

Textové zpracování projektu IP PRJ 67976

Návody v českém jazyce (strana 2-38)

Návody v anglickém jazyce (strana 49-76)

Měření základních parametrů jednofázového transformátoru (Cíl 1)

Ondřej Fišer

• Zadání

Zjistěte a následně ověřte základní parametry demonstračního jednofázového transformátoru. Vaším úkolem je nejprve prostudovat katalogový list poskytnutý výrobcem a zjistit z něj následující základní technické parametry transformátoru:

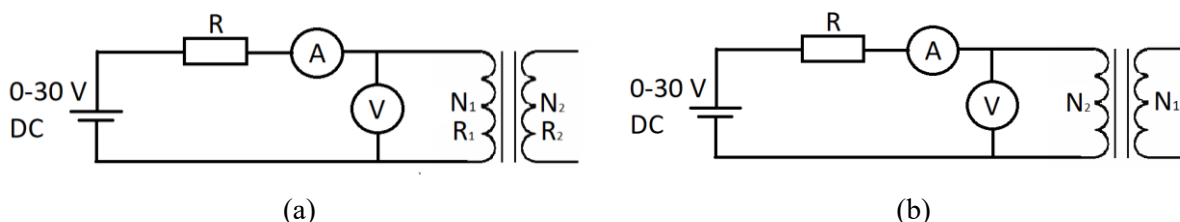
- 1) Jmenovité napětí a proud vinutí (primárního i sekundárního).
- 2) Pracovní frekvence.
- 3) Převodní poměr transformátoru.

Každý transformátor by měl být také vybaven štítkem obsahující základní informace o transformátoru, jako je výrobce, výrobní číslo, rok výroby a případně další rozšiřující technická data.

• Měření základních parametrů transformátoru

1) Měření odporu vinutí

Vaším dalším úkolem je změřit odpory primárního a sekundárního vinutí pomocí volt-ampérové metody (využití Ohmova zákona) pro malé odpory. Odpory vinutí se měří stejnosměrným proudem – pro tento účel použijte laboratorní stejnosměrný (DC) zdroj napětí. Sestavte měřicí obvod dle schématu na obrázku 1. Po kontrole obvodu cvičicím začněte zvyšovat napětí na DC zdroji. Zapište si hodnoty pro 10 %, 20 % a 30 % jmenovitého proudu vinutí, odpory zprůměrujte – výsledné hodnoty zapište do Tabulky 1.



Obrázek 1.: Zapojení obvodu pro měření odporu primárního (a) a sekundárního (b) vinutí transformátoru.

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}, R_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad (1)$$

Kde $R_{1,2}$ je odpor primárního, resp. sekundárního vinutí, $U_{1,2}$ je napětí na primárním, resp. sekundárním vinutím, $I_{1,2}$ proud na primárním, resp. sekundárním vinutí.

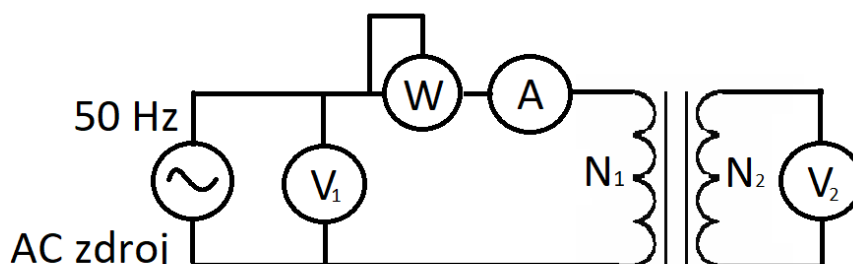
Poznámka: Pro přesnější měření je třeba kompenzovat vnitřní odpor zdroje, parazitní proud procházející voltmetrem, vnitřní odpor ampérmetru atd.

Tabulka 1. Měření odporu vinutí

		I (mA)	U (V)	R (Ω)	$R_{prům}$ (Ω)
Primární vinutí	10 %				
	20 %				
	30 %				
Sekundární vinutí	10 %				
	20 %				
	30 %				

2) Měření naprázdno

Další úkolem je zjistit proud a ztráty v transformátoru při zapojení tzv. naprázdno. Tyto ztráty odpovídají ztrátám v magnetickém obvodu (v jádře). Zapojte měřicí obvod dle obrázku 2. K primárnímu vinutí připojíme regulovatelný AC zdroj, jehož frekvence je 50 Hz. Dále k sekundárnímu vinutí připojíme voltmetr V_2 . Hodnota napájecího proudu bude závislá na magnetizační křivce feromagnetického jádra transformátoru. Ztráty v primárním vinutí lze z důvodu malého protékajícího proudu zanedbat. Zjištěný příkon můžeme tedy považovat za ztráty ve feromagnetickém jádře transformátoru. Charakteristika naprázdno není lineární a je třeba ji měřit pro více napětí.



Obrázek 2. Zapojení obvodu pro měření tzv. naprázdno.

Zdánlivý příkon naprázdno S_{1p} se vypočte následovně:

$$S_{1p} = U_{1p} \cdot I_{1p} \quad (2)$$

kde U_{1p} je napětí na primární cívce (měřeno voltmetrem V_1), I_{1p} je proud protékající obvodem (měřeno ampérmetrem A).

Účinník $\cos\varphi$ naprázdno určíme:

$$\cos\varphi = \frac{P_{1p}}{S_{1p}} \quad (3)$$

Kde P_{1p} je činný výkon.

Převodní poměr transformátoru k vypočteme dle následující rovnice:

$$k = \frac{U_{1p}}{U_{2p}} \quad (4)$$

kde U_{2p} je napětí na sekundární cívce (měřeno voltmetrem V_2).

Tabulka 2. Tabulka pro zápis měřených hodnot při měření transformátoru naprázdno.

U_{1p} [V]	I_{1p} (mA)	P_{1p} (W)	U_{2p} (V)	S_{1p} (VA)	$\cos\varphi$	k
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
230						

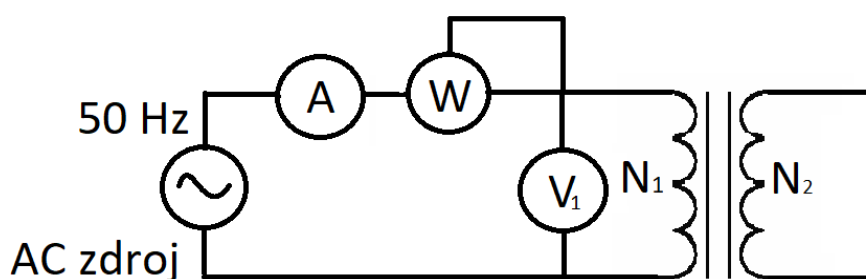
3) Měření nakrátko

Další úlohou je měření charakteristiky transformátoru tzv. nakrátko. Zapojení „nakrátko“ znamená, že jsou svorky sekundárního vinutí zkratovány = sekundárním vinutím prochází max. možný proud. Tímto měřením lze zjistit ztráty ve vinutí cívek. Zapojte obvod dle obrázku 3. Zvyšujte napětí na zdroji, dokud primárním vinutím nepoteče jmenovitý proud. Při protékajícím jmenovitém proudu měříme tzv. ztráty nakrátko. Dalším důležitým údajem je napětí na primární cívce, ze kterého lze vypočíst poměrné napětí nakrátko U_k :

$$U_k = \left(\frac{U_{zk}}{U_n} \right) \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

Kde U_{zk} je naměřené napětí (na V_1) při zapojení nakrátko na primárním vinutí, kdy protéká transformátorem jmenovitý proud, U_n jmenovité napětí, pro který je transformátor navržen (v našem případě 230 V).

Hodnoty pro zapojení tzv. nakrátko zjistěte také pro 50 % a 25 % jmenovitého proudu a hodnoty запиšte do následující tabulky.



Obrázek 3. Zapojení obvodu pro měření tzv. nakrátko.

Tabulka 3. Tabulka pro zápis měřených hodnot při měření transformátoru nakrátko.

Měření	$I_{1k}(\text{mA})$	$U_{1k}(\text{V})$	P_{1k}
1. (100 %)			
2. (50 %)			
3. (25 %)			

Elektromotory – cvičení (Cíl 2)

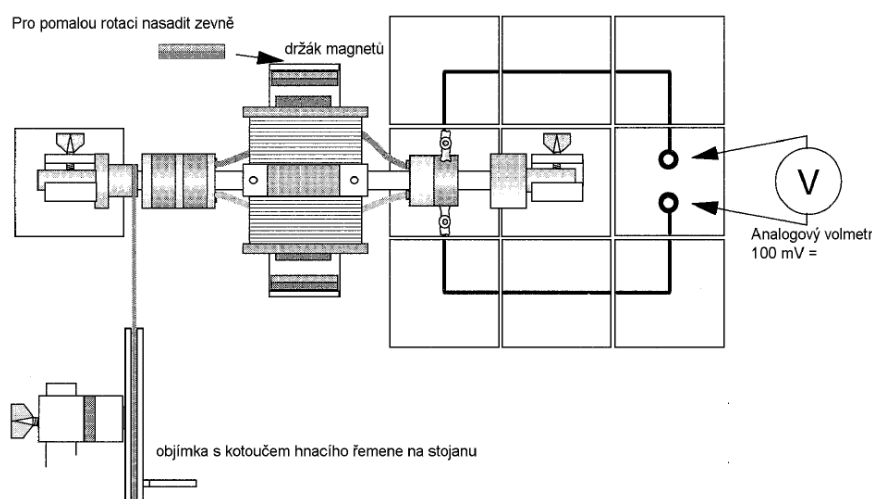
Ondřej Fišer

Úlohy jsou založeny na výukových návodech Didaktik Elektromotory [1].

• Úloha 1 Generátor stejnosměrného proudu

Sestrojte jednoduchý generátor stejnosměrného napětí/proudu. Zapojte obvod ze stavebnice Elektrické motory (Didaktik) dle schématu na obrázku 1. Otáčejte hnacím kotoučem, který je připojen k rotoru generátoru pomocí hnacího řemene. Sledujte vztah mezi rychlostí a směrem otáčení a indukovaným napětím měřeným na výstupních svorkách (pro sledování napětí použijte osciloskop).

Součástky: 4x modul vedení L, 2x modul vedení přímé, 1x modul vedení přerušené, 2x modul s objímkou, 1x modul pro sběrač DC, 2x držák sběrače, 1x objímka s kotoučem hnacího řemene, 1x držadlo magnetů, 1x blokovací magnet, 1x dvoupólový rotor, ložiskové uložení, 1x čtyřpólový rotor, ložiskové uložení, voltmetr

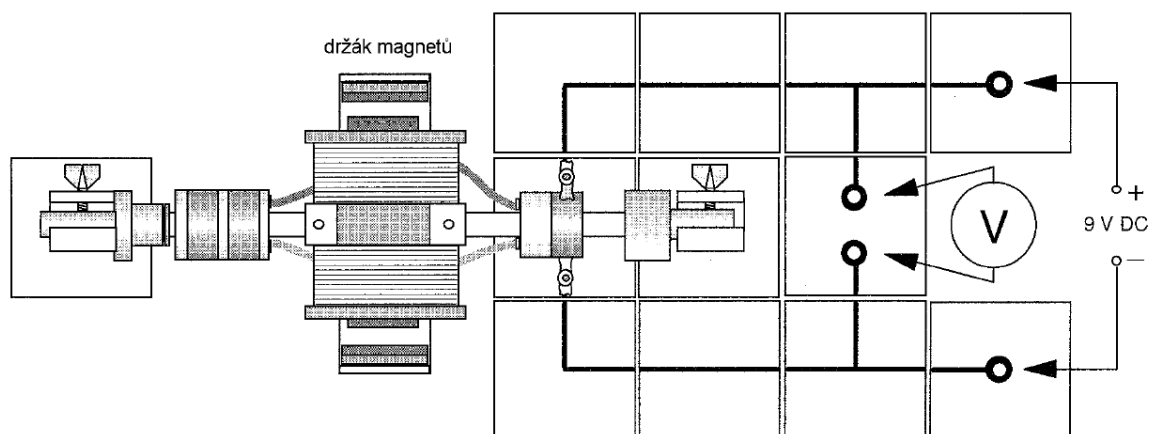


Obrázek 1. Zapojení úlohy Generátor stejnosměrného proudu, převzato a upraveno z [1].

• Úloha 2 Stejnosměrný motor s permanentním magnetickým polem statoru

Další úlohou je sestavení a ověření vlastností stejnosměrného motoru s permanentním magnetickým polem statoru. Nejprve sestavte motor s dvoupólovým rotorem. Pomocí upevňovacích šroubů zajistěte dostatečný kontakt komutátoru a DC sběračem. Před spuštěním motoru nejprve vyveďte dvoupólový rotor z jeho klidové polohy. Poté připojte zdroj napětí, na kterém nastavte hodnotu přibližně 9 V DC. V případě, že se motor nezapočne samovolně pohybovat, je nutné lehké klepnutí do rotoru. Otáčení rotoru je způsobeno přitažlivými a odpuzivými magnetickými silami mezi polem rotoru a statoru. Vlivem konstrukce komutátoru dochází otáčením rotoru k přepólování pole rotoru – tím budou proti sobě stát vždy opačné póly. Rychlost otáčení lze měnit změnou vstupního napětí na napájecím zdroji. Otestujte napětí v rozsahu 5-10 V. Odhadněte vztah mezi frekvencí otáčení a vstupním napětím. Pokus opakujte se čtyřpólovým rotorem a výsledky porovnejte.

Součástky: 2x modul vedení T, 2x modul vedení L, 2x modul přímé vedení, 1x modul vedení přerušené, 2x modul připojení, 2x modul s objímkou, 1x dvoupólový rotor, 1x čtyřpólový rotor, 1x modul pro sběrač DC, 1x držák magnetů, 1x blokovací magnet

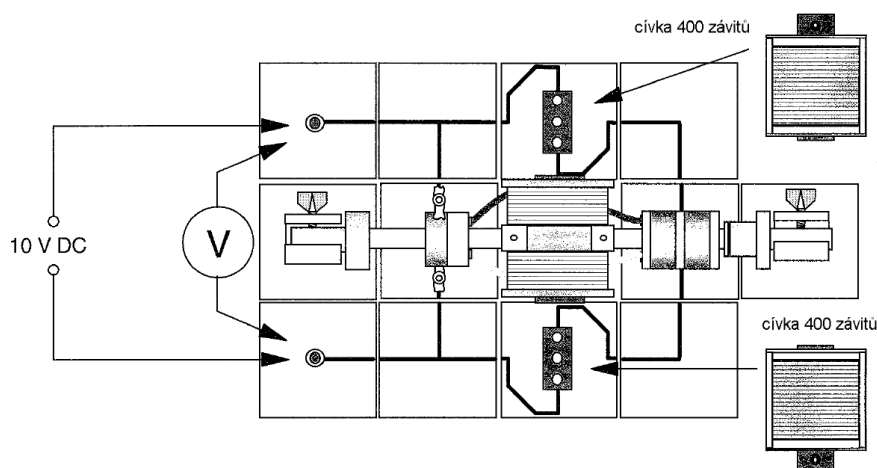


Obrázek 2. Zapojení úlohy Stejnosměrný motor s permanentním magnetickým polem statoru, převzato z [1].

• Úloha 3 Derivační motor

Sestavte model derivačního motoru. Model sestavte dle nákresu na obrázku 3, jádra cívek upevněte pomocí upínacích pásek, jinak dojde k jejich vystřelení. Na zdroji nastavte 10 V DC, motor se rozběhne, pokud se tomu tak nestane, lehce klepněte do rotoru. Směr otáčení rotoru zůstane při přepólování napájecího napětí stejný vzhledem k tomu, že stejnojmenné póly stojí opět proti sobě. Derivační motor je tudíž také vhodný pro provoz se střídavým napětím.

Součástky: 2x modul vedení T, 1x modul přímé vedení, 2x modul vedení L, 2x modul připojení, 2x modul s objímkou, 1x modul pro cívku s bočním připojením vpravo, 1x modul pro cívku s bočním připojením vlevo, 2x cívka 400 závitů (3 mH/4A), 2x I-jádro, krátké, 2x upínací pásek, 1x dvoupólový rotor, 1x modul pro sběrač DC, 2x držák sběrače

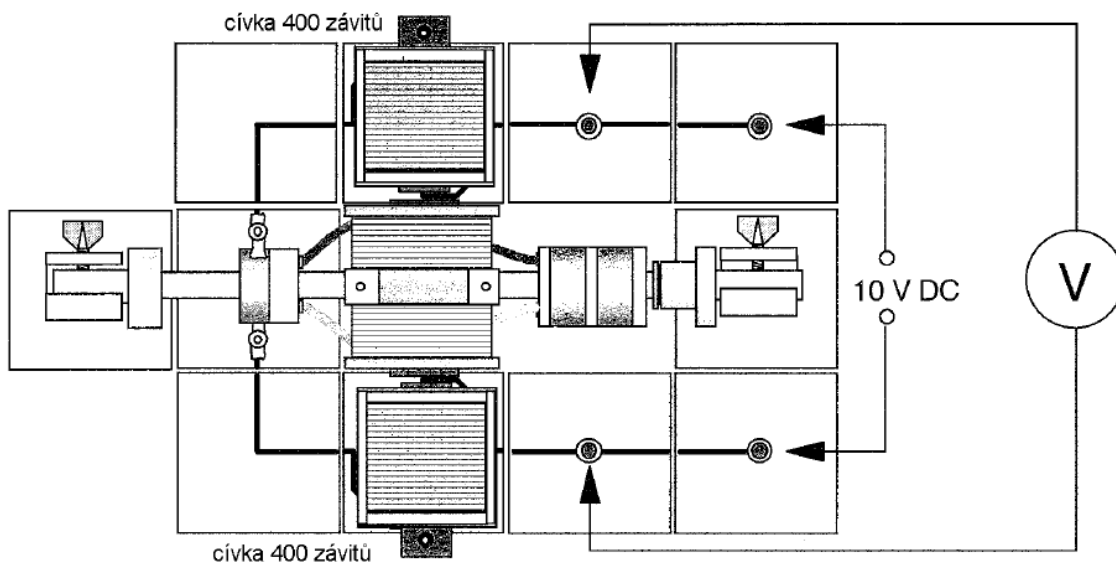


Obrázek 3. Zapojení úlohy Derivační motor, převzato z [1].

• Úloha 4 Sériový motor

Sestavte model sériového motoru dle nákresu na obrázku 4. Na napájecím zdroji nastavte 10 V DC. Poté lehce klepněte do rotoru, aby se motor rozběhl. Otestujte vliv změny vstupního napětí na změnu rychlosti otáčení. Rotor vždy nastavte tak, aby sběrače nestály na místech přerušení komutátoru. V druhé části pokusu zvyšte napětí na 15 V DC a změnou napětí měňte rychlost otáčení motoru.

Součástky: 2x modul přímé vedení se zdičkou, 2x modul vedení L, 2x modul připojení 2x modul s objímkou, 1x modul pro cívku s bočním připojením vlevo, 1x modul pro cívku s bočním připojením vpravo, 2x cívka 400 závitů (3 mH/4A), 2x 1-jádro, krátké, 2x upínací pásek, 1x modul pro sběrač

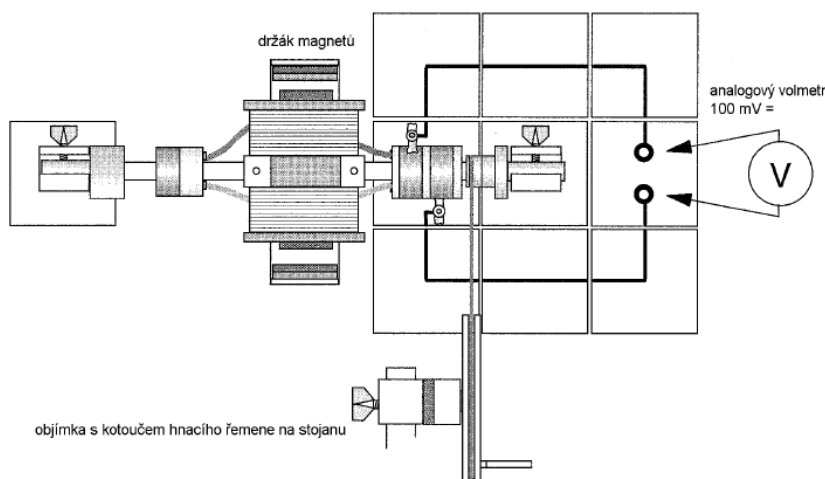


Obrázek 4. Zapojení úlohy Sériový motor převzato z [1].

• Úloha 5 Generátor střídavého proudu (alternátor)

V další úloze bude vaším úkolem sestavit generátor střídavého proudu, tzv. alternátor. Zapojte obvod dle obrázku číslo 5. K obvodu připojte hnací kolo, které připojte pomocí hnacího řemene k rotoru. Dále dle obrázku 5 připojte do obvodu voltmetr či lépe osciloskop. Nastavte měřený rozsah napětí 100 mV. Začněte pomalu otáčet hnacím kolem a sledujte hodnoty napětí na voltmetru/osciloskopu. V případě použití osciloskopu sledujte amplitudu a frekvenci generovaného signálu.

Součástky: 4x modul vedení L, 2x modul přímé vedení, 1x modul vedení přerušené, 2x modul s objímkou, 1x modul pro sběrač AC, 2x držák sběrače, 1x objímka s kotoučem hnacího řemene, 1x držadlo magnetů, 1x blokovací magnet, pár, 1x dvoupólový rotor, ložiskové uložení

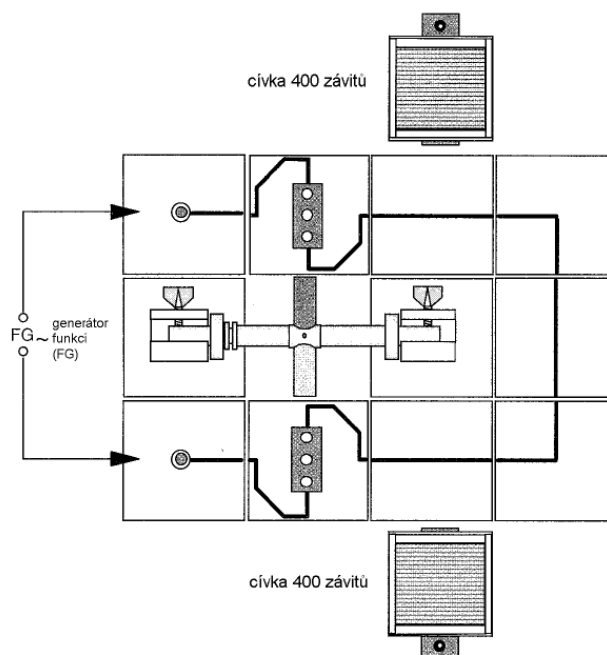


Obrázek 5. Zapojení generátoru střídavého proudu, převzato z [1].

• Úloha 6 Synchronní motor

Sestrojte synchronní AC motor s permanentním magnetickým rotorem. Jako zdroj budicího signálu použijte generátor funkcí s regulovatelnou frekvencí. Změnou frekvence budicího signálu lze měnit rychlost otáčení motoru. Dále sestavte obvod dle nákresu na obrázku 6. Do cívek zasuňte jádra a upněte je pomocí upínacích pásek. Pro rozběh motoru nastavte na funkčním generátoru budicí signál o amplitudě napětí přibližně 3-4 V a o frekvenci 1-2 Hz. Jemným strčením do rotoru motoru motor rozběhněte a zvyšujte frekvenci na cca 10 Hz, dokud motor samostatně neběží. Následně vyzkoušejte vliv změny napětí a frekvence na rychlost otáčení motoru.

Součástky: 2x modul vedení L, 2x modul připojení, 3x modul přímé vedení, 2x modul s objímkou, 1x modul pro cívku s bočním připojením vpravo, 1x modul pro cívku s bočním připojením vlevo, 2x cívka 400 závitů (3 mH/4 A), 2x I-jádro, krátké, 2x upínací pásek, 1x rotor s permanentním magnetem, ložiskové uložení



Obrázek 6. Zapojení synchronního motoru, převzato z [1].

- Úloha 7 – Zapojení třífázového elektromotoru Y/D

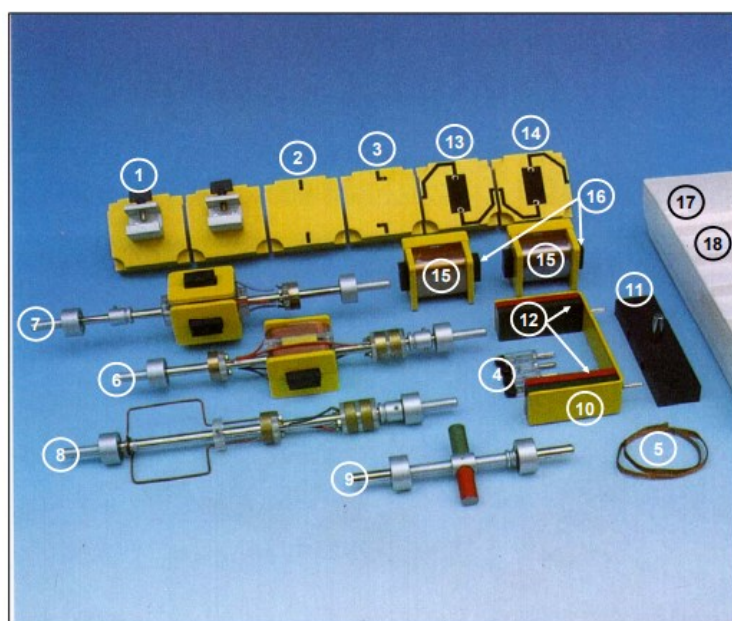
Seznamte se zapojením a následně pod vedením cvičícího proveďte zapojení třífázového motoru Siemens, který umožňuje provoz v režimu hvězda / trojúhelník, do třífázové rozvodné sítě. Pro zapojení využijte výhradně k tomu určený stůl VarioClick. Motor rozběhněte jak v režimu zapojení do hvězdy, tak v režimu zapojení do trojúhelníku.

