

LABORATORNÍ PRÁCE K UČEBNICI

ELEKTŘINA A MAGNETISMUS

MĚŘENÉ SOUPRAVOU ISES



RNDr. Vladimír Vícha
Gymnázium Dašická 1083, Pardubice

Recenzoval: RNDr. František Lustig, CSc., MFF-UK Praha
Vydal: Učební pomůcky PC-IN/OUT, U Druhé Baterie 29, 162 00 Praha 6

Duben 2001

Obsah

Název:	Strana:
Úvod: Koncepce laboratorních prací a pracovní fyziky	5
1. Řazení kondenzátorů	7
2. Odpor kovového vodiče	15
3. Řazení rezistorů	25
4. Elektrický zdroj napětí	37
5. Fotorezistor	49
6. Termistor	59
7. Polovodičová dioda	69
8. Elektrolytický vodič	81
9. R,C v obvodu střídavého proudu	89
10. Rezonance v obvodu RLC	99
11. Polovodičový usměrňovač	109
12. Vybíjecí křivka kondenzátoru	117
13. Elektromagnetický oscilátor	125
Přílohy: A. Tvorba pomůcek	133
B. Popis systému ISES	137

Úvod

Koncepce počítačem podporovaných laboratorních prací

Laboratorní práce k učebnici „Elektřina a magnetismus“ byly ověřeny ve dvouhodinovém cvičení ve fyzice 3. ročníku gymnázia Dašická v Pardubicích. Závěrečné úlohy již poněkud přesahují rámec běžného učiva a byly proto měřeny ve fyzikálním semináři. V pracovní fyzice měří vždy polovina třídy v pěti až osmi skupinách, dle uvážení vyučujícího. Tato koncepce laboratorních prací byla zahájena ve školním roce 1999/2000 v šesti paralelních třídách (12 skupin), v roce 2000/2001 probíhá druhý rok měření.

Úlohám měřeným na počítačích předchází laboratorní práce (především v nižších ročnících víceletého gymnázia), ve kterých se měří pomocí běžných voltmetrů, ampérmetrů, ohmmetrů.

V nově vybavené pracovní fyzice je jedenáct studentských pracovišť a jedno pracoviště učitele. Počítače jsou vybaveny procesorem CELERON 360 MHz, 16 MB RAM, síťovou kartou a vzájemným síťovým propojením. Napájení počítačů a síťových zásuvek na každém stole ovládá učitel z rozvaděče za katedrou. Ochrana proti „nežádoucím“ zásahům studentů do software počítačů je uskutečněna systémem SODAT. Disketové mechaniky jsou např. aktivní pouze při odblokování heslem, které zadá učitel. Počítače jsou vybaveny měřicími systémy ISES (ISES základní souprava). Měřicím programem je ISES-WIN. Pro měření uvedených laboratorních prací je třeba pracoviště vybavit moduly voltmetr, ampérmetr, ohmmetr, capacity-meter a teploměr.

Každé laboratorní práci je vyhrazena samostatná část v prosklené uzamykatelné skříni. Pro každou pracovní skupinu jsou zde pomůcky a písemný návod odpovídající této příručce. Studenti pochopitelně nemají k dispozici výsledky úloh. Vypracovaný protokol (ručně nebo počítačově zpracovaný) odevzdává každý student do týdne od data měření úlohy. V učebně je k dispozici i tiskárna a na počítačích je nainstalován Word a Excel. V samotném dvouhodinovém cvičení však nezbyvá čas na úplné zpracování protokolu a jeho vytisknutí.

Měření laboratorních prací pomocí počítačem podporovaných prostředků jako jsou měřicí systémy, vyhodnocovací programy, ale i standardní „office“ programy přináší do laboratorních úloh efektivitu, objektivitu, přesnost, pečlivost aj. Student na počítači nejenom měří a zpracovává experiment, ale často i vypracovává protokol.

Systém ISES studenti před započítím laboratorních prací znají pouze částečně z některých demonstračních pokusů prováděných učitelem nebo jej sami ovládají při jednoduchých frontálních úlohách. V počátečních úlohách je proto využíváno jen málo možností ISESu, postupně jsou však úlohy náročnější. V závěrečných úlohách se využívá i nástrojů integrál, aproximace exponenciální funkcí, rozmítač, zobrazení veličiny vypočtené přímo při měření z aktuální hodnoty jiné veličiny. Praxe ověřila, že při tomto přístupu zvládnou úlohy všichni studenti.

Ve dvou úlohách (Řazení kondenzátorů, Řazení rezistorů) si každá skupina nastavuje konfiguraci měření. Ve zbývajících úlohách se využívá spojení počítačů do sítě. Na učitelském počítači je vytvořen adresář G:\\katedra\\software\\ises, ve kterém jsou uloženy konfigurační soubory s příponou **.imc**. Tento adresář je díky nastavení ochranného systému SODAT studentům přístupný a mohou z něho patřičný soubor načíst z okna „Parametry experimentu“. Tím se jim automaticky nastaví takové parametry experimentu jako doba měření, vzorkovací frekvence, typ startu, okna pro zobrazení, rozsahy os apod. Tento přístup poněkud snižuje studentovo porozumění měřicímu systému ISES, zato umožňuje více se soustředit na fyziku a stihnout více obměn experimentu. Použité konfigurační soubory a ukázky naměřených experimentů jsou na disketě přiložené k této příručce, případně je lze stáhnout z internetu (<http://www.LabStudio.cz>).

Při dodržení předepsaného postupu naměří libovolná skupina s náhodně vybranými pomůckami na libovolném počítači výsledky, které se velmi blíží těm, které má uvedeny učitel. Studenti navíc postupují samostatně podle návodů a učitel je jen koordinátorem.

Řazení kondenzátorů

Pomůcky:

Systém ISES, modul: capacity – meter, sada kondenzátorů, spojovací vodiče.

Úkoly:

- 1) Změřit kapacitu čtyř kondenzátorů označených 1 nF, 2 nF, 2 nF, 5 nF.
- 2) Zapojit různé kombinace kondenzátorů a změřit výslednou kapacitu. Pro každé zapojení výslednou kapacitu vypočítat (z dílčích naměřených kapacit) a tu porovnat s výslednou kapacitou naměřenou.
- 3) Určit, o kolik procent se liší hodnota vypočtená a hodnota změřená.

Teorie:

Pro výslednou kapacitu paralelního zapojení n kondenzátorů platí: $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$.

Pro výslednou kapacitu sériového zapojení n kondenzátorů platí: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$.

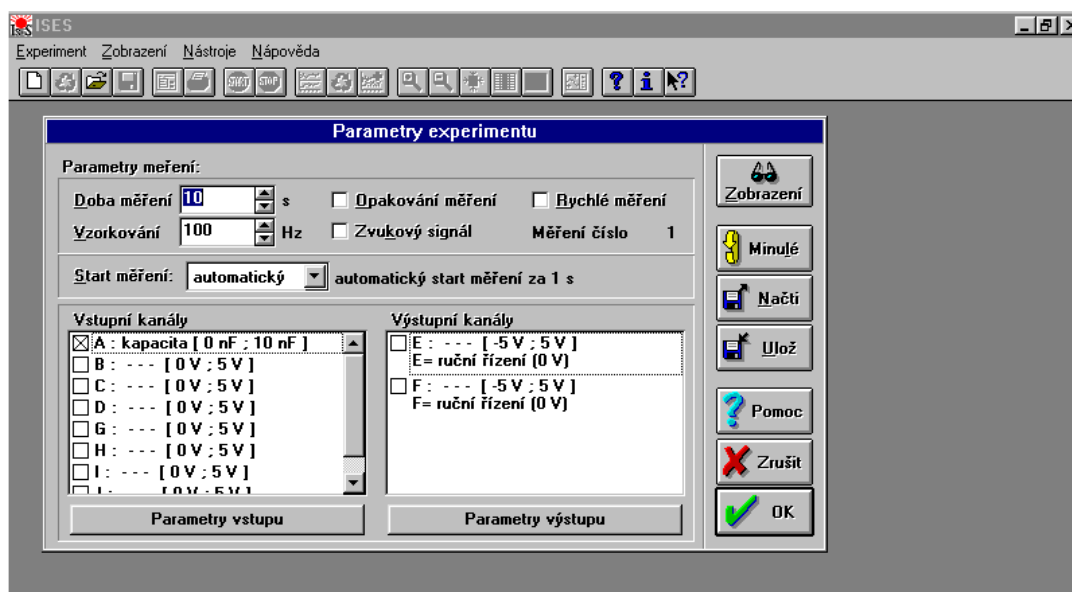
Provedení:

1. úkol: Nastavení počítače:

Do kanálu A zasuneme modul capacity – meter přepnutý na rozsah 10 nF. Zapneme počítač a spustíme program ISES dvojitým kliknutím levým tlačítkem myši na ikonu . Otevře se zatím prázdné okno s touto nabídkou:



V ní zvolíme jedním kliknutím levého tlačítka myši ikonu , která znamená založení nového experimentu. Otevře se okno „Parametry experimentu“.

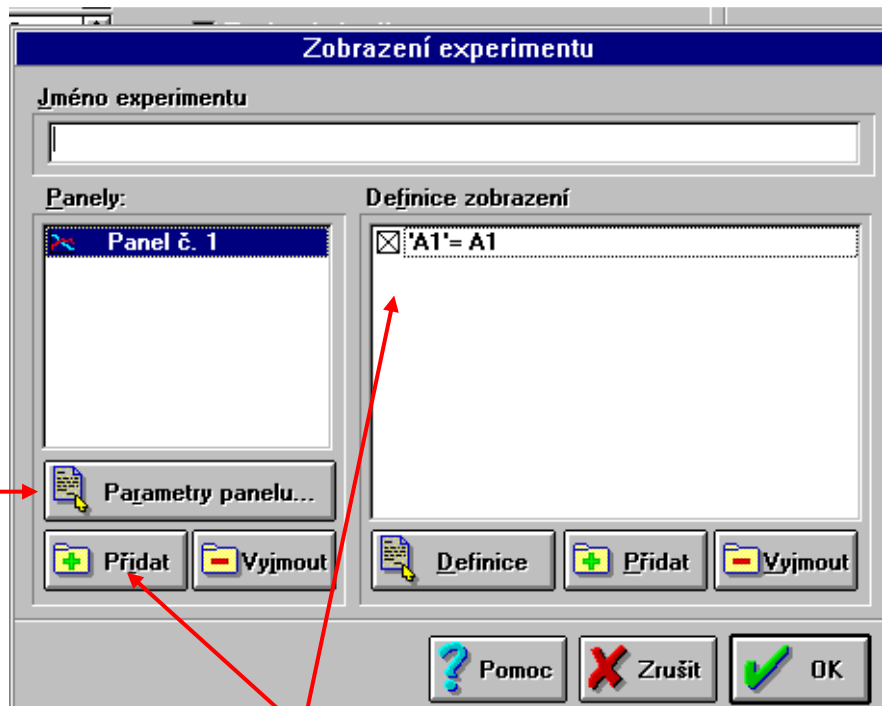


„**Doba měření**“ se nabízí 10 s, což ponecháme, a „**Vzorkování**“ také ponecháme 100 Hz. Tím jsme dosáhli, že kondenzátor se bude měřit po dobu 10 s a to 100 krát za sekundu. „**Start měření**“ ponecháme automatický.

Okénko „**Vstupní kanály**“ bude vyhlížet tak, jako na předchozím obrázku. Budeme-li v tuto chvíli otáčením přepínat rozsahy CAPACITY-metru, bude se u kanálu **A** měnit rozsah. Nastavíme si rozsah 10 nF.

Nyní jednou klikneme levým tlačítkem myši na tlačítko „**Zobrazení**“.

Otevře se okno s nadpisem „**Zobrazení experimentu**“:

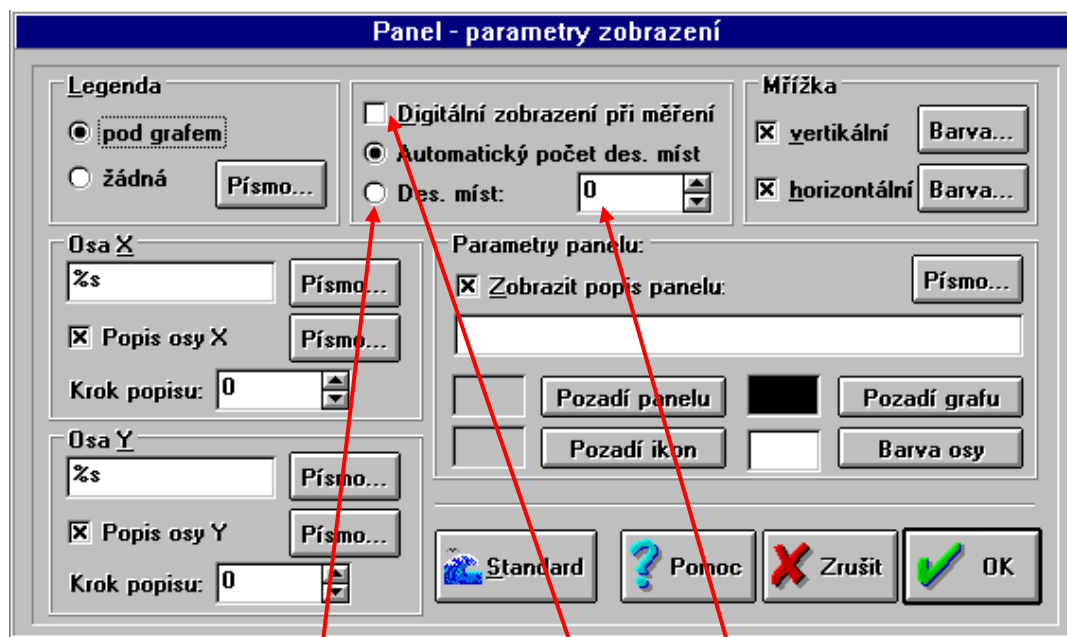


Do okénka „**Jméno experimentu**“ můžeme napsat např. *kapacita*. Pod okénkem „**Panely**“ klikneme jednou levým tlačítkem myši na tlačítko „**Přidat**“. Okamžitě se přidá „**Panel č. 2**“.

V pravém okénku „**Definice zobrazení**“ klikneme do čtverečku ☐ 'A1' = A1 a tím se objeví křížek ☒. Právě jsme zvolili, že v druhém panelu se bude také zobrazovat kapacita měřená v kanálu A.

Panel č. 1 necháme nastavený jak je, v něm se bude graficky vykreslovat každá naměřená kapacita v závislosti na čase. Ve druhém panelu nyní nastavíme digitální zobrazení kapacity. Klikneme na tlačítko „**Parametry panelu**“

Objeví se další okno “Panel – parametry zobrazení”:



V tomto okně zaškrtneme „Digitální zobrazení při měření“. Ve čtverečku se zobrazí křížek ☒.

Také klikneme myší na „Des. míst:“ a v kroužku se zobrazí tečka ●. Ještě navolíme počet desetinných míst, na které chceme zobrazovat výsledek. Napíšeme dvojku nebo dvakrát klikneme na šipku ▲. Ostatní nastavení neměníme a klikneme na tlačítko OK.

Tím se vrátíme do “Zobrazení experimentu”, kde znovu potvrdíme OK.

Program přejde do okna “Parametry experimentu”

Měření:

K modulu CAPACITY-metru připojíme dvěma vodiči měřený kondenzátor. Měření spustíme tlačítkem OK. Na obrazovce se zobrazí dva nastavené panely. V horním (číslo 1) se začne objevovat graf závislosti naměřené kapacity na čase a v dolním panelu (číslo 2) se zobrazuje kapacita jako číslo v nanofaradech.

Pozn.: Pokud by svislá osa neměla rozsah 10 nF nebo hodnota kapacity vůbec nesouhlasila s kapacitou očekávanou nebo se měření jinak pokazilo, klikneme na ikonu  (zelené šipky), která způsobí opakování experimentu. Touto ikonou můžeme opakovat měření libovolněkrát i v průběhu experimentu.

Během první zhruba sekundy se bude možná kapacita výrazněji měnit, ale pak by se měla dobře ustálit a změny budou malé. Po vypršení 10 s se měření ukončí a v obou oknech se zobrazí graf: *Závislost naměřené kapacity na čase*. V části, kde již se kapacita s časem příliš neměnila, se naučíme odečíst z grafu 10 hodnot. V horním menu klikneme na ikonu , která znamená „Zpracování hodnot“.

Vpravo se otevře okno, v němž klikneme na ikonu “**Klouzavý odečet**”..

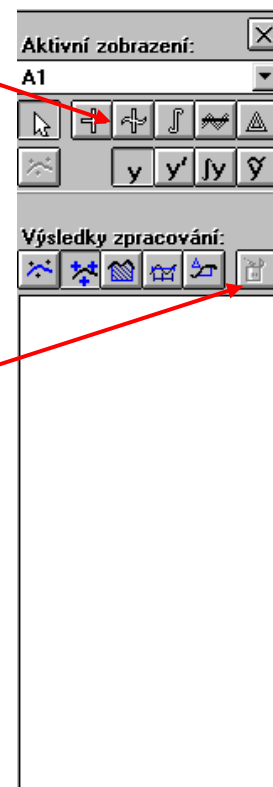
Kursor se změní na křížek,  který při pohybu myši “klouže” po grafu. Změny souřadnic vidíme v pravém okně. Vždy, když klikneme levým tlačítkem, zůstane na grafu křížek a v okně se zobrazí dvě souřadnice právě zvoleného bodu. Nás zajímá jen druhý sloupec, ve kterém jsou kapacity. Po zvolení deseti kapacit vypočteme aritmetický průměr (pro přenos odečtených hodnot např. do excelu je možné využít “CTRL C”). Kapacitu zapíšeme do tabulky č. 1.

Jsme-li s prvním kondenzátorem hotovi, vyměníme jej za jiný, smažeme výsledky ikonou “**Smazání výsledků**” a klikneme na ikonu  (zelené šipky). Spustí se opakované měření a postup zopakujeme až do získání další kapacity vypočtené jako průměr z deseti hodnot. Takto určíme kapacity všech čtyř předepsaných kondenzátorů.

2.,3. úkol: Po změření čtyř samotných kondenzátorů začneme vytvářet jejich kombinace. Kombinaci vždy zakreslíme do tabulky č. 2, vypočteme teoretickou výslednou kapacitu a změříme ji, obě pak zapíšeme do tabulky. Vždy vypočítáme relativní odchylku kapacit zaokrouhlenou na desetiny procenta (za 100 % považujeme teoretickou hodnotu).

Je třeba zapojit a změřit podle vlastní fantazie alespoň pět kombinací kondenzátorů. Některé náměty jsou uvedeny v protokolu v tabulce č. 2. Z obrázků je zřejmé, jak se budou zapisovat kapacity k jednotlivým kondenzátorům.

Pozn. Zapojení kombinací kondenzátorů mohou studenti provádět bez kontroly vyučujícího. Žádné špatné zapojení CAPACITY – meter nepokazí, pouze nebude odpovídat vypočtená a naměřená kapacita.



Zkrácená verze

- Na modulu CAPACITY-meter nastavíme **10 nF** a zasuneme do **kanálu A**.
- Spustíme ISES a založíme nový experiment.
- Přidáme panel pro digitální zobrazení na 2 desetinná místa z kanálu A1.
- Proměříme kondenzátory 1 nF, 2 nF, 2 nF, 5 nF, pomocí klouzavého odečtu určíme průměrnou kapacitu vždy z deseti hodnot.
- Podobně proměříme alespoň 5 kombinací kondenzátorů, vypočteme výsledné kapacity a porovnáme s naměřenými.

Protokol

Název: Řazení kondenzátorů

Pomůcky:

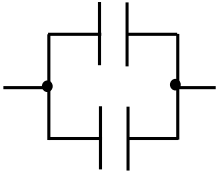
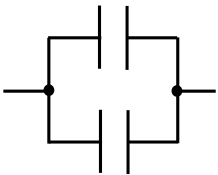
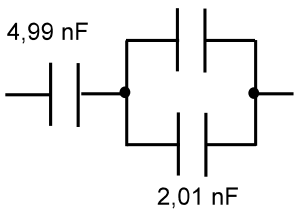
Teorie:

Vypracování:

Tabulka č. 1: Kapacity samostatných kondenzátorů

Zapsaná kapacita	Naměřená kapacita
5 nF	„.. nF
2 nF	„.. nF
2 nF	„.. nF
1 nF	„.. nF

Tabulka č. 2: Kapacity kombinací kondenzátorů

Zapojení	Kapacita vypočtená	Kapacita naměřená	Odchylka
4,99 nF 2,01 nF 	1,43 nF	1,40 nF	2,1 %
4,99 nF  2,01 nF	„.. nF	„.. nF	„.. %
2,03 nF  2,01 nF	„.. nF	„.. nF	„.. %
4,99 nF 2,03 nF  2,01 nF	„.. nF	„.. nF	„.. %

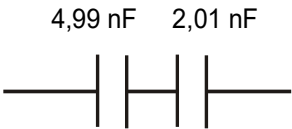
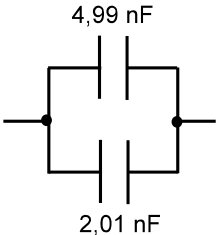
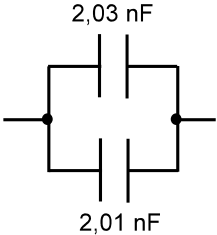
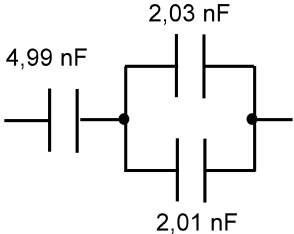
Závěr: Vyhodnotíme, jak se shodují kapacity uvedené u jednotlivých kondenzátorů s kapacitami naměřenými, a také vypočtené kapacity kombinací s naměřenými.

Výsledky

Tabulka č. 1 : Kapacity samostatných kondenzátorů

Zapsaná kapacita	Naměřená kapacita
5 nF	4,99 nF
2 nF	2,01 nF
2 nF	2,03 nF
1 nF	1,00 nF

Tabulka č. 2: Kapacity kombinací kondenzátorů

Zapojení	Kapacita vypočtená	Kapacita naměřená	Odchylka
	1,43 nF	1,40 nF	2,1 %
	7,00 nF	7,00 nF	0,0 %
	4,04 nF	4,06 nF	0,5 %
	2,23 nF	2,22 nF	0,4 %

Závěr:

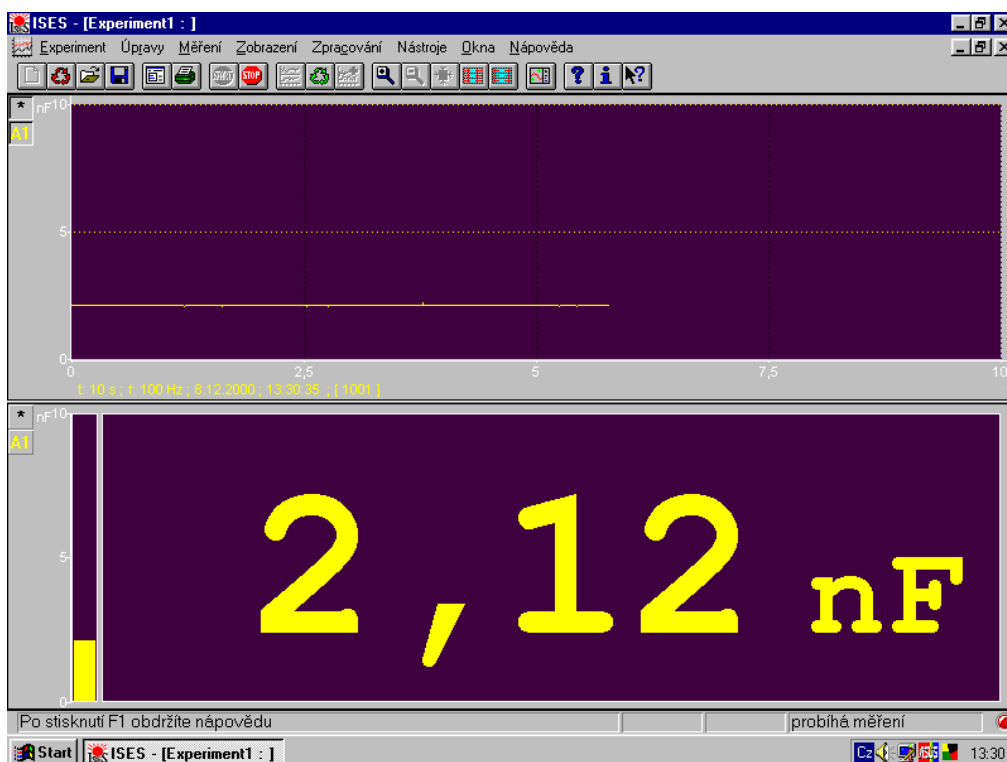
Měřením jsme zjistili velmi dobrou shodu mezi kapacitou jmenovitou (uvedenou u kondenzátoru) a kapacitou naměřenou CAPACITY-metrem. Největší odchylka byla 0,03 nF, což u daného kondenzátoru činilo 1,5%.

Relativní odchylky kombinací kondenzátorů byly ve většině případů menší než 1%, což potvrzuje teoretické vzorce a současně vypovídá o tom, že CAPACITY-meter měří velmi přesně.

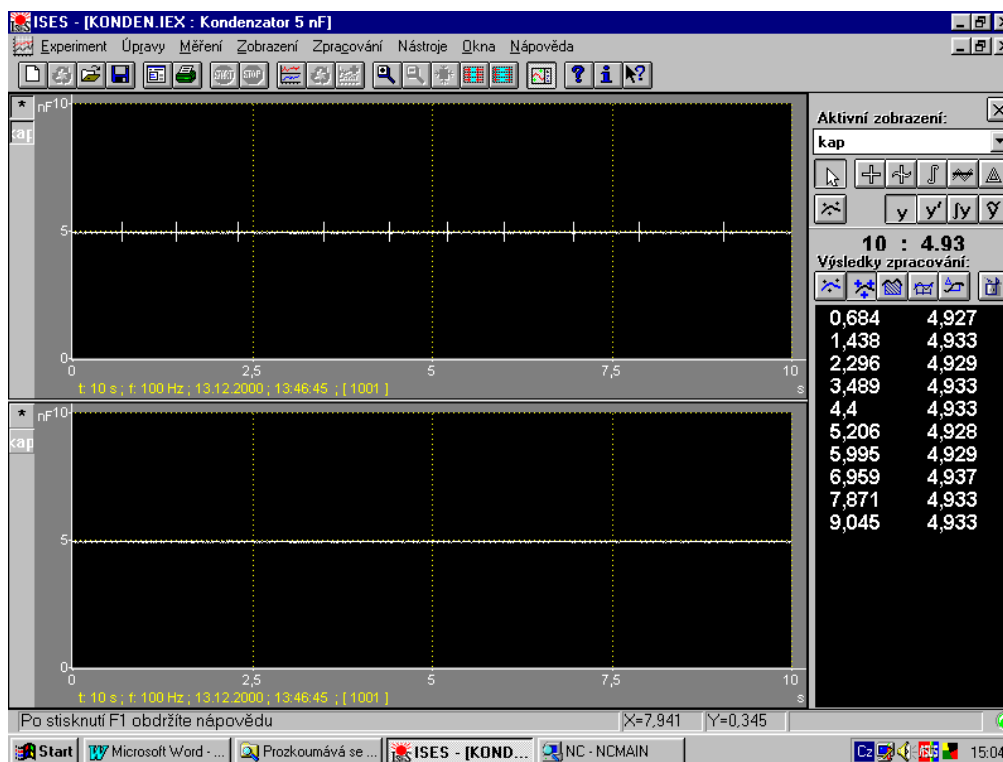
Řazení kondenzátorů

Ukázky měřicích obrazovek

Obrazovka během desetisekundového měření kapacity



Hodnoty kapacity získané nástrojem „Klouzavý odečet“



Řazení kondenzátorů

Odpor kovového vodiče

ÚVODEM UPOZORNIT STUDENTY, ABY PŘI MANIPULACI NEPŘETRHLI ODPOROVÝ DRÁT.

Pomůcky:

Systém ISES, moduly: voltmetr, ampérmetr, odporový drát na dřevěném pravítku 90 cm dlouhém, zdroj elektrického napětí (regulovatelné do asi 30 V, např. PS – 302A), 6 spojovacích vodičů, 2 krokosvorky, rezistor 100 Ω, soubory: **odpor1.imc**, **odpor2.imc**.

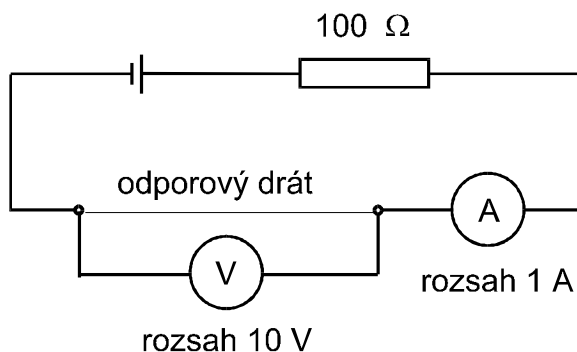
Úkoly:

- 1) Měřením proudu a napětí určit odpor drátu o délce 90 cm.
- 2) Proměřit závislost odporu drátu na jeho délce a sestavit graf *Závislost odporu na délce*.
- 3) Pro každou délku určit měrný elektrický odpor, určit průměrnou hodnotu ρ , odchylku a relativní odchylku.
- 4) Porovnáním s tabulkami rozhodnout, o jaký se jedná odporový materiál, vypočítat relativní odchylku od tabulkové hodnoty.

Teorie:

Odpor vodiče určíme podle definice: $\frac{U}{I} = R$, pro měrný elektrický odpor platí: $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$

Změříme napětí a proud podle následujícího schématu:



Rezistor o odporu 100 Ω slouží jako ochranný rezistor před příliš velkým proudem. Zdrojem napětí je plynule regulovatelný PS – 302A.

Nastavení: odpor1.imc - start krokový (13 kroků), panel č.1 - napětí 0 až 5 V digitálně (3 desetinná místa), panel č.2 - proud 0 až 0,3 A digitálně (3 desetinná místa)

odpor2.imc - start krokový (15 kroků), panel č.1 - graf $U=f(I)$ napětí U od 0 V do 5 V, proud I od 0 A do 0,3 A.

Provedení:

1. úkol: Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V**. Malé černé přepínače přepneme do poloh **0→** a —, čímž jsme nastavili měření stejnosměrného napětí s nulou na kraji, zasuneme do **kanálu A**

Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **1 A**. Malý černý přepínač nastavíme do polohy **0→**, čímž jsme nastavili měření stejnosměrného proudu s nulou na kraji, zasuneme do **kanálu B**.

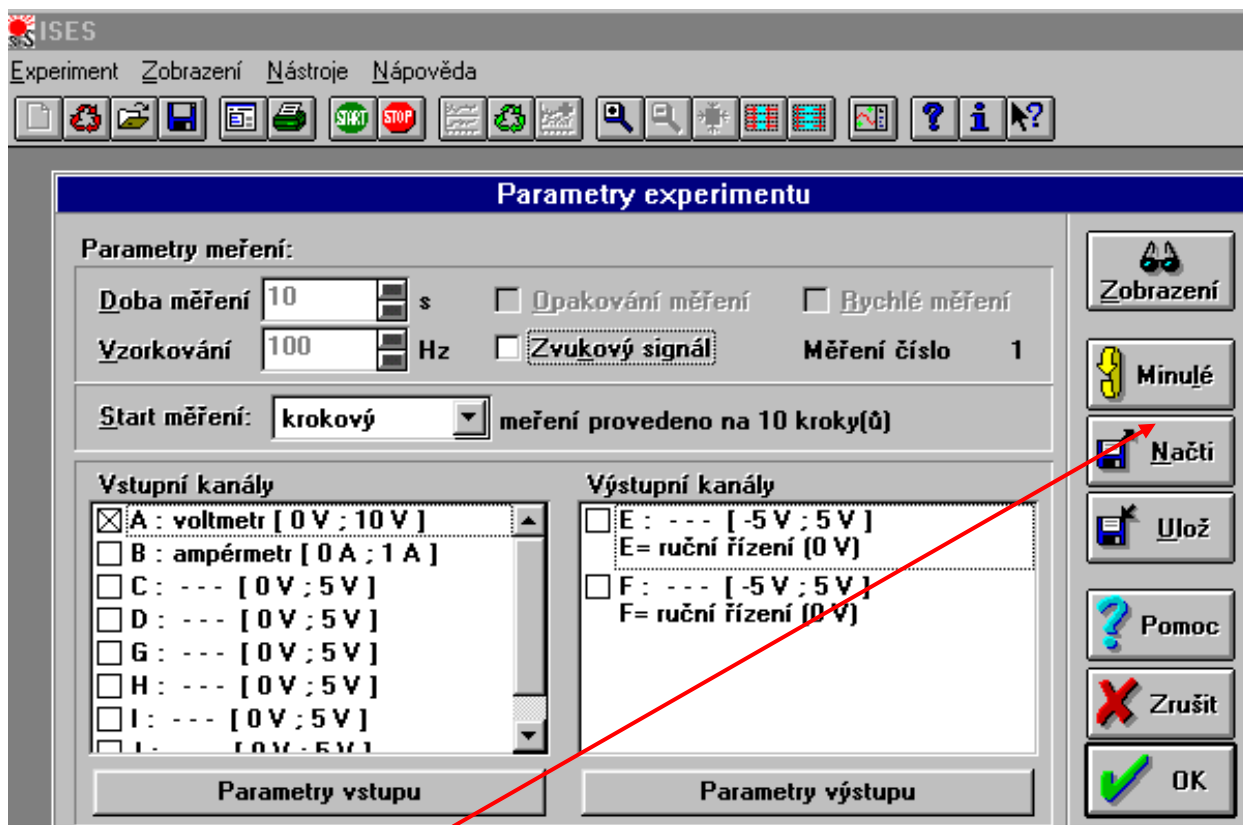
Nyní zapojíme celý obvod při **vypnutém** zdroji napětí.

Nastavení počítače:

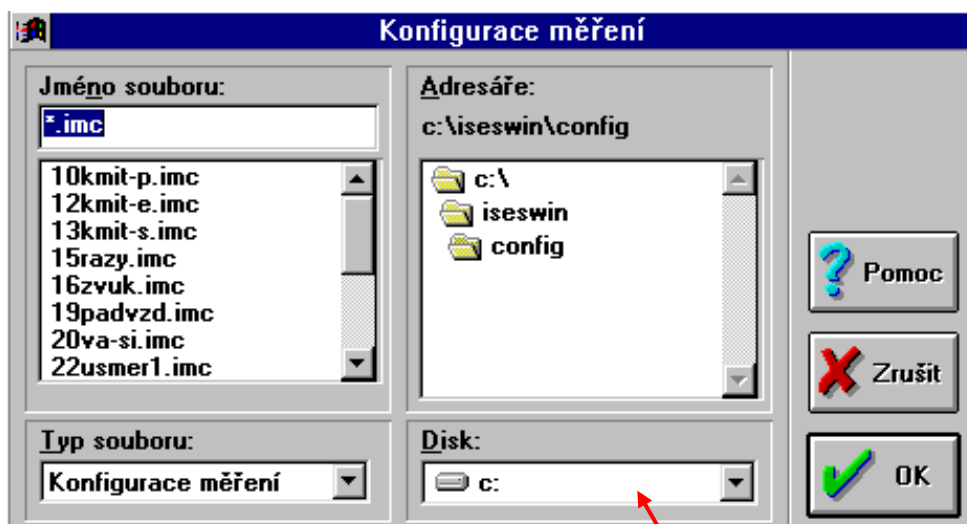
Učitelský počítač na katedře musí být zapnutý. Nejprve dvojitém kliknutím na „**Software (G)**“ si umožníme přístup k souborům „**odpor1.imc**“ a „**odpor2.imc**“. Oba jsou v adresáři „**ises**“, který se objeví na obrazovce.

Pomocí ikony  spustíme program.

Ikonou  založíme nový experiment. Tím se otevře okno :



Kliknutím na tlačítko „**Načti**“ se otevře okno „**Konfigurace měření**“.



Najdeme v něm soubor „odpor1.imc“ v adresáři „g:\katedra\software\ises“, označíme jej a potvrdíme OK. Tím se načetly vhodné parametry experimentu a mohli bychom začít měřit napětí a proud. Povšimneme si, že „Start měření“ ukazuje nápis „krokový“. Spustíme měření a několikrát stiskneme ENTER (stále při vypnutém zdroji). Na obrazovce se objevují hodnoty proudu a napětí blízké nule. Kroků je nastaveno třináct.

Nyní požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení, programu a o zapnutí zdroje napětí.

NEJDŮLEŽITĚJŠÍ JE KONTROLA AMPÉRMETRU – ROZSAH 1A!

Zdroj PS-302A se zapíná vzadu. Knoflík „AMPERE“ vytočíme na maximum, měla by svítit zelená LED, u níž je nápis „CONST V“. Knoflíky „FINE“ a „COARSE“ stáhneme na minimum. Páčkový přepínač přepneme do horní polohy „VOLT“. Napětí je mezi červenou a modrou zdírkou. Opakované měření umožňují zelené šipky .

Knoflíkem označeným COARSE zvyšujeme napětí od asi 4 voltů (měřeno na ručkovém měřidle zdroje napětí PS - 302A, který má přepínač v poloze „VOLT“) po zhruba dvou voltech. Napětí i proud by se měly zvyšovat. Po každém kroku zapisujeme do tabulky č. 1 napětí U a proud I .

Vypočteme R na dvě desetinná místa a provedeme další výpočty, abychom mohli zapsat

$$R = (..., \pm ...) \Omega \quad \text{s relativní odchylkou } \delta R = .. \%$$

Velikost relativní odchylky (zaokrouhlené na 1 desetinné místo) vypovídá o tom, jak je podíl $\frac{U}{I}$ proměnlivý.

Po skončení krokového měření zůstaly na obrazovce dva grafy. V horním panelu č.1 hodnoty napětí v jednotlivých krocích a v dolním panelu č. 2 velikosti proudu. Je vidět, že s rostoucím napětím roste i proud. Nyní provedeme měření, které potvrdí Ohmův zákon, tedy přímou úměrnost mezi proudem a napětím v grafu.

2. úkol: V horním menu klikneme na ikonu **„nahrazení experimentu“**  (červené šipky) a v okně **„Parametry experimentu“** načteme soubor **„odpor2.imc“** z adresáře **“g:\\katedra\\software\\ises”**. Zapojení vodičů, ampérmetru i voltmetru zůstává stejné, pouze knoflíkem zdroje COARSE snížíme napětí na nulu. Zde začíná i naše měření po stisku OK a ENTER. Napětí zvyšujeme přibližně po dvou voltech.

Na obrazovce se vykreslují body do grafu, který má na vodorovné ose proud a na svislé napětí. Je vidět, že body se řadí do přímky procházející počátkem.

Pokud se měření z nějakých důvodů pokazí, vyvoláme jeho opakování pomocí zelených šipek .

Aproximace (proložení bodů) přímkou

Počítač umí aproximovat, tedy proložit body optimální přímkou. Stiskneme ikonu , která znamená **„Zpracování hodnot“**. Otevře se okno, v němž zvolíme **„Klouzavý odečet“**. Souřadnice všech bodů se nyní objeví v okně.

Klikneme na ikonu **„aproximace“**, čímž se objeví okno **„Aproximace“**

Je vybráno proložení přímkou, i když vidíme i jiné možnosti. Potvrdíme OK.

Do grafu se proloží přímka a její rovnice se objeví v okně místo souřadnic. Může vypadat např. takto: $y = 18,34x + 0,05$. Směrnice přímky, tedy číslo 18,34, je odpor vodiče v ohmech. Hodnota 0,05 udává posunutí přímky ve svislém směru a v ideálním případě přímé úměrnosti by měla být 0.

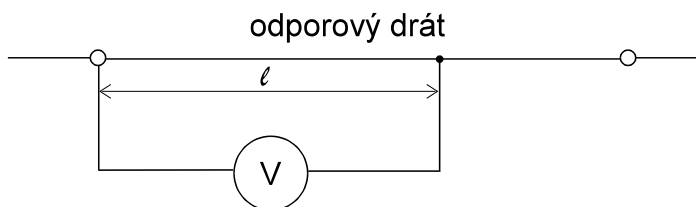
Odpor by se neměl příliš lišit od hodnoty získané z tabulky č. 1.

Do protokolu zapíšeme:

Hodnota odporu drátu o délce 0,90 m určená graficky: $R = 18,34 \Omega$.

Odpor také zapíšeme do tabulky č. 2 k délce 0,90 m.

Přesuneme jeden vodič voltmetru opatřený krokosvorkou na vzdálenost 0,80 m



a pomocí červených šipek  zopakujeme měření bodů, aproximaci přímkou a zápis odporu do tabulky č. 2. Měření opakujeme až do délky 0,10 m. Tabulka slouží k sestrojení grafu: *Závislost odporu na délce vodiče*.



3. úkol: Odporový drát má tvar tenkého pásku, jeho průřezem je obdélník. Výrobce udává jeho rozměry:

$$a = 0,7 \text{ mm}, \quad b = 0,1 \text{ mm}$$

Vypočteme tedy obsah obdélníku $S = a \cdot b$

Do tabulky vypočítáme měrný elektrický odpor na dvě desetinná místa a provedeme další výpočty, abychom mohli zapsat

$$\rho = (, \dots \pm , \dots) \mu\Omega \cdot \text{m} \quad \text{s relativní odchylkou } \delta\rho = , \dots \%$$

4. úkol: Porovnáme ρ s tabulkami a zapíšeme, o jaký by mohlo jít odporový materiál. Vypočítáme, o kolik procent se liší naše hodnota ρ od tabulkové.

ZKRÁCENÁ VERZE

- Na modulu voltmetr nastavíme **10 V** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu A**.
- Na modulu ampérmetr nastavíme **1 A** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu B**.
- Zapojíme obvod při vypnutém zdroji napětí.
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme soubory **odpor1.imc** a **odpor2.imc**.
- Spustíme ISES, založíme nový experiment, načteme do konfigurace **odpor1.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Bez zapnutého zdroje provedeme pomocí ENTER několik kroků.
- Zapneme zdroj, napětí zvyšujeme asi od 4 voltů po zhruba dvou voltech.
- Každý ENTER znamená jeden krok, při němž zapisujeme U a I do tabulky č. 1.
- Načteme do konfigurace **odpor2.imc**.
- Napětí zvyšujeme od nuly po zhruba dvou voltech.
- Při každém ENTER se zakreslí jeden bod do grafu $U=f(I)$
- Po posledním kroku zvolíme klouzavý odečet.
- Zvolíme lineární aproximaci, ze které určíme odpor při délce 0,9 m, 0,8 m ..., 0,1 m.
- Dokončíme výpočty, graf a porovnání s tabulkami.

Protokol

Název: Odpor kovového vodiče

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1)

Tabulka č. 1 : Odpor drátu o délce 0,90 m

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\frac{U}{V}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{I}{A}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{R}{\Omega}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{\Delta R}{\Omega}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

$R = (..., \pm ...) \Omega$ s relativní odchylkou $\delta R = .. \%$.

Hodnota odporu drátu o délce 0,90 m určená graficky: $R = ..., \Omega$.

2) 3) Rozměry drátu: $a = 0,7 \text{ mm}$, $b = 0,1 \text{ mm}$
 $S = a \cdot b = ..., \text{ mm}^2$

Tabulka č. 2: Závislost odporu na délce, měrný elektrický odpor

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\frac{l}{m}$	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
$\frac{R}{\Omega}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{\rho}{\mu\Omega \cdot m}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{\Delta \rho}{\mu\Omega \cdot m}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...

$\rho = (..., \pm ...) \mu\Omega \cdot m$ s relativní odchylkou $\delta \rho = .. \%$.

Závěr: V závěru zhodnotíme, jak vychází poměr $\frac{U}{I}$ pro daný odporový drát, jak jsme ověřili závislost R na l , porovnání ρ s tabulkami, určení materiálu, relativní odchylka od tabulkové hodnoty.

Výsledky

1)

Tabulka č. 1 : Odpor drátu o délce 0,90 m

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\frac{U}{V}$	0,525	0,821	1,026	1,133	1,289	1,497	1,602	1,827	1,998	2,132	2,589	3,214
$\frac{I}{A}$	0,028	0,043	0,051	0,063	0,066	0,080	0,087	0,098	0,106	0,113	0,138	0,173
$\frac{R}{\Omega}$	18,75	19,09	20,12	17,98	19,53	18,71	18,41	18,64	18,85	18,87	18,76	18,58
$\frac{\Delta R}{\Omega}$	0,11	-0,23	-1,26	0,88	-0,67	0,15	0,45	0,22	0,01	-0,01	0,10	0,28

$R = (18,86 \pm 0,36) \Omega$ s relativní odchylkou $\delta R = 1,9 \%$.

Hodnota odporu drátu o délce 0,90 m určená graficky: $R = 18,95 \Omega$.

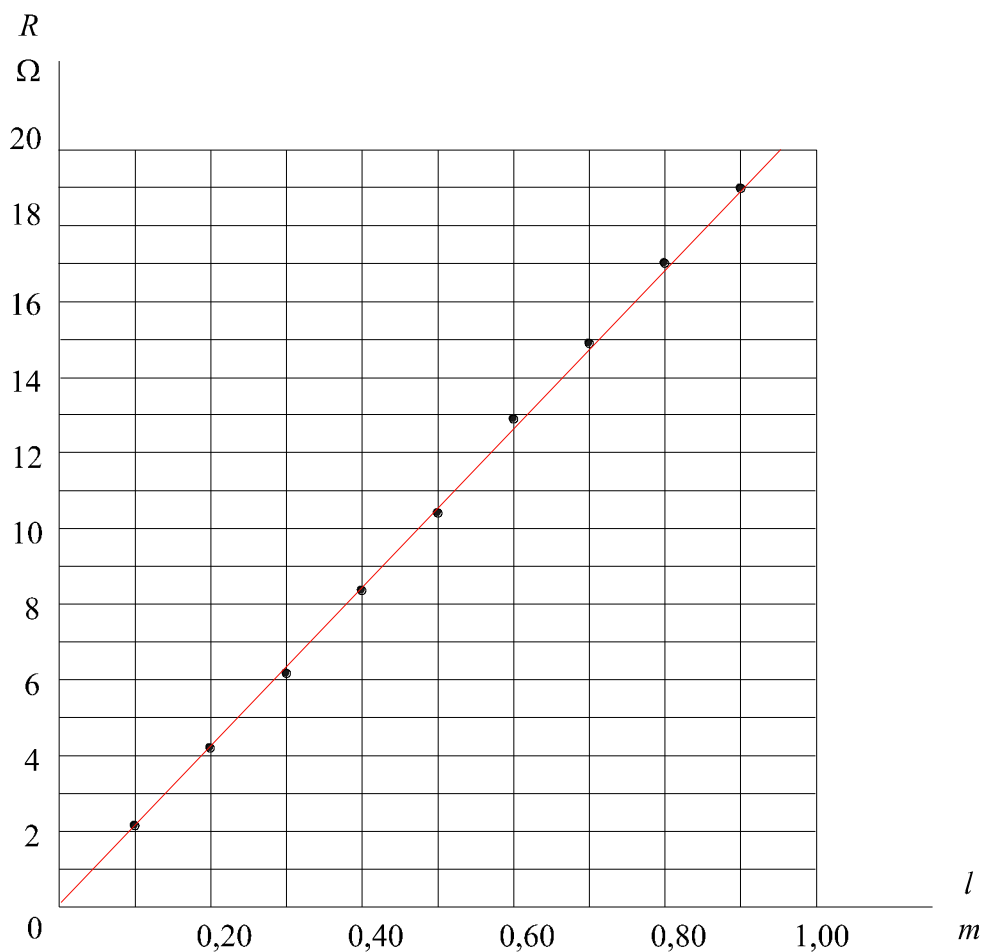
2),3) Rozměry drátu: $a = 0,7 \text{ mm}$, $b = 0,1 \text{ mm}$
 $S = a \cdot b = 0,07 \text{ mm}^2$

Tabulka č. 2: Závislost odporu na délce, měrný elektrický odpor

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\frac{l}{m}$	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
$\frac{R}{\Omega}$	18,95	16,99	14,90	12,87	10,40	8,34	6,17	4,19	2,16
$\frac{\rho}{\mu\Omega \cdot m}$	1,47	1,49	1,49	1,50	1,46	1,46	1,43	1,47	1,51
$\frac{\Delta \rho}{\mu\Omega \cdot m}$	0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,02	0,02	0,05	0,01	-0,03

$\rho = (1,48 \pm 0,02) \mu\Omega \cdot m$ s relativní odchylkou $\delta \rho = 1,4 \%$.

