



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH ústav automatizace
TECHNOLOGIÍ a měřicí techniky**

LABORATORNÍ ÚLOHA

Měření otáček

AUTOR 1:	Václav Horáček (256296)
AUTOR 2:	Jan Holík (256295)
ROČNÍK:	3
PŘEDMĚT:	Snímače
DATUM:	23. 9. 2025

ZADÁNÍ

1. Změřte a vyneste do grafu závislost výstupního napětí tachodynamu na otáčkách v rozsahu ± 2000 ot/min. Určete pomocí MNČ konstantu K tachodynamu a porovnejte ji s údaji výrobce (vypočítejte relativní odchylku). Určete linearitu. Nejistotu konstanty K určete ze dvou měřených bodů (pro tyto dva body hodnotu otáček změřte pomocí čítače).
2. Určete počet lamel komutátoru tachodynamu.
3. U fotoelektrického odrazového snímače stanovte kolik impulzů připadá na jednu otáčku. Na čem závisí tato hodnota? Je možné na daném přípravku dosáhnout různých výsledků? Podmínky měření si zaznamenejte!
4. Na osciloskopu si prohlédněte a zaznamenejte tvar výstupních impulzů indukčního snímače a Hallovy sondy pro levé ozubené kolo. Průběh si zakreslete spolu s průřezem vzdálenosti čela snímače od ozubeného kola tak, aby byla patrná souvislost výstupního signálu s tvarem ozubeného kola. Kdy se indukuje napětí na výstupu snímačů?
5. Zaznamenejte průběh signálů pro různé typy ozubených kol, včetně integrace. Jak souvisí tvar zubu a průběh integrálu výstupního napětí? U kterého tvaru zubu lze rozlišit směr otáčení?
6. Zobrazte na osciloskopu výstupní signál z optického inkrementálního snímače a kvadrurního dekodéru pro oba směry otáčení. Průběhy si zaznamenejte (důležitá je fáze signálů) a zhodnoťte, jak se projeví změna směru na výstupních signálech. U kvadrurního dekodéru určete, v jakém módu pracuje ($x1$, $x2$ nebo $x4$). Srovnajte s teoretickými předpoklady.
7. Určete rozlišení inkrementálního optického snímače (počet impulzů na jednu otáčku) pomocí čítače.
8. Změřte efektivní hodnotu výstupních napětí resolveru v závislosti na úhlu natočení v rozsahu 0 až 360° . Pro oba výstupy stanovte body, ve kterých se mění fáze vzhledem k budícímu signálu U_{ref} . V intervalech vymezených těmito body změřte, má-li signál souhlasnou nebo opačnou fázi. Naměřená napětí vyneste do grafu. Fázi v grafu rozlište znaménkem (opačná = záporné). Z naměřených napětí vypočítejte úhel natočení a vyčíslete chybu v procentech z rozsahu. Změřte pracovní frekvenci resolveru (U_{ref}).
9. Na přípravku nastavte otáčky 900 ot/min, stroboskopem určete přesnou hodnotu a vypočítejte relativní odchylku.

Úkol 1 - Převodní charakteristika tachodynamu

hello [1]

α = notional permeability factor

N = number of waves

S_d = damage level

Teoretický rozbor

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Úkol 2 - Lamely tachodynamu

Teoretický rozbor

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Úkol 3 - Odrazový snímač

hello

Teoretický rozbor

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Úkol 4 - Indukční snímač/Hallova sonda

Teoretický rozbor

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Úkol 5 - Průběhy signálů z měření ozubených kol

Teoretický rozbor

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Úkol 6 - Inkrementálního optický snímač/Kvadraturní dekodér

