

# MIT MÉRNEK A MŰSZEREK?

Minden amatőr tudja, hogy ha pl. egy egyenirányítós depré műszerrel méri a hálózati feszültségét, a műszer a periódikusan változó feszültség effektív értékét mutatja: azt a feszültség értéket, mely eggyenel helyettesítve a teljesítményképleiben azonos eredményre vezet. Kevesebben tudják, hogy ugyanezzel a műszerrel nagy harmonikus tartalmú váltófeszültségek mérése hibás eredményeket ad. A példából látszik, mennyire fontos annak megismerése, hogy a különböző műszerek kiterése mivel arányos. A továbbiakban a lineáris, négyzetes-, és csúcs helyettesítés ill. középérték, formatényező, csúcstényező, alaphullám-tartalom, harmonikus tartalom fogalmait ismertetjük s végül összefoglaljuk a különböző műszerek alkalmazási lehetőségeit.

## Helyettesítések

Egy adott váltakozóáramot „megfelelő értékű” egyenárammal helyettesíteni többféle szempont szerint lehet. (Fordítva szintén.) Attól függően, hogy az ekvivalens áramnak például hőfejlődés, szigetelés, kémiai hatás, fiziológiai hatás vagy mágneses erőhatás szempontjából kell-e azonosnak lennie, más-más értékeket kapunk. Az összefüggések ismerete gyakorlati jelentőségű váltakozóáramú műszerek egyenárammal való hitelesítésénél. De elengedhetetlenül szükséges — mint majd látni fogjuk — a különböző műszerek alkalmazási lehetőségeinek megítéléséhez is.

### 1. Lineáris helyettesítés

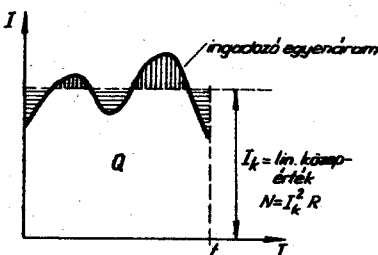
Ha egy periódikusan ingadozó egyenáramot (1. ábra) úgy helyettesítünk, hogy az ábrán látható módon a területeket vesszük azonosnak, akkor a területet meghatározó  $I \cdot t = Q$  töltésmennyiség lesz azonos. Ez a lineár helyettesítés. A lineáris középértéknek megfelelő helyettesítő egyenáram tehát ugyanannyi töltést fog áthajtani a fogyasztón, mint az ingadozó.

Ezt a helyettesítést kell alkalmaznunk például elektrolízisnél, ahol a kiválasztott anyagmennyiség egyenesen (lineárisan) arányos az áramerősséggel, ill. a töltésmennyiséggel. Faraday törvénye szerint:

$$G = k \cdot t \cdot I, \text{ ahol } t \cdot I = Q$$

$$G = \text{anyagmennyiség}$$

$$k = \text{elektrokémiai ekvivalens}$$



1. ábra

$$t = \text{idő}$$

$$I = \text{áramerősség}$$

$$Q = \text{töltésmennyiség}$$

Hasonlóan lineáris helyettesítést kell alkalmaznunk akkor is, ha a váltóáramot mágneses tér szempontjából kell helyettesítenünk egyenárammal: ugyanis az áram által keltett mágneses tér is egyenesen arányos az áramerősséggel.

Biot-Savart törvénye szerint:

$$H = k \cdot I$$

$$H = \text{térférfősség}$$

$$k = \text{geometria méretektől függő szám}$$

$$I = \text{áramerősség}$$

Ugyancsak a lineáris középértékekkel kell számolnunk egyenirányítóknál, ahol az egyenirányítóból kivett töltésmennyiség azonos az egyenirányítandó félhullámban folyó töltésmennyiséggel.

Ezt a helyettesítést *elektrolitikus* vagy *lineáris* helyettesítésnek nevezzük, s az így nyert középértéket elektrolitikus vagy lineáris középértéknek hívjuk. Szokás az ilyen helyettesítéssel nyert középértéket *aritmetikus, algebrai, galvanometriai* vagy *számítási középértéknek* ill. *egyenirányított értéknek* is nevezni.

