

# Pár věcí s polovodiči

Leoš Dvořák

Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

leos.dvorak@mff.cuni.cz

## Úvod

Na dílně „Pár věcí s polovodiči“ jsme se věnovali pokusům, které mohou sloužit jako úvodní experimenty z této oblasti i na úrovni ZŠ. Pokusy vycházejí ze zkušeností, které byly získány při vedení těchto partií na seminářích Heuréky i při dalších příležitostech. Řada těchto zkušeností je shrnuta v brožuře [1] dostupné i na internetu.

Pro potřeby dílny ve Vlachovicích byly zdůrazněny a rozšířeny zejména jednoduché experimenty s využitím svítivých diod (LED). Všechny pokusy jsou popsány v pracovním listu, který je součástí tohoto příspěvku. Následující text představuje vlastně jen stručný komentář k uvedeným pokusům; na pokusy se odkazujeme pomocí jejich čísel v pracovním listu.

Poznámka: Pokud dále píšeme např. „seznámíme se“, „zjistíme, že“ apod., míníme tím, že se seznámí, zjistí atd. také – a zejména – naši žáci.

## Pokusy s LED

### 1. LED: jak ji připojit k baterii

Smyslem tohoto pokusu je seznámit se se svítivými diodami různých velikostí a barev a (pro někoho možná poprvé) rozsvítit LED připojením na baterii. Přitom je nutno zdůraznit, že LED nepřipojujeme přímo, že je potřeba mít v sérii vhodný rezistor! Zjistíme, že – na rozdíl od žárovček – u LED záleží na polaritě. (Obvykle o něco delší „nožičku“ připojujeme na +, aby LED svítila.) Zjistíme také, že různé LED mohou svítit s různou intenzitou.

Zajímavé je, když mezi našimi LED je též infračervená. Její záření nevidíme (mívá vlnové délky např. okolo 940 nm), ale můžeme je vidět pomocí digitálního fotoaparátu nebo fotoaparátu v mobilu.

„Ultrafialovou“ LED obvykle vidíme svítit tmavě fialově, UV složku záření můžeme demonstrovat posvícením na fluoreskující látky, např. na ochranné prvky bankovek.

### 2. Zničte LED (velkým proudem)

Tento pokus provedeme s co nejlacinější LED; vhodné jsou např. laciné červené LED s průměrem 3 mm. LED připojíme přímo na baterii, nejlépe 9 V nebo více. Opravdu pozor na oči, sice zřídka, ale přesto občas může LED prasknout a její čepička pak odletí velkou rychlostí. Při připojení na 4,5 V LED obvykle vydrží, ale po krátkém čase začne svítit méně, velkým proudem opravdu degraduje.

Smyslem pokusu je ukázat, že LED *nesmíme* připojovat přímo k baterii, jak jsme byli zvyklí připojovat žárovku. (Některé LED už v sobě mají zabudováno omezení proudu, ale u běžných levných LED toto nebývá pravidlem.) Proud LED musíme omezit rezistorem v sérii. Je lepší ověřit si na laciné LED, že přímé připojení k baterii jí opravdu nedělá dobře, než ničit dražší typy svítivých diod.

### 3. Jaké napětí je na LED?

Smyslem pokusu je ukázat, že červené a zejména infračervené LED mají na sobě za provozu menší napětí než LED se světlem u modrého konce spektra. Souvisí to s energií fotonů, blíže viz příslušnou partii v [1].

Pokud se týče bílých LED, dnes jsou většinou konstruovány tak, že jde diody produkující UV záření, které osvětluje luminofor, který pak svítí bíle. Napětí na bílých LED proto bývá zhruba 3 V.

### 4. Jaký odpor má mít rezistor v sérii?

Běžné malé LED mívají pracovní proud 20 mA. (Fakticky to znamená, že rozumně svítí už při 10 až 15 mA a na druhé straně vydrží i proudy okolo 25 mA, neměli bychom je ale přetěžovat vyššími proudy.)

Potřebnou hodnotu odporu spočteme pomocí Ohmova zákona. (Pozor, pomocí Ohmova zákona aplikovaného na rezistor, pro napětí a proud na LED Ohmův zákon neplatí!) Je-li na LED napětí asi 2 V a plochá baterie má napětí 4,5 V, musí být na rezistoru asi 2,5 V. Při proudu 20 mA tedy rezistor musí mít odpor asi  $2,5 \text{ V} / 0,02 \text{ A} = 125 \Omega$ . Nejbližší běžně prodávaná hodnota, 120  $\Omega$ , tedy vyhovuje velmi dobře.

### 5. Jak se chovají dvě LED v sérii?

Zapojíme-li obě LED v propustném směru, obě svítí. (Samozřejmě, je-li napětí baterie vyšší, než součet potřebných napětí na obou LED.) Je-li jedna z LED zapojena opačně, proud neprochází a nesvítí žádná LED. (Ve skutečnosti obvodem prochází velmi nepatrný proud v závěrném směru dané diody, ten ale nestačí k rozsvícení druhé LED.)

