

Studijní materiály pro maturanty A4, E4 2023

ELEKTRONIKA A SDĚLOVACÍ TECHNIKA	2
ELEKTRICKÉ STROJE A POHONY	5
Černá listina.....	8
Poznámky k činnosti elektrických strojů.	9
Stručný přehled základů elektrotechniky	10

ELEKTRONIKA A SDĚLOVACÍ TECHNIKA

A4, 2023

1. Metody řešení lineárních obvodů a přechodové jevy.

Ohmův zákon a Kirchhoffovy zákony.

Napěťový dělič.

Metoda smyčkových proudů a uzlových napětí.

Théveninova a Nortonova věta.

Metoda superpozice.

Rovnice přechodové charakteristiky 1. řádu (např. nabíjení a vybíjení C přes R).

Přechodové charakteristiky vyšších řádů.

2. Lineární pasivní součástky a diody.

Rezistory – druhy, řady, barevný kód, potenciometry a reostaty.

Kondenzátory – náhradní schémata, druhy, zvláštnosti elektrolytických kondenzátorů.

Cívky – náhradní schémata, druhy podle magnetického obvodu, feromagnetika.

Přechod PN bez napětí, v propustném a závěrném směru.

Voltampérová charakteristika diody.

Druhy a vlastnosti diod (usměrňovací, Zenerovy, Schottkyho, varikap).

3. Bipolární tranzistory a jejich základní zapojení.

Struktura a pracovní režimy.

Statické charakteristiky, pracovní oblast.

Zapojení SE, SC.

Zapojení tranzistoru NPN se společným emitorem ve třídě A, zpětná vazba.

Tranzistor jako spínač.

4. Unipolární tranzistory a jejich základní zapojení.

JFET, MESFET – struktura, princip činnosti, charakteristiky.

MOSFET – druhy, struktura, princip činnosti, charakteristiky.

Nastavení klidového pracovního bodu.

Zapojení tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem N se společným sourcem ve třídě A.

5. Složitější struktury polovodičů – tyristory, triaky, diaky, IGBT, CMOS.

Tyristory – struktura, princip činnosti, charakteristiky.

Tyristor ve střídavém a stejnosměrném obvodu, fázové řízení, síťová a vlastní komutace.

Triaky – princip činnosti, charakteristiky, fázové řízení.

Diaky – struktura, charakteristiky, použití.

IGBT – princip činnosti, použití.

Technologie CMOS.

6. Součástky řízené neelektrickými veličinami.

Součástky řízení světlem – fotorezistory, fotodiody (PN, PIN, APD), fototranzistory, oprtony.

Součástky řízené magnetickým polem – magnetorezistory, Hallovy snímače.

Součástky řízené teplotou – termistory negativní a pozitivní.

Varistory.

7. Součástky emitující záření a zobrazovací jednotky.

Světelné diody (LED) – princip, vlastnosti, použití.

Laserové diody (LD) – princip, vlastnosti, použití.

Výbojky.

Zobrazovací jednotky CRT, LCD (podrobně), OLED, PDP, EL – popis, princip, vlastnosti, použití.

8. Frekvenční charakteristiky lineárních dvojbranů.

Druhy frekvenčních charakteristik.

Komplexní napěťový přenos.

Útlumová a fázová charakteristika.

Příklady frekvenčních charakteristik: integrační RC článek, derivační RC článek, Wienův RC článek.

9. Rezonanční obvody a jejich využití.

Sériový rezonanční obvod – náhradní schéma, rezonance, činitel jakosti, rezonanční křivka, šířka pásma.

Paralelní rezonanční obvod – paralelní a sérioparalelní náhradní schéma, rezonance, činitel jakosti, rezonanční křivka, šířka pásma, tlumené kmity.

Použití rezonančních obvodů.

10. Klasické napájecí zdroje, násobiče napětí a zdroje nepřerušovaného napájení.

Klasické napájecí zdroje – druhy zapojení, vyhlazování výstupního napětí, filtry.

Zdvojovače a násobiče napětí.

Střídače – základní můstkové zapojení.

Zdroje nepřerušovaného napájení – druhy a principiální schémata.

11. Spínané napájecí zdroje a stabilizátory napětí.

Blokové schéma spínaných zdrojů.

Blokující měnič – princip činnosti.

Propustný měnič – princip činnosti.

Stabilizátory napětí parametrické, zpětnovazební a spínané – principy, výhody a nevýhody.

12. Vlastnosti, parametry a základní zapojení zesilovačů.

Frekvenční charakteristiky, přechodová charakteristika, parametry.

Třídy zesilovačů.

Druhy zkreslení.

Zpětné vazby zesilovačů.

13. Nízkofrekvenční a vysokofrekvenční zesilovače.

Nízkofrekvenční zesilovací stupně s tranzistory ve třídě A.

Vicestupňové zesilovače, druhy vazeb mezi stupni.

Výkonové zesilovače tříd B a AB.

Vysokofrekvenční zesilovače malého signálu širokopásmové a selektivní, výkonové stupně.

14. Vlastnosti a parametry operačních zesilovačů.

Základní vlastnosti a režimy práce OZ.

Blokové a zjednodušené schéma OZ.

Vlastnosti reálných OZ (vstupní klidové proudy, napěťová nesymetrie, doba a rychlost přeběhu atd.)

Výpočet přenosu invertujícího a neinvertujícího zesilovače.

15. Základní zapojení operačních zesilovačů.

Invertující, neinvertující, součtový a rozdílový zesilovač, derivátor, integrátor, exponenciální a logaritmický zesilovač, operační usměrňovač, syntetická reaktance.

Aktivní filtry.

OZ v saturačním režimu – komparátory, astabilní klopné obvody.

16. Oscilátory a generátory nesinusových kmitů.

Zpětná vazba, podmínky vzniku oscilací.

LC oscilátory – s induktivní zpětnou vazbou, třibodové, krystalové.

RC oscilátory.

Generátory obdélníkových a trojúhelníkových kmitů.

17. Bezdrátový přenos informací, sdělovací vedení, antény.

Vznik, vlastnosti a rozdělení elektromagnetických vln.

Sdělovací vedení – náhradní schéma, vlnová impedance, šíření vln po vedení, impedanční přizpůsobení.

Druhy vysokofrekvenčních vedení.

Druhy a vlastnosti antén.

18. Analogové modulace, harmonická analýza.

Princip modulace, druhy analogových modulací.

Amplitudová modulace – frekvenční spektrum, vlastnosti.

Frekvenční a fázová modulace – frekvenční spektrum, vlastnosti.

Harmonická analýza – Fourierův rozvoj, provedení analýzy, FFT.

19. Diskrétní modulace v základním a přeneseném pásmu.

Nekódované modulace v základním pásmu PAM, PWM, PPM.

Kódované modulace PCM a jiné.

Dvoustavové diskrétní modulace s nosnými vlnami ASK, FSK (MSK, GMSK), PSK.

Vicestavové diskrétní modulace s nosnými vlnami QPSK, M-QAM, M-APSK, OFDM.

Druhy multiplexů.

20. Frekvenční syntezátory a obvody pro modulace a demodulace.

Fázový závěs (PLL) – princip, použití.

Přímá digitální syntéza (DDS) – princip, použití.

Modulátory a demodulátory – příklady.

Směšovače – druhy a použití.

21. Kompresce videa a audia, televizní normy.

Pojem komprese, základní druhy (ztrátová, bezztrátová).

Kompresní formáty (MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-H), kontejnery.

Principy komprese obrazu: kompresní mechanismus statické komprese, dynamická komprese, druhy snímků.

Principy komprese zvuku.

Analogové televizní normy – černobílý a barevný obraz, modulace.

Digitální televizní normy – formáty, digitální kódování obrazu v SD, HD.

Televizní pásma.

22. Záznamová média.

Magnetický záznam zvuku, obrazu a dat.

Paměťové karty.

Klasický mechanický záznam zvuku a optický záznam zvuku a obrazu.

Digitální optické datové nosiče CD, DVD aj.

Snímače obrazu CCD a CMOS.

23. Elektroakustická zařízení, analogový a digitální rozhlas.

Elektroakustické měniče – mikrofony a reproduktory.

Analogový rozhlas – pásma, stereofonní vysílání.

Analogové rozhlasové vysílače a přijímače.

Digitální rozhlas DAB+ – princip, pásma, vysílače, přijímače, softwarové rádio.

24. Analogová a digitální televize.

Bloková schémata analogového televizního vysílače a přijímače.

Televizní řetězec DVB-T2.

Blokové schéma televizního vysílače a přijímače DVB-T2, STB.

Kabelová a satelitní televize.

25. Pevné a mobilní telefonní sítě.

Analogová telefonie.

Digitální telefonie, VoIP, technologie DSL.

Mobilní síť GSM – buňkový princip, architektura sítě, blokové schéma mobilního telefonu.

Sítě 3. generace, síť LTE a 5G.

Přenos dat v mobilních sítích.

Síť GPS.

ELEKTRICKÉ STROJE A POHONY

E4, 2023

1. Konstrukce a druhy transformátorů, princip, transformátorová rovnice, náhradní schéma.

Popis konstrukce transformátoru.

Druhy transformátorů podle konstrukce a použití.

Princip transformátoru.

Odvození transformátorové rovnice.

Ideální transformátor, převod napětí a proudu.

Vznik náhradního schématu a náhradní schéma ve tvaru T-článku.

2. Provozní stavy transformátorů.

Transformátor naprázdno – magnetizace, ztráty, charakteristické veličiny, náhradní schéma, zkouška naprázdno.

Transformátor při zatížení – magnetické toky, ztráty, náhradní schéma.

Transformátor nakrátko – napětí nakrátko, impedance nakrátko, ztráty, náhradní schéma, zkouška nakrátko.

3. Zapojení trojfázových transformátorů, hodinové úhly a regulace napětí.

Zapojení hvězda, trojúhelník, lomená hvězda a jejich vlastnosti.

Pojem hodinový úhel, jeho určení ze schématu zapojení, příklady.

Regulace napětí transformátorů přepínáním odboček, vlastnosti, přepínače odboček.

4. Zvláštní druhy transformátorů, tlumivky.

Natáčivé transformátory, rozptylové transformátory, autotransformátory – princip, vlastnosti, použití.

Přístrojové transformátory napětí a proudu – účel, zapojení, vlastnosti, provedení.

Tlumivky – druhy a vlastnosti.

5. Točivé magnetické pole, konstrukce a druhy asynchronních motorů, princip.

Pojem točivé magnetické pole, trojfázové dvoupólové a 2p-pólové točivé pole – podmínky vzniku a vlastnosti.

Dvoufázové točivé pole kruhové a eliptické.

Popis konstrukce asynchronních motorů, motory s kotvou nakrátko a kroužkové.

Princip asynchronního motoru, skluz.

6. Chod naprázdno a nakrátko asynchronního motoru.

Asynchronní motor naprázdno – magnetizace, ztráty, náhradní schéma, porovnání s transformátorem, zkouška naprázdno.

Asynchronní motor nakrátko – poměry při spouštění a při zkoušce nakrátko, ztráty, náhradní schéma.

7. Asynchronní motor při zatížení, momentová charakteristika.

Otáčky a skluz při zatížení, ztráty, náhradní schéma.

