



Miterli Zoltán

Aktív áramkörök mérése



A követelménymodul megnevezése:

Távközlési alaptervékenység végzése

A követelménymodul száma: 0908-06 A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-010-50



AKTÍV ÁRAMKÖRÖK MÉRÉSE

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön egy informatikai hálózatszerelő cég beosztottjaként gyakran foglalkozik aktív áramkörök (erősítőket) tartalmazó berendezések telepítésével, mérésével, minősítésével. A munkahelyére kezdő technikusok érkeztek. Ismertesse velük az aktív áramkörök mérésének módszereit, feladatokon keresztül mutassa be a fontosabb paraméterek mérési lehetőségeit. A mérések előtt tartson elméleti összefoglalót az aktív áramkörök jellemző paramétereiről!

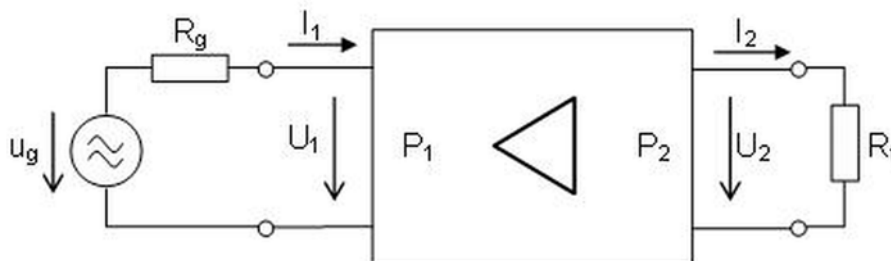
SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

AKTÍV ÁRAMKÖRÖK JELLEMZŐ PARAMÉTEREI

Ebben a tananyagelemenben az aktív áramkörök (erősítőket) **négypólusnak (1. ábra)** tekintve vizsgáljuk viselkedésüket, definiáljuk váltakozó áramú, dinamikus paramétereiket. Nem foglalkozunk az erősítő konkrét áramköri megvalósításával, az egy másik modul témaköre. A mérési feladatoknál a ma leggyakoribb, műveleti erősítős megoldások közül az alapkapcsolások jellemzőinek mérését ismertetjük.

Mit nevezünk négy pólusnak?

A négy pólus a bemeneti kapocspárra érkező villamos jelet valamilyen formában "feldolgozza", átalakítja és a kimeneti kapocspárra továbbítja.



1. ábra. Négy pólus villamos mennyiségeinek jelölése

AKTÍV ÁRAMKÖRÖK MÉRÉSE

A négy pólus bemenete az a kapocspár, amelyre a villamos jel érkezik az őt meghajtó fokozatból, vagy a jelforrásból. Jellemző villamos mennyiségeinek jelölése: P_1, U_1, I_1, R_1 .

A négy pólus kimenete az a kapocspár, amelyen a valamilyen formában átalakított villamos jel a következő fokozatra, vagy fogyasztóra jut. Jellemző villamos mennyiségeinek jelölése: P_2, U_2, I_2, R_2 .

A négy pólusok lehetnek aktívák, vagy passzívák. Aktív az a négy pólus, amely a kimenetén nagyobb teljesítményt ad le mint amennyit a bemenetén felvesz. Passzív az a négy pólus, amelynek kimeneti teljesítménye kisebb a bemenetén felvettnél.

Az erősítőt egy olyan aktív négy pólusnak tekintjük, amely a kimenetén nagyobb teljesítményt képes leadni, mint amennyit a meghajtó hálózattól felvesz.

1. Torzítások

1. Lineáris torzítások

Lineárisnak tekintjük azt az erősítőt, amelynek a bemeneti és kimeneti feszültségei, illetve áramai között a nagyságuktól független állandó kapcsolat adható meg.

Általában a bemeneti és kimeneti feszültség közötti kapcsolattal jellemezzük az erősítőt, mert a műszereinkkel is feszültséget mérünk. Azt a mennyiséget, amely leírja ezt a kapcsolatot, feszültségerősítésnek nevezzük: $\bar{A}_u = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1}$.

A feszültség erősítés egy komplex mennyiség, amely nem csak a kimeneti és bemeneti feszültség amplitudója közötti összefüggést adja meg, hanem a közöttük lévő fáziseltérést is. Ez azért fontos, mert az erősítőben lévő lineáris frekvenciafüggő elemek (kondenzátorok, tekercsek) miatt a kimeneti jel időfüggvénye eltérhet a bemeneti jelétől. Frekvencia tartománybani jellemzésnél ezt úgy is mondhatjuk, hogy a kimeneti jel spektruma valamiben eltér a bemeneti jel spektrumától.

