

Ing. Michal Kříž

Příručka pro zkoušky elektrotechniků

– požadavky na základní odbornou způsobilost
(deváté – aktualizované vydání)



Doporučeno **Elektrotechnickým svazem českým** – autorizovaným živnostenským společenstvem začleněným v Hospodářské komoře ČR a **Elektrotechnickým cechem Plzeňského regionu** – živnostenským společenstvem Plzeň, jako materiál pro přípravu ke zkouškám odborné způsobilosti elektrotechniků a pro jejich celoživotní vzdělávání.

www.iisel.com

Internetový Informační Systém pro Elektrotechniky

iisel®



EKTROMĚROVÉ ROZVÁDĚČE NEBO PILÍŘE

nitřní výbroží pro jednosazbové nebo dvousazbové měření

PLYNOMĚROVÉ SKŘÍNĚ NEBO PILÍŘE

o středotlaké plynové přípojky

vedení

výklenku či zděného pilíře | kompaktní pilíře | pro jednoho nebo více uživatelů

moderní design

plynových, elektroměrových a plynoměrových skříní



bytové domy
rodinné domy
řadové garáže
chatové osady
občanská
vybavenost

provozovny
a obchody



...takto ne

NOVÁ ŘADA N-C

vznikla na základě vývojové spolupráce
DČK Holoubkov Bohemia, a.s. se Skupinou ČEZ

Ing. Michal Kříž

Příručka pro zkoušky elektrotechniků – požadavky na základní odbornou způsobilost

(deváté – aktualizované vydání)

Společnost Finder se svojí téměř 60letou tradicí výroby se specializuje na oblasti:

- relé do plošných spojů,
- průmyslová relé,
- vazební interfejsové členy,
- modulární stykače,
- relé s nuceně vedenými kontakty,
- časová relé,
- napájecí zdroje,
- soumrakové spínače,
- měřicí a kontrolní relé,
- elektronické elektroměry,
- spínací hodiny,
- stmívače,
- impulsně ovládaná relé,
- čidla pohybu,
- schodišťové automaty,
- přepětové ochrany,
- přístroje pro kolejová vozidla,
- přístroje pro fotovoltaiku.

Kontakt:

Finder CZ, s. r. o., Hostivařská 92/6, 102 00 Praha 10

tel.: 286 889 504, fax: 286 889 505

finder.cz@findernet.com

www.findernet.com



IN-EL – partner všech elektrotechniků

Vydavatelství odborné literatury pro elektrotechniky, Normativních dokumentů ESČ, tiskopisu Protokolu o revizích a kontrolách elektrických spotřebičů a elektrického ručního nářadí

Aktuální nabídka a objednávkový formulář na **www.in-el.cz**
v sekci LITERATURA – OBCHOD

Jsme první, kdo v České republice vydává odborné příručky pro elektrotechniky i v elektronické podobě, jako e-knihy.

Naše e-knihy mají řadu standardních, ale i úplně novou funkci.

Ke standardním funkcím patří:

- interaktivní obsah, a to jak v levém rámci (úplný obsah), tak v obsahu v textu (pouze kapitoly a podkapitoly prvního řádu),
- přímé odkazy v celém textu na zmiňované kapitoly, obrázky, tabulky, přílohy, literaturu apod.,
- přímé odkazy v celém textu na zmiňované webové stránky.

K úplně nové funkci patří odkazy na texty v příručkách zmiňovaných Českých technických norem (ČSN), a to prostřednictvím služby „**iISEL® – přístup k normám on-line**“ (tato služba je zdarma). Přístup k textům ČSN zabezpečuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) svojí službou „**ČSN on-line**“ (ta je zpoplatněna) na webu **www.unmz.cz**. Oba weby jsou vzájemně propojeny, a tak lze z našeho webu vstoupit přímo do textu kterékoliv ČSN.

Přístup k textům ČSN v současné době není možný na tabletech, čtečkách a mobilních telefonech.

Standardní funkce pak usnadňují čtenáři orientaci v textu e-knihy a tím vytvářejí její plnohodnotnou funkčnost.

Naším zákazníkům nabízíme dvě možnosti, jak e-knihy odebírat:

- buď jednotlivě,
- nebo v rámci předplatného za roční poplatek.

Jednotlivě si může zákazník kdykoliv objednat stažení jedné nebo více e-knih.

V rámci předplatného za roční poplatek má zákazník možnost si kdykoliv stáhnout v následujících 12 měsících od aktivace přístupu kteroukoliv e-knihu, která je momentálně k dispozici, ale též e-knihy, které budou vydány v době platnosti předplatného (každý rok vydáváme 3 až 5 nových nebo starších – aktualizovaných příruček).

Další podrobnosti jsou uvedeny na úvodní stránce nového obchodu – viz níže uvedená adresa.

Přímý vstup do nového obchodu: <http://obchod.in-el.cz>.

Příručka pro zkoušky elektrotechniků – požadavky na základní odbornou způsobilost

(deváté – aktualizované vydání)

Doporučeno **Elektrotechnickým svazem českým** – autorizovaným živnostenským společenstvem začleněným v Hospodářské komoře ČR a **Elektrotechnickým cechem Plzeňského regionu** – živnostenským společenstvem Plzeň, jako materiál pro přípravu ke zkouškám odborné způsobilosti elektrotechniků a pro jejich celoživotní vzdělávání.

Elektrotechnika se stala tak širokým oborem, že již není možné, aby jedinec obsáhl veškerá její odvětví. V podstatě to ani není nutné. Přesto je však třeba si uvědomit, že principy elektrotechniky jsou společné a že z těchto společných principů vycházejí i zásady bezpečnosti, které se v oblasti elektrotechniky uplatňují.

Právě těmto zásadám se věnuje již deváté – aktualizované vydání této příručky. Je možno ji považovat za základ pro přípravu elektrotechniků ke zkouškám i přezkoušení jejich odborné způsobilosti. Rozlišujeme tak požadavky na základní odbornou způsobilost od požadavků na odbornou způsobilost vedoucích elektrotechniků a projektantů, od kterých se očekává, že navíc k těmto zásadám zvládnou i svou speciální problematiku, které jsou věnovány další příručky.

Tato příručka podává výklad základních poznatků, jež jsou důležité, aby elektrotechnici uměli rozpoznat nebezpečí, která mohou při provozu elektrického zařízení vznikat. Nemusí se přitom jednat pouze o nebezpečí pro osoby, ale i ohrožení majetku a okolí.

Prvá část vychází z jednoduchých a snadno představitelných základních vztahů nutných k pochopení elektrických jevů. Na nich jsou totiž založeny jak vlastní funkce elektrických zařízení, tak i působení prostředků ochrany před nebezpečími, která elektrina vyvolává. Na tento základ navazuje druhá část, která je zpracována podle ČSN EN 50110-1 ed. 2:2005, v níž jsou vysvětleny zásady bezpečnosti v elektrotechnice. Právě tato část je upřesněna v souvislosti s tím, že k 31. 12. 2005 byla ukončena platnost ČSN 34 3100:1967 a navazujících norem. Zásady bezpečnosti v elektrotechnice jsou založeny na způsobu provedení zařízení a také na opatřeních, která musí být dodržována při práci a obsluze zařízení. K tomu je nezbytné znát např. význam bezpečnostních barev, určitých značek i zásady péče o zařízení. Při práci na zařízeních a jejich obsluze je nutno dodržovat určité zásady, je nutno používat předepsané prostředky a pracoviště je nutno odpovídajícím způsobem zajistit. Právě zásadám práce na elektrických zařízeních a jejich obsluhy je věnována další, třetí část této publikace. Čtvrtá část se zmiňuje o potřebě provádění revizí elektrických zařízení, pátá část probírá zásady první pomoci při úrazu elektrickým proudem.

