

## Klíčová slova

dioda, propustný směr, závěrný směr, propustný proud, závěrné napětí, statický odpor, dynamický odpor, aproximace, voltampérová charakteristika

## Anotace

Cílem této práce je navrhnout efektivní schéma zapojení pro měření voltampérové charakteristiky diod v propustném a závěrném směru. Na základě tohoto schématu a měření je dopočítám dynamický a statický odpor diod a vyneseny změřené hodnoty do grafů.

## Symbolika

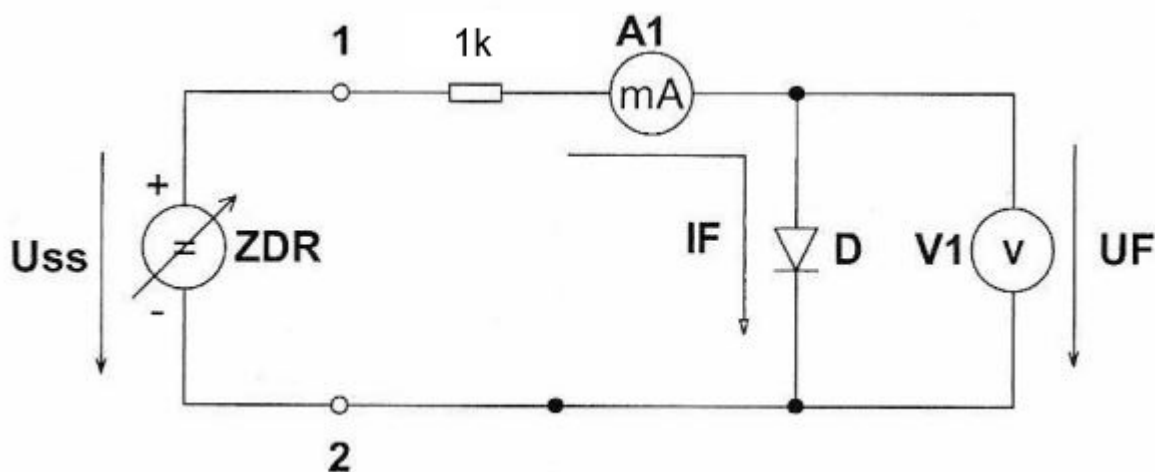
$I_F$	propustný proud
$U_R$	závěrné napětí
$R_S$	statický odpor
$r_D$	diferenciální dynamický odpor
$R_D$	dynamický odpor
$U$	naměřené napětí v obvodu
$I$	naměřený proud v obvodu
$A$	ampérmetr měřící proud protékající obvodem
$V$	voltmetr měřící napětí v obvodu

## Zadání

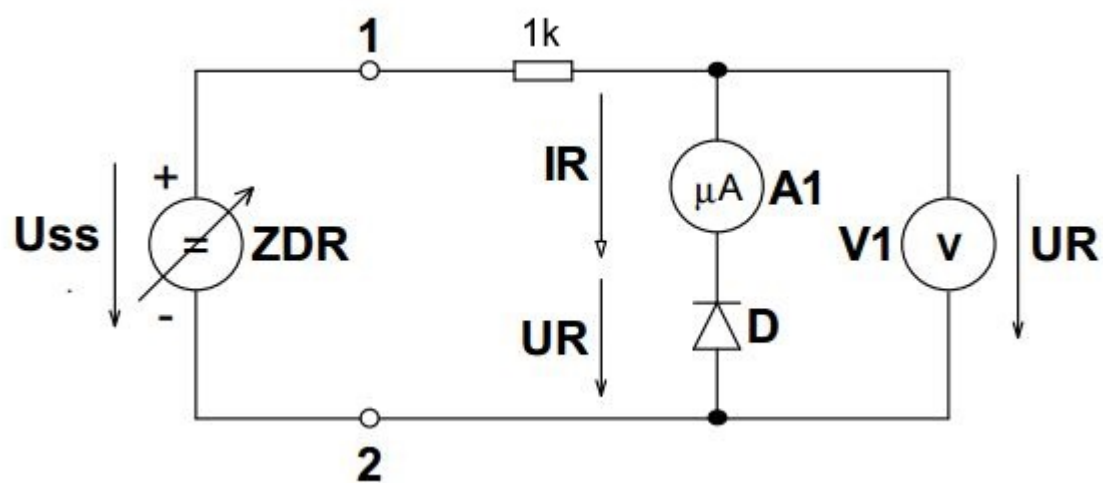
1. Vyhledejte v katalogu pro každou z předložených diod mezní hodnoty propustného proudu  $I_F$  (F z angl. "forward") a závěrného napětí  $U_R$  (R z angl. "reverse") a poznamenejte si je.
2. Navrhněte schémata pro měření voltampérové charakteristiky diod v propustném a závěrném směru (nestačí pouze otočit polaritu napětí na diodě). V zapojení použijte ochranný odpor o hodnotě  $1k\Omega$ .
3. Změřte V-A charakteristiky pro zadané typy polovodičových diod v propustném i závěrném směru. Diody LED měřte pouze v propustném směru a maximálně do **15mA**.
4. Ve zvoleném pracovním bodě stanovte statický a dynamický odpor diod.

