

4. mérés

Villamos teljesítmény mérése

Bevezetés

A villamos teljesítmény mérésével különféle összetett villamos áramkörök hatásfokának, alkatелеmek igénybevétele mértékének meghatározása stb. lehetséges, és a teljesítménymérés az alapja a villamos energia, illetve a fogyasztás mérésének is.

A jelen mérés a teljesítmény különféle váltakozó áramú eszközök, illetve áramkörök (RLC-hálózat, fényforrások, számítógép tápáramköre) teljesítményviszonyainak mérésére irányul. Az RLC-hálózat felfogható egy fénycsővilágítás modelljének is, ahol L a fojtótekercs, R a világító fénycsövet helyettesítő ellenállás, C pedig a fázisjavító kondenzátor. Ezen a modellen lehetőség nyílik a látszólagos, a hatásos és a meddő teljesítmény, valamint a teljesítménytényező mérésére kétféle módszerrel is. A fényforrások és a számítógép teljesítménymérésén keresztül nemlineáris, bizonyos mértékben idővariáns fogyasztók jellegzetes tulajdonságait ismerhetjük meg.

A mérés célja

A mérés elvégzése során gyakorlati tapasztalatok szerezhetők az előtanulmányok során a villamos teljesítmény méréséről és eszközeiről tanult ismeretekhez. A mérések demonstrálják, hogy a modern jelfeldolgozás eszközei jól segítik a hagyományosnak nevezhető villamos mérés technikát is. A gyakorlat megmutatja, hogyan végezhetők biztonságos és pontos mérések a 230 V névleges fázisfeszültségű villamos hálózaton.

A mérés elméleti alapjai

Az elméleti alapokat tankönyvi részletességgel jelen útmutató nem mutatja be, csak a legfontosabb összefüggéseket közöljük. Hasonlóan a teljesítmény mérésére szolgáló eljárásokat sem mutatjuk be, a hangsúlyt az egyes lehetőségek összehasonlítására, értékelésére fektetjük. Az elméleti alapok és az eljárások a Jelek és rendszerek 1.-2. tantárgy, illetve a Méréstechnika tantárgy irodalmában szerepelnek.

Fontosabb összefüggések

Legyen a vizsgált impedancia árama és feszültsége szinuszos az alábbiak szerint:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_p \cos \omega t \\ i(t) &= I_p \cos(\omega t - \varphi) \end{aligned}$$

Ekkor a feszültség és az áram fázisának különbsége éppen $+\varphi$. A pillanatnyi teljesítmény kifejezése a következő:

$$p(t) = u(t)i(t) = \frac{U_p I_p}{2} [\cos(2\omega t - \varphi) + \cos \varphi]$$

Mivel szinuszos esetben az effektív érték a csúcserték $\sqrt{2}$ -ed része:

$$p(t) = UI [\cos(2\omega t - \varphi) + \cos \varphi]$$

ahol U és I rendre a feszültség és az áram effektív értéke. A kétszeres frekvenciával lengő tag integrálja egész periódusra vonatkozóan zérus, ezért a hatásos teljesítmény a második tagból adódik. A gyakorlatban az alábbi mennyiségeket használjuk:

$$\begin{aligned}\text{Látszólagos teljesítmény:} \quad S &= UI \text{ [VA]} \\ \text{Hatásos teljesítmény:} \quad P &= UI \cos \varphi \text{ [W]} \\ \text{Meddő teljesítmény:} \quad Q &= UI \sin \varphi \text{ [var]}\end{aligned}$$

A látszólagos teljesítmény is skalár, nem tévesztendő össze az $\bar{S} = UI^*$ komplex teljesítménnyel. A fenti mennyiségek összefüggenek:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Amennyiben az impedancia feszültsége és árama periodikus, de nem szinuszos, a hatásos teljesítményt a Fourier-összetevőkre külön kell számítani, majd összegezni:

$$P = \sum_{k=1}^K U_k I_k \cos \varphi_k + U_0 I_0$$

ahol U_k és I_k rendre a feszültség és az áram k -adik komponenshez tartozó effektív értéke, φ_k pedig a k -adik komponenshez tartozó fázistolás. A teljesség kedvéért az egyenáramú hatásos teljesítmény is szerepel, ahol U_0 és I_0 rendre a feszültség és az áram egyenkomponense. A figyelembe vett komponensek maximális száma K , amelyet a pontossági igények határoznak meg. Formálisan a meddő teljesítmény is felírható hasonló módon:

$$Q = \sum_{k=1}^K U_k I_k \sin \varphi_k$$

Most azonban $S^2 \geq P^2 + Q^2$, az alábbi kifejezés írható fel:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2, \quad D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

A D mennyiség az ún. deformált teljesítmény.