Jedním ze základů, na kterém by elektrotechnik měl uplatňovat svůj přístup ke své práci, je pro něj znalost problematiky ochrany před úrazem elektrickým proudem u elektrických zařízení. I když podstata této ochrany zůstává po řadu desetiletí stejná, sjednocuje se její celkové pojetí tak, aby stejné zásady byly uplatňovány ve všech elektrotechnických oborech. Přestože jsme byli zvyklí pohlížet na ochranu před dotykem téměř výhradně jako na problematiku silové elektrotechniky, musí se s ní vyrovnávat jak výrobci zařízení informační techniky, tak i ti, kteří je montují a instalují. Proto je této problematice tradičně věnována jedna z nejobsáhlejších částí, to je část šestá. Ta je upravena již s ohledem na sjednocené pojetí ochrany před úrazem elektrickým proudem ve veškerých elektrických zařízeních, které je obsaženo v ČSN EN 61140 ed. 2:2003 i s ohledem na zásady této ochrany v elektrických instalacích podle ČSN 33 2000-4-41 ed. 2:2007.

Aby elektrické zařízení nebylo při poruše některé své funkce ohroženo a neohrožovalo okolí, je nutné dbát na dodržení zásad jeho provedení a připojení. Zařízení musí být chráněno před zkraty a nadproudy a zároveň je třeba zajistit, aby při poruše byla odpojena jen jeho nezbytně nutná část. Zásadám správného provedení, připojení a ochrany zařízení před nadproudy, ochranným opatřením v elektrických rozvodech, elektrických stanicích a ve strojních zařízeních

je věnována další, sedmá část příručky. I v té je zachycen nejnovější vývoj požadavků týkajících se zejména zajištění bezpečného provozu strojů podle ČSN EN 60204-1 ed. 2:2007. Tato kapitola obsahuje i vysvětlení základních představ spojených s vyhodnocováním rizik spojených s provozem elektrického zařízení.

V neposlední řadě je třeba zajistit nejen u elektrických, ale též u neelektrických zařízení ochranu před bleskem. Její provedení záleží na důležitosti objektu, ale též na míře jeho ohrožení a na počtu osob v objektu. Před nepřímými účinky blesku, jimiž jsou přepětí, je třeba chránit citlivá elektronická zařízení. Problematika této ochrany vystupuje stále více do popředí. Té se věnuje osmá část příručky, ve které jsou objasněny hlavní zásady komplexního pojetí ochrany před bleskem již podle nejnovější mezinárodní a evropské normy zavedené v ČR jako soubor ČSN EN 62305.

Deváté vydání této velmi žádané příručky je aktualizováno s ustanoveními technických norem i legislativních předpisů, které nabýly platnost v posledním období. Podle posledního vydání mezinárodní terminologické normy pro elektrické instalace zavedené v ČR jako ČSN IEC 60050-826:2006 i nového vydání normy pro značení svorek a vodičů ČSN EN 60445 ed. 4 je v tomto vydání u střídavých sítí obnoveno užívání starších termínů nulový bod a nulový vodič (označení „N“). Použití termínů střední vodič a střední bod (označení „M“) se ponechává pro stejnosměrné obvody. V souladu s mezinárodně uplatňovanou praxí se tedy rozlišuje mezi nulovým „N“ (bodem a vodičem) ve střídavých sítích a středním „M“ (bodem a vodičem) ve stejnosměrných sítích.

Na konci jednotlivých kapitol jsou opět kontrolní otázky včetně stručných odpovědí, případně odkazů na příslušnou pasáž v textu.

Příručka, jež obsahuje standard požadavků na základní odbornou způsobilost elektrotechniků, by měla být nejen dobrou pomůckou pro jejich přípravu ke zkouškám, případně k certifikaci, ale i užitečným dílem pro každodenní elektrotechnickou praxi. Rovněž by se měla stát základním studijním materiálem pro žáky učilišť, středních, vyšších a vysokých škol elektrotechnických oborů.

Obsah

1.	ZÁKLADY ELEKTROTECHNIKY	17
1.1	Základní vztahy v elektrotechnice	17
1.1.1	Elektrické napětí, proud, odpor a výkon	17
1.1.1.1	Jednotky elektrických veličin	18
1.1.2	Stejnoseměrný (DC) a střídavý proud (AC)	21
1.1.3	Efektivní hodnoty napětí, proudu a výkonu – impedance	26
1.1.4	Sériové a paralelní řazení odporů a impedancí – Kirchhoffovy zákony	31
1.1.5	Trojfázové obvody	35
1.2	Význam a rozdělení elektrotechnických materiálů	36
1.2.1	Vodiče a izolanty	36
1.2.2	Kapacity a indukčnosti	39
1.3	Účinky napětí a proudů	43
1.3.1	Účinky napětí a proudů na látky a materiály	43
1.3.2	Účinky proudů na lidský organismus (prahy vnímání, odpoutání, srdeční fibrilace)	44
1.3.3	Odpor (impedance) lidského těla	44
1.3.4	Rozdíl mezi účinky stejnosměrného a střídavého proudu	47
	Literatura ke kapitole 1	48
	Technické normy ke kapitole 1	48
	Kontrolní otázky ke kapitole 1	48
2.	ZÁSADY BEZPEČNOSTI V ELEKTROTECHNICE	51
2.1	Bezpečnost a podmínky jejího dodržování	51
2.1.1	Bezpečnost elektrických zařízení	51
2.1.2	Odborná způsobilost v elektrotechnice	51
2.1.3	Rozdělení elektrických zařízení z hlediska bezpečnostních rizik	58
2.1.4	Bezpečnostní značení – bezpečnostní barvy	61
2.1.5	Bezpečnostní značky	64
2.1.6	Ochranná pásma elektrických zařízení	65
2.1.6.1	Ochranná pásma venkovních vedení	66
2.1.6.2	Ochranná pásma podzemních vedení	66
2.1.6.3	Ochranná pásma elektrických stanic	68
2.1.6.4	Ochranná pásma výroben	68
2.1.7	Systém povinné péče o bezpečnost elektrických zařízení	69
2.1.8	Průvodní a provozní dokumentace	71

2.2	Rozdělení elektrických zařízení	73
2.2.1	Druhy elektrických zařízení	73
2.2.2	Rozdělení elektrických zařízení podle napětí	75
2.2.3	Jmenovitá napětí do 1 000 V	76
2.2.4	Druhy sítí (TN, TT, IT)	77
	Literatura ke kapitole 2	82
	Technické normy ke kapitole 2	82
	Právní předpisy ke kapitole 2	83
	Kontrolní otázky ke kapitole 2	83
3.	PRÁCE NA ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍCH A JEJICH OBSLUHA	87
3.1	Bezpečnost při činnostech na elektrických zařízeních	87
3.1.1	Rozdíl mezi obsluhou elektrických zařízení a prací na elektrických zařízeních	87
3.1.2	Kvalifikace osob určených pro obsluhu elektrických zařízení a pro práci na elektrických zařízeních	88
3.1.3	Vedoucí práce	89
3.1.4	Osoba odpovědná za elektrické zařízení	89
3.1.5	Práce podle pokynů, práce s dohledem a pod dozorem	89
3.1.6	Práce na elektrických zařízeních a jejich obsluha vykonávaná osobami seznámenými, poučenými, znalými a znalými s vyšší kvalifikací	89
3.1.7	Nářadí, výstroj (osobní ochranné a pracovní prostředky) a přístroje	90
3.1.8	Označení elektrických zařízení	90
3.1.8.1	Označení na veřejně přístupných místech	90
3.1.8.2	Označení pro zajištění bezpečnosti při práci	90
3.1.8.3	Používání bezpečnostních sdělení	91
3.1.9	Oděv při práci a obsluze elektrických zařízení	91
3.1.10	Dorozumívání při činnostech na elektrickém zařízení	92
3.1.11	Zajištění bezpečnosti při práci	92
3.1.12	Základní technicko-organizační opatření	92
3.1.12.1	Na které práce se příkaz B vydává	93
3.1.12.2	Kdo příkaz B vydává a podepisuje	94
3.1.12.3	Co znamená ukončit práce na zařízení	95
3.1.12.4	Zapnutí zařízení	95
3.1.13	Zásady pro obsluhu elektrických zařízení (pro provozní činnosti podle ČSN EN 50110-1 ed. 2)	95
3.1.14	Způsoby práce na elektrických zařízeních	96
3.1.15	Zásady pro práce na elektrických zařízeních	96
3.1.16	Kdo musí být seznámen s funkcí a účelem spínačů	97
3.1.17	Vypínání elektrických zařízení z bezpečnostních a požárních důvodů	97
3.1.18	Zajištění pracoviště – vypnutí, odpojení a další podmínky	98