Graf závislosti odporu na délce vodiče



Závěr: Určili jsme odpor drátu o délce 0,90 m $R = (18,86 \pm 0,36) \Omega$ s relativní odchylkou $\delta R = 1,9 \%$. Z velikosti relativní odchylky je vidět, že poměr $\frac{U}{I}$ nezávisí v měřeném rozsahu na velikosti procházejícího proudu, je to pro daný odporový drát konstanta. Graficky určený odpor pomocí aproximace přímkou byl $R = 18,95 \Omega$.

Z grafu je vidět, že odpor drátu je přímo úměrný jeho délce v celém rozsahu měření.

Určili jsme měrný elektrický odpor $\rho = (1,48 \pm 0,02) \mu\Omega \cdot m$ s relativní odchylkou $\delta \rho = 1,4 \%$.

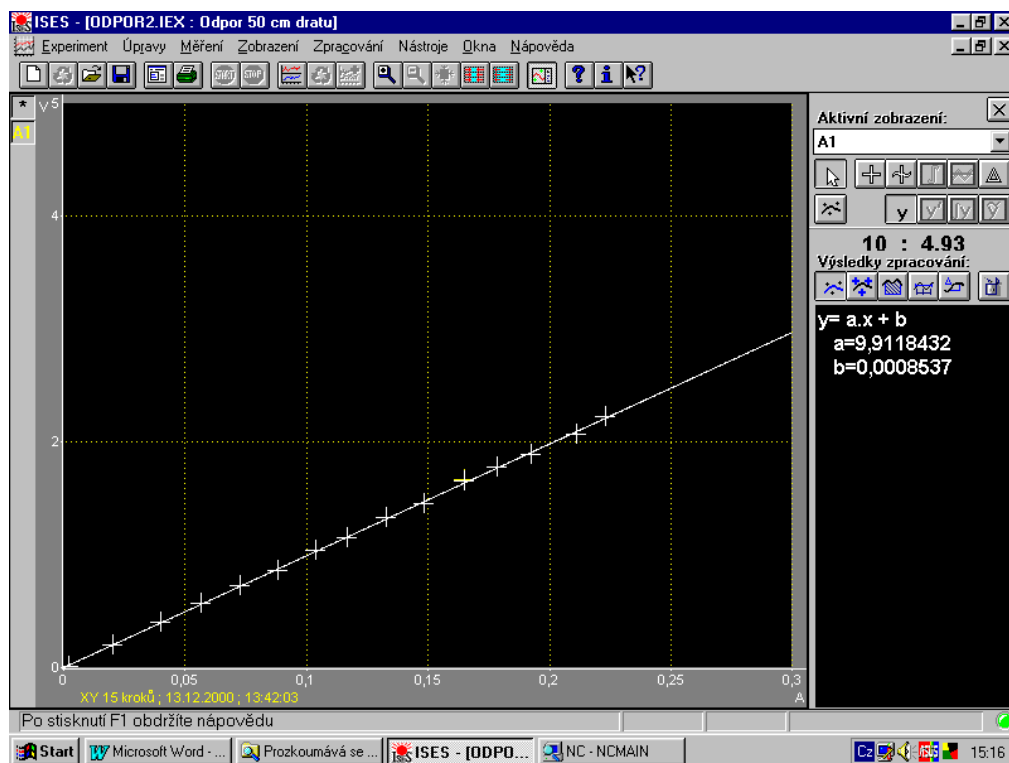
Při porovnání s tabulkami lze učinit závěr, že materiálem je **kanthal**, pro který Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy uvádějí hodnotu $\rho = 1,4 \mu\Omega \cdot m$. V technické dokumentaci výrobce použitého odporového drátu (ELCHEMCO spol s r. o.) nacházíme hodnotu $\rho = 1,39 \mu\Omega \cdot m$. Náš výsledek je přibližně o 6,5% vyšší. Odchylka může být způsobena nenulovými odpory spojovacích vodičů s banánky a také rozdílem mezi jmenovitým a skutečným průřezem vodiče, jehož rozměry výrobce udává na desetiny milimetru.

Ukázky měřicích obrazovek

Úkol č. 1: Měření proudu a napětí na drátu o délce 0,90 m (odpor1.imc)



Úkol č. 2: Závislost proudu na napětí na drátu o délce 0,50 m, aproximace přímkou (odpor2.imc)



Řazení rezistorů

Pomůcky:

Systém ISES, modul: ohmmetr, sada rezistorů, spojovací vodiče.

Úkoly:

- 1) Změřit odpor pěti rezistorů označených 50 kΩ, 20 kΩ, 20 kΩ, 10 kΩ, 5 kΩ.
- 2) Zapojit různé kombinace rezistorů a změřit výsledný odpor. Pro každé zapojení vypočítat (z hodnot získaných v úkolu č. 1) výsledný odpor a ten porovnat s měřením.
- 3) Vypočítat, o kolik procent se liší hodnota vypočtená a hodnota změřená.

Teorie:

Pro výsledný odpor sériového zapojení n rezistorů platí: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Pro výsledný odpor paralelního zapojení n rezistorů platí: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

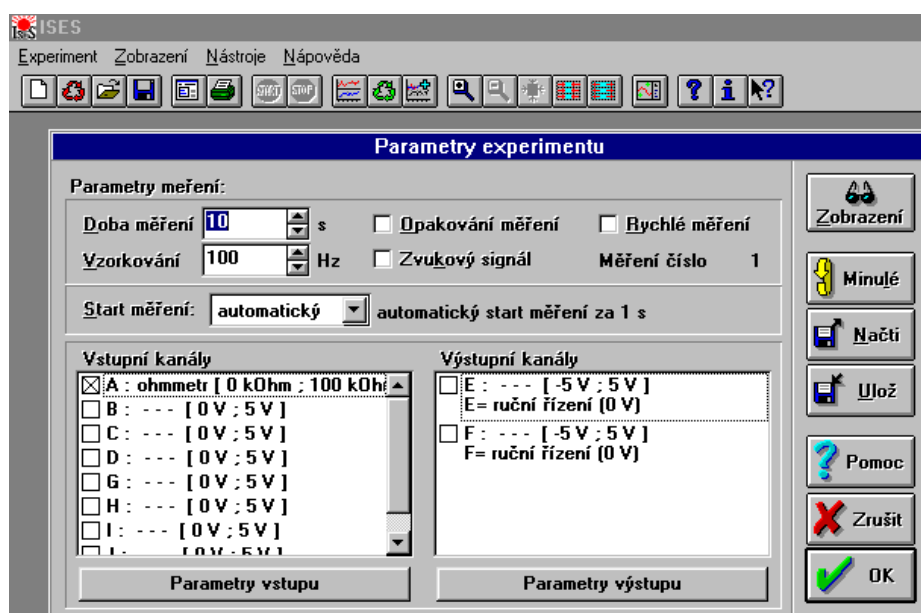
Provedení:

1. úkol: Nastavení počítače:

Do **kanálu A** zasuneme modul ohmmetr přepnutý na rozsah **100 kΩ**. Zapneme počítač a spustíme program ISES dvojité kliknutím levým tlačítkem myši na ikonu . Otevře se zatím prázdné okno s touto nabídkou:



V ní zvolíme jedním kliknutím levého tlačítka myši ikonu , která znamená založení nového experimentu. Otevře se okno „Parametry experimentu“.



„**Doba měření**“ se nabízí 10 s, což ponecháme, a „**Vzorkování**“ také ponecháme 100 Hz. Tím jsme dosáhli, že odpor se bude měřit po dobu 10 s a to 100 krát za sekundu. „**Start měření**“ ponecháme automatický.

Okénko „**Vstupní kanály**“ bude vyhlížet tak, jako na předchozím obrázku. Budeme-li v tuto chvíli otáčením přepínat rozsahy ohmmetru, bude se u kanálu **A** měnit rozsah. Nastavíme si rozsah 100 k Ω .

Nyní jednou klikneme levým tlačítkem myši na tlačítko „**Zobrazení**“.

Otevře se okno s nadpisem „**Zobrazení experimentu**“:

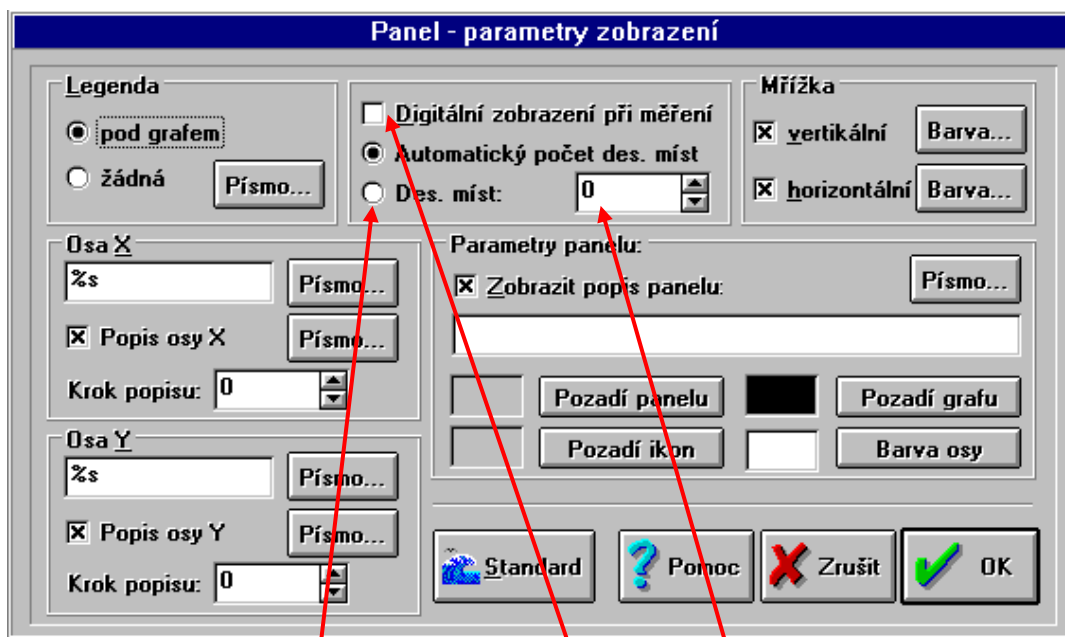


Do okénka „**Jméno experimentu**“ můžeme napsat např. *Měření odporu*. Pod okénkem „**Panely**“ klikneme jednou levým tlačítkem myši na tlačítko „**Přidat**“. Okamžitě se přidá „**Panel č. 2**“.

V pravém okénku „**Definice zobrazení**“ klikneme do čtverečku ☐ 'A1' = A1 a tím se objeví křížek ☒. Právě jsme zvolili, že v druhém panelu se bude také zobrazovat odpor měřený v kanálu A.

Panel č. 1 necháme nastavený jak je, v něm se bude graficky vykreslovat každý naměřený odpor v závislosti na čase. Ve druhém panelu nyní nastavíme digitální zobrazení odporu. Klikneme na tlačítko „**Parametry panelu**“.

Objeví se další okno “Panel – parametry zobrazení”:



V tomto okně zaškrtneme „Digitální zobrazení při měření“. Ve čtverečku se zobrazí křížek ☒.

Také klikneme myší na „Des. míst:“ a v kroužku se zobrazí tečka ●. Ještě navolíme počet desetinných míst, na které chceme zobrazovat výsledek. Napíšeme dvojku nebo dvakrát klikneme na šipku ▲. Ostatní nastavení neměníme a klikneme na tlačítko OK.

Tím se vrátíme do “Zobrazení experimentu”, kde znovu potvrdíme OK.

Program přejde do okna “Parametry experimentu”

Měření:

K modulu ohmmetr připojíme dvěma vodiči měřený rezistor. Měření spustíme tlačítkem OK. Na obrazovce se zobrazí dva nastavené panely. V horním (číslo 1) se začne objevovat graf závislosti naměřeného odporu na čase a v dolním panelu (číslo 2) se zobrazuje odpor jako číslo v kiloohmech.

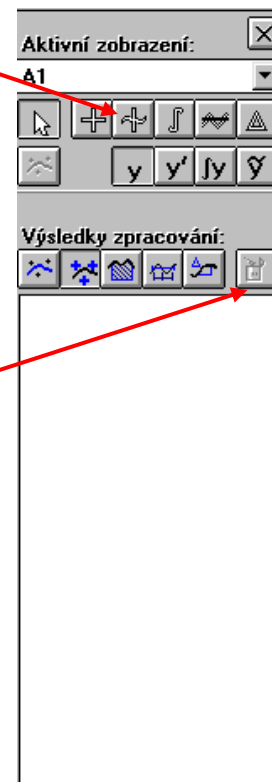
Pozn.: Pokud by se měření nějak pokazilo, klikneme na ikonu  (zelené šipky), která způsobí opakování experimentu. Touto ikonou můžeme opakovat měření libovolněkrát i v průběhu experimentu.

Po vypršení 10 s se měření ukončí a v obou oknech se zobrazí graf: *Závislost naměřeného odporu na čase*. Z grafu nyní odečteme 10 hodnot. V horním menu klikneme na ikonu , která znamená „Zpracování hodnot“.

Vpravo se otevře okno, v němž klikneme na ikonu “**Klouzavý odečet**”:

Kursor se změní na křížek , který při pohybu myši “klouže” po grafu. Změny souřadnic vidíme v pravém okně. Vždy, když klikneme levým tlačítkem, zůstane na grafu křížek a v okně se zobrazí dvě souřadnice právě zvoleného bodu. Nás zajímá jen druhý sloupec, ve kterém jsou odpory. Po zvolení deseti odporů vypočteme aritmetický průměr (pro přenos odečtených hodnot např. do excelu je možné využít “CTRL C”). Odpor zapíšeme do tabulky č. 1.

Jsme-li s prvním rezistorem hotovi, vyměníme jej za jiný, smažeme výsledky ikonou “**Smazání výsledků**” a klikneme na ikonu  (zelené šipky). Spustí se opakované měření a postup zopakujeme až do získání dalšího odporu vypočteného jako průměr z deseti hodnot. Takto určíme odpory všech pěti předepsaných rezistorů.



2.,3. úkol: Po změření pěti samostatných rezistorů začneme vytvářet jejich kombinace. Kombinaci vždy zakreslíme do tabulky č. 2, vypočteme teoretický výsledný odpor a změříme jej, oba pak zapíšeme do tabulky. Vždy vypočítáme relativní odchylku odporů zaokrouhlenou na desetiny procenta. (za 100 % považujeme teoretickou hodnotu).

Je třeba zapojit a změřit předepsané kombinace a pak je možné podle vlastní fantazie přidat další. Z obrázků je zřejmé, jak se budou zapisovat odpory k jednotlivým kombinacím.

Pozn. Zapojení kombinací odporů mohou studenti provádět bez kontroly vyučujícího. Žádné špatné zapojení ohmmeter nepokazí, pouze nebude odpovídat vypočtená a naměřená hodnota.

Zkrácená verze

- Na modulu ohmmeter nastavíme **100 kΩ** a zasuneme do **kanálu A**.
- Spustíme ISES a založíme nový experiment.
- Přidáme panel pro digitální zobrazení na 2 desetinná místa z kanálu A1.
- Proměříme rezistory 50 kΩ, 20 kΩ, 20 kΩ, 10 kΩ, 5 kΩ, pomocí klouzavého odečtu určíme průměrný odpor vždy z deseti hodnot.
- Podobně proměříme předepsané kombinace rezistorů, vypočteme výsledné odpory a porovnáme je s naměřenými.

Protokol

Název: Řazení rezistorů

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

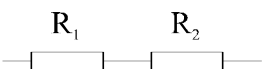
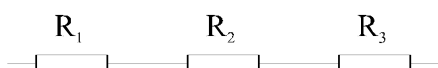
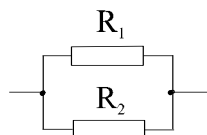
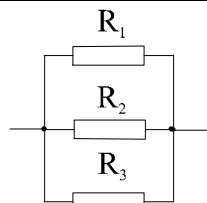
1)

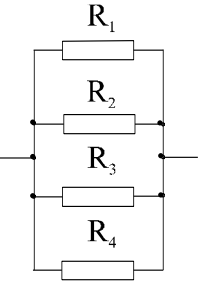
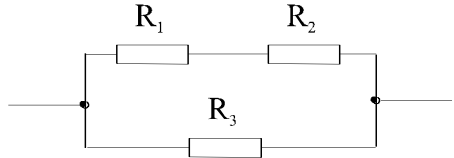
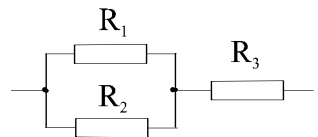
Tabulka č. 1: Odpor samostatných rezistorů

Zapsaný odpor	Naměřený odpor
50 kΩ	..., kΩ
20 kΩ	..., kΩ
20 kΩ	..., kΩ
10 kΩ	..., kΩ
5kΩ	..., kΩ

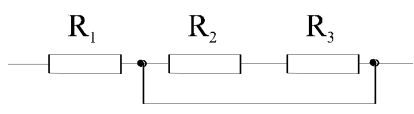
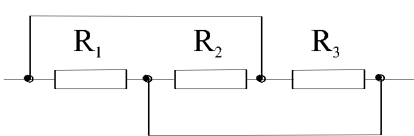
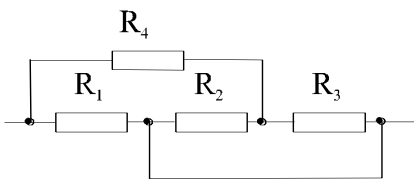
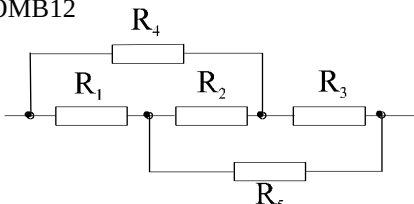
2), 3)

Tabulka č. 2: Základní kombinace rezistorů

Zapojení rezistorů	Odpor vypočtený	Odpor naměřený	Relativní odchylka
KOMB1 	...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB2 	...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB3 	...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB4 	...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB5 	...,kΩ	...,kΩ	.. %

KOMB6		...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB7		...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB8		...,kΩ	...,kΩ	.. %

Tabulka č. 3: Složitější kombinace rezistorů

Zapojení rezistorů	Lze překreslit	Odpor vypočtený	Odpor naměřený	Relativní odchylka
KOMB9 		...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB10 		...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB11 		...,kΩ	...,kΩ	.. %
KOMB12 		není nutné počítat	...,kΩ	.. %

Tabulka č. 4: Vlastní kombinace rezistorů (libovolný počet)

Zapojení rezistorů	Odpor vypočtený	Odpor naměřený	Relativní odchylka
KOMB13	...,kΩ	...,kΩ	.. %

Závěr: Zhodnotíme, jak se teoretické výpočty odporů shodují s hodnotami naměřenými ohmmetrem.

Výsledky

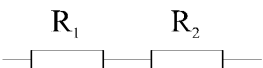
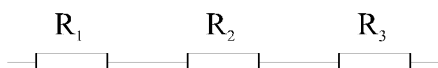
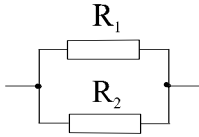
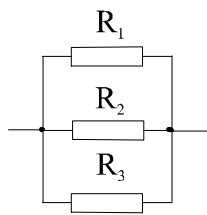
1)

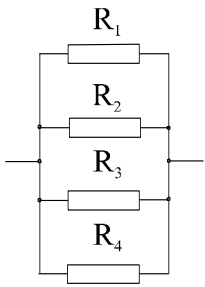
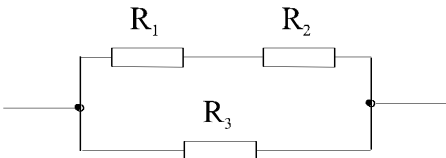
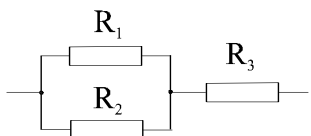
Tabulka č. 1: Odpor samostatných rezistorů

Zapsaný odpor	Naměřený odpor
50 k Ω	50,60 k Ω
20 k Ω	20,43 k Ω
20 k Ω	20,44 k Ω
10 k Ω	10,49 k Ω
5k Ω	5,45 k Ω

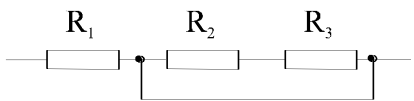
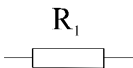
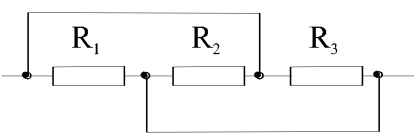
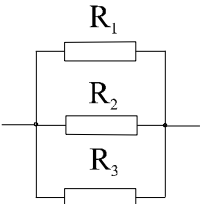
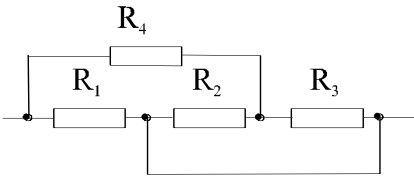
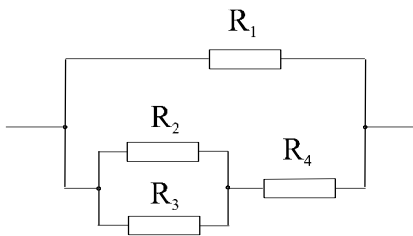
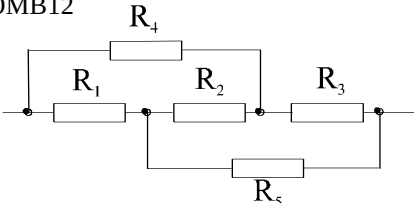
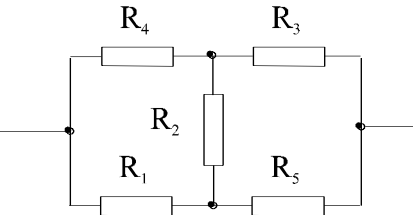
2),3)

Tabulka č. 2: Základní kombinace rezistorů

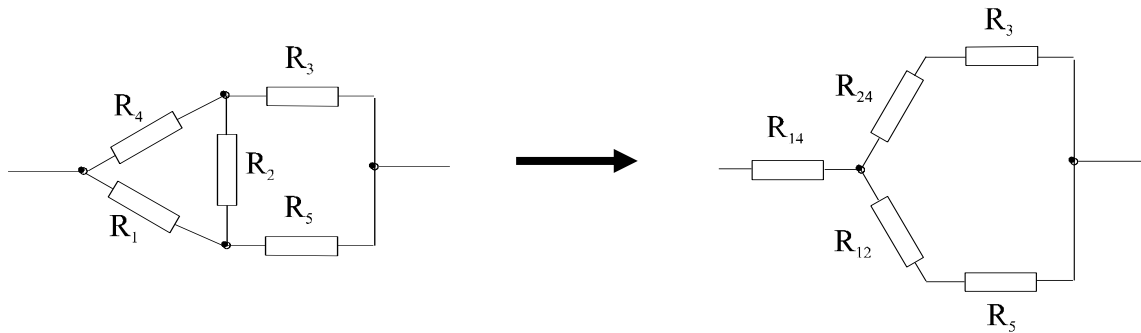
Zapojení rezistorů	Odpor vypočtený	Odpor naměřený	Relativní odchylka
KOMB1 	70,74 k Ω	71,03 k Ω	0,4 %
KOMB2 	90,95 k Ω	91,47 k Ω	0,6 %
KOMB3 	96,92 k Ω	97,50 k Ω	0,6 %
KOMB4 	14,61 k Ω	14,55 k Ω	0,4 %
KOMB5 	8,72 k Ω	8,50 k Ω	2,5 %

KOMB6		4,81 kΩ	4,70 kΩ	2,3 %
KOMB7		15,82 kΩ	15,87 kΩ	0,3 %
KOMB8		34,79 kΩ	34,99 kΩ	0,6 %

Tabulka č. 3: Složitější kombinace rezistorů

Zapojení rezistorů	Lze překreslit	Odpor vypočtený	Odpor naměřený	Relativní odchylka
KOMB9 		50,60 kΩ	50,60 kΩ	0,0%
KOMB10 		8,72 kΩ	8,50 kΩ	2,5 %
KOMB11 		14,55 kΩ	14,69 kΩ	1,0 %
KOMB12 		16,54 kΩ	16,66 kΩ	0,7 %

Při výpočtu KOMB12 je třeba transfigurovat trojúhelník tvořený rezistory R_1 , R_2 , R_4 na hvězdu:

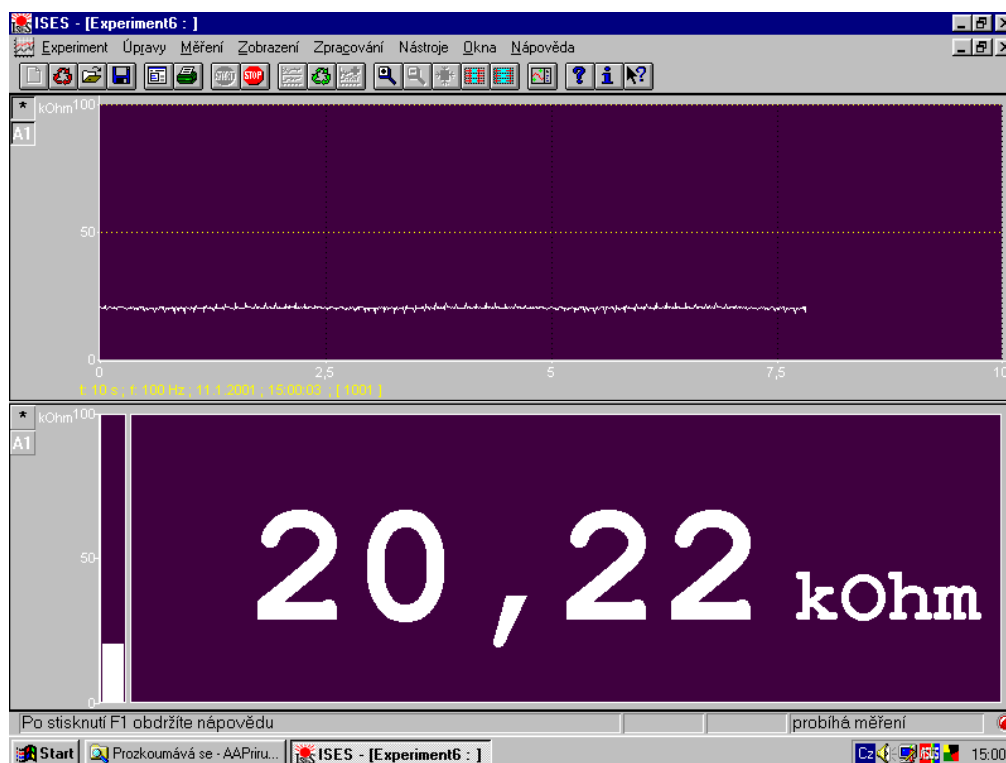


$$R_{14} = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_2 + R_4}, \quad R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_4}, \quad R_{24} = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1 + R_2 + R_4}$$

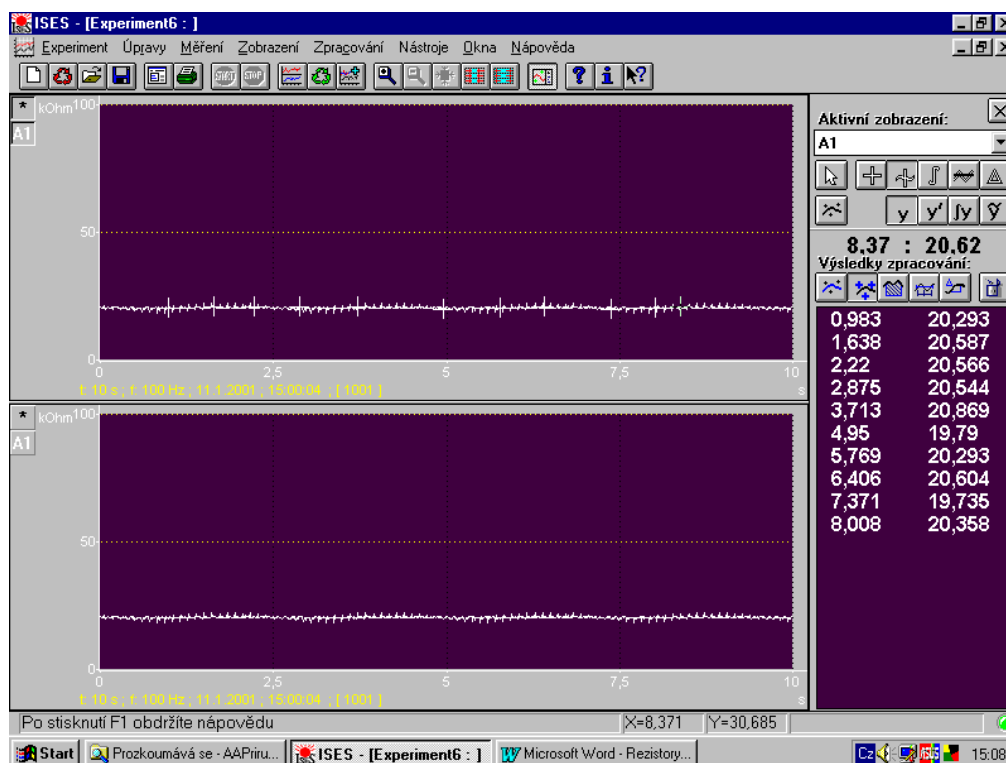
Závěr: Měřením jsme zjistili dobrou shodu mezi odporem jmenovitým (uvedeným u rezistoru) a odporem naměřeným ohmmetrem. Největší odchylka byla činila 9% u nejmenšího odporu. . Relativní odchylky kombinací rezistorů byly ve většině případů menší než 1%, což potvrzuje teoretické vzorce a současně vypovídá o tom, že ohmmetr měří přesně. Odchylky přes jedno procento se objevily u paralelních kombinací, kde vycházely nejmenší odpory a měřilo se tedy na počátku rozsahu 100 kΩ. Zde bylo vhodnější přepnout na rozsah 10 kΩ.

Ukázky měřicích obrazovek

Obrazovka během pětisekundového měření odporu



Hodnoty odporu získané nástrojem „Klouzavý odečet“



Řazení rezistorů

Elektrický zdroj napětí

ÚVODEM UPOZORNIT STUDENTY, ABY PŘI MANIPULACI NEPŘETRHLI ODPOROVÝ DRÁT.

Pomůcky:

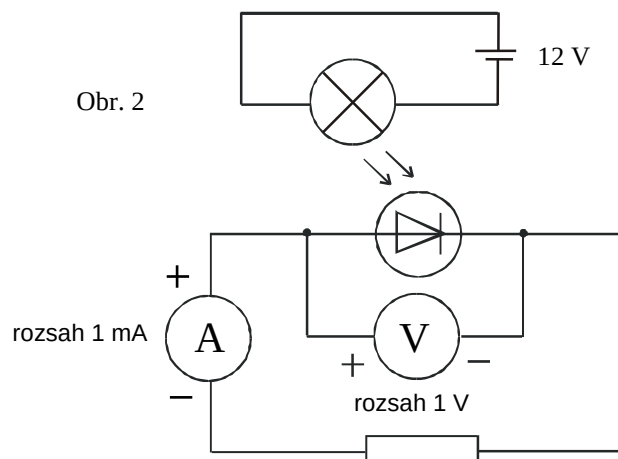
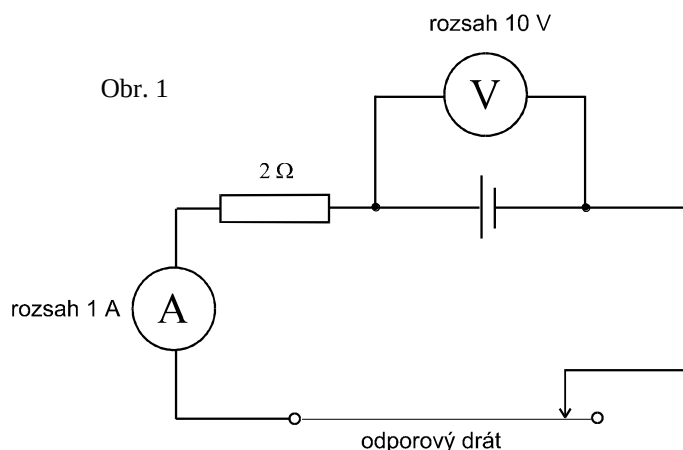
Systém ISES, moduly: voltmetr, ampérmetr, velký monočlánek 1,5 V, držák monočlánu, fotodiody 1PP75, zdroj elektrického napětí 12 V, žárovka na 12 V, odporový drát ($19\ \Omega$) na dřevěném pravitku, 9 spojovacích vodičů, 1 krokosvorka (zuby musejí do sebe dobře zapadat), sada rezistorů, soubory: zdroj1.imc, zdroj2.imc.

Úkoly:

- 1) Změřit zatěžovací charakteristiku monočlánu, určit elektromotorické napětí U_e , vnitřní odpor R_i , a zkratový proud I_z .
- 2) Sestrojit grafy: *Zatěžovací charakteristika monočlánu*, *Závislost výkonu monočlánu (do vnějšího rezistoru) na proudu*, *Závislost účinnosti monočlánu na proudu*.
- 3) Změřit zatěžovací charakteristiku fotodiody 1PP75 do maximálního proudu 0,15 mA, určit elektromotorické napětí U_e , vnitřní odpor R_i . Sestrojit *Zatěžovací charakteristiku fotodiody*.
- 4) **DOBROVOLNÝ:** Změřit zatěžovací charakteristiku fotodiody 1PP75 až do zkratového proudu. Sestrojit grafy *Zatěžovací charakteristika fotodiody*, *Závislost výkonu fotodiody (do vnějšího rezistoru) na proudu* pokusit se vysvětlit naměřený průběh.
- 5) **DOBROVOLNÝ:** Dopočítat potřebné hodnoty a sestrojit graf *Závislost výkonu monočlánu (do vnějšího rezistoru) na proudu* v celém možném rozsahu proudu (až po zkratový proud).

Teorie:

Zatěžovací charakteristika zdroje je závislost svorkového napětí na proudu odebíraném ze zdroje a lze ji změřit podle následujících schemat:



Rezistor o odporu $2\ \Omega$ slouží jako ochranný proti zkratu.

Z Ohmova zákona pro uzavřený obvod můžeme vyjádřit $U = -R_i \cdot I + U_e$, což lze chápat jako směrnicový tvar rovnice přímky. Průsečík s osou U je elektromotorické napětí, průsečík s osou I je zkratový proud a záporně vzatá směrnice udává vnitřní odpor.

Výkon zdroje do vnějšího rezistoru lze vypočítat jako $P = U \cdot I$, účinnost $\eta = \frac{U}{U_e}$.

Nastavení: zdroj1.imc - start krokový (20 kroků), panel č.1 - graf $U=f(I)$ napětí U od 0 V do 2 V, proud I od 0 A do 0,75 A

zdroj2.imc - start krokový (10 kroků), panel č.1 - graf $U=f(I)$ napětí U od 0 V do 0,5 V, proud I od 0 A do 0,15 mA

Provedení:

1.,2. úkol: Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** . Malé černé přepínače přepneme do poloh **0→** a — , čímž jsme nastavili měření stejnosměrného napětí s nulou na kraji, zasuneme do **kanálu A**.

Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **1 A** . Malý černý přepínač nastavíme do polohy **0→** , čímž jsme nastavili měření stejnosměrného proudu s nulou na kraji, zasuneme do **kanálu B**.

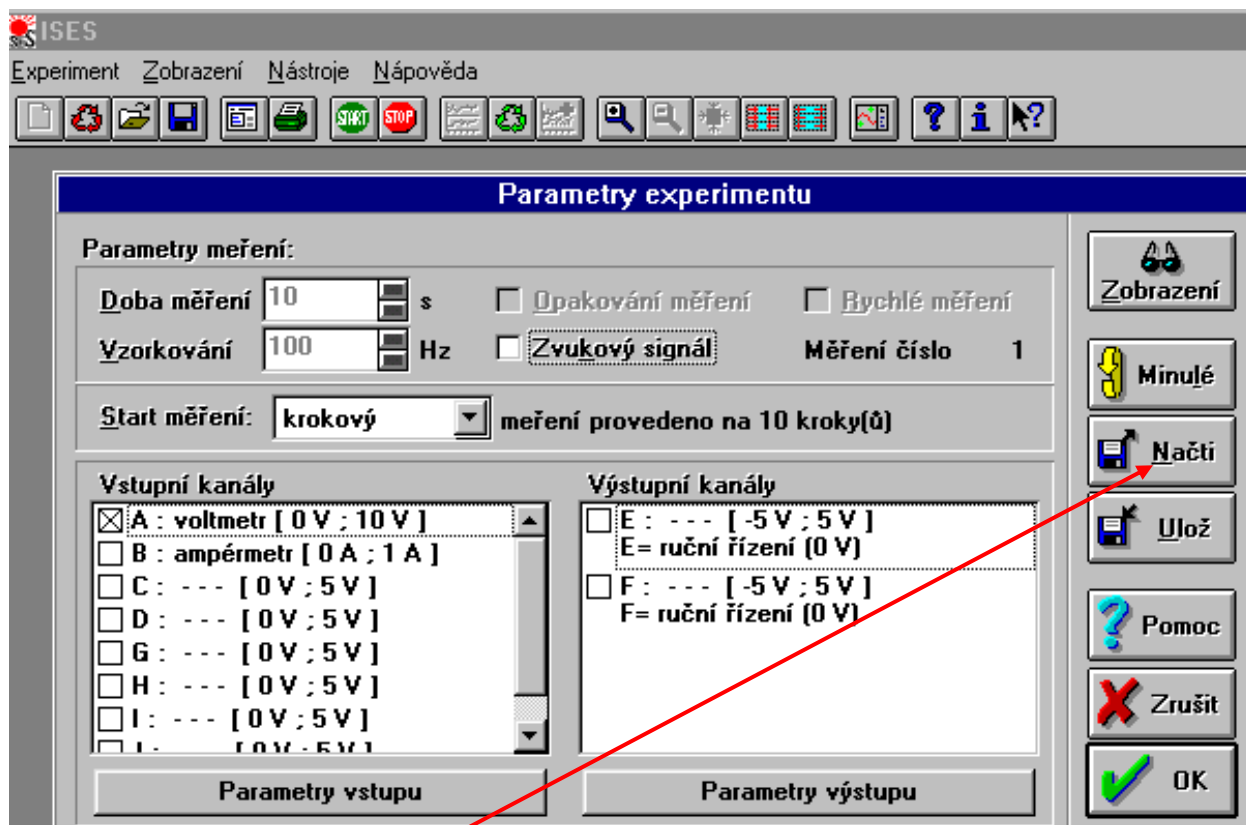
Nyní zapojíme celý obvod **bez připojení** vodičů k monočlátku.

Nastavení počítače:

Učitelský počítač na katedře musí být zapnutý. Nejprve dvojitým kliknutím na „**Software (G)**“ si umožníme přístup k souborům „**odpor1.imc**“ a „**odpor2.imc**“. Oba jsou v adresáři „**ises**“, který se objeví na obrazovce.

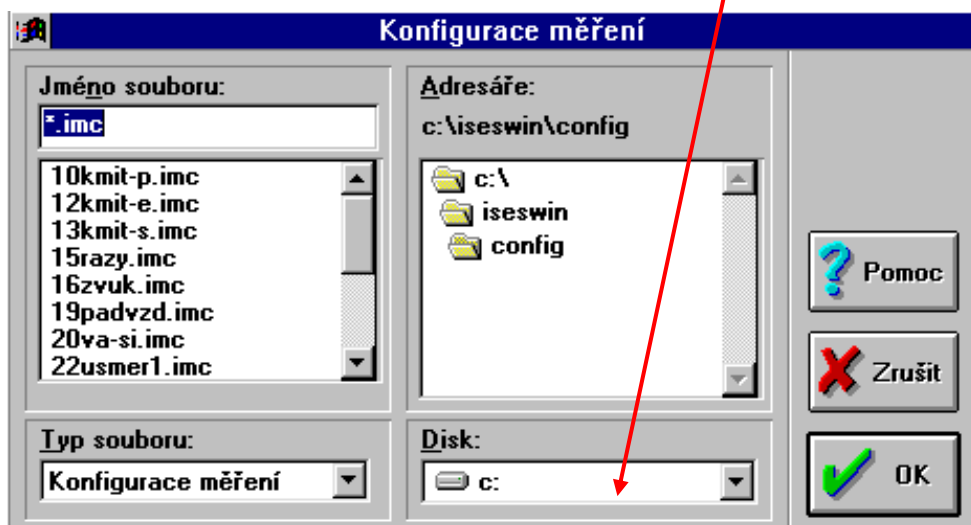
Pomocí ikony  spustíme program

Ikonou  založíme nový experiment. Tím se otevře okno :



Kliknutím na tlačítko „**Načti**“ se otevře okno „**Konfigurace měření**“.

Najdeme v něm soubor „**zdroj1.imc**“ v adresáři „**g:\\katedra\\software\\ises**“ a potvrdíme OK. Tím se načetly vhodné parametry experimentu a mohli bychom začít měřit napětí a proud pro zatěžovací charakteristiku monočlánku.



Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení a programu!

NEJDŮLEŽITĚJŠÍ JE KONTROLA AMPÉRMETRU – ROZSAH 1A!

Měření je připraveno ve 20 krocích. První krok provedeme při nulovém proudu. Po stisknutí ENTER se změří proud a napětí a vynese se bod do grafu na obrazovce. Při dalších krocích se postupně připojujeme krokosvorkou na různá místa odporového drátu a zatěžujeme tak zdroj různým proudem. Snažíme se využít celý rozsah proudu.



Opakované měření umožňují zelené šipky .

Aproximace (proložení bodů) přímkou

Počítač umí aproximovat, tedy proložit body optimální přímkou. Stiskneme ikonu, která znamená „**Zpracování hodnot**“. Otevře se okno, v němž zvolíme „**Klouzavý odečet**“. Souřadnice všech bodů se nyní objeví v okně. Přepíšeme je do tabulky č.1.

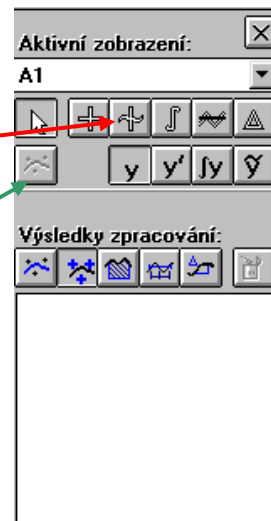


Klikneme na ikonu „**aproximace**“, čímž se objeví okno „**Aproximace**“.

Je vybráno proložení přímkou, i když vidíme i jiné možnosti. Potvrdíme OK.

Do grafu se proloží přímka a její rovnice se objeví v okně místo souřadnic. Může vypadat např. takto: $y = -0,41x + 1,50$.

Záporně vzatá směrnice přímky, tedy číslo 0,41, je vnitřní odpor zdroje (R_i) v ohmech. Hodnota 1,50 udává elektromotorické napětí (U_e) ve voltech. Hodnoty zapíšeme do tabulky č.2.



3. úkol: Do třetího úkolu přejdeme pomocí červených šipek , dále „**Načti**“ a to soubor „**zdroj2.imc**“ v adresáři „**g:\\katedra\\software\\ises**“.

Nyní změníme elektrické zapojení (obr. 2). Fotodioda je otočena směrem od okna, světla ve třídě jsou zhasnutá. Žárovku napájíme ze zdroje 12 V. Jako první použijeme odpor 50 kΩ.

Opět necháme zkontrolovat vyučujícím!

Po spuštění měření je vidět, že je znovu nastaveno „**krokové měření**“, tentokrát v deseti krocích. Stiskneme ENTER a do grafu na obrazovce se zanesou první bod. Změníme odpor na 20 kΩ a znovu

zaneseme bod. Tak pokračujeme pro odpory 15 k Ω , 10 k Ω , 7 k Ω , 6 k Ω , 5 k Ω , 4 k Ω , 3,5 k Ω , 3 k Ω . Některé odpory je třeba vytvořit jako kombinace.

Po posledním kroku zvolíme “**Zpracování hodnot**”  a “**klouzavý odečet**”  a souřadnice bodů přepíšeme do tabulky č. 3. Po proložení přímkou získáme R_i (pozor! je v kiloohmech) a U_e ve voltech, které zapíšeme do tabulky č. 2.

4. úkol: DOBROVOLNÝ ÚKOL: Zvolíme opakování červenými šipkami, tlačítka “**zobrazení**” a “**definice**”, pak upravíme rozsah na ose x do 0,6 mA a počet kroků na 25. Ve stejném zapojení jako obr. 2 budeme proměřovat zatěžovací charakteristiku při vyšších proudech až téměř do zkratu. Nastavili jsme 25 kroků pro tyto odpory: 50 k Ω , 20 k Ω , 15 k Ω , 10 k Ω , 7 k Ω , 6 k Ω , 5 k Ω , 4 k Ω , 3,5 k Ω , 3 k Ω , 2,5 k Ω , 2 k Ω , 1,7 k Ω , 1,5 k Ω , 1,2 k Ω , 1 k Ω , 700 Ω , 600 Ω , 500 Ω , 400 Ω , 300 Ω , 200 Ω , 100 Ω , 20 Ω , 10 Ω .

5. úkol: DOBROVOLNÝ ÚKOL: Provedeme výpočty umožňující sestavit graf *Závislost výkonu monočlánu (do vnějšího rezistoru) na proudu až do zkratového proudu*, tedy i mimo oblast, ve které jsme monočlánek proměřovali.

Zkrácená verze

- Na modulu voltmetr nastavíme **10 V** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu A**.
- Na modulu ampérmetr nastavíme **1 A** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu B**.
- Zapojíme obvod podle obr. 1 bez připojení vodičů k monočlánu.
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme soubory **zdroj1.imc** a **zdroj2.imc**.
- Spustíme ISES, založíme nový experiment, načteme do konfigurace **zdroj1.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Ve 20 krocích proměříme zatěžovací charakteristiku zdroje (1.krok při nulovém proudu).
- Pomocí klouzavého odečtu získáme hodnoty do tabulky č.1
- Pomocí aproximace přímkou získáme U_e , R_i do tabulky č.2.
- Zapojíme obvod s fotodiodou (obr. 2). K jejímu osvětlení použijeme žárovku napájenou ze zdroje napětí 12 V.
- Přepneme rozsah voltmetru na **1 V** a ampérmetru na **1 mA**.
- Načteme do konfigurace **zdroj2.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Proměříme zatěžovací charakteristiku postupným zapojováním odporů 50 k Ω , 20 k Ω , 15 k Ω , 10 k Ω , 7 k Ω , 6 k Ω , 5 k Ω , 4 k Ω , 3,5 k Ω , 3 k Ω .
- Jako u monočlánu určíme aproximaci U_e , R_i .
- Upravíme rozsah osy x na 0,6 mA.
- Proměříme zatěžovací charakteristiku při vyšších proudech až téměř do zkratu pro odpory: 50 k Ω , 20 k Ω , 15 k Ω , 10 k Ω , 7 k Ω , 6 k Ω , 5 k Ω , 4 k Ω , 3,5 k Ω , 3 k Ω , 2,5 k Ω , 2 k Ω , 1,7 k Ω , 1,5 k Ω , 1,2 k Ω , 1 k Ω , 700 Ω , 600 Ω , 500 Ω , 400 Ω , 300 Ω , 200 Ω , 100 Ω , 20 Ω , 10 Ω .

Protokol

Název: Elektrický zdroj napětí

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

Tabulka č.1: monočlánek

č. měření	$\frac{I}{A}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{P}{W}$	$\frac{\eta}{\%}$
1	...	...	...	-
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...
5	...	...	...	...
6	...	...	...	...
7	...	...	...	...
8	...	...	...	...
9	...	...	...	...
10	...	...	...	...
11	...	...	...	...
12	...	...	...	...
13	...	...	...	...
14	...	...	...	...
15	...	...	...	...
16	...	...	...	...
17	...	...	...	...
18	...	...	...	...
19	...	...	...	...
20	...	...	...	...