A hatásos teljesítmény mérése

A fenti mennyiségek közül a legfontosabb a hatásos teljesítmény mérése. A látszólagos teljesítmény a feszültség és az áram effektív értékének méréséből egyszerűen számítható. A meddő teljesítmény szinuszos esetben a hatásos és a látszólagos teljesítmény értékéből meghatározható. Az alábbiakban a hatásos teljesítmény mérésére alkalmas eszközöket, megoldásokat tekintünk át, a teljesség igénye nélkül.

1. **Elektrodinamikus wattmérő.** Felépítése a Deprez-műszer [2] működése alapján megérthető. Az állórész mágneses indukcióját itt nem állandó mágnes, hanem egy tekercs biztosítja, amelyen az impedancia árama folyik. Az impedancia feszültségét a forgótekercsre kapcsoljuk. A kialakuló nyomaték egyenáramú esetben arányos a két mennyiség szorzatával. Amennyiben váltakozó áram folyik az impedancián, a nyomaték is a pillanatnyi teljesítménnyel lesz arányos, a mechanikai rendszer aluláteresztő jellege miatt a kitérés pedig a hatásos teljesítménnyel lesz arányos. A műszer és alkalmazásának értékelése:
 - **Előnyök:** dedikált műszer, a mért teljesítmény közvetlenül leolvasható, nem kapcsolódik földelt áramköri ponthoz.
 - **Hátrányok:** A feszültségtekercs véges, az áramtekercs nem nulla ellenállása rendszeres mérési hibát okoz. Az áram méréséhez meg kell bontani az áramkört. Nagy pontossági igények esetén drága.
2. **Három voltmérős módszer.** Klasszikus megoldás, szinuszos esetben impedanciámérésre is alkalmas. A vizsgált impedanciával sorosan kapcsolunk egy

ismert ellenállást, és mérjük a feszültséget külön-külön az impedancián és az ellenálláson, valamint a gerjesztésen. A három feszültségből a

$$P = \frac{U_g^2 - U_z^2 - U_n^2}{2R}$$

képlettel számítható az impedancia teljesítménye, ahol R az ellenállás, U_z , U_n és U_g rendre az impedancián, az ellenálláson és a gerjesztésen mért feszültség. A módszer részletesebb leírása megtalálható [2]-ben, hibaanalízisére példa [3]-ban. A megoldás és alkalmazásának értékelése:

- **Előnyök:** Egyszerű, nem igényel speciális eszközt, nem szinuszos gerjesztés esetén is helyes mérési eredményt ad.
 - **Hátrányok:** Az R ellenállás áramkörbe iktatása problémás, pontos ellenállásra van szükség. A különbségképzés miatt pontossága korlátozott.
3. **Feszültség, áram és fázistolás külön-külön mérése.** A feszültség és az áram mérése triviális, a fázismérés a kérdéses. Számláló időmérő vagy oszcilloszkóp segítségével a fázis jól mérhető. A megoldás és alkalmazásának értékelése:
- **Előnyök:** Általános laboratóriumi eszközökkel megvalósítható.
 - **Hátrányok:** Az áram méréséhez meg kell bontani az áramkört. A fázismérés általában nem eléggé pontos, nem szinuszos esetben közvetlenül nem alkalmazható.
4. **Elektronikus wattmérő.** Felépítése igen változatos lehet, attól függően, hogy a technológiai fejlődés mely szakaszában készült. A kizárólag analóg részegységeket tartalmazó műszer aktív feszültség- és áramátalakítót, analóg szorzót és integrátort tartalmaz. A legújabb eszközök a feszültség- és áramjel mintavételezése után a definíció szerint számítással határozzák meg a kívánt mennyiségeket. A műszer és alkalmazásának értékelése:
- **Előnyök:** dedikált műszer, a mért teljesítmény közvetlenül leolvasható. A modern készülékek definíció alapján mérnek.
 - **Hátrányok:** Az analóg megvalósítás pontossága korlátozott. Az „elektronikus wattmérő” kifejezés nem egyértelmű, a mérési elv és módszer igen változatos lehet.
5. **Mérés digitális oszcilloszkóppal.** A mai digitális oszcilloszkópok jelfeldolgozási kapacitása lehetővé teszi a definíció alapján történő mérést. A gerjesztő feszültséget az oszcilloszkóp egyik, az impedancia áramával arányos feszültséget a másik csatornájára kapcsoljuk. A matematikai funkciók között elérhető a két csatorna jelének szorzása, erre a szorzatra pedig beállítható az átlagérték mérése, ezáltal az oszcilloszkóp a hatásos teljesítményt a definíció alapján méri. Az egyes csatornák jele effektív értékének mérése is általánosan elérhető funkció, így a látszólagos teljesítmény vagy a teljesítménytényező meghatározása is lehetséges. A mérés akkor pontos, ha a mérési idő a periódusidő egész számú többszöröse. Ez a gyakorlati esetekben jól betartható feltétel. Az áram méréséhez lakatfogót célszerű használni, általában az oszcilloszkóp gyártója is forgalmaz ilyet. A megoldás és alkalmazásának értékelése:
- **Előnyök:** Definíció alapján történik a mérés, az árammérés megszakítás nélkül lehetséges. A digitális oszcilloszkóp általánosan használt műszer.
 - **Hátrányok:** A villamos hálózathoz való csatlakozás az oszcilloszkóp földelt bemenetei miatt figyelmet igényel. Nagyobb feszültség esetén a feszültség nem kapcsolható közvetlenül az oszcilloszkópra, nagyfeszültségű mérőfejet vagy transzformátort kell alkalmazni.

Árammérő érzékelők ismertetése

A modern teljesítménymérés során legtöbbször az árammal arányos feszültségjelet dolgozunk fel. Ehhez szükség van áram—feszültség átalakításra, méghozzá úgy, hogy lehetőleg ne bontsuk meg a mérendő hálózatot. Ezt a feladatot különféle ún. lakatfogókkal lehet megoldani. Az elnevezés arra utal, hogy az érzékelővel körbe vesszük, mintegy bezárjuk az áramjárta vezetőt. Az alábbiakban két, elvileg is különböző típust ismertetünk.

1. Árammérő lakatfogó (Amprobe DLC-100)

Az árammérő lakatfogó érzékelőjének működési elve azonos a sínre felfűzhető áramváltók működési elvével, amikor is az a sín (vezeték), amelyre felfűzzük az áramváltót, olyan primer tekercsnek felel meg, amelynek menetszáma 1. Az ilyen áramváltóktól a lakatfogó abban tér el lényegesen, hogy míg azok vasmagja megbonthatatlan, a lakatfogó vasmagja egy ponton szétnyitható, a mérendő áramú vezetékre e nyílás felhasználásával helyezhetjük rá a vasmagot, majd a vasmag újbóli zárásával a mérendő vezeték az áramváltó 1-menetű primer tekercsévé válik. A vasmagra fixen felhelyezett, zárt áramkörű szekunder tekercsben a primer tekercs áramával arányos áram indul az $N_1 I_1 = N_2 I_2$ gerjesztési egyensúlynak megfelelően ($N_1 = 1$).

A szekunder tekercs áramának mérése tehát közvetve a kérdéses vezeték áramának mérését jelenti.

Az árammérő lakatfogó ipari frekvenciákon történő mérésekre készült, *alapvetően 50/60 Hz-re*, de kisebb pontossággal szélesebb frekvenciatartományban (40 Hz–1 kHz) is használható. Elsősorban kis *szívárgási áramok* mérésére fejlesztették ki. Legérzékenyebb *méréshatára 40 mA* (itt felbontása 10 μ A), *pontossága $\pm 1\% \pm 3$ számjegy* (a méréshatár %-a; 4 számjegyes kijelzőn). Hasonló pontossággal mér a 40 amperes méréshatárig, e fölött a pontosság rohamosan csökken (pl. 80-100 A között $\pm 9\% \pm 10$ digit (a méréshatár %-a; 4 számjegyes kijelző).

