

Gymnázium, Soběslav, Dr. Edvarda Beneše 449/II



Laboratorní cvičení z fyziky

Voltampérové charakteristiky

Autor: Mgr. Ivana Stefanová
Jméno souboru: VoltAmper
Poslední úprava: 5. srpna 2015

Voltampérové charakteristiky

Obsah

| | |
|---|---|
| Pracovní úkoly..... | 1 |
| Teorie..... | 1 |
| Protokol o měření..... | 1 |
| Příprava pracoviště..... | 2 |
| Pokyny k provádění měření..... | 2 |
| Měření na rezistorech..... | 3 |
| Kompenzace napět'ového a proudového posunu..... | 4 |
| Měření na diodách..... | 5 |
| Upozornění..... | 7 |
| Soupiska pomůcek a materiálu..... | 8 |

Voltampérové charakteristiky

Voltampérovou charakteristikou rozumíme závislost proudu protékajícího zkoumanou součástí na přiloženém napětí. Úkolem laboratorního cvičení je experimentální studium těchto charakteristik pro rezistor a polovodičovou diodu.

Pracovní úkoly

1. Připravte si pracoviště a měřicí aparaturu dle pokynů níže.
2. Proměřte a vyhodnoťte voltampérovou charakteristiku dvou rezistorů v obou polaritách.
3. Proměřte a porovnejte voltampérové charakteristiky několika polovodičových diod z různých materiálů v propustném směru. Dle potřeby kompenzujte vliv posunu nulové hodnoty proudu i napětí snímače.
4. Porovnejte změřené voltampérové charakteristiky usměrňovací a stabilizační diody v propustném i závěrném směru.

Teorie

Výklad naleznete v učebnici *Fyzika pro gymnázia*, díl *Elektřina a magnetismus* autorů Lepila a Šedivého v kapitole 3 *Elektrický proud v kovech* (Ohmův zákon viz oddíl 3.1) a kapitole 4 *Elektrický proud v polovodičích* (o polovodičových diodách pojednává oddíl 4.4). Alternativou je Svobodův *Přehled středoškolské fyziky* (kapitola 5 *Elektřina a magnetismus*, str. 258-261 a 331-333).

Protokol o měření

Skupina odevzdá jako výsledek své práce protokol o měření, může být zpracován (i odevzdán) elektronicky nebo ručně, volba je jenom na vás. U dokumentu nebude hodnocena jeho délka, ale správnost, jasnost a fyzikální argumentace. Protokol z tohoto cvičení by měl obsahovat:

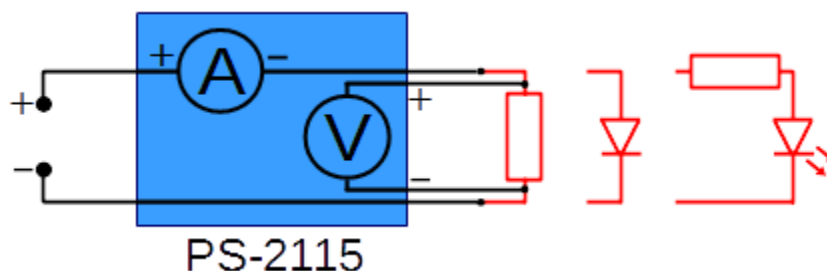
- společný graf závislosti proudu protékajícího rezistorem na přiloženém napětí¹ (voltampérovou charakteristiku) pro dva rezistory v obou polaritách, popis charakteristiky,
- vyhodnocení odporu ze směrnice proložené přímkou (oba rezistory, obě polarity), diskuse platnosti Ohmova zákona,
- určení napěťového a proudového posunu nulové hodnoty pro použitý snímač,
- společnou voltampérovou charakteristiku pro diody z různých materiálů v propustném směru, jejich porovnání,
- společnou voltampérovou charakteristiku křemíkové usměrňovací a stabilizační diody, popis jejich odlišností,
- závěr obsahující celkové shrnutí získaných výsledků.

¹ Vzhledem k rozsahu dat není nutno přikládat tabulky naměřených hodnot, grafy jsou naprosto dostačující.

