

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky
a mezioborových inženýrských studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2007

Tomáš Erlebach

Technická univerzita v Liberci

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B2612 – Elektronika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické a informační systémy

Studijní materiály pro předmět „Elektrotechnika“ v systému CLIX

Study materials for subject "Electrotechnics" in system CLIX

Bakalářská práce

Autor:	Tomáš Erlebach
Vedoucí práce:	Doc. Ing. Eva Konečná, CSc.
Konzultant:	Ing. Igor Kopetchke

V Liberci dne 18.5.2007

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088980

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Katedra: KEL

Akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Tomáš Erlebach**

studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika

obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu: **Studijní materiály pro předmět „Elektrotechnika“ v systému CLIX**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se se systémem CLIX, jeho obsluhou, vytvořením a úpravou vkládaných materiálů spolu s možnostmi využití do něho zařazených materiálů ke studiu.
2. Pro předmět Elektrotechnika zpracujte vhodné studijní materiály na lineární 1-fázové a 3-fázové elektrické obvody v ustáleném stavu, způsoby řešení těchto obvodů, výkony a měření elektrických veličin.
3. Studijní materiály zpracujte do takové formy, aby byly v CLIXu snadno reprodukovatelné a dostupné.
4. Ke každé kapitole vypracujte zkušební otázky na prověřování znalostí studentů.
5. Vyhodnoťte zpracování studijních materiálů v CLIXu, jejich ovladatelnost, přístupnost a přínos ke snadnějšímu pochopení principu činnosti lineárních elektrických obvodů.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 21/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Tomáš Chalich

18.5.2007

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí mé bakalářské práce, Doc. Doc. Ing. Eva Konečná, CSc., za cenné rady, připomínky a výklad potřebné teorie, Ing. Igor Kopetchkemu za rady potřebné pro práci se systémem CLIX. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodičů za vytvoření skvělých studijních podmínek.

Tomáš Erlebach

Studijní materiály pro předmět „Elektrotechnika“ v systému CLIX

Abstrakt

Cílem bakalářské práce bylo vypracování studijních materiálů pro předmět "Elektrotechnika" pro fakultu strojní a fakultu textilní a vypracovat k nim testové otázky. Vypracované materiály jsem měl za úkol převést do e-learningového systému CLIX. Práce je zprvu zaměřena na systém CLIX, jeho ovládní, nahráním studijních materiálů, vytváření nového kurzu a jeho zveřejněním. Dále se zabývá testovými otázkami, jejich vložení do CLIXu a jejich následným využitím. Zjištěné poznatky lze uplatnit pro vytváření kurzu, výuku studentů a jejich testování pomocí e-learningového systému CLIX.

Study materials for subject "Electrotechnics" in system CLIX

Abstrakt

Main point of my bachelors work was creation of study materials for subject "Electrotechnics" for faculty of mechanical engineering and textile and create test questions for it. I had to convert these materials to e-learning system CLIX. At first this work is aimed at system CLIX, its controlling, uploading study materials, creating new course and its publishing. Then it deals with test questions, theirs upload to CLIX and following usage. Learnt experiences can be used to create course, education for students and their testing via e-learning system CLIX.

OBSAH

1	Úvod.....	7
1.1	Úvod do systému CLIX.....	7
1.2	Prostředí systému CLIX.....	7
1.3	Vložení studijních materiálu do systému CLIX.....	8
1.4	Vkládání medií.....	9
1.5	Založení nového kurzu.....	9
1.6	Zveřejnění kurzu.....	11
1.7	Přihlášení do kurzu.....	12
2	Studijní materiály.....	15
2.1	Základní poznatky o elektrických a magnetických polích.....	15
2.1.1	Elektrické pole.....	15
2.1.2	Magnetické pole.....	17
2.1.3	Problematika řešení magnetických obvodů.....	22
2.2	Elektrické obvody.....	24
2.2.1	Zdroje napětí a proudu.....	25
2.2.2	Stejnoseměrné obvody.....	26
2.2.3	Střídavé obvody.....	30
2.3	Trojfázová soustava.....	39
2.4	Výkony střídavých soustav.....	43
2.5	Přechodové děje v lineárních elektrických obvodech.....	47
2.5.1	Přechodové děje v obvodech se zdrojem stejnosměrného napětí.....	47
2.5.2	Přechodové děje v obvodech se zdrojem střídavého sinusového napětí.....	51
3	Zpracování studijních materiálů.....	52
4	Otázky.....	53
4.1	Vkládání testových otázek do systému CLIX.....	53
4.1.1	Vkládání úkolů.....	53
4.1.2	Vytvoření testu.....	56
4.1.3	Přidání testu do kurzu.....	58
4.2	Testovací Otázky.....	59
4.2.1	Základní poznatky o elektrických a magnetických polích.....	59
4.2.2	Elektrické obvody.....	60
4.2.3	Trojfázová soustava.....	63
4.2.4	Výkony střídavých soustav.....	64
4.2.5	Přechodové děje v lineárních elektrických obvodech.....	64
5	Závěr.....	66
	Použitá literatura.....	67

1 Úvod

K předmětu Elektrotechnika existuje spousta studijních materiálů, ale ne všechny jsou pro výuku na fakultě strojní a fakultě textilní vhodné. Proto jsem pro výuku na těchto fakultách vytvořil stručné a přitom dostatečně obsáhlé materiály pro výuku tohoto předmětu, zahrnující základy elektrických polí, základy elektrických obvodů, trojfázové soustavy, výkony střídavých soustav a přechodné jevy. Sepsané přednášky jsem implementoval do systému CLIX, aby byly studentům volně k dispozici. Nakonec jsem ke každé kapitole vypracoval kontrolní otázky pro vytvoření zpětné vazby mezi studentem a vyučujícím.

1.1 Úvod do systému CLIX

Systém CLIX je webová e-learningová aplikace. Slovíčko e-learningová znamená, že se jedná o systém elektronického vzdělávání. Tato forma studia v dnešní moderní a uspěchané době získává na své důležitosti. Času na studium ubývá a e-learningové systémy dovolují flexibilní a časově nevázaný přístup ke studijním materiálům. Stačí pouze vlastnit počítač a připojení k internetu a máme možnost přístupu ke studijním materiálům v jakoukoliv denní hodinu.

Na Technické univerzitě v Liberci úlohu elektronického vzdělávání vykonává systém CLIX. V mé práci se pokusím popsat jeho základní prostředí, nahrávání medií, vytváření kurzů, testů a jejich zveřejnění.

1.2 Prostředí systému CLIX

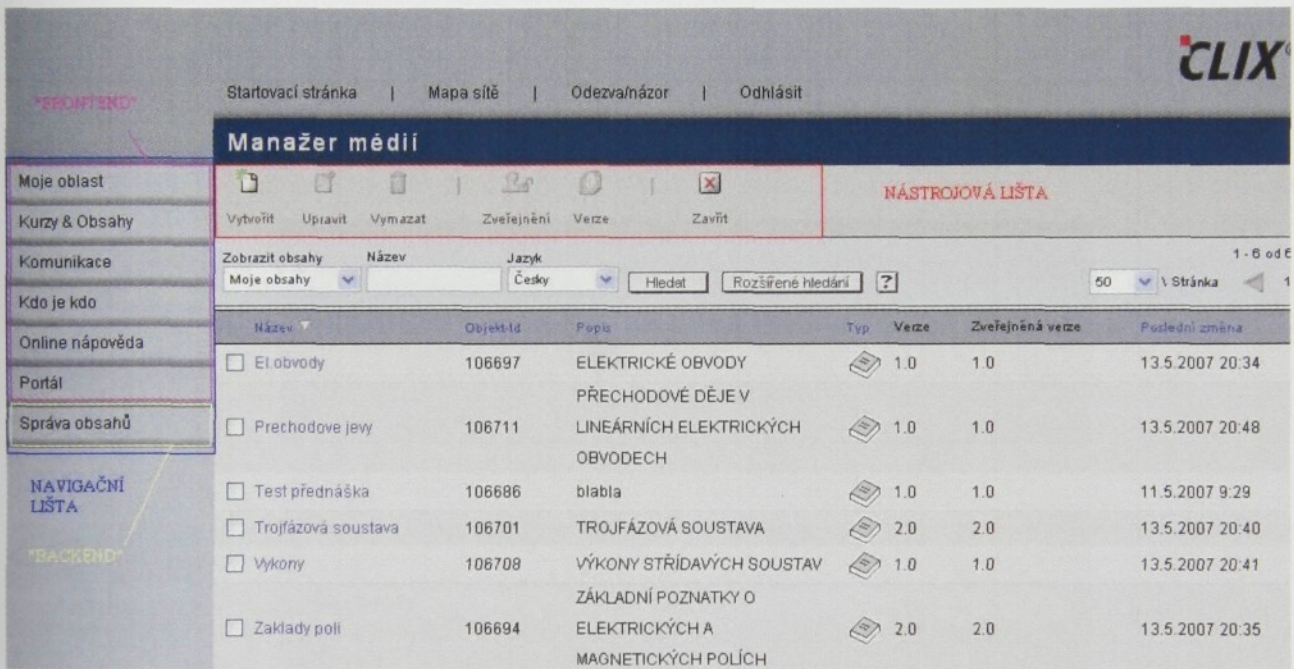
Pro přístup do systému CLIX je třeba se do něho přihlásit pomocí uživatelského jména a hesla. Možnost přihlášení má každý student Technické univerzity v Liberci. Pro vkládání kurzů a správu obsahu musí mít uživatel k tomu potřebná práva, která mi přiřadil Ing. Igor Kopetchke.

Systém CLIX se ovládá pomocí dvou základních prvků: navigační lišty a nástrojové lišty(obr.1-1).

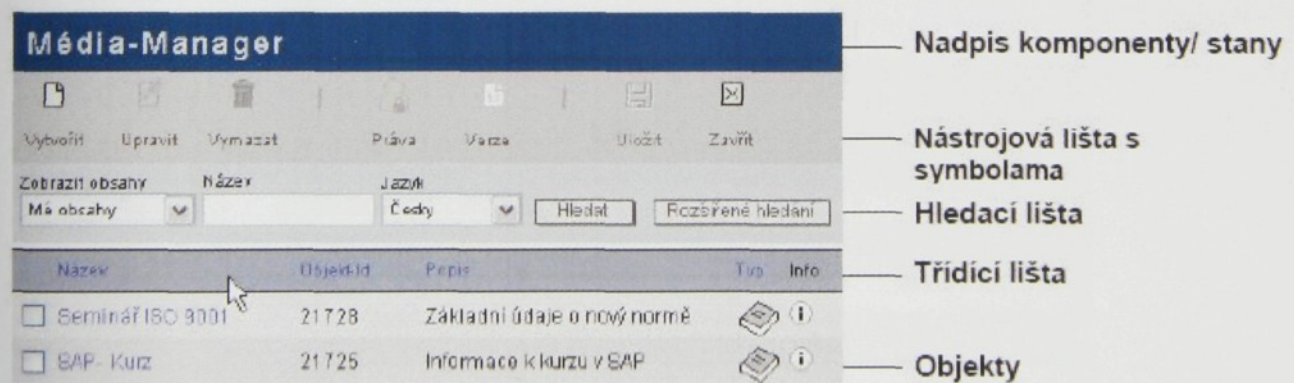
Navigační lišta slouží k navigaci ve výukové platformě a dělí se na tzv. "Frontend" a "Backend" část. "Frontend" slouží k navigaci uživatele v CLIXu a "Backend" slouží administrátorům ke správě systému CLIX. V systému CLIX nemusíte navigovat výhradně pomocí navigační lišty, nýbrž máte možnost navigovat také pomocí takzvané "mapy sítě". Kliknutím na "mapu sítě" v hlavičce CLIX-stránky se otevře okno prohlížeče, ve kterém jsou strukturovaným způsobem vypsány všechny navigační body a navigační podbody. Kliknutím

na navigační bod se otevře příslušná stránka. Kromě toho je toto okno vybaveno vyhledávací funkcí, která umožňuje hledat různé záznamy.

Každá "Backend"-komponenta disponuje jednou nástrojovou lištou. Uspořádání nástrojové lišty je závislé na příslušné stránce. Slouží především k vytváření a upravování objektů např. kurzu, testu, medií,... . Na obr.1-2 je znázorněn příklad složení komponenty.



Obr.1-1 Prostředí CLIXu



Obr.1-2 Složení komponenty

1.3 Vložení studijních materiálu do systému CLIX

Pro zpřístupnění studijních materiálů studentům v systému CLIX musíme vytvořit virtuální kurz. Student se do něho musí přihlásit aby měl možnost přístupu ke studijním materiálům. Kurzy jsou bohužel časově omezené. Abychom mohli založit nový kurz musíme nejdříve nahrát do systému CLIX media (data), která chceme zveřejnit (dokumenty,audio,video,..) v našem případě dokumenty ve formátu pdf.

1.4 Vkládání medií

V “Backend” části navigační lišty vybereme komponentu >Správa obsahu > Média > Manažer medií. V nástrojové liště klikneme na symbol >Vytvořit<. Objeví se okno, kde máme možnost vybrat si jazyk, zvolíme český jazyk.V dalším okně máme možnost vybrat si typ vkládaného media, zvolíme dokument.V následujícím formuláři vyplníme následující údaje: název, popis, klíčová slova, šířka, výška (viz obr.1-3). Všechny tyto údaje jsou povinné. Nesmíme zapomenout na nahrání dokumentu do systému CLIX (upload). Poté v nástrojové liště vybereme symbol >Uložit< a potvrdíme. Tímto způsobem nahrajeme do systému všechny studijní texty.

Obr.1-3 Manažer médií

1.5 Založení nového kurzu

Opět v “Backend” části navigační lišty vybereme komponentu > Správa obsahu > Kurzy > Manažer kurzů. V nástrojové liště klikneme na symbol >Vytvořit<. Objeví se okno, kde máme možnost vybrat si jazyk, vybereme český jazyk.V dalším okně máme možnost vybrat si studijní formu, zvolíme online kurz. Dále dostaneme na výběr typ kurzu, který si buď můžeme sami vytvořit nebo vybrat z již vytvořených. Ve formuláři vyplníme potřebné

údaje: název, popis, začátek a konec kurzu, dobu přístupu před začátkem kurzu, status plánování, administrátora, přímou rezervaci a zobrazení v katalogu (viz obr.1-4).V záložce >Tutoři/Partneři< máme možnost přidat tutorý a partnery. Poté v nástrojové liště vybereme symbol >Uložit< a potvrdíme. Tímto postupem jsme založili nový kurz.

Upravit: Elektrotechnika

Náhled
Uložit
Zavřít

Popis
Komponenty
Studijní logika
Témata
Odbornosti
Komunikace
Knihovna
Dotazníky
Tutoři / Partneři
Zdroje

Název*

Elektrotechnika

Popis

Základy elektrotechniky pro strojní a textilní fakultu

Studijní cíl

Začátek*

14.5.2007 8:00

Konec*

20.7.2007 8:00

Doba přístupu před začátkem

3

Den(dny)

Doba trvání přístupu

Měsíc(e)

Status plánování

zveřejněno

Místo

Cena

0.00

Body k dobru

Provedení kurzu

interní

Obr. 1.5 Úprava nového kurzu

Administrátor
Erlebach, Tomáš

max. počet účastníků
0

Způsob rezervace
Přihlášení vlastní osobou

Přímá rezervace
Ano

Zobrazení v katalogu do
12.7.2007 20:55

Stornování vlastní osobou
Žádné stornování vlastní osobou

☐ Automatické posunutí

Demo Text odkazu

Demo URL
http://

Začátek kurzu
Úvodní stránka kurzu

Klíčová slova

☒ Aktualizace popisu
☒ Aktualizace struktury
☒ Viditelnost přes typ kurzu

Obr.1-4 Tvorba kurzu

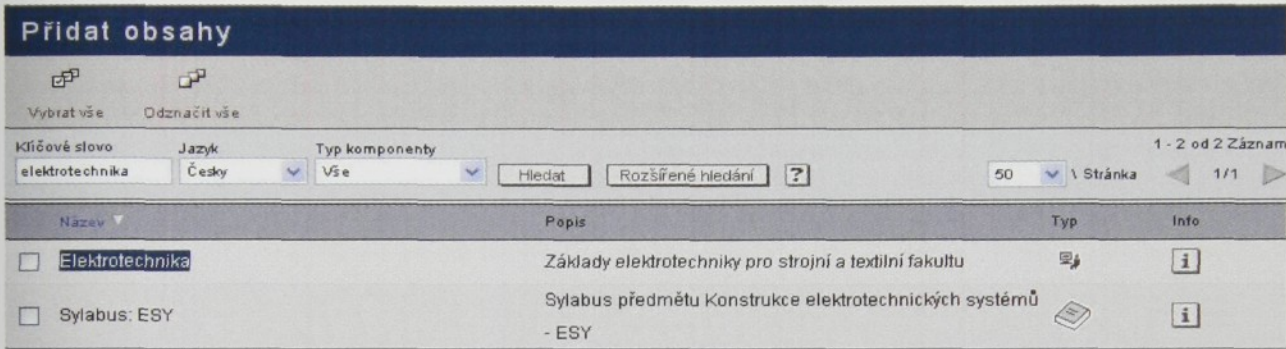
1.6 Zveřejnění kurzu

Vytvořený kurz je potřeba zveřejnit, aby se do něho mohl student přihlásit a měl možnost přístupu ke studijním textům. V “Backend” části navigační lišty vybereme komponentu >Správa obsahu > Katalogy > Úprava obsahu katalogu. Vybereme do jakého katalogu chceme kurz vložit, v našem případě zvolíme katalog s názvem “Kurzy pro studenty FS“(obr.1-5).

Úprava obsahu katalogů			
Hlavní katalog			
Upravit Zavřít			
Název katalogu	Katalog-ID	Počet obsahů	Info
☐ Katalog pro sezonu 2005	20140	2	
☐ Kurzy pro studenty FM	26760	32	
☒ Kurzy pro studenty FS	103067	2	
☐ Materiály pro zaměstnance FM	103913	1	
☐ Katalog pro studenty PF	104368	2	

Obr.1-5 Úprava obsahu katalogů

V nástrojové liště klikneme na symbol >Upravit<. Dále klikneme na symbol >Přidat<. Otevře se nám nové okno, ve kterém se přidávají obsahy (obr.1-6). Do kolonky “Klíčové slovo” zadáme jméno kurzu a zaškrtneme ho. V levém dolním rohu potvrdíme výběr tlačítkem >Přidat< a tlačítkem >Zavřít< se vrátíme zpět. V nástrojové liště klikneme na symbol >Uložit< a >Zavřít<. Tímto jsme zveřejnili kurz a studenti se do něho mohou přihlásit.



