

# 1. ZÁKLADY

## 1.1 Veličiny a jednotky – základní vztahy

Každý elektrotechnik potřebuje nutně znát vztahy mezi řadou základních fyzikálních a elektrotechnických veličin. K orientaci mezi nimi slouží následující orientační přehled v tab. 1 až 4.

**Tab. 1** Základní veličiny a jednotky důležité pro elektrotechniku – mechanika

Veličiny				Jednotky SI		
Název	Značka	Příklad	Vztahy k jiným veličinám	Název	Značka	Vztahy k jiným jednotkám
délka	$l, L$	délka dráhy tělesa	$l = v \times t,$ $l = (1/2)a \times t^2$	metr	m	
hmotnost	$m$	hmotnost tělesa		kilogram	kg	
čas	$t$	čas mezi průchodem tělesa dvěma body	$t = l/v$	sekunda	s	
rychlost	$v$	rychlost tělesa	$v = l/t,$ $v = a \times t$	metr za sekundu	m/s	
zrychlení	$a$	zrychlení tělesa	$a = v/t$ $a = 2l/t^2$	metr za sekundu na druhou	m/s <sup>2</sup>	
síla	$F$	síla působící na těleso	$F = m \times a$	newton	N	kg × m/s <sup>2</sup>
práce	$W, A$	práce vykonaná tělesem	$A = F \times l$ $= m \times a \times (1/2)a \times t^2$ $= (1/2)m \times a^2 \times t^2$ $= (1/2)m \times v^2$ $A = P \times t = F \times l$ $= F \times v \times t$	joule	J	N × m = kg × m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
energie	$E$	schopnost vykonávat práci				
výkon	$P$	práce vykonaná za jednotku času	$P = A/t = F \times v$	watt	W	J/s = N × m/s = kg × m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>

**Tab. 2** Základní veličiny a jednotky důležité pro elektrotechniku – elektrostatika

Veličiny				Jednotky SI		
Název	Značka	Příklad	Vztahy k jiným veličinám	Název	Značka	Vztahy k jiným jednotkám
elektrický náboj	$Q$		$Q = I \times t$	coulomb	C	A × s
intenzita elektrického pole	$E$	síla působící na elektrický náboj	$F = Q \times E$	volt na metr	V/m	

**Tab. 2** Základní veličiny a jednotky důležité pro elektrotechniku – elektrostatika (pokračování)

Veličiny				Jednotky SI		
Název	Značka	Příklad	Vztahy k jiným veličinám	Název	Značka	Vztahy k jiným jednotkám
elektrický potenciál	$V$	práce vykon. přemístěním elektrického náboje po dráze	$A = F \times l$ $= Q \times E \times l$ $A = Q \times (V_A - V_B)$ <i>(l je vzdálenost mezi potenciály <math>V_A - V_B</math>)</i>	volt	V	W/A
elektrické napětí	$U$	rozdíl potenciálů	$A = Q \times U$	volt	V	
kapacita	$C$	poměr elektrického náboje a napětí	$C = Q/U$ , $U = Q/C$ , $Q = C \times U$	farad	F	$F = C/V = A \times s/V$
(elektrická) práce	$A$	elektrická síla působící po určité dráze	$A = F \times l$ $= Q \times E \times l$ $= I \times t \times E \times l$	joule	J	$J = A \times s \times (V/m) \times m$ $= V.A.s = W.s$
energie nabitého kondenzátoru	$W$	celková práce vybíjecího proudu kondenzátoru	$W = (1/2) \times Q^2/C$ $= (1/2) \times C \times U^2$	joule	J	