Momentová charakteristika a závislost proudu na skluzu.

Vliv změny parametrů na momentovou charakteristiku.

8. Spouštění asynchronních motorů.

Požadavky a problémy při spouštění asynchronních motorů.

Způsoby spouštění asynchronních motorů s kotvou nakrátko, speciální kotvou nakrátko a kroužkových motorů.

Momentové charakteristiky při změně parametrů spouštění.

9. Řízení rychlosti a elektrické brzdění asynchronních motorů.

Způsoby řízení rychlosti asynchronních motorů, základní vlastnosti frekvenčních měničů.

Provedení elektrického brzdění asynchronních motorů v režimech brzda a generátor, charakteristiky.

10. Asynchronní stroj v režimu generátor a brzda, jednofázový asynchronní motor.

Skluz, otáčky a výkonová bilance asynchronního generátoru a brzdy.

Praktické využití režimu asynchronního generátoru, brzdění protiproudem.

Vlastnosti jednofázových asynchronních motorů, motorčky se stíněnými póly.

11. Konstrukce a druhy synchronních strojů, princip, chod naprázdno.

Popis konstrukcí synchronních strojů různých druhů.

Princip synchronního stroje, základní pojmy (magnetické toky, zátěžný úhel).

Chod naprázdno synchronního generátoru, průběh indukovaného napětí, zkouška naprázdno.

12. Synchronní stroj při zatížení, ustálený chod nakrátko a zkrat synchronního generátoru.

Reakce kotvy synchronního stroje, provozní režimy (přebuzený, podbuzený, motor, generátor aj.), náhradní schéma, kývání.
Synchronní generátor při ustáleném chodu nakrátko.
Zkrat na svorkách synchronního generátoru, průběh a složky zkratového proudu.

13. Paralelní chod synchronních generátorů, fázování, budicí soustavy.

Provoz synchronních generátorů v elektrizační soustavě, závislost frekvence na činném výkonu, a napětí na jalovém výkonu, stabilita soustavy.
Fázování synchronního generátoru na tvrdou síť, podmínky a vlastnosti, fázování s chybou.
Budicí soustavy synchronních generátorů – klasické točivé budiče (dynama, alternátory), statické budiče.

14. Synchronní motory.

Druhy synchronních motorů, princip činnosti.
Momentová charakteristika synchronního motoru, parametry, vypadnutí ze synchronismu.
Spouštění, řízení rychlosti a elektrické brzdění synchronních motorů.
Porovnání synchronních motorů s asynchronními.
Měníče pro synchronní motory.

15. Konstrukce a druhy stejnosměrných strojů, princip dynama a motoru, vlastnosti dynam.

Popis konstrukce stejnosměrného stroje, stejnosměrná vinutí kotev.
Princip dynama a stejnosměrného motoru.
Použití stejnosměrných strojů.
Cize buzené a derivační dynamo – vlastnosti, regulace napětí, zatěžovací charakteristiky.

16. Stejnosměrný a střídavý komutátorový stroj při zatížení, reakce kotvy, komutace.

Pojem reakce kotvy, magnetické toky v zatíženém stroji, důsledky a kompenzace reakce kotvy.
Komutace stejnosměrného stroje, její druhy, problémy a kompenzace zpomalené komutace.
Podmínky dobré komutace.
Komutace střídavých komutátorových motorů – komutace ve střídavém magnetickém poli, rušivé vlivy

17. Vlastnosti stejnosměrných a střídavých komutátorových motorů.

Spouštění stejnosměrných cize buzených a sériových motorů.
Řízení rychlosti stejnosměrných a střídavých komutátorových motorů, momentové charakteristiky.
Elektrické brzdění stejnosměrných motorů, momentové charakteristiky.
Střídavé komutátorové motory – druhy, rušivé vlivy, provozní vlastnosti (spouštění, řízení rychlosti), porovnání se stejnosměrnými motory.

18. Mechanika pohonu, momentové charakteristiky pracovních strojů.

Blokové schéma elektrického pohonu.
Pohybová rovnice pohonu a její rozbor, základní mechanické veličiny a vztahy.
Momentové charakteristiky pracovních strojů a jejich rovnice, příklady.
Dynamika pohonu, rozběh, elektrické brzdění, statická stabilita.

19. Statické měniče pro pohony stejnosměrnými motory.

Řízené usměrňovače, jejich pracovní režimy a řízení.
Pulsní měniče, princip, základní schéma a řízení.

20. Statické měniče pro pohony střídavými motory.

Frekvenční měniče, blokové schéma, obvodové schéma střídače.
Pulsně šířková regulace střídače, U/f křivky a řízení měničů.
Střídavé měniče napětí, schéma, řízení, použití.

21. Elektrická trakce.

Trakční soustavy, trakční vedení a napájení.
Železniční trakční vozidla stejnosměrná, střídavá a vícesystémová, vozidla nezávislé trakce, označování, generace, příklady.
Elektrická trakce v městské hromadné dopravě – tramvaje, trolejbusy, metro.

22. Spínací pochody, zhášecí systémy spínacích přístrojů, kontakty.

Zapínání a vypínání stejnosměrných a střídavých obvodů, podmínky zhášení oblouku, zotavené napětí.
Zhášecí komory a prostředky spínacích přístrojů.
Kontakty – druhy, vlastnosti, stykový odpor, příčiny svaření kontaktů.

23. Spínací přístroje nn – stykače, relé, jističe, proudové chrániče a pojistky.

Stykače a relé – popis, vlastnosti, ovládání.

Jističe – spouště, vypínací charakteristiky, druhy, působení, zhášení oblouku.

Proudové chrániče – účel, princip funkce, druhy.

Pojistky – působení, vypínací charakteristiky, druhy.

24. Vznik a druhy přepětí, svodiče přepětí v soustavách nn, vn, vvn.

Příčiny vzniku přepětí, druhy přepětí, časové průběhy, příklady.

Princip činnosti svodičů přepětí.

Typy svodičů přepětí v soustavách nn, součásti svodičů a jejich charakteristiky.

Ochrana před přepětím v soustavách vn a vvn.

25. Spínací přístroje vn a vvn, rozvaděče a rozvodny.

Rozdělení spínacích přístrojů podle vypínací schopnosti.

Odpojovače – účel, druhy, vlastnosti.

Odpínače a úsečníky – použití, druhy, vlastnosti.

Výkonové vypínače – zhášecí systémy, činnost, vlastnosti.

Rozvaděče a rozvodny – přípojnice, přístroje, vývodová pole.

Černá listina.

(Znalost následujících vzorců, zákonů a vět z elektrotechnického základu je nezbytná.)

- pasivní elektrické veličiny – odpor, induktivní a kapacitní reaktance, impedance, vodivost, susceptance, admitance, vyjádření v komplexním tvaru a v absolutní hodnotě (modul)
- náhradní schémata cívka, kondenzátor, rezistor; vztahy odpor – rezistor, indukčnost – cívka, kapacita – kondenzátor
- trojúhelník impedancí a vztahy z něj plynoucí
- fázový posuv mezi napětím a proudem u různých typů zátěží – čisté R, L, C, kombinace RL, RC, RLC
- jednoduché fázorové diagramy
- výkony – činný, jalový, zdánlivý; jedno- a trojfázový, vyjádření z fázového i sdruženého napětí
- trojúhelník výkonů a všechny vztahy v něm, účinník
- účinnost elektrického zařízení, vyjádření z výkonu a příkonu, z výkonu a ztrát, z příkonu a ztrát
- Ohmův zákon, Kirchhoffovy zákony, Hopkinsonův zákon
- věta o děliči napětí
- vlastnosti zdrojů: vnitřní odpor a V–A charakteristika ideálního zdroje napětí, lineárního zdroje napětí, ideálního zdroje proudu
- frekvence, perioda, časový úhel, úhlová frekvence, fázový posun, sinusový průběh střídavé veličiny
- indukční Faradayův zákon – základní tvar, pohybové a transformační napětí, tvar pro pohybové indukované napětí, indukované napětí na vlastní a vzájemné indukčnosti
- síla na vodič s proudem v magnetickém poli, Ampérův zákon síly
- hlavní veličiny a jednotky elektrického proudového pole (napětí, proud, odpor, vodivost, měrný odpor, měrná vodivost, proudová hustota, intenzita elektrického pole)
- hlavní veličiny a jednotky magnetického pole (magnetomotorické napětí, intenzita magnetického pole, magnetický tok, magnetický odpor, magnetická vodivost, magnetická indukce, permeabilita)

Poznámky k činnosti elektrických strojů.

Hlavní aktivní části – jsou nutné k činnosti strojů.

magnetický obvod – vede mg. toky nezbytné pro činnost stroje; je ze železa, aby se toky zesílily
vinutí (množné číslo) – procházejí jimi proudy; jsou z mědi nebo hliníku

Magnetické toky – vždy jsou původně dva (s výjimkou chodu naprázdno), působí na sebe, jejich prostorovým součtem vznikne (jeden) výsledný celkový tok stroje.

první tok:

- TR a AS: vyvolává ho střídavý proud procházející primárním (TR) či statorovým (AS) vinutím
- SS a SSS: vyvolává ho stejnosměrný proud, řečený budicí, procházející budicím rotorovým (SS) či statorovým (SSS) vinutím, popř. ho vyvolává permanentní magnet

druhý tok (ten je dán zatížením):

- TR a AS: vyvolává ho proud sekundárního vinutí (TR) či proud v kotvě – rotoru (AS)
- SS a SSS: vyvolává ho proud kotvy – statoru (SS) či kotvy – rotoru (SSS); nazývá se reakční

výsledný tok – jen ten indukuje skutečné indukované napětí; to se indukuje:

- TR a AS: do obou vinutí – u primáru (TR) či statoru (AS) se mu dá říkat protinapětí
- SS a SSM: do kotvy (do budicího vinutí nikoliv, protože to je vzhledem k toku v klidu)

závislost toků:

- TR a AS: při změně zatížení, kdy se mění druhý tok, mění se i první tok tak, že výsledný tok zůstává stejný; odtud je představa, že výsledný tok vyvolává (budí) magnetizační proud nezávislý na zatížení; ten je složkou vstupního (primárního či statorového proudu)
- SS a SSS: při změně zatížení se mění druhý tok, zvaný reakční; první – budicí tok je nezávislý, změna zatížení na něj nemá vliv; proto se mění při změně zatížení výsledný tok (ten je u SS točivý, u SSS stojící a bohužel deformovaný)

Příkon, výkon a ztráty – zásadně jde o činné výkony.

příkon – u generátorů je mechanický, u motorů elektrický

výkon – u generátorů je elektrický, u motorů mechanický

ztráty (ztrátové výkony):

- ve vinutí (Jouleovy) – způsobuje je průchod jakéhokoliv proudu, jsou ve všech vinutích, závisejí kvadraticky na příslušném proudu; ten je (kromě budicích proudů) závislý na zatížení, ať již mechanickém (motory) nebo elektrickém (generátory a TR)
- v železe – způsobuje je pouze tok, který se vzhledem k železu pohybuje nebo mění v čase; ten do něj indukuje vířivé proudy (obrana: izolované plechy) a neustále přemagnetovává železo podle hysterezní smyčky (ta je lepší co nejužší); je-li tok vzhledem k železu v klidu, nevzniknou (rotory SS či statory SSS)
- mechanické – jen u točivých strojů (tření v ložiskách, ventilační apod.)
- další ztráty jsou jen speciální druhy ztrát již uvedených (budicí = Jouleovy v budicím vinutí, přídavné = v železe či jiných kovech v konstrukci mimo aktivní magnetický obvod)

důležité: od příkonu se postupně oddělí (odečtou) všechny ztráty, až zbude výkon

účinnost – poměr výkonu a příkonu; výkon se dá vyjádřit jako rozdíl příkonu a ztrát; příkon se dá vyjádřit jako součet výkonu a ztrát.