Napájecí napětí motoru: 3x400/690 V Y/D

Otáčky: 1370 ot/min

Reference

[1] DZS Elektřina, Návod k použití, Didaktik s.r.o, 2013



PČ	Počet	MJ	Seznam součástek
1.	2	ks	Modul s objímkou
2.	1	ks	Modul pro sběrač AC
3.	1	ks	Modul pro sběrač DC
4.	4	ks	Držák sběrače
5.	1	ks	Sběrač
6.	1	ks	Dvoupólový rotor, ložiskové uložení
7.	1	ks	Čtyřpólový rotor, ložiskové uložení
8.	1	ks	Závit rotoru, ložiskové uložení
9.	1	ks	Rotor s permanentním magnetem, ložiskové uložení
10.	1	ks	Držák magnetů
11.	1	ks	Adaptér držáku magnetů
12.	1	pár	Magnety
13.	1	ks	Modul pro cívku s bočním připojením vlevo
14.	1	ks	Modul pro cívku s bočním připojením vpravo
15.	2	ks	Cívka 400 závitů (3 mH / 4A)
16.	2	ks	I-jádro, krátké
17.	1	ks	Uložný box velký
18.	1	ks	Vložka úložného boxu

Obrázek 7. Přehled součástí stavebnice Elektrické motory, převzato z [1].

Proudový chránič (Cíl 3)

Ondřej Fišer

• Úvod

Proudový chránič je důležitou ochrannou součástí elektrických rozvodů. Proudový chránič poskytuje doplňkovou ochranu v prostorách se zvýšeným rizikem úrazu elektrickým proudem. V praxi se jedná o elektrický jistící prvek, který vyhodnocuje hodnotu tzv. reziduálního proudu v přívodních vodičích. Reziduální proud znamená (v elektrických instalacích) nejčastěji poruchu. Úlohou proudového chrániče je takový proud detekovat a v případě překročení jeho nominální hodnoty (většinou 30 mA), odpojit obvod od napájení. Cílem této úlohy je praktické sestavení proudového chrániče a ukázka jeho činnosti. V praxi se proudový chránič skládá ze dvou základních částí:

- 1) Součtový/rozdílový transformátor
- 2) Relé se spínacím mechanismem

Základ proudového chrániče tvoří tzv. rozdílový transformátor, na jehož sekundárním vinutí je umístěna detekční cívka. Tímto transformátorem prochází proud do i ze spotřebiče, čímž se uzavírá elektrický obvod. Modelový příklad je uveden na obrázku 1. V případě, že obvod funguje bez poruchy – v tomto případě to znamená, že proud, který teče do spotřebiče se rovná proudu, který teče ze spotřebiče a platí:

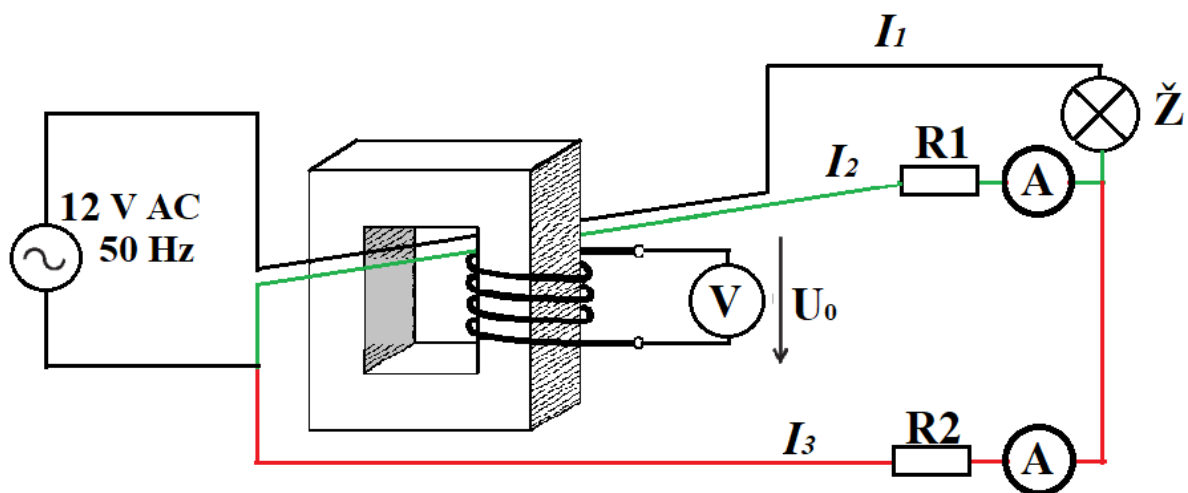
$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 \\ I_3 &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Kde I_1 , I_2 , I_3 jsou proudy tekoucí v obvodu – viz. Obrázek 1.

V případě rovnosti proudů I_1 , I_2 , které mají ovšem opačný směr, dojde k vyrušení jejich magnetických účinků (součet proudů tekoucích transformátorem se rovná nule). To znamená, že magnetické pole v transformátoru bude mít nulovou hodnotu a na detekční cívkce naměříme nulové napětí. V případě, že dojde k poruše, tzn. vzniku reziduálního poruchového proudu I_3 (část proudu poteče např. ochranným vodičem do země, apod.). V tomto případě se velikosti proudů I_1 a I_2 nebudou rovnat a magnetické pole již nebude mít nulovou hodnotu. V tomto případě dojde na detekční cívkce k indukci napětí. Pokud toto napětí dosáhne určité hodnoty, odpojí proudový chránič spotřebič od sítě. Důležitou poznámkou je, že rozdílovým transformátorem nikdy nesmí procházet ochranný (PE) vodič.

• Demonstrační experiment

Následující experiment slouží k demonstraci činnosti proudového chrániče. Zapojení obvodu je uvedeno na obrázku 1. Jako zdroj střídavého proudu použijte stabilizovaný zdroj AC250K, který transformuje síťové napětí na požadovanou hodnotu. V našem případě budeme z důvodu bezpečnosti a možností zdroje používat maximální napětí 12 V AC. Dále použijte rozkladný transformátor. Jako primární cívku nasadte cívku se třemi závity. Zástrčku zapojte do AC zdroje. Jako sekundární vinutí využijte cívku o 24000 závitů (ve druhém kroku použijte cívku o 1200 závitů), ke které připojte voltmetr V. Jako elektrickou zátěž použijte žárovku (max. 10 W) či elektrický AC motor o adekvátním výkonu (4 W). Jeden vodič vedoucí od zátěže rozdělte na dvě větve (viz. Obrázek 1 – zelený a červený vodič), kdy pouze zelený vodič bude procházet transformátorem. Pro regulaci poruchového proudu I_3 (červený vodič), který neteče přes rozkladný transformátor, použijte reostat o hodnotě 1 kΩ. Na červenou i zelenou větev umístěte AC ampérmetr, který bude zaznamenávat efektivní hodnoty proudu tekoucí jednotlivými větvemi.



Obrázek 1. Zapojení demonstrační úlohy – Proudový chránič.

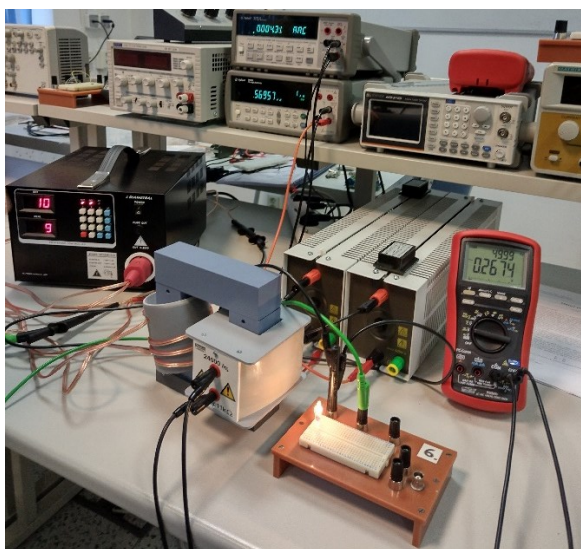
Testujte vliv velikosti poruchového proudu I_3 na hodnotu napětí V , která je měřena AC voltmetrem.

Vyzkoušejte následující scénáře pro detekční cívku, naměřené hodnoty zapisujte do tabulky 1:

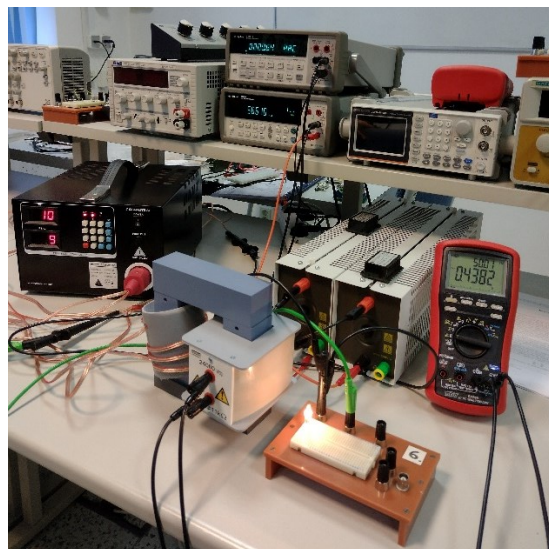
- 1) Nastavte na zdroji 12 V, odpojte poruchový proud (červený vodič).
 - 2) Nastavte na zdroji 12 V, na reostatu R1 nastavte hodnotu nejmenší možnou hodnotu (cca 10 Ω) a na reostatu R2 1000 Ω .
 - 3) Nastavte na zdroji 12 V, na reostatu R1 nastavte hodnotu nejmenší možnou hodnotu a na reostatu R2 snižte hodnotu odporu na 500 Ω .
 - 4) Nastavte na zdroji 12 V, na reostatu R1 nastavte hodnotu nejmenší možnou hodnotu a na reostatu R2 nastavte stejnou hodnotu jako na R1 tzn. 10 Ω .
- Opakujte všechna měření (1-4) s detekční cívku se 1200 závitů, výsledky porovnejte v následující tabulce.

Tabulka 1. Naměřené hodnoty proudů a výstupního napětí na detekční cívce modelu proudového chránič.

$R_2 (\Omega)$	Cívka	I_2 (mA)	I_3 (mA)	U_0 (V)
Rozpojen	1200			
	24000			
1000	1200			
	24000			
500	1200			
	24000			
10	1200			
	24000			



(a)



(b)

Obrázek 2. Příklad zapojení pro úlohu proudový chránič.

Návrh, realizace a ověření vlastností multimetru (Cíl 4)

Ondřej Fišer, Tomáš Pokorný

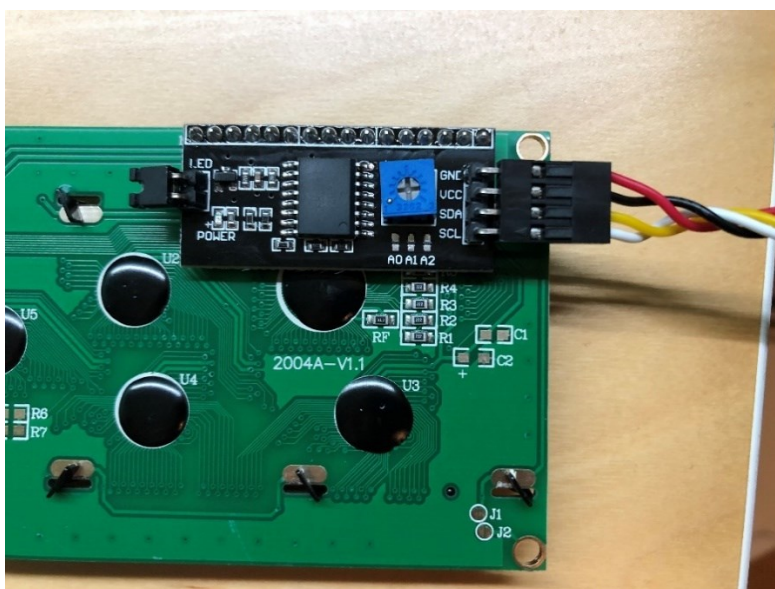
- **Zadání**

Cílem této úlohy je realizace multimetru pro měření základních stejnosměrných veličin v obvodu s využitím platformy Arduino. Dalším úkolem je určit základní vlastnosti takového multimetru. Elektrický multimetr je přístroj, který je určen pro měření elektrických veličin (například střídavé i stejnosměrné napětí, proud či odpor). Při přípravě na toto cvičení se prosím seznamte se základními informacemi ohledně vývojové desky Arduino Uno.

Před připojením Arduino k napájení nechte vždy zkontrolovat zapojení cvičicím!

1) Připojení obrazovky

Pro zobrazení naměřených hodnot budeme používat LCD display, který je schopen zobrazovat celkem 16 (znaky v řádku) x 4 (řádky). K LCD displeji je připojena sběrnice I2C, přes kterou bude komunikovat s deskou Arduino. Celkem jsou potřeba zapojit čtyři vodiče – viz obr. 1 dle následující tabulky 1. Displej přehledně zobrazuje všechny měřené veličiny.



Obrázek 1: Zadní strana obrazovky s I2C převodníkem (černá součástka).

Tabulka 1: Připojení Arduino k displeji

Arduino	Displej
GND	GND
5 V	VCC
A4	SDA
A5	SCL



Obrázek 2: Správně zapojený displej po zapojení napájení.

Dále sestavte jednotlivé moduly multimetru

2) Voltmetr

Potřebné součástky pro realizaci voltmetru: Arduino Uno (s připojeným displejem), vhodné rezistory, vodiče, napájecí pole, napájecí adaptér.

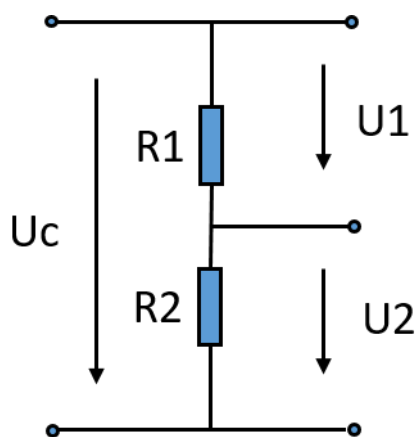
Sestrojte voltmetr, který bude schopen měřit hodnoty v rozsahu 0-10 V.

Pozor!

Mikrokontrolér Arduino Uno je schopno měřit maximální hodnotu napětí 5 V! Pokud dojde k překročení této hodnoty na měřící vstupu, dojde ke zničení měřícího přípravku.

Pozor!

Pro změnu rozsahu napětí využijeme tzv. nezátížený dělič napětí. Dělič napětí je zobrazen na Obr. 3, kde U_c je napětí, které chceme naměřit. Dělič napětí obsahuje dva a více rezistorů, které jsou sériově zapojeny ke svorkám zdroje (U_c).



Obrázek 3: Odporový dělič napětí.

Napětí U_1 a U_2 je poté rozděleno dle následujícího vztahu (1):

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_c \quad (1)$$

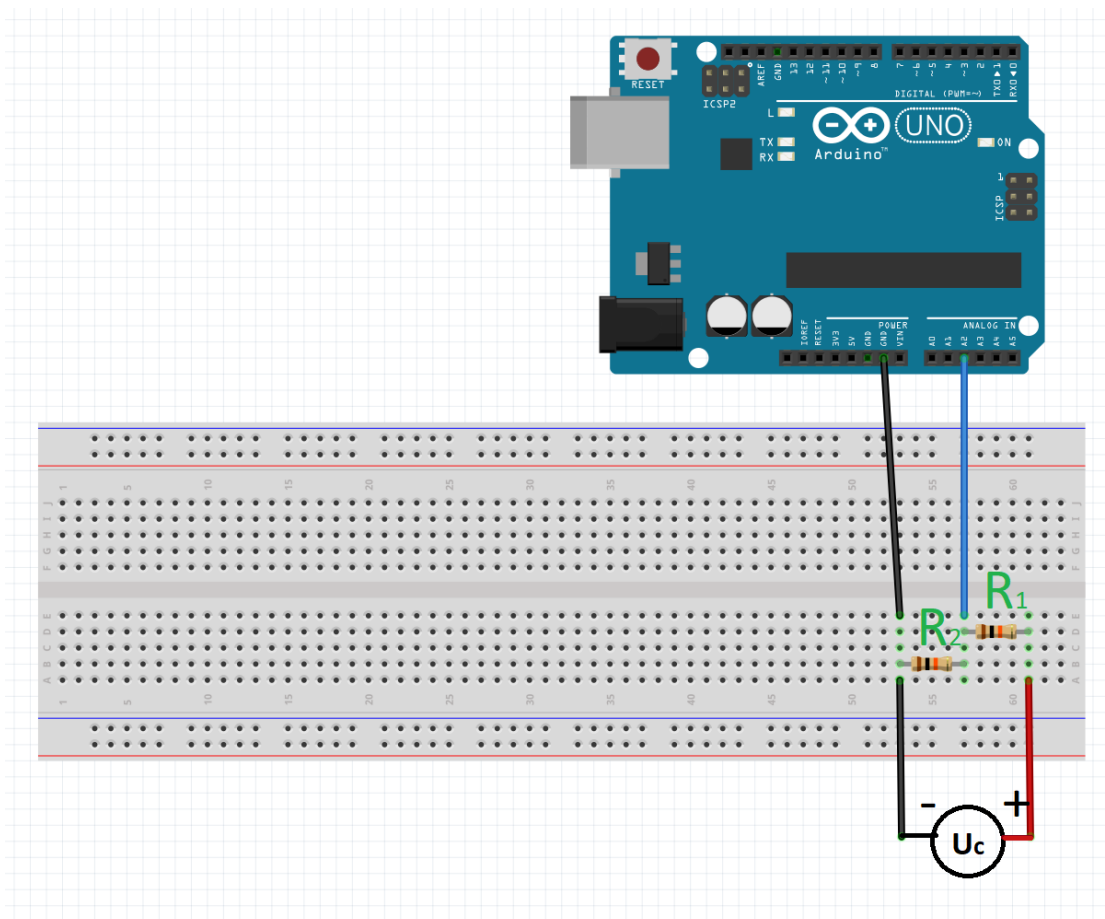
kde R_1 a R_2 jsou odpory použité v děliči (viz. Obrázek 3).

Zvolením vhodných hodnot rezistorů zajistíte, aby platilo:

$$U_2 = \frac{U_c}{2} \quad (2)$$

kde U_c je přivedené napětí z laboratorního zdroje.

Vypočtené hodnoty rezistorů zapojte dle následujícího nákresu:



Obrázek 4: Zapojení desky Arduino pro měření stejnosměrného napětí + dělič napětí.

Úkol (1):

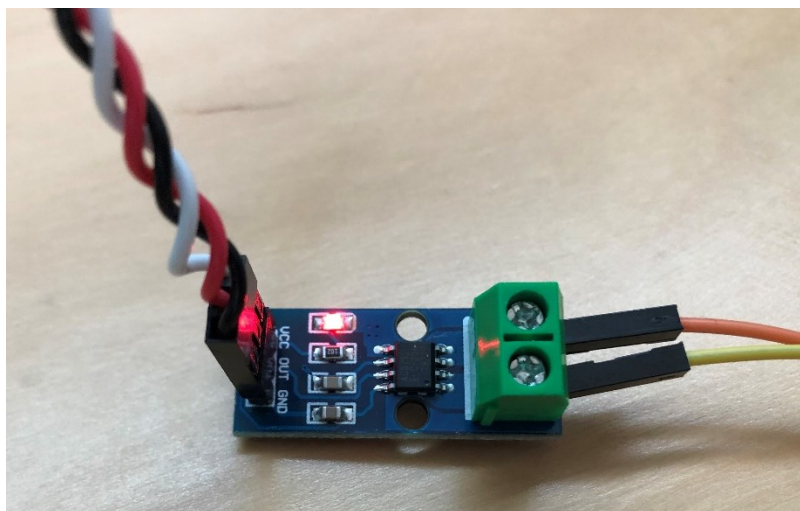
- Určete přesnost voltmetru. Paralelně k odporu R_2 připojte stolní multimetr Agilent, který budeme používat jako referenční.
- Na zdroji U_c otestujte celkem pět hodnot napětí v rozmezí 0-5 V.
- Vyhodnoťte přesnost měření.

3) Ampérmetr

Pro měření stejnosměrného proudu v obvodu využijeme senzor ACS712, který má dostatečnou citlivost pro měření malých proudů. Senzor pracuje na principu Hallova jevu. Součástka je konstruovaná na maximální proud 20 A. Senzor do obvodu zapojte dle následující tabulky a nákresu.

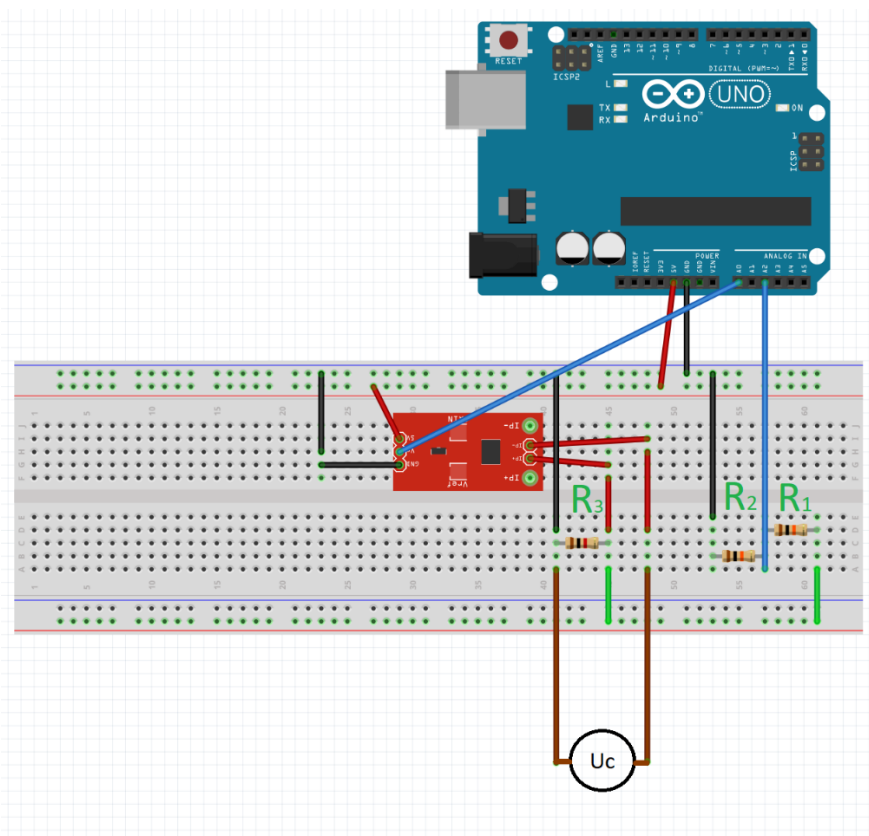
Tabulka 2: Připojení proudového senzoru ACS712

Arduino	ACS712
5V	VCC
A0	OUT
GND	GND



Obrázek 5: Senzor proudu ACS712.

Laboratorní zdroj (U_c) přepojte k odporu R_3 . Tento odpor vyberte takový, aby při maximálním napětí 10 V protékal obvodem maximální proud 300 mA.



Obrázek 6: Zapojení ampérmetru a voltmetru.

Úkol (2):

- Určete přesnost sestrojeného ampérmetru.
- Určete nejistotu typu A u uvažovaného ampérmetru. Sériově k senzoru ACS712 připojte stolní ampérmetr, který uvažujte jako referenční. Hodnoty vzájemně porovnejte.

4) Měření odporu

Na displeji se objevují ve třetím řádku informace o hodnotě odporu rezistoru, který je v této úloze měřen. Odpor se dopočítává pomocí Ohmova zákona.

Úkol (3)

- Měňte napětí na zdroji v rozmezí 0-5 V. Zaznamenávejte hodnoty odporu, které měří sestrojený ohmmetr. Výsledné hodnoty porovnejte s hodnotou naměřenou na referenčním měřidle (stolní multimetr).

Měření vzdálenosti pomocí UZV senzoru (Cíl 5)

Ondřej Fišer, Tomáš Pokorný

- **Úvod**

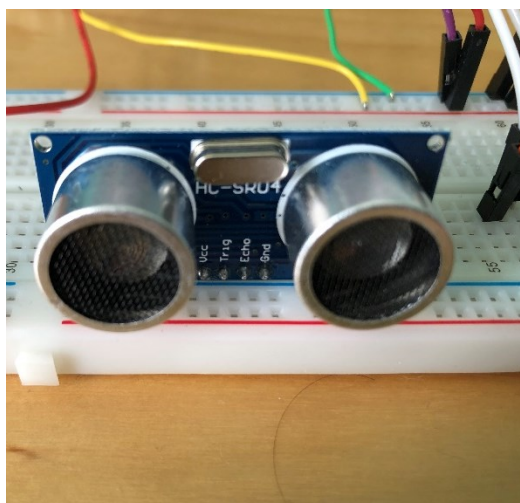
Cílem této úlohy je seznámit se základními principy ultrazvukových (UZ) senzorů. Pro demonstrační účely byl zvolen UZ senzor HC-SR04 pracující na frekvenci 40 kHz. Tento senzor bude připojen k desce Arduino Uno skrze nepájivé pole. Při přípravě na toto cvičení se prosím seznamte se základními informacemi ohledně vývojové desky Arduino Uno [1]. Součástí úlohy je kromě měření základních parametrů (rozsah detekovatelných vzdáleností překážky či směrová charakteristika senzoru) také výpočet vzdálenosti mezi překážkou a senzorem.

!!POZOR!!

Před připojením Arduino k napájení nechte vždy zkontrolovat zapojení cvičícím!