Příprava pracoviště

Na lavici si připravte netbook s [programem Capstone](#) a [rozhraní PowerLink](#) a propojte je USB kabelem. Do modulu rozhraní zastrčte [snímač napětí a proudu PS-2115](#). Připravte si regulovatelný [zdroj napětí](#) a umístěte ho takovým způsobem, aby jeho obsluha mohla dobře komunikovat s obsluhou počítače. Počítač, PowerLink i zdroj napětí potřebují připojení k elektrické síti. Pokud není v blízkosti dostatečný počet zásuvek, použijte prodlužovací přívod.

Na zdroji napětí stáhněte ovladač napětí na nulu a **pouze** v této poloze můžete provádět jakékoliv manipulace s obvodem (připojování vodičů, odpojování atp.). Ovladač omezení proudu nastavte cca do jedné třetiny dráhy.



Vyberte si jeden z rezistorů a sestavte měřicí obvod (dle schématu). Kablíkem banánek—hrot propojte zápornou (modrou) zdířku zdroje s jedním pólem rezistoru, druhý pól propojte týmž druhem kablíku se zápornou svorkou na snímači proudu a kladná svorka bude připojena kablíkem s banánky na zdroj (zatím však ke zdroji kablíky **nezapojujte**). Tím máte připraven proudový okruh. Na vodiče od snímače napětí připevněte krokosvorky (samozřejmě odpovídající barvy), jejich pomocí pak ze spodní strany rezistoru snímač napětí připojte (respektujte přitom správnou polaritu, černý kablík vede k záporné svorce, červený ke kladné).

Snažte se udržovat na pracovní desce pořádek a přehled, nepoužívané součásti odkládejte např. na vedlejší lavici. Vhodně si rozdělte práci ve skupině, snažte se i prostřídat v průběhu měření.

Připojte elektrické spotřebiče k síti, regulovatelný zdroj zapněte kolébkovým vypínačem na předním panelu. Po zapnutí počítače vyčkejte na spuštění operačního systému a poté pomocí zástupce na ploše spusťte program Capstone. Tím je vaše pracoviště připraveno.

Pokyny k provádění měření

V programu Capstone otevřete soubor `va_charakteristiky.cap`, který je připraven pro tento experiment. To se provede pomocí položky v podmenu *Soubor* případně standardním tlačítkem na nástrojové liště těsně pod hlavním menu programu.

Na úvodní stránce vyplňte údaje o vaší skupině a datu měření a uložte si její kopii do laboratorního deníku.

Měření se skládá ze tří hlavních částí: měření na rezistorech, kompenzace posunů použitých snímačů a měření na polovodičových diodách.

Měření na rezistorech

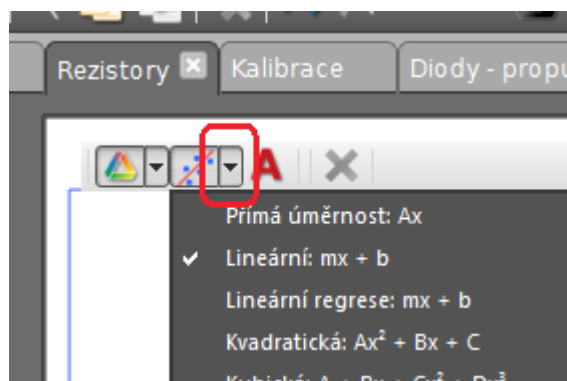
Přepněte se na stránku *Rezistory* pracovního sešitu. Pro tuto část je připraveno následující nastavení:

- základní nastavení snímače pro měření napětí a proudu,
- vzorkovací rychlost 20 Hz,
- připravený graf pro zobrazení voltampérové charakteristiky.

