

Ing. Michal Kříž

Příručka pro zkoušky elektrotechniků – požadavky na základní odbornou způsobilost

(dvanácté – aktualizované vydání)



www.iisel.com

Internetový Informační Systém pro Elektrotechniky



System quickconnect Bezšroubové připojení



Rychlost montáže
Bezúdržbovost
Bezpečnost



Jste přetažení?

Použijte bezšroubové připojení.

Připojení pomocí pružinových svorek namísto šroubových spojů – **systém quickconnect** při instalaci **ušetří až 40 % času** ve srovnání se šroubovými svorkami.

Na produkty s bezšroubovými svorkami se vztahuje **prodloužená záruka** v délce **5 let**.

Více informací na hager.cz.



:hager

Ing. Michal Kříž

Příručka pro zkoušky elektrotechniků – požadavky na základní odbornou způsobilost

(dvanácté – aktualizované vydání)

Text k inzerátu na první straně obálky:

Celosvětově aktivní firma FINDER s více než 60letou tradicí výroby elektrotechnických a elektronických přístrojů:

pro spínání:

- relé do plošných spojů
- průmyslová relé
- reléové vazební členy
- polovodičová relé

pro ovládání a kontrolu:

- relé s nuceně vedenými kontakty
- časová relé
- elektronické elektroměry
- kontrolní a měřicí relé
- snímače hladiny
- spínané napájecí zdroje
- přepětové ochrany
- termostaty a hydrostaty

pro instalace budov:

- impulzně ovládané spínače
- soumrakové spínače
- pohybová čidla
- schodišťové automaty
- spínací hodiny
- stmívače
- modulární stykače

pro drážní aplikace

pro fotovoltaické aplikace

**přístroje sběrnicevého systému KNX,
přístroje automatizačního systému YESLY
pro ovládání technologií domů a budov**

Kontakt:

Finder CZ, s. r. o., Radiová 1567/2 b, 102 00 Praha 10

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

finder.cz@findernet.com, www.findernet.com

ISBN 978-80-87942-69-7

Příručka pro zkoušky elektrotechniků – požadavky na základní odbornou způsobilost

(dvanácté – aktualizované vydání)



Moravský svaz elektrotechniků

Geislerova 3, 615 00 Brno,

Sekretariát:

Tel.: +420 548 533 850

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
- 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

Prodeje:

- 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 systému jakosti ISO 9000/2000
- analýza sítě dle zákona 169/1997 Sb. hodnocení EMC
- elektrotechnickým cechům – živnostenským společenstvím

Dvanácté vydání Příručky pro zkoušky elektrotechniků, obdobně jako předchozí vydání, obsahuje logický přehled základních poznatků z elektrotechniky a požadavků na elektrická zařízení, zejména z hlediska bezpečnosti, které by měl znát kvalifikovaný elektrotechnik. Podává výklad základních poznatků, jež jsou důležité, aby elektrotechnici uměli rozpoznat nebezpečí, která mohou při provozu elektrického zařízení vznikat a včas tímto nebezpečím zabránit. Nemusí se přitom jednat pouze o nebezpečí pro osoby, ale může jít i o ohrožení majetku a okolí.

Toto vydání je aktualizováno podle norem platných k 1. 7. 2020.

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 principů uvedených v ČSN EN 50110-1 ed. 3, v níž jsou vysvětleny zásady bezpečnosti v elektrotechnice. 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.

Jedna z nejdůležitějších částí, to je část šestá, je tradičně věnována problematice ochrany před úrazem elektrickým proudem. Ta je upravena s ohledem na sjednocené pojetí ochrany před úrazem elektrickým proudem ve veškerých elektrických zařízeních, i s ohledem na zásady této ochrany v elektrických instalacích. To je vysvětleno v souladu s platnými mezinárodními a evropskými normami (ČSN EN 61140 ed. 3:2016 a ČSN 33 2000-4-41 ed. 3:2018 a dalšími). Na začátku této části je také vysvětleno, proč se již pro ochranu před úrazem elektrickým proudem v elektrických instalacích do 1000 V neuplatňuje rozdělení prostorů na normální, nebezpečné a zvláště nebezpečné, protože mnohdy nebezpečí úrazu záleží na odborné způsobilosti nebo spíše nezpůsobilosti těch, kteří s elektrickým zařízením zacházejí. Jako vodítka pro volbu ochranných opatření mohou posloužit tabulky této publikace, a to tab. 26 uvádějící jaké proudové chrániče volit v určitých případech, a tab. 28 uvádějící jaká ochranná opatření volit v závislosti na vnějších vlivech.

