

Mit mutat a váltóáramú feszültség-, (áram)mérő?

Jelen cikkünket a villamos mérés technika alapjaival most ismerkedőnek szánjuk. Az írás eredetileg a *Ragyio 2006/6. számában* jelent meg, A. Dolgij tollából. Számos, nálunk jobbra ismeretlen műszertípusra hivatkozik, amelyeket nem láttunk érdemesnek feltüntetni, ám a bemutatott elvek ezek nélkül is megérthetők.

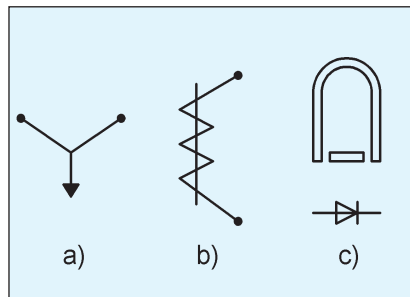
A régi időkben, amikor is az elektronika még csak nem régen lépett ki a tudósok laboratóriumainak ajtajain, de már épültek az első villamos erőművek, forró hangú vita kerekedett: egyen- vagy váltóáramot jobb-e adni a fogyasztóknak? A sok energiatermelő és szállító cégnek mind különbözőek voltak a közgazdasági érdekei. Az USA-ban a vita egészen addig fokozódott, hogy Edisonék a váltóáram veszélyeinek bemutatása érdekében egy nyilvános bemutató (állat)kivégzést tartottak, ahol is a villamosszékelt váltóáramra kötötték. Mindennek dacára a váltóáram győzött.

A váltóáram ellenfelei álláspontjai között szerepelt a bonyolult mérhetőség. Kétségteljes, ha egy fizikai mennyiség nagysága állandó, úgy könnyű azt megmérni. De mi van akkor, ha az folyamatosan és pláne nagy sebességgel változik?

A leginkább szembevetendő megoldásnak látszott megmérni a rezgés amplitúdóját, azaz a változó mennyiség legnagyobb értékét, de ez nem bizonyult jó megoldásnak. Kiderült, hogy ugyanaz az izzólámpa, amely egy adott egyenfeszültség-szinten fényesen világít, ugyanolyan amplitúdószintű váltóáramos táplálásnál csak közepesen fénylik.

Az effektív érték és mérőműszerei

Elkezdtek a különböző alakú feszültségeket (és áramokat) összehasonlítani az *effektivitásuk szögéből*: mekkora mechanikai munkát állít elő, mennyi hőt termel, mennyire világít tőle az izzó. A valamilyen alakú változó feszültség effektív, azaz munkavégzési értékeként olyan egyenfeszültség-szintet vagy egyenáram-áramerősségszintet állapítottak

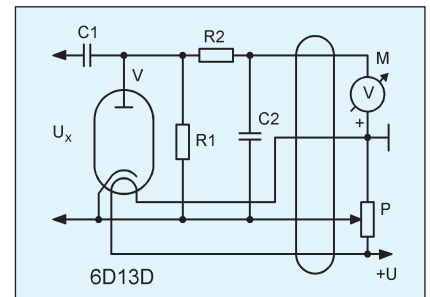


1. ábra

meg, amely átlagosan ugyanakora hőmennyiséget termel ugyanazon az aktív terhelésen.

Az első mutatóval ellátott, a váltófeszültség effektív értékét jelző műszerek éppen az áram hőhatása elvén működtek: egy nagyellenállású ötvözetből készült huzal a rajta átfolyó áram hatására elkezdett melegedni, a huzalnak megnőtt a hossza, ezáltal elmozdította a mutatót. Az ilyesfajta elven működő műszert az annak skálájára rajzolt, az **1.a ábrán** látható jelről lehet felismerni. Sajnos, a hőhuzalos műszereknek sok hátrányuk van, ami alkalmatlanná teszi azokat a pontos mérésekre. Így például az, hogy a mutatott érték függ a környezeti hőmérséklettől. Ezen hátrányok megszüntetése bonyolult és pénzigényes.