Po kontrole zapojení vyučujícím a připojení kladné svorky zdroje je možno začít s měřením. Vždy zkontrolujte, zda na počátku je ovladač napětí stažen na minimum (tj. hodnota 0,00 V na ukazateli). Spusťte měření v programu pomocí tlačítka *Zaznamenat data* (dole na panelu *Ovládací prvky*). **Velmi jemně** otáčejte knoflíkem napětí doprava, v grafu byste měli vidět postupné vykreslování bodů. Pokračujte², dokud napětí nedosáhne cca 9,5 až 10,0 V. Pak tlačítkem *Ukončit* přerušte ukládání nových hodnot, neprodleně poté **stáhněte ovladač napětí na minimum**. Pokud něco není v pořádku, lze právě změřenou sadu dat vymazat pomocí tlačítka *Smazat poslední průběh měření* na dolní liště *Ovládací prvky* a měření opakovat. Stejným způsobem proveďte měření pro druhý rezistor. Tím jste získali voltampérové charakteristiky pro jednu polaritu. Napětí na svorkách zdroje je nulové, můžete prohodit oba přívodní kablíky (červený banánek bude připojen na modrou zdířku a naopak). Stejně jako výše proveďte měření pro oba rezistory, hodnoty v grafech by se měly vykreslovat do třetího kvadrantu (napětí i proud jsou záporné). Měření ukončujte při napětí mezi -10,0 a -9,5 V. Nakonec zkontrolujte stažení **napětí na nulu** a odpojte kablíky od zdroje.

Před uložení grafu jej lze mírně upravit pro větší srozumitelnost. Chcete-li, mohou mít obě části téže charakteristiky (tj. pro týž rezistor) stejnou barvu. Vlevo na liště *Nástroje* zvolte možnost *Přehled dat* a následně vyberte příslušné měření. Pomocí ikonky ozubeného kolečka otevřete dialog vlastností pro zobrazení datové řady, jednou z nich i možnost nastavení barvy. Potvrďte změny a příslušný nástroj uzavřete. Můžete také jednotlivým charakteristikám přiřadit popisek, což se provede pomocí ikonky písmena **A** v nástrojové liště (viz obrázek), která se objeví po kliknutí do oblasti grafu. Jste-li s výsledkem spokojeni, uložte si kopii stránky pracovního sešitu do laboratorního deníku. Před pokračováním můžete vymazat případné popisky (po kliknutí na příslušný popisek pomocí nástroje označeného křížkem vpravo na liště).

Dalším krokem je proložení přímky „nejlepší shody“ jednotlivými částmi grafu. Pokud ji vyjádříte ve směrníkovém tvaru $I = m \cdot U + b$, pak směrnice m má podle Ohmova zákona význam vodivosti (převráceného odporu). Nahoře v grafu je lišta tlačítek s různými nástroji. Pomocí šipky u nástroje prokládání dat rozviňte nabídku funkcí a vyberte lineární závislost (viz obrázek). Proložená křivka se vykreslí do grafu, vypočtené parametry přímky jsou znázorněny v rámečku. Ze směrnice tedy snadno vypočtete odpor. Proveďte postupně pro všechny části (sady měření)³. Po-

