Zdroje vyobrazení

Obr. 1: https://21stoleti.cz/2006/05/19/letadlo-nebo-helikoptera/
http://letectviletadla.blog.cz/1308/deleni-letadel

Obr. 2: http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=2215&kategorie=3

Obr. 3: http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=2215&kategorie=3

Obr. 7: http://www.elektroprumysl.cz/merici-technika/fotovoltaicke-moduly-a-instalace-fotovoltaickych-elektraren-pod-kontrolou-termokamer

Obr. 9: https://www.mobilmania.cz/clanky/sar-jak-nam-mobily-zari-do-hlavy/sc-3-a-1120169/default.aspx

Udělejte si sami: jednoduché aplikace polovodičů (nejen) pro ZŠ

LEOŠ DVOŘÁK – ZDEŇKA KAMARÁDOVÁ

MFF UK, Praha – ZŠ a MŠ Ústavní, Praha

Polovodiče jsou důležitým prvkem moderních technologií a jako takové mají ve výuce fyziky na školách jednoznačně své místo. Svědčí o tom i řada článků v MFI v uplynulých více než dvaceti letech [1–13]. Na druhou stranu, většina těchto článků byla publikována již před zhruba dvěma desítkami let; v dalším období se zde s nimi setkáváme spíše ojediněle.

Že je tato problematika stále aktuální, dokládá nedávný článek [1]. Vytipoval a prezentoval řadu obvodů, zejména s tranzistory (ale i s integrovanými obvody), a uvedl množství odkazů převážně na internetové zdroje. Díky šíři záběru však již neměl prostor věnovat se podrobněji tomu, jak dané obvody konstruovat, a neuvedl také konkrétní zkušenosti, jak si je učitelé vyrábějí a jak je používají ve výuce.

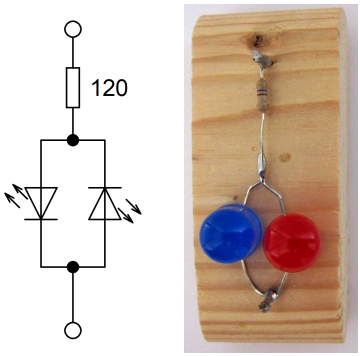
Náš příspěvek je k článku [1] v jistém smyslu komplementární. Soustředíme se na velmi jednoduché obvody se svítivými diodami a jedním

tranzistorem a ukážeme, jak je lze realizovat tak, aby byly pro žáky co nejnázornější. (Leccos může zájemce najít v publikaci [14], zde však přidáme některé další detaily či úpravy obvodů.) Popíšeme také zkušenosti s tím, když si dané obvody učitelé sami vyrábějí, a okomentujeme konkrétní možnosti jejich využití ve výuce fyziky.

Dále popsané obvody si v různých variantách vyrobilo od roku 2008 již více než sto padesát učitelů fyziky na seminářích projektu Heuréka [15]. Krátký průzkum v roce 2015, v němž odpovědělo třicet učitelů, ukázal, že devadesát procent z nich použilo tyto vyrobené pomůcky ve výuce, 37 % si vyrábělo další exempláře a 43 % nechalo tyto konstrukce vyrábět své žáky (blíže viz [16]). Tyto a podobné konstrukce se dnes šíří i prostřednictvím regionálních center Elixíru do škol [17]. Zkušenost ale ukazuje, že stále ještě zbývá hodně učitelů fyziky, kteří se s nimi nesetkali. Pokud tento článek ukáže některým dalším zájemcům, jak jednoduché může být začít si s polovodičovými prvky „hrát“ a názorně ukazovat jejich chování ve výuce, pak splní svůj účel.

Dvě LED a rezistor

Používat svítivou diodu (tedy LED, slangově „ledku“) místo běžné malé žárovičky bude zřejmě čím dál běžnější i v pokusech uvádějících žáky do elektrických obvodů. Drobným problémem může být skutečnost, že LED vede proud jen jedním směrem. Pro řadu pokusů je tedy vhodné použít velmi jednoduché zapojení se dvěma LED zapojenými antiparalelně (tedy „vedle sebe, ale obráceně“), jak to ukazuje obr. 1.