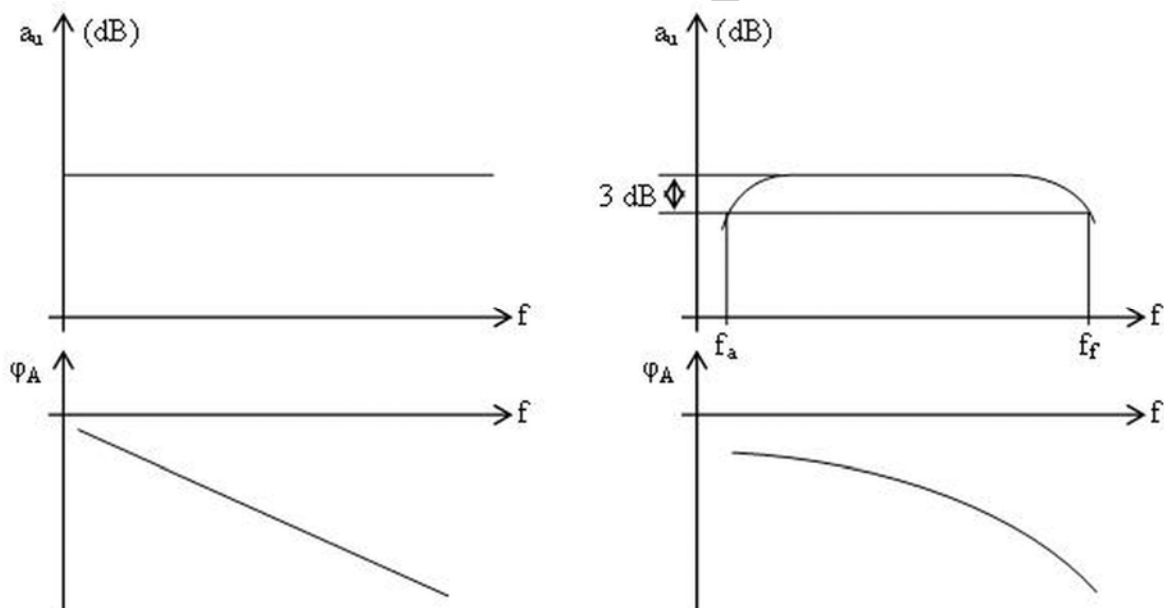
Az aktív négy pólus frekvenciafüggő viselkedése okozta jelalakváltozást lineáris torzításnak nevezzük.

A spektrum megváltozásának lehetséges okai:

a) Megváltozik a kimeneten a spektrum szinuszos összetevőinek egymáshoz viszonyított feszültsége. Ebben az esetben **amplitudótorzításról** beszélünk. Ezt az amplitudókarakterisztikával jellemezzük, amely a komplex mennyiségből a feszültségviszony frekvenciafüggését mutatja meg: $A_u = \frac{U_2}{U_1}$. Gyakran használjuk a logaritmikus ábrázolási módját is. Ekkor decibelben (dB) fejezzük ki a feszültségerősítést: $a_u = 20 \cdot \lg A_u = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$.

b) Megváltozik a kimeneten a spektrum szinuszos összetevőinek egymáshoz viszonyított fázishelyzete. Ez azt jelenti, hogy a különböző frekvenciájú szinuszos összetevőket a négypólus különböző mértékben késlelteti. Ilyen esetben **fázistorzításról** beszélünk. A fázistorzítást a fáziskarakterisztikával adjuk meg, amely a komplex mennyiségből a kimeneti és a bemeneti feszültségek fáziskülönbségének frekvenciafüggését mutatja meg: $\varphi_A = \varphi_{U_2} - \varphi_{U_1}$.

A 2. ábrán egy ideális és egy valóságos amplitudó- és fáziskarakterisztikát figyelhetünk meg.



2. ábra. Ideális és valóságos amplitudó- és fáziskarakterisztika

Nincs lineáris torzítás abban az esetben, ha a feszültségerősítés állandó értékű a frekvencia függvényében és a fáziskarakterisztika pedig frekvenciaarányos.

Az amplitudótorzítás mértékét úgy adjuk meg, hogy megmondjuk, mennyivel tér el az amplitudókarakterisztika az állandótól. Általában egy négypólus átviteli sávjának határain azokat a frekvenciákat értjük, ahol az amplitudótorzítás eléri a -3 dB-t. Az alsó és a felső határfrekvenciák különbsége az erősítő sávszélessége. Ez azt jelenti, hogy a feszültségerősítés lecsökkent az állandó érték kb. 70%-ára:

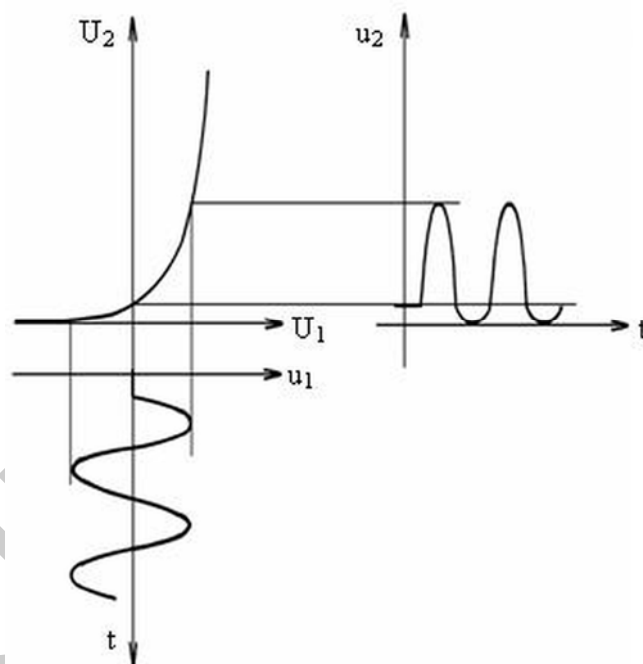
$$\Delta a_u = -3\text{dB} \rightarrow \Delta A_u = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 .$$

Ez az a határ hangátvitelnél, amely alatt a fülünk még a hang színezetében történő változást nem észleli.

A fázistorzítást mértékét megadhatjuk úgy, hogy megmondjuk a karakterisztika lineáristól való maximális eltérését az átviteli sávban. A fázistorzításra kevésbé érzékeny a fülünk hangátvitelnél.

2. Nemlineáris torzítások

Ha az erősítőnk transzfer karakterisztikája nem egyenes (3. ábra), akkor a bemenetre szinuszos jelet kapcsolva a kimeneti jel alakja nem szinuszos lesz, torzul. Ez előfordulhat például egy erősítő "B" osztályú munkapontban történő használata esetén.