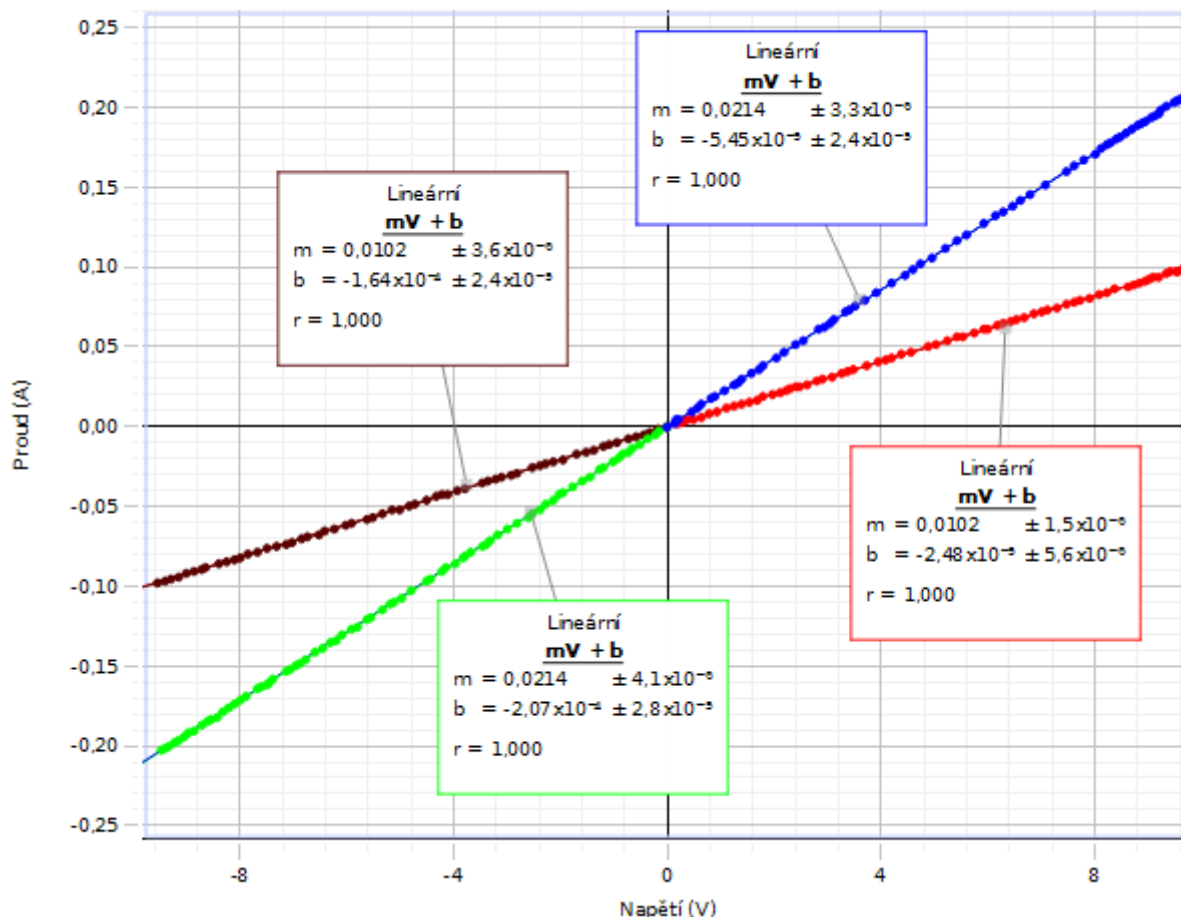


² Okolo 7,5 V dochází ve zdroji k připínání další části vinutí transformátoru pomocí relé. Nenechte se tím zaskočit.

³ Výběr sady dat se provádí kliknutím na její datový průběh.

rovnejte výsledky se jmenovitými hodnotami součástí (viz soupiska materiálu na konci textu) a mezi oběma částmi téže charakteristiky navzájem. Uložte snímek stránky pracovního sešitu do laboratorního deníku, příklad konečného grafu je uveden na obrázku.

Voltampérová charakteristika rezistoru



Kompensace napěťového a proudového posunu

Je poměrně běžné, že (nejen) elektronické měřicí přístroje vyžadují ke své činnosti při plné přesnosti nějaké nulovací či kalibrační procedury. Při měření na diodách budete měřit i proudy v řádu desítek mA. Uvědomte si, že základní rozsah měření proudu je ± 1 A, zaručovaná přesnost pak 5 mA. To znamená, že se budete pohybovat blízko limitů snímače. Snímač by tak i při rozpojeném elektrickém obvodu mohl snadno vykazovat nenulový proud⁴ (řekněme 1,6 mA), což však neodpovídá fyzikální realitě a v grafu by působilo rušivě. Situace pro napětí je obdobná.

