

1. Úvod

Diplomová práce s názvem *Návrh jednotné metodiky kalibrace etalonových elektroměrů* vznikla s podporou laboratoře ss a nf elektrických veličin ČMI v Brně. ČMI v rámci primární metrologie provádí metrologický výzkum a uchovává státní etalony, čímž zajišťuje jednotnost a přesnost měřidel a měření ve všech oborech vědecké, technické a hospodářské činnosti v České republice. Práce se zaměřuje na problematiku kolem elektrického výkonu a energie.

Elektroměry používané k registraci spotřeby elektrické energie nejen v českých domácnostech, patří mezi pracovní stanovená měřidla, která ze zákona podléhají povinnému ověřování. Etalonový elektroměr, který je součástí stanic na ověřování elektroměrů, podléhá povinné pravidelné kalibraci. Vlastním přínosem práce, s ohledem na počet a používané druhy etalonových elektroměrů, je vypracování jednotné metodiky jejich kalibrace.

V **kap.2 Elektrické AC veličiny** budou položeny teoretické základy týkající se elektrických AC veličin, přičemž hlavní důraz bude kladen na ty veličiny, pomocí kterých lze definovat elektrický výkon. Diskutována bude i trojfázová soustava používaná v praxi pro přenos elektrické energie.

Na tuto ryze teoretickou kapitulu navážeme další, a to **kap.3 Měření střídavého elektrického výkonu**. Zde budou rozebrány měřící principy, metody a měřící zařízení aplikovatelné při měření střídavého elektrického výkonu, a to nejen činného, ale i jalového.

Následovat bude **kap.4 Návaznost elektrického výkonu v ČR**, která má za úkol ozřejmit hierarchický sled etalonů ve vztahu k elektrickému výkonu.

V **kap.5 Používané etalonové elektroměry**, jak již název napovídá, budou uvedeny jednotlivé modely používané v laboratořích ČMI nebo v Autorizovaných metrologických střediscích.

Vlastní návrh bude podrobněji rozebrán v **kap.6 Návrh jednotné metodiky**. Závěrečná **kap.7 Výsledky měření** se bude věnovat praktickému ověření metodiky na vybraných typech etalonových elektroměrů.

2. Elektrické AC veličiny

2.1 Průchod elektrického proudu materiálem

Libovolně velký elektrický náboj, ať už kladný nebo záporný, se vyznačuje částicovou strukturou. Znamená to, že je složen z celistvého násobku dále nedělitelného náboje, který označujeme jako elementární. Záporný elementární náboj je vlastně nábojem jednoho elektronu. Náboj jednoho protonu se liší pouze znaménkem. Absolutní hodnota elementárního náboje je $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Elektrický náboj nemůže existovat samostatně a je vždy vázán na těleso či materiál. Vodivým materiálem nazveme takový, který obsahuje dostatečný počet nabitých částic, volně či alespoň částečně pohyblivých. Izolanty díky atomové struktuře také obsahují velký počet nabitých částic, ty jsou ovšem navzájem vázány. V důsledku cizích příměsí nelze žádný takový materiál považovat za absolutní izolant, ale obecně platí, že se jedná o velmi špatně vodivé látky. Naproti tomu stojí materiály, které se vyznačují tzv. volným nábojem. Ať už se jedná o volně pohyblivé (vodivosti) elektrony v kovech nebo o kladné a záporné ionty v elektrolytech či plynech, celkový náboj těchto částic označujeme jako náboj volný. Ten je podstatou vodivosti. Dále uvažujme pouze vodiče.

Z mikroskopické teorie víme, že všechny částice jsou v neustálém teplotně závislém neuspořádaném pohybu. Budeme-li na vodič působit vnějším elektrickým polem intenzity \vec{E} , například tak, že jej připojíme ke zdroji elektrického napětí, začnou se kladně nabitě částice ve vodiči pohybovat ve směru vytvořeného elektrického pole, záporně nabitě částice ve směru opačném. Vlivem působení vnějšího elektrického pole tedy dochází k uspořádanému pohybu elektricky nabitých částic, což obecně znamená, že vodičem prochází elektrický proud.

Projde-li jistou orientovanou plochou S celkový náboj ΔQ za čas Δt můžeme definovat průměrný elektrický proud

$$I_p = \frac{\Delta Q}{\Delta t}. \quad (1)$$

V případě velmi malých časových okamžiků, tedy kdy $\Delta t \rightarrow 0$ lze zavést okamžitý proud I jako

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}. \quad (2)$$

Směr proudu je dle dohody dán směrem, kterým se pohybují kladně nabitě částice. Proud můžeme obecně dělit na proud stejnosměrný a střídavý. Stejnosměrný proud se vyznačuje tím, že má stále stejný směr, v čase se mění pouze jeho velikost. Střídavým proudem rozumíme takový elektrický proud, jehož velikost i smysl se s časem periodicky mění. [1]

2.2 Střídavý proud

Je zřejmé, že matematicky lze průběh střídavého proudu (obecně i jiné střídavé veličiny) popsat pomocí periodické funkce. Mezi nejzákladnější periodické funkce řadíme funkce sinus a cosinus. Jedná se o funkce s harmonickým průběhem.

Časový průběh střídavého elektrického proudu lze vyjádřit vztahem

$$i = I_{MAX} \sin(\omega t + \varphi). \quad (3)$$

Pro zvolený časový okamžik t získáme okamžitou hodnotu střídavého elektrického proudu i , kde I_{MAX} představuje okamžitou maximální hodnotu, tzv. amplitudu. Konstantou ω definovanou jako

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad (4)$$

máme na mysli úhlovou frekvenci, φ je fázový posuv. Perioda T je obecně doba, za kterou libovolná střídavá veličina vytvoří jeden cyklus, frekvence f pak udává, kolik cyklů proběhne za 1 s. Tyto veličiny jsou svázány vztahem

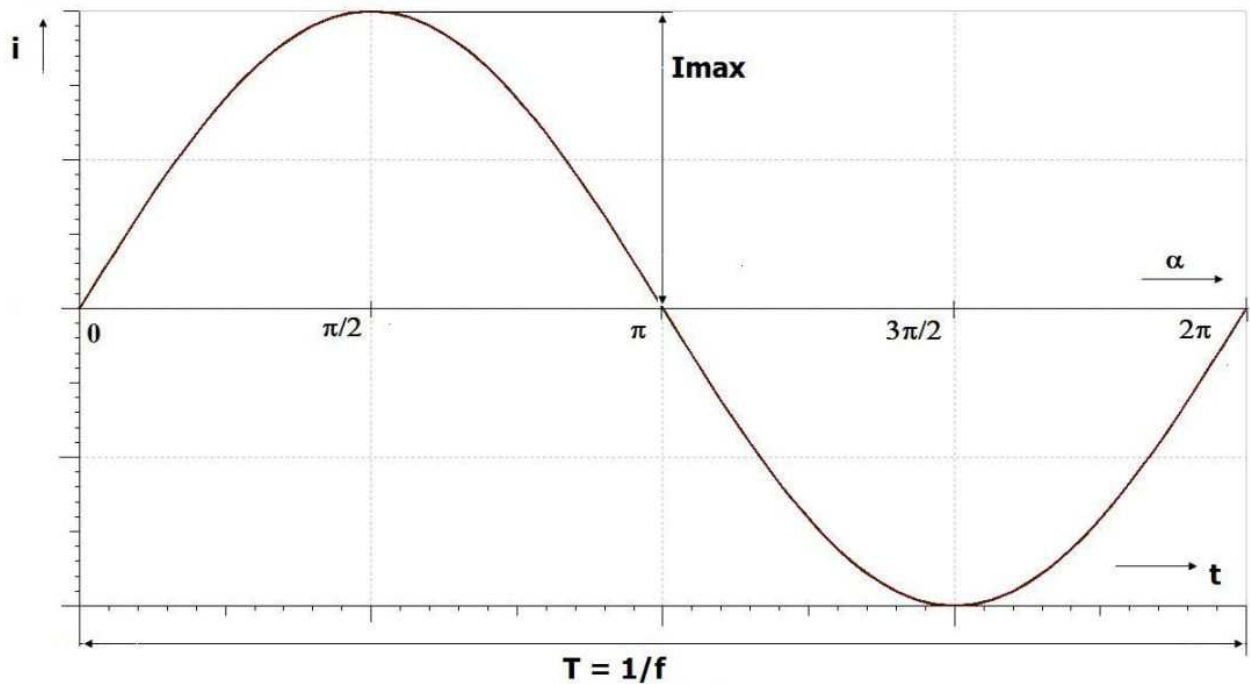
$$T = \frac{1}{f}. \quad (5)$$

Bude-li $\varphi = 0$ a označíme-li výraz $\omega t = \alpha$ ze vztahu (3) je zřejmé, že se úhel α mění s časem.

S přihlédnutím ke vztahu (4) můžeme psát

$$\alpha = \omega t = \frac{2\pi}{T} t = 2\pi f t. \quad (6)$$

Časový průběh střídavého elektrického proudu definovaný funkcí sinus, v souladu se vztahem (3), je znázorněn na obr.1.



Obr.1 Časový průběh sinusových veličin

2.3 Střední a efektivní hodnota střídavých el. veličin

Z hlediska technické praxe se spíše než o maximální hodnotu elektrického proudu či elektrického napětí zajímáme o jejich efektivní a střední hodnoty. Je to dáno především tím, že se vyznačují větší praktickou důležitostí. Navíc platí, že většina měřidel těchto střídavých elektrických veličin, má stupnice škálované v efektivních hodnotách. Střední hodnotu matematické funkce za dobu jedné periody vypočítáme podle obecného vztahu

$$Y_s = \frac{1}{T} \int_0^T y dt. \quad (7)$$

Avšak pro střídavé funkce platí, že takto definovaná střední hodnota je nulová. Proto pro střídavé veličiny budeme uvažovat pouze polovinu periody. Pak pro střední hodnotu platí

$$Y_s = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} y \, dt. \quad (8)$$

Dosadíme-li za obecnou funkci y vyjádření střídavého elektrického proudu podle vztahu (3) a provedeme-li příslušnou integraci, vyjde nám vztah mezi maximální a střední hodnotou střídavého elektrického proudu jako

$$I_s = \frac{2}{\pi} I_{MAX} = 0,637 I_{MAX}. \quad (9)$$

Praktický význam střední hodnoty je následující: Střední hodnota střídavého elektrického proudu I_s je hodnota stejnosměrného elektrického proudu, kterým se přenesou stejný elektrický náboj v době jedné půlperiody. [1]

Podobně lze zavést efektivní hodnotu, kterou budeme v dalším textu uvádět bez indexu. Pro obecnou funkci y platí

$$Y = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2 \, dt}. \quad (10)$$

Tím pádem hledaný vztah mezi efektivní a maximální hodnotou přejde na tvar

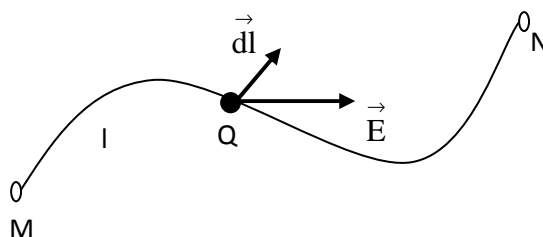
$$I = \frac{I_{MAX}}{\sqrt{2}}. \quad (11)$$

Definice č.1: Efektivní hodnota střídavého elektrického proudu sinusového průběhu I se rovná stejnosměrnému elektrickému proudu, který v rezistoru R vyvine za jednu periodu stejné množství tepla jako elektrický proud stejnosměrný. [1]

Výše uvedené vztahy pro efektivní a střední hodnoty zůstávají v platnosti i pro harmonické průběhy elektrického napětí.

2.4 Elektrický potenciál a elektrické napětí

Mějme náboj Q v elektrostatickém poli intenzity \vec{E} a uvažujme dráhu délky l . Necht' body M a N jsou počátečním a koncovým bodem, jak je naznačeno na obr.2.



Obr.2 Přenos náboje v elektrostatickém poli

Chceme-li přenést náboj z bodu M do bodu N , je nezbytné překonat sílu

$$\vec{F} = Q \cdot \vec{dl}, \quad (12)$$

která na náboj působí. Přitom se vykoná určitá práce a náboj získá jistou potenciální energii. Síly elektrického pole mají tu vlastnost, že práce, kterou při přenášení náboje vykonají, nezávisí na tom, po jaké dráze se náboj pohybuje, ale pouze na velikosti náboje a jeho počáteční a koncové poloze. [2]

Tedy matematicky vyjádřeno:

$$dA = \vec{F} \cdot \vec{dl} = Q \cdot \vec{E} \cdot \vec{dl}$$

odkud dostáváme pro práci vztah

$$A = Q \cdot \int_M^N \vec{E} \cdot \vec{dl}, \quad (13)$$

kde \vec{dl} představuje dráhový element. Uvažujme, že na náboj Q působí také vnější síla \vec{F}_v , pro kterou platí, že $\vec{F}_v = -\vec{F}$. Pak musí platit, že vnější síla vykoná práci

$$A_v = -A = -Q \cdot \int_M^N \vec{E} \cdot \vec{dl}. \quad (14)$$

Potenciální energie W_p se zavádí vztahem, který vyplývá již z mechaniky, jako

$$dW_p = \vec{F}_v \cdot d\vec{l} = -Q \cdot \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (15)$$

Již zmíněný přírůstek potenciální energie náboje Q při přenášení z bodu M do bodu N bude dán vztahem

$$\Delta W_p = W_p(N) - W_p(M) = -Q \cdot \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (16)$$

Takto zavedená potenciální energie není jednoznačná. Je nutné definovat místo s nulovou potenciální energií. V praxi se volí zemský povrch, matematicky vyjádřený symbolem ∞ . Pak platí: je-li $N = \infty$, potenciální energie v bodě N , tedy $W_p(N) = 0$ a definice potenciální energie nabude tvaru

$$W_p(M) = Q \cdot \int_M^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (17)$$

Potenciální energie náboje Q je rovna práci, kterou vykoná vnější síla při přenesení tohoto náboje z bodu pole- bod M je libovolný- do nekonečna, nebo opačně. [2]

V závislosti na potenciální energii lze zavést novou skalární veličinu nazvanou elektrický potenciál φ , definovanou vztahem

$$\varphi(M) = \frac{W_p(M)}{Q} = \int_M^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_{\infty}^M \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (18)$$

Jestliže je naše pole obecně nehomogenní, tzn. intenzita \vec{E} závisí na prostorových souřadnicích, pak dva body M a N tohoto pole jsou obecně na jiných potenciálech. Elektrické napětí mezi body M a N definujeme jako rozdíl potenciálů

$$U_{MN} = \varphi(M) - \varphi(N) = \frac{W_p(M)}{Q} - \frac{W_p(N)}{Q} = \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_N^M \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (19)$$

Ve stacionárním elektrickém poli se vztah (13), který vyjadřuje práci vykonanou elektrickými silami při přenesení náboje z bodu M do bodu N , dá jednoduše psát jako

$$A = QU. \quad (20)$$

Dále lze z definičního vztahu (1) vyjádřit náboj Q a dosazením do vztahu (20), s využitím Ohmova zákona

$$I = \frac{U}{R} \quad (21)$$

pro vykonanou práci psát

$$A = UI t = RI^2 t = \frac{U^2}{R} t. \quad (22)$$

Střídavé elektrické napětí lze pak zavést analogicky jako střídavý elektrický proud, tedy okamžité hodnoty a časový průběh charakterizovat funkcí sinus.

$$u = U_{MAX} \sin(\omega t + \varphi). \quad (23)$$

2.5 Výkon střídavého elektrického proudu

Výkon obecně definujeme jako

$$P = \frac{dA}{dt}, \quad (24)$$

což derivací vztahu (22) vede na jednoduchou rovnost

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}. \quad (25)$$

Tento vztah zůstává obecně v platnosti i pro střídavé elektrické proudy a napětí, je však nutné jej formálně přepsat do následující podoby

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}. \quad (26)$$

Pak mluvíme o okamžitém výkonu, který je stejně jako elektrický proud a elektrické napětí, periodickou funkcí času. Jednotkou výkonu $[P] = W = J/S$.

2.5.1 Střední výkon střídavého proudu

Předpokládejme průběh elektrického napětí dle vztahu $u = U_{MAX} \sin(\omega t)$, elektrický proud bude za napětím zpožděn o úhel φ , tj. $i = I_{MAX} \sin(\omega t - \varphi)$. Okamžitý výkon

můžeme určit dle vztahu (26) a užitím obecného vztahu (7) pro výpočet střední hodnoty dostáváme pro střední výkon P_S následující výraz

$$P_S = \frac{1}{T} \int_0^T U_{MAX} I_{MAX} \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi) dt. \quad (27)$$

Pomocí vztahu pro součin goniometrických funkcí upravíme integrál do následující podoby:

$$P_S = \frac{1}{2T} U_{MAX} I_{MAX} \left[\int_0^T \cos(\varphi) dt - \int_0^T \cos(2\omega t - \varphi) dt \right]$$

a dále po úpravách

$$P_S = \frac{1}{2} U_{MAX} I_{MAX} \cos(\varphi) - \frac{U_{MAX} I_{MAX}}{4\omega T} [\sin(2\omega t - \varphi)]_0^T. \quad (28)$$

Problematiku kolem výkonu střídavého elektrického proudu lze nalézt například v [3].

2.5.2 Činný výkon, účinník

Střední výkon P_S charakterizovaný výrazem (28) má v podstatě dvě části. Část

$$P = \frac{1}{2} U_{MAX} I_{MAX} \cos(\varphi) = UI \cos(\varphi) \quad (29)$$

se označuje jako činný výkon. Jednotkou je watt. Důležitým parametrem je $\cos(\varphi)$ nazývaný též účinník, nabývající hodnot $0 \leq \cos \varphi \leq 1$. Hodnota účinníku závisí na fázovém posuvu mezi proudem a napětím v daném obvodu. Více bude zmíněno v **kap.2.6**, kde rozebereme vybrané prvky v obvodu střídavého proudu. S ohledem na hodnoty, kterých účinník v reálných obvodech nabývá, je zřejmé, že činný výkon je vždy menší, než tzv. zdánlivý výkon, definovaný prostým součinem efektivních hodnot elektrického proudu a napětí

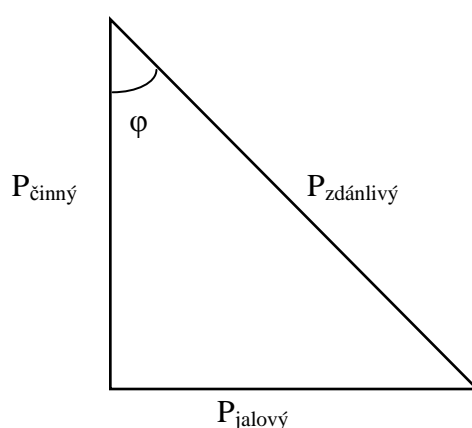
$$P_{zdánlivý} = UI. \quad (30)$$

Zdánlivý výkon souvisí s praktickým využitím daného přístroje a udává nejvyšší možné teoretické hodnoty elektrického proudu a napětí, na něž je přístroj konstruován. Jednotkou zdánlivého výkonu je 1 voltampér, značka 1 VA.

2.5.3 Jalový výkon

Druhá část vztahu (28) je tzv. jalová složka výkonu či jalový výkon. Uplatňuje se v obvodech, jež mají induktivní nebo kapacitní charakter a v závislosti na tom, nabývá kladných či záporných hodnot. Používanou jednotkou je 1 VAR, tzv. voltampér reaktanční, přestože rozměr jalového výkonu je stejný jako činného výkonu. Jde o zdůraznění faktu, že se jedná o jiný fyzikální princip.

Činný, jalový, zdánlivý výkon a vztahy mezi nimi můžeme vystihnout pomocí tzv. trojúhelníku výkonů, který je uveden na obr.3.



Obr.3 Trojúhelník výkonů

Odtud je zřejmé, že jalový výkon můžeme určit také jako

$$P_{\text{jalový}} = UI \sin(\varphi). \quad (31)$$

V praktických aplikacích se můžeme setkat se zavedením účinníku následujícím způsobem

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{\text{činný}}}{P_{\text{zdánlivý}}} \quad (32)$$

nebo

$$\sin(\varphi) = \frac{P_{\text{jalový}}}{P_{\text{zdánlivý}}}. \quad (33)$$

Vztah (32) se ve vztahu k elektrickému výkonu označuje jako tzv. *P-faktor* a značí se *PF*. Jde o zkratku anglických slov *power factor*. Analogicky označujeme vztah (33)

jako tzv. *Q-faktor* s označením *QF* a významem *quality factor*. Podle jejich hodnoty můžeme také usuzovat na charakter zátěže (induktivní/kapacitní). Tato problematika bude podrobněji rozebrána v **kap.4**.

2.6 Prvky v obvodech střídavého elektrického proudu

2.6.1 Rezistor

Mějme ideální zdroj střídavého elektrického napětí, který generuje čistě harmonický průběh s konstantní frekvencí, tj.

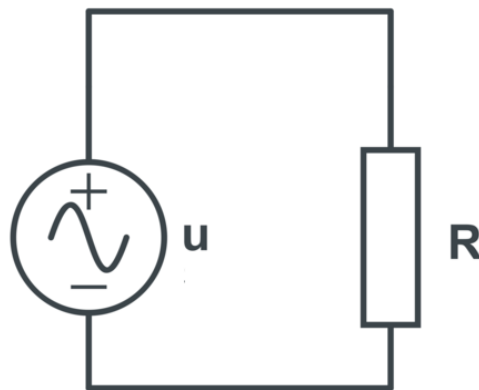
$$u = U_{MAX} \sin(\omega t). \quad (34)$$

Připojme k tomuto zdroji ideální rezistor- součástku, u níž uvažujeme pouze elektrický odpor, jak je naznačeno na obr.4.

Z platnosti Ohmova zákona dostáváme

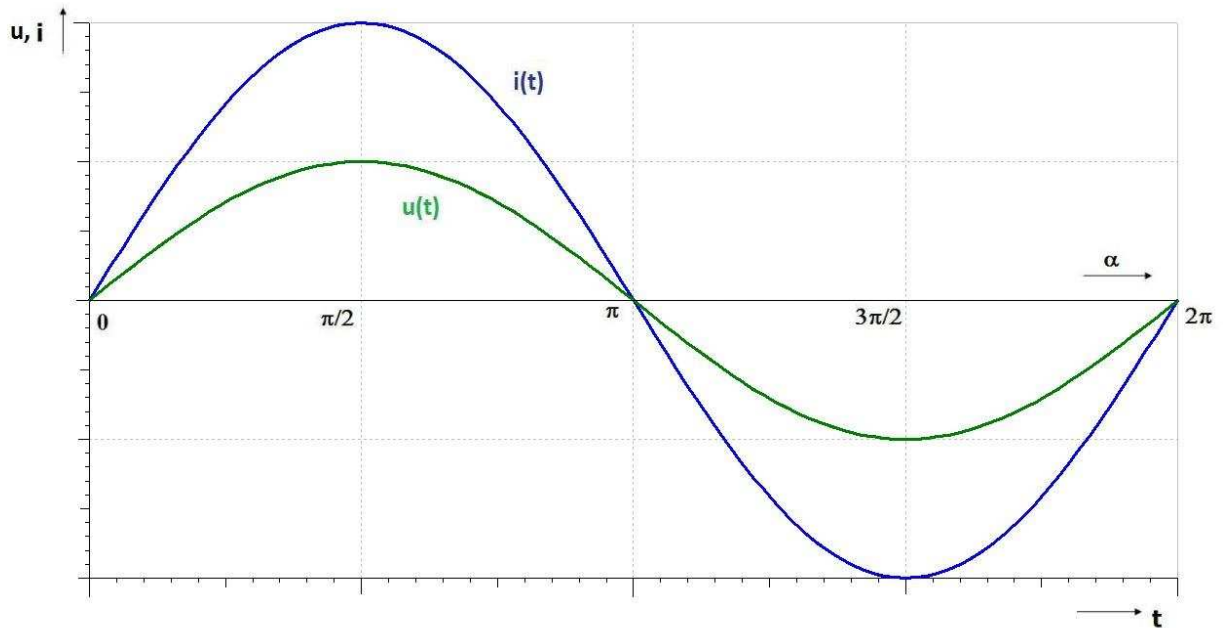
$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_{MAX}}{R} \sin(\omega t) = I_{MAX} \sin(\omega t). \quad (35)$$

Porovnáním vztahů (34) a (35) je zřejmé, že fázový rozdíl mezi elektrickým napětím a proudem je nulový, tj. $\varphi = 0$, což znamená, že elektrický proud a napětí jsou ve fázi.



Obr.4 Ideální rezistor v obvodu střídavého proudu

Na obr.5 je pak zobrazen průběh elektrického proudu a napětí v ideálním rezistoru.



Obr.5 Průběh elektrického proudu a napětí v ideálním rezistoru

Okamžitý výkon lze spočítat dle vztahu (26) takto

$$p = ui = U_{MAX} \sin(\omega t) I_{MAX} \sin(\omega t) = U_{MAX} I_{MAX} \sin^2(\omega t),$$

což s využitím příslušných goniometrických vztahů vede k závěru

$$p = \frac{U_{MAX} I_{MAX}}{2} [1 - \cos(2\omega t)] = UI [1 - \cos(2\omega t)]. \quad (36)$$

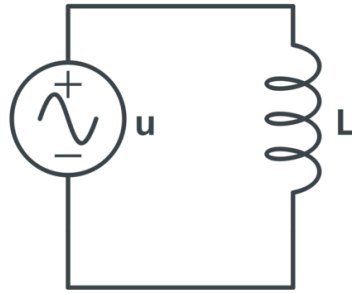
Odtud je zřejmé, že okamžitý výkon nabývá pouze kladných hodnot a kmitá s dvojnásobnou frekvencí.

2.6.2 Cívka

Tentokrát připojeme k ideálnímu zdroji zavedenému dle vztahu (34) ideální cívku, podle schématu na obr.6. Ideální cívka je součástka, u níž uvažujeme pouze indukčnost. Průchodem střídavého elektrického proudu vzniká v cívce měnící se magnetické pole, což má za následek, že se v ní indukuje elektrické napětí, pro které dle Faradayova zákona elektromagnetické indukce platí

$$u_L = L \frac{di}{dt}. \quad (37)$$

Toto elektrické napětí bude mít opačnou polaritu nežli napětí zdroje.