3.2	Elektrotechnické provozovny	98
3.2.1	Opatření pro zajištění provozu v akumulátorovnách a nabíjárnách	98
3.3	Zajištění elektrických zařízení při požáru, zátopách a jiných ohroženích	99
3.4	Ochranné a pracovní prostředky	100
3.4.1	Používání a údržba pryžových rukavic a obuvi pro elektrotechniku	100
3.4.2	Vybavení elektrických provozoven ochrannými a pracovními prostředky	101
3.4.3	Vybavení elektrických zařízení bezpečnostními značkami a tabulkami	101
	Literatura ke kapitole 3	104
	Technické normy ke kapitole 3	104
	Právní předpisy ke kapitole 3	104
	Kontrolní otázky ke kapitole 3	104
4.	REVIZE, PROHLÍDKY A ZKOUŠKY ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ	107
4.1	Výchozí a pravidelné revize elektrických zařízení, periodické prohlídky a zkoušky	107
4.1.1	Účel revizí	107
4.1.2	Lhůty revizí a postup při revizích	107
4.2	Kontroly a revize elektrického ručního nářadí a spotřebičů držených v ruce	107
	Literatura ke kapitole 4	109
	Technické normy ke kapitole 4	109
	Právní předpisy ke kapitole 4	109
	Kontrolní otázky ke kapitole 4	109
5.	PRVNÍ POMOC PŘI ÚRAZU ELEKTRICKOU ENERGIÍ	111
5.1	Rozdělení úrazů elektrickou energií podle příčiny	111
5.2	Zásady preventivních opatření	112
5.3	Postup záchranných prací	114
5.4	Postup při poskytování první pomoci	114
5.4.1	Ošetření postiženého	114
5.4.2	Umělé dýchání	116
5.4.3	Nepřímá srdeční masáž	116
5.4.4	Privolání lékaře, další ošetření, oznámení úrazu	117
5.5	Sepsání záznamu o úrazu	118
	Literatura ke kapitole 5	119

	Právní předpisy ke kapitole 5	119
	Kontrolní otázky ke kapitole 5	119
6.	OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM	121
6.1	Podmínky pro zajištění ochrany před úrazem elektrickým proudem	121
6.1.1	Dovolená dotyková napětí	121
6.2	Základní pravidlo ochrany před úrazem elektrickým proudem	124
6.3	Zajištění ochrany z hlediska podmínek provozu	126
6.3.1	Normální podmínky – základní ochrana (ochrana před dotykem živých částí)	126
6.3.2	Podmínky jedné poruchy – ochrana při poruše (ochrana před dotykem neživých částí)	127
6.3.3	Zvláštní případy – doplňková ochrana	128
6.4	Prostředky k zajištění ochrany	129
6.4.1	Prostředky základní ochrany (dříve též – ochrany před dotykem živých částí)	129
6.4.1.1	Základní izolace	129
6.4.1.2	Přepážky a kryty	129
6.4.1.3	Zábrany	130
6.4.1.4	Ochrana polohou (umístěním mimo dosah)	130
6.4.1.5	Omezení napětí	131
6.4.1.6	Omezení ustáleného dotykového proudu a náboje	131
6.4.1.7	Řízení potenciálu	132
6.4.2	Prostředky ochrany při poruše (méně přesně – ochrany před dotykem neživých částí)	133
6.4.2.1	Přídavná izolace	133
6.4.2.2	Ochranné pospojování	133
6.4.2.3	Ochranné stínění	135
6.4.2.4	Automatické odpojení od zdroje	136
6.4.2.5	Jednoduché oddělení (obvodů)	136
6.4.2.6	Nevodivé okolí	137
6.4.2.7	Řízení potenciálu	137
6.4.3	Prostředky zvýšené ochrany zajišťující zároveň ochranu základní i při poruše	137
6.4.3.1	Zesílená izolace	138
6.4.3.2	Ochranné oddělení obvodů	138
6.4.3.3	Zdroj omezeného proudu	138
6.4.3.4	Ochranná impedance	139

6.5	Kompletní opatření pro ochranu před úrazem elektrickým proudem	139
6.5.1	Automatické odpojení od zdroje	139
6.5.2	Dvojitá nebo zesílená izolace	140
6.5.3	Elektrické oddělení	140
6.5.4	SELV, PELV a FELV	141
6.5.4.1	SELV	141
6.5.4.2	PELV	141
6.5.4.3	FELV	142
6.5.5	V praxi méně používaná ochranná opatření	142
6.5.5.1	Ochranné pospojování	142
6.5.5.2	Nevodivé okolí	143
6.5.5.3	Omezení proudu a náboje	143
6.6	Požadavky na prostředky základní ochrany	144
6.6.1	Izolační odpor elektrických zařízení	144
6.6.2	Krytí – IP a IK kód	144
6.6.2.1	Stupně ochrany krytem – IP kód	145
6.6.2.2	Stupně ochrany krytem – IK kód	146
6.7	Elektrické sítě z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem	147
6.7.1	Rozdíl mezi sítěmi TN-C a TN-S	147
6.7.2	Rozdíl mezi sítěmi TN, TT a IT	150
6.7.2.1	Sítě TT	150
6.7.2.2	Sítě IT	152
6.7.2.3	Doplňující pospojování	156
6.8	Prostředky ochrany při poruše – ochranné vodiče, zemnění a pospojování, ochranné přístroje	158
6.8.1	Vedení a kladení ochranných vodičů	158
6.8.2	Využití náhodných ochranných vodičů, vodičů pospojování, překlenutí vodoměrů	159
6.8.3	Užití zemničů	161
6.8.4	Dimenzování, uložení a spojování zemničů	162
6.8.5	Ochrana zemničů před korozí	163
6.8.6	Ochranné přístroje	164
6.8.6.1	Nadproudové ochranné přístroje	165
6.8.6.2	Proudové chrániče	165
6.8.6.3	Napětové chrániče	168
6.8.6.4	Hlídače izolačního stavu	169

6.9	Koordinace ochranných opatření – třídy ochrany elektrických předmětů, vnější vlivy, provozní stavy	170
	Literatura ke kapitole 6	174
	Technické normy ke kapitole 6	174
	Kontrolní otázky ke kapitole 6	175
7.	PROVEDENÍ ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ	179
7.1	Elektrické vedení – jištění a jeho volba	179
7.1.1	Základní zásady pro dimenzování vedení	179
7.1.2	Proudy vodičů	180
7.1.3	Jisticí prvky	181
7.1.4	Zásady volby jisticích prvků	185
7.2	Všeobecné a konstrukční požadavky	186
7.2.1	Označení vodičů a svorek	186
7.2.2	Provedení ochranných svorek (místa připojení ochranných vodičů)	189
7.2.3	Barvy světelných návěstí a ovládacích tlačítek a jejich základní označení	189
7.2.4	Elektrická zařízení v prostředí normálním	191
7.2.5	Elektrická zařízení v prostředí mokřem a s nebezpečím požáru hořlavých prachů a hmot	192
7.2.6	Elektrická zařízení v hořlavých hmotách a na hořlavých podkladech	194
7.3	Kladení vedení	195
7.3.1	Zásady spojování vodičů	195
7.3.2	Průchody (prostupy) vedení zdmi a konstrukcemi	195
7.3.3	Kabelové prostory a kanály	196
7.4	Připojování elektrických přístrojů a spotřebičů	198
7.4.1	Zásuvky, vidlice, přívodky a nástrčky – hlavní zásady připojení	198
7.4.1.1	Domovní zásuvky a vidlice	198
7.4.1.2	Průmyslové zásuvky	200
7.4.1.3	Nástrčky a přívodky	201
7.4.2	Kladení pohyblivých přívodů a šňůrových vedení	201
7.5	Vnitřní elektrické rozvody	203
7.5.1	Zajištění bezpečnosti při připojování odběrného elektrického zařízení k síti	203
7.5.2	Průřezy vodičů v bytech a jejich jištění	203
7.5.3	Připojování zásuvek	203
7.5.4	Instalace v koupelnách, ochranné pospojování, proudový chránič	203
7.6	Elektrické stanice	206
7.6.1	Elektrické stanice podle obsluhy	206