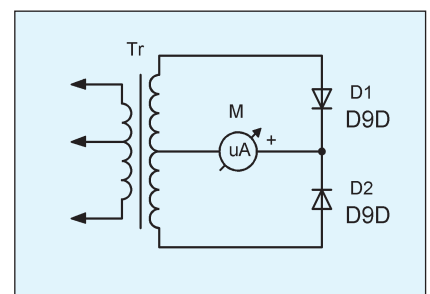
A Joule-törvénynek megfelelően, az aktív ellenállású terhelésen termelődő hő mennyisége a terhelésre adott feszültséggel négyzetesen arányos. Ahhoz, hogy megállapítsuk a váltófeszültség/áram effektív értékét, szükséges annak pillanatnyi értékét többször egymásután megmérni, ezeket az értékeket négyzetre emelni, átlagértéket számolni, majd ebből négyzetgyököt vonni. Ezért is gyakran nevezik az effektív értéket mértani középértéknek, ill. négyzetes középértéknek. Az angol szakirodalomban gyakran található *RMS* rövidítés (Root Me-



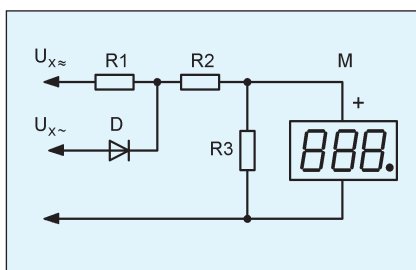
2. ábra

an Square) is ugyanezt a procedúrát jelenti. A modern, mikroprocesszoros műszerek (pl. hálózatanalizátorok, digitális szköpok) is ezt a procedúrát végzik el a mintavételezett adatokon, numerikus módszerekkel.

Mivel valamely elektromágnes vonzási ereje éppen a tekercsén átfolyó áram négyzetével arányos, kényelmes megoldást jelent ezen az elektromágneses elven effektív értéket mérő műszert építeni. Ezeket az ún. *lágvasas* műszereket az **1.b. ábra** szerinti jelöléssel látják el. A lágvasas volt- és ampermérőket széles körben használják az energetikában, ahol is ezek hátrányai (alacsony érzékenység, szűk alkalmazhatósági frekvenciasáv) nem bírnak nagy jelentőséggel. A skálájuk nonlinearitása (a skála eleje nyomott, a vége pedig erősen széthúzott) sokszor még kényelmesnek is bizonyul, ha a mérendő feszültség közel van a mutató végkitéréséhez rendelt értékhez, mert így a



3. ábra



4. ábra

kisebbs változások is jobban látszanak. (A szerkesztő megjegyzése: mivel ezek a műszerek rendkívül stabilak, korábban akár 0,1 pontosági osztályú, fénymutatós változatban is gyártották azokat, laboratóriumi mérésekhez. E műszerek általában a mágneses tasztítás elvén alapulnak: az áramátjárta tekercsben elhelyezett két lágyvas-alkatrész az azonos irányú felmágneseződés miatt tasztítja egymást.)

Ha ismerjük, hogy milyen függvény, illetve elv alapján változik valamely feszültség vagy áramerősség értéke, úgy nem kell mérés közben számítgatásokat végezni, ezeket előre is végbe lehet vinni. Példaként: egy szinuszosan változó mennyiség esetében annak effektív értéke az amplitúdó $1/\sqrt{2}$ -szerese, azaz $\approx 0,707$ -szerese. Így a szinuszos feszültséget mérő műszer skáláját már előre úgy lehet megrajzolni, hogy azon az effektív feszültségértékek szerepeljenek. Hasonló elven készültek a régi csöves, illetve az azokat kiváltó félvezető elektronikai nagyfrekvenciás feszültségmérő műszerek, amelyeknél az amplitúdódetektor a mérőszondában helyezkedik el.