Obr.6 Ideální cívka v obvodu střídavéhoelektrického proudu

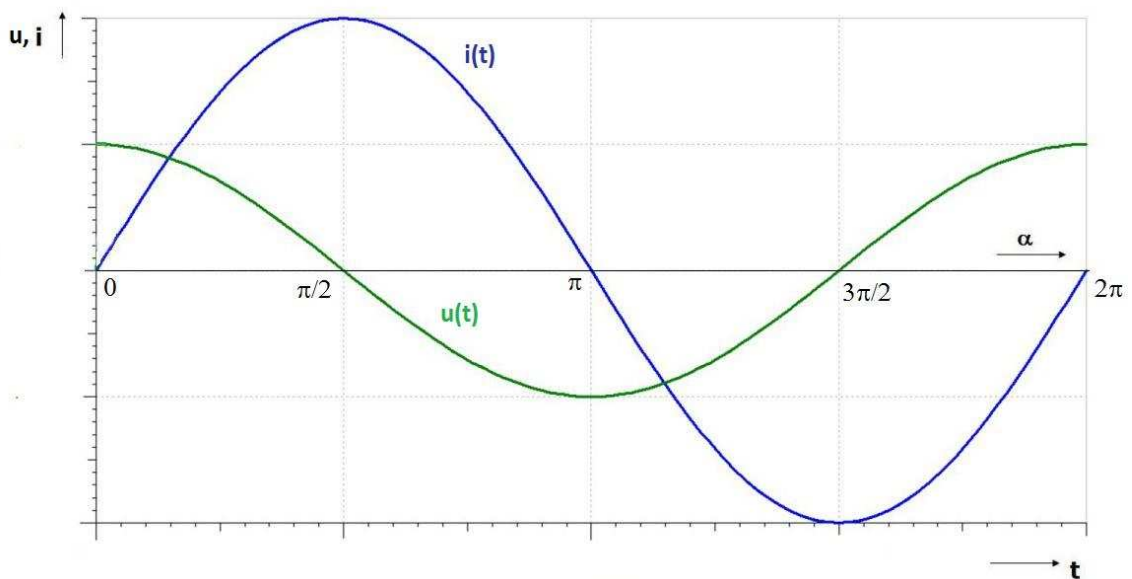
Z platnosti druhého Kirchhoffova zákona o algebraickém součtu všech svorkových napětí zdrojů a všech úbytků napětí na spotřebičích dostáváme

$$u_L = L \frac{di}{dt} = U_M \sin(\omega t). \quad (38)$$

Vztah (38) můžeme dalšími úpravami včetně integrace dostat do tvaru

$$i = -\frac{U_{MAX}}{\omega L} \cos(\omega t) = I_{MAX} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \quad (39)$$

V ideální cívce je fáze elektrického proudu vzhledem k napětí $\varphi = -\pi/2$. Jedná se o tzv. čistě induktivní zátěž. Průběh elektrického proudu a napětí v ideální cívce můžeme sledovat na obr.7.



Obr.7 Průběh elektrického proudu a napětí v ideální cívce

Činný výkon a s ním související účinník jsou v tomto případě nulové. Pokud elektrické napětí předbíhá proud, tj. fázový posuv je kladný, má zátěž induktivní charakter.

Pro okamžitý výkon s opětovným využitím vztahu (26) dostáváme

$$p = ui = U_{MAX} \sin(\omega t) I_{MAX} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

a dále po úpravě

$$p = -UI \sin(2\omega t). \quad (40)$$

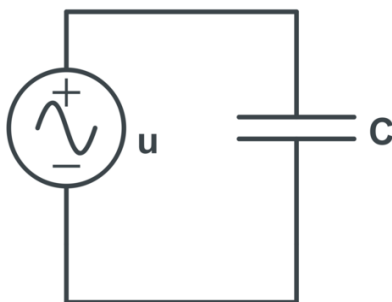
Výkon kmitá s dvojnásobnou frekvencí stejně jako v případě ideálního rezistoru, nabývá kladných i záporných hodnot.

2.6.3 Kondenzátor

Uvažujme zapojení podle obr.8. Při napětí dle vztahu (34) je elektrický proud procházející kondenzátorem dán vztahem

$$i = C \frac{du}{dt}, \quad (41)$$

kde C je kapacita kondenzátoru.



Obr.8 Ideální kondenzátor v obvodu střídavého elektrického proudu

Derivací vztahu (35) dostáváme

$$i = \omega C U_{MAX} \cos(\omega t) = I_{MAX} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (42)$$

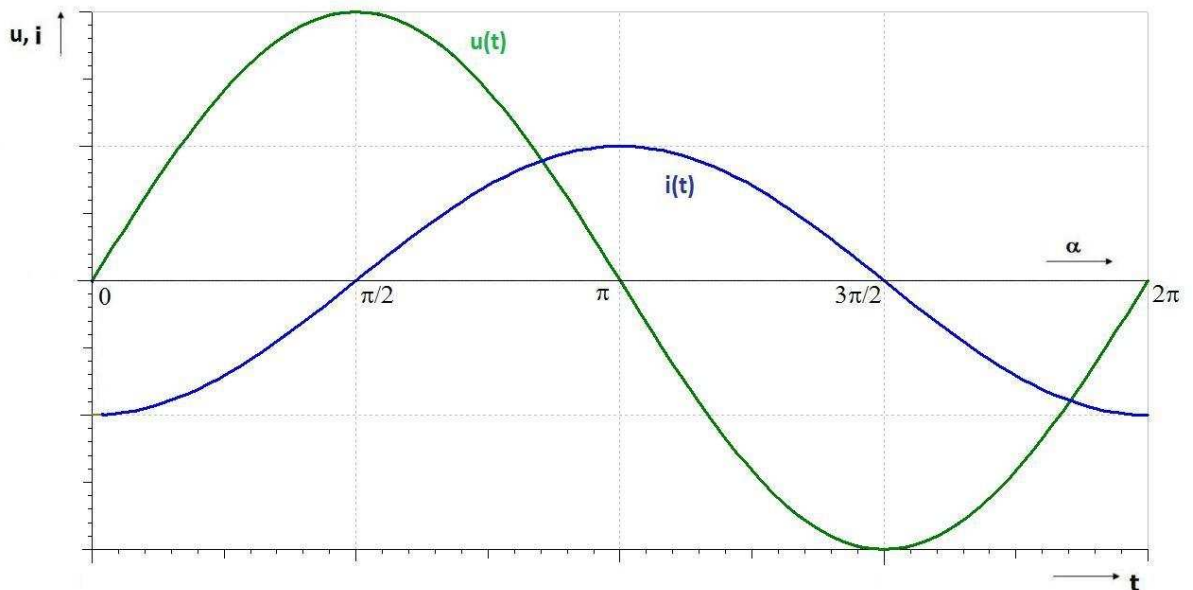
Fáze elektrického proudu vzhledem k napětí je $\varphi = \pi / 2$. V tomto případě se jedná o čistě kapacitní zátěž.

Činný výkon i účinník jsou opět nulové. Obecně, má-li elektrické napětí zpoždění za proudem, tj. fázový posuv je záporný, má zátěž kapacitní charakter.

Pro okamžitý výkon platí

$$p = ui = U_{MAX} \sin(\omega t) I_{MAX} \cos(\omega t) = UI \sin(2\omega t). \quad (43)$$

Průběh elektrického proudu a napětí v ideálním kondenzátoru je na obr.9.



Obr.9 Průběh elektrického proudu a napětí v ideálním kondenzátoru

Na tomto místě bychom rádi uvedli jednu poznámku, která je důležitá pro pozdější práci se softwarem CamCal. V ČR bývá zvykem volit za vztažnou veličinu elektrické napětí. Říkáme, že *elektrické napětí se zpožďuje za elektrickým proudem*. V USA tato konvence neplatí. Za vztažnou veličinu je zde brán elektrický proud. Tedy, s ohledem na průběh těchto veličin v ideálním kondenzátoru, říkáme, že *elektrický proud předbíhá elektrické napětí*. Významově se od sebe tyto dvě věty neliší, ale jsou zcela rozdílné s ohledem na výsledné fázové úhly. Proto je vždy potřeba, zvláště u čtení fázorových diagramů, jasně uvést, kterou veličinu chápeme jako vztažnou.

Pro mnohem podrobnější seznámení se s problematikou (složených) dvojpólů v ustáleném střídavém stavu lze doporučit publikaci [4].

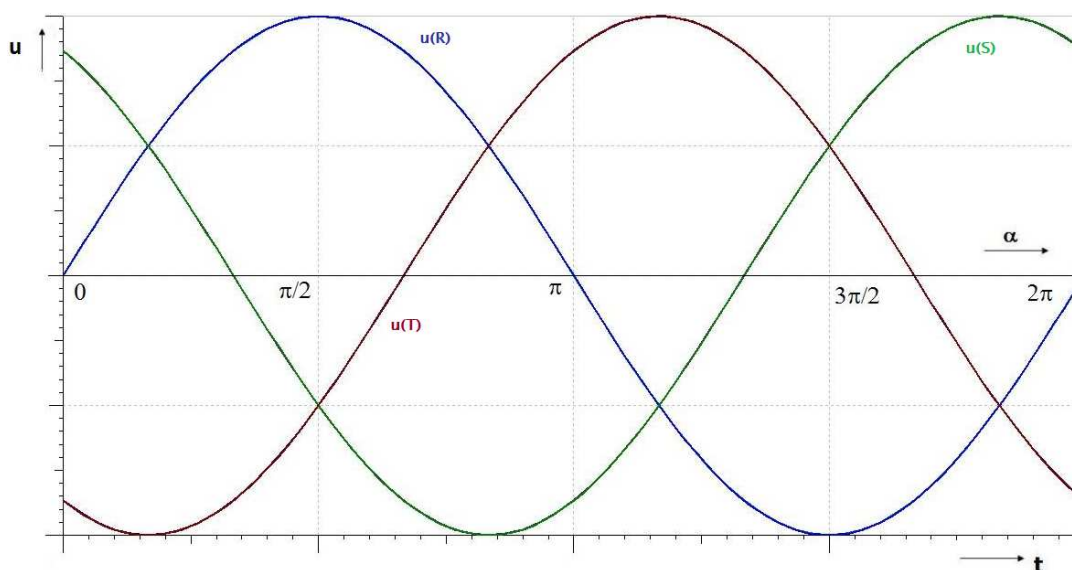
2.7 Trojfázová soustava

Dosud byly uvažovány obvody, které obsahovaly pouze jeden nezávislý zdroj střídavého napětí, v důsledku čehož jimi protékal střídavý elektrický proud. Jednalo se o tzv. jednofázové elektrické obvody, nebo též o jednofázové soustavy. Soustavy, které jsou schopny dodávat několik různě velkých střídavých elektrických napětí, označujeme jako soustavy mnohofázové. Tato generovaná střídavá napětí mají stejnou frekvenci, jsou vzájemně fázově posunuta a mají různou velikost. Nejedná se ovšem o nezávislá napětí, protože vznikají v jednom zdroji, resp. stroji, který se nazývá alternátor. Jsou tedy určitým způsobem vázaná. V praxi se pro přenos elektrické energie, především z ekonomických důvodů, používají soustavy trojfázové.

Trojfázový alternátor se skládá ze tří cívek, které jsou vůči sobě pootočený o 120° a jsou uloženy v drážkách statoru. Rotor je tvořen elektromagnetem, buzeným stejnosměrným proudem. Otáčením rotoru, a tedy i magnetického pole, se v jednotlivých cívkách, resp. fázích, indukují napětí, pro něž platí

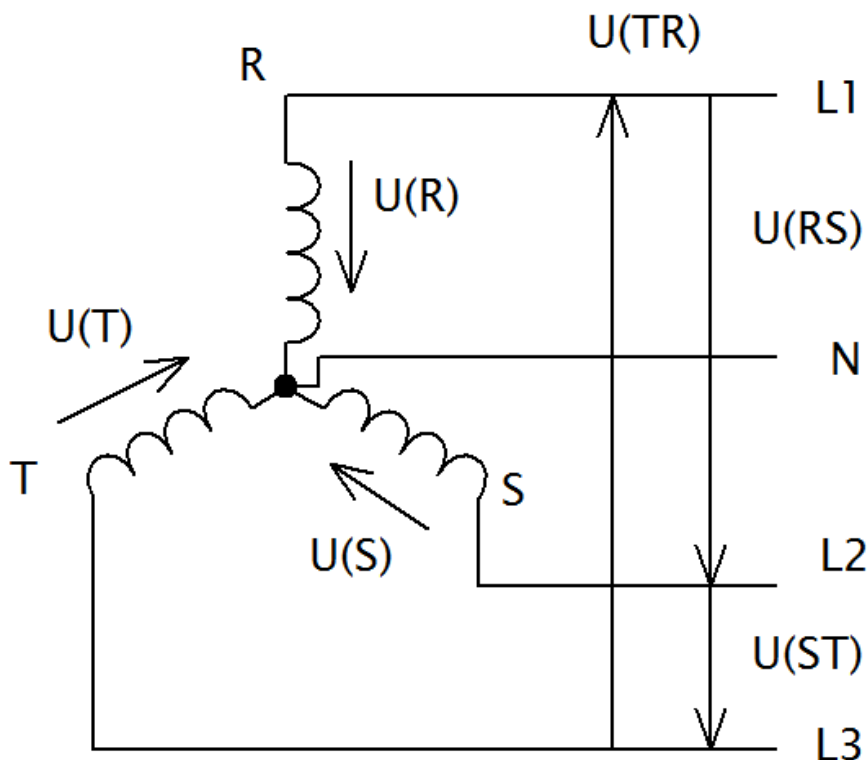
$$\begin{aligned}u_R &= U_{MAX} \sin(\omega t) \\u_S &= U_{MAX} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\u_T &= U_{MAX} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right).\end{aligned}\tag{44}$$

Průběh trojfázového napětí indukovaného v cívkách alternátoru je znázorněn na obr.10.



Obr. 10: Průběh trojfázového napětí indukovaného v cívkách alternátoru

Cívky se v alternátoru zapojují do trojúhelníku nebo do hvězdy, přičemž u druhého způsobu rozlišujeme ještě čtyřvodičové a třívodičové rozvedení, a to v závislosti na zapojení nulovacího vodiče. Zapojení cívek do hvězdy s vyvedením nulovacího vodiče, tedy případ čtyřvodičového rozvedení, je vidět na obr.11. Jsou zde vyznačeny dva druhy napětí, pro která v případě symetrické soustavy platí $U_R = U_S = U_T = U_f$. Jedná se o tzv. napětí fázová. Napětí $U_{RS} = U_{ST} = U_{TR} = U_S$ označujeme jako napětí sdružená.



Obr.11 Spojení cívek alternátoru do hvězdy s nulovým vodičem

Vztah mezi sdruženým a fázovým napětím lze odvodit užitím kosinové věty. Platí

$$U_S = \sqrt{3}U_f. \quad (45)$$

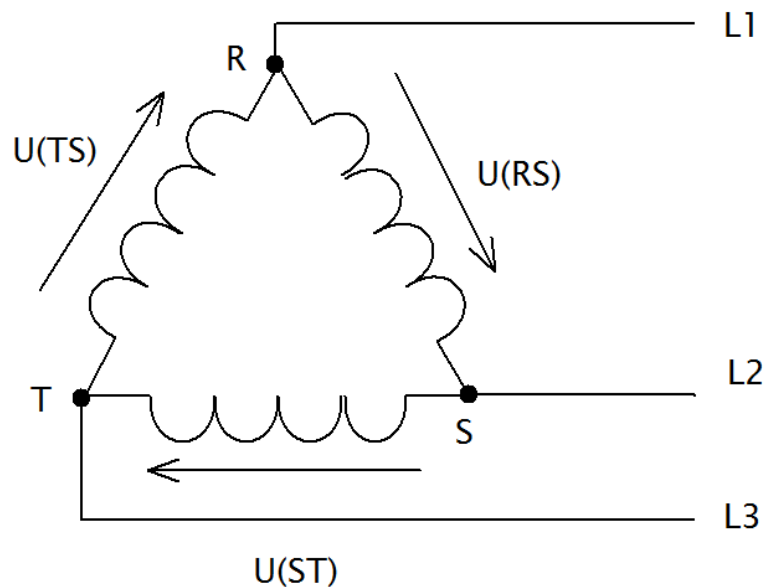
V ČR je síťové fázové napětí stanoveno na hodnotu $U_f = 230 \text{ V}$, odpovídající sdružené napětí pak nabývá hodnoty $U_S = 400 \text{ V}$. Při tomto zapojení jsme tedy schopni využívat dvě různě velká elektrická napětí 230/400 V, v závislosti na druhu spotřebiče.

Při spojení cívek trojfázového alternátoru do trojúhelníku je konec jedné cívky spojen se začátkem druhé cívky, čímž vzniká uzavřený obvod. Zde nulovací vodič neuvažujeme. Příslušné zapojení je na obr.12. V tomto zapojení je pouze jeden druh

elektrického napětí a pro případ symetrické soustavy platí $U_{RS} = U_{ST} = U_{TS} = U_f = U_S$.
 K takto zavedené trojfázové soustavě, ať už zapojené do hvězdy nebo do trojúhelníku, pak připojujeme trojfázové a jednofázové spotřebiče, které můžeme opět spojovat do hvězdy nebo do trojúhelníku a vytvářet tak souměrná či nesouměrná zatížení. V závislosti na tom se liší výkon trojfázové soustavy. Celkový činný výkon trojfázové symetrické soustavy při souměrném zatížení je dán vztahem

$$P = 3U_f I_f \cos(\varphi) = \sqrt{3}UI \cos(\varphi), \quad (46)$$

kde U je sdružené napětí, I je elektrický proud ve vedení a φ představuje fázový posuv mezi fázovým napětím a fázovým proudem. S problematikou kolem trojfázových či vícefázových soustav se lze setkat v publikaci [4] nebo [5].



Obr.12 Spojení cívek alternátoru do trojúhelníku

3. Měření střídavého elektrického výkonu

Jak již název napovídá, v této kapitole se budeme zabývat měřením střídavého elektrického výkonu. Dále, nebude-li uvedeno jinak, bude slovem *výkon* myšlen jen výkon střídavý. Je potřeba odlišovat:

- 1) měření výkonu v jednofázové a trojfázové soustavě
- 2) měření činného a jalového výkonu.

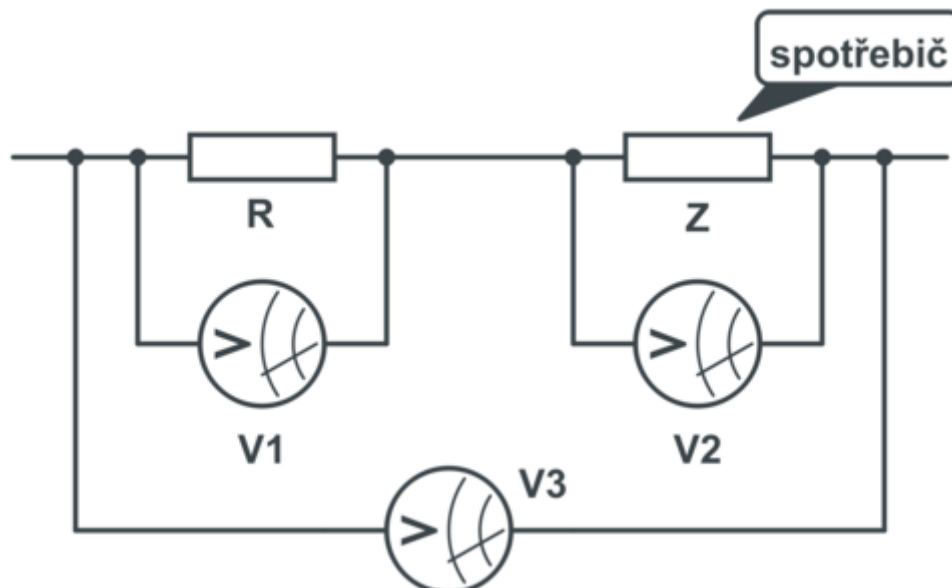
Z hlediska měřících metod rozlišujeme:

- 1) přímé a nepřímé metody
- 2) speciální metody.

3.1 Měření činného výkonu v jednofázové soustavě

3.1.1 Metoda tří voltmetrů (nepřímá metoda)

Příslušné měřící zapojení je na obr.13. Jde o sériové spojení spotřebiče (libovolné zátěže charakterizované obecnou impedancí \vec{Z}) a rezistoru o známé hodnotě odporu R .



Obr.13 Metoda tří voltmetrů

Hodnotu odporu se snažíme volit tak, aby elektrické napětí na rezistoru bylo zhruba stejné jako napětí na zátěži. Voltmetr V_1 měří elektrické napětí na rezistoru, označme

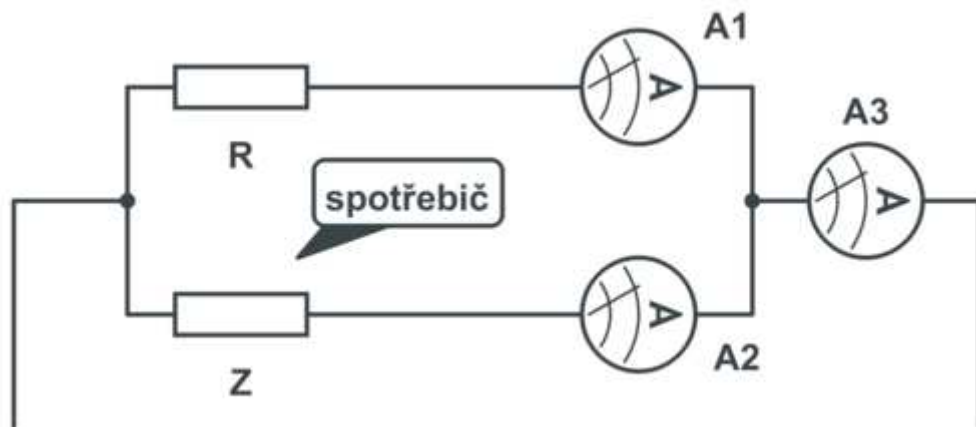
jej U_R , voltmetr V2 měří napětí na spotřebiči, tj. U_Z , třetí voltmetr měří napětí na rezistoru i na spotřebiči, tedy celkové napětí U_C . Pro činný výkon v zátěži pak platí jednoduchý vztah

$$P = UI \cos(\varphi) = \frac{U_C^2 - U_R^2 - U_Z^2}{2R}. \quad (47)$$

Co se týká použitých voltmetrů je potřeba, aby měly co největší vnitřní odpor. Jen tak můžeme zanedbat jejich vlastní spotřebu. V opačném případě vnášíme do měření chybu metody. Z toho důvodu se metoda tří voltmetrů používá hlavně pro měření malého činného výkonu u spotřebičů s malou impedancí.

3.1.2 Metoda tří ampérmetrů (nepřímá metoda)

Tato metoda se používá v případě, že potřebujeme měřit malé činné výkony u spotřebičů s velkou hodnotou impedance. Je to určitá analogie metody tří voltmetrů, jen se pracuje s ampérmetry, čímž se samozřejmě liší i výsledné zapojení, protože ampérmetry vždy připojujeme sériově k měřené součástce. Stejně tak je potřeba připojovat rezistor známého odporu ke spotřebiči paralelně, jak je patrné z obr.14.



Obr.14 Metoda tří ampérmetrů

Činný výkon pak můžeme spočítat z naměřených proudů takto

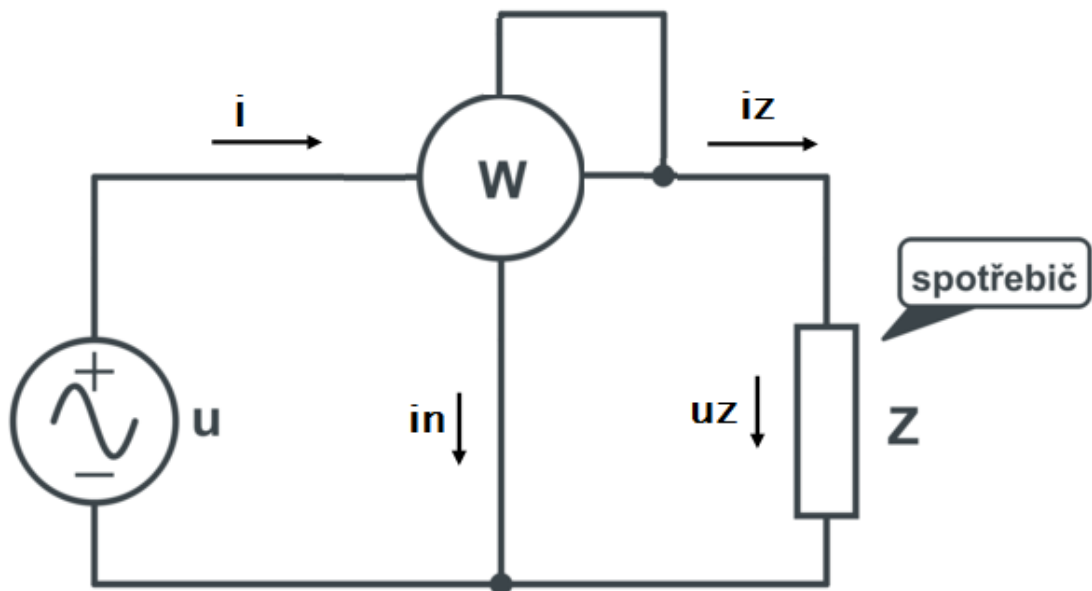
$$P = UI \cos(\varphi) = \frac{R(I_C^2 - I_R^2 - I_Z^2)}{2}, \quad (48)$$

kde I_C představuje celkový elektrický proud měřený ampérmetrem A3.