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 také zajištění bezpečného provozu strojů podle ČSN EN 60204-1 ed. 3:2019. Nově je v této části doplněna informace o tzv. obloukových ochranách, které doplňují mezeru v ochranách před vznikem požárů z důvodu jiskření v narušených částech elektrických vedení.

Ochranou před bleskem, a to nejen před jeho účinky na objekty, ale i na vnitřní elektrická, a především elektronická zařízení a výpočetní techniku, se v souladu s druhým vydáním souboru norem ČSN EN 62305 řešícím tuto problematiku zabývá osmá část příručky.

V tomto dvanáctém vydání jsou zohledněna nová vydání technických norem, jako je ČSN EN 61140 ed. 3:2016 pro ochranu před úrazem elektrickým proudem, ČSN EN 50110-1 ed. 3 pro práci na elektrických zařízeních a jejich obsluhu, ČSN 33 0165 ed. 2 pro značení vodičů barvami anebo číslicemi, souboru ČSN ISO 3864 pro bezpečnostní barvy a značky, nová vydání částí 7 souboru ČSN 33 2000, které platí pro elektrické instalace v různých prostorech a objektech (např. zdravotnických prostorech). Byly upraveny definice a třídění

elektrických zařízení, aby odpovídaly novému vydání ČSN 33 0010 ed. 2:2014 uvádějícímu rozdělení elektrických zařízení odpovídající současnému stavu techniky.

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	15
1.1	Základní vztahy v elektrotechnice	15
1.1.1	Elektrické napětí, proud, odpor a výkon	16
1.1.1.1	Jednotky elektrických veličin	17
1.1.2	Stejnoseměrný (DC) a střídavý proud (AC)	20
1.1.3	Efektivní hodnoty napětí, proudu a výkonu – impedance	24
1.1.4	Sériové a paralelní řazení odporů a impedancí – Kirchhoffovy zákony	30
1.1.5	Trojfázové obvody	34
1.2	Význam a rozdělení elektrotechnických materiálů	36
1.2.1	Vodiče a izolanty	36
1.2.2	Kapacity a indukčnosti	38
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	47
	Technické normy ke kapitole 1	48
	Kontrolní otázky ke kapitole 1	48
2.	ZÁSADY BEZPEČNOSTI V ELEKTROTECHNICE	53
2.1	Bezpečnost a podmínky jejího dodržování	53
2.1.1	Bezpečnost elektrických zařízení	53
2.1.2	Odborná způsobilost v elektrotechnice	53
2.1.3	Rozdělení elektrických zařízení z hlediska bezpečnostních rizik	61
2.1.4	Bezpečnostní značení – bezpečnostní barvy	65
2.1.5	Bezpečnostní značky	67
2.1.6	Ochranná pásma elektrických zařízení	69
2.1.6.1	Ochranná pásma venkovních vedení	69
2.1.6.2	Ochranná pásma podzemních vedení	70
2.1.6.3	Ochranná pásma elektrických stanic	72
2.1.6.4	Ochranná pásma výroben	73
2.1.7	Systém povinné péče o bezpečnost elektrických zařízení	73
2.1.8	Průvodní a provozní dokumentace	76
2.2	Rozdělení elektrických zařízení	77
2.2.1	Druhy elektrických zařízení	77
2.2.2	Rozdělení elektrických zařízení podle napětí	79
2.2.3	Jmenovitá napětí do 1 000 V	81
2.2.4	Druhy sítí (TN, TT, IT)	81

