření hydrostatického tlaku se používá tlakoměr. Na obr. Obr. I.2.4.1a) je znázorněno měření hydrostatického tlaku v otevřené nádobě, kde platí vztah (4). Je-li měřena poloha hladiny v uzavřené nádobě je to dle Obr. I.2.4.1 b). V tlakovém zásobníku je to dle vztahu (5). [1]



Obr. I.2.4.1 hydrostatické hladinoměry, převzato a upraveno z [2].

Popis veličin k Obr. I.2.4.1

kde

- h je výška hladiny
- p je hydrostatický tlak
- p_1 je tlak prostředí v uzavřené nádrži
- p_2 je tlak kapaliny v uzavřené nádrži
- Δp je rozdíl tlaku prostředí a tlaku kapaliny v uzavřené nádrži

Vztah pro hydrostatický tlak p kapaliny v otevřené nádrži.

$$p = \rho g h \quad (4)$$

kde

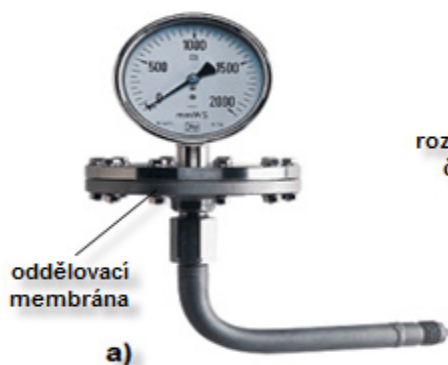
p je hydrostatický tlak
 ρ je měrná hustota
 g je tíhové zrychlení
 h je výška hladiny

Vztah pro tlak Δp kapaliny v uzavřené nádrži

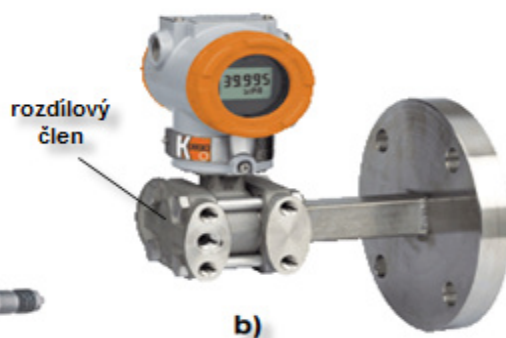
$$p_1 - p_2 = \Delta p = \rho g h \quad (5)$$

kde

p_1 je tlak prostředí v uzavřené nádrži
 p_2 je tlak kapaliny v uzavřené nádrži
 Δp je rozdíl tlaku prostředí a tlaku kapaliny v uzavřené nádrži
 ρ je měrná hustota
 g je tíhové zrychlení
 h je výška hladiny



Obr. I.2.4.2 a) Hladinoměr s oddělovací membránou NPF, převzato a upraveno z [7].

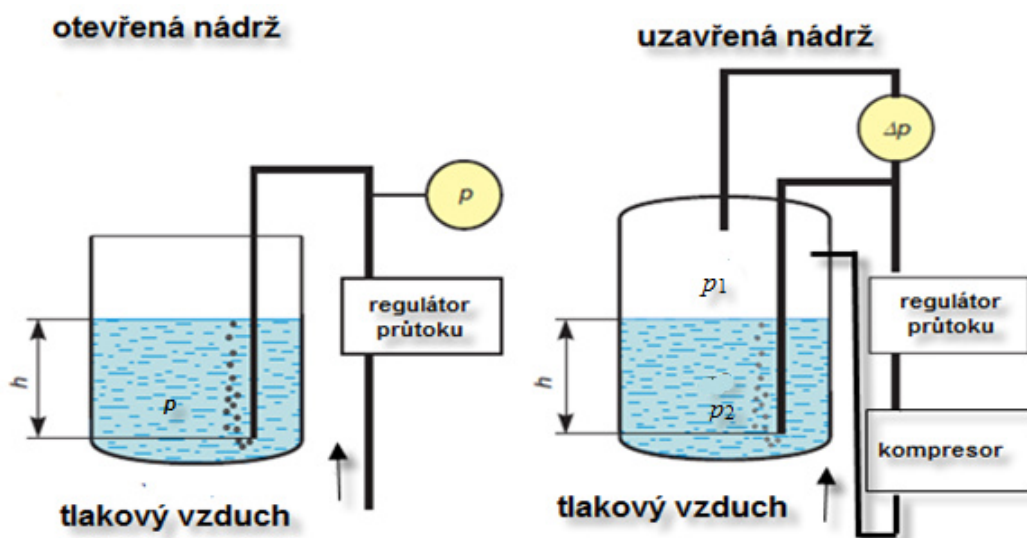


Obr. I.2.4.2b) Diferenční tlakoměr PAD firma Kobold, převzato a upraveno z [7].

I.2.4.2 Měření s probubláváním

Často používanou metodou, při práci s nebezpečnými kapalinami, silně znečištěnými či viskózními kapalinami, je metoda pneumatická [1] (provzdušňovací, probublávající): tzv. pneumatický hladinoměr je znázorněn na Obr. Obr. I.2.4.2.a.

Trubkou přivedenou ke dnu nádrže proudí stálé malé množství vzduchu nebo jiného neutrálního plynu. Unikající vzduch musí překonat hydrostatický tlak kapaliny. Je-li průtok vzduchu tak malý, aby bylo možné zanedbat tlakovou ztrátu v trubce, přetlak v systému, měřený vhodným tlakoměrem, bude úměrný výšce hladiny. V potrubí přivádějícím vzduch je zařazen regulátor udržující konstantní průtok vzduchu bez ohledu na velikost hydrostatického tlaku. Stejný způsob lze použít i k měření v uzavřených nádobách Obr. I.2.4.2.b, pokud napájecí tlak je větší než tlak v nádobě. K měření je pak třeba použít vhodný snímač rozdílu tlaků. [2].



Obr. I.2.4.2.a měření s probubláváním otevřená nádrž převzato a upraveno z [2].

Obr. I.2.4.2.b měření s probubláváním uzavřená nádrž, převzato a upraveno z [2].

Popis veličin k Obr. I.2.4.2a + Obr. I.2.4.2b

kde p je hydrostatický tlak kapaliny v otevřené nádrži
 p_1 je tlak prostředí v uzavřené nádrži
 p_2 je tlak kapaliny v uzavřené nádrži
 h je výška hladiny od konce přívodní trubky

Vztah pro hydrostatický tlak p kapaliny v otevřené nádrži.

$$p = \rho g h \quad (6)$$

kde p je hydrostatický tlak kapaliny v otevřené nádrži
 ρ je měrná hustota
 g je tíhové zrychlení
 h je výška hladiny od konce přívodní trubky

Vztah pro tlak Δp kapaliny v uzavřené nádrži

$$\Delta p = p_1 - p_2 > \rho g h_{\max} \quad (7)$$

kde

Δp je rozdíl tlaku prostředí a tlaku kapaliny v uzavřené nádrži
 p_1 je tlak prostředí v uzavřené nádrži
 p_2 je tlak kapaliny v uzavřené nádrži
 ρ je měrná hustota
 g je tíhové zrychlení
 h_{\max} je maximální výška hladiny od konce přívodní trubky



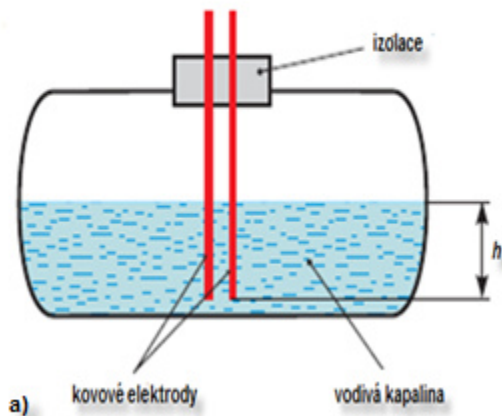
Obr.I.2.4.3 Komponenty pro měření s probubláváním, převzato a upraveno z [9].

I.2.5 Elektrické hladinoměry

I.2.5.1 Vodivostní hladinoměry

Vodivostní hladinoměry jsou tvořeny elektrodami umístěnými v nádrži s vodivou kapalinou. Měří se změna elektrického odporu či vodivosti se změnou polohy hladiny. [2] Přesnost je značně závislá na změnách složení, odporu či vodivosti i teplotě kapaliny. Vodivostní snímače se používají zejména k signalizaci mezních stavů a k dvupolohové regulaci. Používají se např. při naplňování a vyprazdňování nádob mezi dvěma polohami hladiny a k řízení čerpadel.

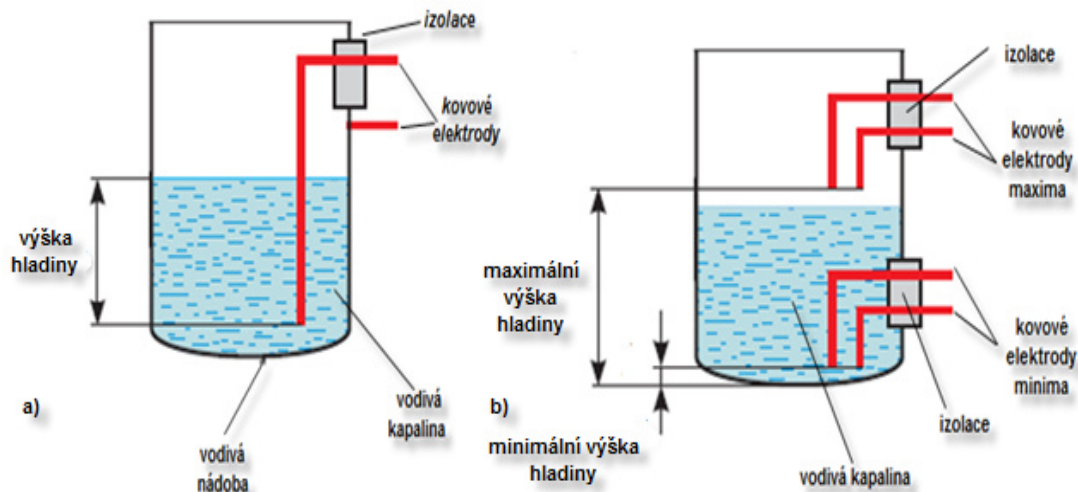
Některá umístění vodivostních snímačů polohy hladiny v provozních nádržích jsou ukázána na Obr. I.2.5.1.1 a Obr.I.2.5.1.2. Hlavní předností těchto snímačů je jednoduchý princip a snadná montáž, jsou využitelná pouze v případě elektricky vodivých kapalin. [2]



Obr.I.2.5.1.1 a) Vodivostní hladinoměr schéma, převzato a upraveno z [2].



Obr.I.2.5.1.1 b) vodivostní hladinový spínač (WHG) NEW firmy Kobold, převzato a upraveno z [7].



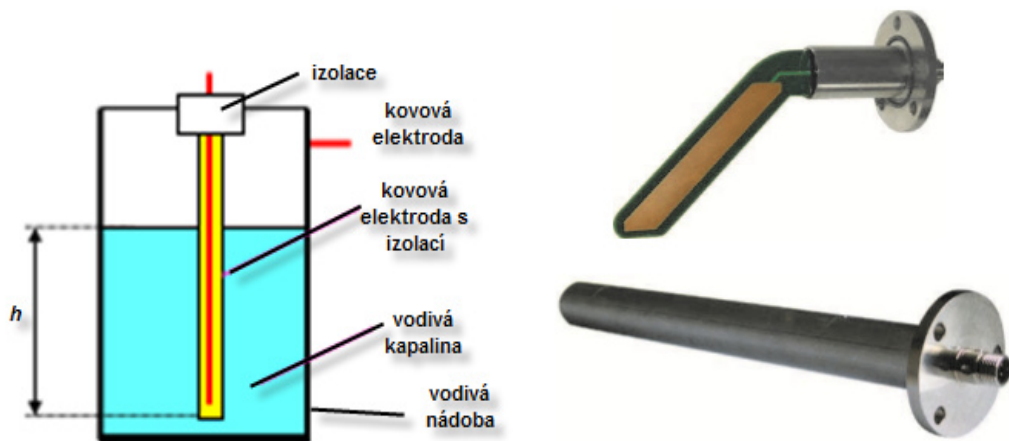
Obr.I.2.5.1.2 Vodivostní hladinoměr průběžný a) a b) mezních stavů, převzato a upraveno z [2].

I.2.5.2 Kapacitní hladinoměry

Hlavní část kapacitního hladinoměru tvoří elektrický kondenzátor s proměnnou kapacitou. Neměří se jen kapacita, ale i impedance a některé snímače jsou označovány jako impedanční nebo admitanční.

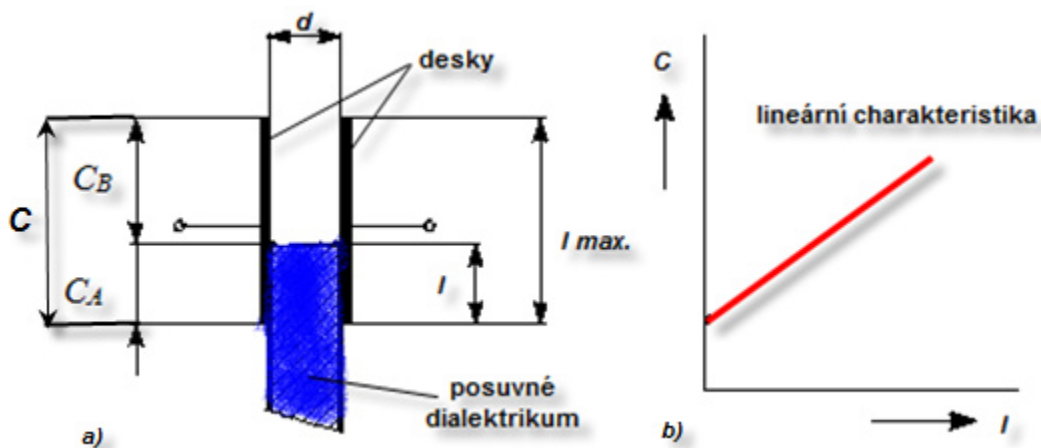
Kapacitní snímače[1] se využívají jak ke spojitému snímání polohy hladiny, tak i k signalizaci mezních stavů hladiny kapalin. Princip snímače[2] závisí na vodivosti měřené kapaliny. U elektricky nevodivých kapalin se využívá kapacitní senzor u kterého se změnou polohy hladiny nastává změna dielektrika. Okamžitá celková kapacita C je dána součtem dvou dílčích kapacit C_A a C_B . Při měření hladiny tvoří nevodivá kapalina „posuvné“ dielektrikum. Rovnice pro výpočet statické charakteristiky snímače a její průběh pro deskový kondenzátor je vyjádřena vztahem (8). Kapacitní sonda má nejčastěji tvar válce.

Jednu elektrodu snímače může tvořit třeba svislá tyč, druhou pak představuje stěna nádoby. Dielektrikem je nevodivá kapalina, která při změně polohy hladiny obklopuje elektrodu. [2].



Obr. I.2.5.2 a) Kapacitní snímače polohy hladiny pro vodivé kapaliny, převzato a upraveno z [8].

Obr.I.2.5.2b) kapacitní elektroda LCC1, převzato a upraveno z [11].



Obr. I.2.5.3 Princip kapacitního snímače polohy hladiny pro nevodivé kapaliny převzato a upraveno z [12].

Popis veličin k Obr. I.2.5.3a) + Obr. I.2.5.3b)

kde

- C je celková kapacita
- C_A je dílčí kapacita s posuvným dielektrikem
- C_B je dílčí kapacita bez posuvného dielektrika
- l je délka zasunutí dielektrika
- d je rozteč desek
- l_{max} je maximální zasunutí dielektrika

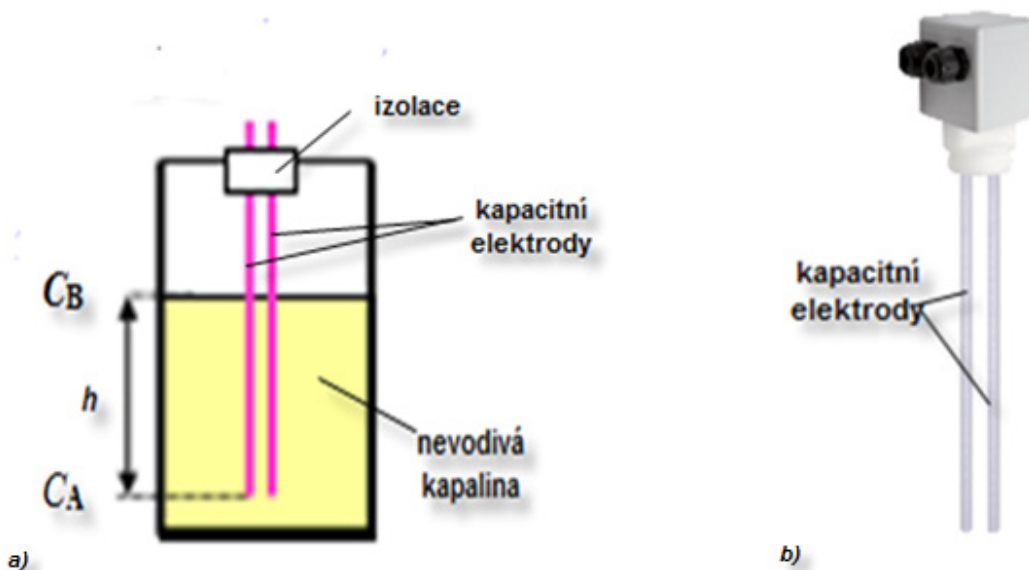
Vztah pro elektrický kondenzátor s proměnnou kapacitou

$$C = C_A + C_B = \varepsilon_0 \varepsilon_A \frac{al}{d} + \varepsilon_0 \varepsilon_B \frac{a(l_{max} - l)}{d} \quad (8)$$

kde

C je celková kapacita

- C_A je dílčí kapacita s posuvným dielektrikem
- C_B je dílčí kapacita bez posuvného dielektrika
- ε_0 je permeabilita vakua
- ε_A je permeabilita posuvného dielektrika
- ε_B je permeabilita bez posuvného dielektrika
- a je šířka desky
- l je délka zasunutí dielektrika
- d je rozteč desk
- l_{max} je maximální zasunutí dielektrika



Obr. I.2.5.4a Schéma kapacitního snímače pro nevodivé kapaliny, převzato a upraveno z [8].

Obr. I.2.5.4b Hladinový spínač NCW firmy Kobolt, převzato a upraveno z [7].

Popis veličin k Obr. I.2.5.4a + Obr. I.2.5.4b

kde

- C_A je dílčí kapacita
- C_B je dílčí kapacita
- h je výška hladiny od konce kapacitních elektrod

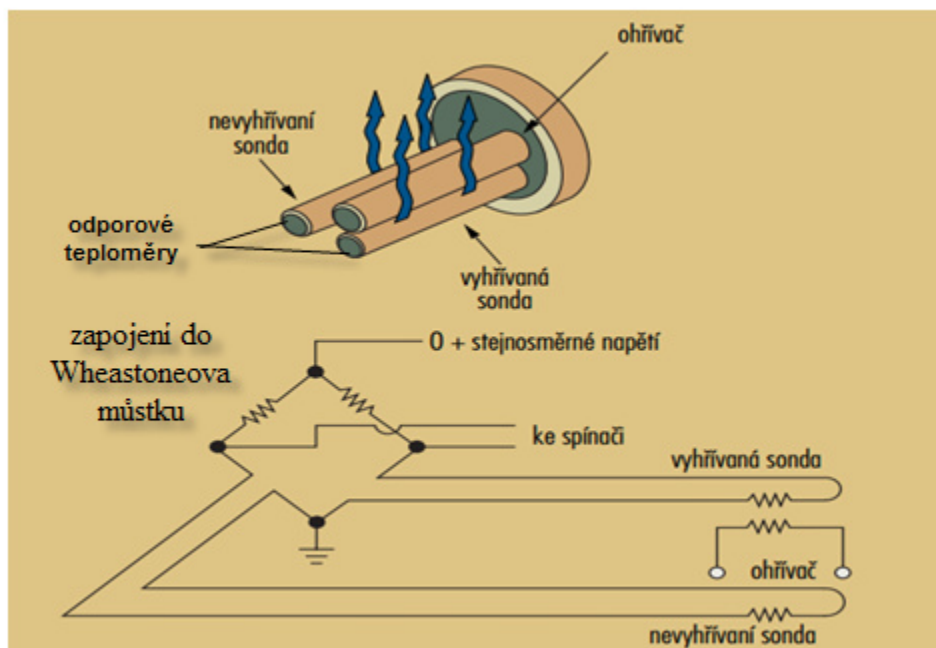
K přednostem kapacitních snímačů lze počítat jejich jednoduchou a robustní konstrukci bez pohyblivých částí, možnost dobře odolávat korozi, snadné čištění a použitelnost v prostředí s nebezpečím výbuchu. [12]

K nedostatkům patří nebezpečí pokrývání povrchu sondy vodivým materiálem (nánosy, kaly) a závislost na relativní permitivitě měřeného materiálu, měnící se zejména vlivem teploty. Kapacitní snímače jsou vhodné pro měření polohy hladiny kapalin v rozmezí délek asi od 0,2 do 30 m, teplot (-40 až $+400$ °C) či při velkém tlaku. [2]

I.2.5.3 Tepelné hladinoměry

Princip tepelných hladinoměrů [12] je, že základem snímacího prvku tepelného hladinoměru je sonda s vyhříváním elektrickým rezistorem, nejčastěji termistorem. Prostředí obklopující snímač ovlivňuje přenos tepla z topného prvku do okolí (např. odvod tepla do kapalného média bude intenzivnější než do vzduchu).

Při styku snímače s hladinou kapaliny se náhle ochladí vyhříváný termistor, a tudíž se změní i jeho odpor. Tepelné hladinoměry se využívají jako limitní snímače polohy hladiny. [13]



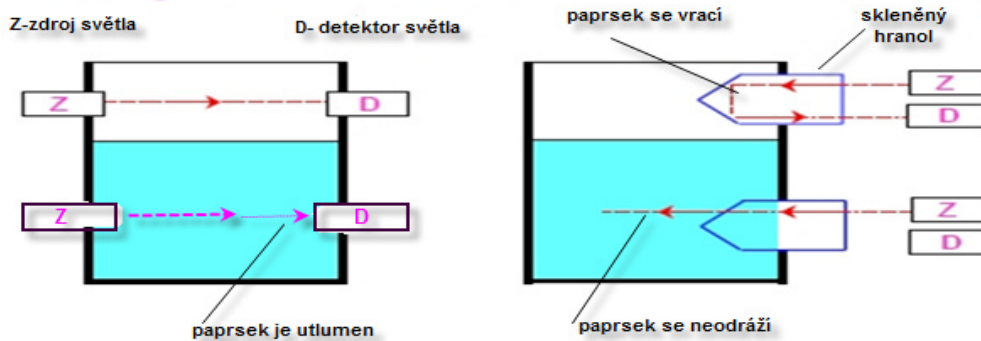
Obr. I.2.5.3.1 Teplotní snímač výšky hladiny, převzato a upraveno z [12].

Teplotní snímač [13] na obrázku I.2.5.3.1. používá dva odporové teploměry. Jeden je vyhříváný a druhý nikoli a slouží jako referenční. Odporové teploměry jsou zapojeny do sousedních větví. Pokud budou teploměry v kapalině jejich teplota bude stejná a můstek bude vyvážený. Pokud budou mimo kapalinu vyhříváný teploměr bude mít vyšší odpor a můstek bude nevyvážený. Hladinový spínač reaguje na nevyváženost můstku. [13]

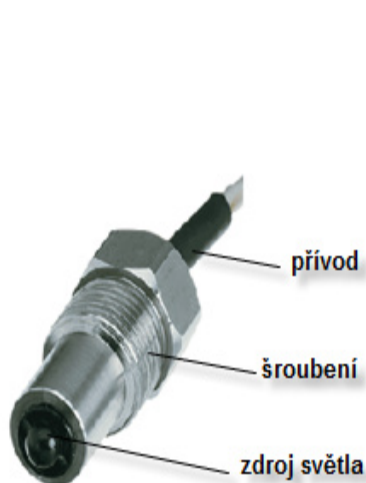
I.2.5.4 Fotoelektrické hladinoměry

Fotoelektrické snímače jsou svou podstatou značně jednoduché [8] Obr. 1.2.5.4. Skládají se z vhodného zdroje infračerveného nebo viditelného záření a to žárovky a nebo svítivé diody a detektoru a to fotodiody, fototranzistoru nebo fotoodporu.

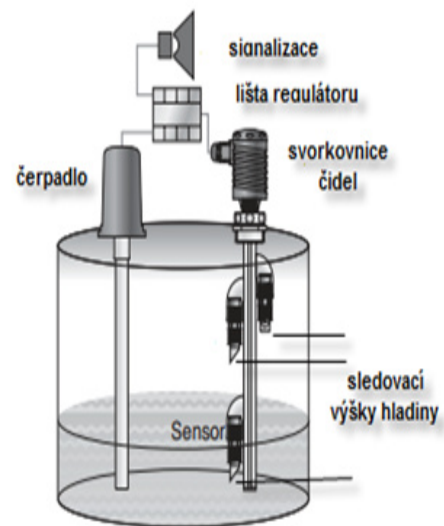
Snímač s hranolem nebo světlovodem používá změnu indexu lomu při změně okolního prostředí. Dosažení hladiny je rozpoznáno, když se kapalina dotkne koncovky světlovodu. Fotoelektrické snímače lze použít i pro extrémní teploty (až do 400 °C) a lze je montovat i do nádrží s agresivními kapalinami. [8]



Obr. 1.2.5.4 fotoelektrické hladinoměry, převzato a upraveno z [8].



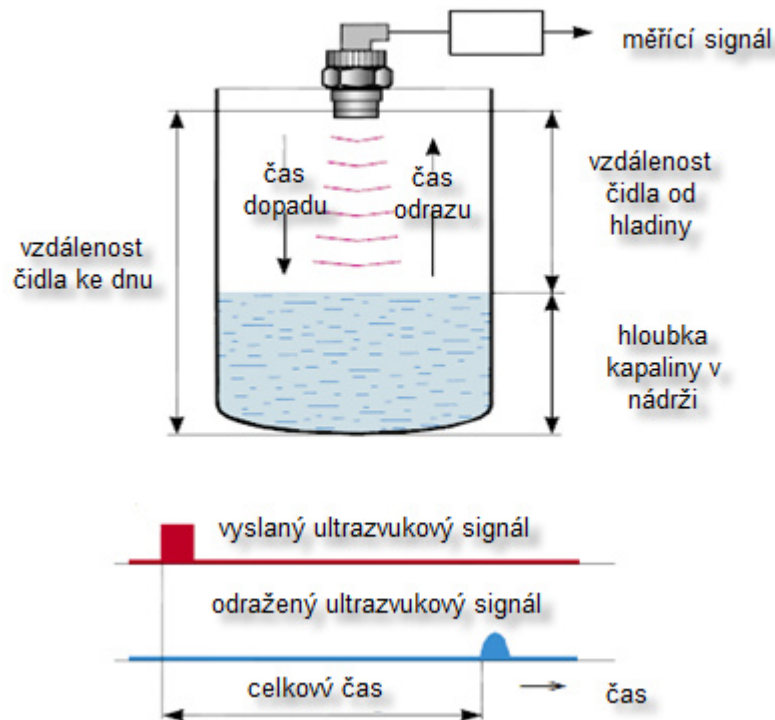
Obr. 1.2.5.5 fotoelektrický hladinoměr OPT firmy Kobold, převzato a upraveno z [7].



Obr. 1.2.5.6 instalace fotoelektrických hladinoměrů, převzato a upraveno z [14].

1.2.6 Ultrazvukové hladinoměry

Ultrazvukové hladinoměry využívají dva principy[15]. V jednom případě se měří doba průchodu ultrazvukové vlny od vysílače přes odraz od hladiny zpět k přijímači a z naměřené doby se při známé rychlosti šíření ultrazvuku v daném prostředí vypočítá vzdálenost. Tato metoda[15] se využívá ke spojitému měření polohy hladiny. Ve druhém případě se vyhodnocuje útlum ultrazvukových vln v závislosti na složení prostředí, kterým ultrazvuk prochází. Tato metoda [15] se využívá k limitnímu měření úrovně hladiny. Princip ultrazvukového hladinoměru pro spojitě měření. Vysílač a přijímač ultrazvukových impulsů tvoří konstrukční celek, umístěný obvykle v horní části nádrže. Funkci celého zařízení řídí generátor pulsů.[15]



Obr. I.2.6. Ultrazvukový hladinoměr, převzato a upraveno z [14].