**Tab. 3** Základní veličiny a jednotky důležité pro elektrotechniku – ustálený stejnosměrný elektrický proud

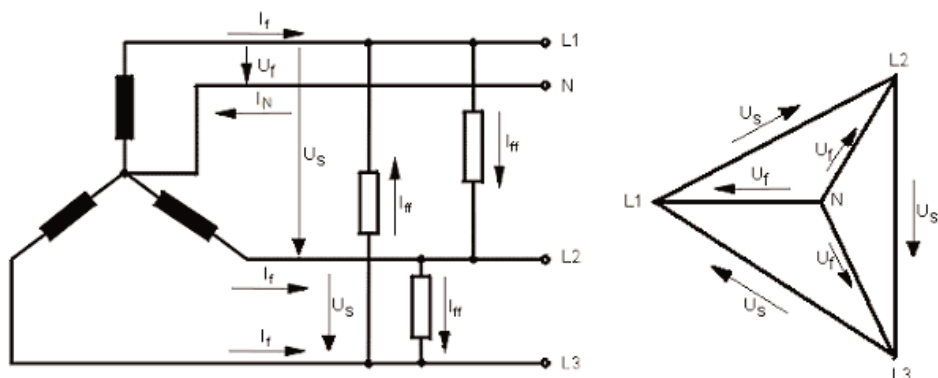
Veličiny			Jednotky SI		
Název	Značka	Vztahy k jiným veličinám	Název	Značka	Vztahy k jiným jednotkám
elektrický proud	$I$	$I = Q/t$	ampér	A	$A = C/s$
výkon elektrického proudu	$P$	$P = A/t = Q \times U/t = U \times I$			
elektrická práce	$A$	$A = P \times t = U \times I \times t$			
elektrický odpor (rezistance)	$R$	$R = U/I$ $I = U/R$	ohm	$\Omega$	$\Omega = V/A$ $\Omega = 1/S$
elektrická vodivost (konduktance)	$G$	$G = I/U = 1/R$	siemens	S	$S = 1/\Omega$
výkon elektrického proudu procházejícího odporem	$P$	$P = U \times I = R \times I^2$	watt	W	$W = V \times A$
práce elektrického proudu procházejícího odporem	$A$	$A = R \times I^2 \times t$	joule	J	$J = W \times s$ $= V \times A \times s$ $= \Omega \times A^2 \times s$

**Tab. 4** Základní veličiny a jednotky důležité pro elektrotechniku – střídavý elektrický proud harmonického průběhu

Veličiny				Jednotky SI		
Název	Značka	Příklad	Vztahy k jiným veličinám	Název	Značka	Vztahy k jiným jednotkám
kmítočet, frekvence	$f$ $n$ $c/s$	počet cyklů za sekundu (daných např. otáčkami)		hertz	Hz	$s^{-1}$
otáčky, frekvence otáčení	$n$			1 za sekundu	$s^{-1}$	
úhlový kmítočet, úhlová frekvence	$\omega$		$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$	radián za sekundu	rad/s	
fázový posun	$\varphi$			radián	rad	$1 \text{ rad} \cong 57,296^\circ$
činný výkon	$P$		$P = U \times I \times \cos \varphi$	watt	W	V.A
zdánlivý výkon	$S$		$S = U \times I$	voltampér	VA	
jalový výkon	$Q$		$Q = U \times I \times \sin \varphi = \sqrt{(S^2 - P^2)}$	voltampér, var	var	V.A
impedance	$Z$		$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)}$	ohm	$\Omega$	
reaktance	$X$		$X = \sqrt{(Z^2 - R^2)}$	ohm	$\Omega$	
činná energie	$W, W_p$		$W_p = P \times t$	joule watthodina	J W.h	$J = W \cdot s$ $W \cdot h = 3600 \text{ W} \cdot s = 3600 \text{ J}$
zdánlivá energie	$W_S$		$W_S = S \times t$	voltampérsekunda voltampérhodina	V.A.s V.A.h	$V \cdot A \cdot h = 3600 \text{ V} \cdot A \cdot s$
jalová energie	$W_Q$		$W_Q = Q \times t$	varsekunda varhodina	var.s var.h	$\text{var} \cdot h = 3600 \text{ var} \cdot s$

### 1.1.1 Trojfázová soustava

Trojfázová soustava je znázorněna jako soustava napájená ze tří jednofázových zdrojů. Tyto zdroje mají jeden vývod spojený do nulového bodu neboli uzlu a na druhý vývod mají připojen tzv. fázový vodič. Napětí každé fáze je oproti předchozí fázi zpožděno o  $120^\circ$ . Spotřebiče je možno připojit mezi fázi a nulový bod zdroje nebo přímo mezi fáze. Podle toho je spotřebič připojen na napětí **fázové**  $U_f$  nebo **sdužené**  $U_s$ .