3. ábra. Nemlineáris torzítás

Az erősítő úgy változtatta meg a bemeneti jel alakját, hogy a jelhez újabb szinuszos összetevőket adott hozzá. Ha egy nemlineáris transzfer karakterisztikával rendelkező erősítő bemenetére f frekvenciájú szinuszos feszültséget kapcsolunk, akkor a kimenetén megjelenő jelben megjelennek az $f_1=f$, $f_2=2f$, $f_3=3f$, általánosságban $f_n=nf$ frekvenciájú harmonikus összetevők.

Ha a bemenetre egy valóságos (nem szinuszos) jelet kapcsolunk, akkor a kimeneten a jel minden spektrális összetevőjének megjelennek a felharmonikusai is. Az ebből adódó torzítást **harmonikus torzításnak** nevezzük.

A harmonikus torzítás nagyságát úgy adjuk meg, hogy megadjuk a harmonikus összetevők feszültségét az eredeti összetevő feszültségéhez képest.

A harmonikus torzítási tényező: $k_h = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$, ahol U_1 az eredeti összetevő

(alapharmonikus) effektív feszültsége, a számlálóban pedig a káros felharmonikustartalom effektív feszültsége.

A harmonikus torzítási tényezőt megadhatjuk %-ban is: $k_h = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%$,

vagy számolhatunk vele decibelben: $20 \cdot \lg k_h$.

Hangátvitelnél a harmonikus torzítás az amúgy is jelen lévő felharmonikusok nagyságát növeli, ezért fülünk számára kevésbé zavaró. Mérték a maximális kimeneti jelszintnél adják meg, hangátvitelnél 1 kHz-es jellel mérve. A $k_h=0,003$ értékű torzítást már füllel is észleljük, $k_h=0,1$ esetén már nagyon zavaró.

Ha az erősítő bemenetére két, eltérő frekvenciájú szinuszos jelet kapcsolunk, akkor a kimeneten a harmonikus összetevők mellett megjelennek ún. kombinációs frekvenciájú ($|f_1 + f_2|$, összeg és $|f_1 - f_2|$, különbség) szinuszos összetevők is. Az ebből adódó jelalaktorzulást **intermodulációs torzításnak** nevezzük.

Az intermodulációs torzítás nagyságát úgy adjuk meg, hogy megadjuk a kombinációs frekvenciájú összetevők feszültségét az eredeti összetevők feszültségéhez képest.

Az intermodulációs torzítási tényező: $k_m = \frac{\sqrt{U_{f_1+f_2}^2 + U_{f_1-f_2}^2}}{\sqrt{U_{f_1}^2 + U_{f_2}^2}}$.

Az intermodulációs torzítás nagysága függ a bemenetre adott szinuszos jelek nagyságától és frekvenciájuk értékétől is. Hangátvitelnél $f_1=100$ Hz, $f_2=8$ kHz és $U_1:U_2=4:1$ jellemzőjű szinuszos jelekkel mérnek.

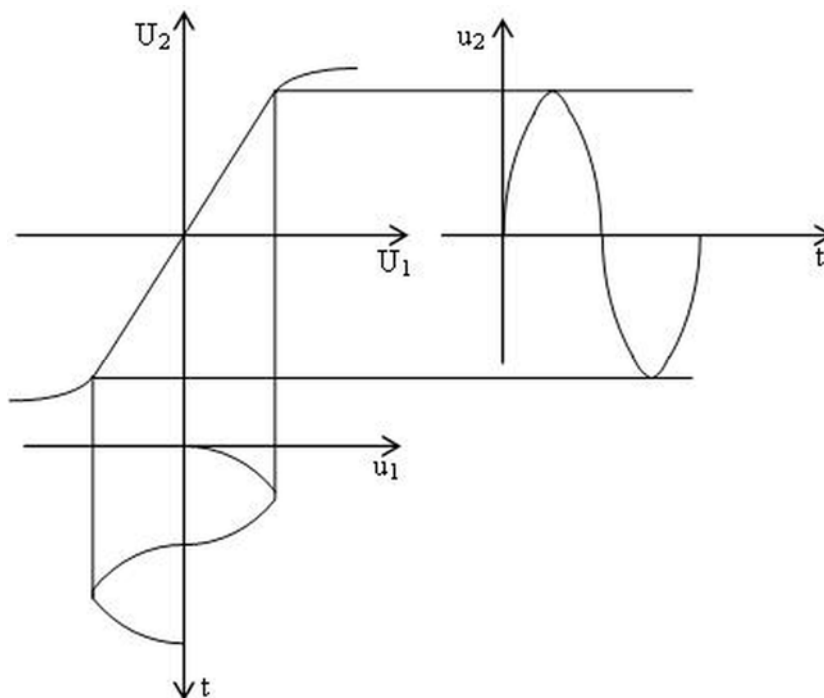
Az intermodulációs torzítás miatt megjelenő kombinációs frekvenciájú hangoknak zeneileg semmi közük az eredetiekhez (idegen frekvenciák, nem egész számú többszörösök). Már kis mértékű jelenlétük is jelentősen módosítja a hangzást, $k_m=0,01$ értékű torzítás már füllel észrevehető.

2. Az erősítő kivezélhetősége

Mint a torzításoknál már megemlítettük, egy erősítő akkor lineáris, ha a bemeneti és kimeneti feszültségei között a nagyságuktól független állandó kapcsolat adható meg. Egy valóságos erősítőnél ez csak bizonyos korlátok között igaz.