Tabulka č.2: monočlánek a fotodioda

Zdroj napětí	$\frac{U_e}{V}$	$\frac{R_i}{\Omega}$	$\frac{I_z}{A}$
monočlánek	...	...	...
fotodioda	...	...	-

Tabulka č.3: fotodioda

č. měření	$\frac{R}{k\Omega}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{P}{mW}$	$\frac{\eta}{\%}$
1	50	...	...	...	...
2	20	...	...	...	...
3	15	...	...	...	...
4	10	...	...	...	...
5	7	...	...	...	...
6	6	...	...	...	...
7	5	...	...	...	...
8	4	...	...	...	...
9	3,5	...	...	...	...
10	3	...	...	...	...

Grafy: *Zatěžovací charakteristika monočlánu*

Závislost výkonu monočlánu do vnějšího rezistoru na proudu

Závislost účinnosti monočlánu na proudu

Zatěžovací charakteristika fotodiody

Závěr: Porovnat shodné a odlišné rysy obou zatěžovacích charakteristik. Diskutovat průběh dalších grafů. Porovnat oba použité zdroje napětí.

Výsledky

Tabulka č.1: monočlánek

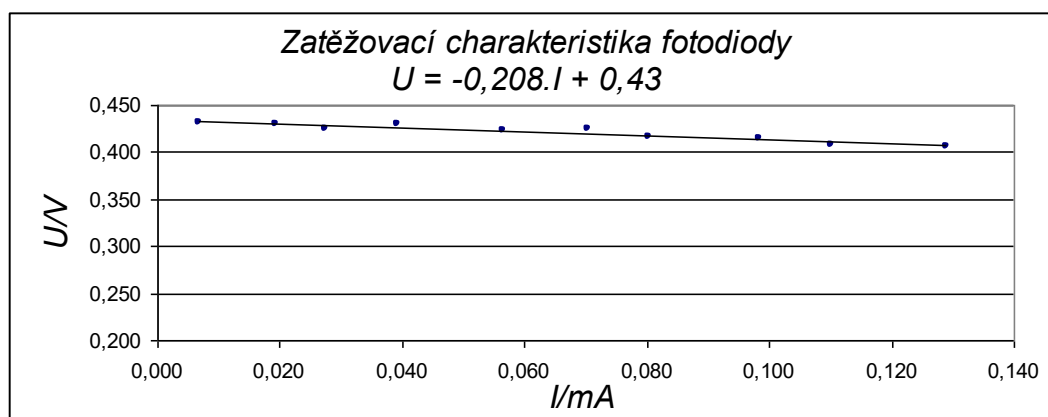
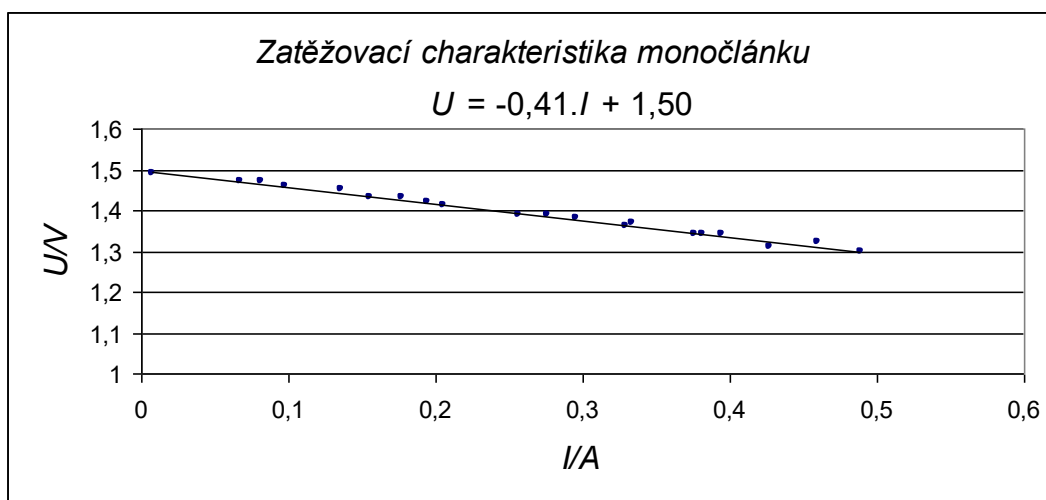
č. měření	$\frac{I}{A}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{P}{W}$	$\frac{\eta}{\%}$
1	0,008	1,49	0,012	-
2	0,067	1,47	0,098	97,7
3	0,082	1,47	0,121	97,7
4	0,098	1,46	0,143	97,0
5	0,136	1,45	0,197	96,3
6	0,155	1,43	0,222	95,0
7	0,177	1,43	0,253	95,0
8	0,195	1,42	0,277	94,4
9	0,205	1,41	0,290	93,7
10	0,256	1,39	0,355	92,4
11	0,276	1,39	0,385	92,4
12	0,296	1,38	0,410	91,7
13	0,329	1,36	0,448	90,4
14	0,334	1,37	0,459	91,0
15	0,376	1,34	0,503	89,0
16	0,381	1,34	0,511	89,0
17	0,395	1,34	0,529	89,0
18	0,427	1,31	0,561	87,0
19	0,460	1,32	0,607	87,7
20	0,489	1,30	0,638	86,4

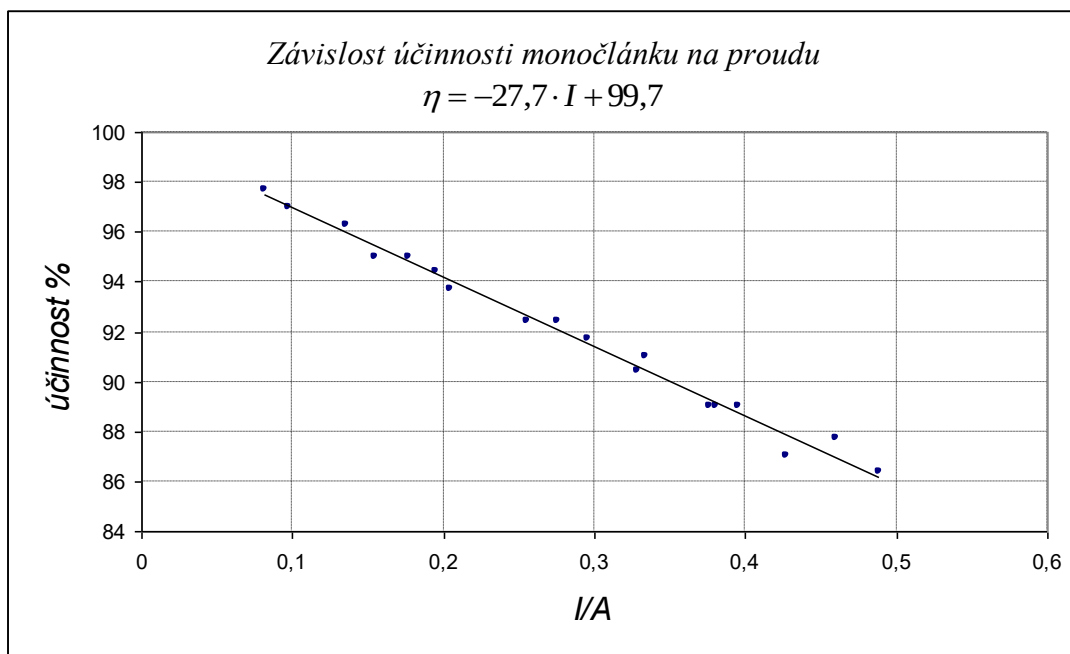
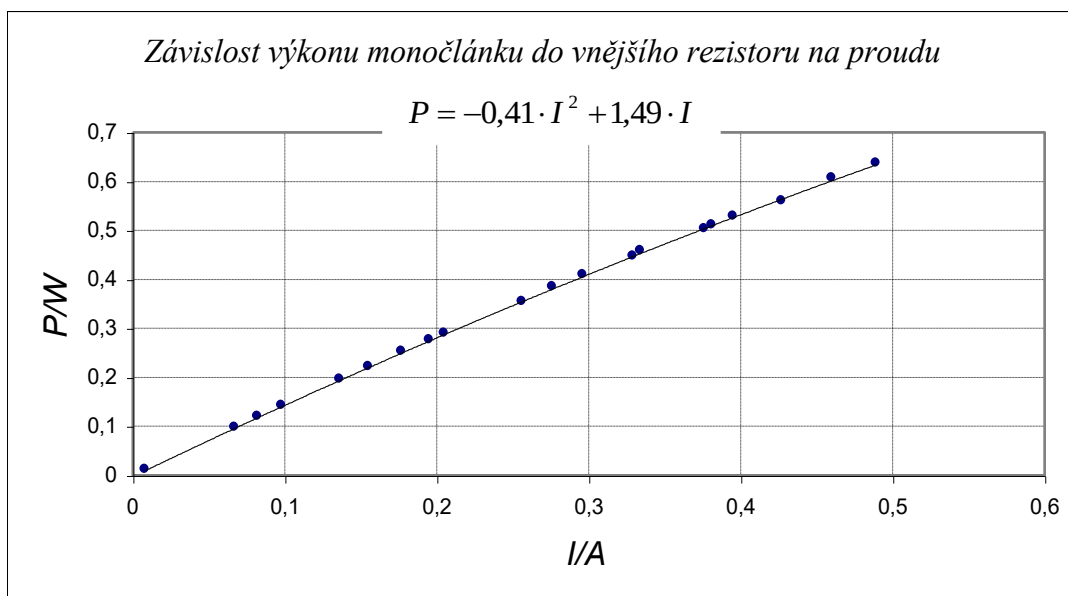
Tabulka č.2: monočlánek a fotodioda

Zdroj napětí	$\frac{U_e}{V}$	$\frac{R_i}{\Omega}$	$\frac{I_z}{A}$
monočlánek	1,50	0,41	3,66
fotodioda	0,43	208	-

Tabulka č.3: fotodioda

č. měření	$\frac{R}{k\Omega}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{P}{mW}$	$\frac{\eta}{\%}$
1	50	0,007	0,431	0,0029	98,7
2	20	0,019	0,430	0,0083	98,3
3	15	0,027	0,425	0,0116	97,2
4	10	0,039	0,430	0,0169	98,4
5	7	0,056	0,422	0,0238	96,7
6	6	0,070	0,424	0,0298	97,0
7	5	0,080	0,416	0,0334	95,2
8	4	0,098	0,415	0,0408	94,9
9	3,5	0,110	0,408	0,0450	93,4
10	3	0,129	0,407	0,0524	93,0

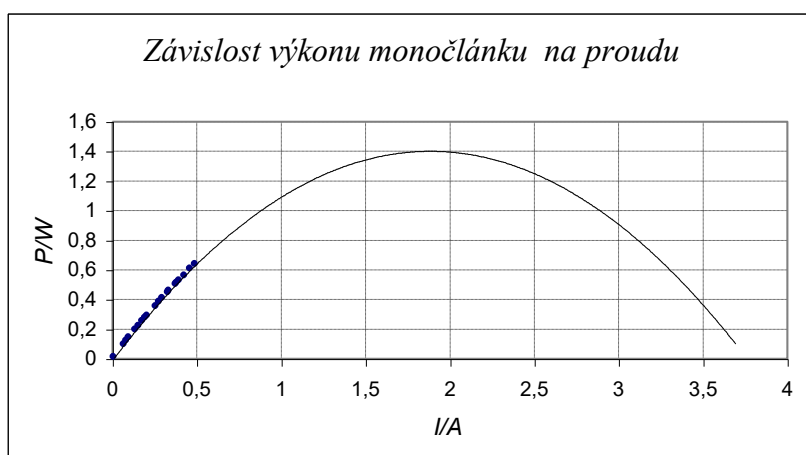
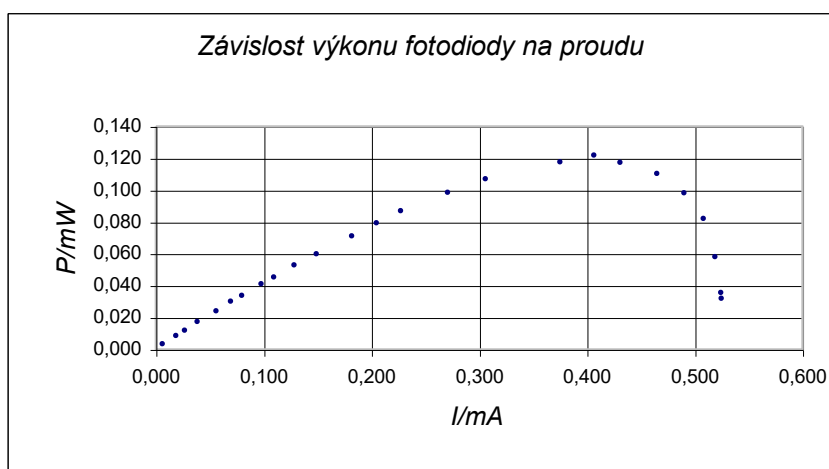
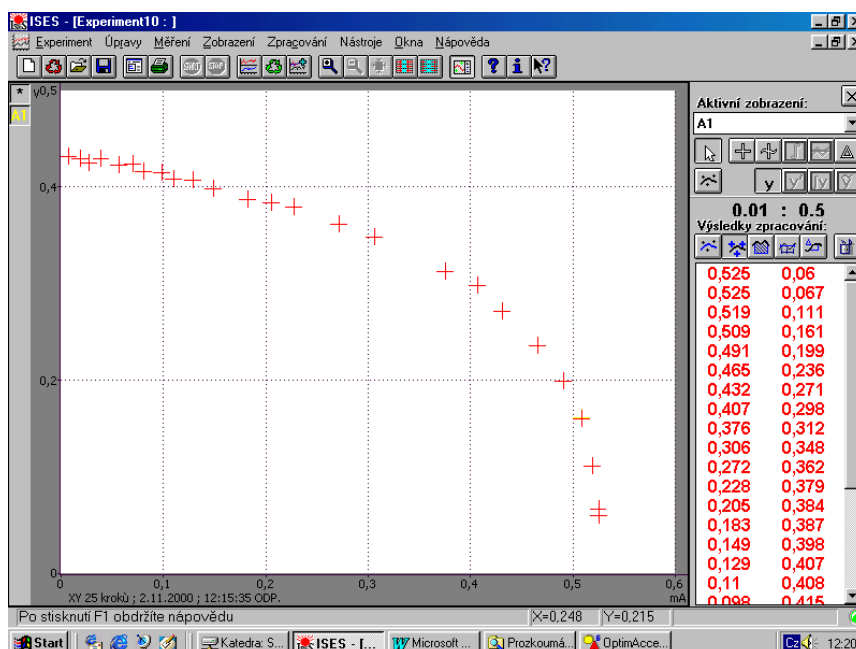




Závěr: V měřeném rozsahu zatěžovacího proudu jsou obě zatěžovací charakteristiky monočlánu i fotodiody klesající přímky. Zdroje se však liší v elektromotorickém napětí 1,53 V a 0,43 V, ale především v hodnotě vnitřního odporu, který je u fotodiody přibližně 500-krát větší. Závislost výkonu monočlánu do vnějšího rezistoru se v měřeném rozsahu jeví lineární (s rostoucím proudem výkon roste), ve skutečnosti však jde o kvadratickou funkci. Účinnost monočlánu s rostoucím proudem klesá lineárně.

Tabulka č.4: fotodioda

č. měření	$\frac{R}{k\Omega}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{P}{mW}$	$\frac{\eta}{\%}$
1	50	0,007	0,431	0,0029	98,7
2	20	0,019	0,430	0,0083	98,3
3	15	0,027	0,425	0,0116	97,2
4	10	0,039	0,430	0,0169	98,4
5	7	0,056	0,422	0,0238	96,7
6	6	0,070	0,424	0,0298	97,0
7	5	0,080	0,416	0,0334	95,2
8	4	0,098	0,415	0,0408	94,9
9	3,5	0,110	0,408	0,0450	93,4
10	3	0,129	0,407	0,0524	93,0
11	2,5	0,149	0,398	0,0595	91,1
12	2	0,183	0,387	0,0706	88,5
13	1,7	0,205	0,384	0,0788	87,8
14	1,5	0,228	0,379	0,0864	86,7
15	1,2	0,272	0,362	0,0982	82,8
16	1	0,306	0,348	0,1066	79,6
17	0,7	0,376	0,312	0,1172	71,4
18	0,6	0,407	0,298	0,1214	68,2
19	0,5	0,432	0,271	0,1171	62,1
20	0,4	0,465	0,236	0,1099	54,0
21	0,3	0,491	0,199	0,0976	45,5
22	0,2	0,509	0,161	0,0818	36,8
23	0,1	0,519	0,111	0,0578	25,5
24	0,02	0,525	0,060	0,0317	13,8
25	0,01	0,525	0,067	0,0352	15,3

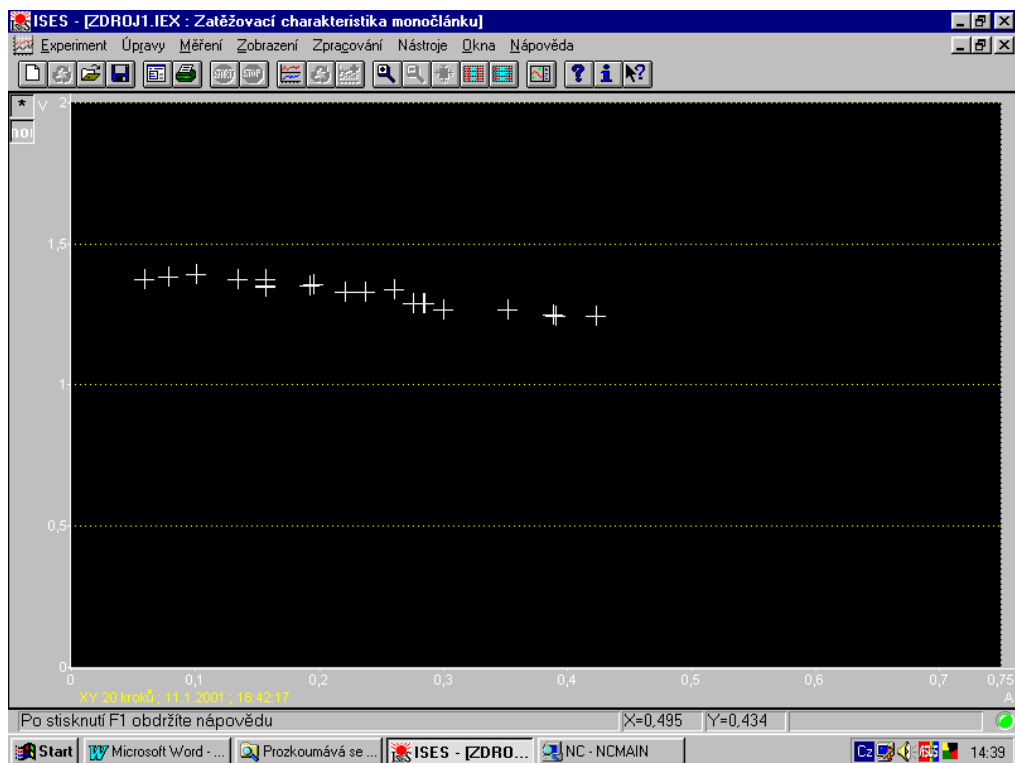


Závěr: Zatěžovací charakteristika fotodiody měřená až do zkratového proudu již není lineární funkce (ale ani kvadratická). Zkratový proud vypočtený z počátku charakteristiky by byl 2 mA, zatímco skutečný zkratový proud je přibližně 0,5 mA. Závislost výkonu fotodiody do rezistoru vykazuje maximum pro 0,4 mA. Je zřejmé, že vnitřní odpor fotodiody s rostoucím proudem také roste.

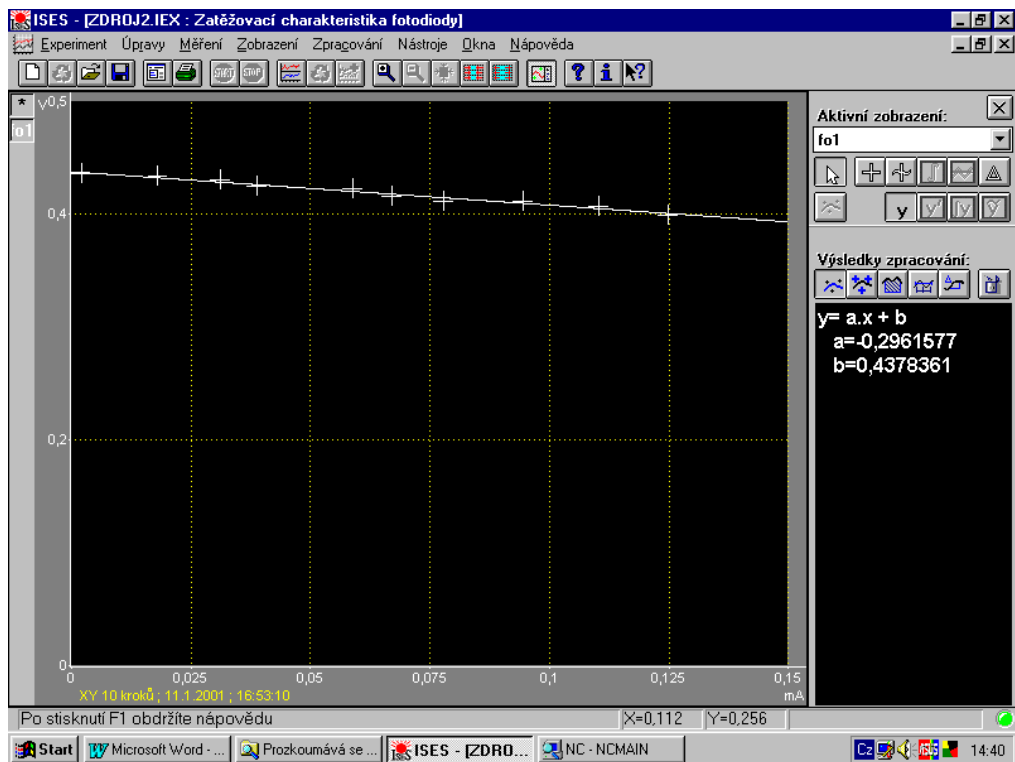
Závislost výkonu monočlánu na proudu je kvadratická funkce s maximem pro přibližně 2 A. Je to stav, kdy vnější odpor je roven odporu vnitřnímu (výkonové přizpůsobení zdroje).

Ukázky měřicích obrazovek

Úkol č. 1: Zatěžovací charakteristika monočlánku (zdroj1.imc)



Úkol č. 3: Zatěžovací charakteristika fotodiody – aproximace přímkou (zdroj2.imc)



Fotorezistor

Pomůcky:

Systém ISES, modul ohmmetr, fotorezistor, 2 spojovací vodiče, barevné filtry (modrý, zelený, žlutý, červený – pro jedno pracoviště 8 filtrů stejné barvy), žárovka, soubory: **fotorez1.imc**, **fotorez2.imc**, **fotorez3.imc**, **fotorez4.imc**.

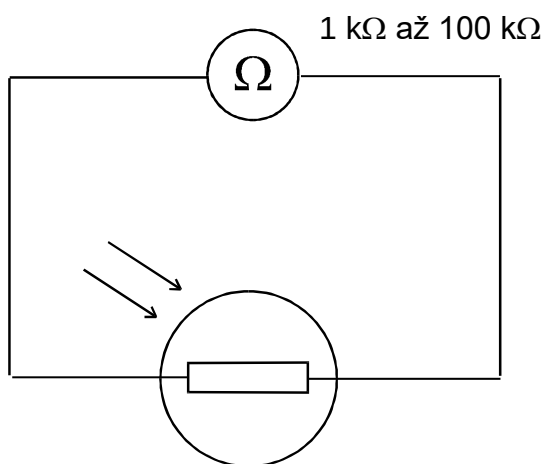
Úkoly:

- 1) Vyzkoušet citlivost fotorezistoru na světlo. Určit jeho odpor při úplném osvětlení a při úplném zastínění.
- 2) Určit závislost propustnosti barevných filtrů na jejich počtu. Sestrojit graf : *Závislost vodivosti (propustnosti) na počtu filtrů* a provést výpočet propustnosti pro 15 filtrů na sobě.
- 3) Změřit frekvenci blikání žárovek a změny odporu.
- 4) Změřit dobu krátkého zastínění fotorezistoru.

Teorie:

Fotorezistor je polovodičová součástka, jejíž odpor závisí na množství dopadajícího světla (záření). Při poklesu osvětlení roste odpor a tedy klesá vodivost fotorezistoru. Odpor měříme ohmmetrem, vodivost vypočítáme $G = \frac{1}{R}$. Předpokládejme, že vodivost je přímo úměrná osvětlení (při dodržení spektrálního složení světla) a tedy také propustnosti filtru.

Obr. 1



Blikání žárovek se projeví jako velmi rychlé změny odporu fotorezistoru, které však při frekvenci 1000 měření za sekundu dokáže počítač zachytit.

Nastavení: fotorez1.imc – čas 5 s, 100 Hz, automatický start, panel č.1 - odpor 0 kΩ až 1 kΩ digitálně (2 desetinná místa), panel č.2 - graf $R=f(t)$ odpor R od 0 kΩ do 1 kΩ
 fotorez2.imc – stejné nastavení až na rozsah odporu 0 kΩ až 10 kΩ
 fotorez3.imc – čas 2 s, 1000 Hz, automatický start, panel č.1 - odpor 0 kΩ až 1 kΩ digitálně (2 desetinná místa), panel č.2 - graf $R=f(t)$ odpor R od 0 kΩ do 1 kΩ
 fotorez4.imc – čas 2 s, 1000 Hz, automatický start, panel č.1 - graf $R=f(t)$ odpor R od 0 kΩ do 10 kΩ

Provedení:

1. úkol: Na **ohmmetru** nastavíme rozsah **1 k Ω** , zasuneme jej do **kanálu A**, připojíme fotorezistor (viz obr. 1)

Učitel'ský počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES. Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „**fotorez1.imc**“ a spustíme měření.

Na obrazovce se objevuje údaj o odporu a graf závislosti odporu na čase. Zkoumáme citlivost na změnu polohy fotorezistoru i osob a věcí v okolí. Zastiňujeme fotorezistor z různých vzdáleností, můžeme si nechat „spočítat prsty“.

Do protokolu zapíšeme odpor při maximálním osvětlení R_{min} a při úplném zastínění R_{max} (bude třeba přepnout rozsah ohmmetru asi až na 100 k Ω , možná i výše.).

Opakování pokusu umožňují zelené šipky 

Ukončení měření provedeme dvojitým kliknutím levého tlačítka na ikonu „Stop“ 

2. úkol: Červenými šipkami zvolíme nahrazení pokusu a do konfigurace načteme z katedry soubor „**fotorez2.imc**“. Na **ohmmetru** nastavíme odpor **10 k Ω** . Fotorezistor umístíme na stálé místo a položíme na něj jeden filtr. Spustíme měření, které trvá 5 s. Pak pomocí ikony „**zprac**“  a „**klouzavý odečet**“  vybereme asi 10 hodnot a provedeme „**aproximaci**“ přímkou.

Výsledek bude např. takový:

$$y = 0,022x + 0,762$$

Proložená přímka by měla představovat konstantní funkci, tedy její směrnice by měla být nula nebo blízko nuly. Hodnota 0,762 je pro nás průměrná hodnota poněkud se měnícího odporu $R(1)$ v kiloohmech a její převrácená hodnota je vodivost $G(1)$ v milisiemens. Zapíšeme do tabulky č. 1.

Staré údaje vymažeme vždy pomocí ikony „**smazání výsledků**“ . Na fotorezistor položíme druhý filtr, zopakujeme měření pomocí zelených šipek a podobně určíme $R(2)$ a $G(2)$, tak postupujeme až do osmi filtrů. Během měření by neměl být okolo pohybu, aby se neměnilo osvětlení.

Mezi výsledkem aproximace a odečtenými hodnotami se přepíná ikonou  a .

Vodivosti v tabulce č. 1 tvoří posloupnost klesajících čísel, tak jak při zvyšujícím se počtu filtrů klesá propustnost světla. Do posledního sloupce tabulky vypočítáme poměry $G(n+1)/G(n)$. Pokud např. poměr $G(3)/G(2)$ vyjde 0,76, fyzikálně to znamená, že třetí filtr propustil 76% světla procházejícího prvními dvěma filtry.

Provedeme výpočet $G(8)/G(1)$ vyjádříme slovy jeho fyzikální význam. Pokusíme se vypočítat, kolik světla by prošlo přes 15 filtrů.

3. úkol: Na **ohmmetru** nastavíme odpor **1 k Ω** . Červenými šipkami zvolíme nahrazení pokusu a do konfigurace načteme z katedry soubor „**fotorez3.imc**“. Povšimneme si, že vzorkování je teď 1000 Hz. Spustíme měření při rozsvícených zářivkách. Během dvousekundového měření se zobrazí graf, který je ale nějak „rozmazaný“. Během 2 sekund se totiž provedlo 2000 měření a tím se zachytilo i kolísání jasu zářivek a tedy kolísání odporu..

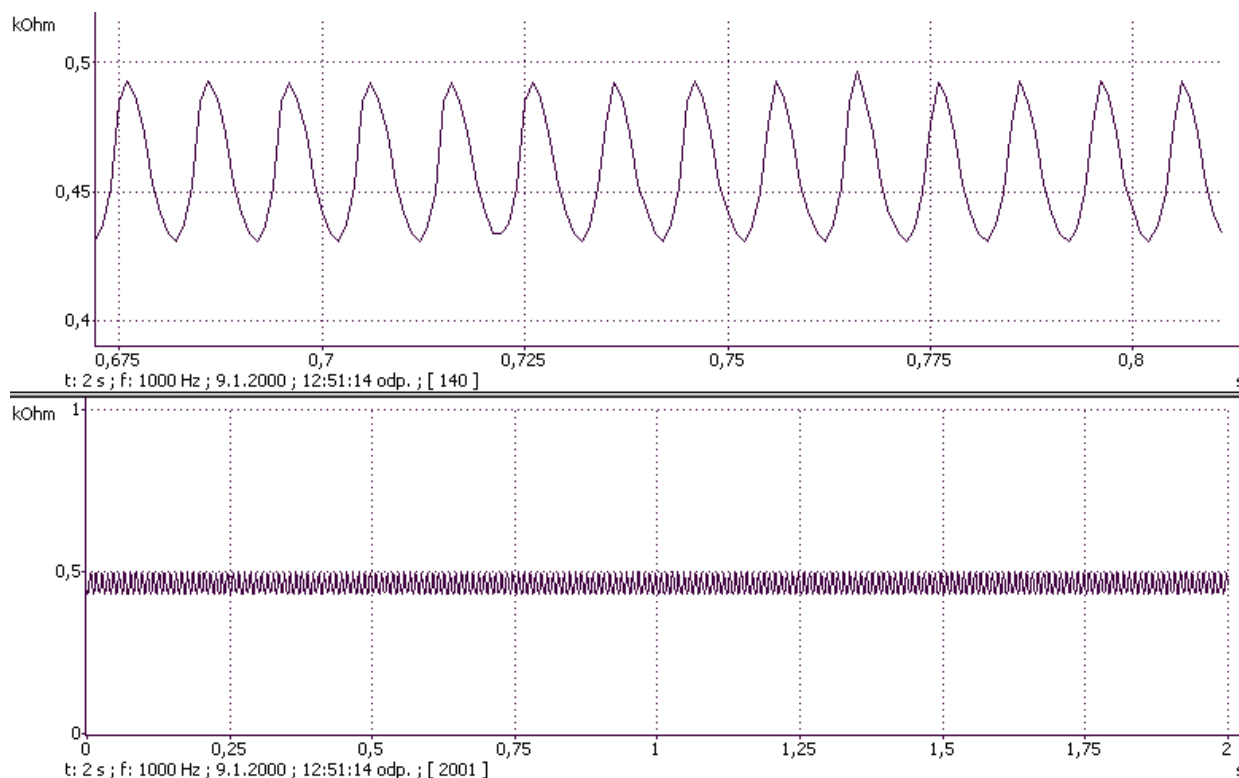
Blíže si prohlédneme graf pomocí „**lupy**“ . Najedeme-li kurzorem na plochu grafu- změní se na tuto značku 

Umístíme lupu ke grafu, držíme stlačené levé tlačítko myši, provedeme výřez a tlačítko uvolníme. Pokud se nám zvětšení zdá být nedostačující, můžeme postup opakovat. Provedeme zvětšení asi 11 period.



Návrat zpátky ke zmenšení se provede ikonou

Po zvětšení je vidět, že grafem je periodická křivka. Nejnižší hodnoty odporu odpovídají okamžikům maximálního osvětlení. Horní špičky na křivce zase přísluší minimálnímu osvětlení.



Nyní z grafu zjistíme, jak odpor kolísá.

Zvolíme ikonu „zpracování“  a nástroj „odečet rozdílů“. .

Kurzor se nad plochou grafu změní na tento tvar:  Je to symbol Δ (delta), tedy rozdíl x -ových a y -ových souřadnic.

Umístíme křížek na nějaké minimum a při stlačeném levém tlačítku myši táhneme na libovolné maximum a pak uvolníme. V okně „výsledky zpracování“ se objeví vedle sebe dvojice čísel. To první je Δx (rozdíl časů) a to druhé Δy (rozdíl odporů).

Zapišeme do protokolu.

$$\Delta R = .. \Omega$$

Dále z grafu zjistíme frekvenci blikání.

Pomocí ikony „odečet rozdílů“ odečteme čas připadající na 10 period. Čas odpovídající jedné periodě získáme vydělením deseti. Frekvenci $f = \frac{1}{T}$ zaokrouhlíme na celé hertzy.

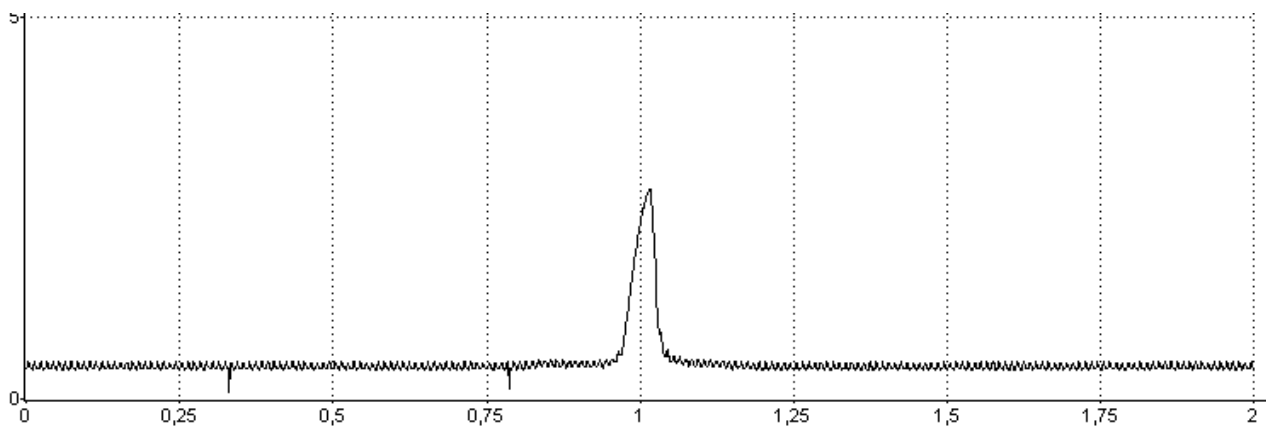


Program ale umí změřit frekvenci i pomocí ikony „odečet frekvence“. Kurzor se změní nad plochou grafu na vlnovku. Umístíme jej na libovolné místo a při stlačení levém tlačítku přetáhneme zleva doprava přes zhruba 10 period a tlačítko uvolníme (*tažená čára musí protínat graf!*). V okně „výsledky zpracování“ přečteme frekvenci a zaokrouhlíme na celé hertzy.

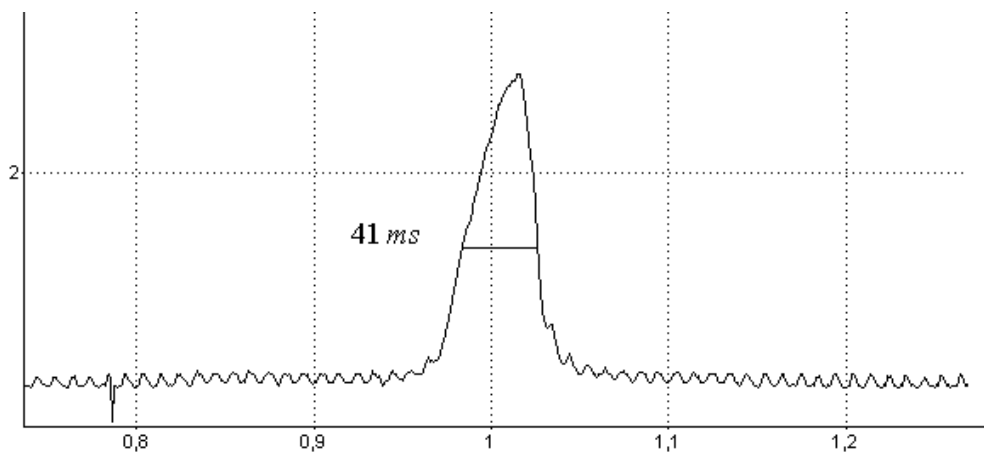
Oba postupy (přes periodu i přímé měření frekvence) zopakujeme několikrát, abychom se přesvědčili, že se s časem frekvence nemění. Zapišeme do protokolu.

4. úkol: Ohmmetr přepneme na rozsah **10 k Ω** . Červenými šipkami zvolíme nahrazení pokusu a do konfigurace načteme z katedry soubor „fotorez4.imc“, který opět měří 1000 krát za sekundu a spustíme měření. Během dvou sekund je třeba prstem jemně klepnout na fotorezistor, aby se na okamžik zakryl. Dokážete odhadnout, jak dlouho zakrytí trvá?

Dobu zakrytí nyní určíme z grafu na obrazovce:



Okolí extrému si pomocí lupy zvětšíme a asi v polovině výšky píku (to je užívaný název) provedeme pomocí nástroje „odečet rozdílu“ odečtení času.



Experiment nahradíme pomocí červených šipek.

Pokus si každý vyzkouší několikrát a do tabulky č. 2 zapiše pět vlastních zdařilých pokusů.

Zkrácená verze

- Na modulu ohmmetr nastavíme rozsah **1 k Ω** a zasuneme do **kanálu A**.
- Dvěma vodiči připojíme fotorezistor.
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme soubory **fotorez1.imc** až **fotorez4.imc**.
- Spustíme ISES, založíme nový experiment, načteme do konfigurace **fotorez1.imc**.
- Hledáme R_{min} a R_{max} .
- Měření ukončíme dvojitým STOP.
- Na modulu ohmmetr nastavíme rozsah **10 k Ω** a načteme **fotorez2.imc**.
- Pomocí **Zpracování – Klouzavý odečet – Aproximace – přímkou** určíme pro jeden až osm filtrů průměrnou hodnotu odporu $R(n)$ a vodivosti $G(n)$.
- Výsledky zapíšeme do tabulky č. 1 a provedeme příslušné výpočty.
- Na modulu ohmmetr nastavíme rozsah **1 k Ω** , načteme **fotorez3.imc**.
- Změříme osvětlení od zářivek, lupou upravíme graf (asi 11 period).
- Pomocí nástroje **Odečet rozdílu** změříme kolísání odporu a 10 period, vypočteme frekvenci.
- Pomocí nástroje **Odečet frekvence** určíme znovu frekvenci.
- Na modulu ohmmetr nastavíme rozsah **10 k Ω** a načteme **fotorez4.imc**.
- Krátce klepneme na fotorezistor prstem.
- Zvětšíme si pík lupou a pomocí nástroje **Odečet rozdílu** určíme dobu zastínění v polovině výšky píku. Pět zdařilých pokusů ,zapíšeme do tabulky č. 2.

Protokol

Název: Fotorezistor

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

- 1) Odpor fotorezistoru při maximálním osvětlení: $R_{min} = \dots \text{ k}\Omega$
 při úplném zastínění: $R_{max} = \dots \text{ k}\Omega$

- 2) *Tabulka č. 1: Propustnost filtrů (červený nebo zelený nebo modrý nebo žlutý)*

počet filtrů	$\frac{R(n)}{\text{k}\Omega}$	$\frac{G(n)}{\text{mS}}$	$\frac{G(n+1)}{G(n)}$
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...

Porovnání propustnosti jednoho a osmi filtrů: $\frac{G(8)}{G(1)} = \dots$

- 3) Blikání zářivek

změny odporu: $\Delta R = \dots \Omega$

měření periody: $10T = \dots \text{ s}$, $1T = \dots \text{ s}$, $f = \dots \text{ Hz}$

měření frekvence: $f' = \dots \text{ Hz}$

- 4) *Tabulka č. 2: Zastínění fotorezistoru prstem*

Č. měření	1	2	3	4	5
$\frac{\Delta t}{\text{ms}}$	..	..	..	..	..

Závěr: Diskutovat závislost odporu fotorezistoru na osvětlení, porovnat propustnost jednoho až osmi stejných filtrů na sobě, vyhodnotit graf. Kolik procent světla by prošlo přes 15 takových filtrů? Jaké jsou změny odporu fotorezistoru při blikání zářivek? S jakou frekvencí blikají zářivky? Porovnáme s frekvencí střídavého napětí v zásuvce. Kolik milisekund vám průměrně trvá klepnutí prstem na fotorezistor?

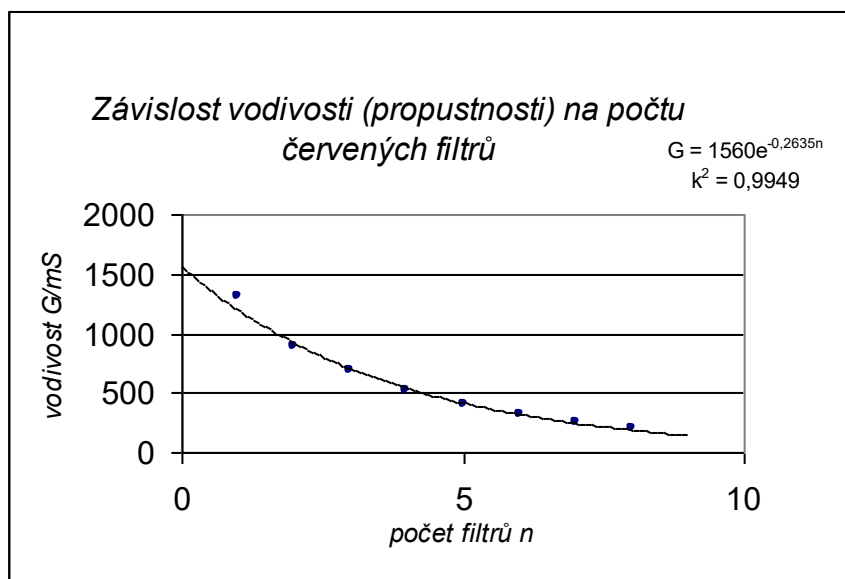
Výsledky

- 1) Odpor fotorezistoru při plném osvětlení: např. $R_{min} = 0,43 \text{ k}\Omega$
 při úplném zastínění: např. $R_{max} = 22 \text{ k}\Omega$ (může být až megaohmy)

2) *Tabulka č. 1: Propustnost filtrů (červený)*

počet filtrů	$\frac{R(n)}{\text{k}\Omega}$	$\frac{G(n)}{\text{mS}}$	$\frac{G(n+1)}{G(n)}$
1	0,762	1312	-
2	1,120	893	0,68
3	1,468	681	0,76
4	1,908	524	0,77
5	2,430	412	0,79
6	3,167	316	0,77
7	3,998	250	0,79
8	5,037	199	0,79

Porovnání propustnosti jednoho a osmi filtrů: $\frac{G(8)}{G(1)} = 0,15$



Číslo v posledním sloupci tabulky č. 1 budeme nazývat kvocient q a pokud vypočítáme jeho geometrický průměr, vyjde $\bar{q} = 0,76$. Pro 15 filtrů použijeme výpočet: $\frac{G(15)}{G(1)} = q^{14} = 0,021$.

3) Blikání zářivek

- změny odporu: $\Delta R = 54 \Omega$, ale také např. 28Ω nebo 117Ω
 měření periody: $10T = 0,10 \text{ s}$, $1T = 0,01 \text{ s}$, $f = 100 \text{ Hz}$
 měření frekvence: $f' = 100 \text{ Hz}$

4) Zastínění prstem

Č. měření	1	2	3	4	5
$\frac{\Delta t}{ms}$	40	34	35	33	38

Závěr: Při maximálním osvětlení klesl odpor fotorezistoru na $0,43 \text{ k}\Omega$ při zastínění vzrostl na $22 \text{ k}\Omega$ (ale mohou vyjít až megaohmy).

S rostoucím počtem červených filtrů roste odpor a klesá vodivost fotorezistoru. Jednotlivé vodivosti tvoří s dosti dobrou přesností osm členů geometrické posloupnosti s průměrným kvocientem 0,76. Závislost vodivosti (tedy i propustnosti) na počtu filtrů je exponenciální, aproximovaná funkce je $G = e^{-2635n}$ s koeficientem korelace $k = 0,9974$. Poměr $G(8)/G(1) = 0,15$ lze chápat tak, že sedm filtrů propustilo 15% světla, které prošlo prvním filtrem. Při použití 15 filtrů na sobě by propustnost světla klesla na 2,1% světla prošlého prvním filtrem.

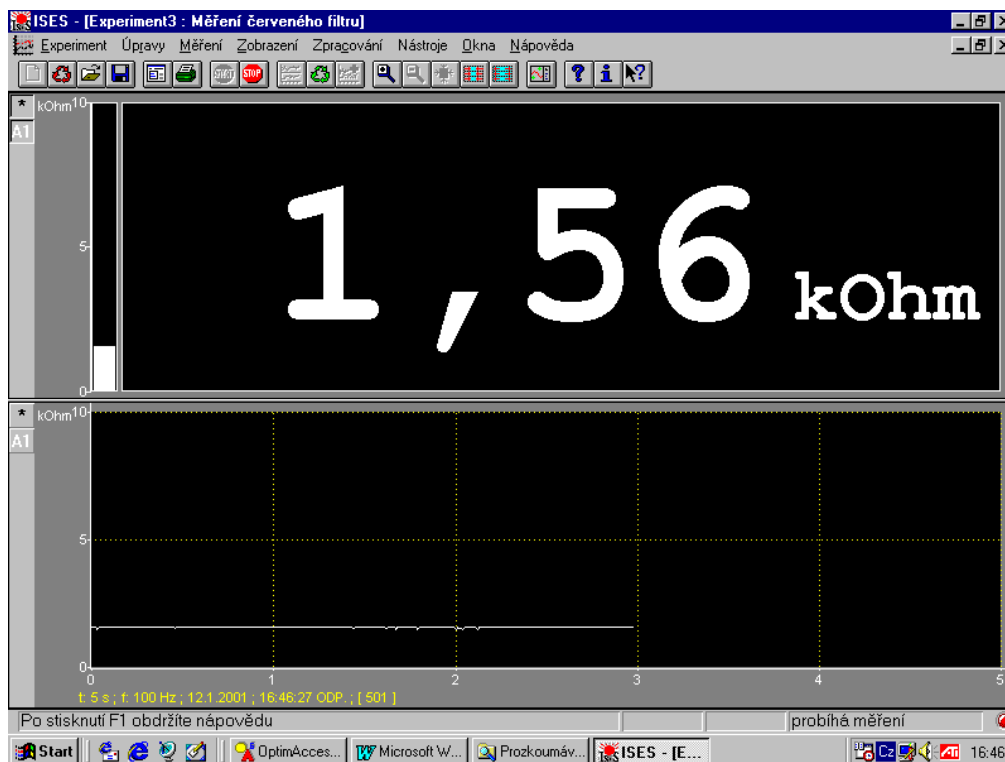
Pro filtry jiné barvy vychází propustnost jiná.

Odpor fotorezistoru v důsledku blikání zářivek kolísá o 54Ω , frekvence kolísání určená měřením periody i přímo vyšla 100 Hz. To je dvojnásobek frekvence střídavého napětí v elektrické rozvodné síti a odpovídá frekvenci výkonu střídavého proudu.