Egy ilyen, csövmérőből származó áramköri részletet mutatunk be a 2. ábrán. A vákuumdiódát és a néhány passzív elemet közvetlenül a mérőszondába építik be, ami lehetővé teszi a mérés frekvenciatartományának jelentős kiszélesítését. A szondát egy kábellel kötik össze a voltmérő többi részével, amit a rajzon csak az M műszerként ábrázoltunk.

Maga a detektor lehetővé teszi a 100 V-nál is nagyobb feszültségek mérését. (Ma már ez félvezetődiódával is helyettesíthető. A szerk.) A detektor többi tagját az R1, R2, C2 alkatrészek jelentik.

A csöves detektor hátránya, hogy nulla bemeneti feszültség esetén a dióda anódja és katódja között egy kis szintű (kb. 1 V) negatív feszültség van. Ennek az az oka, hogy még az anódfeszültség hiánya esetében is a katód által kibocsátott elektronok közül a nagyobb energiával rendelkezők képesek elérni az anódot. Az így keletkező áram az R1 ellenálláson az említett feszültségesést hozza létre. Ennek kompenzálása érdekében a dióda katódjára ráadják a dióda stabilizált fűtőfeszültségének egy részét, ami ez esetben természetesen egyenfeszültség. Az ezt a célt szolgáló P potencióméter szintén a készülékhez előlapján van elhelyezve. A műszert ~ 1 V-os méréshatárba állítva a potit elforgatásával a műszer mutatóját ki lehet nullázni.

Az utóbbi időkben egyre szélesebb körben alkalmazzák az analóg-digitális átalakítókat (ADC) és ezek adatait feldolgozó mikrokontrollereket tartalmazó elektronikai mérőműszereket. A mikrokontrollerbe beégetjük a megfelelő algoritmust megtestesítő programkódot, és máris megkapjuk az eredményt digitális formában, amit vagy megjelenítünk egy kijelzőn, vagy további feldolgozásra elküldünk. Ezek az eszközök sokszor drágábbak, mint az analóg műszerek, de a jövő – sőt már a jelen is – kétség kívül az övék.

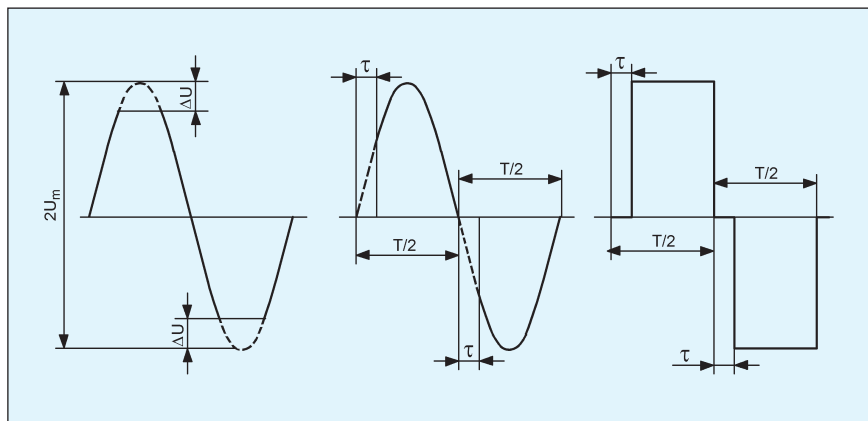
A középérték és mérése

Sokszor az effektív értékek helyett a váltakozó feszültség más értékét kell megmérni. Ilyen példá-

ul a kétoldalas egyenirányító kiemenetén megjelenő pulzáló jel egyenáramú összetevője, a jel középértéke. Ennek nagysága $2/\pi$ -szerese, azaz kb. 0,637-szerese a szinuszjel amplitúdójának, ami 1,11-szer kisebb annak effektív értékénél. Az univerzális kisfrekvenciás mérőműszerek (pl. multiméterek, AVO mértek) nem az effektív értéket, hanem ezt az egyenirányított középértéket mutatják, de a skálát úgy rajzolják meg, hogy végül a kijelzett érték „megszorozódik” az említett 1,11-es tényezővel – persze ismét csak szinuszos hullámformára vonatkoztatva.

