

## Obsah

Použité symboly a zkratky: .....	1
Úvod.....	2
Kontaktní měření otáček .....	3
Mechanický odstředivý otáčkoměr .....	3
Chronometrický otáčkoměr-Tachoskop.....	3
Hydraulický otáčkoměr .....	4
Magnetoindukční otáčkoměr.....	4
Stejnoseměrné tachodynamo .....	4
Střídavý asynchronní tachogenerátor.....	5
Unipolární dynamo .....	5
Střídavý synchronní tachogenerátor.....	6
Bezkontaktní měření otáček.....	6
Stroboskopické snímače.....	6
Indukčnostní snímače.....	7
Hallový snímače.....	8
Jazyčkové kontakty .....	9
Fotoelektrické senzory .....	9
Seznam použité literatury.....	10

### Použité symboly a zkratky:

$n$	frekvence otáčení
$N_o$	počet otáček
$T$	časový interval
$rpm$	revolutions per minute (počet otáček za minutu)
$rps$	revolutions per second (počet otáček za sekundu)
$K_H$	Hallová konstanta [ $m^3 \cdot A^{-1} \cdot s^{-1}$ ]
$I_P$	proud procházející polovodičem [A]
$N$	počet závitů cívky
$k$	konstrukční konstanta
$L$	indukčnost [H]
$R_m$	Reluktance magnetického obvodu [ $H^{-1}$ ]
$\omega$	úhlová rychlost [ $rad \cdot s^{-1}$ ]

# Úvod

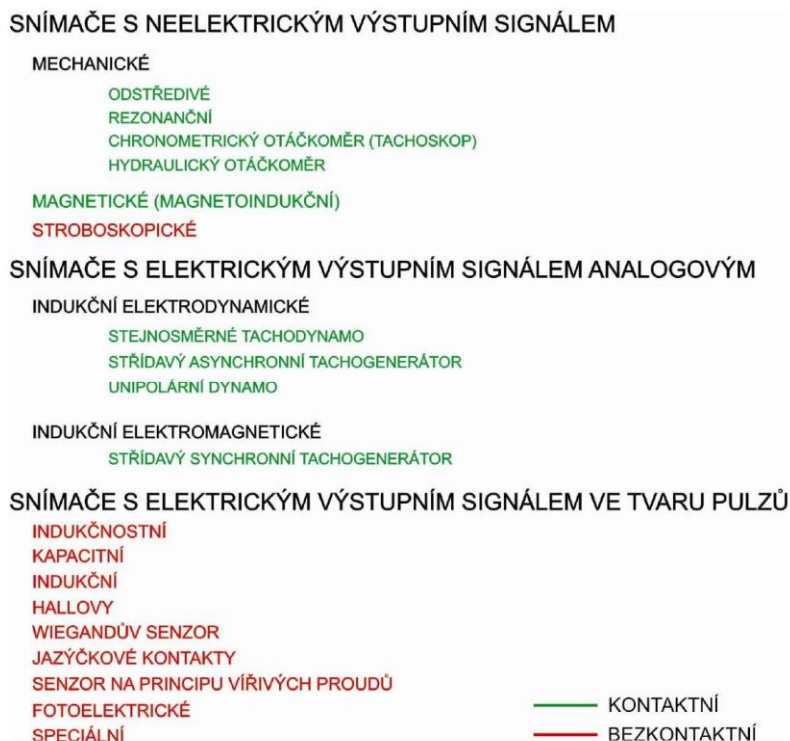
Měření otáček patří k velice často měřeným veličinám. Jejich znalost je nezbytná pro optimální funkci všech strojních zařízení a zkvalitňování technologických procesů. Používají se různé druhy čidel otáček založené na různých fyzikálních principech a podle toho dosahují i různých technických parametrů (rozsah otáček, výstupní signál, dosah, přesnost, atd.). Všechny mají jeden společný znak a to, že převádějí úhlovou rychlost na jinou fyzikální veličinu