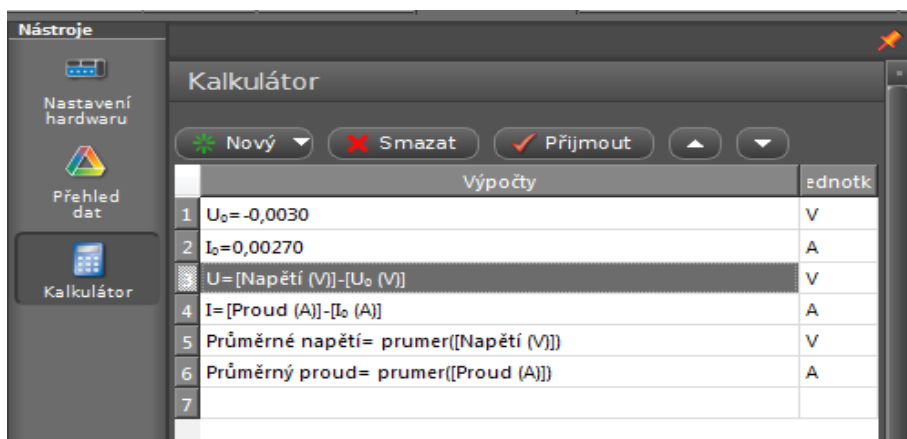
Před měřením na diodách se proto určí proudový i napěťový posun (*offset*) nulové hodnoty a tyto posuny se budou následně početně kompenzovat.

Přepněte se na další stránku pracovního sešitu - *Kalibrace*. Na pracovní ploše programu vidíte číselné ukazatele pro průměrné napětí i proud a tabulku pro obě veličiny. Odpojte vodiče od proudového

⁴ Je to důsledek konečné přesnosti použitých analogově-digitálních převodníků, rozptylu hodnot součástí při výrobě, případně i závislosti na teplotě a dalších vnějších vlivech apod.

vstupu snímače a napěťový vstup zkratujte (zasunutím banánku do zdířky druhého přívodního vodiče), čímž je zajištěna skutečná nulová hodnota obou veličin.

Spusťte měření tlačítkem *Zaznamenat data*, po dobu 10 s se měří hodnoty na obou vstupech, aktuální hodnoty jsou ukládány do tabulky, zároveň se počítají průměrné hodnoty obou veličin (v příslušných polích uvedeny červeně). Měření se zastaví automaticky po uplynutí nastavené doby. Snímek stránky pracovního sešitu si uložte do laboratorního deníku.



| | Výpočty | jednotk |
|---|--|---------|
| 1 | $U_0 = -0,0030$ | V |
| 2 | $I_0 = 0,00270$ | A |
| 3 | $U = [\text{Napětí (V)}] - [U_0 \text{ (V)}]$ | V |
| 4 | $I = [\text{Proud (A)}] - [I_0 \text{ (A)}]$ | A |
| 5 | Průměrné napětí = $\text{prumer}([\text{Napětí (V)}])$ | V |
| 6 | Průměrný proud = $\text{prumer}([\text{Proud (A)}])$ | A |
| 7 | | |

Zjištěné hodnoty posunu napětí a proudu nyní uložte jako konstanty a při měření na diodách se budou měřené napětí a proud příslušně automaticky kompenzovat⁵. Vlevo mezi nástroji vyberte *Kalkulátor* a upravte příslušně hodnoty konstant U_0 a I_0 (na obrázku se jednalo

o hodnoty $-0,0030$ V a $0,00270$ A).

Měření na diodách

Pro studium polovodičových diod jsou určeny stránky *Diody—propustný směr* a *Diody—oba směry*. Zvolte nejprve první z nich.

Nyní nastavte proudové omezení na zdroji, přítomnost vyučujícího jistě nebude na závalu. Ovladač proudu i napětí na zdroji stáhněte na minimum. Kablíkem s banánky zkratujte zdířky zdroje⁶ a knoflíkem napětí mírně pootočte vpravo. Velmi jemným otáčením proudového knoflíku vpravo nastavte hodnotu na proudovém displeji na 0,05 či 0,06 A (tj. 50 či 60 mA). Stáhněte napětí na nulu a odpojte kablík. Polohu ovladače proudu již **neměňte**.