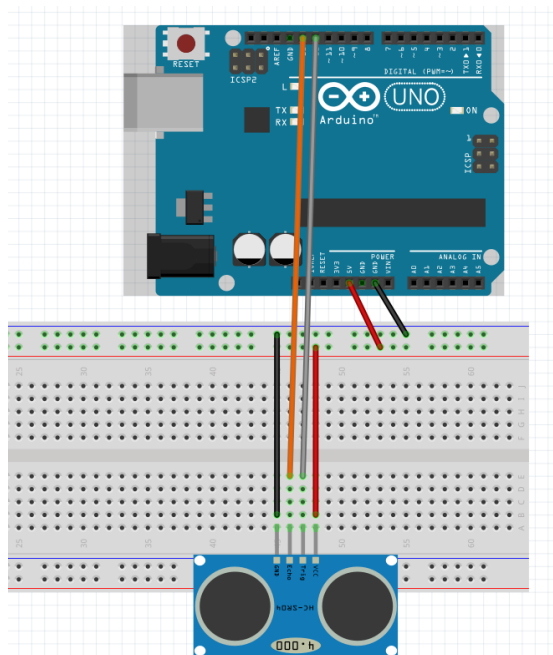
1) Zapojení UZ senzoru

Prvním úkolem je správné připojení UZ senzoru k desce Arduino Uno. Pro připojení UZ senzoru postačí pouze čtyři vodiče. UZ senzor HC-SR04 je vyfocen na obrázku 1. Senzor je složen ze dvou piezokeramických měničů: UZ vysílače (vlevo označen T) a UZ přijímače (vpravo označen R). UZ senzor pracuje na frekvenci 40 kHz.



Obrázek 1. Ultrazvukový senzor HC-SR04.

Tabulka 1: Připojení Arduina k UZ senzoru	
Arduino	UZ senzor
GND (na nepájivém poli)	GND
5 V (na nepájivém poli)	VCC
Digital 13	Echo
Digital 12	Trig



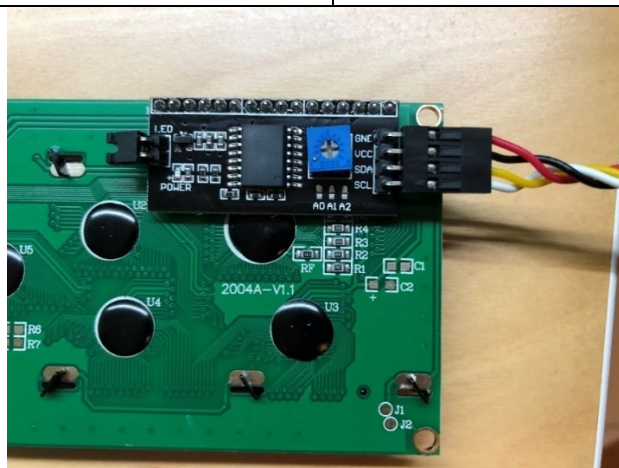
Obrázek 2. Zapojení UZ senzoru k vývojové desce Arduino Uno.

2) Připojení obrazovky

Pro zobrazení naměřených hodnot budeme používat LCD display, který je schopen zobrazovat celkem 30 (znaky v řádku) x 4 (řádky). K LCD displeji je připojena sběrnice I2C, přes kterou bude komunikovat s deskou Arduino. Celkem jsou potřeba zapojit čtyři vodiče – viz obr. 1 dle následující tabulky 1. Displej přehledně zobrazuje všechny měřené veličiny.

Tabulka 2: Připojení Arduino k displeji

Arduino	Displej
GND (na nepájivém poli)	GND
5 V (na nepájivém poli)	VCC
A4	SDA
A5	SCL



Obrázek 3: Zadní strana obrazovky s I2C převodníkem (černá součástka).



Obrázek 4: Správně zapojený displej po zapojení napájení.

Jakmile budete mít připojen UZ senzor a LED obrazovku, nechte zkontrolovat zapojení cvičícím. Poté připojte k tomu určený napájecí adaptér.

3) Přepoččet na vzdálenost

Senzor vysílá UZ vlnu z UZ vysílače. UZ vlna se šíří vzduchem a při dopadu na překážku se odrazí zpět, kde je zaznamenám UZ přijímačem. Při samotném měření je na obrazovce zobrazována doba šíření UZ pulzu t (ms) (viz. Obrázek 4). Tento čas je vypočten z následující rovnice:

$$t = t_r - t_0 \quad (1)$$

kde t_r je čas odrazu a t_0 je čas vyslání pulzu.

Vzdálenost překážky d odS UZ senzoru se poté jednoduše vypočte dle následujícího vztahu:

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2)$$

Kde d je vzdálenost senzoru od překážky, v je rychlost šíření UZ vlny (ve vzduchu je $v = 343$ m/s). Jelikož UZ vlna urazí cestu dvakrát – směrem k překážce a zpět, je třeba pro výpočet správné vzdálenosti vydělit vzdálenost dvěma.

Přesnost UZ senzoru HC-SR04 je 3 mm.

Úkol 1: Určete šířku laboratorního stolu. Určete nejistotu měření U_c .

Proveďte celkem 10 měření např. pro různé překážky.

..... []

Rychlost šíření ultrazvukových vln závisí na elasticitě K a hustotě ρ prostředí dle vzorce:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (3)$$

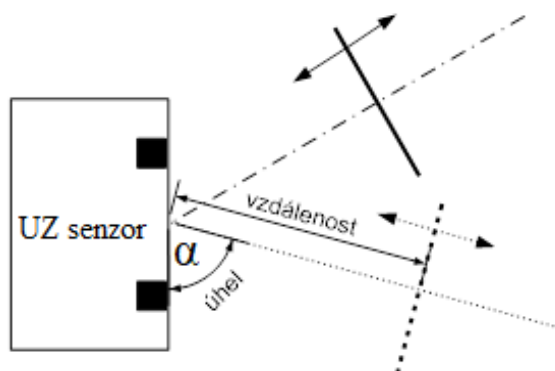
Vyšší hustota látky sice snižuje rychlost šíření zvuku, zároveň ale látky s vyšší hustotou obvykle mívají vyšší elasticitu. Proto se ultrazvuk nejrychleji šíří v pevných látkách (např. kostech) a nejpomaleji v plynech (vzduch). Určete průměrnou rychlost šíření ultrazvukového vlnění v tkáních s vysokým obsahem vody.

Úkol 2: Vypočítejte, jaká vzdálenost by odpovídala šíření ultrazvukové vlny v měkkých tkáních.

..... []

4) Směrová charakteristika senzoru

UZ senzor HC-SR04 má od sebe přijímač a vysílač vzdálený 3 cm. Ze nelinearity směrové charakteristiky je možné určit přijímač a vysílač. Umístěte překážku 1 m od UZ senzoru a postupně posunujte překážku po kružnici do vyznačených úhlů a snažte se najít mez detekované vzdálenosti. Překážka musí směřovat kolmo na střed přípravku viz obrázek 5.



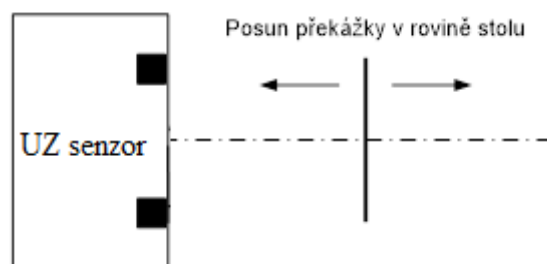
Obrázek 5: Pohyb překážky v rovině stolu v různých úhlech.

Úkol 3: Určete maximální detekovatelný úhel pro pravou a levou stranu. Určete pozici vysílače a přijímače.

$\alpha_L = \dots\dots\dots [\quad]$ $\alpha_P = \dots\dots\dots [\quad]$

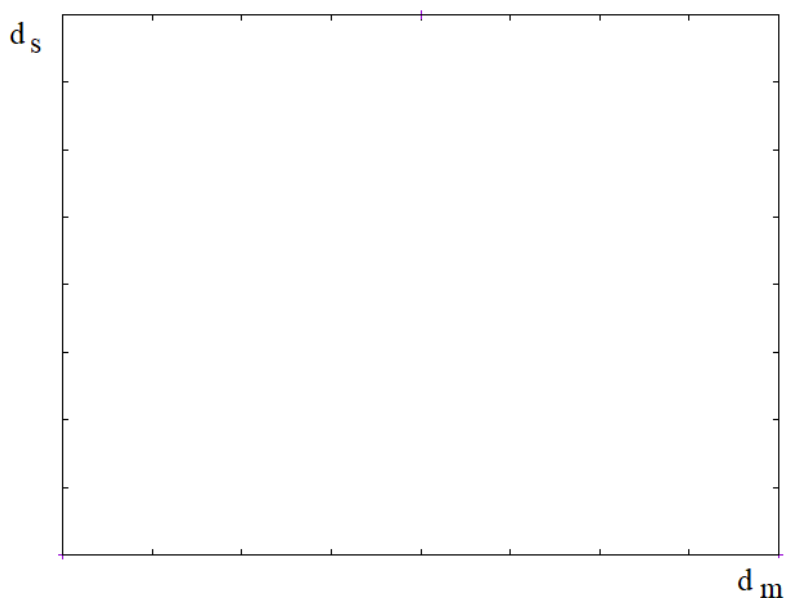
5) Linearita a limity vzdálenosti

Pohybem pevné hladké překážky cca velikosti A5 (na výšku) v rovině lze určit minimální a maximální detekovanou vzdálenost senzorem. Pohybujte překážkou pouze ve směru přímém k senzoru (viz obrázek 5). V případě potřeby využijte celou délku učebny. Při všech měření dbejte na to, aby byla překážka vždy kolmo k rovině senzoru a aby nebyl žádný předmět blíž k přípravku než překážka! Pozorujte a zaznamenejte změny času odrazu. Do grafu vynesete závislost skutečné vzdálenosti překážky na vypočtené vzdálenosti překážky z času odrazu.



Obrázek 6: Pohyb překážky v rovině stolu v ose senzoru.

Úkol 4: Určete oblast linearity vzdálenosti senzoru. Diskutujte minimální i maximální detekovatelnou vzdálenost.



Obrázek 7: Graf linearity senzoru.

Reference

- [1] Z. Voda, “Programujeme Arduino, díl 2,” 2014, <https://bastlirna.hwkitchen.cz/programujeme-arduino/> (přístup 6.9. 2022).

Senzor pro měření koncentrace alkoholu (Cíl 6)

Ondřej Fišer, Tomáš Pokorný

- **Úvod**

Cílem této úlohy je seznámit se s principem detekce plynů a chemických par pomocí cenově dostupných senzorů a programovatelné desky Arduino Mega. Oba senzory mají jako aktivní prvek tenkou vrstvu oxidu cínčitého (SnO_2), ale liší se snímacím odporem, tudíž reagují na alkohol odlišně a z hlediska jejich principu není možné zajistit, aby nereagovaly též na ostatní látky. Navíc je jejich reakce ovlivněna koncentrací dané látky, kterou ale v našich podmínkách (v průběhu cvičení) nelze přesně vytvořit. Proto nás bude při měření zajímat pouze relativní reakce každého senzoru vůči ostatním. Tedy který senzor zareaguje na danou látku nejvíce a který nejméně. Tyto poměry pak budeme srovnávat pro různé látky.

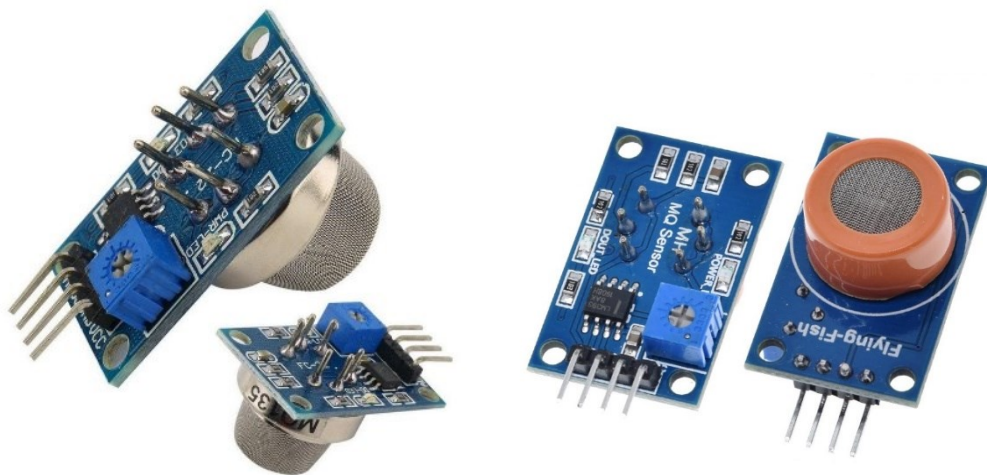
Před připojením desky Arduino k napájení nechte vždy zkontrolovat zapojení cvičicím!

- **Princip fungování senzorů MQ-135 a MQ-3**

Senzory plynů MQ-3 a MQ-135 jsou vstupní moduly pro Arduino.

Modul senzoru MQ-3 [1] dokáže detekovat alkohol (ethanol) na který je vysoce senzitivní a benzín ne něhož je senzitivita nižší. Senzor se nejčastěji používá jako alkoholtester. Aktivní prvek tohoto senzoru je tenká vrstva oxidu cínčitého (SnO_2), jejíž odpor se mění s koncentrací zmíněných alkoholů.

Modul senzoru MQ-135 [2], dokáže detekovat větší skupinu plynů ovlivňující kvalitu ovzduší. Senzor reaguje nejvíce na amoniak (NH_3), oxidy dusíku (NO_x), benzen, kouř, oxid uhličitý (CO_2) ale i alkohol. Aktivní prvek tohoto senzoru je tenká vrstva oxidu cínčitého (SnO_2), jejíž odpor se mění s koncentrací zmíněných plynů. Senzor se nejčastěji používá na měření kvality ovzduší, která je vyjádřena v jednotkách ppm (parts per milion).

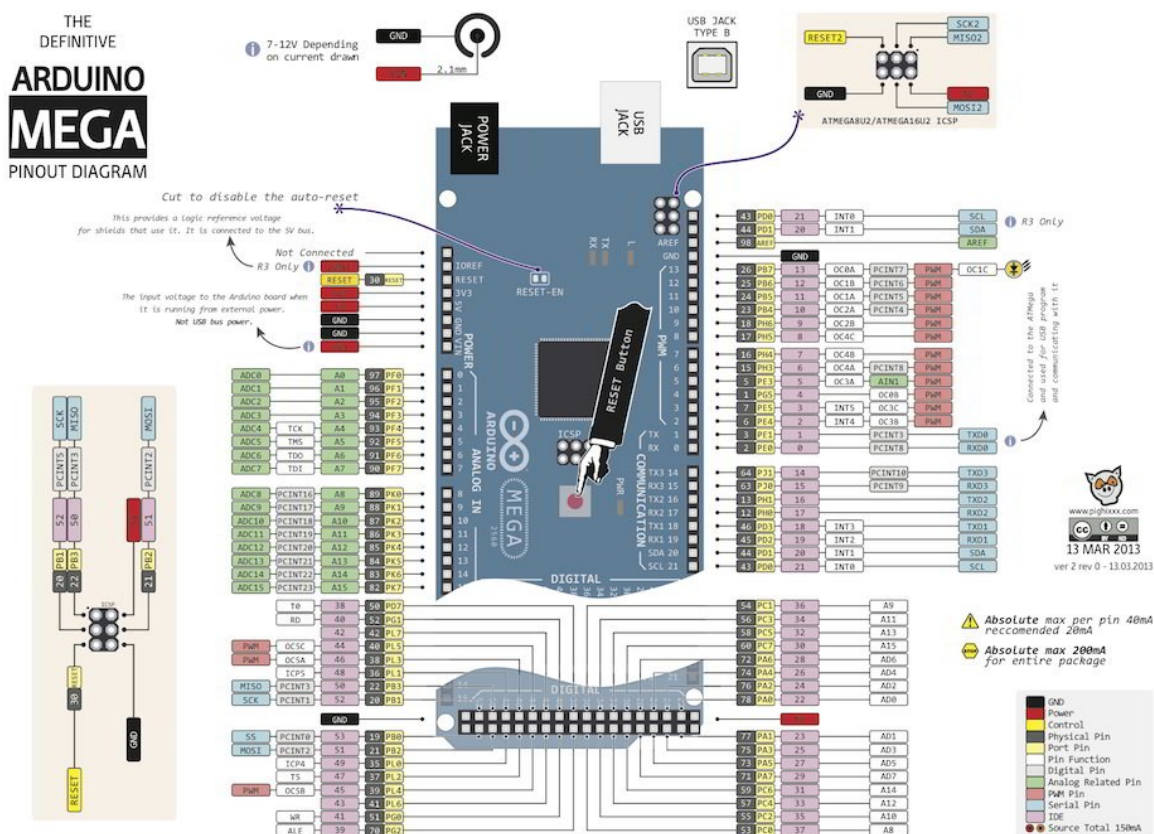


Obrázek 1: Moduly senzorů MQ-125 (vlevo) a MQ-3 (vpravo)

1) Zapojení senzoru

a) Zapojení Arduino MEGA

Arduino MEGA má oproti Arduino UNO větší velikost paměti a větší množství pinů. Právě připojení grafického displeje na RX a TX piny pro sériovou komunikaci, je v tomto cvičení použito Arduino MEGA. Arduino MEGA budeme napájet z externího zdroje 5V / 1A pomocí pinu Vin.



Obrázek 3: Arduino MEGA pinout diagram. Převzato z [3].

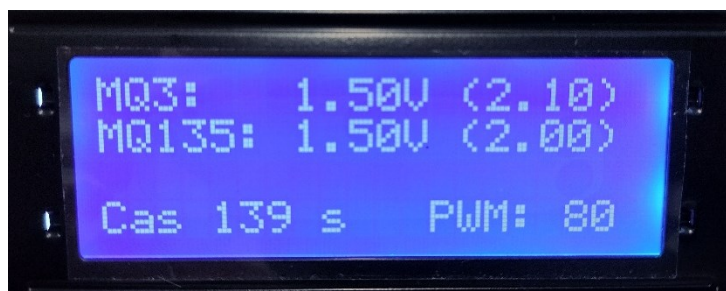
b) Připojení LCD obrazovky:

Pro zobrazení naměřených hodnot budeme používat LCD display, který je schopen zobrazovat celkem 16 (znaky v řádku) x 4 (řádky). K LCD displeji je připojena sběrnice I2C, přes kterou bude komunikovat s deskou Arduino. Celkem jsou potřeba zapojit čtyři vodiče – viz obr. 3 dle následující tabulky 1.

Tabulka 1: Připojení Arduina k displeji

Arduino	Displej
GND	GND
5 V	VCC
SDA (20)	SDA
SCL (21)	SCL

Displej v reálném čase zobrazuje hodnoty napětí na senzorech a jejich maximální hodnotu viz obrázek 4. V případě potřeby vynulovat minimum a maximum hodnot stiskněte resetovací tlačítko měřené veličiny.



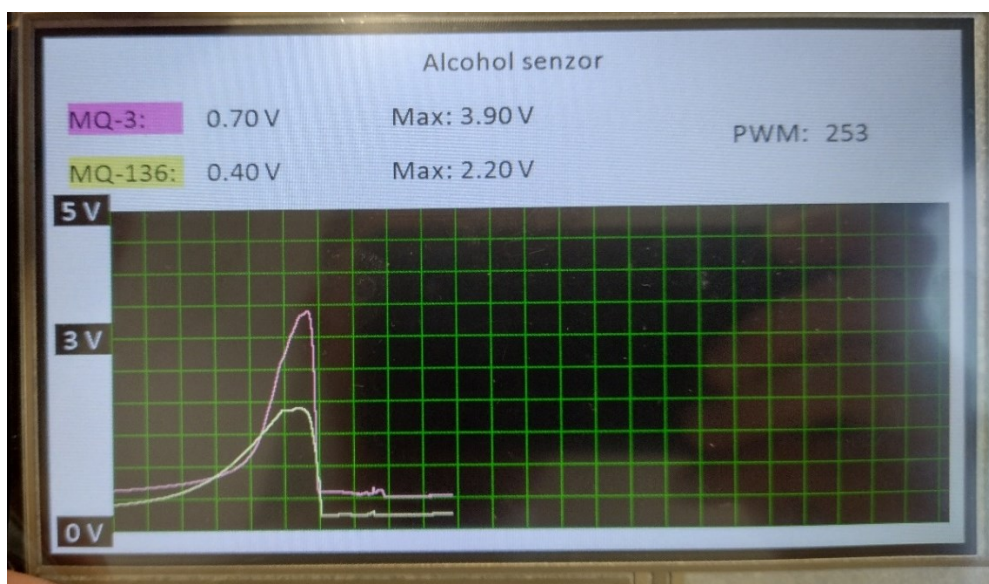
Obrázek 4: Správně zapojený displej po zapojení napájení.

c) Připojení grafické obrazovky:

Pro zobrazení grafu připojíme grafický TFT displej NEXTION. Grafický displej využívá sériové rozhraní Rx a Tx. Pro napájení použijte externí zdroj napájení 5V / 1A. Nezapomeňte spojit země externího zdroje a Arduina.

Tabulka 2: Připojení Arduina ke grafickému displeji

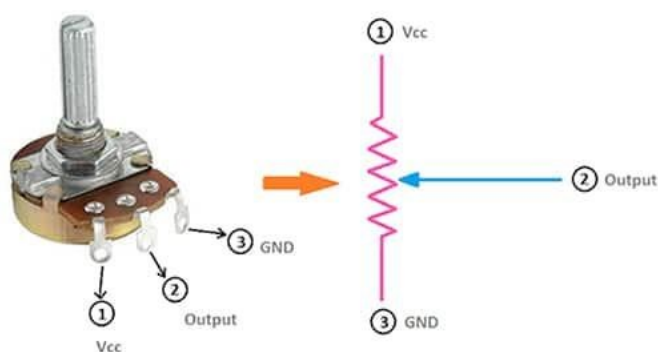
Arduino	Display
TX2	RX
RX2	TX
GND	GND
VCC	5V



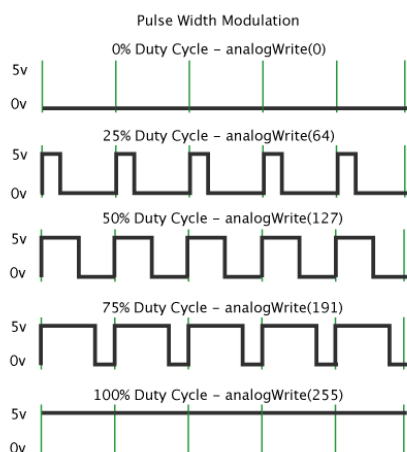
Obrázek 5: Správně zapojený grafický displej po zapojení napájení z externího zdroje.

d) Připojení PWM řízeného větráčku

Řízení rychlosti větráčku budeme provádět pomocí pulzně šířkové modulace (PWM) přímo z Arduina. Arduino MEGA umožňuje PWM na pinech 3, 5, 6, 9, 10, 11 – všimněte si označení vlnovkou u pinů. Pro naši potřebu použijeme pin č. 10, kam připojíme napájení větráčku. Hodnotu PWM budeme měnit potenciometrem. Potenciometr zapojíme dle obrázku 6. Jeden z vnějších pinů potenciometru připojíme ke GND, druhý krajní pin připojíme k +5V. Prostřední pin potenciometru připojíme k analogovému vstupu A0, pomocí kterého budeme číst napětí na potenciometru. Arduino obsahuje desetibitový AD převodník, který toto měnící se napětí čte a převádí na čísla mezi 0 a 1023. Funkce `analogRead()` nám vrací číslo mezi 0 a 1023, které odpovídá poměrné hodnotě napětí na pinu od 0 do +5V. Hodnota pro ovládání střidy (Duty Cycle) u PWM Arduina se nastavuje v rozmezí 0 až 255, což je čtvrtina z hodnoty AD převodníku. PWM řízení větráčku je nastaveno na `analogWrite (hodnotaPotenciometru / 4)`. Aktuálně nastavená hodnota pro ovládání střidy PWM je zobrazena na displeji Arduina.



Obrázek 6: Potenciometer a schéma zapojení.



Obrázek 7: PWM řízení pomocí Arduino pinu. Převzato z [4].

Úkol (1):

- Zapojte PWM ovládání rychlosti otáčení ventilátoru pomocí Arduino MEGA a potenciometru.
- Určete minimální střidu (Duty Cycle) signálu, při které se ventilátor samovolně otáčí a změřte napětí na potenciometru.
- Lze ovládat rychlost ventilátoru přímo potenciometrem?
- (Bonus) Zobrazte si PWM signál na osciloskopu.

e) Připojení senzorů alkoholu

Připojení modulů senzorů MQ-135 a MQ-3 k Arduino je velice jednoduché, ale vzhledem k proudovému odběru senzorů okolo 120 mA připojíme senzory i Arduino k externímu napájení 5V zapojeného do nepájivého pole. Z nepájivého pole budeme napájet jak Arduino pomocí pinu Vin, tak senzory pomocí pinů VCC. Dále nezapomene propojit země (pin GND) obou senzorů a Arduina. Moduly senzorů obsahují analogový pin (označen A0) a digitální pin (D0). Digitální pin pouze mění logickou hodnotu z 0 na 1 podle nastaveného detekčního prahu. Detekční práh lze nastavit trimrem přímo na modulu. My budeme využívat analogový pin, jehož hodnota se mění v závislosti na množství detekovaného alkoholu. Připojíme tedy pin A0 senzoru MQ-3 na analogový pin A1 Arduina a pin A0 senzoru MQ-135 na analogový pin A1 Arduina. Tak bude možné na pinech A1 a A2 vyčítat hodnotu ze senzorů.