Obr. 1 Jednoduchá pomůcka se dvěma antiparalelně zapojenými LED (pro napájení z baterie 4,5 V nebo méně)

Fotografie ukazuje i jednoduchý způsob, jak danou konstrukci prakticky realizovat: do destičky z měkkého dřeva zatlouci malé mosazné hřebíčky (dají se sehnat ve větších železářstvích) a k nim součástky připájet. Zkušenost ukázala, že po několika pokusech zvládli pájení na hřebíčky účastníci i účastnice seminářů, kteří říkali, že snad páječku nikdy nedrželi v ruce.

Svítivé diody mohou být o průměru 5 nebo 10 mm, při demonstracích jsou samozřejmě lépe vidět větší LED. Dají se běžně sehnat v prodejnách elektronických součástek v cenách kus za několik korun. (Nabídka typů se ovšem dost mění, proto neuvádíme konkrétní označení. Je vhodné volit typy s vyšší svítivostí.) Rezistory stačí miniaturní, na nejmenší výkonové zatížení Do dalších obvodů připojujeme pomůcku pomocí vodičů a krokosvorek (případně vodiči s krokosvorkami, viz [14]).

Pro zájemce: trocha úvah o vhodné hodnotě odporu

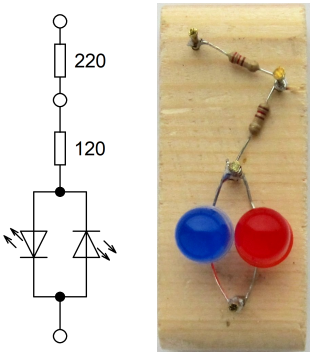
Podstatné je, že do série k LED je zapojen rezistor omezující proud. Pokud žáci už znají Ohmův zákon, lze daný obvod využít k diskusi, jak velký má mít tento rezistor odpor. Na svítivé diodě je napětí cca 2 V až 3 V (na červené o něco méně než 2 V, na zelené přes 2 V, na modré kolem 3 V). Připojíme-li náš obvod k ploché baterii o napětí 4,5 V, musí tedy na rezistoru být (teče-li proud červenou LED) asi 2,5 V. Někdy se v hantýrce říká, že rezistor „srazí“ napětí ze 4,5 V o 2,5 V, tedy na 2 V. Hodnotu proudu, který má protékat malými LED, udávají výrobci většinou 20 mA. Odtud $R = U/I = 2{,}5\ \mathrm{V}/0{,}02\ \mathrm{A} = 125\ \Omega$. Hodnota 120 Ω uvedená ve schématu znamená, že červenou LED poteče z „čerstvé“ ploché baterie trochu více než 20 mA (což vydrží), naopak modrou LED poteče méně, cca 12 mA, ale i při tomto proudu svítí dostatečně.

V naší jednoduché konstrukci si tedy pro omezení proudu vystačíme s jediným rezistorem a nemusíme používat například složitější zapojení s tranzistorem, Zenerovou diodou a dalšími rezistory uvedené např. v [5]. Ovšem pozor! Pokud budeme chtít naši pomůcku připojit k baterii 9 V, musí být odpor rezistoru vyšší! Laskavý čtenář si jistě sám spočte, že vyhoví rezistor o odporu 330 Ω. Nebo, chcete-li ledku více šetřit, 390 Ω. Můžete také k zapojení na obr. 1 přidat do série rezistor o odporu 220 Ω a budete mít zapojení pro obě napájecí napětí (obr. 2).

Zkušenější čtenáři si teď nepochybně říkají, proč zde „rozpitváváme“ tak jednoduché a samozřejmé věci. Ovšem jde nám o to, že takto krok za krokem můžeme problematiku připojování LED k baterii diskutovat i se žáky. Minimálně proto, aby nepřipojovali LED k baterii rovnou, bez sériového rezistoru! Jistě, některé LED to vydrží, alespoň chvíli, ale ně-

které se přehřejí a přestanou svítit. A u některých, dle naší zkušenosti zejména u miniaturních typů o průměru 3 mm, může s poměrně hlasitým prásknutím odletět kus jejich plastové čepičky. Takže pozor i na oči!