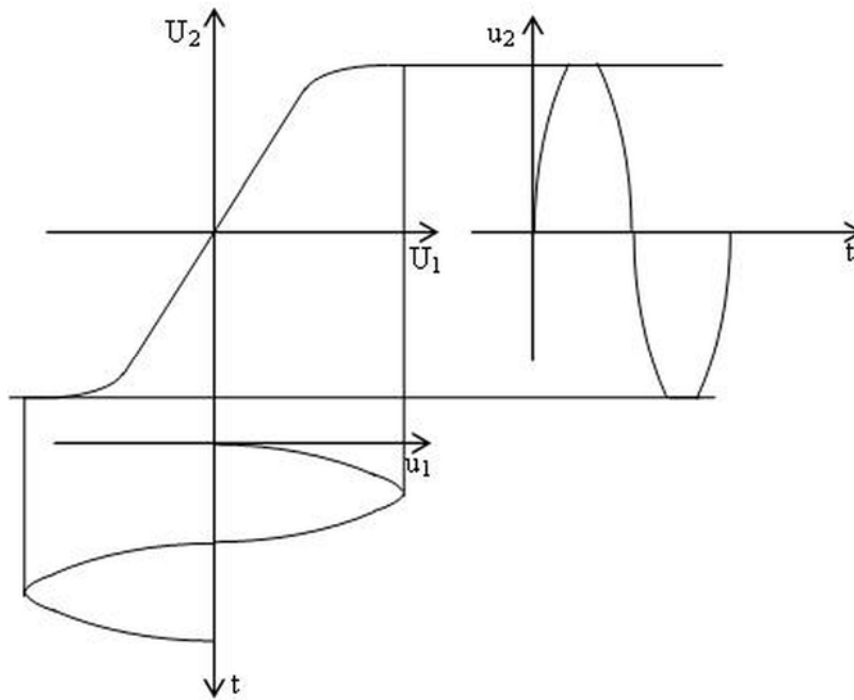
Egy erősítő maximális kivezérelhetőségén azt a maximális bemeneti szinuszos feszültséget értjük, ahol a kimeneti feszültség még nem torzul, alakja szinuszos lesz.

A kivezérelhetőséget az erősítő munkapontbeállítási módja és a tápfeszültség értéke korlátozza. A ma használatos műveleti erősítők esetében általában a maximális kimeneti feszültség: $\pm|U_t| - (2\dots3)V$. A kivezérelhetőséget legszemléletesebben a transzfer karakterisztika mutatja (4. ábra). Ha a transzfer karakterisztika lineáris szakaszán üzemel az erősítő, akkor a kimeneti jel nem torzul.



4. ábra. Transzfer karakterisztika torzítatlan kimeneti jellel

Ha a bemeneti jel meghaladja a kivezérelhetőség határát, akkor a kimeneten a jel torzulni fog (5. ábra).



5. ábra. Transzfer karakterisztika torzított kimeneti jellel

A kivezérelhetőséget sávközépi frekvencián mérjük. Hangátviteli rendszereknél ez általában 1 kHz-es szinuszos jel.

3. Az erősítő feszültségerősítése és annak frekvenciafüggése

A torzítások tárgyalásánál már leírtuk, hogy a feszültségerősítés definíciója: $\bar{A}_u = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1}$.

A komplex mennyiséget két részre bontjuk. A kimeneti és a bemeneti feszültség effektív értékének hányadosát és annak frekvenciafüggését az amplitudó karakterisztikávak adjuk meg:

$$A_u = \frac{U_2}{U_1}.$$

A kimeneti és a bemeneti feszültség fázisának különbségét és annak frekvenciafüggését a fáziskarakterisztikával jellemezzük: $\varphi_A = \varphi_{U_2} - \varphi_{U_1}$.

A frekvenciafüggést az erősítő belső kapacitásai és az esetleges csatoló kondenzátorok (AC erősítő esetén) okozzák.

A feszültségerősítést és annak frekvenciafüggését megadhatjuk a kimenet terhelése nélkül (üresjárásban), vagy adott üzemi lezárás mellett.

4. Az erősítő üzemi bemeneti impedanciája

Az erősítő üzemi bemeneti impedanciája: $Z_1 = \frac{u_1}{i_1}$. Az erősítő frekvencia független (sávközépi) tartományában ohmos ellenállás. Az erősítő kimenetén az üzemi viszonyoknak megfelelő terhelés van.

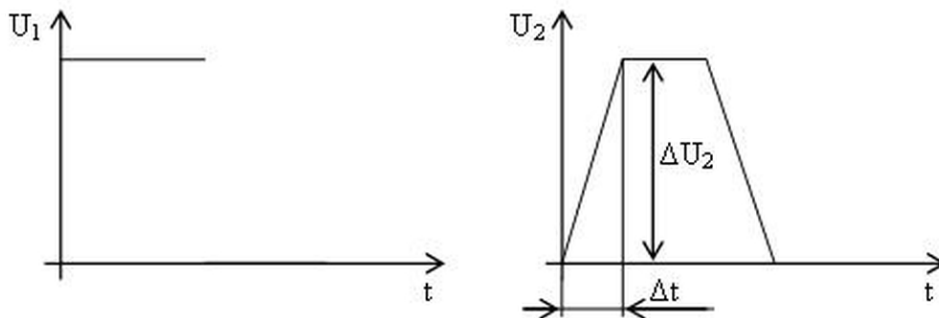
Ismerete nagyon fontos, az erősítő váltakozó áramú vezérlésnél ekkora "terhelő ellenállást" jelent az őt meghajtó fokozatnak, vagy generátornak.

5. Az erősítő üzemi kimeneti impedanciája

Az erősítő üzemi kimeneti impedanciája: $Z_2 = \frac{u_{2ü}}{i_{2r}}$. Az erősítő frekvencia független (sávközépi) tartományában ohmos ellenállás.