Obr.1-6 Přidání obsahu

1.7 Přihlášení do kurzu

Student, který se chce účastnit kurzu a mít přístup ke studijním materiálům, se musí přihlásit nejdříve do systému CLIX a poté do kurzu následujícím způsobem. Pro přihlášení do CLIXu musí student zadat přihlašovací údaje: jméno ve tvaru jméno.příjmení a heslo, které je shodné s heslem do školní sítě Liane. Po přihlášení klikne v “Frontend” části navigační lišty na položku > Kurz & obsahy > Katalog kurzů. Zvolí si katalog a najde kurz, na který se chce přihlásit (obr.6). Kliknutím na jméno kurz se otevře okno s informacemi o kurzu (obr.1-7). Přihlášení do kurzu proběhne po kliknutí na symbol nákupního košíku.

Katalog kurzů

Přehled

Hledat

?

Použít vyhledávací profil

Zobrazit vše

Zobrazit nákupní koš

Náhled tisk

Struktura katalogu

Zpět

Vše otevřít

Kurzy pro studenty FM

Katalog pro sezonu 2005

Kurzy pro studenty FM

Kurzy pro studenty FS

Materiály pro zaměstnance FM

Katalog pro studenty PF

Vytvořeno dne: 17.4.2007 7:05

Cena: zdarma

Volná místa: 2

Počítačová grafika

17.4.2007 8:00 - 17.7.2007 8:00

Část předmětu Počítačová grafika

Administrátor kurzu: RNDr. Klára Císařová

Vytvořeno dne: 16.4.2007 14:53

Online kurz

Česky

Rezervace provedená studentem

Cena: zdarma

Volná místa: 176

Erlebach - kurs JAVA Nový

11.5.2007 10:00 - 12.6.2007 8:00

Erlebach - kurs JAVA

Administrátor kurzu: Tomáš Erlebach

Vytvořeno dne: 11.5.2007 9:31

Online kurz

Česky

Rezervace provedená studentem

Cena: zdarma

Volná místa: neomezeně

Elektrotechnika Nový

14.5.2007 8:00 - 20.7.2007 8:00

Základy elektrotechniky pro strojní a textilní fakultu

Administrátor kurzu: Tomáš Erlebach

Vytvořeno dne: 13.5.2007 20:51

Online kurz

Česky

Rezervace provedená studentem

Cena: zdarma

Volná místa: neomezeně

Obr.1-6 Katalog kurzů

Kurz-Info

Elektrotechnika

Studijní forma:

Online kurz

Popis:

Základy elektrotechniky pro strojní a textilní fakultu

Začátek:

14.5.2007 8:00

Konec:

20.7.2007 8:00

Doba přístupu před začátkem:

3 Den(dny)

Doba trvání přístupu:

neomezeně

Cena:

zdarma

Provedení kurzu:

interní

Administrátor:

Erlebach, Tomáš

max. počet účastníků:

neomezeně

Způsob rezervace:

Přihlášení vlastní osobou

Přímá rezervace:

Ano

Zobrazení v katalogu do:

12.7.2007 20:55

Stornování vlastní osobou:

Žádné stornování vlastní osobou

Začátek kurzu:

Úvodní stránka kurzu

Tutor:

doc. Ing. CSc. Eva Kopecká

Zavřít

Tisknout

Obr.1-7 Info o kurzu

Pro nahlédnutí do svého kurzu musí student vybrat ve “Frontend” části navigační lišty na položku > Moje oblast> Moje kurzy> Rezervované kurzy. Zde jsou vypsané veškeré kurzy, na které je přihlášen (obr.1-8). Otevře vybraný kurz a v nástrojové liště klikneme na symbol >Studijní plán<. V nově otevřené nabídce jsou k dispozici studijní materiály (obr.1-9), do kterých může nahlédnout a případně i vytisknout.

Rezervované kurzy

Zde se dozvíte, ke kterým kurzům jste přihlášen/a, kdy jste rezervovali a kdy začali kurz. Pokud chcete začít nějaký kurz, klikněte na Název kurzu.

Název

Jazyk

Vše

Hledat

Rozšířené hledání

50

1 Stránka

1/1

Název	Status	Termín rezervace	Začátek kurzu	Konec kurzu	Stornovat	Ukončit
EM_LS07(Přiva)		9.3.2007	19.2.2007	25.5.2007	Zažádat o stornování	Ukončit kurz
ESY - Konstrukce elektrotechnických systémů		17.4.2007	2.4.2007	2.7.2007	Zažádat o stornování	Ukončit kurz
Elektrotechnika		14.5.2007	14.5.2007	20.7.2007		Ukončit kurz
Erlebach - kurs JAVA		11.5.2007	11.5.2007	12.6.2007		Ukončit kurz
Počítačová grafika		17.4.2007	17.4.2007	17.7.2007		Ukončit kurz

Obr.1-8 Rezervované kurzy

Elektrotechnika

Úvodní stránka
 Studijní plán
 Kalendář
 Účastník
 Popis

Zde naleznete veškeré komponenty kurzu. Komponenty zobrazené jako odkaz mohou být zpracovány. Pokud je stanovena hierarchická struktura, můžete soubor kliknutím na + nebo - otevřít nebo zavřít. Sloupec Zveřejnění ukazuje časový okamžik, ke kterému je komponenta zveřejněna. Status symbolizuje studijní pokrok. Odkaz ve sloupci Detaily vede k bližšímu vysvětlení komponenty.

Hledat

Tisknout

Poslední stav zpracování

Přehled

Komponenta kurzu	Detaily	Typ	Zveřejnění	Status	Moje poznámky
Elektrotechnika	Pokyny				
Zaklady poli	Pokyny				
Elobyvody	Pokyny				
Trojfázová soustava	Pokyny				
Vykony	Pokyny				
Prechodove jevy	Pokyny				

Obr.1-9 Kurz Elektrotechnika

2 Studijní materiály

2.1 Základní poznatky o elektrických a magnetických polích

Výsledkem poznatků, získaných v předcházejících desetiletích, bylo zjištění, že současně s látkovou formou hmoty existuje ještě jiná forma hmoty, která se kvalitativně i kvantitativně liší od látky. Touto formou hmoty je pole.

Stejně jako látka může mít různé formy a stavy, jsou i různé formy polí. V současnosti je známé pole elektromagnetické, gravitační, vnitrojaderných sil a pod.

Látka a pole mají mnoho společných vlastností, mají ale i vlastnosti specifické jen pro určitou formu hmoty. Mezi společné vlastnosti patří hlavně ty, pro které platí zákony zachování (např. energie, hmotnosti, hybnosti a pod.). Ke specifickým vlastnostem elektromagnetického pole patří např. to, že částice elektromagnetického pole - fotony - nemají klidovou hmotnost, elektromagnetické pole vyplňuje nepřetržitě prostor mezi částicemi látky a může se s nimi z hlediska makroskopického nacházet ve stejném objemu. Látka naopak může mít různé skupenství, což u pole neexistuje.

V současnosti se nesledují elektrické a magnetické pole jako samostatné formy hmoty, ale jako dvě složky jediného elektromagnetického pole.

2.1.1 Elektrické pole

Objektivně existující elektromagnetické pole se jeví pozorovateli jako elektrostatické tehdy, když je těleso s elektrickým nábojem, jehož pole se sleduje, vůči němu nehybné. Elektrický náboj soustředěný do jednoho bodu se nazývá bodový náboj. Elektrické pole se projevuje silovým působením na elektrické náboje.

Dva kladné náboje $+Q_1$ a $+Q_2$ působí ve vakuu na sebe silou danou Coulombovým konem. Platí

$$F = |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2}, \quad (1.1)$$

kde síla F je udávána v newtonech (N), náboje Q_1 , Q_2 v coulombech (C) a vzdálenost mezi náboji r v metrech (m).

Konstanta ϵ_0 vyplývá ze soustavy SI, nazývá se permitivita vákua nebo dielektrická konstanta a má velikost

$$\varepsilon_0 = \frac{10^7}{4 \cdot \pi \cdot c_0^2} = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ [F} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (1.2)$$

Konstanta $c_0 = 2,9986 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ je rychlost světla ve vakuu. Bylo zjištěno, že dva nesouhlasné náboje se přitahují, dva souhlasné odpuzují. Tím je určený smysl působení sil.

Mírou silového působení elektrického pole je intenzita elektrického pole E udávaná v jednotkách volt na metr – Vm^{-1} .

V technické praxi je intenzita elektrického pole důležitá zejména tím, že udává elektrické namáhání izolačních materiálů (dielektrik) v elektrickém poli. Nesmí být překročena tzv. elektrická pevnost materiálu, tj. určitá hodnota intenzity elektrického pole $E_{\max}$ platná pro daný materiál, jinak dojde k elektrickému průrazu izolace.

V izolačním prostředí (dielektriku) vyvolává intenzita elektrického pole E elektrický indukční tok a elektrickou indukci

$$\overline{D} = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \overline{E} \quad [\text{C} \cdot \text{m}^{-2}; -; \text{F} \cdot \text{m}^{-1}, \text{V} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (13)$$

kde ε_0 je permitivita vakua, ε_r je poměrná permitivita dielektrika (-). Součin $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ se nazývá absolutní permitivita.

Intenzita elektrického pole E a elektrická indukce D jsou vektorové veličiny, k jejich úplnému určení je třeba znát nejen jejich velikost, ale i směr a smysl (orientaci) v prostoru. Při grafickém znázornění rozložení elektrického pole se kreslí tzv. silové čáry, jejichž směr udává směr intenzity elektrického pole v daném místě. Obecně to jsou křivky, v jednoduchém případě homogenního pole mezi deskovými elektrodami to jsou úsečky vedoucí od elektrody s kladným nábojem (+) ke druhé elektrodě.

Dráhový integrál intenzity elektrického pole mezi body **A** a **B** se nazývá elektrické napětí, které je definované vztahem

$$U_{AB} = \int_B^A \overline{E} \cdot d\overline{l} \quad (1.4)$$

nebo v případě potenciálového pole jako rozdíl elektrických potenciálů

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

Potenciál bodu **A**, resp. **B** je možné chápat jako napětí mezi daným místem a vztažným bodem s nulovým potenciálem, který se obvykle předpokládá v nekonečnu. Tedy

$$U_{AB} = \int_A^B \overline{E} \cdot d\overline{l} = \int_A^\infty \overline{E} \cdot d\overline{l} + \int_B^\infty \overline{E} \cdot d\overline{l} = \int_A^\infty \overline{E} \cdot d\overline{l} - \int_B^\infty \overline{E} \cdot d\overline{l} = \varphi_A - \varphi_B$$

2.1.2 Magnetické pole

Okolo každého permanentního magnetu vzniká magnetické pole charakteristické tím, že je časově stálé. Proto se nazývá polem magnetostatickým.

Magnetické pole ale vzniká i okolo vodiče, kterým protéká elektrický proud. Stejnoseměrným proudem vytvořené pole se nazývá stacionárním, má statický charakter a je ekvivalentní magnetostatickému poli.

Magnetické pole v prostoru se projevuje silovými účinky na vodiče, kterými protéká proud a nebo také tím, že ve vodičích pohybujících se v magnetickém poli se indukují napětí. Mírou síly tohoto pole je intenzita magnetického pole $\mathbf{H}$, udávaná v jednotkách ampér na metr ($\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$). Podobně jako u elektrického pole znázorňuje se rozložení magnetického pole silovými čarami, které udávají směr veličiny $\mathbf{H}$ v jednotlivých místech. Tyto čáry mají pro přímý vodič s protékajícím proudem I tvar soustředných kružnic v rovině kolmé k ose vodiče. Pro pole přímého vodiče platí vztah

$$\overline{H} = \frac{\overline{I}}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad [\text{A}\cdot\text{m}^{-1}; \text{A}\cdot\text{m}], \quad (1.5)$$

kde r je vzdálenost místa s intenzitou $\mathbf{H}$ od osy vodiče.

Silové čáry magnetického pole vyvolaného proudem vodiče jsou vždy uzavřené křivky, které tento vodič obepínají, naproti tomu u elektrického pole vyvolaného náboji jsou silové čáry intenzity pole $\mathbf{E}$ neuzavřené, začínají na kladných a končí na záporných nábojích.

Podobně jako v elektrickém poli zavádí se i v magnetickém poli druhá veličina – magnetická indukce $\mathbf{B}$

$$\overline{B} = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \overline{H} \quad [\text{T}; -, \text{H}\cdot\text{m}^{-1}, \text{A}\cdot\text{m}^{-1}] \quad (1.6)$$

kde $\mathbf{B}$ je magnetická indukce udávaná v jednotkách tesla (T),

μ_r poměrná permeabilita prostředí (-),

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$ permeabilita vakua ($\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$),

$\mathbf{H}$ intenzita magnetického pole ($\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$),

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ se nazývá absolutní permeabilita prostředí.

Magnetická indukce $\overline{B}$ a intenzita magnetického pole $\overline{H}$ jsou (podobně jako $\overline{D}$ a $\overline{E}$ v elektrickém poli) vektorové veličiny, k jejichž úplnému určení je třeba znát nejen jejich velikost, ale i směr a smysl.

Magnetická indukce $\vec{B}$ je mírou silového působení magnetického pole. Např. síla $\vec{F}$ působící na přímý vodič délky l a s proudem $\vec{I}$, nacházející se v magnetickém poli s indukcí $\vec{B}$, je dána vztahem

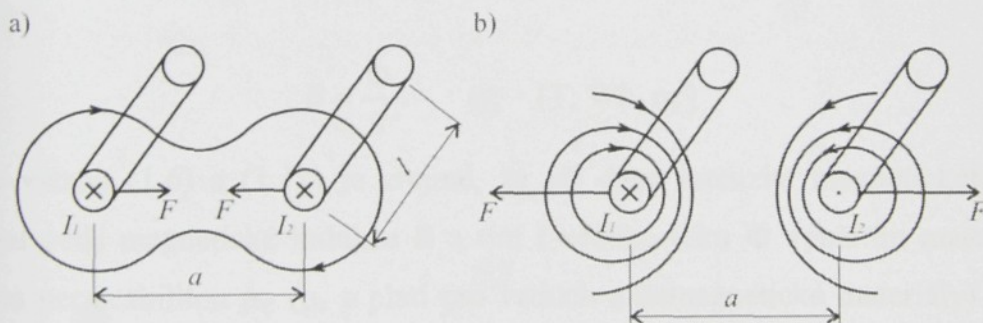
$$\vec{F} = \vec{B} \cdot \vec{I} \cdot l \quad [\text{N}; \text{T}, \text{A}, \text{m}] \quad (1.7)$$

za předpokladu, že přímý vodič délky l je kolmý ke směru magnetické indukce $\vec{B}$. Síla $\vec{F}$ pak působí ve směru kolmém k vodiči i ke směru $\vec{B}$.

Dva přímé rovnoběžné vodiče délky l ve vzdálenosti a od sebe, jimiž procházejí proudy I_1 a I_2 se přitahují nebo odpuzují silou

$$F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad [\text{N}; \text{H} \cdot \text{m}^{-1}, \text{A}, \text{A}, \text{m}, \text{m}]. \quad (1.8)$$

Vzorec (1.8) platí za předpokladu, že vodiče jsou v prostředí s permeabilitou μ_0 (vakuum nebo vzduch). Vodiče se přitahují, mají-li jejich proudy shodné směry a odpuzují se při opačných směrech proudů (obr.2-1-1).

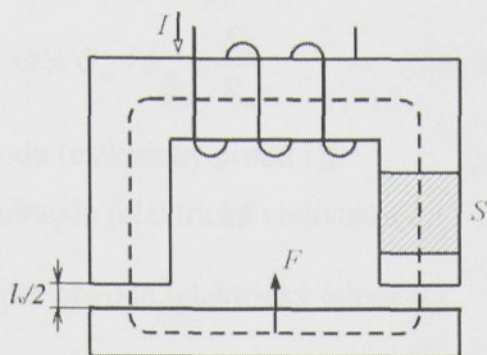


Obr. -1-1 Silové působení magnetického pole dvou přímých vodičů

a) se souhlasným směrem proudů,

b) s opačným směrem proudů.

Magnetická indukce je směrodatná i pro výpočet sil působících na feromagnetické součásti, např. na kotvu elektromagnetu podle obr. 2-1-2



Obr.2-1-2 Tah elektromagnetu

$$F = \frac{B^2 \cdot S}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r} \quad [\text{N}; \text{T}, \text{m}^2, \text{H} \cdot \text{m}^{-1}, -] \quad (1.9)$$

kde **B** je magnetická indukce **T** ve vzduchové mezeře mezi póly a kotvou a $2S$ celková plocha obou pólů (m^2)

Další důležitou veličinou magnetického pole je magnetický tok Φ , daný průřezem a magnetickou indukcí v bodech této plochy (složkou indukce kolmou k ploše). V homogenním poli, kde ve všech bodech plochy **S** je magnetická indukce **B** stejně velká a kolmá k této ploše, platí pro magnetický indukční tok vztah

$$\Phi = B \cdot S \quad [\text{Wb}; \text{T}, \text{m}^2] \quad (1.10)$$

nebo také

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad [\text{T}; \text{Wb}, \text{m}^2] \quad (1.11)$$

Ze vztahu (1.6) a (1.11) je zřejmé, že při dané intenzitě magnetického pole **H** lze dosáhnout větší magnetické indukce **B** a tím i většího toku Φ využitím materiálů s velkou poměrnou permeabilitou μ_r ($\mu_r \cong$ platí pro vzduch a nemagnetické materiály). To umožňují tzv. feromagnetické materiály, u nichž je $\mu_r \gg 1$, takže magnetický odpor **R_m** je velmi malý (viz 1.13).

Pomocí feromagnetických materiálů je možné vytvořit v důsledku malého **R_m** dráhy dobře vodivé pro magnetický tok, tzv. magnetické obvody, analogické elektrickým obvodům tvořeným elektrickými vodiči dobře vodivými pro elektrický proud. Magnetické obvody jsou důležitou součástí mnoha elektrotechnických zařízení (točivé stroje, jádra transformátorů a tlumivek, relé apod.)