7.6.2	Uzemnění v elektrických stanicích	206
7.6.3	Zásady uzemňování	207
7.7	Strojní zařízení	208
7.7.1	Obsah technické dokumentace	208
7.7.1.1	Základní informace	208
7.7.2	Provedení řídicích obvodů	209
7.7.2.1	Opatření pro omezení rizika v řídicích obvodech	209
7.7.2.2	Přístroje pro nouzové vypnutí	210
7.7.3	Označování vodičů – doplnění ke kapitole 7.2.1	210
7.7.4	Připojování pohyblivých nebo přestavitelných částí strojního zařízení	211
7.8	Prozatímní elektrická zařízení	212
7.8.1	Rozdělení prozatímních elektrických zařízení	212
7.8.2	Zásady pro zřizování a provoz prozatímních elektrických zařízení	212
7.8.3	Zřizování prozatímních elektrických zařízení v průmyslových závodech	213
7.9	Nebezpečí, riziko, ochranná opatření	214
7.9.1	Požadavky na elektrotechnické výrobky a zařízení	215
7.9.2	Posuzování rizik a provedení elektrických zařízení	216
	Literatura ke kapitole 7	216
	Technické normy ke kapitole 7	216
	Kontrolní otázky ke kapitole 7	217
8.	OCHRANA PŘED BLESKEM A PŘEPĚTÍM	221
8.1	K současnému pojetí ochrany před bleskem – ochrany budov i elektronických systémů	221
8.1.1	Proč provádět ochranu před bleskem a jeho účinky důkladněji než dříve	221
8.1.2	Nová terminologie používaná v oblasti ochrany před bleskem	222
8.2	Vnější ochrana před bleskem a přepětím	222
8.2.1	Zásady pro zřizování a provoz podle druhu a charakteru chráněného objektu	222
8.2.1.1	Které objekty se musí chránit před bleskem	222
8.2.1.2	Hledisko pravděpodobnosti škody při zřizování hromosvodu	223
8.2.1.3	Základní části vnější LPS	224
8.2.1.4	Třídy LPS – provedení hromosvodu s ohledem na důležitost objektu a možné škody	225
8.2.1.5	Použití náhodných součástí pro konstrukci LPS	226
8.2.2	Jímače	227
8.2.2.1	Prvky jímačů	227
8.2.2.2	Ochranný prostor jímačů	228

8.2.3	Svody	230
8.2.3.1	Připojování svodů k jímačům	230
8.2.3.2	Umístění svodů	230
8.2.3.3	Počet svodů	231
8.2.3.4	Provedení svodů	231
8.2.3.5	Umístění vedení jímací soustavy i svodů	232
8.2.4	Uzemnění	233
8.3	Vnitřní ochrana před bleskem a přepětím	234
8.3.1	Ochrana před přepětími	235
8.3.2	Svodiče bleskového proudu a svodiče přepětí	237
	Literatura ke kapitole 8	240
	Právní předpis ke kapitole 8	240
	Technické normy ke kapitole 8	240
	Kontrolní otázky ke kapitole 8	241
Příloha 1	Základní veličiny a jednotky v elektrotechnice a vztahy mezi nimi	243
Příloha 2	Používané násobky a díly jednotek v elektrotechnice	244



**IN-EL, spol. s r. o., Lohenická 111
190 17 Praha 9 – Vinoř**

iisel®

www.in-el.cz

Tel.: 283 092 312

E-mail: info@in-el.cz

IN-EL – partner všech elektrotechniků

Vydavatelství odborné literatury, Normativních dokumentů, tiskopisů protokolů a praktických pomůcek pro elektrotechniky

Aktuální nabídka a objednávkový formulář na **www.in-el.cz**
v sekci **LITERATURA – OBCHOD.**

Nabízíme zkoušky a přezkušování dle vyhlášky č. 50/1978 Sb., jakož i školení, a to buď samostatně, nebo jako součást přípravy na zkoušku či přezkoušení.

V rámci ceny zkoušky a přezkoušení poskytujeme studijní materiály.

Podrobné informace a objednávkový formulář na **www.in-el.cz**
v sekci **ZKOUŠKY A ŠKOLENÍ.**



Moravský svaz elektrotechniků

Geislerova 3, 615 00 Brno,

Sekretariát:

Tel.: + 420 548 533 850

Fax. + 420 548 211 774

Mobil: + 420 602 520 975

URL: <http://www.msebrno.cz>

e-mail : sekretariat@msebrno.cz

Školení elektrotechniků

Novinka! - školení a zkoušky § 9 v rozsahu E4/A „Zkoušky a revize el. spotřebičů“

- přípravu na zkoušky dle vyhlášky č. 50/1978 Sb. ukončené zkouškou
- přípravu na zkoušky § 9 v rozsahu E4/A „Zkoušky a revize el. spotřebičů“
- přípravný kurz a zkoušky na výkon funkce revizního technika § 9 vyhlášky 50/1978 Sb.
- opakovací kurz a přezkoušení revizních techniků po 5 letech dle § 9

Organizuje:

- mezinárodní konference
- školení
- Dny nové techniky

Prodej:

- technických norem
- technických pomůcek pro diagnostiku
- odborné literatury
- měřicích přístrojů

Technickou podporu:

- poradenskou činnost
- vypracování znaleckých posudků
- montáže elektrických zařízení na klíč
- revize elektrických zařízení bez omezení napětí
- kalibrace měřicích přístrojů
- vypracování podkladů pro „Prohlášení o shodě“
- příprava pro zavedení systémů jakosti ISO 9000/2000
- analýza sítě dle zákona 169/1997 Sb. hodnocení EMC
- elektrotechnickým cechům – živnostenským společenstvím

1. ZÁKLADY ELEKTROTECHNIKY

1.1 Základní vztahy v elektrotechnice

Existují jenom výjimečné případy lidí, kteří vážněji přemýšlejí o základech a podstatě elektrotechnických jevů a zákonitostí. Tito jedinci mají svou pozici v elektrotechnické praxi na jedné straně usnadněnou, na druhé straně ztíženou. Usnadněnou ji mají tím, že z podstaty jevů a zákonitostí mohou jednodušeji odvodit všeobecně užívaná pravidla a nejsou ve větším nebezpečí, že se ve svých závěrech budou mýlit. Na druhé straně však nenalézají plné pochopení u těch, kteří si s takovými věcmi hlavu nelámou.

Co je třeba si při práci na elektrickém zařízení uvědomit? Je to především to, že:

- na jedné straně existují síly, jevy a vlivy, které na zařízení, rozvody a instalace působí; jsou to provozní i poruchové stavy, prostředí neboli vnější vlivy apod.,
- na druhé straně pak jsou přístroje, zařízení a opatření, jež elektrická zařízení, rozvody a instalace před neúměrným nebo přílišným působením těchto sil, jevů a vlivů, které je možno předpokládat, chrání.

Příklady jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Příklady stavů zařízení a ochranných opatření proti působení různých vlivů

Normální provozní stav – charakterizován	Poruchový stav způsobovaný	Ochranné přístroje, opatření
napětím v normálních mezích	přepětím a podpětím	přepětěťové ochrany
proudy až do jmenovité (stanovené) hodnoty	nadproudy	ochrana před nadproudy
vnější vlivy v předpokládaných mezích	vniknutím prachu do zařízení, narušením krytu	utěsnění nebo zpevnění krytu

Ochranná opatření je přitom možno volit podle toho, v jakém stavu elektrické zařízení je. Zda je ve stavu normálním, mimo normál, zda zatím nebezpečí poruchy nebo ohrožení pouze hrozí, případně zda porucha nebo ohrožení již nastaly.