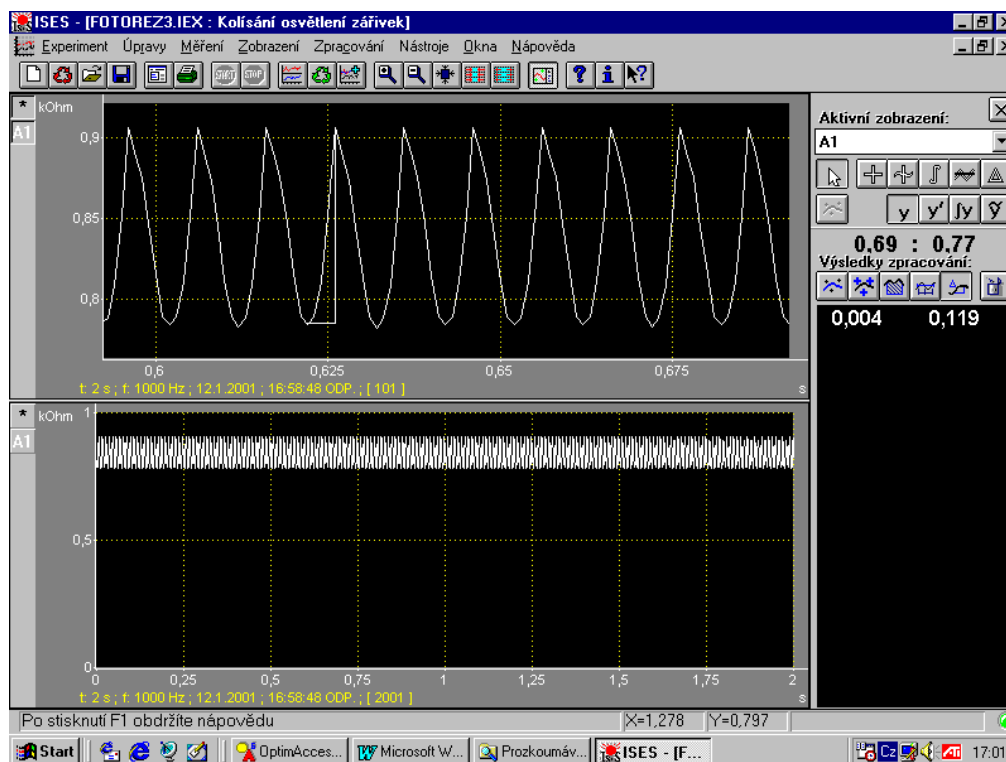
Průměrná hodnota zatmění fotorezistoru se pohybovala v desítkách milisekund, v našem případě vyšla průměrná hodnota 36 ms.

Ukázky měřicích obrazovek

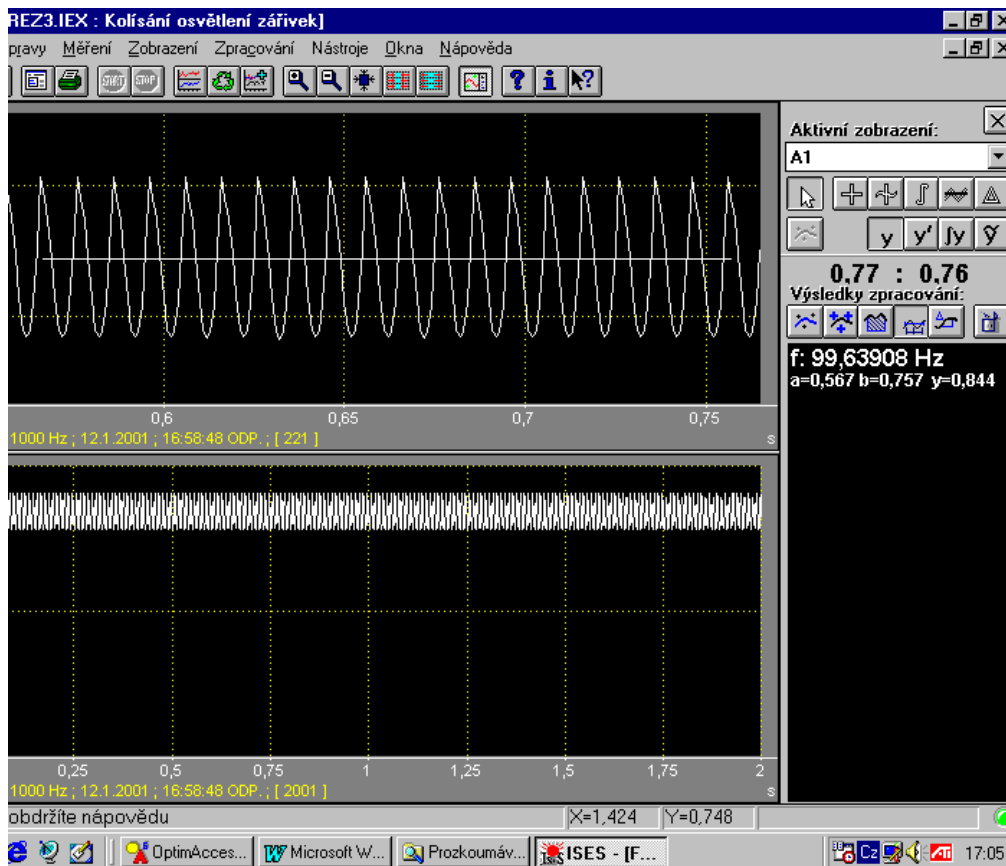
Úkol č. 2: Měření odporu fotorezistoru – s červeným filtrem (fotorez2.imc)



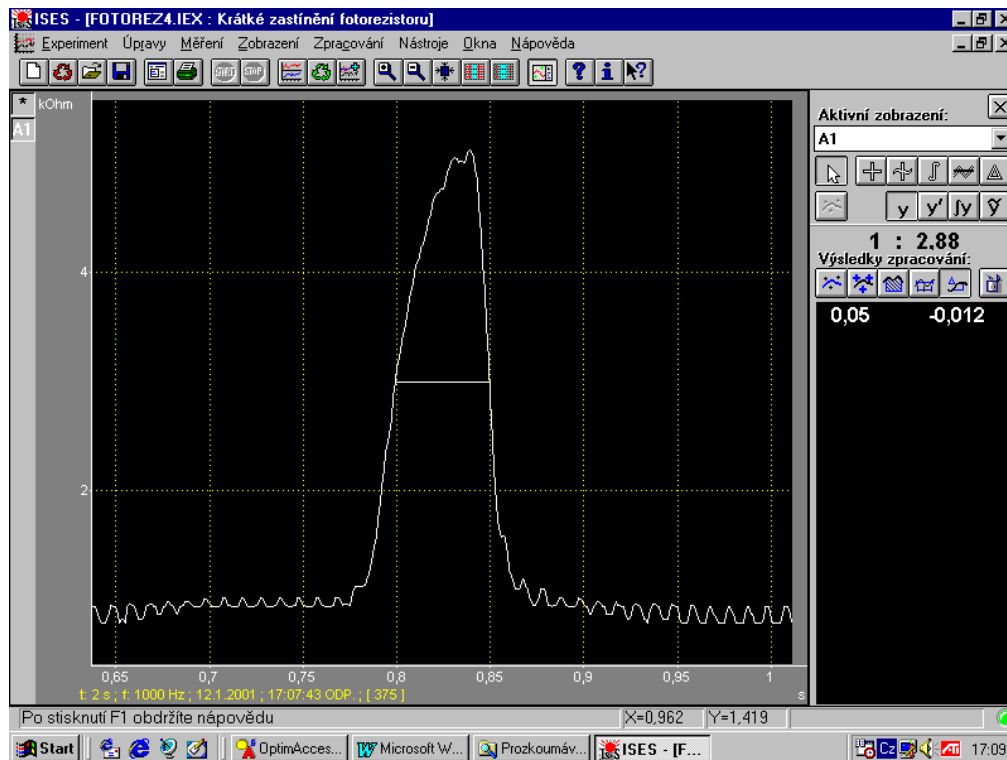
Úkol č. 3: Snímání světla zářivek – měření kolísajícího odporu (fotorez3.imc)



Úkol č. 3: Snímání světla zářivek – měření frekvence (fotorez3.imc)



Úkol č. 4: Krátké zastínění – měření času (fotorez4.imc)



Termistor

Pomůcky: Systém ISES, moduly: teploměr, ohmmetr, termistor, systém 2 spojovací vodiče, stojan s držáky, azbestová síťka, kádinka, voda, kahan, zápalky, soubory: **termi1.imc**, **termi2.imc**.

Úkoly:

- 1) Proměřit závislost odporu termistoru na teplotě v teplotním intervalu alespoň 60 °C a nakreslit graf: *Závislost odporu termistoru na termodynamické teplotě.*
- 2) Určit parametry A , B termistoru a z nich vypočítat odpor termistoru při teplotách 0 °C a 150 °C. Dále vypočítat teplotu $t_{1,400}$ při odporu 1,400 kΩ.
- 3) Provést měření teploty prostřednictvím termistoru a vypočtené kalibrační křivky.

Teorie:

Termistor je polovodičová součástka, jejíž odpor závisí na teplotě přibližně podle vzorce

$$R = A \cdot e^{\frac{B}{T}},$$

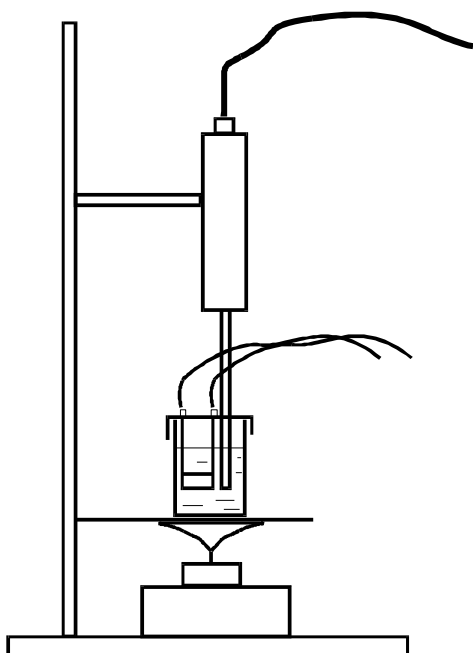
kde T je termodynamická teplota, $e = 2,718$ (Eulerovo číslo) a A , B jsou parametry konkrétního termistoru.

Provedeme-li logaritmování rovnice při základu e , dostaneme $\ln R = B \cdot \frac{1}{T} + \ln A$. Pokud vyneseme na vodorovnou osu veličinu $x = \frac{1}{T}$ a na svislou osu $y = \ln R$, bude grafem přímka, jejíž směrnice je B a $\ln A$ určuje posunutí. Parametry A , B se tak dají získat při aproximaci přímkou.

Provedení:

1. úkol: Modul **teploměr** zasuneme do **kanálu C**. Na **ohmmetru** nastavíme odpor **1 kΩ** a zasuneme do **kanálu D**. Sestavíme aparaturu podle obrázku.

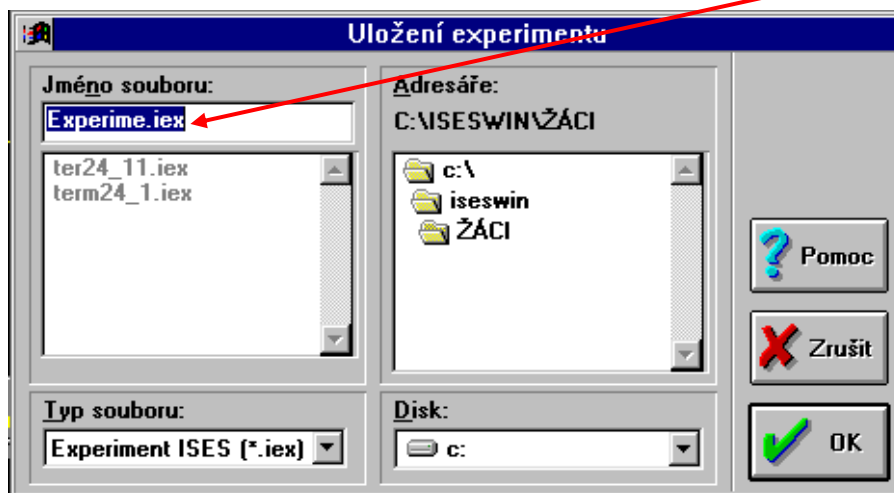
Učitelův počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES. Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „**termi1**“.



*Nastavení: termi1.imc: čas 720 s, 1 Hz, automatický start
panel č.1 – teplota 0 °C až 100 °C digitálně (1 desetinné místo)
panel č.2 – odpor 0 kΩ až 1 kΩ digitálně (3 desetinná místa)
panel č.3 - graf $R=f(t)$ odpor R od 0 kΩ do 1 kΩ, teplota od 10 °C do 100 °C
termi2.imc: čas 12 s, 0,3 Hz, automatický start s opakováním,
panel č.1 - teplota 0 °C až 100 °C digitálně (1 desetinné místo),
panel č.2 – teplota vypočtená z termistoru (1 desetinné místo)*

Po spuštění měření se na obrazovce objevují údaje o teplotě (Celsiově), odporu a graf závislosti R na t . Necháme termistor s vodou v kádince zahřívát po celou nastavenou dobu měření (12 min). Tohoto času je možné využít k přípravě protokolu a výpočtů. Je třeba si připravit rovnici, která umožní vypočítat teplotu ze známých veličin A , B , R .

Po ukončení měření naměřený soubor uložíme. Proveďte se to kliknutím na horní lištu: „Experiment“ a pak „Uložit“. Otevře se okno, ve kterém se musí váš soubor pojmenovat (do 8 znaků).



Uložení se pak provede tlačítkem OK.

Nyní si dolní okno zvětšíme. Klikneme kamkoli na jeho plochu a najedeme šipkou na bílou vodorovnou hraniční čáru. Až se šipka změní na tvar , stlačíme levé tlačítko myši a při stlačení okno roztáhneme nahoru, pak uvolníme.

Pomocí ikony „Zpracování“  a „Volný odečet“  (klouzavý odečet je teď nefunkční) vybereme 15 hodnot pro sestrojení grafu a zapíšeme je do tabulky č. 1.

2. úkol: Klikneme na ikonu „Úpravy vzhledu experimentu“ 

Objeví se okno, ve kterém provedeme úpravy:

„Vyjmout“ zobrazení C1 a „Vyjmout“ zobrazení D1 (nejdříve kliknout na C1, D1)

„Vyjmout“ panel č.1 dvakrát

„Přidat“ panel č.2 a „Přidat“ zobrazení

Otevře se okno, které vyplníme takto:



Termistor

Zobrazení bylo třeba pojmenovat např. „ter“ a typ grafu se musel zvolit $X - Y$.

Na ose x necháme zobrazit veličinu $x = 1/T$ (výraz $1/(C1+273.2)$ znamená, že teplota se měřila v kanálu C1 a aby byla termodynamická, musí se přičíst 273,2). Rozsah osy x je interval (0,0025; 0,0035).

Na ose y necháme zobrazit veličinu $y = \ln R$ (výraz $\ln(D1)$ znamená, že odpor se měřil v kanálu D1). Rozsah osy y je interval (-3; 0). Odpor se dosazuje ve změřených kiloohmech.

Po dvojím kliknutí OK, OK by se měla objevit dvě okna. V tom dolním bude nové zobrazení a pokud měření proběhlo v pořádku, mělo by podle teorie jít o graf přímky (úsečky). Pomocí lupy si ji můžeme

zvětšit (nejdřív ale klikneme na plochu okna, aby se vybralo). Klikneme na ikony: „Volný odečet“ 

(vybereme asi 10 bodů) a „Aproximaci“  přímku.

Do protokolu zapíšeme rovnici přímky, $\ln A$, A , B .

Vypočteme odpor (vyjde v kiloohmech) při 0 °C a 150 °C, což jsou teploty mimo interval našeho měření.

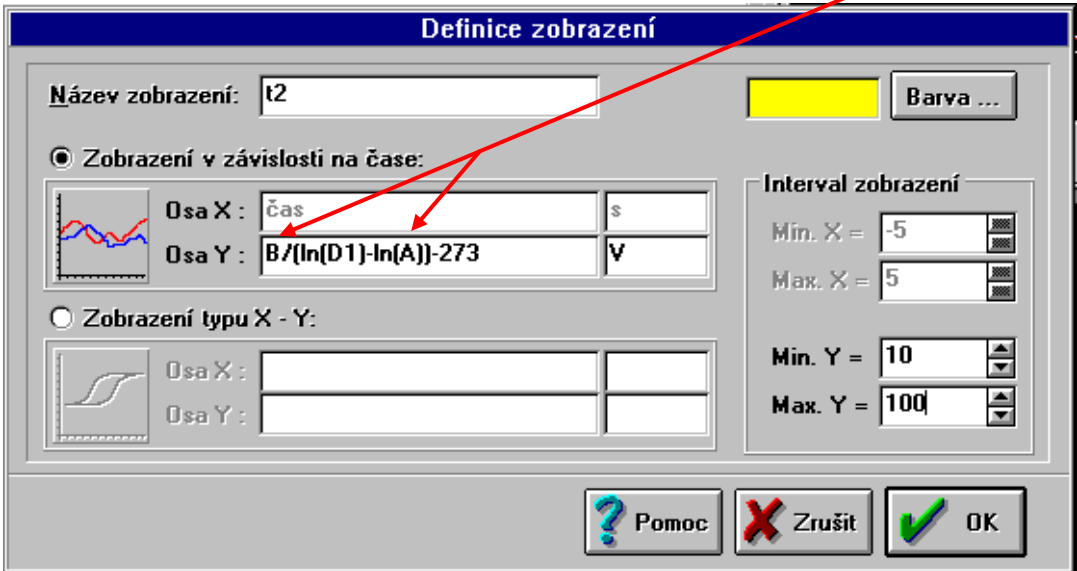
Zapíšeme R_0 , R_{150} . Vypočteme a zapíšeme $t_{1,400}$.

3. úkol: Otevřeme nový experiment  a načteme do konfigurace „termi2.imc“.

Zvolíme „Zobrazení“  a „Zachovat zobrazení“

Jsou připravena dvě zobrazení. V panelu č.1 se měří teplota v kanálu C1 a v panelu č.2 se vypočítává teplota z odporu termistoru v kanálu D1. Na místa parametrů termistoru $\ln(A)$, B je třeba dosadit čísla získaná v úkolu 2.

Klikneme na „Panel č.2“ a pak „Definice“. Objeví se okno, ve kterém lze čísla dosadit:



Kurzor umístíme do okénka u osy Y , smažeme (DELETE) písmeno B a na jeho místo napíšeme číslo. Za číslo zaměníme $\ln(A)$.

Upozornění: Místo desetinné čárky se píše tečka!

Při nahrazování logaritmu ohlídat znaménko mínus!

Po trojitém stisku OK začne měření teploty ve dvou oknech. V horním je teplota měřená teploměrem, v dolním se teplota vypočítává z odporu termistoru pomocí kalibrační křivky.

Zahříváme znovu termistor a porovnáváme obě teploty do tabulky č. 2. Vypočítáme relativní odchylku na desetiny procenta. Měření ukončíme dvojím kliknutím na ikonu „Stop“.

Zkrácená verze

- Teploměr zasuneme do **kanálu C**, na ohmmetru nastavíme rozsah **1 k Ω** a zasuneme jej do **kanálu D**.
- Sestavíme aparaturu podle obrázku.
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme soubory **termi1.imc** a **termi2.imc** a spustíme ISES.
- Založíme nový experiment a načteme do konfigurace **termi1.imc**, spustíme měření.
- Po patnáctiminutovém zahřívání a měření uložíme soubor.
- Odečteme z grafu 15 hodnot pro tabulku č. 1.
- Upravíme vzhled experimentu

X: $1/(C1+273,2)$	(0,0025 ; 0,0035)
Y: $\ln(D1)$	(-3 ; 0)
- Vybereme 10 bodů a aproximujeme přímkou. Zapišeme $\ln A$, A , B . Vypočteme R_0 , R_{150} , $t_{1,400}$.

- Otevřeme nový experiment a načteme **termi2.imc**.
- V zobrazení zaměníme parametry $\ln A$, B za čísla.
- Spustíme měření, zahříváme termistor a porovnáváme teplotu získanou teploměrem a vypočtenou. Zapisujeme do tabulky č. 2.

Protokol

Název: Termistor

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1)

Tabulka č.1: Závislost odporu termistoru na teplotě

č. měření	t °C	T K	R kΩ
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...
11	...	...	...
12	...	...	...
13	...	...	...
14	...	...	...
15	...	...	...

2) Aproximace přímkou: $y = \dots, x - \dots$

$$\ln A = \dots \text{ k}\Omega \quad A = \dots \cdot 10^{-4} \text{ k}\Omega$$

$$B = \dots \text{ K}$$

$$R_0 = \dots \text{ k}\Omega \quad R_{150} = \dots \text{ k}\Omega$$

$$t_{1,400} = \dots \text{ }^\circ\text{C}$$

3)

Tabulka č.2: Porovnání teploty měřené teploměrem a vypočtené z odporu

č. měření	t_1 °C teploměr	t_2 °C termistor	relativní odchylka
1	...	...	.. %
2	...	...	.. %
3	...	...	.. %
4	...	...	.. %
5	...	...	.. %
6	...	...	.. %
7	...	...	.. %
8	...	...	.. %
9	...	...	.. %
10	...	...	.. %

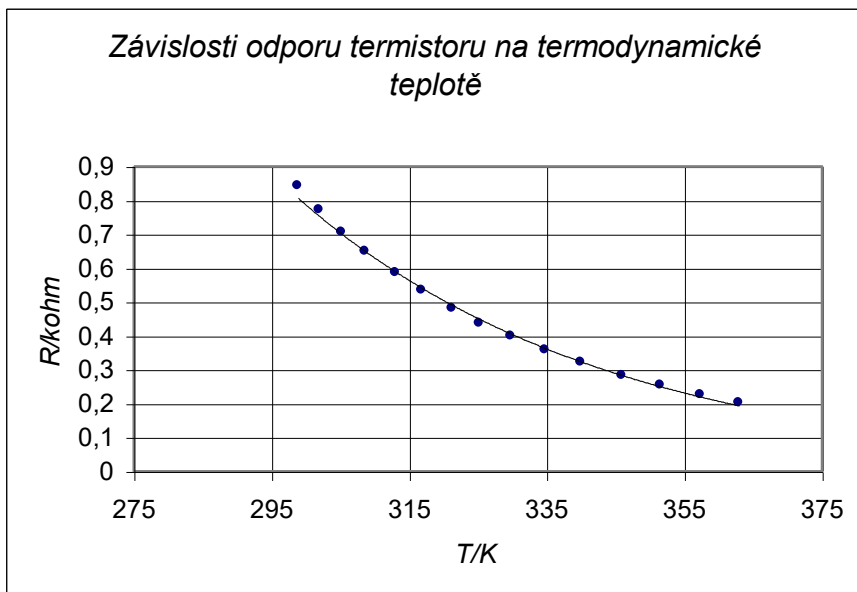
Závěr: Diskutovat jak závisí odpor termistoru na teplotě, jak souhlasí teoretická závislost s experimentem, k čemu je užitečná znalost parametrů A , B ? Jak se shodují teploty měřené teploměrem a kalibrovaným termistorem?

Výsledky

1)

Tabulka č.1: Závislost odporu termistoru na teplotě

č. měření	t °C	T K	R kΩ
1	25,6	298,8	0,844
2	28,7	301,9	0,772
3	32,0	305,2	0,707
4	35,4	308,6	0,650
5	39,8	313,0	0,587
6	43,6	316,8	0,535
7	48,0	321,2	0,481
8	52,0	325,2	0,438
9	56,6	329,8	0,399
10	61,5	334,7	0,359
11	66,7	339,9	0,323
12	72,7	345,9	0,284
13	78,3	351,5	0,255
14	84,1	357,3	0,226
15	89,7	362,9	0,203



2) Aproximace přímkou:

$$y = 2379x - 8,15$$

$$\ln A = -8,15 \text{ k}\Omega$$

$$B = 2379 \text{ K}$$

$$A = 2,887 \cdot 10^{-4} \text{ k}\Omega$$

$$R_0 = 1,749 \text{ k}\Omega$$

$$R_{150} = 0,080 \text{ k}\Omega$$

$$t_{1,400} = 7,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3)

Tabulka č.2: Porovnání teploty měřené teploměrem a vypočtené z odporu

č. měření	$\frac{t_1}{^\circ\text{C}}$ teploměr	$\frac{t_2}{^\circ\text{C}}$ termistor	relativní odchylka
1	40,4	40,0	-1,0%
2	46,3	45,8	-1,1%
3	48,3	48,3	0,0%
4	51,8	51,4	-0,8%
5	57,9	57,8	-0,2%
6	64,2	64,3	0,2%
7	69,5	69,1	-0,6%
8	72,2	71,6	-0,8%
9	75,4	74,8	-0,8%
10	90,4	90,9	0,6%

Závěr: S rostoucí teplotou odpor termistoru výrazně klesá. Zatímco při teplotě 25,6°C byl 844 Ω , při teplotě 89,7°C se snížil na 203 Ω . Exponenciální závislost jsme potvrdili, když po logaritmování veličin vyšla přímka v grafu $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$. Pro daný termistor jsme určili

$$\ln A = -8,15 \text{ k}\Omega \quad A = 2,887 \cdot 10^{-4} \text{ k}\Omega, \quad B = 2379,34 \text{ K},$$

což lze považovat za určení kalibrační křivky daného termistoru.

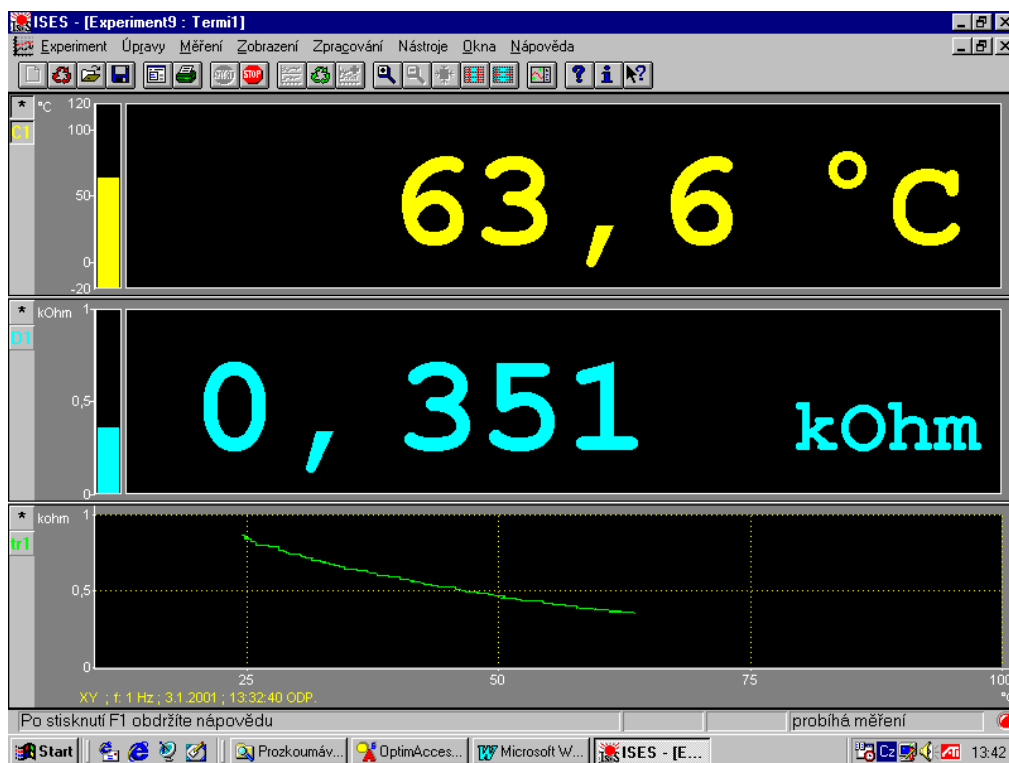
Ze znalosti parametrů A , B lze vypočítat odpor termistoru i mimo interval měřených teplot a také teplotu při znalosti odporu:

$$R_0 = 1,749 \text{ k}\Omega \quad R_{150} = 0,080 \text{ k}\Omega, \quad t_{1,400} = 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

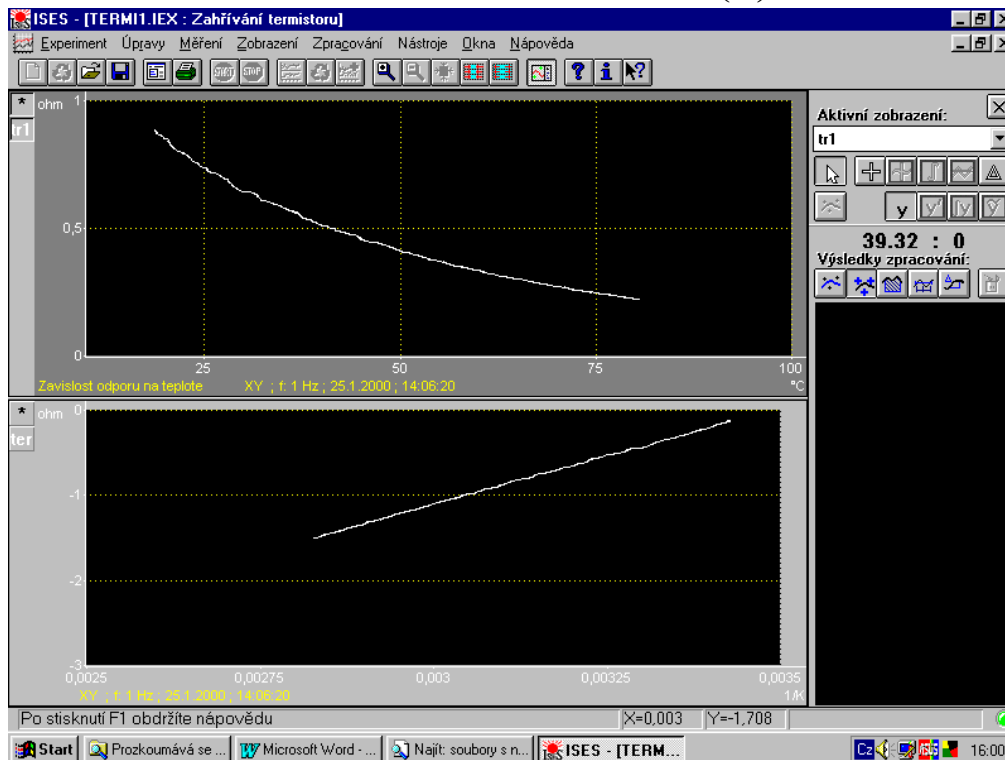
Z tabulky č. 2 je vidět velmi dobrá shoda mezi teplotou měřenou přímo teploměrem ISES a teplotou vypočtenou z odporu termistoru. Relativní odchylka se nejčastěji pohybuje v řádu desetin procenta.

Ukázky měřicích obrazovek

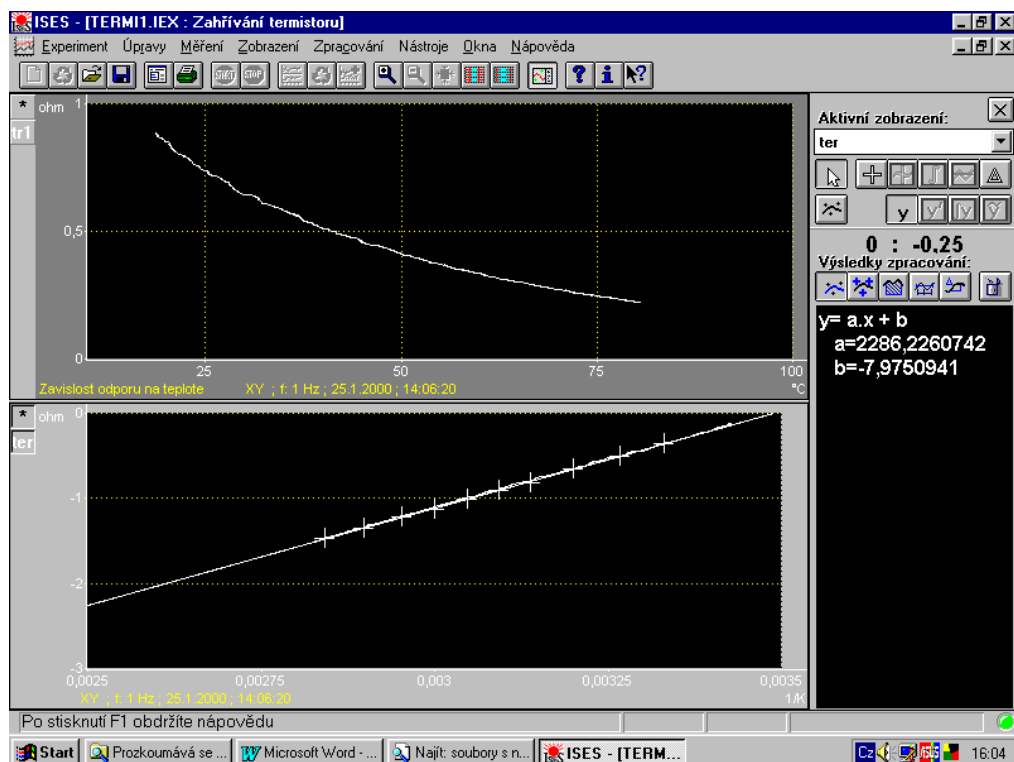
Úkol č. 1: Závislost odporu termistoru na teplotě (term1.imc)



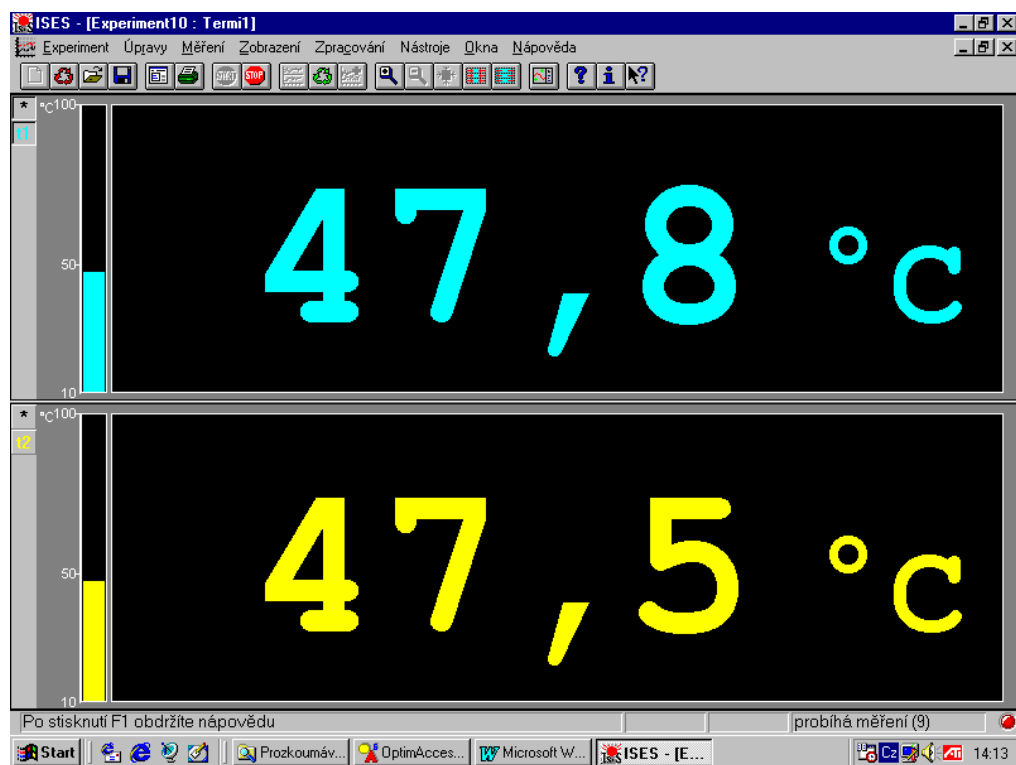
Úkol č. 2: V dolním okně přímka závislosti $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$ (term1i.imc)



Úkol č.2: Aproximace přímkou (termi1.imc)



Úkol č. 3: Porovnání teploty měřené teploměrem a vypočtené z odporu (termi2.imc)



Polovodičová dioda

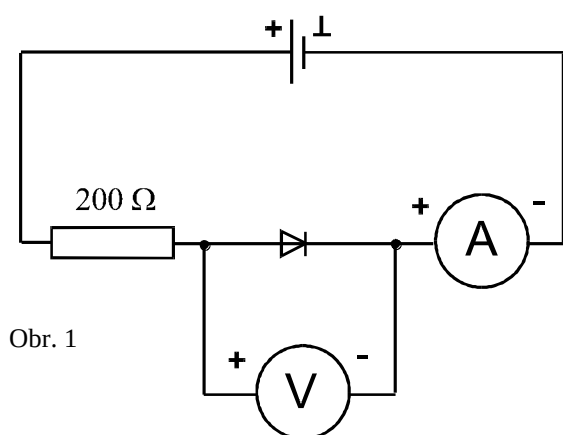
Pomůcky: Systém ISES, moduly: voltmetr, ampérmetr, křemíková germaniová, svítivá (LED) dioda, tři LED na panelu s rezistory, sada rezistorů, 2 spojovací vodiče s hroty, 6 spojovacích vodičů s banánky, dvě krokosvorky, multimetr (např. M3900), trubička pro zastínění, soubory: **dioda1.imc**, **dioda2.imc**, **dioda3.imc**, **dioda4.imc**.

Úkoly:

- 1) Proměřit voltampérovou charakteristiku křemíkové, germaniové a LED diody.
- 2) Naučit se ovládat výstupní napětí z počítače.
- 3) Určit proud I_{min} , při němž začínají svítit jednotlivé LED a určit proud I_{prac} , při němž již svítí plně.

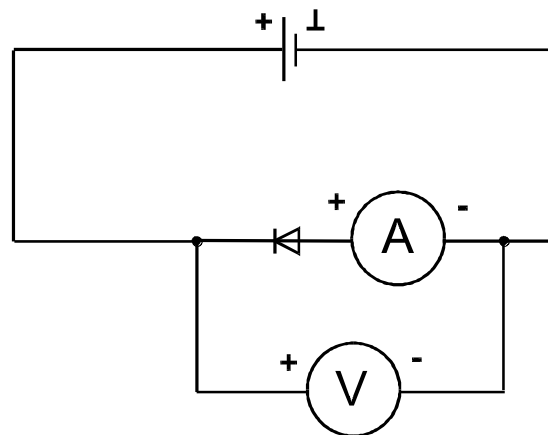
Teorie:

Voltampérovou charakteristiku měříme v propustném i závěrném směru.



Obr. 1

Propustný směr



Obr. 2

Závěrný směr

V závěrném směru má dioda velký odpor srovnatelný s odporem voltmetru, proto je třeba změnit oproti propustnému směru zapojení ampérmetru a voltmetru. Rezistor omezující proud je nyní zbytečný.

Jestliže zapojíme svítivou (LED) diodu v propustném směru, začne při určité hodnotě proudu svítit. Při srovnání se žárovkou se však jedná o výrazně nižší proud. Světlo vzniká u žárovky rozžhavením vlákna, u LED jde o energetické změny v elektronových obalech. Dioda zůstává chladná.

Nastavení: *dioda1.imc*: - start krokový (20 kroků), výstup: pila od 0 V do 3,5 V, panel č.1 - graf $I=f(U)$ proud I od 0 mA do 10 mA, napětí U od 0 do 3 V

dioda2.imc: start krokový (15 kroků), výstup: pila od 0 V do 5 V, panel č.1 - graf $I=f(U)$ proud I od -1 mA do 10 mA, napětí U od -5 V do 0 V. Panel č.2 - proud -1 mA až 1 mA digitálně (3 desetinná místa)

Provedení:

1. úkol: Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu A**. Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **10 mA** s nulou na kraji a zasuneme jej do **kanálu B**.

Učitel'ský počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES. Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „**dioda1.imc**“.

Zapojíme křemíkovou diodu v propustném směru (obr. 1), jako zdroj napětí použijeme **výstupní kanál E**.

Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení!

Soubor „**dioda1.imc**“ nastavil měření ve 20 krocích přičemž počítač vždy po stisknutí ENTER zvýší napětí v kanálu E a přečte napětí a proud v kanálech A, B. Na obrazovku současně umístí bod do voltampérové charakteristiky v propustném směru. Spustíme měření tlačítkem OK.

Po 20 krocích klikneme na „Zpracování“  a „Klouzavý odečet“  a v okně napravo se objeví souřadnice naměřených bodů. Opíšeme je do tabulky č.1, abychom mohli sestavit graf.

Z grafu na obrazovce určíme prahové napětí U_{F0} , to je napětí, při kterém proud diodou začíná výrazně vzrůstat. Tímto napětím se budou jednotlivé diody lišit. Současně určíme úbytek napětí na diodě při proudu 5 mA a zapíšeme U_{Si} .

Vyměníme diodu za germaniovou v propustném směru a nahradíme experiment pomocí a červených šipek . Proměříme voltampérovou charakteristiku a totéž zopakujeme ještě pro samostatnou červenou LED.

Vezmeme znovu křemíkovou diodu a zapojíme ji v závěrném směru (obr. 2). **Ampérmetr** je třeba přepnout na nejcitlivější rozsah, tedy **1 mA**. Načteme do konfigurace „dioda2.imc“.

Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení!

Měření provedeme v nastavených 15 krocích klávesou ENTER. V horním okně se kreslí body do grafu závěrné charakteristiky (na osách jsou záporná čísla) a v dolním okně se zobrazuje proud, který je většinou roven nule. Dioda v tomto směru proud téměř nepropouští. Hodnoty zapíšeme do tabulky č.2.

Měření v závěrném směru zopakujeme pro germaniovou a LED. Rozebereme celý obvod.

2. úkol: Pomocí červených šipek nahradíme experiment a načteme do konfigurace „dioda3.imc“. Na multimetru M3900 nastavíme rozsah 20 V/DCV (stejnoseměrný rozsah) a připojíme jej k výstupnímu kanálu E. Zdířka „COM“ se připojí ke zdířce uzemnění  a zdířka označená „V/Ω“ se připojí ke zdířce $\pm$.

Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení!

Po stisku OK se na obrazovce v horním okně kreslí graf – závislost výstupního napětí na čase. V dolním okně je napětí zobrazené digitálně. Tato hodnota by se měla dobře shodovat s napětím které měří digitální voltmetr. Zatím je napětí nula.

Naučíme se ovládat výstupní napětí v kanálu E, které lze nastavit v rozsahu -5 V až $+5\text{ V}$, zatím v ručním řízení. Tlačítka na numerické klávesnici mají tyto funkce:

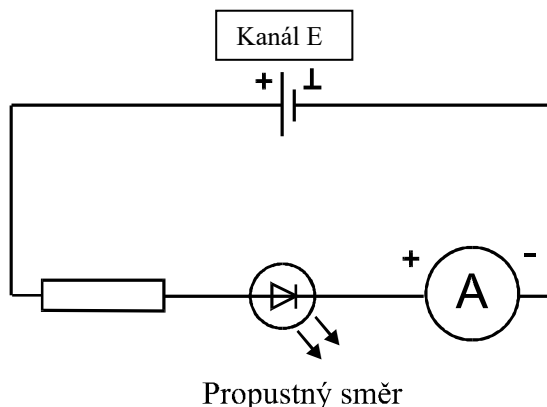
klávesa	napětí	klávesa	napětí
1	1 V	Alt+1	-1 V
2	2 V	Alt+2	-2 V
3	3 V	Alt+3	-3 V
4	4 V	Alt+4	-4 V
5	5 V	Alt+5	-5 V
0	0 V		
+	jemně zvyšuje napětí		
-	jemně snižuje napětí		
*	hruběji zvyšuje napětí		
/	hruběji snižuje napětí		

Vyzkoušíme nejprve ovládání čísla a pak i vše ostatní. Záporné napětí znamená, že zdířka označená $\pm$ má proti uzemněné záporný potenciál. Do protokolu zapíšeme krok, o kolik se mění napětí při použití „+“ a „-“ a pak také při použití „*“ a „/“.

3. úkol: Dvojitým kliknutím „STOP“ přerušíme měření, klikneme na červené šipky a načteme do konfigurace „**dioda4.imc**“. Provedeme zapojení jedné z trojice svítivých diod podle následujícího obr: 3.

Na ampérmetru ISES přepneme na rozsah 10 mA! Předřadný rezistor je již zabudován na panelu.

Obr. 3



Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení!

Po kliknutí na OK se objeví na obrazovce 3 okna. V tom horním se digitálně zobrazuje proud diodou, v prostředním je graf závislosti nastavovaného napětí na čase a v dolním je nastavené napětí zobrazeno digitálně.

Umístíme na diodu trubičku pro odstínění denního světla, začneme na numerické klávesnici zvyšovat napětí a pečlivě sledujeme okamžik, kdy se dioda ve tmě slabounce rozsvítí. Proud I_{min} zapíšeme do protokolu. Pak postupně zvyšujeme napětí až do 5 V. Snažíme se najít proud I_{prac} , při kterém se již jas diody nezvyšuje. Zapíšeme do protokolu a přesuneme vodič na rezistor další diody. Všechny tři katody jsou propojené, proto jeden vodič zůstává na místě. Proměříme všechny tři LED.

Zkrácená verze

- Na voltmetru nastavíme rozsah **10 V** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu A** . Na ampérmetru nastavíme rozsah **10 mA** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu B**.
- Zapojíme křemíkovou diodu v propustném směru, zdrojem napětí je výstupní kanál E.
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme soubory **dioda1.imc** až **dioda4.imc** a spustíme ISES.
- Založíme nový experiment a načteme do konfigurace **dioda1.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- V krokovém režimu změříme graf a pomocí „Zpracování dat“ a „Klouzavý odečet“ získáme hodnoty pro tabulku č.1.
- Určíme prahové napětí U_{F0} a úbytek napětí U_{Si} na diodě při proudu 5 mA.
- Zopakujeme postup pro germaniovou diodu a LED.

- Načteme do konfigurace „**dioda2.imc**“.
- Zapojíme křemíkovou diodu v závěrném směru.
- Ampérmetr je třeba přepnout na **1 mA**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- V krokovém režimu změříme graf a zapíšeme hodnoty do tabulky č. 2.
- Zopakujeme pro germaniovou diodu a LED. Rozebereme celý obvod.

- Pomocí červených šipek nahradíme experiment a načteme „**dioda3.imc**“.
- Multimetr přepneme na 20 V/DCV a připojíme k výstupnímu kanálu E.
- Klávesami podle tabulky řídíme výstupní napětí.
- Zapíšeme do protokolu krok napětí.

- Dvojitým kliknutím na „STOP“ přerušíme měření, pak červené šipky, načteme do konfigurace „**dioda4.imc**“.
- Zapojíme jednu z LED na panelu podle obr. 3.
- **Ampérmetr ISES přepneme na rozsah 10 mA !**
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Ovládáme výstupní napětí a pro každou ze tří LED určíme I_{min} a I_{prac} .

Protokol

Název: Polovodičová dioda

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1)

Tabulka č.1: Diody v propustném směru

číslo měření	Křemíková dioda KY 722		Germaniová dioda GA 203		LED	
	$\frac{U_F}{V}$	$\frac{I_F}{mA}$	$\frac{U_F}{V}$	$\frac{I_F}{mA}$	$\frac{U_F}{V}$	$\frac{I_F}{mA}$
1	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...	...
8	...	...	...	...	...	...
9	...	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...	...
11	...	...	...	...	...	...
12	...	...	...	...	...	...
13	...	...	...	...	...	...
14	...	...	...	...	...	...
15	...	...	...	...	...	...
16	...	...	...	...	...	...
17	...	...	...	...	...	...
18	...	...	...	...	...	...
19	...	...	...	...	...	...
20	...	...	...	...	...	...

Prahové napětí:

křemíková $U_{F0} = \dots V$

germaniová $U_{F0} = \dots V$

LED $U_{F0} = \dots V$

Úbytek napětí při 5 mA:

$U_{Si} = \dots V$

$U_{Ge} = \dots V$

$U_{LED} = \dots V$

Tabulka č.2: Diody v závěrném směru

číslo měření	Křemíková dioda KY		Germaniová dioda GA 203		LED	
	$\frac{U_R}{V}$	$\frac{I_R}{mA}$	$\frac{U_R}{V}$	$\frac{I_R}{mA}$	$\frac{U_R}{V}$	$\frac{I_R}{mA}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Graf: Voltampérová charakteristika všech tří diod v jediném grafu.