Na základě podobnosti elektrických a magnetických obvodů lze použít pro výpočty magnetických obvodů podobné vztahy jako pro obvody elektrické. Analogií Ohmova zákona je **Hopkinsonův zákon**.

$$\Phi = G_m \cdot F_m = \frac{F_m}{R_m} \quad [\text{Wb}; \text{H}, \text{A}, \text{A}, \text{H}^{-1}] \quad (1.12)$$

kde Φ je magnetický tok obvodu (elektrický proud I),

G_m magnetická vodivost obvodu (elektrická vodivost G),

$R_m = \frac{1}{G_m}$ magnetický odpor obvodu (elektrický odpor R),

F_m magnetomotorické napětí obvodu (elektrické napětí U).

Magnetický odpor (reluktance) obvodu s konstantním průřezem S po celé délce dráhy toku l , s rovnoměrným rozložením toku Φ na průřezu S a stejnou permeabilitou materiálu ve všech místech je

$$R_m = \frac{1}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot S} \quad [\text{H}^{-1}; \text{m}, -, \text{H} \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}^2]. \quad (1.13)$$

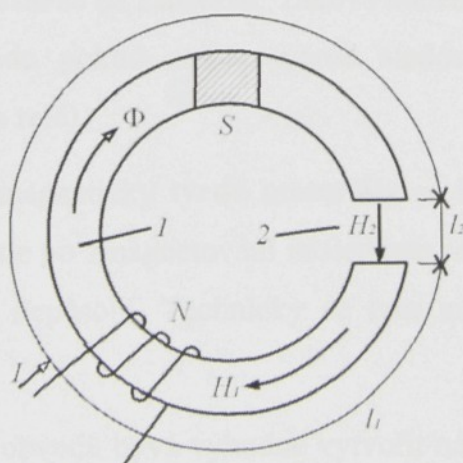
Magnetomotorické napětí působící v magnetickém obvodu buzeném elektrickým proudem se rovná součtu magnetomotorických napětí na uzavřené indukční čáře (obr.2-1-3)

$$F_m = \sum U_m \quad (1.14)$$

$$U_m = N \cdot I \quad [\text{A}; -, \text{A}]. \quad (1.15)$$

Mezi magnetickým napětím a intenzitou magnetického pole platí vztah

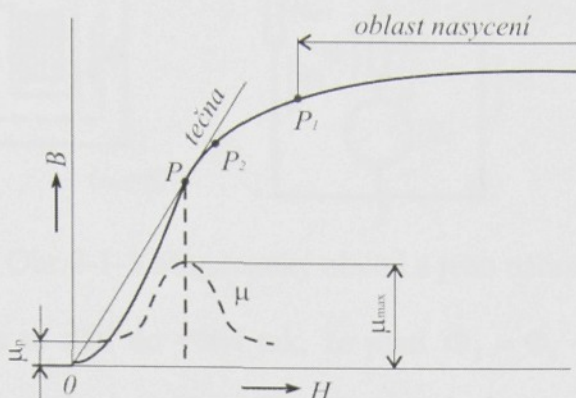
$$U_m = H \cdot l \quad [\text{A}, \text{A} \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}] \quad (1.16)$$



Obr.2-1-3 Magnetický obvod se vzduchovou mezerou

Řešení magnetických obvodů je ve všeobecnosti složitější než řešení analogických elektrických obvodů. Především bývá nutné počítat s tzv. rozptylovými magnetickými toky, jejichž dráhy probíhají vzduchem mimo dráhy vytvořené feromagnetickými částmi obvodu. Na rozdíl od elektrických obvodů není totiž k dispozici žádný magnetický izolační materiál,

zabraňující úniku toku z magnetických vodičů. Výpočet rozptylových toků bez přesně vymezených drah je pak obtížný.



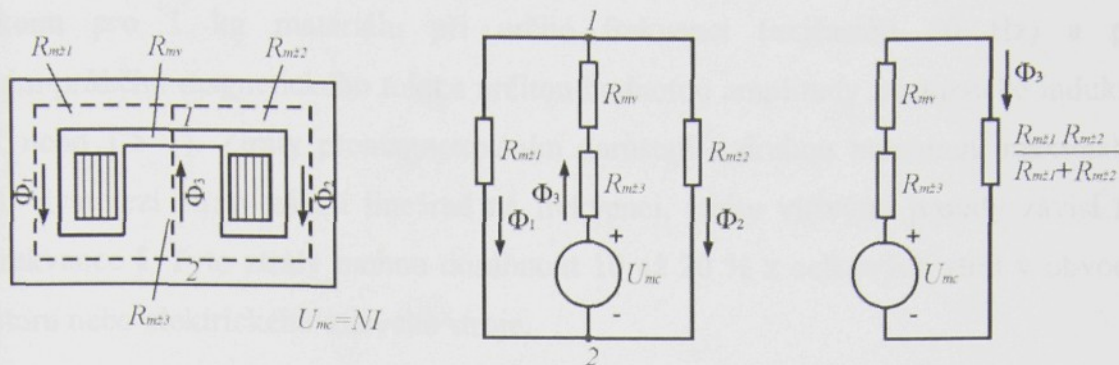
Obr.2-1-4 Magnetizační charakteristika magneticky měkkého materiálu s $\mu_r \gg 1$, $K_m > 0$

Druhou příčinou větší obtížnosti řešení magnetických obvodů je nelineární charakteristika feromagnetických materiálů, ze které vyplývá, že relativní permeabilita μ_r není konstantní a závisí na magnetické indukci B . Je proto těžké určit, s jakou hodnotou μ_r se má počítat (obr.2-1-4). Navíc jeví feromagnetické materiály tzv. hysterezi, tj. závislost na tom, jaký byl předchozí stav zmagetování, pak charakteristika pro rostoucí hodnoty H je jiná než pro klesající hodnoty. Magnetický odpor nelze potom počítat z permeability, ale musí se použít grafické řešení pomocí změřených charakteristik materiálu.

Magneticky **měkké materiály** mají úzkou hysterezní smyčku, vliv koercitivity i hystereze je poměrně malý a často se dá zanedbat. Takové materiály jsou vhodné v případech, kde je třeba, aby tok obvodu pokud možno věrně sledoval změnu budícího proudu (např. elektromagnety stykačů a relé).

Opačné vlastnosti mají magneticky **tvrdé materiály** se širokou hysterezní smyčkou, které se nesnadno magnetují, ale po zmagetování následkem remanence podržují svůj stav i když magnetizující proud již nepůsobí. Technicky se tyto materiály využívají pro trvalé (permanентní) magnety.

Při řešení magnetických obvodů bývá výhodné vytvořit náhradní schéma magnetického obvodu. Dosáhne se tím většího přehledu při řešení, ulehčí formulace vztahů, omezí nebezpečí hrubých chyb a pod. Obr.2-1-5 ukazuje příklad vytvoření náhradního schématu pro magnetický obvod podle obr.1-5a:



Obr.2-1-5 Magnetický obvod a jeho náhradní schéma

Magnetické toky se tu dělí do větví tak, že platí $\Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2$. Magnetické odpory jednotlivých částí feromagnetika jsou R_{mz1} , R_{mz2} , R_{mz3} vzduchové mezery R_{mv} . Jsou zapojené v sérii nebo paralelně podle obr. 1-5b, ve střední větvi je budící cívka s magnetickým napětím $U_{mc} = N \cdot I$. Schéma se dále zjednodušuje tak, jako při řešení elektrických obvodů.

2.1.3 Problematika řešení magnetických obvodů

Magnetické obvody *magnetované stejnosměrným proudem* se skládají z feromagnetického jádra, cívky - budícího vinutí napájeného stejnosměrným proudem a vzduchové mezery. Při návrhu se určuje magnetomotorické napětí cívky $U_{mc} = N \cdot I$ pro zadaný tok Φ nebo indukci B v určité části obvodu nebo je zadání opačné. Proud cívky je daný odporem R a napětím na cívce U .

Určující částí uspořádání feromagnetika jsou rozměry vzduchové mezery, na kterých závisí R_m . Pro rozměry vzduchové mezery a požadovanou hodnotu magnetické indukce v mezeře se volí prostorové uspořádání podle obdobného už známého typu. Reálné maximální hodnoty B ve vzduchové mezeře 0,2 až 0,3 mm jsou 1,2 až 1,5 T, pro šířku 1 až 2 mm asi 0,8 až 0,5 T. Postupně se průřezy upraví tak, aby nebyly překročeny hodnoty nasycení B příslušného materiálu, kterým bývá obvykle měkká ocel, ocelolitina, litina, konstrukční ocel, nekovové keramické materiály nebo různé speciální materiály.

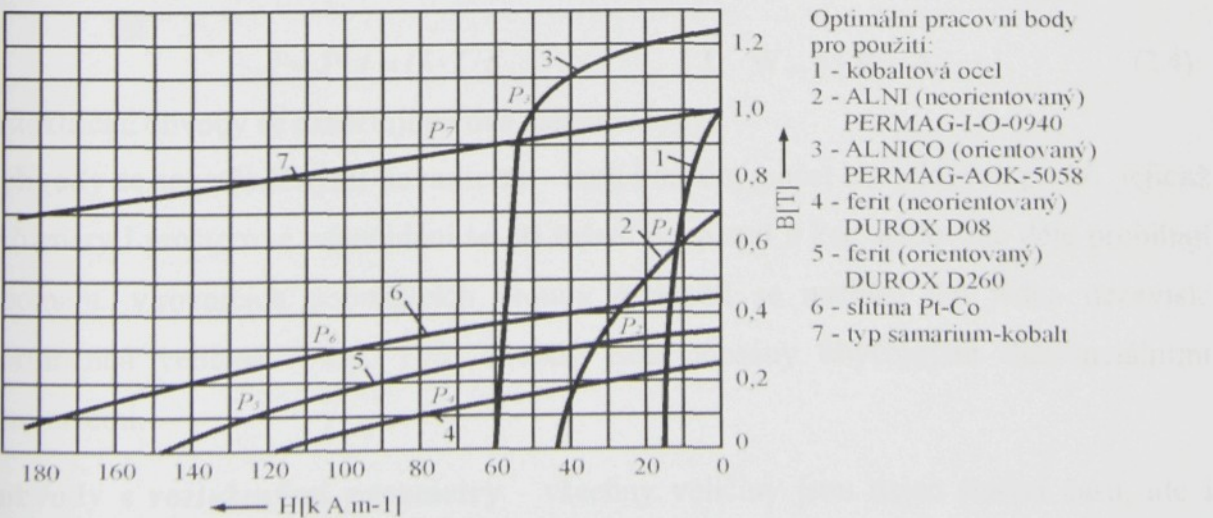
Magnetické obvody *magnetované střídavým proudem* mají časově proměnný magnetický tok. Časová změna magnetického toku je příčinou indukovaného napětí v budících cívkách a v elektricky vodivých částech obvodu. Periodická změna toku vede ke vzniku hysterezních ztrát a ztrát vířivými proudy v magnetických materiálech obvodu, nazývané ztrátami v železe, které způsobují ohřívání obvodu. Existence ztrát vede k nutnosti volby vhodného tvaru obvodu, např. ke zmenšení ztrát vířivými proudy se obvod skládá z plechů. Ztráty vzniklé střídavým magnetováním se v praxi vyjadřují ztrátovým číslem K_p , které udává

ztráty výkonu pro 1 kg materiálu při určité frekvenci (nejčastěji 50 Hz) a při harmonickém průběhu magnetického toku s určitou hodnotou amplitudy magnetické indukce ($B_{\max}=1\text{ T}$ nebo $1,5\text{ T}$). Ztráty přemagnetováním narůstají s druhou mocninou maximální hodnoty B . Hysterezi ztráty závisí lineárně na frekvenci, ztráty vířivými proudy závisí na kvadrátu frekvence f . Tyto ztráty mohou dosáhnout 10 až 20 % z celkových ztrát v obvodu transformátoru nebo elektrického točivého stroje.

Materiály pro střídavou magnetizaci jsou transformátorové plechy a dynamoplechy z křemíkem legované oceli válcované za tepla nebo za studena (tím se dosáhnou zlepšené magnetické vlastnosti ve směru válcování).

Kromě předchozích dvou typů magnetických obvodů nacházejí ve stále větší míře uplatnění i magnetické obvody *buzené permanentními magnety* z materiálů s velkou koercitivitou, které po předcházejícím zmagnetování stejnosměrným proudem jsou schopné svojí velkou hysterezi vytvářet v obvodě dostatečný magnetický tok. Při výpočtu těchto obvodů se obvykle řeší úloha určit minimální rozměry a hmotnost daného materiálu, který by vyvolal žádanou indukci B ve vzduchové mezeři s plochou S a délkou l_v .

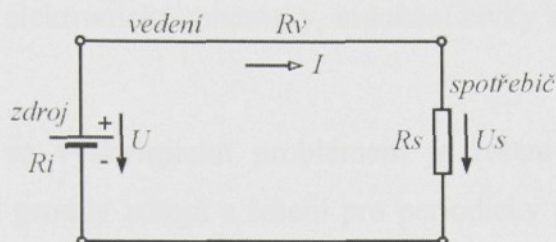
Pro permanentní magnety se používají materiály magneticky tvrdé, s parametry nezávislými na teplotě a čase, technologicky nenáročné a cenově přístupné. Jsou jimi kvalitní oceli, slitiny Fe, Al, Ni, Co s malým obsahem uhlíku, ferity tvrdé nebo orientované, materiály ze slitin Cu-Ni-Co, Cu-Ni-Fe, Pt-Fe apod. Vysoká cena podmiňuje omezené velikosti těchto magnetů (jednotky cm). Hysterezní křivky materiálů pro permanentní magnety jsou znázorněny na obr.2-1-6.



Obr.2-1-6 Hysterezní křivky

2.2 Elektrické obvody

Elektrická zařízení jsou složena z obvodů. Nejjednodušší obvod, znázorněný na obr.2-2-1, obsahuje zdroj, vedení a spotřebič. V reálném elektrickém obvodu jsou technické prvky (rezistor, cívka, kondenzátor) propojené tak, aby jimi mohl procházet elektrický proud dodávaný zdrojem napětí nebo proudu.



Obr. 2-2-1 Základní elektrický obvod

Základními veličinami tohoto obvodu jsou napětí zdroje U , vnitřní odpor zdroje R_i , vedení R_v , spotřebiče R_s , proud I a napětí spotřebiče U_s . Celkový odpor obvodu je

$$R = R_i + R_v + R_s \quad [\Omega]. \quad (2.1)$$

Mezi napětím U , proudem I a celkovým odporem obvodu R platí Ohmův zákon

$$U = R \cdot I \quad [V; Q, A] \quad (2.2)$$

a mezi výkonem P , napětím U , proudem I a odporem R platí vztah

$$P = R^2 \cdot I = U \cdot I = \frac{U^2}{R} \quad [W; \Omega, A, V, A]. \quad (2.3)$$

Práce (nebo energie) A vykonaná elektrickým proudem za dobu t při konstantním výkonu $P = U \cdot I$ je

$$A = P \cdot t = U \cdot I \cdot t \quad [J; W, s; V, A, s]. \quad (2.4)$$

Elektrické obvody se rozdělují na dva základní typy:

- obvody se soustředěnými parametry** - mají konečný počet obvodových prvků, jejichž rozměry i prostorové uspořádání se při řešení neuplatní a kde sledované děje probíhají pomalu. v rovnicích popisujících proudy a napětí se nachází jen jedna nezávisle proměnná veličina - čas. Tyto obvody jsou popsány obyčejnými diferenciálními rovnicemi.
- obvody s rozloženými parametry** - všechny veličiny jsou nejen funkcí času, ale i vzdálenosti od začátku vodiče (např. u velmi rozměrných venkovních vedení vvn) nebo se jedná o obvody, kde sledované děje probíhají velmi rychle a je nutné respektovat rychlost šíření elektromagnetických jevů. Proudů a napětí těchto obvodů jsou pak

popsány parciálními diferenciálními rovnicemi.

A dále se rozdělují na:

- a) **lineární obvody** - obsahující jen konstantní prvky R , L , C nezávislé na proudu nebo napětí,
- b) **nelineární obvody** – obsahující aspoň jeden prvek s **parametry** závislými na proudu napětí (polovodičové elektronické součástky, indukční cívky s feromagnetickým jádrem a pod.).

Důležitým a často se vyskytujícím problémem je řešení elektrických obvodů se stejnosměrnými napětími a proudy zdrojů a řešení pro periodicky proměnná (např. střídavá) napětí a proudy.

U obvodů se soustředěnými parametry jsou základními stavy:

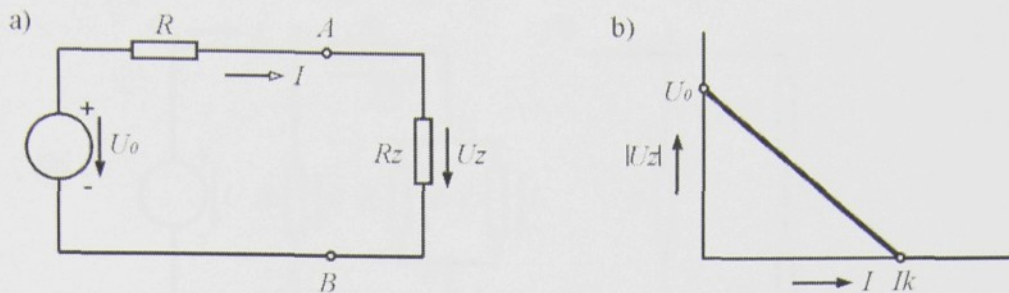
- a) **ustálený stav** - proudy procházející obvodem a napětí na jednotlivých prvcích jsou konstantní nebo periodicky se měnící,
- b) **přechodný stav** - vzniká v obvodech obsahujících prvky L a C , tj. prvky schopné akumulovat energii magnetického nebo elektrického pole po každé změně (připojení nebo odpojení zdroje). Přechodný stav po určité době zaniká a přechází v ustálený stav.

2.2.1 Zdroje napětí a proudu

Ideální zdroje napětí a proudu dodávají do elektrického obvodu stálé napětí nebo proud bez ohledu na velikost zátěže. Např. napětím ideálního zdroje napětí se rozumí okamžitá hodnota napětí mezi svorkami zdroje, které může být buď časově proměnné nebo stálé. U skutečného zdroje svorkové napětí U závisí na zatěžovacím proudu I , obr.2-2, zatím co u ideálního zdroje s nulovým vnitřním odporem je napětí U stálé. Skutečný zdroj napětí je možné nahradit ideálním zdrojem a sériově zapojeným rezistorem s odporem R . Úbytek napětí $R \cdot I$ na resistoru R zmenšuje napětí U_0 , takže napětí na svorkách **A**, **B** zdroje zatíženého rezistorem R_z je

$$U_z = U_0 - R \cdot I = R_z \cdot I .$$

V nezatíženém stavu je na zdroji napětí naprázdno U_0 a při svorkách **A**, **B** spojených nakrátko napětí $U = 0$ a proud je proudem nakrátko I_k .