Literatura ke kapitole 2	85
Technické normy ke kapitole 2	86
Právní předpisy ke kapitole 2	87
Kontrolní otázky ke kapitole 2	88
3. PRÁCE NA ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍCH A JEJICH OBSLUHA	91
3.1 Bezpečnost při činnostech na elektrických zařízeních	91
3.1.1 Rozdíl mezi obsluhou elektrických zařízení a prací na elektrických zařízeních	91
3.1.2 Kvalifikace osob určených pro obsluhu elektrických zařízení a pro práci na elektrických zařízeních	92
3.1.3 Vedoucí práce	93
3.1.4 Osoba odpovědná za elektrické zařízení a osoba pověřená kontrolou elektrického zařízení během pracovní činnosti	93
3.1.5 Práce podle pokynů, práce s dohledem a pod dozorem	93
3.1.6 Práce na elektrických zařízeních a jejich obsluha vykonávaná osobami seznámenými, poučenými, znalými a znalými s vyšší kvalifikací	94
3.1.7 Nářadí, výstroj (osobní ochranné a pracovní prostředky) a přístroje	94
3.1.8 Označení elektrických zařízení	94
3.1.8.1 Označení na veřejně přístupných místech	94
3.1.8.2 Označení pro zajištění bezpečnosti při práci	95
3.1.8.3 Používání bezpečnostních sdělení	95
3.1.9 Oděv při práci a obsluze elektrických zařízení	96
3.1.10 Dorozumívání při činnostech na elektrickém zařízení	96
3.1.11 Zajištění bezpečnosti při práci	96
3.1.12 Základní technickoorganizační opatření	97
3.1.12.1 Na které práce se příkaz B vydává	98
3.1.12.2 Kdo příkaz B vydává a podepisuje	99
3.1.12.3 Co znamená ukončit práce na zařízení	99
3.1.12.4 Zapnutí zařízení	99
3.1.13 Zásady pro obsluhu elektrických zařízení (pro provozní činnosti podle ČSN EN 50110-1 ed. 3:2015)	100
3.1.14 Způsoby práce na elektrických zařízeních	100
3.1.15 Zásady pro práce na elektrických zařízeních	101
3.1.16 Kdo musí být seznámen s funkcí a účelem spínačů	102
3.1.17 Vypínání elektrických zařízení z bezpečnostních a požárních důvodů	102
3.1.18 Zajištění pracoviště – vypnutí, odpojení a další podmínky	102
3.2 Elektrotechnické provozovny	103
3.2.1 Opatření pro zajištění provozu v akumulátorovnách a nabíječnách	103
3.3 Zajištění elektrických zařízení při požáru, zátopách a jiných ohroženích	104
3.4 Ochranné a pracovní prostředky	105
3.4.1 Používání a údržba pryžových rukavic a obuvi pro elektrotechniku	105

3.4.2	Vybavení elektrických provozoven ochrannými a pracovními prostředky	105
3.4.3	Vybavení elektrických zařízení bezpečnostními značkami a tabulkami	106
	Literatura ke kapitole 3	109
	Technické normy ke kapitole 3	109
	Právní předpisy ke kapitole 3	109
	Kontrolní otázky ke kapitole 3	109
4.	REVIZE, PROHLÍDKY A ZKOUŠKY ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ	111
4.1	Výchozí a pravidelné revize elektrických zařízení, periodické prohlídky a zkoušky	111
4.1.1	Účel revizí	111
4.1.2	Lhůty revizí a postup při revizích	111
4.2	Kontroly a revize elektrického ručního nářadí a spotřebičů držených v ruce	111
	Literatura ke kapitole 4	112
	Technické normy ke kapitole 4	112
	Právní předpisy ke kapitole 4	112
	Kontrolní otázky ke kapitole 4	113
5.	PRVNÍ POMOC PŘI ÚRAZU ELEKTRICKOU ENERGIÍ	115
5.1	Rozdělení úrazů elektrickou energií podle příčiny	115
5.2	Zásady preventivních opatření	116
5.3	Postup záchranných prací	118
5.4	Postup při poskytování první pomoci	119
5.4.1	Ošetření postiženého	119
5.4.2	Umělé dýchání	120
5.4.3	Nepřímá srdeční masáž	120
5.4.4	Přivolání lékaře, další ošetření, oznámení úrazu	121
5.5	Sepsání záznamu o úrazu	122
	Literatura ke kapitole 5	122
	Právní předpisy ke kapitole 5	123
	Kontrolní otázky ke kapitole 5	123
6.	OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM	125
6.1	Podmínky pro zajištění ochrany před úrazem elektrickým proudem	125
6.1.1	Dovolená dotyková napětí	125
6.2	Základní pravidlo ochrany před úrazem elektrickým proudem	130
6.3	Zajištění ochrany z hlediska podmínek provozu	132