2) Krok napětí řízený pomocí „+“ a „-“ $\Delta U = .., V$

Krok napětí řízený pomocí „*“ a „/“ $\Delta U = .., V$

3) Tabulka č.3: Proudové svítivých diod

Červená dioda		Žlutá dioda		Zelená dioda	
$\frac{I_{min}}{mA}$	$\frac{I_{prac}}{mA}$	$\frac{I_{min}}{mA}$	$\frac{I_{prac}}{mA}$	$\frac{I_{min}}{mA}$	$\frac{I_{prac}}{mA}$
...	..	...	..	...	..

Závěr: Diskutovat odlišnosti voltampérových charakteristik v propustném a závěrném směru, porovnat prahová napětí a úbytky napětí při průchodu proudem 5 mA. Jakou regulaci napětí umožňuje měřicí systém ISES? Porovnat proudy, při kterých svítí LED různých barev.

Výsledky

1)

Tabulka č.1: Diody v propustném směru

číslo měření	Křemíková dioda KY 722		Germaniová dioda GA 203		LED	
	$\frac{U_F}{V}$	$\frac{I_F}{mA}$	$\frac{U_F}{V}$	$\frac{I_F}{mA}$	$\frac{U_F}{V}$	$\frac{I_F}{mA}$
1	0,032	0,000	0,024	0,022	0,088	0,024
2	0,024	0,020	0,024	0,024	0,078	0,002
3	0,103	0,002	0,115	0,132	0,103	0,002
4	0,415	0,098	0,242	0,508	0,364	0,002
5	0,471	0,474	0,352	0,908	0,574	0,002
6	0,518	1,035	0,410	1,380	0,735	0,010
7	0,559	1,651	0,488	1,895	0,987	0,002
8	0,549	2,276	0,486	2,357	1,243	0,010
9	0,569	2,867	0,596	2,862	1,360	0,049
10	0,586	3,541	0,630	3,382	1,607	0,315
11	0,611	4,166	0,622	3,927	1,651	0,833
12	0,596	4,857	0,701	4,464	1,663	1,407
13	0,606	5,509	0,772	4,974	1,658	2,032
14	0,625	6,144	0,796	5,509	1,685	2,628
15	0,625	6,818	0,860	6,039	1,739	3,258
16	0,664	7,477	0,908	6,608	1,739	3,912
17	0,623	8,176	0,947	7,133	1,741	4,571
18	0,664	8,852	0,974	7,663	1,763	5,209
19	0,669	8,480	1,031	8,227	1,753	5,846
20	0,674	-	1,074	8,759	1,766	6,481

Prahové napětí:

křemíková $U_{F0} = 0,45 \text{ V}$

germaniová $U_{F0} = 0,19 \text{ V}$

LED $U_{F0} = 1,60 \text{ V}$

Úbytek napětí při 5 mA:

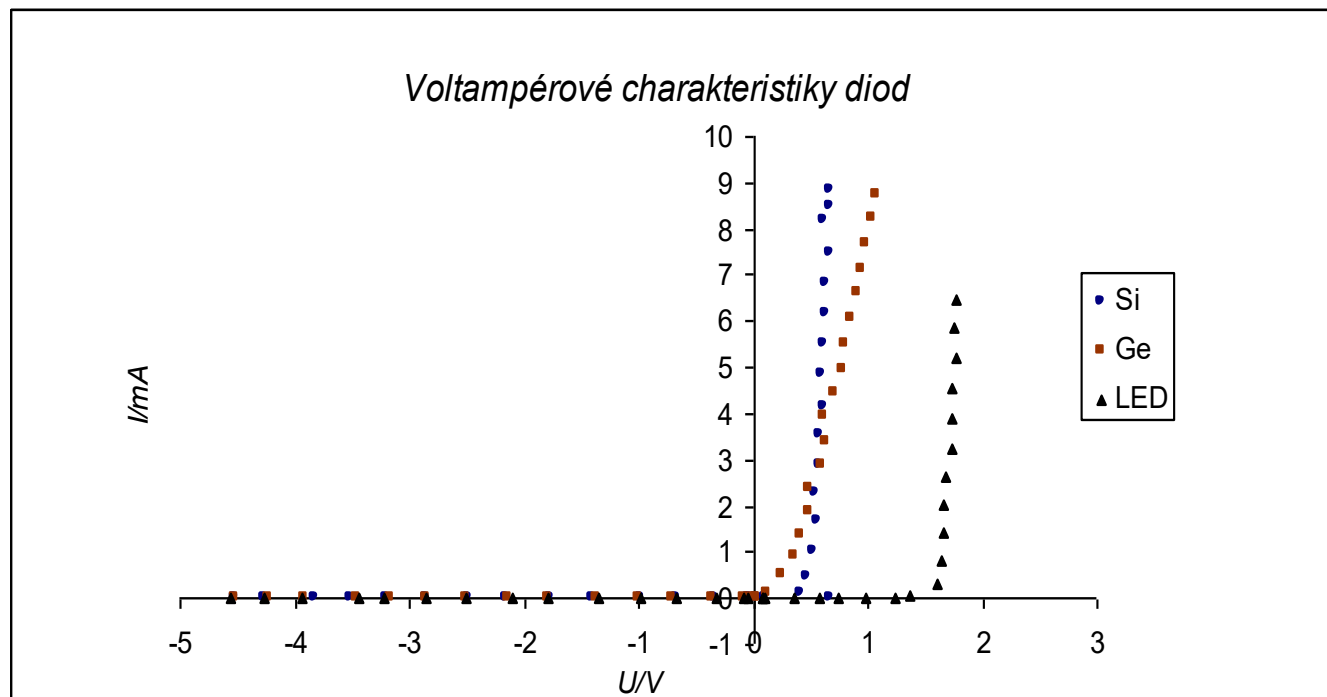
$U_{Si} = 0,61 \text{ V}$

$U_{Ge} = 0,77 \text{ V}$

$U_{LED} = 1,76 \text{ V}$

Tabulka č.2: Diody v závěrném směru

číslo měření	Křemíková dioda KY		Germaniová dioda GA 203		LED	
	$\frac{U_R}{V}$	$\frac{I_R}{mA}$	$\frac{U_R}{V}$	$\frac{I_R}{mA}$	$\frac{U_R}{V}$	$\frac{I_R}{mA}$
1	-0,027	0,000	-0,022	-0,001	-0,078	0,000
2	-0,051	-0,002	-0,078	-0,002	-0,051	0,000
3	-0,337	0,000	-0,366	-0,001	-0,325	-0,002
4	-0,676	0,000	-0,713	0,000	-0,674	-0,002
5	-0,989	-0,002	-0,994	0,000	-0,982	-0,002
6	-1,411	0,000	-1,360	-0,004	-1,353	0,000
7	-1,768	-0,002	-1,783	-0,001	-1,783	0,000
8	-2,159	-0,002	-2,134	-0,004	-2,093	0,000
9	-2,486	-0,002	-2,505	-0,004	-2,505	0,000
10	-2,852	-0,002	-2,852	-0,001	-2,852	-0,002
11	-3,204	0,000	-3,162	-0,004	-3,223	-0,002
12	-3,519	-0,002	-3,455	-0,001	-3,446	0,000
13	-3,827	0,000	-3,917	-0,004	-3,932	-0,002
14	-4,264	-0,002	-4,225	-0,001	-4,264	0,000
15	-4,530	0,000	-4,530	-0,004	-4,557	-0,002



2) Krok napětí řízený pomocí „+“ a „-“ $\Delta U = 0,1 \text{ V}$

Krok napětí řízený pomocí „*“ a „/“ $\Delta U = 0,5 \text{ V}$

3) *Tabulka č.3: Proudové svítivých diod*

Červená dioda		Žlutá dioda		Zelená dioda	
$\frac{I_{\min}}{\text{mA}}$	$\frac{I_{\text{prac}}}{\text{mA}}$	$\frac{I_{\min}}{\text{mA}}$	$\frac{I_{\text{prac}}}{\text{mA}}$	$\frac{I_{\min}}{\text{mA}}$	$\frac{I_{\text{prac}}}{\text{mA}}$
0,20	9,0	0,18	5,5	0,08	5,5

Závěr: V propustném směru se všechny tři diody chovají kvalitativně stejně. Při postupném zvyšování napětí je proud zpočátku téměř nulový, až při překročení prahového napětí začíná proud prudce vzrůstat. Jednotlivé diody se liší v hodnotě prahového napětí. Nejnižší hodnota byla naměřena u germaniové diody $U_{F0} = 0,19 \text{ V}$ a nejvyšší u LED $U_{F0} = 1,60 \text{ V}$. Proud u germaniové diody začne stoupat sice nejdříve, ale její graf se brzy „kříží“ s grafem křemíkové diody, u které vzestup proudu začne sice později, ale je rychlejší. U LED začne vzestup proudu nejpozději a jeho průběh se pak podobá křemíku.

Při průchodu proudu 5 mA vzniká na každé diodě jiný úbytek napětí. Nejmenší úbytek byl naměřen na křemíkové diodě $U_{Si} = 0,61 \text{ V}$ a největší na LED $U_{LED} = 1,76 \text{ V}$.

V závěrném směru všechny diody na celém měřeném rozsahu propouštěly nepatrný proud řádu jednotek mikroampérů.

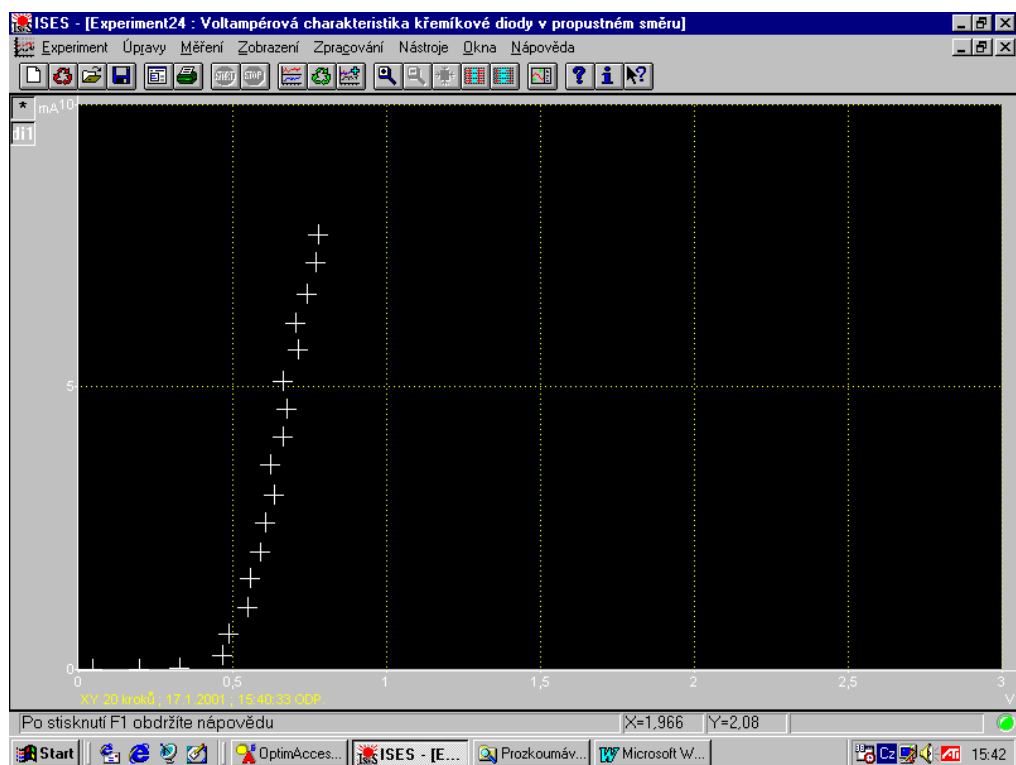
Měřicí systém ISES umožňuje regulovat výstupní napětí v kanálu E pomocí „+“ a „-“ s krokem $\Delta U = 0,1 \text{ V}$ a pomocí „*“ a „/“ s krokem $\Delta U = 0,5 \text{ V}$.

Minimální proud $I_{\min}$ byl při rozsvícení zelené diody $0,08 \text{ mA}$. Vyšší a přibližně stejný byl pro červenou ($0,20 \text{ mA}$) a žlutou ($0,18 \text{ mA}$). Protože rozsvícení LED posuzujeme okem, promítá se do uvedených výsledků také větší citlivost oka na zelené světlo.

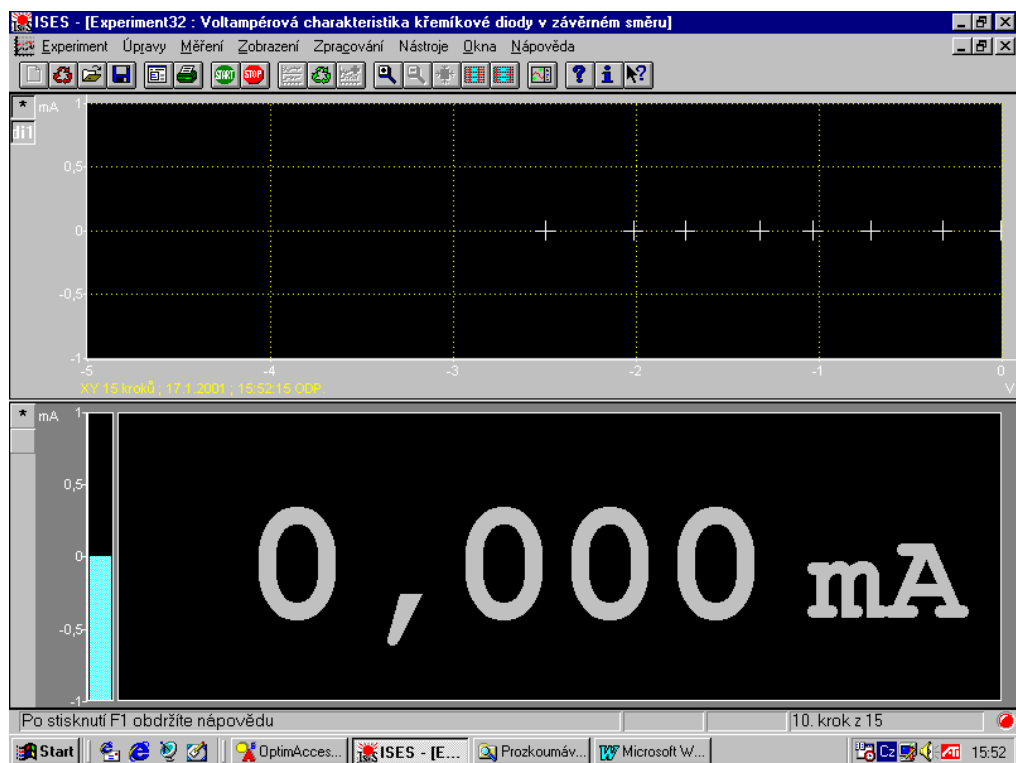
Pracovní proud, při němž již diody svítí svým plným světlem se pohybuje v řádu jednotek miliampérů a jeho hodnoty se mohou lišit podle subjektivního hodnocení každého experimentátora.

Ukázky měřicích obrazovek

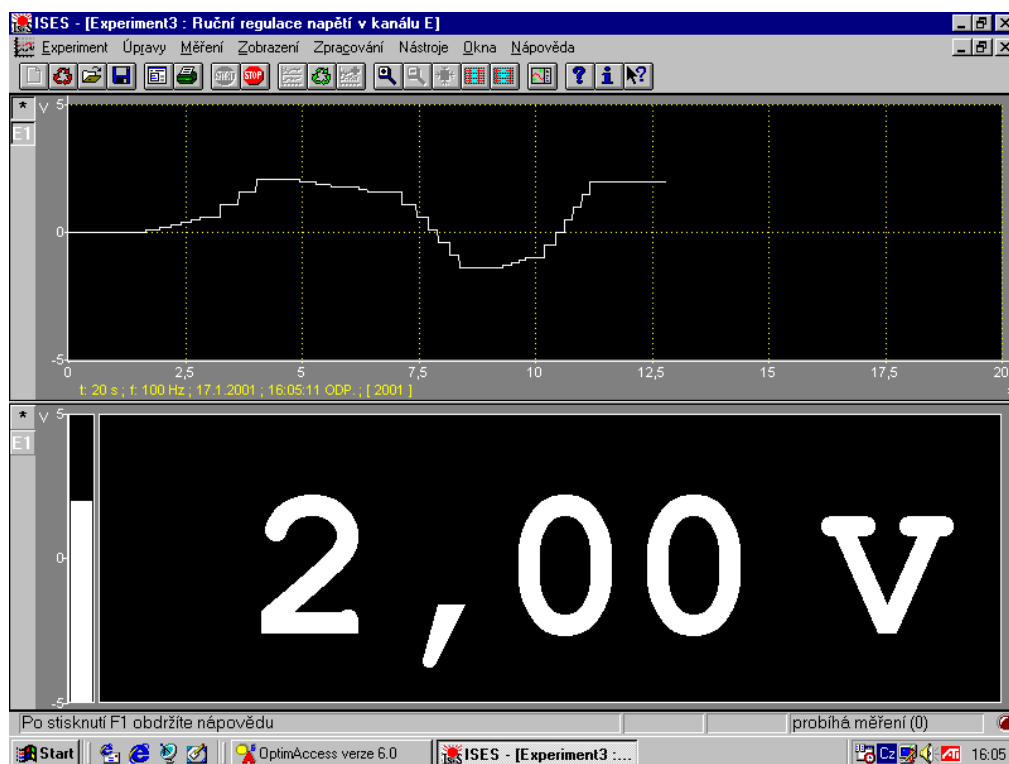
Úkol č. 1: Voltampérová charakteristika křemíkové diody v propustném směru (dioda1.imc)



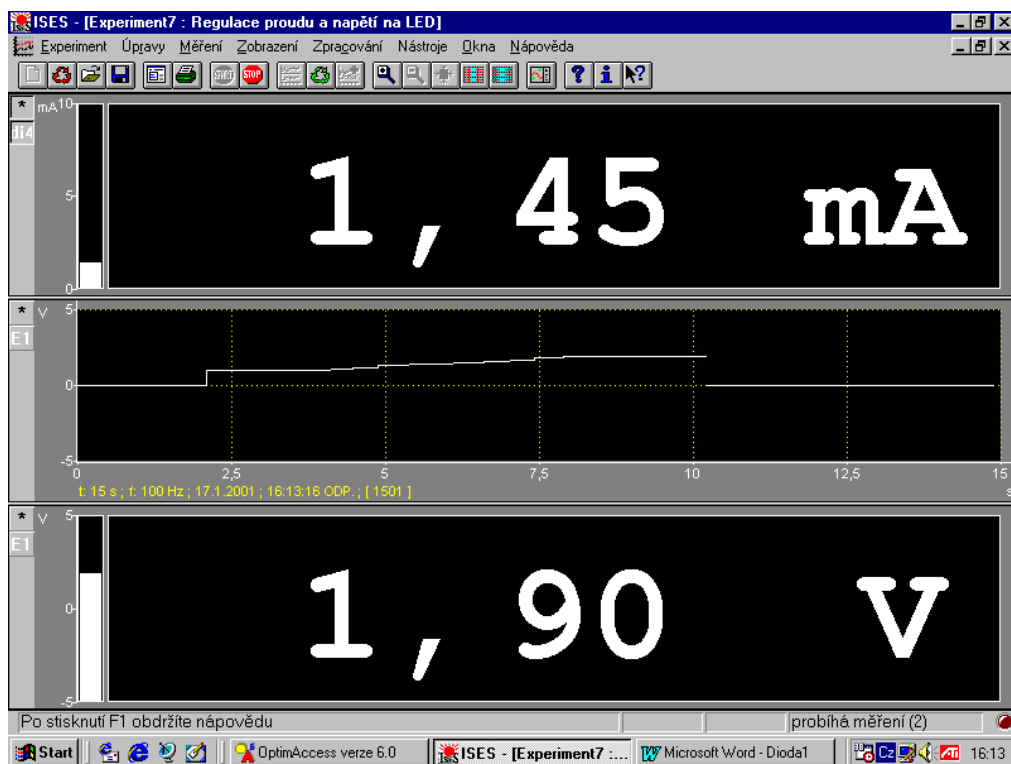
Úkol č. 1: Voltampérová charakteristika křemíkové diody v závěrném směru (dioda2.imc)



Úkol č. 2: Ruční regulace napětí v kanálu E (dioda3.imc)



Úkol č. 3: Regulace proudu a napětí na svítivé diodě (dioda4.imc)



Elektrolytický vodič

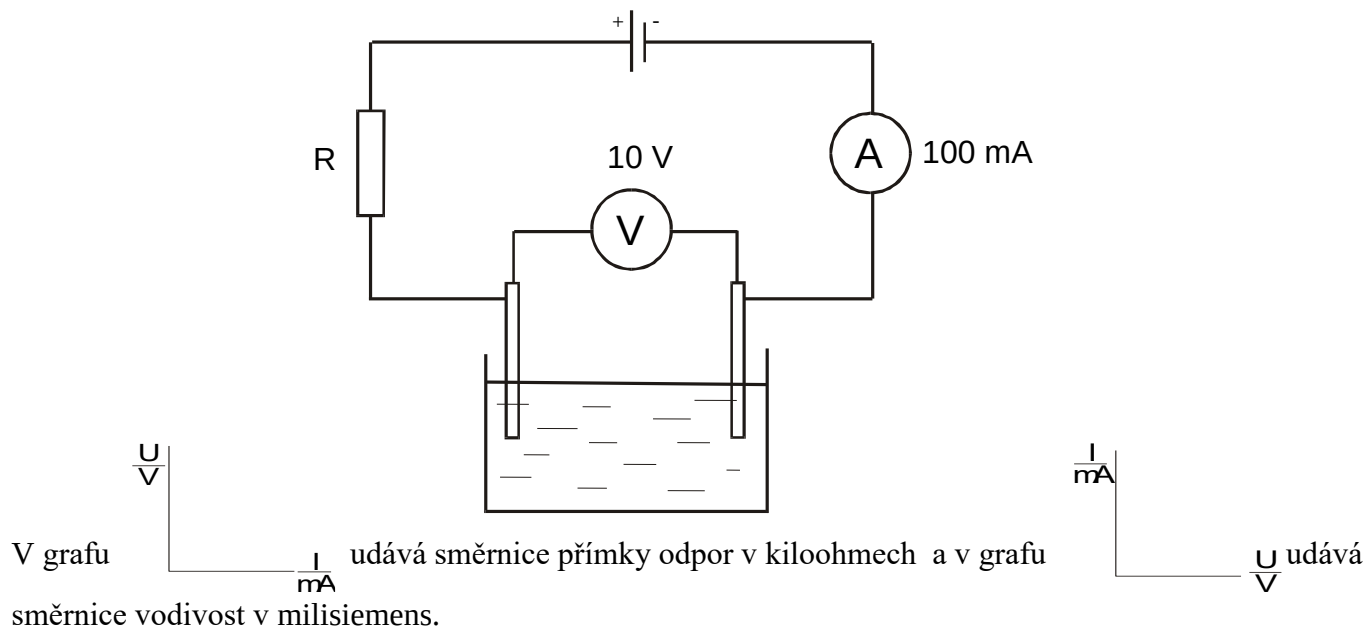
Pomůcky: Systém ISES, moduly: voltmetr, ampérmetr, sada rezistorů, zdroj regulovatelného elektrického napětí (např. PS – 302A), kyveta, měděné elektrody s držáky, smirkový papír, voda, kyselina sírová, pipeta, 6 spojovacích vodičů, pravítko, pracovní plášť, soubory: **elyt1.imc**, **elyt2a.imc**, **elyt2b.imc**, **elyt3.imc**.

Úkoly:

- 1) Proměřit závislost odporu vody na vzdálenosti ponořených elektrod. Nakreslit graf: *Závislost odporu vody na vzdálenosti elektrod*.
- 2) Proměřit voltampérovou charakteristiku elektrolytického vodiče – roztok kyseliny sírové ve vodě. Sestrojit graf: *Voltampérová charakteristika elektrolytu (H_2SO_4 ve vodě)*, z grafu určit rozkladné napětí U_r .
- 3) Pozorovat děje na elektrodách a polarizační napětí.

Teorie:

Pro oba úkoly bude sloužit společné zapojení podle následujícího obrázku.



Nastavení: *elyt1.imc*: start krokový (13 kroků), panel č.1 – graf $U=f(I)$ napětí U od 0 V do 10 V, proud I od 0 mA do 20 mA.

elyt2a.imc: čas 60 s, 10 Hz, start automatický, panel č.1 – graf $I=f(t)$ proud od 0 mA do 10 mA, panel č.2 – proud 0 mA až 10 mA digitálně (1 desetinné místo), panel č.3 – napětí 0 V až 10 V digitálně (1 desetinné místo).

elyt2b.imc: čas 60 s, 10 Hz, start automatický, panel č.1 – graf $I=f(t)$ proud I od 0 mA do 100 mA, panel č.2 – proud 0 mA až 100 mA digitálně (1 desetinné místo), panel č.3 – napětí 0 V až 10 V digitálně (1 desetinné místo).

elyt3.imc: čas 300 s, 10 Hz, start automatický, panel č.1 – napětí 0 V až 100 mV digitálně (1 desetinné místo), panel č.2 – graf $U=f(t)$ napětí U od 0 V do 100 mV.

Provedení:

1. úkol: Nejprve je třeba smirkem očistit elektrody, aby se odstranila zoxidovaná vrstva.

Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu A**. Na **ampérmetru** nastavíme rozsah **100 mA** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu B**. Sestavíme měřicí aparaturu, použijeme rezistor $R = 2\text{ k}\Omega$. Do kyvety nalijeme asi 200 ml vody z vodovodu. Elektrody ponoříme co nejvíce. Nastavíme jejich vzdálenost na 8 cm. **Elektrický zdroj nezapínáme!**

Učitel'ský počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES. Založíme nový experiment a z adresáře **Katedra\software\ises** načteme do konfigurace „elyt1.imc“. **Požádáme vyučujícího o kontrolu!**

NEJDŮLEŽITĚJŠÍ JE KONTROLA AMPÉRMETRU – ROZSAH 100 mA!

Spustíme měření. Při vypnutém zdroji je třeba provést pomocí ENTER několik kroků. Na obrazovce je připraven graf – závislost mezi proudem a napětím. Body se zatím umísťují poblíž nuly.

Nyní zapneme zdroj a pomocí zelených šipek zvolíme opakování experimentu. Zvyšujeme napětí (po zhruba dvou voltech) a sledujeme, že body se v grafu řadí přibližně do přímky. Její směrnice určuje odpor mezi elektrodami.

Po skončení nastavených kroků provedeme aproximaci přímkou. Slouží k tomu ikony: „Zpracování dat“



„Klouzavý odečet“



„Aproximace“



„Přímka“.

Protože proud je v miliampérech a platí $R = \frac{U}{I}$, udává směrnice odpor vody v kiloohmech.

Odpor vody zapíšeme do tabulky č.1 a upravíme vzdálenost elektrod na 7 cm.

Staré údaje vymažeme vždy pomocí ikony „Smazání výsledků“



Mezi výsledky zpracování se přepíná ikonami



Měření opakujeme pomocí zelených šipek až do vzdálenosti elektrod 2 cm.

2. úkol: Na **ampérmetru** nastavíme rozsah **10 mA**, použitý rezistor má tentokrát odpor **500 Ω**. Pomocí červených šipek zvolíme nahrazení experimentu a do konfigurace načteme z katedry soubor „elyt2a.imc“.

Požádáme vyučujícího, aby přidal do kyvety roztok H_2SO_4 . (jde zhruba o desetiprocentní roztok kyseliny sírové ve vodě; z něhož se nabere 4 ml). Roztok promícháme – **POZOR ! PRÁCE S ŽIRAVINOU !** Elektrody vzdálíme na 8 cm a spustíme měření.

V horním okně se kreslí graf – závislost proudu na čase, ve středním okně se digitálně zobrazuje proud a v dolním okně je údaj o napětí mezi elektrodami. Na zdroji použijeme nastavovací knoflíky označené „COARSE“ (hrubě) a „FINE“ (jemně), abychom nastavili napětí 0,1 V a sledujeme průběh proudu.

Měření je nastaveno na 1 minutu (viz horní okno), aby se ustálily poměry na elektrodách, které se průchodem proudu polarizují. Do tabulky č. 2 proto zapisujeme hodnotu proudu až těsně před vypršením minuty. V průběhu experimentu je třeba regulovat napětí tak, aby byla dodržena předepsaná hodnota.

Zelenými šipkami zvolíme opakování experimentu a zvýšíme napětí o 0,1 V. Postup opakujeme až do napětí 1,2 V. Pak je třeba **změnit rozsah ampérmetru na 100 mA**, zvolit opakování červenými šipkami, načíst „elyt2b.imc“ a pokračovat v měření, abychom vyplnili tab. č. 2 a mohli sestavit voltampérovou charakteristiku elektrolytu.

Pozn: Pokud by proud 10 mA byl překročen již při nižším napětí, je třeba přepnout na 100 mA a načíst „elyt2.imc“ také dříve.

3. úkol: Odpor 500 Ω zaměníme za **10 Ω**, elektrody přiblížíme na 2 cm, ampérmetr přepneme na rozsah **1 A**. Zelenými šipkami zvolíme „opakování experimentu“. Napětí zdroje zvýšíme na 9 až 9,9 V. Při procházejícím proudem si pozorně prohlédneme obě elektrody. Do protokolu zapíšeme, čím se liší a teoreticky zdůvodníme.

Necháme asi pět minut procházet proud. Pak načteme do konfigurace „elyt3.imc“, vypneme elektrický zdroj, odpojíme od něho dva přírodní vodiče, přepneme voltmetr na rozsah 0,1 V a spustíme měření.

Na obrazovce je digitální údaj o napětí v jednotkách milivoltů. Přestože je odpojen zdroj, mezi elektrodami existuje polarizační napětí – vytvořili jsme galvanický článek. V dolním okně se kreslí závislost polarizačního napětí na čase. Zapišeme do závěru, jakých dosahovalo hodnot a jak se měnilo.

Po ukončení měření je třeba elektrody opláchnout vodou a osušit.

Protokol

Název: Elektrolytický vodič

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1) *Tabulka. č. 1: Závislost odporu vody na vzdálenosti elektrod*

č. měření	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{l}{cm}$	8	7	6	5	4	3	2
$\frac{R}{k\Omega}$	...	...	...	...	...	...	...

Graf: *Závislost odporu vody na vzdálenosti elektrod.*

2) *Tabulka. č. 2: Voltampérová charakteristika elektrolytu ($H_2SO_4 + H_2O$)*

č.m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$\frac{U}{V}$	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
$\frac{I}{mA}$	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Graf: *Voltampérová charakteristika elektrolytu (H_2SO_4 ve vodě)*

Z grafu určené rozkladné napětí: $U_r = .. V$

Z grafu určená směrnice: $G = ... mS$, $R = ... k\Omega$.

Závěr: Diskutovat závislost odporu vody natočené z vodovodu na vzdálenosti ponořených elektrod a voltampérovou charakteristiku elektrolytu (H_2SO_4 ve vodě). Uvést rozkladné napětí. Porovnat, jak se změní odpor vody přikápnutím kyseliny sírové.

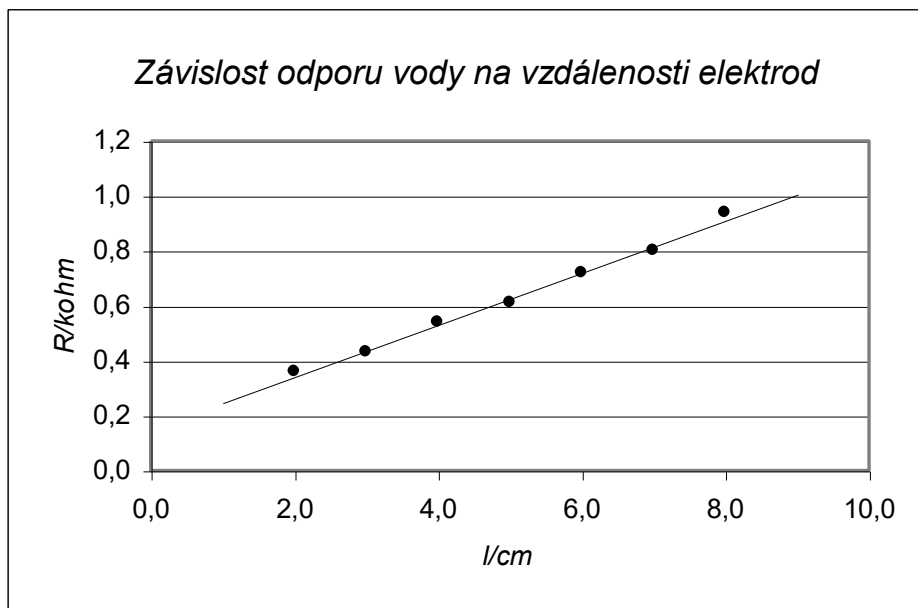
Porovnat vzhled dějů na anodě a na katodě – zdůvodnit.

Popsat, jak se chovají elektrody po odpojení od zdroje napětí, okomentovat závislost polarizačního napětí na čase.

Výsledky

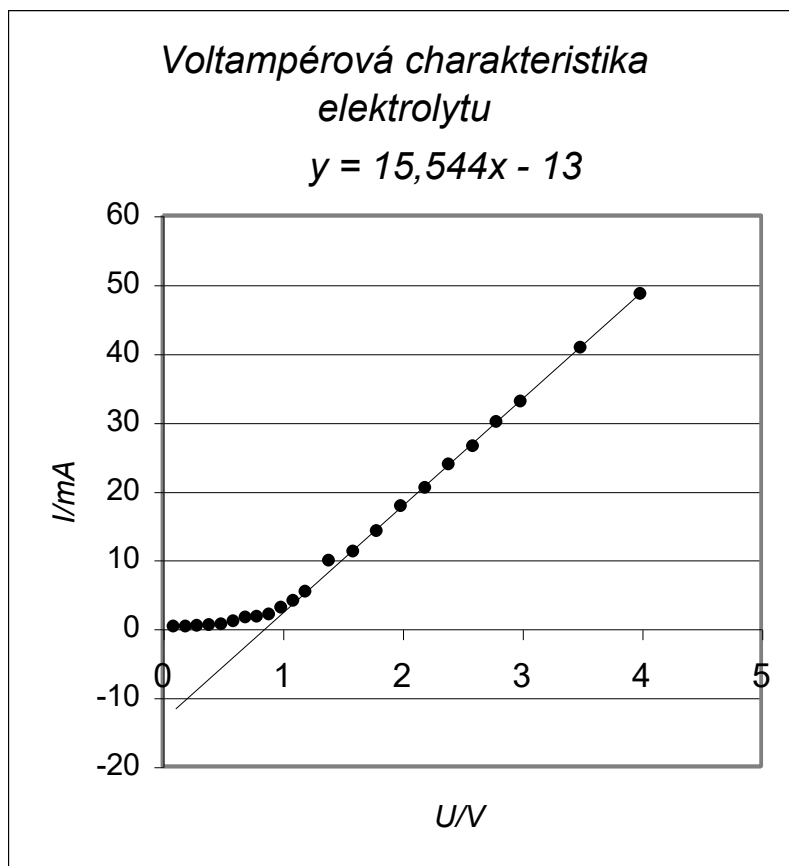
1) *Tabulka. č. 1: Závislost odporu vody na vzdálenosti elektrod*

č. měření	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{l}{cm}$	8	7	6	5	4	3	2
$\frac{R}{k\Omega}$	0,94	0,80	0,72	0,61	0,54	0,43	0,36



2) *Tabulka. č. 2: Voltampérová charakteristika elektrolytu ($H_2SO_4 + H_2O$)*

č.m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$\frac{U}{V}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5	4,0
$\frac{I}{mA}$	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,9	1,5	1,6	1,9	2,9	3,9	5,2	9,7	11,0	14,0	17,6	20,3	23,7	26,3	29,9	32,8	40,6	48,5



Z grafu určené rozkladné napětí: $U_r = 0,8 \text{ V}$

Z grafu určená směrnic: $G = 15,54 \text{ mS}$, $R = 0,064 \text{ k}\Omega$.

3) Odlišnost ve vzhledu dějů na elektrodách – zdůvodnění: Katoda je výrazně více pokryta bublinkami plynu (zde jde o vodík) než anoda. Po odpojení zdroje napětí se dvojice elektrod chová jako zdroj o napětí zpočátku např. 70 mV. Tento zdroj má kladný pól na původní anodě a záporný na katodě. Polarizační napětí pozvolna klesá.

Závěr: Z grafu je vidět, že odpor vody je lineární funkcí vzdálenosti elektrod, o přímou úměrnost se však nejedná. Odpor se měnil v rozmezí 360 Ω až 940 Ω . Odpor závisí na hloubce ponoření elektrod.

Z voltampérové charakteristiky vyplývá, že zpočátku zvyšujeme napětí, ale proud téměř neprochází. Po překročení rozkladného napětí (asi 0,8 V) roste proud lineárně.

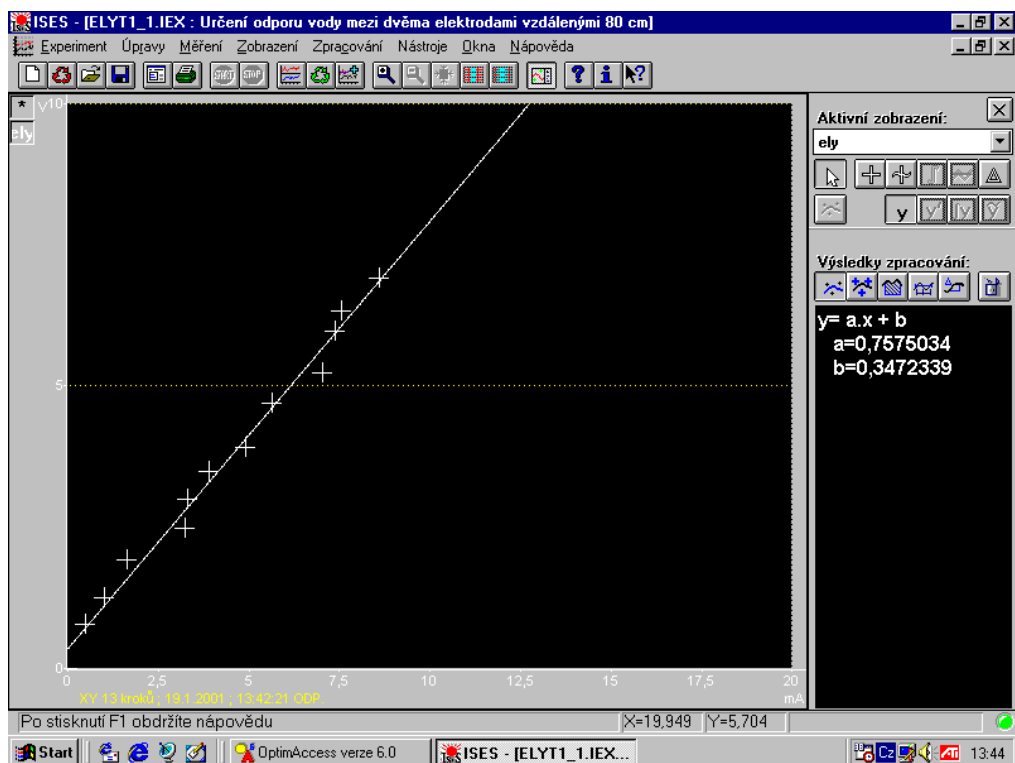
Odpor vody bez kyseliny je při vzdálenosti 8 cm 940 Ω , zatímco s kyselinou přibližně 60 Ω , což je přibližně šestnáctkrát méně. V obou případech závisí odpor také na hloubce ponoření elektrod.

Katoda je výrazně více pokryta bublinkami vodíku, protože vodíku se uvolňuje dvakrát větší objem než kyslíku na anodě, jenž navíc reaguje v okolí elektrody.

Polarizační napětí mělo na počátku hodnotu 92 mV, která s časem klesla, tak, jak docházelo k vyprchávání plynů a vybíjení tohoto galvanického článku. Po uplynutí 5 minut kleslo polarizační napětí na 15 mV.

Ukázky měřicích obrazovek

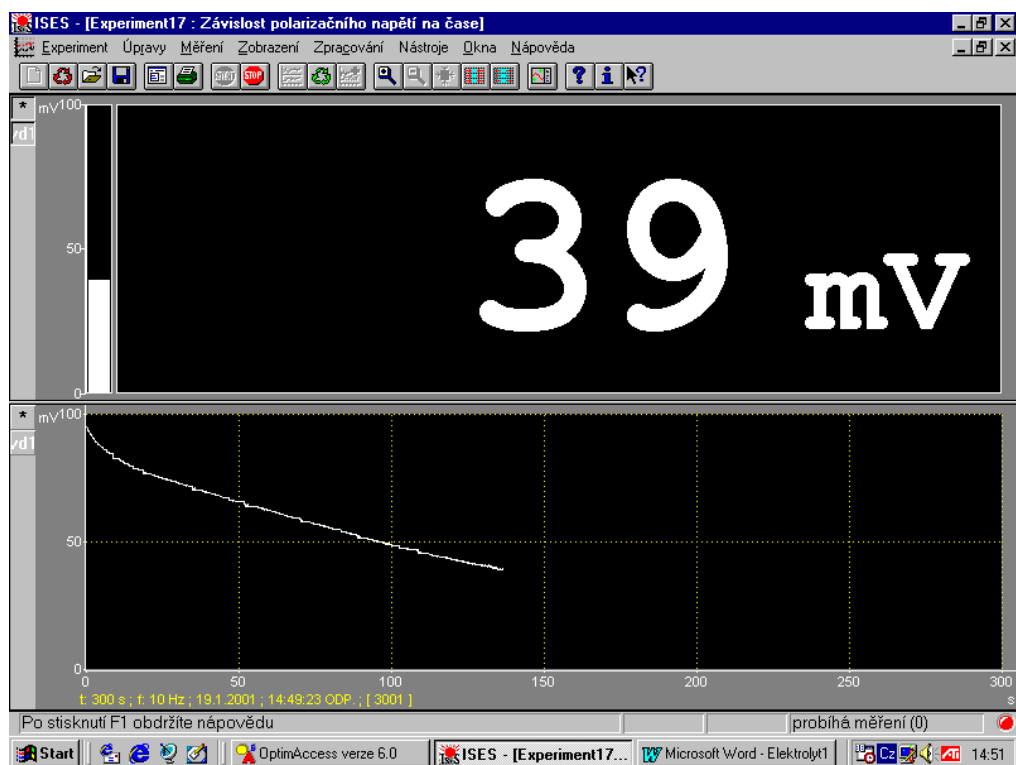
Úkol č. 1: Určení odporu vody mezi elektrodami (elyt1.imc)



Úkol č.2: Měření proudu a napětí v elektrolytu (H_2SO_4 ve vodě) (elyt2a.imc)



Úkol č.3: Závislost polarizačního napětí na čase (elyt3.imc)



R,C v obvodu střídavého proudu

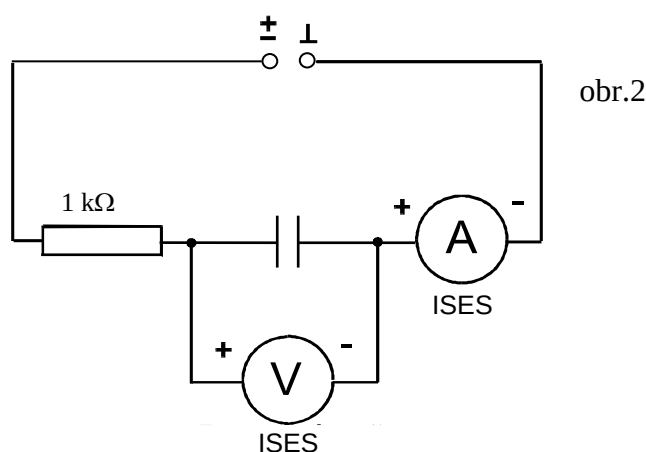
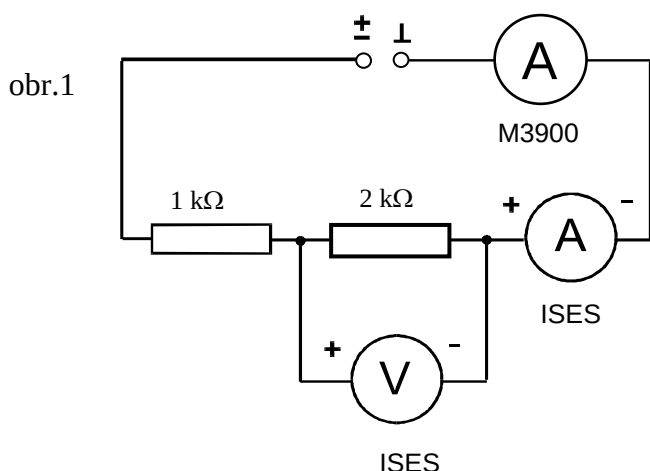
Pomůcky: Systém ISES, moduly: voltmetr, ampérmetr, kondenzátor na destičce, sada rezistorů, multimetr (např. M3900), 7 spojovacích vodičů, soubory **rcstrid1.imc**, **rcstrid2.imc**.

Úkoly:

- 1) Změřit amplitudu střídavého proudu, jeho efektivní hodnotu a frekvenci na rezistoru 2 kΩ.
- 2) Určit hodnotu odporu a fázového posunutí na rezistoru 2 kΩ při různých frekvencích.
- 3) Proměřit kondenzátor v obvodu střídavého proudu při různých frekvencích – nakreslit graf: *Závislost kapacity na frekvenci*, určit kapacitu a fázové posunutí.

Teorie:

Měření provedeme podle následujících zapojení, odpor 1 kΩ slouží jen jako předřadný.



Pro odpor rezistoru platí $R = \frac{U_m}{I_m}$, pro kapacitanci kondenzátoru platí $X_C = \frac{U_m}{I_m}$, $X_C = \frac{1}{\omega C}$.

Fázové posunutí φ vypočteme z časového posunutí Δt pomocí vztahu $\varphi = \omega \cdot \Delta t$

Nastavení: rcstrid1.imc: čas 10 s, 1000 Hz, start automatický, výstupní kanál E sinus pulsy (0 V, 4 V, 30 Hz), panel č.1 – graf $U=f(t)$ napětí U od –5 V do +5 V, panel č.2 – graf $I=f(t)$ proud I od –5 mA do +5 mA.

rcstrid2.imc: čas 0,25 s, 1000 Hz, start automatický, výstupní kanál E sinus pulsy (0 V, 4 V, 20 Hz), panel č.1 – graf $U=f(t)$ napětí U od –5 V do +5 V, panel č.2 – graf $I=f(t)$ proud I od –5 mA do +5 mA.

Provedení:

1.,2. úkol: Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu A**. Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **10 mA** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu B**.

Zapojíme obvod se dvěma rezistory podle obr. 1, jako zdroj napětí použijeme výstupní kanál E. Multimetr nastavíme jako ampérmetr pro měření střídavých proudů **ACA 20 mA**.

Učitelův počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES. Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „**rcstrid1.imc**“.

Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení!

Soubor „**rcstrid1.imc**“ nastavil měření na 10 s, v okně „**Výstupní kanály**“ vidíme, že do kanálu E budou vysílány „**sinus pulsy (0 V, 4 V, 30 Hz)**“. Tato čísla znamenají, že počítač generuje sinusové napětí okolo základní hladiny nula s amplitudou 4 V a frekvencí 30 Hz. Spustíme měření a po čas deseti sekund sledujeme efektivní hodnotu proudu na ampérmetru, kterou zapíšeme do tabulky č. 1.

V horním okně obrazovky se objevila závislost napětí (ve voltech) na čase a v dolním okně závislost proudu (v miliampérech) na čase. Nástrojem „lupa“  si zvětšíme malou část grafu, abychom viděli sinusový průběh napětí (asi 5 – 10 period).

