

Elektrický proud v kovech

1) Vedení stejnosměrného proudu v kovech

Závislost elektrického odporu na geometrii (a materiálu) vodiče

Experiment ukazuje známou skutečnost, že odpor vodiče závisí na materiálu, délce a průřezu vodiče (tedy na jeho geometrii). Tato závislost je dána vztahem¹

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

K prozkoumání této závislosti můžeme použít tzv. odporové dráty z různých materiálů, různých délek a průřezů (případně určíme odpor drátů spojených vedle sebe).

Pomůcky

odporové dráty z různých materiálů (případně různých průřezů), krokosvorky, delší pravítko (cca 50 cm), posuvné měřidlo („šuplera“), ohmmetr, izolepa

Příprava a provedení

1) Závislost odporu na délce vodiče

Pro jednodušší měření je dobré odporový drát přilepit kouskem izolepy k delšímu pravítku. K jednomu konci odporového drátu je vhodné ohmmetr připojit napevno, druhý vodič od ohmmetru pak postupně posouvat (např. po 10 cm) a sledovat změnu měřeného odporu.

Dbejte na dobrý kontakt mezi vodičem a odporovým drátem (i při použití krokosvorky). Experiment lze provádět jednak „polokvantitativně“ – dvakrát delší drát má dvakrát větší odpor atd., jednak lze naměřené hodnoty vynést do grafu a proložit jimi přímkou (tuto variantu vřele doporučujeme, je ale časově náročnější).

2) *Závislost odporu na materiálu vodiče

Změřte odpor dvou odporových drátů z různých materiálů, ale stejných průřezů a délek. Určete měrný elektrický odpor, porovnejte s tabulkovou hodnotou.

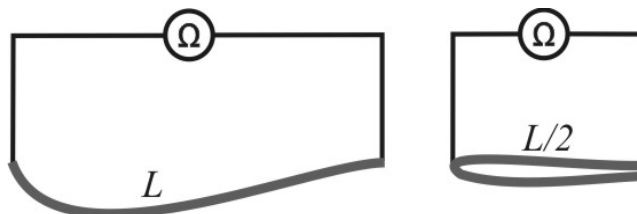
3) *Závislost odporu na průřezu vodiče

Změřte odpor dvou odporových drátů ze stejného materiálu, ale s jiným průřezem. Jak závisí odpor na průřezu vodiče?

¹ Platí přesně pro vodič válcového tvaru, v němž teče proud ve směru jeho osy.

4) Problémová úloha

Změřte odpor kousku (min. 50 cm) odporového drátu. Poté drát přehněte napůl a k oběma jeho novým „koncům“ připojte ohmmetr. Před proměřením si sami rozmyslete, jakou hodnotu odporu asi naměříte. Svůj odhad pak ověřte experimentem.



Obr. 1. Schematické znázornění měření odporu drátu

Závěr

Odpor kovového vodiče závisí na materiálu vodiče, dále je přímo úměrný jeho délce a nepřímo úměrný jeho průřezu.

Poznámky

- 1) Dejte si pozor na přechodové odpory při uchycení drátů (dbejte na správné uchycení krokosvorkami, případně očistěte zoxidované konce drátů smirkovým papírem).
- 2) Viz též <http://kdf.mff.cuni.cz/pokusy/uloha.php?uloha=965>
- 3) Na internetu (nebo v katalogích elektrotechnických součástek) můžeme najít parametry odporových drátů a srovnat je s parametry např. drátů měděných. Z tohoto srovnání je zřejmé, proč se pro podobné pokusy používají dráty odporové. Pro příklad uvádíme některé parametry odporových drátů (z katalogu firmy GM electronic):

Název	Odpor (Ω/m)	Průměr (mm)
Manganin	3,465	0,40
Isotan	9,879	0,25
Konstantan	7,200	0,30

Další varianta experimentu

Všechny výše uvedené pokusy je možné provádět při připojení zkoumaného drátu ke zdroji stejnosměrného napětí (např. k ploché baterii). Následným změřením proudu v obvodu a napětí na drátu můžeme pak odpor drátu spočítat podle vztahu $R=U/I$.

Tento způsob měření odporu je však trochu složitější. Žáci měří více veličin a teprve následně počítají odpor, někteří se pak přestávají orientovat v tom, co vlastně zjistili. Vzhledem k tomu je asi vhodnější se držet pravidla: čím méně, tím lépe. Pokud je možné zvolit přímější variantu, je to pro žáky přínosnější.

Další možnou nevýhodou této varianty může být i to, že se žáci utvrzují v nesprávné představě (miskonceptci), že odpor vodiče závisí přímo úměrně na napětí a nepřímo úměrně na procházejícím proudu.

*Závislost elektrického odporu na teplotě

Tímto experimentem kvalitativně ukážeme závislost odporu kovového vodiče na teplotě.

Pomůcky

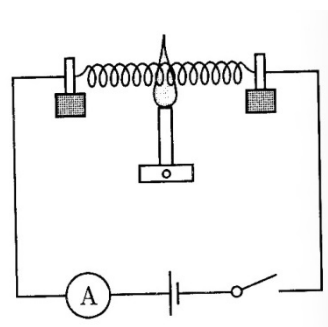
ohmmetr, plynový (event. lihový) kahan, ocelový drát o průměru přibližně 0,5 mm, spojovací vodiče, Holtzovy svorky (event. krokosvorky), ampérmetr, zdroj ss napětí – akumulátor

Příprava a provedení

Ocelový drát stočíme do tvaru pružiny, abychom ho mohli zahřívat plamenem na co největší délce. Takto upravený drát upevníme mezi Holtzovy svorky, k nim (případně pomocí krokosvorek přímo k drátu) připojíme ohmmetr a sledujeme změnu odporu drátu při jeho zahřívání kahanem. Pro lepší kontakt je vhodné konce drátu očistit smirkovým papírem.

