

TEACHING THE ANALYSIS OF BASIC ELECTRICAL CIRCUITS IN BACHELOR'S STUDY PROGRAMMES

VÝUKA ANALÝZY ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH OBVODŮ V BAKALÁŘSKÝCH STUDIJNÍCH PROGRAMECH

Dalibor Biolek

Univerzita Obrany v Brně, K263, Kounicova 65, 612 00 Brno, dalibor.biolek@unob.cz

Abstract:

Some basic rules and approved techniques are described how to teach methods of the analysis of simple resistive linear circuits. It is very important for students to master these methods just by inspection the schematics and to understand the circuit operation during its analysis.

1. Úvod

Dosavadní zkušenosti s výukou elektrotechnických předmětů v bakalářských studijních programech ukazují na nedostatečnou úroveň vstupních znalostí studentů, na které by bylo možno bezkonfliktně navázat jako na základ, který jsme si zvykli označovat přívlastkem „středoškolský“. S tímto znalostním deficitem nepříznivě spolupůsobí deficit tvůrčího přístupu k řešení konkrétních technických problémů toho, kdo již ovládá základní teoretické poučky a metody.

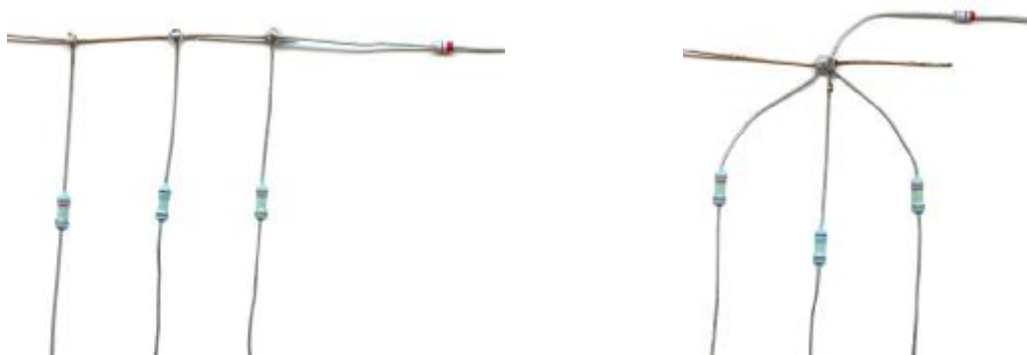
Jestliže si učitel vytýčí za dílčí cíl výuky naučit studenta samostatně vyřešit napětové a proudové poměry v libovolném jednoduchém odporovém obvodu, který obsahuje nezávislé zdroje napětí a proudu, lineární rezistory a dejme tomu operační zesilovače, musí se tak či onak vypořádat s oběma výše uvedenými faktory. Zkušenosti ukazují na něco, co se bude zdát nezaujatému pozorovateli samozřejmé, nicméně co pro leckterého studenta či i pedagoga může být objevné: Optimální je, pokud student řeší obvod tak, aby v průběhu řešení postupně porozuměl tomu, jak obvod funguje, proč jsou napětové a proudové poměry zrovna takové, jaké vyjdou řešením, proč nemůže v praxi nastat jiné řešení. Musíme v studentovi vypěstovat „elektrikářský cit“, tj. vědomí, že elektrický obvod funguje tak, aby jeho chování nebylo v žádném okamžiku v rozporu s třemi jednoduchými zákony elektrotechniky. Tuto schopnost můžeme v studentovi probouzet ve dvou fázích: 1. Dobře jej naučit Ohmův zákon a oba Kirchhoffovy zákony, jakož i základní teorémy a metody, usnadňující řešení obvodů (věty o náhradním zdroji, metodu superpozice atd.). 2. Učit studenty řešením řady příkladů, jak na základě znalostí z fáze 1 tvůrčím, „detektivním“ způsobem dospět k řešení konkrétního obvodu.

V praxi je žádoucí časové prolínání obou fází, což znamená, že teoretické poučky a postupy by se měly vyučovat přímo na konkrétních příkladech.