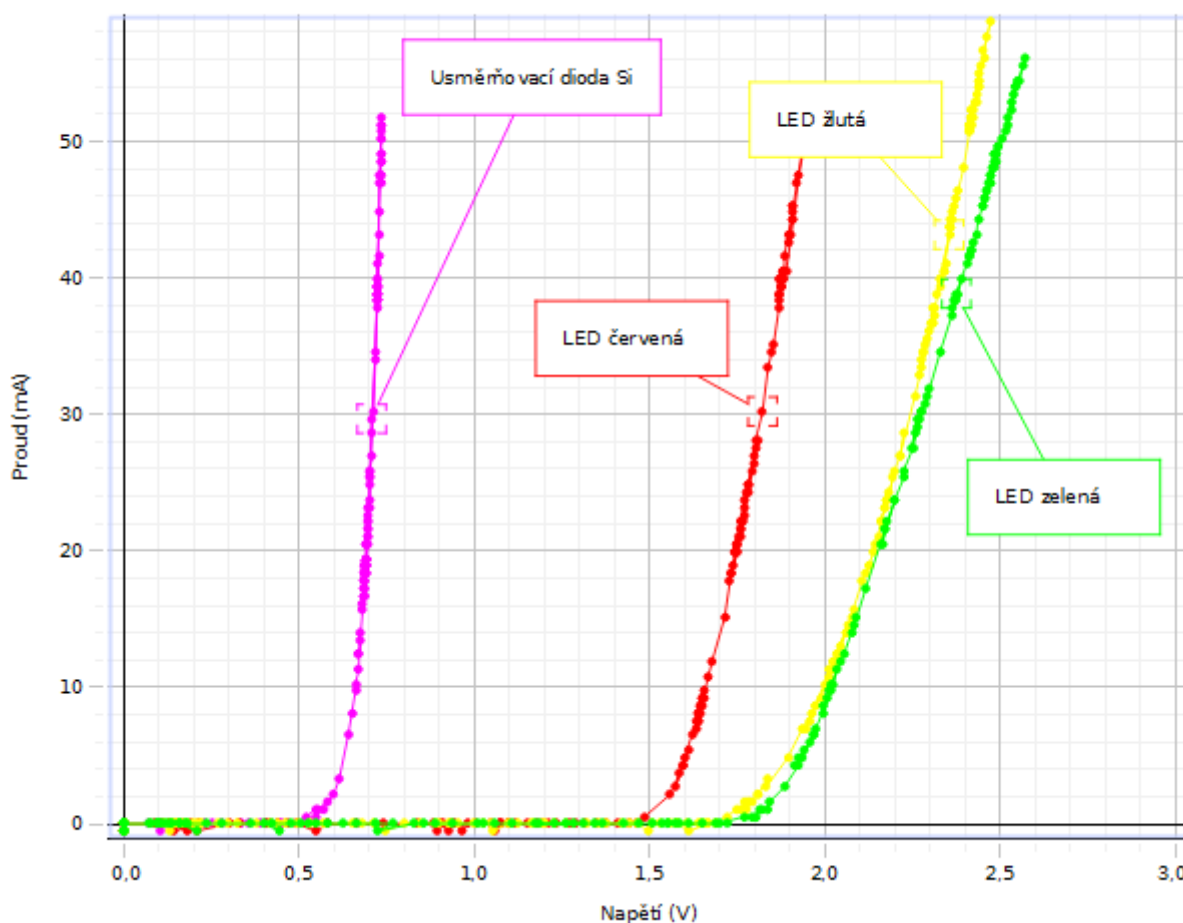
Nyní sestavte měřicí obvod pro diody podobně jako u rezistorů (ve schématu nahraďte rezistor diodou). Dbejte na správnou polaritu diody, měřit budete v propustném směru. Pro elektroluminiscenční diody (LED) bude proudový okruh probíhat i přes ochranné rezistory, které jsou součástí dílu. Katody všech tří LED jsou propojeny. Napěťové sondy připojte pomocí krokosvorek zespodu ke společné katodě (černá) a opatrně k anodě měřené LED diody, tj. mezi diodu a rezistor (červená). U křemíkových diod je situace jednodušší (obdobná jako u rezistorů). Před zapojením kablíků do zdířek zdroje si opět nechte zapojení překontrolovat od vyučujícího.