Poměr mezi velikostí **napětí sdruženého**  $U_s$  a **fázového**  $U_f$  je:

$$U_s = \sqrt{3} \times U_f.$$

Poměr mezi velikostí proudu mezi fázemi  $I_{ff}$  trojfázového spotřebiče (zdroje) zapojeného do hvězdy a fázového proudu  $I_f$  na přívodu ke spotřebiči (na vývodu ze zdroje) je:

$$I_f = \sqrt{3} \times I_{ff}.$$

Výkon zdánlivý, činný a jalový je možno u trojfázové souměrně zatížené soustavy počítat buď jako výkon tří jednofázových zdrojů s napětím  $U_f$  a proudem  $I_f$ :

**zdánlivý výkon**  $S = 3 \cdot U_f \cdot I_f,$

**činný výkon**  $P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi,$

**jalový výkon**  $Q = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \sin \varphi,$

nebo pomocí sdruženého napětí  $U_s$ :

$$S_s = \sqrt{3} \times U_s \times I_f,$$

$$P = \sqrt{3} \times U_s \times I_f \times \cos \varphi,$$

$$Q = \sqrt{3} \times U_s \times I_f \times \sin \varphi.$$

To je nejobvyklejší způsob výpočtu těchto výkonů. Je to z toho důvodu, že u trojfázové soustavy je možno nejsnadněji změřit sdružené napětí (tj. napětí mezi fázemi) a fázový proud.

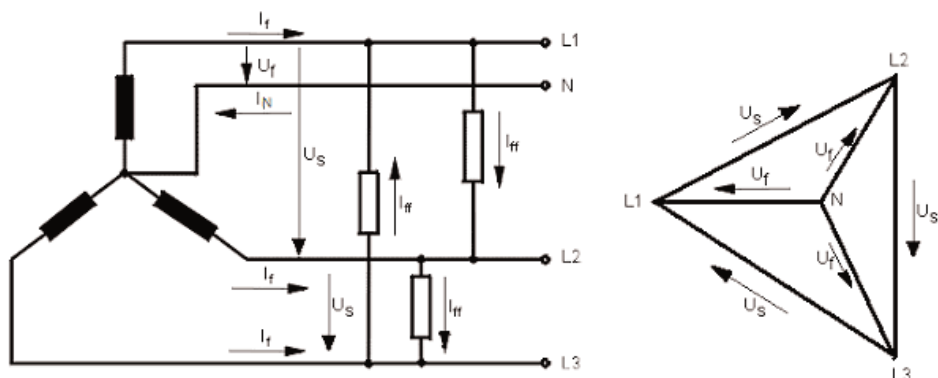
Jenom pro úplnost si uvedeme, že tyto výkony lze počítat ze sdružených napětí  $U_s$  a z proudů mezi fázemi  $I_{ff}$ :

**zdánlivý výkon**  $S = 3 \cdot U_s \cdot I_{ff},$

**činný výkon**  $P = 3 \cdot U_s \cdot I_{ff} \cdot \cos \varphi,$

**jalový výkon**  $Q = 3 \cdot U_s \cdot I_{ff} \cdot \sin \varphi.$

Při odběru elektřiny se měří elektrická energie. Při stálém výkonu se odebraná elektrická energie rovná součinu výkonu a času, po který je daný výkon odebírán. (Při proměnném výkonu je odebraná energie rovna integrálu výkonu na časovém intervalu.) Měří se především energie činná. V některých případech je však třeba měřit i energii zdánlivou nebo i jalovou. Pokud je nutné činnou energii odlišit od ostatních druhů odebírané energie, označuje se  $W_p$ , její základní jednotkou je joule – označuje se J.