Pro podrobnější rozbor mluví ještě jeden důvod: Abychom my ani naši žáci nebyli „otroky hodnot“, které vidíme někde ve schématu. Jistě, stačilo by autoritativně konstatovat „pro baterii 4,5 V použijte odpor 120 Ω, pro 9 V baterii 330 Ω“. Ale fyzika není o bezmyšlenkovitém přebírání hodnot uvedených ve schématu. A navíc, co když naše baterie bude mít 6 V nebo 12 V? Na jaké úrovni a s jakými žáky hodnotu odporu blíže diskutovat samozřejmě závisí na řadě konkrétních okolností, ale minimálně my sami bychom měli mít v dané problematice jasno.



Obr. 2 Pomůcka z obr. 1 doplněná o další rezistor pro napájení napětím 9 V

K uvedenému odvozování hodnoty odporu je možná vhodné zdůraznit ještě jednu věc: Ohmův zákon zde používáme pro napětí a proud na rezistoru, nikoli pro LED! Pro svítivou diodu Ohmův zákon neplatí, ta je prvkem výrazně nelineárním. (Opět trochu slangově můžeme říci, že LED se „snaží držet“ na sobě téměř konstantní napětí v poměrně širokém rozmezí hodnot proudu.)

K čemu lze pomůcku využít

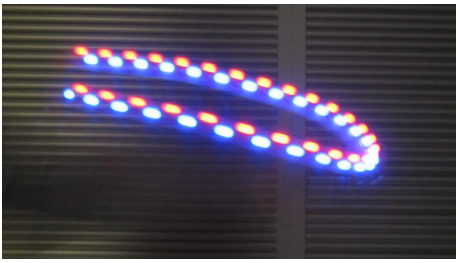
První pomůcku tedy máme hotovou. K čemu a jak ji využijeme? Možností je řada, například:

- Indikátor polarity napětí a rozlišení stejnosměrného a střídavého napětí.
- Demonstrace, že střídavé napětí opravdu střídá polaritu.

- Indikátor proudu (včetně směru proudu a rozlišení stejnosměrného a střídavého proudu, podle jasu LED můžeme alespoň kvalitativně usuzovat i na velikost proudu).
- Demonstrace nabíjení a vybíjení kondenzátorů.
- Demonstrace napětí indukovaného v cívce.

Samozřejmě, naše pomůcka má řadu omezení. Nemůže indikovat napětí nižší než asi 1,7 V, proud zvládá jen do zmíněných 20 mA, při demonstraci nabíjení a vybíjení kondenzátoru je potřeba mít kondenzátor o kapacitě minimálně mikrofaradů či desítek μF (jinak je bliknutí diody téměř nepostřehnutelné) apod. Přesto jde o pomůcku užitečnou.

Jedna z výše zmíněných možností možná není na první pohled srozumitelná. Jak pomocí naší dvojice LED demonstrovat, že střídavé napětí opravdu střídá polaritu? Když pomůcku připojíme ke střídavému napětí dejme tomu 4 až 5 V o frekvenci 50 Hz (získanému transformací ze sítě), svítí obě LED. Když pomůckou, připojenou pomocí delších vodičů, rychle pohybujeme sem a tam, vidíme díky setrvačnosti oka střídavé proužky jedné a druhé barvy (obr. 3).



Obr. 3 Demonstrace, že ve střídavém napětí se polarita opravdu střídá

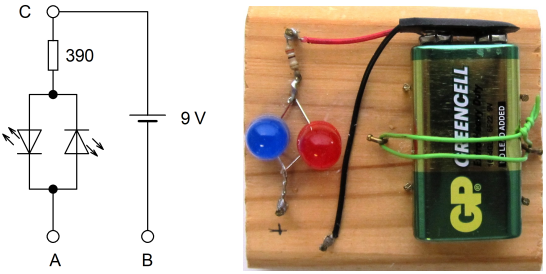
V tomto pokusu lze s případnými zájemci jít i trochu „do hloubky“, do větších podrobností. Například je-li střídavé napětí jen 3 V nebo o něco nižší, vidíme mezi proužky barev mezeru, při napětí dejme tomu 5 V a vyšším (zde se hodí pomůcka z obr. 2, abychom nepřetížili diody) mezera prakticky zmizí. Proč tomu tak je, může být drobnou problémovou úlohou.

Jednoduchá zkoušečka

Doplníme-li naše zapojení baterií, získáme velice jednoduchou, ale užitečnou zkoušečku. Ve verzi s plochou baterií si ji učitelé vyráběli již na dílně [18]; verzi s malou 9 V baterií ukazuje obr. 4.