⁵ Můžete si rozmyslet, proč jsme kompenzaci nevyužili již při měření na rezistorech a proč jsme tím nezanесли chybu do určení odporu ze směrnice charakteristiky.

⁶ Takovou věc si můžete dovolit pouze u některých elektronicky regulovaných zdrojů, které jsou pro takovou možnost navrženy. V **žádném případě** to neprovádějte u **baterií** nebo jednoduchých transformátorových zdrojů bez regulace!

Postupně proměřte propustný směr všech tří LED i jedné křemíkové diody, výsledky nechte vykreslovat do stejného grafu (činnost již znáte z měření na rezistorech). Napětí přidávejte ovladačem **velmi jemně**, měření ukončete po dosažení proudu 40 až 50 mA a **co nejrychleji** pak stáhněte napětí zpět na nulu. Jedině v této poloze ovládacího knoflíku můžete provádět připojování dalších součástek! Graf můžete doplnit popisky jednotlivých diod, možný výsledek je ukázán níže. Materiál, ze kterého jsou vyrobeny jednotlivé LED, naleznete v soupisce materiálu na konci textu. Bude-li mít dostatek času, můžete vyučujícího požádat ještě o germaniovou diodu. Uložte výsledek do laboratorního deníku.

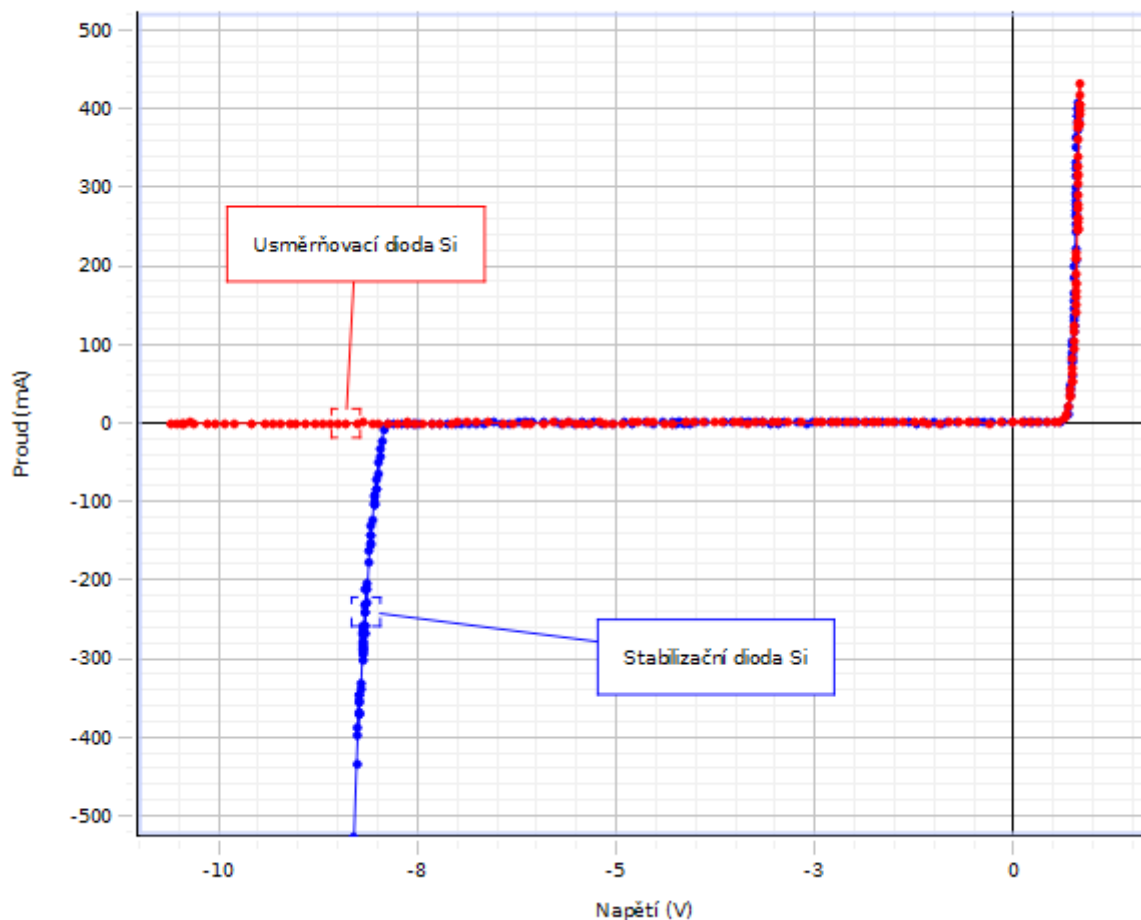
Voltampérová charakteristika diody



Před měřením voltampérových charakteristik usměrňovací a stabilizační diody si upravte proudové omezení zdroje na hodnotu cca 0,4 až 0,5 A (postup je shodný jako výše). Přepněte se na poslední stránku pracovního sešitu (*Diody—oba směry*). Známým způsobem změřte voltampérovou charakteristiku obou křemíkových diod v propustném směru (snažte se nepřekračovat proud 400 mA). Poté upravte obvod pro měření v závěrném směru, podobně jako u měření rezistoru stačí prohodit vodiče na zdírkách zdroje (samozřejmě **při staženém** napětí!). Analogicky proměřujte závěrný směr, u stabilizační diody opět dbejte na proudový limit, u diody usměrňovací ukončete měření při přiblížení napětí k -10 V. Nezapomeňte si uložit výsledný graf do laboratorního deníku, samozřejmě