Az ehhez a típushoz tartozó mutatós műszerekre az 1.c ábrán látható jelet szokták elhelyezni, amely azt szimbolizálja, hogy egy forgótkerceses, azaz Deprez mérőművel van dolgunk, amelynek áramkörében félvezető egyenirányító található. Példaképpen a C-4312 típ. univerzális „hidegműszer” (multiméter) egyenirányítójának kapcsolási rajzát mutatjuk be a 3. ábrán. A Tr transzformátor a mért mennyiség állandó összetevője hatásainak kiszűrésére szolgál (persze csak akkor, ha ez a komponens nem túl nagy és nem viszi a trafó vasmagját telítésbe). Ellenállás, illetve egyenáram mérésekor az M mikroampermérőt leválasztják az egyenirányítóról.

A diódák germánium alapanyagúak, melyeknek a szilíciumhoz képest egyenesebb a feszültség-áram karakterisztikájuk. Mindezzel együtt a váltóáramú, ill. -feszültségű skála észrevehető-

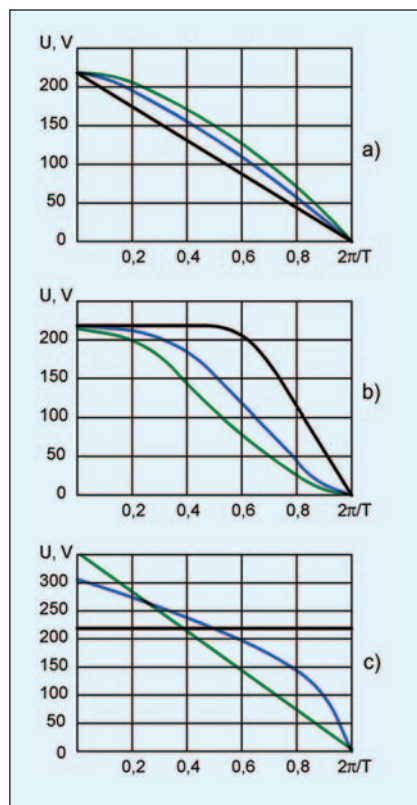


5. ábra

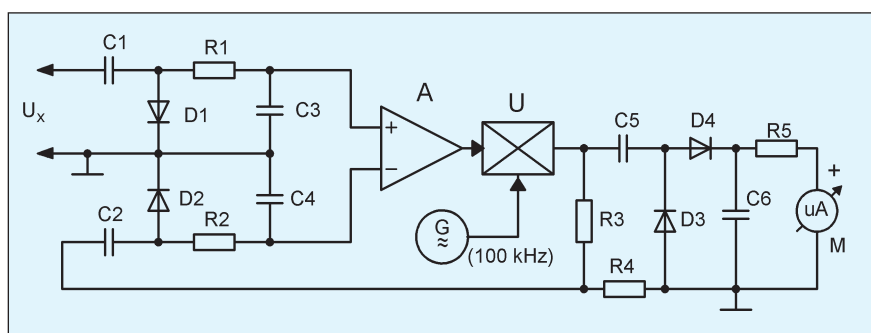
en nonlineáris. Hogy az egyenirányító nonlinearitását jobban figyelembe lehessen venni, egyes műszerekben két skálát is felrajzolnak: egyet a kisebb (1...3 V) feszültségek mérésére, egyet pedig a nagyobbakéra.

Nagyon egyszerű egyenirányítót használnak az M-830 és a hasonló olcsó hordozható digitális multiméterben a váltófeszültségek mérésére (4. ábra). Itt Mmel a multiméter ADC-jét szimbolizáltuk (ICL7106 vagy K572PV5 típusú IC), amely egy két-tűs integrátort és az LCD meghajtó fokozatát tartalmazza. Az egyenirányító rész csak az egyik félperiódusban működik, a kimeneten megjelenő egyenfeszültség szintje fele az egyenirányított feszültség középértékének. A szükséges korrekciót úgy érik el, hogy a dióda katódját R1-R2 közös pontjára kötik.