Mezi svorkami A a C funguje zkoušečka stejně jako výše uvedená zapojení, takže může sloužit třeba jako zkoušečka polarity baterií o napětí 3 V až 9 V. Mezi svorkami A a B ji můžeme využít na:

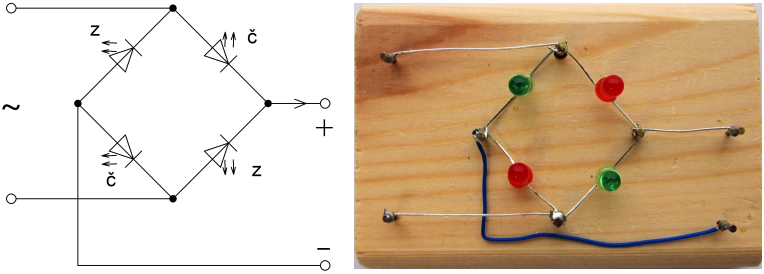
- zkoušení vodivého spojení (až do odporu desítek kiloohmů),
- zkoušení LED,
- zjišťování polarity diod a přechodů tranzistorů.



Obr. 4 Jednoduchá zkoušečka

Graetzův usměrňovač s LED

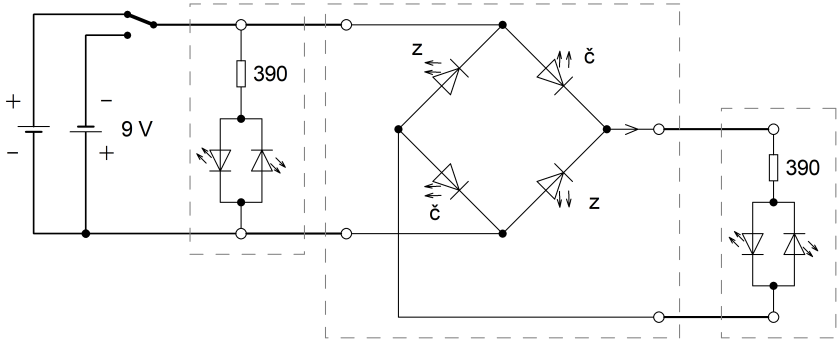
Inspirací k následující pomůcce byl před lety příspěvek viděný na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky. Ve sborníku [19] je však popsán bohužel až příliš stručně, zde proto jednoduchou konstrukci této pomůcky a její využití okomentujeme podrobněji. Jedná se o Graetzův usměrňovač, v němž jsou na místě diod použity červené a zelené (nebo červené a modré) LED (obr. 5).



Obr. 5 Graetzův usměrňovač s LED

Když připojíme vstup usměrňovače ke střídavému napětí (vhodné je 5 V až 7 V), občas někoho překvapí, že LED nesvítí. To je ovšem samozřejmé. Není-li k výstupu usměrňovače připojena žádná zátěž, diodami neprochází proud. Stačí k výstupu připojit třeba rezistor (např. 390 Ω) nebo naši pomůcku z obr. 2 a diody obou barev svítí.

Pro demonstraci činnosti usměrňovače ovšem potřebujeme ukázat, kudy proud teče při jedné a druhé polaritě vstupního střídavého napětí. Pro tento účel se osvědčilo složit z výše uvedených pomůcek obvod na obr. 6. Ke Graetzovu usměrňovači jsou k němu na vstup a výstup připojeny pomůcky se dvěma paralelními LED a na vstup přepínačem připojujeme baterie s opačnou polaritou. Názorně je vidět, že polarita napětí na vstupu se střídá, zatímco na výstupu svítí stále LED jedné barvy, tj. napětí je tam opravdu usměrněné.



Obr. 6 Propojení pomůcek pro demonstraci činnosti Graetzova usměrňovače

Technické poznámky:

Je třeba použít baterie o napětí 9 V. Napětí 4,5 V je příliš malé, protože proud prochází třemi LED v sérii a zejména na zelených (či modrých) LED toto napětí nestačí k jejich „otevření“. Na vstupu bychom mohli ušetřit jednu baterii, pokud bychom polaritu měnili dvojitým přepínačem – zapojení se dvěma bateriemi a jednoduchým přepínačem je ale pro žáky názornější. (Navíc, nemáme-li přepínač, stačí se prostě koncem přívodního vodiče střídavě dotýkat kontaktu jedné a druhé baterie.) Přepínačem lze „cvakat“ i v dosti rychlém rytmu (několikrát za sekundu) a navodit tak dojem skutečného střídavého napětí. Ve skutečnosti o střídavé napětí jde, ovšem nikoli s harmonickým ale s obdélníkovým průběhem.