Mindazon műszereknél, melyek az áram és mágnes kölcsönhatásán, vagy elektrolízis elvén működnek, a mutatott érték a lineáris középértékkel arányos mennyiség (pl. depré, lengőmágneses műszerek, ezüst-voltaméter stb.) Hitelesítésük a lineáris középértéknek megfelelő egyenárammal történik. Ingadozó áram esetén a műszer forgórészére ható erő — pl. mágneses erő — és vele a forgatónyomaték pillanatonként változik, de ezt a változást a mérőmű tehetetlenségénél fogva az egész alacsony frekvenciáktól eltekintve (10 Hz alatt) — nem tudja követni. Mivel a mutató kitérése a ráható erővel arányos, a pillanatonként változó erőt lineárisnak átlagolja, s így a műszer lineáris átlagértéket mutat. (Elektrolízisnél pedig az átlagolást akkor végezzük, amikor a kiválasztott anyagmennyiséget elosztjuk az idővel.)

Az áramot vivő vezeték (vagy tekercs) és mágnes között fellépő erőhatás iránya függ az áram irányától. Hasonlóan az elektrolitból kiválasztott anyagmennyiség is polaritásfüggő. A váltakozóáram lineáris középértéke tehát — mind a mágneses erő miatti elmozdulás, mind a kiválasztott anyagmennyiség esetén — nulla lesz. Az ezen elvek alapján működő műszerek tehát, váltakozó áramok mérésére alkalmatlanok, csak ingadozó egyenáram — pl. egyenirányított, váltóáram — mérésére alkalmazhatók, s a mutatott érték polaritásfüggő.

Amit eddig elmondottunk áramra, az természetesen állandó ellenállást feltételezve feszültségre is igaz. Változó nagyságú feszültség — az eddigiekhez hasonló módon — helyettesíthető állandó feszültséggel. A továbbiakban is — bár csak áramról beszélünk — a megállapítások feszültségre is érvényesek.

Szinuszos áramoknál a lineáris középérték a csúcstértekhez viszonyítva:

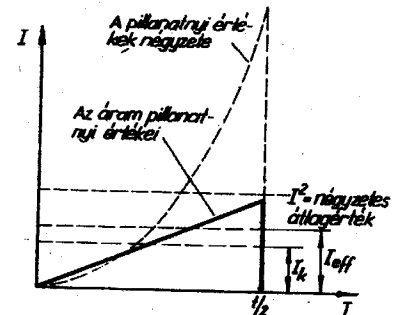
$$I_1 = 0,637 \cdot I_{cs}$$

### 2. Négyzetes helyettesítés

A villamos áram teljesítménye — állandó  $R$  ellenállás esetén — az áram vagy a feszültség négyzetével arányos. Konstans egyenáramnál ez semmi számolási nehézséget nem okoz; az adott áramértéket kell négyzetre emelnünk, s az így nyert terület a teljesítménnyel arányos.

Ingadozó egyenáram esetén azonban a pillanatonként változó értékeket kell pontról pontra négyzetre emelni, az így nyert terület lesz arányos a teljesítménnyel.

Például, egy fűrészfog lefolyású áram (2. ábra) pillanatnyi teljesítmény értékeit eredmény vonal jelzi. A szaggatott vonal alatti terület a végzett munka. Könnyen belátható, hogy ez a terület nem azonos azzal, amit a lineáris középérték négyzetre emelésével kapnánk, hanem annál nagyobb. Azt a helyettesítő egyenáramot, mellyel azonos teljesítményt kapunk, úgy határozhatjuk meg, hogy a pontonkénti négyzetreemelésel nyert függvénygörbe alatti területet négyszöggé alakítjuk. A négyzöveg magassága a négyzetes átlagérték; ebből gyökvonással kapjuk az effektív értéket.



2. ábra

Ezt a helyettesítést kell alkalmaznunk minden olyan esetben, amikor a számított határ képletében az áram, vagy a feszültség négyzete szerepel, vagy teljesítményt illetve munkát (fogyasztást) számolunk.