Mérőegysége az áramváltótól függetlenül *feszültség-* (400 voltos méréshatár) és *ellenállásmérésre* (0-400 Ω) is alkalmas.

2. Hall-szondás árammérő (Hameg HZ-56)

Az árammérő érzékelője Hall-szonda, így egyenáramtól 100 kHz frekvenciáig képes árammérésre. A Hall-szonda működési elve azon alapul, hogy ha egy félvezető lapkában áram folyik, és a lapka síkjára merőlegesen mágneses tér van jelen, akkor a tér és a mozgó töltések kölcsönhatása révén a lapkán az áram irányára merőlegesen a mágneses térrel arányos feszültség (Hall-feszültség) alakul ki, amelynek mérésével a mágneses indukció nagyságára lehet következtetni. Ha a mágneses teret (indukciót) egy vezetékekben folyó áram hozza létre, akkor az indukció a vezeték áramával arányos, tehát ebbe a mágneses térbe helyezve a Hall-szondát, a Hall-feszültség végső soron a mérendő árammal arányos.

A Hall-szondás árammérő olyan elektronikus áramkört (erősítőt) tartalmaz, amely 1 amperes mért áram esetén a műszer kimenetén 100 mV-os kimeneti feszültséget állít elő (más szóval a műszer *átalakítási tényezője 100 mV/A*), tehát ennek a feszültségnek a mérésével lehet az áram értékét meghatározni. Az *árammérési tartománya 0-tól ± 30 A-ig* terjed. A pontossága egyenáram mérésekor $\pm 1\% \pm 2$ mA (a méréshatár %-a). A műszer frekvenciaimenetét a műszerkönyv tartalmazza, a *0 Hz-től 100 kHz-ig* terjedő tartományban a frekvenciafüggés *0,5 dB-en belül marad*: 0-tól néhányszor 100 Hz-ig gyakorlatilag elenyésző a frekvenciafüggés, itt tehát az egyenáramra megadott pontosság vehető alapul.

A felkészüléshez szükséges irodalom

- [1] A Méréstechnika előadások anyaga.
- [2] Zoltán István: *Méréstechnika*, Műegyetemi Kiadó, 55029, Bp., 1997.: A mérési hibák terjedése, 20-21. old., Teljesítmény és energia mérése, 105 - 114. old
- [3] Sujbert – Naszádos – Péceli: *Méréstechnika példatár villamosmérnököknek*, Műegyetemi Kiadó, 55078, Bp., 2006., 7. fejezet: Impedanciamérés

Feladatok a felkészüléshez

A mérést megelőző otthoni felkészülésként végezze el az alábbiakat önállóan!

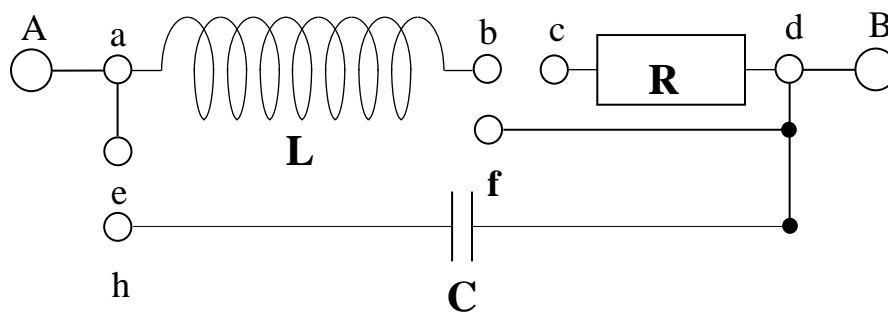
1. Olvassa át alaposan *A felkészüléshez szükséges irodalom* c. szakaszban felsorolt könyvfejezeteket!
2. Olvassa el és gondolja végig a *Mérési feladatokat*!
3. Válaszolja, ill. oldja meg az *Ellenőrző kérdéseket* és az *Ellenőrző feladatokat*, melyek a mérési útmutató végén találhatóak.

Alkalmazandó műszerek

Oszcilloszkóp	Agilent 54622A
Függvénygenerátor	Agilent 33220A
Elektronikus teljesítménymérő	Hameg HM8115
Szabályozható AC tápegység	Metrel MA-4804
Hall-szondás árammérő	Hameg HZ-56
Digitális multiméter (6½ digit)	Agilent 33401A
Ellenállásdekád	IET Labs RCS500
Mérőpanel (transzformátor)	VIK-01-03

A mérés objektumai

RLC-hálózat (lásd 4-1. ábra), 230 V-os fényforrások, személyi számítógép.