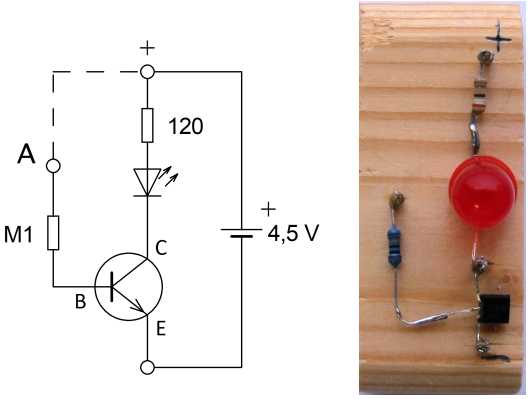
Začínáme s tranzistorem, aneb „nikdo nejsme nekonečně odporný“

Zapojení s jedním tranzistorem zesilujícím proud je samozřejmě popsáno v řadě pramenů (je i v článku [1]). Obr. 7 ukazuje konstrukci na prkénku s hřebíčky. Připojíme-li baterii, LED nesvítí. Spojíme-li svorky A a + (ve schématu vyznačeno čárkovanou čarou), LED se rozsvítí. Tranzistor tedy funguje jako spínač.

Se žáky pak můžeme diskutovat, jak velký, či spíše jak malý je proud do báze B (tj. v našem případě do svorky A), kterým řídíme proud kolektorem C (tedy proud svítivou diodou, ten je asi 20 mA). Z Ohmova zákona můžeme spočítat, že proud rezistorem 100 kΩ je asi 40 μA, tedy zhruba 500krát menší, než proud kolektorem. Přesvědčivější než teoretická úvaha (zejména pro žáky ZŠ) bude spojit svorky A a + nikoli přímo vodičem, ale přes pomůcku z obr. 1. Malý proud 40 μA svítivou diodu v dané pomůcce prakticky nerozsvítí. (Jen ve tmě nebo při velkém zastínění je vidět slabý svit.) I bez měřicích přístrojů je tedy vidět, že velmi malým proudem řídíme větší proud.

Technické poznámky:

V uvedeném zapojení jsme používali tranzistor BC547C. Písmeno C na konci typového označení znamená, že má velké proudové zesílení, právě zhruba 500 (podle údajů výrobce v rozmezí 420 až 800). Jde o součástku v doslova korunové hodnotě; současná cena dohledaná na webu jednoho z prodejců součástek je 1,50 Kč. Uspořádání vývodů tohoto tranzistoru najdete v [14] nebo samozřejmě v materiálech výrobců.



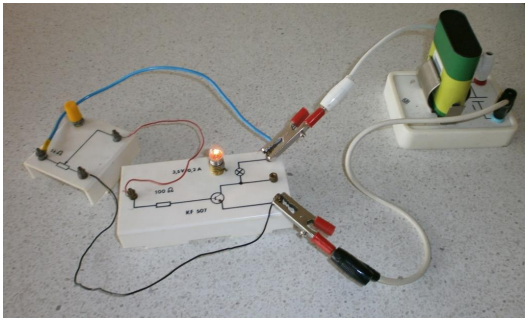
Obr. 7 Obvod demonstrující, že tranzistor zesiluje proud

Vodivě spojit svorky A a + můžeme též vlastními prsty resp. přes vlastní tělo. (Na jednu svorku přiložíme prst, kablíkem připojeným k druhé svorce se dotkneme třeba nosu...) I v tomto případě LED v kolektoru svítí, byť většinou ne naplno. Dokládá to, že námi prochází slabý elektrický proud, aneb (slovy prvního z autorů), že „nikdo nejsme nekonečně odporný“. Podobně můžeme zkoumat vodivost dalších materiálů.

Pokud by někdo měl hodně suché ruce a svit LED byl velmi slabý, můžeme proud zesílit druhým tranzistorem. Toto „vylepšené zapojení“ se navíc ukázalo užitečné i při pokusech z elektrostatiky. Zaslouží si podrobnější popis, který by ovšem tento článek již příliš protáhl; budeme mu proto věnovat samostatný příspěvek.