Frekvence otáčení  $n$  vyjadřuje změnu polohy tělesa za určitý časový interval a definuje se tedy jako počet otáček  $N$  dělená časovým intervalem  $T$ .

$$n = \frac{N_o}{T} [s^{-1}]$$

Pro frekvenci otáčení rotačních strojů se častěji využívá název otáčky za minutu (ot/min) nebo otáčky za sekundu (ot/s). V anglickém jazyce pak rpm (revolutions per minute) nebo rps (revolutions per second)

Pro měření otáček se používají klasické snímače polohy nebo zrychlení a výstupní signál úměrný rychlosti otáčení se získá derivací nebo integrací signálu ze senzoru. Snímače lze členit dle měřené veličiny, fyzikálního principu, styku s měřeným prostředím, transformace signálu, výrobní technologie aj. Podle druhu výstupního signálu se dají rozdělit do tří základních skupin – snímače s neelektrickým výstupním signálem, snímače s elektrickým výstupním signálem analogovým, snímače s elektrickým výstupním signálem ve tvaru pulzů.



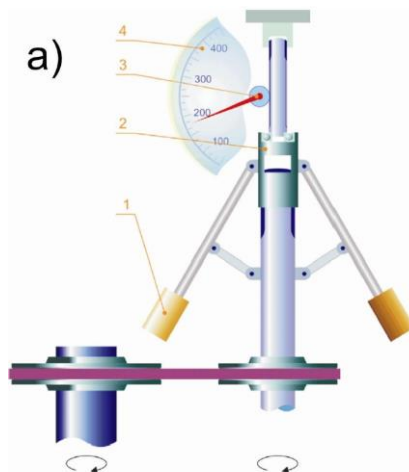
Obrázek 1 - Rozdělení snímačů otáček

## Kontaktní měření otáček

Kontaktní (dotykové) měření otáček je takové měření, kdy dochází mezi snímačem a měřeným objektem k přímému mechanickému kontaktu. Mechanické otáčkoměry už ztrácí v dnešní době na svém dřívějším významu s ohledem na pohyblivé části a z toho plynoucí omezení. Přesto se stále ještě využívají, i když už pouze v omezené míře. Jejich místo v dnešních moderních aplikacích nahrazují většinou snímače s elektrickým výstupním signálem.

### Mechanický odstředivý otáčkoměr

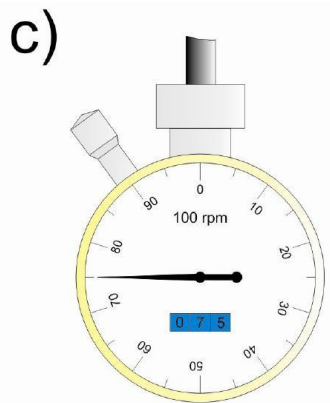
Jedním z prvních otáčkoměrů byli odstředivé otáčkoměry. Pracují na principu Wattova regulátoru. Využívají odstředivou sílu rotujícího závaží. Skládají se z převodovky a převodu na ukazatel, závaží a pružiny. Závaží se v důsledku rotace hřídele snaží vzdálit dokud nedojde k vyrovnání odstředivé síly a síly pružiny. Pro určitou rychlost otáček tedy odpovídá určitá poloha objímky a tím i polohy ručičky na stupnici. Dají se použít pro rozsahy od 30 až do 12 000 ot/min. Tyto otáčkoměry se ale dnes již nepoužívají. Jejich problémem je nutnost pohonu ohebným hřídelem a nutnost neustálého mazání. Nejčastější závady byly právě v důsledku poruchy mazání.