Például hőhatásnál, ahol az áram által keltett hő az áramerősség négyzetével arányos, Joule törvénye alapján:

$$Q = k \cdot I^2 \cdot t$$

$$Q = \text{hőmennyiség}$$

$$k = \text{állandó}$$

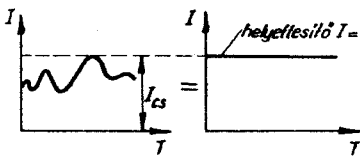
$$t = \text{idő}$$

$$I = \text{áramerősség}$$

Hasonlóan négyzetes helyettesítést kell végeznünk olyan erőhatásoknál, ahol két áramvezetőben folyó áram hat egymásra, (s a két vezető sorosan, vagy párhuzamosan van kapcsolatban)

$$P = k \cdot I^2$$

$$P = \text{erőhatás}$$



3. ábra

$k = \text{állandó}$   
 $I = \text{áramerősség}$

Négyzetes helyettesítést kell alkalmazni, két feltöltött test egymáshatásánál is. Coulomb törvényéből következik:

$P = k \cdot U^2$   
 $P = \text{erőhatás}$   
 $k = \text{állandó}$   
 $U = \text{feszültség}$

Az áram négyzetével arányos továbbá az indukált mágnes tér esetén fellépő erőhatás is.

Ezt a helyettesítést *négyzetes helyettesítésnek* nevezzük; a nyert középértéket *négyzetes vagy effektív középértéknek* hívjuk. Szokásos elnevezés még: *kvadrátikus helyettesítés*, illetve *kvadrátikus középérték*, továbbá *hőegyenérték*.

Mindazon műszereknél tehát, melyek hőhatással, elektrodinamikus erőkkel, vagy Coulomb erőkkel működnek, a mutatott érték az áram (vagy a feszültség) négyzetes középértékével arányos. Mivel ezen erőhatások függetlenek a polaritástól, e csoport műszerei (hődrótos, elektrodinamikus, lágyvasas, elektrosztatikus) mind egyen-, mind váltóáramra alkalmazhatók. Kivétel az indukációs műszer, melynél a működés alapelve az áram változása (indukció) s azért csak váltakozó áramokat mér.

A műszer forgórészére ható erő és nyomaték ezeknél is pillanatonként változik. A mechanikai mérőmű tehetetlenségénél fogva lineáris átlagolást végez (hődrótos műszereknél az átlagolást a hőtehetetlenség végzi). A műszer forgórészére ható erő és nyomaték, az áram illetve feszültség négyzetével arányos. A műszer tehetetlen forgórészére ezt a „négyzetes erőhatást” átlagolja lineárisan.

Szinuszos áramformánál a négyzetes középérték a csúcserőteltséghez viszonyítva:

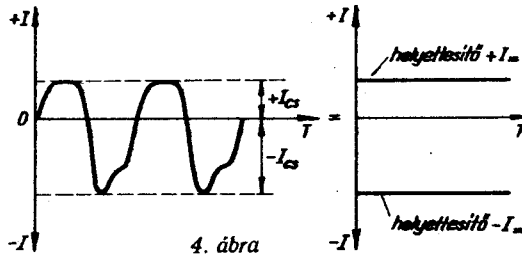
$$I^2 = 0,5 (i_{cs})^2$$

s az effektív érték

$$I_{eff} = 0,707 (i_{cs})$$

### 3. Csúcserőteltség helyettesítés

Egyes jelenségeknél az áram (vagy a feszültség) maximális értéke — csúcserőteltség — a döntő: átütési és ionizációs folyamatoknál, felmágnesezésnél, kondenzátor feltöltésnél egyenirányítón keresztül, stb. Ilyen esetben a helyettesítő egyenáram értéke, a csúcserőteltséggel azonos (3. ábra). Az ilyen elven működő mérőműszereknél a mutatott érték, a csúcserőteltséggel arányos (gömbszikrakód, kisüléscsővek). A csúcserőteltséghez a polaritást is meg kell adni, mert az a pozitív és negatív értékre különböző lehet (4. ábra). Megadható a nagyobbik csúcserőteltség (5. ábra) vagy értelmezhető a helyettesítés — csúcstól — csúcsig is (6. ábra).