Poměr mezi velikostí **napětí sdruženého**  $U_s$  a **fázového**  $U_f$  je:

$$U_s = \sqrt{3} \times U_f.$$

Poměr mezi velikostí proudu mezi fázemi  $I_{ff}$  trojfázového spotřebiče (zdroje) zapojeného do hvězdy a fázového proudu  $I_f$  na přívodu ke spotřebiči (na vývodu ze zdroje) je:

$$I_f = \sqrt{3} \times I_{ff}.$$

Výkon zdánlivý, činný a jalový je možno u trojfázové souměrně zatížené soustavy počítat buď jako výkon tří jednofázových zdrojů s napětím  $U_f$  a proudem  $I_f$ :

**zdánlivý výkon**  $S = 3 \cdot U_f \cdot I_f,$

**činný výkon**  $P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi,$

**jalový výkon**  $Q = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \sin \varphi,$

nebo pomocí sdruženého napětí  $U_s$ :

$$S_s = \sqrt{3} \times U_s \times I_f,$$

$$P = \sqrt{3} \times U_s \times I_f \times \cos \varphi,$$

$$Q = \sqrt{3} \times U_s \times I_f \times \sin \varphi.$$

To je nejobvyklejší způsob výpočtu těchto výkonů. Je to z toho důvodu, že u trojfázové soustavy je možno nejsnadněji změřit sdružené napětí (tj. napětí mezi fázemi) a fázový proud.

Jenom pro úplnost si uvedeme, že tyto výkony lze počítat ze sdružených napětí  $U_s$  a z proudů mezi fázemi  $I_{ff}$ :

**zdánlivý výkon**  $S = 3 \cdot U_s \cdot I_{ff},$

**činný výkon**  $P = 3 \cdot U_s \cdot I_{ff} \cdot \cos \varphi,$

**jalový výkon**  $Q = 3 \cdot U_s \cdot I_{ff} \cdot \sin \varphi.$

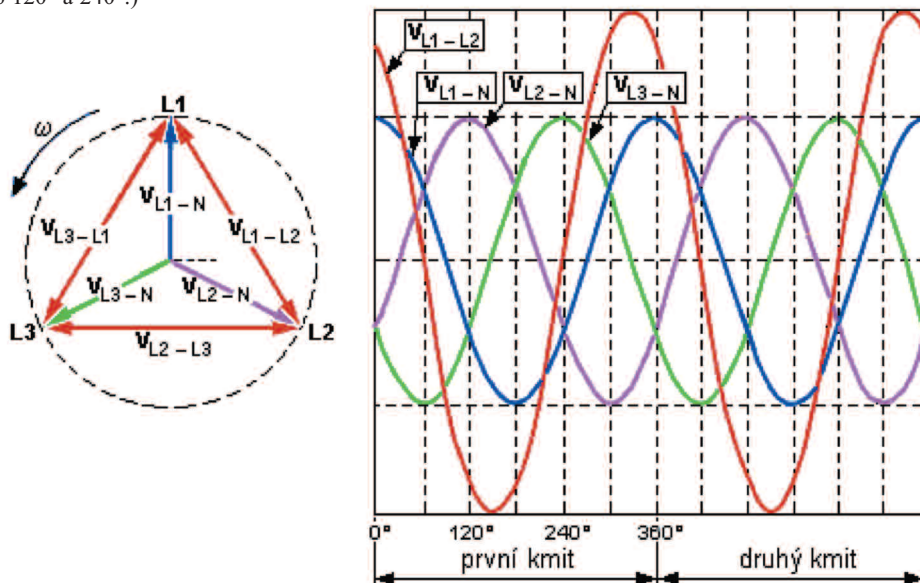
Při odběru elektřiny se měří elektrická energie. Při stálém výkonu se odebraná elektrická energie rovná součinu výkonu a času, po který je daný výkon odebírán. (Při proměnném výkonu je odebraná energie rovna integrálu výkonu na časovém intervalu.) Měří se především energie činná. V některých případech je však třeba měřit i energii zdánlivou nebo i jalovou. Pokud je nutné činnou energii odlišit od ostatních druhů odebírané energie, označuje se  $W_p$ , její základní jednotkou je joule – označuje se J.