Obrázek 2-Odstředivý otáčkoměr

### Chronometrický otáčkoměr-Tachoskop

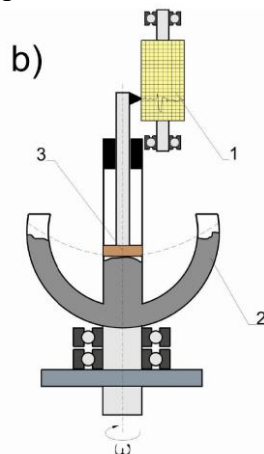
Tento přístroj patří do skupiny kontaktních snímačů pracujících na principu měření úhlu natočení rotujícího tělesa za určitý čas. Zjednodušeně lze říci, že se jedná o spojení počítadla otáček s hodinovým přístrojem. Otáčkoměr měří celkový počet otáček za určitý časový úsek, takže měří střední hodnotu frekvence otáčení za časový interval.



Obrázek 3 - Chronometrický otáčkoměr

## Hydraulický otáčkoměr

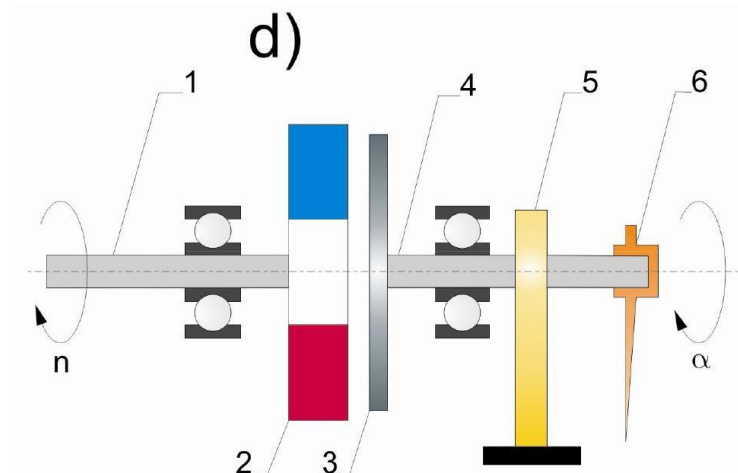
Pracuje na principu měření frekvence otáčení působením účinků odstředivých sil při rotaci kapaliny. Podle výšky hladiny kapaliny při rotaci se určí příslušné otáčky. Kapalina je uzavřena v rotující nádobě, obvykle se k měření používá rtuť, měří v rozsahu od 20 do 10 000 ot/min.



Obrázek 4 - Hydraulický otáčkoměr

## Magnetoindukční otáčkoměr

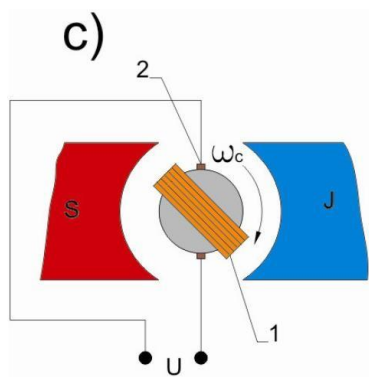
Magnetické pole permanentního magnetu (2) při otáčení zasahuje elektricky vodivý (hliníkový) kotouč (3), čímž dochází ke vzniku vířivých proudů. Silovým působením magnetického pole permanentního magnetu a vířivými proudy dochází k unášení vodivého kotouče. Čidla založená na tomto principu se velice často používají k určení rychlosti u dopravních prostředků.



Obrázek 5 - Magnetoindukční otáčkoměr

## Stejnoseměrné tachodynamo

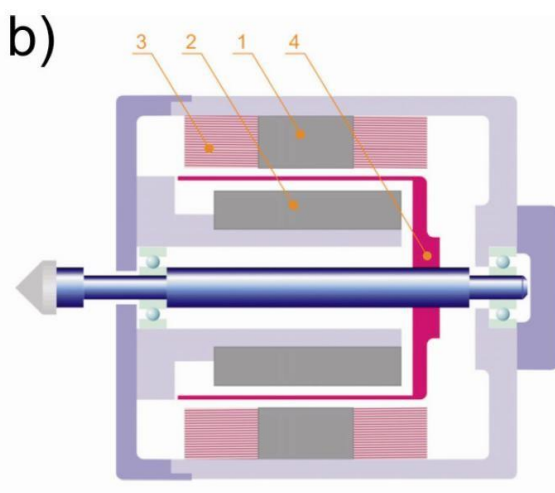
V magnetickém poli permanentního magnetu nebo elektromagnetu se otáčí kotva s vinutím (1). Konce vinutí jsou vyvedené na komutátor, odkud se pomocí sběrných kartáčků (2) snímá napětí  $U$ . Výstupní hodnota napětí se lineárně mění s otáčkami rotoru tachodynamu. Pro svou optimální funkci vyžaduje minimální zatěžování. Výhodou je velká citlivost, vysoký výstupní signál a rozpoznání směru otáčení.