Proti výše uvedeným stavům se provádějí opatření k odvrácení nebezpečí, k odstranění poruchy. Proti vnějším vlivům se působí vyjmutím z dosahu ohrožení apod. Stavy elektrického zařízení, ať už normální provozní, nebo mimo normál včetně nebezpečných stavů, jsou spojené i s působením elektřiny. Abychom působení elektřiny mohli vyhodnotit, musíme je přesně popsat. K popisu se používají příslušné veličiny. K vyhodnocení působících elektrických jevů se používají příslušné jednotky, s jejichž pomocí se elektrické veličiny měří.

1.1.1 Elektrické napětí, proud, odpor a výkon

Základními elektrickými veličinami, s nimiž se musí každý elektrotechnik ve své praxi potýkat, jsou elektrické napětí, elektrický proud a elektrický odpor. (Dále, pokud to bude z kontextu zřejmé, že se jedná o elektrické veličiny, budeme hovořit pouze o napětí, proudu a odporu.)

Funkci těchto tři veličin si můžeme zjednodušeně popsat takto:

Napětí, které je mezi dvěma místy (obvykle jsou to plochy, které, když jsou malé, považujeme za body), způsobuje, že mezi nimi prochází (protéká nebo je protlačován) **elektrický proud**. Elektrický proud je tím větší, čím větší je napětí mezi těmito místy. Říkáme, že proud je přímo úměrný napětí mezi nimi.

K tomu, aby elektrický proud mohl mezi dvěma místy procházet, potřebuje prostředí, kterým může být veden. Toto prostředí bývá tvořeno různými látkami. Vlastnosti těchto látek umožňují, aby, ať už celým jejich objemem, nebo po jejich povrchu, protékal elektrický proud. Přitom nejen na velikosti napětí, ale i na vlastnostech těchto látek záleží, jak bude jimi procházející nebo protékající elektrický proud velký. Vlastnost, která označuje schopnost vést elektrický proud, se nazývá **elektrická vodivost**. Opačná vlastnost, která se projevuje tím, že látka průchodu proudu brání, se nazývá **elektrický odpor**. Čím větší je odpor mezi dvěma místy, mezi nimiž je napětí, tím menší je mezi těmito místy elektrický proud.

Uvedené veličiny označujeme takto:

Napětí označujeme U , elektrický proud označujeme I a elektrický odpor označujeme R . Pomocí tohoto písmenného označení můžeme (při správně zvolených jednotkách) matematicky popsat vztah mezi uvedenými veličinami, který jsme si zatím vyjádřili pouze slovně:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1)$$

tj. proud I je přímo úměrný napětí U a nepřímo úměrný odporu R . Odtud také dostaneme (pravou i levou stranu rovnice násobíme R) další užívaný vztah:

$$U = I \cdot R. \quad (2)$$

Ten vyjadřuje, že protéká-li mezi dvěma místy, mezi nimiž je elektrický odpor R , elektrický proud o velikosti I , je mezi těmito místy napětí U . Jinými slovy, čím větší je mezi dvěma místy elektrický proud a elektrický odpor, tím větší je také mezi těmito místy elektrické napětí.

Samotnou vlastnost, kterou jsme nazvali elektrický odpor, je možno popsat následujícím vztahem (obě strany předchozí rovnice podělíme proudem I):

$$R = \frac{U}{I}. \quad (3)$$

Uvedený vztah byl po svém objeviteli nazván **Ohmův zákon**. Vyjadřuje, že elektrický odpor mezi dvěma místy je tím větší, čím větší je napětí mezi těmito místy a čím menší je elektrický proud, který mezi těmito místy prochází.

1.1.1.1 Jednotky elektrických veličin

Abychom však nehovořili jenom řečí abstraktních pojmů, řekneme si, co uvedené veličiny představují v praxi. Abychom mohli hovořit o velikosti napětí, proudu nebo odporu, musíme uvést, jak velké to napětí je, jak velký proud protéká vodičem nebo uniká izolací, jak velký je odpor izolace vedení nebo odpor vodiče, např. od tlačítka ke zvonku.

Musíme mít možnost vyjádřit, jak velké je napětí, které stačí k rozsvícení žárovky v baterce nebo k pohonu elektromotoru.

Proto uvedené veličiny vyjadřujeme v jednotkách. Zjednodušeně řečeno, čím více jednotek daná veličina má, tím je větší, vyšší nebo silnější.

V dalších příkladech se nebudeme zatěžovat přesným definováním jednotek, jimiž jsou poměřovány výše uvedené veličiny. Velikosti jednotek uvedených veličin si uvedeme na příkladech.

Jednotkou napětí je jeden **volt**. Značka této jednotky je **V**. Napětí 4,5 V je napětí, které stačí k rozsvícení žárovky v bateriové svítilně s baterií 4,5 V. 1 500 V, tedy napětí více než třistakrát vyšší, se používá ve stejnosměrné železniční traci.

Podobným způsobem se můžeme podívat na jednotku elektrického proudu. **Jednotkou elektrického proudu** je jeden **ampér** a značkou této jednotky je **A**. O velikosti této jednotky si můžeme udělat představu z toho, že např. jmenovitá velikost jističů pro ochranu vedení v elektrické instalaci bytů je 6 až 16 A. Pro napájení osvětlení místností bytu běžně postačuje proud do 6 A, pro napájení těch největších bytových spotřebičů je to proud až 16 A. Zde se ale nesmíme nechat zmýlit tím, že pro napájení šedesátivattové žárovky na 230 V je zapotřebí proud asi 0,26 A, zatímco pro napájení halogenových žárovek na malé napětí 12 V je třeba proudu téměř dvacetkrát většího, tj. 5 A. Tady je zapotřebí si všimnout další veličiny, o které si řekneme dále, totiž výkonu.

Vraťme se však k elektrickému odporu. **Jednotkou elektrického odporu** je jeden **ohm**, který má značku **Ω** . Jak již z předchozího textu vyplynulo, čím větší je elektrický odpor mezi místy, mezi nimiž je elektrické napětí, tím menší je proud procházející mezi těmito místy. V praxi se sleduje, aby elektrický odpor elektrického vedení byl co nejmenší – záleží totiž na tom, aby průchodem elektrického proudu tímto vedením byl způsoben co nejmenší úbytek napětí. Jeho velikost se může pohybovat maximálně v hodnotách jednotek ohmů, v běžných rozvodech a instalacích se však spíše jedná o desetiny ohmu.

Rovněž vypočítat **odpor vodiče a odpor elektrického vedení** by pro každého elektrotechnika mělo být hračkou. Odpor vodiče je tím větší, čím má větší délku L a tím menší, čím má větší průřez S . Pro velikost odporu vodiče R v ohmech proto platí známý vzorec:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}, \quad (4)$$

kde:

ρ je tzv. *rezistivita*, dříve měrný odpor vodiče, což je odpor vodiče jednotkové délky a jednotkového průřezu; v technické praxi (a tedy i ve výše uvedeném vzorci) je rezistivita rovna odporu vodiče délky 1 m a průřezu 1 mm², takže se udává v $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,

L je délka vodiče, která se udává v m,

S je průřez vodiče, který se udává v mm².

Pro ilustraci se můžeme zeptat, jak velký je úbytek napětí na elektrickém vedení 2,5 mm² Cu od bytové rozvodnice k domovní jednofázové zásuvce, na níž je připojen spotřebič odbírající proud 10 A, je-li délka vedení k zásuvce rovna 25 m.