Další varianty pokusu (případně jeho rozšíření)

Další varianta pokusu je znázorněna na obrázku. Toto zapojení je možno použít jako další způsob nebo jako rozšíření varianty s ohmmetrem. Připojíme-li drát ke zdroji napětí a připojíme-li do tohoto obvodu ampérmetr, je možno s žáky diskutovat, jak se proud v obvodu (a tedy hodnota zobrazená na ampérmetru) bude měnit při zahřívání drátu. Pokus pak může sloužit jako verifikace hypotézy.



Dalším rozšířením pokusu může být připojení voltmetru k zahřívanému drátu (resp. k Holtzovým svorkám); můžeme pak určit odpor drátu pomocí vztahu $R=U/I$.

Poznámka:

Chceme-li detekovat změnu odporu drátu na teplotě pomocí ampérmetru (tedy měření proudu v obvodu), je nutné si předem připravit vhodnou délku drátu tak, aby výchylka ručky ampérmetru byla „za studena“ pokud možno co největší. Správnou výchylku nastavíme kombinací úpravy délky drátu a připojeného zdroje napětí (počtu článků akumulátoru). Není vhodné, aby byl drát příliš dlouhý; pro větší citlivost experimentu je vhodné, aby byl odpor zbývající části obvodu co nejmenší a mohli jsme ohřívat drát na co největší délce (proto je vhodné odporový drát např. smotat do spirálky).

Závěr

Odpor drátu se s rostoucí teplotou zvětšuje. Pomocí uvedené varianty pokusu je možné také pozorovat, že při rostoucí teplotě drátu klesá proud v obvodu, tedy jak odpor vodiče (potažmo jeho teplota) ovlivňuje proud v obvodu při konstantním napětí zdroje.

Ohmův zákon (voltampérová charakteristika rezistoru)

Pokus ukáže, že pro tzv. lineární vodič je proud procházející obvodem přímo úměrný napětí na vodiči (resp. napětí na vodiči je přímo úměrné procházejícímu proudu a že konstantou úměrnosti je odpor daného vodiče).

Pomůcky

proměnný zdroj ss napětí do přibližně 6 V, ampérmetr a voltmetr Vernier, tablet, rezistor (stovky Ω), spojovací vodiče

Příprava a provedení

Rezistor připojíme přes ampérmetr ke zdroji. Paralelně k rezistoru připojíme voltmetr. Na tabletu nastavíme graf závislosti napětí na proudu.

Zapneme měření, postupně zvětšujeme napětí na zdroji a pozorujeme vykreslený graf. Grafem lze proložit přímkou a z ní určit směrnici.

Závěr

Napětí na rezistoru je přímo úměrné proudu, který rezistorem teče. Směrnice proložené přímkou odpovídá odporu rezistoru.

Poznámky

I když se většinou pojmem voltampérová charakteristika označuje závislost proudu na napětí, z důvodů snazšího určení odporu drátu a zavedení „zapamatovatelnější“ varianty vztahu $U = RI$, je výhodnější zkoumat závislost napětí na proudu.

Měření lze samozřejmě provést i bez digitálních sond pomocí demonstračního ampérmetru a voltmetru. Tato varianta na jednu stranu umožňuje názornější pohled na celé měření, na druhou stranu je mnohem zdlouhavější (je nutné vždy opsat hodnoty z přístrojů a poté ručně vytvořit graf). Výhodou digitálního měření také je, že lze se stejnou aparaturou následně provést měření na žárovce (viz následující experiment).

Místo rezistoru lze použít i odporový drát, ale je potřeba dbát na to, aby byl dobrý kontakt mezi drátem a zbytkem obvodu (tj. aby byl malý přechodový odpor). Současně je potřeba vybrat vhodný drát tak, aby se během měření příliš nezahříval (a neměnil se tak jeho odpor s teplotou).

Voltampérová charakteristika žárovky

Ve své podstatě jde o podobný pokus jako v předchozí úloze. Má však větší potenciál i jako problémový experiment, protože se u žárovky projeví závislost odporu na teplotě (a to i při proudu, kdy ještě žárovka nesvítil). Daného pokusu je možno proto dále využít k diskusi s žáky o platnosti Ohmova zákona a o modifikaci pokusu a o úpravě žárovky tak, aby pro ni Ohmův zákon platil.

Pomůcky

běžná žárovka na 230 V (na příkonu pro naše účely nezáleží), zdroj proměnného ss napětí do přibližně 6 V, voltmetr a ampérmetr Vernier, tablet, vodiče (event. krokosvorky)

Příprava a provedení

Žárovku připojíme přes digitální ampérmetr sériově ke zdroji proměnného napětí. Paralelně k žárovce pak připojíme voltmetr. V tabletu nastavíme graf závislosti napětí na proudu. Pustíme měření a postupně měníme napětí zdroje.

Závěr

Z grafu je vidět, že závislost napětí na proudu není pro žárovku lineární, odpor se zvyšujícím se proudem roste.