6. Jelváltozási sebesség (Slew rate, S.R.)

Az erősítő kimenetén megadja az egységnyi idő alatti feszültségváltozás mértékét: $S.R. = \frac{\Delta U_2}{\Delta t}$. A jelváltozási sebességet nagyjelű üzemben, közel a maximális kivezérelhetőséghez mérjük. Az erősítő bemenetére ilyenkor négyszögjelet kapcsolunk és a kimenetre oszcilloszkópot kötve határozzuk meg a jelváltozási sebesség értékét (6. ábra).



6. ábra. Jelváltozási sebesség meghatározása

AKTÍV ÁRAMKÖRÖK MÉRÉSE

Az erősítő jellemző paramétereinek ismertetése után mérésük különböző módszereit vesszük sorra.

A mérési elvek előtt ismerkedjünk meg azokkal a leggyakrabban alkalmazott műszerekkel, amelyek a váltakozó áramú méréseknél használatosak.

Mivel méréseinket többnyire szinuszos jellel végezzük, ezért elsősorban szinuszos váltakozófeszültségek effektív értékének mérésére készítenek műszereket. A műszerek – felépítésüktől függően – mérhetik a szinuszos jel átlagértékét, csúcsertékét (ezek a hagyományos analóg műszerek) vagy az effektív értékét (ma már szinte kivétel nélkül digitális és elég drága eszközök). A kijelzés vagy a skála viszont úgy van elkészítve, hogy a feszültség effektív értékét olvashatjuk le.

Kis feszültségértékek mérésére a hangfrekvenciás tartományban már csak a nagy érzékenységű elektronikus (hálózatról üzemelő) műszerek alkalmasak, amelyek akár 1 mV – 300 V tartományban is megfelelő pontossággal működnek. A bemeneti impedanciájuk legalább 1 M Ω nagyságú, a jobbak akár 20 M Ω -os bemeneti impedanciával is rendelkeznek. A pontosabb leolvasást elősegítő tükörreflexes skálák egyes és hármas végkitéréssel készülnek, a méréshatárok is ennek megfelelően változtathatók. A 7. ábrán egy, az oktatásban gyakran előforduló magyar gyártmányú műszer előlapi képét láthatjuk.



7. ábra. AC voltméter

A mérések elengedhetetlen eszköze a váltakozó áramú jelgenerátor, amely a négypólusra kapcsolt szinuszos vizsgálójel forrása.

Milyen alapvető szolgáltatásai vannak egy jelgenerátornak:

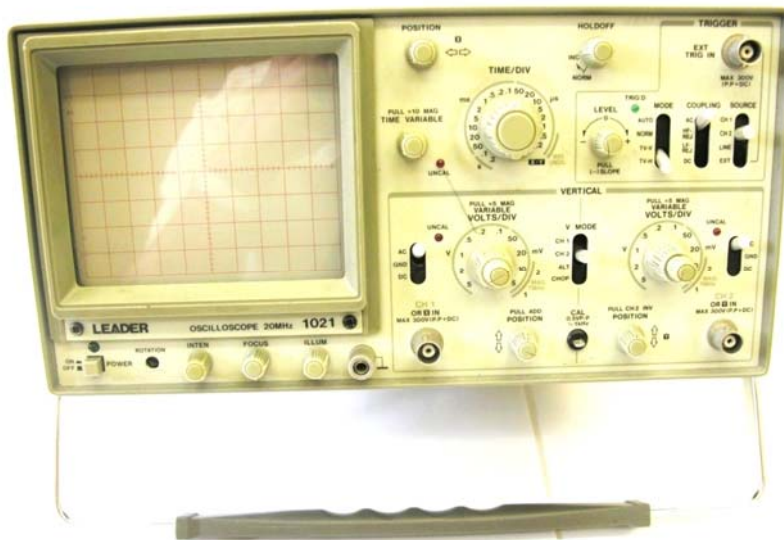
- rendelkezik frekvenciaskálával vagy belső frekvenciamérő egységgel,
- a jel frekvenciatartománya széles frekvenciatartományban szabályozható (általában dekadikus lépésekben és azon belül folyamatosan),
- a kimeneti jel feszültsége folyamatosan állítható,
- a kimeneti impedancia állandó és minél kisebb kell, hogy legyen.

A 8. ábrán egy ESCORT gyártmányú un. hullámforma generátor előlapjának képét és kezelőszerveit figyelhetjük meg. Ez nem csak szinuszos, hanem háromszög és négyszög formájú jelek előállítására is alkalmas. Az analóg kimenet impedanciája 50 Ω és maximálisan 10 V-os feszültség leadására alkalmas.



8. ábra. Hullámforma generátor

A váltakozó áramú hálózatok vizsgálatának harmadik leggyakoribb eszköze az oszcilloszkóp. Általánosságban alkalmas periodikus jelek feszültségjellemzőinek (impulzus amplitudó, csúcstérték) és időtartománybeli jellemzőinek (periódus idő, impulzus idő, fel- illetve lefutási idő) mérésére. A legtöbb oszcilloszkóp két bemeneti csatornával készül összehasonlító mérések céljából. A 9. ábrán egy két bemeneti csatornával rendelkező oszcilloszkóp előnézetét láthatjuk a kezelőszervekkel.

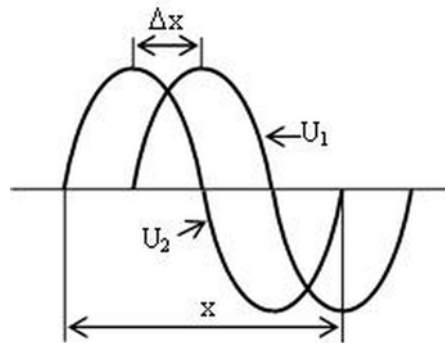


9. ábra. Oszcilloszkóp

A képernyőn egyszerre megjelenítve a két csatornára kapcsolt jelet lehetőségünk van a két, azonos frekvenciájú jel közötti fáziseltérés meghatározására. Ezt a lehetőséget az erősítő fáziskarakterisztikájának mérésénél is alkalmazzuk.