2) Měření se senzory

Senzory vložte do detekčního tunelu vytištěného na 3D tiskárně, kde je zajištěno proudění vzduchu větráčkem. Nastavte nízkou rychlost otáčení větráčku (PWM<200). Uved'te Arduino se senzory do chodu. Měřené hodnoty začnou klesat v důsledku zahřívání, proto vyčkejte na jejich ustálení. Pozor! Teplota povrchu senzoru se pohybuje okolo 40°C.

Roztoky aplikujte přiložením víčka nádoby s roztokem na horní otvor detekčního tunelu dle obrázku 8. Roztok v nádobě můžete protřepat, aby došlo k většímu uvolnění par do víčka nádoby. Citlivost na změnu vlhkosti ověřte tak, že na otvor přiložíte papírový kapesník namočený do horké vody, případně použijte vlastní dech. Změna napětí na senzorech pochopitelně závisí na koncentraci dané látky, proto se hodnota není konstantní a postupem času od aplikace klesá. Snažte se zaznamenávat hodnoty napětí vždy ve stejném časovém intervalu od aplikace látky. Pro vynulování maximálních hodnot napětí na senzoru stiskněte tlačítko reset Arduina. Před měřením další látky vždy vyčkejte, než se napětí na senzorech znovu přiblíží původní hodnotě po zahřátí senzoru.



Obrázek 8: Způsob aplikace zkoumané látky pomocí víčka od nádoby

Úkol (2):

- Připojte senzory alkoholu k analogovým pinům Arduina. Senzory vložte do větrného tunelu s větráčkem.
- Pomocí Arduina a senzorů alkoholu proveďte měření citlivosti senzorů MQ-3 a MQ-135 na různé látky (izopropylalkohol, benzen, dezinfekce na ruce a ocet). Zaznamenejte vždy nejvyšší změnu napětí senzoru.
- Ověřte citlivost senzorů na změnu vlhkosti.
- Diskutujte limity a využití senzorů MQ-3 a MQ-135 v praxi.

Reference

- [1] HANWEI ELETRONICS CO.,LTD. *Technical data MQ-135 gas sensor*. Dostupné z: https://www.laskarduino.cz/user/related_files/mq135.pdf
- [2] HANWEI ELETRONICS CO.,LTD. *Technical data MQ-3 gas sensor*. Dostupné z: https://www.laskarduino.cz/user/related_files/mq-3_datasheet.pdf
- [3] LOU, Xiaokang, et al. Design of Intelligent Farmland Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2020. p. 012031.
- [4] Timothy Hirzel. *PWM [online]*. 2018. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/PWM>

Akcelerometry (Cíl 7)

Ondřej Fišer, Tomáš Pokorný

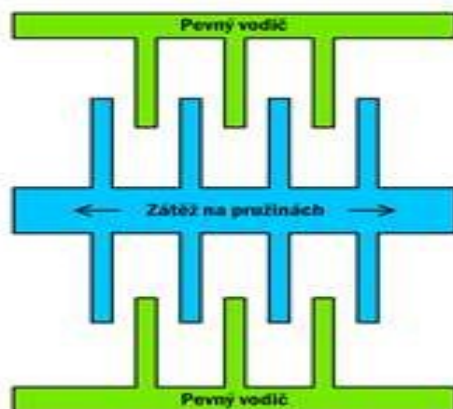
- **Zadání**

Cílem této úlohy je se seznámit s principem fungování akcelerometru. Úkolem bude zapojení modulu tříosého akcelerometru ADXL 335 s analogovými výstupy (model GY-61) k Arduino UNO pro vypsání hodnot, které modul poskytuje. Dále bude úkolem porozumět výstupním hodnotám a přepočítat je na známé veličiny (zrychlení, úhel). Nedílnou součástí úlohy bude pochopení rozdílu mezi senzorem akcelerometru a senzorem gyroskopu včetně rozdílu v jejich aplikaci. Při přípravě na toto cvičení se prosím seznamte se základními informacemi ohledně vývojové desky Arduino UNO [1] se zaměřením na používání analogových vstupů.

Před připojením Arduino k napájení nechte vždy zkontrolovat zapojení cvičicím!

- **Princip fungování akcelerometru ADXL335**

V modulu GY-61 se nachází napěťový regulátor a je malý trojosý akcelerometr s nízkým šumem – ADXL335. Jedná se o kapacitní akcelerometr využívající technologii MEMS. Principem funkce je umístění závaží na pružinách. Jeden konec pružin je připevněn k deskám hřebenového kondenzátoru a druhý konec k závaží viz obrázek 1. Pod vlivem síly působící na senzor se závaží přesouvá na pružinách, což způsobuje změnu vzdálenosti mezi kondenzátorem a hmotou, a tedy změnu kapacity.



Obrázek 1: Princip fungování MEMS kapacitního akcelerometru. Převzato z [2].

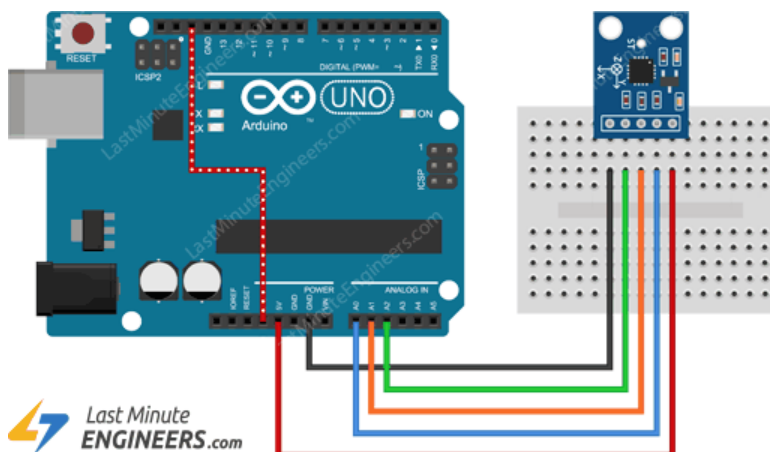
Jednou z největších předností akcelerometrů MEMS je možnost jejich implementace přímo na plošný spoj, proto jsou tyto kapacitory využívány zejména ve spotřební elektrotechnice (mobilní zařízení, nositelná elektrotechnika...). Vzhledem k malé přesnosti, zejména v případě vyšších amplitud, nejsou takové akcelerometry vhodné pro specializovaná průmyslová využití.

Senzor ADXL335 má rozsah snímání ± 3 g. Senzor může měřit statické zrychlená způsobené gravitací (náklon), tak i dynamické zrychlení (pohyb, náraz nebo vibrace). Analogové výstupy jsou poměrové, což znamená, že měřicí výstup 0 g rovná polovině referenčního napětí.

1) Připojení

- Připojení akcelerometru

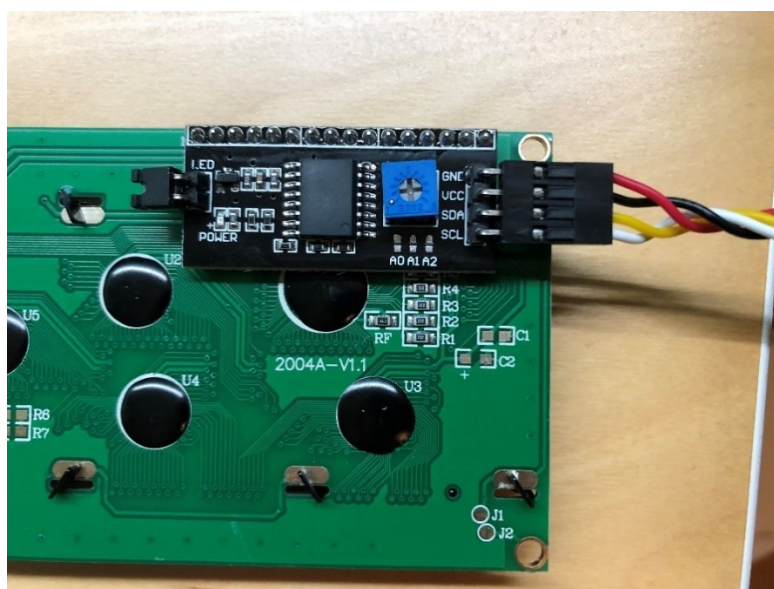
Připojení akcelerometru je snadné. Na příslušné piny senzoru dle obrázku XXX připojíme Arduino piny uzemnění, napájecího napětí 5 V a analogové vstupy A0, A1 a A2. Pro přesné výsledky definujeme známé analogové referenční napětí (AREF). To lze provést připojením kolíku 3.3 V na Arduino ke kolíku AREF.



Obrázek 1: Schéma připojení akcelerometru. Převzato z [3].

- Připojení obrazovky:

Pro zobrazení naměřených hodnot budeme používat LCD display, který je schopen zobrazovat celkem 16 (znaky v řádku) x 4 (řádky). K LCD displeji je připojena sběrnice I2C, přes kterou bude komunikovat s deskou Arduino. Celkem jsou potřeba zapojit čtyři vodiče – viz obr. 2 dle následující tabulky 1.

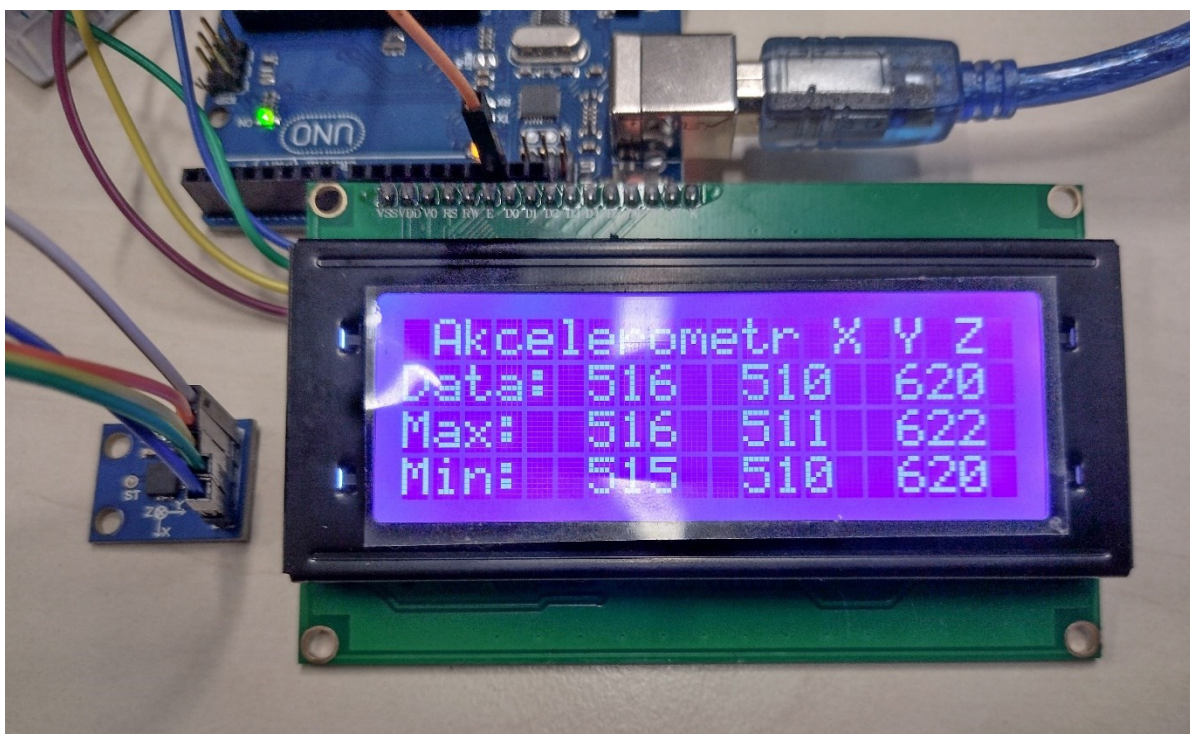


Obrázek 2: Zadní strana obrazovky s I2C převodníkem (černá součástka).

Tabulka 1: Připojení Arduina k displeji

Arduino	Displej
GND	GND
5 V	VCC
A4	SDA
A5	SCL

Displej v reálném čase zobrazuje AD převodníkem zpracované hodnoty z akcelerometru pro osu X, Y a Z a jejich maxima a minima viz obrázek 3. V případě potřeby vynulovat minimum a maximum hodnot stisknete resetovací tlačítko měřené veličiny.



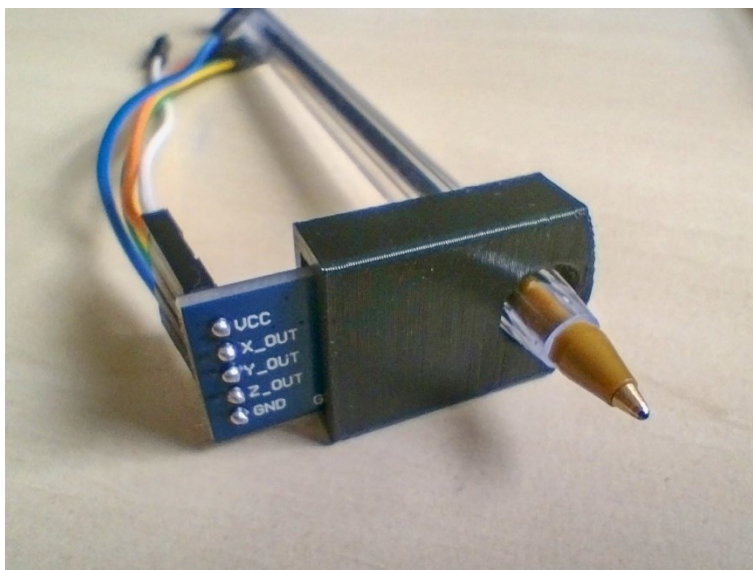
Obrázek 3: Správně zapojený displej po zapojení napájení.

Úkol (1):

- Pohybem akcelerometru identifikujte pořadí zobrazení os na displeji.
- Určete gravitační zrychlení v ose Z, pokud senzor leží rovně na podložce.

2) Detekce psaní s akcelerometrem

Pomocí adaptéru připojte modul akcelerometru na propisovací tužku viz obrázek 4. Vyhodnoťte akceleraci tužky při psaní např. vašeho podpisu.



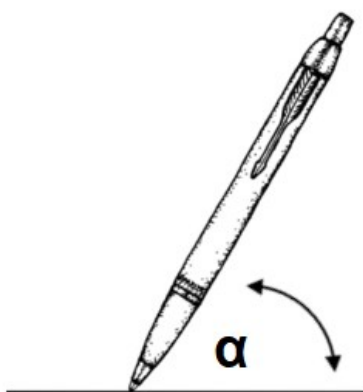
Obrázek 4: Adaptér pro připojení modulu akcelerometru k tužce.

Úkol (2):

- Určete maximální a minimální hodnotu akcelerace v ose X, Y a Z při psaní.

3) Použití akcelerometru pro určení úhlu náklonu

Akcelerometrem lze měřit i úhel náklonu, proto si akcelerometry občas pleteme s gyroskopem. Úhel lze akcelerometrem měřit díky gravitačnímu vychýlení osy na základě známého maxima a minima vychýlení přepočítaného na úhel -90 až 90.



Obrázek 5: Úhel propisky vůči papíru.

Úkol (3):

- Určete úhel (α) propisky vůči papíru dle 4. Vyzkoušejte určit úhel propisky v klidu před začátkem psaní a při psaní.
- Diskutujte limity využití akcelerometru pro určení úhlů náklonu.

Reference

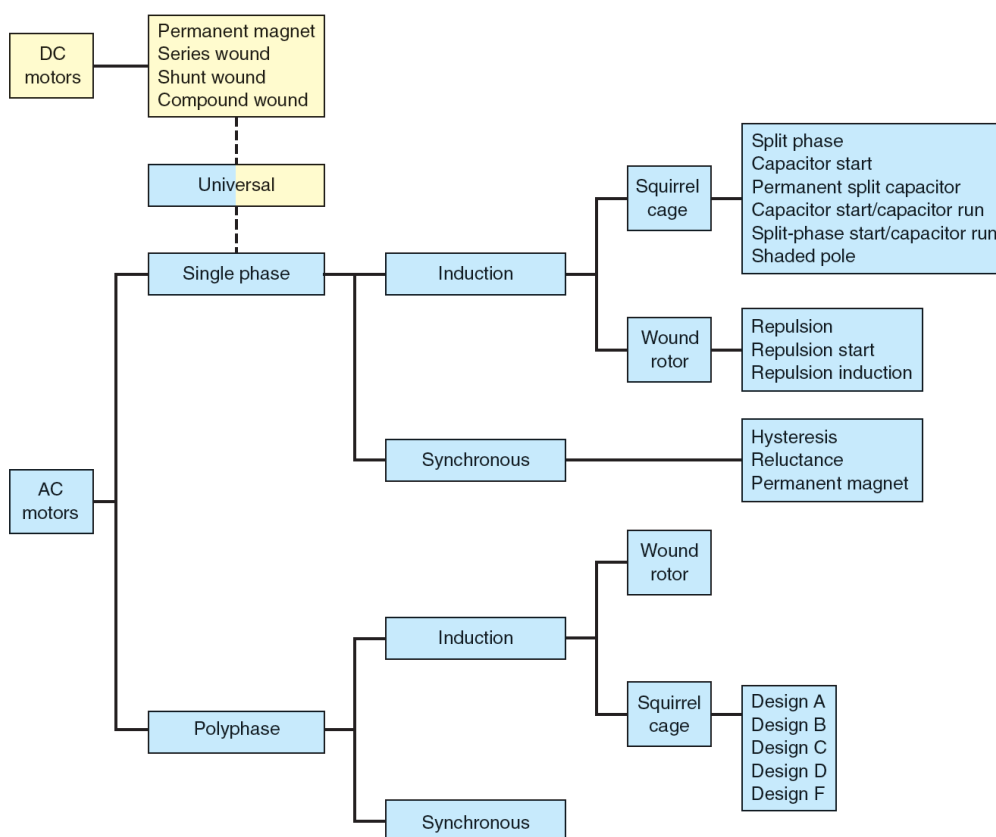
- [1] Zbyšek V. *Programujeme Arduino* [Online]. 2014. Dostupné z: <https://bastlirna.hwkitchen.cz/programujeme-arduino/>
- [2] Čížek. J. *Pojďme programovat elektroniku: Jak vlastně funguje akcelerometr a gyroskop nejen ve vašem telefonu* [Online]. 2018. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/pojdme-programovat-elektroniku-jak-vlastne-funguje-akcelerometr-a-gyroskop-nejen-ve-vasem-telefonu/sc-3-a-194858/default.aspx>
- [3] Last Minute ENGINEERS. *How Accelerometer works? Interface ADXL335 with Arduino* [Online]. 2020. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/adxl335-accelerometer-arduino-tutorial/>

Řízení a regulace elektromotorů (Cíl 8)

Matouš Brunát, Ondřej Fišer

• Úvod

Elektromotory (EM) jsou stroje měnící elektrickou energii na energii mechanickou. Dělení EM silně závisí na člověku, kterého se ptáme. Pokud bychom se ptali člověka pracujícího v těžkém průmyslu, EM budou prakticky pouze AC motory a bude je dělit na motory jednofázové/vícefázové, synchronní/asynchronní a následně podle rotoru na klecové či cívkové a mnohé další, které můžeme nalézt v učebnici [kniha1]. AC motory se téměř výhradně řídí zvýšením napětí či zvýšením frekvence, což samozřejmě vede k větší síle a více otáčkám. V této úloze se jimi zabývat nebudeme.



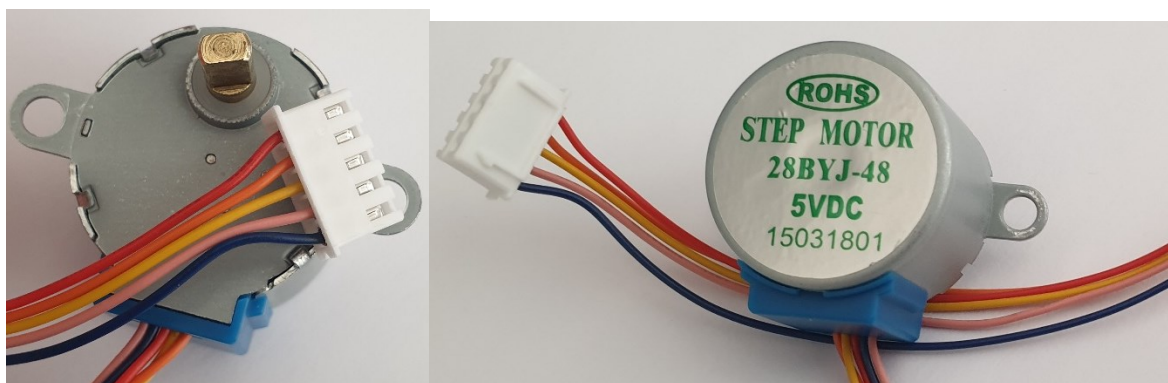
Obrázek 1: Dělení motorů dle [kniha1]. Dělení je zaměřeno na rotory.

Dělení na obr. 1 shrnuje všechny DC motory do malé části, avšak v robotice, medicíně a automatizaci jsou podstatnější právě DC motory. V této úloze se budeme zabývat především DC motory. Řízení elektromotorů je možné rozdělit do několika úrovní. Na základní úrovní máme prosté vypínání a zapínání elektromotorů, následně je možné měnit proud či napětí, které jsou na motor napojeny a poslední možnost ovlivnit charakteristiky motoru je napojení převodovky na rotor motoru. Svou vlastní kategorií mají ještě servo-motory, které mají zabudovanou svou vlastní řídicí jednotku se zpětnou vazbou z motoru. Můžeme tedy nastavit motor pouze pomocí jednoduché komunikace řídicí jednotkou, která přesně ví, v jaké pozici se motor nachází. Tato úloha se zabývá třemi motory:



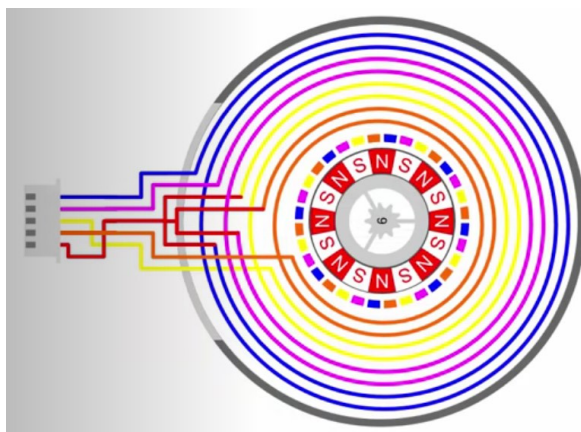
Obrázek 2: GA12-N20 6V motor s převodovkou

Prvním motorem je DC motor (GA12-N20), který je možné ovládat pomocí pulse width modulation (PWM), neboli pulzně šířkové modulace. PWM je varianta ovládání výkonu spotřebiče pomocí sepínání a vypínání zdroje. Přenesený výkon tedy záleží na době, který je zdroj sepnutý vůči době, kdy není. Nejvyšší možný výkon dosahuje prostý stejnosměrný proud (zdroj vždy sepnutý). Poměr sepnutého času vůči jednomu cyklu nazýváme střída. Střída 30 % znamená, že při cyklu trvajícím 0,1 sekundu, je zdroj sepnutý 0,03 sekundy a 0,07 vypnutý.



Obrázek 3: Krokový motor se čtyřmi cívkami.

Druhý je krokový motor. Rotor krokového motoru je magnet, který je otáčen pomocí postupného aktivování cívek. Krokové motory bývají složeny z více cívek, které je nutné jednotlivě zapojovat ve správném pořadí. Při zapnutí cívky se rotor pootočí a tím vykoná jeden krok. Proto krokové motory. V této úloze má motor čtyři cívky se společnou zemí a proto je ovládán pěti dráty.



Obrázek 4: Schéma krokového motoru se čtyřmi cívkami.

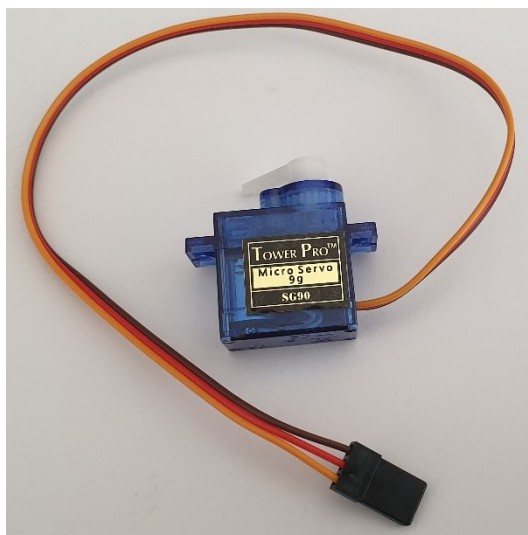
Protože krokové motory by bylo téměř nemožné ovládat manuálně, bývají připojeny na řídicí obvody/jednotky. V našem případě použijeme řídicí obvod s čipem ULN2003, který budeme řídit pomocí mikrokontroleru arduino UNO.



Obr. 5: Řídicí jednotka krokových motorů.

Řídicí jednotka postupně spíná jednotlivé cívky ve správném pořadí a umožňuje tak rotaci motoru.

Posledním motorem je servo-motor.



Obr. 6: Servo-motor SG90.

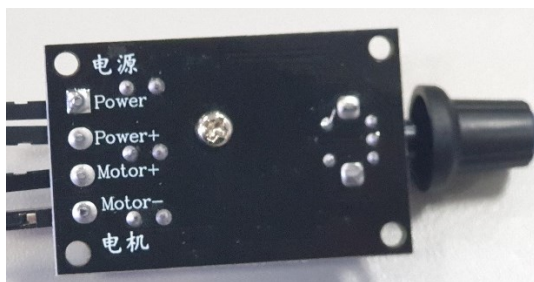
Servo-motor je opět ovládán pomocí Arduina, avšak protože servo-motory v sobě mají řídicí jednotku, je možné je připojit přímo na arduino a ovládat pouze pomocí jednoho pinu. Servo-motory jsou prakticky vždy využívány pro lineární pohyby, či omezené řízené pohyby například mechanických součástí robotů. Motor SG90 má rozsah pouze 180°.