Nejprve si vypočítáme odpor jednoho vodiče vedení. Rezistivita mědi při teplotě 20 °C se udává 0,018 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, takže odpor tohoto vodiče při teplotě 20 °C je $R = 0,018 \times 25/2,5 = 0,18 \Omega$. Odpor celého vedení, na němž průchodem proudu vzniká úbytek napětí, je dvojnásobný (jeden vodič tam a druhý zpět), takže je roven 0,36 Ω . Úbytek napětí, který na tomto vedení vzniká, se určí podle základního vzorce (2), v němž namísto napětí U uvedeme úbytek napětí $\Delta U = R \times I = 0,36 \times 10 = 3,6 \text{ V}$, což je $100 \times 3,6/230 \approx 1,6 \%$.

Jestliže však úbytek napětí počítáme, jak to má správně být, při maximální provozní teplotě vedení, zjistíme, že se zvětší. Je to tím, že se zvětší odpor vedení. S teplotou se totiž odpor vodičů a tedy i vedení zvětšuje. S každým stupněm Celsia (nebo, což je pro tento účel shodné, s každým Kelvinem K) vzroste odpor vodiče (ať už jeho materiál je měď nebo hliník) o 0,4 %. Proto, uvažujeme-li s provozní teplotou vedení, která může být až 70 °C, zjistíme, že odpor vedení může vzrůst až o $(70 - 20) \times 0,4 = 20$ %. To znamená, že v nejnepríznivějším případě vzroste odpor na $0,36 \times 1,2 = 0,432 \Omega$ a stejným způsobem vzroste úbytek napětí na 4,32 V, což je již téměř 1,9 % jmenovitého napětí 230 V.

Naopak **odpor izolace** takového vedení musí být co největší. Je to proto, aby z elektrického vedení do jeho okolí pokud možno neunikal žádný proud. Kdybychom však chtěli uvedeného cíle dosáhnout, musela by se hodnota odporu izolace blížit k nekonečnu. Znamenalo by to vytvořit dokonalou izolaci. To však není prakticky možné. Při použití izolačních materiálů na bázi plastů se dosahuje hodnot izolačních odporů řádově v megaohmech až desítkách megaohmů. Můžeme se tedy například zeptat: jak velký je proud unikající izolací elektrického vedení (ale může to být i izolací jakéhokoliv elektrického předmětu), jestliže jeho izolační odpor je 10 MΩ a napětí jádra vodiče daného vedení (resp. živé části elektrického předmětu) je 230 V? Jednoduše (podle vzorce 3) je to:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{(10 \cdot 10^6 \Omega)} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 0,023 \text{ mA}.$$

Jenom pro informaci si uvedeme, že izolační odpor vedení, na rozdíl od odporu vodičů, s teplotou klesá. Za normálních provozních stavů to nedělá celkem žádné potíže. Izolační stav se z tohoto důvodu ani za maximální dovolené provozní teploty nesnižuje pod předepsané hodnoty. Podstatně by se však zhoršil, pokud by teplota vedení dosáhla hodnoty dovolené při zkratu. To však již nejsou normální provozní podmínky a není nutné se jimi z hlediska izolačního odporu zabývat.

A nyní k **elektrickému výkonu**. Přívlastek elektrický používáme pouze proto, že se jedná o výkon v souvislosti s elektrickým zařízením. Jinak je výkon obecná fyzikální veličina a nezáleží na tom, zda se jedná o výkon elektromotoru nebo automobilového motoru, či jiného pohonu. Pokud se jedná o výkon odevzdávaný na hřídeli motoru, je jedno, zda byl tento výkon získán ve spalovacím motoru nebo v elektromotoru. Na hřídeli motoru je třeba jej také měřit.

Výkon jako fyzikální veličina se značí obvykle P . Při vyjádření pomocí elektrických veličin, tj. stejnosměrného napětí a stejnosměrného proudu (a správné volbě jednotek), se výkon přenášený elektrickým vedením rovná součinu těchto veličin:

$$P = U \cdot I. \quad (5)$$

Z hlediska střídavých elektrických veličin hovoříme obdobně o tom, že činný výkon se rovná součinu efektivních hodnot napětí a proudu a $\cos \varphi$. Přitom φ je úhel, o který se sinusový průběh napětí předbíhá před nebo zpožďuje za sinusovým průběhem proudu. Z praktického hlediska můžeme pro hrubý odhad pro výpočet činného výkonu ve střídavých sítích použít stejného vzorce, pro elektrotepelné spotřebiče platí výše uvedený vztah přesně. Je to proto, že v normálním elektrickém rozvodu a elektrických sítích, které jsou kompenzované, se průběh proudu za průběhem napětí zpožďuje pouze minimálně ($\cos \varphi$ se pohybuje v mezích 0,98 až 1), při napájení elektrotepelných spotřebičů není průběh napětí a proudu vzájemně posunutý vůbec.

Jednotkou výkonu je jeden **watt**. Jeho značka je **W**. Vyjádřeno v elektrických veličinách je to výkon, který je přenášen vedením stejnosměrného proudu 1 A při napětí 1 V. Při vedení střídavého proudu, jak jsme si ukázali, je situace trochu složitější. Ale i v tomto případě je možno hovořit o tom, že jeden watt je výkon přenášený vedením střídavého proudu, jehož efektivní hodnota je 1 A, při napětí, které není vůči proudu fázově posunuto, jehož efektivní hodnota je 1 V.

Z uvedeného vidíme, že výkon jakéhokoliv spotřebiče je sice úměrný proudu, který odebírá, ale že zároveň závisí na napětí. Stowattová žárovka na napětí 230 V sice odebírá proud čtyřikrát větší než pětadvacetiwattová žárovka na totéž napětí (konkrétně je to 0,434 A vůči 0,109 A), avšak proud šedesátiwattové žárovky na 230 V je skoro dvacetkrát menší než proud žárovky téhož výkonu na 12 V (konkrétně 0,26 A vůči 5 A).

Účelem této kapitoly nebylo podat exaktní definice veličin a jednotek, ale upozornit na vztahy mezi veličinami, které se v elektrotechnice používají.

Proto tuto kapitolu uzavřeme ještě jedním příkladem, který navazuje na příklad předchozí. Položme si otázku – kolikrát větší musí být průřez vodiče napájecího 10 šedesátiwattových žárovek na napětí 12 V než průřez vodiče napájecího 10 šedesátiwattových žárovek na napětí 230 V?

Ten, kdo nehledá zbytečné komplikace, vyjde z úvahy, že proud pro napájení žárovek na 12 V musí být podle předchozího téměř dvacetkrát větší než proud napájecí žárovky na napětí 230 V, takže i průřez vodičů musí být dvacetkrát větší. Zvětšení průřezu podle této úvahy se zdá více než značné, leč skutečnost je ještě daleko horší. Průřez by měl být pro žárovky na 12 V asi stopadesát až dvěstěkrát větší než pro žárovky na 230 V. Proč tomu tak je, se dozvíme v kapitole 7. Zatím si jenom řekneme, že teplo z vodiče, které je úměrné druhé mocnině procházejícího proudu, je odváděno povrchem vodiče, který je úměrný jeho průměru a nikoliv jeho průřezu.

1.1.2 Stejnosměrný (DC)* a střídavý proud (AC)*

V předchozí kapitole jsme si ukázali vlastnosti stejnosměrného proudu, přenosu výkonu za jeho pomoci a vztahy, které pro něj platí. Zatím jsme pro střídavý proud pouze uvedli, že vztahy, které platí pro něj, jsou obdobou vztahů pro stejnosměrné proudy a napětí. Nyní se otázkou střídavého proudu budeme zabývat trochu podrobněji, i když ne za pomoci exaktních definic a vztahů, ale spíše příkladů a ukázek.

Střídavý proud má název jednoduše od své vlastnosti, že protéká vodičem střídavě na jednu a na druhou stranu. Změny směru proudu jsou velmi rychlé. Střídavý proud průmyslového kmitočtu mění svůj směr stokrát za sekundu. To znamená, že v padesáti pulzech za sekundu prochází proud jedním směrem a těchto padesát pulzů je prostřídáno rovněž padesáti pulzy za vteřinu, kdy proud prochází opačným směrem. Proud se však nemění okamžitě ze své maximální hodnoty v jednom směru do maximální hodnoty v opačném směru.