Vztah pro výpočet vzdálenosti hladiny od čidla

$$L = c \frac{t}{2} \quad (9)$$

kde

L je vzdálenost čidla od hladiny
 c je rychlost ultrazvuku
 t je celkový čas

Vztah pro výpočet hloubky kapaliny v nádrži

$$h = L_{max} - c \frac{t}{2} \quad (10)$$

kde

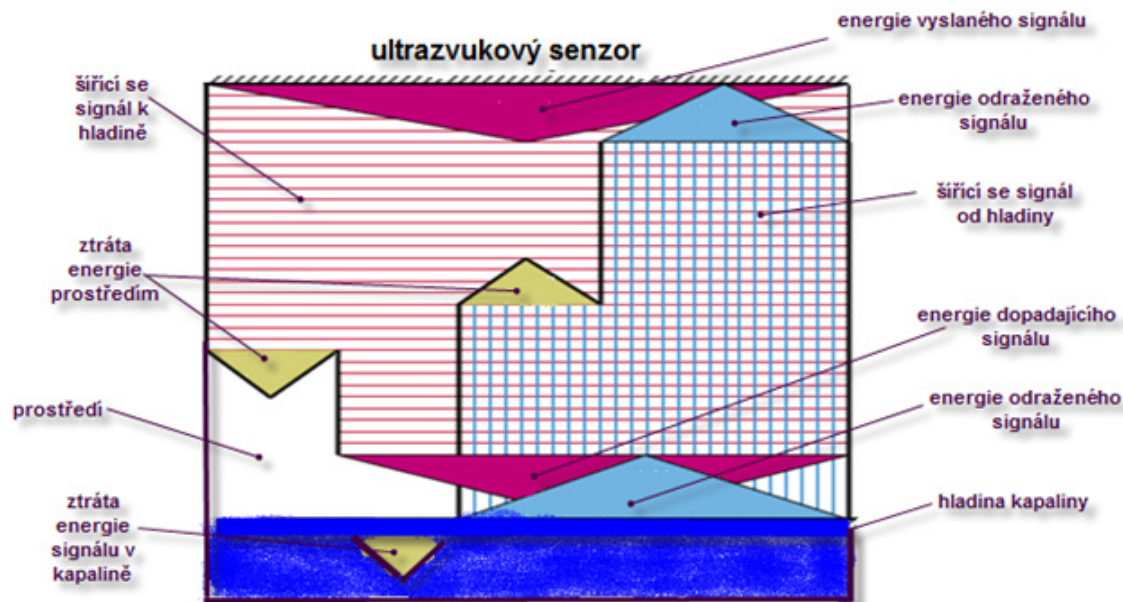
L_{max} je vzdálenost čidla od dna nádrže
 c je rychlost ultrazvuku
 t je celkový čas

Jako vysílač a přijímač ultrazvuku se často používají piezoelektrické nebo magnetostrikční měniče. Generují ultrazvuk o frekvenci od (20 ÷ 50) kHz.

Pro šíření ultrazvuku je nutné látkové prostředí. Jelikož ve vakuu se zvuk nešíří, není možné ultrazvukové hladinoměry použít při tlaku, který je menší jak 60 kPa.

Měřicí rozsah ultrazvukového hladinoměru je také odvislý na útlumu ultrazvukového signálu od vysílače zpět k přijímači.

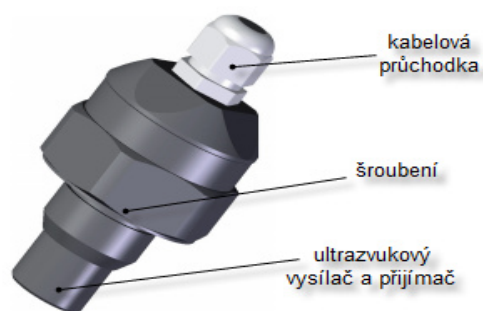
Energetické poměry jsou znázorněny na Obr. I.2.6.1. Měření ultrazvukového hladinoměru je ovlivňováno hustotou a teplotou prostředí, přítomností technického zařízení v nádrži, tvarem a povrchem hladiny a vestavěných částí uvnitř nádrže.[8].



Obr. I.2.6.1. Energetická bilance ultrazvukového signálu, převzato a upraveno z [14].

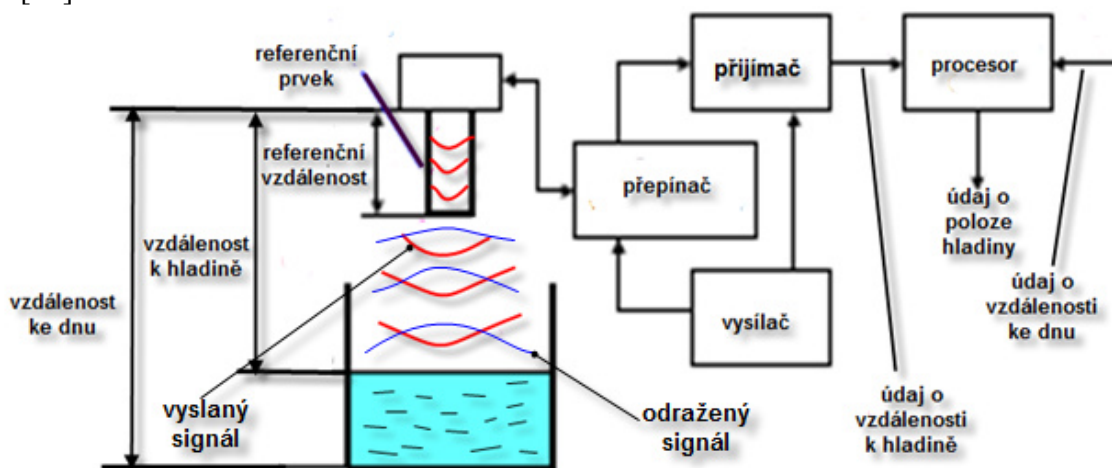
Rychlost ultrazvuku závisí na hustotě, a tedy i na teplotě prostředí a tak bývají přesné ultrazvukové hladinoměry vybaveny příslušným korekčním obvodem, který slouží ke korekci podle výsledků měření teploty.

Pokud se mění hustota prostředí i z jiných důvodů, než změnou teploty, je ultrazvukový hladinoměr vybaven automatickou korekcí.[8] Senzor je opatřen referenčním prvkem, například drátem ve tvaru U, který stanovuje neměnnou referenční vzdálenost. Elektronický obvod změří jednak dobu, kterou potřebuje ultrazvukový signál pro překonání referenční vzdálenosti, a jednak čas jeho průletu k hladině a zpět. Čas potřebný k překonání referenční vzdálenosti je nutný pro vypočtení rychlosti ultrazvuku v určitém prostředí. Polohu hladiny pak stanoví mikroprocesor na znalosti vzdálenosti, která byla naměřena při nenaplněné nádrži. Údaje o poloze hladiny u této měřicí metodě nezávisí na změnách rychlosti ultrazvuku v prostředí nad hladinou kapaliny. Výstupní signál snímače je buď v analogové, nebo číslicové formě. [8].



Obr. I.2.6.1. Ultrazvukový hladinoměr ULM-53L firmy Dinel[®], převzato a upraveno

z [15].



Obr. I.2.6.2. Měření ultrazvukovým signálem s referenčním prvkem, převzato a upraveno z [8].

Přesnost měření ultrazvukovým snímačem je méně přesné u nádrží s přírubami, potrubím, míchadly, přepážkami a jiným vestavěnými prvky. Při použití „inteligentních snímačů“ se proto při prázdné nádrži provede zmapování nádoby, při kterém se zaznamenají všechny odrazy, jež přijímač přijme, a uloží se doba průchodu prostředím i amplituda odraženého ultrazvukového signálu.

Výsledek se statisticky vyhodnotí a zmapovaný tvar prázdné nádoby, se v digitalizované podobě uloží do paměti mikroprocesoru. Při použití vhodného programu ke zpracování výsledku měření je tedy výsledkem pouze signál odražený od hladiny a klamné odrazy se vyloučí Obr. I.2.6.2. [14]

I.2.7. Radarové hladinoměry

Radarové snímače hladiny pracují analogicky jako ultrazvukové hladinoměry [17], ovšem při použití elektromagnetického vlnění nazývané mikrovlnné záření, jež se šíří rychlostí světla.

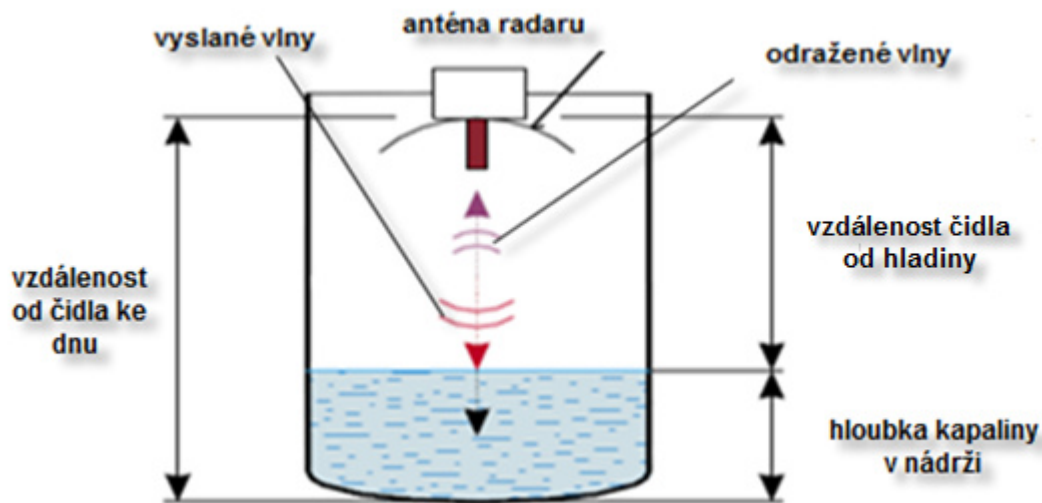
Měřící princip: [17]

Velmi krátké vysokofrekvenční impulsy jsou vysílány anténím systémem k měřené hladině. Odražené vlny se vrací zpět a měří se čas k hladině a od hladiny. Z tohoto času se stanoví výška hladiny. [17]

Radarové snímače hladiny pracují obdobně jako ultrazvukové hladinoměry, s rozdílem, že používají elektromagnetické vlnění - mikrovlnné záření, jež se šíří prostředím rychlostí světla s frekvencí 2 GHz.

Radarové hladinoměry využívají dvě měřící metody. **Pulzní metoda** na jejímž principu pracuje pulzní radar jenž pracuje s krátkými mikrovlnnými impulsy s frekvencí například 5,8 MHz a s dobou trvání asi 1 ns, které se šíří do prostoru prostřednictvím antény Obr. I.2.7.1. Od hladiny se vlna částečně odrazí zpět k vysílači a částečně prochází do kapaliny. Měří se čas, kdy elektromagnetické vlny z vysílače dorazí k hladině a pak zpět k přijímači. Z času, který uplyne mezi vysláním a přijetím impulsu se podle vztahů (9) a (10) stanovuje poloha hladiny h . [14] **Frekvenční metodu**, [1] která spočívá na vysílání spojitého signálu s proměnnou frekvencí. Šířící se signál je většinou modulován pilovitě a mění plynule svoji frekvenci od f_{\min} do f_{\max} . [1] Ze stanovené rychlosti přeladování a změřených hodnot frekvencí vyslaného a přijatého signálu v čase t_1 se vypočítá vzdálenost, která odpovídá výšce hladiny kapaliny.

Ze zjištěného rozdílu frekvence, dle vztahu (11), se vypočte časový posun dle vztahu (12) a Hlavní výhodou frekvenční metody je, že frekvenční rozdíl lze zjistit velmi přesně, a tak lze stanovit výšku hladiny s přesností až ± 1 mm.



Obr. I.2.7.1 Radarový hladinoměr, převzato a upraveno z [14].



Obr. I.2.7.2 Radarový hladinoměr Vega 68 firmy Vega Grieshaber KG, převzato a upraveno z [17].

Vztah pro výpočet rozdílu frekvencí

$$\Delta f = f_1 - f_0 \quad (11)$$

kde

- Δf je rozdíl frekvencí
- f_1 je frekvence odeslaná
- f_0 je frekvence přijatá

Vztah pro výpočet časového rozdílu

$$\Delta t = t_1 - t_0 \quad (12)$$

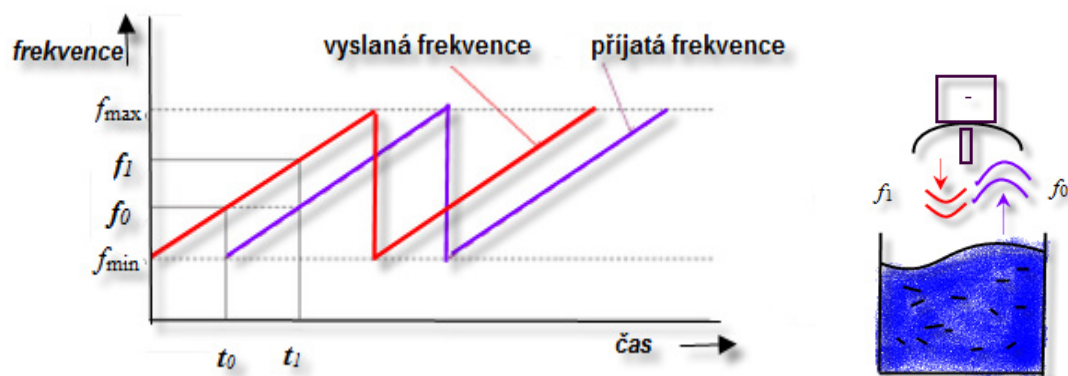
kde

Δt je rozdíl časů

t_1 je čas vyslané frekvence

t_0 je čas přijaté frekvence

Vztah pro výpočet vzdálenosti hladiny od čidla z rozdílů frekvencí



Obr. I.2.7.3, podstata frekvenční metody, převzato a upraveno z [1].

Popis veličin k Obr. I.2.7.3.

kde

f_{max} je maximální frekvence

f_{min} je minimální frekvence

f_1 je frekvence vyslaného signálu

f_0 je frekvence odraženého signálu

t_1 je čas vyslaného signálu

t_0 je frekvence odraženého signálu

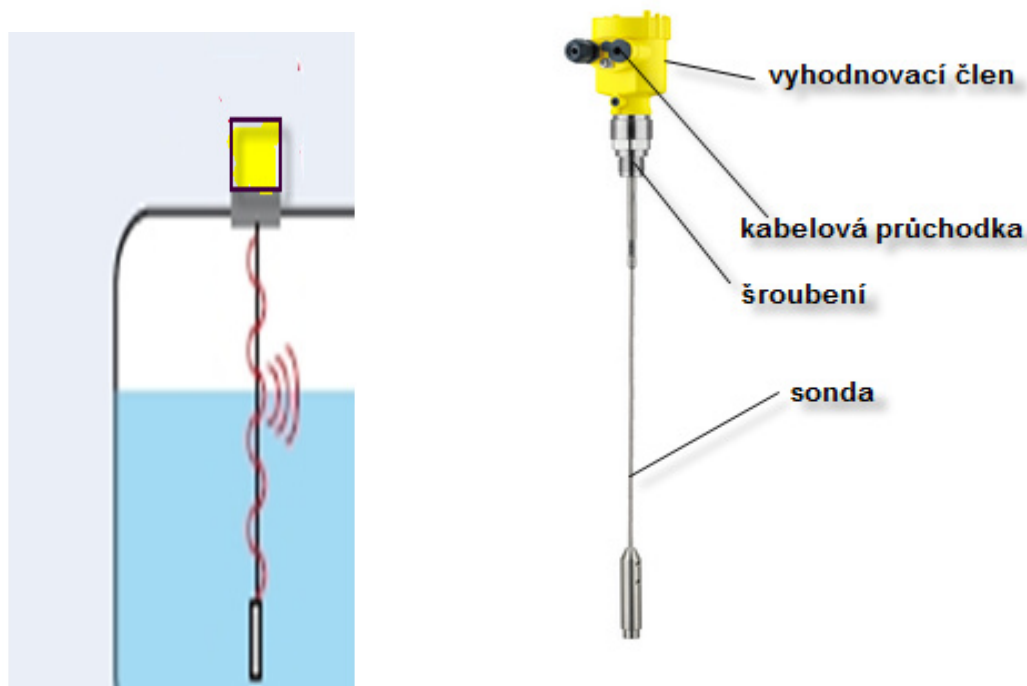
I.2.7.1 Reflektometrické hladinoměry

Zvláštní skupinu mezi radarovými hladinoměry, jsou reflektometrické hladinoměry. Jsou to zařízení s vedeným mikrovlnným signálem.

Měřicí princip: [17]

Vysokofrekvenční mikrovlnné impulsy jsou šířeny podél tyčové sondy, která je ponořena do kapaliny. Elektronická procesní jednotka vyhodnocuje dobu mezi vysláním signálu a přijetím odraženého signálu od hladiny kapaliny.

Funkce reflektometrického hladinoměru vychází ze skutečnosti, že pokud není vedení zakončeno charakteristickou impedancí, odráží se přenášený signál v rovině hladiny, přičemž intenzita odraženého signálu závisí na permitivitě média. Reflektometrický snímač lze použít i k měření polohy rozhraní dvou kapalin. Předností je i velká spolehlivost a opakovatelnost měření a možnost použití v širokém rozmezí teploty a tlaku v nádrži (–50 až +200 °C, popř. od 0,1 do 10 MPa). Nevýhodou je kontakt antény s měřeným médiem. [17].

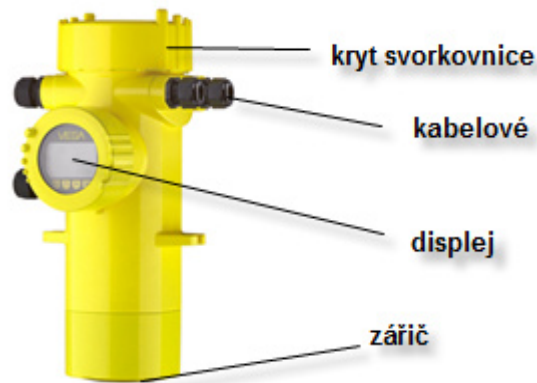


Obr. 1.2.7.1 schéma reflektometrického hladinoměru a reflektometrický hladinoměr Vegaflex 61, převzato a upraveno z [17].

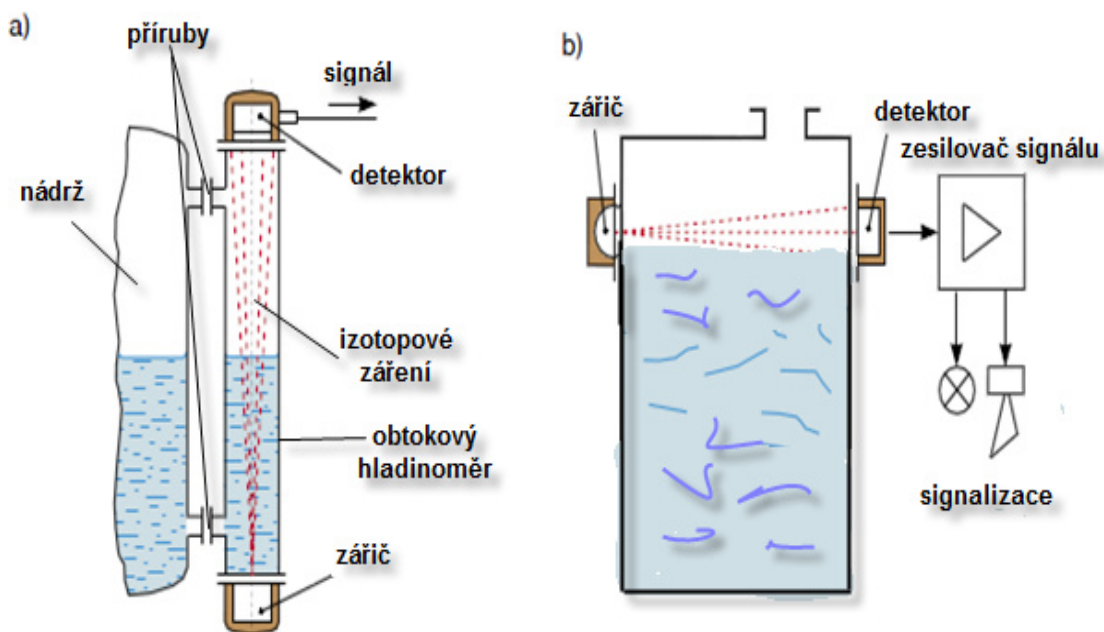
1.2.8 Radioizotopové hladinoměry

Radioizotopové hladinoměry pracují na principu [1], že intenzita radioaktivního záření úměrně klesá s tloušťkou vrstvy materiálu mezi zářičem a detektorem. Vyhodnocuje se tedy zeslabení svazku ionizujícího záření při jeho průchodu sledovaným hmotným prostředím. Radioizotopové snímače hladiny jsou složeny z radioaktivního zářiče a detektoru záření. Radioaktivní zářiče se používá zdroj záření gama, jež velmi dobře proniká materiálem. Snímač na protilehlé straně nádrže přijímá záření z vysílače a měří jeho útlum.

Využívají se izotopy s delším poločasem rozpadu, a to Co 60 poločas rozpadu 5,5 roku nebo Cs 137 s poločasem rozpadu 30,5 roku. Zářič je opatřen olověným krytem tloušťky několik desítek centimetrů. K zjištění záření se využívá Geigerův-Müllerův detektor nebo citlivý scintilační detektor s fotonásobičem. Scintilační detektory jsou citlivé na teplotu, která by neměla překročit limitní hodnotu asi 55 °C. Intenzita záření dopadající na detektor závisí na tloušťce vrstvy měřeného materiálu. [14].



Obr.I.2.8.1.radioizotopový hladinoměr MINITRAC 31 firmy Vega , převzato a upraveno z [17].



Obr. I.2.8.1 Radioizotopové hladinoměry při (a) spojitém a (b) limitním snímání polohy hladiny, převzato a upraveno z [1].

Na obr. I.2.8.1a je zobrazena možnost spojitého měření polohy hladiny radioizotopovým hladinoměrem. Radioaktivní zářič je zabudován v ochranném pouzdru ve spodní části obtokového hladinoměru propojené s nádrží. V horní části obtokového hladinoměru je umístěn detektor. Velkou výhodou radioizotopových hladinoměrů je možnost montáže zářiče i přijímače do soustavy obtokového hladinoměru vně nádrže. Příklad takového bezkontaktního měření se signalizací mezního stavu hladiny v nádrži je na obr. I.2.8.1b. [1]

Omezením při použití radioizotopových hladinoměrů je nutnost ochrany obsluhy před účinky radioaktivního ozáření a povinnost zajistit pravidelné kontroly ve smyslu zákona 18/97 Sb. [14]

Radioizotopové hladinoměry se uplatní zejména v náročných provozních podmínkách, při kterých jiné metody nevyhovují, tj. při měření polohy hladiny látek silně agresivních, viskózních, při extrémních teplotách a tlacích, včetně vakua, při velké prašnosti i při vibracích nádoby. [1]

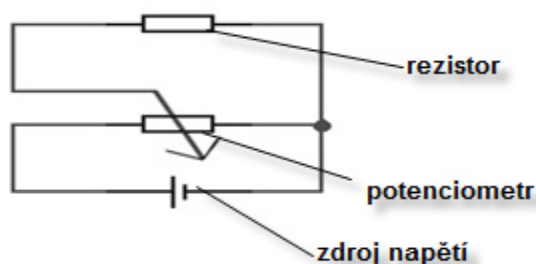
I.3.1 Výběr vhodného typu snímače hladiny pro měření paliva v automobilové nádrži

Hlediska důležitá pro volbu hladinoměru:

- fyzikální a chemické vlastnosti měřené kapaliny
- účel měření, požadavek na spojitě či limitně snímání polohy hladiny kapaliny
- charakter výstupního signálu, signalizace mezních stavů, regulace hladiny kapaliny
- zjišťování množství náplně kapaliny v nádrži
- měřicí rozsah, požadovaná přesnost měření hladiny kapaliny
- způsob montáže, požadavky na údržbu a kalibraci měřícího zařízení
- náklady na pořízení a provoz měřícího zařízení [18]

I.3.2 Potenciometr

Pro měření v automobilové technice se používají plovákové hladinoměry s potenciometrem, který je realizován pomocí porcelánové destičky s napařenou odporovou vrstvou a pohyblivým jezdcem s propojovacími kontakty. Na pohyb jezdce se přenáší poloha plovákové páky. Automobilová technika vyžaduje spolehlivá a levná řešení což tento plovákový hladinoměr splňuje.



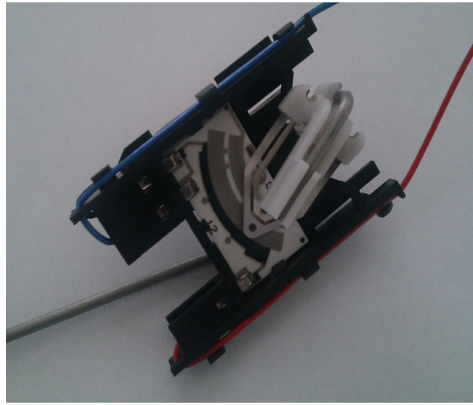
Obr. I.3.1 regulace napětí na rezistoru, pomocí potenciometru, převzato a upraveno z [18].

Potenciometr: Na rezistoru R je maximální napětí, jež je rovné napětí zdroje, je-li jezdec potenciometru na krajní poloze vlevo. V tom případě tvoří rezistor a potenciometr paralelně zapojené rezistory a rezistorem teče maximální proud dle vztahu (13). Je-li jezdec potenciometru úplně opačné krajní poloze vpravo, je napětí na rezistoru nulové a také jím neteče žádný proud.

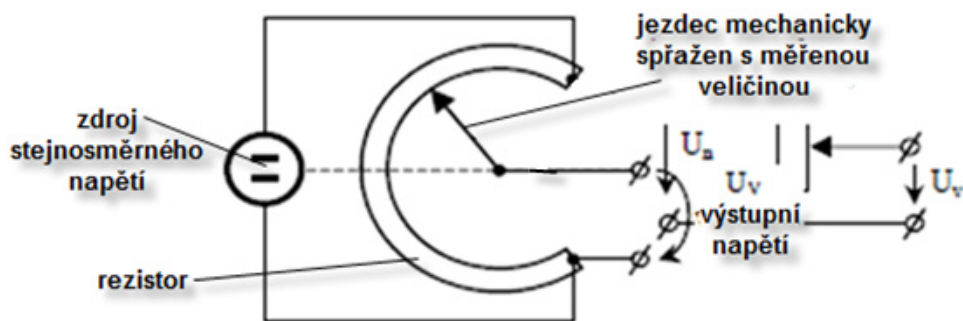
$$I_{max} = \frac{U}{R} \quad (13)$$

kde

I_{max} je maximální proud
 U je napětí
 R je rezistor



Obr. I.3.2 Potenciometrický snímač hladiny paliva používaný v čerpadlových modulech, foto autor.



Obr. I.3.3 Potenciometrický snímač hladiny paliva schéma, převzato a upraveno z [19].

Popis veličin k Obr. I.3.3

kde

U_n je jmenovité napětí
 U_v je výstupní napětí

I.3.3 Indukční snímač

Indukční snímače jsou pasivních snímače, kdy měřenou neelektrickou veličinu převádí na změnu indukčnosti. Indukční snímače bývají zapojeny do obvodu s pomocným střídavým napětím. [1]

Vztah pro indukčnost cívky

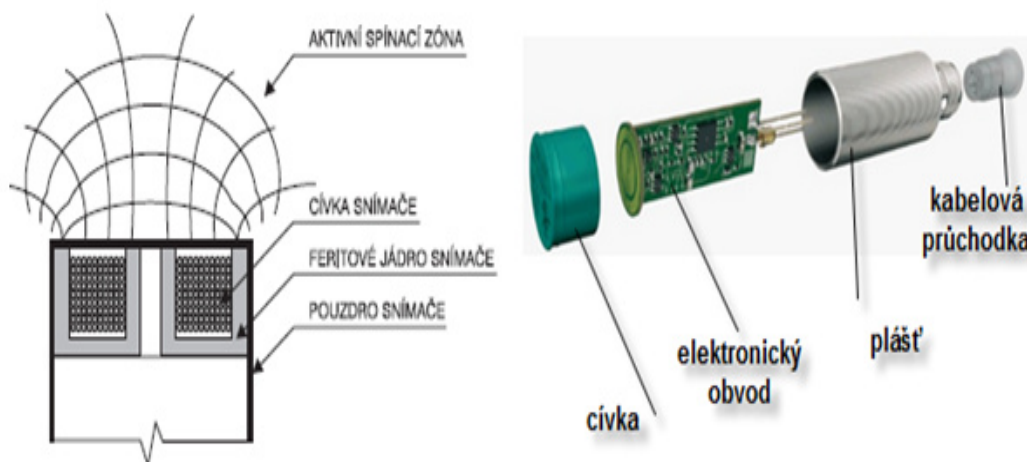
$$L = \mu \frac{S N^2}{l} \quad (14)$$

kde

L je indukčnost cívky
 μ je permeabilit magnetického obvodu

- l je délka cívky
- S je plocha cívky
- N je počet závitů

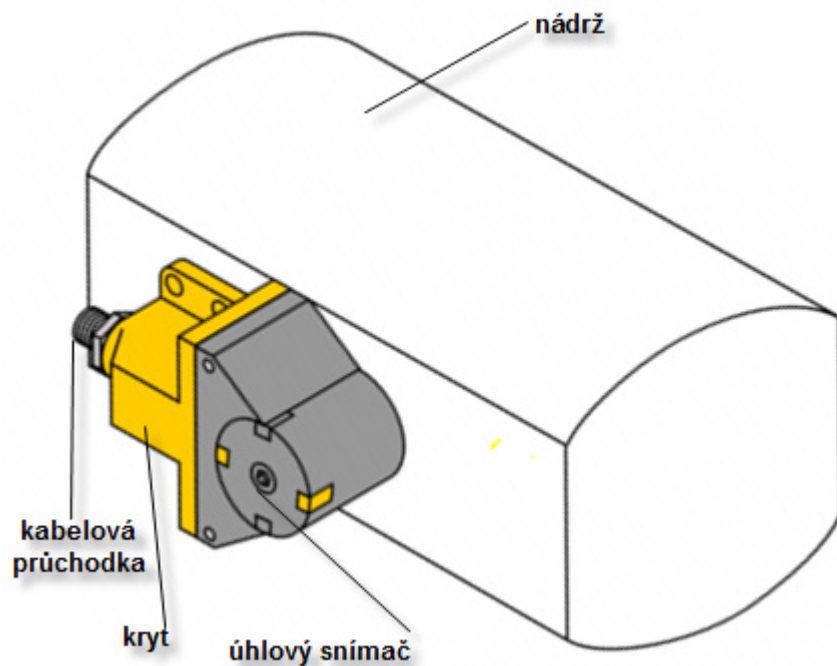
Indukčnost cívky je závislá na počtu závitů, na tvaru feromagnetického jádra, na tvaru cívky a na permeabilitě obvodu. Nejčastěji se ve snímačích využívá změny geometrických rozměrů magnetického obvodu, hlavně vzduchové mezery. Jednoduchý a rozšířený indukční snímač pracuje s proměnnou šířkou vzduchové mezery.[18] Přesnější snímač s proměnou vzduchovou mezerou je transformátorový snímač. Indukční snímače nejsou tak přesné jako odporové, protože kromě teplotních vlivů má na měření vliv i frekvence napájecího napětí. Většinou se používají diferenciální snímače v můstkovém zapojení, tak pak jsou uvedené vlivy minimální. [19]



Obr. I.3.3.1. Aktivní spínací zóna indukčního spínače a indukční snímač, převzato a upraveno z [23]

Indukční úhlový senzor.