Obrázek 6 - Stejnosměrné tachodynamo

### Střídavý asynchronní tachogenerátor

Nemá komutátor, výstupní signál je napětí se střídavým průběhem. Vyrábějí se buď s klecovou kotvou nebo s bubínkovým rotorem. Asynchronní tachogenerátory lze použít až do 8000 ot/min, velikost výstupního signálu se pohybuje mezi 10 V až 100 V. Výhodou je vysoká linearita lepší než  $\pm 0,1\%$  a malé zvlnění, nevýhodou je parazitní vliv teploty.

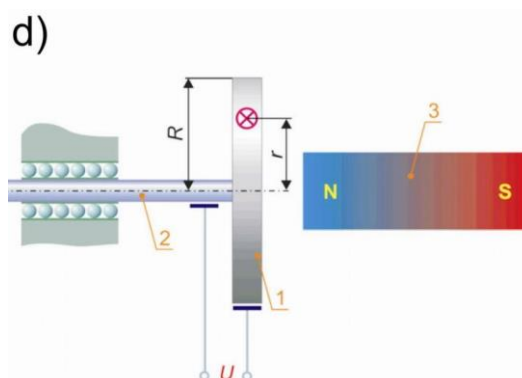


Obrázek 7 - Střídavý asynchronní tachogenerátor

1 – vnější část statoru, 2 – vnitřní část statoru, 3 – vinutí, 4 – rotor

### Unipolární dynamo

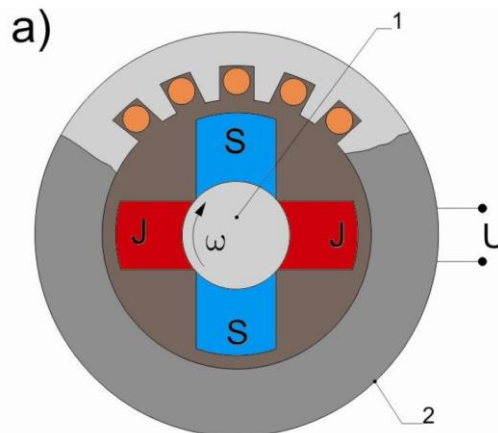
Jeho princip vychází z chování rotujícího disku v homogenním magnetickém poli. Jako disk slouží hliníkový kotouč spojený s hřídelí, která se otáčí. Magnetické pole permanentního magnetu působí právě na tento kotouč. Výstupní napětí je stejnosměrné, pomocí sběrných kartáčků je přivedeno na výstupní svorky. Nevýhodou jsou problémy s přechodovými odpory na sběračích.



1 – kotouč, 2 – hřídel, 3 – permanentní magnet

### Střídavý synchronní tachogenerátor

Rotor se skládá z permanentního magnetu, ve kterém vzniká magnetický budící tok. Stator je tvořen drážkami, ve kterých je uloženo jednofázové (nebo třífázové) vinutí. Indukované napětí a jeho kmitočet jsou úměrné otáčkám. Při změně otáček dochází ke změně reaktance, zatímco činná odpor se nemění, tím pádem je charakteristika výstupního napětí silně nelineární i při konstantní činné zátěži. Proto se používají jako vysílače v otáčkoměrech s dálkovým přenosem, kde dochází k cejchování přímo s ukazatelem.