V článku je ukázáno několik zásad, jejichž dodržování se může na první pohled zdát malicherné. Zkušenosti však ukazují, že jejich ignorování jakožto „samozřejmosti, o kterých se nemluví“ může u studentů s chabými základy vést k velkým problémům při studiu elektrotechniky zejména v navazujících předmětech. Každý učitel ví, jak je pro studenta obtížné vyřešit obvod v harmonickém ustáleném stavu, když mu dělají problémy čítací šipky napětí a proudu u odporového děliče.

2. Co je to uzel

Jedním z důležitých předpokladů pro pochopení funkce obvodu a jeho zdárné vyřešení je naučit studenty významu pojmu uzel na úrovni elektrického schématu. Mnozí studenti mají problém v pochopení toho, že jsou-li dvě části složitějšího obvodu propojeny ideálním vodičem, jedná se o jediný uzel, který je charakterizován shodným napětovým potenciálem. Zde pomůže neúnavné překreslování schématu do různých konfigurací tak, aby studenti pochopili, že obvody s různým geometrickým uspořádáním součástek a vodičů mohou být ekvivalentní po elektrické stránce, neboli že není důležité, jak obvod či schéma vypadá. Napětí mezi libovolnou dvojicí „vnitřních bodů“ soustavy, která je modelována jediným uzlem, je nulové. Výklad je možné ilustrovat příkladem měřících hrotů ohmmetru a výsledek komentovat jako jednoduchý důsledek Ohmova zákona.



Obr. 1. K vysvětlování pojmu „uzel“ a elektrické ekvivalence obvodů s různým geometrickým uspořádáním součástek a vývodů [1].

3. Jak poznat paralelní a sériové uspořádání dvojpólů

Tato zdánlivě snadná úloha dělá studentům překvapivě často problémy. Souvisí to s nedostatečnou schopností studentů číst elektrotechnická schémata a překreslovat si je fyzicky nebo v duchu do ekvivalentních geometrií na základě poučky o tom, co je uzel. Nezbyvá než tuto představivost upevňovat řešením řady příkladů. Jako kontrolu správnosti je možné použít nutnou, nikoliv však postačující podmínku, že na paralelně řazených dvojpólech je stejné napětí a sériově řazenými dvojpóly teče stejný proud.

4. Jak správně aplikovat Ohmův zákon

Poměrně velké procento studentů sice zná vzoreček $U=RI$, případně jeho další formy, neumí jej však konkrétně použít. V praxi to znamená, že například napětí na konkrétním rezistoru se počítá jako součin jeho odporu a proudu, který teče zcela jinou větví obvodu. Proto je vhodné zdůraznit a procvičovat, že Ohmův zákon popisuje souvislost tří veličin (proudu, napětí a odporu), které se všechny vztahují k jedinému objektu, rezistoru.

5. Problém čítacích šipek pro napětí a proud

Je třeba řádně procvičit pravidla pro zdrojovou a spotřebičovou orientaci čítacích šipek napětí a proudu. Asi 20 procent studentů bakalářského studijního programu v 2. ročníku, v předmětu Analogové elektronické obvody, který je zařazen za dvousemestrový předmět Elektrotechnika, se domnívalo, že na spotřebiči „jdou čítací šipky napětí a proudu proti sobě“. Správnou spotřebičovou orientaci je třeba zafixovat jako přímý důsledek Ohmova zákona. Naproti tomu u zdrojové orientace je vhodné zmínit, že v případě spolupůsobení více zdrojů v obvodu může být porušena.

Na příkladech je nutné procvičit důležitý význam orientace čítací šipky napětí – od uzlu s vyšším potenciálem k uzlu s nižším potenciálem. Citlivě je třeba vysvětlit, že aplikací základních zásad algebry lze dosáhnout větší svobody řešitele při volbě orientace dosud nevypočítaného napětí nebo proudu, a že změna orientace musí být doprovázena změnou znaménka obvodové veličiny.

6. Druhý Kirchhoffův zákon netradičně

Následující úloha je pro mnohé studenty neřešitelná:

Uzel A má proti zemi napětí 1V, uzel B má oproti zemi napětí 3V. Jaké je napětí U_{AB} mezi uzly A a B?