- **Přístroje:**

Osciloskop, závaží, DC motor s převodem, krokový motor s řídicí jednotkou ULN2003, servo motor SG90, arduino UNO, PWM modulátor

- **Úkoly a postup:**

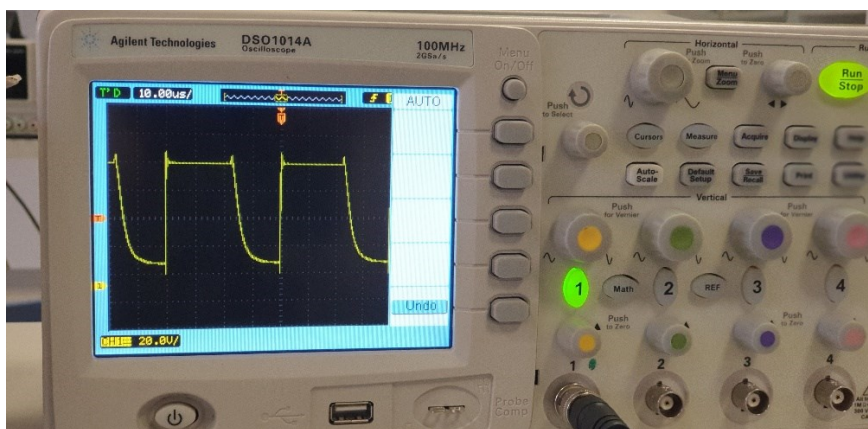
1. Připojte PWM modulátor k laboratornímu zdroji napětí mezi 6-12V. Tzn. spojte vodič svorku „power +“ u modulátoru s „+“ u zdroje a stejně pak s druhou elektrodou. Následně pomocí osciloskopu sledujte výstup z PWM modulátoru. (Připojte motor+ a motor- do jednoho channelu osciloskopu a zmáčkněte „auto-scale“). Otáčejte regulací PWM modulátoru. Co se děje při otáčení? Kde je maximum výkonu a kde minimum? Najděte místo, kde je střída 50/50.



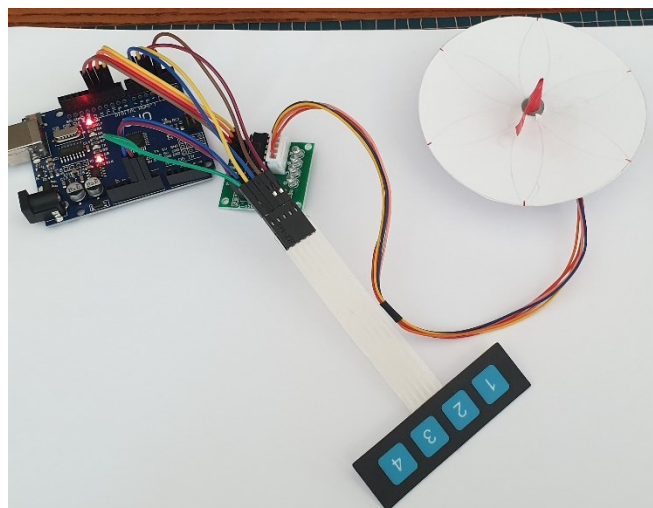
Obr. 7: Spodní strana PWM modulátoru.

2. Připojte na DC motor s převodovkou PWM modulaci. Pozorujte a do protokolu popište následující situace: Jak se mění otáčky motoru (RPM) při manipulaci PWM a kolik RPM má motor při minimálním, polovičním a maximálním cyklu? Při jakém napětí na zdroji? Jaký vliv má zatížení na otáčky motoru a na procházející proud? Pro experimenty s brzděním motoru jemně zatěžujte motor chycením za rotující plastovou špulku.
3. Jaký vliv má na motor převodovka? Pokud víte, že poměr převodu je 1:10, jak rychle se točí motor pod převodovkou? Jaký to má vliv na točivý moment?
4. Nyní budete potřebovat kontrolní jednotku s čipem ULN2003APG, arduino s čtyřmi tlačítky a krokový motor 28BYJ-48. Zapojte kontrolní jednotku mikrokontroleru arduino následovně: Spojte pin IN1 jednotky s pinem 9 na arduinu. IN2 s pinem 10, IN3 s pinem 11 a IN4 s pinem 12. Následně napojte jednotku k power outputu arduina. Tzn. na jednotce spojte pin + s 5V na arduinu a – s GND pinem na arduinu. Následně do jednotky zapojte konektor od krokového motoru a celé arduino zapojte do zdroje. Zjistěte, kolik kroků tento motor udělá do v jedné otáčky. Tlačítko 1 = 4 kroky, 2 = 40 kroků, 3 = 400 kroků, 4 = 1000 kroků.
5. Napojte na arduino servo-motor SG90. Z motoru vede konektor se třemi vodiči. Hnědý je zem (GND), červený je power (5V) a žlutý je ovládání, které je nutné napojit na pin 8 arduina. Otestujte, co dělají tlačítka 1, 2 a 3. Nyní připojte výstup z arduina, který ovládá servo-motor do osciloskopu. (Pin 8 a pin GND). Pozorujte, jak mikrokontroler ovládá servomotor. Co k tomu využívá? Jak se od sebe liší v signálu tlačítka 1, 2 a 3?
6. Vysvětlete rozdíl, mezi PWM v prvním úkolu a PWM v pátém úkolu.

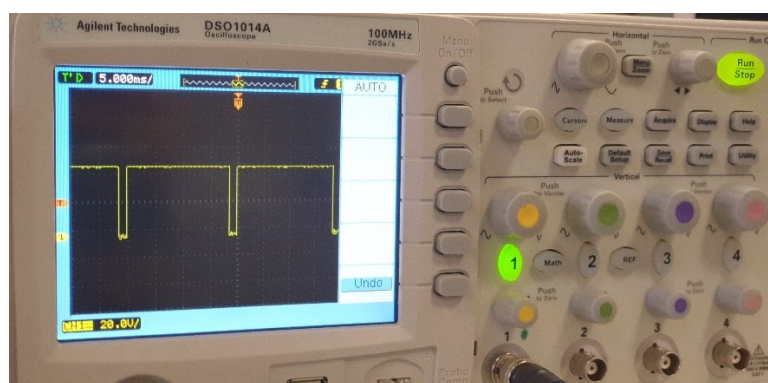
Nápovědy:



Obr. 8: PWM modulace na osciloskopu.



Obr. 9: Zapojení s krokovým motorem.



Obr. 10: Signál pro servo-motor

Reference

[kniha1] PETRUZELLA, Frank D. *Electric motors and control systems*. Second edition. New York: McGraw Hill education, [2016]. ISBN 9780073521824.

Single-phase transformer: basic parameters measurement (Cíl 1)

Ondřej Fišer

- **Task 1**

Your task is to find out and then verify basic parameters of the demonstration single-phase transformer. Initial task is to study the catalog sheet which is provided by manufacturer. In the datasheet find out following parameters:

- 1) Rated voltage and current of winding (primary and secondary).
- 2) Working frequency.
- 3) Transformer conversion ratio.

Each transformer should also be provided with a label containing basic information about the transformer, such as the manufacturer, serial number, year of manufacture and other additional technical data.

- **Task 2: Measurement of basic transformer parameters**

- 1) Winding resistance measurement

Your next task is to measure the resistances of the primary and secondary windings using the volt-ampere method (using Ohm's law) for small resistances. The resistance of the winding is measured by direct current - use a DC source. Assemble the measuring circuit according to the diagram presented in figure 1 (a) and (b). After checking the circuit by the teacher, start to increase the voltage on the DC source. Write down the values for 10 %, 20 % and 30 % of the rated winding current and average the measured resistance - write the resulting values in table 1.

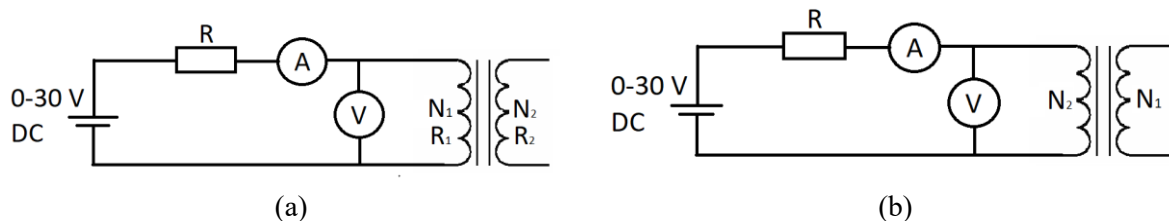


Figure 1.: Circuits for measuring the resistance of the primary (a) and secondary (b) transformer windings.

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}, R_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad (1)$$

where $R_{1,2}$ is the resistance of the primary secondary winding respectively, $U_{1,2}$ is the voltage on the primary secondary winding respectively, $I_{1,2}$ is the current passing through the primary resp. secondary winding.

Note: For more accurate measurements, it is necessary to compensate for the internal resistance of the source, the parasitic current flowing through the voltmeter, the internal resistance of the ammeter, etc.

Table 1. Winding resistance measurement

		I (mA)	U (V)	R (Ω)	R_{prim} (Ω)
Primary winding	10 %				
	20 %				
	30 %				
Secondary winding	10 %				
	20 %				
	30 %				

2) No-load measurement

The next task is to determine the current and losses in the transformer during the so-called no-load connection. These losses correspond to losses in the magnetic circuit (in the core). Connect the measuring circuit as shown in Figure 2. Connect an adjustable laboratory 50 Hz AC power supply to the primary winding. Next, connect a V_2 voltmeter to the secondary winding. The value of the supply current will depend on the magnetization curve of the ferromagnetic core of the transformer. Losses in the primary winding can be neglected due to the small current flowing. Therefore, the determined power input can be considered as losses of the ferromagnetic core of the transformer. The no-load characteristic is therefore not linear and must be measured for multiple voltages.

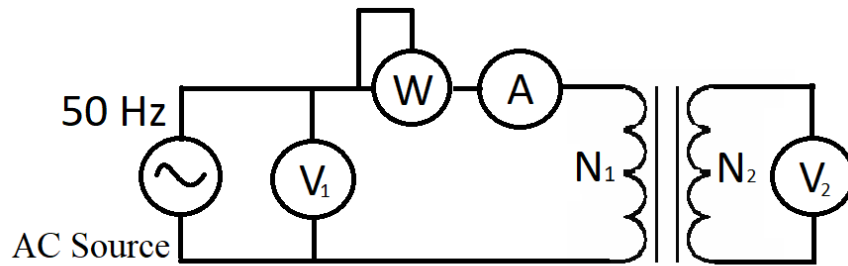


Figure 2. No-load transformer measurement – circuit connection.

Apparent no-load power S_{1p} can be calculated according the following equation:

$$S_{1p} = U_{1p} \cdot I_{1p} \quad (2)$$

where U_{1p} is the voltage measured on the primary coil (measured by voltmeter V_1), I_{1p} is current passing through the circuit (measured by ammeter A).

The power factor $\cos\varphi$ can be determined as:

$$\cos\varphi = \frac{P_{1p}}{S_{1p}} \quad (3)$$

where P_{1p} je active power.

The conversion ratio of the transformer k can be calculated according to the following equation:

$$k = \frac{U_{1p}}{U_{2p}} \quad (4)$$

where U_{2p} is the voltage measured on the primary coil (measured by voltmeter V_2).

Table 2. Table for recording measure values from no-load transformer measurements.

U_{1p} (V)	I_{1p} (mA)	P_{1p} (W)	U_{2p} (V)	S_{1p} (VA)	$\cos\varphi$	k
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
230						

3) Short-circuit measurement

Your next task is to measure the properties of the transformer by short-circuiting of the secondary winding. It means that the terminals of the secondary winding are short-circuited = the maximum possible current flows through the secondary winding. This measurement can be used to determine the losses in the coil winding. Connect the circuit as shown in Figure 3. Increase the voltage at the power supply until the rated current flows through the primary winding. When the rated current flows, measure the short-circuit losses. Another important parameter is the voltage on the primary coil, from which the short-circuit relative voltage U_k can be calculated as follows:

$$U_k = \left(\frac{U_{zk}}{U_n} \right) \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

where U_{zk} is the measured voltage (voltmeter V_1) in case of short-circuit connection, when the rated current flows through the transformer, U_n rated voltage for which the transformer is designed (230 V in our case).

Measure the values for the short-circuit connection also for 50 % and 25 % of the rated current and write the values in the following table.

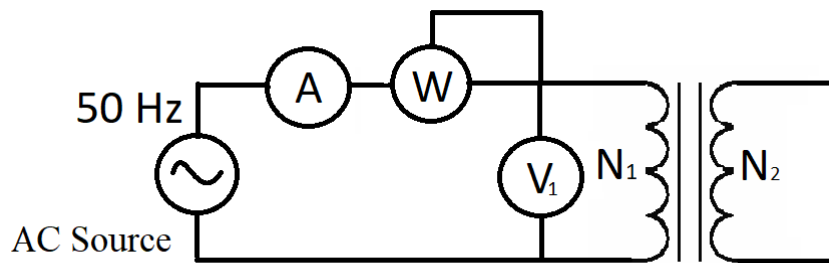


Figure 3. Short-circuit transformer connection.

Table 3. Table for recording measured values Task 2.3.

Measurement	I_{1k} (mA)	U_{1k} (V)	P_{1k} (W)
4. (100 %)			
5. (50 %)			
6. (25 %)			

Electric motors (Cíl 2)

Ondřej Fišer

The tasks which are presented here are based on the manual Didaktik: Elektromotory [1].

- **Task 1: Direct Current generator**

Initially, build a simple DC voltage / current generator. Connect the circuit according to the diagram in Figure 1. Your task is to rotate the two-pole rotor. Rotate the drive disc, which is connected to the generator rotor via the drive belt. Observe the relationship between the speed, direction of rotation and the induced voltage measured at the output terminals (use an oscilloscope to monitor the voltage).

Components: 4x L line module, 2x straight line module, 1x interrupted line module, 2x module with sleeve, 1x module for DC collector, 2x collector holder, 1x sleeve with drive belt disc, 1x magnet handle, 1x locking magnet, 1x two-pole rotor, bearing, 1x four - pole rotor, bearing, voltmeter/oscilloscope.

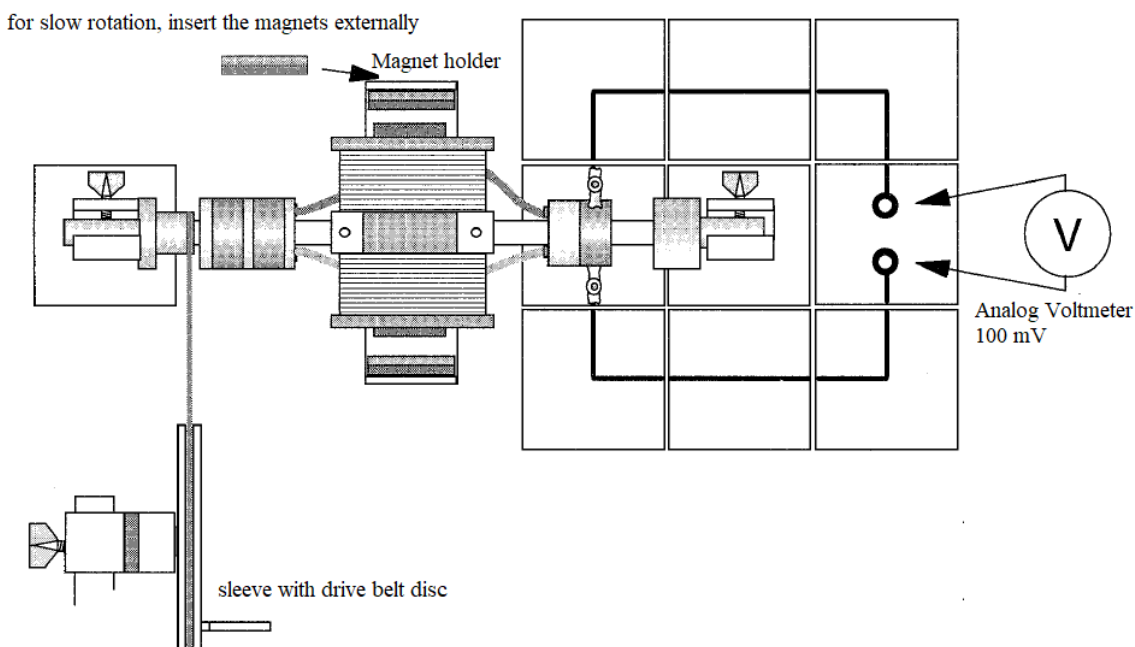


Figure 1. DC generator – circuit connection, taken and modified from [1].

- **Task 2: DC motor with permanent magnetic field of the stator**

Another task is to assemble and verify the properties of a DC motor with a permanent magnetic field of the stator. First, assemble the motor with the two-pole rotor. Use the fixing screws to ensure sufficient contact between the commutator and the DC collector. Before starting the motor, bring the two-pole rotor out of its rest position. Then connect a power supply that is set to approximately 9 V DC. If the motor does not start spontaneously, a light tap is required on the rotor. The rotation of the rotor is caused by attractive and repulsive magnetic forces between the rotor and the stator fields. Due to the design of the commutator, the rotor field is reversed by rotating the rotor. The rotation speed can be changed by changing the input voltage. Test for a voltage in the range of 5-10 V. Estimate the relationship between speed and input voltage. Repeat the experiment with the four-pole rotor and compare the results.

Components: 2x T-line module, 2x L-line module, 2x straight line module, 1x interrupted line module, 2x connection module, 2x module with sleeve, 1x two-pole rotor, 1x four-pole rotor, 1x module for DC collector, 1x magnet holder, 1x locking magnet

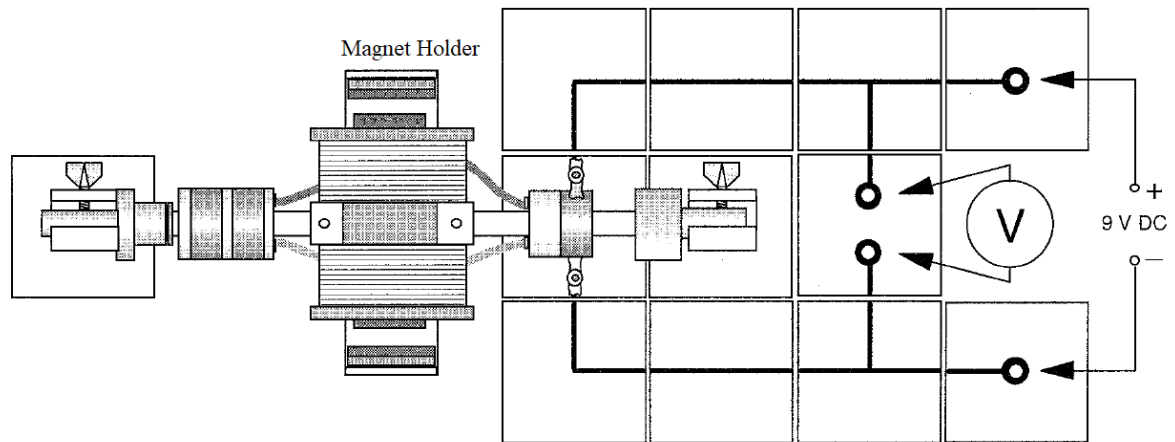


Figure 2. Wiring of the task DC motor with permanent magnetic field of the stator, taken from [1].

• Task 3: Derivative motor

Build a model of a derivative motor. Assemble the model according to the drawing in Figure 3, fasten the coil cores with clamping straps, otherwise they will be fired. Set 10 V DC on the power supply, the motor will start, if not, tap the rotor lightly. The direction of rotation of the rotor remains the same when the supply voltage is reversed, because the poles of the same name are facing each other again. The derivation motor is therefore also suitable for operation with alternating voltage.

Components: 2x T-line module, 1x straight line module, 2x L-line module, 2x connection module, 2x module with sleeve, 1x coil module with side connection on the right, 1x coil module with side connection on the left, 2x 400-thread coil (3 mH / 4 A), 2x I-core, short, 2x clamping strap, 1x two-pole rotor, 1x module for DC collector, 2x collector holder

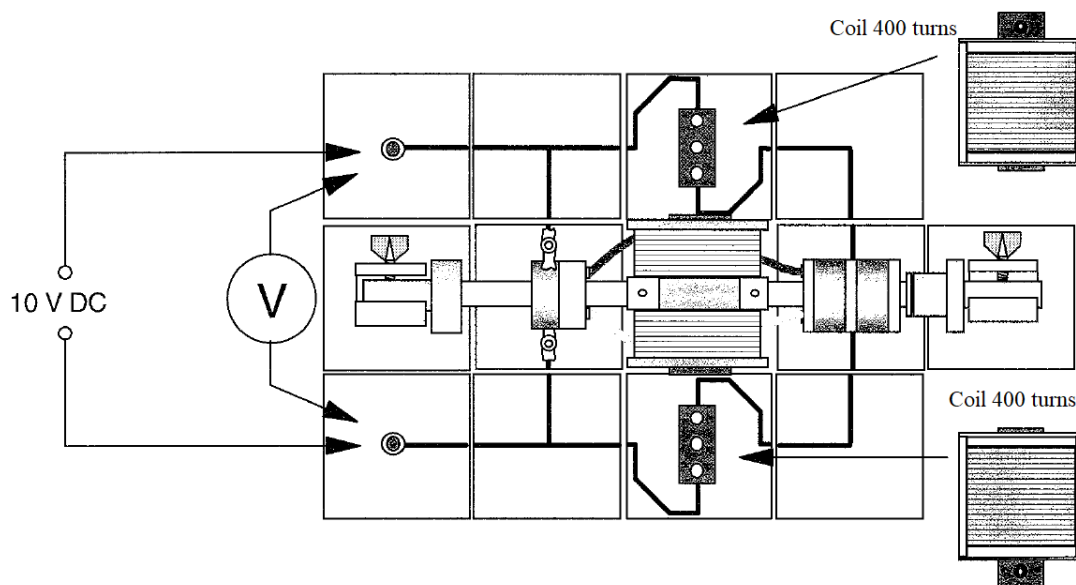


Figure 3. Wiring of the task – Derivative motor, taken from [1].

- **Task 4: Serial engine**

Assemble the serial motor model as shown in Figure 4. Set 10 V DC on the power supply. Tap the rotor lightly. Test the effect of a change in input voltage on a change in speed. Always adjust the rotor so that the collectors do not stand on commutator breaks. In the second part of the experiment, increase the voltage to 15 V DC and change the motor speed by changing the voltage.

Components: 2x straight line module with socket, 2x L line module, 2x connection module 2x module with sleeve, 1x coil module with side connection on the left, 1x coil module with side connection on the right, 2x 400-thread coil (3 mH / 4A), 2x I-core, short, 2x clamping strap, 1x module for collector

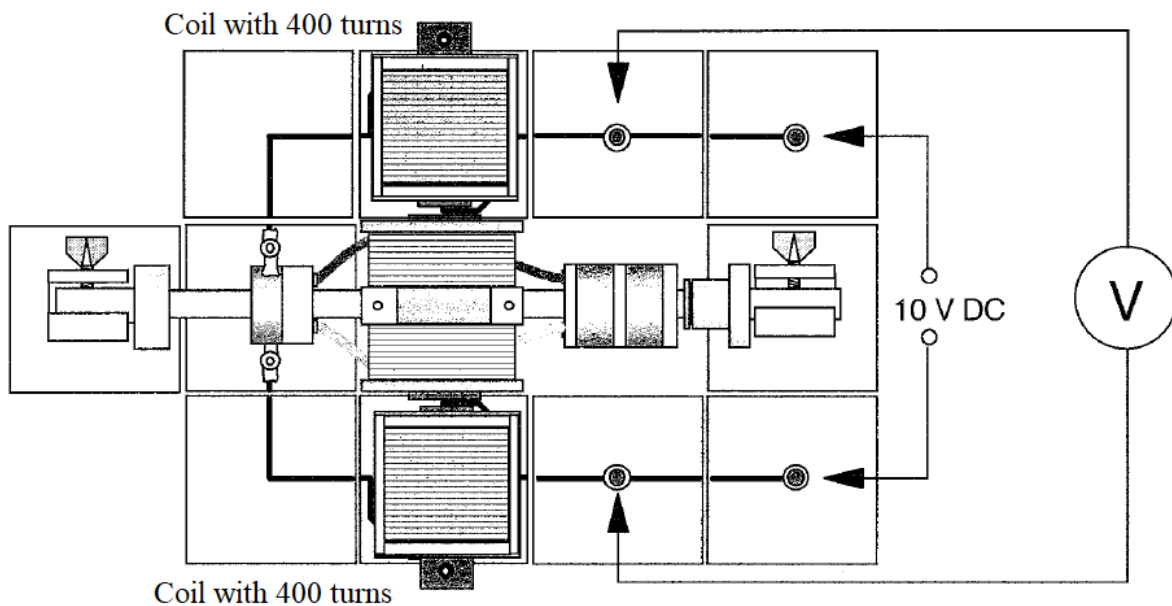


Figure 4. Circuit connection of the task Serial motor, taken from [1].

- **Task 5: Generator of AC current (alternator)**

In the next task, you're going to assemble an alternating current generator, the so-called alternator. Connect the circuit as shown in Figure 5. Connect the drive wheel to the circuit and connect it to the rotor using the drive belt. Next, connect a voltmeter or oscilloscope to the circuit as shown in Figure 5. Set the voltage range to 100 mV. Start turning the drive wheel slowly and observe the voltage values on the voltmeter / oscilloscope. When using an oscilloscope, monitor the amplitude and frequency of the generated signal.