Úprava žárovky

K tomu, abychom na žárovce naměřili lineární závislost proudu na napětí, je potřeba vlákno žárovky ochlazovat. Z tohoto důvodu je třeba odstranit baňku žárovky: nad plynovým kahanem zahřejeme skleněnou baňku žárovky v místě, kde přiléhá ke kovovému závitu. (Žárovku držíme opatrně za baňku – sklo je velmi špatný tepelný vodič.) S baňkou postupně otáčíme, aby se prohřála po celém obvodu. Po několika desítkách sekund žárovku ponoříme do sklenice se studenou vodou – baňka díky teplotnímu rozdílu odpadne. Pozor, na zbytku žárovky mohou zůstat ostré skleněné hrany – je třeba dbát na bezpečnost.

Poté žárovku zašroubujeme znovu do objímky, ponoříme do nádoby se studenou vodou (tím chladíme vlákno žárovky) a pokus provedeme ještě jednou. V tomto případě už graf vyjde lineární, protože vlákno držíme na konstantní teplotě.

Poznámky

- 1) Základní výhody použití žárovky jsou již uvedeny v úvodu. Pro žáky je atraktivní i samotné chlazení vlákna i relativně jednoduché přizpůsobení žárovky pro chlazení. Při vyšších proudcích voda v blízkosti vlákna začne vřít, efektní je i „rozsvícení“ vlákna bez baňky ve vzduchu.
- 2) Daný pokus může být využit pro vedení diskuse se žáky, vytváření hypotéz a jejich ověřování apod. Proto je vhodné z diskuse „vytěžit“ maximum a nechat co nejvíce na žácích samotných, a to v této posloupnosti: Proměřit charakteristiku. „Vyhrotit“ problém vhodně kladenými otázkami. Nechat navrhnout hypotézy a ověřit je měřením (případně spočítat odpor vlákna a porovnat s údaji na krabičce od žárovky).
- 3) Vzhledem k možnému pořezání/popálení je třeba důsledně dbát na bezpečnost. Úpravu žárovky by měl provádět výhradně vyučující za dodržení běžných bezpečnostních opatření!

Řazení rezistorů

Úkolem této části je prozkoumat sériové a paralelní zapojení rezistorů a ověřit známé vztahy, a to pomocí vybrané žákovské soupravy nebo součástek, které použijeme bez dalších úprav tak, jak je koupíme v obchodě. Jde spíše o ukázkou možností samostatné nebo skupinové práce žáků (tj. žákovského experimentu).

Pomůcky

ohmmetr, propojovací vodiče, rezistory

Příprava a provedení

Pomocí ohmmetru ověříme odpory několika rezistorů. Poté změříme odpor sériově a paralelně zapojených rezistorů v různých kombinacích.

Závěr

Sériovou kombinací rezistorů se výsledný odpor zvyšuje a je dán součtem odporů jednotlivých rezistorů.

Paralelní kombinací rezistorů se výsledný odpor zmenšuje a jeho převrácená hodnota je rovna součtu převrácených hodnot odporů jednotlivých rezistorů.

Rezistor s proměnným odporem²

Cílem je prozkoumat konstrukci rezistoru s proměnným odporem a seznámit se s jejich funkcí.

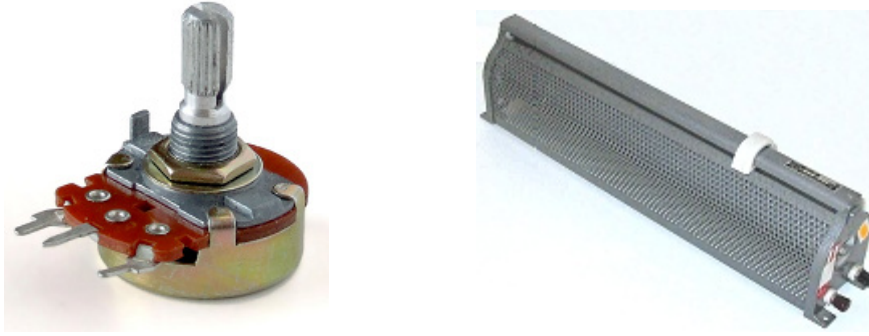
Rezistor s proměnným odporem má tři vývody. Dva vývody jsou zapojeny ke koncům odporového drátu (nebo plíšku³), třetí (prostřední, případně jinak barevně označený) vývod je připojen přes tzv. jezdec mezi tyto postranní vývody. Zapojením jednoho konce a jezdcem do obvodu zapojíme jen část rezistoru do obvodu, tedy připojený odpor můžeme posouváním (otáčením) jezdcem měnit.

Do obvodu se rezistor s proměnným odporem zapojuje dvěma způsoby. Podle použitého zapojení ho pak nazýváme *potenciometrem*, nebo *reostatem* a používáme ho buď k regulaci napětí (potenciometr, jsou zapojeny všechny vývody), nebo proudu (reostat, je zapojen jezdec a jeden další vývod).

Ačkoli se v praxi více používá otočný potenciometr (viz první obrázek), je názornější vysvětlovat funkci tohoto prvku na konstrukci podlouhlé varianty potenciometru (viz druhý obrázek, proto se ve školské praxi také používá). Proto v praktikách budeme používat tento typ.

² V technické praxi se setkáváme výhradně s pojmy potenciometr, resp. reostat.

³ Běžně prodávané potenciometry o vyšších hodnotách odporu nemají odporový drát, ale uhlíkovou vrstvu.