3.2 Přímé měření činného výkonu v jednofázové soustavě

3.2.1 Přímé měření činného výkonu wattmetrem

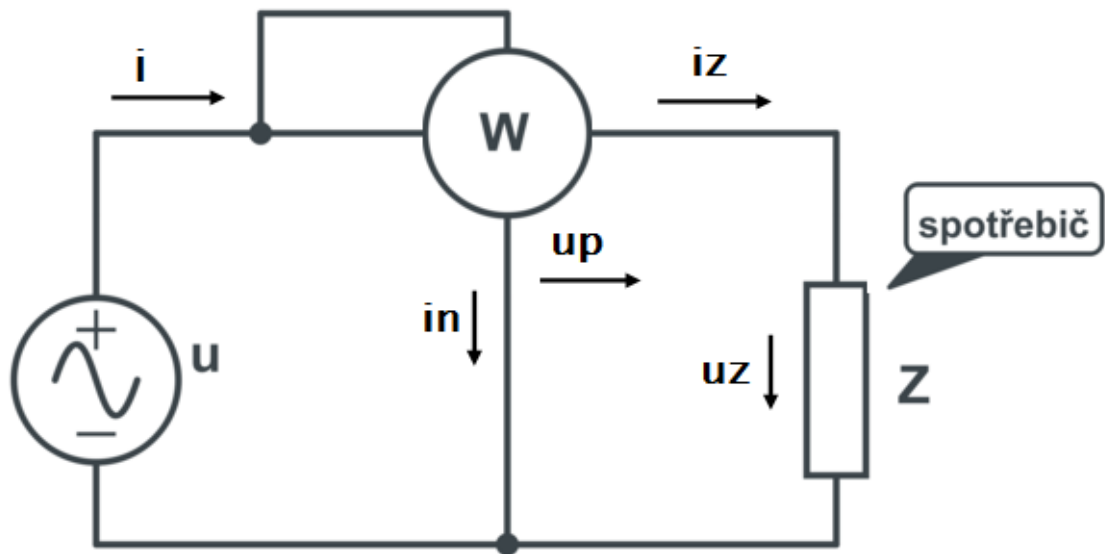
Pro přímé měření výkonu používáme přístroje zvané wattmetry. Klasické wattmetry, tj. analogové, obsahují dvě cívky- cívku proudovou, která je pevná a zapojuje se do obvodu jako ampérmetr a cívku napěťovou, otočnou- tu zapojujeme jako voltmetr. Při použití tohoto typu přístroje je potřeba dbát na jeho správné zapojení do obvodu. V zásadě existují dva správné způsoby zapojení, které jsou naznačeny na obr.15 a obr.16. V prvním případě měříme nejen výkon spotřebiče, ale i spotřebu v napěťové cívce. Pro získání správného výkonu je potřeba tuto spotřebu odečíst.



Obr.15 Zapojení wattmetru udávající spotřebu napěťové cívky

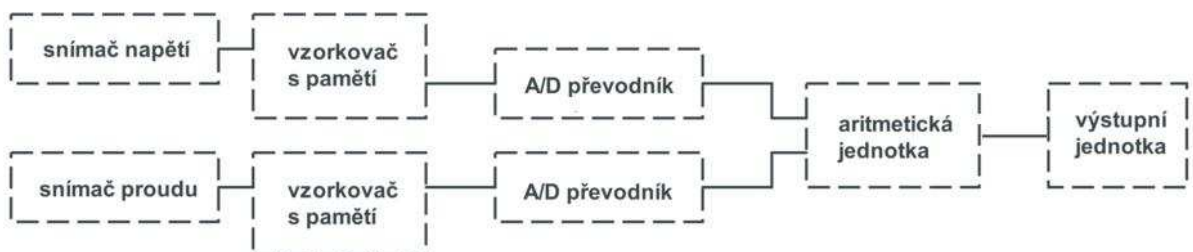
V druhém případě měříme kromě výkonu i spotřebu proudové cívky, ale při měření větších výkonů je možné tuto hodnotu neuvažovat. Přepočtení na skutečnou hodnotu se proto zpravidla neprovádí. Zapojení dle obr.16 se tedy používá především při měření výkonů vyšších hodnot (řádově jednotky kW). Ve skutečnosti jsou možnosti použití těchto analogových měřících přístrojů značně omezené. Hodí se pro měření nízkofrekvenčních výkonů spíše menších hodnot. Protože se jedná o přístroje s tzv. elektrodynamickým ústrojím bývají citlivé na vnější magnetická pole. Může docházet také k přetížení napěťové a proudové cívky a následně k špatné indikaci hodnot.

Ve skutečnosti se dnes již klasické wattmetry nepoužívají a jsou téměř bez výjimky nahrazeny přístroji digitálními.



Obr.16 Zapojení wattmetru udávající spotřebu proudové cívky

Digitální wattmetry pracují na zcela jiném principu. Využívají speciálního elektronického obvodu, a to analogově—digitálního převodníku, který vzorky elektrického napětí a proudu získané pomocí vzorkovače, převede na číselnou hodnotu. Vynásobením v aritmetické jednotce, případně dalším zpracováním, se dojde k výsledné hodnotě výkonu, která je zobrazena na display. Konstrukčně se jedná o celou sérii integrovaných obvodů, z nichž každý vykonává příslušnou operaci. Nejmodernější wattmetry nejen, že měří elektrický výkon, ale jsou schopny např. připravit data pro další zpracování v PC apod. Blokové schéma podle [6], které vystihuje funkci digitálního wattmetru je na obr.17.



Obr.17 Blokové schéma digitálního wattmetru

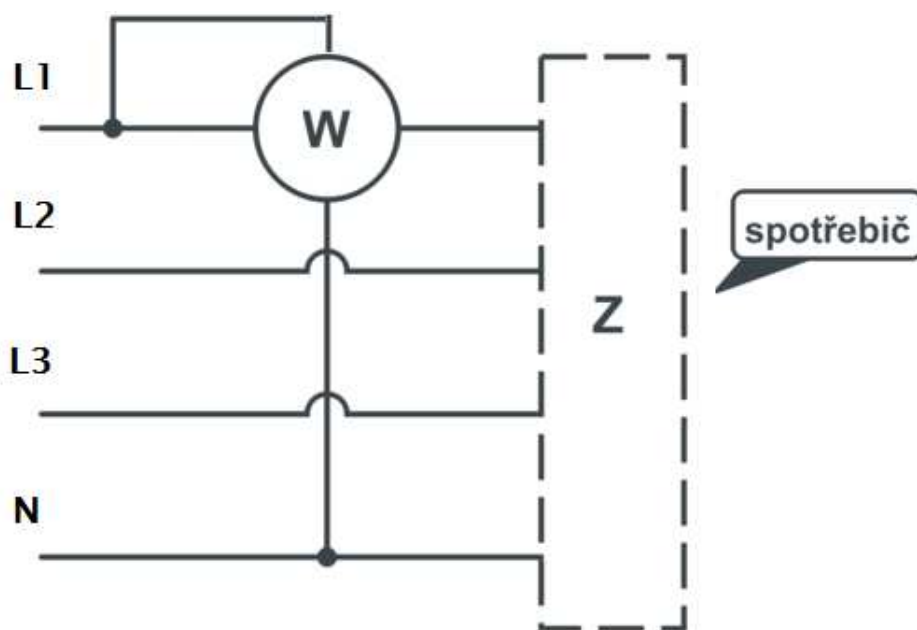
3.3 Přímé měření činného výkonu v trojfázové soustavě

3.3.1 Měření činného výkonu s využitím wattmetrů

Uvažujme symetrickou trojfázovou soustavu zavedenou v **kap.2.7**. Pro přímé měření činného výkonu v takovéto soustavě je potřeba rozlišovat, zda je zatížena souměrně či nesouměrně. Stejně tak je důležité, zda se jedná o soustavu se čtyřvodičovým nebo třívodičovým rozvedením. U souměrného zatížení tečou všemi fázemi stejně velké elektrické proudy. Z toho důvodu nám stačí určit výkon pouze v jedné fázi, a protože platí $P_R = P_S = P_T$, lze celkový výkon určit jako

$$P = 3P_R, \quad (49)$$

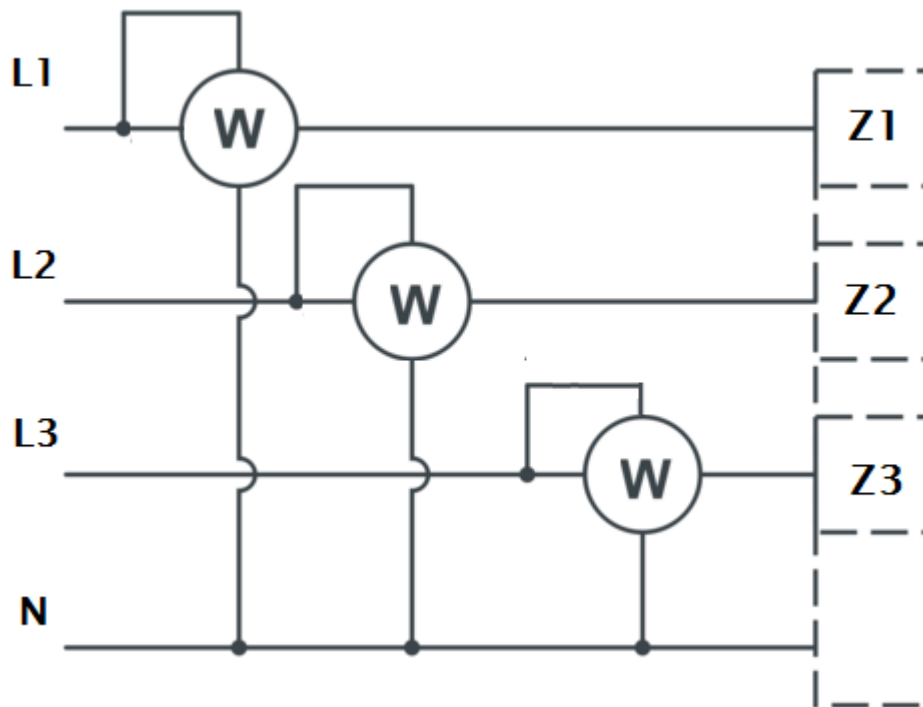
což je v souladu s obr.18.



Obr.18 Zapojení wattmetru při měření výkonu v trojfázové symetrické soustavě

K měření celkového výkonu v nesouměrně zatížené soustavě se používá metoda tří wattmetrů. Princip metody je obr.19. Nesouměrně zatíženou soustavu dostaneme, připojíme-li několik jednofázových zařízení s různou spotřebou. V důsledku toho teče každou fází různě velký elektrický proud. Při tomto typu zatížení teče elektrický proud i nulovacím vodičem a platí, že je tento menší než ostatní fázové proudy. Proto dostaneme celkový výkon jako $P_C = P_R + P_S + P_T + P_N$.

U třívodičového rozvedení je princip měření analogický. Co se týká potřebného počtu wattmetrů udává jej tzv. Blondelův teorém, který podle [7] říká: V n-vodičové soustavě můžeme správně změřit činný výkon zátěže s nejméně (n-1) wattmetry. Měření je správné při obecné soustavě napětí i obecné zátěži a i při nesinusovém průběhu proudu.



Obr.19 Metoda tří wattmetrů

3.4 Měření jalového výkonu v jednofázové soustavě

Jedná se o nepřímou metodu, která slouží k určení hodnoty jalového výkonu. Uvažujme zapojení dle obr.20. Toto schéma je prakticky totožné se schématem uvedeným při přímém měření činného výkonu wattmetrem, jen je doplněno o ampérmetr a voltmetr. My můžeme jalový výkon určit nepřímo z naměřeného činného výkonu výpočtem, uvědomíme-li si, že platí následující rovnost. Upravme vztah (29) následujícím způsobem

$$P = UI \cos(\varphi) = UI \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}, \quad (50)$$

kde jsme využili goniometrického vztahu $\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1$. Pokud výraz (50) umocníme a dosadíme vztah (31) vyjde nám $P^2 = (UI)^2 [1 - \sin^2(\varphi)]$,

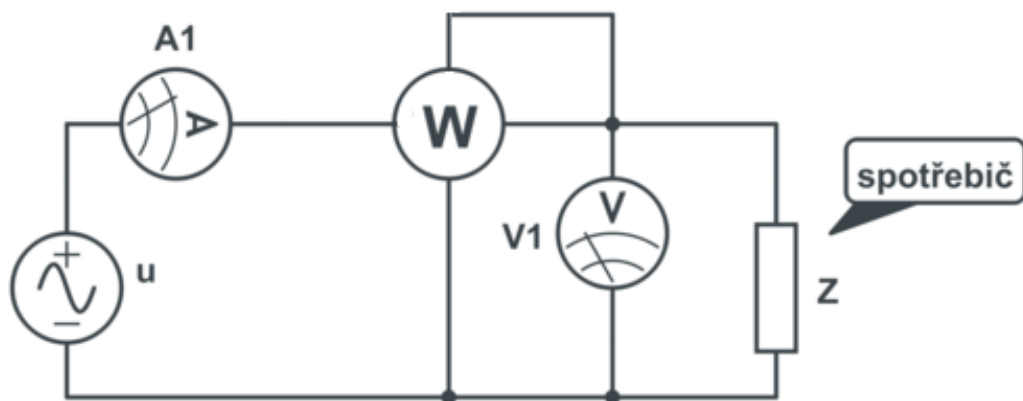
což po dalších úpravách a dosazení vede na vztah

$$P^2 = (UI)^2 - (UI)^2 \sin^2(\varphi) = (UI)^2 - P_{\text{jalový}}^2 \quad (51)$$

Pokračujeme-li v úpravě vztahu (51) dojdeme k finálnímu výrazu pro jalový výkon jako

$$P_{\text{jalový}} = \sqrt{(UI + P)(UI - P)}, \quad (52)$$

kde I je elektrický proud změřený ampérmetrem $A1$, U je elektrické napětí a P představuje naměřený činný výkon.



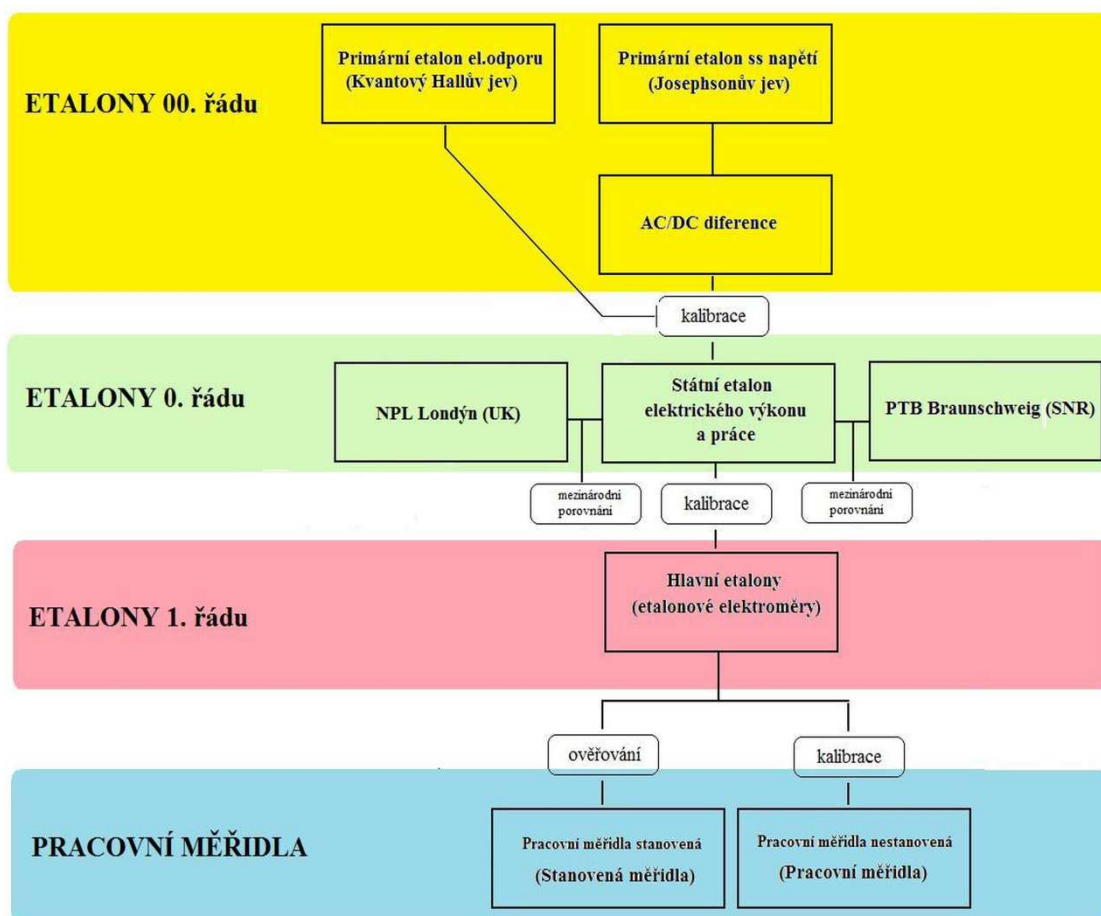
Obr.20 Zapojení pro měření jalového výkonu

Další typy zapojení a podrobnější informace nejen o měření elektrického výkonu, ale i jiných základních veličin lze nalézt kromě publikace [7] i v publikaci [8].

4. Návaznost elektrického výkonu v ČR

4.1 Hierarchie etalonů

Návazností nebo přesněji řečeno řetězcem návaznosti máme na mysli postupný, nepřerušovaný přenos hodnot dané veličiny, a to z měřidel vyšších řádů na měřidla nižších řádů. K tomuto hierarchickému navazování, a tedy k zajištění jednotnosti a přesnosti všech měřících zařízení, se používají etalony. Podle mezinárodního metrologického slovníku VIM je etalon ztělesněná míra, měřící přístroj, referenční materiál nebo měřící systém, určený k definování, realizování, uchovávání a reprodukování jedné nebo více hodnot nějaké veličiny k jejich použití pro referenční účely. [9] Schematické znázornění sledu etalonů ve vztahu k elektrickému výkonu můžeme vidět na obr. 21.



Obr.21 Schematické znázornění sledu etalonů

Od mezinárodního etalonu se přes státní etalon pokračuje až k etalonům sekundárním, dále k hlavním etalonům, až ke stanoveným a pracovním měřidlům. Mezinárodní etalony základních fyzikálních veličin (s výjimkou látkového množství) najdeme v Mezinárodním úřadu vah a měř v Sérvés u Paříže (BIPM). Obvykle tyto etalony nazýváme etalony 00. řádu. Většina státních etalonů ČR je umístěna v Českém metrologickém institutu (ČMI) v Brně, část jich najdeme i v Praze. Jedná se o etalony 0. řádu. Sekundární etalony pak obvykle začínají etalonem 1. řádu a platí, že čím vyšší je číslice vyjadřující daný řád, tím nižší je jeho postavení v hierarchii etalonů. Hierarchie návaznosti se dá znázornit pomocí schémat návaznosti, ovšem ne pro každou veličinu je oficiální verze vypracována. Na tomto místě bychom rádi zdůraznili, že obr.21 není schématem návaznosti elektrického výkonu. Jedná se pouze o pracovní verzi vytvořenou pro účely této práce, která má za úkol ozřejmit sled etalonů a jejich logickou vazbu ve vztahu k elektrickému výkonu.

4.2 Etalony 00. řádu

Elektrický výkon nemá primární etalon (ve smyslu mezinárodního etalonu). Je realizován pomocí efektivní hodnoty střídavého elektrického napětí, elektrického odporu a dále s využitím digitálního generátoru fázového posuvu. Tato skutečnost zřejmě vyplývá ze vztahu (29), který můžeme formálně přepsat takto

$$P = UI \cos(\varphi) = \frac{U^2}{R} \cos(\varphi), \quad (53)$$

kde U je efektivní hodnota střídavého elektrického napětí, I je efektivní hodnota střídavého elektrického proudu a $\cos(\varphi)$ je účinník. Ze vztahu (53) je zřejmé, že nejvyšší metrologické úrovně se dosahuje navázáním na dva základní primární etalony elektrických veličin, a těmi jsou:

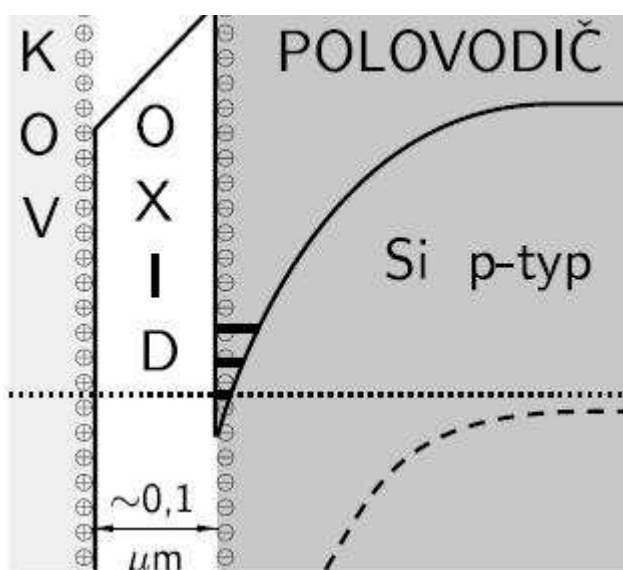
- 1) primární etalon elektrického odporu
- 2) primární etalon stejnosměrného elektrického napětí.

Hodnota střídavého elektrického napětí, kterou potřebujeme k realizaci etalonu elektrického výkonu, se odvozuje od stejnosměrného elektrického napětí pomocí tzv. AC—DC difference. Nutná je tedy návaznost i na

- 3) primární AC—DC etalony.

4.2.1 Primární etalon elektrického odporu

Primární etalon elektrického odporu je realizován na základě kvantového Hallova jevu. Vložíme-li tenkou destičku z polovodiče protékanou elektrickým proudem do vnějšího magnetického pole tak, aby vektor magnetické indukce byl kolmý na směr elektrického proudu, naměříme na protějších stěnách Hallovo napětí. Jedná se o tzv. klasický (podélný) Hallův jev. Kvantový Hallův jev byl objeven Klausem von Klitzingem v roce 1980, a to především díky obrovskému rozvoji v technologii přípravy polovodičových struktur a součástek, jako byl např. tranzistor Si-MOSFET. Řez příslušnou strukturou je na obr.22.



Obr.22 Řez polovodičovou strukturou Si-MOSFET

Na rozhraní oxid – polovodič vzniká dvourozměrná vrstva elektronů, dvourozměrný elektronový plyn, který je podmínkou vzniku kvantového Hallova jevu. Tuto strukturu Klaus von Klitzing vystavil extrémním podmínkám, konkrétně velmi silnému magnetickému poli ($B = 18 - 30 \text{ T}$) a nízké teplotě ($T < 0,1 \text{ K}$). Při průchodu elektrického proudu, v závislosti na hradlovém napětí, vznikne Hallovo napětí (analogicky s klasickým Hallovým jevem), pro které platí

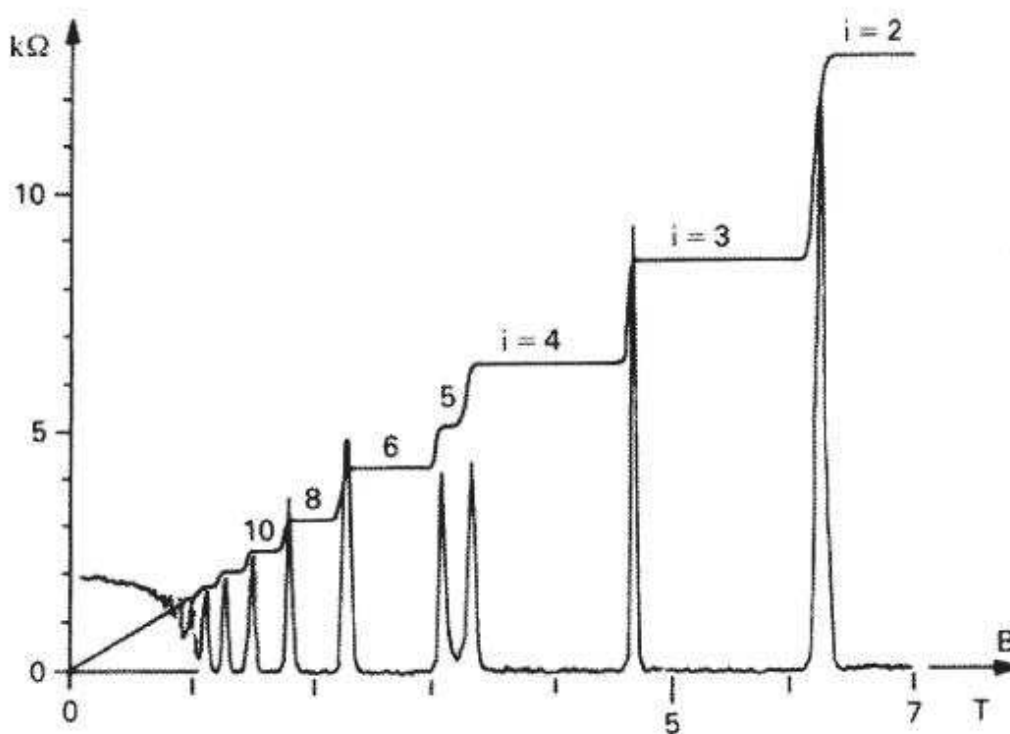
$$U_H(n) = \frac{h}{ne^2} I. \quad (54)$$

V souladu s Ohmovým zákonem jsme schopni pro tzv. Hallův odpor psát

$$R_H = \frac{h}{ne^2}, \quad (55)$$

kde h je Planckova konstanta, e představuje náboj elektronu a nechť n je celé číslo. Ze vztahu (55) je patrné, že hodnota Hallova odporu nezávisí na materiálu, je závislá pouze na základních přírodních konstantách.

Závislost Hallova odporu na vnějším magnetickém poli $R_H(B)$ má typický schodovitý charakter, mluvíme o kvantování Hallova odporu. Při konstantním magnetickém poli je hodnota Hallova odporu taktéž konstantní, a to s vysokou přesností. Při změně magnetického pole dochází ke skokové změně odporu, jak je naznačeno na obr.23.



Obr.23 Charakteristický schodovitý průběh Hallova odporu

Pro metrologické účely je důležité, že tento jev nastává i u jiných vrstevnatých heterostruktur a je reprodukovatelný s nejistotou 10^{-9} . V metrologii se používá polovodičová struktura GaAs/AlGaAs v podobě tzv. Hallova proužku s typickou šířkou kanálu $w = 400 \mu\text{m}$ a délkou $L = 500 \mu\text{m}$. Vzhledem k takto vysoké dosažitelné

přesnosti byl na Mezinárodní konferenci měř a vah (CPGM) ustanoven poměr h/e^2 tzv. Klitzingovou konstantou R_{K-90} . Její hodnota je stanovena na

$$R_{K-90} = 25\,812,807 \, \Omega, \quad (56)$$

což odpovídá situaci $n = 1$. Klitzingova konstanta vstoupila v platnost od 1.1.1990, čímž bylo dosaženo definice elektrického odporu postulované s nulovou nejistotou. Další informace o etalonu elektrického odporu jsou k nalezení v článku [10].