Funkční princip indukčního měřicího úhlového senzoru [23] je založen na vazbě oscilátoru a tak nejsou senzory rušeny zmagnetovanými železnými předměty ani jinými rušivými poli. Při práci nedochází k opotřebením senzorů. Díky diferenciálnímu vyhodnocování zůstává výstupní signál prakticky beze změny, pokud se poloha snímacího elementu odchýlí od ideální osy otáčení.



Obr. I.3.3.2. Indukční úhlový senzor s analogovým výstupem Ri360P1-DSU35-ELiU5X2-H1151, převzato a upraveno z [23].

I.3.4 Kapacitní snímač

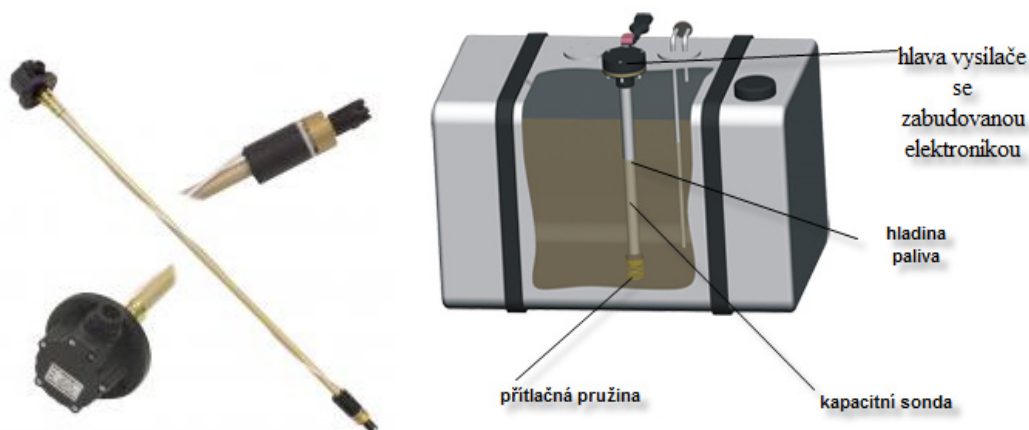
Kapacitní snímače vyhodnocují změnu kapacity vyvolanou předmětem, který vstoupí do elektrického pole kondenzátoru. [20] To znamená, že mohou snímat nejen vodivé ale i nevodivé materiály, jejichž permitivity jsou dostatečně velké.

Kapacitní hladinoměr je určen k měření úrovně hladiny paliva v nádržích silničních vozidel. Umožňuje spojitě měření výšky hladiny. V případě vozidel je zastaven v horní části nádrže vozidel ve svislé poloze. K přednostem těchto snímačů patří vysoká přesnost měření respektující změny dielektrických vlastností pohonných hmot. [20]

Kapacitní hladinoměr je konstrukční celek tvořený:

- snímací kapacitní sondou (snímání úrovně hladiny média)
- posuvným kapacitním kompenzačním čidlem (měření dielektrických vlastností média a jeho teploty)
- hlavou vysílače se zabudovanou elektronikou
- Snímací elektrodu tvoří soustava soustředných trubek, které vytvářejí kondenzátor, jehož dielektrikem je měřené palivo

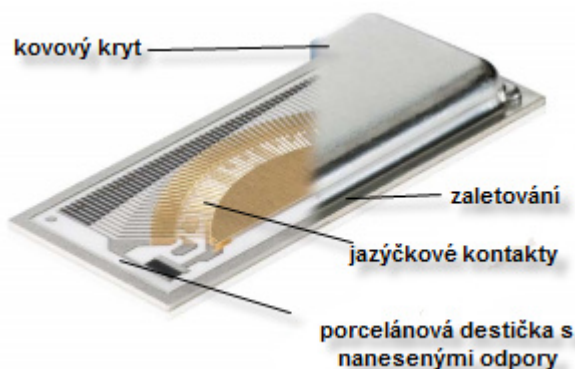
Elektronické obvody informaci o okamžité úrovni paliva v nádrži korigují na základě změn dielektrických vlastností měřeného média. Výsledná hodnota úrovně hladiny se přenáší digitálním nebo analogovým výstupem k dalšímu zpracování v nadřazených systémech. Změny úrovně hladiny jsou vyhodnocovány jako změny objemu paliva v nádrži podle kalibrační křivky charakterizující příslušnou nádrž. Kalibrační křivku nádrže lze vytvořit pomocí kapacitního hladinoměru, což umožňuje jeho použití ve funkci palivoměru. [20]



Obr. I.3.4.1. LM1.2 - Kapacitní hladinoměr pro silniční vozidla, převzato a upraveno z [20]

I.3.5 Magnetický snímač s jazýčkovým relé

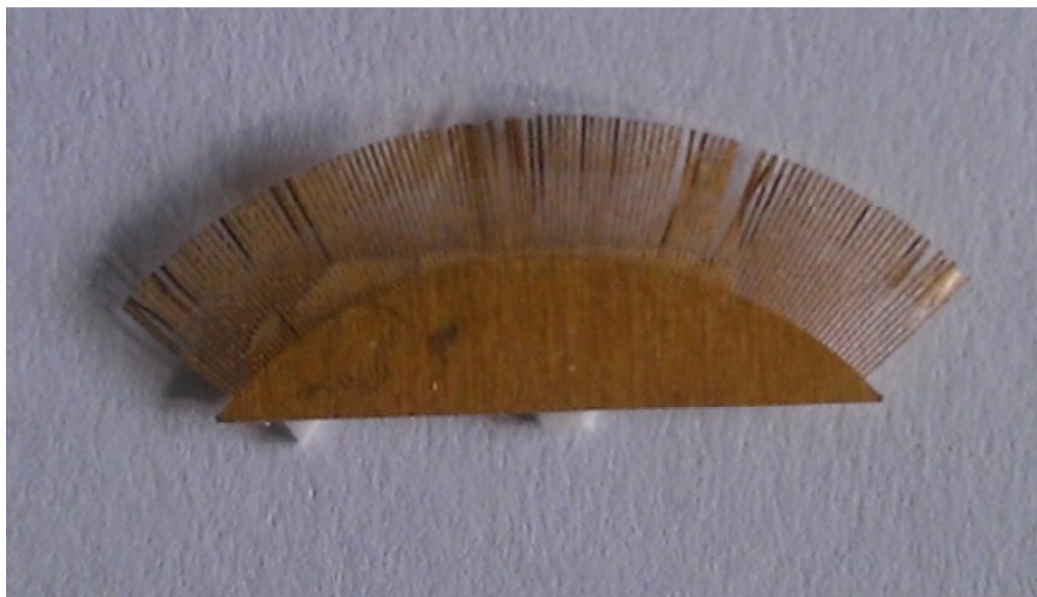
Magnet může spínat jazýčkové kontakty potenciometrického snímače. Tento snímač je vhodný pro snímání a indikaci polohy hladiny agresivních, hořlavých i toxických kapalin. Používá se v aplikaci pro etanolová paliva v čerpadlových modulech. Magnet přitahuje kontakt na porcelánovou destičku s napařenou odporovou vrstvou, takže funguje jako potenciometr. [21]



Obr. I.3.5.1. Magnetický snímač s jazýčkovým relé, převzato a upraveno z [22].



Obr. I.3.5.2. Magnetický snímač s jazýčkovým relé, foto autor.



Obr. I.3.5.3. Jazyčkové kontakty, foto autor.

I.3.6 Magnetický snímač s Hallovou sondou

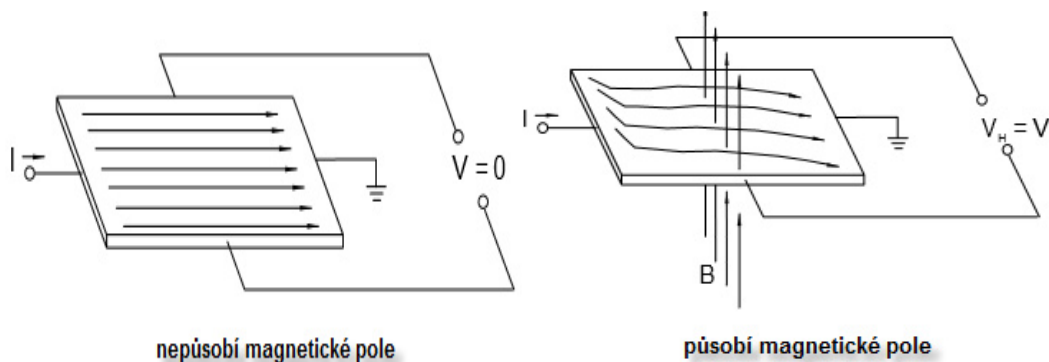
Úvod

Jelikož navržený hladinoměr je na principu Hallova efektu je část věnovaná magnetickým snímačům obsáhlejší než ostatní části.

Hallův efekt byl objeven Dr. Edwinem Hallem v roce 1879, když byl studentem doktorského studijního programu na Johns Hopkins University v Baltimore. Hall se pokusil ověřit teorii elektronového toku navrženou Kelvinem asi o 30 let dříve. [25] Dr. Hall pozoroval jev, že když byl umístěn magnet tak, aby jeho pole bylo kolmo na jedné straně tenkého obdélníku zlata, jímž tekl proud, objevil se rozdíl v napětí na opačných okrajích. Zjistil, že toto napětí je úměrné proudu a hustotě toku, který teče vodičem, když je magnetická indukce kolmá na vodič. Hallovy experimenty byly úspěšné a byly dobře přijaty, ale v jeho době, nebylo možné tento jev prakticky využít. Teprve více než po 70 letech s příchodem polovodičových materiálů v roce 1950 našel Hallův jev své první aplikace. Nicméně, tyto aplikace byly výrazně omezeny náklady. V roce 1965, inženýři Everett Vorthmann a Joe Maupin z průzkumu a řízení vývoje v MICRO SWITCH, se spojili v práci najít praktické, nízko nákladové polovodičové čidlo. Mnoho různých pojetí bylo zkoumáno, ale oni si vybrali Hallův jev pro jeden základní důvod a to že čidlo mohlo být zcela integrováno na jednom křemíkovém čipu. Tento průlom vyústil v první použití Hallova jevu pro levné čidlo. [25]

I.3.6.1 Základní teorie Hallova jevu

Je-li vodič nesoucí proud umístěn do magnetického pole, bude napětí vytvořeno kolmo na současné napětí. Tento princip je známý jako Hallův jevu. [25]



Obr. I.3.6.1.1 znázorňuje základní princip Hallova efektu, převzato a upraveno z [25].

Tenký plátek polovodičového materiálu, přes který prochází proud a zároveň na procházející proud působí Lorentzova síla. Tato síla narušuje rozložení proudu, což má za následek potenciální rozdíl (napětí) přes výstup. Toto napětí se nazývá Hallovo napětí. Hallovy sondy mohou být použity v mnoha typech snímacích zařízeních.

V případě, že veličiny, které mají být snímány, obsahují magnetické pole, bude snímač na principu Hallova jevu fungovat. [25]

Pokud tedy Hallův element, jímž protéká konstantní hodnota proudu \vec{I}_C a není vystaven působení magnetického pole \vec{B} , je napětí U_H na jeho svorkách nulové. Pokud se objeví v jeho okolí magnetické pole, působí na elementem procházející proud elektronů tzv. Lorentzova síla, která elektrony vychyluje z přímého směru vždy k jedné boční straně destičky silou podle vztahu (14). Změní se tak rozložení náboje, kdy na jedné straně je větší koncentrace nosičů náboje (elektronů) než na druhé a tedy obě boční stěny destičky mají rozdílný potenciál. Vzniká tak elektrické pole E a na svorkách Hallova elementu se generuje tzv. Hallovo napětí U_H vztah (15 a 16). [25]

Vztah pro Lorentzovu sílu

$$\vec{F} = Q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (14)$$

kde

Q je elektrický náboj
 \vec{v} je rychlost
 \vec{B} je magnetická indukce

Vztah pro přibližné stanovení Hallova napětí

$$U_H \approx \vec{I} \times \vec{B} \quad (15)$$

kde

U_H je Hallovo napětí
 \vec{I} je el. Proud
 \vec{B} je magnetická indukce

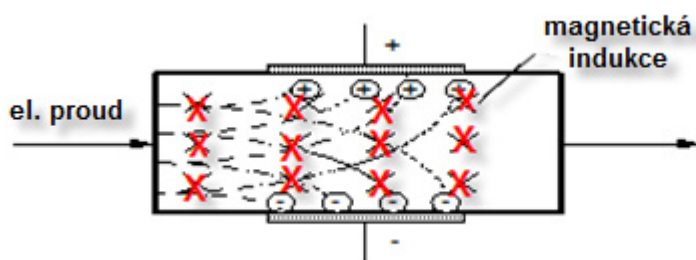
Vztah pro stanovení Hallova napětí

$$-U_H = R_H \vec{I} \vec{B} \quad (16)$$

Kde

$-U_H$ je Hallovo napětí
 R_H je Hallova konstanta
 \vec{I} je el. Proud
 \vec{B} je magnetická indukce

Senzor využívá Lorentzovu sílu, kterou působí magnetické pole \vec{B} na pohybující se elektrický náboj, resp. proud. \vec{I}



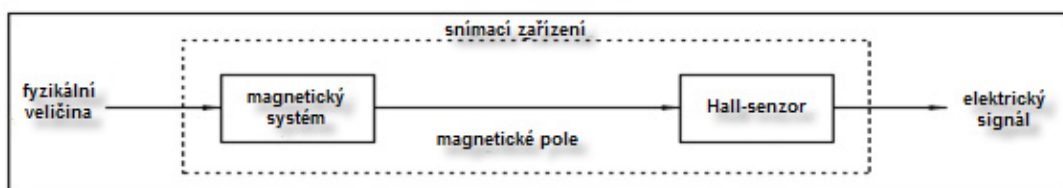
Obr. I.3.6.1.2 ukazuje, jak se na jedné boční straně čidla hromadí kladný a na druhé boční straně záporný náboj, převzato a upraveno z [24].

Magnetické pole lze generovat buď klasickým permanentním magnetem, přičemž jeho přiblížováním či oddalováním se mění velikost Hallova napětí, nebo elektromagnetem, kdy se stejnou regulací lze provádět změnou proudu cívky. Základní Hallův element má sice teoreticky neomezenou lineární převodní charakteristiku, ale v praxi je Hallův snímač omezen rozsahem napájecího napětí a saturací zesilovače, který malé Hallovo napětí zesiluje. Snímač tak má v omezeném, kolem nuly symetrickém rozsahu mag. indukce lineární průběh, přičemž po překročení mezí dané vyhodnocovací elektronikou dochází k omezení výstupního napětí (oblast saturace). Hallův senzor tak nelze působením velké intenzity mag. pole zničit ani poškodit. [14] Hallův jev patří v současné době mezi časté využívané fyzikální principy jak přímo pro potřeby měření a detekce magnetického pole, tak i pro výrobu bezdotykového ovládání a zjišťování pohybu.

Díky dostatečně vysokému Hallovu efektu křemíkového polovodičového materiálu, je možné vyrábět plně integrované jednočipové senzory, které obsahují jak samotný Hallův

element/snímač, tak i vyhodnocovací obvody nebo i mikroprocesor. Tyto možnosti tak zajišťují Hallova senzoru jistou budoucnost. [25]

Hallové senzory převádějí magnetické pole na elektrický signál. Obecně však platí, že se snímají fyzikální veličiny (poloha, rychlost, teplota, atd.), ale ne magnetické pole. Snímací systém snímá změnu uvedené fyzikální veličiny a převádějí na změnu magnetického pole, Tato změna je snímána senzory s Hallovým účinkem. Blokové schéma na obrázku ilustruje tento koncept.



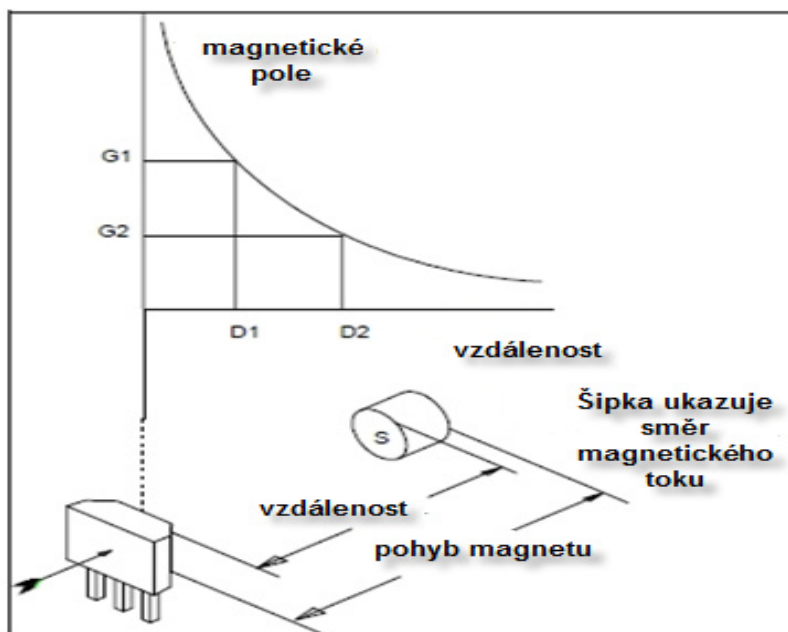
Obr. I.3.6.1.3 Blokové schéma Hallova jevu v obecném systému, převzato a upraveno z [25].

Velkou výhodou použití Hallova elementu při detekci přiblížení je schopnost rozlišit severní a jižní pól magnetu či elektromagnetu, čímž mimo samotného zjištění přítomnosti magnetu v nějaké definované vzdálenosti, je možné, na rozdíl například od indukčních senzorů, i dvoupohově určit natočení. [25]

I.3.6.2 Unipolární čelní režim

Obrázek I.3.6.2.1 ukazuje, Unipolární čelní způsob ovládání čidla. Termín "čelní" ukazuje na způsob, jakým se magnet pohybuje vzhledem k referenčnímu bodu čidla. V tomto případě směr magnetu je směr pohybu a je přímo na senzor, s magnetickými liniemi toku procházejícího referenčním bodem čidla. Magnet a snímače jsou umístěny tak že, jižní pól magnetu se bude blížit snímací části Hallově čidla. Proud siločar jsou vektorová veličina s konkrétním směrem (od magnetu severního pólu k jeho jižnímu pólu). Indukce říká, že kladná polarita, je tehdy pokud je směr je stejný jako snímače a to definuje referenční směr. V tomto režimu jsou siločary magnetického toku ve sledovaném směru (kladné). [25]

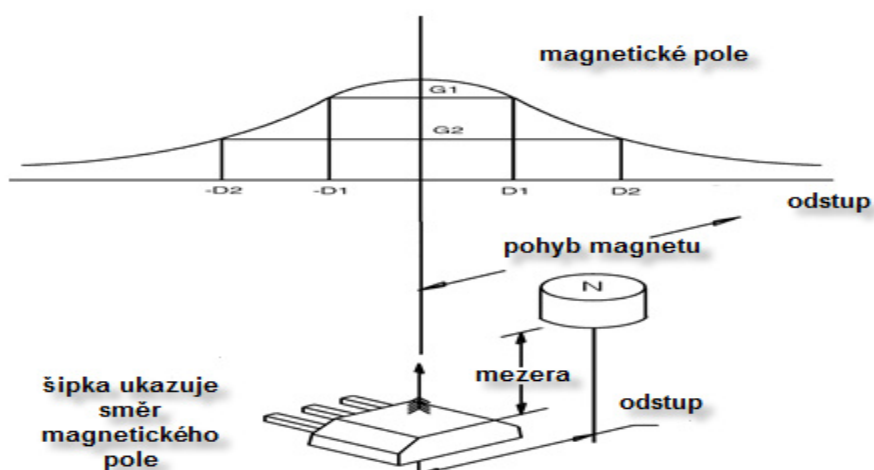
V důsledku toho je tento režim známý jako unipolární. V unipolárním čelním režimu, vztah mezi magnetickým polem a vzdáleností je dána z Newtonova gravitačního zákona. Vzdálenost se měří od čela senzoru na jižní pól magnetu a to ve směru pohybu.



Obr. I.3.6.2.1 ukazuje unipolární čelní režim, převzato a upraveno z [25].

I.3.6.3 Unipolární klouzávý režim

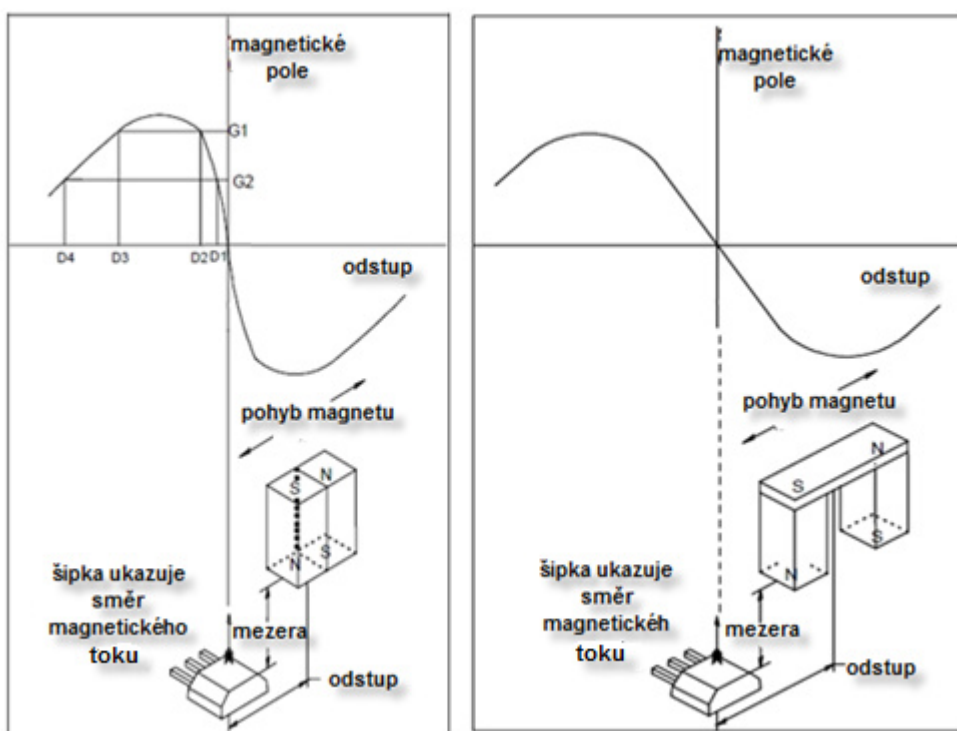
V unipolárním klouzávěm režimu se magnet pohybuje v horizontální rovině pod aktivní plochou čidla. Vzdálenost v tomto režimu se měří vzhledem ke středu magnetu což je pól a plocha čidla a referenční bod je ve vodorovné rovině magnetu. Gaussova křivka ve vztahu proti vzdálenosti v tomto režimu je křivka ve tvaru zvonku. Vrchol křivky je funkcí vzdálenosti, pokud je vzdálenost menší pak je vyšší vrchol křivky. Tento režim se používá buď jako kontinuální nebo vratný pohyb. Bod, ve kterém senzor bude fungovat, je přímo závislý na směru, ve kterém se magnet blíží k senzoru. [25]



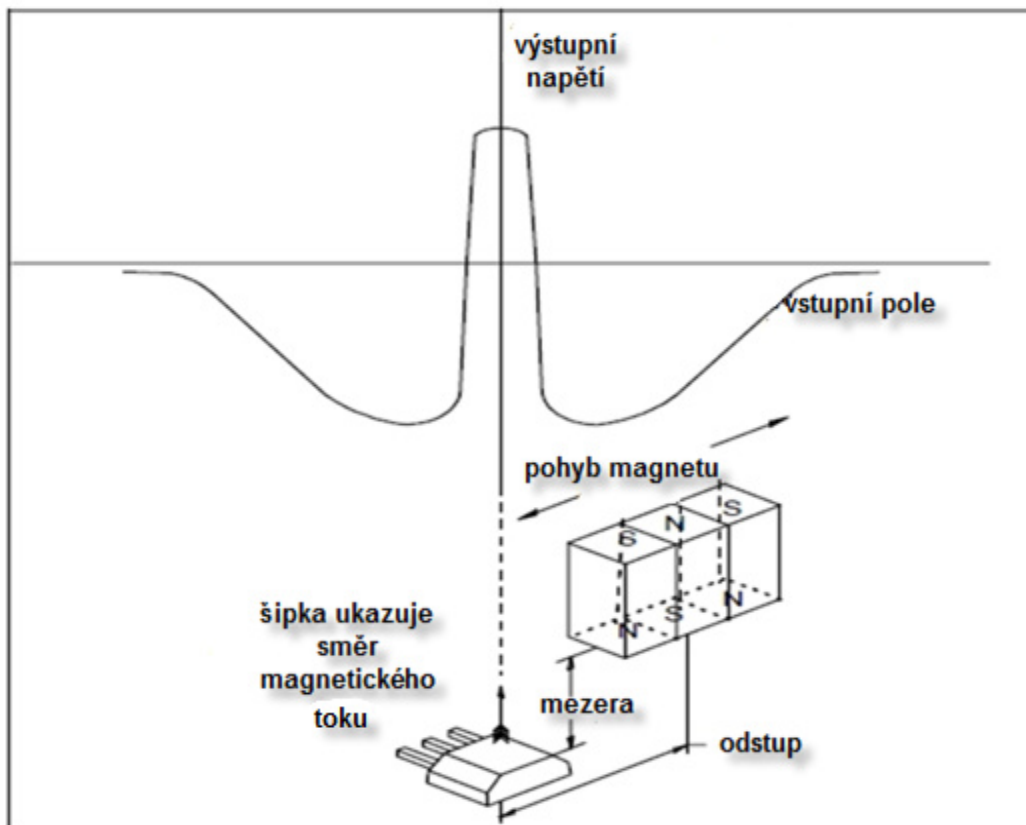
Obr. I.3.6.3.1 ukazuje unipolární klouzávý režim, převzato a upraveno z [25].

I.3.6.4 Bipolární klouzávy režim

Bipolární klouzávy režim se skládá ze dvou magnetů, pohybujících se ve stejné rovině jako u unipolárního režimu. V tomto režimu se vzdálenost měří ve vztahu ke středu párového magnetu a referenčního bodu čidla. Magnetické pole ve vztahu proti odstupu je vyjádřeno křivkou ve tvaru "S", která má kladnou i zápornou část. Kladná a záporná polovina křivky je výsledkem blízkosti severního nebo jižního pólu magnetu a tím zda je vpravo nebo vlevo od referenčního bodu snímače. [25] Doporučuje se používat v tomto typu aplikace magnety s vysokou permanencí. Lze použít ještě jednu variaci bipolárního klouzávyho režimu. V tomto režimu magnet s jeho jižním pólem stojí k referenčnímu bodu senzoru, včleněn mezi dva magnety s opačnou orientací magnetických pólů. Křivka vyplývající z této magnetické konfigurace je symetrická podél osy vzdálenosti a má kladný vrchol poněkud nižší než záporné vrcholy. Při použití digitální výstupu Hallova čidla, bude ovládnání buď na levém, nebo pravém sklonu křivky v závislosti na směru pohybu. Vzdálenost mezi dvěma body závisí na šířce pulsu, a ta je zase funkcí šířky od středu magnetu. Doporučuje se také u této konfigurace, používat magnety s vysokou permanencí [25]



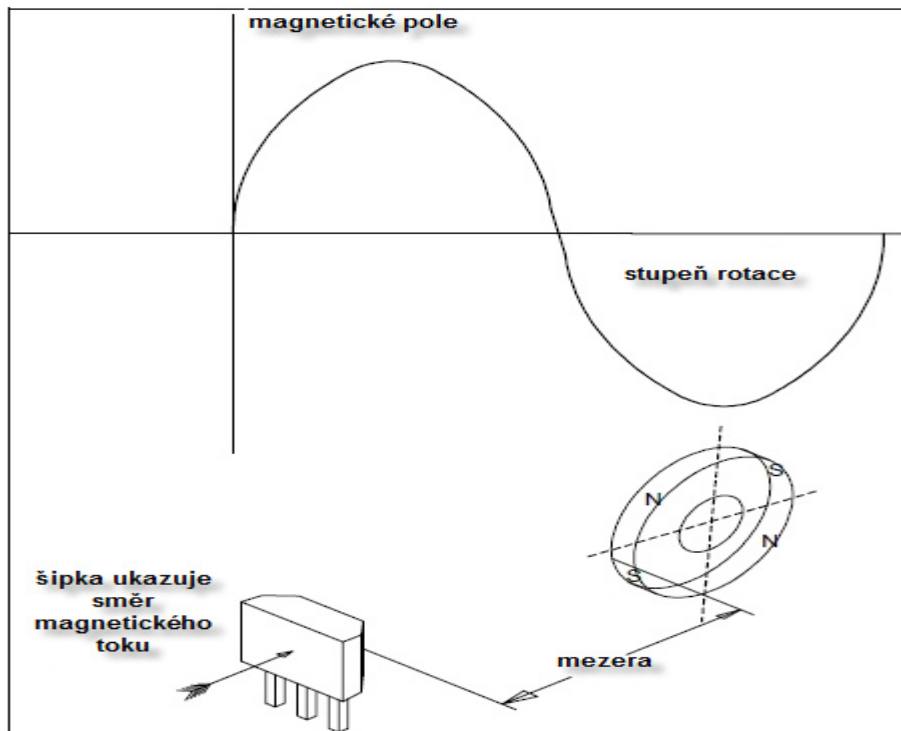
Obr. I.3.6.4.1 ukazuje bipolární klouzávy režim s dvěma póly převzato a upraveno z [25].