4. ábra

### Formajellemzők

Periódikus (váltó-)áramok időbeli lefolyása, s az ezt ábrázoló görbe formája igen sokféle lehet. Határeset a szinuszos lefolyás, amikor a jelenségek a legkönnyebben számolhatók. Előfordulhat más mértani ábra, de nagyon sok esetben pl. nonlinearis ellenállásoknál — a görbe alakja általános. Ahhoz, hogy a szinusztól eltérő formákkal mégis számolni tudjunk, néhány általános fogalom bevezetése szükséges.

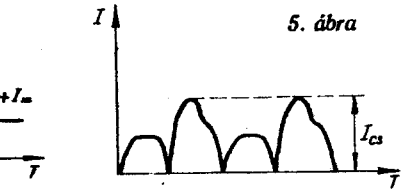
#### 1. Csúcserőteltség (Kcs)

A csúcserőteltség és az effektív érték viszonyát jelenti. Szinuszos áramoknál:

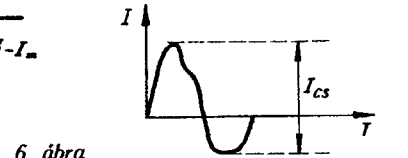
$$K_{cs} = \frac{I_{cs}}{I_{eff}} = \sqrt{2} = 1,414$$

#### 2. Formaterőteltség (Kf)

Az effektív és a lineáris középérték viszonya. Szinuszos áramoknál:



5. ábra



6. ábra

$$K_f = \frac{I_{eff}}{I_1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,111$$

#### 3. Alaphullám tartalom (g)

Az alaphullám és az összes áram effektív értékeinek viszonya.

$$g = \frac{I_1}{I}$$

#### 4. Harmonikus tartalom (Klirrfaktor K.)

Az összes felhullám effektív értékének, és az egész váltómennyiség értékének viszonya;

$$K = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I} = 1 - g^2$$

(Folytatjuk)

## Új szakkönyvek

### Kobzev—Sismakov: Tranzistoros rádiókészülékek áramkörei

208 oldal, 224 ábra, egészvászonkötésben 41,— Ft  
 A tartalomból: Fontosabb tranzistorok jellemzői, hőmérsékleti stabilizálások, erősítők számítása, hang- és középfrekvenciás erősítők, frekvenciaváltók, diódás demodulátorok, oszcillátorok, tranzistorok zaja, kapcsolási példák, stb.

### Kádár Géza: Rádióvevőkészülékek kapcsolása II. kötet

246 oldal, 400 ábra, kötve 37,— Ft  
 A már korábban megjelent, hasonló című két kötet (1956—57 és 1958—59) rajzai egy kötetbe összevonva.

### Szadai Rezső: A szabályozáselemélet elemei

2., átd. és bőv. kiadás. 223 oldal, 237 ábra, egészvászon kötésben 45,— Ft

### Atommag lexikon

Főszerk. Jánossy Lajos. 453 oldal, 32 képtábla, egészvászon kötésben 105,— Ft

### Nozdroviczky László: A televízió

3., jav. kiadás. 207 oldal, 154 ábra, fűzve 21,— Ft  
 Népszerű ismertetés.

### Új rádióamatőr füzetek:

56. sz. Kárpáti: Tranzistoros készülékek javítása 5,60 Ft  
 57. sz. Bíró—Faragó—Ördög: A rövidhullámú amatőr ismeretei (I.) 6,30 Ft  
 62. sz. Tiborc: Amit a rádióalkatrészekről tudni kell (III.) (Nagyfrekvenciás tekercsek és rezgőkörök.) 7,— Ft

Beszerezhetők az **Allami Könyvterjesztő Vállalat Könyvesboltjaiban** és az üzemi könyvterjesztőknel.

Postai utánvételre rendelés a szaküzletől: **Műszaki Könyvesbolt Antikvárium**, Budapest, VII., Lenin körút 7, 50,— Ft felett a szállítás magán-személyeknek portómentes.