Teoretický rozbor

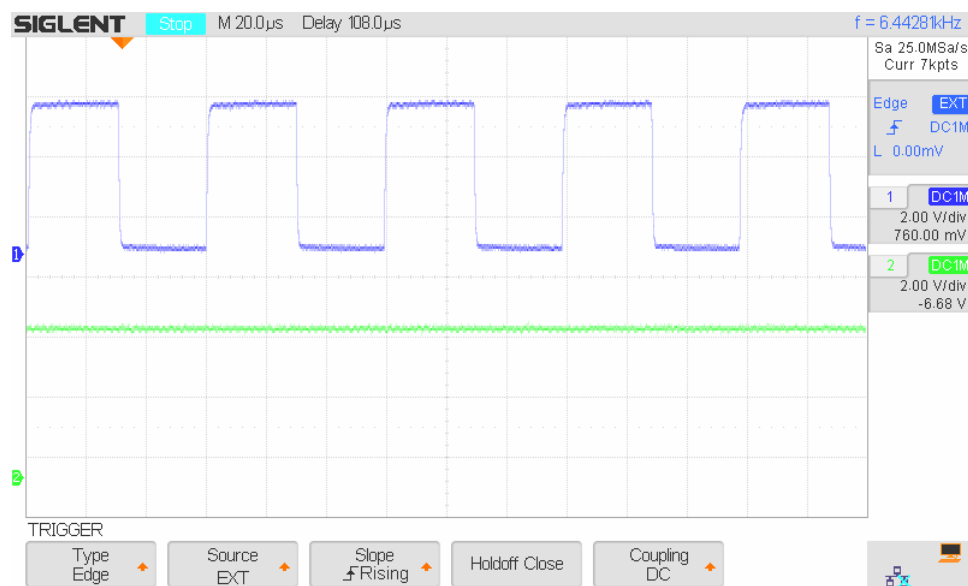
Rozlišení závisí na počtu rysek optické clony. Skládá se ze zdroje světla, otočné clony, tří fotocitlivých přijímačů a tvarovacích obvodů. Paprsek světla je přerušován značkami na cloně. Vznikají obdelníkové signály. Výstupní signály kanálů A a B jsou vzájemně fázově posunuty o 90° . Toto uspořádání se nazývá kvadraturní dekodér (slouží k vyhodnocení směru). Ten může pracovat s rozlišením x1 (jedna hrana signálu), x2 (náběžná i sestupná hrana) a x4 (náběžná i sestupná hrana obou signálů). Při kladném směru otáčení je při náběžné hraně signálu A signál B vždy v logické úrovni 1. Při záporném směru otáčení je to naopak.

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

1. Připojili jsme na desku modul s inkrementálním optickým snímačem.
2. Na kanály X a Z jsme postupně přivedli signály A, B, U, D. Na vstup EXT jsme přivedli Z.
3. Zobrazili jsme a uložili výstupní signály z optického inkrementálního snímače a kvadraturního dekodéru.

Naměřené hodnoty



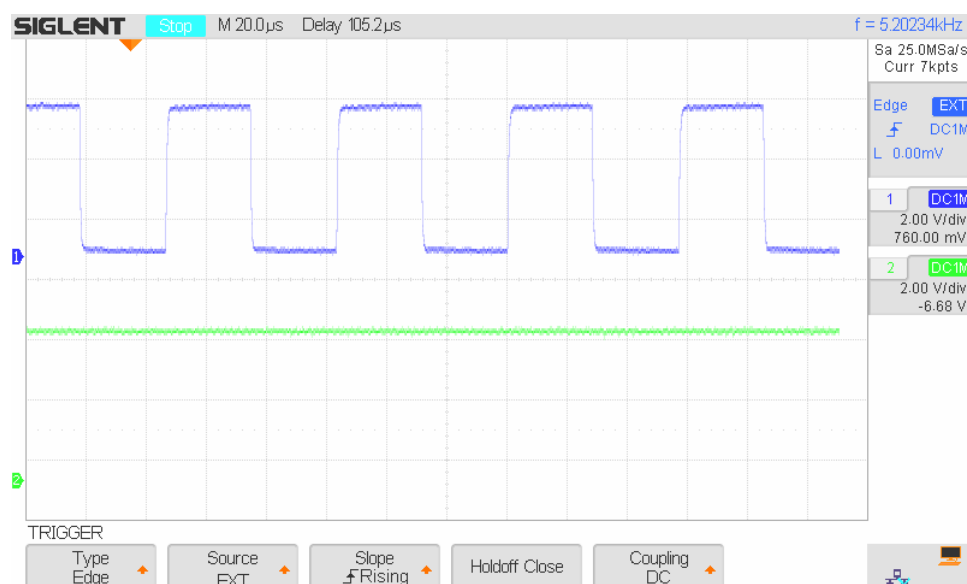
Obrázek 1: Výstupy A a D při záporném směru otáčení