Obr.2-2-2 Skutečný zdroj napětí
a) sériový náhradní obvod, R_z je zatěžovací rezistor
b) zatěžovací charakteristika.

Obvodu podle obr.2-2-2 je zcela rovnocenný paralelní náhradní obvod vytvořený ideálním zdrojem proudu se stálým proudem I_0 a paralelním resistorem R .

2.2.2 Stejnosměrné obvody

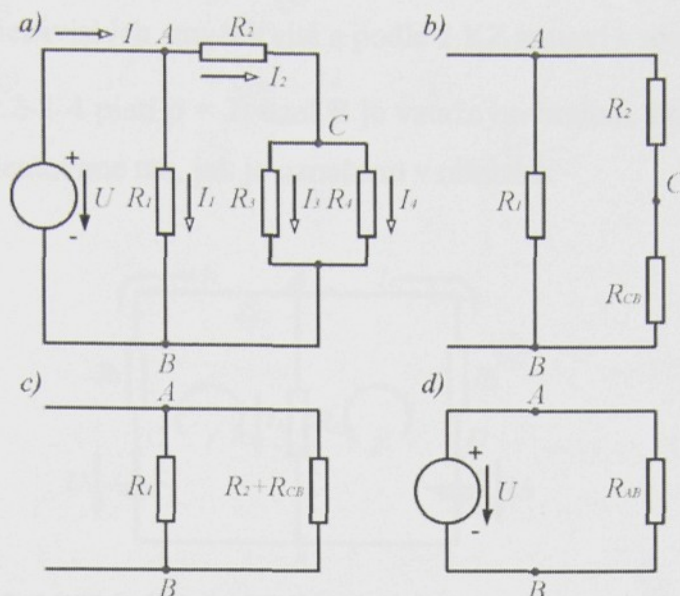
Ve stejnosměrných obvodech působí jen zdroje stejnosměrného napětí a proudu. V ustáleném stavu jsou napětí na obvodových prvcích konstantní, spotřebičem je ideální rezistor, jehož jedinou vlastností je elektrický odpor. Indukčnost a kapacita prvků se ve výpočtech nejčastěji zanedbává, neboť kapacitní proudy při konstantním napětí a indukovaná napětí v induktoru při konstantním proudu jsou rovny nule.

Podle zapojení jednotlivých prvků obvodu, zadání známých veličin a určení jedné, resp. Několika neznámých veličin se volí nejvýhodnější metoda řešení. Početní metody řešení elektrických obvodů budou definované pro stejnosměrné obvody s rezistory R , avšak stejné metody se mohou použít i pro obvody se střídavými sinusovými proudy a s prvky R , L , C , pokud se použije symbolicko komplexní vyjádření.

2.2.2.1 Některé praktické metody řešení elektrických obvodů

a) Metoda zjednodušování obvodů

Nejjednodušším způsobem řešení elektrických obvodů je postupné zjednodušování jejich struktury slučováním paralelně zapojených členů a slučováním sériově zapojených členů, určení ekvivalentního odporu celé sítě a následné aplikaci Ohmova zákona.



Obr.2-2-3 Příklad elektrického obvodu řešeného postupným zjednodušováním struktury

b) **Metoda Kirchhoffových zákonů**

Univerzální metodou pro řešení elektrických obvodů je metoda Kirchhoffových zákonů (KZ). Pomocí této metody je možné řešit libovolně složitou elektrickou síť.

Podle prvního Kirchhoffova zákona platí pro libovolný uzel elektrického obvodu, že součet proudů do uzlu vstupujících se rovná součtu proudů z uzlu vystupujících,

$$\sum I = 0.$$

Podle druhého Kirchhoffova zákona platí pro libovolnou uzavřenou smyčku v elektrickém obvodu, že algebraický součet všech svorkových napětí zdrojů a spotřebičů zapojených ve smyčce se rovná nule

$$\sum U = 0.$$

Na začátku řešení je třeba seznámit se s topologií sítě, tj. určit počet uzlů, větví a smyček. Počet uzlů v obvodu se označí $p - 1$, t.j. počet uzlů po odečtení jednoho uzlu, který je vztažným bodem, proti kterému je počítáno napětí ostatních uzlů obvodu (uzlová napětí).

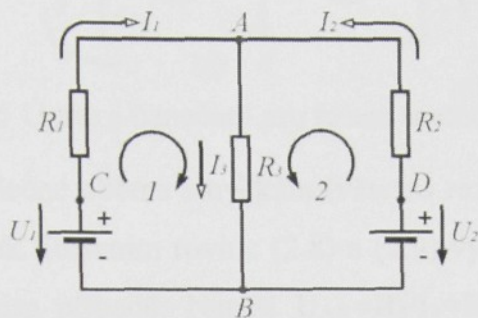
Počet smyček (uzavřených nezávislých okruhů v obvodu) je s .

Postup při řešení je následující:

- zvolí se předpokládané směry proudů ve větvích a kladné směry smyček. Pokud má výsledek výpočtu kladné znaménko, je zvolený směr shodný se skutečným.
- podle 1. KZ se sestaví $(p - 1)$ rovnic pro uzly sítě,

- určí se počet nezávislých smyček sítě a podle 2.KZ sestaví s rovnic.

Pro obvod na obr.2-2-4 platí $p = 2$, uzel **B** je vztažným bodem. Počet smyček je $s = 2$, obvod má 2 smyčky orientované tak, jak je označeno v obrázku.



Obr.2-2-4 Příklad elektrického obvodu se dvěma smyčkami

Podle prvního Kirchhoffova zákona platí pro uzel A:

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (2.5)$$

Podle II. KZ platí pro smyčky obvodu:

$$R_1 \cdot I_1 + R_3 \cdot I_3 - U_1 = 0 \quad \text{smyčka 1} \quad (2.6)$$

$$R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 - U_2 = 0 \quad \text{smyčka 2} \quad (2.7)$$

Potřebný počet rovnic se určí podle vztahu $x = (p - 1) + s$, pro uvedený příklad jsou to tři rovnice.

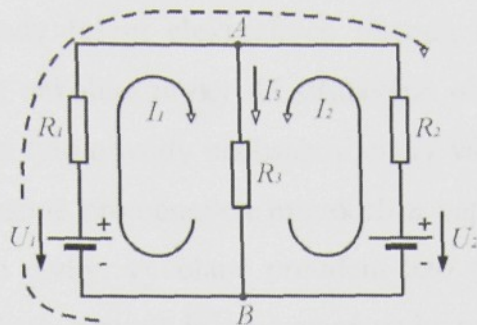
Do soustavy rovnic s počtem x - neznámých se dosadí číselné hodnoty a rovnice se řeší libovolnou matematickou metodou, přičemž výsledkem řešení budou proudy v jednotlivých větvích sítě. Skutečné směry proudů mají ve výsledku kladné znaménko.

c) **Metoda smyčkových proudů**

U vícesmyčkových obvodů je výhodné pro řešení použít metodu smyčkových proudů. Podstatou řešení jsou tzv. smyčkové proudy, tj. fiktivní proudy v celé smyčce stejné pro všechny její elementy. Směry smyčkových proudů se volí libovolně s označením ve schématu šipkou (obr.2-2-5). Pro proudy I_1 a I_2 se získají podle II.KZ dvě rovnice

$$R_1 \cdot I_1 + R_3 \cdot (I_1 + I_2) - U_1 = 0 \quad (2.8)$$

$$R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot (I_1 + I_2) - U_2 = 0 \quad (2.9)$$



Obr.2-2-5 Úprava označení pro řešení metodou smyčkových proudů

Ve větvi obvodu společné oběma smyčkám (větev s rezistorem R_3) je výsledný proud součtovým proudem smyček. Řešením rovnic (2.8) a (2.9) vychází pro proudy I_1 a I_2 stejný výsledek jako v předchozím případě. Napětí $U_{AB} = R_3 \cdot I_3 = R_3 \cdot (I_1 + I_2)$ se vypočítá přímo z proudů I_1 a I_2 , to znamená, že ve společných větvích smyček se počítají úbytky napětí ze součtu nebo rozdílu příslušných smyčkových proudů.

Použitím metody smyčkových proudů byla ušetřena jedna rovnice. Při řešení ložitějších obvodů, které vedou na soustavy většího počtu rovnic, znamená ale každé zmenšení počtu rovnic podstatné ulehčení výpočtu.

Další metody řešení elektrických obvodů:

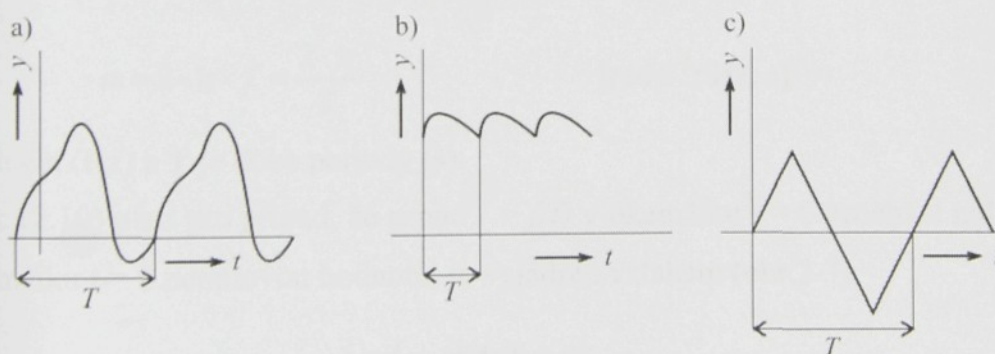
- **metoda uzlových napětí** - využívá se při výpočtech složitých elektrických sítí, které mají jen dva uzlové body. Takové sítě se často vyskytují při paralelní spolupráci zdrojů elektrické energie.
- **metoda superpozice** - kterýkoli proud nebo napětí v obvodech s několika zdroji jsou dané algebraickým součtem (superpozicí) dílčích proudů nebo napětí vyvolaných jen jedním zdrojem, kdy ostatní zdroje se neuvažují. Tato metoda není použitelná v nelineárních obvodech, protože proudy jednotlivých zdrojů mění parametry nelineárních součástek, takže nelze počítat dílčí proudy jednoho zdroje nezávisle na ostatních zdrojích.
- **metoda úměrných veličin** - s výhodou se používá při řešení obvodů složených z jednoduchých T a n článků napájených z jednoho zdroje napětí. Zvolí se proud v jednom úseku a ostatní proudy nebo úbytky napětí vypočítají pomocí Ohmova zákona a KZ. Zvolený proud by tekla sítí jen při určitém napájecím napětí. Když se vypočítá jiné napětí zdroje jako skutečné, určí se tzv. konstanta úměrnosti z poměru skutečného a vypočítaného napětí. Touto konstantou jsou pak vynásobeny všechny vypočítané hodnoty napětí a proudů.

Uvedené základní metody řešení elektrických obvodů byly vysvětlené na příkladu stejnosměrného obvodu s jen několika prvky. U střídavých obvodů s impedancemi by byl postup řešení obdobný, pokud tyto obvody neobsahují cívky vázané vzájemnou indukčností. V těchto obvodech se při časově proměnných proudech a napětích neuplatňují jen úbytky napětí na vlastní indukčnosti cívky, vyvolané proudem této cívky. Uplatní se také napětí indukovaná proudy dalších cívek, s nimiž je uvažovaná cívka vázána vzájemnou indukčností, čímž se řešení obvodu stává složitějším.

2.2.3 Střídavé obvody

V počátcích elektrotechniky se používal výhradně stejnosměrný proud. Později byly vynalezeny zdroje střídavého proudu i motory na střídavý proud a střídavý proud převládl, protože má mnoho výhod. Zdroje střídavého proudu jsou jednodušší, provozně spolehlivější a lze je stavět pro značně velké výkony (až 1 GW). Střídavý proud lze v transformátorech přizpůsobit pro hospodárný přenos, rozvod i spotřebu, motory na střídavý proud jsou jednoduché, levné a spolehlivé.

Střídavé proudy a napětí jsou v elektrotechnice velmi důležité, neboť se jich převážně používá při výrobě a rozvodu elektrické energie. V praxi se vyskytují ale i jiné periodické průběhy napětí a proudů, rozlišované podle tvaru křivky (obr.2-2-6):



Obr.2-2-6 Časové průběhy periodických funkcí

- a) kmitavá funkce,
- b) pulzující funkce,
- c) střídavá funkce.

Kmitavá periodická funkce se periodicky opakuje, přičemž dosahuje **kladných i záporných hodnot**. Plocha křivky nad osou t není stejná jako pod časovou osou.

Pulzující funkce vzhledem k ose t nemění znaménko, střídavá funkce se vyznačuje tím, že plocha funkce nad osou t je rovna ploše pod osou t . Je zřejmé, že kmitavou i pulzující funkci lze převést na funkci střídavou posunutím osy t . Velikost posunutí je pak

stejnosemřnou složkou dané křivky, tzn., že každá kmitavá i pulzující funkce má střídavou i stejnosemřnou složku.

Střídavý proud je proud, jehož velikost i směr se s časem periodicky mění a ve stejných časových úsecích - periodách T se opakuje. Velikost a směr proudu v určitém okamžiku určuje jeho okamžitou hodnotu, značenou malým písmenem. Střídavý proud je zvláštním případem periodicky proměnného proudu bez stejnosemřné složky.

Jeho průměrná hodnota za periodu je rovna nule, kladná a záporná půlvlna jsou v rovnováze.

Střídavý proud sinusového průběhu s kmitočtem/(s dobou periody $T = \frac{1}{f}$) je možné znázornit tzv. "fázorem", tj. úsečkou rotující konstantní úhlovou rychlostí. $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

Je-li délka této úsečky rovna hodnotě I_m (maximální hodnota, amplituda sinusového proudu), je její průmět na svislou osu y rovný hodnotě:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t \quad [A; A, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{s}], \quad (2.10)$$

protože v okamžiku t svítá úsečka s vodorovnou osou x úhel ωt .

Vztah (2.10) je matematické vyjádření okamžité hodnoty sinusového proudu i , co je úhlový kmitočet proudu, vyjádřený v radiánech za sekundu

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}; \text{Hz}, \text{s}] \quad (2.11)$$

kde f je kmitočet (Hz) a T je doba periody (s).

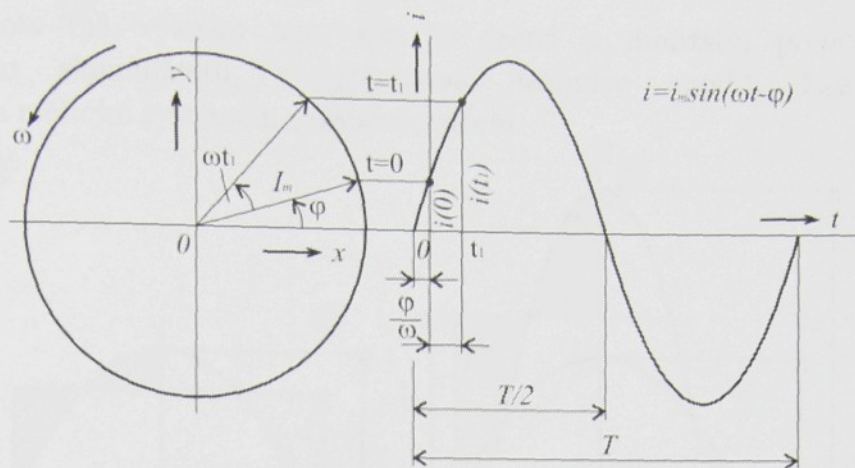
Vzorec (2.10) platí pro případ, že proud $i = f(t)$ v okamžiku $t = 0$ prochází nulou. Má-li proud v okamžiku $t = 0$ nenulovou hodnotu, je vyjádřen vztahem (obr.2-7)

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.12)$$

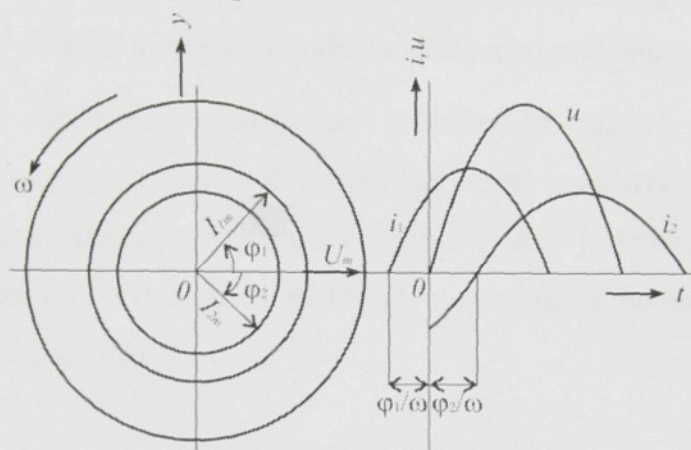
kde pro $t = 0$ platí $i(0) = I_m \cdot \sin \varphi$, což je daná okamžitá hodnota proudu pro $t = 0$.

Fázory se obvykle kreslí v měřítku efektivní hodnoty v poloze pro $t = 0$, záleží však vždy na tom, aby správně vyjadřovaly vzájemné časové posuny jednotlivých průběhů.

Na obr.2-2-8 jsou časové průběhy napětí u a proudů i_1 a i_2 , které nemají průchody nulou ve stejném okamžiku a jsou proti napětí u posunuty o úhly φ_1 a φ_2 . Tyto úhly jsou úhly fázového posunu proudu proti napětí a proud i_1 s kladným úhlem posunu φ_1 předbíhá před napětím u , proud i_2 se záporným úhlem posunuje za napětím zpožděn.