Jalové výkony – mají je jen střídavé stroje (a nejde o ztráty!!).

- TR a AS: určitý jalový výkon (induktivní, podle dohody se spotřebovává) je vždy potřebný pro magnetizaci, tj. vytvoření mg. pole; TR mohou kromě toho nějaký jalový výkon přenášet
- SS si pole vytvoří díky budicímu proudu; je-li ten proud nedostatečný, berou si ještě jalový výkon ze sítě (jsou podbuzené), je-li velký, naopak dodávají jalový výkon do sítě (jsou přebuzené)

Použité zkratky:

TR – transformátory

AS – asynchronní stroje

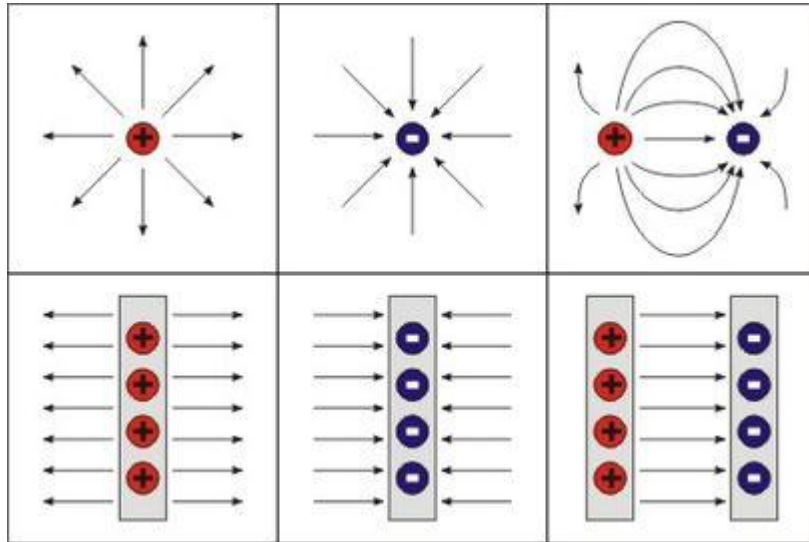
SS – synchronní stroje

SSS – stejnosměrné stroje

Stručný přehled základů elektrotechniky

Elektrostatické pole

Elektrostatické pole vzniká v okolí nábojů. Lze ho znázornit siločarami – indukčními čarami. Siločáry vystupují z kladných nábojů a vstupují do záporných – elektrostatické pole je zřídlové. Obrázky nahoře ukazují nehomogenní elektrostatické pole osamocených nábojů a dvojice opačných nábojů, dole je znázorněno pole homogenní.



VELIČINY ELEKTROSTATICKÉHO POLE

- elektrický indukční tok $\Psi(C)$ – odpovídá celkovému množství siločar, číselně je roven náboji: $\Psi = Q$
 - elektrická indukce $D (C/m^2)$ – lze ji chápat jako plošnou hustotu siločar: $D = \frac{Q}{S}$
 - intenzita elektrického pole $E (V/m)$ – napětí připadající na jednotku délky (1 m) siločáry: $E = \frac{U}{l}$
 - permitivita $\varepsilon (F/m)$ – měrná vodivost prostředí pro elektrostatické pole, charakterizuje vodivost části prostředí o jednotkovém průřezu a jednotkové délce: $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$
- $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m$ je permitivita vakua, $\varepsilon_r(-)$ je relativní permitivita; uvádí, kolikrát vede prostředí elektrostatické pole lépe než vakuum
- vztah mezi veličinami elektrostatického pole: $D = \varepsilon E$
 - elektrická indukce D ve vzdálenosti r od náboje Q v bodě na kulové ploše je $D = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{4\pi r^2}$, intenzita elektrického pole

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{Q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r r^2}$$

KAPACITA A KONDENZÁTORY

Kondenzátor je tvořen dvěma elektrodami, mezi nimiž je izolant – dielektrikum. Charakteristickou vlastností každého kondenzátoru je kapacita C (F – farad).

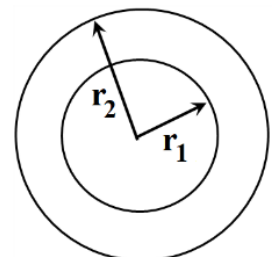
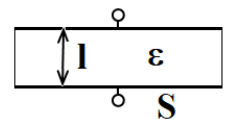
- odvození kapacity deskového kondenzátoru z rozměrů deskového kondenzátoru a permitivity:

$$D = \varepsilon E = \frac{Q}{S} \quad E = \frac{U}{l} \quad D = \varepsilon \frac{U}{l} = \frac{Q}{S}$$

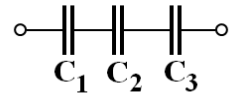
$$Q = \varepsilon S \frac{U}{l} = \varepsilon_0 \varepsilon_r S \frac{U}{l} = CU$$

- $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{l}$ (S je plocha elektrod, l jejich vzdálenost čili tloušťka dielektrika)

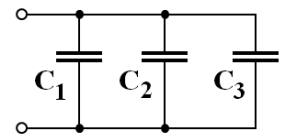
- výpočet C dvou soustředných koulí s poloměry r_1, r_2 ($r_2 > r_1$): $C = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$



- sériově řazené C se sčítají podobně jako paralelní odpory: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$ (pro dvě

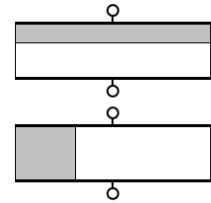


C platí $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$); napětí na jednotlivých C se sčítají, náboje všech C jsou stejné



- paralelně řazené C se sčítají podobně jako sériové odpory: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$; jejich náboje se sčítají, napětí na všech C je stejné

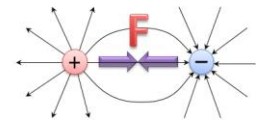
- kondenzátory s vrstveným dielektrikem: D je v obou částech dielektrika stejná, E jsou různé



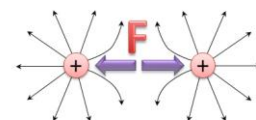
- kondenzátory s děleným dielektrikem: D jsou různé, E je stejná

SÍLY V ELEKTROSTATICKÉM POLI

Coulombův zákon: mezi dvěma náboji Q_1, Q_2 vzdálenými r působí síla $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2}$.



- síla působící na náboj Q v elektrostatickém poli E : $F = QE$ (elektrická indukce D ve vzdálenosti r od náboje Q v bodě na kulové ploše je $D = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{4\pi r^2}$, intenzita elektrického pole $E = \frac{D}{\epsilon_0\epsilon_r} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2}$)



ENERGIE ELEKTROSTATICKÉHO POLE

- energie nahromaděná v elektrostatickém poli vytvořeném náboji Q , mezi nimiž je napětí U : $W = \frac{1}{2}QU$
- energie elektrostatického pole kapacity C nabité na napětí U : $W = \frac{1}{2}CU^2$

Stacionární elektrické pole – základní pojmy

PROUD, PROUDOVÁ HUSTOTA

- elektrický proud – elektrický náboj prošlý průřezem vodiče za jednotku času: $I = \frac{Q}{t}$ (A, C, s)
- proudová hustota: $J = \frac{I}{S}$ ($\frac{A}{mm^2}$, A, mm^2), výpočet kruhového průřezu z průměru: $S = \frac{\pi d^2}{4}$ (mm^2 , mm)

OHMŮV ZÁKON, ODPOR, VODIVOST

- základní tvar Ohmova zákona pro stejnosměrný obvod s odporem: $I = \frac{U}{R}$ (A, V, Ω)
- vodivost – převrácená hodnota odporu: $G = \frac{1}{R}$ (S, Ω)
- Ohmův zákon s vodivostí: $I = UG$ (A, V, S)

MĚRNÝ ODPOR, MĚRNÁ VODIVOST

- měrný odpor – odpor vodiče o jednotkovém průřezu a jednotkové délce: ρ ($\frac{\Omega mm^2}{m}$) nebo $\Omega \cdot m$
např. Cu při 20°C 0,0178 $\Omega \cdot mm^2/m$, Al 0,0285 $\Omega \cdot mm^2/m$
- výpočet odporu vodiče z rozměrů a materiálu: $R = \rho \frac{l}{S}$ (Ω , $\frac{\Omega mm^2}{m}$, m, mm^2)
- měrná vodivost: $\gamma = \frac{1}{\rho}$ ($\frac{Sm}{mm^2}$, $\frac{\Omega mm^2}{m}$)

ZÁVISLOST ODPORU NA TEPLOTĚ

- výpočet odporu po oteplení o $\Delta \vartheta$: $R_2 = R_1(1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$ (Ω , Ω , K^{-1} , K)
- teplotní součinitel odporu α (K^{-1}) - poměrné zvýšení odporu při zvýšení teploty o 1 K
např. Cu 0,0042 K^{-1} , Al 0,004 K^{-1}

PRÁCE A VÝKON STEJNOSMĚRNÉHO PROUDU

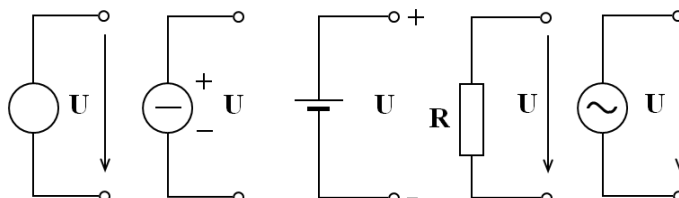
- výkon elektrického proudu: $P = UI$ (W, V, A)
- práce elektrického proudu: $A = Pt = UIt$ (J, W, s)
- výkon elektrického proudu na odporu: R : $P = RI^2$ (W, Ω , A)
- práce elektrického proudu na odporu odvedená ve formě tepla (Jouleův-Lenzův zákon): $A = RI^2t$ (J, Ω , A, s)

BĚŽNÉ ZPŮSOBY OZNAČOVÁNÍ ZDROJŮ

Označování napětí a zdrojů napětí

Obvyklé způsoby označování (zleva):

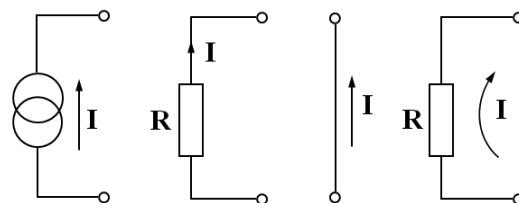
- obecný zdroj napětí
- stejnoseměrný zdroj
- článek, baterie
- úbytek napětí na odporu
- střídavý zdroj napětí



Označování proudu a zdrojů proudu

Některé způsoby označování (zleva):

- zdroj proudu
- proud v obvodu (tři různé způsoby označování)



Metody řešení stejnosměrných obvodů

KIRCHHOFFOVY ZÁKONY

- První Kirchhoffův zákon: součet proudů vstupujících do uzlu je roven součtu proudů z uzlu vystupujících.
nebo: Algebraický součet proudů v uzlu je roven nule. (*zde je třeba zohlednit znaménko*)
- Druhý Kirchhoffův zákon: Součet napětí zdrojů v uzavřené smyčce je roven součtu úbytků napětí na spotřebičích v téže smyčce.
nebo: Algebraický součet napětí v uzavřené smyčce je roven nule.