4-1. ábra. A mérésekhez használt R-L-C hálózat

Mérési feladatok

1. Hall-szondás árammérő lakatfogó működésének megismerése

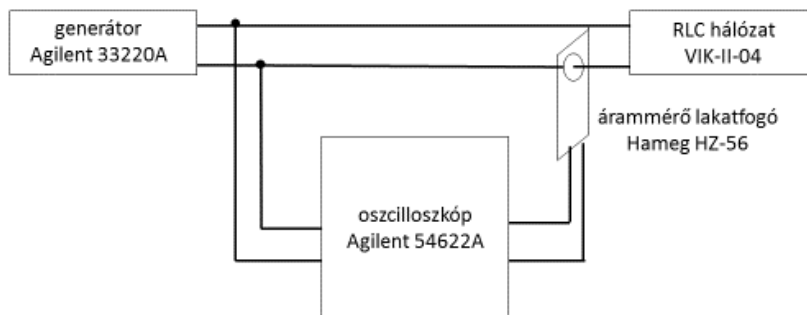
A 4-1. ábrán látható RLC-hálózat R elemét csatlakoztassa függvénygenerátorhoz úgy, hogy a hálózat áramfelvételét a lakatfogóval mérni tudja! Állítson be 10 V_{pp} amplitúdójú, 50 Hz frekvenciájú szinuszjelet! A hálózat gerjesztő feszültségét és a lakatfogó kimenetét csatlakoztassa az oszcilloszkóphoz és jelenítse meg mindkét jelalakot!

Figyelje meg, hogyan kell csatlakoztatni a lakatfogót, hogy az árammal arányos feszültség megfelelő polaritással kerüljön az oszcilloszkópra! Az oszcilloszkópos mérés során hogyan növelhető a megjelenített áramjel jel-zaj viszonya?

2. Szinuszos feszültséggel táplált RLC-hálózat teljesítményviszonyainak mérése

A mérési összeállítás a 4-2. ábrán látható. Hozza létre a mérésvezető által megadott kapcsolást dugaszolással, és 10 V_{pp} amplitúdójú, 50 Hz frekvenciájú szinuszjelet beállítva mérje meg az összekapcsolt hálózat áramát, feszültségét, látszólagos, hatásos és meddő teljesítményét, valamint teljesítménytényezőjét oszcilloszkóp használatával!

Az oszcilloszkópos mérés során a fázismérést időintervallum-mérésre visszavezetve végezze el! A mért feszültség- és áramértékeket ellenőrizze multiméterrel is!



4-2. ábra. Teljesítménymérés függvénygenerátoros gerjesztéssel.

3. Általános periodikus feszültséggel táplált RLC-hálózat teljesítményviszonyainak mérése

A mérési összeállítás és a beállítások megegyeznek az előző feladatban leírtakkal. Állítsa be a generátor jelalakját a mérésvezető által megadott hullámformára! Mérje meg ismét az összekapcsolt hálózat áramát, feszültségét, látszólagos és hatásos teljesítményét oszcilloszkóp használatával!

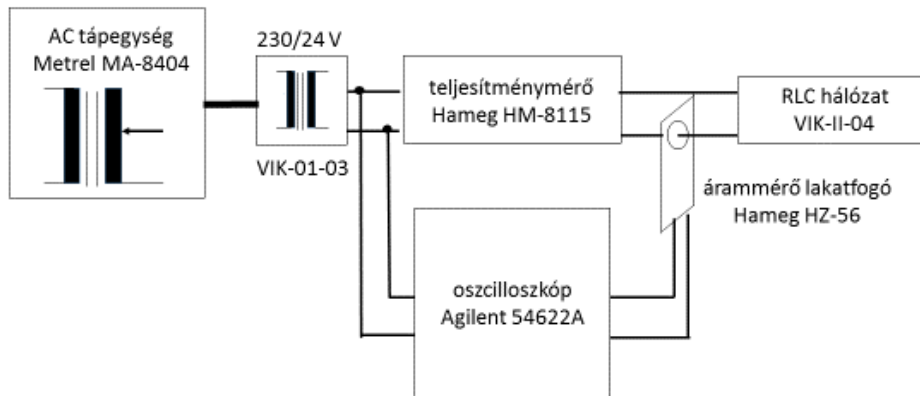
Az oszcilloszkópos mérés során a hatásos teljesítmény mérést a definíció alapján, az oszcilloszkóp matematikai és mérési funkcióinak kihasználásával mérje meg!