Az egyik csatornára a bemeneti feszültségét, a másikra a kimeneti feszültséget kapcsoljuk. A jelek két azonos fázisú pontjának (célszerűen a csúcspontok) távolságát (Δx) és a jel egy periódusát (x) leolvasva a fáziseltérés egy egyszerű aránypárból számítható: $\varphi_A = \frac{\Delta x}{x} \cdot 360^\circ$

(10. ábra). A fáziseltérés előjele az ábrából is láthatóan akkor lesz pozitív, ha a kimeneti feszültség siet a bemeneti feszültséghez képest. A mérésnél a két jelet közel egyforma nagyságúra és minél nagyobbra állítsuk. A vízszintes eltérést is úgy szabályozzuk, hogy az x és Δx szakaszokat minél nagyobb méretben tudjuk leolvasni.



10. ábra. Fáziseltérés meghatározása

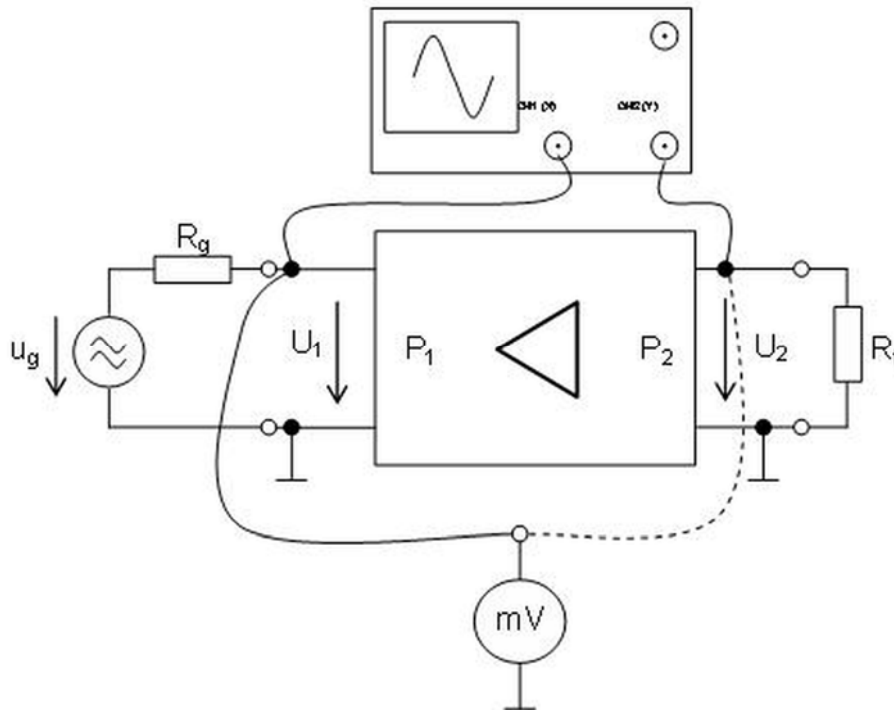
1. Az erősítő kivezérelhetőségének mérése

A kivezérelhetőség méréséhez két módszert is ismertetünk. A mérést sávközépi frekvencián (1 kHz-es szinuszos jellel) végezzük el.

a) Kivezérelhetőség mérése feszültségméréssel.

A mérés tömbvázlatát a 11. ábrán láthatjuk. Az erősítő bemenetére kapcsolva a jelgenerátort addig növeljük feszültségét, amíg a kimeneti jel szinuszos alakja nem torzul. Az oszcilloszkópon szemmel látható torzulás kb. 3-5%-os harmonikus torzítási tényezőnek felel meg.

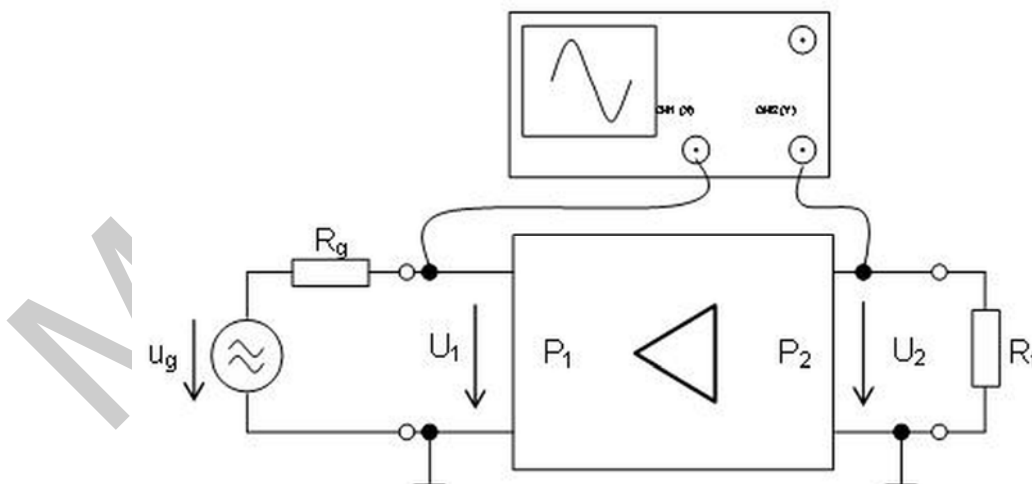
A feszültségmérőt a bemenetre, illetve a kimenetre csatlakoztatva leolvashatjuk a maximális kivezérelhetőséghez tartozó feszültségek effektív értékeit.