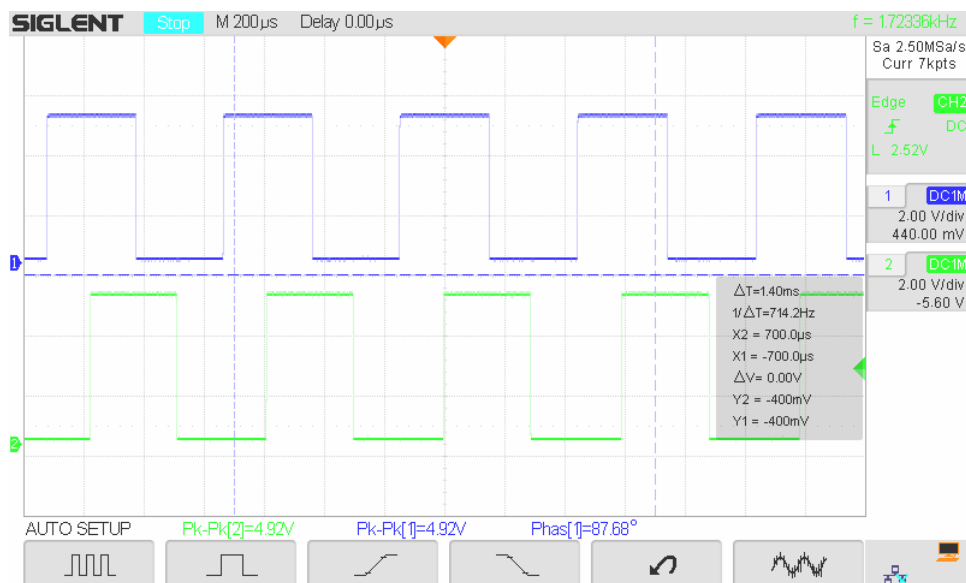
Obrázek 2: Výstupy A a D při kladném směru otáčení



Obrázek 3: Výstupy B a U při záporném směru otáčení



Obrázek 4: Výstupy B a U při kladném směru otáčení



Obrázek 5: Výstupy A a B při záporném směru otáčení



Obrázek 6: Výstupy A a B při kladném směru otáčení

Zpracované výsledky měření

Z obrázků je jasné vidět, že když se clona otáčí v kladném směru, tak čítač snižuje svou hodnotu. Pokud se clona otáčí v záporné směru, hodnota čítače se zvyšuje.

Na obrazcích je vidět, že za jednu periodu signálu A/B proběhnou 4 pulzy signálu U/D tzn., že kvadrantní dekodér reaguje na náběžnou i sestupnou hranu signálů A a B, které jsou vzájemně fázově posunuty o 90° . Z toho lze vyvodit že dekodér pracuje v módu x4.

Závěr

Zobrazili jsme na osciloskopu výstupní signály optického inkrementálního snímače a kvadrantního dekodéru pro oba směry otáčení. Z uložených obrázků je jasné poznat, že dekodér pracuje v módu x4.

Úkol 7 - Rozlišení inkrementálního optického snímače

Teoretický rozbor

Rozlišení závisí na počtu rysek optické clony. Skládá se ze zdroje světla, otočné clony, tří fotocitlivých přijímačů a tvarovacích obvodů. Paprsek světla je přerušován značkami na cloně. Vznikají obdelníkové signály. Výstupní signály kanálů A a B jsou vzájemně fázově posunuty o 90° . Toto uspořádání se nazývá kvadrurní dekodér (slouží k vyhodnocení směru). Ten může pracovat s rozlišením x1 (jedna hrana signálu), x2 (náběžná i sestupná hrana) a x4 (náběžná i sestupná hrana obou signálů). Při kladném směru otáčení je při náběžné hraně signálu A signál B vždy v logické úrovni 1. Při záporném směru otáčení je to naopak.