4.2.2 Primární etalon stejnosměrného elektrického napětí

Primární etalon stejnosměrného elektrického napětí je etalonem kvantovým. V podstatě se jedná o zdroj stejnosměrného elektrického napětí, který generuje hodnoty v rozsahu od -10 V do +10 V, a to s velmi vysokou přesností. Etalon je realizován pomocí Josephsonova jevu. Uvažujme dva supravodiče a mezi nimi dielektrikum, přičemž platí, že tloušťka dielektrické vrstvy je přibližně 3 nm (zpravidla není větší než 10 nm). Tato struktura se označuje jako Josephsonův přechod. Z pohledu klasické fyziky nebude po přiložení elektrického napětí takovým přechodem protékat proud. Nicméně z kvantové teorie víme, že bude (s nenulovou pravděpodobností) docházet k tunelování, a to v tomto případě nejen elektronů, ale i celých Cooperových párů. Cooperovy páry jsou dva elektrony v přitažlivé interakci, které stojí za supravodivostí.

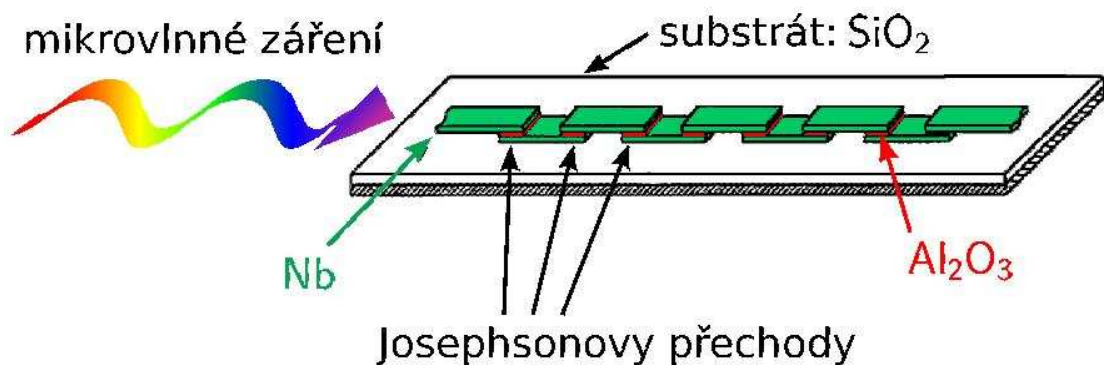
Rozlišujeme stejnosměrný a střídavý Josephsonův jev. Stejnsměrný spočívá v tom, že strukturou prochází nenulový stejnosměrný elektrický proud, a to i bez přiložení elektrického napětí na přechod. Pro střídavý Josephsonův jev vyžadující přiložení konstantního stejnosměrného napětí je typický vznik proudových oscilací. Frekvence těchto oscilací je závislá na velikosti elektrického napětí přiloženého na přechod.

Pro realizaci etalonu elektrického napětí využíváme tzv. inverzní střídavý Josephsonův jev. Na přechod nepřikládáme elektrické napětí jako v předchozím případě, ale aplikujeme na něj vysokofrekvenční elektromagnetické záření. V jeho důsledku vzniká stejnosměrné napětí, ovšem velmi malé hodnoty (řádově stovky μV). Proto se v praxi pro získání větších napětí používají tzv. Josephsonovy čipy, kde může být sériově spojeno až 20 tisíc Josephsonových přechodů (platí pro hodnotu 10 V), jak je naznačeno na obr.24.

Pro výslednou hodnotu stejnosměrného elektrického napětí platí vztah

$$U(n) = nf \frac{h}{2e}, \quad (57)$$

kde n je celé číslo, f je frekvence aplikovaného elektromagnetického záření, h má význam Planckovy konstanty a e představuje elementární náboj. Ze vztahu je zřejmé, že dochází ke kvantování elektrického napětí, analogicky jako tomu bylo u Hallova odporu rozebíraného v předchozí **kap.4.2.1**.



Obr.24 Princip Josephsonova čipu

Od roku 1990 je poměr $2e/h$ ustanoven tzv. Josephsonovou konstantou K_{J-90} . Její hodnota je s nejistotou 0,4 ppm stanovena na

$$K_{J-90} = \frac{2e}{h} = 483\,597,9 \text{ GHz/V}. \quad (58)$$

Pak vztah (57) můžeme přepsat do tvaru

$$U(n) = nf \frac{1}{K_{J-90}}. \quad (59)$$

4.2.3 Primární AC—DC etalony a AC—DC metrologie

AC—DC metrologie zajišťuje návaznost a odvozování stupnic střídavých elektrických napětí a proudů od stejnosměrných. Jak již bylo řečeno, hodnota střídavého elektrického napětí se odvozuje od stejnosměrného elektrického napětí pomocí tzv. AC—DC difference. Vychází se z definice efektivní hodnoty, kterou jsme uvedli již v **kap.2.3**. Zde byla vztažena k elektrickému proudu, v platnosti ovšem zůstává i pro elektrické napětí. Jinými slovy říká, že stejnosměrné napětí (DC) můžeme považovat za

ekvivalentní se střídavým (AC) elektrickým napětím (přesněji s jeho efektivní hodnotou), právě tehdy když vyvinou na ideálním rezistoru stejné množství tepla. Toto teplo pak měříme vhodným typem snímače (zpravidla se jedná o termočlánky), kde je převedeno na měřitelný elektrický signál (DC napětí).

Jako AC—DC etalony se používají termokonvertory, jejichž součástí je kromě termočlánku i zmiňovaný rezistor. Konstruují se jako vícenásobné, především pro navýšení hodnoty výstupního DC napětí, což znamená, že obsahují jedno žhavené vlákno a celou sadu sériově spojených termočlánků. Pro konstrukci termokonvertoru se dají využít i technologie integrovaných obvodů, zvláště pak v komerční sféře.

AC—DC diference, značí se δ , je v podstatě mírou ekvivalentnosti mezi oběma druhy elektrického napětí a lze ji spočítat podle [11] užitím následujícího vztahu:

$$\delta = \frac{U_{\text{výstupní}}(AC) - U_{\text{výstupní}}(DC)}{nU_{\text{výstupní}}(DC)} = \frac{U_{\text{vstupní}}(AC) - U_{\text{vstupní}}(DC)}{nU_{\text{vstupní}}(DC)}, \quad (60)$$

kde $U_{\text{výstupní}}(DC)$ představuje aritmetický průměr hodnoty výstupního napětí termokonvertoru při kladné a záporné polaritě vstupního DC napětí, $U_{\text{výstupní}}(AC)$ je hodnota výstupního napětí termokonvertoru při vstupním AC napětí, $U_{\text{vstupní}}(DC)$ má význam aritmetického průměru kladné a záporné polarity vstupního DC napětí, $U_{\text{vstupní}}(AC)$ je hodnota vstupního AC napětí a n je mocninný koeficient. Odvozuje se z průběhu obecné převodní charakteristiky použitého termokonvertoru a je přibližně roven dvěma. Příslušná AC stupnice se pak vytváří postupným krokováním.

4.3 Etalony 0. řádu

4.3.1 Státní etalon elektrického výkonu a práce při průmyslových frekvencích

Nejpřesnějším používaným etalonem v ČMI, který je zároveň schváleným a vyhlášeným státním etalonem elektrického výkonu a práce při průmyslových frekvencích pro ČR, je AC/DC komparátor výkonu HEG K2005. Číselný kód charakterizující postavení tohoto etalonu je ECM 220-1/03-025. Byl několikrát kalibrován v zahraničí, a to v NPL Londýn a v PTB Braunschweig, čímž byla zajištěna jeho metrologická návaznost. Jeho podobu můžeme vidět na obr.25 a obr.26.

Technické parametry etalonu jsou uvedeny v tab.1.

	rozsah
P [W]	2,5—30 000
I_{AC} [A]	0,005—100
U_{AC} [V]	50—300
f [Hz]	45—65
účinník	1—0,5 ind./kap.
nejistota [%]	0,01

Tab.1 Technické parametry státního etalonu

Etalon slouží především pro kalibraci etalonových elektroměrů, a to buď laboratorních nebo zákaznických, které se vyznačují velmi vysokou přesností.

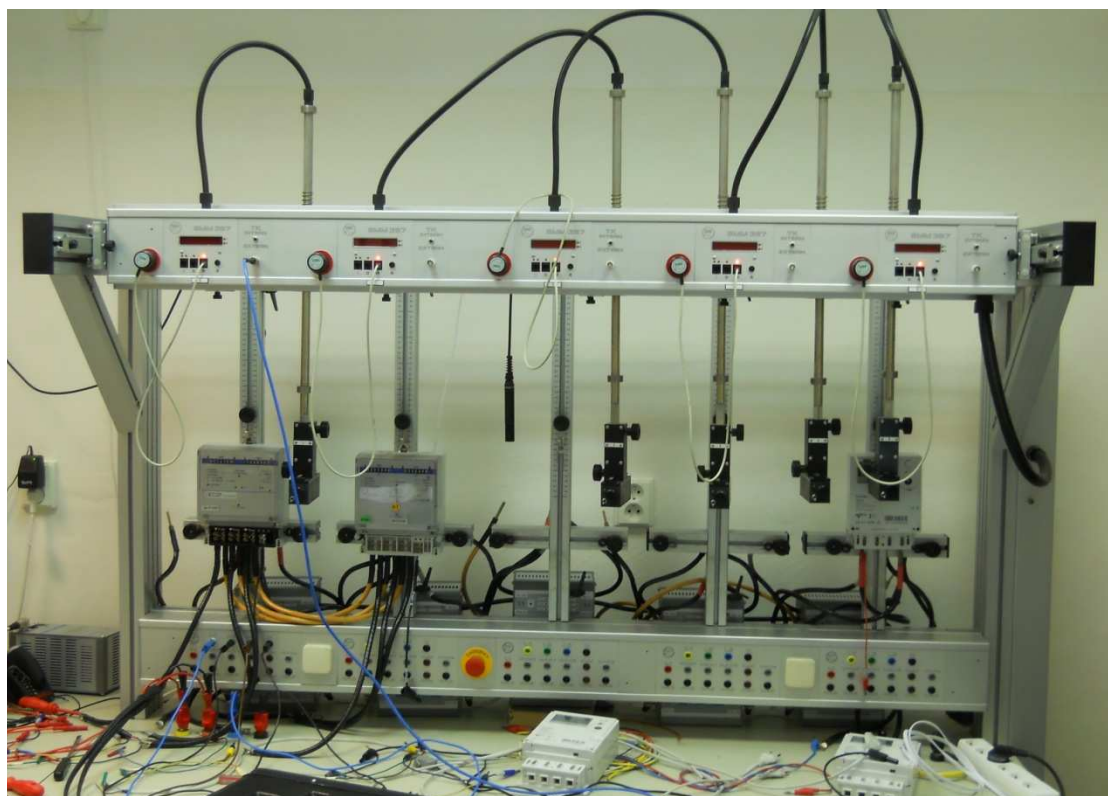


Obr.25 Státní etalon elektrického výkonu a práce (přední strana)



Obr.26 Státní etalon elektrického výkonu a práce (zadní strana)

V těchto případech je propojen s výkonovým zdrojem EMH SPE 100.3, který je součástí elektroměrné stanice na zkoušení elektroměrů. Jak stanice vypadá můžeme vidět na obr.27. Stanice má jako celek návaznost na (mezi)národní etalony a musí mít platné osvědčení o funkční zkoušce (kalibrační list). Její součástí je také trojfázový etalonový elektroměr EMH ENZ 200.3, jehož přesnost je přibližně poloviční ve srovnání s přesností státního etalonu. Může být do měřicího okruhu zapojen přímo nebo přes měřicí transformátory a použijeme jej při těch měřeních, kde jeho přesnost vyhovuje. Výkonový zdroj s příslušným etalonovým elektroměrem je na obr.28.



Obr.27 Elektroměrná stanice na zkoušení elektroměrů

Výkonový zdroj dodává výkon na základě zadaných hodnot elektrického napětí U , elektrického proudu I a účinníku $\cos(\varphi)$. Tento výkon je pak měřen etalonovým elektroměrem, jež je součástí stanice nebo etalonem HEG K2005 a také příslušným kalibrovaným etalonovým elektroměrem. Porovnání naměřených výkonů probíhá s využitím impulzní metody. Impulzní metoda spočívá v tom, že dostaneme informaci o měřené veličině ve formě výstupních impulzů, jejichž frekvence je přímo úměrná v našem případě- elektrickému výkonu. Pokud tyto impulzy přivedeme na komparátor HEG K2005 obdržíme přímo relativní chybu daného zařízení. Etalonové elektroměry

jsou dnes již běžně vybaveny speciálním výstupem impulzů. Komparátor je schopen zpracovat impulzy s frekvencí až 120 kHz.

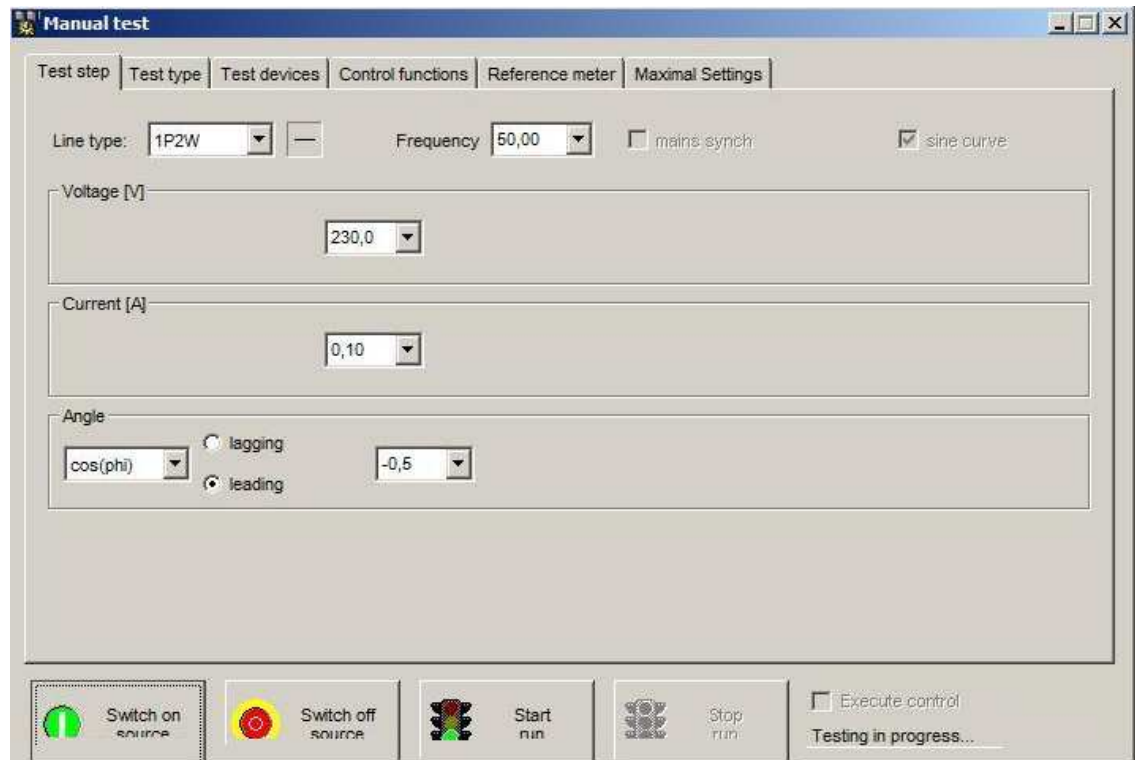


Obr.28 Výkonový zdroj s etalonovým elektroměrem EMH ENZ 200.3

Celá kalibrace je v podstatě zkouškou přesnosti, kdy se zjišťují chyby kalibrovaného etalonového elektroměru při daných proudech, a to pomocí speciálního softwaru CamCal, metodou odečtu údaje z číselníku. Výsledkem měření je poté chyba kalibrovaného etalonového elektroměru, resp. směrodatná odchylka, doplněná o standardní nejistotu měření podle odborného dokumentu EA-4/02. [12]

Ukázka práce se softwarem je na obr.29. Zadáme fázi, kterou chceme proměřovat (*line type*), hodnotu frekvence (*frequency*), hodnotu elektrického napětí (*voltage*), hodnotu elektrického proudu (*current*) a fázový úhel (*angle*) mezi elektrickým napětím a elektrickým proudem, vyjádřený pomocí účinníku $\cos(\varphi)$. Zadáme-li např. pouze

hodnotu $\cos(\varphi) = -0,5$, odpovídají jí dva úhly, a to $\varphi_1 = 120^\circ$ a $\varphi_2 = 240^\circ$. Je ovšem velmi důležité, zda elektrické napětí předbíhá proud, nebo naopak, což plyne již z teorie uvedené v **kap.2**.



Obr.29 Ukázka práce se softwarem CamCal

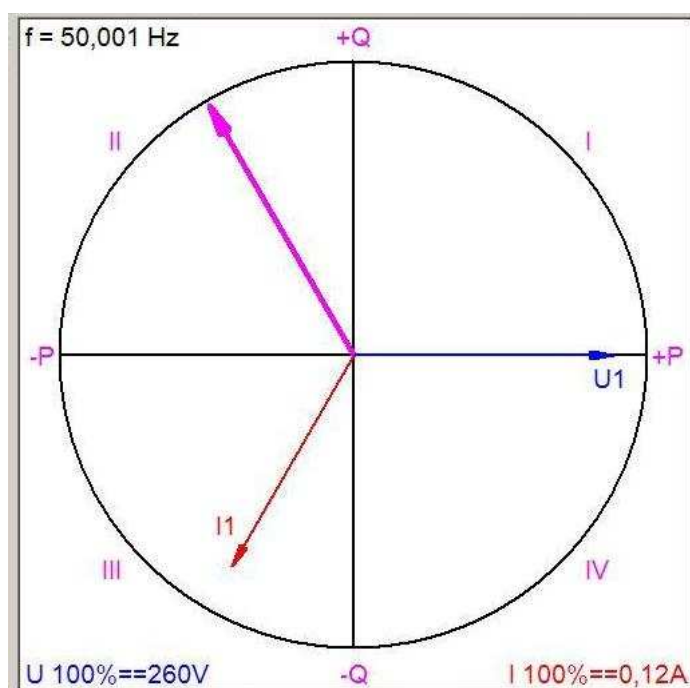
Proto není výhodné zadávat pouze číselnou hodnotu účinníku. Aby bylo dostatečně jasné, jaké je pořadí fázorů, doplňuje se hodnota účinníku o zkratku *ind./kap.*, z čehož je zřejmé, jaký charakter zátěže máme na mysli.

V programu CamCal si volíme jednu z možností, a to *LA/LE (lagging/leading)*. Jak již bylo uvedeno dříve, v ČR je vztažným fázorem fázor elektrického napětí, v USA je to fázor elektrického proudu. Hodnota $\cos(\varphi) = -0,5LE$ pak znamená, že elektrický proud „vede“ (resp. předbíhá) elektrické napětí, fázový rozdíl mezi nimi je 120° , což by odpovídalo kapacitní zátěži. Typické účinníky a jim odpovídající úhly používané při měření činné a jalové energie jsou uvedeny v tab.2.

	činný výkon			jalový výkon	
PF (<i>power factor</i>) $\cos(\varphi)$	1	0°	QF (<i>quality factor</i>) $\sin(\varphi)$	1	90°
	0	90°		0,5 LA	30°
	0,5 LA	60°		0,5 LE	150°
	0,5 LE	300°		-0,5 LA	330°
	-0,5 LA	240°		-0,5 LE	210°
	-0,5 LE	120°		-1	270°
	-1	180°		-	-

Tab.2 Hodnoty účinnků při měření činné a jalové energie

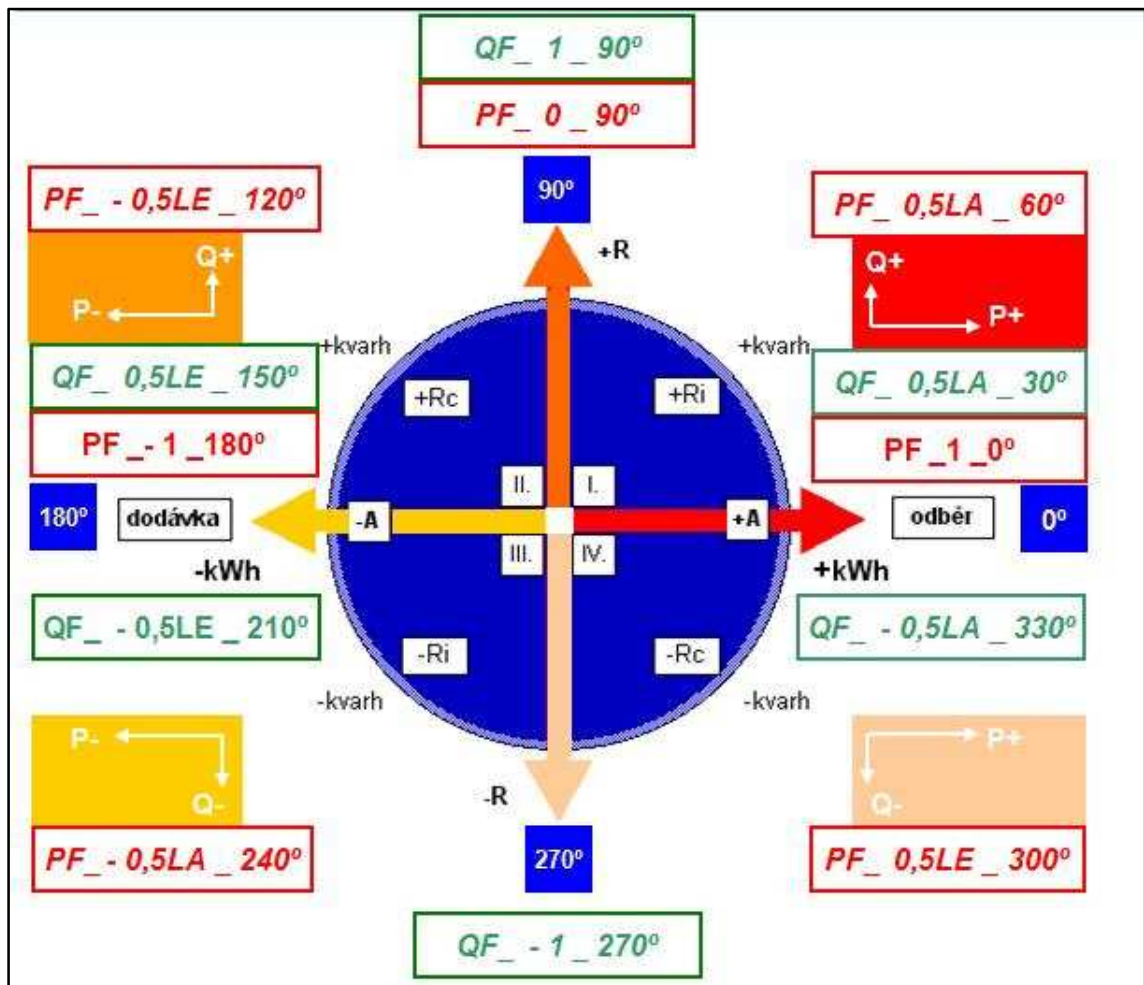
Jedním z výstupů programu CamCal je i fázorový diagram vystihující poměry mezi fázorem elektrického napětí, fázorem elektrického proudu a výsledného elektrického výkonu. Ukázka fázorového diagramu, který se váže k zadaným hodnotám uvedeným na obr.29, je na obr.30.



Obr.30 Ukázka fázorového diagramu programu CamCal

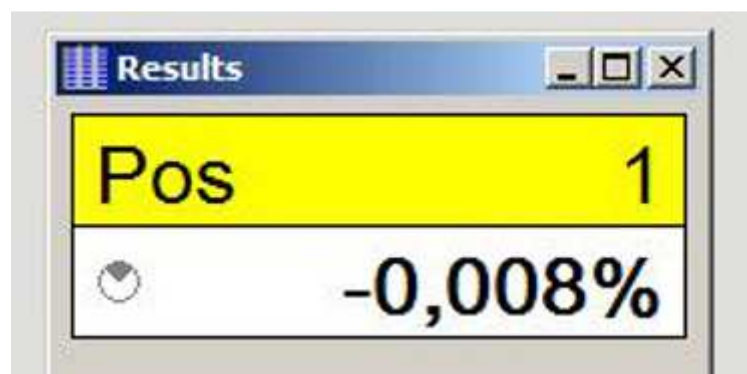
Problematika toku výkonů a čtení fázorů v programu CamCal je zřejmá z obr.31. Celá oblast je rozdělena na 4 kvadranty. Symbol *A* (*active power*) značí činný výkon, symbol *R* (*reactive power*) je označení pro jalový výkon. V I. a IV. kvadrantu nabývá činný výkon kladných hodnot, což znamená, že se jedná o odběr elektrické energie, ve

II. a III. kvadrantu nabývá naopak záporných hodnot, jde tedy o dodávku elektrické energie.



Obr.31 Tok elektrického výkonu

Zjištěná chyba je jednoduše odečtena z číselníku, který je taktéž výstupem programu. Jeho ukázkou nalezneme na obr.32.



Obr.32 Číselník programu CamCal

Posledním z výstupů programu CamCal je tabulka naměřených hodnot. Jak tabulka vypadá je ukázáno na obr.33. Můžeme si všimnout, že celá tabulka je v podstatě rozdělena na dvě části. První část se vztahuje k zapojení *trojúhelník* (3-vodičové zapojení), druhá se týká zapojení *hvězda* (4-vodičové zapojení). Ve sloupci, který odpovídá měřené fázi, jsou kromě přesných údajů o naměřeném elektrickém proudu a napětí k nalezení i hodnoty naměřeného činného výkonu, jalového výkonu (Q) a zdánlivého výkonu (S) v příslušných jednotkách. Na základě zadaného účinníku je dopočítán odpovídající fázový úhel mezi elektrickým proudem a napětím, spolu s poměry PF a QF , které jsme definovaly vztahy (32) a (33).