Obr.2-2-7 Časový průběh sinusového proudu s nenulovou hodnotou v okamžiku $t = 0$



Obr.2-2-8 Sinusové průběhy, které nejsou ve fázi

2.2.3.1 Charakteristické hodnoty střídavých veličin

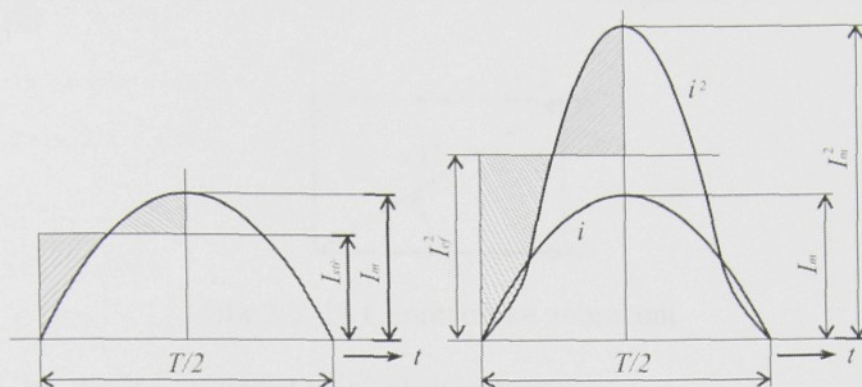
Střídavé proudy a napětí s harmonickými průběhy se mění s časem, kdy každému času odpovídá jejich okamžitá hodnota. Při řešení elektrických obvodů by pak bylo nutné ke každé zadané a vypočítané hodnotě uvést příslušné časy, přičemž měření okamžitých hodnot v praxi není účelné. Charakteristickou veličinou napětí (proudu) je maximální hodnota, tzv. amplituda, která je okamžitou hodnotou pravidelně se opakující v každé půlperiodě. Praktický význam má ale maximální hodnota při sledování namáhání součástí elektrickým napětím (např. kondenzátory, izolace, polovodičové prvky a pod.).

U střídavých napětí a proudů je výhodné zavádět takové veličiny, které se s časem nemění a jejichž velikost je určena měřením běžnými měřicími přístroji. Jsou to střední a efektivní hodnota.

Střední hodnota střídavého sinusového proudu je aritmetický průměr všech jeho okamžitých hodnot za polovinu periody (obr.2-2-9). Mezi střední a maximální hodnotou sinusového průběhu je vztah

$$I_{str} = \frac{2}{\pi} \cdot I_m = 0,637 \cdot I_m. \quad (2.13)$$

Střední hodnota má význam tam, kde se jedná o množství proudu (nabíjení kondenzátoru nebo akumulátoru, v usměrňovači technice apod.). Lze ji měřit magnetoelektrickým měřicím systémem s usměrňovačem.



Obr.2-2-9 Střední a efektivní hodnota střídavého průběhu

Efektivní hodnota střídavého sinusového průběhu je taková hodnota stálého stejnosměrného proudu, který by za stejnou dobu vyvinul stejné množství tepla v rezistoru se stejným odporem R . Výkon měněný v rezistoru v teplo $P = R \cdot I^2$ je úměrný druhé mocnině proudu. Z obr.2-2-9 je zřejmý vztah mezi efektivní a maximální hodnotou proudu (obě vyšrafované plochy jsou stejně velké):

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m \quad (2.14)$$

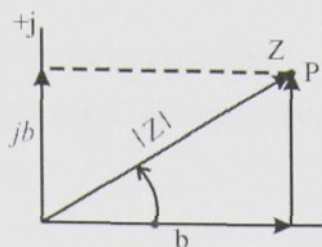
Efektivní hodnoty měří elektromagnetické, elektrodynamické nebo tepelné měřicí systémy. V elektrotechnice střídavých proudů se většinou počítá jen s efektivními veličinami, proto index “ef” je možné vynechat.

Uvedené střední a efektivní hodnoty platí jen pro sinusové průběhy, nesinusové průběhy mají odvozeny vztahy jiné.

2.2.3.2 Náhrada harmonického průběhu fázory

Harmonické časové průběhy skalárních veličin napětí, proudu, výkonu, magnetického toku apod. lze s výhodou nahradit jednoduchými komplexními funkcemi s jednou nezávisle proměnnou, kterou je obvykle čas. Po zavedení těchto komplexních funkcí bylo nutné komplexně vyjádřit charakteristické prvky - dvojpolý - jako je např. impedance, výkon a pod. Směřovaná úsečka v rovině nemá tedy funkci fyzikálního vektoru, ale slouží na určení okamžitých hodnot harmonických veličin nebo reálných konstant elektrického obvodu (R, L, C).

Pro praktické využití komplexních čísel v elektrotechnice má velký význam jejich geometrické zobrazení v tzv. Gaussově komplexní rovině (obr. 2-2-10). Číslu Z odpovídá bod P se souřadnicemi b , a , přičemž j označuje v elektrotechnice imaginární jednotku.



Obr.2-2-10 Geometrické zobrazení

Komplexní číslo je možné vyjádřit ve *složkovém* tvaru:

$$\bar{Z} = b + j \cdot a$$

s modulem

$$|Z| = \sqrt{b^2 + a^2}$$

Úhel označující pootočení úsečky od reálné osy (+) je ve fázi komplexního čísla, určené z poměru imaginární a reálné složky

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{a}{b}$$

a tedy

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{a}{b} \quad (2.18)$$

Při číselných výpočtech je výhodné složit komplexní číslo z reálné a imaginární složky a a b , vypočítaných z výrazu

$$b = |Z| \cdot \cos \varphi$$

$$a = |Z| \cdot \sin \varphi$$

$$\bar{Z} = |Z| \cdot (\cos \varphi + j \cdot \sin \varphi) \quad (2.19)$$

Výraz (2-19) je *trigonometrickým* tvarem komplexního čísla.

Podle Eulerova vztahu

$$\cos \varphi + j \cdot \sin \varphi = e^{j\varphi}, \quad j = \sqrt{-1}$$

je možné komplexní číslo vyjádřit i vztahem

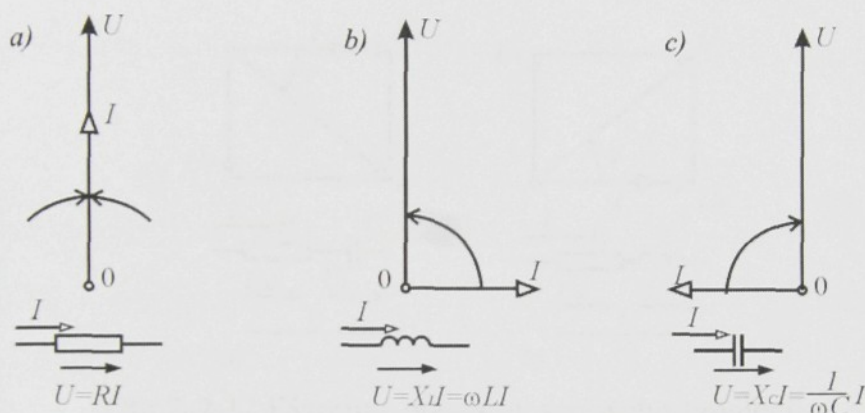
$$\bar{Z} = |Z| \cdot e^{j\varphi} \quad (2.20)$$

nazývaným *exponenciálním* tvarem komplexního čísla.

2.2.3.3 Rezistory, kapacitory a induktory v obvodu střídavého proudu

Protože fázorové diagramy sinusového napětí a proudu ideálních prvků R , L , C byly probírány v předmětu Technická fyzika, je zde uvedena jen stručná rekapitulace (obr.2-2-11):

- proud ideálního rezistoru je ve fázi s napětím,
- proud kapacitoru předbíhá napětí (C se musí určitou dobu nabíjet, aby na jeho svorkách mohlo být napětí),
- napětí induktoru předbíhá proud.



Obr.2-2-11 Fázorové diagramy ideálních prvků R , L , C .

Skutečné rezistory, kapacitory a induktory se nechovají jako ideální obvodové prvky R, L, C . Jestliže má rezistor určitou malou indukčnost, není jeho proud přesně ve fázi s napětím, ale zpožděný o malý úhel φ . Podobně kapacitor se ztrátovým odporem má proud, který předbíhá napětí o úhel $\varphi = -(90^\circ + \delta)$, kde δ je tzv. *ztrátový úhel kondenzátoru*.

U rezistoru a kapacitoru bývají odchylky od ideálního charakteru v určitém kmitočtovém rozsahu malé, naproti tomu induktory mají poměrně velký odpor vinutí, takže se dosti liší od ideálního induktoru. Při vyšších kmitočtech se značně uplatňuje i kapacita vinutí cívek. Skutečné součástky mohou být vždy vyjádřeny pomocí sériové nebo paralelní kombinace několika ideálních obvodových prvků.

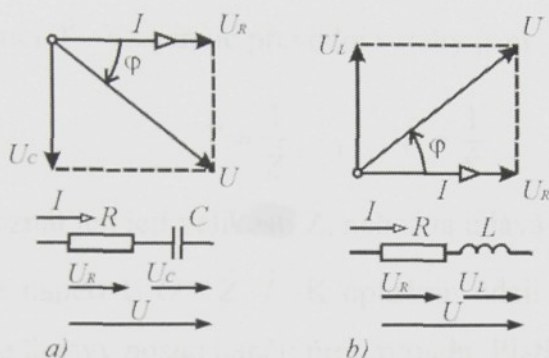
Při sériovém zapojení obvodových prvků mají všechny stejný proud I a z něho lze odvodit fázory příslušných napětí na jednotlivých prvcích (obr.2-2-12). Celkové napětí na sériové R - C kombinaci se získá geometrickým součtem fázorů napětí U_R a U_C . Podle Pythagorovy věty platí:

$$\hat{U} = \sqrt{\hat{U}_R^2 + \hat{U}_C^2} = \sqrt{R^2 \cdot \hat{I}^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2 \cdot \hat{I}^2} = \hat{I} \cdot \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} = \hat{I} \cdot \hat{Z},$$

$$\hat{Z} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Z je *impedance* - zdánlivý odpor této sériové kombinace. Impedance Z se udává v ohmech jako odpor. Stejně je možné pro sériovou kombinaci R-L podle obr.2-12 odvodit

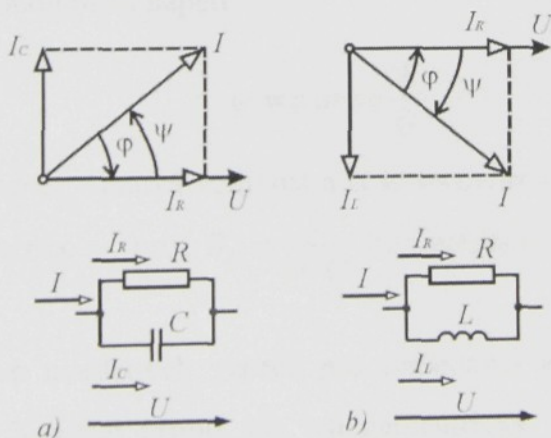
$$\hat{Z} = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



Obr.2-2-12 Fázorové diagramy sériového zapojení:

- a) R-C členu,
b) R-L členu

Při paralelním zapojení mají všechny prvky stejné napětí U a z něho lze odvodit fázory proudů jednotlivých prvků obvodu (obr.2-2-13).



Obr.2-2-13 Fázorový diagram paralelního zapojení

- a) R-C členu,
b) R-L členu

Celkový proud paralelního R-C zapojení je:

$$\hat{I} = \sqrt{\hat{I}_R^2 + \hat{I}_C^2} = \sqrt{G^2 \cdot \hat{U}^2 + (\omega \cdot C)^2 \cdot \hat{U}^2} = \hat{U} \cdot \sqrt{G^2 + (\omega \cdot C)^2} = \hat{U} \cdot \hat{Y},$$

kde $G = \frac{1}{R}$ je vodivost (konduktance) rezistoru a

$\hat{Y} = \sqrt{G^2 + (\omega \cdot L)^2}$ je tzv. *admitance* - zdánlivá vodivost tohoto paralelního zapojení. Admitance Y se udává v jednotkách siemens (S) stejně jako vodivost G . Pro paralelní R-L zapojení je možné odvodit

$$\hat{Y} = \sqrt{G^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}.$$

Při sériovém zapojení je výhodné počítat výslednou impedanci $\hat{Z}$, při paralelním zapojení výslednou admitanci $\hat{Y}$. Vzájemné převodní vztahy jsou

$$\hat{Y} = \frac{1}{\hat{Z}}, \quad \hat{Z} = \frac{1}{\hat{Y}}. \quad (2.21)$$

U impedance nestačí znát jen její velikost Z , neboť ta udává efektivní hodnotu proudu I při dané efektivní hodnotě napětí U , $\hat{U} = \hat{Z} \cdot \hat{I}$. K úplnému údaji u impedance je třeba znát také úhel φ , který vyjadřuje fázový posun napětí proti proudu. Platí

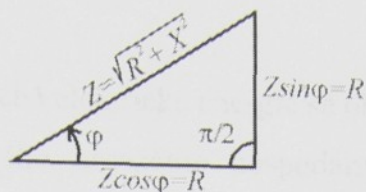
$$\varphi = \pm \arctg \frac{X}{R}, \quad (2.22)$$

kde X je reaktance s kladným znaménkem pro X_L a záporným znaménkem pro X_C , R je rezistance. Podobně u admitance udáváme nejen její velikost Y , ale i její úhel ψ , který vyjadřuje fázový posun proudu proti napětí

$$\psi = \pm \arctg \frac{B}{G}, \quad (2.23)$$

kde B je tzv. *susceptance* - jalová vodivost a G je *vodivost* - konduktance. Znaménko + platí pro $B_C = \omega \cdot C$ znaménko - pro $B_L = \frac{1}{\omega \cdot L}$. Susceptance B je převrácená hodnota reaktance X .

Jak je patrné z dříve uvedených vzorců pro impedanci a z obr.2-2-14, nemůže se rezistance R a reaktance X sčítat přímo, ale jen geometricky, což platí i pro admitanci. Obr.2-2-14 připomíná názorový diagram, tento termín se ale zde nepoužívá, protože fázory znázorňují pouze střídavé veličiny sinusového průběhu.



Obr.2-2-14 Geometrický součet rezistance a reaktance

Při sériovém řazení R-L-C prvků platí pro výsledné napětí

$$\hat{U} = \sqrt{\hat{U}_R^2 + (\hat{U}_L - \hat{U}_C)^2} = \hat{I} \cdot \hat{Z}, \quad (2.24)$$

kde

$$\hat{Z} = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2}. \quad (2.25)$$

Je-li v tomto obvodu $\hat{U}_L - \hat{U}_C = 0$, tj. $\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$, je výsledná impedance $Z = R$,

proud je ve fázi s napětím a dochází k *sériové rezonanci*, kdy proud nabývá maximální hodnoty I_r . Protože reaktance X_L a X_C závislé na kmitočtu, nastává tato rezonance při rezonančním kmitočtu

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{rad.s}^{-1}; \text{H, F}] \quad (2.26)$$

a rezonanční kmitočet

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{Hz}; \text{H, F}]. \quad (2.27)$$

Při sériové rezonanci mohou vzniknout značně velká napětí U_L a U_C větší, než je napětí U napájecího zdroje. Sériová rezonance tak může ohrozit bezpečnost silnoproudých zařízení.

V obvodu s paralelně zapojenými prvky R-L-C s proudem a

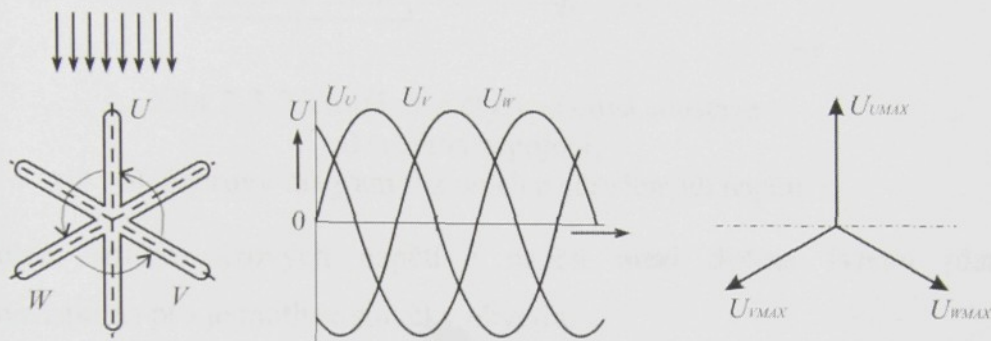
$$\hat{I} = \sqrt{\hat{I}_R^2 + (\hat{I}_C - \hat{I}_L)^2} = \hat{Y} \cdot \hat{U} \text{ a admitancí } \hat{Y} = \sqrt{\hat{G}^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2} \text{ dojde k } \textit{paralelní}$$

rezonanci, jestliže $\hat{I}_L - \hat{I}_C = 0$, pak je admitance Y maximální. Při paralelní rezonanci nemůže dojít ke vzniku přepětí, ale proudy $\hat{I}_C$ a $\hat{I}_L$ mohou nabývat značných hodnot při poměrně malém celkovém proudu I .

Jev rezonance má rozsáhlé využití v elektrotechnice a zvláště pak ve sdělovací technice (laděné obvody, filtry). V silnoproudé elektrotechnice je obvykle nežádoucí. Vyjimkou je tzv. kompenzace účinníku, při níž se vliv indukčních reaktancí zátěže kompenzuje reaktancí paralelně připojených kondenzátorů, což je vlastně případ paralelní rezonance při kompenzaci na $\cos \varphi = 1$.

2.3 Trojfázová soustava

Při výrobě, rozvodu a spotřebě elektrické energie se obvykle používá trojfázový systém, který na rozdíl od jednofázového umožňuje hospodárnější přenos a účelnější využití elektrické energie. Vznik trojfázové soustavy je možné si představit pomocí modelu generátoru se třemi cívkami prostorově natočenými o 120° , které se otáčejí konstantní rychlostí v homogenním magnetickém poli, obr.2-3-1.



Obr.2-3-1 Vznik trojfázové soustavy:

a) generátor, b) časový průběh napětí fází, c) fázorový diagram.

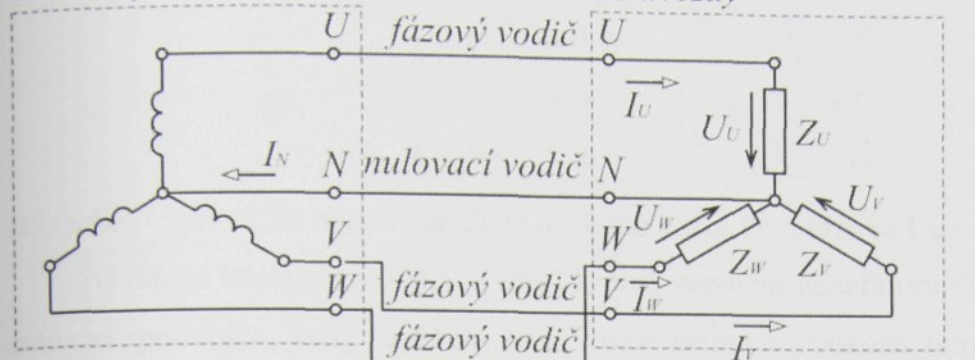
Napětí indukovaná v cívkách mají harmonický časový průběh a jsou vůči sobě posunuta o 120° , t.j. úhel $2\pi/3$:

$$\begin{aligned} u_u &= U_{\max} \cdot \sin \omega t \\ u_v &= U_{\max} \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ u_w &= U_{\max} \cdot \sin(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned} \quad (3.1)$$

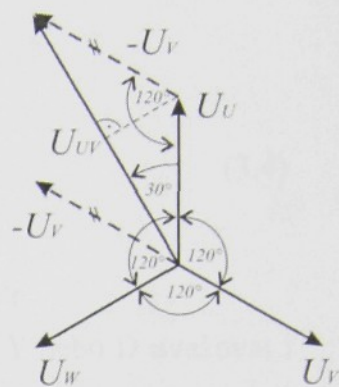
Aby nebylo nutné trojfázovou soustavu rozvádět šesti vodiči, spojují se zdroje jednotlivých napětí do trojúhelníka (D) nebo do hvězdy (Y).