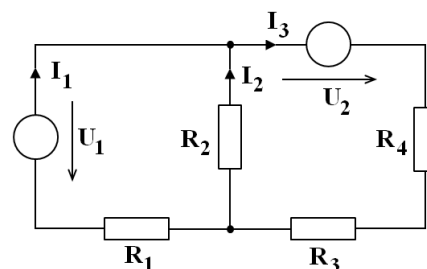
Příklad použití - obvod podle obr.:

- Označíme v obvodu napětí a proudy ve všech větvích.
- Napišeme rovnice podle Kirchhoffových zákonů.

první smyčka: $-U_1 - R_2 I_2 + R_1 I_1 = 0$

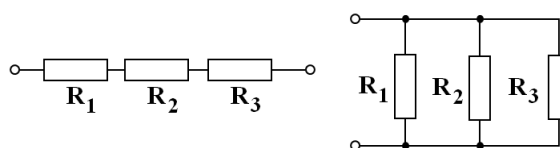
druhá smyčka: $U_2 + R_4 I_3 + R_3 I_3 + R_2 I_2 = 0$

uzel: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$



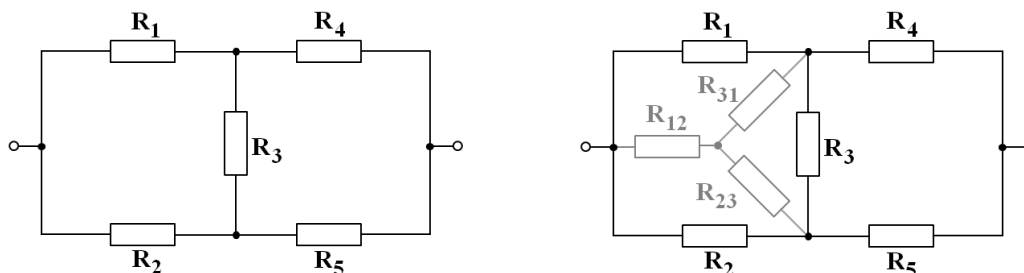
SÉRIOVÉ A PARALELNÍ ŘAZENÍ ODPORŮ

- sériové řazení: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
- paralelní řazení: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$
 - pozor – výsledek je převrácená hodnota celkového odporu, nikoliv výsledný odpor!
 - pro dva odpory platí $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (ale pouze pro dva odpory, nelze zobecnit)



TRANSFIGURACE TROJÚHELNÍKA NA HVĚZDU

Zapojení odporů v trojúhelníku není sérioparalelní kombinace. Abychom obvod vyřešili, musíme trojúhelník převést na hvězdu.



- odpory v trojúhelníku R_1, R_2, R_3 (vlevo) nahradíme odpory hvězdy R_{12}, R_{23}, R_{31} (vpravo)
- lze odvodit, že $R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$; $R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$; $R_{31} = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$
- upravený obvod posléze řešíme jako sérioparalelní kombinaci odporů

VĚTA O NAPĚŤOVÉM DĚLIČI

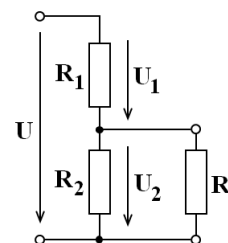
Poměr dvou napětí mezi určitými místy v obvodu je roven poměru příslušných odporů, tedy těch, které se nacházejí mezi těmito místy.

- postup:
 - Napišeme rovnici podle věty o napěťovém děliči.
 - Vyřešíme rovnici pro konkrétní neznámou.

Příklad (zatížený dělič napětí):

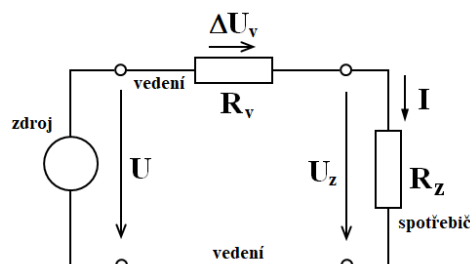
napětí U_2 je na paralelní kombinaci R_2, R_z , proto platí například

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{\frac{R_2 R_z}{R_2 + R_z}}; \quad \text{nebo} \quad \frac{U_2}{U} = \frac{\frac{R_2 R_z}{R_2 + R_z}}{R_1 + \frac{R_2 R_z}{R_2 + R_z}}$$



ÚBYTEK NAPĚTÍ A ZTRÁTY NA VEDENÍ

- odpor dvojvodičového vedení: $R_v = \rho \frac{2l}{S} (\Omega, \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}, \text{m}, \text{mm}^2)$
- úbytek napětí na vedení: $\Delta U_v = R_v I$ (V, Ω , A)
- ztráty na vedení: $\Delta P_v = R_v I^2$ (W, Ω , A)
nebo také $\Delta P_v = \Delta U_v I$ (W, V, A)

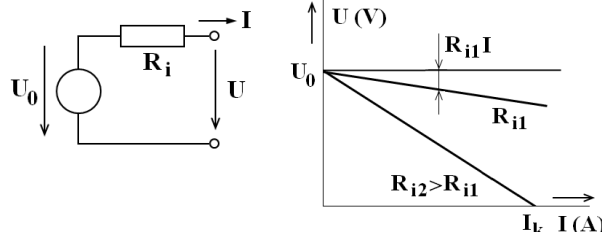


ZTRÁTY A ÚČINNOST

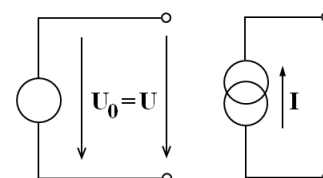
- účinnost je obecně poměr výkonu P a příkonu P_p zařízení; v poměrných jednotkách: $\eta = \frac{P}{P_p}$ (-, W, W)
- účinnost vyjádřená v procentech: $\eta = \frac{P}{P_p} \cdot 100$ (% , W, W)
- vztah mezi příkonem, výkonem a ztrátami (obecně): $P_p = P + \Delta P$

STEJNOSMĚRNÉ ZDROJE

- lineární zdroj napětí: má konstantní vnitřní odpor $R_i = \text{konst}$
 - napětí naprázdno neboli vnitřní napětí zdroje $U_0 = U_i$
 - svorkové napětí zdroje U
 - napěťová rovnice: $U = U_0 - R_i I$
 - úbytek napětí uvnitř zdroje: $\Delta U_i = R_i I$
 - ztráty ve zdroji: $\Delta P_i = R_i I^2$
 - proud nakrátko: $I_k = \frac{U_0}{R_i}$



- ideální zdroj napětí (vlevo) má nulový vnitřní odpor $R_i = 0$, svorkové napětí se rovná napětí naprázdno $U = U_0$
- ideální zdroj proudu (vpravo) má nekonečně velký vnitřní odpor, dodává do obvodu (zátěže R_z) konstantní proud I



METODA SMYČKOVÝCH PROUDŮ

Použití: při řešení obvodů s více zdroji a spotřebiči, které obsahují méně smyček a více uzlů (smyčka – uzavřená část obvodu; uzel – místo, kde se stýkají nejméně tři vodiče).

Postup:

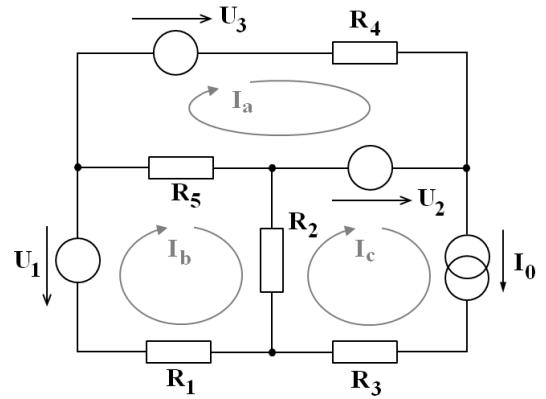
- v obvodu vybereme a označíme smyčky, ve smyčkách pojmenujeme smyčkové proudy;
 - každá větev obvodu musí být aspoň v jedné smyčce;
 - žádná smyčka nemůže být celá součástí jiných smyček;
- pro všechny smyčky napíšeme rovnice podle druhého Kirchhoffova zákona.

Příklad:

smyčka s proudem I_a : $U_3 + R_4 I_a - U_2 + R_5 (I_a - I_b) = 0$

smyčka s proudem I_b : $-U_1 + R_5 (I_b - I_a) + R_2 (I_b - I_0) + R_1 I_b = 0$

ve větvi se zdrojem proudu je smyčkový proud roven proudu tohoto zdroje (zde $I_c = I_0$), pro smyčku s tímto proudem rovnici nepíšeme – nelze vyjádřit úbytek napětí na proudovém zdroji



METODA UZLOVÝCH NAPĚTÍ

Použití: při řešení obvodů s více zdroji a spotřebiči, které obsahují méně uzlů a více smyček; je vhodná pro obvody s proudovými zdroji.

Postup:

- v obvodu vybereme referenční uzel, nejlépe ten, kde se stýká více větví. Jeho potenciál (napětí) stanovíme na nulu;
- označíme ostatní uzly a uzlová napětí v nich;
- označíme proudy ve všech větvích obvod;
- napíšeme rovnice pro uzly podle prvního Kirchhoffova zákona.

Příklad:

uzel a: $I_1 - I_5 - I_4 = 0$

uzel b: $I_5 + I_2 + I_0 = 0$

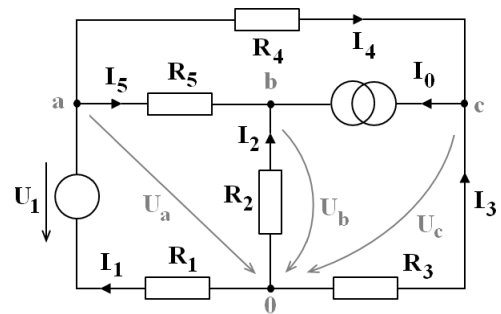
uzel c: $I_3 + I_4 - I_0 = 0$

po dosazení

$$\frac{0 - (U_a - U_1)}{R_1} - \frac{U_a - U_b}{R_5} - \frac{U_a - U_c}{R_4} = 0$$

$$\frac{U_a - U_b}{R_5} + \frac{0 - U_b}{R_2} + I_0 = 0 \quad (\text{proud proudového zdroje dosazujeme přímo})$$

$$\frac{0 - U_c}{R_3} + \frac{U_a - U_c}{R_4} - I_0 = 0$$



THÉVENINOVA VĚTA

Jakýkoli obvod (tvořený lineárními prvky) lze z pohledu dvou svorek nahradit jednoduchým obvodem složeným z ideálního zdroje U_0 napětí a sériového odporu R_i .