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

1. Připojili jsme na desku modul s inkrementálním optickým snímačem.
2. Změřili jsme počet pulzů na jednu otáčku pomocí čítače.

Naměřené hodnoty

Změřená hodnota: 2049,9 pulzů za otáčku

Zpracované výsledky měření

$$2049,9 \doteq 2048 \text{ pulzů za otáčku} \quad (1)$$

Závěr

Pomocí čítače jsme změřili počet pulzů za otáčku. Naměřená hodnota 2049,9 se téměř neliší od výrobcem udávané hodnoty 2048 pulzů za otáčku. Odchylka může být způsobena neideálností měřících přístrojů, které byly použity a vlivem okolí.

Úkol 8 - Výstupní napětí resolveru

Teoretický rozbor

Používá se k měření absolutní hodnoty úhlové polohy. Dvě vzájemně pootočené statorové vinutí o 90° a jedno rotorové vinutí. Na vinutí rotoru přivedeme střídavý proud. Vzniká magnetické pole. To indukuje napětí v cívkách statoru jehož amplituda je dána úhlem natočení rotoru. V ustáleném stavu platí:

$$\left(\frac{U_{\sin}}{U_{\cos}} \right) = \left(\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \right) = \tan \varphi \quad (2)$$

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

1. Připojili jsme modul se stupnicí indikující natočení a nastavili nulovou polohu resolveru.
2. Připojili jsme výstupy resolveru U_{\sin} a U_{\cos} na kanály X a Y osciloskopu a referenční signál U_{ref} na vstup externí synchronizace. Změřili jsme efektivní hodnoty napětí U_{\sin} a U_{\cos} pro všechna natočení s krokem 15° .
3. Následně jsme změřili fázi obou výstupních signálů resolveru vůči referenčnímu signálu.
4. Z naměřených dat jsme vynesli do grafu průběh výstupních napětí resolveru a spočítali úhel natočení, který jsme následně porovnali s předpokládaným úhlem natočení.

Naměřené hodnoty

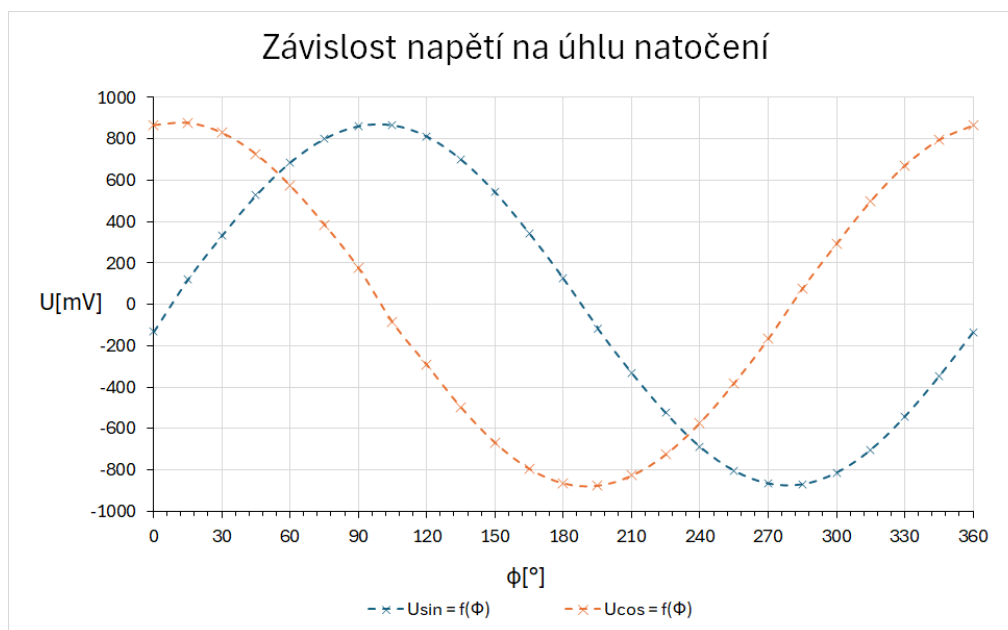
Tabulka 1: Závislost U_{\sin} na úhlu natočení φ_{ref}