Obrázek 9 - Střídavý synchronní tachogenerátor

1 – rotor s permanentními magnety, 2 – stator s drážkami a vinutím

### Bezkontaktní měření otáček

Bezkontaktní měření otáček nevyžaduje přímý dotyk s rotujícím předmětem. Je tedy v řadě případů jednodušší a praktičtější. Nedá se ale říci, že je vždy výhodnější.

Pro některé úlohy nebo podmínky měření je vhodnější nebo dokonce jediné možné měření otáček kontaktním způsobem, například při měření obvodové rychlosti, při malém průměru hřídele nebo při uspořádání nevhodném pro bezdotykové měření otáček. Obě metody se tedy vzájemně nenahrazují, ale doplňují.

### Stroboskopické snímače

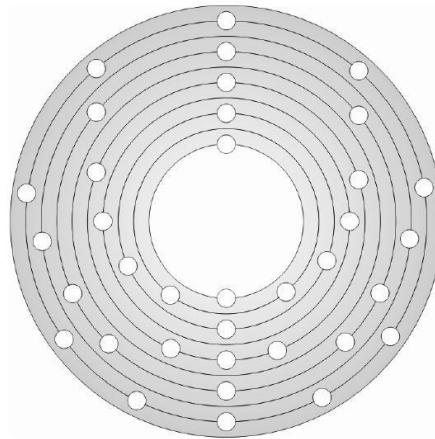
Jsou založeny na tzv. Stroboskopickém jevu (efektu), tj. schopnosti lidského oka vnímat rychle po sobě následující obrazové vjemy jako ucelený obraz. Frekvence těchto obrazů musí být nejméně 12 snímků/s. Slovo *stroboskop* má svůj původ z řeckého slova *stróbo(s)* + *skópos*, tj. otáčení + pozorovat. Existují dva způsoby, jak využít tohoto jevu k měření otáček, a to buď umístěním dobře viditelné značky na rotující předmět, nebo použitím tzv. stroboskopického kotouče spojeného s rotující částí.

V dnešní době se používají zejména elektronické stroboskopy, které mají nastavitelnou frekvenci záblesků pomocí zabudovaného generátoru. Jako zdroj světla slouží výkonná halogenová výbojka, která vytváří silné a zároveň velice krátké záblesky přerušovaného světla. Frekvenci těchto záblesků lze měnit, obvykle se plynule zvyšuje.

Frekvenci otáčení (otáčky) měříme tak, že na otáčející se část vyznačíme nesymetrickou značku. Při frekvenci záblesků, která se rovná otáčkám označeného rotujícího předmětu, se tato značka jeví jako statická. Frekvence záblesků stroboskopu je tedy shodná s frekvencí otáčení označeného rotujícího předmětu a stroboskop nám přímo ukáže hodnotu měřených otáček. Údaj

o otáčkách dostaneme buď jako číselný (digitální) nebo analogový, záleží na konstrukci daného stroboskopu.

Stroboskopy jsou vhodné pro ty případy, kdy se po určitou dobu měří konstantní otáčky, nejsou tedy vhodné pro měření okamžité frekvence otáčení.