Obr. I.3.6.4.2 ukazuje bipolární klouzávy režim s třemi póly, převzato a upraveno z [25].

I.3.6.5 Bipolární klouzávy režim (kruhový magnet)

Další variace na bipolární klouzávy režim, vyplývá z použití kruhového magnetu. Kroužek magnet ve tvaru disku z magnetického materiálu s pólovými dvojicemi je magnetizován kolem obvodu. V tomto režimu má rotační pohyb za následek sinusový tvar křivky. Kruhový magnet má dva pólové páry (kombinace sever a jih). Kruhové magnety jsou k dispozici s různými počty pólových párů v závislosti na aplikaci. Je třeba poznamenat, že čím větší je počet pólových párů, tím menší je vrchol magnetického pole od magnetu. Protože je obtížné produkovat magnetický materiál s naprosto jednotnými vlastnostmi po celém obvodu, je sinusový výstup jen zřídka kdy realizován. Když je kruhový magnet použit ve spojení s digitálním výstupem Hallovy sondy výstupních impulsů, bude pro každý impuls pólový pár. Tak pro 30 pólových dvojic kruhového magnetu, lze za jednu otáčku získat 30 impulsů. [25]

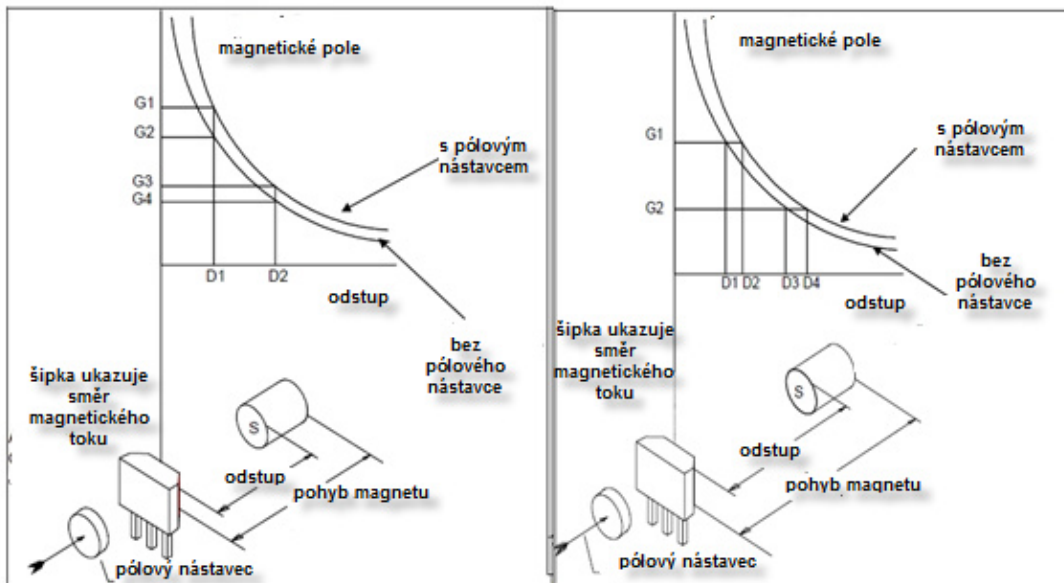


Obr. I.3.6.5.1. ukazuje bipolární klouzavý režim pro kruhový magnet, převzato a upraveno z [25].

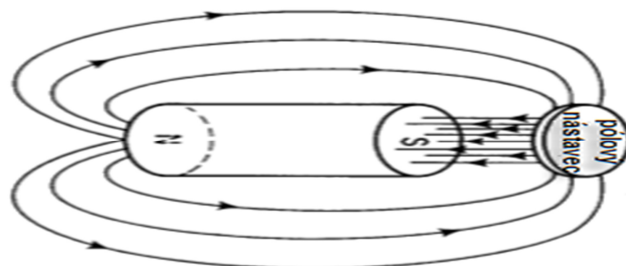
I.3.6.6 Systém s pólovými nastavci

Někdy je cenově výhodnější použít magneticky měkkých materiálů, známé jako pólové nastavce nebo koncentrátoři toku s menší magnetizací. Když se přidají k magnetickému systému, poskytují nižší cestu odporu linii toku. Výsledkem je, že pólové nastavce jsou spíše jako vodivý kanál magnetického pole a změny hustoty toku v magnetickém obvodu. [25]

Je-li tyčový kus umístěn proti pólu magnetu, zvyšuje se hustota toku ve vzduchové mezeře mezi nimi. Indukce na opačné straně pólových nastavců je obdobně snížena. Je-li tyčový kus přidán do magnetického systému pracujícím v unipolárním klouzavém režimu, nastane změna hustoty magnetického pole. Zvýšení hustoty toku, způsobené pólovým nastavcem, je úměrné, jak se magnetický systém blíží k referenčnímu bodu čidla, tím se zvyšuje hladina magnetického pole a to umožňuje použití méně citlivého senzoru. Poslední výhodou je, že přidáním pólového nastavce je umožněno použití magnetického pole s nižší intenzitou. Tak pólový nastavec umožňuje použít menší magnet nebo magnet z jiného materiálu pro dosažení stejných provozních vlastností. Je třeba poznamenat, že pólové nastavce poskytují stejné výhody ve všech výše uvedených režimech. Vzhledem k prospěchu, který vyplývá z použití pólových nastavců, jsou integrovány do mnoha sestav senzorů pro zajištění vysoké citlivosti zařízení. [25]



Obr. I.3.6.6.1 ukazuje unipolární čelní režim s použitím pólového nástavce, převzato a upraveno z [25].

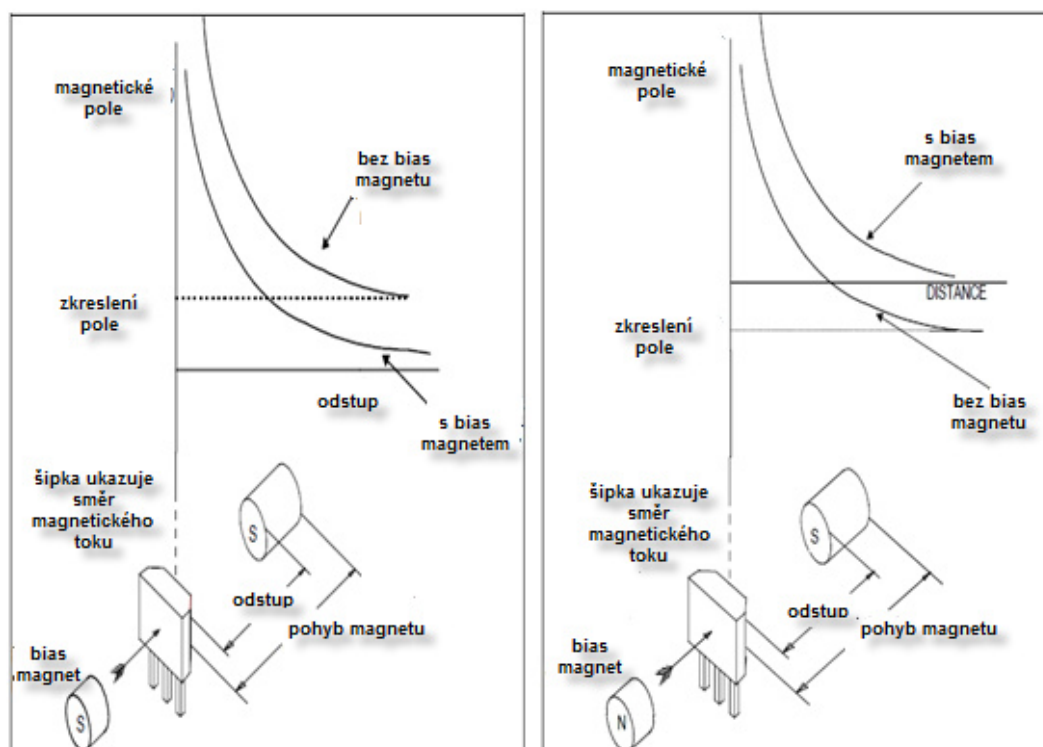


Obr. I.3.6.6.2 tyčového magnetu s pólovým nástavcem, převzato a upraveno z [25].

I.3.6.7 Systém s před magnetizací (bias) magnetu

Magnetické systémy mohou být změněny přidáním magnetů, jež způsobí předmagnetizaci. [25]

Účinek magnetů lze zvýšit nebo snížit předmagnetizací hustotu toku u referenčního bodu snímače. Souhlasně působící magnet zavedený do magnetického systému ve stejném směru, jako pohybující se magnet, způsobí v poli u čidla zvýšení referenčního bodu. Reverzní orientace přidaného magnetu bude mít za následek zkreslení pole, které odečte z oblasti pohybu magnetu v režimu bipolárním. Poloha předmagnetovacího magnetu může být upravena tak, aby bylo možné jemné doladění charakteristiky magnetické křivky. Bias magnet může být použit k úpravě nebo úpravě i digitálního výstupu Hallova senzoru. Opatrnosti je třeba při užívání bias magnetů proti magnetickému poli což může způsobit částečné demagnetizace. V důsledku toho je třeba používat pouze magnety s vysokou koercivitou (tj. magnety ze vzácných zemin). [25]



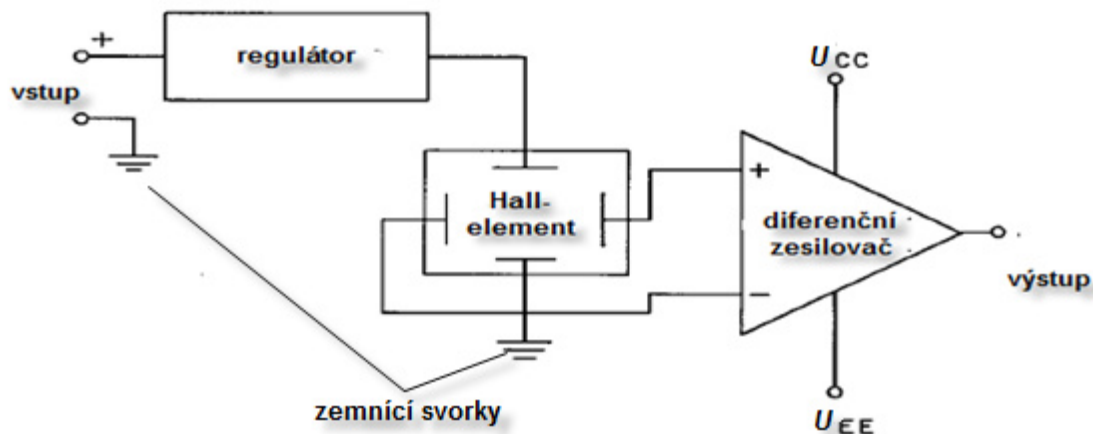
Obr. I.3.6.7.1 ukazuje zkreslení magnetického pole po přidání bias magnetu do magnetického systému, převzato a upraveno z [25].

I.3.6.8 Hallův jev v integrovaných senzorech

Hallův snímač je základním prvkem snímače magnetického pole. To vyžaduje od signálu, aby byl výstup použitelný pro většinu aplikací. Potřebná vyhodnocovací elektronika je zesilovač fázi s teplotní kompenzací. Regulace napětí je zapotřebí při provozu s neregulovaným napájením. Měří-li se Hallovo napětí, když nepůsobí magnetické pole, výstup je nulový. Jakmile se měří napětí na výstupním konektoru oproti zemnicí sorce, objeví se nenulové napětí. To je kladné napětí, a je stejné u každého výstupního terminálu. Diferenční zesilovač pracuje tak, aby zesiloval pouze rozdíl potenciálů Hallova napětí, které má nízkou úroveň signálu a to o velikosti 30 mikrovoltů při působení magnetického pole o velikosti jeden Gauss. Takto nízká úroveň výstupu vyžaduje zesilovač s nízkým šumem, vysokou vstupní impedancí a středním ziskem. [25].

Diferenční zesilovač s těmito vlastnostmi lze snadno integrovat do Hallova senzoru pomocí standardní bipolární tranzistorové technologie.

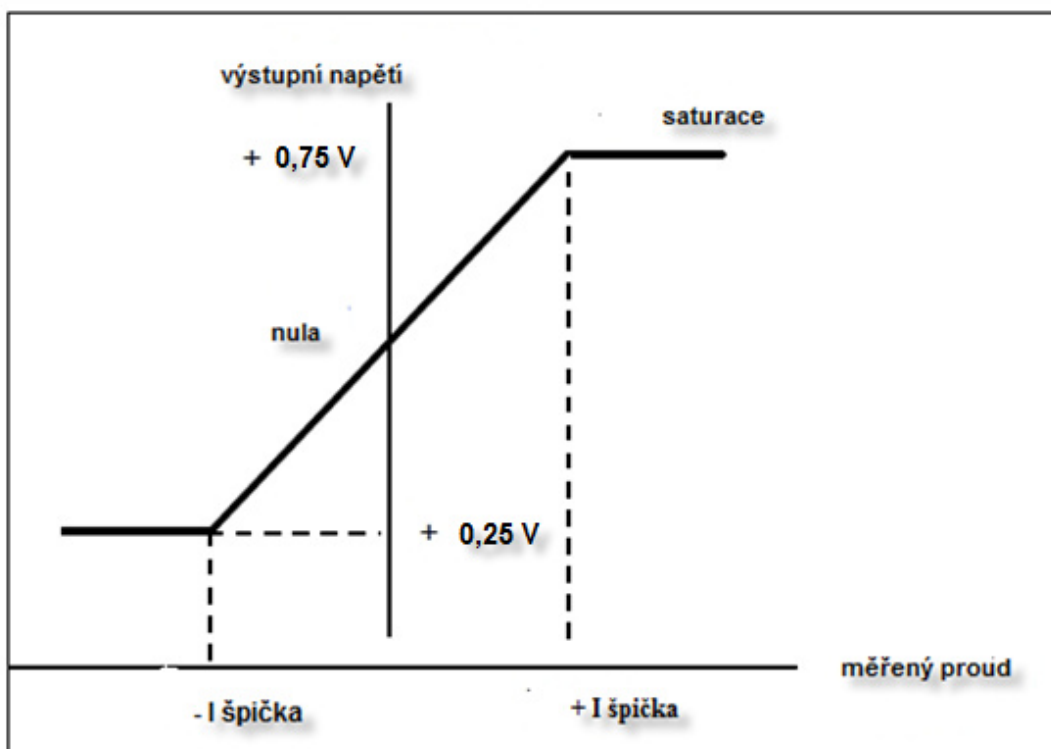
Teplotní kompenzaci lze také snadno integrovat do čipu. Pro zamezení vlivu vnějších prostředí by pak zesilovač měl mít regulovatelný zisk, kompenzaci vlivu teploty a pnutí (piezoelektrického jevu). [25]



Obr. I.3.6.8.1 Obrázek ukazuje schéma zapojení Hall-elementu s diferenčním zesilovačem, převzato a upraveno z [25].

Jak je z výše uvedeného popisu patrné, od základního Hallova snímače je vlastně už jen krok k analogovému senzoru, tzn. senzoru, který se vyznačuje lineárním analogovým výstupem plynule se měnícím při plynulé změně magnet. pole.

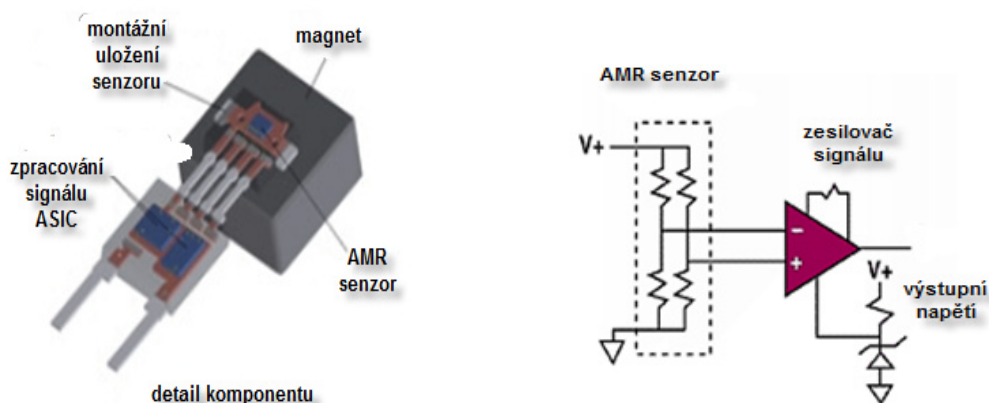
To nejlépe splňuje tzv. radiometrický výstup, který má offset úměrný velikosti napájecího napětí U_s a vyznačuje se rozsahem od meze k mezi (rail-to-rail). Výstupní napětí se tak může pohybovat téměř od 0 V (typicky 0.2 V) až k napájecímu napětí (typicky $U_s - 0.2$ V).



Obr. I.3.6.8.2 lineární proudový snímač ideální výkon, převzato a upraveno z [25].

I.3.6.9 Magnetický AMR senzor

Jako snímače magnetického pole využitelné teoreticky pro měření hladiny paliva by bylo možné použít i AMR senzory, viz níže. I když jsou nejnámější senzory využívající Hallova jevu, které byly použity v realizovaném haldinoměru popsáném dále v práci. Hallovy senzory reagují na kolmé magnetické pole. To se převádí prostřednictvím Hallova jevu na slabé kladné či záporné elektrické napětí na svorkách snímacího prvku. Kromě těchto senzorů, existují i jiná provedení využívají další principy snímání magnetického pole. Jedním z nich je změna elektrického odporu vlivem magnetického pole prostřednictvím tzv. AMR jevu, [26] tedy Anisotropické Magnetické Resistance, který se využívá v tzv. AMR senzorech. Je to jeden z nejvíce rozšířených senzorů magnetického pole. AMR je zkratka pro anizotropní magnetorezistenci. Na rozdíl od senzorů GMR ("obří magnetoresistence"), které vyžadují vícevrstvé komplexní systémy, se snímač AMR vyznačuje svou jednoduchostí. [26]



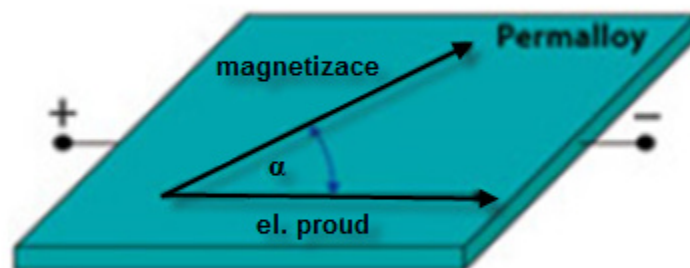
Obr. I.2.6.1 a schéma AMR senzoru, převzato a upraveno z [27].

Snímač na základě magnetorezistivního efektu, jenž byl objeven v roce 1857 Lordem Kelvinem. Tento snímač umožňuje přesné měření magnetických polí a může být použit pro bezkontaktní detekci polohy nebo blízkosti magnetického pole. [27]

Anizotropní magnetorezistivní (AMR) senzory byly vyrobeny za použití tenkovrstvé technologie. AMR senzory mají vysokou citlivost, v kombinaci s vysokou přesností a nízkou celkovou cenou. Jsou vhodné pro použití v zařízeních, jako jsou: průmyslové pohony a řídicí systémy v automobilových motorech a převodovkách, systémů vozidel trakce a kontroly stability, elektronických kompasů pro navigační systémy, detekce vozidel pro aplikaci zajištění mýtného. [27]

In-hlubkové analýzy pomocí simulace je zásadní pro celý systém je implementován AMR senzory jsou v současné době vyráběny, buď jako základní magnetické snímače nebo v kombinaci s integrovanou elektronickou čtečkou jako snímače otáček. Dodávané AMR senzory se liší zejména s ohledem na šum. Vzorování se provádí za použití běžné fotolitografie v kombinaci s mokřím leptáním chemie plazmy.

Reálné provedení AMR senzoru však není jen samotný magneticky citlivý materiál permalloy, ale obvykle se využívá klasického zapojení 4 snímacích odporových elementů do Wheatstonova můstku a jeho implementace i s vývody do jedné křemíkové součástky. Mimo jednomůstkového provedení však existují i dvou a třímůstková provedení v jedné součástce například pro realizaci víceosé detekce. [27]

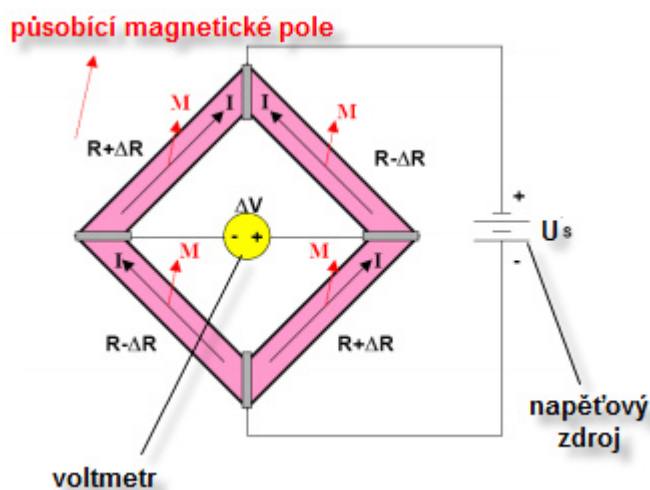


Obr. I.2.6.1 Anizotropní magnetorezistivní efekt, převzato a upraveno z [27].

Obr.I. 2.6.1 Představuje tenkou vrstvu Permalloy přes kterou teče el. proud. Když působí vnějšího magnetického pole na Permalloy, změna jeho odporu je úměrná druhé mocnině sinu úhlu α . Velikost změny odporu je závislá na vlastnostech Permalloy. Vlastnosti permalloy způsobí, že se změní odpor o 2% až 3% v přítomnosti magnetického pole. [27]

I.3.6.10. Princip AMR senzorů

Anizotropní magnetoresistance se vyskytuje u některých slitin železa a jiných materiálů a toho se využívá u tenkých proužků materiálů slitin, aby vznikl odporový element. Firma Honeywell používá železný materiál s názvem Permalloy slitiny železa a niklu (permalloy cca 75 ÷ 80 % niklu) a ten je zkonstruován do čtyř odporových prvků, zapojených do Wheatstoneova můstku. Každý magnetoresistivní proužek má schopnost odporu ke změně magnetického pole viz Obr. I.2.6.1. [28]



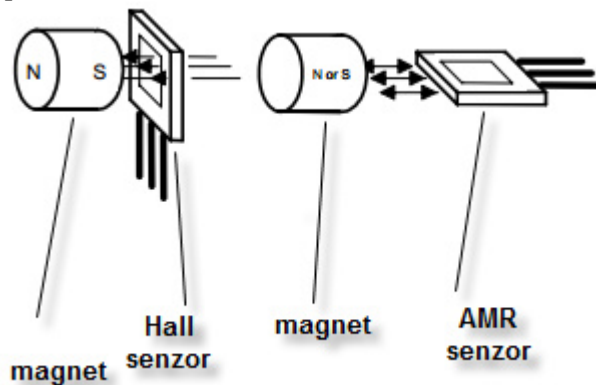
Obr. I.2.6.2. AMR elementy zapojeny do Wheatstoneova můstku, převzato a upraveno z [28].

Popis veličin k Obr. I.2.6.2

kde

I je elektrický proud
 U_s je stabilizované napětí
 R je odpor
 ΔR je změna odporu
 ΔU je změna napětí
 M je magnetické pole

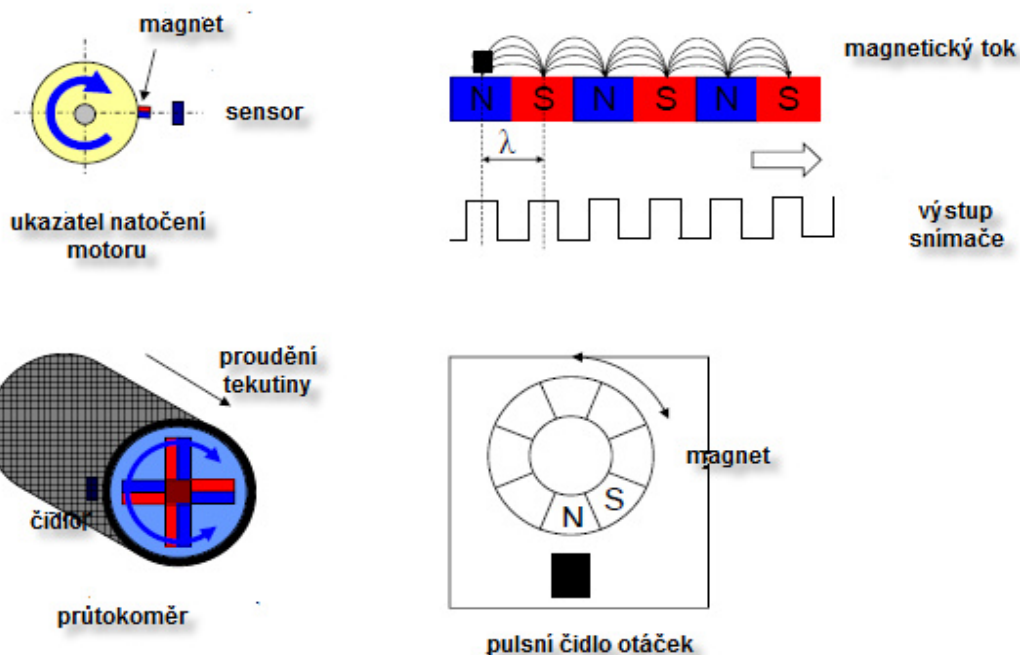
Na rozdíl od Hallova jevu, velmi citlivý AMR jev nereaguje na kolmé magnetické siločáry, ale naopak na podélné horizontální magnetické siločáry a nerozlišuje jejich směr. Tedy nerozlišuje severní a jižní magnetický pól a jeho funkce tedy není závislá směru magnetického pole. [26]



Obr.I.2.6.10.3 porovnání detekce magnetického pole Hallovým senzorem a AMR senzorem, převzato a upraveno z [28].

I.2.6.11 Použití AMR senzorů

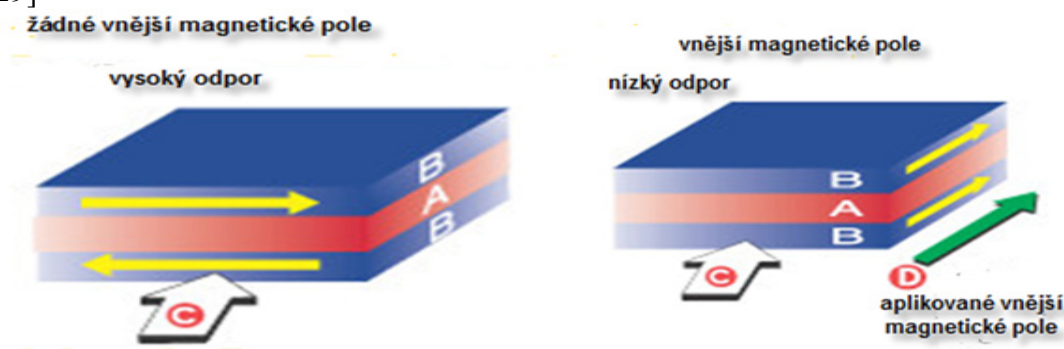
AMR senzor nenahrazuje Hallův senzoru, protože jeho reakce na magnetické pole je odlišná. Je jeho alternativou pro určité aplikace. Vlivem své značně vysoké citlivosti se využívají i pro měření magnetického pole země nebo pro výrobu různých detektorů aktivních vodičů. Pro rychlou reakci na přítomnost magnetického pole se využívá pro konstrukci snímacích hlav magnetických čidel pohybu či pro integrované magnetické spínače v různých aplikacích. [28] V praxi se často využívá jako snímač magnetické pásky či kotouče v senzorech lineárního či rotačního pohybu či často jako spínač vertikálního i horizontálního pohybu dvou částí, kde v jedné části je umístěn malý magnet a v druhé zabudován AMR senzor. [26]



Obr.I.2.6.12.1 příklad některých aplikací AMR senzorů, převzato a upraveno z [25].

I.2.7 Magnetický GMR senzor

GMR senzor lze považovat za jednu z prvních skutečných aplikací na slibném poli nanotechnologií. Ačkoli termín "obr" v obří magnetorezistence (GMR) se zdá být nevhodné pro nanotechnologii zařízení, to se odkazuje na velké změny v odporu, typicky 10 až 20%, když se zařízení podrobí magnetickému poli, ve srovnání s maximální citlivostí několik procent pro jiné typy magnetických senzorů. Nanotechnologie struktury GMR jsou feromagnetické slitiny obložené kolem ultratenkých ne magneticky vodivých středních vrstev. [29]



Obr. I.2.7.1 ukazuje princip GMR senzoru, převzato a upraveno z [26].