4. AC tápegységgel táplált RLC-hálózat teljesítményviszonyainak mérése

A mérési összeállítás a 4-3. ábrán látható, az RLC-hálózat beállításai változatlanok. Érintésvédelmi okokból a hálózati feszültséget törpefeszültségre transzformáljuk. A szabályozható AC tápegységen állítson be 230 V effektív értékű feszültséget! Mérje meg az összekapcsolt hálózat áramát, feszültségét, látszólagos, hatásos és meddő teljesítményét, valamint teljesítménytényezőjét

- elektronikus teljesítménymérővel;
- oszcilloszkóp használatával!

Az oszcilloszkópos mérés során az előző feladatban kialakított jelfeldolgozást alkalmazza! A gerjesztő feszültséget az oszcilloszkóp 10:1 osztási arányú mérőfejével csatlakoztassa!



4-3. ábra. Teljesítménymérés AC tápegység gerjesztéssel.

5. Hálózati feszültséggel táplált fényforrások teljesítményviszonyainak mérése

A mérési összeállítás a 4-4. ábrán látható. Az oszcilloszkóp számára a megfelelő szintű feszültségjelet egy ohmos osztóval kiegészített 230/12 V-os transzformátor szolgáltatja. Fogyasztóként a következő fényforrásokat mérje meg:

- a) hagyományos vagy halogén izzólámpa;
- b) kompakt fénycső vagy LED fényforrás!

Mérje meg a fényforrások áramát, feszültségét, hatásos teljesítményét, valamint teljesítménytényezőjét a 0...230 V tartományban

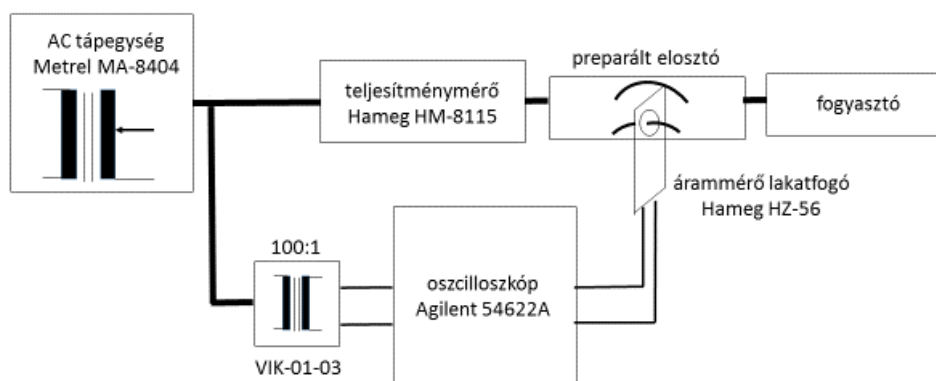
- a) elektronikus teljesítménymérővel;
- b) oszcilloszkóp használatával!

Az oszcilloszkópos mérés során a 3. feladatban kialakított jelfeldolgozást alkalmazza!

Ábrázolja a mindhárom fényforrás esetén a $P - U$ -görbét! Ügyeljen a mérési pontok helyes megválasztására!

Hogyan függ össze az egyes fényforrások által felvett teljesítmény, illetve a kibocsátott fényáram, valamint a tápfeszültség? Adjon kvalitatív értékelést a tapasztaltakról!

Egy a mérésvezető által kiválasztott fényforrástípus és feszültség esetén ábrázolja a feszültség és az áram időfüggvényét!



4-4. ábra. Teljesítménymérés hálózati feszültségen.

6. Hálózati feszültség torzítási tényezőjének és a felvett áram csúcstényezőjének mérése

Az előző feladatban kiválasztott fényforrástípus és feszültség esetén oszcilloszkóp használatával határozza meg a hálózati feszültség torzítási tényezőjét!