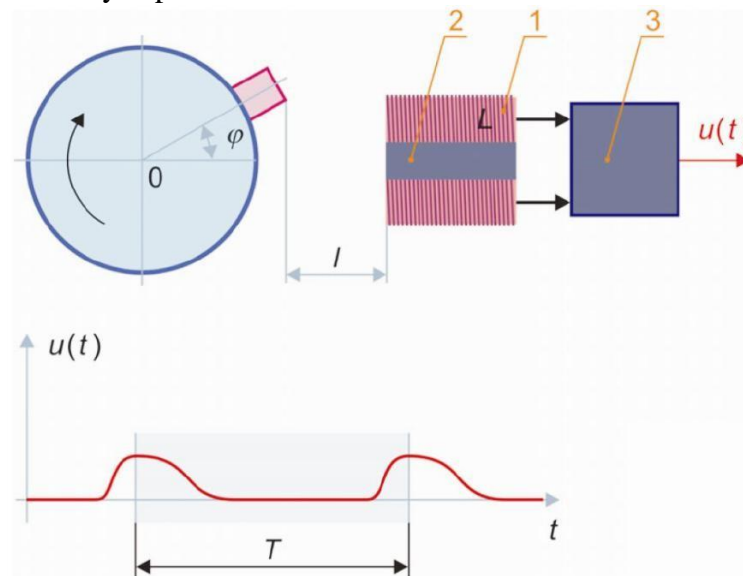


Obrázek 10 - Příklad stroboskopického kotouče

### Indukční snímače

Tyto snímače pracují na principu převodu neelektrické veličiny (v našem případě otáček) na změnu vlastní nebo vzájemné indukčnosti cívky. Ideální indukční snímač má mít vysokou reaktanci  $\omega \cdot L$  v porovnání s odporem  $R$ . Ve skutečnosti se při běžných kmitočtech 5-50 kHz dosahuje  $\omega \cdot L \sim 1$  až  $10 R$ . Indukční senzor je vždy tvořen jednou nebo více cívkami. Existuje celá řada možných konstrukcí těchto senzorů.

Na obrázku je znázorněn jedno z nejběžnějších provedení indukčního snímače otáček. Rotací feromagnetického (např. železného) výstupku na hřídeli dochází ke změně vzdálenosti  $l$  mezi cívkou a výstupkem a tím i ke změně indukčnosti  $L$ .



Obrázek 11 - Schéma indukčního snímače otáček

1 – cívka, 2 – jádro, 3 – měřicí zařízení

Snímač je tvořen cívkou s feromagnetickým jádrem, která je spojena s měřidlem indukčnosti. Při průchodu feromagnetického výstupku dojde ke změně indukčnosti, a tím i ke změně výstupního napětí z měřidla. Výstupní signál  $u(t)$  má už většinou tvar pulzů, které se dále zpracovávají pomocí vhodného čítače. Indukčnost cívky je dána vztahem:

$$L = k \frac{N^2}{R_m}, \text{ kde } k - \text{konstrukční konstanta [-], } N - \text{počet závitů cívky [-], } R_m - \text{magnetický}$$

odpor [ $H^{-1}$ ].

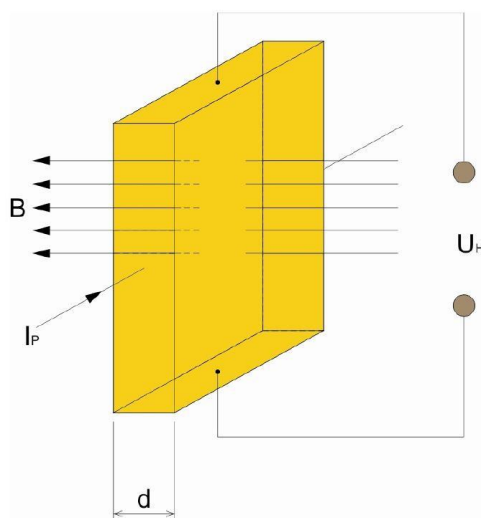
Změna indukčnosti je způsobena právě změnou  $R_m$ . Ta závisí na použitém feromagnetickém materiálu a na geometrickém uspořádání obvodu. K dosažení lepší citlivosti snímače je možné použít dvě cívky v diferenciálním zapojení.