O ideálním průběhu střídavého proudu se říká, že je sinusový. Nebudeme se zde zabývat matematickým popisem sinusové funkce. Řekneme si o ní jen, že elektrický proud, jehož velikost se s časem mění podle této funkce, nejprve strmě roste od nuly a jak se blíží ke své maximální hodnotě, jeho růst se zpomaluje. Zjednodušeně je možno říci, že okolo svého maxima

*) Viz kapitola 2.2.1 (str. 73).

se proud s časem téměř nemění. Po průchodu tímto maximem hodnota proudu klesá nejprve velmi pomalu, až v okolí průchodu proudu nulou je rychlost poklesu jeho velikosti největší a po průchodu nulou roste okamžitá hodnota proudu na opačnou stranu – stále větší proud prochází opačným směrem. Dále pak platí – jenže s opačným znaménkem – totéž, co jsme si již řekli o průběhu proudu v opačném směru (viz též obr. 1 až 3).

Takže průběh střídavého proudu si můžeme rozložit na velkou řadu okamžiků, v nichž proud určité velikosti probíhá jedním směrem. Opět, zjednodušeně řečeno, se tedy jedná o řadu po sobě následujících okamžitých hodnot stejnosměrného proudu.

Zřejmě všichni víme, že ve střídavých sítích, obvodech a instalacích není elektrický proud jedinou veličinou, která mění svou hodnotu střídavě z kladné na zápornou a naopak. Stejný, nebo lépe řečeno, obdobný průběh má ve střídavých obvodech elektrické napětí. Jeho hodnota také nejprve rychle od nulové hodnoty narůstá, prochází pomalu maximem a pak se rychle mění z kladné na zápornou hodnotu a opakuje svůj průběh k maximu, jenže s opačným znaménkem.

Na tomto místě bychom si měli položit několik otázek. Je průběh napětí časově shodný s průběhem proudu? A jak je to s výkonem? Není to náhodou tak, že kladný proud (rozumí se proud probíhající v kladné půlvlně, tj. nad časovou osou na obr. 1) výkon do napájeného zařízení přináší a záporný proud tento výkon zase odnáší zpět ke zdroji?

Tak především: pokud hovoříme o střídavých sítích, obvodech a zařízeních, je v nich rychlost střídání proudu i rychlost střídání napětí ze záporných do kladných hodnot stejná. Jinými slovy je možno říci, že proud i napětí mají stejnou frekvenci.

Poznámka:

Výše uvedená skutečnost se považuje za tak samozřejmou, že se nikde ani zvlášť neuvádí. Nicméně v obecném případě tomu tak vždy být nemusí. Například v elektrických sítích se navíc k proudům a napětím průmyslového kmitočtu mohou objevovat i proudy a napětí jiných, obvykle vyšších kmitočtů. V některých případech se ve střídavých sítích mohou vyskytovat značné pulzující proudy, tj. proudy stejnosměrné, které pouze mění svou velikost, nikoliv však směr. V některých obvodech, které napájejí převážně měniče, může stejnosměrná složka proudu i převažovat nad složkou střídavou. Taková síť se však přesto nazývá střídavou, protože napětí v ní zachovává svůj střídavý charakter a střídavý spotřebič připojený do této sítě pracuje obvyklým způsobem, tj. jako spotřebič určený pro střídavou síť.

Jak je tomu však se samotným průběhem napětí a proudu ve střídavých obvodech a sítích? Napětí a proud totiž nemusejí ve stejném okamžiku nabývat své maximální, resp. nulové hodnoty, ale, jak jsme se již zmínili, jejich průběh může být časově posunut. Tento časový posun záleží na charakteru zátěže, která je z obvodu nebo sítě napájena. Na tomto místě se nebudeme touto otázkou podrobněji zabývat. Jenom si řekneme, že v síti, která napájí elektrotepelná zařízení, tj. zařízení, jejichž spotřeba je charakterizovaná činným odporem, se proud za napětím ani nezpožďuje, ani ho nepředbíhá. Říká se, že proud a napětí jsou ve fázi. Pokud síť napájí elektromotory, které představují tzv. indukční zátěž, proud se za napětím zpožďuje. Jestliže v napájené síti převažují kapacity, které nejsou vyváženy indukčnostmi napájených elektromotorů, může se stát i to, že proud předbíhá napětí – to je však spíše výjimečný stav, kterému je radno se z důvodu nestability takové sítě vyhnout. Snahou dodavatele elektrické energie je, aby proud, pokud nemůže být s napětím ve fázi, se za napětím příliš nezpožďoval.

A nyní k tomu, jak je to s přenosem výkonu ve střídavých sítích, obvodech a instalacích. Již jsme si uvedli, že výkon stejnosměrného proudu je rovný $P = U \cdot I$.

Jak jsme si řekli, střídavé napětí a střídavý proud je možno rozložit na řadu po sobě následujících, krátce trvajících stejnosměrných hodnot. Tyto hodnoty nazveme okamžité hodnoty a budeme je značit malými písmeny. Okamžitý výkon, což je výkon v kterémkoliv okamžiku průběhu křivky napětí a proudu, se pak rovná:

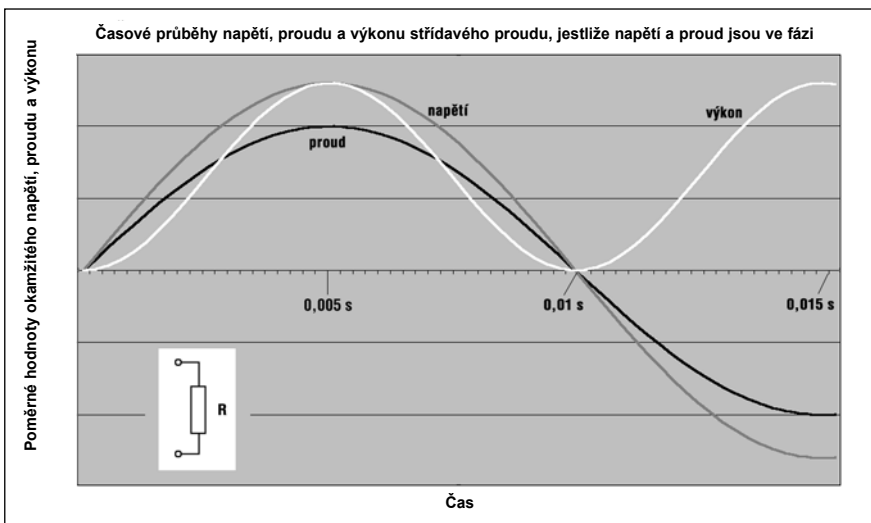
$$p = u \cdot i. \quad (6)$$

Z uvedeného vztahu je vidět, že okamžité hodnoty výkonu se mění v závislosti na tom, jak se mění napětí a proud. První dojem nás může svádět k myšlence, že okamžité hodnoty výkonu mají obdobný časový průběh jako okamžité hodnoty proudu a napětí. To by znamenalo, že v první půlperiodě je výkon kladný, ve druhé záporný. Není tomu tak. Již na základní škole jsme se dozvěděli, že součin záporných čísel je kladný. Jsou-li tedy napětí a proud ve fázi, je výkon kladný jak v případě, že jsou obě uvedené veličiny kladné (v první půlperiodě), tak i tehdy, jsou-li tyto veličiny záporné (ve druhé půlperiodě). Vulgárně řečeno, výkon prochází elektroměrem do domu, bytu, objektu atd., ať již jde proud tam nebo zpět. Rovněž průběh výkonu je znázorněn na obr. 1.