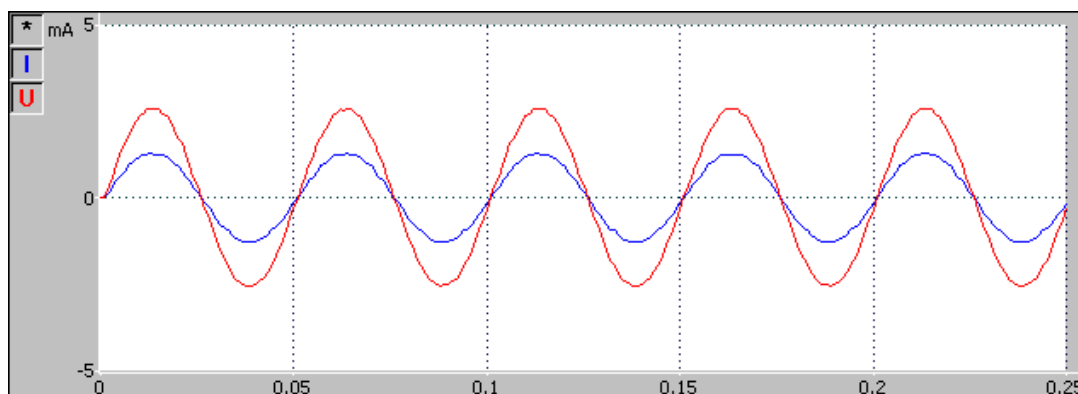
Umístíme kurzorovou šipku co nejpřesněji do některého maxima a sledujeme na dolní liště souřadnici y . Tak určíme amplitudu napětí U_m , kterou zapíšeme do tabulky. č 1 (lze použít také klouzavý nebo volný odečet).

Dále klikneme někde do dolního okna, zvětšíme si lupou část grafu a podobně jako v předešlém určíme amplitudu proudu I_m .

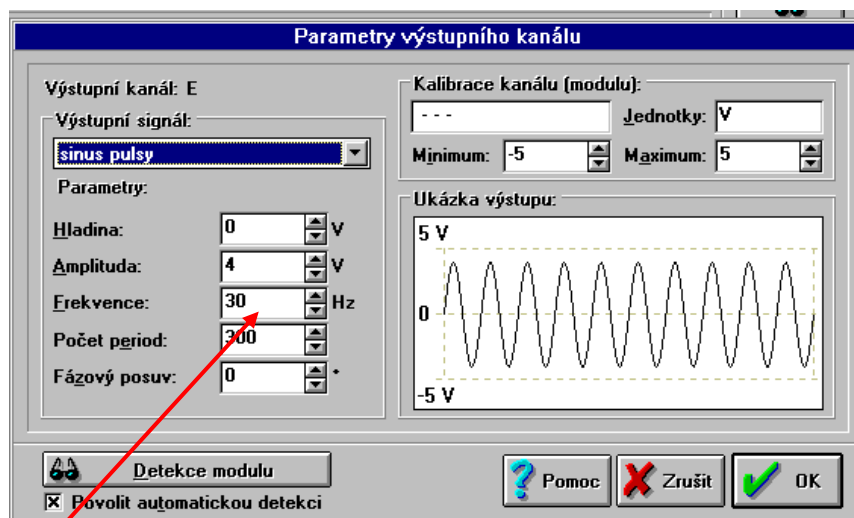
Pomocí ikony „zpracování hodnot“  a „odečet frekvence“  (musíme graf několikrát protnout úsečkou) ověříme, že napětí mělo skutečně frekvenci 30 Hz.

Vymažeme poslední akci pomocí ikony „smazání výsledků“ .

Nyní přemístíme šipku vlevo do okénka , stiskneme levé tlačítko, přetáhneme kamkoli do horního okna a uvolníme. Oba grafy se nám teď složí do jediného. Po zvětšení lupou lze posoudit, zda napětí (větší amplituda) a proud (menší amplituda) jsou fázově posunuty. Zapišeme poznatek o fázovém posunu do protokolu.



Červenými šipkami zvolíme nahrazení pokusu a provedeme změnu frekvence. Kliknutím na „Parametry výstupu“ se otevře nové okno:



V okénku „frekvence“ změníme hodnotu na 40 Hz a spustíme měření. Odečteme všechny veličiny pro tabulku č. 1 a postup zopakujeme ještě pro frekvenci 50 Hz.

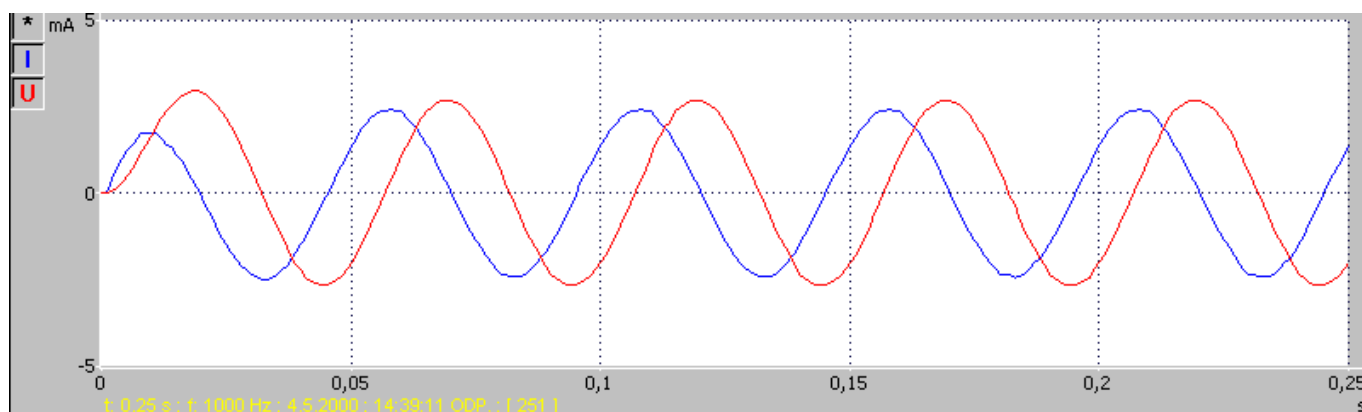
3. úkol: Červenými šipkami zvolíme nahrazení experimentu, načteme „rcstrid2.imc“.

Změníme zapojení podle obr. 2 a **požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení!**

Soubor „rcstrid2.imc“ nastavil měření na 0,25 s, v okně „Výstupní kanály“ vidíme, že do kanálu E budou vysílány „sinus pulsy (0 V, 4 V, 20 Hz)“. Počítač generuje sinusové napětí okolo základní hladiny nula s amplitudou 4 V a frekvencí 20 Hz po čas 0,25 s.

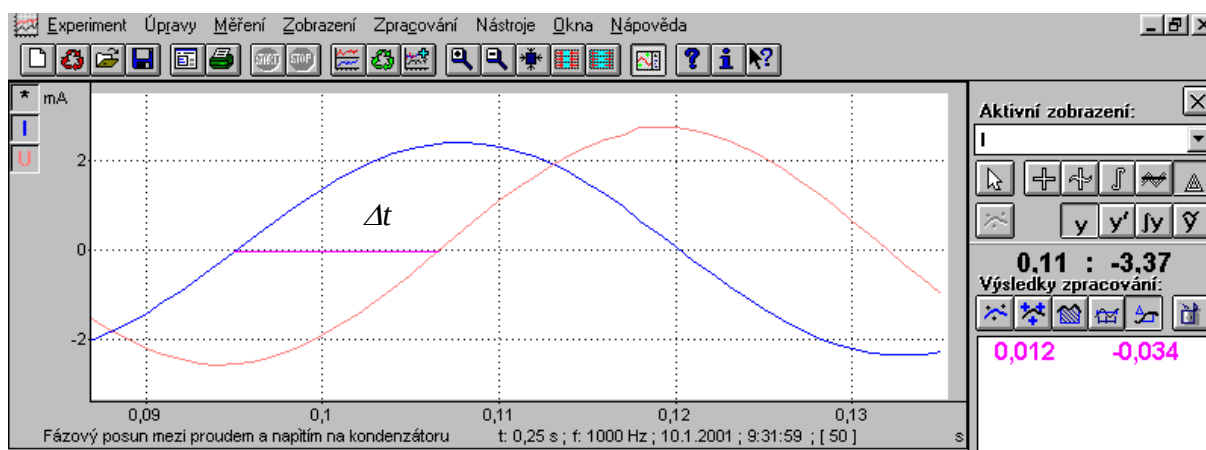
Spustíme měření a po jeho skončení tak jako v předchozí úloze odečteme pomocí kurzoru ve tvaru šipky amplitudu napětí a amplitudu proudu, které zapíšeme do tabulky č. 2.

Klikneme na dolní okno proudu a známým způsobem přesuneme graf proudu do grafu napětí. Vidíme fázový posun, proud (menší amplituda) předbíhá napětí (větší amplituda).



Velikost fázového posunu φ určíme z časového posunu Δt nejlépe v části grafu zvětšené lupou.

Použijeme ikony „zpracování hodnot“  a „odečet rozdílu“ . Δt určíme na časové ose, φ vypočteme ze známé frekvence



Červenými šipkami zvolíme nahrazení experimentu.

V „parametrech výstupu“, okénku „frekvence“ zvýšíme hodnotu o 3 Hz a spustíme měření. Odečteme všechny veličiny pro tabulku č. 2 a postup opakujeme po 3 Hz až do 50 Hz. Při vzrůstání frekvence lze pozorovat vzrůst proudu vzhledem k napětí.

Zkrácená verze

- Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu A**. Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **10 mA** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu B**.
- Zapojíme obvod se dvěma rezistory podle obr. 1, jako zdroj napětí použijeme výstupní kanál E. Multimetr nastavíme jako ampérmetr pro měření střídavých proudů **ACA 20 mA**.
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme soubory **rcstrid1.imc** a **rcstrid2.imc** a spustíme ISES.
- Založíme nový experiment a do konfigurace načteme **rcstrid1.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Spustíme měření. Během 10 s přečteme efektivní proud na digitálním ampérmetru a po skončení měření určíme z obrazovky I_m a U_m pro tabulku č. 1. Odečteme frekvenci střídavého napětí.
- Složením do jednoho grafu pozorujeme fázový posun mezi proudem a napětím.
- Postup opakujeme pro 40 Hz a 50 Hz.
- Načteme **rcstrid2.imc** a zapojíme obvod podle obr. 2.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Spustíme měření a po jeho skončení odečteme z obrazovky I_m a U_m pro tabulku č. 2.
- Složením do jednoho grafu pozorujeme fázový posun mezi proudem a napětím. Pomocí nástroje „odečet rozdílu“ odečteme časový rozdíl a z něho fázový rozdíl.
- Frekvenci zvyšujeme od 20 Hz po 3 Hz až do 50 Hz a opakujeme vždy odečet předchozích veličin.

Protokol

Název: R,C v obvodu střídavého proudu

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1), 2)

Tabulka č.1: Rezistor v obvodu střídavého proudu

$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{I_{ef}}{\text{mA}}$	$\frac{I_{ef} \cdot \sqrt{2}}{\text{mA}}$	$\frac{I_m}{\text{mA}}$	$\frac{U_m}{\text{V}}$	$\frac{R}{\text{k}\Omega}$
30	.,..	.,..	.,..	.,...	.,..
40	.,..	.,..	.,..	.,...	.,..
50	.,..	.,..	.,..	.,...	.,..

Fázové posunutí na rezistoru: $\varphi = . \text{ rad}$ průměrný odpor $\bar{R} = .,.. \text{ k}\Omega$.

3)

Tabulka č.2: Kondenzátor v obvodu střídavého proudu

$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{U_m}{\text{V}}$	$\frac{I_m}{\text{mA}}$	$\frac{X_C}{\text{k}\Omega}$	$\frac{C}{\mu\text{F}}$	$\frac{\Delta t}{\text{ms}}$	$\frac{\varphi}{\pi \cdot \text{rad}}$
20	.,...	.,...	.,...	.,..	..	.,..
23	.,...	.,...	.,...	.,..	..	.,..
26	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
29	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
32	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
35	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
38	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
41	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
44	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
47	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..
50	.,...	.,...	.,...	.,..	.	.,..

Naměřená kapacita: $C = (.,.. \pm .,..) \mu\text{F}$ s relativní odchylkou ., % .

Naměřené fázové posunutí: $\varphi = (.,.. \pm .,..) \cdot \pi \text{ rad}$ s relativní odchylkou ., % .

Graf: *Závislost kapacity na frekvenci střídavého napětí.*

Závěr: Porovnat efektivní hodnoty střídavého proudu naměřené digitálním ampérmetrem s amplitudami určenými odečtem z obrazovky. Porovnat jmenovitou hodnotu odporu $2 \text{ k}\Omega$ s hodnotou vypočtenou, jaké je fázové posunutí na rezistoru?

Zapsat vypočtenou kapacitu a fázový posun na kondenzátoru. Okomentovat graf: *Závislost kapacity na frekvenci.*

Výsledky

1), 2)

Tabulka č.1: Rezistor v obvodu střídavého proudu

$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{I_{ef}}{\text{mA}}$	$\frac{I_{ef} \cdot \sqrt{2}}{\text{mA}}$	$\frac{I_m}{\text{mA}}$	$\frac{U_m}{\text{V}}$	$\frac{R}{\text{k}\Omega}$
30	0,90	1,27	1,29	2,612	2,02
40	0,90	1,27	1,29	2,576	2,00
50	0,90	1,27	1,29	2,603	2,02

Fázové posunutí na rezistoru: $\varphi = 0 \text{ rad}$ průměrný odpor $\bar{R} = 2,01 \text{ k}\Omega$.

3)

Tabulka č.2: Kondenzátor v obvodu střídavého proudu

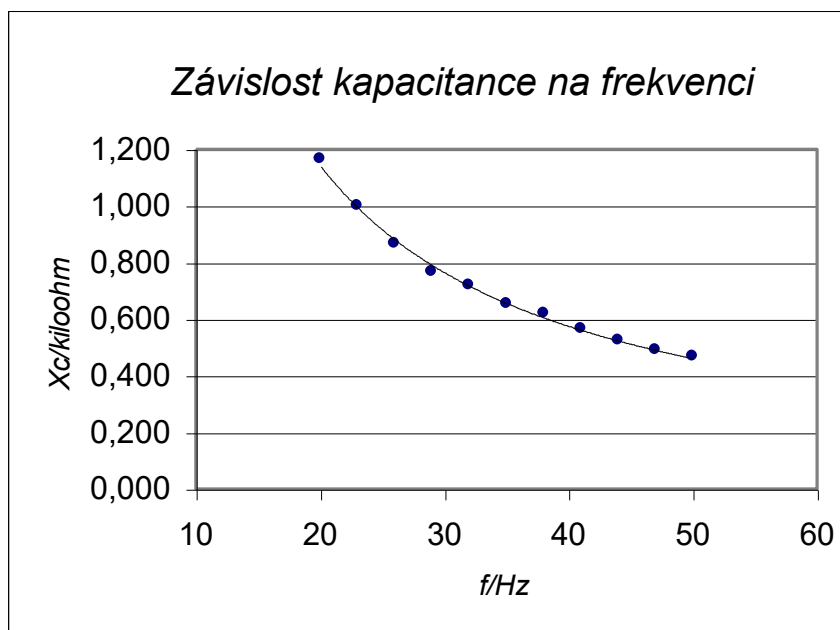
$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{U_m}{\text{V}}$	$\frac{I_m}{\text{mA}}$	$\frac{X_C}{\text{k}\Omega}$	$\frac{C}{\mu\text{F}}$	$\frac{\Delta t}{\text{ms}}$	$\frac{\varphi}{\pi \cdot \text{rad}}$
20	2,772	2,376	1,167	6,82	12	0,48
23	2,525	2,525	1,000	6,92	10	0,46
26	2,277	2,623	0,868	7,06	9	0,47
29	2,128	2,772	0,768	7,15	8	0,46
32	2,030	2,821	0,720	6,92	7	0,45
35	1,881	2,871	0,655	6,94	7	0,49
38	1,781	2,871	0,620	6,76	6	0,46
41	1,682	2,970	0,566	6,86	6	0,49
44	1,584	3,019	0,525	6,90	5	0,44
47	1,485	3,019	0,492	6,89	5	0,47
50	1,435	3,068	0,468	6,81	5	0,50

Naměřená kapacita:

$$C = (6,91 \pm 0,09) \mu\text{F} \text{ s relativní odchylkou } 1,3 \% .$$

Naměřené fázové posunutí:

$$\varphi = (0,47 \pm 0,02) \cdot \pi \text{ rad s relativní odchylkou } 4,3 \% .$$



Závěr: Experimentálně byla změřena efektivní hodnota proudu digitálním ampérmetrem a jeho amplituda prostřednictvím ampérmetru ISES. Relativní odchylky od teoretického vztahu $I_m = I \cdot \sqrt{2}$ jsou 1,6 %. Průměrná hodnota odporu je 2,01 kΩ. Odpor nezávisel na frekvenci, fázové posunutí u všech frekvencí je 0 rad.

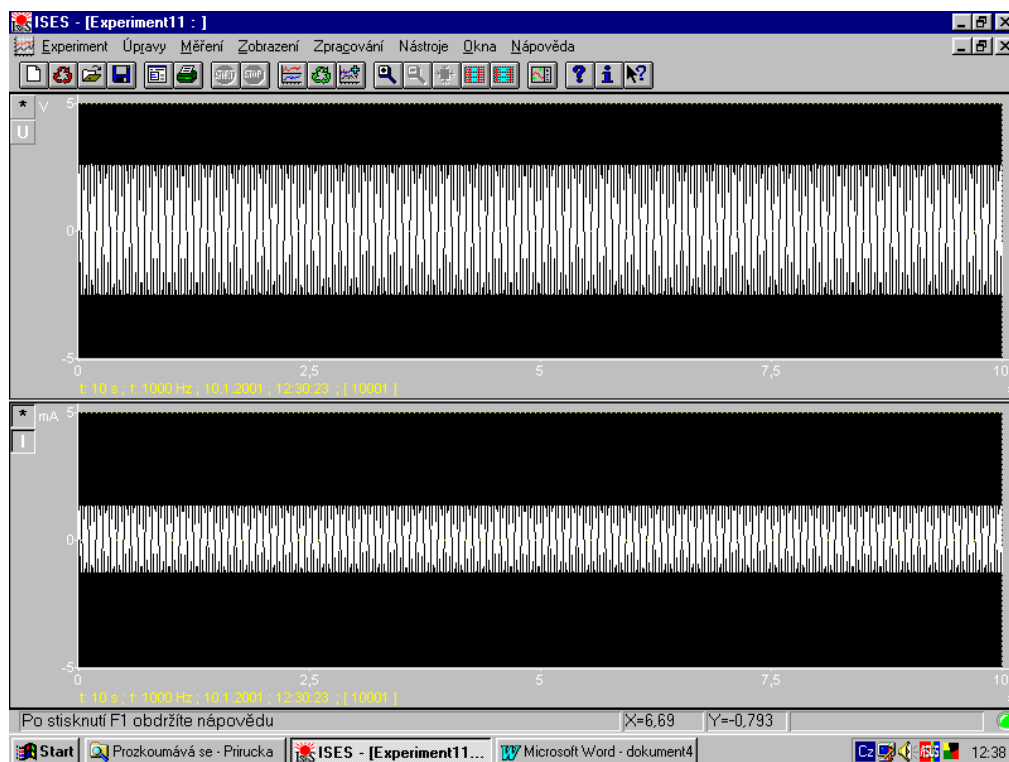
Byla určena kapacita kondenzátoru $C = (6,91 \pm 0,09) \mu F$ s relativní odchylkou 1,3 %. Fázový posun mezi proudem a napětím $\varphi = (0,47 \pm 0,02) \cdot \pi$ rad s relativní odchylkou 4,3 %, což je hodnota, která se dobře blíží k teoretické hodnotě $\varphi = 0,5 \cdot \pi$ rad. Odchylka je způsobena především tím, že neuvažujeme svodový odpor kondenzátoru a také odpor a kapacitu měřicích přístrojů.

Kapacitance s rostoucí frekvencí proudu klesá, grafem je část hyperboly, což potvrzuje vztah

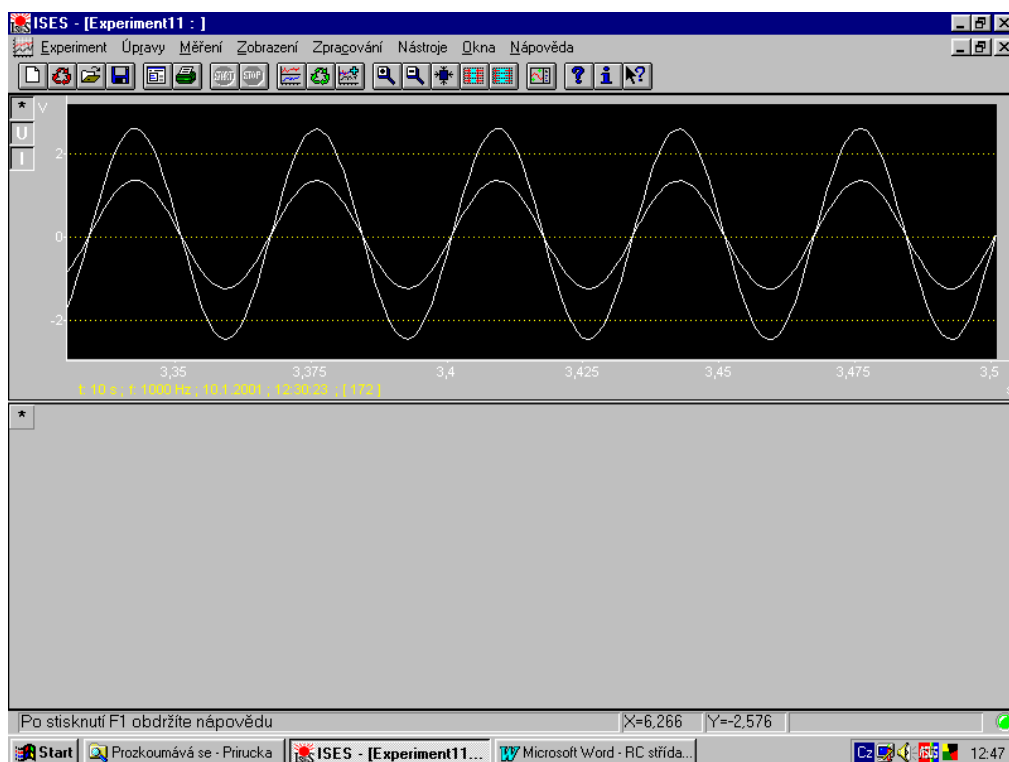
$$X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Ukázky měřicích obrazovek

Úkoly č. 1, 2: Měření na rezistoru $2\text{ k}\Omega$ - napětí a proud v samostatných oknech (rcstrid1.imc)

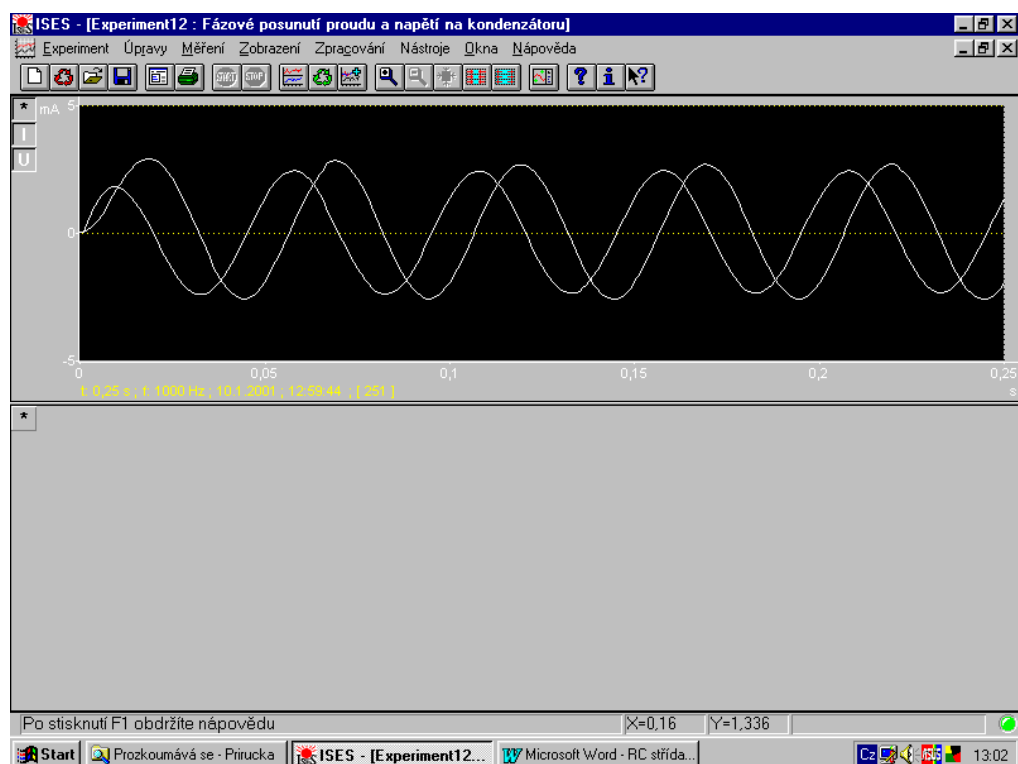


Úkoly č. 1, 2: Měření na rezistoru $2\text{ k}\Omega$ - napětí a proud složené a zvětšené do jednoho okna (rcstrid1.imc)

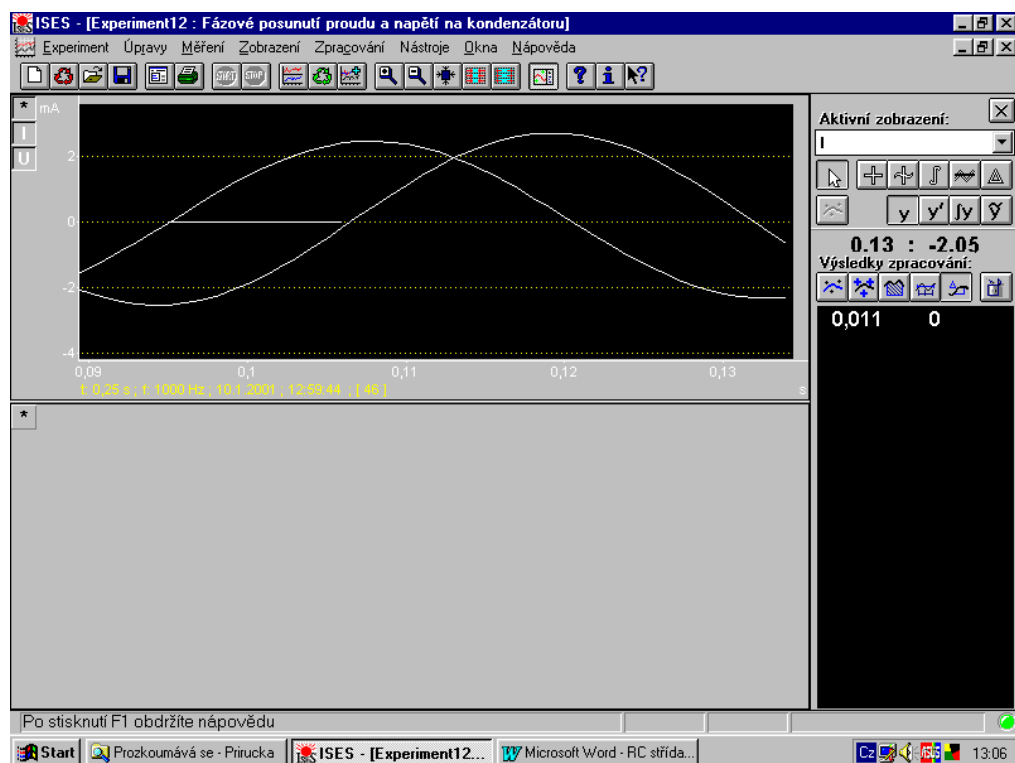


R,C v obvodu střídavého proudu

Úkol č. 3: Měření na kondenzátoru - napětí a proud složené do jednoho okna (rcstrid2.imc)



Úkol č. 3: Určení časového posunu mezi I a U na kondenzátoru (rcstrid2.imc)



Rezonance v obvodu RLC

Pomůcky: Systém ISES, moduly: voltmetr, ampérmetr, dva kondenzátory na destičkách, dvě cívky na uzavřeném jádře s pohyblivým jhem, 7 spojovacích vodičů, 2 krokosvorky, soubory: **reza1.imc, reza2.imc, reza3.imc, reza4.imc.**

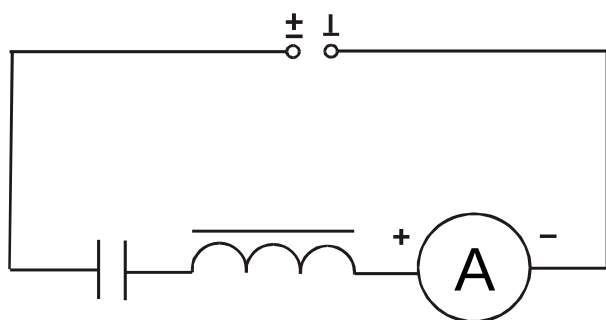
Úkoly:

- 1) Seznámit se s rozmlítačem.
- 2) Prozkoumat, jak rezonanční frekvence závisí na kapacitě kondenzátoru.
- 3) Prozkoumat, jak rezonanční frekvence závisí na parametrech cívky.
- 4) Pozorovat, jak se při rezonanci mění velikost proudu a svorkového napětí a jejich fázový posun.
- 5) Proměřit veličiny pro sestavení grafů: *Závislost impedance a proudu na frekvenci.*

Teorie:

Měření provedeme podle následujících zapojení.

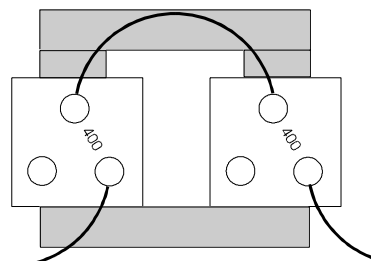
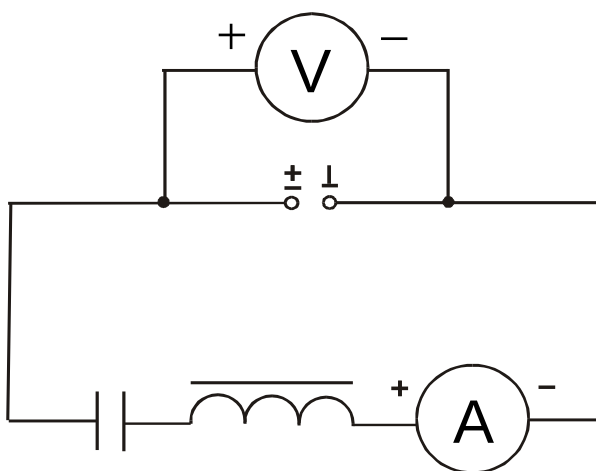
obr. 1



Pro rezonanční frekvenci platí $f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$

$$\text{impedance } Z = \frac{U_m}{I_m}$$

obr. 2



Cívka 2x400
závitů

Nastavení: *reza1.imc*: čas 1 s, 1000 Hz, start automatický, výstupní kanál E rozmlítač (0 V, 5 V, 10 Hz, 200 Hz), panel č.1 – graf – výstupní napětí $U=f(t)$ od -5 V do +5 V.

reza2.imc: čas 1 s, 1000 Hz, start automatický, výstupní kanál E rozmlítač (0 V, 5 V, 10 Hz, 200 Hz), panel č.1 – graf $I=f(t)$ proud I od -50 mA do +50 mA.

reza3.imc: : čas 1 s, 1000 Hz, start automatický, výstupní kanál E rozmlítač (0 V, 5 V, 10 Hz, 200 Hz), panel č.1 – graf $I=f(t)$ proud I od -50 mA do +50 mA, panel č.2 – graf $U=f(t)$ napětí U od -5 V do +5 V.

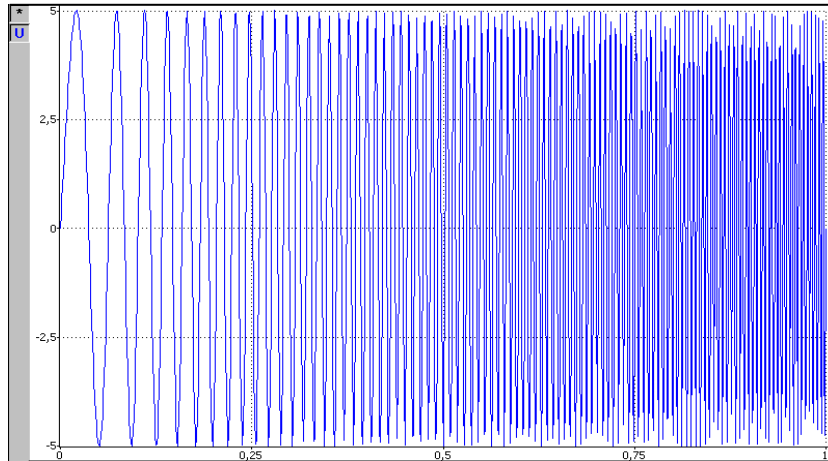
reza4.imc: čas 0,25 s, 1000 Hz, start automatický, výstupní kanál E sinus pulsy (0 V, 5 V, 20 Hz), panel č.1: graf $I=f(t)$ proud I od -50 mA do +50 mA, panel č.2 – graf $U=f(t)$ napětí U od -5 V do +5 V

Provedení:

1. úkol: Učitel'ský počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES. Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „**rezo**na1.imc“.

Soubor „**rezo**na1.imc“ nastavil měření na 1 s, v okně „**Výstupní kanály**“ vidíme, že do kanálu E bude vysílán signál „**E = rozmítač (0 V; 5 V; 10 Hz; 200 Hz)**“. To znamená, že jde o výstupní střídavé napětí kolísající okolo 0 V s amplitudou 5 V, počáteční frekvencí 10 Hz a konečnou frekvencí 200 Hz. Někde v tomto frekvenčním rozsahu bude docházet k rezonanci.

Spustíme měření. Na obrazovce se objeví graf rozmítaného napětí v závislosti na čase.



Graf se směrem doprava „zahušťuje“, což odpovídá zvyšování frekvence střídavého napětí. Tak pracuje rozmítač.

Zvětšíme si lupou  levou část grafu těsně po nulovém čase. Pomocí ikony „**zpracování výsledků**“ a „**odečet rozdílů**“ změříme první „periodu“ T_1 a vypočteme počáteční frekvenci f_1 , vrátíme zpátky zvětšení ikonou  . Vymažeme výsledky zpracování ikonou  a vybereme lupou střední část grafu (okolo 0,5 s) a určíme střední frekvenci f_2 . Postup zopakujeme ještě pro konečnou frekvenci f_3 .

2. úkol: Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu A**. Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **0,1 A** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu B**.

Zapojíme obvod podle obr. 1. Zařadíme kondenzátor č. 1, cívku 2x400 závitů a jako zdroj napětí použijeme výstupní kanál E. Červenými šipkami nahradíme experiment a z katedry načteme „**rezo**na2.imc“.

Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení!

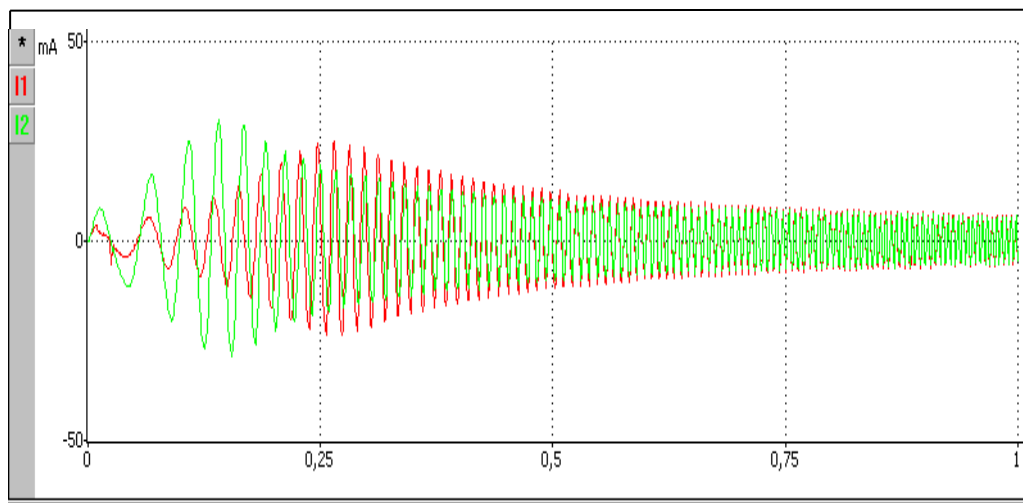
Po spuštění měření se v okně objeví graf závislosti proudu v obvodu na čase, tedy i na rostoucí frekvenci. Extrém křivky odpovídá stavu rezonance. Zvětšíme si lupou několik kmitů v okolí extrému a nástrojem

„**odečet rozdílů**“  určíme jaká byla v tu chvíli perioda T_1 a rezonanční frekvence f_1 . Smažeme 

Vrátíme zpátky zvětšení  , zapojíme kondenzátor č. 2 , klikneme na ikonu „**přidat měření**“ 

Do stejného grafu se nám přidá další průběh proudu.

Je vidět, že rezonance nastala při jiné, nižší frekvenci. Co lze usoudit o velikostech kapacit C_1 a C_2 ?



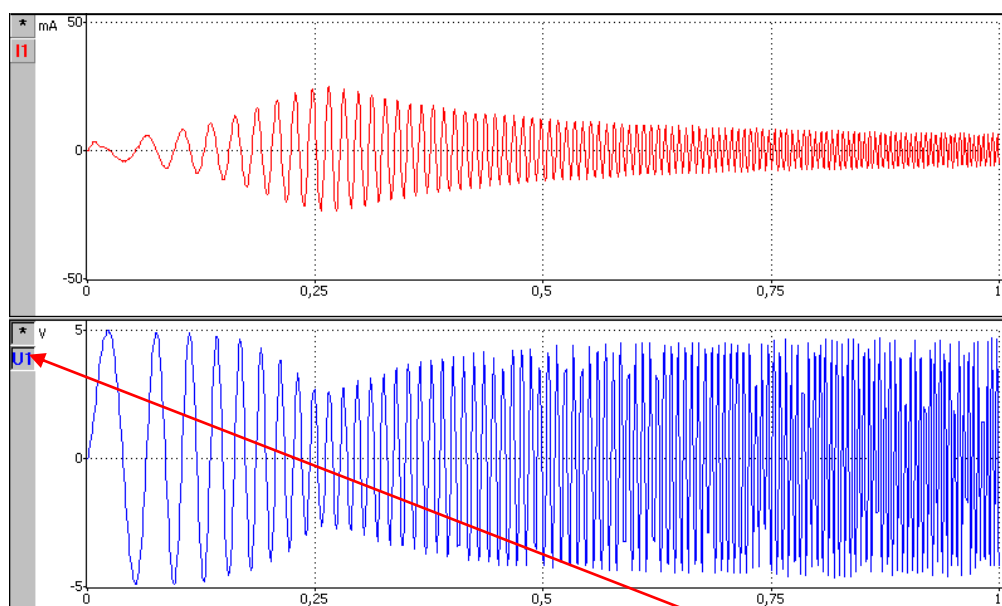
Podobně jako v předešlém určíme periodu T_2 a rezonanční frekvenci f_2 . Smažeme  a vrátíme zvětšení .

Kondenzátory zapojíme ještě do série a zvolíme „přidat měření“.  Jak se změnila rezonanční frekvence? Zdůvodněte.

3. úkol: Do obvodu vrátíme pouze kondenzátor č. 1, ponecháme „rezone2.imc“ a budeme provádět změny v indukčnosti cívky. Červenými šipkami nahradíme experiment a provedeme měření s cívku 2x400 závitů. Změníme zapojení cívek na 200+400 závitů a „přidáme měření“, pak zapojíme 200+200 závitů a ještě jednou „přidáme měření“. Sledujeme, jak se mění rezonanční frekvence a z toho usuzujeme, jak indukčnost cívky závisí na počtu závitů.

Zapojíme znovu cívku 2x400 závitů a pomocí červených šipek nahradíme experiment. Spustíme měření. Nyní posuneme jho asi do poloviny průřezu sloupku a „přidáme měření“, posuneme jho do čtvrtiny průřezu a „přidáme měření“, odstraníme zcela jho a „přidáme měření“. Jak se mění rezonanční frekvence a jaký tedy má poloha jha vliv na indukčnost cívky? Vrátime jho.

4. úkol: Červenými šipkami nahradíme experiment a načteme „rezone3.imc“, doplníme zapojení o voltmetr podle obr. 2 a spustíme měření. V horním okně je zobrazena závislost proudu na frekvenci a v dolním okně závislost svorkového napětí na frekvenci.



Je vidět, že při rezonanci je maximální proud v obvodu a tím nejvíce poklesne svorkové napětí.

Klikneme kamkoli do dolního okna, umístíme šipku kurzoru doleva do okénka **U1**, stiskneme levé tlačítko myši a při stisknutém tlačítku přetáhneme značku kamkoli do horního okna. a uvolníme. Oba



grafy jsme tím složí do jediného. Zvětšíme si lupou oblast rezonance a sledujeme fázový posun mezi proudem a napětím. Vrátime zpátky zvětšení a prohlédneme si lupou fázové posunutí vlevo od rezonance a pak i vpravo od rezonance. Co lze pozorovat?

5. úkol: Červenými šipkami nahradíme experiment a načteme „**rezona4.imc**“. Nyní již napětí v kanálu E nebude rozmítané, ale má pevně nastavenou frekvenci 20 Hz. Spustíme měření a z obrazovky pomocí šipky (nebo volného odečtu) přečteme amplitudu proudu a napětí. Po červených šípkách v „**Parametrech výstupu**“ změníme frekvenci na 30 Hz a provedeme měření. Tak zvyšujeme frekvenci po 10 Hz až do 150 Hz a vždy určíme I_m a U_m . Zapišeme do tabulky č. 1.

Pozn. Při vyšších frekvencích je již průběh poněkud „zubatý“, což souvisí se vzorkovací frekvencí jakou počítač umí měřit. Snažíme se měřit v těch nejvyšších extrémech.

Zkrácená verze

- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme soubory **rezona1.imc** až **rezona4.imc** a spustíme ISES.
- Založíme nový experiment a do konfigurace načteme. **rezona1.imc**.
- Po spuštění se objeví graf rozmítaného napětí, ze kterého odečteme počáteční frekvenci f_1 , střední frekvenci f_2 a konečnou frekvenci f_3 .
- Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu A**. Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **0,1 A** s nulou uprostřed $\leftarrow 0 \rightarrow$ a zasuneme do **kanálu B**.
- Sestavíme obvod podle obr. 1, jako zdroj napětí použijeme výstupní kanál E, zapojíme kondenzátor č. 1. Načteme **rezona2.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Po spuštění odečteme z grafu na obrazovce periodu T_1 a frekvenci f_1 při rezonanci.
- Zapojíme kondenzátor č. 2, přidáme měření a určíme T_2 a f_2 . Zapojíme kondenzátory do série a určíme T_3 a f_3 .
- Zapojíme kondenzátor č. 1, zkoumáme rezonanci pro cívky 2x400 závitů, 200+400 závitů a 2x200 závitů. Jak se měnila indukčnost?
- Zapojíme 2x400 závitů a vysouváme jho na polovinu a čtvrtinu průřezu a pak zcela odstraníme. Jak se měnila indukčnost?
- Načteme **rezona3.imc** a doplníme do obvodu voltmetr podle obr. 2.
- Složením do jednoho grafu pozorujeme fázový posun mezi proudem a napětím při rezonanci, pro frekvence nižší a vyšší.
- Načteme **rezona4.imc** a spustíme měření. Pomocí kurzorové šipky odečteme I_m a U_m .
- Frekvenci zvyšujeme od 20 Hz po 10 Hz až do 150 Hz a opakujeme vždy odečet předchozích veličin pro tabulku č. 1..

Protokol

Název: Rezonance v obvodu RLC

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

- 1) Studium rozmítače: počáteční frekvence $f_1 = \dots$ Hz
střední frekvence $f_2 = \dots$ Hz
konečná frekvence $f_3 = \dots$ Hz
- 2) Rezonance pro kondenzátor č. 1 o kapacitě C_1 : $f_1 = \dots$ Hz
Rezonance pro kondenzátor č. 2 o kapacitě C_2 : $f_2 = \dots$ Hz
Rezonance pro sériové spojení : $f_3 = \dots$ Hz
Z rezonančních frekvencí lze o velikostech kapacit usoudit:.....
Při sériovém spojení kondenzátorů je rezonanční frekvence z toho vyplývá pro výslednou kapacitu....
- 3) Při menším počtu závitů cívky je rezonanční frekvence Z toho plyne, že při menším počtu závitů je indukčnost cívky.....
Čím více vysouváme jho, tím je rezonanční frekvence..... Z toho plyne, že indučnost cívky
- 4) Při rezonanci je fázový posun mezi proudem a napětím Vlevo, pro frekvence nižší než je rezonanční, předbíhá a to tím více, čím dál jsme od rezonanční frekvence. Vpravo, pro frekvence vyšší než je rezonanční, předbíhá a to tím více, čím dál jsme od rezonanční frekvence.

- 5) *Tabulka č. 1: Závislost proudu a svorkového napětí na frekvenci, impedance.*

$\frac{f}{\text{Hz}}$	20	30	40	50	60	70	80
$\frac{I_m}{\text{mA}}$							
$\frac{U_m}{\text{V}}$							
$\frac{Z}{\text{k}\Omega}$							

$\frac{f}{\text{Hz}}$	90	100	110	120	130	140	150
$\frac{I_m}{\text{mA}}$							
$\frac{U_m}{\text{V}}$							
$\frac{Z}{\text{k}\Omega}$							

Grafy: Závislost proudu na frekvenci, Závislost impedance sériového RLC na frekvenci.

Závěr: Okomentovat, jak se měnila rezonanční frekvence při změně kapacity a co z toho plyne pro kapacitu kondenzátoru č. 1 a č. 2. Vyhodnotit souvislost mezi rezonanční frekvencí a parametry cívky. Okomentovat fázový při rezonanci a posun pro frekvence menší a větší než je rezonanční frekvence. Diskutovat průběh grafů.

Výsledky

- 1) Studium rozmítače: počáteční frekvence $f_1 = 15 \text{ Hz}$
 střední frekvence $f_2 = 100 \text{ Hz}$
 konečná frekvence $f_3 = 200 \text{ Hz}$

- 2) Rezonance pro kondenzátor č. 1 o kapacitě C_1 : $f_1 = 71 \text{ Hz}$

Rezonance pro kondenzátor č. 2 o kapacitě C_2 : $f_2 = 40 \text{ Hz}$

Rezonance pro sériové spojení : $f_3 = 80 \text{ Hz}$

Z rezonančních frekvencí lze o velikostech kapacit usoudit: $C_1 < C_2$.

Při sériovém spojení kondenzátorů je výsledná kapacita menší než C_1 i C_2 , proto rezonanční frekvence je nejvyšší.

- 3) Čím nižší je počet závitů cívky, tím vyšší je rezonanční frekvence. Z toho plyne, že při menším počtu závitů je indukčnost cívky menší.