Obr. 2. Otočný potenciometr (vlevo) a potenciometr s jezdcem (vpravo)

a) Regulace proudu reostatem

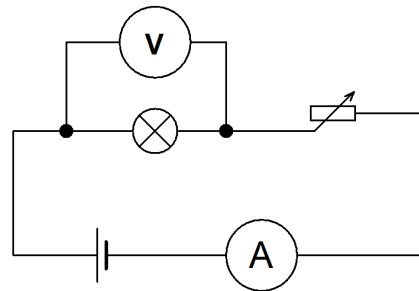
Pomůcky

ss zdroj napětí 4,5 V, reostat 100 Ω , autožárovka 3,5 V/0,3 A, ampérmetr, voltmetr, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Zapojíme do série žárovku, reostat, ampérmetr, spínač a zdroj napětí. Paralelně k žárovce připojíme voltmetr.

Připojíme zdroj a posouváním jezdce reostatu měníme proud v obvodu. Změny proudu v obvodu a napětí na žárovce indikujeme jednak žárovkou, jednak měřidly. Klesá-li proud v obvodu, svítivost žárovky se zmenšuje, až žárovka přestane svítit. Nastavíme maximální odpor reostatu a zjistíme, jaký proud obvodem, a tedy i žárovkou v tomto případě prochází.



Závěr

Změnou odporu reostatu můžeme regulovat proud procházející obvodem a napětí na spotřebiči. Nejmenší hodnotu proudu dosáhneme při plném odporu reostatu. Reostatem nelze zmenšit proud na nulovou hodnotu. Posouváním jezdce reostatu měníme plynule svítivost žárovky.

Poznámky

- 1) Reostat před zapojením obrátíme a prohlédneme si jeho konstrukci a zapojení (připojení přístrojových zdířek). Zjistíme, která zdířka je spojena s posuvným kontaktem (jezdce).
- 2) Při volbě reostatu dbáme nejen na jeho odpor, ale i na hodnotu proudu, který jím může trvale procházet.
- 3) Jemnější regulace proudu docílíme zapojením dvou reostatů do série, přičemž proud nejdříve (zhruba) nastavíme reostatem o větším odporu a pak jemněji reostatem o menším odporu posunutím jeho jezdce z předem nastavené střední polohy.

b) Regulace napětí potenciometrem

Pomůcky

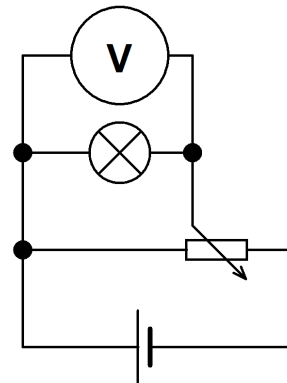
ss zdroj napětí 4,5 V, potenciometr 100 Ω , žárovka 3,5 V/0,3 A, voltmetr, spojovací vodiče

Příprava

Zapojíme obvod podle schématu, jezdec přemístíme do levé krajní polohy.

Provedení

Připojíme zdroj a zvolna posouváme jezdec potenciometru směrem k druhé krajní poloze. Pozorujeme jas žárovky a napětí na voltmetru.



Závěr

Potenciometrem lze měnit napětí mezi jeho výstupními svorkami od nulové hodnoty až do napětí zdroje. Tím současně dochází ke změně proudu procházejícího spotřebičem (žárovkou) již od nulové hodnoty.

Baterie naprázdno a zatížená

Cílem experimentu je porovnat napětí na samotné baterii a na baterii, pokud z ní odebíráme nějaký proud.

Pomůcky

Několik různých typů baterií (např. plochá baterie 4,5 V, knoflíková baterie 3 V, tužková baterie 1,5 V, akumulátor), žárovka 3,5 V/0,3 A, žárovka 2,5 V/0,3 A, voltmetr, spojovací vodiče

Provedení

Připojte postupně baterie k voltmetru a změřte jejich reálné napětí (a porovnejte ho s napětím deklarovaným výrobcem). Potom do série k baterii zapojte vhodnou žárovku a opět změřte napětí na baterii.

Příklad naměřených hodnot:

Typ baterie	Napětí bez žárovky	Napětí se žárovkou
Tužková baterie	1,5 V	0,75 V
Plochá baterie	4,19 V	3,46 V
Školní akumulátor (3 články)	3,78 V	3,76 V

Závěr

Napětí na čerstvé baterii může být i vyšší, než deklaruje výrobce, na použité baterii je typicky o něco nižší než deklarované. Po zapojení spotřebiče napětí vždy klesne.

Napětí naprázdno se obvykle označuje jako elektromotorické napětí, po zatížení potom jako svorkové napětí.

Jak moc napětí poklesne, závisí na vlastnostech zdroje: chemické články jsou označovány jako měkké zdroje, protože u nich napětí klesá výrazně, naopak u tzv. tvrdých zdrojů (transformátor, zásuvka,...) klesá napětí méně. Pokles napětí ale závisí také na vlastnostech žárovky – s rostoucím proudem odebíraným ze zdroje klesá i svorkové napětí.

Podrobněji se vnitřnímu odporu zdroje věnuje experiment v kapitole o vedení elektřiny v kapalinách a plynech.

2) Střídavý proud v kovech

A) Vlastnosti střídavého proudu a napětí

Grafické znázornění střídavého proudu

Cílem úlohy je získat představu o časovém průběhu střídavého proudu a napětí.