Components: 4x L line module, 2x straight line module, 1x interrupted line module, 2x module with sleeve, 1x module for AC collector, 2x collector holder, 1x sleeve with drive belt disc, 1x magnet handle, 1x locking magnet, pair, 1x two - pole rotor, bearing mounting

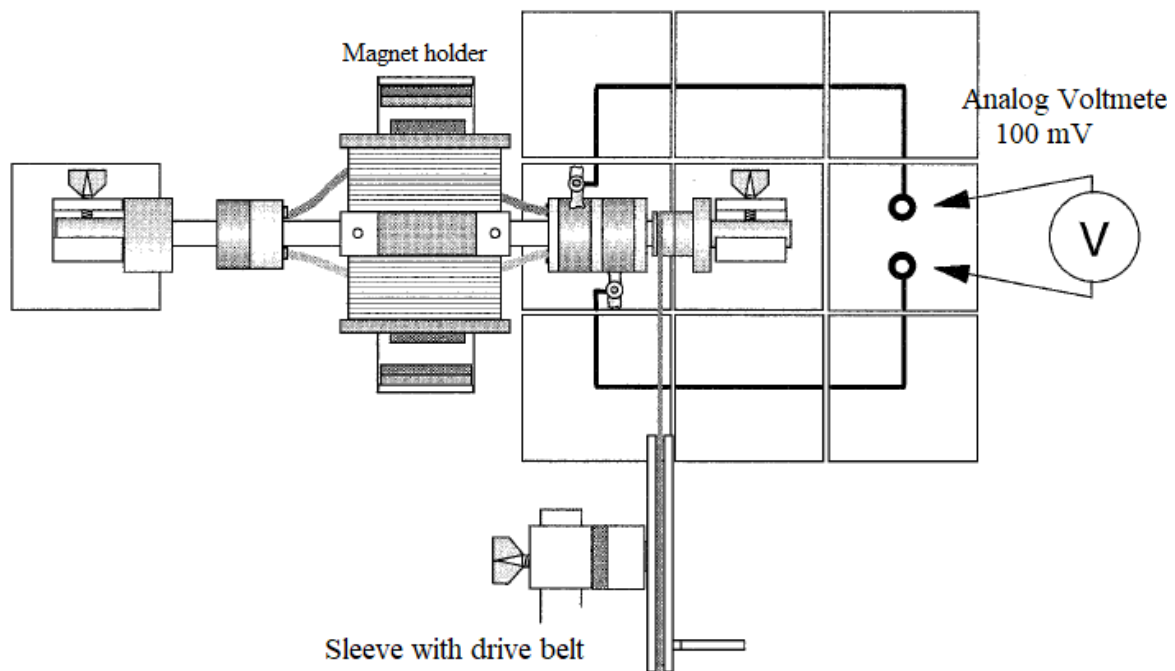


Figure 5. AC generator – circuit connection, taken from [1].

- **Task 6: Synchronous motor**

Build a synchronous AC motor with a permanent magnetic rotor. Use a function generator with adjustable frequency as the excitation signal source. When the frequency of the excitation signal is changed, the speed of rotation of the motor can be changed. Next, assemble the circuit according to the circuit presented in Figure 6. Insert the cores into the coils and clamp them with clamping straps. To start the motor, set an excitation signal of approximately 3-4 V (amplitude) and set the frequency at 1-2 Hz on the function generator. Gently push the motor rotor to start the motor and increase the frequency to approx. 10 Hz until the motor runs independently. Then, test the effect of voltage and frequency changes on the motor speed.

Components: 2x L-line module, 2x connection module, 3x straight line module, 2x module with sleeve, 1x coil module with side connection on the right, 1x coil module with side connection on the left, 2x 400-thread coil (3 mH / 4 A), 2x I-core, short, 2x clamping strap, 1x rotor with permanent magnet, bearing

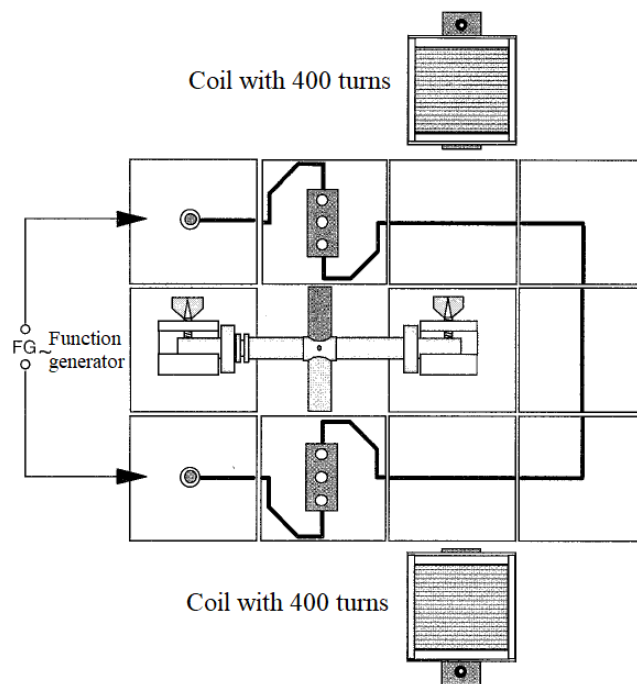


Figure 6. Circuit connection of the synchronous motor, taken from [1].

- **Task 7: - Connection of three-phase electric motor Y / D**

Get acquainted with the connection and then, under the guidance of the teacher, connect the three-phase Siemens motor, which allows operation in star / delta mode to the three-phase distribution network. Use only the VarioClick table for connection.

Start the engine in both star and delta modes.

Motor supply voltage: 3x400 / 690 V Y/D

Speed: 1370 rpm

References

[1] DZS Elektřina, Návod k použití, Didaktik s.r.o, 2013

Circuit Breaker (Cíl 3)

Ondřej Fišer

- **Introduction**

The circuit breaker is an important protective part of the house electrical distribution system. The circuit breaker provides additional protection in areas with an increased risk of electric shock. In practice, it is an electrical protection element that evaluates the value of the so-called residual current in the supply conductors. Residual current most often means a fault in electrical installations. The purpose of the circuit breaker is to detect such a current and disconnect the circuit from the power supply when its nominal value (usually 30 mA) is exceeded. The aim of this task is a practical implementation of a circuit breaker and a demonstration of its operation. In practice, a circuit breaker consists of two basic parts:

- 3) Summing / differential transformer
- 4) Relay with switching mechanism

The basis of the current breaker is the so-called differential transformer. Current passes to and from the electrical load (electrical appliance) through this transformer (see the circuit in the figure 1). On the secondary winding of this transformer, the detection coil is placed.

The schematic circuit diagram is shown in the figure 1. If the circuit works without a fault - in this case it means that the current flowing into the appliance is equal to the current flowing from the appliance and applies:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 \\ I_3 &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Where I_1 , I_2 , I_3 are currents flowing in the circuit – see figure 1.

In the case of currents I_1 and I_2 equality, which, however, have the opposite direction, their magnetic effects in the transformer will be canceled (the sum of currents flowing through the transformer is equal to zero). This means that the magnetic field in the transformer will have zero value and we will measure zero voltage on the detection coil. In case of failure in the circuit, i.e. formation of residual fault current I_3 (part of the current flows, for example, through protective conductors, into the ground, etc.). In this case, the magnitudes of the currents I_1 and I_2 , will not be equal and the magnetic field will no longer be zero. Voltage induction occurs in the detection coil. If this voltage reaches a certain value, the circuit breaker disconnects the appliance from the mains. An important note is that the protective earth (PE) conductor must never pass through the differential transformer.

- **Demonstration Experiment:**

The following experiment is used to demonstrate the operation of a circuit breaker. The circuit wiring is shown in Figure 1. Use an AC250K stabilized power supply as the AC power source, which transforms the mains voltage to the required value. In our case, we will use a maximum voltage of 12 V AC due to safety and power supply capabilities. Next, use a decomposition transformer. Insert a spool with three turns as the primary coil. Connect the plug to the AC power supply. As a secondary winding, use a coil with 24,000 turns (in the second step use the coil of 1200 turns), to which you connect a voltmeter V. Use a light bulb (max. 10 W) or an electric AC motor with adequate power as a load. Divide one wire leading from the bulb into two branches (see Figure 1 - green and red wire), where only the green wire will pass through the transformer. Use a 1 kΩ rheostat to control the fault current I_3 (red wire) that does not flow through the decomposition transformer. Place an AC ammeter on both the red and green branches, which will record the RMS values of the current flowing through the individual branches.

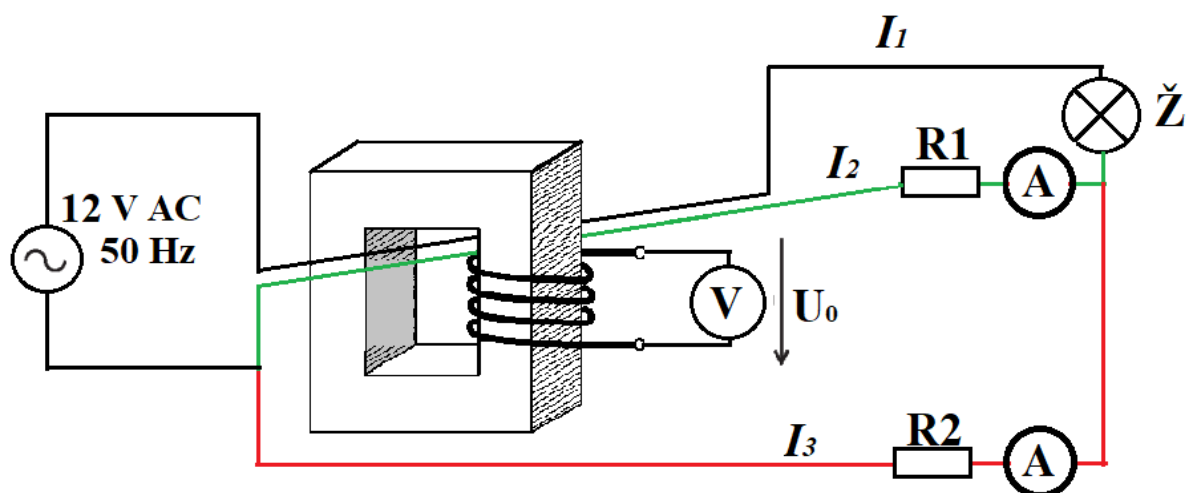


Figure 1. Demonstration task connection - Circuit breaker.

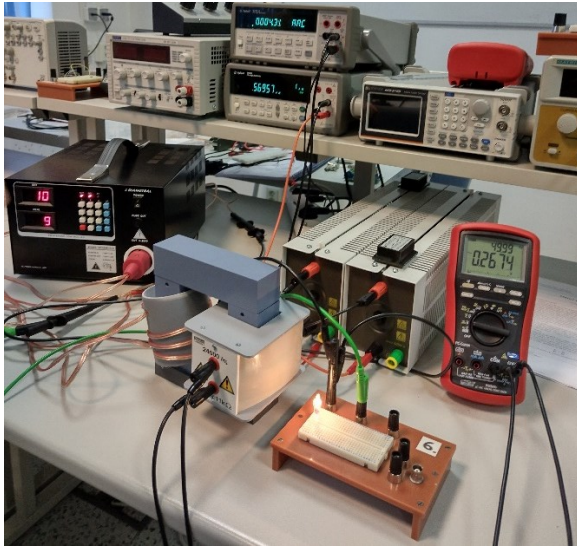
Test the effect of the fault current I_3 on the voltage value V , which is measured by an AC voltmeter.

Test the following scenarios for the detection coil, record the measured values in Table 1:

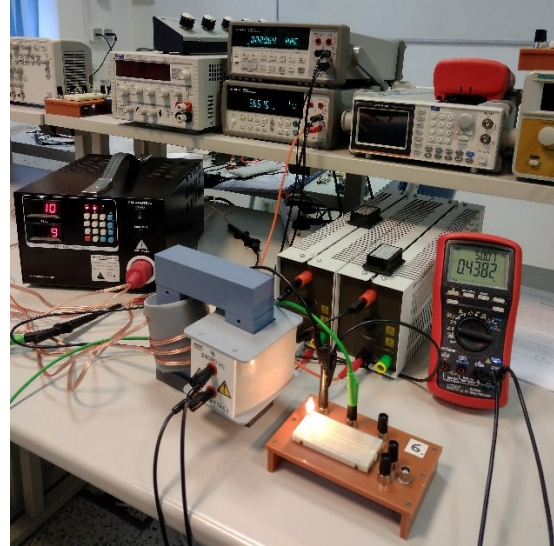
- 1) Set the power supply to 12 V (AC) and disconnect the fault current (red wire).
- 2) Set the power supply to 12 V (AC) and set the value to the lowest possible value (approx. 10 Ω) on the R1 rheostat and 1000 Ω on the R2 rheostat.
- 3) Set the power supply to 12 V (AC) and set the value to the lowest possible value on the rheostat R1 and reduce the resistance value on the rheostat R2 to 500 Ω .
- 4) Set the power supply to 12 V (AC) and on the rheostat R1 set the value to the lowest possible value and on the rheostat R2 set the same value as on R1, ie. 10 Ω .
- Repeat all measurements (1-4) with the detection coil with 1200 turns, compare the results in the following table 1.

Table 1. Measured values of currents and output voltage on the detection coil of the model of circuit breaker.

$R_2 (\Omega)$	Coil	$I_2 (\text{mA})$	$I_3 (\text{mA})$	$U_0 (\text{V})$
Open circuit	1200			
	24000			
1000	1200			
	24000			
500	1200			
	24000			
10	1200			
	24000			



(a)



(b)

Figure 2. Example of possible wiring of the circuit breaker exercise.

Design, Implementation and Verification of Multimeter (Cíl 4)

Ondřej Fišer, Tomáš Pokorný

- **Task**

The aim of this task is to implement a multimeter for measuring basic DC quantities in the circuit using the Arduino UNO platform. Next task will be measuring the properties of such a multimeter. An electrical multimeter measures several electrical quantities (for example, AC and DC voltage, proud or resistance). In preparation for this exercise, please familiarize yourself with the basic information about Arduino Uno development board.

Before connecting the Arduino to the power supply, always have the circuit checked by the teacher!

1) Display connection

To display the measured values, we will use an LCD, which can display a total of 16 (characters in a row) x 4 (rows). The LCD is connected to the I2C bus through which to communicate with the Arduino board. Total needed to involve four wires - see Fig. 1 and Table 1. The display shows all measured variables.

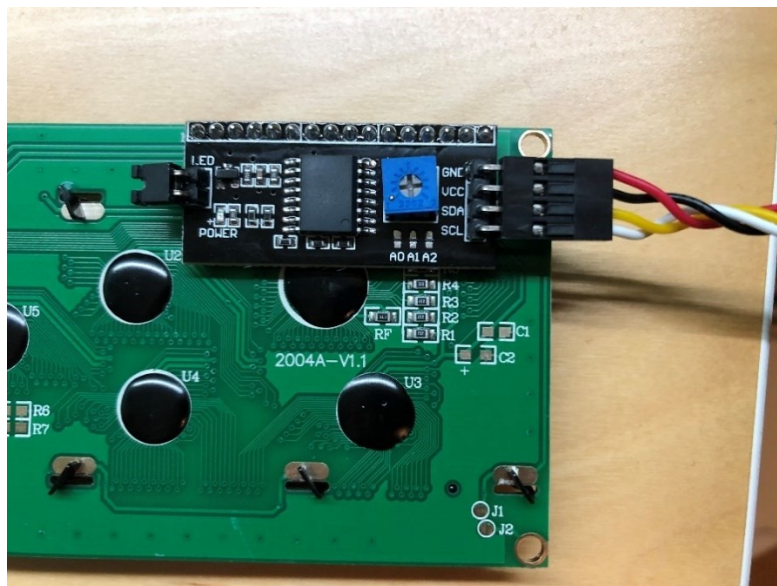


Figure 1: Rear side of the screen with I2C converter (black part).

Table 1: Connecting Arduino to display

Arduino	Display
GND	GND
5 V	VCC
A4	SDA
A5	SCL

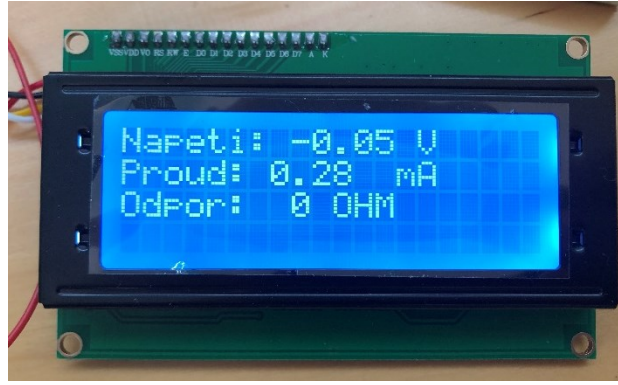


Figure 2: Properly connected display.

Furthermore, assemble individual multimeter modules

2) Voltmeter

The necessary components for implementing the voltmeter: Arduino Uno (with attached display) suitable resistors, conductors, solder field, and power adapter.

Construct a voltmeter capable of measuring values in the range 0 to 10 V.

Caution!

Arduino Uno microcontroller can measure a maximum value of 5 V! If this value is exceeded at the measuring input, the measuring jig will be destroyed.

Caution!

To change the voltage range, we use the so-called unloaded voltage divider. The voltage divider is shown in Fig. 1, where U_c is the voltage we want to measure. The voltage divider contains two or more resistors, which are connected in series to the power supply terminals (U_c).

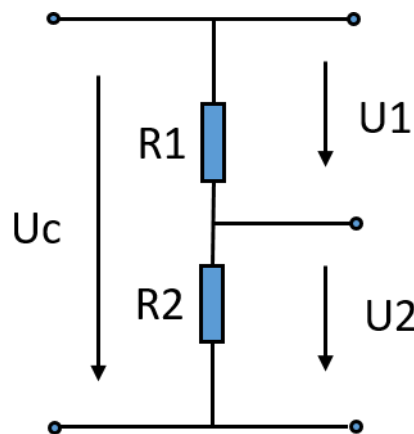


Figure 3: Resistive voltage divider.

The voltages U_1 and U_2 are then divided according to the following relation (1):

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_c \quad (1)$$

By selecting appropriate values of resistors ensure that true:

$$U_2 = \frac{U_c}{2} \quad (2)$$

Connect the calculated values of the resistors according to the following diagram:

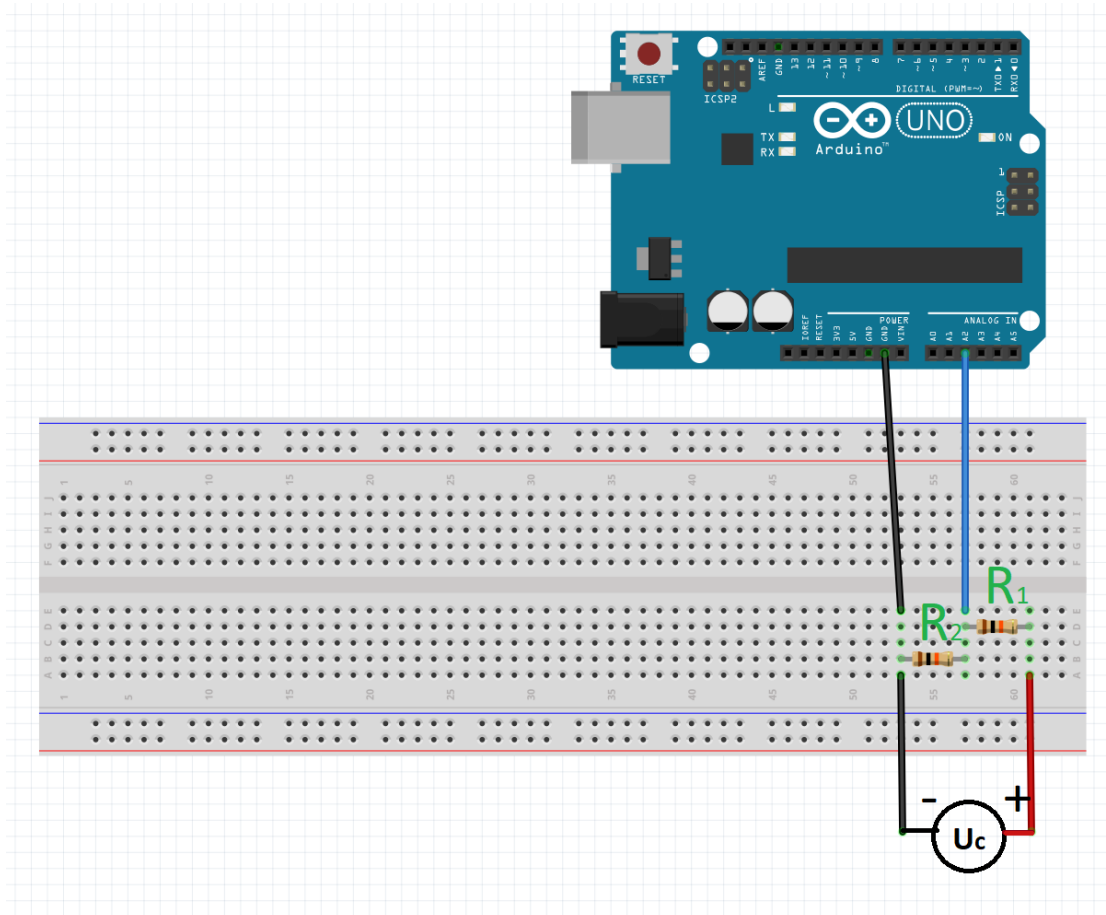


Figure 4: Arduino connection for DC voltage measurement + voltage divider.

Task (1):

- Determine the accuracy of the voltmeter. In parallel with the R_2 resistor, connect an Agilent table multimeter, which we will use as a reference.
- Test a total of five voltage values in the range 0-5 V on the U_c source.
- Evaluate the measurement accuracy.

3) Amperemeter

For the measurement of DC in the circuit, we will use the ACS712 sensor, which has sufficient sensitivity for measuring small currents. The sensor works on the principle of the Hall effect. The sensor is designed for a maximum current 20 A. Connect the sensor to the circuit according to the following table and figure.

Table 2: ACS712 current sensor connection

Arduino	ACS712
5V	VCC
A0	OUT
GND	GND

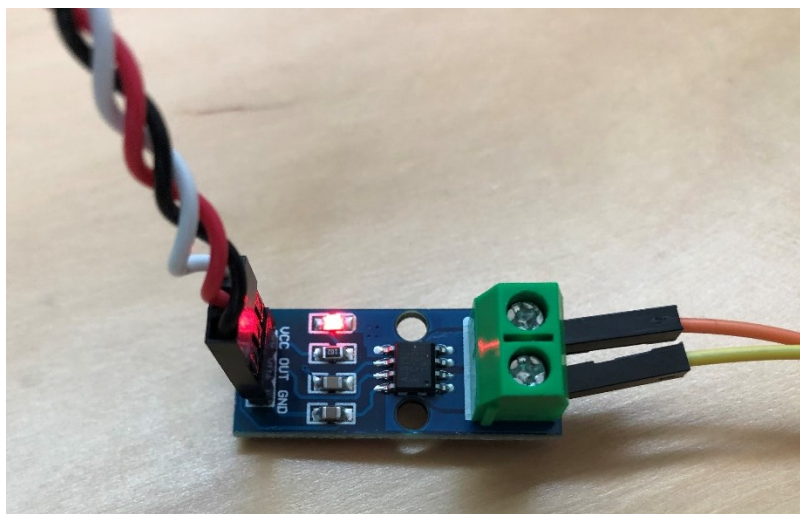


Figure 5: ACS712 current sensor.

Connect the laboratory power supply (U_c) to resistor R_3 . Select this resistor so that a maximum current of 300 mA flows through the circuit at a maximum voltage of 10 V.

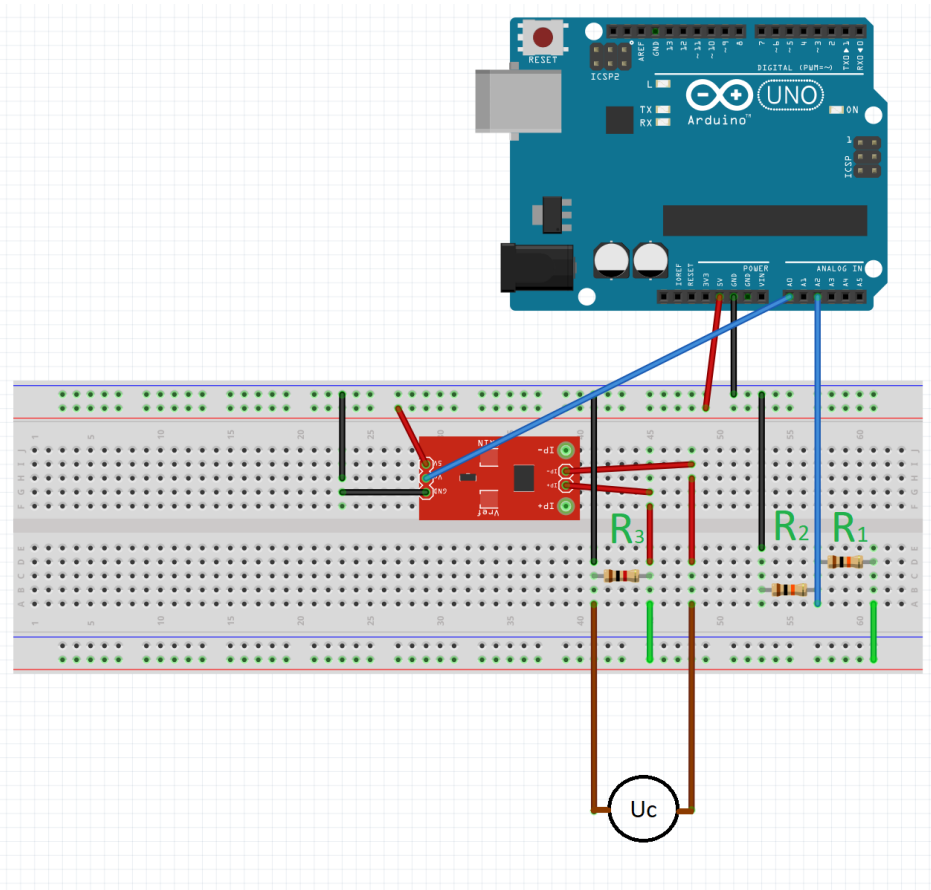


Figure 6: Ammeter and voltmeter connection

Task (2):

- Determine the accuracy of the constructed amperemeter.
- Determine the uncertainty tape A for the ammeter. Connect a desktop ammeter to the ACS712 sensor, which you consider to be a reference. Compare the values.