# MIT MÉRNEK A MŰSZEREK?

## Műszerfajták alkalmazásai

A gyakorlatban bármely váltóáramú műszer egyaránt hitelesíthető pl. szinuszos 50 Hz esetén — a lineáris vagy az effektív középértékre. A lineáris középértékekre azonban, csak elektrolitikus és mágneses átlagtererő számításoknál van szükségünk, a gyakrabban előforduló teljesítmény számításoknál mindig figyelembe kellene venni a formatényezőt is. Hogy e számítások egyszerűbbek legyenek, általános szabály, hogy a váltakozó áramú műszerek kalibrációja (hitelesítése) mindig az effektív értékre vonatkozik.

### 1. Görbealak, illetve forma vizsgálata

Ahhoz, hogy egy műszerrel mérjünk, a műszer ismeretén kívül mindenek előtt az áramnem, a váltakozó áramoknál a görbealak, illetve forma ismerete szükséges. De szükséges lehet ez önmagában, egyéb szempontokból is. Ilyen célra, a különböző oszcilloszkópok (oszcillográfok) alkalmasak, igen tág frekvencia határral. Görbék pontonkénti felvételére — főleg forgógépeknél, ipari frekvenciákon — bármely egyenfeszültségű műszer alkalmas, Joubert — tárcsa alkalmazásával.

### 2. Effektív érték mérése

a) Állandó egyenáramra mindegyik műszer alkalmazható, az indukciós műszerek kivételével. Egyenáramnál az effektív, a lineáris közép és a csúcserőteljesítmény egyforma. Lényegesen nagyobb érzékenysége és pontossága miatt azonban majdnem kivétel nélkül a depné műszereket alkalmazták.

b) Váltakozóáram effektív értékének mérésére alkalmas minden négyzetes közép érték mérő műszer. Minél érzékenyebb, annál nagyobb frekvencia határig működik. (Szatikus műszerek max. 30 MHz-ig.)

Lineáris középértéket mérő műszerek nem alkalmasak a (szinuszos) váltakozóáram mérésére, mert annak lineáris középértéke nulla. Ha azonban a műszer elé egyenirányítót kapcsolunk (pl. depné műszer kuproxszal) a műszer az egyenirányított fluktuáló áram lineáris középértékével arányos értéket mutat. Tiszta szinuszos áram esetén, illetve ha a harmonikusok elhanyagolhatók — a formatényező állandó — s a műszer kalibrálható a szinuszos váltófeszültség effektív értékére is.

Az egyen és váltóskála lehet azonos is. Ennek feltételei:

I. Lineáris középértéket mérő, egyenirányító műszereknél az egyenirányító linearitása, illetve olyan nagy mérőhatár, melynél a dióda indulási könyök nonlineáris hatása elhanyagolható.

II. Effektív értéket mérő műszereknél, a minimális frekvenciafüggés. Pl. egy 50 Hz-re hitelesített lágyvasas voltmérő induktív ellenállása a frekvenciával arányosan változik. Egyenfeszültségen nulla, s ezért itt fog legnagyobb értéket mutatni azonos feszültségnél. Azonos áramnál (árammérőnek alkalmazva), váltakozó

áramú üzemben, a veszteségek nagyobbak.

Ezért a különbség kisebb mértékben ampermérőknél is fennáll.

c) Ingadozó egyenáramra, illetve kevert egyen és váltóáramra, a lineáris középértéket mérő műszerek nem alkalmazhatók. Ha mégis megpróbáljuk, csak a konstans összetevőt mérjük, a váltóáramú részt nem (pl. brummos egyenfeszültség mérése depné műszerrel).

Az effektív értéket mérő műszerek ilyen célra alkalmazhatók, kivéve az indukciós műszereket, melyek viszont az egyenkomponenst hagyják ki a mérésből.

d) Torzított (harmonikusokat tartalmazó), vagy idegen hullámokkal kevert váltakozóáram mérésére, mivel ezek formatényezője rendszerint nem állandó, a lineáris középértéket mérő (effektív érték-re hitelesített, egyenirányítóval ellátott) műszerek nem alkalmasak, illetve a formatényezőtől függő hibával mérik annak effektív értékét. Ha a mért áram formatényezője nagyobb mint  $\sqrt{2}$ , a műszer a valóságnál kisebb értéket mutat (pl. impulzusok), s ha a formatényező kisebb  $\sqrt{2}$ -nél, a valóságnál nagyobb értéket mutat (pl. felül metszett szinuszgörbe).