Pomůcky

proměnný zdroj st napětí, frekvenční generátor (zdroj proměnné frekvence, různé střídavé průběhy), voltmetr a ampérmetr Vernier, vodiče, rezistor přibližně 100 Ω

Provedení

Připojíme voltmetr Vernier ke zdroji nízkého střídavého napětí resp. generátoru funkcí. Zobrazený průběh napětí pozorujeme a popíšeme jeho základní parametry. Totéž zopakujeme s jinými než sinusovými průběhy.

Závěr

Střídavé napětí má periodický průběh, nemusí ale být sinusový. Frekvenci a periodu napětí i proudu lze určit z grafu.

Amplituda a efektivní hodnota

Pomůcky

proměnný zdroj st napětí, demonstrační voltmetr, voltmetr Vernier, vodiče

Provedení

Ke zdroji proměnného střídavého napětí připojíme voltmetr Vernier a demonstrační voltmetr. Nastavíme hodnotu napětí okolo 4 V. V průběhu napětí zobrazeném voltmetrem Vernier odečteme maximální hodnotu napětí a dopočítáme efektivní hodnotu. Tu porovnáme s hodnotou zobrazenou demonstračním voltmetrem.

Závěr

Demonstrační voltmetr ukazuje efektivní hodnotu napětí. Ta je pro harmonický sinusový průběh rovna $U_{ef} = U_{max}/\sqrt{2}$, kde U_{ef} je efektivní hodnota napětí a U_{max} je maximální hodnota napětí (amplituda).

Poznámka

Pokus provádějte vždy se zdrojem s frekvencí 50 Hz. Pro jiné hodnoty frekvence (z generátoru funkcí) demonstrační voltmetr neukazuje správné hodnoty.

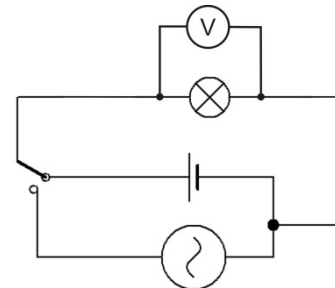
Vztah mezi stejnosměrným napětím a efektivní hodnotou střídavého napětí

Pomůcky

proměnný zdroj střídavého napětí, proměnný zdroj stejnosměrného napětí, voltmetr Vernier, demonstrační voltmetr, přepínač, žárovka 3,5 V/0,3 A, vodiče

Příprava a provedení

Obvod zapojíme podle schématu. Experiment provedeme v několika krocích:



1) Přepínač přepneme tak, aby byl do obvodu připojen zdroj ss napětí. Nastavíme takovou hodnotu napětí, aby žárovka svítila. Demonstračním voltmetrem změříme hodnotu napětí na žárovce U_{ss} .

2) Přepneme přepínač na zdroj st napětí a nastavíme hodnotu napětí tak, aby žárovka svítila stejně jako v předchozím případě. Pro kontrolu je vhodné přepínat mezi oběma zdroji.

3) Průběh napětí na žárovce zobrazíme voltmetrem Vernier a určíme hodnotu maximálního napětí U_{max} . Spočítáme poměr mezi U_{max} a U_{ss} a měření několikrát opakujeme pro různé hodnoty U_{ss} .

4) Pomocí demonstračního voltmetru změříme napětí na žárovce připojené ke střídavému zdroji (U_{st}).

Závěr

Jas žárovky je velmi jednoduchým indikátorem výkonu žárovky. Pokud tedy žárovka svítí v obou případech stejně, je efektivní hodnota střídavého napětí stejná jako hodnota stejnosměrného napětí. Poměr mezi maximální hodnotou napětí ve střídavém obvodu a hodnotou stejnosměrného napětí je přibližně 1,4, což odpovídá teoretické hodnotě $\sqrt{2}$.

Demonstrační voltmetr ukazuje efektivní hodnotu; napětí U_{st} je tedy přibližně stejné jako napětí U_{ss} .

B) Vlastnosti střídavého obvodu s rezistorem, cívkou a kondenzátorem

V následující části (obvykle označované jako „RLC obvody“) ukážeme vždy totéž se třemi základními prvky střídavého obvodu – rezistorem, cívkou a kondenzátorem. Postupně porovnáme jejich chování v obvodu stejnosměrného a střídavého napětí, zjistíme, jak jejich základní vlastnost (odpor, indukance a kapacitance) závisí na frekvenci střídavého proudu a změříme na nich fázový posun mezi napětím a proudem.

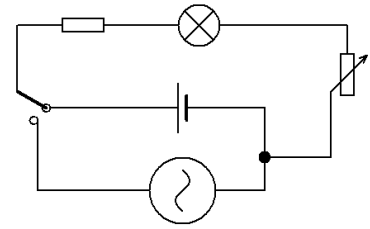
Chování rezistoru v obvodu stejnosměrného a střídavého proudu

Pomůcky

žárovka 4 V, zdroj ss a st napětí 6 V, reostat 13 Ω , rezistor 5 Ω /4 W, přepínač, spojovací vodiče, voltmetr

Příprava

Zapojíme obvod podle schématu. Nastavíme napětí stejnosměrného zdroje tak, aby žárovka jasně svítila. Nastavíme napětí střídavého zdroje na stejnou hodnotu, jako má stejnosměrný zdroj (můžeme ověřit voltmetrem).



Provedení

Přepínačem připojíme obvod ke zdroji stejnosměrného napětí a pozorujeme, že žárovka svítí jasně. Po připojení obvodu ke zdroji střídavého napětí se jas žárovky v podstatě nezmění.

Závěr

Rezistor se chová stejně v obvodu stejnosměrného i střídavého napětí. Tj. odpor rezistoru ve stejnosměrném obvodu je stejný jako rezistence rezistoru ve střídavém obvodu.