Zkušenosti s využitím těchto zapojení na ZŠ[1)]

Na naší škole mají žáci výhodu zachování dílenské výuky, proto se mohou s polovodičovými součástkami seznámit více, než umožňuje pouze dotace hodin fyziky. Prvotně se seznamují s vlastnostmi diod a tranzistorů v 6. ročnících, kdy pracují s elektronickými stavebnicemi Otty Jandy (žákovská souprava z 80. let, viz stručná informace v [20]) nebo s jednotlivými díly žákovské soupravy pro vyučování elektřině na ZŠ z 60. let a sledují pouze efekty – žárovka při zapojení s diodou svítí/nesvítí, LED dioda v propustném/závěrném směru svítí/nesvítí. Zkoušejí i základní využití tranzistoru jako zesilovače či v zapojení jako stmívač.



Obr. 8 Zapojení využívající stavebnice O. Jandy

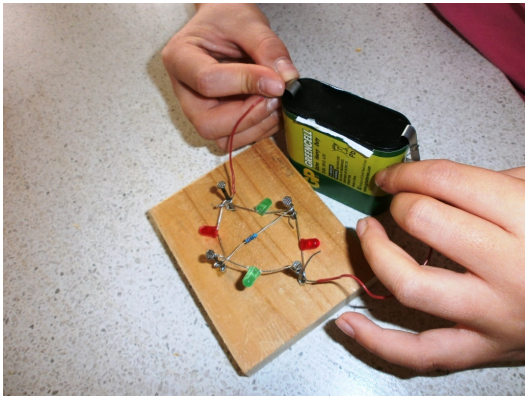
Blíže se s funkcemi základních polovodičových součástek – diod a tranzistorů – seznamují chlapci v hodinách pracovních činností v 8. ročníku.

[1)] Jde o konkrétní zkušenosti spoluautorky článku z výuky na ZŠ; text této části je proto psán v první osobě.

V rámci hodin pracovních činností se hoši učí i základům pájení. Motivovaná náměty ze seminářů Heuréky, rozhodla jsem se rozšířit základní výbavu stavebnic o další moduly, které si žáci sami vyrábí. Zpočátku opravovali poškozené moduly s LED diodami ze stavebnic, později vyráběli nové, aby byl dostatek pomůcek na experimenty (obr. 9). Na Heuréce a dalších seminářích mne zaujalo protisměrné zapojení LED diod pro jeho názornost. Tyto moduly nadchly dle očekávání i samotné žáky.

Obr. 9 Pomůcky vyrobené žáky 8. ročníku

Zatím nejnáročnější zapojení, které děti vyráběly samy, byl Graetzův můstek (obr. 10). Výroba modulů s LED diodami je pro žáky velmi atraktivní a rádi s nimi pracují i ve výuce fyziky. Barevné rozlišení pomocí LED diod napomáhá žákům k lepšímu pochopení směru procházejícího proudu.



Obr. 10 Graetzův můstek vyrobený žáky

Na základě předchozích zkušeností není již pro chlapce v 9. ročníku učivo o polovodičích takovou neznámou. Pokusy jsou jim bližší, někdy si i vzpomenou, že je již dělali. Snažím se proto do výuky zařadit i praktickou práci týmů složených z dívek a chlapců. Ti ochotněji dívkám v případě potřeby pomohou se zapojováním a rádi se pochlubí, že dané součástky sami předchozí rok vyráběli či opravovali.

Vzájemná konzultace s kolegy a samotná aktivní účast v projektu OP VVV mi přinesla mnoho dalších nápadů pro využití polovodičů ve výuce, jako je pomůcka pro určování elektrostatického náboje, náměty na větší využití práce s fotodiodami a fotorezistory. Ráda bych s žáky zkusila vytvořit i moduly s tranzistory, protože obvody s nimi ze stavebnic jsou pro ně rovněž atraktivní – spínač hladiny, stmívač apod. Jako zajímavou laboratorní práci považuji nápad vytvoření stupnice u termistoru.