6.3.1	Normální podmínky – základní ochrana (dříve ochrana před dotykem živých částí)	132
6.3.2	Podmínky jedné poruchy – ochrana při poruše (dříve ochrana před dotykem neživých částí)	133
6.3.3	Zvláštní případy – doplňková ochrana	133
6.4	Prostředky k zajištění ochrany	136
6.4.1	Prostředky základní ochrany (dříve též – ochrany před dotykem živých částí)	136
6.4.1.1	Základní izolace	136
6.4.1.2	Přepážky a kryty	136
6.4.1.3	Zábrany	137
6.4.1.4	Ochrana polohou (umístěním mimo dosah)	137
6.4.1.5	Omezení napětí	139
6.4.1.6	Omezení ustáleného dotykového proudu a náboje	139
6.4.1.7	Řízení potenciálu	139
6.4.2	Prostředky ochrany při poruše (dříve – ochrany před dotykem neživých částí)	140
6.4.2.1	Přídavná izolace	140
6.4.2.2	Ochranné pospojování	140
6.4.2.3	Ochranné stínění	142
6.4.2.4	Automatické odpojení od zdroje	143
6.4.2.5	Jednoduché oddělení (obvodů)	144
6.4.2.6	Nevodivé okolí	144
6.4.2.7	Řízení potenciálu	145
6.4.3	Prostředky zvýšené ochrany zajišťující zároveň ochranu základní i při poruše	145
6.4.3.1	Zesílená izolace	145
6.4.3.2	Ochranné oddělení obvodů	146
6.4.3.3	Zdroj omezeného proudu	146
6.4.3.4	Ochranná impedance	146
6.5	Kompletní opatření pro ochranu před úrazem elektrickým proudem	147
6.5.1	Automatické odpojení od zdroje	147
6.5.2	Dvojitá nebo zesílená izolace	148
6.5.3	Elektrické oddělení	148
6.5.4	SELV, PELV a FELV	149
6.5.4.1	SELV	149
6.5.4.2	PELV	149
6.5.4.3	FELV	150
6.5.5	V praxi méně používaná ochranná opatření	150
6.5.5.1	Ochranné pospojování	150
6.5.5.2	Nevodivé okolí	151
6.5.5.3	Omezení proudu a náboje	151
6.6	Požadavky na prostředky základní ochrany	152
6.6.1	Izolační odpor elektrických zařízení	152

6.6.2	Krytí – IP a IK kód	152
6.6.2.1	Stupně ochrany krytem – IP kód	153
6.6.2.2	Stupně ochrany krytem – IK kód	154
6.7	Elektrické sítě z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem	155
6.7.1	Rozdíl mezi sítěmi TN-C a TN-S	155
6.7.2	Rozdíl mezi sítěmi TN, TT a IT	158
6.7.2.1	Sítě TT	158
6.7.2.2	Sítě IT	161
6.7.2.3	Doplňující pospojování	164
6.8	Prostředky ochrany při poruše – ochranné vodiče, zemnění a pospojování, ochranné přístroje	166
6.8.1	Vedení a kladení ochranných vodičů	166
6.8.2	Využití náhodných ochranných vodičů, vodičů pospojování, překlenutí vodoměrů	168
6.8.3	Užití zemniců	170
6.8.4	Dimenzování, uložení a spojování zemniců	171
6.8.5	Ochrana zemniců před korozí	172
6.8.6	Ochranné přístroje	173
6.8.6.1	Nadproudové ochranné přístroje	174
6.8.6.2	Proudové chrániče	174
6.8.6.3	Napěťové chrániče	177
6.8.6.4	Hlídače izolačního stavu	178
6.9	Koordinace ochranných opatření – třídy ochrany elektrických předmětů, vnější vlivy, provozní stavy	179
	Literatura ke kapitole 6	183
	Technické normy ke kapitole 6	183
	Kontrolní otázky ke kapitole 6	184
7.	PROVEDENÍ ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ	189
7.1	Elektrické vedení – jištění a jeho volba	189
7.1.1	Základní zásady pro dimenzování vedení	189
7.1.2	Proudy vodičů	189
7.1.3	Jisticí prvky	191
7.1.4	Zásady volby jisticích prvků	195
7.1.5	Jištění před vznikem elektrického oblouku	196
7.1.5.1	Úvod	196
7.1.5.2	Všeobecně	197
7.1.5.3	Sériové poruchy	198
7.1.5.4	Paralelní poruchy	198
7.1.5.5	Způsob činnosti	199
7.1.5.6	Jak to je s uplatněním přístrojů AFDD	200
7.1.5.6	Příklady poruch, které přístroje AFDD odpojují	200
7.1.5.7	Použití obloukové ochrany	201