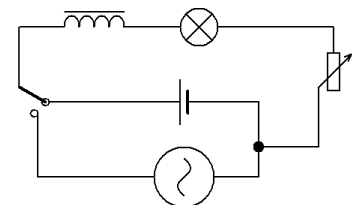
Chování cívky v obvodu stejnosměrného a střídavého napětí

Pomůcky

žárovka 4 V, zdroj ss a st napětí 6 V, reostat 13 Ω , cívky 300 z., 600 z., 1200 z, krátké jádro, lístkové U-jádro, přepínač, spojovací vodiče, ss a st voltmetr

Příprava

Zapojíme obvod podle schématu, cívka 300 závitů je na otevřeném U jádře. Pomocí voltmetrů ověříme, že oba zdroje mají stejné napětí. Při připojení stejnosměrného zdroje nastavíme reostatem proud tak, aby žárovka jasně svítila.



Provedení

Pokus provedeme v několika krocích:

- 1) Obvod připojíme ke zdroji stejnosměrného napětí. Žárovka svítí jasně. Po připojení obvodu ke zdroji střídavého napětí se jas žárovky ztlumí.
- 2) Přepneme opět na zdroj stejnosměrného napětí a uzavřeme U jádro krátkým jádrem. Jas žárovky se nezmění (kromě krátkého poklesu při uzavírání jádra). Po přepnutí na zdroj střídavého napětí se jas žárovky podstatně zmenší.
- 3) Totéž zopakujeme i pro cívku 600 závitů a 1200 závitů – srovnáme jas žárovky ve stejnosměrném a střídavém obvodu vždy na otevřeném a uzavřeném jádře.

Závěr

V obvodu stejnosměrného proudu se uplatňuje jen odpor cívky (resp. vodiče, ze kterého je cívka vyrobena) a ten nezávisí na jádře cívky. Pokud tedy jádro cívky připojené na zdroj stejnosměrného napětí uzavřeme, jas se nezmění.

V obvodu střídavého proudu se uplatní vedle odporu i induktance cívky. Ta u samotné cívky závisí na počtu závitů (cívka s větším počtem závitů má větší induktanci, závislost je ale úměrná druhé mocnině počtu závitů). Cívka s jádrem má větší induktanci než cívka bez jádra. Proto, žárovka ve střídavém obvodu svítí méně pro cívku s uzavřeným jádrem než pro cívku s jádrem otevřeným. Stejně tak, žárovka ve střídavém obvodu s cívkou 1200 závitů svítí podstatně méně než žárovka ve střídavém obvodu s cívkou 600 závitů.

Poznámka

Jas žárovky v obvodu s cívkou 600 z. a 1200 z. je při zapojení do stejnosměrného obvodu menší než s cívkou 300 z. Je to způsobeno větším odporem delšího a tenčího drátu použitého k navinutí cívek 600 z. a 1200 z.

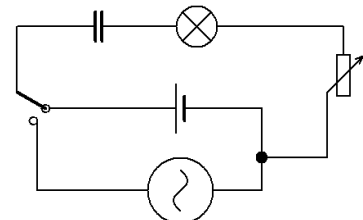
Chování kondenzátoru v obvodu stejnosměrného a střídavého napětí

Pomůcky

zdroj ss a st napětí 6 V, přepínač, bipolární kondenzátor 2×200 μF a 2×500 μF , spojovací vodiče, žárovka 4 V, reostat 13 Ω

Příprava

Zapojíme obvod podle schématu. Bipolární kondenzátor získáme tím způsobem, že dva stejné elektrolytické kondenzátory spojíme do série tak, aby dva póly stejné polaroty byly připojeny k sobě.



Provedení

Po zapojení zdroje stejnosměrného napětí do obvodu se žárovka nerozsvítí. Žárovka se nerozsvítí, ani když zvýšíme kapacitu kondenzátoru. Zapojíme-li do obvodu zdroj střídavého napětí, žárovka se rozsvítí. Svítí tím jasněji, čím je větší kapacita kondenzátoru zapojeného do obvodu.

Závěr

Stojnosměrný proud obvodem s kondenzátorem neprochází. Střídavý proud obvodem prochází. Kapacitance zapojeného kondenzátoru klesá s rostoucí kapacitou zapojeného kondenzátoru.

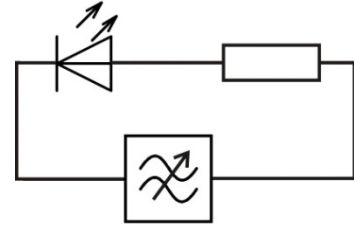
Nezávislost odporu rezistoru na frekvenci střídavého napětí

Pomůcky

LED s ochranným rezistorem, rezistor 100 Ω , frekvenční generátor, spojovací vodiče

Příprava

Obvod zapojíme podle schématu. Napájecí napětí volíme cca 10 V, počáteční výstupní frekvenci volíme cca 10 Hz.



Provedení

Zvětšujeme frekvenci střídavého napětí a sledujeme jas LED. Frekvenci zvyšujeme až do maximální frekvence generátoru. Pak frekvenci snižujeme až na původní hodnotu.

Závěr

Se změnou frekvence připojeného zdroje napětí se nemění jas LED. Proud v obvodu má tedy konstantní amplitudu, z čehož je vidět, že nedochází ke změně impedance daného obvodu a ke změně odporu rezistoru.