Δ	L12	L23	L31
UU[V]	--	--	--
>UU[°]	0,00	--	--
>II[°]	--	--	--
λ	L1	L2	L3
U[V]	229,54	--	--
I[A]	0,100	--	--
P[W]	-11,47	--	--
Q[var]	19,87	--	--
S[VA]	22,95	--	--
Phi[°]	119,99	--	--
PF	-0,50	--	--
QF	0,87	--	--
Σ	P[W]	Q[var]	S[VA]
Power	-11,48	19,87	22,95

Obr.33 Ukázka tabulky softwaru CamCal s naměřenými hodnotami

4.4 Sekundární etalony

Nejvýše postavené sekundární etalony označujeme jako etalony 1. řádu. Ty jsou navázány na etalon 0. řádu, tzn. na státní etalon elektrického výkonu a práce, jak bylo již naznačeno na obr.21. Etalonem 1. řádu může být například hlavní etalon autorizovaných metrologických středisek, inspektorátů ČMI apod. Etalony 2. a 3. řádu pak většinou označujeme jako hlavní podnikové etalony. Toto označení se stále běžně

používá, ovšem není příliš přesné, a to z tohoto důvodu- nemusí se nutně jednat o podnik v pravém významu tohoto slova. Může jít o koncern, organizaci, fyzickou podnikatelskou i právnickou osobu nebo jiný subjekt, který vlastní nebo při své činnosti používá měřidla. Měřidlo dosahující nejvyšší metrologické úrovně v rámci daného subjektu je hlavní etalon, který podléhá povinné pravidelné kalibraci v některém ze státem pověřených středisek.

S ohledem na elektrický výkon jsou hlavními etalony nejčastěji tzv. etalonové elektroměry. Ty, které se používají v laboratoři ss a nf elektrických veličin ČMI Brno, slouží k zajištění návaznosti etalonových elektroměrů nižších řádů a jakožto měřidla, i ony podléhají povinné pravidelné kalibraci. ČMI zajišťuje kalibrování řady etalonových elektroměrů, jejichž kalibraci si vyžádá zákazník. Kalibrace probíhá buď přímo v laboratořích ČMI, kam zákazník svůj etalonový elektroměr zašle, nebo zaměstnanec laboratoře přijede na místo určení s externím etalonovým elektroměrem. Jak často kalibrovat není stanoveno. Termín rekalibrace si určuje samotný uživatel nebo majitel daného měřidla. Přitom bere v úvahu, jak často se přístroj používá, zda bývá vystaven extrémním podmínkám apod. Zkrátka posoudí komplexně technický i metrologický stav přístroje a na jeho základě se rozhodne, jak dlouhá lhůta kalibrace bude. Etalonové elektroměry se v laboratoři ČMI kalibrují jedenkrát za 2 roky. Protože je ČMI orgánem, který zajišťuje nejvyšší metrologickou kvalitu v ČR, mohou si kalibraci přístroje zajistit sami. Užívané etalonové elektroměry budou podrobněji rozebrány v následující **kap.5**.

4.5 Stanovená měřidla

Stanovená měřidla jsou podle zákona O Metrologii [13] kategorií měřidel, které stát stanovuje vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam, který přichází v úvahu

- 1) v závazkových vztazích, např. při prodeji, nájmu nebo při darování věcí, při poskytování služeb nebo při určení náhrady škody, popř. jiné majetkové újmy,
- 2) při stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní,
- 3) pro ochranu zdraví,
- 4) pro ochranu životního prostředí,
- 5) pro bezpečnost při práci,
- 6) při ochraně jiných veřejných zájmů chráněnými zvláštními právními předpisy.

Mezi stanovená měřidla elektrických veličin patří:

- indukční elektroměry vyrobené do 31.12.1989 pro měření elektrické energie v přímém zapojení (10 let) a ve spojení s měřicími transformátory (5 let)
- indukční elektroměry vyrobené po 1.1.1990 (16 let a 12 let)
- statické elektroměry (v obou typech zapojení 12 let).

Údaje v závorkách udávají dobu platnosti ověření. Po jejím uplynutí musí být znovu ověřeny, což je pro všechny uživatele ze zákona vyplývající povinnost. Stanovenými měřidly s ohledem na elektrický výkon a na bod (2) máme na mysli koncové elektroměry, které jsou nainstalovány např. v domácnostech a které slouží k registraci spotřeby elektrické energie.

Mezi přední výrobce používaných elektroměrů v ČR patří firma Landis+Gyr nebo ZPA. Jedná se o digitální elektroměry, které neobsahují žádné pohyblivé součásti. Elektroměry se vyrábí jako jednofázové či trojfázové. Jsou schopny registrovat spotřebu činné a jalové energie ve třívodičové nebo čtyřvodičové síti s jednou, dvěma nebo třemi fázemi. Bývají doplněny o bezpečnostní prvky, díky nimž je snadné odhalit případnou manipulaci s elektroměrem, neoprávněný odběr energie apod. Na webových stránkách příslušných firem [14] nebo [15] lze nalézt podrobné technické specifikace ke všem typům používaných elektroměrů. Elektroměry vyráběné firmou Landis+Gyr jsou ukázány na obr.34, na obr.35 jsou pak nejzákladnější typy používané nejen v českých domácnostech od firmy ZPA.



Obr.34 Ukázka produktů firmy Landis+Gyr



Obr.35 Ukázka produktů firmy ZPA

5. Používané etalonové elektroměry

Jak jsme uváděli již v **kap.4.4**, hlavním etalonem ve vztahu k elektrickému výkonu bývá nejčastěji tzv. etalonový elektroměr. Našli bychom jej v autorizovaných metrologických střediscích nebo v některé z laboratoří inspektorátů ČMI. Autorizovanými metrologickými středisky pověřenými ověřováním stanovených měřidel elektrického výkonu jsou:

- ArcelorMittal Energy Ostrava, s.r.o.
- ČEZ Distribuční služby, s.r.o.
- E.ON Servisní, s.r.o.
- PREměření, a.s.

Mezi nejpoužívanější etalonové elektroměry v těchto střediscích patří především:

- Etalonový elektroměr Applied Precision RS 2330E
- Etalonový elektroměr TESTGYR D3000.

Oba uvedené typy etalonových elektroměrů nejsou zajisté jediné, které se používají. Jedná se o modely, které byly s určitostí kalibrovány v laboratoři ss a nf elektrických veličin ČMI Brno a které tedy mohly posloužit jako názorné příklady. Ve skutečnosti se od sebe jednotlivé etalonové elektroměry příliš neliší. Nejzásadnější rozdíl spočívá v dosažitelné přesnosti daného etalonového elektroměru, o čemž vypovídá jeho zařazení do určité třídy přesnosti. Každý etalonový elektroměr je také určen pro jiný rozsah měřeného proudu či napětí. Jednotlivé typy se od sebe tedy liší i v technických parametrech.

5.1 Etalonový elektroměr RS 2330E

Etalonový elektroměr typu RS 3961E používají např. v laboratoři ss a nf elektrických veličin ČMI Brno. Tento typ jsme proměřovali v rámci jeho pravidelné kalibrace. Jedná se o přístroj, který je schopen měřit činný, jalový a zdánlivý výkon při 6-vodičovém, 4-vodičovém a 3-vodičovém zapojení. Odpovídající měřicí mód si vybíráme z celkových osmi, které jsou označeny čísly 0—7. Význam módu a příslušné označení je uvedeno v tab.3.

Výrobce zařízení je slovenská firma Applied Precision se sídlem v Bratislavě.

číslo módu	kód módu	měřicí mód
0	P6	činný výkon a energie v 6-vodičovém zapojení
1	P4	činný výkon a energie ve 4-vodičovém zapojení
2	P3	činný výkon a energie ve 3-vodičovém zapojení
3	N6	jalový výkon a energie v 6-vodičovém zapojení
4	N4	jalový výkon a energie ve 4-vodičovém zapojení
5	N3	jalový výkon a energie ve 3-vodičovém zapojení
6	K4	jalový výkon a energie (cross-connected)
7	K3	jalový výkon a energie (cross-connected)

Tab.3 Měřicí módy etalonového elektroměru

Kromě tohoto modelu byly v laboratoři ČMI kalibrovány od stejného výrobce např. i modely 2310A nebo 2310E. Jedná se ve všech případech o trojfázové etalonové elektroměry, které se v současné době již nevyrábí. Byly zastoupeny novějšími modely, jež je plně nahrazují. Za všechny jmenujme především model 2330E.

Etalonový elektroměr 2330E je měřicí přístroj, který je schopen, stejně jako jeho předchůdce- model 3961E- měřit činný, jalový a zdánlivý výkon při 6-vodičovém, 4-vodičovém a 3-vodičovém zapojení. Kromě toho přibyla i možnost 2-vodičového zapojení. Hlavní technické parametry jsou uvedeny v tab.4.

	rozsah	max. chyba (sinusový průběh, teplota 23°C)
I_{AC} [A]	0,0001—5 0,001—120 0,002—160 0,002—200	0,01%
U_{AC} [V]	30—500	0,01%
f [Hz]	40—70	0,005 Hz
účinník	0—1	-
třída přesnosti	0,02	-
max. frekvence impulzů $f_{i\max}$ [kHz]	320/ 2000	-

Tab.4 Technické parametry etalonového elektroměru 2330E

Vyrábí se jako trojfázový, a to ve čtyřech variantách, přičemž jednotlivé varianty se od sebe liší rozsahem měřeného proudu. Všechny tyto varianty modelu 2330E jsou třídy přesnosti 0,02.

Jak etalonový elektroměr 2330E vypadá reálně, můžeme vidět na obr.36, na obr.37 je pak jeho podoba ze zadní strany.



Obr.36 Etalonový elektroměr 2330E (přední strana)

Význam vstupů, výstupů a svorek umístěných v zadní části etalonového elektroměru bude podrobněji rozebrán dále.



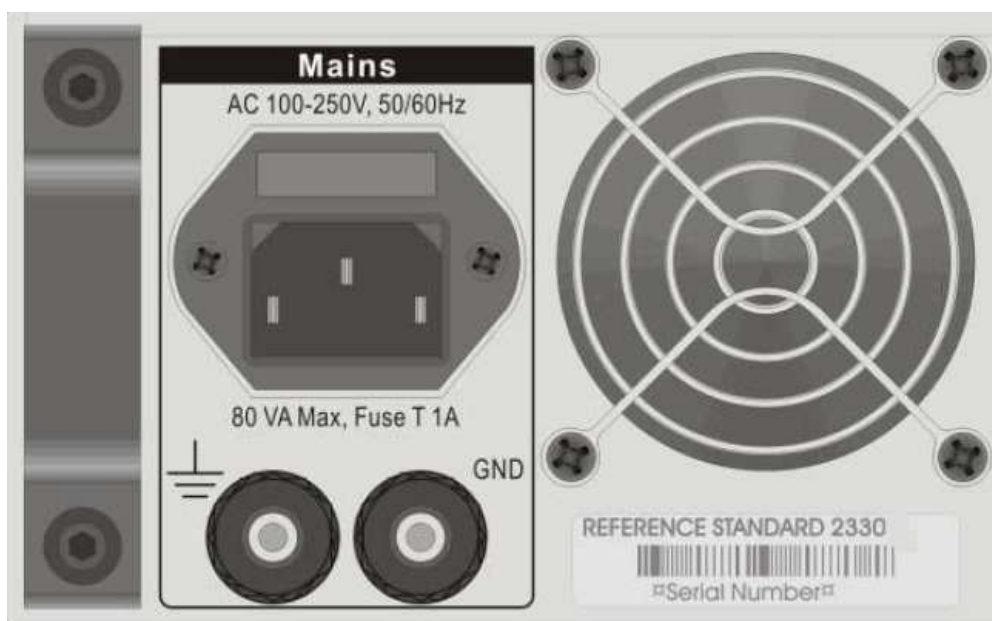
Obr.37 Etalonový elektroměr 2330E (zadní strana)

Jak již bylo zmíněno v **kap.4.3**, tyto typy etalonových elektroměrů jsou dnes běžně vybaveny speciálním výstupem impulzů, kdy platí, že frekvence impulzů je přímo úměrná měřenému výkonu daného druhu.

Mezi frekvencí impulzů f_i a měřeným elektrickým výkonem P platí vztah

$$f_i = \frac{kP}{3600}, \quad (66)$$

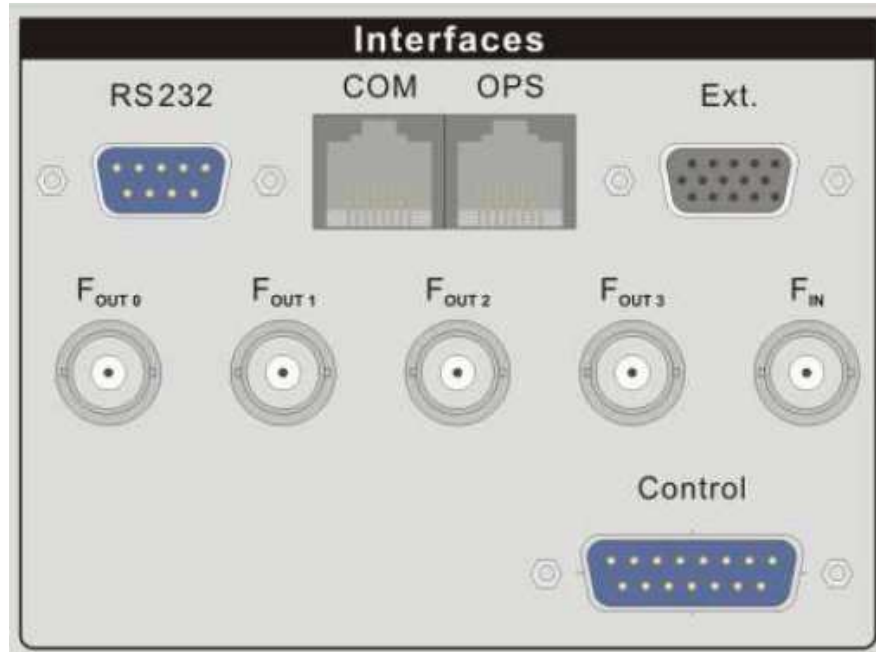
kde k představuje tzv. konstantu elektroměru. Ta udává počet (vyslaných) impulzů/Wh. Pojděme se detailněji zabývat zadní částí etalonového elektroměru. Pro lepší přehlednost, rozlišení a detailnější pohled jsme si dovolili celou zadní část přístroje rozdělit na pomyslné třetiny. První z nich je na obr.38 a týká se především napájení a provozu celého zařízení. Obsahuje připojovací konektor pro napájecí napětí, zemnicí svorky a ventilátor, který zajišťuje chlazení přístroje.



Obr.38 Etalonový elektroměr 2330E, detail 1

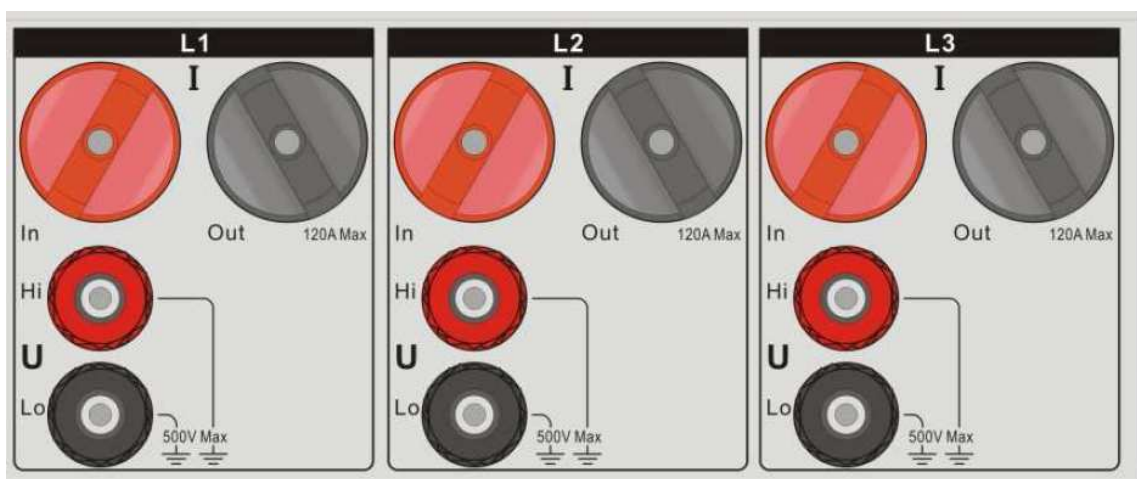
Na obr.39 je poté blok přístroje obsahující vstupy a výstupy pro různé druhy komunikačních rozhraní, včetně standardního sériového portu RS 232 pro připojení PC. Dále zde najdeme již zmiňované výstupy impulzů. Etalonový elektroměr 2330E má celkem čtyři nezávislé impulzní výstupy označené na obr.34 jako $F_{OUT\ 0}$, $F_{OUT\ 1}$, $F_{OUT\ 2}$ a $F_{OUT\ 3}$. Disponuje také jedním impulzním vstupem F_{IN} . Konstanta etalonového elektroměru k je pro všechny čtyři nezávislé impulzní výstupy volně

nastavitelná a platí, že maximální frekvence výstupních impulzů je extrémně vysoká. Na výstupu $F_{OUT 0}$ je její hodnota stanovena na $f_i = 2 \text{ MHz}$. Na impulzních výstupech $F_{OUT 1-3}$ je maximální frekvence impulzů nižší než na $F_{OUT 0}$, a to $f_i = 320 \text{ kHz}$.



Obr.39 Etalonový elektroměr 2330E, detail 2

Poslední blok obsahuje proudové a napěťové svorky, pomocí kterých přivádíme měřený elektrický proud a napětí. Řazení svorek pro všechny tři fáze, tj. L_1 , L_2 a L_3 je zobrazeno na obr.40.



Obr.40 Etalonový elektroměr 2330E- detail 3

Napětové a proudové svorky příslušné fáze jsou nezávislé na svorkách dalších dvou fází, což umožňuje vyhodnocovat veličiny ve třech samostatných a nezávislých kanálech. Jinými slovy, můžeme měřit veličiny v každé fázi zvlášť, nebo ve všech fázích dohromady. Firma AP doporučuje kalibrovat etalonový elektroměr 2330E jedenkrát za dva roky. Informace o modelu byly se svolením firmy získány z technických dokumentů a propagačních materiálů, které jsou k nalezení na webu [16].

5.2 Etalonový elektroměr TESTGYR D3000

Měřicí zařízení TESTGYR D3000 je dalším hojně používaným typem etalonového elektroměru. Jeho výrobcem je již zmiňovaná švýcarská firma Landis+Gyr. Jedná se o etalonový elektroměr, který je schopen měřit činný, jalový a zdánlivý výkon ve třívodičové nebo čtyřvodičové síti, a to jednofázové nebo trojfázové. Při měření elektrického výkonu a energie je hodnota na displeji v souladu se zvoleným měřeným módem zobrazena ve Wh, kWh nebo varh, kvarh.

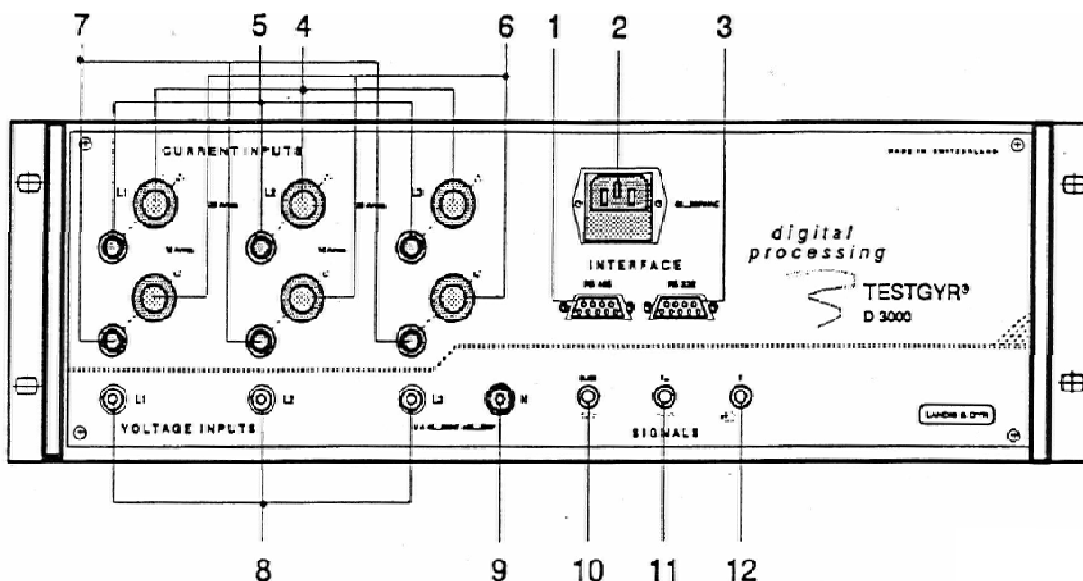
Dále je schopen měřit elektrické napětí, elektrický proud, fázový úhel mezi nimi, frekvenci a jejich příslušné hodnoty zobrazovat na displeji. Hlavní technické parametry etalonového elektroměru TESTGYR D3000 jsou uvedeny v tab.5.

	rozsah	max. chyba
I_{AC} [A]	0,005—120; 0,1; 1; 10; 100	0,01%
U_{AC} [V]	3x 48/83—3x 320/554	0,01%
f [Hz]	47—63	$\pm 0,01\%$
účinník	0—1	-
přesnost [%]	0,05	-

Tab.5 Technické parametry etalonového elektroměru D3000

Řazení ovládacích prvků a konektorů na přístroji je znázorněno na obr.41. Protože všechny typy etalonových elektroměrů pracují na stejném principu, příliš se neliší ani jejich ovládací prvky. Nechybí konektor pro napájení (2) a různé druhy komunikačních rozhraní. Ovládání tohoto měřicího zařízení, stejně jako zobrazení výsledků měření se provádí softwarově pomocí PC, který je k etalonovému elektroměru připojen přes standardní sériové rozhraní RS 232 (3). Nechybí také volitelně rychlé rozhraní BITBUS (RS 485) (1). Dále zde najdeme i proudové a napětové vstupní svorky (8) pro všechny

tří fáze a zemnicí svorku pro vstupní měření napětí (9). Všimněme si, že proudové a napěťové svorky nejsou u etalonových elektroměrů navzájem propojeny.



Obr.41 Etalonový elektroměr TESTGYR D3000

To má za následek, že se etalonový elektroměr chová tak, jako by byl násobičkou dvou okamžitých hodnot daných veličin. Podle zapojení těchto svorek lze měřit každou fází zvlášť, nebo všechny dohromady, zcela analogicky jako je tomu u jiných typů etalonových elektroměrů. Proudové vstupní svorky označené na obr.36 číslem (5) jsou určeny pro maximální proud $I_{MAX} = 10 \text{ A}$. Ke svorkám, které jsou označeny číslem (4), můžeme připojit maximální vstupní proud $I_{MAX} = 120 \text{ A}$. Proudové svorky výstupní jsou označeny čísly (6), (7) a první z nich jsou určeny pro větší hodnoty elektrického proudu (120 A). I tento typ etalonového elektroměru je schopen dávat informaci o hodnotě měřené veličiny prostřednictvím impulzů. Na rozdíl od modelu 2330E obsahuje pouze jeden impulzní výstup (11) a jeden impulzní vstup (12). Konstantu elektroměru lze zvolit z následujících možností:

Rozsah proudu [A]	kostanta elektroměru [imp/kWh]
$I_n = 100$	$k = 1 \cdot 10^6$
$I_n = 10$	$k = 10 \cdot 10^6$
$I_n = 1$	$k = 100 \cdot 10^6$
$I_n = 0,1$	$k = 1000 \cdot 10^6$

Výrobce doporučuje kalibrovat tento etalonový elektroměr jedenkrát ročně.

6. Návrh jednotné metodiky

6.1 Ověřování elektroměrů

Uvažujme nyní klasické elektroměry (ne etalonové), jakožto koncová měřidla, se kterými se můžeme setkat např. v domácnostech. Jak jsme uváděli v **kap.4.5**, jedná se o stanovená měřidla, která podléhají povinnému ověřování. Celá zkouška přesnosti těchto elektroměrů se vždy řídí dokumentem TPM 2440—08, tj. *Technickým předpisem metrologickým* [17], jež je věnován elektroměrům a specifikuje metody zkoušení při jejich ověřování. Kromě něj je dále potřeba zohlednit normu ČSN EN 50470—*Vybavení pro měření elektrické energie* [18]. Oba dokumenty jsou závazné.

Již víme, že etalonové elektroměry, které jsou součástí stanic na ověřování elektroměrů, je potřeba po určité době kalibrovat. Protože se jednotlivé používané etalonové elektroměry od sebe liší, a to nejen druhem měřené energie, bylo by vhodné vytvořit jednotnou metodiku pro jejich kalibraci. Z výše uvedeného vyplývá, že etalonové elektroměry jsou prostřednictvím stanic (na ověřování elektroměrů) spojeny s ověřováním elektroměrů. Z toho důvodu musí být při návrhu jednotné metodiky pro kalibraci etalonových elektroměrů brán zřetel na dokumenty, které se týkají ověřování klasických elektroměrů. Zvláště již zmiňovaný TPM [17] byl v tomto návrhu výchozím.

Hlavním úkolem tedy bylo navrhnout, jaká měření budeme při jejich kalibraci provádět, resp. jaké měřící body budeme proměřovat, v závislosti na TPM nebo na způsobu zapojení. Body měly být voleny tak, aby vyhovovaly celé škále vyráběných, používaných a posléze ověřovaných elektroměrů. Protože nemá valný smysl zabývat se jednofázovými etalonovými elektroměry, omezili jsme se při návrhu na etalonové elektroměry trojfázové.

Nejprve bylo potřeba rozlišovat, zda se jedná o elektroměry měřící činnou nebo jalovou energii. Způsobem zapojení máme na mysli zapojení do hvězdy (tj. 4-vodičové zapojení) či zapojení do trojúhelníku (tj. 3-vodičové zapojení), jak bylo diskutováno v **kap.2.7**. Vliv má také to, zda je elektroměr určen k přímému připojení k elektrické síti, tj. jde o jeho přímé zapojení nebo o zapojení přes měřící transformátory.

Hlavní důraz se kladl na elektroměry, které měří činnou energii při 4-vodičovém zapojení. Nominální (někdy se jí také říká jmenovitá, referenční, základní) hodnota napětí je u elektroměrů měřících činnou energii $U_N = 3 \times 230 / 400 \text{ V}$ nebo v případě malých napětí $U_N = 3 \times 57,7 / 100 \text{ V}$. Jde o hodnotu, k níž jsou vztaženy nejdůležitější vlastnosti daného elektroměru. Nás zajímá závislost přesnosti elektroměru na hodnotě procházejícího proudu, přičemž platí, že elektroměry musí být (v souladu se zmiňovanými dokumenty) měřeny v rozmezí (5% – 100%) nominálního proudu I_B , 50% I_B a rovněž při maximálním proudu I_{MAX} . Nominální hodnota proudu udává maximální možnou střední hodnotu měřeného proudu, která může téci elektroměrem dlouhodoběji, aniž by došlo k jeho poškození. Zde uveďme jednu důležitou poznámku: jde-li o nominální proud u přímého zapojení, značí se I_B , jedná-li se ovšem o zapojení přes měřicí transformátory, označujeme jej I_N .