Při zapojení do hvězdy jsou začátky cívek vyvedené na síť a konce cívek jsou zapojeny do uzlu. Spojení spotřebiče zapojeného do hvězdy se zdrojem je možné třemi fázovými vodiči L1, L2, L3 a nulovacím vodičem, jak je zřejmé z obr.2-3-2.

zdroj napětí zapojený
do hvězdy



a)



b)

Obr.2-3-2 Trojfázová čtyřvodičová soustava

a) schéma zapojení,

b) fázorový diagram fázových a sdružených napětí.

Po zvolení směru fázových napětí i napětí mezi dvěma fázemi platí podle II.Kirchhoffova zákona pro jednotlivé smyčky obvodu:

$$\begin{aligned} \hat{U}_{uv} + \hat{U}_v - \hat{U}_u &= 0 & \hat{U}_{uv} &= \hat{U}_u - \hat{U}_v \\ \hat{U}_{vw} + \hat{U}_w - \hat{U}_v &= 0 & \text{tj. } \hat{U}_{vw} &= \hat{U}_v - \hat{U}_w \\ \hat{U}_{wu} + \hat{U}_u - \hat{U}_w &= 0 & \hat{U}_{wu} &= \hat{U}_w - \hat{U}_u \end{aligned} \quad (3.2)$$

Napětí $\hat{U}_{uv}$, $\hat{U}_{vw}$, $\hat{U}_{wu}$ jsou sdružená napětí s označením $\mathbf{U}_s$, měřená mezi fázemi.

Napětí $\hat{U}_u$, $\hat{U}_v$, $\hat{U}_w$ jsou fázová napětí $\mathbf{U}_f$ mezi fází a nulovacím vodičem s fázovým posunem 120° . Vztahy mezi $\mathbf{U}_s$ a $\mathbf{U}_f$ je možné odvodit z fázorového diagramu na obr. 2-16b:

Např. pro $\hat{U}_{uv}$ platí $\hat{U}_{uv} = \hat{U}_u - \hat{U}_v$.

Potom $\frac{1}{2} \cdot \hat{U}_{uv} = \hat{U}_v \cdot \cos 30^\circ$.

Z toho $\hat{U}_{uv} = \hat{U}_u \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2 = \hat{U}_u \cdot \sqrt{3}$, tj. $U_s = U_f \cdot \sqrt{3}$ (3.3)

Napětí sdružené je tedy $\sqrt{3}$ -krát větší než fázové napětí a soustava zapojená do hvězdy umožňuje použít dvě napětí, $\mathbf{U}_s$ a $\mathbf{U}_f$.

V zapojení do trojúhelníka je konec jedné fáze spojen se začátkem fáze následující, obr.

2-17. Fázory napětí $\hat{U}_{uv}$, $\hat{U}_{vw}$, $\hat{U}_{wu}$ mají stejnou velikost jako napětí jednotlivých fází $\hat{U}_u$,

$\hat{U}_v, \hat{U}_w$. Pro jednotlivé smyčky platí II. Kirchhoffův zákon:

$$\begin{aligned} \hat{U}_{uv} - \hat{U}_u &= 0 & \hat{U}_{uv} &= \hat{U}_u \\ \hat{U}_{vw} - \hat{U}_v &= 0 & \text{tj. } \hat{U}_{vw} &= \hat{U}_v \\ \hat{U}_{wu} - \hat{U}_w &= 0 & \hat{U}_{wu} &= \hat{U}_w \end{aligned} \quad (3.4)$$

ze kterého vyplývá, že napětí sdružené je stejně velké jako fázové $U_s = U_f$

Při řešení trojfázových sítí se musí kromě zapojení generátoru do Y nebo D uvažovat i zapojení spotřebiče, který zatěžuje zdroj podle druhu a velikosti impedance v jednotlivých fázích. Rovněž impedance spotřebiče může být v trojfázové soustavě zapojena do hvězdy nebo trojúhelníka, z hlediska zátěže může být *souměrná* nebo *nesouměrná*:

-**souměrná** trojfázová soustava napětí má fázová, příp. sdružená napětí stejné velikosti se stejným fázovým posunem 120° ,

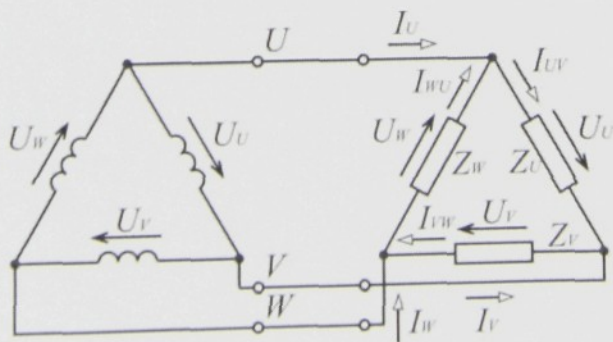
-**nesouměrná** trojfázová soustava napětí má jednotlivá napětí různě velká s nesterýnými posuny proti sobě, lze ji rozložit na tzv. souměrné složky. Jsou to:

-*Sousledná soustava* je souměrná trojfázová soustava napětí se sledem fází U, V, W .

-*Zpětná soustava* je souměrná trojfázová soustava napětí s opačným sledem fází W, V, U .

-*Nulová soustava* je soustava tří napětí stejné velikosti a stejné fáze.

Nesouměrnost soustavy napětí působí rušivě, např. přítomnost zpětné soustavy napětí vyvolává u asynchronních motorů parazitní moment působící proti směru točení motoru. Za normálních provozních stavů bývá nesouměrnost trojfázové soustavy napětí malá a bývá způsobena jen nesterýnými úbytky napětí v jednotlivých fázích při nesouměrném zatížení. Při poruchových stavech může ale vzniknout nesouměrnost podstatně větší.



Obr.2-3-3 Trojfázová trojvodičová soustava

Pro proudy na straně spotřebiče platí podle I. Kirchhoffova zákona

$$\begin{aligned} -\hat{I}_u - \hat{I}_{wu} + \hat{I}_{uv} &= 0 & \hat{I}_u &= \hat{I}_{uv} - \hat{I}_{wu} \\ -\hat{I}_v - \hat{I}_{uv} + \hat{I}_{vw} &= 0 & \text{t.j. } \hat{I}_v &= \hat{I}_{vu} - \hat{I}_{vw} \\ -\hat{I}_w - \hat{I}_{vw} + \hat{I}_{wu} &= 0 & \hat{I}_w &= \hat{I}_{wu} - \hat{I}_{vw} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Proudy $\mathbf{I}_U$, $\mathbf{I}_V$, $\mathbf{I}_W$ se nazývají sdružené a proudy $\mathbf{I}_{UV}$, $\mathbf{I}_{VW}$, $\mathbf{I}_{WU}$ jsou proudy fázové. Protože při souměrné zátěži jsou fázové proudy co do velikosti stejné, musí být stejné i proudy sdružené. Vztah mezi sdruženým a fázovým proudem je analogický vztahu mezi fázovým a sdruženým napětím při spojení do hvězdy. Platí

$$I_s = \sqrt{3} \cdot I_f, \quad (3.6)$$

tedy sdružený proud je $\sqrt{3}$ -krát větší než fázový. Z obr.3-3 rovněž vyplývá, že zapojení do trojúhelníka poskytuje jen jedno napětí.

2.4 Výkony střídavých soustav

a) *Výkon jednofázové střídavé soustavy*

Výraz pro výkon stejnosměrného proudu $P = U \cdot I$ analogicky platí i pro výkon jednofázového střídavého proudu, ovšem jen pro okamžitou hodnotu

$$p = u \cdot i . \quad (4.1)$$

Protože mezi napětím u a proudem i je časové posunutí φ , je i výkon p časově proměnný. Jeho průběh vypočítáme z rovnice (4.1) dosazením za $u = U_m \cdot \sin \omega t$,

$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$:

$$p = U_m \cdot \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) = U_m \cdot I_m \cdot [\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t - \varphi)] .$$

Zavedením efektivních hodnot a po úpravě je výsledný výkon rovný

$$p = U \cdot I \cdot \cos \varphi - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t + \varphi) . \quad (4.2)$$

Okamžitý výkon má tedy stálou složku $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ a složku kmitající s dvojnásobnou frekvencí (obr.2-4-1). V praxi je obvykle třeba znát střední hodnotu výkonu, měřenou wattmetry a danou vztahem:

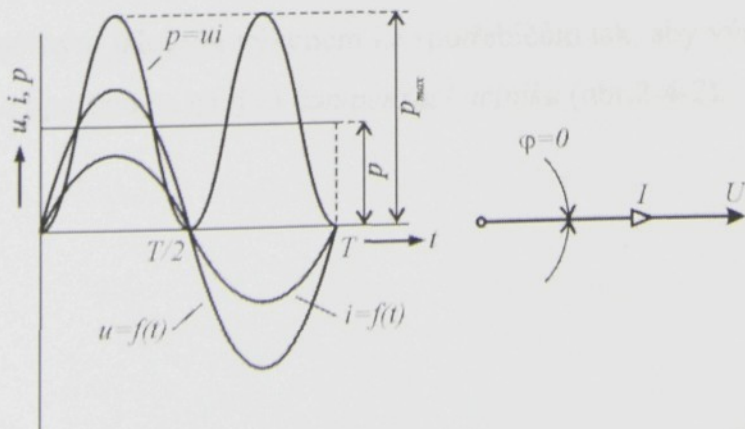
$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p \cdot dt = \frac{U \cdot I}{T} \cdot \int_0^T [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] dt .$$

Po zintegrování a dosazení hranic je

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi , \quad (4.3)$$

kde φ je fáze impedance shodná s posunutím proudu vůči napětí, s rozmezím $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$.

Tento výkon se nazývá činný výkon, vzniká jen na rezistoru resp. na reálné složce impedance. Jednotkou je watt (W).



Obr.2-4-1 Činný výkon střídavého sinusového proudu při nulovém fázovém posunu.

Proud I je složený ze dvou složek, složky I_p ve fázi s napětím a složky I_q kolmé na ně. Složka $I_p = I \cdot \cos \varphi$ je činnou složkou proudu, složka $I_q = I \cdot \sin \varphi$ jalovou složkou.

Činný výkon je pak

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I_p,$$

4)

Reaktivní

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U \cdot I_q \quad (4.5)$$

Výkon jalový, který nekoná práci, ale vytváří magnetické pole v cívce nebo elektrické pole kondenzátoru. Při indukčním charakteru zátěže ($\varphi > 0$) odebírá obvod jalový výkon ze sítě. Podobně je to výkon, který pulzuje mezi sítí a obvodem. Pro kapacitní charakter zátěže ($\varphi < 0$) je výkon záporný, obvod tedy dodává jalový výkon do sítě. Jednotkou jalového výkonu je var (VAr).

Typová velikost některých elektrických strojů závisí na součinu napětí U a proudu I . Součin těchto veličin udává potom výkon, nazývaný zdánlivým

$$S = U \cdot I, \quad (4.6)$$

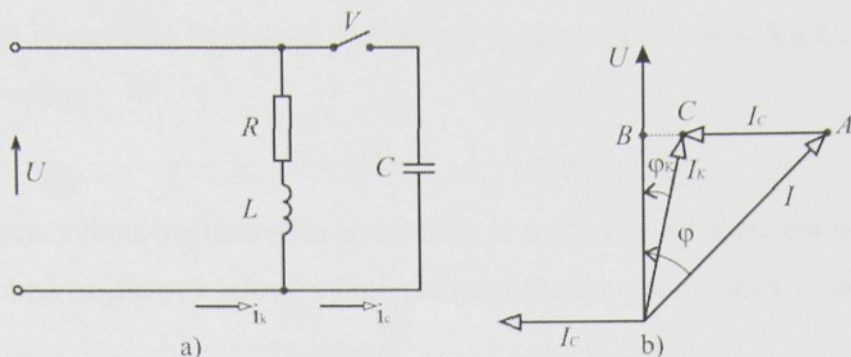
čehož jednotkou je voltampér (VA). S uvážením zdánlivého výkonu je možné činný výkon vyjádřit vztahem

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (4.7)$$

z toho

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4.8)$$

Je poměr P/S se nazývá účinník a u harmonických průběhů se rovná cosinu fázového posunu. Největší účinník může být roven jedné. Čím je fázový posun menší a tím tedy $\cos \varphi$ větší, tím je provoz hospodárnější a naopak. Protože většina elektrických spotřebičů je induktivního charakteru, jalový výkon je kladný a jeho hodnota může být snížena paralelním připojením kondenzátoru se záporným jalovým výkonem ke spotřebičům tak, aby výsledný jalový výkon byl blízký nule. Toto opatření se nazývá *kompensací účinníku* (obr.2-4-2).



Obr.2-4-2 Kompenzace jalového výkonu induktivního charakteru
a) schema zapojení,
b) fázorový diagram.

Hodnotu kapacity C paralelně připojené ke spotřebiči s činným výkonem P tak, aby původní fázorové posunutí se upravilo na předepsané φ_k , lze vypočítat s uvažováním fázorového diagramu po úpravách podle vztahu

$$C = \frac{P}{\omega \cdot U^2} \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_k). \quad (4.9)$$

b) Výkon trojfázové soustavy

Přenos elektrické energie ze zdroje do spotřebiče se v trojfázových soustavách realizuje obvykle čtyřvodičovou sítí se třemi fázovými a jedním nulovým vodičem. Pro celkový trojfázový výkon souměrného spotřebiče při souměrné napájecí soustavě platí

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi, \quad (4.10)$$

kde P_f je činný výkon jedné fáze, vypočítaný z výrazu

$$P_f = U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi,$$

kde U_f - efektivní hodnota fázového napětí,

I_f - efektivní hodnota fázového proudu,

φ - fázový posun mezi proudem a napětím na impedanci spotřebiče.

Trojfázový činný výkon při zapojení spotřebiče do hvězdy je pak

$$P = 3 \cdot \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot I_f \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad (4.11)$$

a pro zapojení do trojúhelníka

$$P = 3 \cdot U_f \cdot \frac{I_s}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot I_s \cdot \cos \varphi \quad (4.12)$$

Protože při spojení do hvězdy je $I_s = I_r$, při spojení do trojúhelníka $U_s = U_r$, je obecný výraz pročinný výkon

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi, \quad (4.13)$$

přičemž výraz pro výkon trojfázového spotřebiče je nezávislý na zapojení na straně zdroje i spotřebiče. Podobně trojfázový jalový výkon souměrného zapojení udává vztah

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \sin \varphi \quad (4.14)$$

a zdánlivý výkon
$$S = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s. \quad (4.15)$$

Z uvedených výrazů vyplývá, že u souměrné zátěže stačí měřit výkon jedné fáze a výsledný trojfázový výkon bude trojnásobkem výkonu jedné fáze. U nesouměrného zatížení jednotlivých fází je nutné měřit výkon každé fáze zvlášť, výsledný výkon je pak součtem výkonů naměřených ve fázích.

2.5 Přechodové děje v lineárních elektrických obvodech

Zatím co v ustáleném stavu jsou všechny veličiny v elektrických obvodech konstantní nebo harmonicky proměnné v čase, dochází v praxi i k neustáleným stavům, tzv. přechodným jevům, během nichž se obvod dostává z jednoho ustáleného stavu do druhého v důsledku změny

- parametru aktivního prvku obvodu (např. připojení zdroje napětí),
- parametru pasivního prvku obvodu (změna R , L , C),
- topologické struktury obvodu (přerušování nebo zkratování větve).

Do nového ustáleného stavu se dostanou proudy a napětí teoreticky v nekonečně dlouhém časovém intervalu, prakticky jsou to ale jen mikro- nebo milisekundy. I přes krátkost trvání mají přechodové děje velký význam, protože při nich mohou vzniknout přepětí nebo nadproudy způsobující v elektrických obvodech různé poruchy. Naopak zase velmi často se přechodové děje využívají pro činnost některých zařízení, např. časových relé.

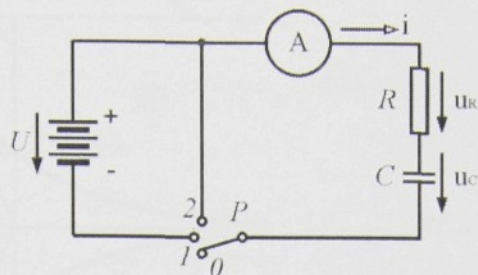
Z hlediska přechodných jevů lze pasivní prvky rozdělit na:

- nesetračné, kde se napětí a proud mohou měnit skokovitě (R),
- setračné, u kterých se U a I mění postupně (L, C).

Přechodové děje v elektrických obvodech jsou popsány diferenciálními rovnicemi, sestavenými podle schéma zapojení pro některou vhodně volenou elektrickou veličinu obvodu. Řešení těchto rovnic je poměrně obtížné, proto bude objasněno pouze pro jednoduché případy.

2.5.1 Přechodové děje v obvodech se zdrojem stejnosměrného napětí

Jednoduchým příkladem přechodového děje je nabíjení a vybíjení kondenzátoru v sériovém R - C obvodu podle obr.2-5-1. Za předpokladu přepínače P v poloze 0 není na kondenzátoru náboj, $Q_0 = 0$, čemuž odpovídá nulové napětí $u_c(0) = U_{C0} = C \cdot Q_0 = 0$ a nulová energie pole $W = C \cdot U_{C0}^2 / 2 = 0$. Přepnutím přepínače v okamžiku $t = 0$ do polohy 1 vznikne přechodný děj - kondenzátor se začne nabíjet proudem i s maximální okamžitou hodnotou $i(0) = I_0 = U/I$. Postupným nárůstem napětí u_c dochází ke zmenšování nabíjecího proudu, neboť napětí u_c působí proti napětí zdroje U . Když se napětí kondenzátoru vyrovná napětí zdroje, proud zanikne a nastane nový ustálený stav, kdy $i(\infty) = I_\infty = 0$, $u_c(\infty) = U_{C\infty} = U$, $W = C \cdot U^2 / 2$.