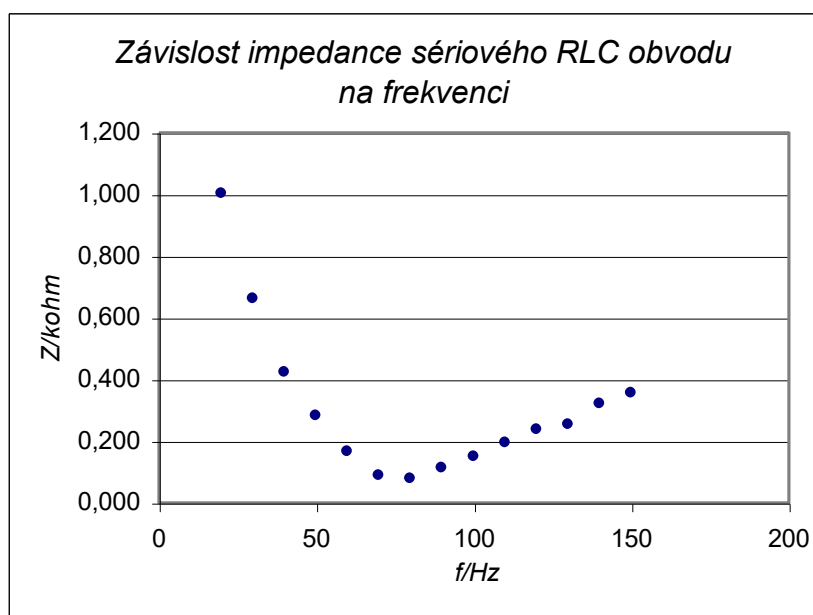
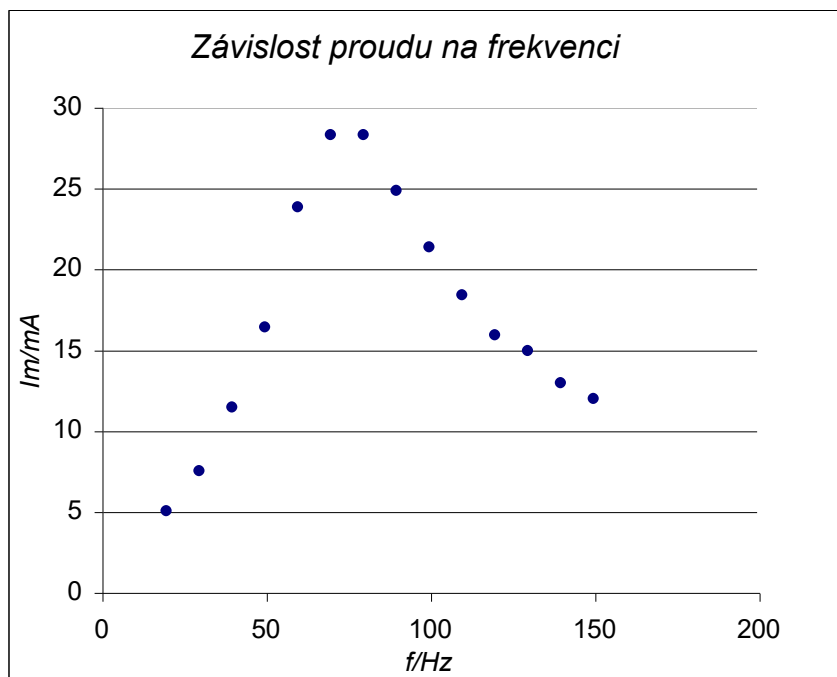
Čím více vysouváme jho, tím je rezonanční frekvence vyšší. Z toho plyne, že indučnost cívky klesá.

- 4) Při rezonanci jsou proud a napětí ve fázi. Vlevo, pro frekvence nižší než je rezonanční, předbíhá proud napětí a to tím více, čím dál jsme od rezonanční frekvence. Vpravo, pro frekvence vyšší než je rezonanční, předbíhá napětí proud a to tím více, čím dál jsme od rezonanční frekvence.

- 5) *Tabulka č. 1: Závislost proudu a svorkového napětí na frekvenci, impedance.*

$\frac{f}{\text{Hz}}$	20	30	40	50	60	70	80
$\frac{I_m}{\text{mA}}$	4,940	7,423	11,383	16,336	23,758	28,215	28,215
$\frac{U_m}{\text{V}}$	4,950	4,901	4,801	4,604	3,91	2,475	2,177
$\frac{Z}{\text{k}\Omega}$	1,002	0,660	0,422	0,282	0,165	0,088	0,112

$\frac{f}{\text{Hz}}$	90	100	110	120	130	140	150
$\frac{I_m}{\text{mA}}$	24,752	21,275	18,309	15,839	14,846	12,859	11,879
$\frac{U_m}{\text{V}}$	2,772	3,168	3,564	3,762	3,762	4,109	4,208
$\frac{Z}{\text{k}\Omega}$	0,112	0,149	0,195	0,238	0,253	0,320	0,354



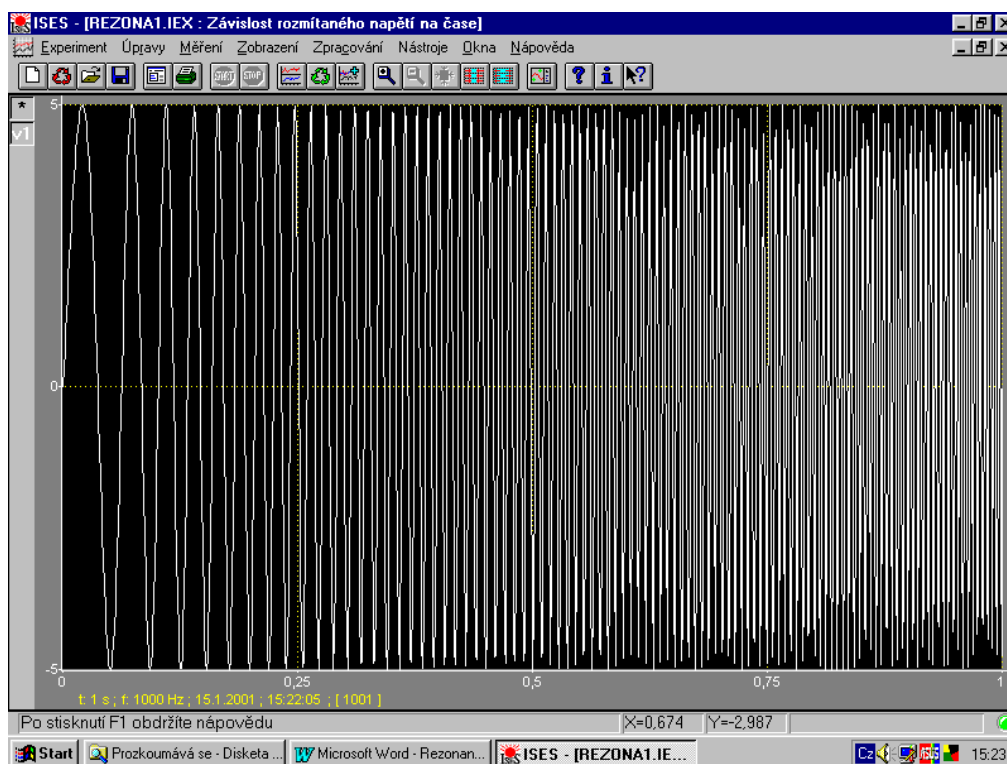
Závěr: Pomocí rozmítače jsme prostudovali závislost rezonanční frekvence na kapacitě a indukčnosti. Na základě určení rezonanční frekvence 71 Hz a 40 Hz lze usoudit, že kondenzátor č. 2 má větší kapacitu. Při snížení počtu závitů cívky a při vysouvání jha se rezonanční frekvence zvýšila, což svědčí o zmenšení indukčnosti cívky.

Při rezonanci jsou proud a napětí ve fázi, pro nižší frekvence předbíhá proud napětí a pro vyšší frekvence se proud za napětím zpožďuje.

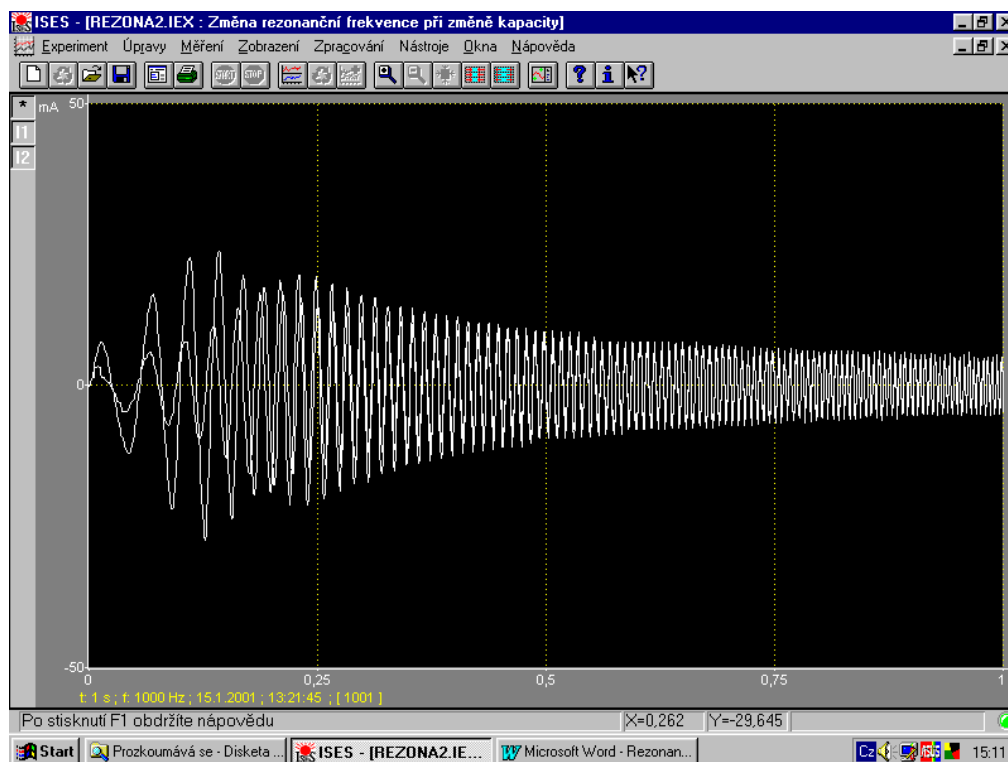
Z grafů se potvrzuje, že impedance sériového RLC obvodu je při rezonanční frekvenci 70 Hz nejmenší (88 Ω) a proud největší (28 mA).

Ukázky měřicích obrazovek

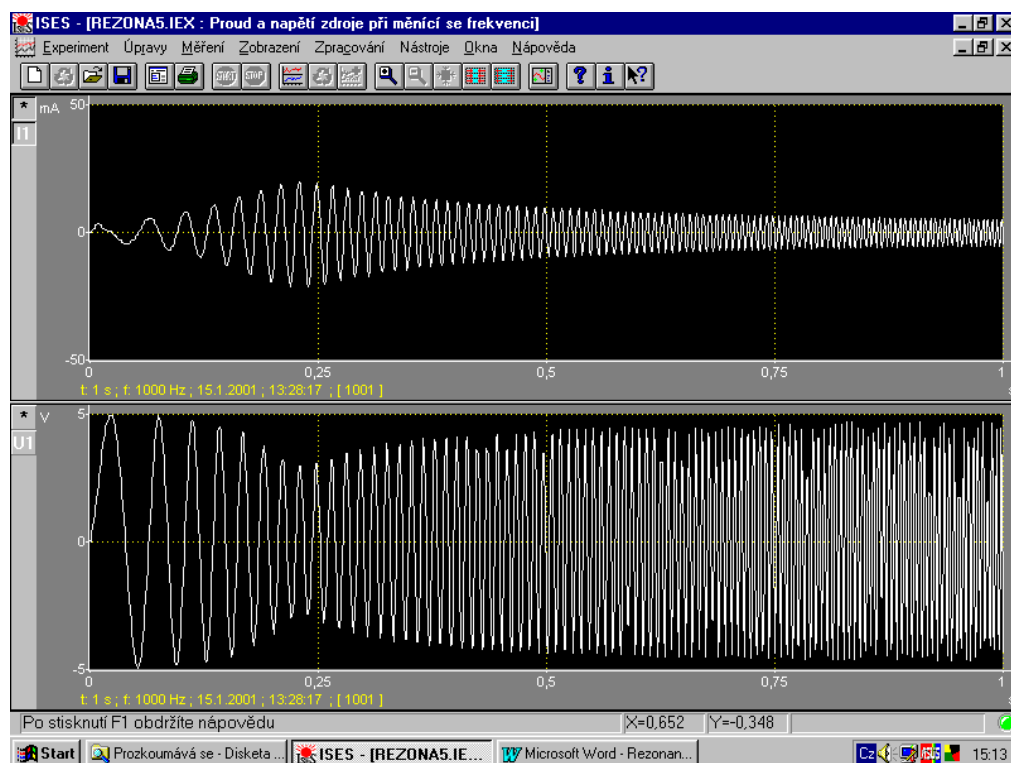
Úkol č. 1: Napětí rozmláče (rezona1.imc)



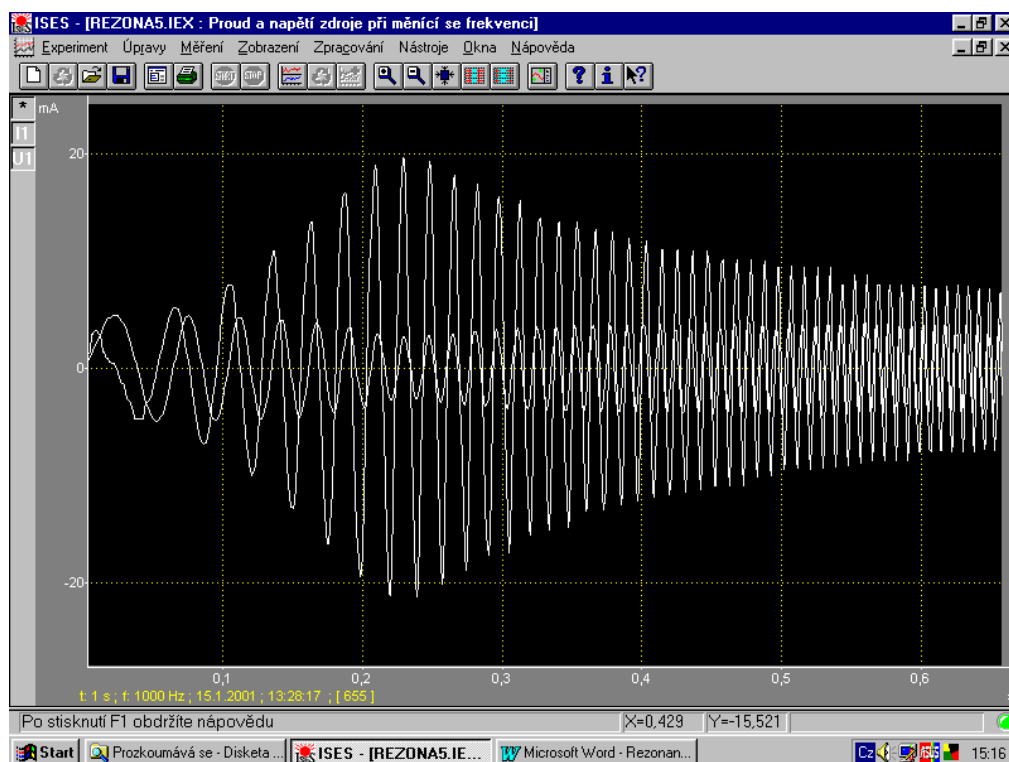
Úkol č. 2: Rezonance při různých kapacitách (rezona2.imc)



Úkol č. 4: Proud a svorkové napětí při rezonanci v samostatných oknech (reza3.imc)



Úkol č. 4: Proud a svorkové napětí při rezonanci složené do jednoho okna (reza3.imc)



Polovodičový usměrňovač

Pomůcky: Systém ISES, modul: voltmetr, jednocestný a dvoucestný usměrňovač na destičkách, sada rezistorů, digitální multimetr (např. M3900), 6 spojovacích vodičů, 2 krokosvorky, soubor: **usmer.imc**.

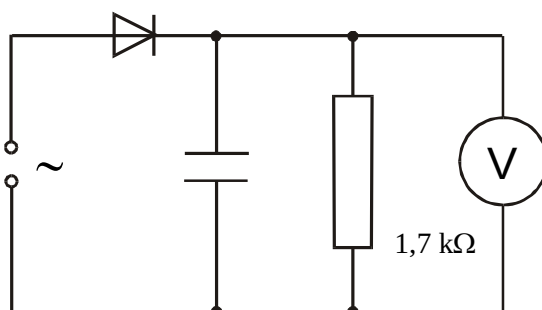
Úkoly:

- 1) Zobrazení pulzního napětí na jednocestném usměrňovači, filtrace kondenzátory.
- 2) Zobrazení pulzního napětí na dvoucestném usměrňovači, filtrace kondenzátorem.
- 3) Zobrazení napětí při různé zátěži dvoucestného usměrňovače, zvlnění napětí.
- 4) Porovnání amplitudy napětí s napětím, které měří digitální voltmetr.

Teorie:

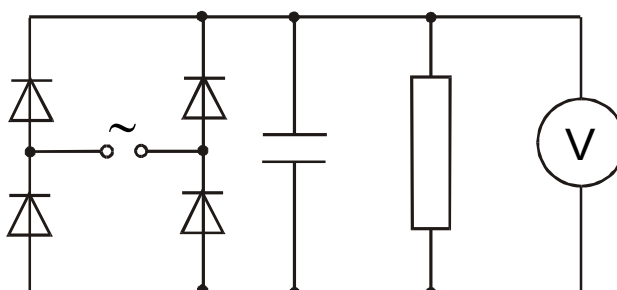
Jednocestný usměrňovač s jednou polovodičovou diodou (viz obr. 1) propouští proud jen v kladných „půlvlnách“. Na rezistoru naměříme voltmetrem ISES pulzující napětí. Jeho průběh se vyhladí zapojením jednoho, případně dvou filtračních kondenzátorů.

Obr. 1



Dvoucestný usměrňovač (Graetzův můstek – obr. 2) se čtyřmi diodami usměrňuje v každé půlvlně. Filtrační kondenzátor opět zmenší zvlnění napětí.

Obr. 2



Při zatížení usměrňovače odběrem většího proudu klesá výstupní napětí a roste jeho zvlnění. Zvlněním napětí ΔU se miní rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou.

Nastavení: *usmer.imc*: čas 2 s, 1000 Hz, start automatický, kanál E sinus pulsy (0 V, 5 V, 5 Hz), panel č.1 – graf $U=f(t)$ napětí U od –5 V do +5 V, panel č.2 – graf – výstupní napětí $U=f(t)$ od –5 V do +5 V.

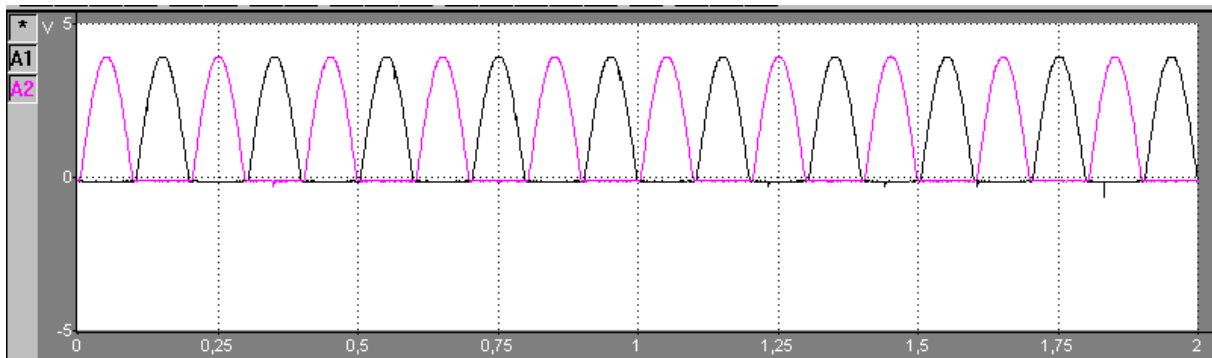
Provedení:

1. úkol: Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah 10 V s nulou uprostřed a zasuneme do **kanálu A**. Zapojíme obvod podle obr. 1, jako zdroj napětí použijeme výstupní **kanál E**.

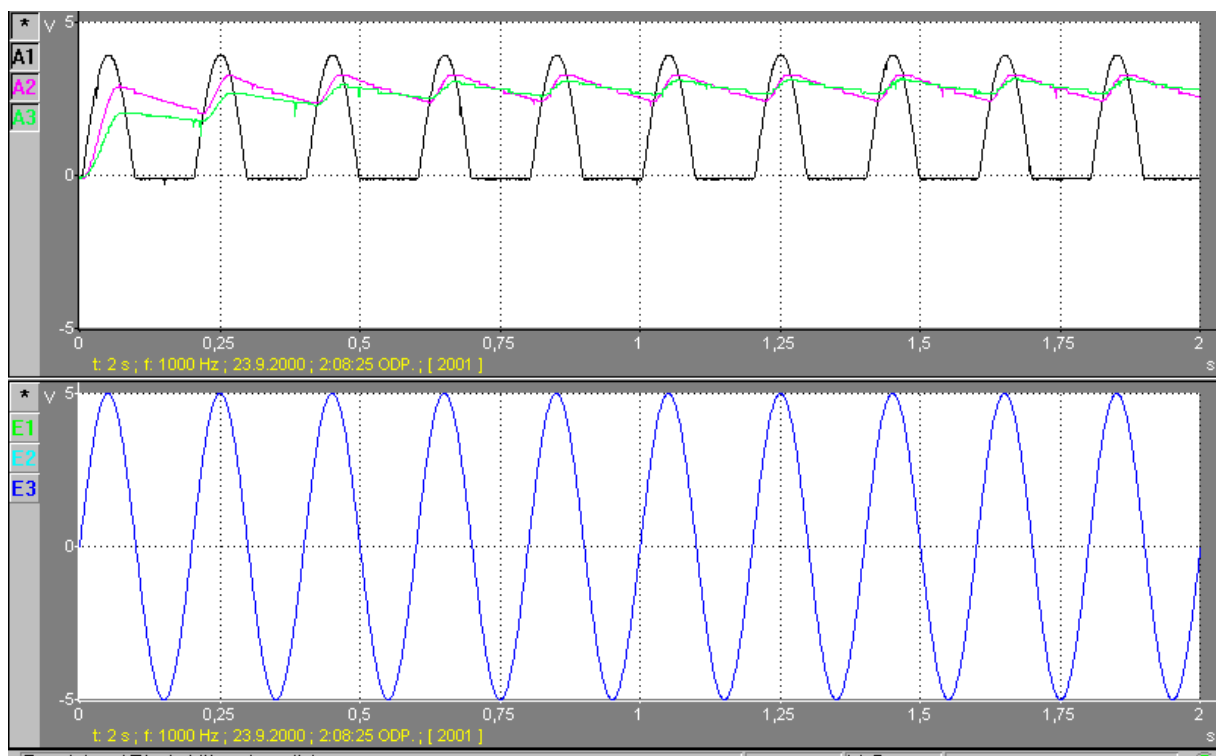
Učitelův počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebný soubor a spustíme ISES. Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „**usmer.imc**“. **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**

Úkolem je provést měření výstupního napětí na jednocestném usměrňovači nejprve bez filtračního kondenzátoru. Spustíme měření. V dolním okně je průběh vstupního napětí, které můžeme přesunout do horního okna. Uvidíme, že záporné půlvlny dioda nepropouští a kladné půlvlny jsou nižší o úbytek napětí na diodě. Červenými šipkami nahradíme experiment, znovu provedeme měření. Poté zaměníme

vodiče ve zdírkách zdroje a pomocí ikony „Přidat měření“  přidáme do stejného grafu další měření. Co se změnilo? Vysvětlete.



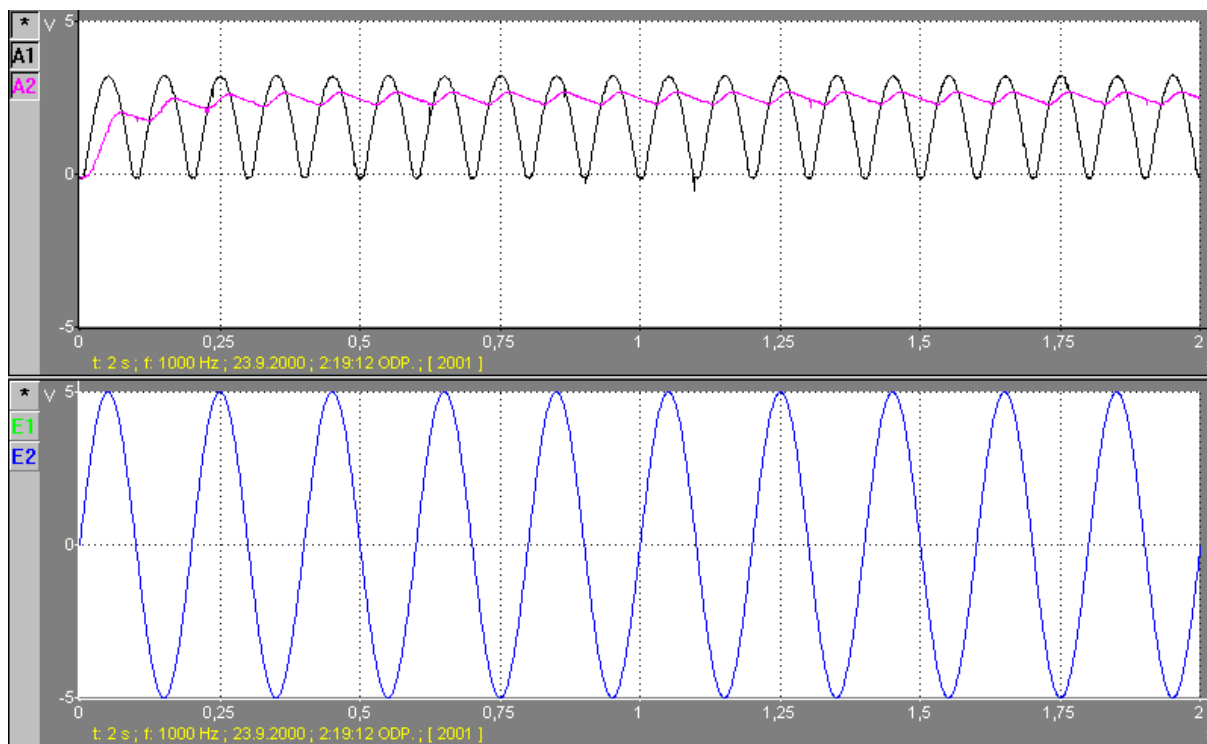
Provedeme „Nahrazení experimentu“ , spustíme měření a k němu „Přidání měření“  do stejného grafu s jedním filtračním kondenzátorem a se dvěma paralelně zapojenými filtračními kondenzátory. Výsledek měření by měl vypadat takto:



Lupou si zvětšíme část grafu u konce měření. Do tabulky č. 1 určíme maximální napětí U_m bez filtrace, maximální napětí U_{m1} s jedním filtračním kondenzátorem a maximální napětí U_{m2} se dvěma kondenzátory. Určíme zvlnění ΔU_1 a ΔU_2 a také relativní zvlnění $\frac{\Delta U_1}{U_{m1}} \cdot 100\%$ a $\frac{\Delta U_2}{U_{m2}} \cdot 100\%$.

2.,3. úkol: Použijeme dvoucestný usměrňovač (obr. 2), ke kterému se postupně připojují různé zatěžovací rezistory. Úkolem je provést měření výstupního napětí nejprve bez filtračního kondenzátoru s externím rezistorem o odporu 1 k Ω , (určíme U_m). Pak přidáme  do stejného grafu průběh napětí

s filtračním kondenzátorem a rezistorem $1\text{ k}\Omega$ (určíme U_{m1} , ΔU_1 a $\frac{\Delta U_1}{U_{m1}} \cdot 100\%$), rezistorem $10\text{ k}\Omega$ a $100\text{ }\Omega$. Do tabulky č. 2 určíme potřebné hodnoty.



4. úkol: Digitální multimetr přepneme na stejnosměrný voltmetr (DCV 20) a připojíme paralelně k voltmetru ISES. Externí bude $1\text{ k}\Omega$, filtraci odpojíme. Frekvenci výstupního napětí upravíme na 50 Hz a dobu měření na 5 s . Výstupní napětí dvoucestného usměrňovače bez filtračního kondenzátoru budeme tedy současně měřit voltmetrem ISES a digitálním voltmetrem. Do tabulky č. 3 budeme porovnávat napětí U_{DCV} z digitálního voltmetru s amplitudou napětí U_m měřenou z obrazovky a jejich poměr. Měření provedeme pro 7 různě nastavených hodnot napětí.

Zkrácená verze

- Na modulu **voltmetr** nastavíme rozsah **10 V** s nulou uprostřed a zasuneme do **kanálu A**. Zapojíme obvod podle obr. 1, jako zdroj napětí použijeme výstupní **kanál E**
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebný soubor a spustíme ISES.
- Založíme nový experiment a do konfigurace načteme. **usmer.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Provedeme měření napětí na jednocestném usměrňovači bez filtrace a složíme oba grafy do jednoho. Nahradíme měření, zaměníme polaritu zdroje a do stejného grafu přidáme další měření. Posoudíme rozdíly.
- Určíme maximální napětí U_m bez filtrace, do tabulky č. 1. Maximální napětí U_{m1} , U_{m2} , s jedním a se dvěma filtračními kondenzátory, zvlnění a relativní zvlnění.
- Zapojíme dvoucestný usměrňovač se zatěžovacím odporem $1\text{ k}\Omega$ bez filtrace a určíme U_m .
- Připojíme filtrační kondenzátor a změříme amplitudu a zvlnění (tabulka č. 2) pro zatěžovací odpory $1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $100\text{ }\Omega$.
- Digitální voltmetr (rozsah 20 V stejnosměrný) připojíme paralelně k voltmetru ISES.
- Frekvenci výstupního napětí upravíme na 50 Hz a dobu měření na 5 s .
- Provedeme měření na dvoucestném usměrňovači bez filtračního kondenzátoru.
- Do tabulky č. 3 zapisujeme napětí U_{DCV} z digitálního voltmetru a amplitudu napětí U_m měřenou z obrazovky. Nastavíme 7 různých hodnot napětí.

Protokol

Název: Polovodičový usměrňovač

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1) Maximální napětí bez filtrace: $U_m = \dots$ V

Tabulka č. 1: Jednocestný usměrňovač s filtrací

	$\frac{U_{mi}}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{U_{mi}} \cdot 100\%$
1 filtr. kondenzátor	...	...	..
2 filtr. kondenzátory	...	...	..

2), 3)

Maximální napětí bez filtrace s odporem 1 k Ω : $U_m = \dots$ V

Tabulka č. 2: Dvoucestný usměrňovač s filtrací

$\frac{R}{k\Omega}$	$\frac{U_{mi}}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{U_{mi}} \cdot 100\%$
1	...	...	..
10	...	...	.
0,1	...	...	..

4)

Tabulka č. 3: Porovnání amplitudy dvoucestně usměrněného napětí bez filtrace se stejnosměrným digitálním multimetrem

$\frac{U_m}{V}$	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{U_{DCV}}{V}$	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{U_{DCV}}{U_m}$	...	...	...	...	...	...	...

Závěr: Popíšeme a vysvětlíme, jak se změní výstupní napětí jednocestného usměrňovače při záměně polaritý zdroje. Okomentujeme amplitudu napětí a zvlnění při filtraci jedním (200 μ F) a dvěma (400 μ F) kondenzátory.

Okomentujeme amplitudu napětí a zvlnění, při filtraci dvoucestným usměrňovačem, v závislosti na zatěžovacím odporu.

Na základě tabulky č. 3 učiníme hypotézu o tom, jak vypočítat amplitudu dvoucestně usměrněného napětí bez filtrace ze znalosti napětí měřeného stejnosměrným digitálním voltmetrem.

Výsledky

1) Maximální napětí bez filtrace: $U_m = 3,910 \text{ V}$

Tabulka č. 1: Jednocestný usměrňovač

	$\frac{U_{mi}}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{U_{mi}} \cdot 100\%$
1 filtr. kondenzátor	3,267	0,927	28
2 filtr. kondenzátory	3,117	0,489	16

2), 3)

Maximální napětí bez filtrace s odporem $1 \text{ k}\Omega$: $U_m = 3,171 \text{ V}$

Tabulka č. 2: Dvoucestný usměrňovač s filtrací

$\frac{R}{\text{k}\Omega}$	$\frac{U_{mi}}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{V}$	$\frac{\Delta U_i}{U_{mi}} \cdot 100\%$
1	2,665	0,412	15
10	3,286	<0,001	<0,3
0,1	1,308	0,857	66

4) *Tabulka č. 3: Porovnání amplitudy dvoucestně usměrněného napětí bez filtrace s digitálním multimetrem*

$\frac{U_m}{V}$	3,199	2,794	2,327	1,917	1,548	1,088	0,661
$\frac{U_{DCV}}{V}$	1,93	1,65	1,36	1,11	0,86	0,61	0,38
$\frac{U_{DCV}}{U_m}$	0,60	0,59	0,58	0,58	0,56	0,56	0,58

Závěr: Usměrňovač propouští při záměně vodičů ve zdírkách zdroje opět jen každou druhou půlvlnu, ale jsou to opačné půlvlny než v předchozím případě.

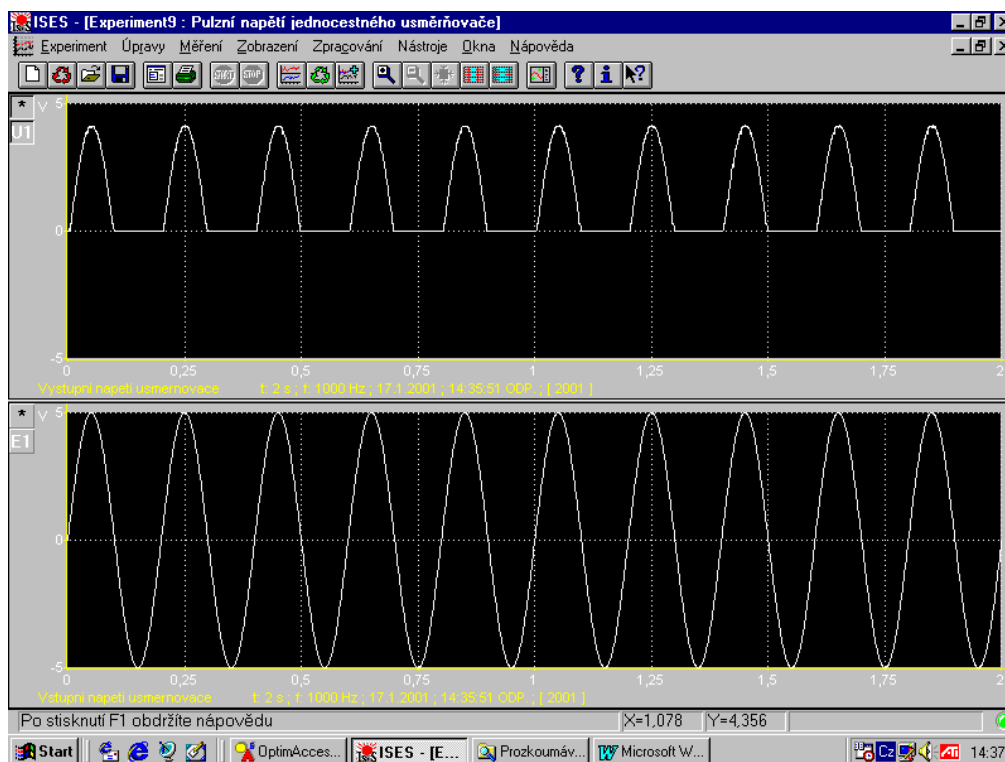
Při zvětšení filtrační kapacity z $200 \mu\text{F}$ na $400 \mu\text{F}$ poněkud klesla amplituda výstupního napětí, zato výrazně kleslo zvlnění jednocestného usměrňovače z 28% na 16%.

Velikost výstupního napětí dvoucestného usměrňovače při zatížení malým odporem výrazněji klesá, zvlnění se zvětšilo až na 66%. Menšího zvlnění by šlo dosáhnout zvětšením kapacity filtračního kondenzátoru.

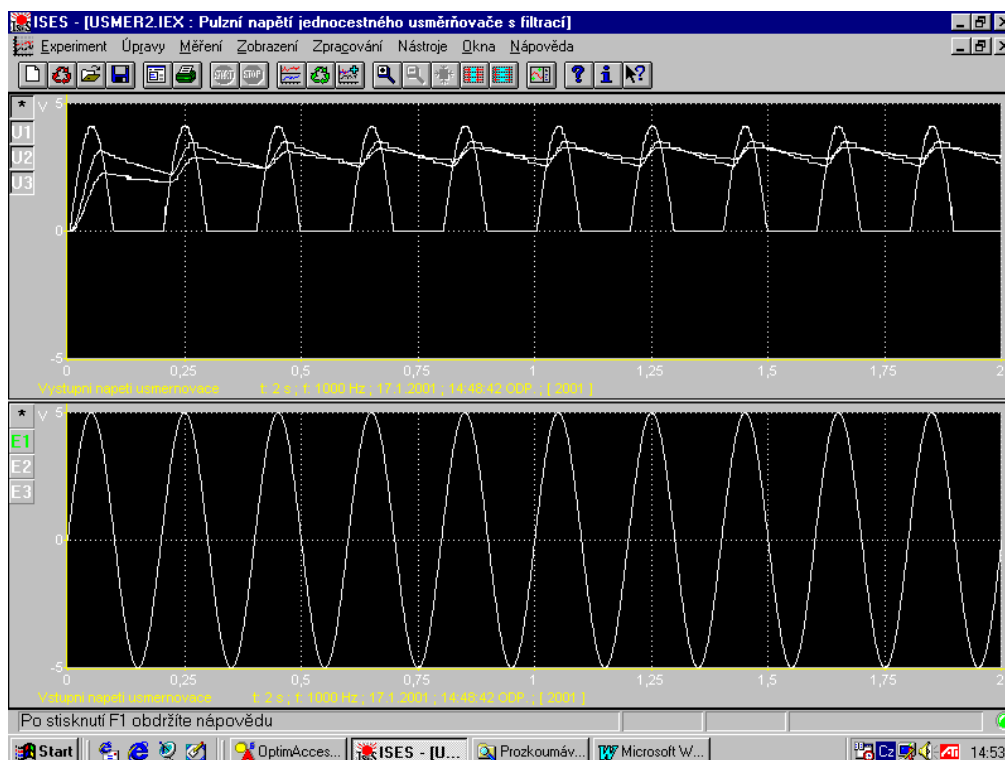
Digitální stejnosměrný voltmetr měří napětí, které vychází v průměru 58 % maximální hodnoty.

Ukázky měřicích obrazovek

Úkol č. 1: Pulzní napětí jednocestného usměrňovače bez filtrace (usmer.imc)



Úkol č. 1: Pulzní napětí jednocestného usměrňovače bez a s filtrací (usmer.imc)



Vybíjecí křivka kondenzátoru

Pomůcky: Systém ISES, moduly: ampérmetr, capacity-meter, kondenzátor na destičce, regulovatelný zdroj elektrického napětí (např. PS – 302A), přepínač, sada rezistorů, 6 spojovacích vodičů, soubory: **vybij1.imc**, **vybij2.imc**.

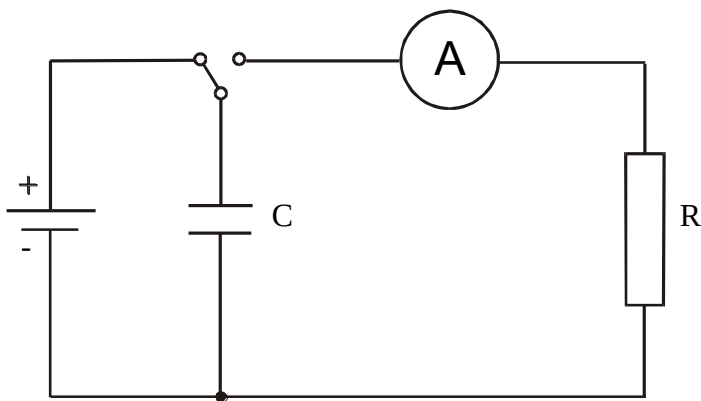
Úkoly:

- 1) Porovnat vybíjecí křivky téhož kondenzátoru pro rezistory 500 Ω, 1 kΩ, 2 kΩ.
- 2) Určit kapacitu kondenzátoru z náboje a napětí.
- 3) Určit kapacitu kondenzátoru aproximací vybíjecí křivky.
- 4) Určit kapacitu kondenzátoru capacity-metrem.

Teorie:

Měření budeme provádět podle obr. 1.

Obr. 1

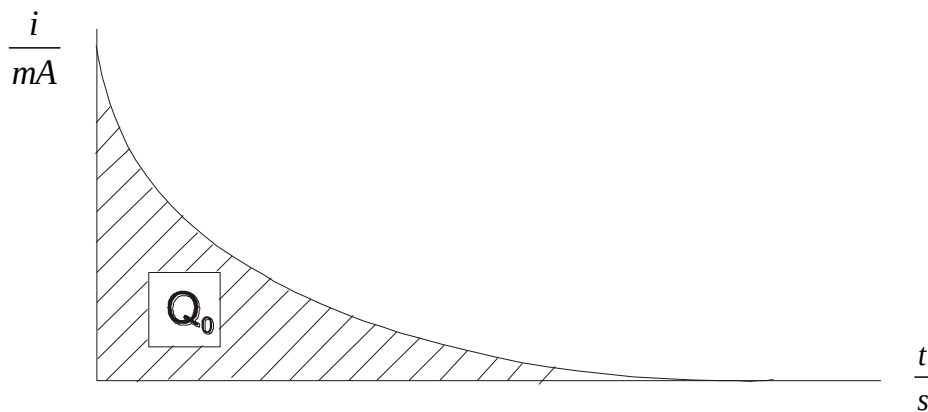


Při přepnutí do pravé polohy se kondenzátor odpojí od zdroje a vybíjí se přes připojený rezistor. Proud klesá exponenciálně podle rovnice

$$i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}, \dots\dots(1) \quad \text{kde} \quad I_0 = \frac{U_0}{R} \dots\dots(2)$$

Napětí U_0 je počáteční napětí, na které se nabije kondenzátor.

V grafu: „Závislost proudu na čase“ lze počáteční náboj kondenzátoru Q_0 určit jako plochu pod vybíjecí křivkou, tedy integrací $Q_0 = \int_0^{\infty} i dt$. Pro kapacitu kondenzátoru pak platí $C = \frac{Q_0}{U_0} \dots\dots(3)$.



Vybíjecí křivka kondenzátoru

Nastavení: vybij1.imc: čas 0,08 s, 1000 Hz, trigger 0 mA až 10 mA s náběžnou hranou na hladině 1, panel č.1 – graf $I=f(t)$ proud I od 0 mA do 10 mA
 vybij2.imc: trigger 0 mA až 10 mA s náběžnou hranou na hladině 3, panel č.1 – graf $I=f(t)$ proud I od 0 mA do 10 mA

Provedení:

1. úkol: Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **10 mA** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu A**. Obvod zapojíme podle obr. 1 s rezistorem 500 Ω . **Pozor na polaritu ampérmetru!** Učitelův počítač musí být spuštěný. Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES. Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „vybij1.imc“.

Zdroj napětí zatím nezapínáme ! Nyní požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !

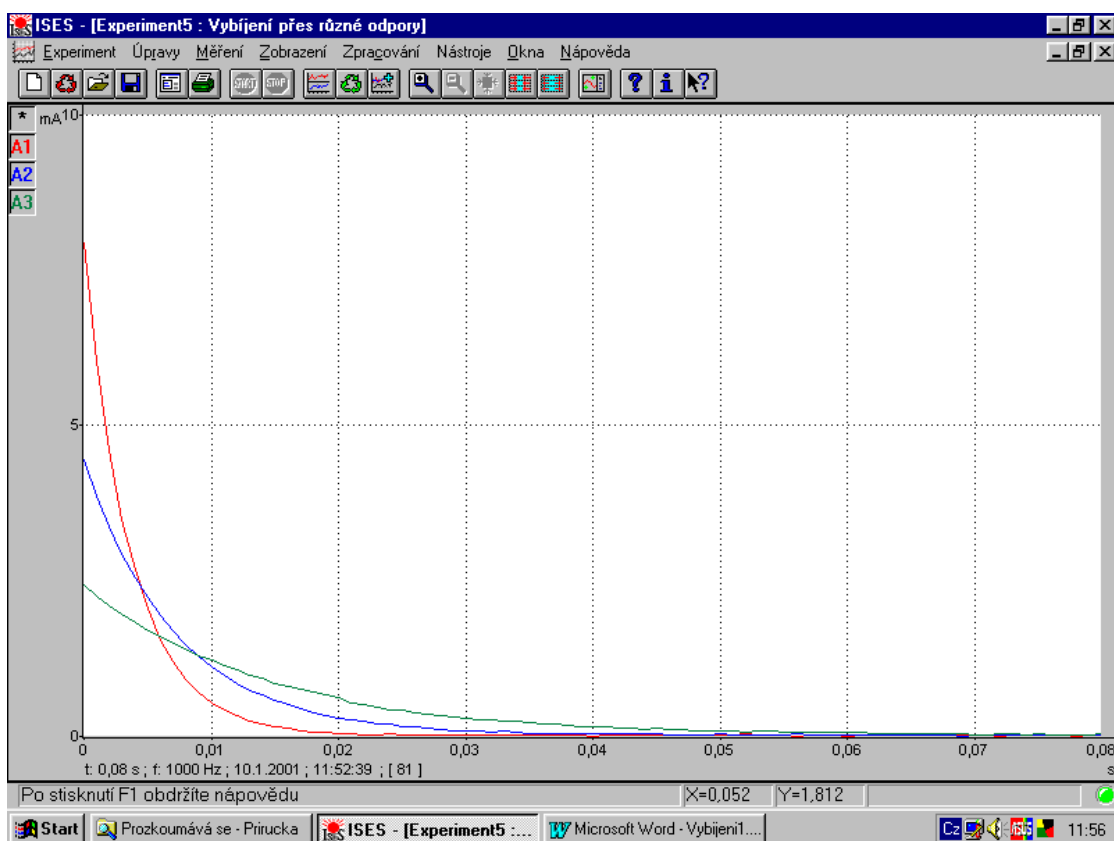
Napětí zdroje nastavíme na 5 V a spustíme měření.

Bezprostředně po spuštění měření se nic neděje, protože je nastaven tzv. TRIGGER. To znamená že počítač čeká na překročení určité úrovně proudu, aby začal měřit.

Přepínač dáme do levé polohy (viz obr. 1), čímž se nabije kondenzátor, a po přepnutí do pravé polohy

se vybije přes připojený rezistor. Zaměníme-li rezistor za 1 k Ω a 2 k Ω a přidáme-li měření  do stejného grafu, měli bychom dostat podobný obrázek:

Všechny vybíjecí křivky jsou exponenciální funkce, jaké jsou ale jejich odlišnosti?

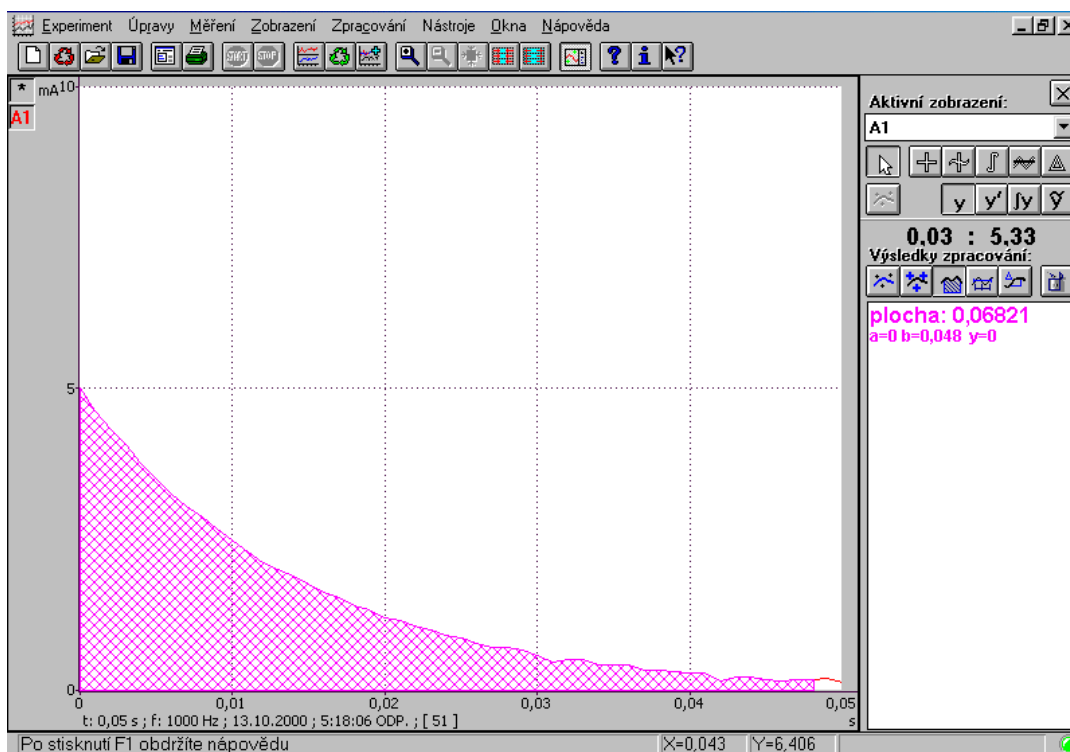


2.,3. úkol: Napětí zdroje zvýšíme na 10 V, načteme „vybij2.imc“ zopakujeme měření pro rezistor 1 k Ω . Graf si můžeme upravit lupou  a ve zpracování  si najdeme tlačítko pro určitý integrál



. Po stisknutí se kurzor nad plochou grafu změní na znak integrálu  a zaměřovací křížek.