### Hallový snímač

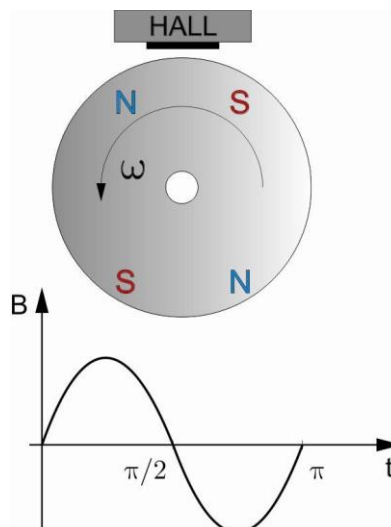
Tyto snímače využívají Hallova jevu. Hallův jev je založen na skutečnosti, že příčné magnetické pole o indukci  $B$  působí na polovodič, kterým prochází elektrický proud  $I$ . Pohybující se elektrony jsou vychylovány působením Lorentzovy síly k jedné straně tohoto vodiče. Díky tomu, že póly mají různý potenciál, vzniká na protějších stranách hranolu Hallovo napětí:

$$U_H = K_H \frac{I_P B}{d} \sin \Theta$$

$K_H$	Hallova konstanta [ $m^3 A^{-1} s^{-1}$ ]
$I_P$	proud procházející polovodičem [A]
$B \sin \Theta$	složka magnetické indukce kolmá na směr $I_P$ [T]
$d$	tloušťka polovodičové vrstvy



Obrázek 12 - Hallův senzor



Obrázek 13 - Schéma snímače

Pokud je tloušťka polovodiče  $d$  a Hallova konstanta  $K_H$  neměnná a vodičem prochází konstantní napájecí proud  $I_P$ , pak bude Hallovo napětí  $U_H$  záviset pouze na magnetické indukci  $B$  a její poloze vůči polovodiči. Hallovo napětí je tudíž možné detekovat a pomocí vhodného elektrického obvodu zesílit a dále podle potřeby zpracovávat. Signálem je obvykle napětí ve tvaru obdélníkových pulsů, které se dále zpracovává pomocí vhodných čítačů.

Magnetické pole je vytvářeno permanentními magnety různých tvarů a vlastností, na obrázku je uveden průběh magnetické indukce za jednu otáčku při průchodu permanentních magnetů.

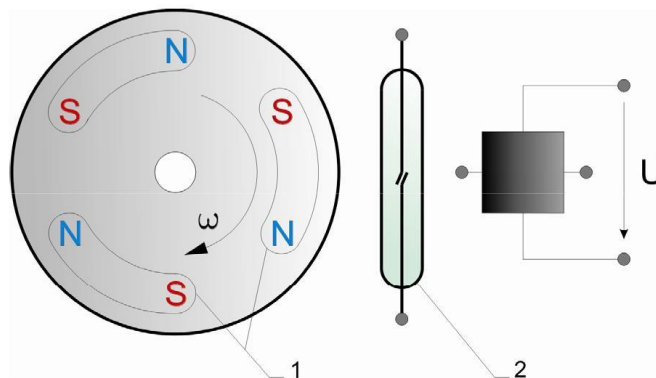
Hallové senzory se nejčastěji používají jako snímače otáček u spalovacích motorů (řízení a vstřikování paliva) a u systémů ABS. Dále pak jako čidla rychlosti jízdy, průtoku kapalin a řízení otáček u stejnosměrných motorů.



## Jazýčkové kontakty

Jazýčkové kontakty jsou 2 kontakty, které jsou vyrobeny z magneticky měkkého materiálu a spínány magnetickým polem. Princip jazýčkových kontaktů spočívá v tom, že když se dostanou do magnetického pole, většinou do blízkosti permanentního magnetu, tak dojde k jejich zmagnetování. Na jejich volných koncích se objeví opačné magnetické póly a kontakty se k sobě přitáhnou.