5. Najděte analytickou funkci, která aproximuje charakteristiku diody, vycházejte ze Shockleyho rovnice. Zvolte si jednu diodu a tuto funkci vyneste do samostatného grafu.
6. Naměřené V-A charakteristiky vyneste do grafů. Propustný směr všech diod bude umístěn do jednoho grafu. Totéž platí pro závěrný směr. Dbejte na správné umístění charakteristik do příslušných kvadrantů osového kříže.
7. Do závěru porovnejte prahové napětí změřených diod a určete typ diody (Si, Ge a Shotkyho). Porovnejte a zhodnoťte statické a dynamické odpory diod.

## Schéma zapojení



Obrázek 1: Schéma pro měření V-A charakteristiky v propustném směru



Obrázek 2: Schéma pro měření V-A charakteristiky v závěrném směru

## Naměřené a vypočtené hodnoty

### Mezní katalogové parametry součástek

Tabulka 1: Mezní katalogové parametry diod

Typ diody	Mezní hodn. prop. proudu $I_F$	Mezní hodn. závěr. napětí $U_R[V]$
Modrá LED	20mA	3V
Žlutá LED	20mA	2,1V
1N4007	1A	1000V
D9D	50mA	30V
SB 360	3A	60V
KY 130/150	30mA	180V

### Výpočet statického odporu diod

Statický odpor vypočítávám ze zvoleného pracovního bodu viz zadání s využitím ohmova zákona:

$$R_{S(BlueLED)} = \frac{U}{I} = \frac{3,56}{4,39 \cdot 10^{-3}} = 810,934\Omega \quad (1)$$

$$R_{S(YellowLED)} = \frac{U}{I} = \frac{2,35}{5,97 \cdot 10^{-3}} = 393,635\Omega \quad (2)$$

$$R_{S(1N4007)} = \frac{U}{I} = \frac{0,66}{9,3 \cdot 10^{-3}} = 70,9677\Omega \quad (3)$$

$$R_{S(D9D)} = \frac{U}{I} = \frac{0,34}{8,5 \cdot 10^{-3}} = 40,0\Omega \quad (4)$$

$$R_{S(SB360)} = \frac{U}{I} = \frac{0,19}{7,7 \cdot 10^{-3}} = 24,6753\Omega \quad (5)$$

$$R_{S(KY130/150)} = \frac{U}{I} = \frac{0,62}{137,778 \cdot 10^{-3}} = 24,6753\Omega \quad (6)$$

### Výpočet dynamického odporu diod

Dynamický (diferenciální) odpor vypočítávám ze zvoleného pracovního bodu viz zadání s využitím ohmova zákona. Používám hodnoty blízké k hodnotám při výpočtu statického odporu diod. Dynamický odpor se mění v závislosti na tom, kde na křivce zvolíme pracovní bod.