4) Resistance measurement

The third line on display are information about the resistance value of the resistor that is measured in this task. Resistance is calculated using Ohm's law

Task (3)

- **Change the voltage at the source in the range 0-5 V. Record the resistance value measuring the constructed ohmmeter. The resulting value is compared with the value measured with a reference meter (table multimeter).**

Ultrasonic sensor – distance measurement (Cíl 5)

Ondřej Fišer, Tomáš Pokorný

- **Introduction**

The aim of this exercise is to get acquainted with basic principles of ultrasonic (US) sensors. For demonstration purposes, the ultrasound sensor HC-SR04 operating at a frequency of 40 kHz was chosen. This sensor is connected to the Arduino Uno through a solderless field. In preparation for this exercise, please familiarize with the basic information about the Arduino Uno development board [1]. In addition to measuring basic parameters (such as the range of possible detected distances and directional characteristics of the sensor) the task also includes the calculation of the measured distance between obstacle and sensor.

!!Attention!!

Have the circuit connection checked by a teacher before connecting the circuit to the power supply.

1) Sensor connection

The first task is to properly connect the ultrasonic sensor to the Arduino Uno board. Only four wires are needed to connect the ultrasonic sensor. The HC-SR04 ultrasonic sensor is photographed in Figure 1. The sensor consists of two piezoceramic transducers: an ultrasonic transmitter (marked T) and an ultrasonic receiver (marked R). The ultrasonic sensor operates at a frequency of 40 kHz.

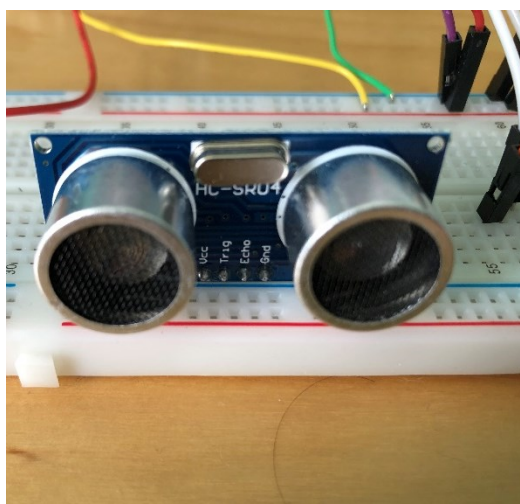


Figure 1. Ultrasonic sensor HC-SR04.

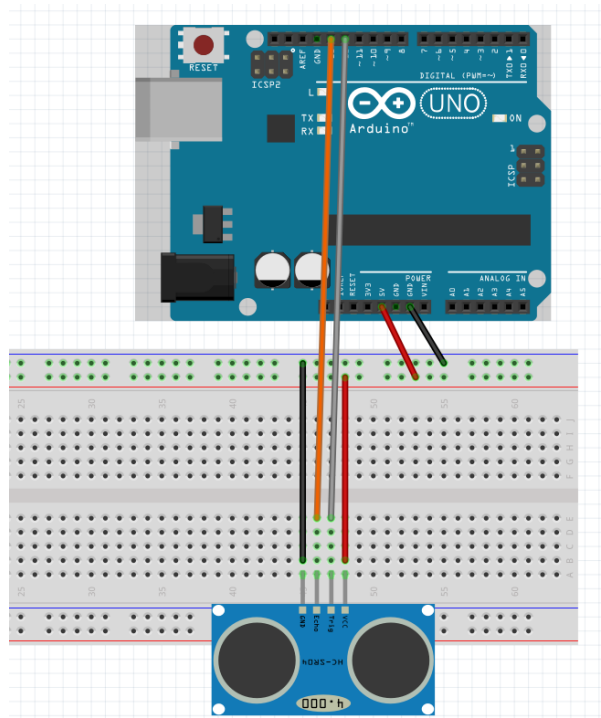


Figure 2. Connection of the US sensor to the Arduino Uno development board.

Table 1: Pin connections

Arduino	US sensor
GND (on a solderless field)	GND
5 V (on a solderless field)	VCC
Digital 13	Echo
Digital 12	Trig

2) Screen connection

To display the measured values, we use an LCD display, which is able to display a total of 30 (characters per line) x 4 (lines). The I2C bus is connected to the LCD display, through which it will communicate with the Arduino board. A total of four wires must be connected - see Figure 1. Follow the connections according to the following Table 1. All measured quantities are clearly shown on the display.

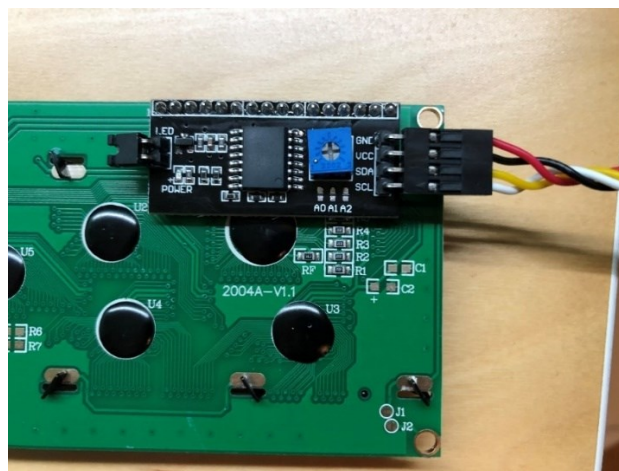


Figure 3: Back side of the screen with I2C converter (black part).

Table 2: Arduino pins connection to the screen.

Arduino	Display
GND (on a solderless field)	GND
5 V (on a solderless field)	VCC
A4	SDA
A5	SCL



Figure 4: Properly connected display after power on.

Once you have the ultrasound sensor and LED screen connected, let have the teacher check the circuit connection. Then connect the specified power adapter.

3) Distance calculation

The sensor transmits an ultrasonic wave from an ultrasonic transmitter. The ultrasonic wave propagates through the air and is reflected back when it hits an obstacle. The reflected wave is than detected by the ultrasound receiver. During the measurement itself, the screen shows the time of propagation of the ultrasonic pulse t (ms) (see figure 4). This time is calculated from the following equation:

$$t = t_r - t_0 \quad (1)$$

where t_r is time of reflection a t_0 is the time when the pulse was emitted.

The distance d of an obstacle is then simply calculated according to the following equation:

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2)$$

where d is a distance between sensor and obstacle, v US wave propagation speed (in air $v = 343$ m/s). Since the US wave is travelling towards the obstacle and backwards, it is necessary to divide the distance by two.

Task 1: Determine the width of laboratory bench. Calculate the combined uncertainty U_c .

Perform a total of 10 measurements for three types of obstacles.

..... []

The speed of US wave depends on elasticity K and density ρ of the propagation media and can be calculated according the equation:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (3)$$

Although a higher density reduces the speed of sound propagation, higher density fabrics usually also have greater flexibility. Therefore, ultrasound propagates the fastest in solids (eg. bones) and the slowest in gases (air). Determine the average speed of propagation of ultrasonic waves in tissues with a high water content.

Task 2: Calculate the distance that would correspond to the propagation of an ultrasonic wave in soft tissues.

..... []

4) Directional sensor characteristics

The HC-SR04 ultrasonic sensor has a receiver and a transmitter 3 cm apart. It is possible to determine the receiver and transmitter from the nonlinearity of the directional characteristic. Place an obstacle 1 m from the ultrasonic sensor and gradually move the obstacle in a circle to the marked angles and try to find the limit of the detected distance. The obstacle must point perpendicular to the center of the device, see Figure 5.

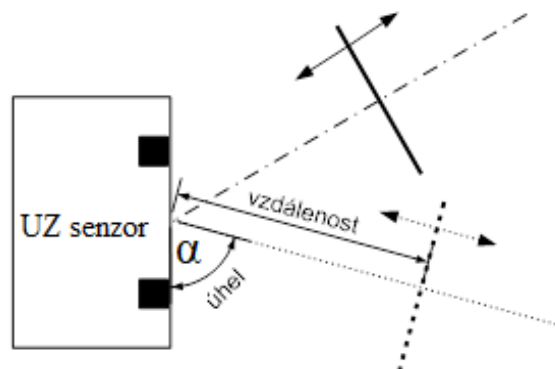


Figure 5: Movement of an obstacle in the plane of the table at different angles.

Task 3: Determine the maximum detectable angle for right and left side. Determine the transmitter and receiver positions

$\alpha_L =$ [] $\alpha_P =$ []

5) Sensor linearity and maximum detectable distance

By moving a solid obstacle with a length of approximately the size of A5 (portrait) you can determine the minimum and maximum distance which can be detected by the sensor. Move the obstacle in the direction to the sensor (according to the figure 5). If it is necessary, use the entire length of the classroom. For all measurements, make sure that the obstacle is always perpendicular to the plane of the sensor and that no other object is closer than the obstacle! Observe and put the changes in time of the reflection in the graph. Plot the dependence of the actual distance of the obstacle on the calculated distance of the obstacle from the time of reflection.

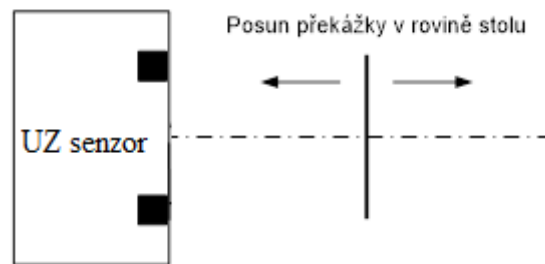


Figure 6: Movement of an obstacle in the sensor main axis.

Task 4: Determine the range of linearity of the sensor. Discuss the minimum and maximum detectable distances.

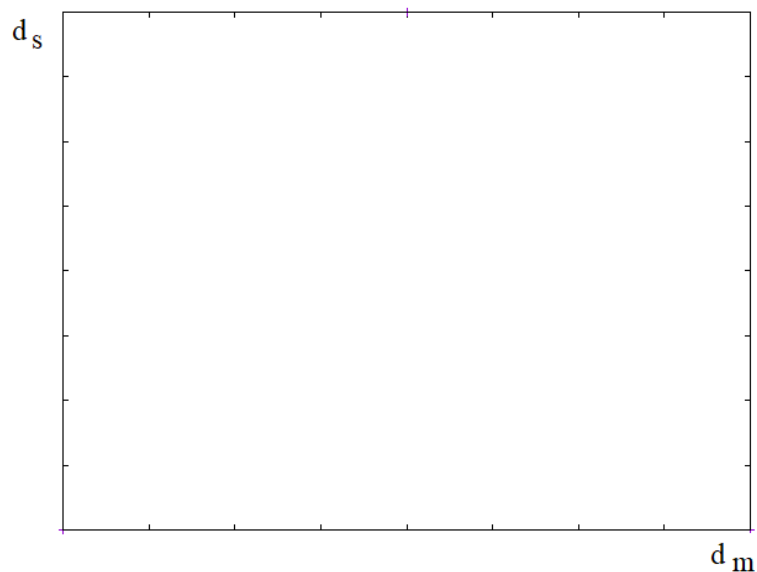


Figure 7: Graph of the sensor linearity.

References

- [1] Z. Voda, "Programujeme Arduino, díl 2," 2014, <https://bastlirna.hwkitchen.cz/programujeme-arduino/> (accessed March 06, 2021).

Alcohol Concentration Sensor (Cíl 6)

Ondrej Fiser, Tomas Pokorny

- **Task**

The aim of this task is to get acquainted with the principle of gas and chemical vapor detection using inexpensive sensors and Arduino Mega. Both sensors have a thin layer of tin dioxide (SnO_2) as an active element, but they differ in sensing resistance, so they react differently to alcohol and in terms of their principle, it is not possible to ensure that they do not react to other substances. In addition, their reaction is affected by the concentration of the substance, which cannot be precisely created under our conditions. Therefore, we will only be interested in the relative reactions of each sensor to the others when measuring. We will compare different substances.

Before connecting the Arduino to the power supply, always have the circuit checked by the teacher!

- **Principle of the sensors MQ-135 and MQ-3**

The MQ-3 and MQ-135 gas sensors are input modules for the Arduino.

The MQ-3 sensor module can detect alcohol (ethanol) with high sensitivity and gasoline with lower sensitivity. The sensor is most often used as an alcohol tester. The active element of this sensor is a thin layer of tin dioxide (SnO_2), which changes resistance with the concentration of alcohols. [1]

The MQ-135 sensor module [2] can detect a larger group of gases that affect air quality. The sensor reacts most to ammonia (NH_3), nitrogen oxides (NO_x), benzene, smoke, carbon dioxide (CO_2), but also alcohol. The active element of this sensor is a thin layer of tin dioxide (SnO_2), which changes resistance with the concentration of gases. The sensor is most often used to measure air quality, which is expressed in ppm (parts per million).

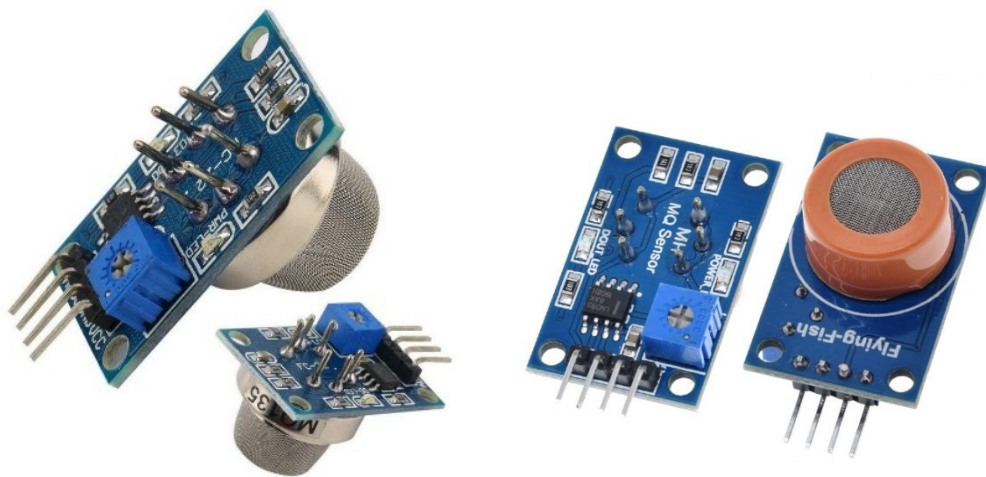


Figure 1: MQ-125 (left) and MQ-3 (right) sensor modules

1) Sensor connection

a) Arduino MEGA connection:

Compared to the Arduino UNO, the Arduino MEGA has a larger memory size and a larger number of pins. Due to the connection of the graphic display to the RX and TX pins for serial communication, the Arduino MEGA is used in this exercise. We will supply the Arduino MEGA from an external 5V / 1A source using the Vin pin.

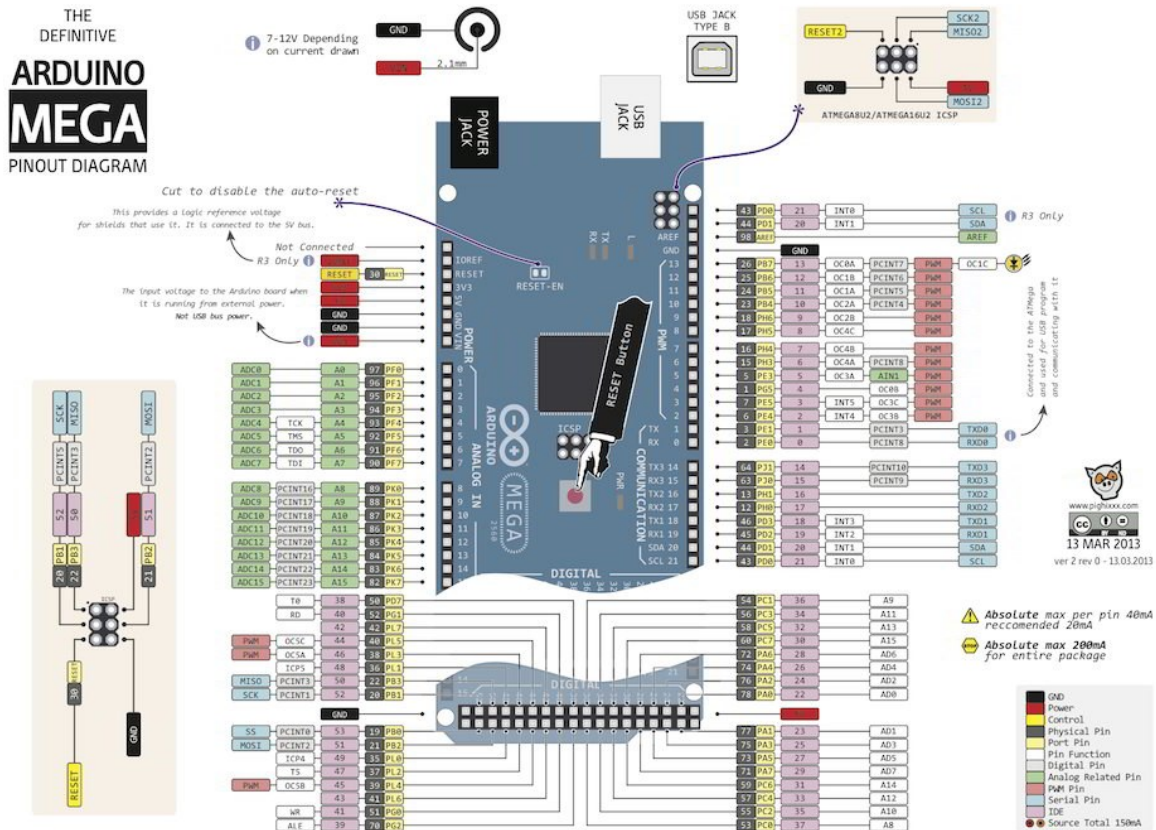


Figure 3: Arduino MEGA pinout diagram [3]

b) Display connection:

To display the measured values, we will use an LCD display, which is able to display a total of 16 (characters per line) x 4 (lines). An I2C bus is connected to the LCD display, through which it will communicate with the Arduino board. A total of four wires must be connected according to Table 1.

Table 1: Connecting the Arduino to display

Arduino	Display
GND	GND
5 V	VCC
SDA (20)	SDA
SCL (21)	SCL

The real-time display shows the voltage values on the sensors and their maximum value; see Figure 4. If necessary, to reset the minimum and maximum values, press the Arduino reset button.

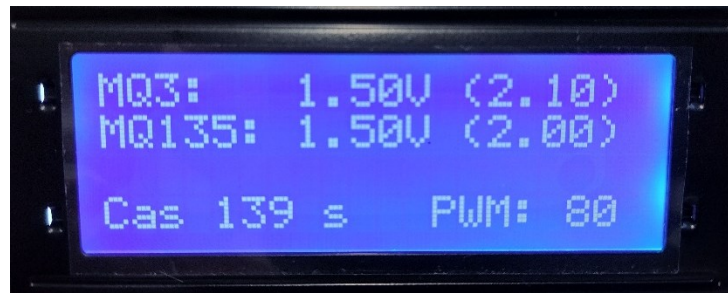


Figure 4: Properly connected display.

c) Graphic display connection:

To display the graphs, we will connect the graphic TFT display NEXTION. The graphic display uses the Rx and Tx serial interfaces. Use an external 5V / 1A power supply for power. Don't forget to connect the ground of the external source and ground of the Arduino.

Table 2: Connecting the Arduino to the graphic display

Arduino	Display
TX2	RX
RX2	TX
GND	GND
VCC	5V

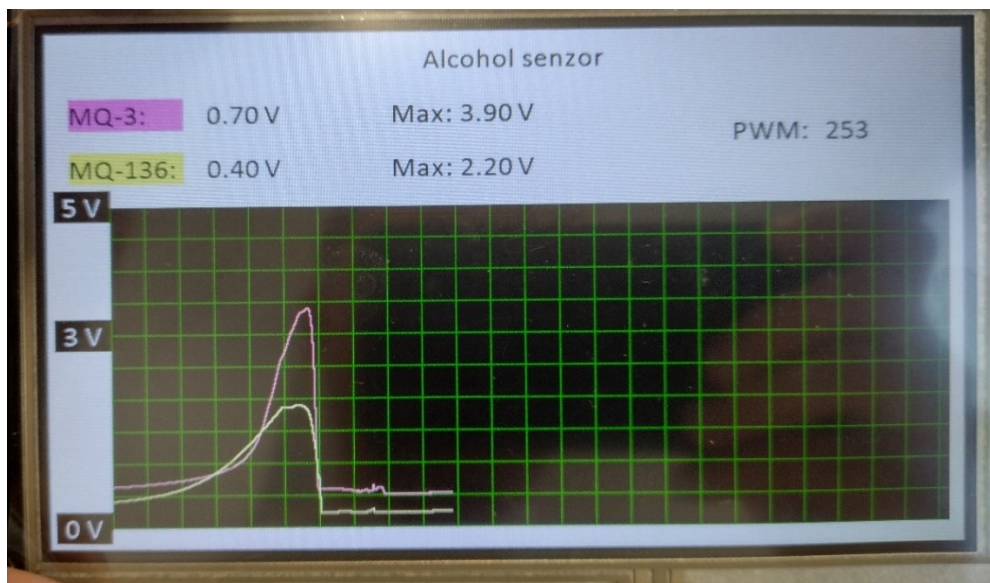


Figure 5: Properly connected graphic display after connecting power from an external source.

d) PWM-controlled fan connection

We will control the fan speed using pulse width modulation (PWM) directly from Arduino. Arduino MEGA enables PWM on pins 3, 5, 6, 9, 10, 11 - note the wavy markings on the pins. For our purposes, we will use pin number 10, where we connect the fan power supply. We will change the PWM value with a potentiometer. Connect the potentiometer according to Figure 6. The outer pins of the potentiometer connect to GND and then connect the other end pin to + 5V. Finally, we will connect the middle pin of the potentiometer to the analog input A0, which will read the voltage on the potentiometer. The Arduino contains a ten-bit AD converter that reads this changing voltage and converts it to numbers

between 0 and 1023. The `analogRead()` function returns a number between 0 and 1023, which corresponds to the relative value of the pin voltage from 0 to + 5V. The duty cycle value for the PWM Arduino is set between 0 and 255, which is a quarter of the AD converter value. The PWM control of the fan is set to `analogWrite(Potentiometer value / 4)`. The currently set value for PWM fan control is shown on the Arduino display.

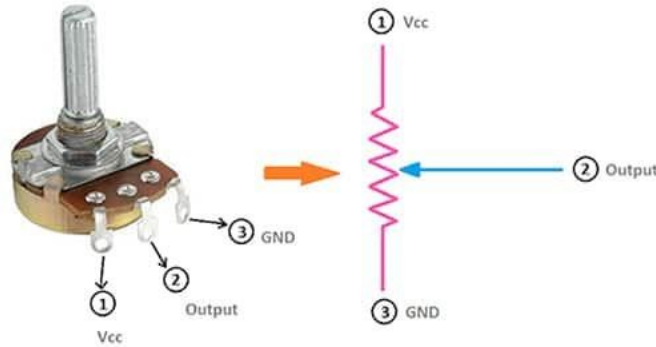


Figure 6: Potentiometer and wiring diagram [4].

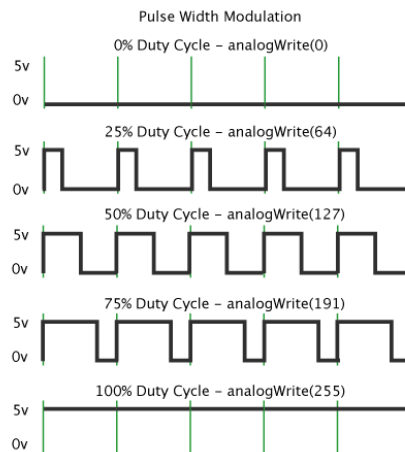


Figure 7: PWM control using Arduino pin [4].

Task (1):

- **Connect the PWM fan speed control using the Arduino MEGA and potentiometer.**
- **Determine the minimum duty cycle with which the fan rotates spontaneously and measure the voltage on the potentiometer.**
- **Is it possible to control the fan speed directly with a potentiometer?**
- **(Bonus) Display the PWM signal on the oscilloscope.**

c) Alcohol sensors connection

Connecting the MQ-135 and MQ-3 sensor modules to the Arduino is very simple, but due to the current consumption of the sensors around 120 mA, we will connect the sensors and the Arduino to an external 5V power supply connected to the non-soldering field. From the non-soldering field, we will supply both the Arduino using the Vin pin and the sensors using the VCC pins. Do not forget to connect the ground (GND pin) of both sensors and Arduino! The sensor modules contain an analog pin (labeled A0) and a digital pin (D0). The digital pin only changes the logic value from 0 to 1 according to the set detection threshold. The detection threshold can be set by the trimmer directly on the module. We will use an analog pin, when the value varies depending on the amount of alcohol detected. So, we connect

pin A0 of the MQ-3 sensor to the analog pin A1 of the Arduino and pin A0 of the MQ-135 sensor to the analog pin A2 of the Arduino. This will make it possible to read the sensor value on pins A1 and A2.

2) Measurement

Insert the sensors into the 3D printed detection tunnel, where the air flow through the fan is ensured. Set a low fan speed (PWM <200). Start the Arduino with sensors. The measured values start to decrease due to heating, so wait for them to stabilize. Attention! The sensor surface temperature is around 40 °C.