Napětí náhradního zdroje se určí jako napětí naprázdno mezi příslušnými svorkami (tedy rozpojenými svorkami).

Velikost sériového odporu se zjistí jako odpor obvodu z pohledu těchto svorek, když se zdroje nahradí jejich vnitřními odpory (tj. napěťové zdroje se zkratují a proudové zdroje vyřadí).

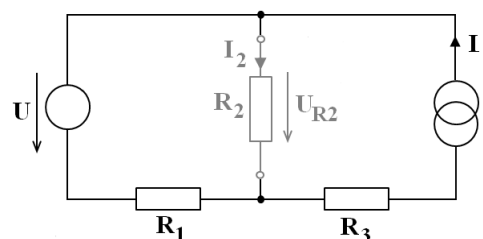
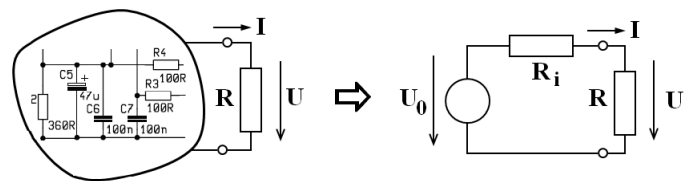
Postup: překreslíme obvod podle Théveninovy věty; vypočítáme vhodnou metodou U_0 a R_i ; spočítáme v náhradním obvodu napětí a proud mezi sledovanými svorkami.

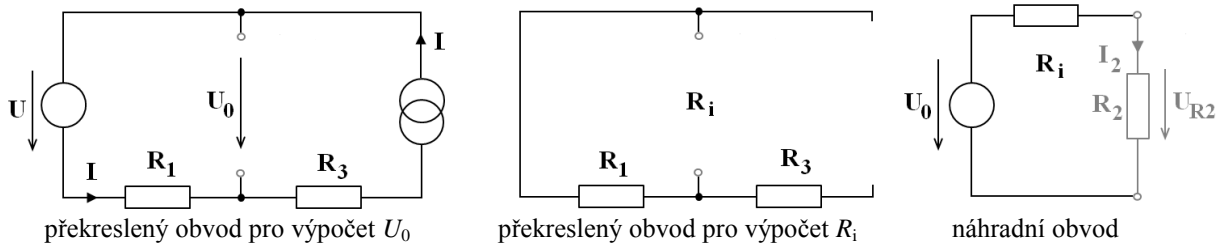
Příklad: je třeba určit U_{R2} a I_2 (na odporu R_2 mezi vyznačenými svorkami).

výpočet U_0 : (druhý Kirchhoffův zákon): $U + R_1 I - U_0 = 0 \quad U_0 = U + R_1 I$

výpočet R_i : $R_i = R_1$

v náhradním obvodu platí $I_2 = \frac{U_0}{R_1 + R_2}$ a $U_{R2} = R_2 I_2$



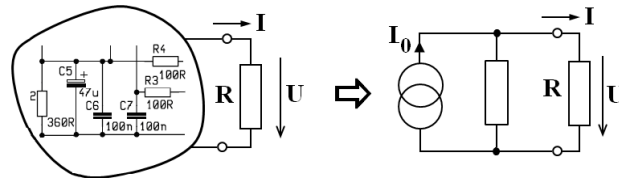


NORTONOVA VĚTA

Jakýkoli obvod (tvořený lineárními prvky) lze z pohledu dvou svorek nahradit jednoduchým obvodem složeným z ideálního zdroje proudu I_0 a paralelního odporu R_i .

Proud náhradního zdroje se určí jako proud nakrátko mezi příslušnými svorkami (tedy spojenými dokrátka).

Velikost paralelního odporu se zjistí jako odpor obvodu z pohledu těchto svorek, když se zdroje nahradí jejich vnitřními odpory (tj. napěťové zdroje se zkratují a proudové zdroje vyřadí).



Postup: překreslíme obvod podle Nortonovy věty; vypočítáme vhodnou metodou I_0 a R_i ; spočítáme v náhradním obvodu napětí a proud mezi sledovanými svorkami.

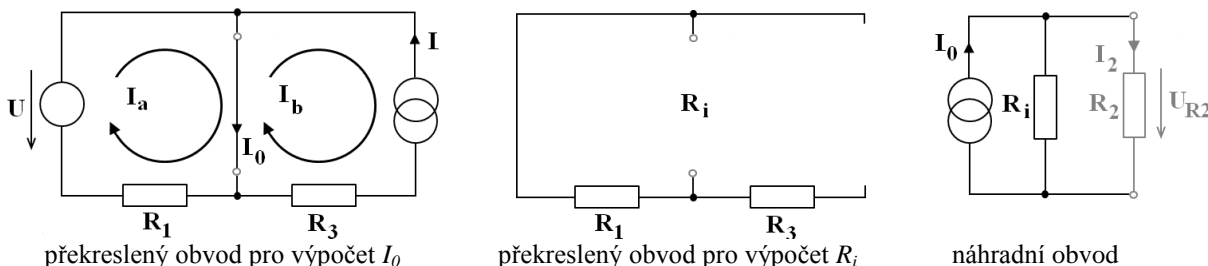
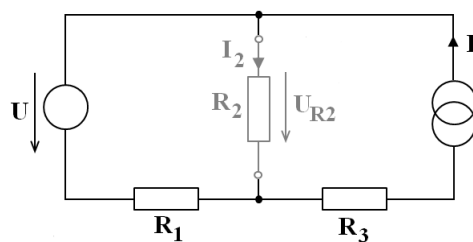
Příklad: je třeba určit U_{R2} a I_2 .

výpočet I_0 (např. metodou smyčkových proudů):

$$-U + R_1 I_a = 0 \quad I_b = -I; \quad I_0 = I_a - I_b = \frac{U}{R_1} + I$$

výpočet R_i : $R_i = R_1$ (shodný s Théveninovou větou)

$$\text{v náhradním obvodu platí: } U_{R2} = \frac{R_i R_2}{R_i + R_2} I_0; \quad I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2}$$

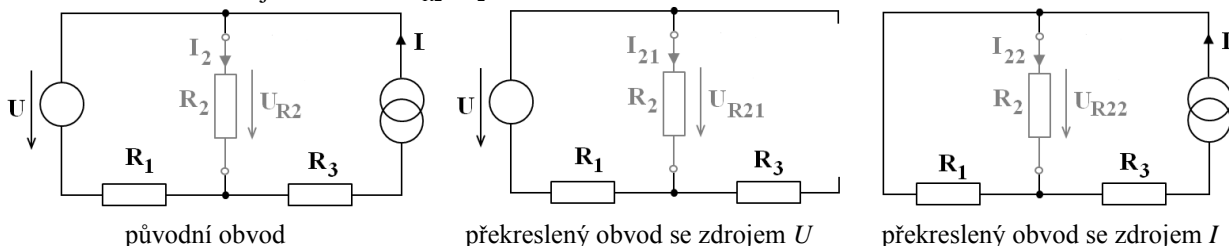


PRINCIP SUPERPOZICE

Obvod s n zdroji (tvořený lineárními prvky) se řeší n -krát jako obvod vždy jen s jedním zdrojem. Ostatní zdroje se nahradí jejich vnitřními odpory (tj. napěťové zdroje se zkratují a proudové zdroje vyřadí). Výsledné veličiny na sledovaném prvku se algebraicky sečtou.

Postup: překreslíme obvod podle pravidla superpozice; vypočítáme vhodnou metodou napětí a proud na sledovaném odporu; pokračujeme v překreslování a výpočtech obvodu s dalšími zdroji, dokud je všechny nevyčerpáme; sečteme výsledné veličiny na sledovaném odporu algebraicky, tj. s ohledem na znaménka.

Příklad: v obvodu na obr. vlevo je třeba určit U_{R2} a I_2 .



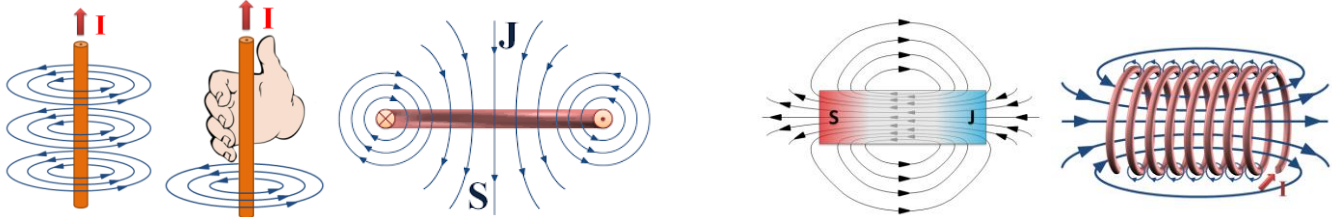
$$\text{výpočet } U_{R21} \text{ obvodu se zdrojem napětí (podle věty o napěťovém děliči): } U_{R21} = \frac{R_2 U}{R_1 + R_2}; \quad \text{proud } I_{21} = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$\text{výpočet } U_{R22} \text{ obvodu se zdrojem proudu: } U_{R22} = \frac{R_1 R_2 I}{R_1 + R_2} \quad (\text{proud } I \text{ teče paralelní kombinací } R_1, R_2); \quad \text{proud } I_{22} = \frac{R_1 I}{R_1 + R_2}$$

$$\text{superponované výsledky: } U_{R2} = U_{R21} + U_{R22} = \frac{R_2 U}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 R_2 I}{R_1 + R_2}; \quad I_2 = I_{21} + I_{22} = \frac{U}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 I}{R_1 + R_2}$$

Magnetické pole

Magnetické pole vzniká v okolí vodičů s proudem a také permanentních (trvalých) magnetů. Lze ho znázornit siločarami – indukčními čarami. Siločáry jsou uzavřené křivky – magnetické pole je vírové. Siločáry u přímého vodiče mají tvar soustředných kružnic a orientaci podle tzv. pravidla šroubu či pravé ruky. U magnetu nebo cívky mají tvar naznačený na obrázcích a orientaci takovou, že vystupují ze severního pólu a vstupují do jižního.



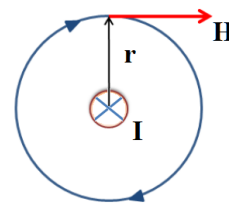
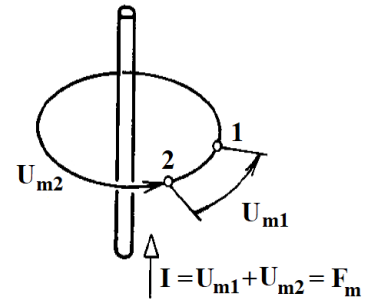
Je vhodné rozdělit magnetické veličiny do tří skupin:

ZDROJOVÉ VELIČINY

Jsou nezbytné k vytvoření magnetického pole – budí magnetické pole.