$\varphi_{ref} [^\circ]$	0	15	30	45	60
$U_{\sin} [V]$	-131.9	120.5	333.8	528.4	687.6
$\varphi_{ref} [^\circ]$	75	90	105	120	135
$U_{\sin} [V]$	801.5	862.7	867.1	812.9	701.4
$\varphi_{ref} [^\circ]$	150	165	180	195	210
$U_{\sin} [V]$	542.5	344.6	126.4	-114.8	-330.4
$\varphi_{ref} [^\circ]$	225	240	255	270	285
$U_{\sin} [V]$	-524.2	-687.0	-802.5	-864.1	-868.3
$\varphi_{ref} [^\circ]$	300	315	330	345	360
$U_{\sin} [V]$	-812.4	-702.2	-541.4	-348.1	-134.1

Tabulka 2: Závislost U_{\cos} na úhlu natočení φ_{ref}

$\varphi_{ref} [^\circ]$	0	15	30	45	60
$U_{\cos} [mV]$	866.2	877.2	828.9	725.2	573.0
$\varphi_{ref} [^\circ]$	75	90	105	120	135
$U_{\cos} [V]$	385.7	175.5	-871.8	-291.2	-496.3
$\varphi_{ref} [^\circ]$	150	165	180	195	210
$U_{\cos} [V]$	-667.2	-792.7	-862.7	-874.3	-825.5
$\varphi_{ref} [^\circ]$	225	240	255	270	285
$U_{\cos} [V]$	-723.6	-571.3	-380.0	-166.1	75.79
$\varphi_{ref} [^\circ]$	300	315	330	345	360
$U_{\cos} [V]$	293.0	498.0	669.8	793.7	864.4

Zpracované výsledky měření



Obrázek 7: Závislost napětí na úhlu natočení

Výpočet úhlu natočení:

$$\varphi_{vyp} = \arctan\left(\frac{U_{sin}}{U_{cos}}\right) = \arctan\left(\frac{-131.9}{866.2}\right) = -8.658^\circ \quad (3)$$

Jelikož arctg nabývá pouze hodnot od -90° do $+90^\circ$, tak logicky nejsme schopni při počítání s ním dosáhnout plného rozsahu $0-360^\circ$, proto jsme museli provést posun mezi kvadranty.

Pro 1. kvadrant (tj. $0-90^\circ$) platí:

$$\varphi_{prep} = \varphi_{vyp} \quad (4)$$

Pro 2. a 3. kvadrant (tj. $90-270^\circ$) platí:

$$\varphi_{prep} = 180^\circ + \varphi_{vyp} \quad (5)$$

Pro 4. kvadrant (tj. $270-360^\circ$) platí:

$$\varphi_{prep} = 360^\circ + \varphi_{vyp} \quad (6)$$

Výpočet absolutní odchylky:

$$\Delta_\varphi = \varphi_{prep} - \varphi_{ref} = -8.658 - 0 = -8.658^\circ \quad (7)$$