Popis k Obr. I.2.7.1

- (A) je vodivá nemagnetická mezivrstva
- (B) je magnetická vrstva
- (C) je elektrický proud
- (D) je externí magnetické pole

Vodivá nemagnetická mezivrstva a vrstvy z magnetické slitiny kladou velký odpor elektrickému proudu. Nemagnetická vodící vrstva je často měď. Měď je obvykle vynikající vodič, ale když je jen několik atomů silná, rozptyl elektronů způsobuje, že se odpor mědi výrazně zvýší. Tento odpor se mění v závislosti na relativní orientaci spinů elektronů v okolí vodící vrstvy. Použití externího magnetického pole se překonává antimagnetické propojení, srovnají se magnetické momenty vrstev magnetických slitin a tím odpor kladený elektrickému proudu klesá. Může být tedy GMR element použit pro snímání vnějšího magnetického pole. V praxi vyrobená zařízení jsou často vyrobeny z několika vrstev střídavé magnetické vrstvy a nemagnetické vrstvy ke zlepšení citlivosti. [29]

I.3 Porovnání systémů a jejich vhodnost při použití měření paliva

Pro měření hladiny paliva v palivové nádrži se zřetelem na použití v automobilové technice se ukázal ze všech měřících systémů jako nejvhodnější mechanický plovákový systém s aplikovaným potenciometrem, který se téměř bezvýhradně používá v čerpadlových modulech moderních osobních automobilů. Je to pro jeho jednoduché a spolehlivé konstrukční řešení a rovněž pro nízké náklady při jeho výrobě. U nákladních automobilů a jiných strojů jako jsou stavební a zemědělské stroje se využívá také kapacitních hladinoměů.

I.4 Nejvíce používané snímače pro měření hladiny paliva

Pro měření v automobilové technice osobních automobilů se používají plovákové hladinoměry s potenciometrem, který je realizován pomocí porcelánové destičky s napařenou odporovou vrstvou a pohyblivým jezdcem s propojovacími kontakty. Na pohyb jezdcce se přenáší poloha plovákové páky. Automobilová technika vyžaduje spolehlivá a levná řešení což tento plovákový hladinoměr splňuje. Problém však nastává, pokud má být aplikován i pro měření eko- paliva a to etanolu, který narušuje odporovou vrstvu potenciometru.

Jako řešení se pak používá jazýčkové relé, které je hermeticky uzavřené v kovovém pouzdře a spínání je pomocí magnetického pole permanentního magnetu, který přitáhne vždy kontakt pod svou polohou. Toto provedení je patentováno a tento snímač se nakupuje od výhradního dodavatele. Probíhají snahy toto patentované zařízení nahradit.

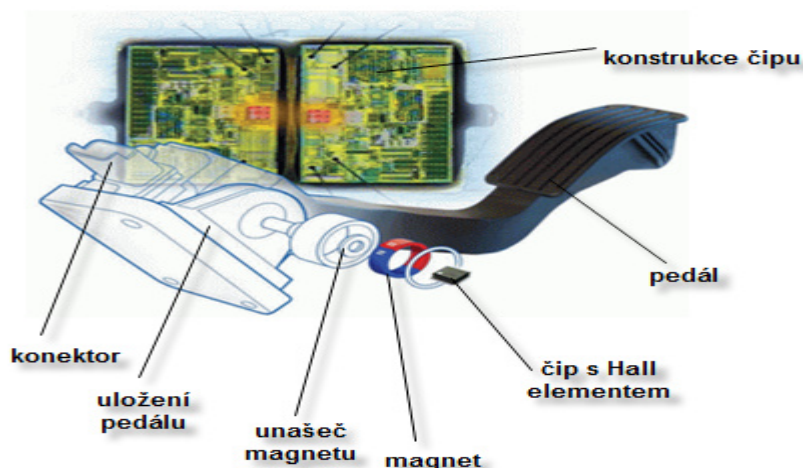
Jedním z možných řešení se ukazuje použití bezkontaktního snímání polohy plováku pomocí Hall-čipu např. od firmy Melexis Dále v textu.



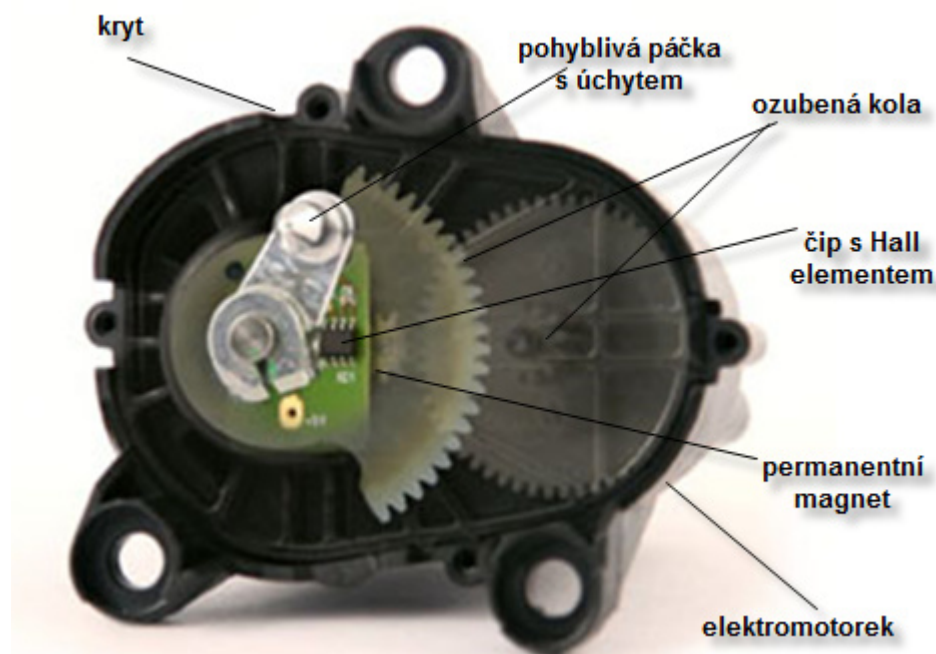
Mechanický plovákový systém s aplikovaným potenciometrem, foto autor.

I.5 Použití snímače s Hallovou sondou

Pro navrhovaný snímač hladiny paliva v automobilové nádrži, byl zvolen snímač využívající Hallův jev a to z důvodu, že snímače s tímto principem jsou již hojně využívány pro snímání polohy palivových pedálů či různých elektrických pohonů pro sací nebo výfukové klapky v motorových soustavách automobilů. Tyto snímače se osvědčily pro svou spolehlivost a nízkonákladovost.



Obr.I.5.1 plynový pedál osobního automobilu s využitím redundantního čipu s dvěma galvanicky oddělenými čipy v jednom pouzdře, převzato a upraveno z [30].



Obr.I.5.2. GPA – polohovací el. Motorek s převodovkou používaný např. k nastavení klapky sání u osobních automobilů, převzato a upraveno z [30].

I.6 Snímače s Hallovou sondou od firmy Melexis

Vlastnosti a výhody Absolutní rotačního snímače polohy IC je jednoduchý a robustní design Magnetický Tria®is je Hall™ technologie programovatelná v úhlovém rozsahu až 360 stupňů s programovatelným lineárním přenosem. [31]



Obr.I.6.1 symbol označení pro magnetický system Tria®is firmy Melexis

MLX90316 Obecný popis

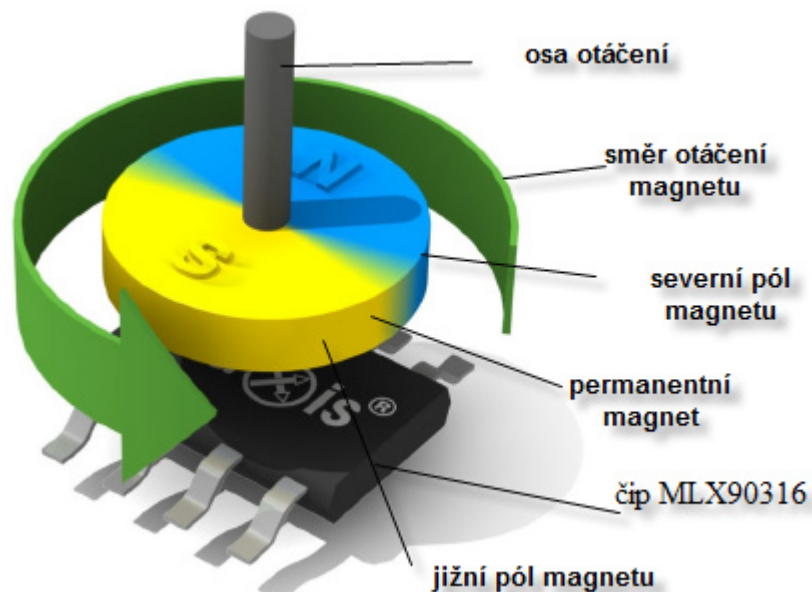
MLX90316 je CMOS Hallův snímač, který dává úhlovou polohu magnetického pole souběžně s IC povrchem. Je určen pro bezkontaktní rotační snímače polohy, které jsou často zapotřebí v automobilových a průmyslových aplikacích. MLX90316 zjistí absolutní úhlovou pozici magnetu malé odst. (diametrálně magnetizovaný), který je umístěn a otáčí se nad povrchem zařízení. [31]

IMC

Integrovaný Magneto-Koncentrátor (IMC) se zaměřuje na aplikování magnetická indukce rovnoběžné s IC povrchem. U hranic struktury IMC, můžou ortogonální složky úměrně aplikované indukce být měřeny dvěma páry klasických rovinných Hall-polovodičů umístěných kolmo pod IMC a pro každou v obou směrech rovnoběžně s povrchem IC (X a Y). První část snímače kóduje mechanický úhel do dvou sinusových signálů s posunem 90 ° fáze sinus a cosinus). Tyto dva signály (U_x a U_y) úměrné magnetickému poli jsou zesíleny a odebírají se vzorky a převádí se do digitální oblasti. Digitální převodníky tyto dva signály pak použijí pro výpočet úhlu přes arkustangens funkce aplikované na poměru U_x / U_y Arkustangens funkce je realizována pomocí převodní tabulky. [31]

Různé výstupní signály

Aktuální hodnota úhlu zastoupen digitální hodnotou lze převést zpět do analogové hodnoty přes D/A převodník. Nicméně, výstupní signál je buď analogový signál, signál PWM nebo sériový protokol. Výstup a převodní charakteristika je plně programovatelná (např. offset, zisk, upínací úrovně). Typické aplikace na MLX90316 jsou uvedeny níže. MLX90316 může snímat polohu natočení bez kontaktu a v širokém rozsahu do 360 ° a to je úplně revoluční řešení. [31].

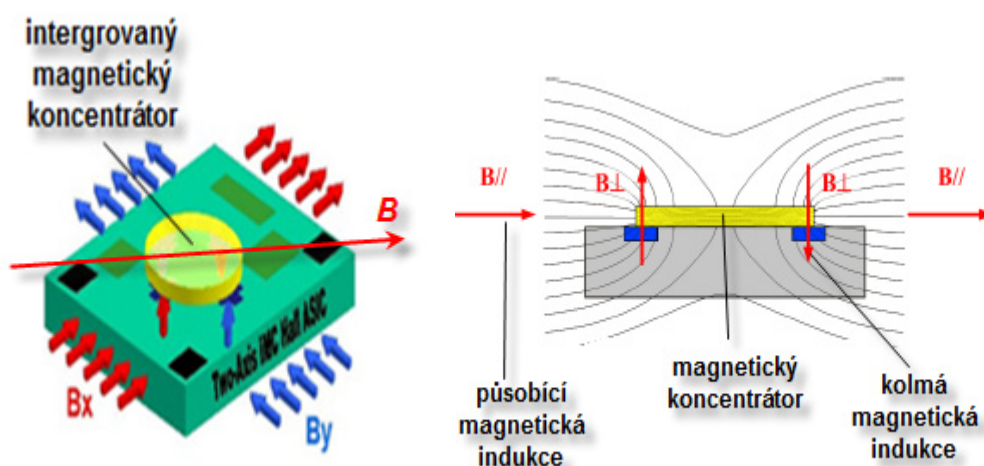


Obr.I.6.2 Schématické zobrazení principu čipu MLX90316, převzato a upraveno z [31]

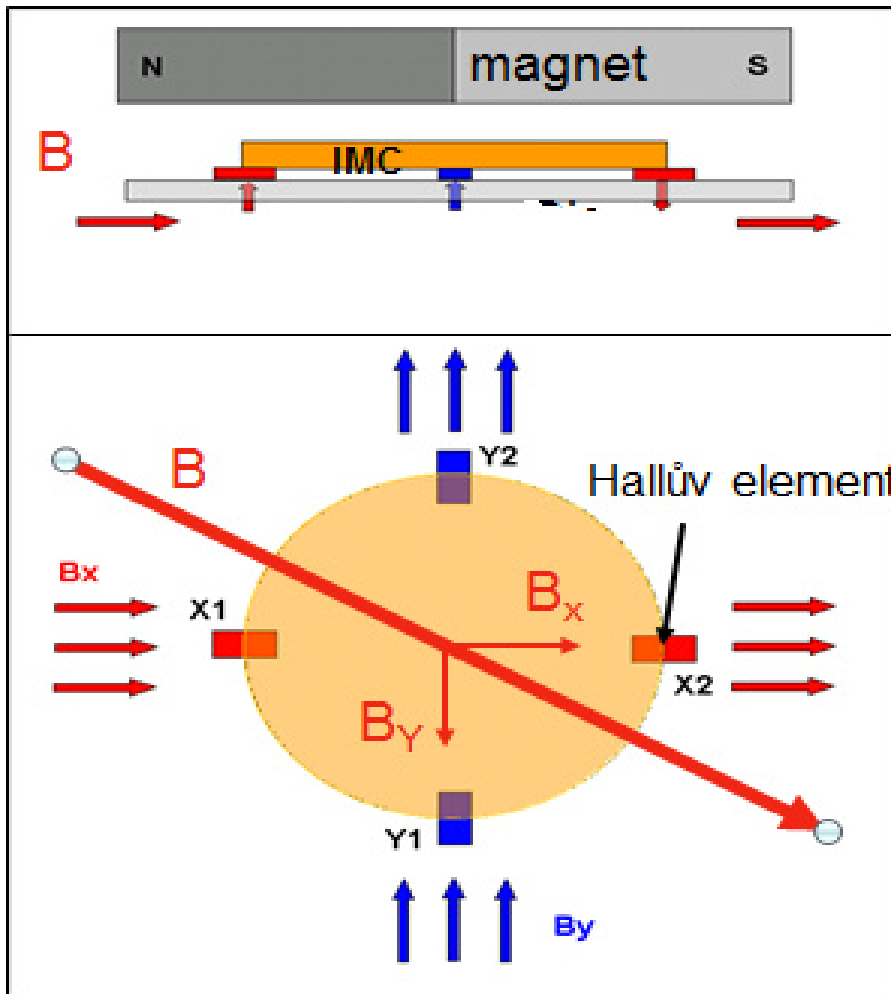
Detailní popis

Povrch senzoru IC je rovnoběžný s magnetickou indukcí B a ta je snímána pomocí senzoru TriaXis[®]. Tento senzor se skládá ze dvou kolmých párů a to pro každý ze dvou směrů rovnoběžně s povrchem, tj. IC s osou X a Y a s integrovaným magneto-koncentrátorem IMC žlutý disk, na Obr.I.7.2. Obě složky rovnoběžné magnetické indukce B jsou měřeny individuálně, tj. B_x a B_y . Dvě kolmé komponenty (počítáno B_x a B_y) jsou úměrné paralelním komponentám (počítáno B_x a B_y).

Ty jsou usměrněny přes IMC a mohou být měřeny jako odpovídající páry konvenčního planárního Hall elementu, který je citlivý na hustotu magnetického toku toku použitého kolmo k nim. Magnet (diametrálně magnetizovaný) se otočí nad IC, poskytuje dva signály ve fázi diferenciální kvadratury funkce sinu a kosinu. 90°



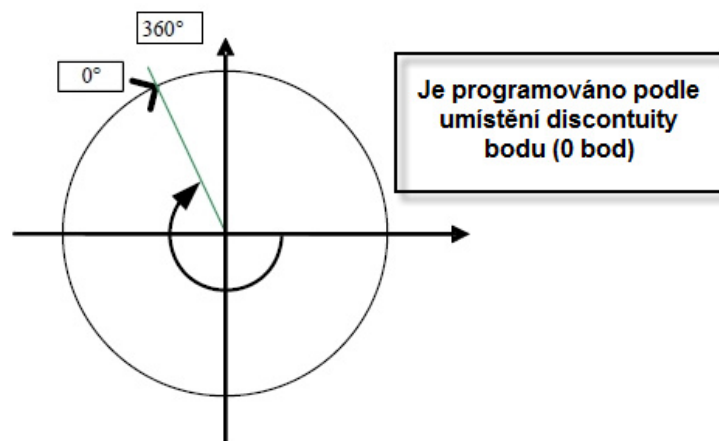
Obr.I.6.3 funkce IMC koncentrátoru, převzato a upraveno z [31].



Obr.I.6.4 Funkce IC koncentrátoru převzato a upraveno z [31].

Diskontinuita bodu (nebo bod nulového stupně)

Diskontinuitu bodu definuje 0° bod na kruhu. Diskontinuita bodu uvede polohu v kterékoli poloze trigonometrického kruhu. DP se používá jako referenční pro všechna úhlová měření.



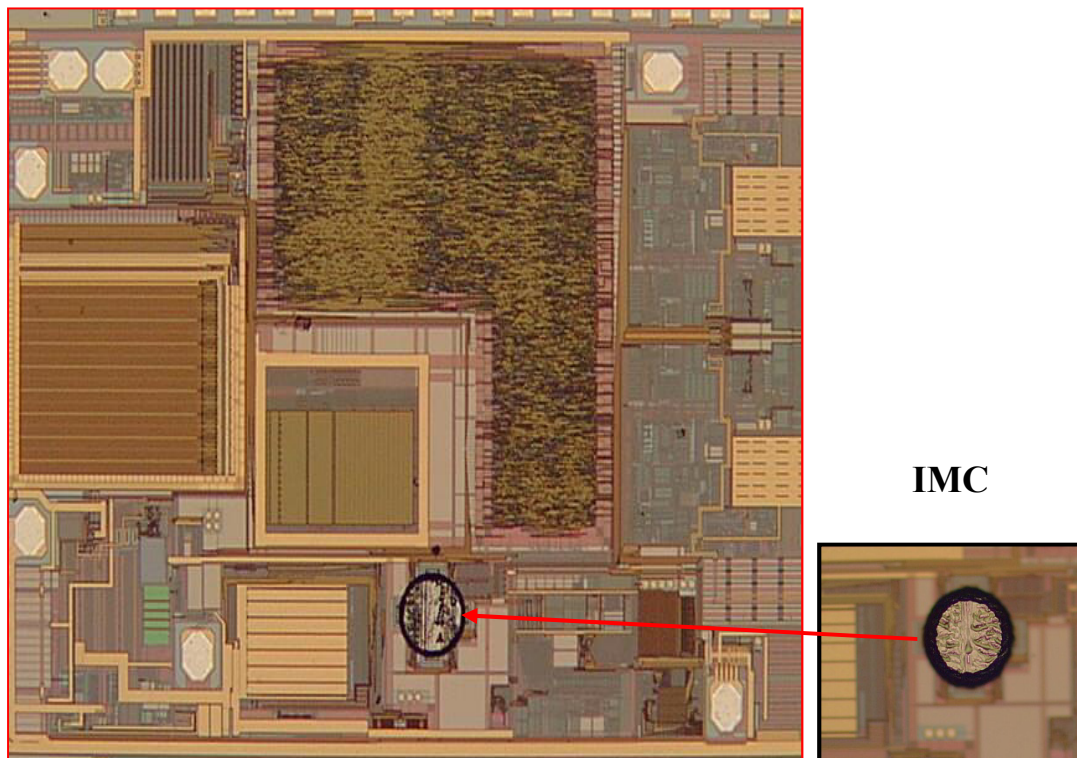
Obr.I.6.5 diskontinuity nulového stupně, převzato a upraveno z [31].

PTC-04 programátor pro programování programovatelných integrovaných obvodů s Hall-čipem Melexis.

PTC-04 programátor byl navržen pro efektivní a přesnou kalibraci Hall-čipů Melexis, programovatelných integrovaných obvodů. Programátor je navržen tak, aby se snadno přizpůsobil standardním PC. Aplikační modul umožňuje kalibraci snímačů programovatelných integrovaných obvodů v rámci operačního prostředí.PTC-04. Programátor obsahuje vlastní programovatelný napájecí zdroj a měřicí obvod. Programátor je podobný standardním EEPROM programátorům, ale přidává mnoho speciálních funkcí, jako je měření napětí, měření proudu a konfigurační možnosti, které vyjdou vstříc uživatelům z prototypů přímo do výroby. Komunikace probíhá přes standardní rozhraní na port PC nebo přes USB. PC nevyžaduje žádnou vlastní konfiguraci, takže programátor může být použit s jakýmkoliv počítačem s rychlostí COM portu 115.2 kbs nebo standardním USB rozhraním. 1.1 nebo USB 2.0. [31]



Obr.I.6.6 programátoru PT-C04 pro programování Hall-čipů, převzato a upraveno z [31].

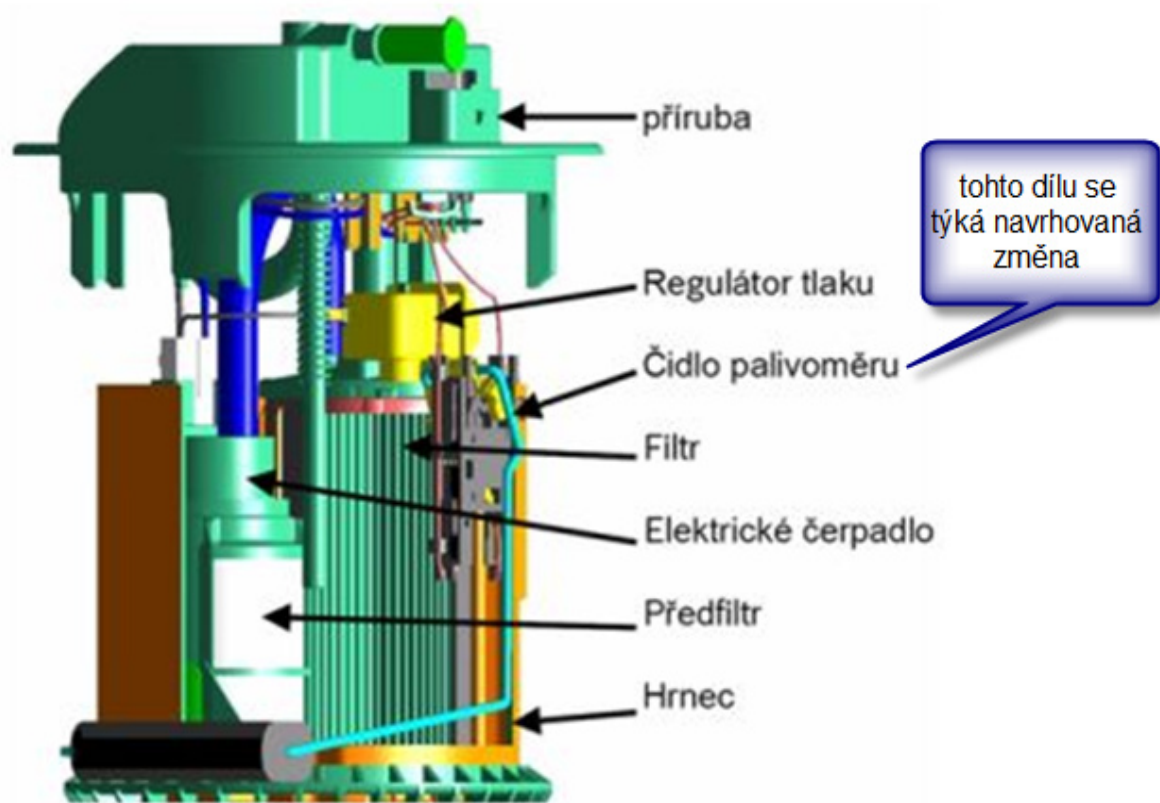


Obr.I.6.7 Snímek čipu s IMC (Integrated Magneto Concentrator), převzato a upraveno z [31].

II. Aplikace bezkontaktního měřiče hladiny paliva

II.1 Kalibrace a ověření funkčnosti konkrétního senzoru u ukazatele množství paliva v nádrži pro nádržový modul.

Nádržový modul je ve firmě Robert Bosch v Českých Budějovicích vyráběn od roku 1997. Tento výrobek primárně slouží k dopravě paliva z nádrže automobilu k motoru, ale jsou do něj integrovány i další funkce jako regulace systémového tlaku, filtrace paliva a měření hladiny paliva v nádrži. Tento výrobek výrazně přispívá ke snižování spotřeby automobilu, jakož i ke splnění stále se zpřísňujících emisních limitů pro osobní a malé nákladní automobily. Základní součásti nádržového modulu jsou zásobník paliva, příruba se zákaznickými konektory a ukazatel množství paliva v nádrži. Dále mohou moduly obsahovat elektrické čerpadlo, palivový filtr, regulátor tlaku paliva a další speciální komponenty. Jelikož se ve své práci budu zabývat částí palivového modulu, které slouží k měření množství paliva v automobilové nádrži, budu dále pojednávat pouze o této části palivového modulu i když bude zobrazen v popisu i obrázcích celý nádržový modul.

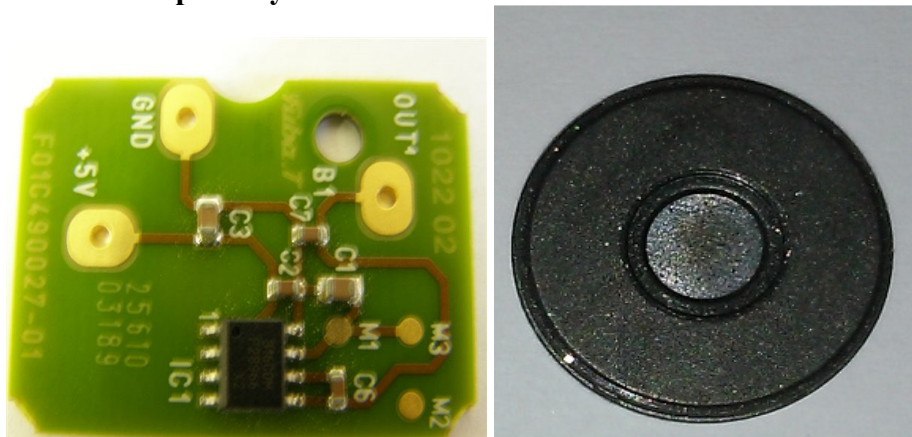


Obr.I.7.9. čerpadlový modul paliva pro automobilovou nádrž, převzato a upraveno z [32].

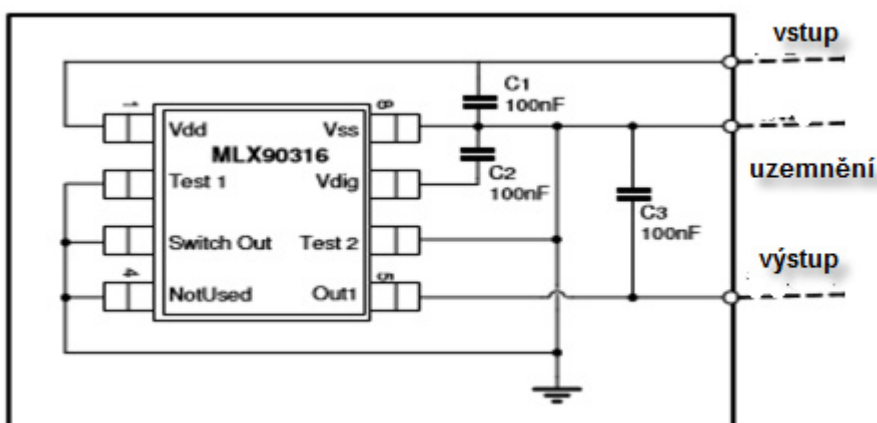
II.2 Optimalizovaný návrh vhodného technického řešení konfigurace snímače hladiny paliva v nádrži.

Pro konstrukci bezkontaktního snímače byl použit čip od firmy Melexis MLX90316, což je rotační snímač polohy IC.MLX90316. Monolitické čidlo IC je citlivé na hustotu toku použitého kolmo k povrchu IC. Je také citlivý na hustotu toku působícím rovnoběžně s povrchem IC. To je dosaženo pomocí integrovaného magneto-koncentrátoru značeného jako IMC, který je uložen na čipu. To umožňuje, aby MLX90316 při požití vhodného magnetu dekódoval absolutní rotační (úhlovou) pozici 0-360Stupňů. IC může být měřeno bezkontaktním způsobem. Úhlová informace se vypočítá z obou vektorových složek hustoty magnetického toku (tj. B_x a B_y). MLX90316 vytváří výstupní signál úměrný dekódovanému úhlu. Výstup je volitelný mezi Analogovým nebo v datovém formátu. V případě navrhovaného bezkontaktního měřiče bude výstupní signál analogový tzn. bude mít velikost elektrického napětí. [31].