- elektrický proud I (A)
- magnetomotorické napětí F_m (A) – součet všech proudů, které vyvolávají magnetické pole;
pro více vodičů $F_m = \sum I$, pro cívku s N závitů $F_m = NI$
- magnetické napětí U_m (A) – část magnetomotorického napětí připadající na úsek délky siločáry (mezi body A a B); součet magnetických napětí podél celé siločáry je roven F_m
- intenzita magnetického pole H (A/m) – magnetomotorické napětí připadající na jednotku délky (1 m) siločáry; $H = \frac{F_m}{l}$ nebo $H = \frac{U_m}{l}$; u siločáry okolo přímého

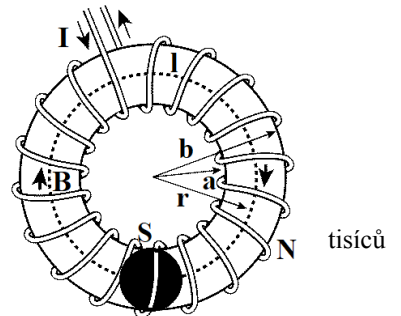
vodiče ve tvaru kružnice je $H = \frac{I}{2\pi r}$ (obrázek)



MATERIÁLOVÉ VELIČINY

Charakterizují, jak prostředí vede magnetické pole.

- magnetická vodivost Λ (H – henry)
- magnetický odpor R_m (1/H); $R_m = \frac{1}{\Lambda}$ (magnetický odpor je převrácená hodnota magnetické vodivosti)
- permeabilita μ (H/m) – měrná magnetická vodivost, charakterizuje vodivost části prostředí o jednotkovém průřezu a jednotkové délce
 $\mu = \mu_0 \mu_r$ ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m je permeabilita vakua, $\mu_r(-)$ je relativní permeabilita; většina materiálů má $\mu_r \cong 1$, zatímco běžná feromagnetika (viz dále) v řádu desítek až
- výpočet magnetické vodivosti: $\Lambda = \mu \frac{S}{l}$; S je průřez magnetického obvodu, l je délka



siločáry; u dlouhé cívky čili solenoidu je l délka cívky, u prstencové cívky neboli toroidu délka střední siločáry ($l = 2\pi r$)

VELIČINY MAGNETICKÉHO POLE

- magnetický tok Φ (Wb – weber) – charakterizuje magnetické pole celkově (odpovídá celkovému množství siločar)
- magnetická indukce B (T – tesla) – charakterizuje magnetické pole místně, lze ji chápat jako plošnou hustotu siločar: $B = \frac{\Phi}{S}$

VZTAHY MEZI ZDROJOVÝMI VELIČINAMI A VELIČINAMI POLE

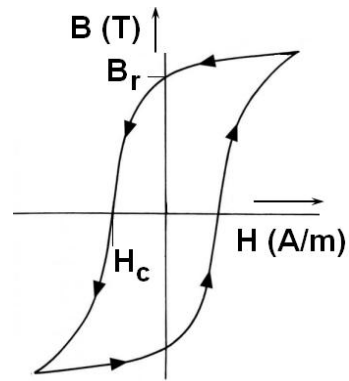
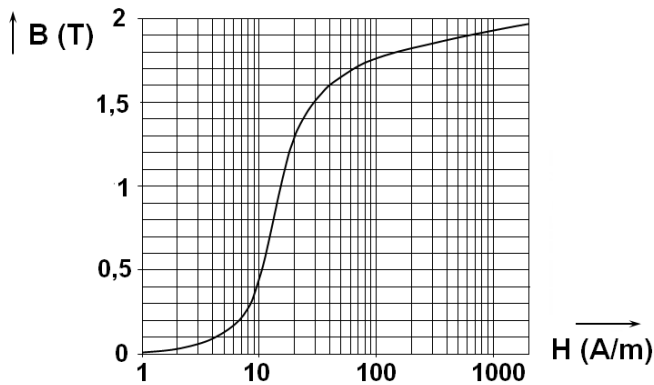
$\Phi = \Lambda F_m$ – Hopkinsonův zákon, obdoba Ohmova zákona pro magnetické pole

$B = \mu H$ – podobný vztah pro „měrné“ veličiny; vznikne z Hopkinsonova zákona dosazením: $BS = \mu \frac{S}{l} HI$

FEROMAGNETICKÉ LÁTKY

Nejdůležitější feromagnetické látky (též feromagnetika) jsou železo a ferity.

- magnetizační křivka feromagnetik, též křivka prvotní magnetizace – závislost $B = f(H)$, je nelineární (obr. vlevo), při vyšších hodnotách H se projevuje sycení (B roste pomaleji); μ_r není konstantní
- hysterezní křivka – u feromagnetik se při střídavém magnetování mění B v závislosti na H různě podle směru magnetizace (obr. vpravo); závislost $B = f(H)$ se nazývá hysterezní křivka; remanentní (zbytková) indukce B_r je hodnota B , kterou si feromagnetikum udrží po vypnutí zdroje magnetování, koerzivní intenzita H_c je potřebná hodnota H pro odmagnetování



VLASTNÍ INDUKČNOST

Vlastní indukčnost L (H) je charakteristickou vlastností každé cívky.

- výpočet L z vodivosti magnetického obvodu a počtu závitů cívky: $L = \Lambda N^2$
- statická definice vlastní indukčnosti: $L = \frac{N\Phi}{I}$
- dynamická definice vlastní indukčnosti: $u_i = L \frac{di}{dt}$ (indukční zákon pro L – viz dále)
- sériově řazené L se sčítají podobně jako odpory: $L = L_1 + L_2$



ENERGIE MAGNETICKÉHO POLE

- energie nahromaděná v části magnetického pole vybuzené magnetickým napětím U_m : $W = \frac{1}{2} \Phi U_m$
- energie magnetického pole vlastní indukčnosti L protékané proudem i : $W = \frac{1}{2} Li^2$

Jevy v magnetickém poli

Elektromagnetická indukce

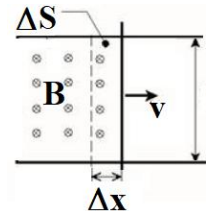
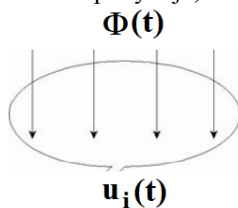
INDUKČNÍ ZÁKON

Indukční Faradayův zákon: při časové změně magnetického toku se ve vodiči indukuje napětí $u_i = \frac{d\Phi}{dt}$, v cívice s N závitů pak

$u_i = N \frac{d\Phi}{dt}$. Časová změna magnetického toku $\frac{d\Phi}{dt}$ je změna magnetického toku o $d\Phi$ za časový okamžik dt .

Indukované napětí může být

- transformační – závit se nepohybuje, magnetický tok procházející plochou závitu se mění v čase (obr. vlevo);



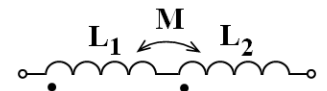
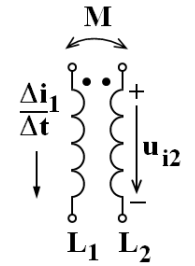
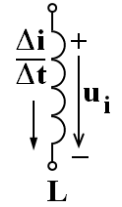
- pohybové – vzniká při pohybu vodiče ve statickém magnetickém poli (obr. vpravo); lze vyjádřit i vztahem $U_i = Blv$ (pokud se vodič délky l v magnetickém poli B pohybuje kolmo na siločáry rychlostí v).

Lenzovo pravidlo: indukované napětí či jím vyvolaný proud působí vždy proti změně, která ho vyvolala.

Pravidlo pravé ruky: lze jím určit směr proudu, který vznikne po uzavření obvodu ve vodiči, do nějž se indukuje pohybové napětí (siločáry magnetického pole vstupují do dlaně, palec ukazuje směr pohybu vodiče, prsty směr proudu).

VLASTNÍ A VZÁJEMNÁ INDUKČNOST

- dynamická definice L vychází z napětí indukovaného na L při časové změně proudu (samoindukce): $u_i = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$
- podle Lenzova pravidla působí toto napětí proti změně (při nárůstu proudu působí jako protinapětí, při poklesu proudu se snaží zachovat původní směr proudu); na obr. je naznačena polarita u_i při nárůstu proudu i v čase
- vzájemná indukčnost M – charakterizuje magnetickou vazbu dvou cívek: časovou změnou proudu v první cívce se indukuje napětí ve druhé cívce $u_{i2} = M \frac{\Delta i_1}{\Delta t}$; platí též obráceně $u_{i1} = M \frac{\Delta i_2}{\Delta t}$ (dynamická definice M); na obr. je naznačena polarita u_{i2} při nárůstu proudu i_1 ; tečky naznačují začátky vinutí cívek
- mezi vlastními indukčnostmi obou cívek L_1 a L_2 a vzájemnou indukčností M platí vztah $M = \kappa \sqrt{L_1 L_2}$ ($\kappa \leq 1$ je činitel vazby; u těsné vazby, kdy téměř celý magnetický tok prochází oběma cívkami, se blíží 1)
- výpočet M z vodivosti magnetického obvodu a počtu závitů cívek: $M = \Lambda N_1 N_2$
- výpočet M dvou sériově řazených cívek: $L = L_1 + L_2 \pm 2M$; znaménko + nebo - závisí na tom, jestli se magnetické toky obou cívek podporují (na obr.) nebo působí proti sobě



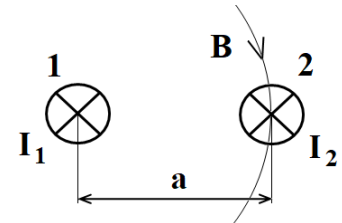
Síly v magnetickém poli

Ampérův zákon síly: na vodič délky l s proudem I umístěný v magnetickém poli B kolmo na siločáry působí síla $F = BIl$.

Pravidlo levé ruky: lze jím určit směr síly působící podle Ampérova zákona (siločáry magnetického pole vstupují do dlaně, prsty ukazují směr proudu, palec směr síly).

Z Ampérova zákona síly lze odvodit sílu působící ve vakuu mezi dvěma rovnoběžnými vodiči délky l protékajícími proudy I_1, I_2 a vzdálenými od sebe a :

$$F = BIl = \mu_0 H_1 I_2 \frac{l}{a} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{I_1}{2\pi a} I_2 l = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_1 I_2 l}{a};$$



Při souhlasném směru proudů se vodiče přitahují a naopak.