Tab. 5 Základní veličiny a jednotky důležité pro elektrotechniku – trojfázová soustava

Veličiny				Jednotky SI		
Název	Značka	Příklad	Vztahy k jiným veličinám	Název	Značka	Vztahy k jiným jednotkám
činný výkon	$P$		$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$	watt	W	$V \times A$
zdánlivý výkon	$S$		$PS = \sqrt{3} \times U \times I$	voltampér	VA	
jalový výkon	$Q$		$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi$ $= \sqrt{(S^2 - P^2)}$	voltampér, var	var	
činná energie	$W,$ $W_P$		$W_P = P \times t =$ $= \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \times t$	joule watthodina	J W.h	$J = W \cdot s$ $W \cdot h = 3\,600\, W \cdot s =$ $= 3\,600\, J$
zdánlivá energie	$W_S$		$W_S = S \times t =$ $= \sqrt{3} \times U \times I \times t$	voltampér- sekunda voltampér- hodina	V.A.s V.A.h	$V.A.h = 3\,600\, V.A.s$
jalová energie	$W_Q$		$W_Q = Q \times t =$ $= \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi \times t$ $= \sqrt{(S^2 - P^2)} \times t$	varsekunda varhodina	var.s var.h	$var \cdot h = 3\,600\, var \cdot s$

Vztahy mezi napětími, proudy a impedancemi, rezistancemi a reaktancemi jsou stejné jako pro střídavý proud.

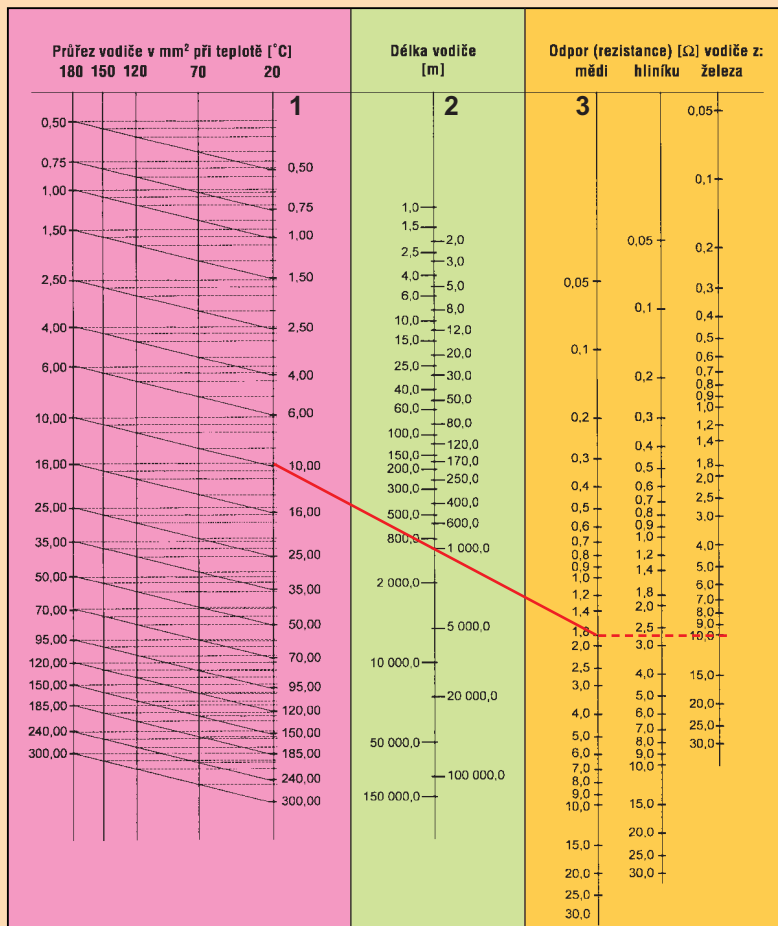
Časový průběh okamžitých napětí tří fází  $U_{f1} = V_{L1-N}$ ,  $U_{f2} = V_{L2-N}$ ,  $U_{f3} = V_{L3-N}$  spolu s průběhem jednoho sdruženého napětí  $U_S = V_{L1-L2}$  je znázorněn na následujícím obrázku. (Na obrázku průběhu okamžitých hodnot není znázorněn časový průběh zbývajících dvou sdružených napětí  $V_{L3-L2}$  a  $V_{L3-L1}$ . Jejich průběh je stejný jako průběh napětí  $U_S = V_{L1-L2}$ , jenom jsou po řadě oproti němu posunuty o  $120^\circ$  a  $240^\circ$ .)