Mám zkušenost, že pochopení vnitřní struktury a činnosti polovodičových součástek složitějších než je dioda, je pro většinu žáků obtížné. Proto se domnívám, že zejména na základní škole bychom měli děti zejména zaujmout efekty polovodičových součástek. A to i za cenu, že si podrobnější informace z časových důvodů v případě zájmu vyhledají sami, či se dozvědí v kroužcích nebo na vyšším stupni školy. Již samotné podnícení zájmu o toto učivo neobvyklými funkcemi polovodičových součástek má dle mého názoru významnou úlohu pro další bádání a touhu po poznání žáků. Možnost vytvořit si nějakou konstrukci nebo pomůcku je příjemným bonusem. Po zvládnutí základů pájení se děti rády pouštějí do složitějších zapojení. Například na festivalu „Řemesla živě“, který pořádá Novoměstská radnice, si někteří moji žáci vyrobili za pomoci středoškoláků blikač, což už je poměrně náročné zapojení.

Poděkování

Vznik tohoto příspěvku byl podpořen projektem OPVVV CZ.02.3.68/0.0/0.0/16_011/0000664 „Zvýšení kvality vzdělávání žáků, rozvoje klíčových kompetencí, oblastí vzdělávání a gramotností“.

Literatura

[1] *Adámek, P., Varnuška, P.*: Jednoduché elektronické obvody s možným univerzálním použitím, MFI, roč. 27 (2018), č. 3, s. 206–2016.

[2] *Adámek, P., Tesař, J.*: Školní generátor TTL a synchronizační obvod, MFI, roč. 23 (2014), č. 3, s. 130–139.

[3] *Baránek, M.*: Optické diody v pokusech z fyziky, MFI, roč. 18 (2008/2009), č. 10, s. 597–611.

[4] *Kusala, J.*: Pár pokusů z elektřiny, MFI, roč. 17 (2007/2008), č. 9, s. 537–540.

[5] *Hubeňák, J.*: Superjasné LED, MFI, roč. 16 (2006-2007), č. 8, s. 473–478.

[6] *Füzerová, J., Kollár, P.*: Výklad činnosti tyristora pre študentov gymnázií, MFI, roč. 11 (2001/2002), č. 2, s. 101–104.

[7] *Lepil, O.*: Operační zesilovač v učivu o magnetismu, MFI, roč. 8 (1998/1999), č. 3, s. 147–154.

[8] *Lepil, O.*: EMA a tyristor, MFI, roč. 7 (1997/1998), č. 10, s. 598–605.

[9] *Hrdý, J.*: Spínací obvody s výkonovými tranzistory, MFI, roč. 7 (1997/1998), č. 9, s. 546–556.

[10] *Mušková, M.*: Čierne skrinky s diodami, MFI, roč. 7 (1997/1998), č. 8, s. 486–492.

[11] *Dufková, M.*: EMA – demonstrační stavebnice pro pokusy z elektřiny, magnetsimu a elektroniky, MFI, roč. 7 (1997/1998), č. 4, s. 215–217.

[12] *Svoboda, M.*: Fotorezistor a fotodioda v obvodech s tranzistorem, MFI, roč. 6 (1996/1997), č. 4, s. 193–196.

[13] *Svoboda, M.*: Přechod PN a polovodičová dioda, MFI, roč. 5 (1995/1996), č. 8, s. 417.

[14] *Dvořák, L.*: Polovodiče a jejich aplikace. P3K, Praha, 2012. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/polovodice.pdf

[15] Projekt Heuréka. Online: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka

[16] *Dvořák, L.*: How to Increase Teachers' Self-Confidence: An Example Concerning Semiconductors. In: Proceedings of the conference GIREP-EPEC 2015. University of Wrocław, 2016, s. 292–297.

[17] https://www.elixirdoskol.cz/regionalni-centra/

[18] *Dvořák, L.*: Nebojte se pájet a postavte si jednoduchou zkoušečku. In: Dílny Heuréky 2003–2004. Prometheus, Praha, 2005, s. 79–88. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2003-2004.pdf

[19] *Čapková, G.*: Grätzův usměrňovač. In: Sborník z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky VI, Univerzita Palackého, Olomouc, 2001, s. 87–88. Dostupné online: http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_6_(Olomouc_2001).pdf

[20] *Elektroráj*: Elektrotechnická stavebnice Z3/III. Dostupné online: http://www.elektroraj.cz/2018/03/22/elektrotechnicka-stavebnice-z3-iii/