Pro výpočet dynamického odporu je zapotřebí znát směrnici tečny funkce v konkrétním bodě což je vlastně:

$$r_D = \frac{dU}{dI} \quad (7)$$

Pro derivaci bych však musel znát přesný předpis funkce, což v tomto případě není možné, jelikož výstupem měření jsou pouze body. Pro skutečné měření se proto používá spíše rovnice:

$$R_D = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (8)$$

Pokud se budu limitně blížit proudem k nule, získám teoretický derivační vztah. Výpočet se tedy provádí tak, že změříme proud, který protéká diodou při daném napětí. Poté zvětšíme protékající proud a opět obě hodnoty odečteme. Tím můžeme využít onoho rozdílového vztahu. Tento postup bude tím přesnější, čím bude  $\Delta U$  resp.  $\Delta I$  menší.

$$R_{D(BlueLED)} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{3,56 - 3,46}{4,39 \cdot 10^{-3} - 2,49 \cdot 10^{-3}} = 52,6316\Omega \quad (9)$$

$$R_{D(YellowLED)} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{2,35 - 2,22}{5,97 \cdot 10^{-3} - 3,92 \cdot 10^{-3}} = 63,4146\Omega \quad (10)$$

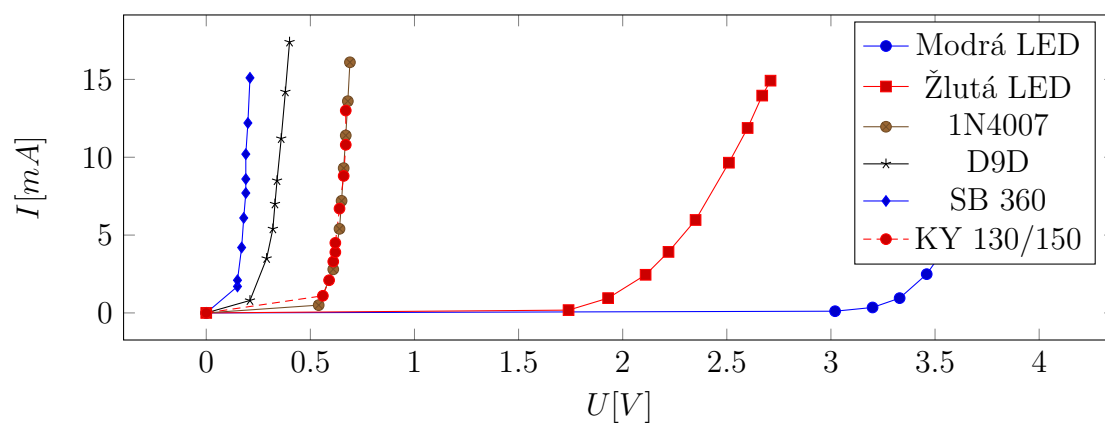
$$R_{D(1N4007)} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{0,66 - 0,65}{9,3 \cdot 10^{-3} - 7,2 \cdot 10^{-3}} = 4,7619\Omega \quad (11)$$

$$R_{D(D9D)} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{0,34 - 0,33}{8,5 \cdot 10^{-3} - 7,0 \cdot 10^{-3}} = 6,6667\Omega \quad (12)$$

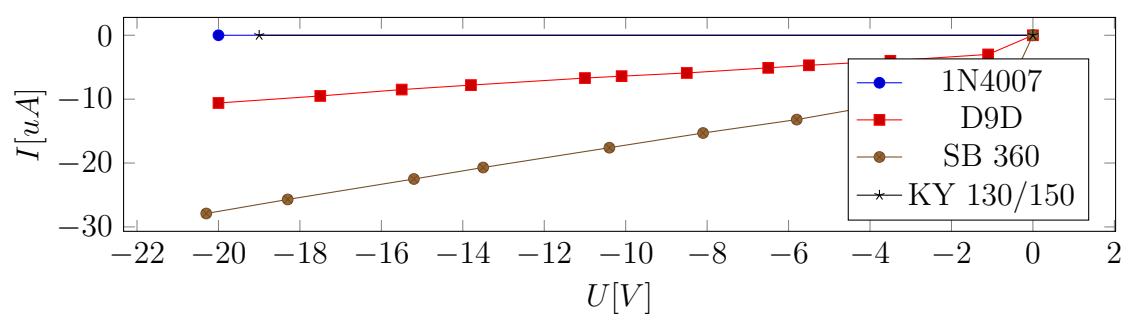
$$R_{D(SB360)} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{0,19 - 0,18}{7,7 \cdot 10^{-3} - 6,1 \cdot 10^{-3}} = 6,2500\Omega \quad (13)$$

$$R_{D(KY130/150)} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{0,62 - 0,61}{4,5 \cdot 10^{-3} - 3,3 \cdot 10^{-3}} = 8,3333\Omega \quad (14)$$