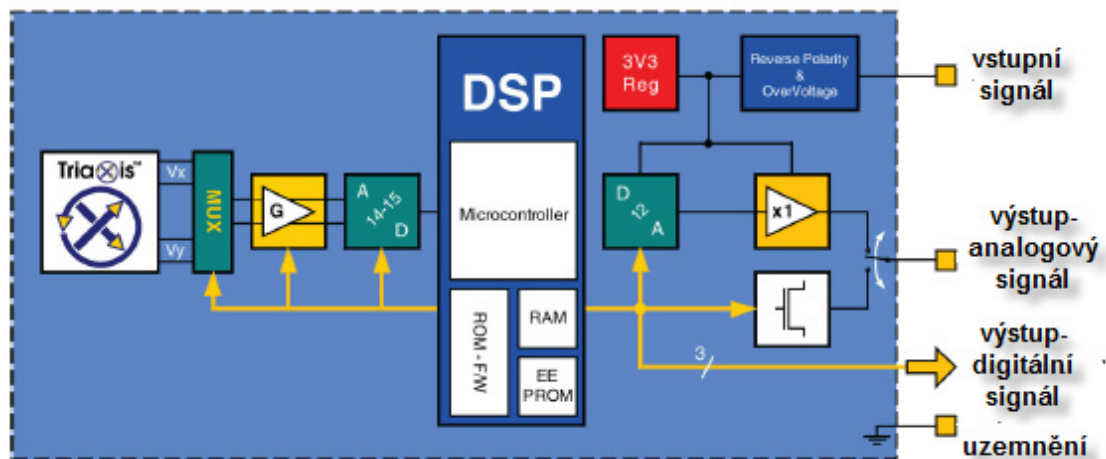
Použité komponenty



Obr.II.2.1. Tištěný spoj s Hall-čipem MLX90316 od firmy Melexis a permanentní magnet, foto autor



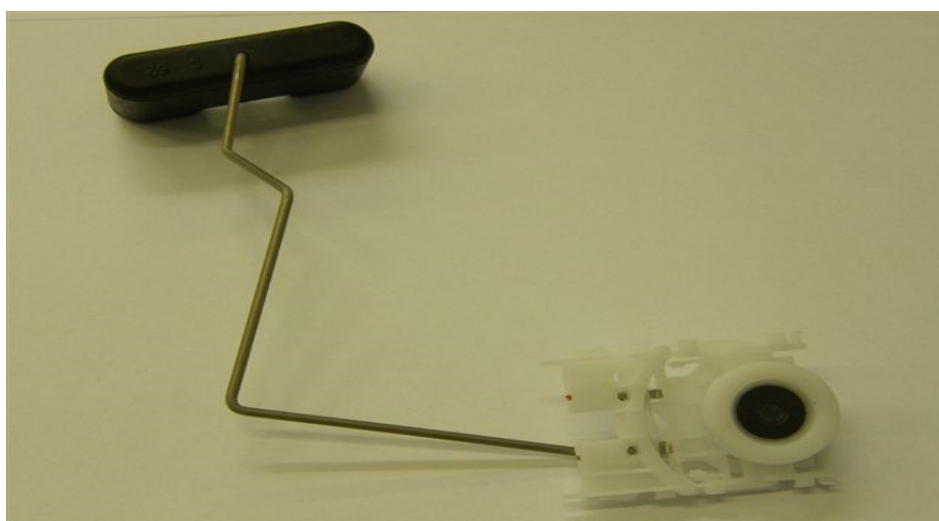
Obr.II.2.2. Doporučené zapojení pro čip MLX90316 v pouzdře SOIC8, převzato a upraveno z [31].



Obr.II.2.3. Blokové schéma pro analogový a digitální výstup MLX90316 převzato a upraveno z [31].



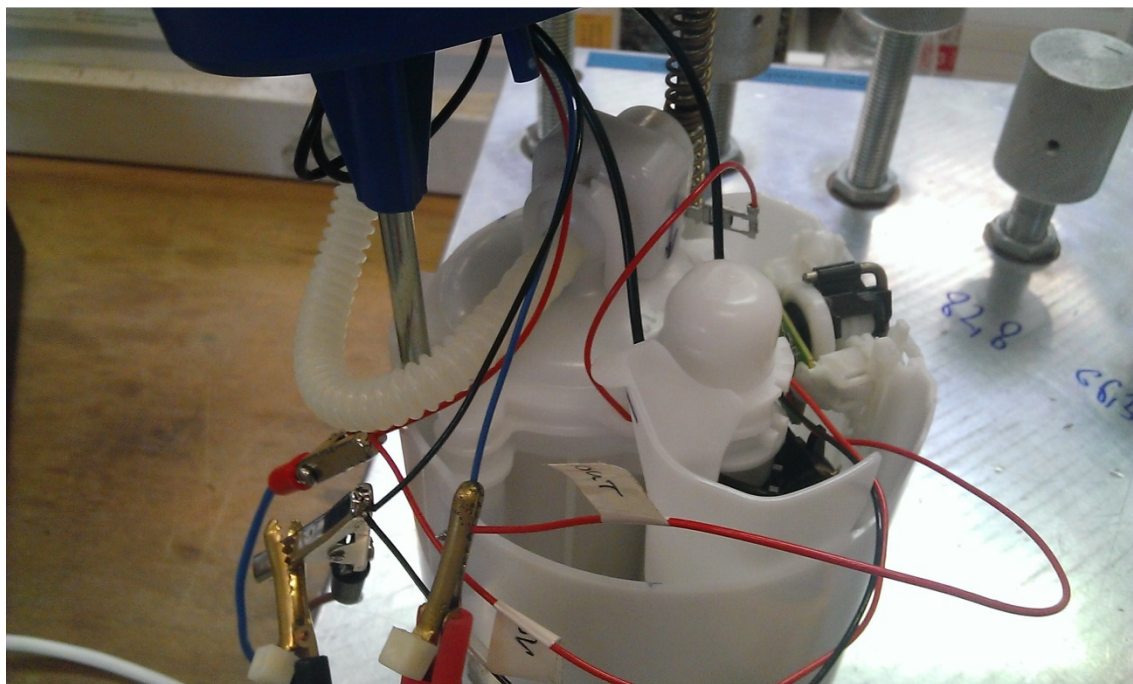
Obr.II.2.4 Neodymový magnet s držákem, foto autor



Obr.II.2.5. Plováková páka s držákem magnetu, foto autor



Obr.II.2.6 Kompletní snímač hladiny paliva, foto autor



Obr.II.2.7 Vestavěný bezkontaktní snímač v čerpadlovém modulu, foto autor.

Programování čipu MLX90316.

Co je nutno nastavit

Pomocí programátoru PT-C04 a počítačového rozhraní, obojí dodávané firmou Melexis se nastavují potřebné hodnoty pro správnou funkci snímače.

Mód výstupu (analog, PWM, SENT)

Výstupní filtr

Pouzdro (SOIC8, TSSOP 14)

UMA – spodní horizontála == výstupní napětí v % U_a

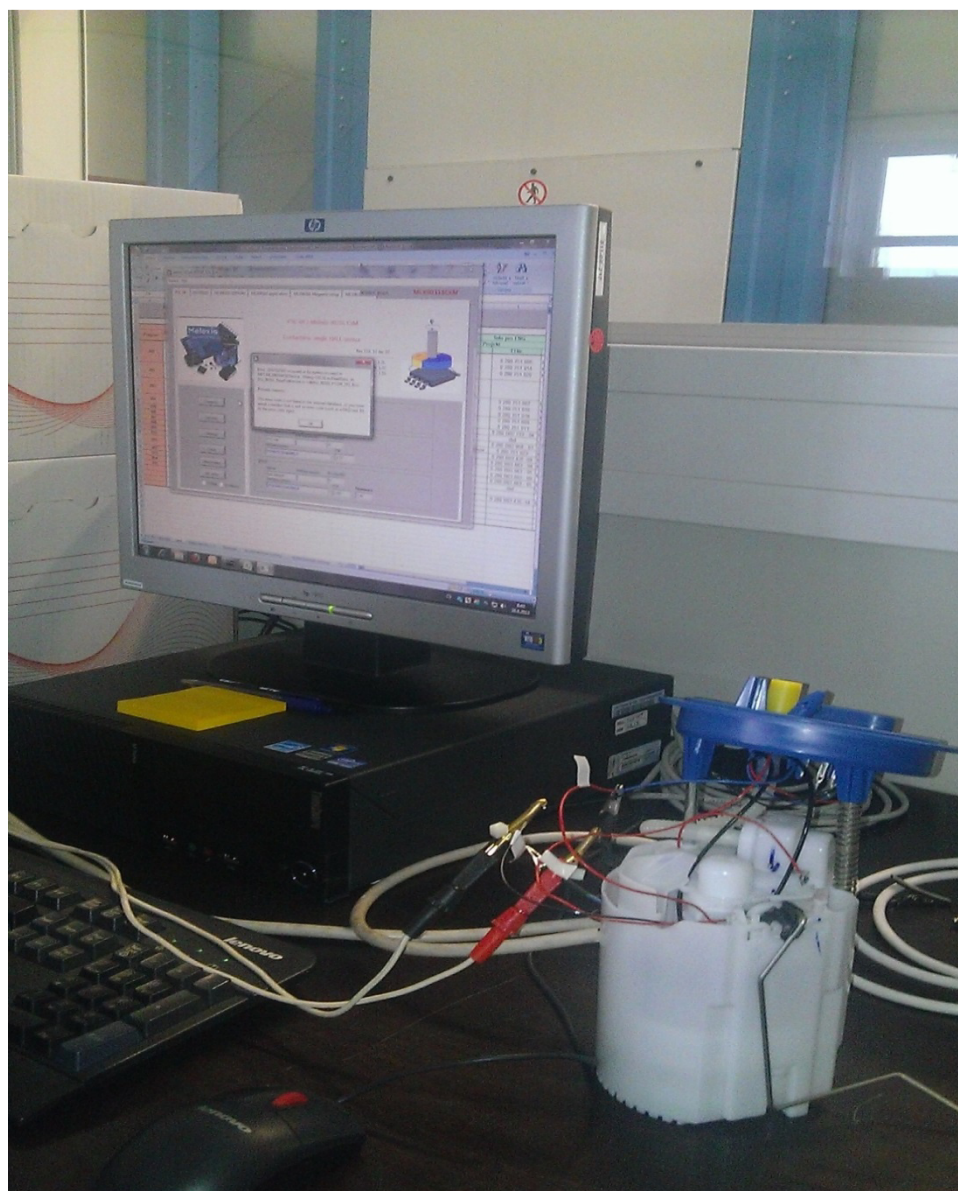
OMA – horní horizontála == výstupní napětí v % U_a

Clock Wise – směr otáčení

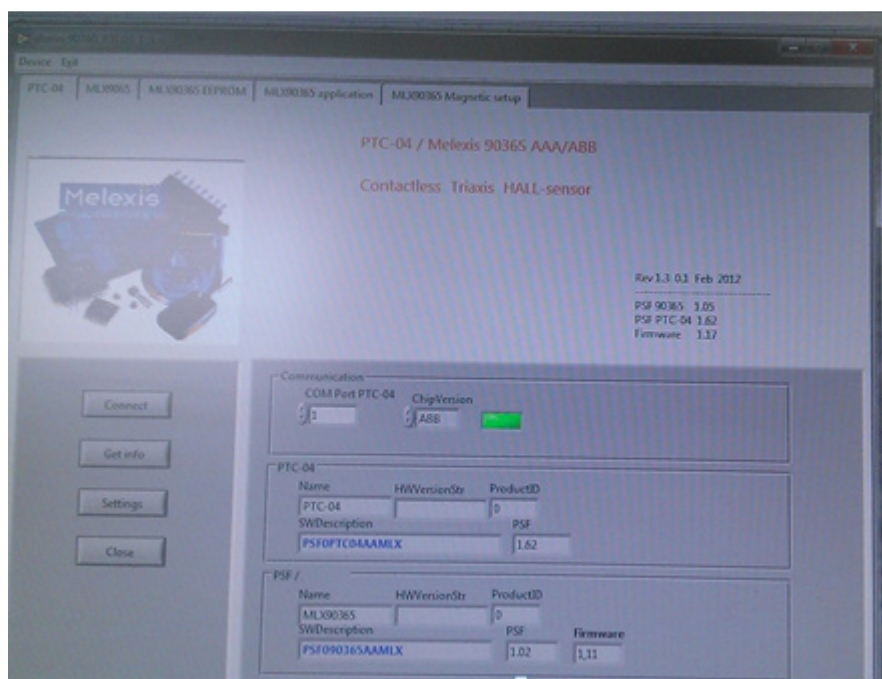
Co nastavuje čip sám

DP – Discontinuity point- Diskontinuita bodu (nebo-li bod nulového stupně)

Zesílení – podle odstupu a síly magnetu



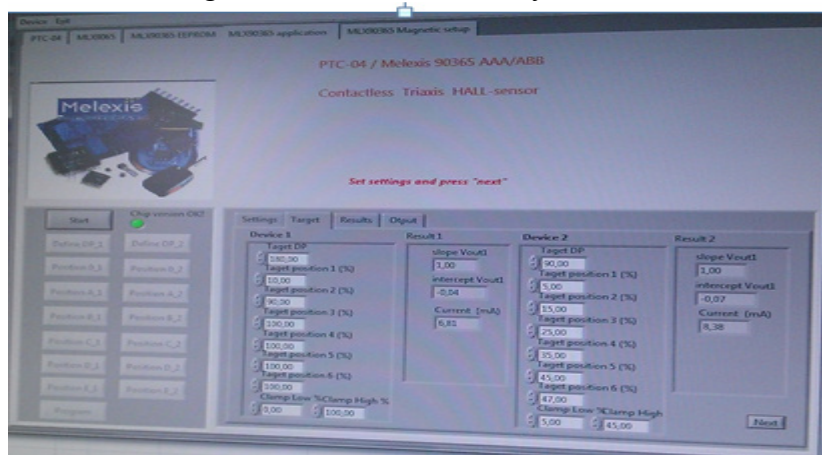
Obr.II.2.8 Připojení čipu MLX90316 k naprogramování pomocí programátoru Melexis PTC-04 a PC., foto autor.



Obr.II.2.9 Úvodní obrazovka programu pro programování čipu MLX90316 od firmy Melexis, foto autor.



Obr.II.2.10 Programátor PTC-04 od firmy Melexis., foto autor.



Obr.II.2.11 Programování EEPROM paměti, foto autor.

II.3. Funkční zkoušky měření hladiny

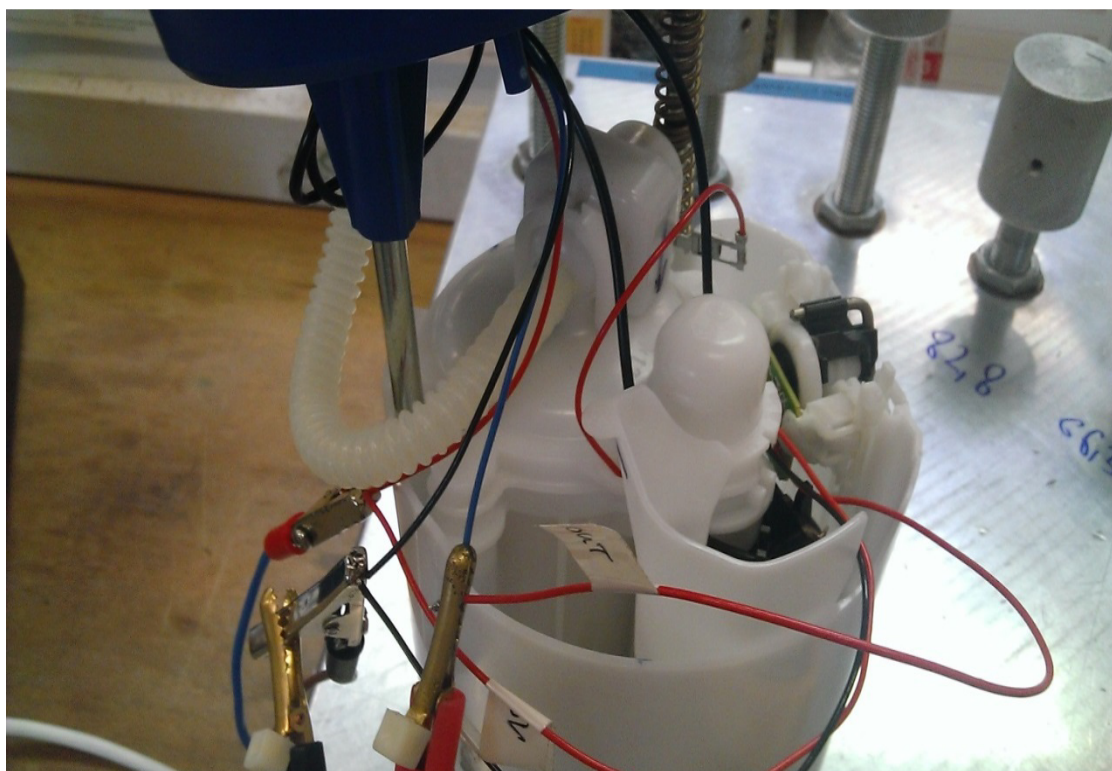
Funkční měření bylo provedeno na zkušební stolici pro zkoušení měřiče paliva.



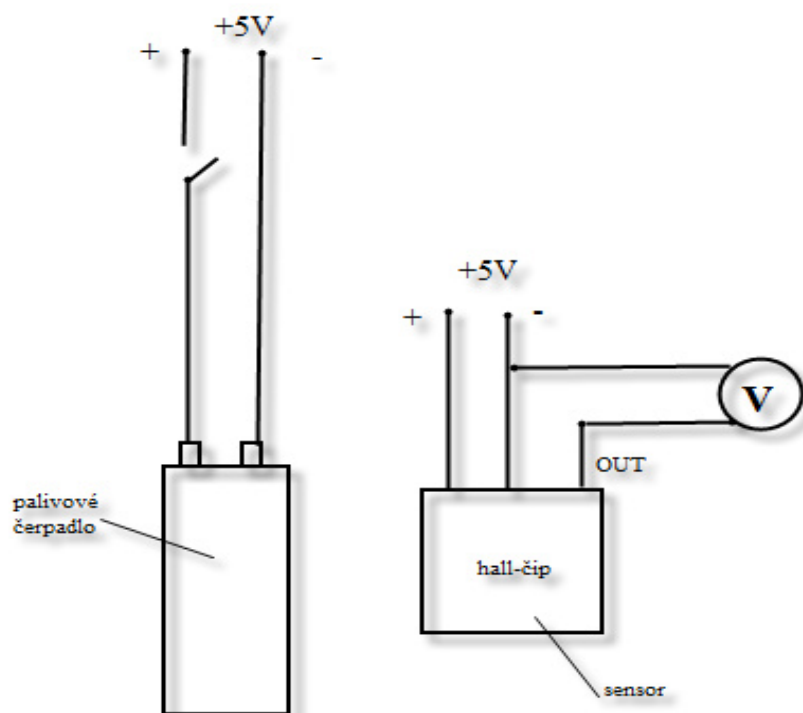
Obr.II.3.1 Zkušební přípravek – s nastavitelnými stupni pro polohování plovákové páky, foto autor.



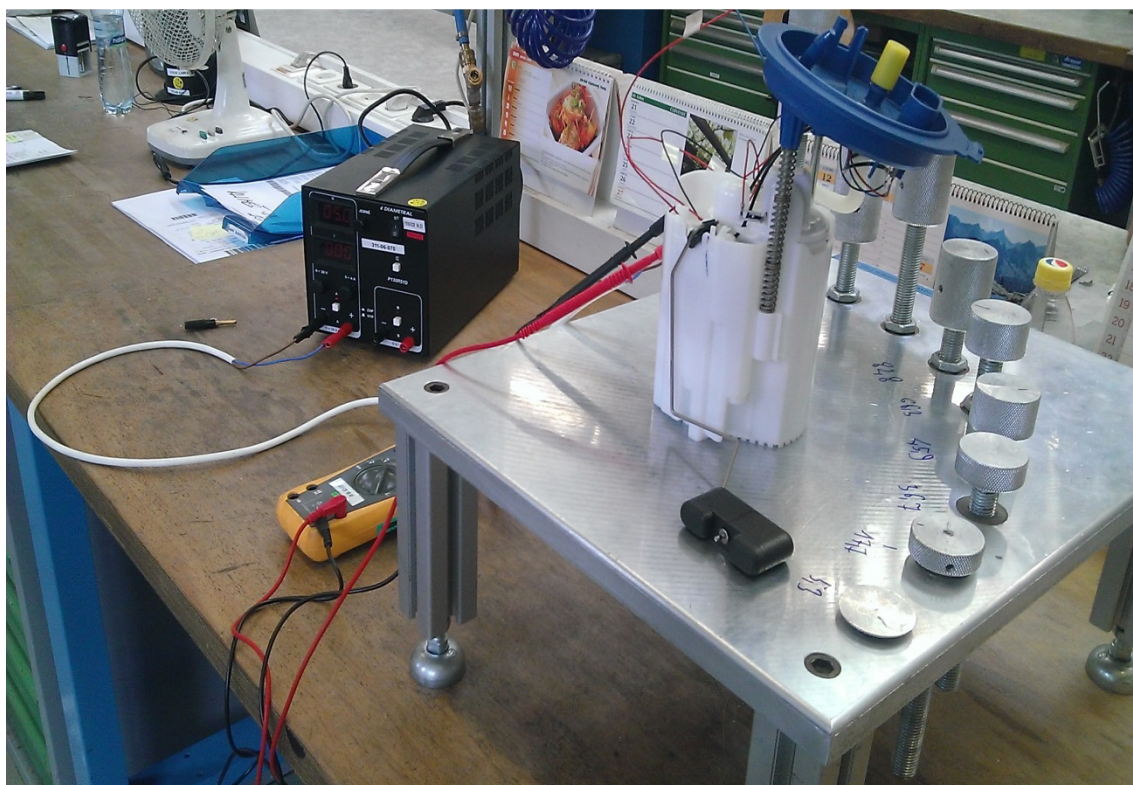
Obr.II.3.2 Stabilizovaný zdroj a měřicí přístroj, foto autor.



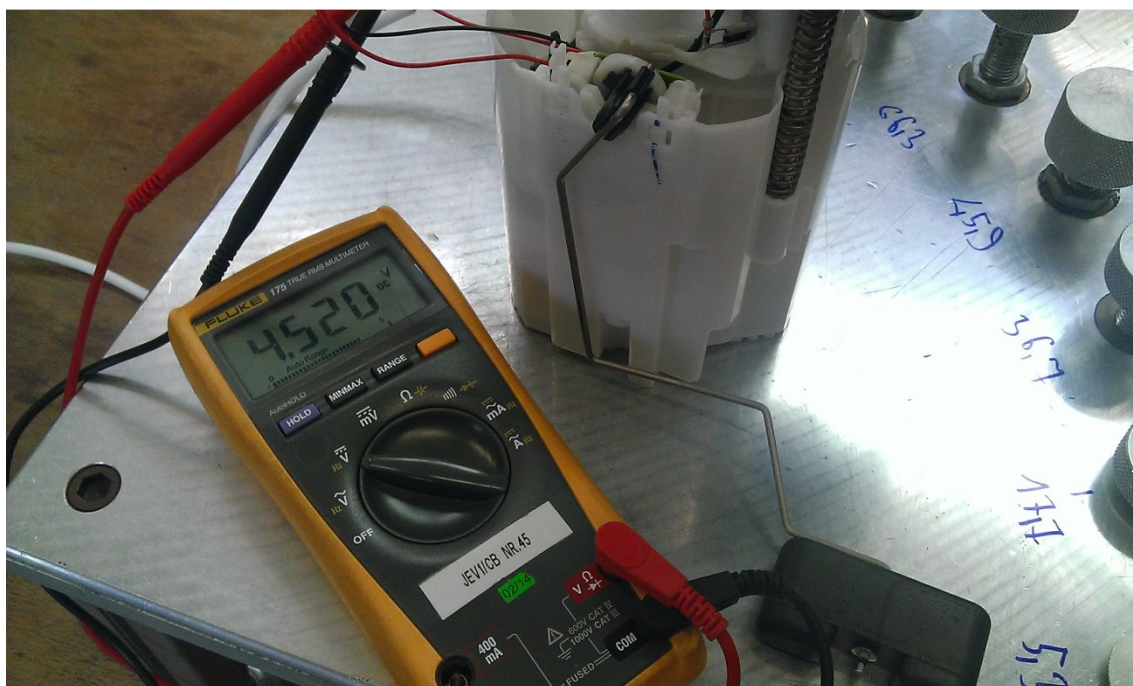
Obr.II.3.3 Zapojení bezkontaktního snímače, foto autor.



Obr.II.3.4 Schéma zapojení bezkontaktního snímače a palivového čerpadla pro měření, zpracoval autor.



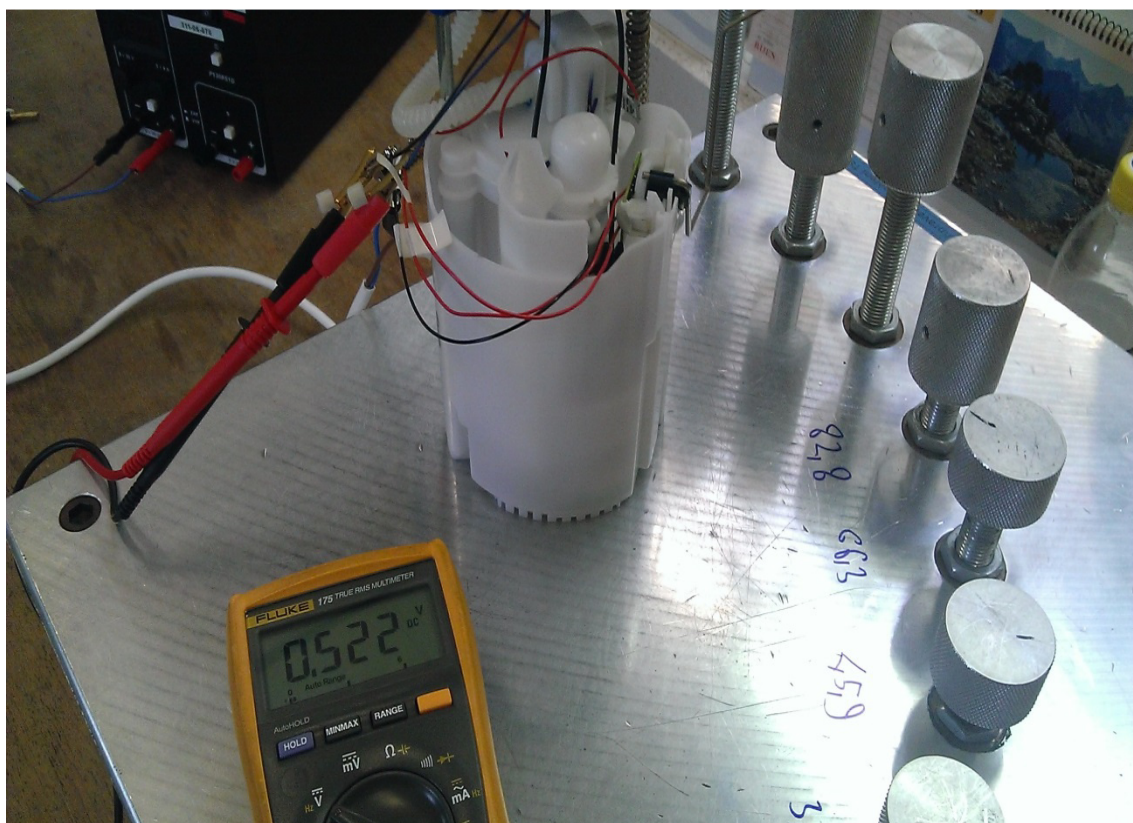
Obr.II.3.5 Měřící sestava- stabilizovaný zdroj, měřící přístroj, dorazová stolice a čerpadlový modul, foto autor.



Obr.II.3.6 Měření výstupního napětí z bezkontaktního snímače polohy v nulové poloze plovákové páky, foto autor.



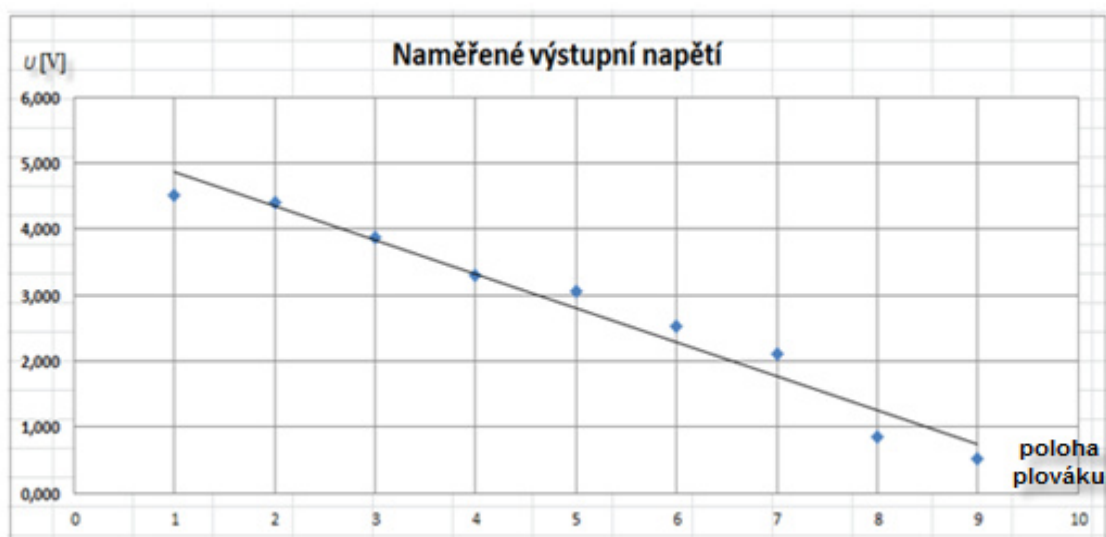
Obr.II.3.7 Výstupní napětí na pátém dorazu, foto autor.