11. ábra. Kivezérelhetőség mérése feszültségméréssel

b) Kivezérelhetőség mérése a transzfer karakterisztika felvételével

A 4. és az 5. ábrán már láthattuk a mérési módszerhez tartozó függvényeket. A mérés tömbvázlatát a 12. ábra mutatja.



12. ábra. Kivezérelhetőség mérése a transzfer karakterisztika felvételével

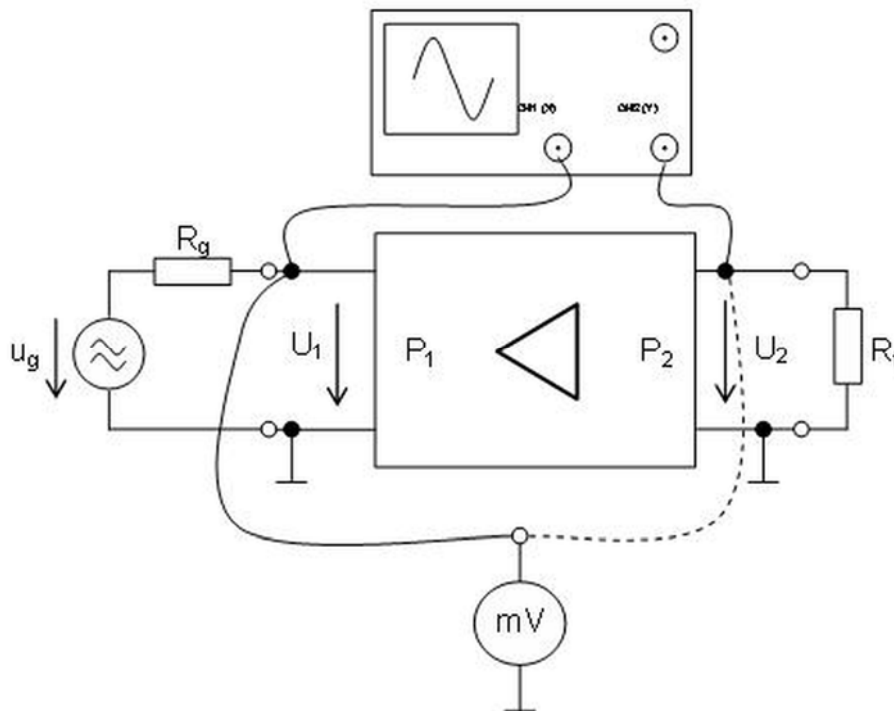
A bemeneti feszültséget az oszcilloszkóp vízszintes eltérítő lemezpárjára (X), a kimeneti feszültséget pedig a függőleges eltérítő lemezpárra (Y) kötjük. A bemeneti feszültséget addig növeljük, amíg a transzfer karakterisztika a kimeneti jel torzulása miatt görbülni kezd.

Az oszcilloszkóp képernyőjén jól látható a határolás is, ha tovább növeljük a bemeneti feszültséget. A két csatorna bemeneti érzékenységét a lehető legnagyobb beállítva leolvashatjuk a maximális kivezérelhetőséghez tartozó bemeneti, illetve a kimeneti feszültségek csúcstól csúcsig vett értékeit.

2. A feszültségerősítés és annak frekvenciafüggésének mérése

A mérést a definíció alapján tudjuk elvégezni: $A_u = \frac{U_2}{U_1}$. Adott kimeneti üzemi lezárás (R_t)

mellett mérjük a bemeneti feszültség hatására létrejövő kimeneti feszültséget. A mérést mindig kisjelű vizsgálatként kell elvégezni. Ez azt jelenti, hogy a kimeneti feszültség értéke a kivezérelhetőségnél megállapítottnál jóval kisebb legyen. Például, ha a $U_{2\max}=10$ V, akkor U_2 legyen 1 V. A bemeneten és a kimeneten is mindig használjuk az oszcilloszkópot a jelalak megfigyelésére. A mérés tömbvázlatát a 13. ábrán követhetjük végig.



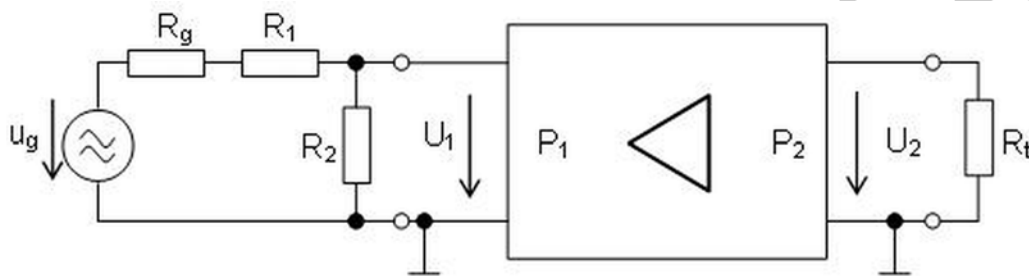
13. ábra. A feszültségerősítés és annak frekvenciafüggésének mérése

Minden erősítőjellemző, így a feszültségerősítés is frekvenciafüggő. Mind az amplitudóviszony, mind a fáziskülönbség változik a frekvencia függvényében.

Először természetesen a sávközépi feszültségerősítést kell meghatározni. Sávközépen a nulla, vagy a -180° fáziskülönbségű frekvenciatartományt értjük, amelyből célszerűen meghatározott frekvencián mérünk. Ez hangátvitelnél általában 1 kHz.