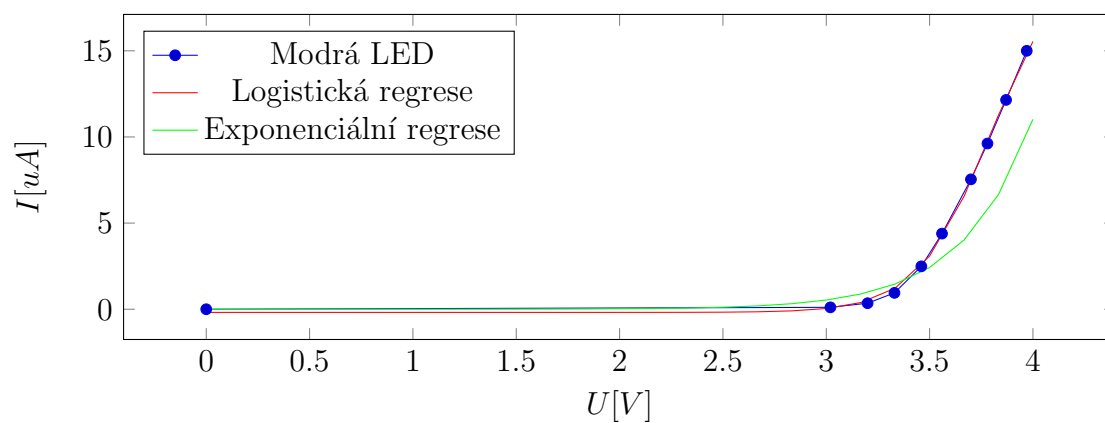
## Grafy



Obrázek 3: V-A charakteristika - propustný směr



Obrázek 4: V-A charakteristika - závěrný směr



Obrázek 5: V-A charakteristika - regrese průběhu LED diody

V-A charakteristika modré LED diody je aproximována logistickou regresí, konkrétně se jedná o následující funkci:

$$y = \frac{20.6131}{1 + 2.2383 \cdot 10^9 \cdot e^{-5.67475 \cdot x}} - 0.183578 \quad (15)$$

Tím získáme poměrně velmi přesnou aproximaci naměřených hodnot. Jednodušší avšak méně přesnou aproximaci naměřených hodnot získáme exponenciální regresí:

$$y = 0.00006 \cdot (20.7061)^x \quad (16)$$

Tato aproximace je na jednu stranu nepřesná v měřeném úseku, na druhou stranu je snadno předvídatelná. Logistická regrese oproti exponenciální velmi dobře aproximuje konkrétní měřené hodnoty, avšak mimo definiční obor a měřený obor hodnot již nabývá nesprávných hodnot.

## Závěr

Celkem bylo měřeno šest druhů diod. Svítivá LED dioda modrá (složení ZnSe, InGaN, SiC, Si), LED dioda žlutá (složení GaAsP, AlGaInP, GaP), dále dvě usměrňovací (1N4007 a KY 130/150), germaniová (D9D) a Schottkyho dioda (SB 360). Za povšimnutí stojí, že usměrňovací diody, ačkoliv jsou odlišné, mají velice podobné V-A charakteristiky.

Prahová napětí se v rozsahu měření velmi liší. Největší hodnotu prahového napětí naměříme na svítivých LED diodách, konkrétně na modré zhruba 3V viz graf V-A charakteristika v propustném směru. Usměrňovací diody mají prahové napětí stejné a to přibližně 0,5V. Nejmenší prahová napětí naměříme na Schottkyho diodě (0,2V) a o něco málo větší na germaniové diodě (0,3V).

Dynamický odpor se vůči statickému liší v závislosti na místě odečítání hodnoty a tedy skonu měřené křivky. V jednom stejném bodě může být dynamický i statický odpor rozdílný.

## Použitá literatura

- [1] doc. Ing. Július Štelina, CSc.: *Meranie dynamického odporu polovodičových diód*. Dostupné z:  
<http://fyzika.utc.sk/praktika/Ulohy/dynamickyodpor.pdf>
- [2] ŠAVEL, Josef: *Elektrotechnologie v praxi*, Grada Publishing a.s., 2009, ISBN 8024729296