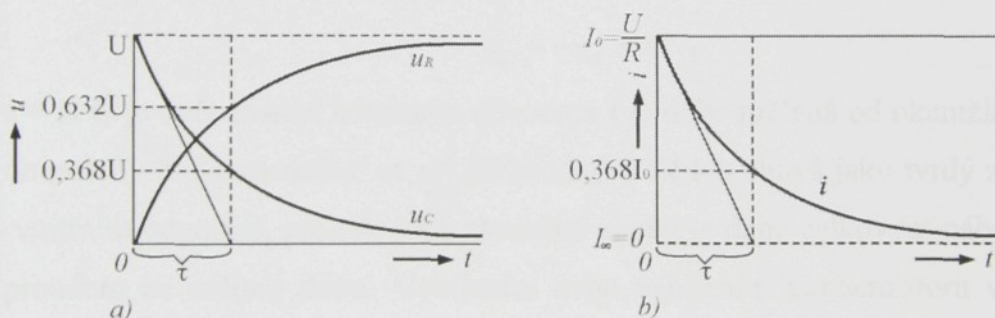
Obr. 2-5-1 Zapojení sériového RC obvodu k příkladu přechodných dějů

Proud a napětí obvodu mají v přechodovém stavu exponenciální průběhy (obr.2-5-2) podle vztahů

$$i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1)$$

$$u_R = R \cdot i = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.2)$$

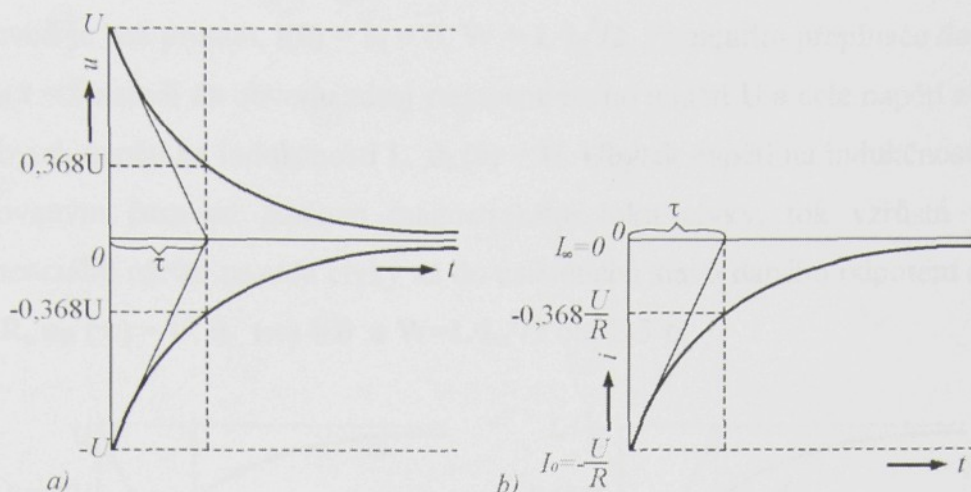
$$u_C = U - u_R = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (5.3)$$



Obr.2-5-2 Nabíjení kondenzátoru ze zdroje stejnosměrného napětí
a) průběhy napětí, b) průběh nabíjecího proudu.

Časová konstanta obvodu $\tau = R \cdot C$ je doba, za kterou napětí na kondenzátoru dosáhne 63,2 % ustálené hodnoty napětí U .

Když se po nabití kondenzátoru přepne přepínač **P** do polohy **2**, dojde k novému přechodovému ději, při kterém se **C** vybíjí přes rezistor **R** a akumulovaná energie elektrického pole se mění v Joulovo teplo v rezistoru. Počáteční hodnota vybíjecího proudu je dána odporem obvodu a napětím nabitého kondenzátoru, $i(0) = I_0 = -U/R$ (opačný směr proudu oproti kladnému směru na obr.5-1). S postupujícím vybíjením klesá proud exponenciálně k nule, obr.2-5-3.



Obr.2-5-3 Vybíjení kondenzátoru v sériovém R-C obvodě
a) průběhy napětí, b) průběh proudu

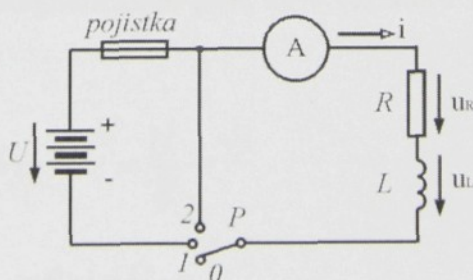
Pro průběhy proudu a napětí platí:

$$i = -\frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.4)$$

$$u_R = R \cdot i = -U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.5)$$

$$u_C = -u_R = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.6)$$

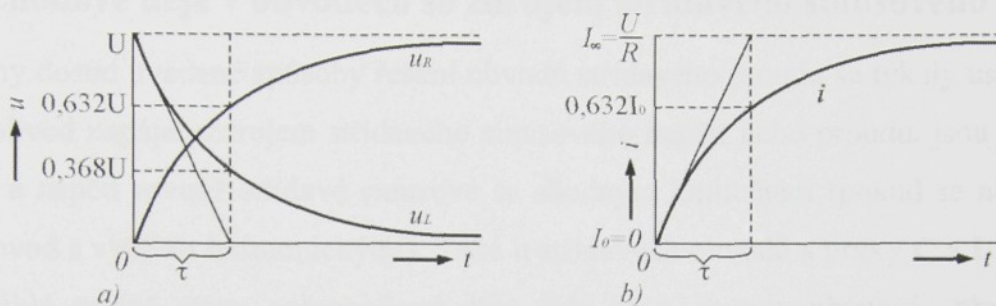
kde $\tau = R \cdot C$ je opět časová konstanta obvodu a t je doba měřená od okamžiku přepnutí přepínače do polohy 2. Kondenzátor se při přechodných dějích chová jako tvrdý zdroj napětí s nulovým vnitřním odporem, protože jeho okamžité napětí je dané celkovým nábojem $q=f(t)$ dodaným proudem za určitou dobu. Vybíjením nebo nabíjením kondenzátoru v obvodu s malým odporem vznikají velké špičkové hodnoty proudu, které mohou poškodit polovodičové spínací prvky, i když nadproudy trvají jen velmi krátkou dobu.



Obr.2-5-4 Sériový R-L obvod se zdrojem stejnosměrného napětí pro příklad přechodového děje.

Na obr.2-5-4 je sériový R-L obvod, v němž vzniká přechodný stav při náhlé změně napětí obvodu, protože cívka vytváří magnetické pole, jehož energie $W = L \cdot I^2 / 2$ se nemůže měnit skokem, takže se nemůže měnit skokem ani proud cívky. Na počátku děje je přepínač **P**

v poloze **0** a obvod je bez proudu, $i(0) = I_0 = 0$, $W = L \cdot I_0^2 / 2$. Přepnutím přepínače do polohy **1** se v okamžiku $t = 0$ zařadí do obvodu zdroj stejnosměrného napětí U a celé napětí zdroje se spotřebuje na úbytek napětí na indukčnosti L , $u_L(0) = U$. Úbytek napětí na indukčnosti je dán napětím indukovaným časovou změnou magnetického toku cívky, tok vzrůstá a tomu odpovídá exponenciální nárůst proudu cívky až do ustáleného stavu daného odporem obvodu, $i(\infty) = I_\infty = U / R$, $u_R(\infty) = U$, $u_L(\infty) = 0$ a $W = L \cdot I_\infty^2 / 2$ obr.2-5-6.



Obr.2-5-6 přechodové děje při spínání sériového R-L obvodu
a) průběh napětí, b) průběh proudu.

V přechodovém stavu platí pro průběhy proudu a napětí vztahy

$$i = I_\infty \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = \frac{U}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (5.7)$$

$$u_R = R \cdot i = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (5.8)$$

$$u_L = U - u_R = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.9)$$

$\tau = L / R$ je opět časová konstanta obvodu.

Když se po dosažení ustáleného stavu obvod vypne, bude proud exponenciálně klesat a nahromaděná energie magnetického pole se v rezistoru R změní v teplo. Pro tento případ platí vztahy:

$$i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.10)$$

$$u_R = R \cdot i = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.11)$$

$$u_L = -u_R = -U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.12)$$

Napětí na cívce má záporné znaménko, neboť je indukováno zánikem magnetického toku. Je známo, že vypínání cívek s velkou indukčností a se stejnosměrným proudem je značně obtížné. Proud nelze rychle přerušit, protože při rychlém zániku proudu se v cívce indukují přepětí mnohem vyšší než napětí zdroje U a mezi kontakty spínače vzniká oblouk,

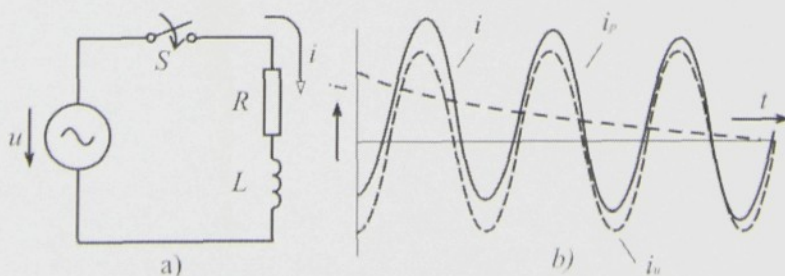
v němž se vybíjí energie magnetického pole, takže dochází ke značnému poškození kontaktů. Vzniku takových přepětí lze předejít různými pomocnými zapojeními např. paralelně k R-L zapojenou diodou.

U elektrických obvodů s několika setrvačnými prvky je možné průběh přechodového děje stanovit jen řešením rovnic obvodu.

2.5.2 Přechodové děje v obvodech se zdrojem střídavého sinusového napětí

Všechny dosud uvedené způsoby řešení obvodů střídavého proudu se týkaly ustáleného stavu. Je-li obvod napájen zdrojem střídavého sinusového napětí nebo proudu, jsou všechny jeho proudy a napětí rovněž střídavé sinusové se shodným kmitočtem (pokud se nejedná o nelineární obvod s vyššími harmonickými). Také u střídavých obvodů s prvky **C** a **L** vznikají při každé náhlé změně stavu přechodové děje, kdy se v obvodu objevují přechodové neperiodické složky proudů a napětí a teprve po jejich odeznění dosáhne obvod nového ustáleného stavu. Např. v sériovém R-L obvodu (obr.2-5-7) připojeném na zdroj sinusového napětí má proud obvodu $i = f(t)$ dvě složky, ustálenou sinusovou složku i_u a přechodnou exponenciální složku i_p , jejíž průběh závisí na okamžiku připojení. Přechodná složka je největší, dojde-li k zapnutí v okamžiku, kdy je střídavé napětí zdroje v blízkosti průchodu nulou, tj. když má fázově zpožděný proud a magnetický tok cívky maximum.

V tomto nejnepříznivějším případě dosáhne maximální hodnota výsledného proudu teoreticky až dvojnásobku amplitudy ustáleného sinusového proudu. Tím se vysvětluje, proč bývá zapínání transformátorů provázeno velkými proudovými nárazy, které mohou způsobit nesprávnou funkci ochran. Vypínání obvodů s velkou indukčností je při střídavém napájení mnohem snadnější než při stejnosměrném, neboť oblouk zhasíná v okamžiku, kdy střídavý proud je v blízkosti průchodu nulou a magnetické pole zaniklo přirozenou cestou.



Obr.2-5-7 Přechodný děj v R-L obvodu po připojení na zdroj střídavého napětí.
a) schéma obvodu, b) průběh proudu.

3 Zpracování studijních materiálů

Studijní materiály jsem vypracoval v programu MS word a obrázky jsem vytvořil v programu CorelDraw poté jsem je převedl do formátu pdf a vložil do systému CLIX. Dají se vložit i ve formátu word, ale při přihlášení do kurzu se mi nepodařilo otevřít text přednášky, ve formátu pdf vše fungovalo v pořádku.

4 Otázky

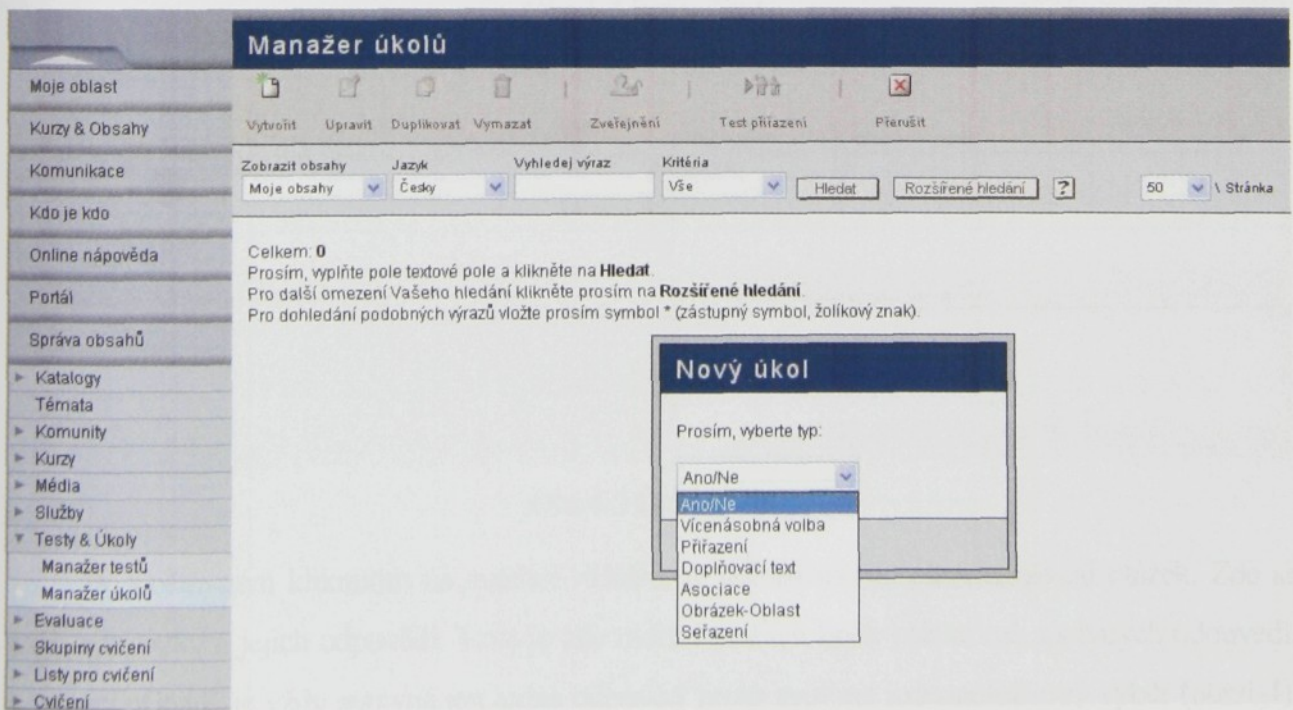
K předmětu Elektrotechnika jsem vytvořil kontrolní otázky, protože je třeba mít nějakou odezvu, jestli studenti probíranou látku pochopili. Otázky jsou rozděleny podle kapitol studijních materiálů. K absolvování testu je třeba mít minimálně 70% otázek správně zodpovězených.

4.1 Vkládání testových otázek do systému CLIX

Vkládání textových otázek do CLIXu se skládá z několika kroků. Nejdříve ve správě obsahů musíme vytvořit tzv. úkoly. Každý úkol v našem případě představuje jednu kapitolu otázek. Zde se nastavuje typ otázek, jejich znění, správné odpovědi, čas na její vyřešení a body za správné zodpovězení. Po vytvoření všech otázek založíme nový test, do kterého je vložíme. Test se poté vložíme do námi vytvořeného kurzu.

4.1.1 Vkládání úkolů

V “Backend” části navigační lišty vybereme položku >Správa obsahu > Testy & Úkoly > Manažer úkolů. V nástrojové liště klikneme na symbol >Vytvořit<. Objeví se okno, kde máme možnost vybrat si typ úkolu (obr.4-1). Typ úkolu určuje jakým způsobem se na otázku bude odpovídat např. ano či ne, doplnění textu, přiřazení, vícenásobná volba,... . Mnou vytvořeným otázkám vyhovuje vícenásobná volba.



Obr.4-1 Manažer úkolů

Po potvrzení výběru typu úkolu se dostaneme do okna, kde máme možnost zadat jméno úkolu, jeho popis, klíčová slova, průměrný čas pro zpracování, jazyk a stupeň obtížnosti. Vyplníme dle obrázku obr.4-2. Průměrný čas pro zpracování jsem zvolil 8 minut, protože v 1. kapitole je 8 otázek a 1 minuta na otázku je optimální čas. Pro pokračování ve vytváření klikneme v nástrojové liště na symbol >Dále<. Systém po nás bude vyžadovat vyplnění základních dat úkolu tzn. text úkolu, počet výroků, počet možností pro výběr a zpětná hlášení. Text úkolu je defaultně zadáný, počet výroků se v našem případě rovná počtu otázek kapitoly a u každé otázky máme tři možnosti (obr.4-3).

Obr.4-2 Popis úkolu

Obr.4-3 Data úkolu

Po opětovném kliknutí na symbol >Dále< se dostaneme do okna zadávání otázek. Zde se zadávají otázky a jejich odpovědi. Také je zde možné nastavit kolik otázka má správných odpovědí. V našem případě je vždy správná jen jedna odpověď proto zvolíme jednopoložkový výběr (obr.4-4). Po zadání všech otázek a odpovědí pokračujeme odkliknutím symbolu >Dále<. V následujícím okně se k otázkám přiřazují správné odpovědi (obr.4-5). Provedeme přiřazení a pokračujeme do posledního

okna, kde máme možnost náhledu na otázky (obr.4-6). Tímto postupem vytvoříme kontrolní otázky ke všem kapitolám.

Prosím, zadejte otázky a odpovědi.

Odpověď-Typ :

Body na úrovni otázek

1 z n (jednopoložkový výběr) ▼

Otázka^{*}:

1.