Maga a dióda kisfrekvenciás, szilícium anyagú (1N4007), jelentős áramtartalékokkal – ami a dióda jelentős visszaráma miatt – észrevehető mérési hibákat okozhat. A dióda megengedett fordított irányú feszültsége 1000 V,



6. ábra



7. ábra

ami a váltófeszültségű méréshatárt 750 V-ban szabja meg, bár a készülék többi áramköre lehetővé tenné az 1999 V-os érték mérését is. Érdekes, hogy a dióda karakterisztika egyenletlensége által okozott mérési hibák elhárítására még csak kísérletet sem tesznek, pedig ezek nagysága (néhány tized volt) nagyobb, mint a műszer felbontása (0,1 V) a ~200 V-os méréshatárban. Nem lehet véletlen hát, hogy ennél kisebb méréshatára nincs is a műszernek. Összefoglalva az előzőeket: nem szabad megbízni az ehhez hasonló műszerek által mutatott értékekben 10...20 V-os feszültség alatt, különösen akkor, ha a mérendő váltófeszültség frekvenciája kilohertzes tartományban van.

Azt is hangsúlyozni kell, hogy az effektív értékre megrajzolt skálájú, azonban gyakorlatilag egészen más mérő műszerek által mutatott értékek csak szinuszos jelforma esetében elfogadhatók. A jelforma bármilyen torzulása azonnal jelentős mérésihibanövekedéshez vezet!

Ha például a szinuszos jel az 5.a ábra szerint tetejét levágjuk (többnyire egy határoló fokozattal), úgy a vágási szint csökkentésével (azaz ΔU növelésével) a feszültség valós effektív értéke a 6.a ábrán kézzel rajzolt görbe szerint változik. Ugyanekkor az amplitúdó detektoros mérőműszer által mért érték a fekete görbe szerint alakul (kisebb értékeket mutat), az egyenirányított feszültség középértékét mutató műszeré pedig a zöld görbe szerint (nagyobb értékeket mutat).

A tirisztoros teljesítményszabályzóknál a fogyasztón eső feszültség alakja az 5.b ábrán látha-

tó formához hasonló. E feszültségek mérésekor a 6.b ábra szerinti eltérések tapasztalhatók. A 6.c ábra görbéinek felrajzolásakor az impulzusok amplitúdója 325 V, ugyanannyi, mint a 230 V effektív értékű szinuszjel csúcserőtelje, ezért a csúcserőteljmérő a kitöltési tényezőtől függetlenül mindenkor 230 V-ot fog mutatni. Nagy bekapcsolási késleltetések (azaz kis folyási szögek) esetében a különböző mérési eredmények között többszörös értékbeli különbségek lehetnek.

Az 5.c ábrán látható feszültségimpulzus-sorozat több különböző eszközben megtalálható, pl. egyes szünetmentes tápegységekben. Az impulzusok nagysága megfelel a 230 V effektív értékű szinuszjel csúcserőteljének (mintegy 325 V-nak), ezért a csúcserőteljmérő a kitöltési tényezőtől függetlenül mindenkor 230 V-ot jelez.

Ha egy bipoláris impulzusjelben $\tau = 0$, akkor a feszültség effektív értéke, csúcserőtelje és az egyenirányított középértéke egyenlő lesz. Így a korábban említett korrekciós tényezők jelenléte miatt az effektív értéket mérő műszer 325 V-ot, az egyenirányított középértékét mérő pedig 360 V-ot mutat!

Ha az impulzusok között szünet van, és ennek hossza megegyezik a periódusidő negyedével, akkor az impulzusfeszültség effektívértéke és az amplitúdója nagysága között ugyanaz az összefüggés áll fenn, mint a szinuszosnál. Az effektívértéket, illetve az amplitúdót mérő műszerek egyformán 230 V-ot mérnek. Ugyanakkor az egyenirányított feszültség középértékét mérő eszköz