Nejčastěji padají nesprávné odpovědi 2V nebo 4V.

Optimálním stavem je, pokud student bez váhání stanoví výsledek $U_{AB} = -2V$, případně $U_{BA} = +2V$ pouhým pohledem na schéma. Tento „elektrikářský cit“ lze vypěstovat postupně, aplikací druhého Kirchhoffova zákona. Strohá „algebraická“ forma tohoto zákona však studenty příliš nepřitahuje. V praxi lze použít tuto formulaci:

Napětí mezi uzly A a B lze nepřímou získat sčítáním napětí mezi dalšími uzly podél libovolné cesty, vedoucí od uzlu A do uzlu B. Znaménko daného napětí závisí na tom, je-li orientace dílčího napětí shodná s orientací „sčítací cesty“ nebo ne.

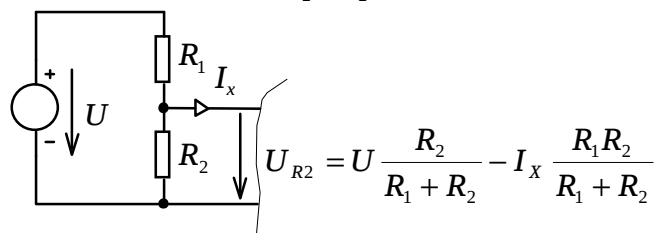
Hodně pomáhá poučka, že napětí mezi dvěma uzly směřuje od uzlu s vyšším potenciálem do uzlu s nižším potenciálem a je rovno rozdílu těchto potenciálů.

Práce s potenciály nemusí nutně znamenat používání pojmu potenciál. Postačí v obvodu zavést referenční uzel a vzhledem k němu vztahovat napětí dalších uzlů. Tato napětí je možné přímo psát k jednotlivým uzlům bez nutnosti kreslení jejich čítacích šipek. Čítací šipky se kreslí pro definování napětí mezi danými uzly, kdy se použije poučka o směru a velikosti z předchozího odstavce.

Pro začátečníky se osvědčilo překreslit si vedle schématu pouze shodně geometricky uspořádané uzly a v tomto obrázku vyznačit známá napětí a z nich jednoduše dopočítat ostatní. Pokud se studenti takto oprostí od podrobností, tj. paradoxně od součástek obvodu, zpravidla pak dospějí snáze k řešení.

7. Zatížený dělič napětí netradičně

Mnoho na první pohled složitých zapojení lze překvapivě snadno vyřešit, naučíme-li se níže uvedenou poučku o zatíženém děliči napětí podle obr. 2:



Obr. 2. Výstupní napětí zatíženého děliče jako funkce výstupního proudu I_x .

Slovně: Výstupní napětí zatíženého děliče je zmenšeno oproti napětí nezatíženého děliče o úbytek napětí na paralelní kombinaci obou rezistorů po průchodu proudem I_x . Platnost vzorce lze snadno prokázat například pomocí principu superpozice.

8. Metoda „klíčové neznámé“

Řadu obvodů můžeme elegantně vyřešit takto: Vytipujeme si napětí (případně proud), jehož znalost by pak vedla k snadnému vyřešení „zbytku obvodu“. Toto napětí si označíme

například U_x . Pak se pokusíme pro toto napětí sestavit jednoduchou rovnici, plynoucí z Kirchhoffových zákonů. Vyřešením této rovnice získáme U_x .

Tato metoda již vyžaduje určitou zkušenost. Nejdůležitější je správná volba U_x , neboli místo, odkud pak lze „snadno rozmotat klubíčko“.