Dva náboje v el. poli na sebe působí silou danou:

Upload

Možnost pro výběr^{*}:

a)

Hopkinsonovým zákonem

Obr.4-4 Zadávání otázek

Proces:

1. Popis

2. Data úkolu

3. Postavení otázek

4. Řešení

5. Náhled

Typ úkolu

Vícenásobná volba

Úkoly-Název

Elektrotechnika - El. pole

Vytvořeno dne

22.5.2007 17:28 (Erlebach, Tomáš)

Poslední změna

22.5.2007 18:47 (Erlebach, Tomáš)

Text úkolu

Prosím, označte správná řešení!

Prosím, zadejte řešení Vašeho úkolu.

Dva náboje v el. poli na sebe působí silou danou:

☐ Hopkinsonovým zákonem

☐ Ohmovým zákonem

☒ Coulombovým zákonem

Obr.4-5 Zadávání správných odpovědí

Náhled na otázku

Elektrotechnika č.1

Prosím, označte správné odpovědi.

1. Dva náboje v el. poli na sebe působí silou danou:

☐ Hopkinsonovým zákonem

☐ Ohmovým zákonem

☐ Coulombovým zákonem

2. Magnetický tok Φ závisí na:

☐ průřezu S a magnetické indukci B

☐ magnetické intenzitě H a vzdálenosti l

☐ průřezu S a magnetické intenzitě H

3. Jednotka magnetická indukce je:

☐ Wb-Weber

☐ T-Tesla

Průměrný čas pro zpracování: 8 min.

Obr.4-6 Náhled

4.1.2 Vytvoření testu

Test vytvoříme v “Backend” části navigační lišty, kde vybereme >Správa obsahu > Testy & Úkoly > Manažer testů. V nástrojové liště klikneme na symbol >Vytvořit<. V následujícím okně vyplníme detaily testu (obr.4-7). Všechny údaje jsou povinné. Pro nás je důležité nastavit kolik procent musí student dosáhnout aby testem prošel, nastavíme minimální hodnotu na 70%.

Vytvořený test uložíme symbolem >Uložit< v nástrojové liště. V manažeru testů označíme náš test a v nástrojové liště klikneme na symbol >Úkoly< a >Přidat<. V seznamu označíme všechny úkoly a potvrdíme tlačítkem >Přidat<. Všechny vybrané úkoly se přidají do našeho testu. Po označení úkolu a kliknutí na symbol >Počet bodů<. Tímto krokem můžeme ke každé otázce přiřadit počet bodů za její správné zodpovězení (obr.4-8). Poté vše uložíme symbolem >Uložit<.

Test

Upravit: elektrotechnika

Uložit

Zavřít

Autor

Tomáš Erlebach

Vytvořeno dne

22.5.2007 18:52

Verze

3

Upozornění: Povinně vyplnitelná pole jsou označena *

Název*

Elektrotechnika

Popis*

Zaklady elektrotechniky pro fakultu strojní a fakultu textílní

Klíčové slovo*

Elektrotechnika

Jazyk

Česky

Stupeň obtížnosti

Jednoduché

Prospěl od

70 %

Potvrzení

☒

Odbornosti (Zobrazení potvrzení)*

Elektrotechnika

Úvod*

Elektrotechnika

Zpětné hlášení, pokud byl dosažen požadovaný počet procent.*

Prošel

Zpětné hlášení, pokud nebyl dosažen požadovaný počet procent.*

Neprošel

Obr.4-7 Nový test

Přidělit body otázky

Úkol 1: Elektrotechnika - El. pole

Prosím, označte správné odpovědi.

1. Dva náboje v el. poli na sebe působí silou danou:

☐ Hopkinsonovým zákonem

☐ Ohmovým zákonem

☒ Coulombovým zákonem

Počet bodů:

1

Obr.4-8 Přidělení bodů

4.1.3 Přidání testu do kurzu

Test do kurzu přidáme tím způsobem, že v manažeru kurzů označíme kurz “Elektrotechnika” a v upravíme ho pomocí symbolu >Upravit< v nástrojové liště. Navolíme záložku “Komponenty” a symbol >Přidat<. Otevře se nám okno, kde si najdeme název testu a klikneme na tlačítko >Přidat< (obr.4-9) další testy již nebudeme vybírat proto okno zavřeme tlačítkem >Zavřít< a uložíme kurz symbolem >Uložit<. Test je přidáný do našeho kurzu. Pokud je kurz zveřejněný může každý účastník test absolvovat.

4.1.4 Přístup studentů k testu

Student, který chce spustit zkušební test se musí přihlásit nejdříve do systému CLIX a musí být přihlášen do online kurzu, ve kterém je test zveřejněn. Po přihlášení klikne ve “Frontend” části navigační lišty na položku > Moje oblast> Moje kurzy> Rezervované kurzy. Zvolí kurz, ve kterém chce test absolvovat. Otevře vybraný kurz a v nástrojové liště klikneme na symbol >Studijní plán<. V nově otevřené nabídce jsou k dispozici studijní materiály a je mezi nimi i položka zkušebního testu. Po otevření testu se zobrazí informace o testu: počet otázek, počet bodů, počet procent pro úspěšné absolvování testu a čas na test. Pro spuštění testu klikneme na tlačítko >Spustit test<. Student si postupně vybere okruhy otázek, po zodpovězení všech otázek test uloží tlačítkem >Uložit< a vrátí se na obrazovku s okruhy testu tlačítkem >Přehled<. Vyhodnocení probíhá po stisknutí tlačítka “Vyhodnotit”. Student se ihned dozví počet správných odpovědí, úspěšnost v procentech a zda test absolvoval či nikoliv. Po úspěšném absolvování má možnost si vytisknout certifikát o splnění testu.

4.2 Testovací Otázky

4.2.1 Základní poznatky o elektrických a magnetických polích

1. Dva náboje v el. poli na sebe působí silou danou:

- a) Hopkinsonovým zákonem
- b) Ohmovým zákonem
- c) Coulombovým zákonem

2. Intenzita magnetického pole H je:

- a) dráhový integrál intenzity mag. pole
- b) míra síly mag. pole udávaná v $V \cdot m^{-1}$
- c) míra síly mag. pole udávaná v $A \cdot m^{-1}$

3. Dva přímé rovnoběžné vodiče délky l ve vzdálenosti a od sebe, jimiž procházejí proud I_1 a I_2 se přitahují nebo odpuzují silou:

a) $F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a}$

b) $F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot I_2}$

c) $F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot l}$

4. Magnetický tok Φ závisí na:

- a) průřezu S a magnetické indukci B
- b) magnetické intenzitě H a vzdálenosti l
- c) průřezu S a magnetické intenzitě H

5. Pro výpočty magnetických obvodu se používá:

a) Coulombův zákon $F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2}$

b) Hopkinsonův zákon $\Phi = G_m \cdot F_m = \frac{F_m}{R_m}$

c) Ohmův zákon $U = R \cdot I$

6. Jednotka magnetická indukce je:

- a) Wb-Weber
- b) T-Tesla
- c) $V \cdot m^{-1}$

7. Magneticky měkké materiály

- a) mají širokou hysterézní smyčku a nesnadno se magnetují, ale po zmagnetování následkem remanence podrží svůj stav i když magnetizující proud již nepůsobí
- b) mají úzkou hysterézní smyčku a snadno se magnetují, magnetický tok věrně sleduje změnu budícího proudu
- c) mají úzkou hysterézní smyčku a nesnadno se magnetují ale po zmagnetování následkem remanence podrží svůj stav i když magnetizující proud již nepůsobí

8. Pro permanentní magnety se používají

- a) magneticky měkké materiály
- b) magneticky tvrdé materiály
- c) magneticky tvrdé materiály i magneticky měkké materiály

4.2.2 Elektrické obvody

1. Nejjednodušší elektrický obvod obsahuje

- a) zdroj a spotřebič
- b) zdroj a vedení
- c) zdroj, vedení, spotřebič

2. Ohmův zákon platí mezi:

- a) výkonem P , proudem I a napětím U
- b) napětím U , celkovým odporem R a výkonem P
- c) napětím U , proudem I a celkovým odporem R

3. Lineární obvody:

- a) obsahují jen odpor R
- b) obsahují konstantní prvky R, L, C nezávislé na proudu nebo napětí
- c) obsahují prvky závislé na proudu a napětí

4. Vztah pro výpočet práce:

- a) $A = R^2 \cdot I$
- b) $A = U \cdot I \cdot t$
- c) $A = \frac{U}{I} \cdot t$

5. Přechodný stav:

- a) vzniká v obvodech obsahující prvky L a C
- b) vzniká v obvodech, kde průběh proudu nebo napětí je na prvcích konstantní nebo periodicky se mění
- c) vzniká na odporu R

6. Ideální zdroj proudu a napětí

- a) dodává do elektrického obvodu napětí/proud měnící se s ohledem na velikost zátěže
- b) dodává do elektrického obvodu napětí/proud měnící se pouze po připojení prvků C a L
- c) dodává do elektrického obvodu stále stejné napětí/proud bez ohledu na velikost zátěže

7. Napětí na skutečném zdroji stejnosměrného napětí:

- a) nemění se při změně protékajícího proudu
- b) roste s růstem protékajícího proudu
- c) klesá s růstem protékajícího proudu

8. Mezi početní metody řešení stejnosměrných el.obvodů nepatří

- a) metoda smyčkových proudů
- b) symbolicko komplexní metoda
- c) metoda zjednodušování obvodů

9. Podle prvního Kirchhoffova zákona

- a) platí pro libovolnou uzavřenou smyčku v elektrickém obvodu, že algebraický součet všech svorkových napětí zdrojů a spotřebičů zapojených ve smyčce se rovná nule
- b) platí pro libovolný uzel elektrického obvodu, že součet proudů do uzlu vstupujících se rovná nule
- c) platí pro libovolný uzel elektrického obvodu, že součet proudů do uzlu vstupujících se rovná součtu proudů z uzlu vystupujících

10. Metoda superpozice se dá aplikovat při výpočtu:

- a) pouze lineárních obvodů
- b) pouze nelineárních obvodů
- c) lineárních i nelineárních obvodů

11. Kmitavá periodická funkce:

- a) se periodicky opakuje, přičemž dosahuje kladných i záporných hodnot, plocha křivky nad osou i pod osou t jsou si rovné
- b) se periodicky opakuje, přičemž dosahuje kladných i záporných hodnot, plocha křivky nad osou t není stejná jako pod časovou osou
- c) se periodicky opakuje, k ose t nemění znaménko

12. Střídavý proud je proud jehož:

- a) velikost se s časem mění
- b) směr se s časem mění
- c) velikost i proud se s časem mění

13. Střídavý proud sinusového průběhu s kmitočtem f je možné znázornit tzv. fázorem tj.

- a) úsečka rotující s měnící se úhlovou rychlostí
- b) úsečkou rotující konstantní úhlovou rychlostí $\omega = 2 \cdot \pi \cdot T$
- c) úsečkou rotující konstantní úhlovou rychlostí $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

14. Charakteristickou veličinou střídavého napětí/proudu je:

- a) střední hodnota
- b) efektivní hodnota
- c) amplituda

15. Efektivní hodnota střídavého sinusového průběhu je:

- a) aritmetický průměr všech jeho okamžitých hodnot za polovinu periody $T/2$
- b) maximální hodnota za polovinu periody $T/2$
- c) taková hodnota stálého stejnosměrného proudu, která by za stejnou dobu vyvinula stejné množství tepla v rezistoru se stejným odporem R

16. Efektivní hodnotu neměří

- a) magnetoelektrické přístroje
- b) elektromagnetické přístroje
- c) elektrodynamické přístroje

17. Střední hodnota střídavého sinusového průběhu je:

- a) aritmetický průměr všech jeho okamžitých hodnot za polovinu periody $T/2$
- b) aritmetický průměr všech jeho okamžitých hodnot za periodu T
- c) taková hodnota stálého stejnosměrného proudu, která by za stejnou dobu vyvinula stejné množství tepla v rezistoru se stejným odporem R

18. Amplituda střídavého sinusového průběhu je:

- a) aritmetický průměr všech jeho okamžitých hodnot za polovinu periody $T/2$
- b) maximální hodnota za polovinu periody $T/2$
- c) rozdíl mezi maximální kladnou hodnotou a maximální zápornou hodnotou průběhu za periodu T

19. U ideálního kapacitou

- a) proud je ve fázi s napětím
- b) napětí předbíhá proud
- c) proud předbíhá napětí

20. Při sériovém zapojení mají prvky R, L, C stejné:

- a) napětí
- b) proud
- c) napětí i proud

21. Susceptance je

- a) zdánlivá vodivost
- b) zdánlivý odpor
- c) jalová vodivost

22. Admitance je

- a) převrácená hodnota vodivosti
- b) převrácená hodnota impedance
- c) převrácená hodnota reaktance

23. K sériové rezonanci dochází když

- a) proud i napětí mají stejnou amplitudu
- b) proud předbíhá napětí
- c) proud i napětí jsou ve fázi

24. Sériová rezonance způsobuje:

- a) zvýšení proudu v obvodu
- b) zvýšení napětí v obvodu
- c) nemá nepříznivé účinky

4.2.3 Trojfázová soustava

1. V trojfázové soustavě při zapojení do trojúhelníku

- a) je fázové i sdružené napětí stejné
- b) je sdružené napětí rovno rozdílu dvou fázových napětí
- c) je fázové napětí rovno rozdílu dvou sdružených napětí

2. V trojfázové soustavě při zapojení do hvězdy

- a) je fázové i sdružené napětí stejné
- b) je sdružené napětí rovno rozdílu dvou fázových napětí
- c) je fázové napětí rovno rozdílu dvou sdružených napětí

3. Souměrná trojfázová soustava je:

- a) soustava, která má napětí fázová případně sdružená napětí stejné velikosti s nestejným fázovým posunem
- b) soustava, která má jednotlivá napětí různě velká s nestejnými posuny proti sobě
- c) soustava, která má napětí fázová případně sdružená napětí stejné velikosti se stejným fázovým posunem

4. Nulovací vodič v 3-fázové soustavě slouží k:

- a) odvádění obvodového proudu do zdroje
- b) zvyšuje počet aktivních vodičů v soustavě
- c) není důležitý

5. Čím je vytvořena nesouměrná zátěž:

- a) stejnými impedancemi v jednotlivých fázích
- b) rozdílnými impedancemi v jednotlivých fázích
- c) odpojením nulovacího vodiče

6. Jak se řeší obvody s nesouměrnou zátěží:

- a) pomocí Kirchhoffova zákona
- b) stejně jako souměrná
- c) rozložením na soustavu souslednou, zpětnou a nulovou

4.2.4 Výkony střídavých soustav

1. Činný výkon vzniká:
 - a) na kondenzátoru
 - b) na cívce
 - c) na rezistoru, resp. reálné složce impedance
2. Jednotkou jalového výkonu je
 - a) W
 - b) VA
 - c) Var
3. Trojfázový výkon v zapojení hvězda je dán vztahem
 - a) $P = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot I_s \cdot \cos \varphi$
 - b) $P = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi$
 - c) $P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$
4. 1-fázový zdánlivý výkon se vypočítá:
 - a) $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$
 - b) $S = U \cdot I$
 - c) $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$
5. Co je to $\cos \varphi$:
 - a) fázový posun mezi napětími ve složeném obvodě,
 - b) fázový posuv mezi proudem a napětím v obvodě (účinník)
 - c) účinnost
6. Snížení jalového výkonu spotřebičů se provádí:
 - a) paralelním připojením cívky
 - b) sériovým připojením odporu
 - c) paralelním připojením kondenzátoru

4.2.5 Přechodové děje v lineárních elektrických obvodech

1. Přechodný děj je
 - a) změna napětí v elektrickém obvodě po zapnutí
 - b) změna napětí po vypnutí elektrického obvodu
 - c) změna elektrických veličin po změně parametrů obvodu
2. V RL obvodě v přechodném ději po zapnutí se proud obvodu zvyšuje
 - a) lineárně
 - b) skokem
 - c) exponenciálně

3. Při vypnutí RL obvodu dochází ke vzniku

- a) nadproudu
- b) přepětí
- c) proud a napětí se nemění

4. V RC obvodu se po připojení na napětí

- a) proud mění podle stoupající exponenciály
- b) napětí se mění podle stoupající exponenciály
- c) proud i napětí se mění podle stoupající exponenciály

5. Co udává časová konstanta v přechodných dějích v RC obvodech

- a) doba, za kterou dosáhne napětí na C $1/3$ ustáleného napětí
- b) dobu nabití C na ustálenou hodnotu napětí
- c) doba, za kterou dosáhne napětí na C $2/3$ ustáleného napětí

5 Závěr

Tato práce se zabývá vkládáním studijních textů do e-learningového systému CLIX, tak aby byly studentům volně k dispozici. CLIX jako e-learningový program umožňuje vytváření online kurzů, internetových prezentací, zkušebních testů atd. V dnešní uspěchané době, kdy lidé mají na vzdělávání stále méně času, slaví elektronická forma studia (e-learning) velký úspěch.

E-learning znamená proces, který popisuje a řeší tvorbu, distribuci, řízení výuky a zpětnou vazbu na základě počítačových kurzů, které označujeme jako virtuální kurzy. Tyto aplikace většinou obsahují simulace, multimediální lekce, tj. kombinace textového výkladu s animacemi, grafikou, schémata, audiem, videem a elektronickými testy. Klady elektronického vzdělávání jsou především: snížení nákladů na klasické vzdělávání, časově nezávislé individuální studium a možnost okamžité zpětné vazby mezi lektorem a studentem.

Při mé práci jsem se seznámil se základními funkcemi systému CLIX. Osvojil jsem si jakým způsobem se zakládá nový kurz a jeho základní nastavení, vytváření testů a následné zveřejnění. Práce se systémem CLIX mi připadá zbytečně složitá a nastavení jednotlivých komponent zmatené. Při testování studentů se mi nikde nepodařilo objevit výsledky studentů, jen statistika testu, kde se dala zjistit průměrná procentuální úspěšnost studentů. Nemám zkušenosti z jinými e-learningovými aplikacemi ale předpokládám, že jejich ovládání bude stejné.

E-learning v každém případě znamená obrovský krok vpřed ve stylu vzdělávání. Tento způsob vzdělávání v budoucnu bude využívat stále více škol a firem, kde je potřeba stálého do vzdělávání personálu.

Použitá literatura

- [1] Ing. Eva Konečná, Csc.; Prof. Ing. Vladimír Radeček, Csc; Doc. Ing. Juraj Wagner, Csc.: Elektrotechnika
- [2] Wikipedie – otevřená encyklopedie, <http://www.wikipedia.org>
- [3] Úvod do obsluhy CLIX verze 4.x 06/2005
- [4] “Back office” Instruction manual 2.0 10.05.04

V69/07 Mb