### 6. Jak se chovají dvě LED zapojené paralelně?

Jsou-li obě LED stejné, budou svítit obě. Zajímavou problémovou situaci dostaneme, zapojíme-li paralelně například zelenou a červenou LED. Svítí jen červená – žáci mohou diskutovat proč. (Je vhodné změřit napětí na diodách; to nestačí k rozsvícení zelené LED.) K problému se lze podrobněji vrátit, pokud později měříme charakteristiku LED (viz dále pokus 9).

### 7. Jak svítí LED při různých proudech?

Změnou sériového odporu můžeme proud snižovat až na úroveň desítek  $\mu\text{A}$  i níže. Moderní vysokosvítivé LED pozorovatelně svítí (zejména ve tmě) i při proudech řádu mikroampér i méně.

### 8. Do jak širokého úhlu svítí LED?

LED s barevnými pouzdry svítí do širokého rozsahu směrů. U LED s čirým pouzdrům, pokud je ze vzdálenosti např. 10 cm namíříme na list papíru, vidíme často poměrně jasně vymezenou nasvícenou plochu. V souvislosti s tímto pokusem lze diskutovat, že vysokosvítivé diody bývají vysokosvítivé právě proto, že produkují jen úzký kužel světla.

### 9. Jak vzájemně závisí napětí a proud na LED?

Zde jde o alespoň přibližné proměření charakteristiky LED – a zjištění, že je silně nelineární.

## 10. Zkoušečka ze dvou LED

Při připojení na stejnosměrné napětí ukazuje zkoušečka jeho polaritu. (Je vhodné, aby každá LED měla jinou barvu, abychom polaritu snadno odlišili.) Při připojení na střídavé napětí svítí obě LED. Pokud zkoušečkou rychle pohybujeme, vidíme díky setrvačnosti oka „proužky“, které ukazují, že střídavě svítí jedna a druhá LED.

## Zkoumáme fototranzistor

### 11. Fototranzistor řídí proud procházející LED

Do série s LED zapojíme fototranzistor; použit lze např. typ IRE5 nebo podobně laciný typ. Tuto sériovou kombinaci připojíme k ploché baterii. (Samozřejmě, pozor na polaritu obou součástek.) Ve tmě fototranzistor propouští jen nepatrný proud, při silném osvětlení proud několik mA, který již stačí rozsvítit LED.

### 12. Fototranzistor v sérii se sluchátky

Snad nejjednodušší pokus zajímavě demonstrující funkci fototranzistoru: Sériovou kombinací fototranzistoru a sluchátek připojíme k ploché baterii. Pokud na fototranzistor posvítíme zblízka televizním ovladačem, slyšíme ve sluchátku vrčení.

## Začínáme zkoumat tranzistor

### 13. Tranzistor zesiluje proud

Smyslem pokusu je ukázat, že malým proudem do báze můžeme řídit větší proud v kolektoru, kde je zapojena LED. Dejme tomu, že LED svítí při proudu 5 mA. Tranzistor BC547C má proudový zesilovací činitel zhruba 500 (velmi přibližná hodnota, může to být od 400 do 600 i více). To znamená, že ke svitu LED stačí, aby do báze tranzistoru tekla proud jen asi 10  $\mu$ A. Ten by samotnou LED prakticky nedokázal pozorovatelněji rozsvítit.

### 14. Tranzistor řídí proud reproduktorem

Je třeba použít tranzistor, který vydrží větší proud (např. typ BC337 vydrží 0,8 A), reproduktor by měl mít odpor minimálně 8  $\Omega$ . Proud do báze je ovládán fototranzistorem. Citlivost na infračervený signál TV ovladače je výrazně vyšší než při pokusu 12.

## Závěr

Jak použít uvedené náměty, závisí na konkrétních podmínkách ve vaší výuce. Leckteré vlastnosti polovodičových prvků můžeme těmito pokusy „objevovat badatelským způsobem“. Jak moc badatelský způsob práce zdůrazníte, je na vás. Rozhodně však konkrétní zkušenost s chováním polovodičových prvků je přínosná, řada momentů je zde pro žáky zajímavá a pro většinu žáků bude zřejmě tento přístup přístupnější, než kdybychom začali teoreticky vykládat např. pásovou strukturu pevných látek. Praktickou výhodou uvedených pokusů je skutečnost, že potřebné pomůcky jsou (s výjimkou multimetrů) velmi levné a dají se vyrobit svépomocí (viz [1]).

## Literatura a další zdroje

[1] DVOŘÁK L.: *Polovodiče a jejich aplikace*, P3K Praha, 2012, 44 s., ISBN 978-80-87186-83-1 Dostupné online na <http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/>.