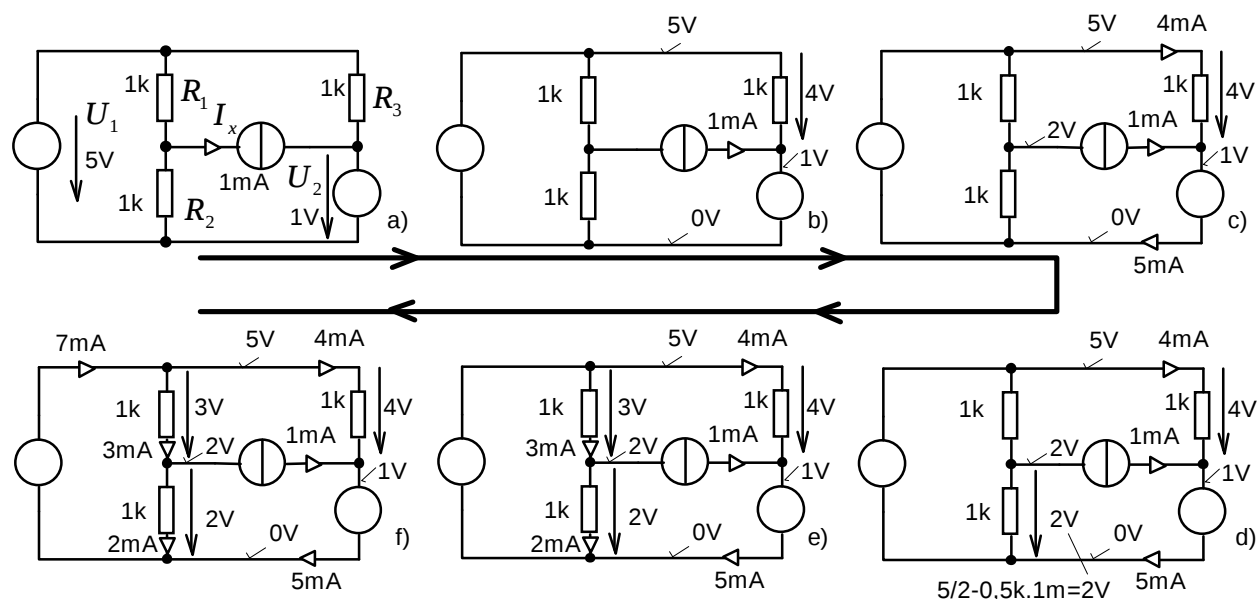
9. Další zásady, které je vhodné dodržovat

Předtím, než student použije symbol, například U_1 , ve výpočtu, měl by jej definovat přímo ve schématu (čítací šipka s nápisem), aby bylo zřejmé, o jakou obvodovou veličinu se jedná.

Čítací šipky proudů je možné „protahovat“ podél celé dráhy, aby bylo zřejmé, odkud kam proud teče a jak se uzavírá v obvodu.

Je vhodné studenty nutit, aby si napětí a proudy opatřovali „svými“ indexy a aby si tak uvědomovali, k jaké součástce veličina patří. Symboly U a I jsou příliš „anonymní“.

10. Ukázkový příklad



Obr. 3. Ukázka řešení obvodu na obr. a).

Je třeba vyřešit napětí a proudy pro všechny větve obvodu z obr. 3a). Úlohu lze řešit např. rozfázovaně metodou superpozice nebo přímo postupem uvedeným na obrázku. Vyznačí se potenciály v jednotlivých uzlech a z nich se odvodí napětí na R_3 (obr. b). Pak se určí proud R_3 a proud zdrojem U_2 (obr. c). Pomocí poučky o zatíženém děliči se přímo vypočte napětí na R_2 (obr. d). Pak se již snadno určí ostatní napětí a proudy (obr. e a f).

Obvod se může rychle vyřešit metodou „klíčové neznámé“, zvolíme-li například za tuto neznámou napětí na R_1 . Přímou ze schématu lze zapsat rovnici 1. Kirchhoffova zákona (s využitím toho, že napětí na R_1 ve voltech je číselně rovno proudu R_1 v miliampérech) $U_{R1} - (5 - U_{R1}) = 1$ s řešením $U_{R1} = 3V$.

Literatura

- [1] Biolek, Z. Úvod do SPICE pomocí programu MicroCap. Učební texty SPŠE Rožnov p.R. Sensit Holding, Rožnov p.R., 2004.
- [2] Biolek, D. Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. BEN, technická literatura, 2004.