7.2	Všeobecné a konstrukční požadavky	202
7.2.1	Označení vodičů a svorek	202
7.2.2	Provedení ochranných svorek (místa připojení ochranných vodičů)	205
7.2.3	Barvy světelných návěstí a ovládacích tlačítek a jejich základní označení	206
7.2.4	Elektrická zařízení v prostředí normálním	207
7.2.5	Elektrická zařízení v prostředí mokřem a s nebezpečím požáru hořlavých prachů a hmot	208
7.2.6	Elektrická zařízení v hořlavých hmotách a na hořlavých podkladech	211
7.3	Kladení vedení	212
7.3.1	Zásady spojování vodičů	212
7.3.2	Průchody (prostupy) vedení zdmi a konstrukcemi	212
7.3.3	Kabelové prostory a kanály	213
7.4	Připojování elektrických přístrojů a spotřebičů	215
7.4.1	Zásuvky, vidlice, přívodky a nástrčky – hlavní zásady připojení	215
7.4.1.1	Domovní zásuvky a vidlice	215
7.4.1.2	Průmyslové zásuvky	217
7.4.1.3	Nástrčky a přívodky	218
7.4.2	Kladení pohyblivých přívodů a šňůrových vedení	218
7.5	Vnitřní elektrické rozvody	220
7.5.1	Zajištění bezpečnosti při připojování odběrného elektrického zařízení k síti	220
7.5.2	Průřezy vodičů v bytech a jejich jištění	221
7.5.3	Připojování zásuvek	221
7.5.4	Instalace v koupelnách, ochranné pospojování, proudový chránič	221
7.6	Elektrické stanice	224
7.6.1	Elektrické stanice podle obsluhy	224
7.6.2	Uzemnění v elektrických stanicích	224
7.6.3	Zásady uzemňování	225
7.7	Strojní zařízení	226
7.7.1	Obsah technické dokumentace	226
7.7.1.1	Základní informace	227
7.7.2	Provedení řídicích obvodů	227
7.7.2.1	Opatření pro omezení rizika v řídicích obvodech	227
7.7.2.2	Přístroje pro nouzové vypnutí	228
7.7.3	Označování vodičů – doplnění ke kapitole 7.2.1	228
7.7.4	Připojování pohyblivých nebo přestavitelných částí strojního zařízení	229
7.8	Prozatímní elektrická zařízení	230
7.8.1	Rozdělení prozatímních elektrických zařízení	230
7.8.2	Zásady pro zřizování a provoz prozatímních elektrických zařízení	230
7.8.3	Zřizování prozatímních elektrických zařízení v průmyslových závodech	232

7.9	Nebezpečí, riziko, ochranná opatření	232
7.9.1	Požadavky na elektrotechnické výrobky a zařízení	234
7.9.2	Posuzování rizik a provedení elektrických zařízení	234
	Literatura ke kapitole 7	234
	Technické normy ke kapitole 7	235
	Kontrolní otázky ke kapitole 7	236
8.	OCHRANA PŘED BLESKEM A PŘEPĚTÍM	241
8.1	K současnému pojetí ochrany před bleskem – ochrany budov i elektronických systémů	241
8.1.1	Proč provádět ochranu před bleskem a jeho účinky důkladněji než dříve	241
8.1.2	Nová terminologie používaná v oblasti ochrany před bleskem	242
8.2	Vnější ochrana před bleskem a přepětím	242
8.2.1	Zásady pro zřizování a provoz podle druhu a charakteru chráněného objektu	242
8.2.1.1	Které objekty se musí chránit před bleskem	242
8.2.1.2	Hledisko pravděpodobnosti škody při zřizování hromosvodu	243
8.2.1.3	Základní části vnější LPS	244
8.2.1.4	Třídy LPS – provedení hromosvodu s ohledem na důležitost objektu a možné škody	245
8.2.1.5	Použití náhodných součástí pro konstrukci LPS	247
8.2.2	Jímače	247
8.2.2.1	Prvky jímačů	247
8.2.2.2	Ochranný prostor jímačů	248
8.2.3	Svody	250
8.2.3.1	Připojování svodů k jímačům	250
8.2.3.2	Umístění svodů	250
8.2.3.3	Počet svodů	250
8.2.3.4	Provedení svodů	251
8.2.3.5	Umístění vedení jímací soustavy i svodů	252
8.2.4	Uzemnění	253
8.3	Vnitřní ochrana před bleskem a přepětím	254
8.3.1	Ochrana před přepětími	254
8.3.2	Svodiče bleskového proudu a svodiče přepětí	257
	Literatura ke kapitole 8	261
	Právní předpis ke kapitole 8	261
	Technické normy ke kapitole 8	261
	Kontrolní otázky ke kapitole 8	261
Příloha 1	Základní veličiny a jednotky v elektrotechnice a vztahy mezi nimi	263
Příloha 2	Používané násobky a díly jednotek v elektrotechnice	264



Partner všech elektrotechniků

www.in-el.cz

obchod.in-el.cz



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. Tištěnou literaturu zasíláme na dobírku a též si ji můžete zakoupit v sídle naší firmy a u řady prodejců.

obchod.in-el.cz | e-knihy | tištěné knihy | iiSEL®

Jako první v České republice vydáváme odborné příručky pro elektrotechniky i v elektronické podobě. **Naše e-knihy** umožňují standardní funkce, jako interaktivní obsah v levém rámci, přímé odkazy v celém textu na zmiňované kapitoly, obrázky, tabulky, přílohy, literaturu, webové stránky.