# NOMOGRAM REZISTANCE (ODPORU) VODIČŮ Z MĚDI, HLINÍKU A ŽELEZA V ZÁVISLOSTI NA JEJICH PRŮŘEZU, DÉLCE A TEPLOTĚ

Praktická pomůcka

⑧



## Popis práce s nomogramem

Na nomogramu máme tři základní stupnice označené nahoře 1, 2 a 3.

**Na stupnici 1** jsou vyznačeny průřezy vodiče v mm<sup>2</sup> při základní teplotě 20 °C. Tyto průřezy platí jak pro měď, tak i hliník a železo jako materiál vodiče.

**Na stupnici 2** jsou vyznačeny délky vodiče. Ty se vztahují nejen k mědi, ale i k hliníku a železu.

**Na stupnici 3** jsou vyznačeny odpory měděného vodiče. Hodnotu odporu měděného vodiče pro základní teplotu 20 °C odečteme na této stupnici 3 v místě průsečíku přímky vedené bodem průřezu vodiče (na stupnici 1) a bodem délky vodiče (na stupnici 2).

Jestliže chceme zjistit odpor hliníkového nebo železného (ocelového) vodiče, musíme od tohoto průsečíku vést kolmo k této stupnici (tedy vodorovně) doprava úsečku na stupnici buď hliníku, potřebujeme-li znát rezistanci hliníkového vodiče, nebo železa, potřebujeme-li znát rezistanci železného nebo ocelového vodiče.

Potřebujeme-li znát rezistanci vodiče při zvýšené teplotě (70 °C, 120 °C, 150 °C nebo 180 °C), využijeme k tomu úsečky příslušející jednotlivým průřezům vodiče, které zobrazují vliv teploty (jsou to šikmé čáry vedené doleva od bodů vyznačujících průřez na stupnici 1). Od průsečíku úsečky příslušející danému průřezu s přímkou pro danou teplotu (jsou to svislé čáry nalevo od osy 1 rovnoběžné s osami 1, 2, 3) vedeme vodorovnou úsečku na osu 1. Průsečík s touto osou je první bod, kterým prochází příčka nomogramu, určující odpor vodiče při zvýšené teplotě. Druhým bodem této přímky je pořadnice na ose 2 odpovídající délce vodiče. Na ose 3 odečteme odpor vodiče (pro měď přímo, pro hliník a železo musíme z tohoto bodu vést vodorovnou úsečku na příslušnou stupnici).

Jako příklad je na nomogramu znázorněna příčka protínající na stupnici 1 bod příslušející průřezu 10 mm<sup>2</sup>, na stupnici 2 bod pro délku vodiče 1 000 m a na stupnici 3 nám vychází, že rezistivita (odpor) tohoto vodiče, pokud je z mědi, je 1,8 Ω. Dále můžeme zjistit, že stejný odpor má měděný vodič téže délky, jehož průřez je 16 mm<sup>2</sup>, zahřátý na 180 °C. (Ten bychom totiž zjistili tak, že bychom od průsečíku úsečky příslušející průřezu 16 mm<sup>2</sup> se stupnicí pro 180 °C vedli vodorovnou úsečku na osu 1, s níž se protne v bodě odpovídajícím průřezu 10 mm<sup>2</sup> při teplotě 20 °C.)

Z uvedeného příkladu vidíme, že kdybychom uvažovali, že vodič je z hliníku, jeho rezistivita by byla 2,7 Ω, ocelový vodič průřezu 10 mm<sup>2</sup> a kilometrové délky by měl rezistivitu (odpor) 10 Ω.

Zde je třeba ještě podotknout, že přepočítání na zvýšenou teplotu platí poměrně přesně pro měď a hliník. Rezistivita železa nebo oceli se zvyšuje poněkud více než by z nomogramu vyplynulo. Nomogram byl zpracován pro teplotní součinitel odporu  $\alpha = 0,004$ , což odpovídá mědi a hliníku, zatímco pro železo je tento součinitel přibližně  $\alpha = 0,006$ .