Az effektív értéket mérő műszerek közül, az alacsonyabb frekvencia határuak (pl. lágyvasas indukciós), ellenállása erősebben függ a frekvenciától, s ezért egy ilyen feszültségmérő a magasabb összetevőket a valóságnak megfelelően méri;

ellenállása azokra nagyobb. (A feszültségmérőben tehát más lesz az áram hullámalakja, mint a főáramkörben.) Ugyanez a jelenség elvileg ampermérőknél is fennáll, de ott elhanyagolható, mivel a körben folyó áramot kevésbé befolyásolja a műszer ellenállása.) Ezenkívül a nagyobb frekvenciák, aránytalanul nagyobb veszteségeket okoznak.

Torzított áramok mérésére ezért, ipari frekvenciáknál az elektrodinamikus, nagyobb frekvenciáknál pedig az elektrostatikus műszereket alkalmazzák.

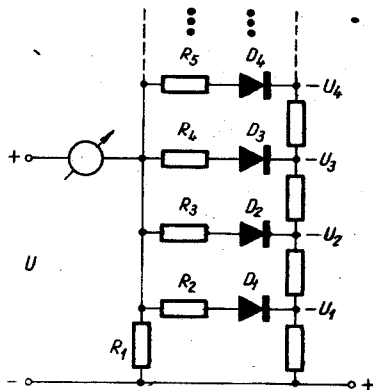
e) Impulzus-sorozat effektív értékének mérésére szintén alkalmazhatók, az effektív értéket mérő műszerek, ha a mérni kívánt maximális frekvenciájú komponens nem esik ki a műszer frekvencia-tartományából. Tudni kell azonban, hogy a műszer az átlagolást az impulzusok közötti szünetekre is elvégzi (egyenáramú helyettesítő értéket ad) tehát nem az impulzus tartalmának átlagát, illetve effektív értékét méri. Ilyen célból az oszcillográffal felvett hullámalakokat kell grafikusán elemezni.

### 3. Lineáris középérték mérése

A lineáris középértéket mérő műszerek egyenáramra közvetlenül, váltakozóáramra egyenirányítón keresztül alkalmazhatók. Féloldalas egyenirányítás esetén a kapott érték kétszeres szorzandó. Általában itt is követelmény, hogy a mérni

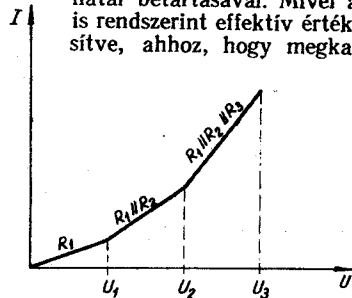
Aramforma, ill. görbealak	Lineáris, v. elektrolitikus átlagérték $I_2$ (U <sub>f</sub> ) (félperiódusra)	Eff. v. négyzetes átlagérték $I_{eff}$ (U <sub>eff</sub> )	Csúcserőteljesítmény $I_{cs}$ (U <sub>cs</sub> )	Csúcstényező $K_{cs} = \frac{I_{cs}}{I_{eff}} \geq 1$	Formatényező $K_f = \frac{I_{cs}}{I_2} \geq 1$
Színusz	$0,64 \cdot I_{cs}$	$\frac{I_{cs}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_{cs}$	+1 -1	$\sqrt{2} = 1,414$	1,11
Együtasan egyenirányított	$0,32 \cdot I_{cs}$	$0,353 \cdot I_{cs}$	+1 -0	2,82	1,11
Kétutasan egyenirányított	$0,64 \cdot I_{cs}$	$0,707 \cdot I_{cs}$	+1 -0	1,414	1,11
Négyzetes	$1,0 \cdot I_{cs}$	$1,0 \cdot I_{cs}$	+1 -1	1	1
Háromszög	$0,5 \cdot I_{cs}$	$\frac{I_{cs}}{\sqrt{3}} = 0,577 \cdot I_{cs}$	+1 -1	$\sqrt{3} = 1,732$	1,15
Félparabola	$0,33 \cdot I_{cs}$	$0,45 \cdot I_{cs}$	+1 -1	2,22	1,35
Félellipszis	$0,79 \cdot I_{cs}$	$0,82 \cdot I_{cs}$	+1 -1	1,22	1,04
Félkör	$0,79 \cdot I_{cs}$	$0,82 \cdot I_{cs}$	+1 -1	1,22	1,04
Egyen	$1,0 \cdot I_{cs}$	$1,0 \cdot I_{cs}$	+1 -0	1	1

Példa: I a csúcserőteljesítményű kétutasan egyenirányított szinuszos áramot 0,707A állandó egyenáram helyettesíthet melegedés szempontjából és 0,64A elektrolízis szempontjából.