Hlavní výhodou našich e-knih je **vstup do textů norem (ČSN)**, které jsou v příručkách zmíněné (pro čtenáře, kteří mají zaplacenou službu ČSN on-line).

E-knihy můžete odebírat jednotlivě každou knihu 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.

Všechny funkce e-knih si můžete ověřit na **ukázkové e-knize**, která je ke stažení zdarma. Aktuální nabídka a podrobnosti na adrese **obchod.in-el.cz**.



Obchod – obchod.in-el.cz | obchod@in-el.cz | tel.: 774 079 755
Informační servis – iiSEL® | jan.lojkasek@in-el.cz | tel.: 724 069 755

www.in-el.cz | info@in-el.cz | tel.: 724 085 644

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	přepět'ové 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 tří 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 písmenového 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 třikrát 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 stejného výkonu na malé napětí 12 V je třeba proudu téměř dvacetkrát většího, tj. 5 A. Tady je zapotřebí si všimnout dalších veličin, 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 v výše uvedeném vzorci) je rezistivita rovna odporu vodiče délky 1 m a průřezu 1 mm², takže se udává v Ω·mm²/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 $2,5 \text{ mm}^2$ Cu od bytové rozvodnice k domovní jednofázové zásuvce, na níž je připojen spotřebič odebírající 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 proudů vzniká úbytek napětí, je dvojnásobný (jeden vodič tam a druhý zpět), takže je roven $0,36 \Omega$. Úbytek napětí, který na tomto vedení vzniká, se určí podle základního vzorce (2), v němž namísto napětí U uvedeme úbytek napětí

$$\Delta U = R \times I = 0,36 \times 10 = 3,6 \text{ V}, \text{ což je } 100 \times 3,6/230 \approx 1,6 \, \%.$$

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 $4,32 \text{ V}$, 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 jakéhokoli elektrického předmětu), jestliže jeho izolační odpor je $10 \text{ M}\Omega$ a napětí jádra vodiče daného vedení (resp. živé části elektrického předmětu) je 230 V ? Jednoduše (podle vzorce 3) je to:

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

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**. Prívlastek 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 (ale může to být jakýkoliv jiný elektrický odporový spotřebič) 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 nehlédá 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 sto padesát 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 Stejnoseměrný (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 prostrídáno 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 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.

* Viz kapitola 2.2.1 (str. 77).

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 elektrotopelná 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, 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:

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

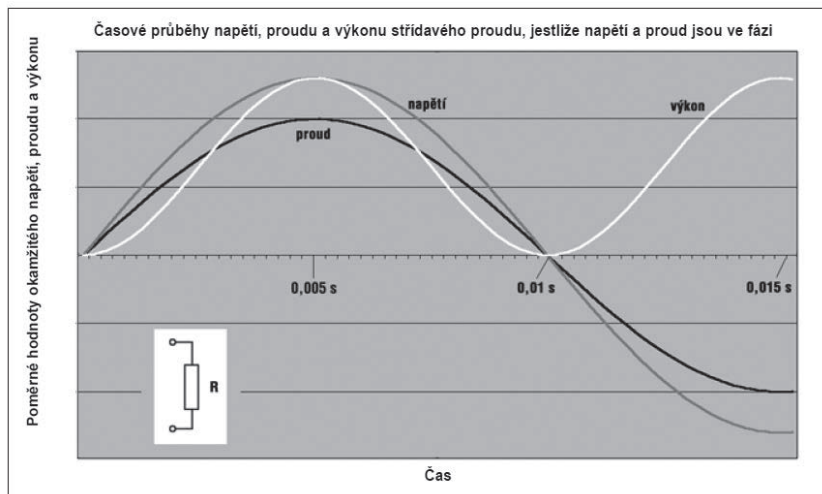
Z uvedeného vztahu je vidět, že okamžité hodnoty výkonu se mění v závislosti na tom, jak se mění napětí a proud. První dojem nás může svádět k myšlence, že okamžité hodnoty výkonu mají obdobný časový průběh jako okamžité hodnoty proudu a napětí. To by znamenalo, že v první půlperiodě je výkon kladný, 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 zvlášt' zatvrzelé jedince, kteří matematické zdůvodnění odmítají svým vnitřním nejniternějším rozumem přijmout:

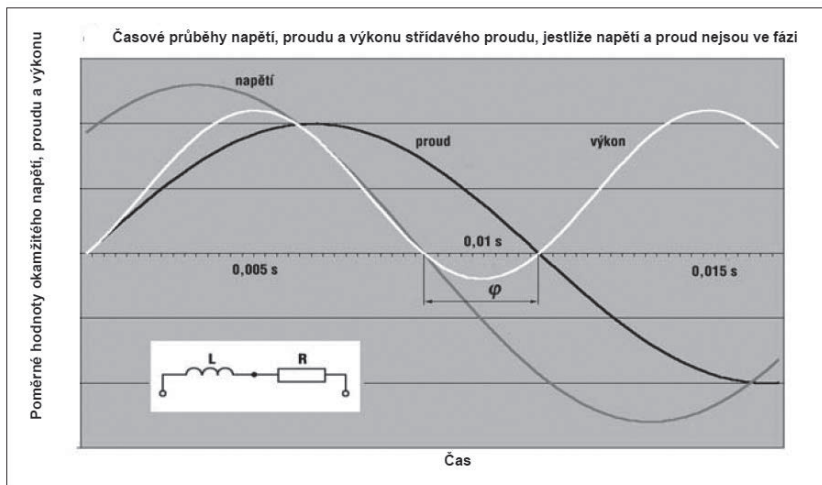
Jedná se o obdobný případ, jako u dvojčinného parního stroje pohánějícího pístem kolo lokomotivy. V první fázi odpovídající první půlperiodě jde píst dopředu a tlačí, ve druhé fázi jde píst zpět a táhne – v obou fázích pohybu se však výkon přenáší na poháněné kolo a žene lokomotivu a celý vlak dopředu.

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 za napětím, i když nepatrně, opoždí. V některých případech může proud napětí i předbíhat.

V těchto případech ovšem dochází na kratší nebo delší dobu 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. 1 Časové průběhy napětí, proudu a výkonu střídavého proudu, jestliže napětí a proud jsou ve fázi



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:

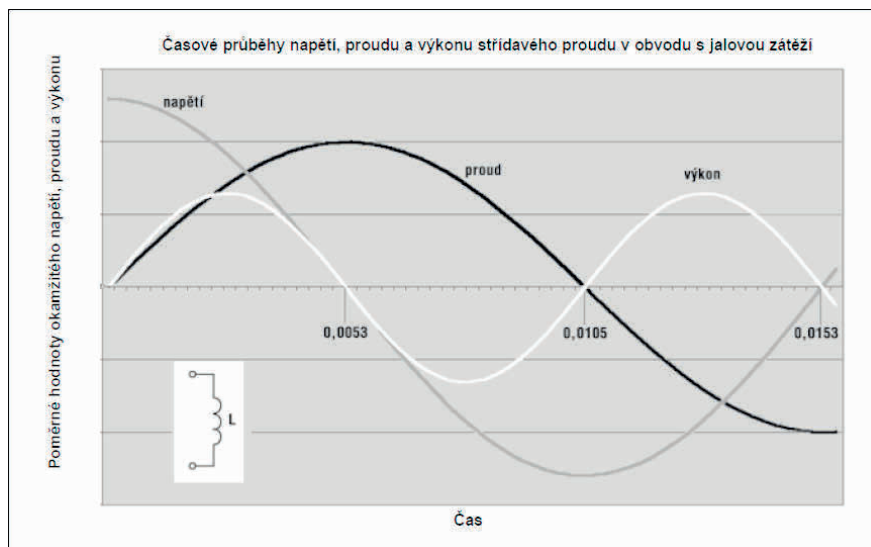
$$i = \frac{u}{R}. \quad (7)$$

Z toho vidíme, že proud při odporové, jinak říkáme též činné, zátěži je ve fázi s napětím, jak je znázorněno na obr. 1 (str. 22).

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 nespotečbovává, ani nevyrábí, je tedy jalová. Co však vlastně taková jalová zátěž v obvodu dělá? Protéká jí vůbec nějaký proud, když nespotečbovává 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.