Az előző feladatban kiválasztott fényforrástípus és feszültség esetén oszcilloszkóp használatával határozza meg a felvett áram csúcstényezőjét (Crest-faktorát)!

7. Hibaszámítás

Számítsa ki az elektronikus teljesítménymérő, illetve az oszcilloszkóp gépkönyve, valamint a felhasznált egyéb eszközök rendelkezésre álló adatainak segítségével az egyes hatásos teljesítmények mérésének hibáját a 2., 3., 4. és 5. feladat mérési eredményei esetében! Az 5. feladatban végzett mérések közül csak a névleges feszültség mellett végzett mérésekre kell a számítást elvégezni. Értékelje az egyes teljesítménymérési módszereket!

Kiegészítő mérési feladat:

8. Személyi számítógép teljesítményviszonyainak mérése

Mérje meg egy személyi számítógép áramát, feszültségét, látszólagos, hatásos és meddő teljesítményét, valamint teljesítménytényezőjét

- a) elektronikus teljesítménymérővel;
- b) oszcilloszkóp használatával!

Az oszcilloszkópos mérés során a 3. feladatban kialakított jelfeldolgozást alkalmazza!

IMSc feladatok:

9. Nem egész számú periódus mintavételezéséből származó hiba számítása

Amennyiben a pillanatnyi teljesítményből nem egész számú periódust mintavételez az oszcilloszkóp, az átlagérték, tehát a mért hatásos teljesítmény hibás lesz. Fejezze ki a mérési hibát a szinuszos gerjesztő feszültség frekvenciája, a mérési pontok száma és a mérési idő függvényében! Adja meg a hiba nagyságát, ha a hálózati frekvencia az $50 \text{ Hz} \pm 20 \text{ mHz}$ tartományban mozog!

10. Három voltmérős módszer alkalmazása

Végezze el a 4. feladat szerinti mérést úgy, hogy az oszcilloszkóp helyett a három voltmérős módszert alkalmazza! Referenciának tekintse az elektronikus teljesítménymérővel mért eredményt. Feszültségmérésre digitális multimétert alkalmazzon!

Adja meg a mérés hibáját a feszültségmérés és az ellenállás hibájának figyelembevételével! A feszültségmérés hibájának számításakor ne csak a műszer gépkönyvi adatait vegye figyelembe! Mutassa meg, hogy a módszer helyesen méri a hatásos teljesítményt akkor is, ha gerjesztő feszültség nem szinuszos!

Ellenőrző kérdések

1. Hogyan számítjuk ki a pillanatnyi teljesítményt?
2. Megállapodás szerint mit jelent az egyenáramú teljesítmény pozitív vagy negatív előjele?
3. Egy váltakozó áramú áramkörben valamely kétpóluson mért feszültség és áram effektív értéke U , illetve I . A feszültség és az áram közötti fázisszög φ (a feszültség siet az áramhoz képest, ha φ pozitív). Hogyan számítható ki a két-pólus hatásos, meddő és látszólagos teljesítménye? Hogyan változnak ezek az értékek, ha a φ fázisszög előjelet vált?
4. Hogyan definiáljuk a hatásos és a meddő teljesítményt, ha periodikus, de nem szinuszos görbealakú jelekről van szó? (Legyen U_0 és I_0 a feszültség és az áram egyenáramú összetevője, U_k és I_k a feszültség, illetve az áram k -adik felharmonikusának effektív értéke és φ_k ezen felharmonikusok közötti fázisszög (a feszültség siet az áramhoz képest, ha φ_k pozitív).
5. Hogyan számítja ki a hatásos teljesítményt olyan áramkörben, ahol a feszültség görbealakja tisztán szinuszos, de az áramé (az áramkör nemlinearitásai miatt) azonos periódusidővel nem szinuszos?
6. Mi a definíciója a villamos energiának (munkának, fogyasztásnak)?
7. Ismertesse az elektrodinamikus wattmérő működési elvét!
8. Ismertesse a hatásos teljesítmény mérésének ún. három voltmérős módszerét!
9. Milyen módszerekkel mérhető hatásos teljesítmény abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre dedikált műszer (wattmérő)?
10. Hogyan használható fel egy digitális oszcilloszkóp a hatásos teljesítmény mérésére?
11. Hogyan határozza meg a hatásos teljesítmény mérésének relatív hibáját három voltmérős módszer, illetve digitális oszcilloszkóppal történő mérés esetén?
12. Hogyan választaná meg a mérési pontokat, ha előre nem ismert jellegű $P-U$ karakterisztikát kell mérnie? Túl sok pont felvétele lelassítja a mérést, túl kevés pont esetén a karakterisztika jellegzetes pontjait (ugrások, kiemelések stb.) nem tudja rögzíteni.