#### 4. Csúcsérték mérése

E célra legalkalmasabb a csúcsegény-irányítóval működő csövoltmérő és az oszcilloszkóp, mindkettő a frekvenciahatár betartásával. Mivel a csövoltmérő is rendszerint effektív értékre van hitelesítve, ahhoz, hogy megkapjuk a csúcs-



7. ábra

kívánt maximális frekvenciájú komponens ne essen ki a műszer frekvencia tartományából. Mivel a műszerek kalibrációja, rendszerint az 50 Hz-es tiszta szinuszos váltakozóáram effektív értékére vonatkozik, a lineáris középértéket úgy kapjuk, ha a mutatott értéket ( $I_m$ ) elosztjuk a szinuszos áram formátényezőjével (függetlenül a mért áram formájától)

$$I_1 = \frac{I_m}{1,111}$$

Az effektív értéket mérő műszerek csak tiszta szinuszos áramnál alkalmasak a lineáris középérték mérésére. Mivel a kalibráció itt is az effektív értékre vonatkozik, az előbbi átszámolás vagy átkalibrálás itt is szükséges.

értéket, a mutatott értéket meg kell szorozni a szinuszos áram csúcstényezőjével. A lineáris és effektív középértéket mutató műszerek csak tiszta szinuszos áramoknál alkalmazhatók csúcsérték mérésére. Az előbbi beszorzás itt is szükséges :

$$I_{cs} = \sqrt{2} \cdot I_{eff}$$

#### Effektívérték mérő kapcsolások

A műszertervezők nem nyugodtak bele, hogy a legérzékenyebb műszerek — a forgótekerces típusok — nem alkalmazhatók tetszés szerinti jelalakú váltóáram effektív értékének mérésére. Rájötték arra, hogyha az amúgyis szükséges egyenirányító (kuprox, dióda) feszültség —

áram karakterisztikája négyzetes, akkor a forgótekerces műszerrel ugyanolyan pontosan mérhető tetszés szerinti jelalakú áram effektív értéke, mint pl. hődrótos vagy lágyvasas műszerrel. De — a műszer nagyobb érzékenységének megfelelően — lényegesen kisebb fogyasztással. Ennek az a magyarázata, hogyha pl. a kuproxra feszültséget kapcsolunk, akkor a rajta átfolyó áram a feszültség négyzetével lesz arányos. A négyzetreemelését ily módon pillanatról pillanatra elvégzi a kuprox, a műszeren már a négyzetes átlagnak megfelelő átlagáram folyik. A műszer ismert egyenáram segítségével effektív értékre skálázható be.

Valóságban a kuprox karakterisztikája nem pontosan négyzetes, ezért a műszer bizonyos hibával mér. Ma már sokféle előfeszített diódákat tartalmazó műkapcsolás van forgalomban, amellyel az ideális négyzetes karakterisztika, tetszés szerinti pontossággal megközelíthető. Egy ilyen kapcsolást mutat a 7. ábra. Alapgondolata a következő: a bemenőfeszültség növekedésével egyszer csak vezetni kezd az eddig előfeszítéssel lezárt  $D_1$  dióda, s ezáltal a  $R_1$  mellé kapcsolódik az  $R_2$  ellenállás. Ettől kezdve a karakterisztika meredekebb lesz. A feszültség további növekedésével a második — az előzőnél jobban előfeszített — dióda is kinyit, és további ellenállást kapcsol párhuzamosan... és így tovább. Az előfeszítések mértékével az egymás mellé kapcsolódó ellenállások nagyságával, és a diódák számával, tetszés szerinti pontossággal közelíthetjük meg az ideális négyzetes karakterisztikát.