Velikost měřeného proudu by také neměla překročit určitou přípustnou špičkovou hodnotu, kterou udává maximální proud I_{MAX} . Dále musí být elektroměry měřeny při jistém minimálním proudu I_{MIN} . Pro něj není hodnota přesně stanovena, stačí, aby byla menší než 5% nominálního proudu I_B . Uvažovat musíme i přechodový proud I_{TR} , pro který platí, že nabývá hodnoty 10% I_B , jedná-li se o elektroměry při přímém zapojení, nebo 5% I_B při zapojení přes měřicí transformátory. Nejčastěji jsou digitální statické elektroměry konstruovány na hodnotu nominálního proudu $I_B = 5 \text{ A}$, u elektrodynamických elektroměrů je jeho hodnota dvojnásobná, tedy $I_B = 10 \text{ A}$. Můžeme se také setkat s hodnotou elektrického proudu I_{ref} . Jde o nominální proud při přímém zapojení, a to u elektroměrů, které jsou schvalovány podle mezinárodní evropské směrnice MID. Toto rozlišování je velmi nešikovné a je dáno především historickými souvislostmi. Důležitější je, že hodnoty $I_{ref} — I_{TR}$ v podstatě vymezují interval, ve kterém platí meze chyb pro danou třídu přesnosti.

Co se týká maximálního proudu I_{MAX} bývá nejčastěji stanoven na jednu z těchto hodnot: 40 A, 60 A, 80 A, 100 A, 120 A. Větší hodnoty jsou typické spíše pro elektrodynamické elektroměry. V oblasti malých napětí, tj. $U = 3 \times 57,7 / 100 \text{ V}$, se neměří proud větší než $I = 10 \text{ A}$ z toho důvodu, že takové elektroměry se nevyrábí.

Elektroměry se vždy ověřují pro účinník $\cos(\varphi)=1$, $\cos(\varphi)=0,5$ ind. a $\cos(\varphi)=0,5$ kap. v případě činného výkonu a energie. Jedná-li se o měření jalového výkonu a energie, pak pro $\sin(\varphi)=1$, $\sin(\varphi)=0,5$ ind. a $\sin(\varphi)=0,5$ kap. Samozřejmě je nutné měřit každou fázi zvlášť, tj. L_1 , L_2 , L_3 a všechny fáze dohromady L_{123} .

Na základě všech zmíněných skutečností, proudových rozsahů nejpoužívanějších elektroměrů a metrologických předpisů bylo stanoveno 14 základních hodnot elektrického proudu pro kalibraci etalonových elektroměrů. V případě měření jalového výkonu a energie byly body z výše uvedených důvodů redukovány. Trojici $U, I, \cos(\varphi)$, (resp. $U, I, \sin(\varphi)$) označujeme jako tzv. měřící bod. Máme celkem 129 měřících bodů, pro různé kombinace účinníků a pro různé hodnoty elektrického napětí. Všechny měřící body jsou uvedeny v **(tab.6—tab.10)**. Experimentální ověření metodiky, resp. proměření všech navržených měřících bodů proběhlo na etalonovém elektroměru značky Applied Precision, typ 3961E.

7. Výsledky měření

7.1 Ověření metodiky na vybraných elektroměrech

Všechny navržené měřicí body uvedené v (tab.6—tab.10) jsme proměřovali na etalonovém elektroměru značky Applied Precision, který je znázorněn na obr.42. Dále budou diskutovány výsledky měření.



Obr.42 Etalonový elektroměr RS 3961E

Reálné zapojení experimentální sestavy je zobrazeno na následujícím obr.43.



Obr.43 Experimentální sestava

Použitým etalonem byla elektroměrná stanice na zkoušení elektroměrů. S jednotlivými prvky měřící soustavy jsme se blíže seznámili v **kap.4**.

Princip kalibrace etalonového elektroměru 3961E je zcela analogický s postupem popsaným taktéž v **kap.4**. V prvním kroku zadáme v softwaru CamCal hodnotu elektrického napětí U , elektrického proudu I a účinníku $\cos(\varphi)$. Měřící stanice, v souladu se vztahem (27), pak na základě těchto hodnot dodává elektrický výkon odpovídající velikosti. Dodávaný elektrický výkon měříme etalonovým elektroměrem, který je součástí stanice a zároveň kalibrovaným etalonovým elektroměrem značky Applied Precision. Na základě porovnání naměřených výkonů prostřednictvím impulzní metody, můžeme odečíst z číselníku programu CamCal chybu kalibrovaného etalonového elektroměru při daných hodnotách elektrického proudu.

Pro každý měřící bod je potřeba provést minimálně 5 měření, aby výsledky měly vypovídající statistickou hodnotu.

V dalším kroku se z naměřených výsledků spočítá aritmetický průměr a směrodatná odchylka σ . Aritmetický průměr určený ze souboru naměřených hodnot je zjištěnou (průměrnou) chybou kalibrovaného etalonového elektroměru v daném měřícím bodě. Tuto chybu je však nutné podrobit jisté korekci. Byť je etalonový elektroměr, který je součástí stanice, velmi přesný, i on měří s určitou chybou. Ta je stanovena na základě praktických zkušeností, z předchozích kalibrací a z porovnání etalonu v zahraničí. Korekce tedy spočívá v tom, že se k určenému aritmetickému průměru přičte známá chyba etalonového elektroměru v daném měřícím bodě. Vyjdeme ze skutečnosti, že kalibrovaný etalonový elektroměr Applied Precision 3961E je třídy přesnosti 0,02. To znamená, že jeho maximální chyba je stanovena na hodnotu $\pm 0,02\%$. Všechny námi určené chyby by se měly nacházet pod touto hodnotou.

Nejprve jsme zjišťovali chyby etalonového elektroměru 3961E při měření činného výkonu a energie ve 4-vodičovém zapojení (hvězda), a to pro hodnotu elektrického napětí $U = 3 \times 230 / 400$ V. Jak jsme uváděli již dříve, je potřeba zjišťovat chyby etalonového elektroměru v každé fázi zvlášť a ve všech fázích dohromady. Příslušné výsledky jsou uvedeny v **příloze 1, část (A—F)**.

Následovalo měření činného výkonu a energie ve 4-vodičovém zapojení pro nižší hodnotu elektrického napětí, a to pro $U = 3 \times 57,7 / 100$ V. Naměřené chyby najdeme v **příloze 2, část (A—D)**.

Příloha 3, část (A—C) se také týká měření činného výkonu a energie, ovšem ve 3-vodičovém zapojení (trojúhelník). Hodnota elektrického napětí byla v tomto případě $U = 3 \times 100$ V.

Analogicky jsme měřili také jalový výkon a energii. Výsledky, které jsme obdrželi při měření jalového výkonu a energie ve 4-vodičovém zapojení, pro hodnotu napětí $U = 3 \times 230 / 400$ V, jsou součástí **přílohy 4, část (A—D)**. Následovalo 3-vodičové zapojení pro elektrické napětí $U = 3 \times 100$ V. Výsledky uvádíme v **příloze 5, část (A—C)**.

Podíváme-li se na zmiňované přílohy, vidíme, že obsahují 2 druhy výsledků. Výsledné chyby, které leží v zeleném poli, jsou v pořádku. Vyhovují dané třídě přesnosti a signalizují, že se přístroj v daném měřicím bodě chová dle očekávání. Chyby ležící ve žlutém poli limitu maximální chyby nevyhovují.

Všechny nevyhovující výsledky, které jsme obdrželi při měření činného výkonu a energie při 4-vodičovém zapojení a při napětí $U = 3 \times 230 / 400$ V jsou shrnuty v **tab.11**. Analyzujeme-li naměřené hodnoty, vidíme, že určené chyby jsou značně nestabilní a nevyhovují třídě přesnosti 0,02. Některé z nich dokonce maximální chybu pro danou třídu přesnosti několikanásobně překračují. Jedná se především o chyby, které byly zjištěny v měřicích bodech s velkými hodnotami elektrických proudů. Například zjištěná chyba 0,7% (tj. $I = 120$ A) překračuje maximální chybu pro danou třídu přesnosti 35x a může znamenat chybné měření či indikovat problém s měřicím zařízením. Vzhledem ke skutečnosti, že se problém objevuje opakovaně a při stejných hodnotách elektrického proudu, důkazem jsou chyby větší než 0,5%; 0,2%; 0,19% a 0,16% (všechny se vyskytují pro $I = 120$ A) můžeme vyloučit chybu měření a přiklonit se k teorii, že se jedná o problém s měřicím zařízením. Dále z **tab.11** vyplývá, že nejvíce nevyhovujících chyb bylo změřeno ve druhé a třetí fázi, tj. v L_2 a v L_3 a že nejproblematictější byly ty body, které se vztahují k induktivnímu účinku (tj. $\cos(\varphi) = 0,5$ ind.). V **tab.12** najdeme nevyhovující chyby při nižším napětí.

měřicí bod	fáze	$I [A]$	$U [V]$	$\cos(\varphi)$	chyba [%]	měřicí bod	fáze	$I [A]$	$U [V]$	$\cos(\varphi)$	chyba [%]				
3	L ₁	0,25	3x 230/400	1	-0,061	15	L ₁	0,05	3x 230/400	0,5 ind.	-0,056				
1	L ₂	0,05			-0,069	26		80			0,030				
2		0,1			-0,029	27		100			0,029				
13		100			-0,037	28		120			0,027				
14		120			-0,085	15		0,05			-0,081				
1	L ₃	0,05			-0,069	19		1,0			0,027				
2		0,1			-0,036	20		2,5			0,041				
13		100			0,040	21		5			0,031				
14		120			0,028	22		10			0,029				
						23		L ₂			20		0,044		
29	L ₁	0,05			3x 230/400	0,5 kap.					-0,093	24	40	0,035	
30		0,1									-0,053	25	60	0,026	
31		0,25									-0,039	26	80	0,032	
29	L ₂	0,05						-0,075			27	100	0,388		
30		0,1	-0,029	28			120	0,566							
42		120	-0,711	15			0,05	-0,090							
29	L ₃	0,05	-0,048	16			0,1	-0,026							
30		0,1	-0,041	20			2,5	0,034							
37		20	-0,030	21			5	0,029							
42		120	-0,220	23			20	0,034							
29	L ₁₂₃	0,05	-0,044	24			40	0,026							
30		0,1	-0,027	25			60	0,030							
42		120	-0,253	26			80	0,031							
							27	L ₃	100	0,046					
						28	120		0,191						
						18	L ₁₂₃		0,5	0,028					
						19			1,0	0,029					
						20		2,5	0,032						
						21		5	0,027						
						22		10	0,026						
						23		20	0,031						
						24		40	0,028						
						25		60	0,028						
						26	80	0,032							
						27	100	0,160							
						28	120	0,366							

Tab.11 Nevyhovující chyby, činný výkon, 4-vodičové zapojení (hvězda), $U=3x230/400 V$

měřicí bod	fáze	I [A]	U [V]	$\cos(\varphi)$	chyba [%]	měřicí bod	fáze	I [A]	U [V]	$\cos(\varphi)$	chyba [%]			
43	L ₂	0,05	3x 57,7/100	1	-0,026	52	L ₁	0,5	3x 57,7/100	0,5 ind.	0,039			
43	L ₃	0,05			0,029	53		1,0			0,036			
44		0,1			0,052	54		2,5			0,026			
				55	5	0,029								
								56			10		0,045	
57	L ₁	0,05	3x 57,7/100	0,5 kap.	-0,040	50		L ₂			0,05	3x 57,7/100	0,5 ind.	0,048
57	L ₂	0,05			-0,094	51					0,1			0,046
58		0,1			-0,047	52					0,5			0,048
				53	1,0	0,048								
				54	2,5	0,053								
				55	5	0,044								
				56	10	0,041								
				50	L ₃	0,05	-0,049							
				50		0,05	0,026							
				51		0,1	0,032							
				52		0,5	0,033							
				53	L ₁₂₃	1,0	0,032							
				54		2,5	0,035							
				55		5	0,030							
				56		10	0,029							

Tab.12 Nevyhovující chyby, činný výkon, 4-vodičové zapojení (hvězda), $U=3x57,7/100$ V

V **tab.12** pak najdeme všechny nevyhovující chyby, které vyšly při měření činného výkonu a energie pro nižší hodnotu elektrického napětí, tj. pro $U = 3x57,7/100$ V.

Tab.13 se týká zapojení trojúhelník.

měřicí bod	fáze	U [V]	I [A]	$\cos(\varphi)$	chyba [%]	měřicí bod	fáze	I [A]	U [V]	$\cos(\varphi)$	chyba [%]
64	L ₃	3x100	0,05	1	-0,037	73	L ₁	0,5	3x100	0,5 ind.	0,035
65			0,1		0,049	74		1,0			0,027
				77	10	0,027					
				71	L ₃	0,05		-0,029			
78	L ₁	3x100	0,05	0,5 kap.	-0,032	72	L ₁₂₃	0,1		0,027	
79			0,1		-0,027						
78	L ₃		0,05		-0,055						
79			0,1	-0,050							

Tab.13 Nevyhovující chyby, činný výkon, 3-vodičové zapojení (trojúhelník), $U=3x100$ V

V prvním případě nejsou chyby tak velké jako při měření činného výkonu a energie při napětí $U = 3x230/400$ V, přesto limit maximální chyby nespĺňují. I zde se problém při měření projevuje především ve druhé fázi (L₂) a při indukčním účinníku. Nicméně

tato skutečnost není příliš překvapivá, víme-li, že se kvalita přístroje projeví nejvíce právě při hodnotách účinníků, které jsou jiné než jedna. Můžeme si také všimnout, že často nevyhovuje chyba stanovená pro měřící body obsahující hodnotu proudu $I = 0,05 \text{ A}$.

Jak již bylo uvedeno, **tab.13** se týká zapojení trojúhelník. Protože jde v tomto případě o tzv. Aronovo zapojení, není potřeba proměřovat fázi L_2 , jelikož jí neteče proud. Zde se nevyhovující chyby vyskytovaly se stejnou četností v první i ve třetí fázi, opět více při induktivním účinníku. Z **tab.13** je zřejmé, že opět nevyhovuje chyba stanovená pro hodnotu proudu $I = 0,05 \text{ A}$. Tento měřící bod byl problémový v celé sadě měření. Dále se ještě častěji vyskytoval problém pro $I = 0,1 \text{ A}$. Chyby pro vysoké hodnoty elektrického proudu, tj. 80, 100 a 120 A, které se objevovaly v předchozích případech, se zde neprojevily, protože se v tomto typu zapojení měří do max. proudu $I = 10 \text{ A}$.

V **tab.14** jsou analogicky shrnuty všechny nevyhovující hodnoty chyb, které jsme obdrželi při měření jalového výkonu a energie při 4-vodičovém zapojení a napětí $U = 3 \times 230 / 400 \text{ V}$. Situace je stejná jako v přechozích případech.

V poslední **tab.15** najdeme nevyhovující chyby při měření jalového výkonu a energie, a to pro zapojení trojúhelník. V tomto případě byla nejproblematictější fáze L_1 .

Analyzujeme-li všechny nevyhovující výsledky získané při měření činného a jalového výkonu, můžeme konstatovat, že chyby byly během celého měření značně nestabilní a zvláště při vysokých hodnotách elektrického proudu překračovaly stanovené maximum až 35x. Chyby v mnoha měřících bodech neodpovídají dané třídě přesnosti, nejčastěji pro druhou nebo třetí fázi. Z tohoto důvodu byl kontaktován výrobce etalonového elektroměru, který identifikoval problém s měřícím zařízením a na jeho doporučení byl etalonový elektroměr opraven.

měřící bod	fáze	I [A]	U [V]	$\sin(\varphi)$	chyba [%]	měřící bod	fáze	I [A]	U [V]	$\sin(\varphi)$	chyba [%]				
85	L ₂	0,05	3x 230/400	1	0,085	93	L ₁	0,05	3x 230/400	0,5 ind.	0,042				
86		0,1			0,075	94		0,1			0,027				
87		0,25			0,031	96		0,5			0,039				
87		L ₃			0,25	0,031		97			1,0	0,033			
				98		2,5		0,032							
						99		5						0,025	
						100		10						0,025	
						93		L ₂			0,05			0,051	
						94					0,1				0,042
						95					0,25				0,028
						96	0,5					0,036			
						97	1,0					0,035			
						98	2,5					0,046			
						99	5					0,029			
						100	10				0,027				
						93	L ₃	0,05			0,025				
						94		0,1				0,035			
						95		0,25				0,028			
						97		1,0				0,028			
						98		2,5				0,031			
						99		5				0,026			
						100		10				0,025			
						93	L ₁₂₃	0,05			0,032				
						94		0,1				0,036			
						95		0,25				0,026			
						96		0,5				0,033			
						97		1,0				0,030			
						98		2,5				0,030			
						99		5				0,026			
						100	10				0,027				
101	L ₁	0,05		0,5 kap.	-0,025										

Tab.14 Nevyhovující chyby, jalový výkon, 4-vodičové zapojení (hvězda), $U=3x230/400$ V

měřící bod	fáze	I [A]	U [V]	$\sin(\varphi)$	chyba [%]	měřící bod	fáze	I [A]	U [V]	$\sin(\varphi)$	chyba [%]
109	L_3	0,05	3x100	1	-0,025	118	L1	0,5	3x100	0,5ind.	0,035
						119		1,0			0,030
123	L_1	0,05	3x100	0,5 kap.	-0,071	120		2,5			0,026
124		0,1			-0,045	121		5			0,026
125		0,5			-0,029	122		10			0,030
129		10			-0,025						
123	L_3	0,05			-0,046						
124		0,1			-0,031						
123	L_{13}	0,05			-0,036						
124		0,1			-0,033						

Tab.15 Nevyhovující chyby, jalový výkon, 3-vodičové zapojení (trojúhelník), $U=3x100$ V

8. Závěr

Kromě teoretických základů elektrických AC veličin, problematiky definice a měření elektrického výkonu, jsme se v této diplomové práci mohli seznámit se současným stavem metrologie a etalonáže elektroměrů v ČR.

Hlavním cílem práce a mým úkolem bylo v první řadě vypracovat návrh jednotné metodiky kalibrace etalonových elektroměrů. Podrobněji byla problematika vysvětlena v **kap.6 Návrh jednotné metodiky**. Jejím výstupem bylo 129 měřících bodů, které byly pro etalonové elektroměry navrženy na základě studia principů ověřování klasických elektroměrů, jakožto koncových měřidel pro registraci spotřeby elektrické energie. Výchozím dokumentem byl Technický předpis metrologický [17].

Následně byla metodika experimentálně ověřena na vybraném typu etalonového elektroměru. Jednalo se o měřicí přístroj značky Applied Precision, typ RS 3961E, jehož vlastníkem je laboratoř ss a nf elektrických veličin ČMI Brno. Získané výsledky byly využity v rámci jeho pravidelné kalibrace, která se provádí jedenkrát za dva roky.

Kompletní výsledky byly uvedeny v přílohách 1—5. Výsledkem je pak zjištěná chyba etalonového elektroměru (daná součtem aritmetického průměru a příslušné korekce) v daném měřícím bodě. Na základě získaných výsledků byla objevena závada na měřícím zařízení a etalonový elektroměr byl posléze opraven. Z důvodu této závady se stalo, že část výsledků, resp. chyby zjištěné pro určité měřicí body, neodpovídaly udávané třídě přesnosti kalibrovaného etalonového elektroměru. Tyto specifické výsledky byly uvedeny v **kap.7 Výsledky měření**, kde byly taktéž diskutovány a analyzovány.

Domnívám se, že diplomová práce jako celek splnila svůj účel. Navržená metodika je v praxi použitelná, pokrývá většinu v současné době používaných etalonových elektroměrů, stejně jako je schopna odhalit případné závady na měřícím zařízení.

Literatura

- [1] BLAHOVEC, Antonín. *Elektronika pro učitele základních škol*. 1.vyd. Praha: Český výbor elektrotechnické společnosti ČSVTS, 1987.
- [2] KUBÍNEK, Roman. *Elektrina a magnetismus* [online]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/emg.pdf>
- [3] ČIČMANEC, Pavol. *Všeobecná fyzika 2*. 1.vyd. Bratislava: Alfa, 1980.
- [4] HLÁVKA, JAN. *Elektrotechnika 1, Fyzikální základy, část 1*. 1.vyd. Praha: SNTL—nakladatelství technické literatury, 1968.
- [5] BLAHOVEC, Antonín. *Elektronika 2*. 3. vyd. Praha: Informatorium, 2000.
- [6] MATYÁŠ, Vladislav. *Elektronické měřicí přístroje*. 1.vyd. Praha: SNTL—nakladatelství technické literatury, 1981.
- [7] FAJT, Václav, Jaroslav HRABÁK a Milan JAKL. *Elektrická měření*. 1.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1980.
- [8] KREJČÍ, Vladimír a Josef STUPKA. *Elektrická měření*. 1. vyd. Praha: STNL—nakladatelství technické literatury, 1973.
- [9] ŠINDELÁŘ, Václav a Zdeněk TŮMA. *Metrologie, její vývoj a současnost*. 1.vyd. Praha: Česká metrologická společnost, 2002.
- [10] STŘEDA, Pavel. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie. Dostupné z: <http://dml.cz/dmlcz/140994>
- [11] ZACHOVALOVÁ, Věra. Odvození stupnice AC napětí pomocí AC-DC difference. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/odvozeni-stupnice-ac-napeti-pomoci-ac-dc-diference/>
- [12] EA 4/02. *Vyjadřování nejistot měření při kalibracích*. Dostupné z: <http://www.cai.cz/Download.ashx?Type=Document&Id=4870>
- [13] ČMI, *Základní právní předpisy pro metrologii, sešit A, školící materiály ČMI*. 1.vyd. Brno: Český metrologický institut, 2006.

- [14] ZPA Smart Energy a.s. [online]. Dostupné z: www.zpa.cz
- [15] Landis+Gyr. [online]. Dostupné z: <http://www.landisgyr.cz/>
- [16] Applied Precision: Reference Standard RS 2x30. [online]. Dostupné z: http://www.appliedp.com/download/catalog/rs2x30_pc_en.pdf
- ČSN EN 5410 *Vybavení pro měření elektrické energie.*
- [17] TPM 2440-08. *Technický předpis metrologický: Elektroměry, metody zkoušení při ověřování.* UNMZ—Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2008.
- [18] ČSN EN 50470. *Vybavení pro měření elektrické energie (AC): Část 1: Všeobecné požadavky zkoušky a zkušební podmínky- Měřící zařízení (třídy A, B a C).* ČNI—Český normalizační institut, 2007.