Ellenőrző feladatok

1. Rajzoljon fel egy ismert frekvenciájú, belső feszültségű, és belső impedanciájú váltakozófeszültség-generátort. Kapcsoljon induktivitásból és azzal sorba kapcsolt ellenállásból álló terhelő impedanciát a generátorra. Vegye fel a feszültség és az áram pozitív irányát, írja fel az áram, a kapocsfeszültség és a teljesítmény számítására szolgáló összefüggéseket!
2. Ábrázolja a feszültség, az áram és a teljesítmény idődiagramjának egy periódus időtartamra eső szakaszát, ha az induktivitás értéke gyakorlatilag nulla, ha az ellenállás értéke gyakorlatilag nulla, ha az induktivitás helyett kapacitás található az áramkörben és az ellenállás értéke gyakorlatilag nulla!
3. Ábrázolja fázorábrán az előbbi esetekben a feszültséget és az áramot!
4. Legyen egy 50 Hz frekvenciájú feszültséggenerátor belső impedanciája gyakorlatilag nulla, a forrásfeszültsége 110 V, az azt terhelő impedanciában az induktivitás értéke 1.2 H, az azzal sorba kapcsolt ellenállás értéke 40 Ω . Mekkora az áram effektív értéke és fázisszöge? Mekkora az áram valós és képzetes összetevője? Mekkora veszteség keletkezik az impedanciában? Mekkora a meddő és a látszólagos teljesítmény?
5. Mekkora ellenállást kell a 4. pont szerinti impedanciával sorba kötni ahhoz, hogy 45° legyen a kapocsfeszültség és az áram közötti fázisszög? Legyen az eredő impedancia jele Z_E .
6. A gyakorlatilag nulla belső impedanciájú, 50 Hz frekvenciájú, 110 V forrásfeszültségű feszültséggenerátort terhelje a Z_E impedancia. Mekkora az áram effektív értéke és fázisszöge? Mekkora az áram valós és képzetes összetevője? Mekkora veszteség keletkezik az impedanciában és a kiegészítő ellenállásban?
7. Rajzolja fel a 6. szerinti áram és feszültség fázorábráját!
8. Mekkora fázisjavító kapacitást kell a 5. pont szerinti Z_E impedanciával párhuzamosan kötni ahhoz, hogy a kapocsfeszültség és az eredő áram közötti fázisforgatás 0° legyen? Előzetesen ismert, hogy a kapacitás veszteségi tényezője ($\tan \delta$) értéke kisebb, mint 10^{-4} . Ebben az esetben mekkora az eredő impedancia abszolút értéke és fázisszöge? Mekkora a kondenzátorban keletkező veszteség?
9. Tanulmányozza át a Hameg gyártmányú, HM 8115 típusú elektronikus teljesítménymérő műszer műszerkönyvét. Vizsgálja meg azt, hogy a mérendő hálózatok kapocsfeszültségének, áramának és teljesítményének mérésére használható-e a műszer. Ha igen, akkor rajzolja fel a kapcsolás vázlatát. Gondolja át a használat módját. Foglalja össze, hogy a kapcsolási rajz felrajzolásától a végeredmény és a bizonytalanság meghatározásáig milyen elemi tevékenységeket kell elvégeznie. (Elemi tevékenység például a kapcsolási vázlat szerinti huzalozás kialakítása, a bekapcsolás, egy munkapont beállítása, az eredmények rögzítése, stb.)
10. Vizsgálja meg, hogy az Agilent gyártmányú, 54622A típusú, digitális oszcilloszkóp alkalmas-e a mérendő hálózatok kapocsfeszültségének, áramának és teljesítményének mérésére. Ha igen, akkor rajzolja fel a kapcsolás vázlatát. Gondolja át a használat módját. Foglalja össze, hogy a kapcsolási rajz felrajzolásától a végeredmény és a bizonytalanság meghatározásáig milyen elemi tevékenységeket kell elvégeznie.