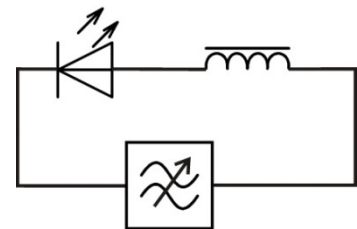
Závislost indukčnosti cívky na frekvenci

Pomůcky

cívka 600 z., LED s ochranným rezistorem, krátké jádro, frekvenční generátor, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Obvod zapojíme podle schématu, do cívky 600 závitů vložíme jádro. Zvětšujeme frekvenci od 10 Hz do maximální frekvence generátoru a sledujeme jas LED. Poté frekvenci opět snižujeme na počáteční hodnotu.



Závěr

Pro danou cívku se s rostoucí frekvencí zmenšuje jas LED. Protože jas LED je úměrný proudu a napětí zdroje je konstantní, musí být pokles jasu LED způsoben vzrůstem impedance cívky. S rostoucí frekvencí tedy roste indukčnost cívky. Měření napětí a proudu by ukázala, že indukčnost cívky je přímo úměrná frekvenci střídavého proudu, který cívkou teče.

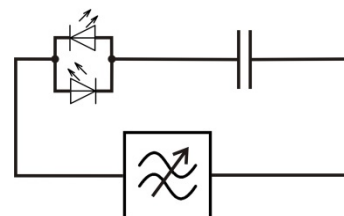
Závislost kapacity kondenzátoru na frekvenci

Pomůcky

kondenzátor 1 μF , frekvenční generátor, 2 LED antiparalelně s ochranným rezistorem, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Obvod zapojíme podle schématu. Měníme frekvenci generátoru od cca 10 Hz po maximální frekvenci a sledujeme jas LED. Poté frekvenci opět snížíme na počáteční hodnotu.



Závěr

S rostoucí frekvencí se jas LED zvětšuje, klesá tedy impedance obvodu. Kapacitance připojeného kondenzátoru tedy klesá s rostoucí frekvencí proudu, který jím teče.

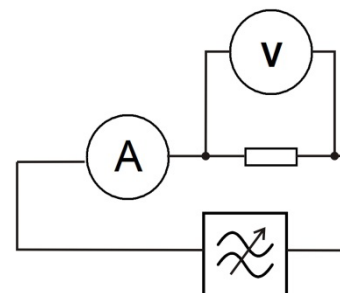
Fázový posun mezi napětím a proudem na rezistoru

Pomůcky

rezistor cca 100 Ω , frekvenční generátor, ampérmetr a voltmetr Vernier, vodiče

Příprava a provedení

Rezistor připojíme sériově s ampérmetrem ke generátoru funkcí. Paralelně k rezistoru zapojíme voltmetr. Graf nastavíme tak, aby zobrazoval současně časový průběh napětí i proudu. Na generátoru nastavíme frekvenci 50 Hz a pozorujeme, zda dochází k fázovému posunu mezi časovou závislostí napětí a proudu. Pozorování opakujeme i pro vyšší frekvence.



Závěr

Na rezistoru nedochází k fázovému posunu mezi napětím a proudem, napětí i proud jsou ve fázi.

Poznámka

Pokud pozorujeme, že jsou napětí a proud v protifázi, je nejspíše jeden z měřících přístrojů zapojen s opačnou polaritou.

Pokud experiment provádíme s reostatem, může k fázovému posunu dojít – projeví se zde vliv toho, že je odporový drát v reostatu navinut do cívky.

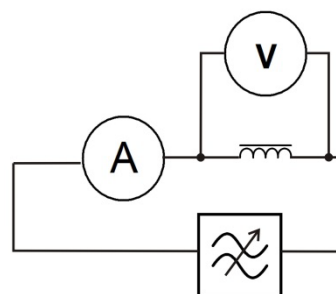
Fázový posun mezi napětím a proudem na cívce

Pomůcky

cívka 600 závitů, krátké jádro, generátor funkcí, ampérmetr a voltmetr Vernier, vodiče

Příprava a provedení

Cívku připojíme sériově s ampérmetrem ke generátoru funkcí. Paralelně k cívce připojíme voltmetr. Graf nastavíme tak, aby ukazoval současně časový průběh napětí i proudu. Na generátoru nastavíme frekvenci 5 Hz a provedeme měření. Na grafu je vidět, že k žádnému výraznému fázovému posunu napětí a proudu nedochází. Totéž zopakujeme pro frekvenci 50 Hz a 500 Hz, kde už je fázový posun vidět. Do cívky vložíme jádro a měření pro frekvenci 500 Hz zopakujeme.



Závěr

Na cívce dochází k fázovému posunu mezi napětím a proudem, napětí předbíhá proud. Pro malé frekvence není posun příliš výrazný, protože indukance cívky je výrazně menší než její ohmický odpor. Pro větší frekvence je už fázový posun jednoznačně viditelný, pro frekvenci 500 Hz se blíží hodnotě $\pi/2$.

Fázový posun roste s indukčností cívky (při stejné frekvenci) – pokud tedy do cívky vložíme jádro, fázový posun se zvětší, ale nepřesáhne $\pi/2$.