Příloha 1—část A

měřicí bod	I [A]	číslo měření					fáze L_1			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
1	0,05	-0,027	-0,028	-0,031	-0,027	-0,024	0,003	-0,027	0,011	-0,016
2	0,1	-0,024	-0,023	-0,026	-0,027	-0,028	0,002	-0,026	0,011	-0,015
3	0,25	-0,070	-0,069	-0,075	-0,070	-0,066	0,003	-0,070	0,009	-0,061
4	0,5	-0,019	-0,009	-0,013	-0,008	-0,011	0,004	-0,012	0,011	-0,001
5	1,0	-0,006	-0,009	-0,008	-0,006	-0,007	0,001	-0,007	0,011	0,004
6	2,5	-0,007	-0,006	-0,007	-0,009	-0,007	0,001	-0,007	0,011	0,004
7	5	-0,008	-0,007	-0,005	-0,005	-0,008	0,002	-0,007	0,012	0,005
8	10	-0,007	-0,008	-0,006	-0,005	-0,009	0,002	-0,007	0,013	0,006
9	20	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,002	0,000	-0,003	0,013	0,010
10	40	0,002	0,001	0,001	-0,003	-0,001	0,002	0,000	0,013	0,013
11	60	0,000	0,001	0,004	0,005	0,000	0,002	0,002	0,013	0,015
12	80	0,004	0,003	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,013	0,016
13	100	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,001	0,004	0,013	0,017
14	120	0,004	0,003	0,004	0,002	0,004	0,001	0,003	0,013	0,016

Příloha 1.1 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L_1

měřicí bod	I [A]	číslo měření					fáze L_2			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
1	0,05	-0,082	-0,085	-0,082	-0,080	-0,071	0,005	-0,080	0,011	-0,069
2	0,1	-0,038	-0,040	-0,041	-0,038	-0,041	0,002	-0,040	0,011	-0,029
3	0,25	-0,016	-0,020	-0,023	-0,021	-0,020	0,003	-0,020	0,009	-0,011
4	0,5	-0,016	-0,018	-0,013	-0,015	-0,018	0,002	-0,019	0,011	-0,008
5	1,0	-0,013	-0,014	-0,014	-0,012	-0,015	0,001	-0,014	0,011	-0,003
6	2,5	0,002	0,001	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,011	0,011
7	5	-0,003	-0,002	-0,004	-0,001	-0,001	0,001	-0,002	0,012	0,010
8	10	-0,005	-0,002	-0,001	-0,003	-0,004	0,002	-0,003	0,013	0,010
9	20	0,005	0,008	0,005	0,005	0,005	0,001	0,006	0,013	0,019
10	40	-0,002	-0,001	-0,003	-0,004	-0,002	0,001	-0,002	0,013	0,011
11	60	-0,009	-0,008	-0,012	-0,008	-0,011	0,002	-0,010	0,013	0,003
12	80	-0,003	-0,002	-0,003	0,001	0,000	0,002	-0,001	0,013	0,012
13	100	-0,052	-0,033	-0,054	-0,083	-0,030	0,021	-0,050	0,013	-0,037
14	120	-0,091	-0,091	-0,093	-0,122	-0,091	0,014	-0,098	0,013	-0,085

Příloha 1.2 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L_2

Příloha 1—část B

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
1	0,05	-0,087	-0,085	-0,078	-0,072	-0,079	0,006	-0,080	0,011	-0,069	
2	0,1	-0,049	-0,043	-0,043	-0,049	-0,050	0,003	-0,047	0,011	-0,036	
3	0,25	-0,023	-0,025	-0,026	-0,022	-0,027	0,002	-0,025	0,009	-0,016	
4	0,5	-0,016	-0,020	-0,020	-0,019	-0,018	0,002	-0,019	0,011	-0,008	
5	1,0	-0,015	-0,016	-0,016	-0,016	-0,017	0,001	-0,016	0,011	-0,005	
6	2,5	-0,006	-0,009	-0,005	-0,004	-0,010	0,003	-0,007	0,011	0,004	
7	5	-0,010	-0,010	-0,012	-0,009	-0,007	0,002	-0,010	0,012	0,002	
8	10	-0,013	-0,012	-0,011	-0,012	-0,011	0,001	-0,012	0,013	0,001	
9	20	-0,014	-0,010	-0,010	-0,011	-0,010	0,002	-0,011	0,013	0,002	
10	40	-0,003	-0,005	-0,003	-0,001	-0,004	0,001	-0,003	0,013	0,010	
11	60	-0,004	-0,011	-0,006	-0,009	-0,008	0,003	-0,008	0,013	0,005	
12	80	-0,006	-0,005	-0,006	-0,006	-0,002	0,002	-0,005	0,013	0,008	
13	100	0,026	0,024	0,030	0,027	0,029	0,002	0,027	0,013	0,040	
14	120	0,014	0,014	0,017	0,010	0,020	0,004	0,015	0,013	0,028	

Příloha 1.3 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₂₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
1	0,05	-0,018	-0,019	-0,020	-0,017	-0,019	0,001	-0,019	0,01	-0,008	
2	0,1	-0,013	-0,013	-0,014	-0,012	-0,001	0,005	-0,011	0,01	0,000	
3	0,25	-0,012	-0,014	-0,012	-0,013	-0,017	0,002	-0,014	0,01	-0,005	
4	0,5	-0,009	-0,009	-0,010	-0,009	-0,010	0,001	-0,009	0,01	0,002	
5	1,0	-0,008	-0,009	-0,008	-0,009	-0,009	0,001	-0,009	0,01	0,002	
6	2,5	-0,002	-0,003	-0,001	-0,002	-0,001	0,001	-0,002	0,01	0,009	
7	5	-0,005	-0,006	-0,004	-0,004	-0,006	0,001	-0,005	0,01	0,007	
8	10	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007	-0,006	0,000	-0,007	0,01	0,006	
9	20	0,000	-0,002	0,001	0,000	-0,001	0,001	0,000	0,01	0,013	
10	40	-0,018	-0,019	-0,020	-0,017	-0,019	0,001	-0,019	0,01	-0,008	
11	60	-0,013	-0,013	-0,014	-0,012	-0,001	0,005	-0,011	0,01	0,000	
12	80	-0,012	-0,014	-0,012	-0,013	-0,017	0,002	-0,014	0,01	-0,005	
13	100	-0,009	-0,009	-0,010	-0,009	-0,010	0,001	-0,009	0,01	0,002	
14	120	-0,008	-0,009	-0,008	-0,009	-0,009	0,001	-0,009	0,01	0,002	

Příloha 1.4 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₁₂₃

Příloha 1—část C

měřicí bod	I [A]	číslo měření					fáze L_1			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
15	0,05	-0,074	-0,071	-0,074	-0,075	-0,076	0,002	-0,074	0,018	-0,056
16	0,1	-0,043	-0,035	-0,041	-0,043	-0,040	0,003	-0,040	0,018	-0,022
17	0,25	-0,013	-0,010	-0,003	-0,011	-0,008	0,004	-0,009	0,018	0,009
18	0,5	0,001	0,004	0,002	0,006	0,007	0,003	0,004	0,018	0,022
19	1,0	0,002	0,003	-0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,018	0,020
20	2,5	0,003	0,006	0,006	0,007	0,004	0,002	0,005	0,014	0,019
21	5	0,008	0,006	0,010	0,005	0,013	0,003	0,008	0,014	0,022
22	10	0,014	0,012	0,011	0,016	0,009	0,003	0,012	0,011	0,023
23	20	0,005	0,003	0,003	0,007	0,005	0,002	0,005	0,011	0,016
24	40	0,007	0,007	0,010	0,006	0,010	0,002	0,008	0,011	0,019
25	60	0,017	0,011	0,009	0,017	0,013	0,004	0,013	0,011	0,024
26	80	0,021	0,016	0,016	0,019	0,021	0,003	0,019	0,011	0,030
27	100	0,017	0,017	0,017	0,017	0,020	0,001	0,018	0,011	0,029
28	120	0,016	0,012	0,016	0,019	0,016	0,002	0,016	0,011	0,027

Příloha 1.5 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ ind., fáze L_1

měřicí bod	I [A]	číslo měření					fáze L_2			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
15	0,05	-0,094	-0,097	-0,102	-0,095	-0,106	0,005	-0,099	0,018	-0,081
16	0,1	-0,033	-0,029	-0,031	-0,029	-0,031	0,002	-0,031	0,018	-0,013
17	0,25	-0,009	-0,005	-0,012	-0,011	-0,005	0,003	-0,008	0,018	0,010
18	0,5	0,008	0,005	0,005	0,005	0,004	0,002	0,005	0,018	0,023
19	1,0	0,008	0,012	0,009	0,009	0,009	0,002	0,009	0,018	0,027
20	2,5	0,029	0,025	0,025	0,029	0,026	0,002	0,027	0,014	0,041
21	5	0,020	0,017	0,013	0,017	0,017	0,002	0,017	0,014	0,031
22	10	0,017	0,020	0,017	0,022	0,014	0,003	0,018	0,011	0,029
23	20	0,028	0,035	0,035	0,037	0,032	0,004	0,033	0,011	0,044
24	40	0,021	0,026	0,024	0,026	0,024	0,002	0,024	0,011	0,035
25	60	0,018	0,014	0,012	0,018	0,014	0,003	0,015	0,011	0,026
26	80	0,017	0,023	0,022	0,022	0,020	0,002	0,021	0,011	0,032
27	100	0,264	0,196	0,320	0,483	0,623	0,174	0,377	0,011	0,388
28	120	0,572	0,604	0,509	0,524	0,566	0,038	0,555	0,011	0,566

Příloha 1.6 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ ind., fáze L_2

Příloha 1—část D

měřící bod	I [A]	číslo měření					fáze L_3			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
15	0,05	-0,099	-0,106	-0,114	-0,111	-0,112	0,006	-0,108	0,018	-0,090
16	0,1	-0,047	-0,043	-0,039	-0,048	-0,041	0,004	-0,044	0,018	-0,026
17	0,25	-0,027	-0,017	-0,019	-0,022	-0,031	0,006	-0,023	0,018	-0,005
18	0,5	-0,011	-0,013	-0,018	-0,015	-0,011	0,003	-0,014	0,018	0,004
19	1,0	-0,004	-0,004	-0,001	-0,004	-0,003	0,001	-0,003	0,018	0,015
20	2,5	0,020	0,020	0,021	0,017	0,022	0,002	0,020	0,014	0,034
21	5	0,018	0,015	0,013	0,019	0,010	0,004	0,015	0,014	0,029
22	10	0,012	0,011	0,015	0,010	0,014	0,002	0,012	0,011	0,023
23	20	0,024	0,021	0,021	0,023	0,024	0,002	0,023	0,011	0,034
24	40	0,011	0,016	0,014	0,017	0,019	0,003	0,015	0,011	0,026
25	60	0,015	0,026	0,015	0,017	0,021	0,005	0,019	0,011	0,030
26	80	0,024	0,023	0,018	0,021	0,016	0,003	0,020	0,011	0,031
27	100	0,036	0,033	0,035	0,036	0,033	0,002	0,035	0,011	0,046
28	120	0,215	0,150	0,146	0,156	0,234	0,041	0,180	0,011	0,191

Příloha 1.7 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ ind., fáze L_3

měřící bod	I [A]	číslo měření					fáze L_{123}			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
15	0,05	-0,014	-0,012	-0,017	-0,016	-0,015	0,002	-0,015	0,02	0,003
16	0,1	0,006	0,004	0,003	0,004	0,003	0,001	0,004	0,02	0,022
17	0,25	0,007	0,006	0,007	0,004	0,006	0,001	0,006	0,02	0,024
18	0,5	0,010	0,009	0,011	0,009	0,009	0,001	0,010	0,02	0,028
19	1,0	0,012	0,010	0,011	0,011	0,011	0,001	0,011	0,02	0,029
20	2,5	0,019	0,018	0,018	0,018	0,016	0,001	0,018	0,01	0,032
21	5	0,014	0,015	0,011	0,014	0,013	0,002	0,013	0,01	0,027
22	10	0,015	0,014	0,015	0,015	0,016	0,001	0,015	0,01	0,026
23	20	0,021	0,021	0,020	0,020	0,018	0,001	0,020	0,01	0,031
24	40	0,017	0,018	0,017	0,015	0,019	0,001	0,017	0,01	0,028
25	60	0,017	0,017	0,016	0,017	0,016	0,001	0,017	0,01	0,028
26	80	0,022	0,021	0,022	0,020	0,022	0,001	0,021	0,01	0,032
27	100	0,149	0,154	0,147	0,150	0,147	0,003	0,149	0,01	0,160
28	120	0,315	0,401	0,457	0,312	0,290	0,071	0,355	0,01	0,366

Příloha 1.8 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ ind., fáze L_{123}

Příloha 1—část E

měřící bod	I [A]	číslo měření					fáze L_1			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
29	0,05	-0,106	-0,108	-0,108	-0,113	-0,101	0,004	-0,107	0,014	-0,093
30	0,1	-0,069	-0,064	-0,066	-0,068	-0,069	0,002	-0,067	0,014	-0,053
31	0,25	-0,057	-0,053	-0,054	-0,049	-0,054	0,003	-0,053	0,014	-0,039
32	0,5	-0,034	-0,041	-0,036	-0,038	-0,032	0,003	-0,036	0,014	-0,022
33	1,0	-0,025	-0,024	-0,029	-0,027	-0,025	0,002	-0,026	0,014	-0,012
34	2,5	-0,028	-0,024	-0,020	-0,026	-0,025	0,003	-0,025	0,012	-0,013
35	5	-0,018	-0,029	-0,024	-0,027	-0,024	0,004	-0,024	0,020	-0,004
36	10	0,036	-0,033	-0,036	-0,036	-0,032	0,031	-0,020	0,020	0,000
37	20	-0,016	-0,021	-0,013	-0,014	-0,011	0,004	-0,015	0,020	0,005
38	40	-0,002	-0,015	-0,015	-0,008	-0,013	0,006	-0,011	0,020	0,009
39	60	-0,017	-0,015	-0,015	-0,013	-0,019	0,002	-0,016	0,020	0,004
40	80	-0,016	-0,015	-0,018	-0,010	-0,016	0,003	-0,015	0,020	0,005
41	100	-0,018	-0,016	-0,016	-0,016	-0,013	0,002	-0,016	0,020	0,004
42	120	-0,012	-0,012	-0,018	-0,012	-0,010	0,003	-0,013	0,020	0,007

Příloha 1.9 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L_1

měřící bod	I [A]	číslo měření					fáze L_2			
		1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
29	0,05	-0,088	-0,084	-0,090	-0,093	-0,089	0,003	-0,089	0,014	-0,075
30	0,1	-0,033	-0,046	-0,043	-0,040	-0,051	0,007	-0,043	0,014	-0,029
31	0,25	-0,036	-0,034	-0,032	-0,029	-0,034	0,003	-0,033	0,014	-0,019
32	0,5	-0,024	-0,026	-0,022	-0,026	-0,025	0,002	-0,025	0,014	-0,011
33	1,0	-0,027	-0,027	-0,029	-0,030	-0,024	0,002	-0,027	0,014	-0,013
34	2,5	0,012	0,007	0,005	0,002	0,005	0,004	0,006	0,012	0,018
35	5	-0,012	-0,012	-0,015	-0,015	-0,011	0,002	-0,013	0,020	0,007
36	10	-0,016	-0,015	-0,017	-0,011	-0,015	0,002	-0,015	0,020	0,005
37	20	-0,025	-0,028	-0,025	-0,025	-0,025	0,001	-0,026	0,020	-0,006
38	40	-0,029	-0,031	-0,034	-0,026	-0,026	0,003	-0,029	0,020	-0,009
39	60	-0,035	-0,035	-0,026	-0,035	-0,037	0,004	-0,034	0,020	-0,014
40	80	-0,022	-0,025	-0,023	-0,025	-0,026	0,002	-0,024	0,020	-0,004
41	100	-0,030	-0,035	-0,021	-0,030	-0,031	0,005	-0,029	0,020	-0,009
42	120	-0,795	-0,744	-0,705	-0,676	-0,733	0,045	-0,731	0,020	-0,711

Příloha 1.10 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L_2

Příloha 1—část F

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
29	0,05	-0,070	-0,063	-0,061	-0,054	-0,063	0,006	-0,062	0,014	-0,048	
30	0,1	-0,053	-0,049	-0,054	-0,062	-0,057	0,005	-0,055	0,014	-0,041	
31	0,25	-0,032	-0,022	-0,031	-0,035	-0,030	0,005	-0,030	0,014	-0,016	
32	0,5	-0,028	-0,026	0,027	-0,028	-0,026	0,024	-0,016	0,014	-0,002	
33	1,0	-0,030	-0,023	-0,022	-0,032	-0,026	0,004	-0,027	0,014	-0,013	
34	2,5	0,000	-0,006	-0,001	0,000	-0,009	0,004	-0,003	0,012	0,009	
35	5	-0,023	-0,024	-0,027	-0,024	-0,019	0,003	-0,023	0,020	-0,003	
36	10	-0,023	-0,027	-0,022	-0,019	-0,022	0,003	-0,023	0,020	-0,003	
37	20	-0,051	-0,054	-0,046	-0,052	-0,046	0,004	-0,050	0,020	-0,030	
38	40	-0,030	-0,033	-0,032	-0,032	-0,033	0,001	-0,032	0,020	-0,012	
39	60	-0,049	-0,042	-0,044	-0,044	-0,042	0,003	-0,044	0,020	-0,024	
40	80	-0,041	-0,038	-0,036	-0,041	-0,040	0,002	-0,039	0,020	-0,019	
41	100	-0,042	-0,031	-0,037	-0,037	-0,038	0,004	-0,037	0,020	-0,017	
42	120	-0,180	-0,239	-0,246	-0,274	-0,259	0,036	-0,240	0,020	-0,220	

Příloha 1.11 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₂₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
29	0,05	-0,057	-0,058	-0,058	-0,059	-0,060	0,001	-0,058	0,01	-0,044	
30	0,1	-0,042	-0,041	-0,041	-0,042	-0,041	0,001	-0,041	0,01	-0,027	
31	0,25	-0,030	-0,029	-0,031	-0,027	-0,029	0,001	-0,029	0,01	-0,015	
32	0,5	-0,023	-0,025	-0,027	-0,024	-0,025	0,001	-0,025	0,01	-0,011	
33	1,0	-0,024	-0,023	-0,024	-0,024	-0,022	0,001	-0,023	0,01	-0,009	
34	2,5	-0,018	-0,017	-0,017	-0,015	-0,017	0,001	-0,017	0,01	-0,005	
35	5	-0,019	-0,016	-0,019	-0,018	-0,020	0,002	-0,018	0,02	0,002	
36	10	-0,023	-0,022	-0,023	-0,021	-0,023	0,001	-0,022	0,02	-0,002	
37	20	-0,028	-0,028	-0,028	-0,029	-0,029	0,001	-0,028	0,02	-0,008	
38	40	-0,023	-0,022	-0,027	-0,026	-0,033	0,004	-0,026	0,02	-0,006	
39	60	-0,028	-0,024	-0,027	-0,026	-0,027	0,002	-0,026	0,02	-0,006	
40	80	-0,022	-0,023	-0,021	-0,022	-0,023	0,001	-0,022	0,02	-0,002	
41	100	-0,044	-0,032	-0,044	-0,028	-0,026	0,009	-0,035	0,02	-0,015	
42	120	-0,237	-0,280	-0,296	-0,270	-0,282	0,022	-0,273	0,02	-0,253	

Příloha 1.12 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁₂₃

Příloha 2—část A

		číslo měření					fáze L ₁				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
43	0,05	-0,022	-0,018	-0,019	-0,021	-0,018	0,002	-0,020	0,011	-0,009	
44	0,1	-0,014	-0,013	-0,011	-0,011	-0,013	0,001	-0,012	0,011	-0,001	
45	0,5	-0,002	0,001	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,000	0,011	0,011	
46	1,0	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,011	0,011	
47	2,5	0,004	0,003	0,004	0,004	0,007	0,002	0,004	0,011	0,015	
48	5	0,010	0,000	0,003	0,004	0,003	0,004	0,004	0,012	0,016	
49	10	-0,005	-0,001	-0,002	-0,003	-0,004	0,002	-0,003	0,013	0,010	

Příloha 2.1 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₂				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
43	0,05	-0,046	-0,046	-0,031	-0,027	-0,036	0,009	-0,037	0,011	-0,026	
44	0,1	-0,016	-0,016	-0,011	-0,019	-0,017	0,003	-0,016	0,011	-0,005	
45	0,5	-0,002	-0,001	0	-0,001	-0,002	0,001	-0,008	0,011	0,003	
46	1,0	0,000	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	0,001	-0,002	0,011	0,009	
47	2,5	0,010	0,007	0,006	0,008	0,007	0,002	0,008	0,011	0,019	
48	5	0,001	0,003	0,004	0,005	0,003	0,001	0,003	0,012	0,015	
49	10	0,002	0,000	0,005	0,002	0,003	0,002	0,002	0,013	0,015	

Příloha 2.2 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₂

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
43	0,05	0,018	0,021	0,021	0,014	0,018	0,003	0,018	0,011	0,029	
44	0,1	0,038	0,042	0,044	0,041	0,042	0,002	0,041	0,011	0,052	
45	0,5	-0,008	-0,008	-0,009	-0,009	-0,008	0,001	-0,008	0,011	0,003	
46	1,0	-0,008	-0,007	-0,006	-0,009	-0,006	0,001	-0,007	0,011	0,004	
47	2,5	0,000	-0,002	-0,002	0,000	-0,001	0,001	-0,001	0,011	0,010	
48	5	-0,006	-0,007	-0,005	-0,004	-0,001	0,002	-0,005	0,012	0,007	
49	10	-0,010	-0,005	-0,007	-0,007	-0,005	0,002	-0,007	0,013	0,006	

Příloha 2.3 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₃

Příloha 2—část B

		číslo měření					fáze L ₁₂₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
43	0,05	-0,011	-0,013	-0,012	-0,012	-0,011	0,001	-0,012	0,01	-0,001	
44	0,1	-0,005	-0,005	-0,005	-0,006	-0,004	0,001	-0,005	0,01	0,006	
45	0,5	-0,003	-0,003	-0,003	-0,001	-0,002	0,001	-0,002	0,01	0,009	
46	1,0	-0,003	-0,003	-0,003	0,000	-0,002	0,001	-0,002	0,01	0,009	
47	2,5	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,000	0,003	0,01	0,014	
48	5	-0,002	0,000	0,000	-0,002	-0,001	0,001	-0,001	0,01	0,011	
49	10	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	0,001	-0,001	0,01	0,012	

Příloha 2.4 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₁₂₃

		číslo měření					fáze L ₁				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
50	0,05	-0,009	-0,008	-0,003	-0,005	-0,013	0,004	-0,008	0,018	0,010	
51	0,1	0,004	-0,005	0,004	0,001	-0,003	0,004	0,000	0,018	0,018	
52	0,5	0,019	0,018	0,019	0,024	0,023	0,003	0,021	0,018	0,039	
53	1,0	0,022	0,016	0,017	0,013	0,022	0,004	0,018	0,018	0,036	
54	2,5	0,012	0,011	0,015	0,016	0,008	0,003	0,012	0,014	0,026	
55	5	0,012	0,014	0,014	0,014	0,019	0,003	0,015	0,014	0,029	
56	10	0,039	0,028	0,038	0,034	0,032	0,004	0,034	0,011	0,045	

Příloha 2.5 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5 \text{ ind.}$, fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₂				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
50	0,05	0,036	0,031	0,022	0,029	0,032	0,005	0,030	0,018	0,048	
51	0,1	0,022	0,037	0,031	0,021	0,028	0,007	0,028	0,018	0,046	
52	0,5	0,032	0,028	0,028	0,033	0,027	0,003	0,030	0,018	0,048	
53	1,0	0,035	0,031	0,023	0,033	0,026	0,005	0,030	0,018	0,048	
54	2,5	0,037	0,041	0,037	0,037	0,041	0,002	0,039	0,014	0,053	
55	5	0,036	0,032	0,026	0,026	0,029	0,004	0,030	0,014	0,044	
56	10	0,029	0,031	0,027	0,029	0,032	0,002	0,030	0,011	0,041	

Příloha 2.6 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5 \text{ ind.}$, fáze L₂

Příloha 2—část C

		číslo měření					fáze L ₃			
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
50	0,05	-0,085	-0,076	-0,057	-0,056	-0,061	0,013	-0,067	0,018	-0,049
51	0,1	-0,037	-0,021	-0,024	-0,021	-0,028	0,007	-0,026	0,018	-0,008
52	0,5	-0,007	-0,005	-0,003	-0,013	-0,005	0,004	-0,007	0,018	0,011
53	1,0	0,001	-0,005	0,001	0,003	-0,003	0,003	-0,001	0,018	0,017
54	2,5	0,005	0,009	0,013	0,009	0,005	0,003	0,008	0,014	0,022
55	5	0,002	0,006	0,001	0,006	0,002	0,002	0,003	0,014	0,017
56	10	-0,004	0,003	0,001	-0,001	-0,005	0,003	-0,001	0,011	0,010

Příloha 2.7 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5_{ind.}$, fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₂₃			
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
50	0,05	0,007	0,011	0,007	0,007	0,007	0,002	0,008	0,02	0,026
51	0,1	0,015	0,016	0,013	0,014	0,013	0,001	0,014	0,02	0,032
52	0,5	0,016	0,015	0,015	0,014	0,016	0,001	0,015	0,02	0,033
53	1,0	0,015	0,014	0,015	0,013	0,013	0,001	0,014	0,02	0,032
54	2,5	0,021	0,021	0,021	0,022	0,021	0,000	0,021	0,01	0,035
55	5	0,014	0,017	0,016	0,016	0,016	0,001	0,016	0,01	0,030
56	10	0,017	0,019	0,017	0,019	0,018	0,001	0,018	0,01	0,029

Příloha 2.8 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5_{ind.}$, fáze L₁₂₃

		číslo měření					fáze L ₁			
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
57	0,05	-0,049	-0,057	-0,051	-0,055	-0,056	0,003	-0,054	0,014	-0,040
58	0,1	-0,036	-0,033	-0,040	-0,036	-0,033	0,003	-0,036	0,014	-0,022
59	0,5	-0,029	-0,024	-0,020	-0,029	-0,025	0,004	-0,025	0,014	-0,011
60	1,0	-0,017	-0,010	-0,015	-0,018	-0,010	0,004	-0,014	0,014	0,000
61	2,5	-0,015	-0,013	-0,020	-0,018	-0,015	0,003	-0,016	0,012	-0,004
62	5	-0,017	-0,017	-0,021	-0,021	-0,013	0,003	-0,018	0,020	0,002
63	10	-0,026	-0,019	-0,021	-0,023	-0,024	0,003	-0,023	0,020	-0,003

Příloha 2.9 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5_{kap.}$, fáze L₁

Příloha 2—část D

		číslo měření					fáze L ₂				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
57	0,05	-0,113	-0,113	-0,100	-0,106	-0,108	0,005	-0,108	0,014	-0,094	
58	0,1	-0,054	-0,057	-0,063	-0,068	-0,064	0,006	-0,061	0,014	-0,047	
59	0,5	-0,032	-0,036	-0,033	-0,037	-0,031	0,003	-0,034	0,014	-0,020	
60	1,0	-0,035	-0,038	-0,035	-0,038	-0,035	0,002	-0,036	0,014	-0,022	
61	2,5	-0,020	-0,025	-0,022	-0,026	-0,023	0,002	-0,023	0,012	-0,011	
62	5	-0,022	-0,030	-0,021	-0,027	-0,020	0,004	-0,024	0,020	-0,004	
63	10	-0,025	-0,024	-0,024	-0,025	-0,022	0,001	-0,024	0,020	-0,004	

Příloha 2.10 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₂

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
57	0,05	-0,027	-0,039	-0,037	-0,018	-0,017	0,010	-0,028	0,014	-0,014	
58	0,1	-0,031	-0,033	-0,037	-0,031	-0,026	0,004	-0,032	0,014	-0,018	
59	0,5	-0,008	-0,011	-0,008	-0,007	-0,007	0,002	-0,008	0,014	0,006	
60	1,0	-0,016	-0,016	-0,015	-0,012	-0,017	0,002	-0,015	0,014	-0,001	
61	2,5	-0,010	-0,010	-0,012	-0,010	-0,006	0,002	-0,010	0,012	0,002	
62	5	-0,009	-0,014	-0,011	-0,011	-0,013	0,002	-0,012	0,020	0,008	
63	10	-0,013	-0,011	-0,014	-0,011	-0,014	0,002	-0,013	0,020	0,007	

Příloha 2.11 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₂₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
57	0,05	-0,033	-0,035	-0,030	-0,044	-0,035	0,005	-0,035	0,01	-0,021	
58	0,1	-0,028	-0,029	-0,030	-0,028	-0,030	0,001	-0,029	0,01	-0,015	
59	0,5	-0,021	-0,020	-0,018	-0,019	-0,021	0,001	-0,020	0,01	-0,006	
60	1,0	-0,021	-0,021	-0,021	-0,019	-0,020	0,001	-0,020	0,01	-0,006	
61	2,5	-0,015	-0,013	-0,014	-0,015	-0,016	0,001	-0,015	0,01	-0,003	
62	5	-0,016	-0,015	-0,017	-0,017	-0,017	0,001	-0,016	0,02	0,004	
63	10	-0,020	-0,019	-0,020	-0,020	-0,019	0,001	-0,020	0,02	0,000	

Příloha 2.12 Činný výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 57,7/100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁₂₃

Příloha 3—část A

		číslo měření					fáze L ₁				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
64	0,05	-0,020	-0,020	-0,023	-0,023	-0,017	0,003	-0,021	0,011	-0,010	
65	0,1	-0,020	-0,012	-0,015	-0,014	-0,018	0,003	-0,016	0,011	-0,005	
66	0,5	-0,009	-0,009	-0,010	-0,007	-0,009	0,001	-0,009	0,011	0,002	
67	1,0	-0,010	-0,009	-0,008	-0,008	-0,010	0,001	-0,009	0,011	0,002	
68	2,5	-0,009	-0,007	-0,010	-0,009	-0,007	0,001	-0,008	0,011	0,003	
69	5	-0,008	-0,007	-0,011	-0,010	-0,007	0,002	-0,009	0,012	0,003	
70	10	-0,012	-0,011	-0,012	-0,012	-0,013	0,001	-0,012	0,013	0,001	