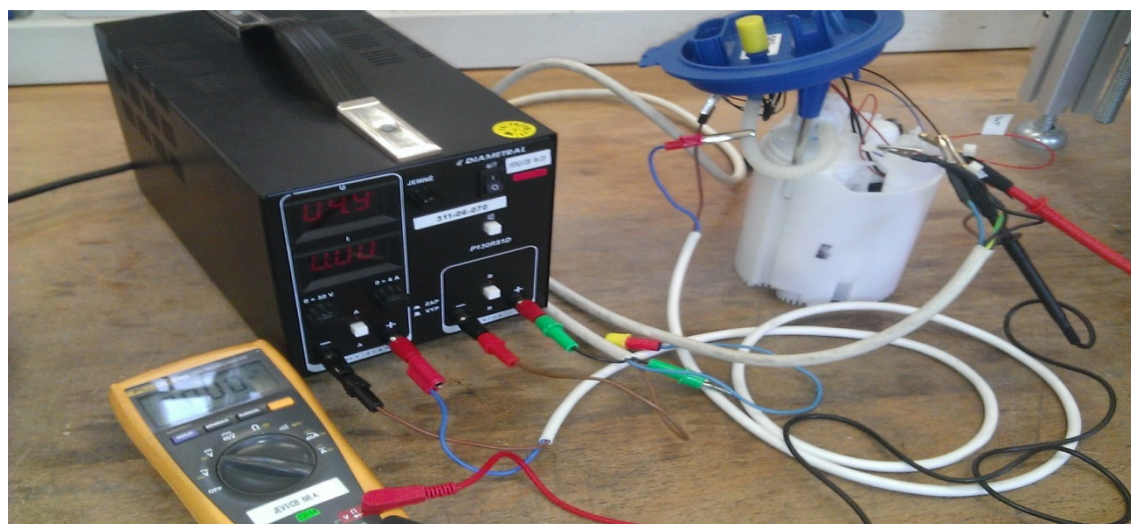
Obr.II.3.8 Výstupní napětí na koncovém dorazu, foto autor

Tabulka II.3.1 naměřené hodnoty

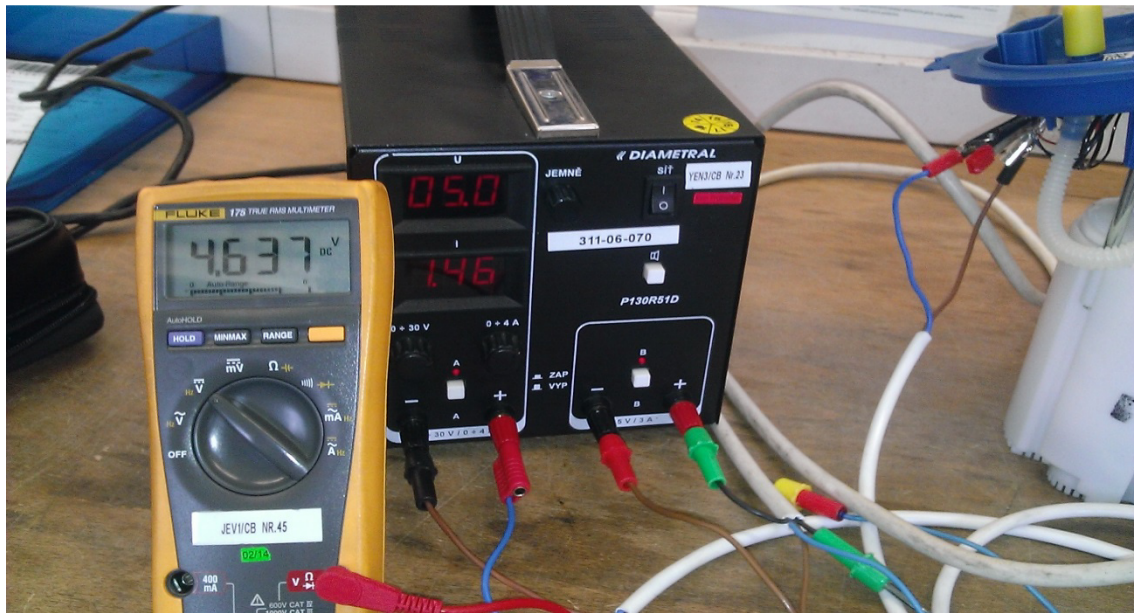
poloha	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Napětí U [V]	4,520	4,400	3,883	3,302	3,053	2,526	2,118	0,844	0,522
výška zdvihu L [mm]	0,0	5,3	17,7	36,7	45,9	66,3	82,8	106,5	118,2



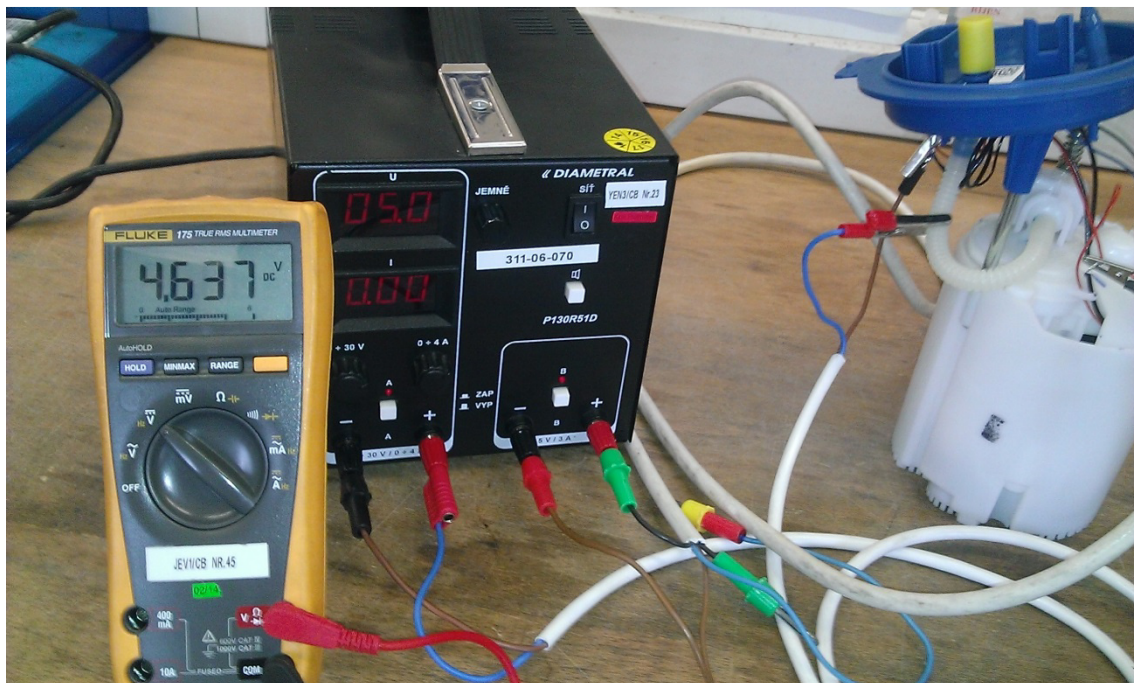
Graf II.3.1 naměřených hodnot pro výstupní napětí



Obr. II.3.14 Zapojení bezkontaktního snímače polohy plováku a palivového čerpadla. Palivové čerpadlo je odpojeno, foto autor.



Obr.II.3.15 Měření výstupního napětí s běžícím palivovým čerpadlem, foto autor.

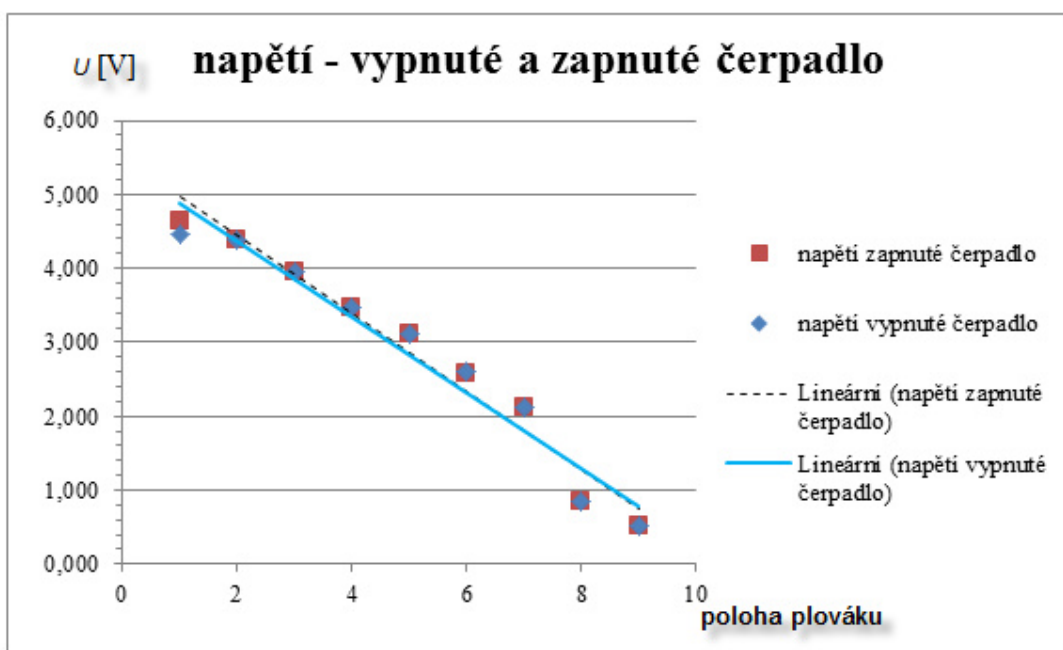


Obr.II.3.16 Měření výstupního napětí s vypnutým palivovým čerpadlem, foto autor.

II.4. Výsledky funkčních zkoušek

Tabulka II.4.1. naměřené hodnoty [vypracoval autor]

poloha	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Napětí U [V] vypnuté čerpadlo	4,463	4,379	3,956	3,462	3,112	2,597	2,129	0,856	0,524
Napětí U [V] zapnuté čerpadlo	4,649	4,379	3,953	3,483	3,112	2,584	2,109	0,856	0,523



Graf II.4.1 naměřených hodnot pro výstupní napětí, vypracoval autor.

Funkční zkoušky bezkontaktního měřiče výšky hladiny prokázaly jeho funkčnost.

Měření výstupního napětí bezkontaktního měřiče výšky hladiny při zapnutém a vypnutém čerpadle paliva, prokázalo u této konkrétní sestavy, zanedbatelné ovlivnění výstupního napětí jak magnetickým polem palivového čerpadla tak jeho napájecích vodičů.

Pro měření bylo použito čerpadlo napájené stejnosměrným napětím.

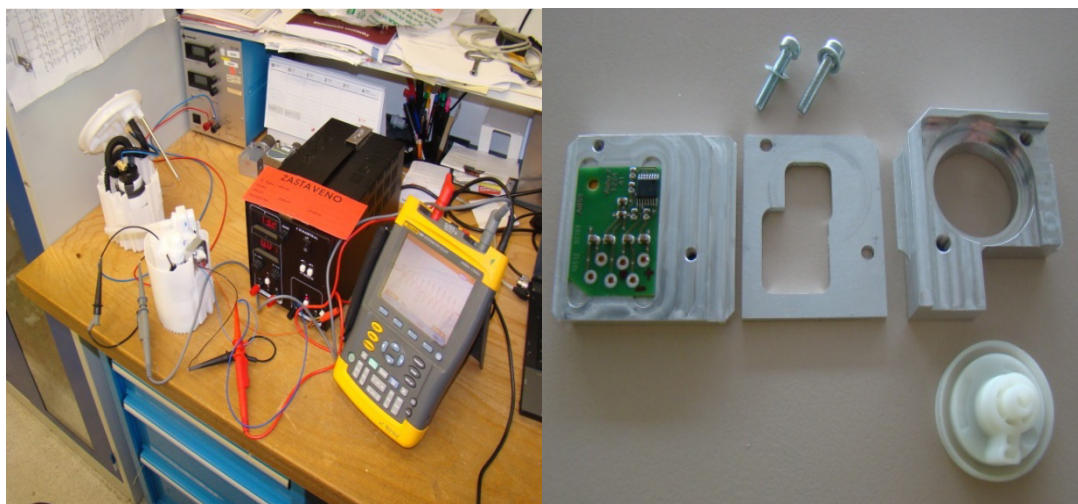
Následně byla provedena měření na vývojovém oddělení firmy Robert Bosch.

Měření byla provedena jak s čerpadlem napájeným stejnosměrným napětím tak s čerpadlem napájeným invertovaným stejnosměrným napětím.

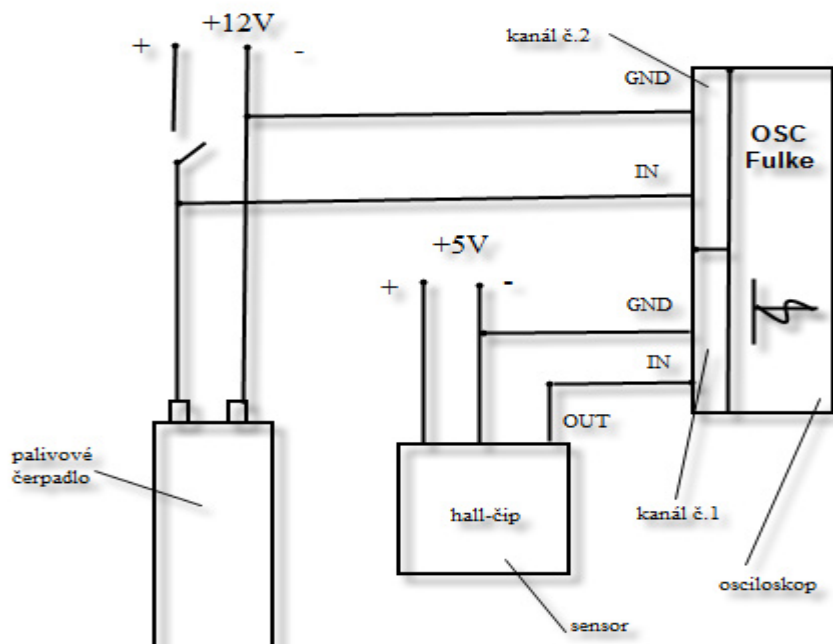
Měření a závěry z měření jsou uvedeny níže.

II.5 Výsledky funkčních zkoušek bezkontaktního snímače polohy při přechodových jevech

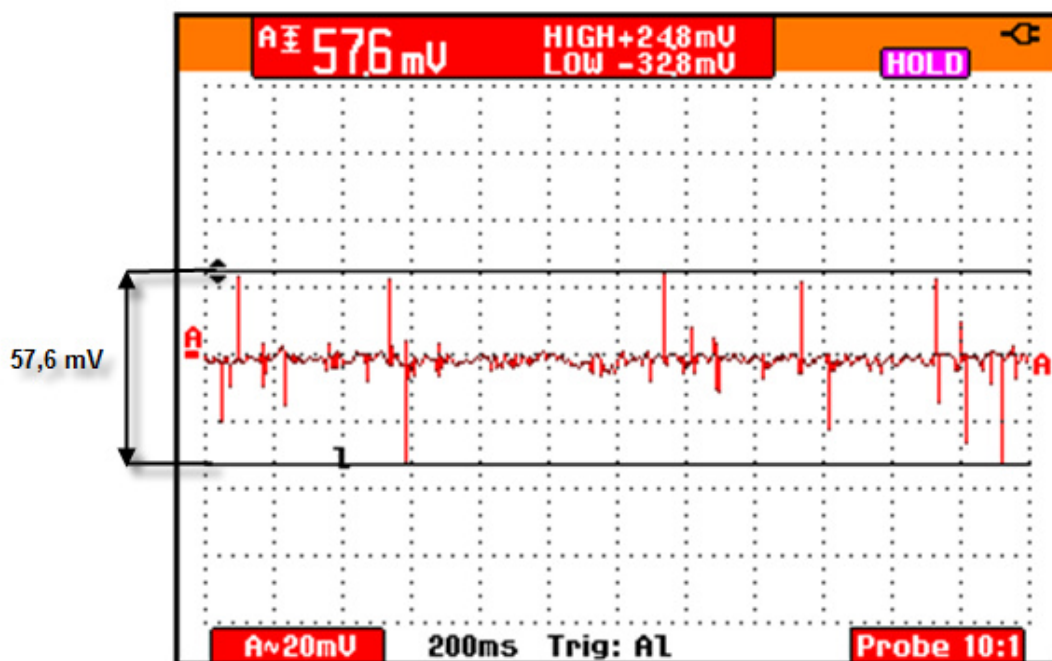
Měření provedeno na čipu MLX90317 čip uložen v hliníkovém držáku, magnet neodýmový a použitý měřicí přístroj byl přenosný bateriový osciloskop Fluke 199C. Měření bylo provedeno u palivového čerpadla napájeného stejnosměrným napětím.



Obr.II.5.1 čip uložen v hliníkovém držáku, magnet neodýmový a použitý měřicí přístroj byl přenosný bateriový osciloskop Fluke 199C, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].

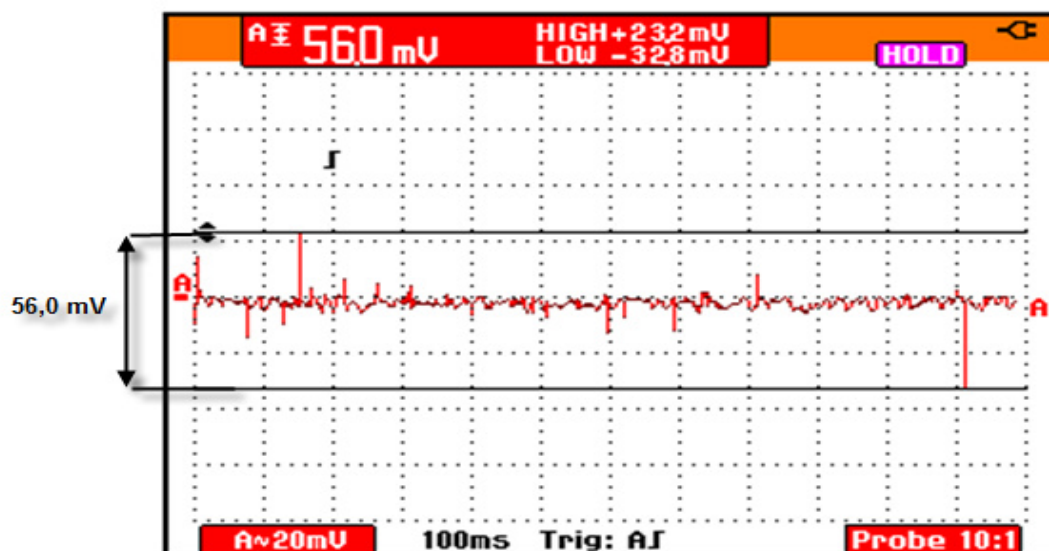


Obr.II.5.2 schéma zapojení palivového čerpadla a senzoru s hall-čipem, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].



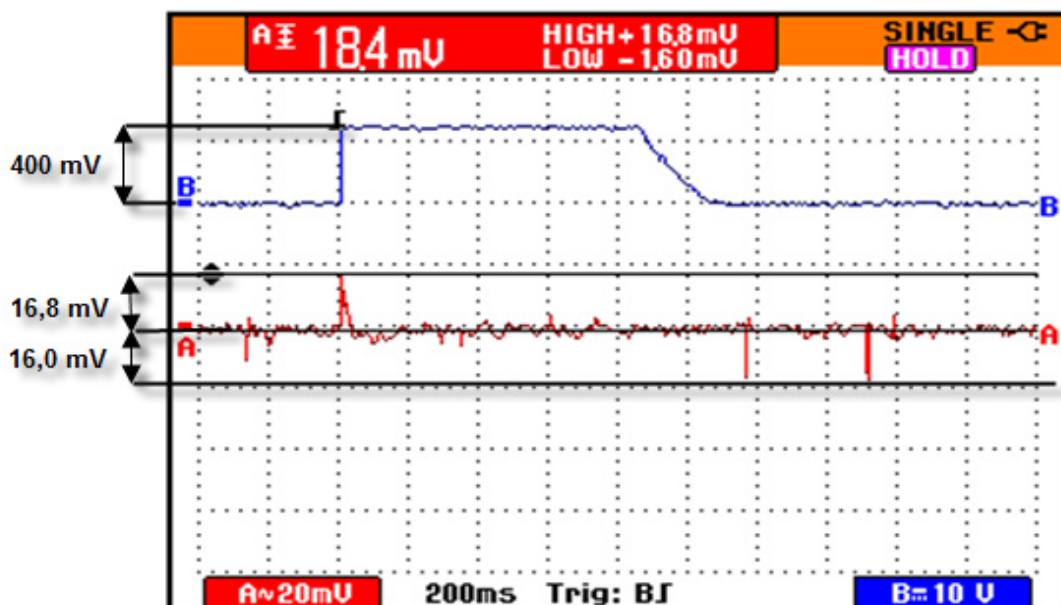
Obr.II.5.2 naměřeného napětí při vypnutém palivovém čerpadle, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33] .

Úroveň maximálního výstupní napětí FLS je 4,8V. Naměřený elektrický šum na výstupu hall-čipu byl mezi špičkami napětí: 57,6 mV, což je 1,2% z hodnoty výstupu. [33]



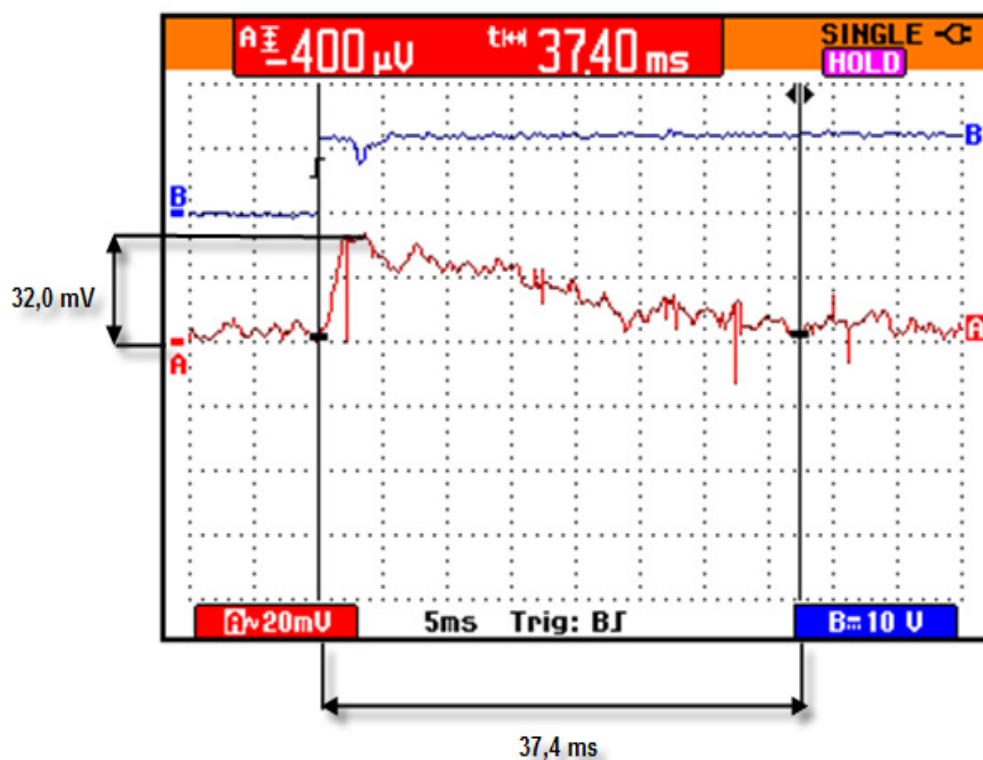
Obr.II.5.3 naměřeného napětí při zapnutém palivovém čerpadle , s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].

Naměřený elektrický šum na výstupu hall-čipu byl mezi špičkami napětí: 56 mV, je totožný jako u neběžícího palivového čerpadla 57.6 mV. Při stále běžícím palivovém čerpadle, není čerpadlem vytvářeno rušení výstupního FLS napětí.



Obr.II.5.4 naměřeného napětí při rozběhu palivového čerpadla, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33] .

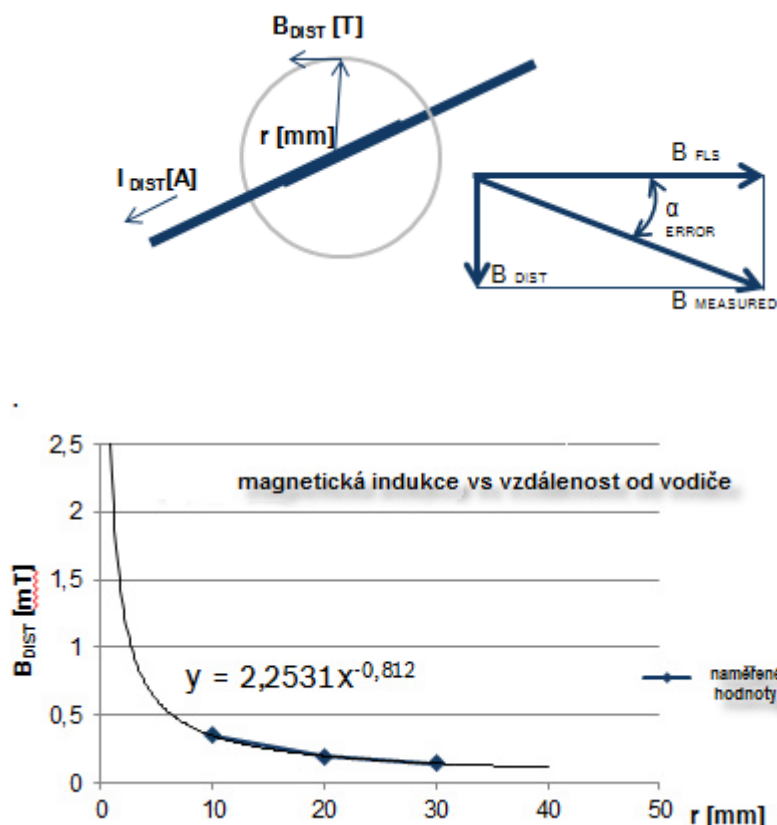
Výška pulsu z naměřeného grafu je cca. 20 mV doba trvání pulsu je cca 180 ms.



Obr.II.5.5 detailní analýza špičky napěťového pulsu při rozběhu palivového čerpadla, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33]

Vzorkovací frekvence hall-čipu je 660 ms tj. 56 vzorků výstupní hodnoty bude narušeno začátkem rozběhu palivového čerpadla jelikož palivové čerpadlo má čas napěťové špičky 37.4 ms. Vliv na úhlovou chybu je 32 mV což je $\sim 0,61^\circ$. Tato chyba vyplývá z rozsahu nastaveného rozsahu úhlu 90° pro rozsah výstupního napětí 4,7 V (rozsah $0,1 \text{ V} \div 4,8 \text{ V}$). Závěr této část měření je, že běžící palivové čerpadlo na stejnosměrný proud neovlivňuje výstupní hodnotu napětí z hall-čipu. Výstupní hodnota je ovlivněna pouze přechodovým jevem při náběhu palivového čerpadla a chyba je pak po přepočtu $0,61^\circ$ a tato chyba dočasně trvá po dobu cca 40 ms. [33]

Detailní analýza statického magnetického pole



Obr.II.5.6 Intenzita magnetického pole v závislosti vzdálenosti od vodiče, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].

Popis veličin k Obr.II.5.6

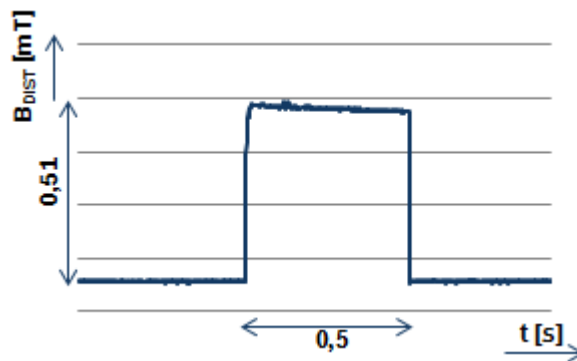
kde

I_{DIST} je elektrický proud tekoucí vodičem

B_{DIST} je magnetická indukce kolem vodiče jím teče elektrický proud

r je poloměr magnetického pole

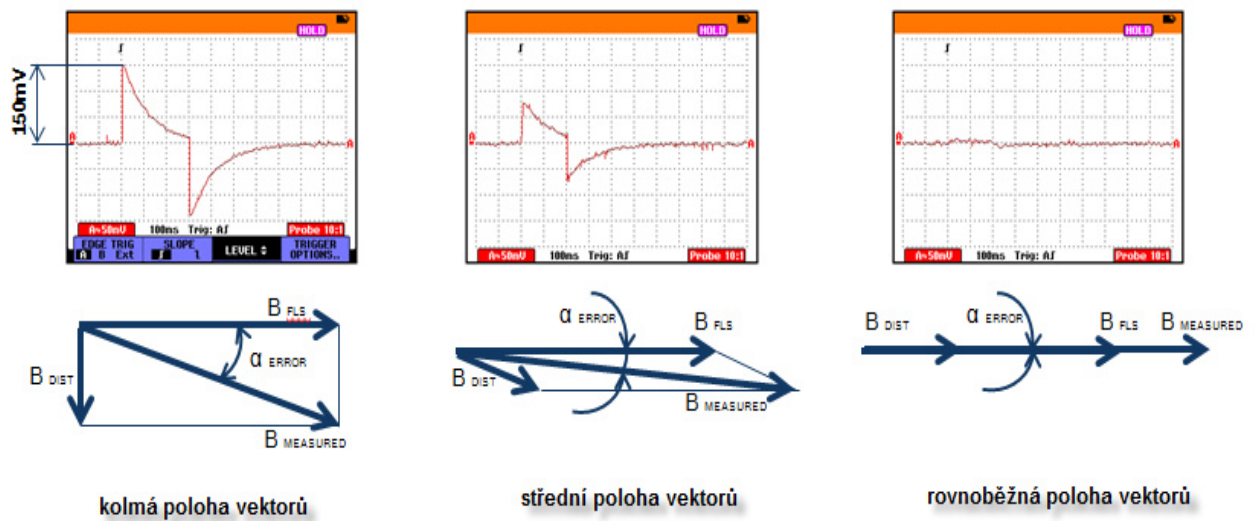
B_{FLS} je magnetická indukce permanentního magnetu



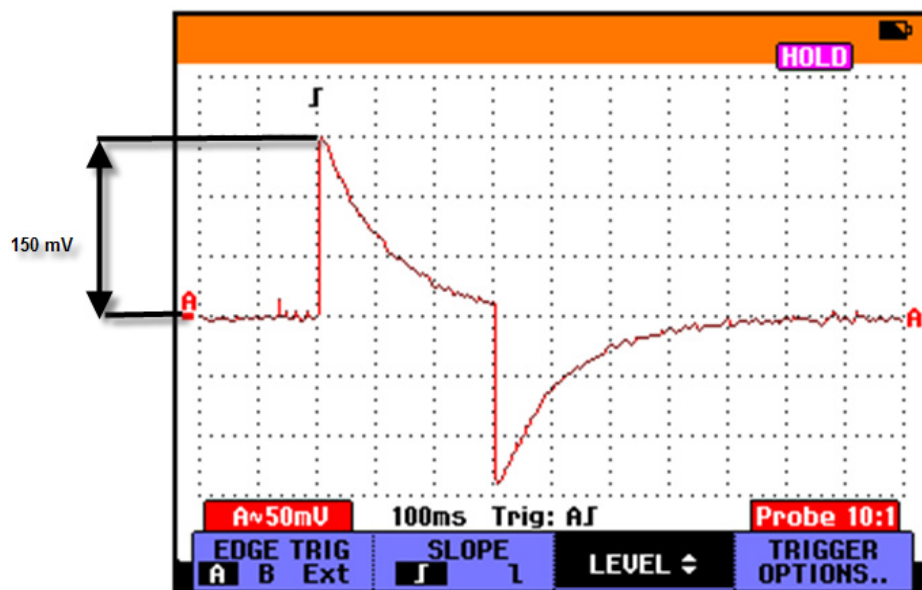
Obr. II.5.7 Naměřená hodnota magnetické indukce, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33] .