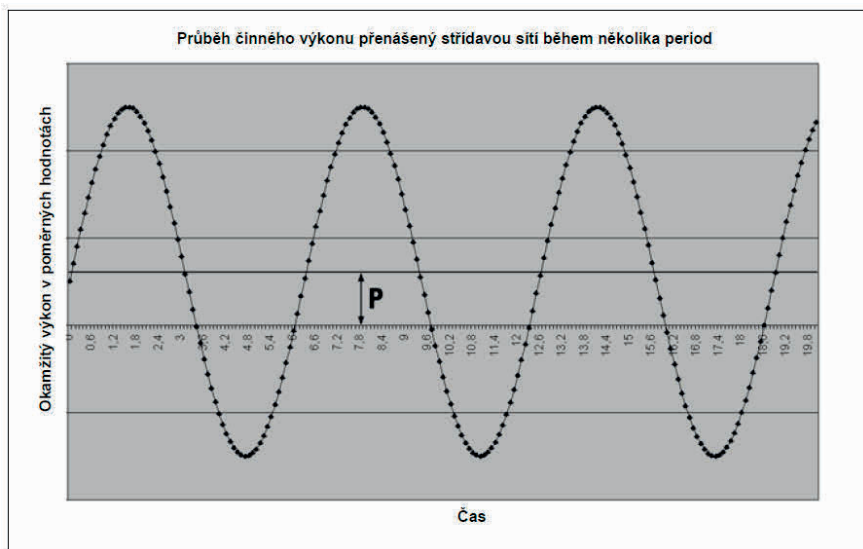


Obr. 3 Časové průběhy proudu, napětí a výkonu střídavého proudu v obvodu s jalovou zátěží

1.1.3 Efektivní hodnoty napětí, proudu a výkonu – impedance

Vraťme se k obecné zátěži ve střídavé síti. Ta by měla být charakterizována obdobně jako činný odpor, pomocí něhož je určen vztah mezi napětím a proudem ve stejnosměrném obvodu. Nebudeme se zde však zabývat podrobným odvozením závislostí, které vyžaduje použití, byť nenáročného, přesto však matematického aparátu.

Především z praktického hlediska není vhodné uvažovat nebo počítat s okamžitými hodnotami napětí, proudu a výkonu. Většinou nás nezajímá, jaké je napětí, proud nebo výkon v jednom určitém okamžiku. Obvykle potřebujeme vědět, jaký je dlouhodobější účinek těchto veličin. Pokud nepotřebujeme znát průběh těchto veličin během velice rychlých změn v elektrických sítích (například při zkratech, náhlých výpadcích zatížení nebo zdrojů apod.), vystačíme s hodnotami, které lépe charakterizují pomalejší změny průběhů napětí, proudů a výkonů. Jak je však zvolit? U výkonu se to zdá snadné. Podíváme-li se na jeho časový průběh (viz obr. 4), vidíme, že průměrný přenášený výkon P za delší období je rovný průměru mezi okamžitými výkony – maximálním a minimálním.



Obr. 4 Průběh činného výkonu přenášený střídavou sítí během několika period

Podobně jednoduché odvození bychom rádi objevili i pro proudy a napětí. Co tedy budeme od těchto „nových“ hodnot veličin vyžadovat? Především aby:

- vztahy mezi nimi byly obdobné vztahům ve stejnosměrných obvodech a
- jejich fyzikální působení (možno říci též fyzikální účinek), aby bylo rovněž stejné nebo alespoň obdobné jako pro stejnosměrné veličiny.

Z tohoto důvodu byly zavedeny tzv. efektivní (česky by snad bylo možno říci účinné) hodnoty proudů, napětí i výkonů.

Jak jsou tyto efektivní hodnoty vyjádřeny a jaký mají vztah k okamžitým hodnotám?

Vezmeme-li ze všech okamžitých hodnot napětí u a proudů i pravidelně se opakující hodnoty maximální $U_{\max}$ a $I_{\max}$, jsou efektivní hodnoty napětí U_{ef} a proudů I_{ef} rovné:

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

V běžné praxi se u těchto veličin index označující, že se jedná o jejich efektivní hodnoty, neuvádí. Tyto veličiny jsou označeny již tím, že se píšou pouze velkými písmeny. Jejich jednotkami jsou volty a ampéry, stejně jako u veličin stejnosměrných. (Hrubou chybou by bylo k jednotkám V a A přidávat jakýkoliv index. Je tedy nepřipustné psát např. V_{ef} , leč často se takový zápis ve starší literatuře vyskytuje.) Přitom to, že se jedná o střídavý, a nikoliv o stejnosměrný proud, je zřejmé buď z kontextu, nebo je veličina (nikoliv jednotka) jako