si můžete upravit barvy vynesných bodů dle potřeby, přidat popisky apod. Příklad naměřených charakteristik vidíte na obrázku.

Voltampérová charakteristika diody



Na závěr si uložte soubor s provedeným experimentem (který budete odevzdávat jako doklad o provedeném měření) a také nezapomeňte na export laboratorního deníku s podklady pro zpracování protokolu o měření.

Upozornění



Žáci jsou povinni dodržovat veškerá bezpečnostní pravidla, se kterými byli seznámeni v úvodní hodině. Při práci dbají pokynů vyučujícího a chovají se tak, aby zabránili jakékoliv újmě na zdraví i na svěřeném materiálu. Zvláštní pozornost věnujte tomu, abyste nepřekračovali doporučené limity napětí a proudu! Uvědomte si prosím, že zvláště počítače a elektronická zařízení jsou z hlediska rozpočtu školy poměrně nákladné položky, které by měly sloužit jako učební pomůcky i pro vaše spolužáky a následovníky.

Soupiska pomůcek a materiálu

- počítač (netbook) s programem Capstone, napájecí adaptér,
- rozhraní PowerLink PS-2001, napájecí adaptér, USB kabel,
- snímač napětí a proudu PS-2115, propojovací vodič s banánky (2 ks červený), krokosvorka (3 ks červená, 1 ks černá),
- stabilizovaný stejnosměrný zdroj s regulací PeakTech 6080 (0-15 V, 0-3 A),
- měřené součástky (z elektronické demonstrační soupravy):
 - č. 20, rezistor 100 Ω (metaloxidový, TR 224, $\pm 20\%$),
 - č. 19, rezistor 50 Ω (jmenovitá hodnota 47 Ω , metaloxidový, TR 225, $\pm 20\%$),
 - č. 1, křemíková usměrňovací dioda KY 132/150,
 - č. 2, křemíková stabilizační (Zenerova) dioda 3NZ70 (Zenerovo napětí $U_Z = 7-8$ V),
 - č. 9, sada LED: červená LQ1132 (polovodič GaAsP, vyzařované světlo $\lambda = 660$ nm), žlutá LQ1432 (GaP, $\lambda = 587$ nm), zelená LQ1732 (GaP, $\lambda = 565$ nm),
- případně další součástky, např. germaniová hrotová dioda (OA9), germaniová hrotová dioda (1N35H), křemíková stabilizační dioda (2NZ70 s $U_Z = 6-7$ V),
- propojovací kablík: modrý banánek—hrot (2 ks).