Příloha 3.1 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
64	0,05	-0,051	-0,051	-0,045	-0,046	-0,045	0,003	-0,048	0,011	-0,037	
65	0,1	0,038	0,037	0,034	0,039	0,043	0,003	0,038	0,011	0,049	
66	0,5	-0,013	-0,014	-0,015	-0,013	-0,013	0,001	-0,014	0,011	-0,003	
67	1,0	-0,011	-0,013	-0,014	-0,013	-0,014	0,001	-0,013	0,011	-0,002	
68	2,5	-0,008	-0,008	-0,007	-0,005	-0,007	0,001	-0,007	0,011	0,004	
69	5	-0,011	-0,011	-0,010	-0,008	-0,009	0,001	-0,010	0,012	0,002	
70	10	-0,013	-0,013	-0,012	-0,012	-0,012	0,001	-0,012	0,013	0,001	

Příloha 3.2 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
64	0,05	-0,013	-0,015	-0,018	-0,015	-0,016	0,002	-0,015	0,011	-0,004	
65	0,1	-0,016	-0,017	-0,017	-0,018	-0,018	0,001	-0,017	0,011	-0,006	
66	0,5	-0,009	-0,009	-0,008	-0,010	-0,009	0,001	-0,009	0,011	0,002	
67	1,0	-0,010	-0,011	-0,010	-0,010	-0,011	0,001	-0,010	0,011	0,001	
68	2,5	-0,008	-0,006	-0,009	-0,008	-0,008	0,001	-0,008	0,011	0,003	
69	5	-0,008	-0,007	-0,006	-0,008	-0,008	0,001	-0,007	0,012	0,005	
70	10	-0,008	-0,008	-0,007	-0,007	-0,008	0,001	-0,008	0,013	0,005	

Příloha 3.3 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=1$, fáze L₁₃

Příloha 3—část B

		číslo měření					fáze L ₁				
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
71	0,05	0,009	0,009	0,004	0,005	0,004	0,003	0,006	0,018	0,024	
72	0,1	0,008	0,004	0,001	0,004	0,005	0,003	0,004	0,018	0,022	
73	0,5	0,018	0,018	0,013	0,015	0,021	0,003	0,017	0,018	0,035	
74	1,0	0,009	0,010	0,011	0,006	0,011	0,002	0,009	0,018	0,027	
75	2,5	0,008	0,013	0,006	0,009	0,013	0,003	0,010	0,014	0,024	
76	5	0,005	0,012	0,011	0,012	0,007	0,003	0,009	0,014	0,023	
77	10	0,016	0,016	0,016	0,015	0,018	0,001	0,016	0,011	0,027	

Příloha 3.4 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₃				
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
71	0,05	-0,055	-0,052	-0,036	-0,040	-0,051	0,008	-0,047	0,018	-0,029	
72	0,1	-0,016	-0,010	-0,013	-0,008	-0,010	0,003	-0,011	0,018	0,007	
73	0,5	-0,015	-0,013	-0,010	-0,002	0,013	0,011	-0,005	0,018	0,013	
74	1,0	-0,009	-0,004	-0,006	-0,009	-0,012	0,003	-0,008	0,018	0,010	
75	2,5	0,004	0,000	0,004	-0,002	-0,002	0,003	0,001	0,014	0,015	
76	5	-0,006	-0,006	-0,006	-0,008	0,000	0,003	-0,005	0,014	0,009	
77	10	-0,004	-0,008	-0,006	-0,009	-0,004	0,002	-0,006	0,011	0,005	

Příloha 3.5 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₃				
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
71	0,05	0,002	0,007	0,006	0,001	-0,003	0,004	0,003	0,018	0,021	
72	0,1	0,009	0,008	0,008	0,011	0,009	0,001	0,009	0,018	0,027	
73	0,5	0,005	0,005	0,003	0,004	0,003	0,001	0,004	0,018	0,022	
74	1,0	0,002	0,001	0,003	0,004	0,004	0,001	0,003	0,018	0,021	
75	2,5	0,005	0,010	0,009	0,010	0,009	0,002	0,009	0,014	0,023	
76	5	0,006	0,005	0,009	0,004	0,010	0,003	0,007	0,014	0,021	
77	10	0,008	0,010	0,012	0,007	0,010	0,002	0,009	0,011	0,020	

Příloha 3.6 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₁₃

Příloha 3—část C

číslo měření							fáze L ₁			
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
78	0,05	-0,038	-0,043	-0,051	-0,050	-0,049	0,006	-0,046	0,014	-0,032
79	0,1	-0,038	-0,044	-0,043	-0,043	-0,038	0,003	-0,041	0,014	-0,027
80	0,5	-0,034	-0,035	-0,036	-0,034	-0,035	0,001	-0,035	0,014	-0,021
81	1,0	-0,027	-0,028	-0,026	-0,026	-0,028	0,001	-0,027	0,014	-0,013
82	2,5	-0,032	-0,029	-0,031	-0,029	-0,033	0,002	-0,031	0,012	-0,019
83	5	-0,031	-0,030	-0,030	-0,031	-0,031	0,001	-0,031	0,020	-0,011
84	10	-0,040	-0,038	-0,035	-0,038	-0,039	0,002	-0,038	0,020	-0,018

Příloha 3.7 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁

číslo měření							fáze L ₃			
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
78	0,05	-0,068	-0,070	-0,071	-0,068	-0,069	0,001	-0,069	0,014	-0,055
79	0,1	-0,066	-0,065	-0,062	-0,065	-0,064	0,002	-0,064	0,014	-0,050
80	0,5	-0,021	-0,016	-0,023	-0,022	-0,018	0,003	-0,020	0,014	-0,006
81	1,0	-0,017	-0,019	-0,021	-0,018	-0,019	0,001	-0,019	0,014	-0,005
82	2,5	-0,015	-0,017	-0,014	-0,009	-0,020	0,004	-0,015	0,012	-0,003
83	5	-0,013	-0,018	-0,013	-0,016	-0,017	0,002	-0,015	0,020	0,005
84	10	-0,017	-0,012	-0,017	-0,016	-0,012	0,003	-0,015	0,020	0,005

Příloha 3.8 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₃

číslo měření							fáze L ₁₃			
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
78	0,05	-0,026	-0,037	-0,033	-0,028	-0,030	0,004	-0,031	0,014	-0,017
79	0,1	-0,034	-0,034	-0,035	-0,038	-0,035	0,002	-0,035	0,014	-0,021
80	0,5	-0,020	-0,022	-0,020	-0,020	-0,020	0,001	-0,020	0,014	-0,006
81	1,0	-0,018	-0,019	-0,018	-0,020	-0,022	0,002	-0,019	0,014	-0,005
82	2,5	-0,024	-0,020	-0,021	-0,021	-0,021	0,002	-0,021	0,012	-0,009
83	5	-0,020	-0,019	-0,023	-0,022	-0,022	0,002	-0,021	0,020	-0,001
84	10	-0,024	-0,025	-0,025	-0,023	-0,024	0,001	-0,024	0,020	-0,004

Příloha 3.9 Činný výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\cos(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁₃

Příloha 4—část A

		číslo měření					fáze L ₁				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
85	0,05	-0,016	-0,015	-0,009	-0,010	-0,017	0,004	-0,013	0,011	-0,002	
86	0,1	-0,008	-0,009	-0,007	-0,012	-0,008	0,002	-0,009	0,011	0,002	
87	0,25	-0,008	-0,007	-0,006	-0,013	-0,010	0,003	-0,009	0,011	0,002	
88	0,5	-0,002	-0,003	-0,001	-0,005	-0,005	0,002	-0,003	0,011	0,008	
89	1,0	-0,004	-0,005	-0,002	-0,002	-0,002	0,001	-0,003	0,011	0,008	
90	2,5	-0,002	-0,001	-0,002	-0,004	-0,001	0,001	-0,002	0,011	0,009	
91	5	-0,003	-0,004	-0,008	-0,006	-0,004	0,002	-0,005	0,012	0,007	
92	10	-0,003	-0,006	-0,005	-0,003	-0,005	0,001	-0,004	0,013	0,009	

Příloha 4.1 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=1$, fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₂				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
85	0,05	0,053	0,086	0,082	0,052	0,098	0,021	0,074	0,011	0,085	
86	0,1	0,064	0,065	0,064	0,063	0,064	0,001	0,064	0,011	0,075	
87	0,25	0,015	0,01	0,018	0,018	0,018	0,003	0,020	0,011	0,031	
88	0,5	0	0,005	0,001	0,005	0,004	0,002	0,007	0,011	0,018	
89	1,0	-0,005	-0,002	-0,005	-0,004	-0,005	0,001	-0,004	0,011	0,007	
90	2,5	0,005	0,003	0,006	0,007	0,005	0,001	0,005	0,011	0,016	
91	5	0,000	-0,003	-0,001	0,000	0,000	0,001	-0,001	0,012	0,011	
92	10	0,002	0,002	0,001	0,001	-0,001	0,001	0,001	0,013	0,014	

Příloha 4.2 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=1$, fáze L₂

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
85	0,05	-0,028	-0,061	-0,038	0,003	-0,026	0,023	-0,030	0,011	-0,019	
86	0,1	-0,001	0,016	0,022	-0,001	0,008	0,010	0,009	0,011	0,020	
87	0,25	0,022	0,025	0,023	0,016	0,016	0,004	0,020	0,011	0,031	
88	0,5	0,005	0,008	0,007	0,008	0,007	0,001	0,007	0,011	0,018	
89	1,0	-0,002	-0,004	-0,002	-0,003	-0,004	0,001	-0,003	0,011	0,008	
90	2,5	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,002	0,011	0,013	
91	5	-0,007	-0,005	-0,002	-0,009	-0,007	0,003	-0,006	0,012	0,006	
92	10	0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003	0,002	-0,001	0,013	0,012	

Příloha 4.3 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=1$, fáze L₃

Příloha 4—část B

		číslo měření					fáze L ₁₂₃			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
85	0,05	-0,020	-0,011	-0,010	-0,010	-0,009	0,005	-0,012	0,01	-0,001
86	0,1	-0,006	-0,007	-0,005	-0,005	-0,006	0,001	-0,006	0,01	0,005
87	0,25	-0,003	-0,007	-0,007	-0,004	-0,005	0,002	-0,005	0,01	0,006
88	0,5	-0,002	-0,003	-0,003	-0,003	-0,004	0,001	-0,003	0,01	0,008
89	1,0	-0,005	-0,005	-0,004	-0,005	0,000	0,002	-0,004	0,01	0,007
90	2,5	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	0,001	-0,002	0,01	0,009
91	5	-0,005	-0,005	-0,005	-0,004	-0,005	0,000	-0,005	0,01	0,007
92	10	-0,004	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,001	-0,004	0,01	0,009

Příloha 4.4 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=1$, fáze L₁₂₃

		číslo měření					fáze L ₁			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
93	0,05	0,028	0,015	0,021	0,025	0,031	0,006	0,024	0,018	0,042
94	0,1	0,010	-0,001	0,015	0,011	0,008	0,006	0,009	0,018	0,027
95	0,25	0,005	0,014	0,021	0,022	0,005	0,008	0,013	0,011	0,024
96	0,5	0,017	0,020	0,022	0,025	0,021	0,003	0,021	0,018	0,039
97	1,0	0,014	0,015	0,014	0,015	0,015	0,001	0,015	0,018	0,033
98	2,5	0,016	0,019	0,019	0,022	0,016	0,003	0,018	0,014	0,032
99	5	0,011	0,012	0,011	0,012	0,011	0,001	0,011	0,014	0,025
100	10	0,017	0,016	0,011	0,012	0,015	0,003	0,014	0,011	0,025

Příloha 4.5 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5 \text{ ind.}$, fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₂			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
93	0,05	0,038	0,028	0,019	0,044	0,035	0,010	0,033	0,018	0,051
94	0,1	0,028	0,025	0,028	0,023	0,018	0,004	0,024	0,018	0,042
95	0,25	0,011	0,011	-0,001	0,017	0,011	0,007	0,017	0,011	0,028
96	0,5	0,014	0,021	0,017	0,021	0,017	0,003	0,018	0,018	0,036
97	1,0	0,022	0,016	0,019	0,017	0,013	0,003	0,017	0,018	0,035
98	2,5	0,033	0,034	0,030	0,032	0,029	0,002	0,032	0,014	0,046
99	5	0,002	0,019	0,018	0,016	0,021	0,008	0,015	0,014	0,029
100	10	0,018	0,017	0,014	0,017	0,014	0,002	0,016	0,011	0,027

Příloha 4.6 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5 \text{ ind.}$, fáze L₂

Příloha 4—část C

číslo měření							fáze L ₃			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
93	0,05	0,005	0,000	-0,003	0,027	0,004	0,012	0,007	0,018	0,025
94	0,1	0,016	0,013	0,018	0,017	0,019	0,002	0,017	0,018	0,035
95	0,25	0,009	0,019	0,013	0,010	0,034	0,010	0,017	0,011	0,028
96	0,5	0,013	0,006	0,013	-0,002	0,002	0,007	0,006	0,018	0,024
97	1,0	0,013	0,011	0,012	0,006	0,008	0,003	0,010	0,018	0,028
98	2,5	0,011	0,020	0,018	0,020	0,018	0,004	0,017	0,014	0,031
99	5	0,015	0,012	0,008	0,010	0,015	0,003	0,012	0,014	0,026
100	10	0,014	0,017	0,014	0,014	0,011	0,002	0,014	0,011	0,025

Příloha 4.7 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₃

číslo měření							fáze L ₁₂₃			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
93	0,05	0,018	0,016	0,011	0,014	0,012	0,003	0,014	0,02	0,032
94	0,1	0,021	0,016	0,018	0,017	0,016	0,002	0,018	0,02	0,036
95	0,25	0,023	0,014	0,013	0,015	0,012	0,004	0,015	0,01	0,026
96	0,5	0,016	0,015	0,012	0,016	0,014	0,002	0,015	0,02	0,033
97	1,0	0,011	0,009	0,011	0,010	0,017	0,003	0,012	0,02	0,030
98	2,5	0,015	0,017	0,016	0,015	0,017	0,001	0,016	0,01	0,030
99	5	0,013	0,011	0,011	0,013	0,011	0,001	0,012	0,01	0,026
100	10	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016	0,000	0,016	0,01	0,027

Příloha 4.8 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₁₂₃

číslo měření							fáze L ₁			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
101	0,05	-0,036	-0,048	-0,039	-0,030	-0,044	0,007	-0,039	0,014	-0,025
102	0,1	-0,034	-0,035	-0,034	-0,035	-0,038	0,002	-0,035	0,014	-0,021
103	0,25	-0,036	-0,026	-0,032	-0,030	-0,035	0,004	-0,032	0,011	-0,021
104	0,5	-0,030	-0,030	-0,030	-0,035	-0,036	0,003	-0,032	0,014	-0,018
105	1,0	-0,024	-0,022	-0,019	-0,030	-0,022	0,004	-0,023	0,014	-0,009
106	2,5	-0,022	-0,018	-0,021	-0,018	-0,027	0,004	-0,021	0,012	-0,009
107	5	-0,030	-0,031	-0,028	-0,024	-0,025	0,003	-0,028	0,020	-0,008
108	10	-0,028	-0,033	-0,029	-0,028	-0,031	0,002	-0,030	0,020	-0,010

Příloha 4.9 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁

Příloha 4—část D

		číslo měření					fáze L ₂				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
101	0,05	-0,043	-0,020	-0,015	-0,034	-0,043	0,013	-0,031	0,014	-0,017	
102	0,1	-0,039	-0,035	-0,030	-0,028	-0,021	0,007	-0,031	0,014	-0,017	
103	0,25	-0,023	-0,023	-0,022	-0,023	-0,033	0,005	-0,021	0,011	-0,010	
104	0,5	-0,028	-0,031	-0,026	-0,030	-0,025	0,003	-0,028	0,014	-0,014	
105	1,0	-0,033	-0,033	-0,031	-0,028	-0,031	0,002	-0,031	0,014	-0,017	
106	2,5	0,003	0,002	0,001	0,002	0,005	0,002	0,003	0,012	0,015	
107	5	-0,024	-0,024	-0,014	0,002	-0,023	0,011	-0,017	0,020	0,003	
108	10	-0,021	-0,021	-0,018	-0,024	-0,019	0,002	-0,021	0,020	-0,001	

Příloha 4.10 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₂

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
101	0,05	-0,036	-0,028	-0,027	-0,009	-0,009	0,012	-0,022	0,014	-0,008	
102	0,1	-0,025	-0,034	-0,034	-0,035	-0,034	0,004	-0,032	0,014	-0,018	
103	0,25	-0,021	-0,020	-0,019	-0,019	-0,025	0,002	-0,021	0,011	-0,010	
104	0,5	-0,017	-0,022	-0,023	-0,026	-0,017	0,004	-0,021	0,014	-0,007	
105	1,0	-0,022	-0,026	-0,023	-0,022	-0,023	0,002	-0,023	0,014	-0,009	
106	2,5	-0,021	-0,016	-0,015	-0,018	-0,021	0,003	-0,018	0,012	-0,006	
107	5	-0,044	-0,022	-0,026	-0,017	-0,024	0,010	-0,027	0,020	-0,007	
108	10	-0,022	-0,010	-0,015	-0,010	-0,007	0,006	-0,013	0,020	0,007	

Příloha 4.11 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₂₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
101	0,05	-0,026	-0,027	-0,028	-0,030	-0,031	0,002	-0,028	0,01	-0,014	
102	0,1	-0,027	-0,025	-0,028	-0,027	-0,029	0,001	-0,027	0,01	-0,013	
103	0,25	-0,028	-0,022	-0,024	-0,023	-0,019	0,003	-0,023	0,01	-0,012	
104	0,5	-0,023	-0,020	-0,021	-0,018	-0,025	0,003	-0,021	0,01	-0,007	
105	1,0	-0,015	-0,015	-0,013	-0,015	-0,014	0,001	-0,014	0,01	0,000	
106	2,5	-0,015	-0,017	-0,016	-0,019	-0,019	0,002	-0,017	0,01	-0,005	
107	5	-0,020	-0,019	-0,020	-0,019	-0,019	0,001	-0,019	0,02	0,001	
108	10	-0,019	-0,019	-0,018	-0,019	-0,020	0,001	-0,019	0,02	0,001	

Příloha 4.12 Jalový výkon, 4-vodičové zapojení, $U=3 \times 230/400$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁₂₃

Příloha 5—část A

		číslo měření					fáze L ₁				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
109	0,05	-0,031	-0,027	-0,027	-0,026	-0,030	0,002	-0,028	0,011	-0,017	
110	0,1	-0,022	-0,023	-0,022	-0,024	-0,023	0,001	-0,023	0,011	-0,012	
111	0,5	-0,008	-0,008	-0,009	-0,009	-0,005	0,002	-0,008	0,011	0,003	
112	1,0	-0,006	-0,006	-0,007	-0,005	-0,007	0,001	-0,006	0,011	0,005	
113	2,5	-0,006	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	0,001	-0,005	0,011	0,006	
114	5	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007	-0,008	0,000	-0,007	0,012	0,005	
115	10	-0,009	-0,008	-0,008	-0,009	-0,008	0,001	-0,008	0,013	0,005	

Příloha 5.1 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=1$, fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
109	0,05	-0,029	-0,048	-0,040	-0,034	-0,030	0,008	-0,036	0,011	-0,025	
110	0,1	-0,022	-0,024	-0,019	-0,017	-0,022	0,003	-0,021	0,011	-0,010	
111	0,5	-0,016	-0,016	-0,014	-0,016	-0,013	0,001	-0,015	0,011	-0,004	
112	1,0	-0,017	-0,017	-0,015	-0,016	-0,015	0,001	-0,016	0,011	-0,005	
113	2,5	-0,010	-0,008	-0,010	-0,009	-0,008	0,001	-0,009	0,011	0,002	
114	5	-0,012	-0,011	-0,011	-0,012	-0,013	0,001	-0,012	0,012	0,000	
115	10	-0,015	-0,013	-0,014	-0,012	-0,014	0,001	-0,014	0,013	-0,001	

Příloha 5.2 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=1$, fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
109	0,05	-0,018	-0,019	-0,018	-0,022	-0,020	0,002	-0,019	0,011	-0,008	
110	0,1	-0,017	-0,015	-0,014	-0,013	-0,015	0,001	-0,015	0,011	-0,004	
111	0,5	-0,007	-0,005	-0,007	-0,006	-0,007	0,001	-0,006	0,011	0,005	
112	1,0	-0,008	-0,008	-0,007	-0,007	-0,007	0,001	-0,007	0,011	0,004	
113	2,5	-0,005	-0,004	-0,005	-0,004	-0,004	0,001	-0,004	0,011	0,007	
114	5	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,005	0,000	-0,006	0,012	0,006	
115	10	-0,008	-0,008	-0,007	-0,006	-0,006	0,001	-0,007	0,013	0,006	

Příloha 5.3 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=1$, fáze L₁₃

Příloha 5—část B

		číslo měření					fáze L ₁			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
116	0,05	-0,023	-0,027	-0,011	-0,011	-0,013	0,007	-0,017	0,018	0,001
117	0,1	0,004	-0,007	-0,006	-0,008	-0,005	0,005	-0,004	0,018	0,014
118	0,5	0,014	0,017	0,019	0,016	0,020	0,002	0,017	0,018	0,035
119	1,0	0,013	0,012	0,014	0,010	0,010	0,002	0,012	0,018	0,030
120	2,5	0,010	0,012	0,015	0,009	0,014	0,003	0,012	0,014	0,026
121	5	0,013	0,014	0,012	0,012	0,011	0,001	0,012	0,014	0,026
122	10	0,016	0,016	0,020	0,020	0,021	0,002	0,019	0,011	0,030

Příloha 5.4 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₃			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
116	0,05	-0,037	-0,024	-0,049	-0,049	-0,045	0,011	-0,041	0,018	-0,023
117	0,1	-0,014	-0,020	-0,025	-0,022	-0,023	0,004	-0,021	0,018	-0,003
118	0,5	-0,018	-0,014	-0,016	-0,016	-0,017	0,001	-0,016	0,018	0,002
119	1,0	-0,015	-0,018	-0,020	-0,017	-0,017	0,002	-0,017	0,018	0,001
120	2,5	-0,006	-0,005	-0,005	-0,008	-0,006	0,001	-0,006	0,014	0,008
121	5	-0,011	-0,009	-0,013	-0,009	-0,013	0,002	-0,011	0,014	0,003
122	10	-0,013	-0,013	-0,018	-0,016	-0,015	0,002	-0,015	0,011	-0,004

Příloha 5.5 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₃			
měřící bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]
116	0,05	-0,017	-0,009	-0,017	-0,011	-0,016	0,004	-0,014	0,018	0,004
117	0,1	-0,003	0,001	-0,001	0,003	-0,002	0,002	0,000	0,018	0,018
118	0,5	-0,001	0,005	0,002	0,003	0,006	0,003	0,003	0,018	0,021
119	1,0	0,002	0,001	-0,001	0,000	-0,001	0,001	0,000	0,018	0,018
120	2,5	0,007	0,006	0,009	0,007	0,007	0,001	0,007	0,014	0,021
121	5	0,004	0,003	0,005	0,003	0,004	0,001	0,004	0,014	0,018
122	10	0,005	0,006	0,005	0,006	0,005	0,001	0,005	0,011	0,016

Příloha 5.6 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ ind., fáze L₁₃

Příloha 5—část C

		číslo měření					fáze L ₁				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
123	0,05	-0,083	-0,090	-0,082	-0,084	-0,084	0,003	-0,085	0,014	-0,071	
124	0,1	-0,064	-0,060	-0,056	-0,058	-0,056	0,003	-0,059	0,014	-0,045	
125	0,5	-0,048	-0,044	-0,039	-0,044	-0,040	0,004	-0,043	0,014	-0,029	
126	1,0	-0,037	-0,034	-0,035	-0,032	-0,035	0,002	-0,035	0,014	-0,021	
127	2,5	-0,034	-0,032	-0,037	-0,035	-0,034	0,002	-0,034	0,012	-0,022	
128	5	-0,040	-0,040	-0,035	-0,039	-0,036	0,002	-0,038	0,020	-0,018	
129	10	-0,044	-0,046	-0,043	-0,048	-0,046	0,002	-0,045	0,020	-0,025	

Příloha 5.7 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁

		číslo měření					fáze L ₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
123	0,05	-0,042	-0,056	-0,067	-0,074	-0,063	0,012	-0,060	0,014	-0,046	
124	0,1	-0,042	-0,041	-0,047	-0,046	-0,051	0,004	-0,045	0,014	-0,031	
125	0,5	-0,024	-0,024	-0,027	-0,025	-0,025	0,001	-0,025	0,014	-0,011	
126	1,0	-0,024	-0,023	-0,024	-0,027	-0,024	0,002	-0,024	0,014	-0,010	
127	2,5	-0,020	-0,020	-0,020	-0,018	-0,023	0,002	-0,020	0,012	-0,008	
128	5	-0,025	-0,021	-0,019	-0,021	-0,025	0,003	-0,022	0,020	-0,002	
129	10	-0,022	-0,025	-0,022	-0,020	-0,025	0,002	-0,023	0,020	-0,003	

Příloha 5.8 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₃

		číslo měření					fáze L ₁₃				
měřicí bod	I [A]	1	2	3	4	5	σ	průměr	korekce	chyba [%]	
123	0,05	-0,050	-0,052	-0,054	-0,049	-0,044	0,004	-0,050	0,014	-0,036	
124	0,1	-0,048	-0,047	-0,043	-0,050	-0,045	0,003	-0,047	0,014	-0,033	
125	0,5	-0,026	-0,024	-0,020	-0,028	-0,024	0,003	-0,024	0,014	-0,010	
126	1,0	-0,024	-0,023	-0,025	-0,023	-0,024	0,001	-0,024	0,014	-0,010	
127	2,5	-0,024	-0,025	-0,022	-0,026	-0,025	0,002	-0,024	0,012	-0,012	
128	5	-0,024	-0,027	-0,022	-0,023	-0,027	0,002	-0,025	0,020	-0,005	
129	10	-0,028	-0,028	-0,027	-0,029	-0,028	0,001	-0,028	0,020	-0,008	

Příloha 5.9 Jalový výkon, 3-vodičové zapojení, $U=3 \times 100$ V, $\sin(\varphi)=0,5$ kap., fáze L₁₃