Apply the substance by placing the container cap of the substance on the upper hole of the detection tunnel, as shown in Figure 8. You can shake the substance in the container to release more vapor into the container cap. To verify the sensitivity to changes in humidity, place a tissue soaked in hot water on the hole or use your own breath. The change in voltage on the sensors, of course, depends on the concentration of the substance, so the values is not constant and decreases over time since application. Always try to record voltage values at the same time interval from the application of the substance. To reset the maximum voltage values on the sensor, press the Arduino reset button. Before measuring another substance, always wait until the voltage on the sensors returns to the original value after the sensor has warmed up.



Figure 8: Method of application of the test substance by container cap.

Task (2):

- **Connect the alcohol sensors to the Arduino analog pins. Insert the sensors in a detection tunnel with a fan.**
- **Using Arduino and alcohol sensors, measure the sensitivity of the MQ-3 and MQ-135 sensors to various substances (isopropyl alcohol, benzene, hand disinfectant, and vinegar. Always record the highest change in sensor voltage.**
- **Check the sensitivity of the sensors to changes in humidity.**
- **Discuss the limits and uses of the MQ-3 and MQ-135 sensors in practice.**

Reference

- [1] HANWEI ELETRONICS CO.,LTD. *Technical data MQ-135 gas sensor*. Available from: https://www.laskarduino.cz/user/related_files/mq135.pdf
- [2] HANWEI ELETRONICS CO.,LTD. *Technical data MQ-3 gas sensor*. Available from: https://www.laskarduino.cz/user/related_files/mq-3_datasheet.pdf
- [3] LOU, Xiaokang, et al. Design of Intelligent Farmland Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2020. p. 012031.
- [4] Timothy Hirzel. *PWM* [online]. 2018. Available from: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/PWM>

Accelerometers (Cíl 7)

Ondrej Fiser, Tomas Pokorny

- **Task**

The aim of this task is to understand with the principle of operation of the accelerometer. The task will be to connect the ADXL 335 triaxial accelerometer module with analog outputs (model GY-61) to the Arduino UNO to list the values provided by the module. Furthermore, the task will be to understand the output values and convert them to known quantities (acceleration, angle). An integral part of the task will be to understand the difference between the accelerometer sensor and the gyroscope sensor, including the difference in its application. In preparation for this exercise, please familiarize yourself with the basic information regarding Arduino UNO development boards [1] with a focus on the use of analog inputs.

Before connecting the Arduino to the power supply, always have the circuit checked by the teacher!

- **Principle of accelerometer ADXL335**

The GY-61 module contains a voltage regulator and a small three-axis accelerometer with low noise - ADXL335. It is a capacitive accelerometer using MEMS technology. The principle of the function is the placement of the weights on the springs. One end of the springs is attached to the plates of the comb capacitor, and the other end to the weight; see Figure 1. Under the force acting on the sensor, the weight moves on the springs, causing a change in distance between the capacitor and the mass and thus a change in capacitance.

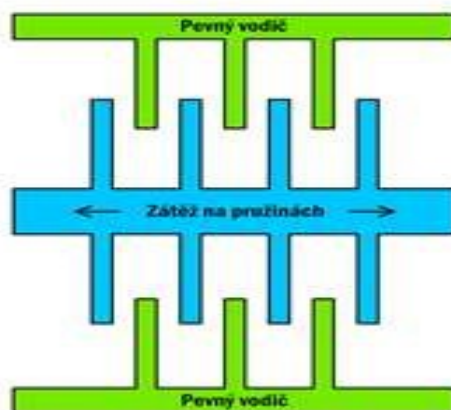


Figure 1: Principle of operation of the MEMS capacitive accelerometer [2].

One of the biggest advantages of MEMS accelerometers is the possibility of their implementation directly on the printed circuit board, therefore these capacitors are used mainly in consumer electrical engineering (mobile devices, wearable electrical engineering...). Due to their low accuracy, especially in the case of higher amplitudes, such accelerometers are not suitable for specialized industrial applications.

The ADXL335 sensor has a sensing range of ± 3 g. The sensor can measure static accelerations caused by gravity (tilt) as well as dynamic accelerations (motion, shock, or vibration). Analog outputs are proportional, which means that the measurement output of 0 g is equal to half the reference voltage.

1) Connection

a) Accelerometer connection

Connecting an accelerometer is easy. Connect the Arduino ground pins, 5 V supply voltage and analog inputs A0, A1 and A2 to the appropriate sensor pins according to Figure 1. For accurate results, we define a known analog reference voltage (AREF). This can be done by connecting a 3.3 V pin on the Arduino to the AREF pin.

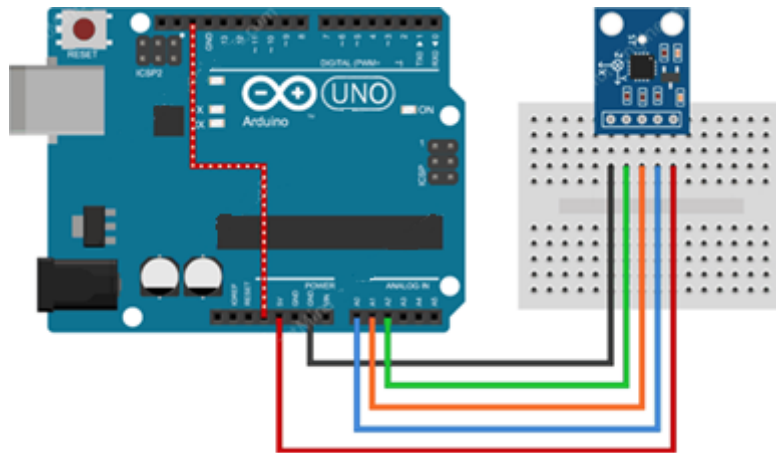


Figure 1: Accelerometer connection diagram [3].

b) Display connection:

To display the measured values, we will use an LCD display, which is able to display a total of 16 (characters per line) x 4 (lines). An I2C bus is connected to the LCD display, through which it will communicate with the Arduino board. A total of four wires must be connected; see Figure 2 according to Table 1.

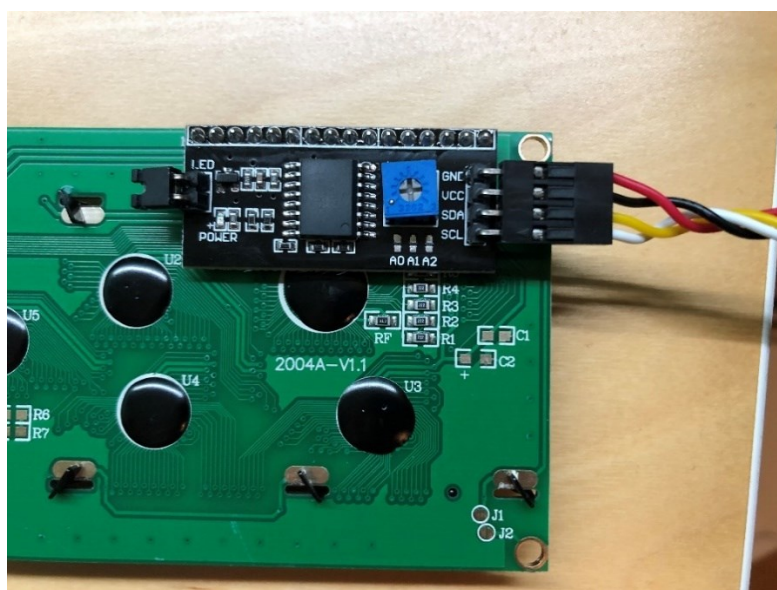


Figure 2: Rear side of the screen with the I2C converter (black part).

Table 1: Connecting the Arduino to display

Arduino	Display
GND	GND
5 V	VCC
A4	SDA
A5	SCL

The real-time display shows the values processed by the AD converter from the accelerometer for the X, Y and Z axes and their maximums and minimums, see Figure 3. If necessary, to reset the minimum and maximum values, press the Arduino reset button.

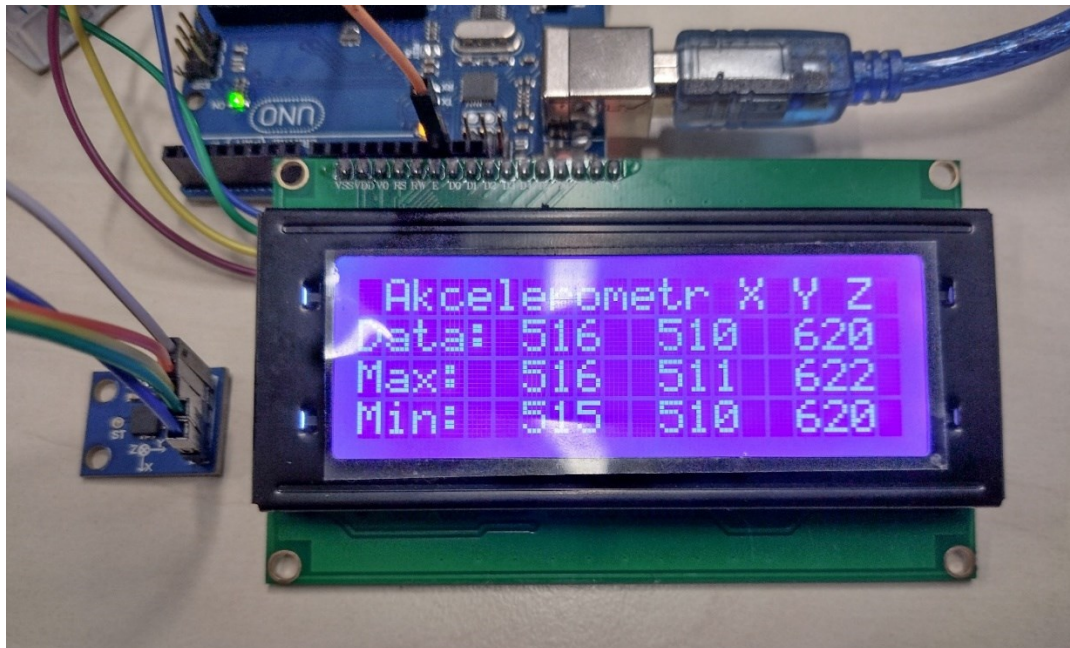


Figure 3: Properly connected display.

Task (1):

- Move the accelerometer to identify the order in which the axes appear on the display.
- Determine the gravitational acceleration on the Z axis if the sensor lies flat on the substrate.

2) Writing detection with accelerometer

Use the adapter to connect the accelerometer module to the pen; see Figure 4. Evaluate the acceleration of the pencil when writing, e.g., your signature.

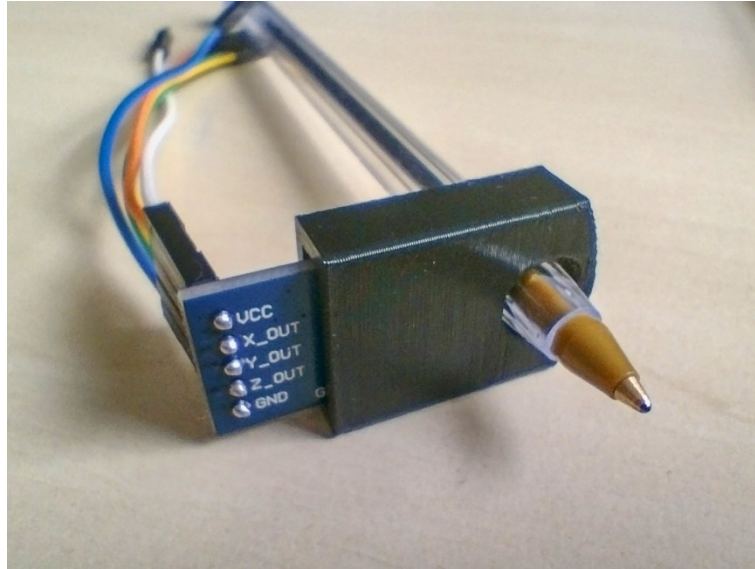


Figure 4: Adapter to connect the accelerometer module to the pencil.

Task (2):

- Specify the maximum and minimum acceleration values on the X, Y, and Z axes as you type.

3) Using an accelerometer to determine the tilt angle

The accelerometer can also measure the angle of inclination, so we sometimes confuse accelerometers with a gyroscope. The angle can be measured with the accelerometer thanks to the gravitational deflection of the axis based on the known maximum and minimum deflection converted to an angle of -90 to 90.

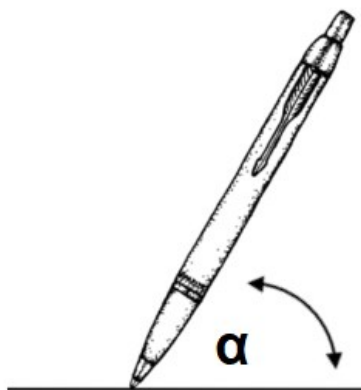


Figure 5: The angle of the pen to the paper.

Task (3):

- Determine the angle (α) of the pen to the paper according to 4. Try to determine the angle of the pen at rest before and during writing.
- Discuss the limits of accelerometer usage to determine the angles of inclination.

References

- [1] Zbyšek V. *Programujeme Arduino* [Online]. 2014. Available from: <https://bastlirna.hwkitchen.cz/programujeme-arduino/>
- [2] Čížek. J. *Pojďme programovat elektroniku: Jak vlastně funguje akcelerometr a gyroskop nejen ve vašem telefonu* [Online]. 2018. Available from: <https://www.zive.cz/clanky/pojdme-programovat-elektroniku-jak-vlastne-funguje-akcelerometr-a-gyroskop-nejen-ve-vasem-telefonu/sc-3-a-194858/default.aspx>
- [3] Last Minute ENGINEERS. *How Accelerometer works? Interface ADXL335 with Arduino* [Online]. 2020. Available from: <https://lastminuteengineers.com/adxl335-accelerometer-arduino-tutorial/>

Controlling electromotors (Cíl 8)

Matouš Brunát, Ondřej Fišer

- **Introduction**

Electromotors (EMs) are machines changing electric power to mechanical power. Any division of EMs is heavily dependent on industry. In heavy industry, EMs will almost exclusively be AC motors with types according to the Figure 1. More or less every AC motor is controlled by heightening voltage or frequency which will result in faster rounds per minute or stronger force. We will not concern ourselves with AC motors in this laboratory work.

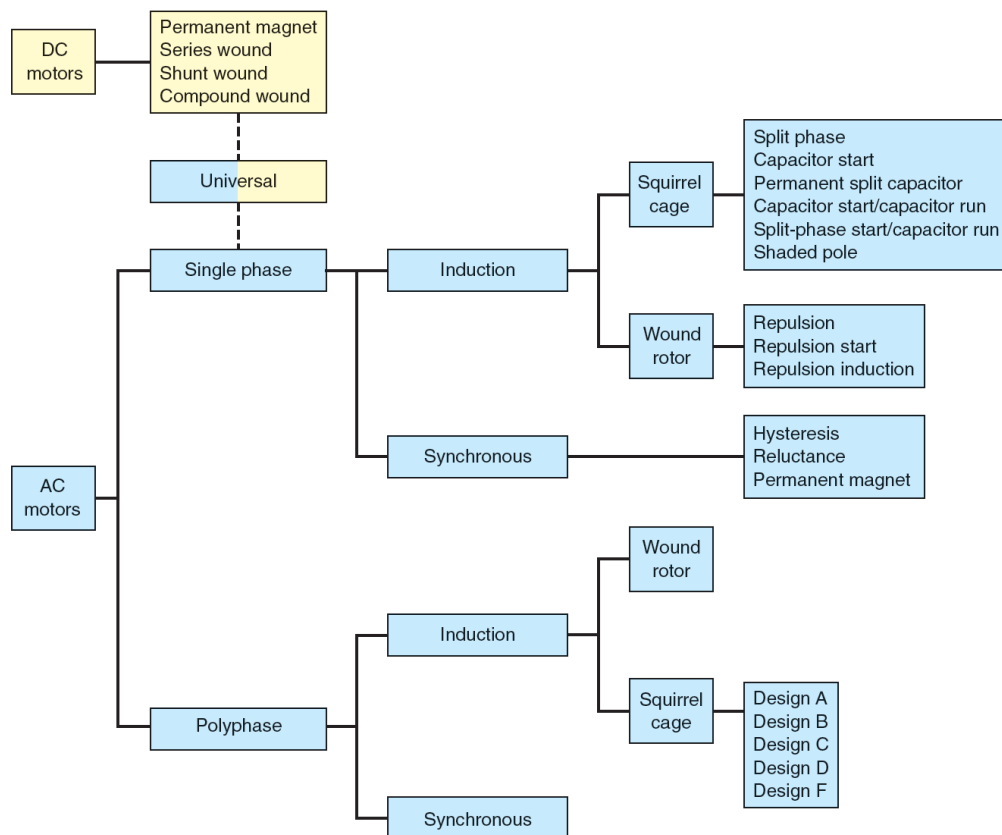


Figure 1: EMs types according to [1]. This division is focused on rotors.

In figure 1, DC motors are summed up in just one small rectangle, however in robotics, medicine and automatization, DC motors are the more important type, and so we will be focused on them. We have three levels on controlling a DC motor. On the very basic level it is just On/Off switch. Then we can modulate voltage and current that is supplied to the motor, and finally we can add gear box on an output of the motor. Outside of this division there are servo-motors, which consist of stepper motor and a control unit. The control unit provides an easy way to interact with the motor and even reads the position of the motor establishing feedback loop. Such feedback loop is useful where precision important or where the position of a rotor is important (such as automatic lock positions).

This exercise uses three DC motors.



Figure 2: GA12-N20 6V motor with gearbox.

This is a DC motor which we will control using pulse width modulation (PWM). PWM is a method of reducing the average power delivered by an electrical signal, by effectively chopping it up into discrete parts. The average value of voltage (and current) fed to the load is controlled by turning the switch between supply and load on and off at a fast rate. The longer the switch is on compared to the off periods, the higher the total power supplied to the load.



Figure 3: Stepper motor with four coils.

A rotor inside a stepper motor is permanent magnet with according number of poles, which is turned by activating different coils at different times. This movement, when different set of coils is activated, is called step. When coils are activated in the right sequence, the motor performs very precise movement. Stepper motors have different amount of coils and can make one turn in almost any number of steps. Usually hundreds of thousands.

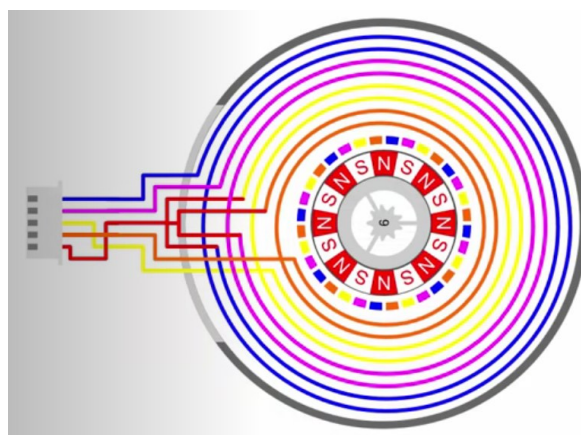


Figure 4: Scheme of a stepper motor with four coils.

Since performing this sequence would be manually nearly impossible, stepper motors usually need some outside circuit which can power up right coils at right times. In our case, there is circuit with chip ULN2003, which we will communicate with using Arduino UNO.



Figure 5: Example of controller circuit for stepper motors. (ULN2003)

The last motor in this exercise is servo-motor SG90.



Figure 6: Servo-motor SG90.

Our servo is again controlled with Arduino uno, however servos have inside circuitry which can do all the work for us. This means that there is only one control/data cable coming from Arduino. Servos are almost exclusively used for linear movement, heavily limited movements or in mechanical parts moving some tool to the right position.

- **Necessary equipment:**

Oscilloscope, DC motor with gearbox, stepper motor which controlling circuit, servo motor SG90, Arduino UNO, PWM modulator

- **Methods and tasks:**

1. Connect the PWM modulator to a laboratory source of 6-12V. This means to connect “power +” on a modulator to “+” in a source and “power –” to “-“. Then take the signal from the modulator “motor+” and “motor-“ to single channel in oscilloscope. Click auto-scale. Observe the behaviour of the PWM when turning the nob on PWM modulator. Where is maximum and minimum? Find on what positions is duty cycle 50%.

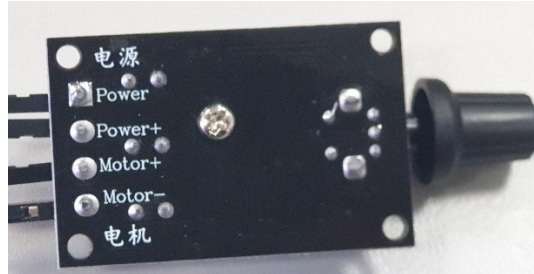


Figure 7: Lower side of PWM modulator.

2. Connect the DC motor to the PWM modulator. Observe and record the following: How does the PWM affect the rotation speed of the motor (rounds per minute “RPM”)? How many RPM does the motor have at lowest moving duty cycle, 50% duty cycle and 100% and at what voltage? How does the voltage influence RPM (stay between 6-12 volts)? How does load affect the current? If you put the motor under any load, what affect does that have on the motor? Try gently holding the rotor.
3. How does the gearbox influence RPMs? If you know the gear ratio to be 1:10, how fast does the rotor spin underneath the gearbox? What influence does that have on torque?
4. For this task you will need control unit with chip ULN2003APG, Arduino with 4 buttons and a stepper motor 28BYJ-48. Connect the the pins of the control unit to Arduino like so: IN1 to pin 9, IN2 to pin 10, IN3 to pin 11 and IN4 to pin 12. Power up the unit from Arduino by connecting + to 5V pin and – to gnd pin. Now plug the motor into the control unit and power up the Arduino from source. Your task is to find out, how many steps does it take to make a full rotation given: Button 1 = 4 steps, 2 = 40 steps, 3 = 400 steps, 4 = 1000 steps.
5. Connect servo SG90 to Arduino. Brown one is ground (GND), red one is power (5V) and yellow one is the controlling one, which needs to be connected to pin number 8 on Arduino. Find out, what do the buttons 1, 2 and 3 do. Now disconnect the motor and connect pin 8 and GND to the oscilloscope exactly as is step 1. Observe what does the Arduino send to the motor. What is it? How do the 3 positions differ?
6. Explain the difference between PWM in step 1 and in step 5.

- Clues:

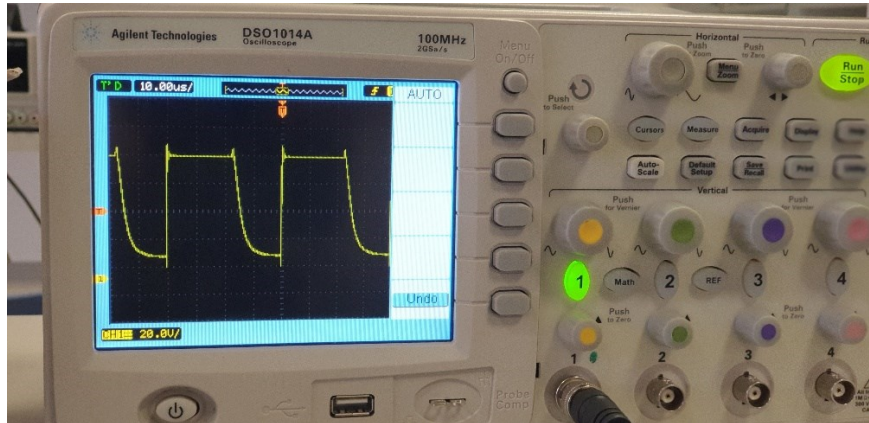


Figure 8: PWM modulation as seen on oscilloscope.

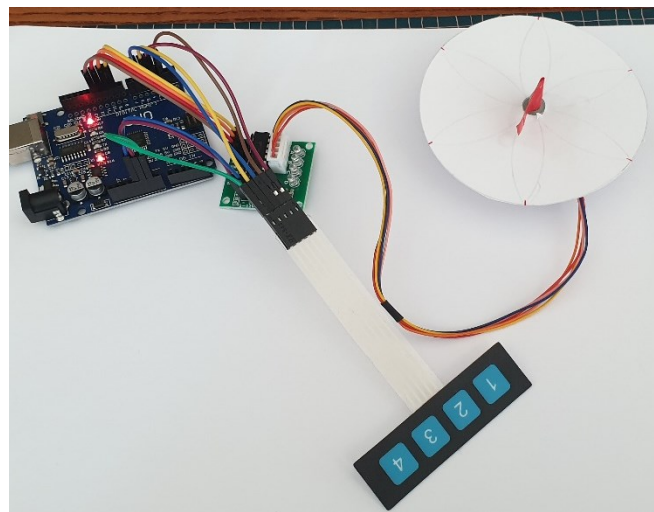


Figure 9: Connection of the stepper motor.

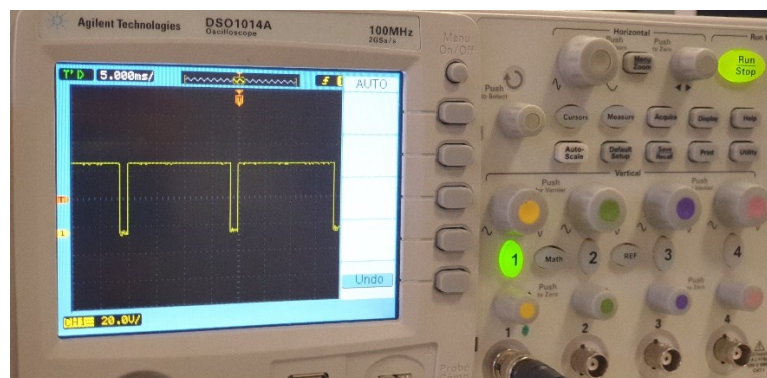


Figure 10: Signal from Arduino to servo motor.

References

- [1] PETRUZELLA, Frank D. *Electric motors and control systems*. Second edition. New York: McGraw Hill education, c[2016]. ISBN 9780073521824.