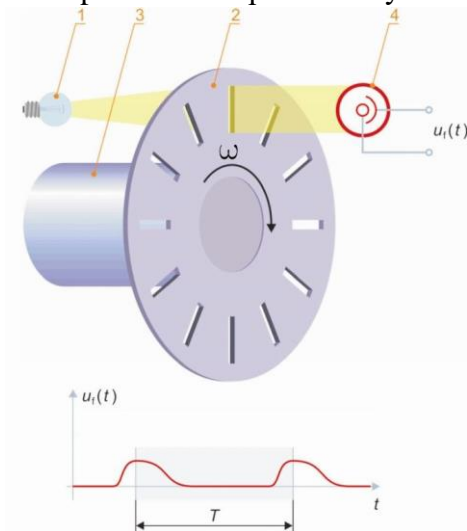
Při spínání a rozepínání kontaktů dochází ke vzniku impulsů, které mohou být následně upravovány a sčítány. Jazýčkové kontaktní snímače jsou konstrukčně jednoduché a používají se tam, kde potřebujeme snadným způsobem změřit otáčky, např. u jízdního kola – permanentní magnet je ve výpletu předního kola a snímač na přední vidlici.



Obrázek 14 - Schéma jazýčkového snímače

## Fotoelektrické senzory

Fotoelektrických snímačů pro měření otáček rotujících součástí je z hlediska uspořádání poměrně velké množství. Proto se dají rozdělit do dvou základních skupin podle uspořádání vysílače a přijímače, a to na snímače s přerušením optické cesty a modulací optické cesty.

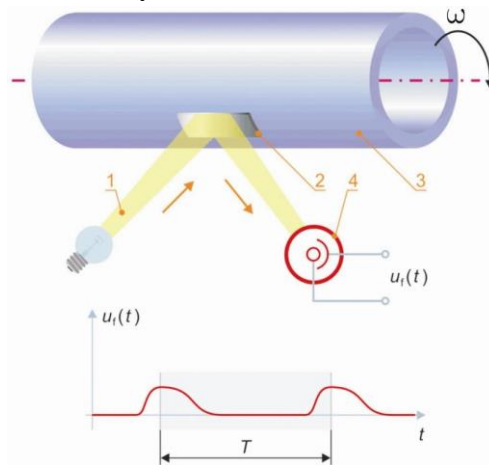


Obrázek 15 - Schéma fotoelektrického senzoru

1 – zdroj světla, 2 – kotouč s otvory, 3 – hřídel, 4 – senzor světla

Na rotující hřídel je připevněn kotouč, ve kterém je jeden nebo více otvorů. Přijímač je umístěn z druhé strany kotouče a je na stejné optické ose jako zdroj světla. Při rotaci kotouče dochází k přerušovanému osvětlování fotoelektrického snímače zdrojem světelného záření. Výstupem ze snímače jsou napěťové pulzy nejčastěji ve tvaru obdélníku, které se dále zpracovávají pomocí čítače. Speciální případ je IRC snímač.

Další modifikací je snímač s modulací optické cesty. Světelné paprsky se odrážejí od reflexní značky, která bývá umístěna na rotující součást. Paprsky jsou snímány fotocitlivým prvkem a výstupní napětí je opět ve tvaru pulzů s obdélníkovým tvarem. Větším počtem značek lze dosáhnout zpřesnění hodnot měřených otáček.



Obrázek 16 - Fotoelektrický snímač s modulací optické cesty

Jako zdroje světelného záření se používají žárovky, LED, lasery atd. Na snímání světla se používají fotodiody, fotorezistory a fototranzistory.

## Seznam použité literatury

ŠIMBERSKÝ, Michal. *Indukčnostní snímače*. Brno, 2011. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=43683](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=43683). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

HORTAL, František. *Měření otáček stroboskopem*. Brno, 2012. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=56731](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=56731). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

BENDA, Tomáš. *Návrh a realizace bezkontaktního otáčkoměru*. Brno, 2008. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=10635](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=10635). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

ŽŮREK, Daniel. *Aplikace mobilního zařízení v ultralehkém letadle/vrtulníku*. Brno, 2015. Dostupné také z: <https://core.ac.uk/download/pdf/44385902.pdf>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

ZATLOUKAL, Jiří. *Bezkontaktní otáčkoměr pro točivé stroje*. Brno, 2011. Dostupné také z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/4266/finalthesis.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

JEHLÁK, Zbyněk. *Vliv externích elektromagnetických polí na funkci snímačů otáček*. Brno, 2009. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=14936](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14936). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.