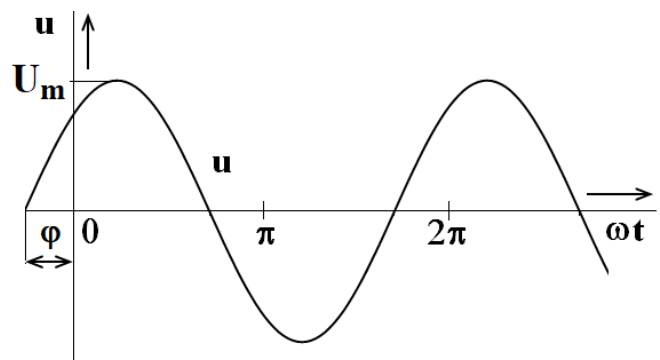
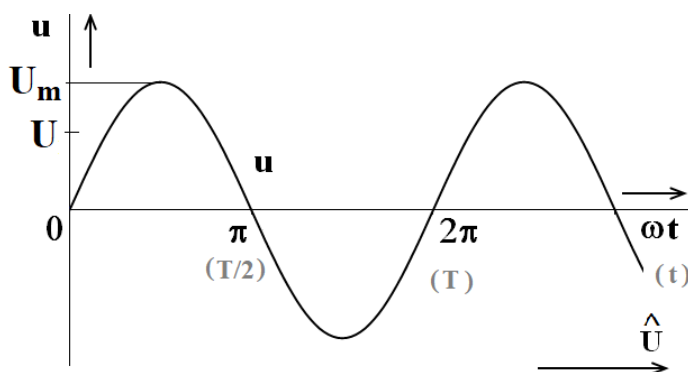
Obvody střídavého proudu

Základní pojmy

Časový průběh obvodových veličin v obvodu střídavého proudu je periodický, nejčastěji sinusový.

Fyzikální veličiny:

- okamžité hodnoty napětí a proudu – označují se malými písmeny u, i , popř. $u(t), i(t)$, aby se zdůraznila časová závislost
- perioda T (s)
- frekvence f (Hz) $f = \frac{1}{T}$
- úhlová frekvence $\omega = 2\pi f$ (rad/s)
- časový úhel ωt (rad) – vynáší se obvykle na vodorovnou osu grafu místo času (v závorce), protože to je výhodnější, tato osa se nemění při změně frekvence
- amplituda napětí a proudu U_m, I_m – maximální hodnota veličiny během celé periody
- rovnice sinusového průběhu (viz obrázky) $u(t) = U_m \sin \omega t$ (obecně $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, vlevo je počáteční fázový posun $\varphi = 0$, vpravo časový úhel φ)



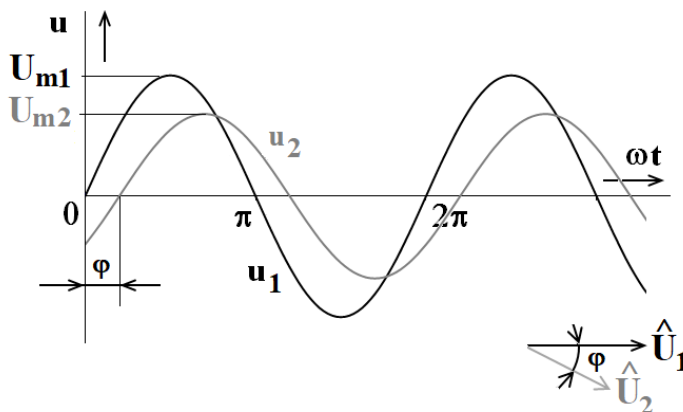
- efektivní hodnota střídavého napětí a proudu U_{ef} , I_{ef} nebo jen U , I – je to taková hodnota stejnosměrného proudu, který má stejné tepelné účinky jako tento střídavý proud; platí $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$; např. efektivní hodnota napětí v síti je 230 V
- není-li řečeno jinak, považuje se uvedená hodnota napětí nebo proudu automaticky za efektivní
- definice efektivní hodnoty veličiny $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$, pro sinusový průběh $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$
- často je výhodné střídavé veličiny zobrazovat jako fázory – orientované úsečky v určitém měřítku vzhledem k efektivní hodnotě veličiny; svírají spolu úhly odpovídající fázovému posunu, skládají se stejně jako vektory (např. síly) a počítá se s nimi pomocí komplexních čísel; znázornění napětí a proudů v obvodu se nazývá fázorový diagram

Na tomto obrázku je znázorněn časový průběh dvou napětí u_1 , u_2 s amplitudami U_{m1} , U_{m2} a fázovým posunem φ .

$$u_1(t) = U_{m1} \sin \omega t$$

$$u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t - \varphi)$$

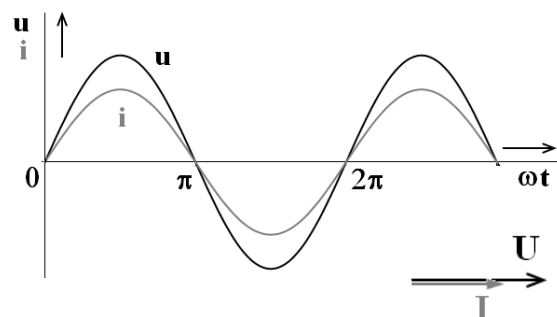
Pod časovým průběhem obou napětí je jejich fázorový diagram.



Pasivní prvky v obvodu střídavého proudu

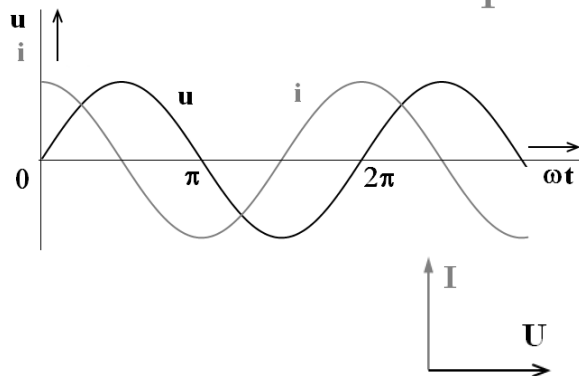
ODPOR

- ve střídavém obvodu při střídavém napětí $u(t)$ odporem R prochází proud $i(t)$
- pro efektivní hodnoty U a I platí Ohmův zákon v podobě $R = \frac{U}{I}$
- proud je ve fázi s napětím
- na obr. je časový průběh napětí a proudu a fázorový diagram ideálního rezistoru



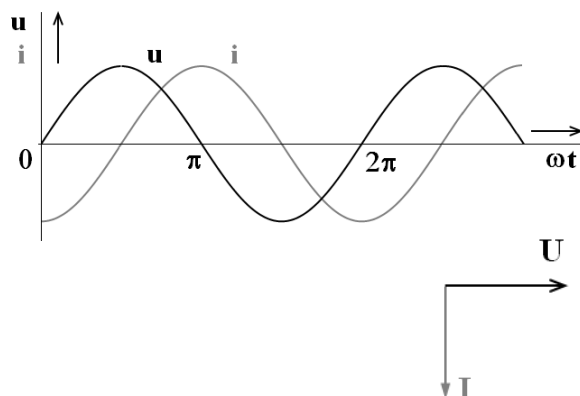
KAPACITA

- ve střídavém obvodu při střídavém napětí $u(t)$ kapacitou C prochází proud $i(t)$ omezený zdánlivým odporem – kapacitní reaktancí X_C
- X_C je nepřímo úměrná kapacitě C i frekvenci f : $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$
- pro efektivní hodnoty U a I platí Ohmův zákon v podobě $X_C = \frac{U}{I}$
- kapacitní proud předbíhá před napětím o $\pi/2$ (90°)



INDUKČNOST

- ve střídavém obvodu při střídavém napětí $u(t)$ vlastní indukčností L prochází proud $i(t)$ omezený zdánlivým odporem – induktivní reaktancí X_L
- X_L je přímo úměrná indukčnosti L i frekvenci f : $X_L = 2\pi fL = \omega L$
- pro efektivní hodnoty U a I platí Ohmův zákon v podobě $X_L = \frac{U}{I}$
- induktivní proud je zpožděn za napětím o $\pi/2$ (90°)

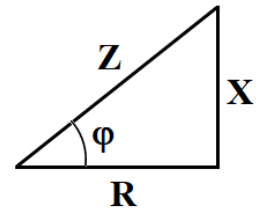


IMPEDANCE

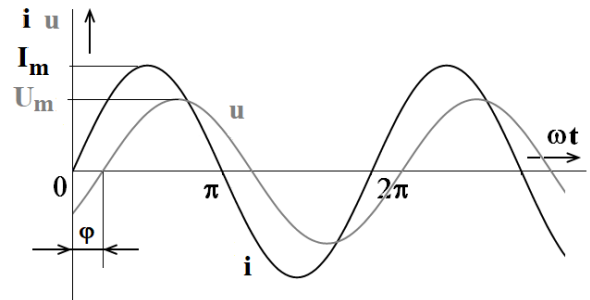
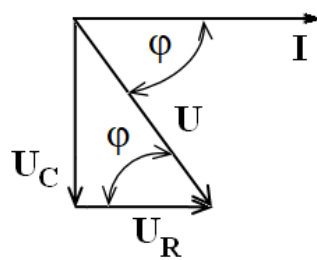
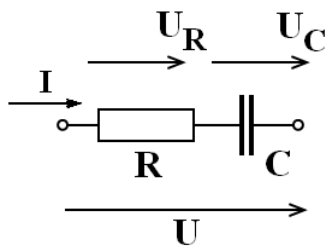
Impedance Z je zdánlivý odpor, který klade obvod při průchodu střídavého proudu. Platí Ohmův

$$\text{zákon } Z = \frac{U}{I}.$$

Vypočítá se z odporů a reaktancí prvků obvodu, které ovšem nelze sčítat algebraicky jako odpory, nýbrž podle vztahů, které lze vyčíst z trojúhelníka impedancí, kde X je celková reaktance obvodu.

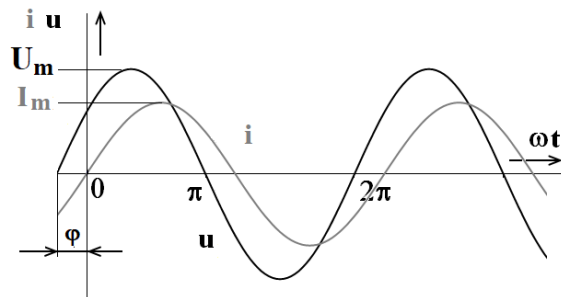
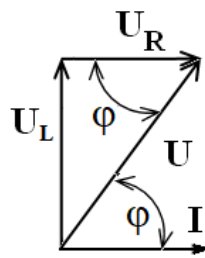
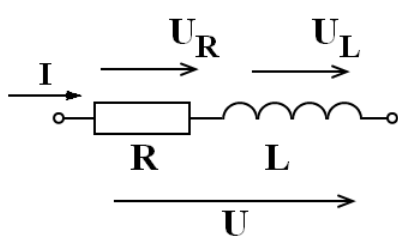


RC V SÉRII



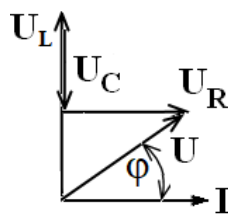
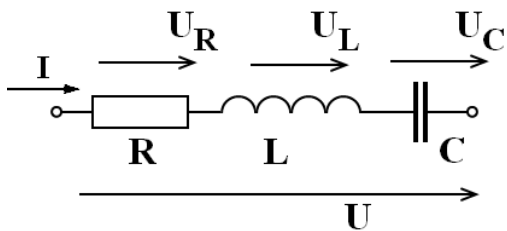
- R a C jsou zapojeny v sérii, proud předbíhá před napětím o úhel φ , obvod má odporově kapacitní charakter
- $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$
- platí $\frac{X_C}{R} = \frac{U_C}{U_R} = \text{tg } \varphi$