Tabulka 3: Úhel natočení vypočtený z naměřených napětí a jeho absolutní odchylka

$\varphi_{ref}[^\circ]$	0	15	30	45	60
$U_{\sin}[\text{mV}]$	-131.9	120.5	333.8	528.4	687.6
$U_{\cos}[\text{mV}]$	866.2	877.2	828.9	725.2	573.0
$\varphi_{prep}[^\circ]$	-8.658	7.822	21.93	36.08	50.19
$\Delta_\varphi[^\circ]$	-8.658	-7.175	-8.065	-8.921	-9.806
$\varphi_{ref}[^\circ]$	75	90	105	120	135
$U_{\sin}[\text{mV}]$	801.5	862.7	867.1	812.9	701.4
$U_{\cos}[\text{mV}]$	385.7	175.5	-871.8	-291.2	-496.3
$\varphi_{prep}[^\circ]$	64.30	78.50	95.74	109.7	125.3
$\Delta_\varphi[^\circ]$	-10.70	-11.50	-9.259	-10.29	-9.717
$\varphi_{ref}[^\circ]$	150	165	180	195	210
$U_{\sin}[\text{mV}]$	542.5	344.6	126.4	-114.8	-330.4
$U_{\cos}[\text{mV}]$	-667.2	-792.7	-862.7	-874.3	-825.5
$\varphi_{prep}[^\circ]$	140.9	156.5	171.7	187.5	201.8
$\Delta_\varphi[^\circ]$	-9.115	-8.495	-8.335	-7.520	-8.187
$\varphi_{ref}[^\circ]$	225	240	255	270	285
$U_{\sin}[\text{mV}]$	-524.2	-687.0	-802.5	-864.1	-868.3
$U_{\cos}[\text{mV}]$	-723.6	-571.3	-380.0	-166.1	75.79
$\varphi_{prep}[^\circ]$	215.9	230.3	244.7	259.1	275.0
$\Delta_\varphi[^\circ]$	-9.079	-9.746	-10.34	-10.88	-10.01
$\varphi_{ref}[^\circ]$	300	315	330	345	360
$U_{\sin}[\text{mV}]$	-812.4	-702.2	-541.4	-348.1	-134.1
$U_{\cos}[\text{mV}]$	293.0	498.0	669.8	793.7	864.4
$\varphi_{prep}[^\circ]$	289.8	305.3	321.1	336.2	351.2
$\Delta_\varphi[^\circ]$	-10.17	-9.656	-8.949	-8.681	-8.818

Závěr

V tomto úkolu jsme měřili amplitudu výstupních napětí resolveru a jejich fázi. Při určování fáze u napětí jsme si nebyli jistí jaké znamínko zvolit v místech kde bylo napětí ve fázi. Zvolili jsme proto takové znamínko, které co nejlépe sedělo do harmonického průběhu. U výpočtu úhlu natočení nám všechny úhly vyšli posunuté a to v intervalu od $-7,520^\circ$ do $-11,50^\circ$. Jelikož byl tento posun velmi konzistentní, tak usuzujeme, že se jedná o chybu aditivní. Také připouštíme, že mohlo dojít i k nepřesnostem při měření a vlivem vnějšího okolí.

Úkol 9 - Měření otáček stroboskopem

Teoretický rozbor

Zařízení, které vytváří rychlé, periodické záblesky světla, aby vytvořilo iluzi zpomaleného nebo zmrazeného pohybu. Při souhlasném nastavení frekvence záblesků světla s rychlostí otáček se začne jevit tečka na otáčejícím se disku nehybně.

Použité přístroje a přípravky

Postup měření

1. Na otáčkoměru jsme nastavili otáčky.
2. Pomocí stroboskopu jsme změřili rychlost otáček.

Naměřené hodnoty

$$n_{ref} = 900 \text{ ot/min}$$

$$n_{strob} = 900.5 \text{ ot/min}$$

Zpracované výsledky měření

$$\delta_n = \frac{n_{ref} - n_{strob}}{n_{strob}} * 100 = \frac{900 - 900.5}{900.5} * 100 = -0.055\% \quad (8)$$

Závěr

Nastavili jsme rychlost otáček na otáčkoměru a potom pomocí stroboskopu ověřili opravdovost hodnotu ukazovaných na otáčkoměru. Zjistili jsme, že se hodnota liší o -0,055%. To je způsobeno vlivy okolí a neideálností měřících přístrojů.

Závěr

[1]

Reference

- [1] B. P. a spol., *Úloha 5 - Měření otáček*, UAMT FEKT VUT, 2025.



Obrázek 8: Obrazek

Tabulka 4: Ukázková tabulka

$\alpha[\text{m}]$	1.56	2	3	4	5
$\varphi[\text{s}]$	1	2	3	4	5