Měření bylo provedeno u palivového čerpadlo se zablokovaným rotorem. Minimální vzdálenost vodiče od čipu 0,62 mm. Maximální naměřená síla magnetického pole 0.51 mT. Vliv naměřené magnetické indukce na úhlovou chybu je při hodnotě 0,51 mT přibližně 0,73 °. [33]

Poloha vodiče a účinnost magnetického stínění.

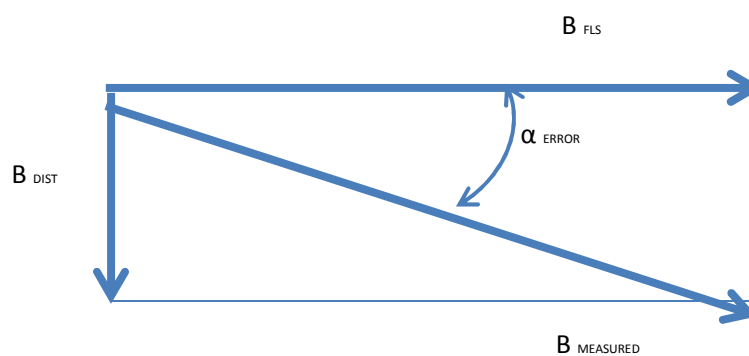
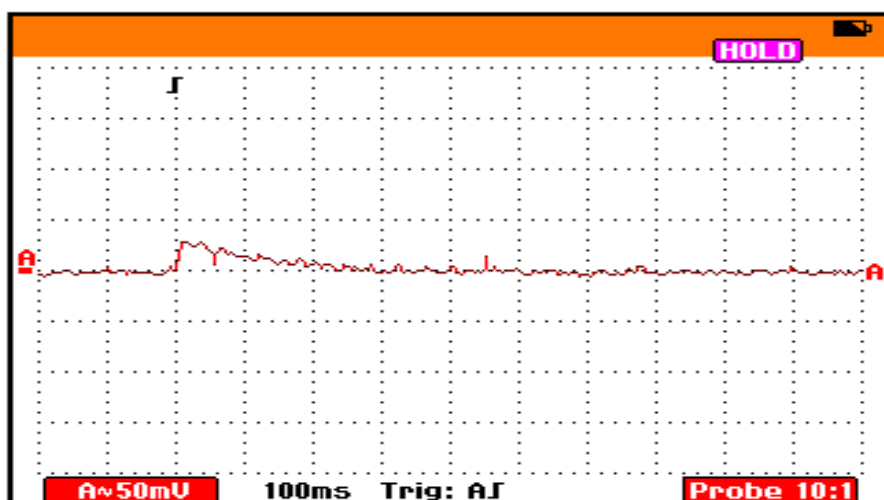


Obr.II.5.8 s grafy popis vlivu polohy vodiče vůči magnetickému poli magnetu, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].



Obr.II.5.9 s grafem a naměřenou hodnotou napětí při kolmých vektorech, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z[33] .

Hodnota napětí při natočení $R90^\circ \sim 4,7V$. Rozsah je $0,1V..4,8V$ z toho vyplývá, že $1^\circ \sim 52,2mV$. Naměřená hodnota 150 mV tedy odpovídá $2,9^\circ$. Úhlová chyba je tedy $2,9^\circ$.



Obr.II.5.10 Kolmá poloha vektorů použito však stínění vodiče ocelovým plechem o tloušťce $1,2\text{ mm}$, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].

Stínění snížilo magnetickou indukci o 77%. Při kolmé poloze vektorů magnetické indukce vodiče a magnetu je hodnota indukovaného napětí při použití stínění 34,5 mV z čehož vyplývá, že úhlová chyba je tedy $0,66^\circ$.

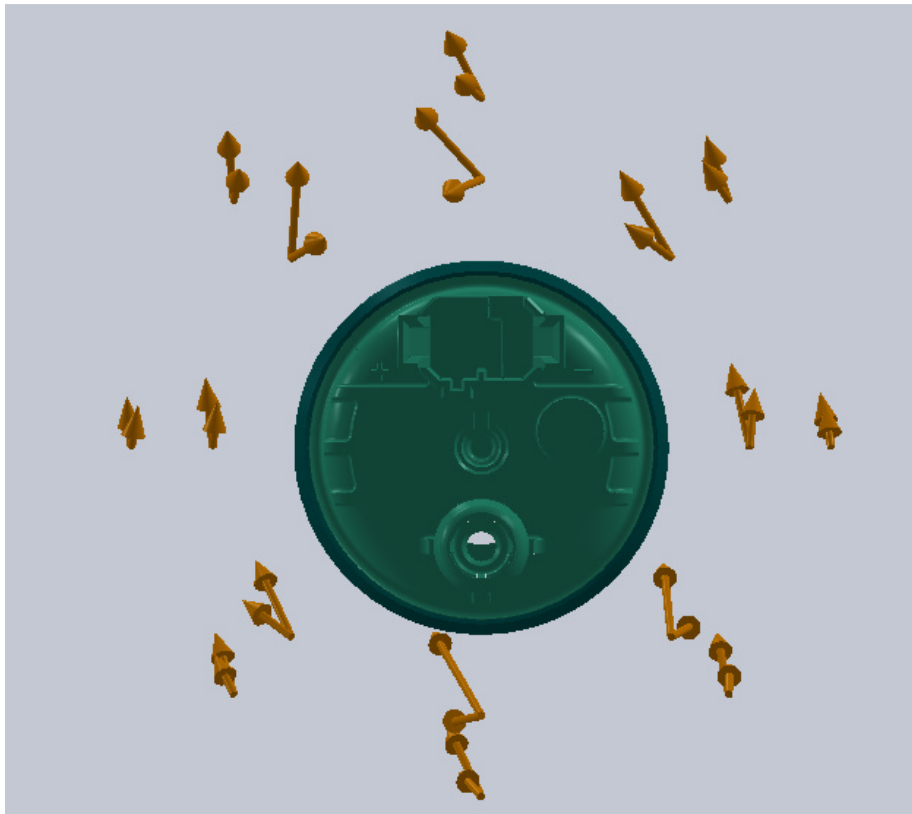
Palivové čerpadlo, které má pracovní proud 7,6 A, vykazuje ovlivnění výstupního napětí z hall-čipu chybou 150 mV $\sim 2,9^\circ$ při minimální vzdálenosti vodiče od čipu 0,62 mm.

Nejhorší stav by nastal při použití palivového čerpadla, které má pracovní proud: 20A, pak by vykázaná chyba analogicky k výše uvedenému palivovému čerpadlu byla $7,54^\circ$ a to rovněž při minimální vzdálenosti vodiče od čipu 0,62 mm.

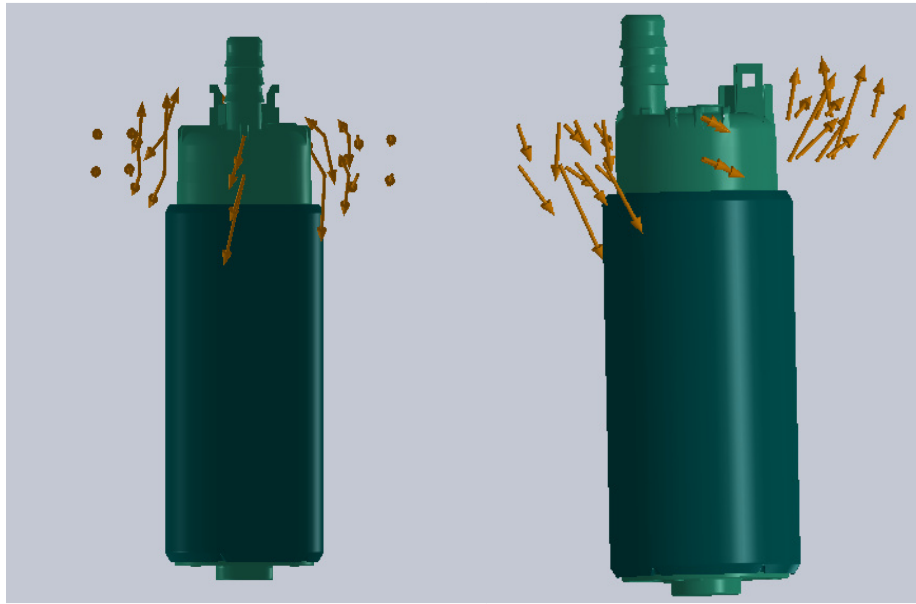
Napájecí elektrický vodič palivového čerpadla a hall-čipu ovlivňuje výstupní napětí hall-čipu deformací magnetického pole a indukovaným napětím.

Magnetické stínění ocelovým plechem nebo zvýšení odstupů vodičů od hall-čipu, přináší významné zlepšení eliminace přímého vlivu na hall-čip. [33]

Měření magnetického pole v okolí mechanicky komutovaného palivového čerpadla.

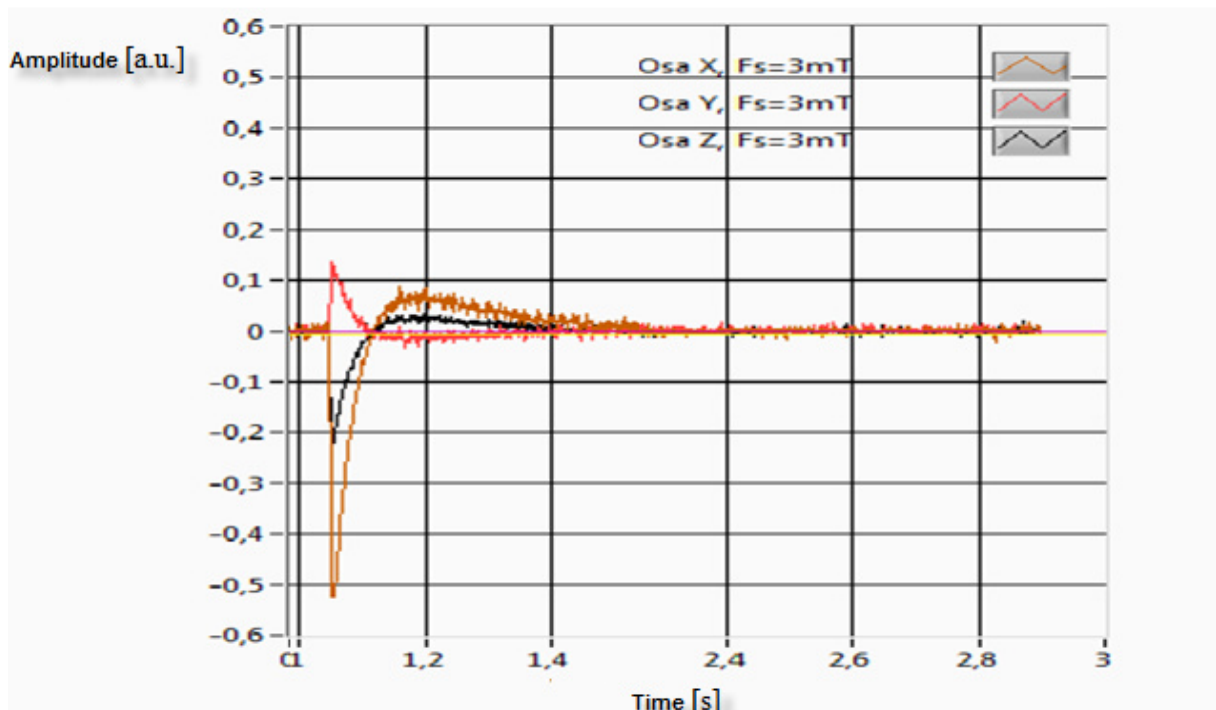


Obr.II.5.11a polohy vektorů magnetického pole v okolí palivového čerpadla, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].



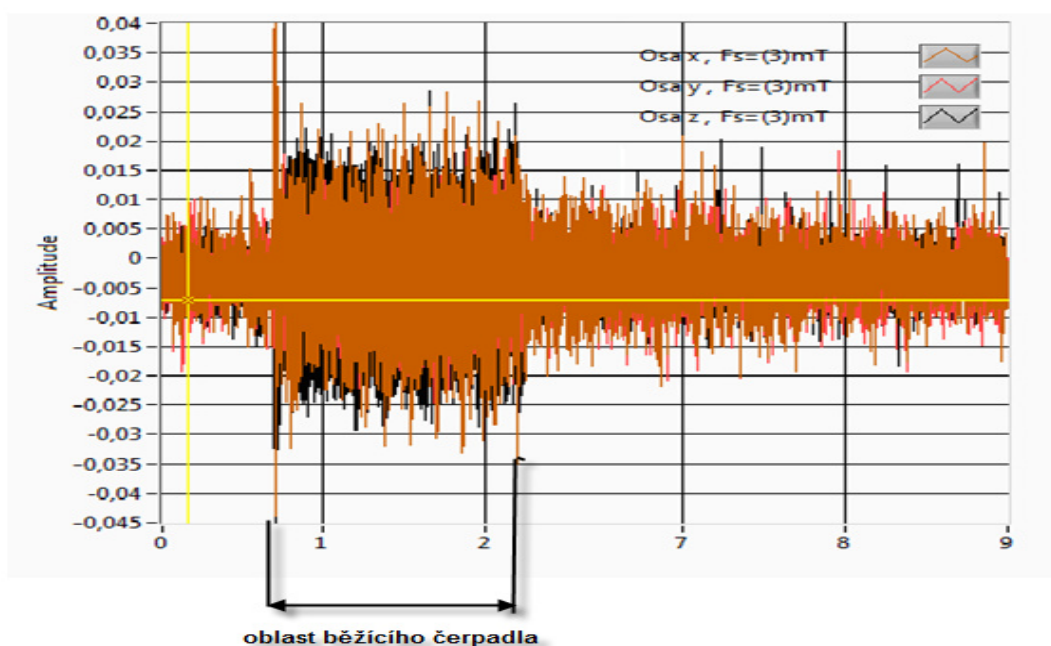
Obr.II.5.11b polohy vektorů magnetického pole v okolí palivového čerpadla, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].

Pole vyhodnoceno v 32 bodech a maximální naměřená absolutní hodnota magnetického pole byla $B=58$ mT.



Obr.II.5.12 graf naměřených hodnot magnetického pole v okolí mechanicky komutovaného palivového čerpadla, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33].

Měření magnetického pole v okolí elektronicky komutovaného palivového čerpadla.



Obr.II.5.12 grafu naměřených hodnot magnetického pole v okolí elektronicky komutovaného palivového čerpadla, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [33] .

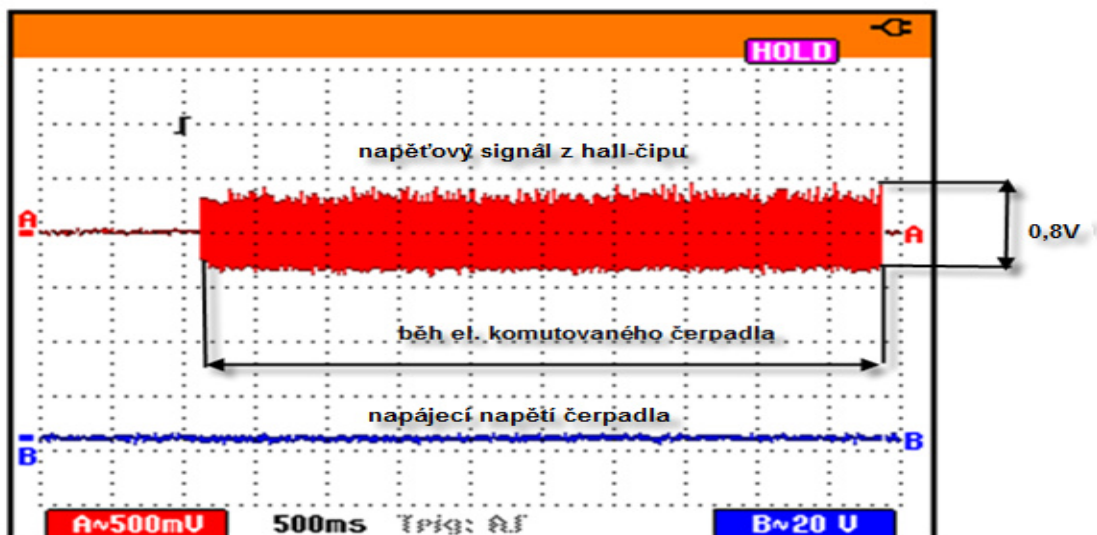
Symetrické magnetické pole kolem palivového čerpadla nenabízí žádné výhodnější umístění hall-čipu při umístění v blízkosti palivového čerpadla.

Magnetické pole kolem Elektronicky komutovaného palivového čerpadla je výrazně nižší než u mechanicky komutovaného a to cca 15 krát tj cca 4 mT.

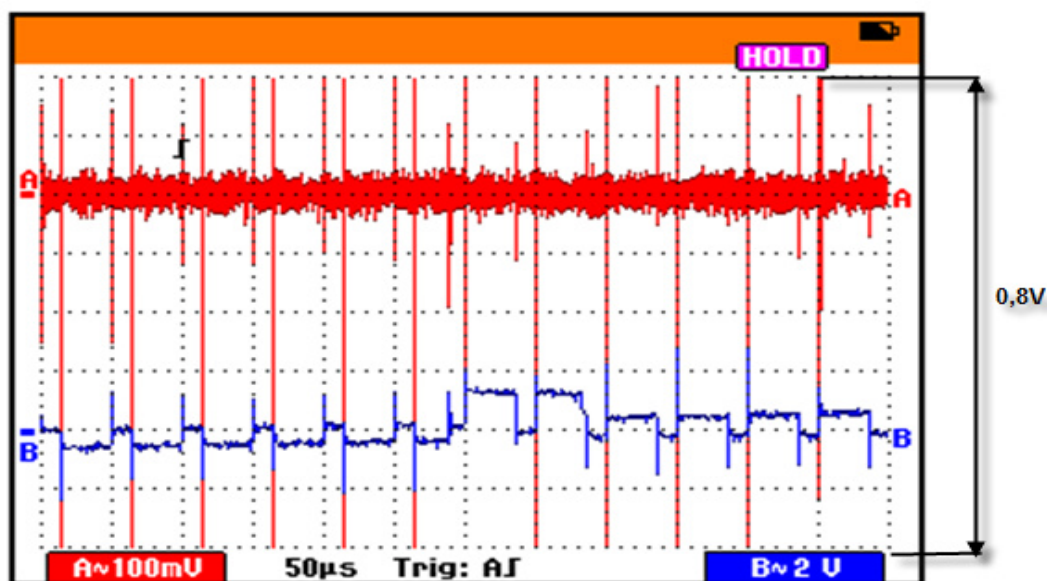
Ovlivnění výstupního signálu napájecími vodiči elektronicky komutovaného palivového čerpadla.



Obr.II.5.13 Foto čerpadlového modulu s elektronicky komutovaným čerpadlem, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [34].



Obr.II.5.14 grafu změřeného výstupního napětí, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z[34] .



Obr.II.5.15 s detailním pohledem napěťových špiček, s laskavým svolením Ing. P. Tesaře, převzato a upraveno z [34] .

Závěr tohoto měření: Šum je způsoben indukovaným napětím v důsledku modulovaného proudu a to kapacitní a induktivní vazbou v bezkontaktním měřiči polohy. Elektrický proud palivového čerpadla je 7,2 A.

Magnetické stínění ocelovým plechem nepřineslo zlepšení. Směřování kabelového svazku mimo hall-čip nepřineslo zlepšení.

II.6 Vyhodnocení vhodnosti použití snímače s Hallovou sondou pro měření hladiny paliva v automobilové nádrži.

Navržené technické řešení konfigurace snímače hladiny se ukázalo jako funkční, což dokládají provedená měření.

Ověření funkčnosti snímače hladiny pro čerpadlové moduly, které využívají palivové čerpadlo s mechanickým komutátorem napájené stejnosměrným napětím, ukázalo, že použití je možné po drobných konstrukčních změnách. Tyto konstrukční změny jsou nutné z důvodu ovlivnění výstupního signálu z Hall-čipu magnetickým polem napájecích vodičů palivového čerpadla. Tomuto ovlivnění lze zabránit oddálením napájecích vodičů palivového čerpadla nebo použitím stínění z ocelového plechu.

Ověření funkčnosti snímače hladiny pro čerpadlové moduly, které využívají palivové čerpadlo s elektronickým komutátorem napájené rozstřídaným stejnosměrným napětím, ukázalo, že použití není možné po zásadních konstrukčních změnách. Tyto konstrukční změny jsou nutné z důvodu ovlivnění výstupního signálu z Hall-čipu magnetickým polem napájecích vodičů palivového čerpadla. Tomuto ovlivnění nelze zabránit oddálením napájecích vodičů palivového čerpadla nebo použitím stínění z ocelového plechu.

I když navržené technické řešení konfigurace snímače hladiny se potvrdilo jako funkční, jeho použití v čerpadlovém modulu pro automobily s palivovým čerpadlem s elektronickou komutací, se zatím ukázalo na základě provedených měření jako problematické.

Pokud však převáží hledisko univerzálnosti tohoto měřiče a možnosti využití digitálního signálu, které toto zařízení umožňuje namísto analogového, nad ekonomickými hledisky, které je zapotřebí pro jeho další vývoj, je po potřebných úpravách i u čerpadlového modulu pro automobily s palivovým čerpadlem s elektronickou komutací v zásadě možné.

Závěr

V práci bylo provedeno v úvodní části Druhy snímačů detailní seznámení s problematikou měření hladiny kapaliny se zvláštním zřetelem k měření paliva v palivové nádrži.


V další části nejvíce používané snímače pro měření hladiny paliva byly zpracovány nejčastěji používané principy snímačů hladiny paliva.

V následné části je uvedený Optimalizovaný návrh vhodného technického řešení konfigurace snímače hladiny paliva v nádrži.

V závěru práce jsou uvedeny Výsledky testování funkčnosti snímače a jeho parametry jsou v měřicím protokolu.

Vzhledem k tomu, že Zpracovaná teoretická část práce se podrobně zabývá měřením hladiny kapalin, dá se též využít jako učebnice a studijní text nejen pro techniky v automobilovém průmyslu.

Seznam použité literatury a odkazy na www stránky

- [1] GARZINOVÁ, R., Prvky řídicích systémů. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2012.
- [2] KADLEC, K., Snímače polohy hladiny – principy, vlastnosti a použití (část 1), Automa časopis pro automatizační techniku, číslo 5. Ročník 5. PRAHA: FCC Public s. r. o., 2005
- [3] http://www.ebay.com.au/itm/Trabant-P-50-P-70-Tankmesstab-Tankanzeige-Messtab-P50-P70-/350789631284?nma=true&si=ivVvORudnqkh7HBR%252FSJvlzFw7vI%253D&orig_cvip=true&rt=nc&trksid=p2047675.12557 6.6.2013
- [4] <http://boskovice.org/moje/volha/servis/karburator.htm> 6.6.2013
- [5] <http://www.hennlich.cz/produkty/prvky-pro-mereni-a-regulaci-hladinomer-plovakove-hladinomer-3551/hladinomer-nivofix-lc.html> 6.6.2013.
- [6] http://www.rmt.cz/katalog/vahy/KL/KL-01-L-102_0307_L-Cell.pdf 6.6.2013.
- [7] <http://www.kobold.com/> 6.6.2013.
- [8] http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/predn/txt-Mgr/FTOP08_Hladina.pdf 6.6.2013.
- [9] media1.wgz.cz/files/media1:5100dca643792.pdf.upl/zaktechnicke_prostředky... 6.6.2013.
- [10] <http://www.gesintsrl.it/bubbling-level-measure.php> 6.6.2013. 6.6.2013
- [11] <http://meres.hennlich.cz/produkty/mereni-a-regulace-hladiny-hladinomer-6647/hladinomer-spinac-lcc1.html> 6.6.2013
- [12] <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k44-hlad.htm> 6.6.2013
- [13] OMEGA, Soubor technických informací poskytovaných firmou Omega, Zpravodaj pro oblast měření a regulace číslo 4 Měření průtoku & měření výšky hladiny, Praha 2010
- [14] KADLEC, K., Snímače polohy hladiny – principy, vlastnosti a použití (část 2), Automa časopis pro automatizační techniku, číslo 6. Ročník 5. PRAHA: FCC Public s. r. o., 2005
- [15] https://www.google.cz/search?q=photoelektrische+sensor+oberflaeche+fl%C3%BCssigkeit&rlz=1C1CHVZ_csCZ544CZ544&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=2rzvUcTMOYSt4ATHy4HgDA&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=668 6.6.2013
- [16] <http://www.dinel.cz/uploads/pdf/121004033635-ulm-531-dat-cz.pdf> 16.6.2013
- [17] <http://www.levelxpert.cz/produkty-detail.php?kod=122&kategorie=1>
<http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k44-hlad.htm> 16.6.2013
- [18] <http://www.ksr-kuebler.com/website/index.php?lang=de&load=387> 16.6.2013
- [19]  Snímače (senzory)
http://search.seznam.cz/?q=potenciometrick%C3%BD+sn%C3%ADma%C4%8D+hladiny&Id=0g29gIuAwe_CEB7XTIMA&aq=-1&oq=potenciometrick%C3%BD+sn%C3%ADma%C4%8D+hladiny&sourceid=top&thru=&su=b 16.6.2013
- [20] http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/schauer/automatizace/automatizace_mereni_2013.pdf 16.6.2013
- [21] <http://www.mesit.biz/cs/product/1208-kapacitni-hladinomer> 16.6.2013
- [22] http://www.vdo.com/generator/www/com/en/vdo/main/hidden/downloads/special_oem_solutions/sensors/flc_61200_vdo_fuel_level_measurement_eng_en.pdf?redirect=false 16.6.2013
- [23] <http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=9224&docGroup=151&cmd=0&instance=1> 16.6.2013
- [24] http://pdb.turck.de/media/cz/Anlagen/Datei_EDB/edb_1590866_ces_cz.pdf 16.6.2013

- [25] Honeywell, HALL EFFECT SENSING AND APPLICATION • MICRO SWITCH., 61032 Freeport, 11 West Spring Street Sensing and Control, Sensing and Control, Honeywell Inc, 2012
- [26] <http://automatizace.hw.cz/integrované-amr-senzory-magnetického-pole> 16.6.2013
- [27] <http://www.my-ftm.com/0904/090414.asp> 16.6.2013
- [28] http://www.honeywellscportal.com/index.php?ci_id=49648&la_id=1 16.6.2013
- [29] <http://automatizace.hw.cz/gmr-senzory-mag-pole-1-dil-princip-a-struktura> 16.6.2013
- [30] <http://www.melexis.com/Application/Chassis-Systems-8.aspx>
- [31] Melexis MLX90316 “Under-the-Hood” Triaxis® Rotary Position feat. SENT Protocol, 2013
- [32] https://www.google.cz/search?q=m%C4%9B%C5%99en%C3%AD+hladiny+paliva&sa=N&rlz=1C1CHVZ_csCZ544CZ544&tbm=isch&tbo=u&source=univ&ei=uqvlUcGkIIbxsgaRpoH4Dw&ved=0CE8QsAQ4Cg&biw=1366&bih=705#rlz=1C1CHVZ_csCZ544CZ544&tbm=isch&sa=1&q=%C4%8Derpadlov%C3%BD+modul&oq=%C4%8Derpadlov%C3%BD+modul&gs_l=img.12...278978.288012.0.290547.16.14.0.2.2.0.203.1547.7j6j1.14.0....0.0..1c.1.20.img.PJpHm6STyJE&bav=on.2.or.r_qf.&bvm=bv.49405654%2Cd.Yms%2Cpv.xjs.s.en_US.QXiTEk6XjhM.O&fp=385aff9f92e9ed45&biw=1366&bih=705 16.6.2013
- [33] TESAR P., Prezentace měření FLS3.0 Fuel Pump EMC, České Budějovice, RBCB, 2012