RL V SÉRII



- R a L jsou zapojeny v sérii, napětí předbíhá před proudem o úhel φ , obvod má odporově induktivní charakter
- $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$
- platí $\frac{X_L}{R} = \frac{U_L}{U_R} = \text{tg } \varphi$

RLC V SÉRII



- R , L a C jsou zapojeny v sérii
- $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$
- reaktance mají opačný charakter, působí proti sobě
- jestli předbíhá napětí před proudem nebo naopak závisí na tom, která reaktance je větší
- platí $\frac{|X_L - X_C|}{R} = \frac{|U_L - U_C|}{U_R} = \text{tg } \varphi$
- uvedený fázorový diagram odpovídá obvodu s větší X_L než X_C , obvod má tedy odporově induktivní charakter

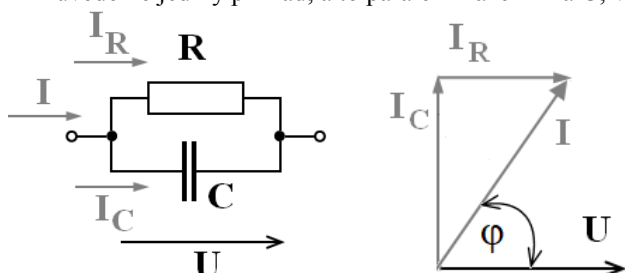
SÉRIOVÝ REZONANČNÍ OBVOD

- jestliže je v sériovém obvodu RLC (který v praxi tvoří kondenzátor a cívka) stejně veliká X_L jako X_C , reaktanční složka impedance je nulová, obvod má pouze činný odpor ($Z = R$) a dochází k tzv. rezonanci

- rezonance nastává při frekvenci $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (Thomsonův vztah), který lze odvodit z rovnosti $X_L = X_C$,
tedy $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$

OBVODY S R, L, C PARALELNĚ

- uvedeme jediný příklad, a to paralelní řazení R a C; výpočet impedance je složitější

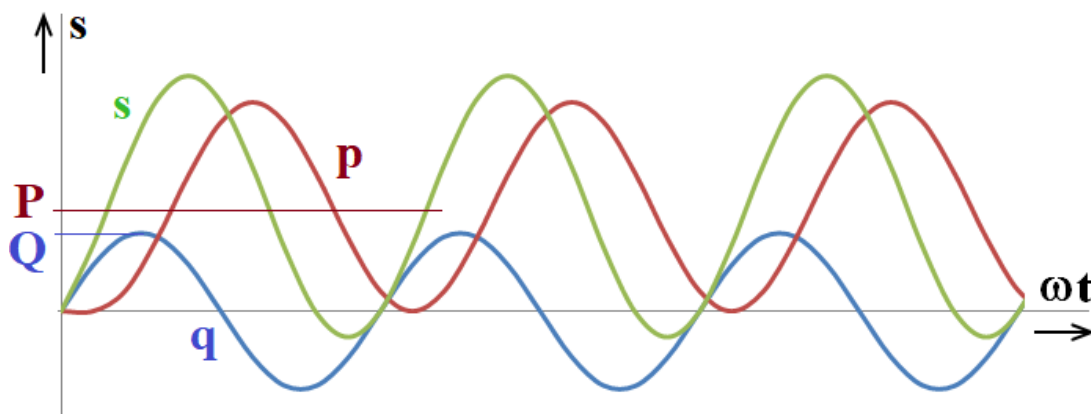


PARALELNÍ REZONANČNÍ OBVOD

- paralelním spojením kondenzátoru a cívky vznikne paralelní rezonanční obvod (náhradní schéma R, L, C paralelně), který se v praxi používá mnohem víc než sériový, hlavně ve sdělovací technice (vysílače a přijímače)
- pro rezonanční frekvenci platí opět Thomsonův vztah $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Výkony střídavého proudu

Vzhledem k fázovému posunu mezi napětím a proudem má okamžitý výkon $s(t) = u(t) \cdot i(t)$ sinusový průběh (křivka s). Ten lze rozdělit na dvě křivky. První je nezáporný výkon (křivka p), jehož střední hodnota je činný výkon P (W) a jde o jediný „užitečný“ výkon, který jde ze zdroje do zátěže. Ten také odpovídá výkonu stejnosměrného proudu $U \cdot I$. Druhou křivkou je střídavý výkon (křivka q), jehož amplituda je jalový výkon Q (var – voltampéry reaktanční). Ten si neustále periodicky předávají indukčnosti a kapacity obvodu, ale jeho střední hodnota je nulová. Zdánlivý výkon S (VA – voltampéry) je součin efektivních hodnot napětí a proudu.



V praxi se používají tyto tři druhy výkonů, které se spočítají podle vztahů:

$$S = UI$$

$$P = UI \cos \varphi$$

Podle tzv. spotřebičové orientace je činný výkon zdrojů záporný a činný výkon spotřebičů kladný. Jako účinnost se označuje $\cos \varphi$. Může mít induktivní nebo kapacitní charakter. V sítích je induktivní a pohybuje se obvykle kolem 0,9.

$$Q = UI \sin \varphi$$

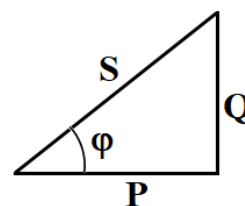
Podle dohody se považuje induktivní jalový výkon za kladný (spotřebovaný) a kapacitní jalový výkon za záporný (dodávaný). „Spotřebiči“ jalového výkonu jsou např. motory a transformátory, jako „zdroje“ se chovají např. generátory v elektrárnách a kondenzátory. Při poklesu účinnosti v síti, kdy se zvětšuje spotřeba jalového výkonu, je třeba kompenzovat účinnost připojením prvků kapacitního charakteru.

Všechny vztahy mezi výkony se dají snadno vyčíst z tzv. trojúhelníku výkonu.

Platí podle Pythagorovy věty

$$S^2 = (UI)^2 = (UI)^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) = (UI \cos \varphi)^2 + (UI \sin \varphi)^2 = P^2 + Q^2$$

$$\text{Dále platí např. } \frac{P}{S} = \cos \varphi \quad \frac{Q}{S} = \sin \varphi \quad \frac{Q}{P} = \tan \varphi$$



Trojfázová soustava

Soustava s „jednoduchým“, tedy jednofázovým střídavým napětím, má mnoho nevýhod z hlediska výroby, přenosu i části spotřeby (mimo větší část domácích spotřebičů). Na konci 19. století ve „válce proudů“ zvítězili Westinghouse s Teslou nad Edisonem a začali používat dvoufázovou střídavou soustavu. Ukázalo se však, že trojfázová soustava je výhodnější (Dobrovolskij) hlavně z hlediska přenosu.

Trojfázovou soustavu tvoří tři střídavá sinusová napětí posunutá navzájem o třetinu periody ($T/3$) neboli $2\pi/3$ (120° elektrických). Tato napětí vznikají v trojfázových generátorech pracujících s točivým magnetickým polem. Platí

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t \quad u_2(t) = U_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad u_3(t) = U_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

Pro provoz trojfázové soustavy je žádoucí, aby měla souměrné zatížení, tj. proudy a účinníky a ve všech fázích byly stejné. Zdroje i spotřebiče trojfázové soustavy lze zapojit dvojím způsobem – do hvězdy nebo do trojúhelníka.

U napětí a proudů se rozlišují fázové a sdružené hodnoty. Fázové se označují indexem f , sdružené s nebo jsou bez indexu.

ZAPOJENÍ DO HVĚZDY

Konce impedancí zdrojů nebo spotřebičů všech fází jsou spojeny do uzlu (obrázek vlevo na další stránce ukazuje spotřebič se stejnými impedancemi ve všech fázích spojenými do hvězdy).

Sdružená hodnota napětí je mezi fázemi navzájem, fázová mezi fázemi a uzlem. Platí

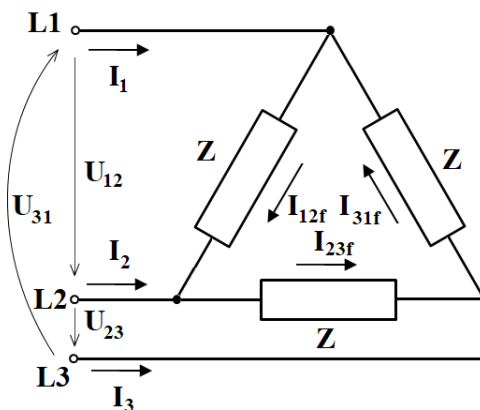
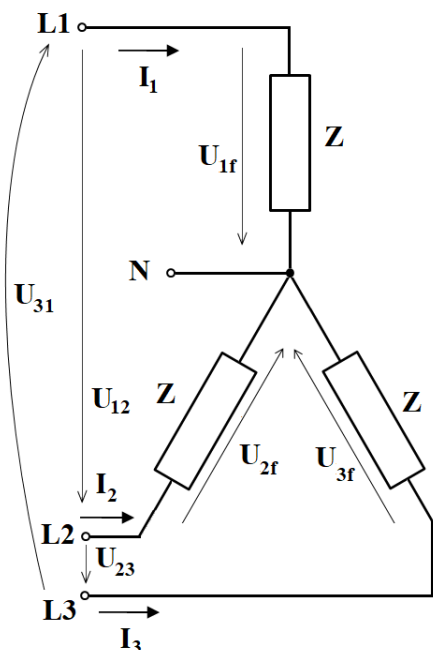
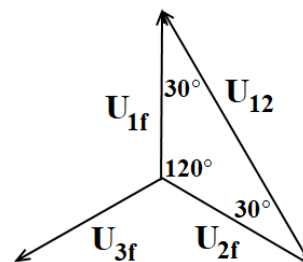
$$U = U_f \sqrt{3}. \text{ To plyne z fázorového diagramu (vpravo)}$$

V souměrné soustavě napětí platí $U_{12} = U_{23} = U_{31}$ (efektivní sdružené hodnoty), a také

$$U_{1f} = U_{2f} = U_{3f} \text{ (efektivní fázové hodnoty).}$$

Fázové a sdružené proudy jsou stejné: $I_f = I$. Při souměrném zatížení platí $I_1 = I_2 = I_3$,

Hvězda může mít vyvedený střed (uzel). Jednofázové rozvody obsahují vždy jednu ze tří fází L1, L2 nebo L3 a střední vodič N.



ZAPOJENÍ DO TROJÚHELNÍKA

Impedance zdrojů nebo spotřebičů jsou zapojeny mezi fázemi (obrázek vlevo ukazuje spotřebič se stejnými impedancemi ve všech fázích spojenými do trojúhelníka).

Fázová a sdružená napětí jsou stejná: $U_f = U$.

Fázové proudy tečou impedancemi, sdružené proudy ze sítě. Platí $I = I_f \sqrt{3}$.

VÝKONY V TROJFÁZOVÉ SOUSTAVĚ

Zdánlivý výkon v trojfázové souměrné soustavě se souměrným zatížením $S = 3U_f I_f$.

Ve hvězdě $S = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I = \sqrt{3}UI$. V trojúhelníku $S = 3U \frac{I}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}UI$, výsledek je stejný a platí bez ohledu na spojení.

Podobně platí $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$, $Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$.