Další informace

Experiment je formou videa zpracován na adrese: <http://www.vernier.cz/video/obvod-s-civkou>

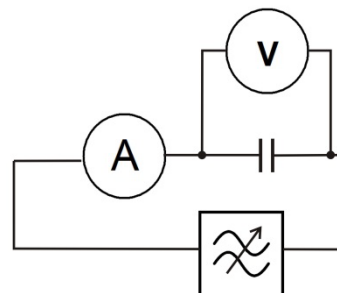
Fázový posun mezi napětím a proudem na kondenzátoru

Pomůcky

bipolární kondenzátor cca 50 μF , generátor funkcí, ampérmetr a voltmetr Vernier, vodiče

Příprava a provedení

Kondenzátor připojíme sériově s ampérmetrem ke generátoru funkcí. Paralelně ke kondenzátoru připojíme voltmetr. Graf nastavíme tak, aby ukazoval současně průběh napětí a proudu na čase. Na generátoru nastavíme frekvenci 50 Hz a pozorujeme fázový posun mezi grafem napětí a grafem proudu.



Závěr

Na kondenzátoru dochází k fázovému posunu mezi napětím a proudem – napětí se za proudem opožďuje. Fázový posun je cca $\pi/2$.

C) Složený obvod střídavého proudu

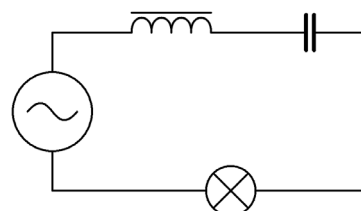
Sériová rezonance – varianta 1

Pomůcky

sada kondenzátorů 48 μF , cívka 600 z., žárovka 6,3 V/0,3 A, krátké jádro, lístkové U jádro, zdroj st napětí 8–10 V, vodiče, případně st voltmetr a ampérmetr

Příprava

Obvod zapojíme podle schématu – cívku nasadíme na uzavřené jádro, sériově k ní zapojíme kondenzátor, žárovku a zdroj.



Provedení

- 1) Spojíme svorky kondenzátoru nakrátko. Tím je v obvodu zapojena jen žárovka a cívka. Žárovka svítí slabě nebo vůbec nesvítí.
- 2) Spojíme svorky cívek nakrátko, tím je v obvodu zapojena jen žárovka a kondenzátor. Žárovka svítí slabě nebo vůbec nesvítí.
- 3) Ponecháme zapojenou cívku, kondenzátor i žárovku. Postupně posunujeme krátkým jádrem tak, že se indukčnost zmenšuje, a pozorujeme rostoucí jas žárovky. Při určité poloze je jas žárovky největší, při dalším posouvání jádra stejným směrem se jas žárovky opět zmenšuje. Došlo k sériové (proudové) rezonanci. Při rezonanci naměříme na cívce i kondenzátoru větší napětí, než je napětí zdroje a obvodem prochází maximální proud (což můžeme ověřit).

Závěr

Při sériové rezonanci prochází obvodem největší proud. Obvod má nejmenší impedanci. Z teorie vyplývá, že indukčnost cívky je v tomto případě rovna kapacitanci kondenzátoru ($X_L = X_C$) a že impedance obvodu je v tomto případě rovna součtu odporu žárovky a rezistence vinutí cívky.

Poznámky

Pro obvod se střídavým napětím v rezonanci neplatí, že efektivní napětí zdroje je rovno součtu efektivních napětí na cívce, žárovce a kondenzátoru. Platí to však pro okamžité hodnoty napětí.

Při užití ampérmetru místo žárovky je rezonanční křivka sériového rezonančního obvodu dosti ostrá, kdežto při použití žárovky je méně strmá. Je to proto, že ampérmetr má menší vnitřní odpor než je odpor vlákna žárovky a rezonanční křivka je tím strmější, čím má rezonanční obvod menší odpor.

Typické naměřené hodnoty

Pro cívku 600 z. na uzavřeném jádře a kondenzátor 48 μF připojené na zdroj cca 8 V teče obvodem v rezonanci proud cca 0,3 A. Rezonance nastane při posunutí krátkého jádra téměř mimo U jádro. Na cívce i kondenzátoru je v té chvíli napětí okolo 20 V.

*Sériová rezonance – varianta 2

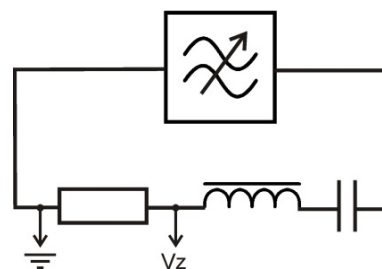
Cílem experimentu je dosáhnout sériové rezonance změnou frekvence střídavého proudu tekoucího obvodem. Při rezonanci dosáhne proud v obvodu maxima, napětí na sériově zapojeném rezistoru bude tedy maximální. Napětí je snímáno osciloskopem.

Pomůcky

cívka 300 z, uzavřené jádro, frekvenční generátor, kondenzátor 2–4 μF , osciloskop, rezistor 20 Ω , spojovací vodiče

Příprava a provedení

Obvod zapojíme podle schématu. Vhodným nastavením frekvence generátoru se snažíme dosáhnout rezonance. Ta se projeví maximálním proudem v obvodu, tedy maximálním napětím na snímaném rezistoru.



Závěr

Při sériové rezonanci prochází obvodem největší proud, což znamená největší napětí na rezistoru, které snímáme osciloskopem.

Typické naměřené hodnoty

Pro cívku 300 závitů na uzavřeném jádře a kondenzátor 2 μF nastává rezonance při frekvenci cca 300 Hz.

Aktualizace textu byla v roce 2022 podpořena MŠMT v rámci opatření na podporu studijních programů specificky zaměřených na přípravu učitelů s deficitními aprobacemi na nepedagogických fakultách veřejných vysokých škol.