Ten umístíme do počátku [0; 0], stiskneme levé tlačítko myši a přetáhneme jej po časové ose na konec. Vyšrafuje se vybraná plocha pod křivkou a v pravém okně se objeví velikost plochy:



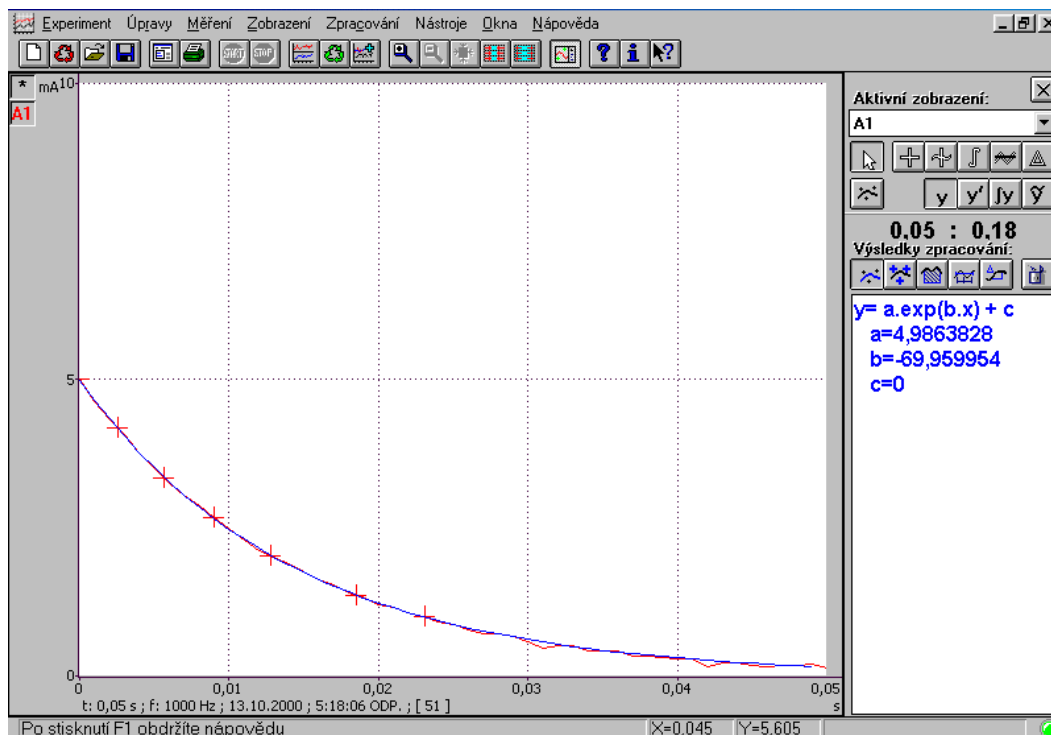
Protože proud je v grafu v miliampérech a čas v sekundách, je náboj Q_0 (určený plochou) v milicoulombech. Převedeme jej na mikrocoulomby a zapíšeme do tabulky č. 1.

Nástrojem  vymažeme výsledek integrování, zvolíme klouzavý odečet  a určíme do tabulky č. 1 počáteční proud I_0 . Podle rovnice (2) lze určit U_0 a podle rovnice (3) kapacitu C_{int} .

Na vybíjecí křivku umístíme asi 8 bodů (nevolit proud menší než 0,5 mA) a necháme počítač

aproximovat  exponenciální funkci $y = a \cdot e^{bx} + c$

V pravém okně jsou koeficienty a , b , c a do grafu se proložila vypočtená exponenciála. Pokud vypočtená křivka příliš nesplývá s naměřeným grafem, vymažeme body a zvolíme nové, až se shodalepší (viz následující graf):



Vybíjecí křivka kondenzátoru

Koeficient b zapíšeme do tabulky č. 1. Ze znalosti koeficientu b a odporu R vypočteme kapacitu C_{apr} (viz rovnice (1)).



Zvolíme nahrazení experimentu červenými šipkami a celý postup opakujeme pro rezistory předepsané v tabulce č. 1 – některé odpory se musejí vytvořit jako kombinace.

4. úkol: Zrušíme zcela zapojení, odpojíme zdroj napětí a zasuneme do kanálu A capacity-meter. Kapacitu nyní změříme přímo a zapíšeme do protokolu.

Zkrácená verze

- Na modulu **ampérmetr** nastavíme rozsah **10 mA** s nulou na kraji a zasuneme do **kanálu A**. **Pozor na polaritu ampérmetru!**
- Zapojíme obvod podle obr. 1, odpor má hodnotu 500 Ω . **Zdroj nezapínat!**
- Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebné soubory a spustíme ISES.
- Založíme nový experiment a do konfigurace načteme **vybij1.imc**.
- **Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !**
- Nastavíme napětí zdroje na 5 V, nabijeme kondenzátor a sepne vybíjení.
- Přidáme pokusy pro odpory 1 k Ω a 2 k Ω .
- Načteme. **vybij2.imc** zapojíme odpor 1 k Ω , napětí zdroje upravíme na 10 V.
- Provedeme vybití a z grafu určíme:
 - integrací plochu (Q_0)
 - počáteční proud I_0
 - z 8 bodů křivky ($I > 0,5$ mA) provedeme aproximaci exponenciálou a určíme parametr b .
- Zopakujeme postup pro předepsané odpory.
- Zcela zrušíme zapojení, zasuneme do kanálu A capacity-meter a určíme kapacitu kondenzátoru přímo.

Protokol

Název: Vybíjecí křivka kondenzátoru

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

2), 3)

Tabulka č 1: Kapacita určená integrací a aproximací

$\frac{R}{k\Omega}$	1,0	1,5	2,0	2,5
$\frac{Q_0}{\mu C}$	.,.,.	.,.,.	.,.,.	.,.,.
$\frac{I_0}{mA}$	.,.,.	.,.,.	.,.,.	.,.,.
$\frac{U_0}{V}$	.,.,.	.,.,.	.,.,.	.,.,.
$\frac{b}{s^{-1}}$	.,.,.	.,.,.	.,.,.	.,.,.
$\frac{C_{int}}{\mu F}$	.,.,.	.,.,.	.,.,.	.,.,.
$\frac{C_{apr}}{\mu F}$	.,.,.	.,.,.	.,.,.	.,.,.

Kapacita určená integrací: $C_{int} = (.,. \pm .,.) \mu F$ $\delta C_{int} = ., \%$

Kapacita určená aproximací: $C_{apr} = (.,. \pm .,.) \mu F$ $\delta C_{apr} = ., \%$

4) Kapacita určená capacity-metrem: $C = ., \mu F$

Závěr: Kvalitativně vyhodnotíme průběhy vybíjecích křivek při změně vybíjecího odporu. Zapišeme kapacity určené všemi třemi metodami, porovnáme, jak se shodují, diskutujeme možné chyby jednotlivých metod.

Výsledky

2), 3)

Tabulka č 1: Kapacita určená integrací a aproximací

$\frac{R}{k\Omega}$	1,0	1,5	2,0	2,5
$\frac{Q_0}{\mu C}$	64,21	63,99	69,13	69,95
$\frac{I_0}{mA}$	8,996	5,961	4,884	3,963
$\frac{U_0}{V}$	8,996	8,942	9,768	9,908
$\frac{b}{s^{-1}}$	140,59	93,52	70,13	55,64
$\frac{C_{int}}{\mu F}$	7,14	7,16	7,08	7,06
$\frac{C_{apr}}{\mu F}$	7,11	7,13	7,13	7,19

Kapacita určená integrací: $C_{int} = (7,11 \pm 0,04) \mu F$ $\delta C_{int} = 0,6 \%$

Kapacita určená aproximací: $C_{apr} = (7,14 \pm 0,03) \mu F$ $\delta C_{apr} = 0,4 \%$

Kapacita určená capacity-metrem: $C = 6,85 \mu F$

Závěr: Pro menší odpor začíná vybíjecí křivka vyšším proudem, ale rychleji klesá k nulovému proudu. Při větší hodnotě odporu probíhá vybíjení déle. Plocha pod křivkou, která představuje počáteční náboj na kondenzátoru, je vždy přibližně stejná.

Kapacita určená integrací C_{int} je větší než C o 3,8% a kapacita určená aproximací C_{apr} je větší než C o 4,2%. U obou metod chybu výsledku zřejmě ovlivňuje vybíjecí proud dielektrikem kondenzátoru a také fakt, že vybíjení trvá nekonečně dlouho, zatímco graf na obrazovce končí v konkrétním čase 0,05 s. Určitá „rozházenost“ grafu při proudu blížícím se nule souvisí s obecnou vlastností měřicích přístrojů, které na počátku rozsahu měří s největší relativní chybou. Dopouštíme se také chyby v určení I_0 a následného výpočtu U_0 z odporu u něhož počítáme se jmenovitou, nikoli měřenou hodnotou. Na C_{apr} má vliv výběr bodů na křivce, neměli bychom volit body v oblasti nepatrného proudu. Největší zanedbání ale spočívá v tom, že neuvažujeme odpor ampérmetru (je asi 10Ω) a ani přechodový odpor ve spínači v okamžiku sepnutí. Skutečný odpor obvodu je tedy větší a kapacita je menší než vypočtená.

DODATEK:

Odvození závislosti vybíjecího proudu na čase

Z II. Kirchhoffova zákona plyne:

$u_C = R \cdot i$, kde u_C je okamžité napětí na kondenzátoru a i je okamžitý proud obvodem

$\frac{q}{C} = -R \cdot \frac{dq}{dt}$, kde q je okamžitý náboj na kondenzátoru, minus vystihuje pokles náboje

$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt$ diferenciální rovnici budeme řešit separací proměnných a integrováním

$\ln q = -\frac{t}{RC} + K$ integrační konstantu K určíme z počátečních podmínek: $t = 0$, $q = Q_0$

$$\ln Q_0 = K$$

$$\ln q = \ln e^{-\frac{t}{RC}} + \ln Q_0$$

$q = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ průběh proudu odvodíme derivováním

$$i = -\frac{dq}{dt} = -Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \cdot \left(-\frac{1}{RC}\right)$$

$$i = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Nyní již získáváme konečný vztah – závislost velikosti vybíjecího proudu na čase

$$i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Elektromagnetický oscilátor

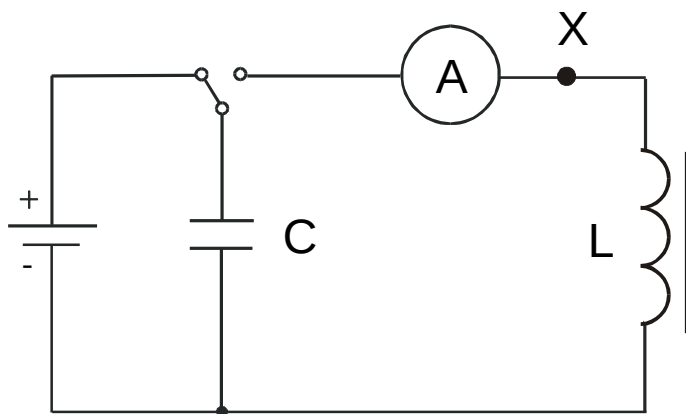
Pomůcky: Systém ISES, moduly: ampérmetr, capacity-meter, kondenzátor na destičce, dvě cívky na uzavřeném jádře, zdroj elektrického napětí (např. PS – 302A), sada rezistorů, přepínač, 7 spojovacích vodičů, soubor: **oscila.imc**.

Úkoly:

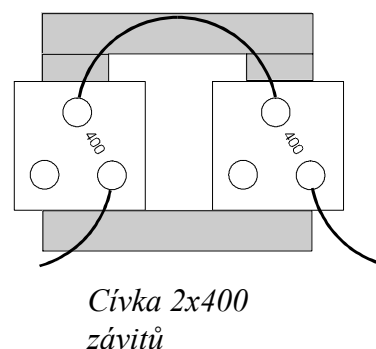
- 1) Capacity-metrem určit kapacitu kondenzátoru
- 2) Pozorovat tlumené kmity elektromagnetického oscilátoru. Určit periodu, frekvenci a konstantu útlumu.
- 3) Vypočítat indukčnost, odpor a frekvenci netlumených kmitů, ztráty energie.
- 4) Pozorovat kmity při zvětšeném tlumení. Určit potřebné veličiny.
- 5) Najít nejmenší odpor, při kterém kmity již nenastávají.

Teorie:

Měření budeme provádět podle obr. 1.



Obr. 1



Při přepnutí do pravé polohy se kondenzátor odpojí od zdroje a vybíjí se přes připojenou cívku. Elektrostatická energie kondenzátoru se přeměňuje na energii magnetického pole cívky a přírůstek vnitřní energie zařazených odporů (Jouleovo teplo). V obvodu vznikají tlumené elektromagnetické kmity. Proud závisí na čase podle rovnice:

$$i = I_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin \omega t$$

kde $\delta = \frac{R}{2L}$ se nazývá konstanta útlumu, $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2}$ je úhlová frekvence kmitů, L je indukčnost cívky, R je celkový odpor v obvodu. Frekvence netlumených kmitů by byla dána Thomsonovým vztahem: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, energie magnetického pole cívky je rovna $E_m = \frac{1}{2} LI^2$.

Nastavení: *oscila.imc*: čas 0,1 s, 1000 Hz, trigger -5 mA až +5 mA s náběžnou hranou na hladině 0,5, panel č.1 – graf $I=f(t)$ proud I od -5 mA do +5 mA.

Provedení:

1. úkol: Učitel'ský počítač musí být spuštěný Poklepáním na „Software G“ si zpřístupníme potřebný soubor a spustíme ISES. Capacity metrem určíme kapacitu kondenzátoru jako průměr z deseti odečtených hodnot.

2., 3. úkol: Založíme nový experiment a načteme do konfigurace „oscila“. Na ampérmetru nastavíme 10 mA s nulou uprostřed a zasuneme do **kanálu A**. Obvod zapojíme podle obr. 1.

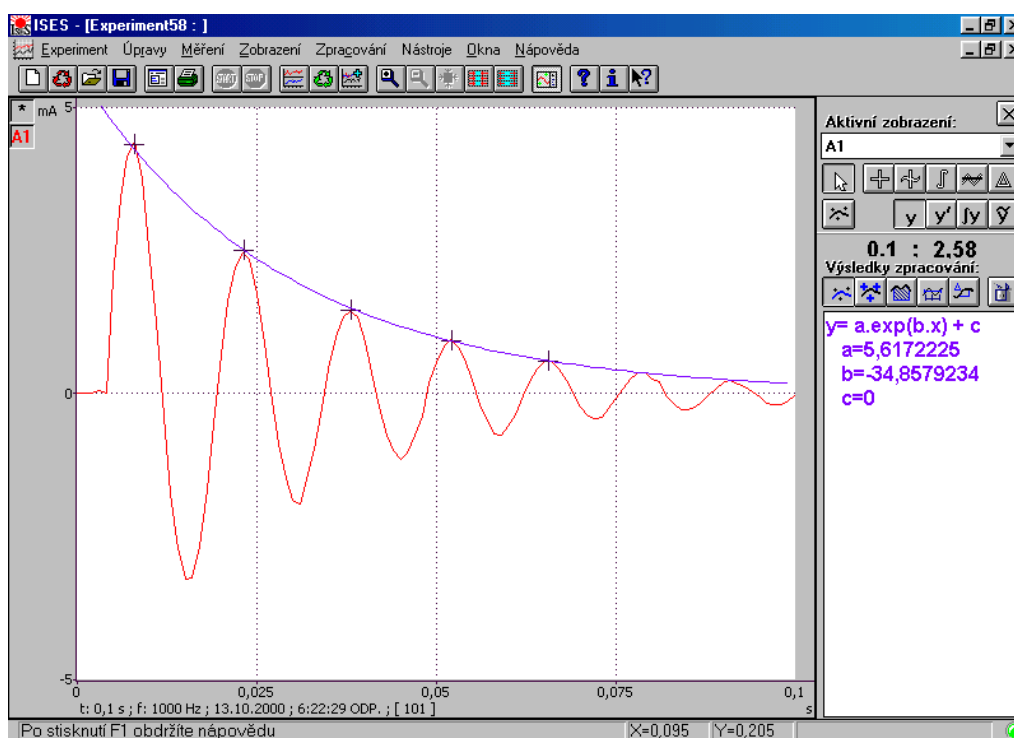
Zdroj napětí zatím nezapínáme !.

Požádáme vyučujícího o kontrolu zapojení !

Napětí zdroje nastavíme 1 V až 1,5 V a spustíme měření.

Bezprostředně po spuštění měření se nic neděje, protože je nastaven tzv. TRIGGER. To znamená že počítač čeká na překročení určité úrovně proudu, aby začal měřit.

Přepínač dáme do levé polohy (viz obr. 1), čímž se nabije kondenzátor. Po přepnutí do pravé polohy vzniknou elektromagnetické kmity, v obvodu naměříme střídavý proud s klesající amplitudou. Měli bychom získat podobný průběh:



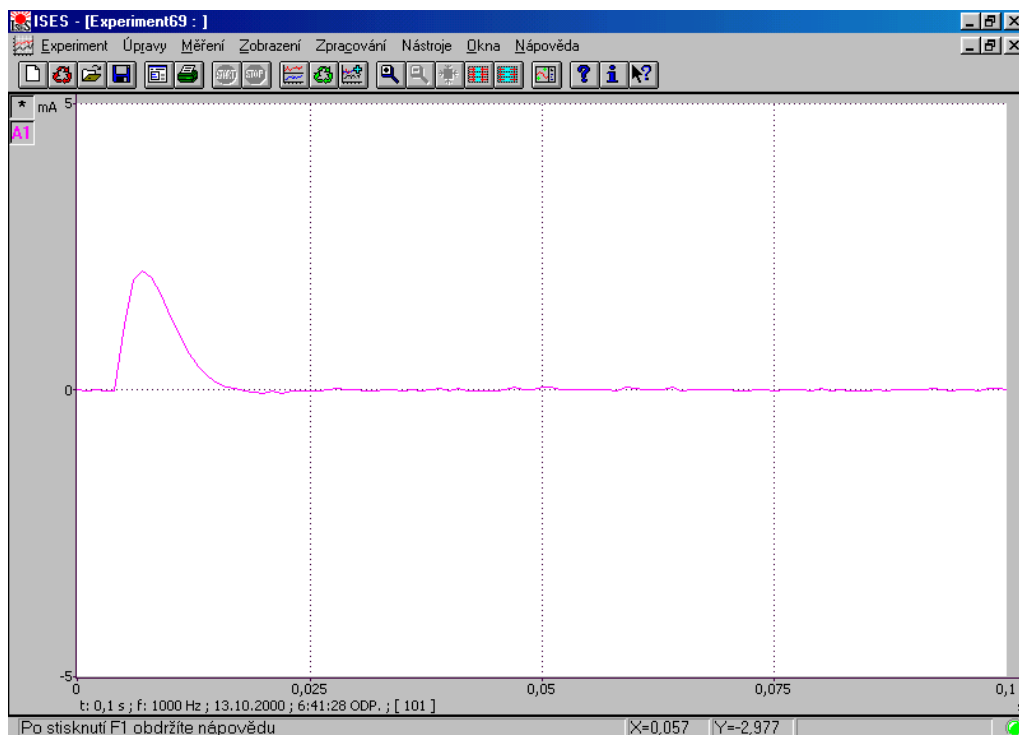
Tlumené kmity s aproximovanou exponenciální funkcí

Z grafu odečteme časy (periody), po kterých se opakují maxima proudu a zapíšeme do tabulky č. 1. Nástrojem pro odečet frekvence určíme z pěti prvních kmitů frekvenci a zapíšeme ji do tabulky č. 2. Označíme křížkem prvních pět maxim, aproximujeme exponenciální funkcí a určíme konstantu útlumu δ pro tabulku č. 2.

Znovu nabijeme kondenzátor a vybijeme přes cívku. Celkově měříme pět zdařilých experimentů a provedeme výpočty pro vyplnění tabulky č. 2.

4. úkol: Do místa označeného v obrázku 1 jako X zařadíme sériově rezistor o odporu 50 Ω . Tím se zvýší v obvodu tlumení. Provedeme pět nových zdařilých experimentů a vyplníme tab. č. 3. V čem se tabulky shodují a v čem liší?

5. úkol: Do místa X zařazujeme různé rezistory až se nám podaří najít nejmenší odpor R_{krit} , při kterém již kmity nenastávají:



Hodnotu takového odporu se pokusíme také vypočítat.

Doplňující (dobrovolné) úkoly:

A) O kolik se v průběhu jednoho experimentu zvýšila vnitřní energie rezistorů?

B) Ze vztahu $\delta = \frac{R}{2L}$ odvoďte rozměr konstanty útlumu.

C) Po kolika kmitech klesne maximum proudu na 5 % původní hodnoty?

Protokol

Název: Elektromagnetický oscilátor

Vypracování:

1) Kapacita kondenzátoru určená capacity-metrem: $C = \dots \mu\text{F}$

Tabulka č. 1: Měření periody

	1	2	3	4	5	
$\frac{T}{\text{ms}}$	15	15	14	14	13	$T = (14,2 \pm 0,6)\text{ms}$ $\delta T = 4\%$

2) 3)

Tabulka č. 2: Kmity bez přídavného tlumení

Experiment č.	1	2	3	4	5	
$\frac{f}{\text{Hz}}$	..	..	..	..	..	$f = (.. \pm ..)\text{Hz}$ $\delta f = ..\%$
$\frac{\delta}{\text{s}^{-1}}$	...,	...,	...,	...,	...,	$\delta = (..., \pm ..)\text{s}^{-1}$ $\delta\delta = ..\%$
$\frac{\omega}{\text{s}^{-1}}$	...	...	...	...	...	$\omega = (... \pm ..)\text{s}^{-1}$ $\delta\omega = ..\%$
$\frac{L}{\text{H}}$	...,	...,	...,	...,	...,	$L = (..., \pm ..)\text{H}$ $\delta L = ..\%$
$\frac{R}{\Omega}$	..	..	..	..	..	$R = (.. \pm ..)\Omega$ $\delta R = ..\%$

Frekvence netlumených kmitů: $f_0 = .. \text{Hz}$

Během 1 kmity se na vnitřní energii přeměňuje: .. %

4)

Tabulka č. 3: Kmity při zvýšeném tlumení (odpor 50Ω)

Experiment č.	1	2	3	4	5	
$\frac{f}{\text{Hz}}$	..	..	..	..	..	$f = (.. \pm ..)\text{Hz}$ $\delta f = ..\%$
$\frac{\delta}{\text{s}^{-1}}$	...,	...,	...,	...,	...,	$\delta = (..., \pm ..)\text{s}^{-1}$ $\delta\delta = ..\%$
$\frac{\omega}{\text{s}^{-1}}$	...	...	...	...	...	$\omega = (... \pm ..)\text{s}^{-1}$ $\delta\omega = ..\%$
$\frac{L}{\text{H}}$	...,	...,	...,	...,	...,	$L = (..., \pm ..)\text{H}$ $\delta L = ..\%$
$\frac{R}{\Omega}$	...	...	...	...	...	$R = (... \pm ..)\Omega$ $\delta R = ..\%$

Frekvence netlumených kmitů k tabulce č. 3: $f_0 = \dots$ Hz

Během 1 kmitu se na vnitřní energii přeměňuje: $\dots$ %

5. úkol: Odvození R_{krit} :

Vypočtená hodnota $R_{krit} = \dots \Omega$

Doplňující (dobrovolné) úkoly:

A) Během jednoho experimentu se na vnitřní energii (Jouleovo teplo) přemění $\dots$ %

B) Odvození rozměru konstanty útlumu:

C) Maximální proud klesne na 5% původní hodnoty po $\dots$ kmitech.

Závěr: Diskutujeme proměnlivost periody tlumených kmitů, frekvenci tlumených a netlumených kmitů při nižším a vyšším tlumení, konstantu útlumu při nižším a vyšším tlumení. Porovnáme indukčnost cívky a odpor při nižším a vyšším tlumení.

Porovnáme R_{krit} určený experimentálně a teoreticky.

Zapišeme, kolik procent energie se změní na Jouleovo teplo během jednoho experimentu, po kolika kmitech klesne maximum proudu na 5% původní hodnoty.

Výsledky

Název: Elektromagnetický oscilátor

Vypracování:

1) Kapacita kondenzátoru určená capacity-metrem: $C = 6,85 \mu\text{F}$

Tabulka č. 1: Měření periody

	1	2	3	4	5	
$\frac{T}{\text{ms}}$	15	15	14	14	13	$T = (14,2 \pm 0,6)\text{ms}$ $\delta T = 4\%$

2) 3)

Tabulka č. 2: Kmity bez přídavného tlumení

Experiment č.	1	2	3	4	5	
$\frac{f}{\text{Hz}}$	69	70	70	70	70	$f = (70 \pm 0)\text{Hz}$ $\delta f = 0\%$
$\frac{\delta}{\text{s}^{-1}}$	36,1	35,4	35,9	35,8	35,2	$\delta = (35,7 \pm 0,3)\text{s}^{-1}$ $\delta\delta = 0,8\%$
$\frac{\omega}{\text{s}^{-1}}$	434	440	440	440	440	$\omega = (439 \pm 2)\text{s}^{-1}$ $\delta\omega = 0,5\%$
$\frac{L}{\text{H}}$	0,770	0,749	0,749	0,749	0,749	$L = (0,753 \pm 0,007)\text{H}$ $\delta L = 0,9\%$
$\frac{R}{\Omega}$	56	53	54	54	53	$R = (54 \pm 1)\Omega$ $\delta R = 1,9\%$

Frekvence netlumených kmitů: $f_0 = 70 \text{ Hz}$

Během 1 kmitu se na vnitřní energii přeměňuje $1 - \frac{E_m(t+T)}{E_m(t)} = 1 - e^{-\delta T} = 0,64$ tj. 64%

4)

Tabulka č. 3: Kmity při zvýšeném tlumení

Experiment č.	1	2	3	4	5	
$\frac{f}{\text{Hz}}$	67	69	70	71	69	$f = (69 \pm 1)\text{Hz}$ $\delta f = 1,4\%$
$\frac{\delta}{\text{s}^{-1}}$	68,4	68,0	67,0	65,0	69,6	$\delta = (67,6 \pm 1,3)\text{s}^{-1}$ $\delta\delta = 1,9\%$
$\frac{\omega}{\text{s}^{-1}}$	421	427	440	446	427	$\omega = (432 \pm 9)\text{s}^{-1}$ $\delta\omega = 2,1\%$
$\frac{L}{\text{H}}$	0,802	0,781	0,737	0,719	0,780	$L = (0,764 \pm 0,029)\text{H}$ $\delta L = 3,8\%$
$\frac{R}{\Omega}$	109	106	99	93	109	$R = (103 \pm 6)\Omega$ $\delta R = 5,8\%$

Frekvence netlumených kmitů: $f_0 = 70 \text{ Hz}$

Během 1 kmitu se na vnitřní energii přeměňuje $1 - \frac{E_m(t+T)}{E_m(t)} = 1 - e^{-2\delta T} = 0,86$ tj. 86%

5) Kmity nevzniknou jestliže ve vzorci pro ω bude pod odmocninou záporné číslo. Z toho plyne podmínka pro kritickou hodnotu odporu $R_{krit} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$. Z tab. č. 2 vychází $R_{krit} = 663 \Omega$.

Experimentálně se jeví, že k překmitnutí již nedochází při hodnotě tlumicího odporu 500Ω . Přičteme-li odpor 54Ω z tabulky č. 1, vychází $R_{krit} = 554 \Omega$.

Závěr:

Perioda tlumených kmitů byla poměrně stálá $T = (14,2 \pm 0,6) \text{ ms}$, $\delta T = 4 \%$.

Frekvence tlumených kmitů při menším tlumení je $f = (70 \pm 0) \text{ Hz}$, $\delta f = 0 \%$. Při porovnání s frekvencí netlumených kmitů ($f_0 = 70 \text{ Hz}$) je vidět, že v řádu jednotek hertzů se obě frekvence shodují. Při vyšším tlumení byla frekvence $f = (69 \pm 1) \text{ Hz}$, $\delta f = 1,4 \%$.

Konstanta útlumu při menším tlumení byla $\delta = (35,7 \pm 0,3) \text{ s}^{-1}$, $\delta\delta = 0,8 \%$, při vyšším tlumení pak vzrostla na $\delta = (67,6 \pm 1,3) \text{ s}^{-1}$, $\delta\delta = 1,9 \%$. Při vyšší konstantě tlumení kmity ustávají v kratším čase. Během jednoho kmitu se na vnitřní energii (Jouleovo teplo) měnilo při menším tlumení 64 % magnetické energie a při vyšším tlumení se takto ztrácí 86 % magnetické energie.

Indukčnost cívky vychází podle tabulky č. 2: $L = (0,753 \pm 0,007) \text{ H}$, $\delta L = 0,9 \%$ a podle tabulky č. 3 $L = (0,764 \pm 0,029) \text{ H}$, $\delta L = 3,8 \%$. Pokud se nezměnilo uspořádání cívky (poloha jádra), měla by být indukčnost stejná. Druhá indukčnost se od první liší o 1,5 %, což je dobrá shoda.

Odpor v obvodu byl nejprve $R = (54 \pm 1) \Omega$, $\delta R = 1,9 \%$ a po přidání odporu 50Ω vyšel podle tabulky č. 3 $R = (103 \pm 6) \Omega$, $\delta R = 5,8 \%$. Přírůstek odporu 49Ω odpovídá zařazenému rezistoru.

Zvětšováním odporu v obvodu bylo dosaženo při hodnotě 554Ω takového tlumení, že kmity vůbec nevznikly. Teoretická hodnota $R_{krit} = 663 \Omega$. Řádově se odpory shodují, rozdíl vyplývá ze subjektivního hodnocení grafu na obrazovce.

Dobrovolné úkoly:

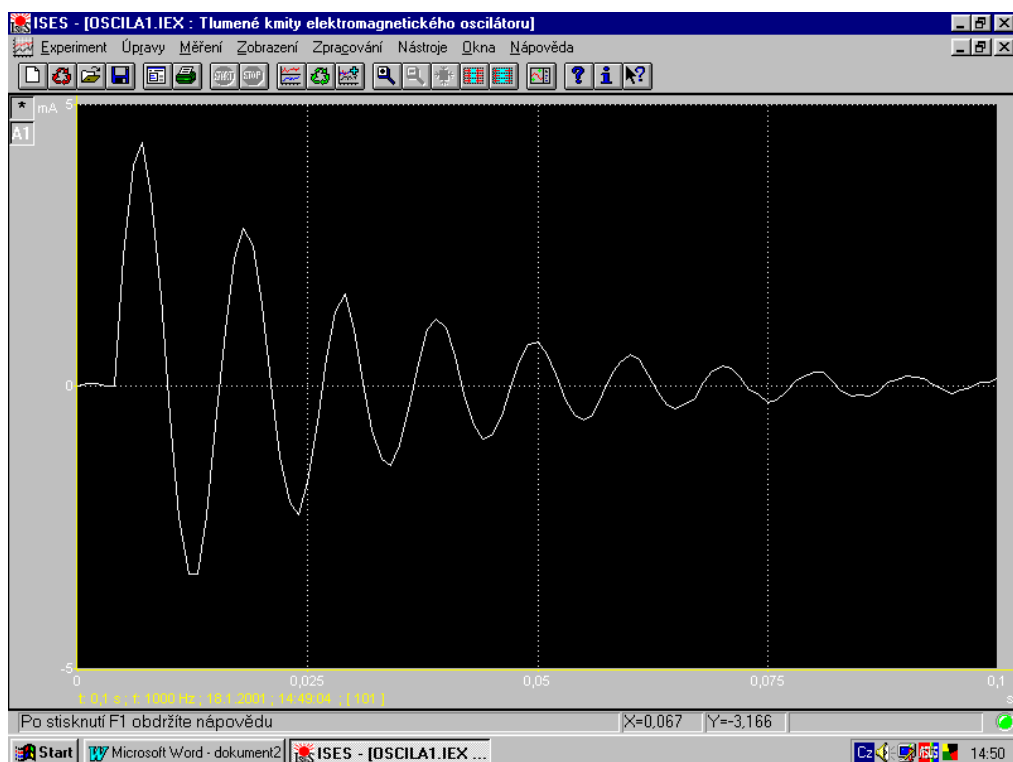
A) $E_m = 6 \mu\text{J}$

$$\text{B) } [\delta] = \left[\frac{R}{2L} \right] = \frac{\Omega}{\text{H}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}} = \text{s}^{-1}$$

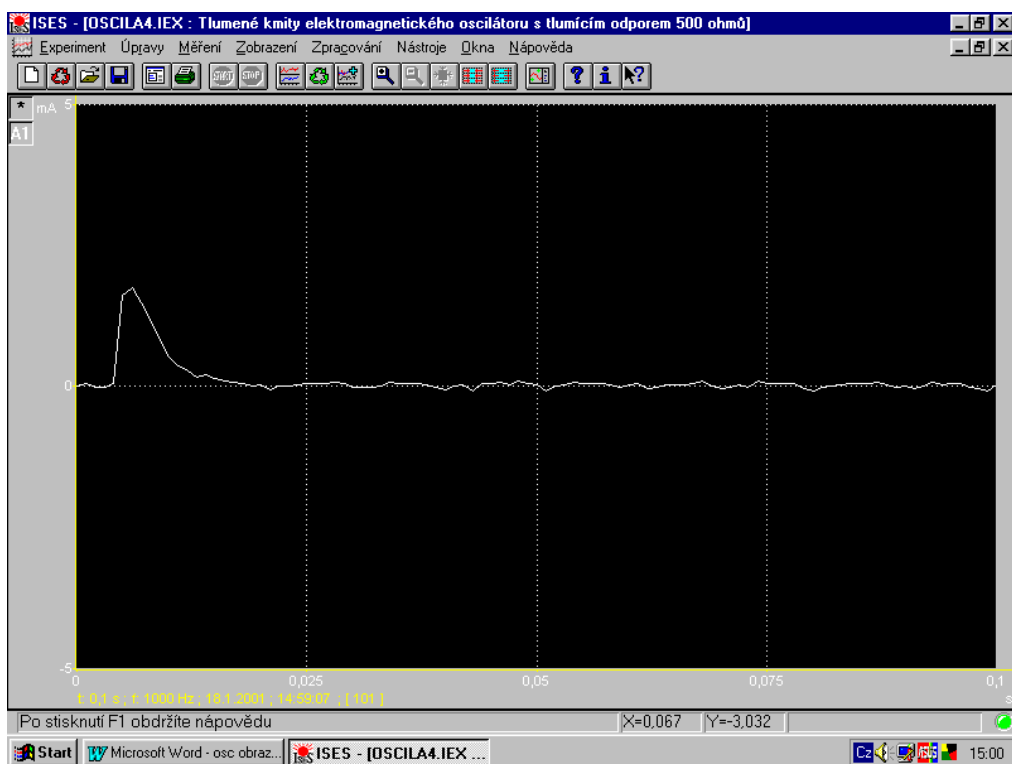
$$\text{C) } N = \frac{f \cdot \ln 20}{\delta} = 5,87 \dots \text{Po šesti kmitech klesne maximum proudu pod 5 \% původní hodnoty}$$

Ukázky měřicích obrazovek

Úkol č 2: *Tlumené kmity elektromagnetického oscilátoru (oscila.imc)*



Úkol č 5: *Tlumené kmity elektromagnetického oscilátoru s tlumícím odporem 500 Ω (oscila.imc)*



Přílohy:

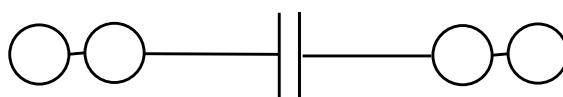
A: Tvorba pomůcek

Pro zdárné naměření laboratorních prací je nezbytně nutné mít spolehlivé spojovací vodiče s banánky! Pokud nejsou připájené, je to velký zdroj nepříjemností.

Souprava ISES obsahuje ovládací panel, do kterého se zasouvá řada modulů k měření fyzikálních veličin. Pomůcky k měření laboratorních prací je však třeba získat z jiných sad pomůcek nebo je vyrobit. Dále je uveden přehled pomůcek k jednotlivým úlohám, jenž umožní jejich opatření nebo výrobu.

1. Řazení kondenzátorů

Sada kondenzátorů: na desce jsou umístěny svitkové kondenzátory 1 nF, 2 nF, 2 nF, 5 nF. Zdířky pro zasunutí banánků jsou zdvojeny.



2. Odpor kovového vodiče

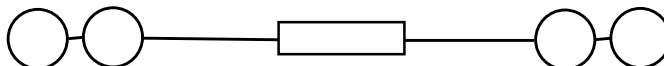
Odporový drát na dřevěném pravítku: v prodejně elektrosoučástek lze zakoupit kanthalový odporový drát tvaru tenkého pásku o průřezu 0,7 mm x 0,1 mm, délce 1 m a odporu 21 Ω (výrobcem je ELCHEMCO spol s r. o.). Je umístěn na dřevěném pravítku, jeho konce jsou připájeny ke zdírkám. Proti přetržení je částečně chráněn tím, že prochází čtyřmi nevodivými špalíčky rozmístěnými pravidelně po celé délce.

Laboratorní elektronický stabilizovaný zdroj PS – 302 A: napájení ze sítě 230V/50Hz, výstupní napětí 0 V – 30 V, proud 0 V – 2 A, ochrana proti zkratu, vestavěný analogový voltmetr měří přibližně výstupní napětí, při přepnutí na ampérmetr se měří odebíraný proud.

Rezistor 100 Ω : pochází ze soupravy pomůcek „Souprava žákovských destiček SET II.“, je dimenzován na příkon 25 W.

3. Řazení rezistorů

Sada rezistorů 1 Ω - 50 Ω : obsahuje rezistory 1 Ω , 2 Ω , 2 Ω , 5 Ω , 10 Ω , 20 Ω , 20 Ω , 50 Ω , 100 Ω , 200 Ω , 200 Ω , 500 Ω dimenzované na 10 W a rezistory 1 k Ω , 2 k Ω , 2 k Ω , 5 k Ω , 10 k Ω , 20 k Ω , 20 k Ω , 50 k Ω dimenzované na 1 W. Zdířky pro zasunutí banánků jsou zdvojeny.



4. Elektrický zdroj napětí

Držák monočlánku na desce, žárovka 12 V na desce: „Souprava žákovských destiček SET II.“.

Fotodioda na desce: pochází ze soupravy pomůcek „Polovodičové součástky na destičkách“, jde o typ 1PP75.

Odporový drát z úlohy č. 1.

Sada rezistorů z úlohy č. 3.

5. Fotorezistor

Fotorezistor: pochází ze soupravy pomůcek „Polovodičové součástky na destičkách“, jde o typ WK 65067. Za běžného osvětlení je jeho odpor řádu stovek ohmů až kiloohm.

Spojovací vodiče s hroty: jsou součástí stejné soupravy.

Filtry: průhledné barevné kancelářské desky jsou rozstříhány na obdélníky, které jsou vloženy do rámečků na diapozitivy. Filtry jsou barvy červené, modré, zelené a žluté, pro každé pracoviště je 8 stejných filtrů.

Zářivky: jedná se o běžné zářivky na stropě učebny.

6. Termistor

Termistor: typ MMT-4, za běžné laboratorní teploty je jeho odpor přibližně $1\text{ k}\Omega$. V plastovém víčku jsou osazeny dvě zdířky a k nim je termistor připájen. Přívodní vodiče jsou kvůli elektrické izolaci od vody nabarveny. Ve víčku je otvor pro teploměr ISES.

Kádinka: 50 ml, nasazuje se na ni plastové víčko s termistorem.

Azbestová síťka, stojan, lihový kahan: běžné vybavení laboratoře.

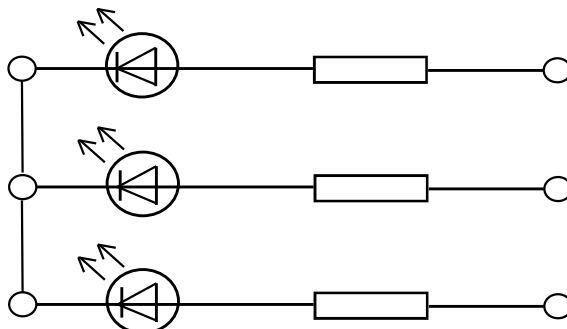
7. Polovodičová dioda

Křemíková a germaniová dioda na deskách: pochází ze soupravy pomůcek „Souprava žákovských destiček SET II.“, jedná se o diodu KY722F a GA203.

Červená LED na desce: vyrobena podle předchozích dvou.

Tři LED na desce: pochází ze soupravy pomůcek „Polovodičové součástky na destičkách“, každá dioda má k anodě připojen ochranný odpor $170\ \Omega$.

Spojovací vodiče s hroty: jsou součástí stejné soupravy.



Trubička: kovová, průměr 10 mm, délka 30 mm.

8. Elektrolytický vodič

Kyveta: kvádr z průhledného plexiskla o podstavě 9 cm x 4 cm a výšce 9 cm.

Elektrody: měděné, tvaru obdélníka o rozměrech 2 cm x 10 cm.

Stojánky: možnost uchycení a posouvání elektrod s otvory pro připojení vodičů. Vše pochází ze soupravy pomůcek „Souprava žákovských destiček SET II.“,

Laboratorní elektronický stabilizovaný zdroj PS – 302 A z úlohy č. 2.

9. R, C v obvodu střídavého proudu

Kondenzátor: bipolární elektrolytický kondenzátor BIPOLAR ELKO RAUH $6,8\ \mu\text{F}/100\text{V}$ na desce se zdvojenými zdířkami.

Sada rezistorů z úlohy č. 3.

10. Rezonance v obvodu RLC

Kondenzátor č.1: z úlohy č. 9.

Kondenzátor č.2: na desce se zdvojenými zdírkami, typ TESLA TC517 32/32M /250V/270V

Cívky: ze soupravy pomůcek „Souprava žákovských destiček SET II.“. Každá cívka má 2 x 200 závitů a dá se navléci na železné jádro tvaru U uzavíratelné jhem. Průřezem sloupku je čtverec 2 cm x 2 cm.

11. Polovodičový usměrňovač

Sada rezistorů z úlohy č. 3.

Jednocestný usměrňovač: zhotoven na desce podle obr. 1 (Usměrňovač 1). Dioda je křemíková (např. KY132), odpor 1,8 kΩ je miniaturní. Filtrační kondenzátory jsou dva o kapacitách 200 μF/12V, připojit se dají zasunutím banánku do zdíčky.

Dvoucestný usměrňovač: zhotoven na desce podle obr. 1 (Usměrňovač 1). Diody jsou křemíkové (např. KY132), filtrační kondenzátor má kapacitu 200 μF/12V. Rezistory se používají externí ze sady rezistorů.

12. Vybíjecí křivka kondenzátoru

Kondenzátor: na desce se zdvojenými zdírkami, typ 6,8 μF/100V M5 (není elektrolytický, neosvědčil se)

Přepínač: ze soupravy pomůcek „Souprava žákovských destiček SET II.“.

Sada rezistorů z úlohy č. 3.

Laboratorní elektronický stabilizovaný zdroj PS – 302 A z úlohy č. 2.

13. Elektromagnetický oscilátor

Kondenzátor z úlohy č. 12.

Cívky s jádrem z úlohy č.10.

Laboratorní elektronický stabilizovaný zdroj PS – 302 A z úlohy č. 2.

Přepínač z úlohy č. 12.

Sada rezistorů z úlohy č. 3.

B: Popis systému ISES

Souprava ISES pro měření a řízení experimentů ve fyzice, chemii a biologii je nabízena ve třech variantách. Nejrozšířenější je tzv. **ISES - Základní souprava**. V poslední době si náročnější zákazníci častěji volí soupravu **ISES - Professional**. Možná pro podmínky základní školy by vyhovovala i souprava **ISES – COM**, která má pouze vstupní kanály.

Soupravu ISES je možno nainstalovat na počítač typu 286 až Pentium, stačí mu i pouze disketová jednotka (platí pouze pro verzi DOS programu). V poslední době si již musíme dát pozor, aby počítač měl alespoň jeden volný slot ISA (novinkou roku 2001 je též ADDA karta pro sběrnici PCI). Samozřejmě na lepších počítačích je provozování soupravy ISES daleko příjemnější. Souprava ISES vám okamžitě vytvoří z Vašeho počítače osciloskop, multimetr, XY zapisovač, multifunkční generátor - (výstupní napětí - sinus, obdélník, pila, rozmítač aj.).

Souprava se skládá z **elektronické desky (ADDA převodník)**, která se nainstaluje do Vašeho počítače, z **ovládacího panelu**, kde se provádí propojení s experimentem a ze **sady modulů**, což jsou vlastně samostatné přístroje jako např. voltmetr, ampérmetr, siloměr, teploměr, snímač polohy, tlakoměr, mikrofón, měřič kapacit, manometr, relé, reproduktor, ohmmetr, měřič kapacit, sonar, pH metr, konduktometr, snímač EKG, snímač srdečního tepu, atd.

Základní programové vybavení je **ISES-DOS** verze 3.50. (pozn.: lze ho samozřejmě spouštět z plochy Windows jako DOS aplikaci). Program **ISES-WIN** je určen pro platformu WINDOWS 3.1 až WIN 98. Novinkou roku 2001 bude ISES-WIN pro nové WIN 2000, ME a NT.

Soupravu doplňuje **manuál s popisem 50 experimentů**, které si můžete sami podle podrobných návodů ověřit. Další **sběrka experimentů je z chemie** (50 experimentů). Třetí sbírka je **dalších 50 experimentů z fyziky**. Novinkou roku 2001 tato **sběrka laboratorních úloh** z fyziky.

Soupravy ISES jsou nejrozšířenější v naší republice. Pracují na 350 školách. Instalace jsou většinou na středních školách a vysokých školách. V poslední době se zvyšuje počet instalací na základních školách. Většina instalací je po jedné „demonstrační“ soupravě ve třídě. Avšak stále více se objevují i **vícenásobné instalace ve třídě** pro „frontální práci“ - např. v Praze, Brně, Pardubicích, Poděbradech, Vyškově, Liberci, Brandýse nad Labem, Kyjově aj. V Praze na gymnáziu Nad Štolou a na gymnáziu v Pardubicích je laboratoř, kde je 12 souprav ISES v jedné třídě, v Brně na gymnáziu M. Lercha je 10 souprav v Kyjově 7 souprav ISES Professional. Pro uživatele souprav je pořádán každoročně seminář, kde se učitelé proškolují a kde si vzájemně sdělují své zkušenosti.

Ovládání soupravy vlastně nevyžaduje téměř žádné počítačové dovednosti. Uživatel jenom spustí program ISES a potom se již pohybuje v experimentálním prostředí velmi podobném klasickému experimentování. Počítač zde slouží jako zobrazovač, paměťové médium, jako nástroj s dalšími zpracovatelskými funkcemi (aproximace, derivace, integrace, aj.).

Program ISES-WIN kromě standardního měření a zpracování podporuje **kommunikaci s internetem**. **Experimenty i laboratorní úlohy** lze pohodlně stahovat do svého počítače z internetu - novinka 2001. Pro podporu systému ISES jsme prozatím **provizorně** spustili WWW stránky. Na <http://kdt-12.karlov.mff.cuni.cz> naleznete mnoho informací ohledně systému ISES. Naleznete zde i mnoho experimentů nejenom popsanych, ale i včetně naměřených experimentálních hodnot. Pokud máte hardware ISES, můžete svůj experiment porovnat se stáhnutým.

Budete-li mít zájem si soupravu ISES vyzkoušet obraťte se na Dr. F.Lustiga, CSc.,
Matematicko-fyzikální fakulta UK Praha, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2, tel. zaměst. 02 -
2191 1286. Telefon/fax privat 02 - 2431 4587, 0602-858 056

e-mail: FL@plk.mff.cuni.cz

Školení uživatelů systému ISES na semináři „Experimenty s počítačem i bez“ na gymnáziu
Dašická v Pardubicích (prosinec 2000).