Poznámka pro zvlášť zatvrzelé jedince, kteří matematické zdůvodnění odmítají svým vnitřním nejniternějším rozumem přijmout:

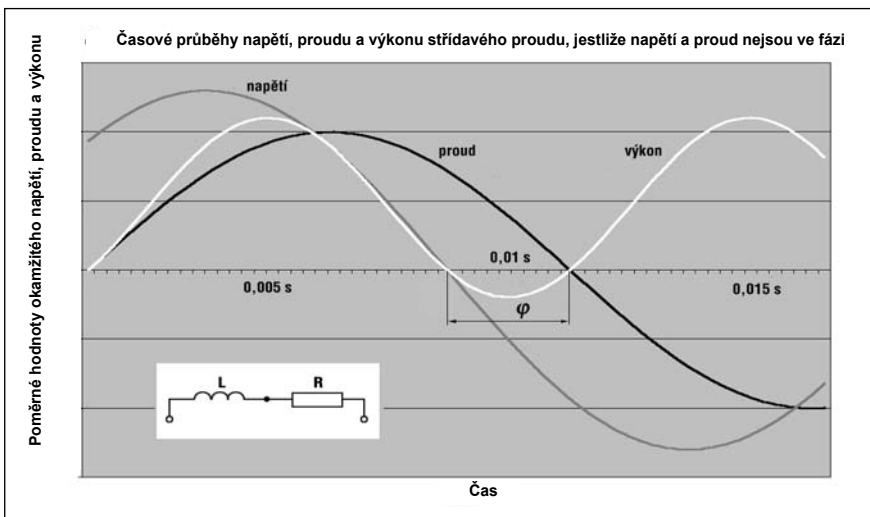
Jedná se o obdobný případ, jako u dvojčinného parního stroje pohánějícího pístem kolo lokomotivy. V první fázi odpovídající první půlperiodě jde píst dopředu a tlačí, ve druhé fázi jde píst zpět a táhne – v obou fázích pohybu se však výkon přenáší na poháněné kolo a žene lokomotivu a celý vlak dopředu.

To je tedy případ, kdy jsou ve střídavých sítích a obvodech napětí a proudu ve fázi. Výše jsme však uvedli, že tomu také tak být nemusí. Skutečně – velmi často, možno říci většinou, se proud



Obr. 1 Časové průběhy napětí, proudu a výkonu střídavého proudu, jestliže napětí a proud jsou ve fázi

za napětím, i když nepatrně, opožděje. V některých případech může proud napětí i předbíhat. V těchto případech ovšem dochází ke kratší nebo delší době k tomu, že se okamžité hodnoty proudu a napětí ve svém znaménku liší. Po tuto dobu, kdy jsou znaménka proudu a napětí opačná, se skutečně výkon vrací z místa spotřeby ke zdroji. Takový případ je znázorněn na obr. 2. Zde se nebudeme zabývat fyzikálními příčinami tohoto jevu, zatím přijmeme pouze, že tomu tak je.



Obr. 2 Časové průběhy napětí, proudu a výkonu střídavého proudu, jestliže napětí a proud nejsou ve fázi

Poznámka:

Někdo může jít ve své úvaze ještě dále a říci si: Co když jsou okamžité hodnoty napětí a proudu opačného znaménka v celém časovém průběhu? Odpověď je jednoduchá. Výkon je pak skutečně záporný a možno říci, že teče od spotřeby ke zdroji. Je něco takového možné? Samozřejmě. Příkladem mohou být závodní elektrárny paralelně spolupracující s rozvodnou sítí. Ty mohou v době, kdy klesne odběr v závodě, dodávat energii (výkon) do sítě.

Jak je to však ve střídavé síti s Ohmovým zákonem? Každý z nás máme určité povědomí, že ve střídavé síti používáme namísto odporu impedanci a že to s tím podílem napětí a proudu není tak jednoduché jako u stejnosměrného proudu a napětí.

Pro začátek si však řekněme o tom nejjednodušším případě. Ten je představován obvodem, na jehož jedné straně je zdroj napětí U na druhé straně pak odporová zátěž. V takovém případě, počítáme-li hodnoty okamžitých proudů, dostaneme z Ohmova zákona pro okamžitou hodnotu proudu:

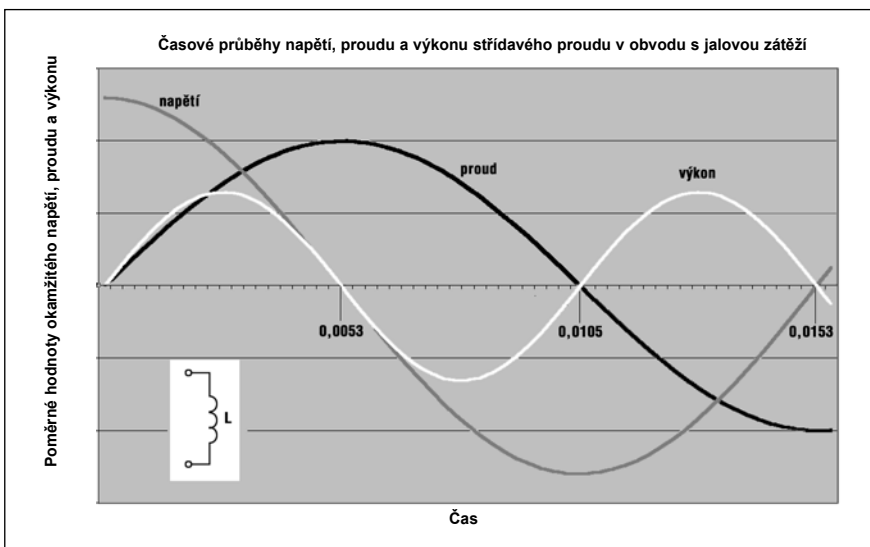
$$i = \frac{u}{R}. \quad (7)$$

Z toho vidíme, že proud při odporové, jinak říkáme též činné, zátěži je ve fázi s napětím, jak je znázorněno na obr. 1 (str. 23).

Když jsme uvedli, že odporová zátěž je činná zátěž, okamžitě se nabízí otázka, zda může existovat ještě nějaká jiná zátěž, například zátěž nečinná? Bohužel jsme takoví, že nikoho a nic nenecháme zahálet, takže nečinná zátěž neexistuje. Jako opak k výrazu činná zátěž však existuje jiný hezký termín, a to jalová zátěž.

Je to zátěž, která, alespoň z hlediska elektrotechniků, kteří tento termín zavedli, nic užitečného neprovádí. Ta je v obvodu na nic, výkon ani nespoteřovává, ani nevyrábí, je tedy jalová. Co však vlastně taková jalová zátěž v obvodu dělá? Protéká jí vůbec nějaký proud, když nespoteřovává žádný výkon? Charakter takové zátěže z hlediska průběhu napětí, proudu a výkonu vidíme na obr. 3. Vidíme, že tato zátěž proud zpožďuje za napětím takovým způsobem, že v okamžiku, kdy napětí prochází maximem, prochází proud nulou, v době, kdy velikost napětí klesá, proud roste a v okamžiku, kdy proud prochází maximem, napětí prochází nulou a dále se pak zvětšuje směrem k záporným hodnotám. Zbytek můžete z obr. 3 vyčíst sami.

Na obr. 3 je také znázorněn průběh výkonu. Vidíme, že určitý výkon zátěž zpočátku odebere, stejný výkon však v dalším průběhu vrátí. Taková jalová zátěž je charakterizována tím, že v konečném souhrnu ze sítě nic ani neodebírání ani do ní nic nedodává. Je tedy skutečně jalová. Přesto však se taková jalová zátěž v síti projevuje. I když ze sítě žádný skutečný výkon neodebírání, vyžaduje, aby do ní byl přiváděn elektrický proud. Tím je síť zatěžována. Přitom náklady na přenos tohoto jalového výkonu jsou stejné jako náklady na přenos činného výkonu. To je také důvod, proč energetické společnosti odběr jalového výkonu penalizují a proč také jalovou energii v síti různými zařízeními (kondenzátory, synchronními kompenzátory apod.) kompenzujeme, abychom její hodnotu snížili na minimum.



Obr. 3 Časové průběhy napětí, proudu a výkonu střídavého proudu v obvodu s jalovou zátěží