A mérés megkezdése előtt ajánlatos meggyőződni arról is, hogy a jelgenerátorunk kimeneti üresjárású feszültsége állandó értékű marad-e, miközben frekvenciáját változtatjuk. Ha változik a kimeneti feszültsége, akkor minden frekvenciaállítás után a feszültségmérővel ellenőrizzük le a bemeneti feszültség állandóságát, és szükség esetén állítsuk újra be a generátort.

Nagy erősítésű áramköröknél problémát okozhat az is, hogy kis értékű (mV-os) feszültséget kellene az erősítő bemenetére a generátornak adni, amely nehezen állítható be. Ebben az esetben alkalmazható a 14. ábrán látható megoldás. A generátor és az erősítő közé egy ellenállásosztót teszünk, amely a kívánt mértékben leosztja a generátor kimeneti feszültségét.



14. ábra. Kis bemeneti feszültség előállítás ellenállásosztóval

Az ellenállások arányát a szükséges leosztás mértéke, az ellenállások értékét az előírt generátor ellenállásból határozhatjuk meg. Az erősítő bemeneti oldaláról számított ellenállás: $R_{g'} = R_2 \times (R_1 + R_g)$. Ha R_2 sokkal kisebb, mint R_1 , akkor ez megegyezik R_2 értékével.

A feszültségerősítés frekvenciafüggéséhez az amplitúdó- és a fáziskarakterisztikát egyszerre vesszük fel. A fáziskülönbség mérésének módját a kétcsatornás oszcilloszkóppal már a 10. ábrán bemutattuk.

A mérést mindig a sávközépi frekvenciákon kezdjük, hiszen az itt mért értékekhez viszonyítunk. Ezen frekvenciáktól csökkenő, majd növekvő irányban mérjük az átvitelt.

A mérési tartomány meghatározásához először megmérjük a határfrekvenciákat. A generátor frekvenciáját változtatva megkeressük azokat az értékeket, ahol az erősítés csökkenése a sávközépen mért értékhez képest: $\Delta A_u = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$. Ha logaritmus viszonyban

(decibelben) mérünk, akkor ez -3 dB-es változást jelent.

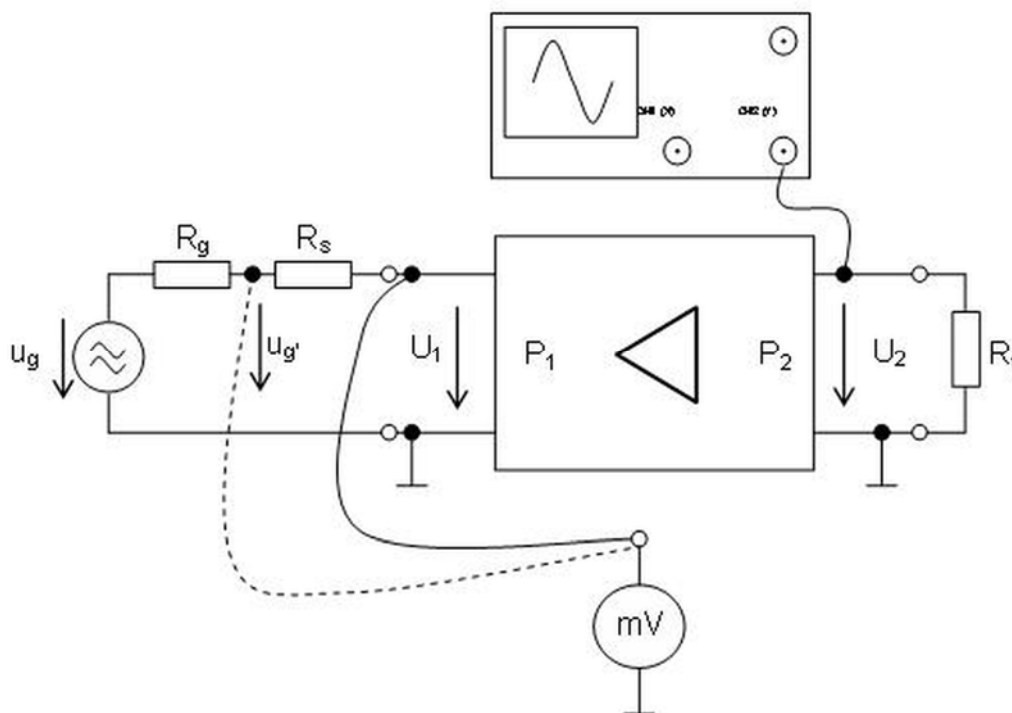
Az így kapott frekvenciák különbsége az erősítő sáv szélessége is lesz egyben. A mérési tartományt érdemes oktávokra felosztani, így könnyebb lesz az amplitúdó- és fáziskarakterisztika ábrázolása.

3. Az erősítő üzemi bemeneti impedanciájának mérése

Az erősítő üzemi bemeneti impedanciája: $Z_1 = \frac{u_1}{i_1}$. Az erősítő frekvencia független (sávközépi) tartományában ohmos ellenállás. Az erősítő kimenetén az üzemi viszonyoknak megfelelő terhelés van.

A bemeneti ellenállás mérését is mindig kisjelű vizsgálatként kell elvégezni, sávközépi (1 kHz-es frekvencián).

A mérési elrendezést a 15. ábra mutatja.



15. ábra. Bemeneti ellenállás mérése

Az ellenállásmérést feszültségmérésre vezetjük vissza. A bemenettel sorba kapcsolunk egy ismert értékű R_s ellenállást. Ez az erősítő bemeneti ellenállásával egy feszültségosztót alkot. Merve az osztó bemenetére kerülő $u_{g'}$ és az erősítő bemenetére jutó U_1 feszültséget, az erősítő bemeneti ellenállása meghatározható:

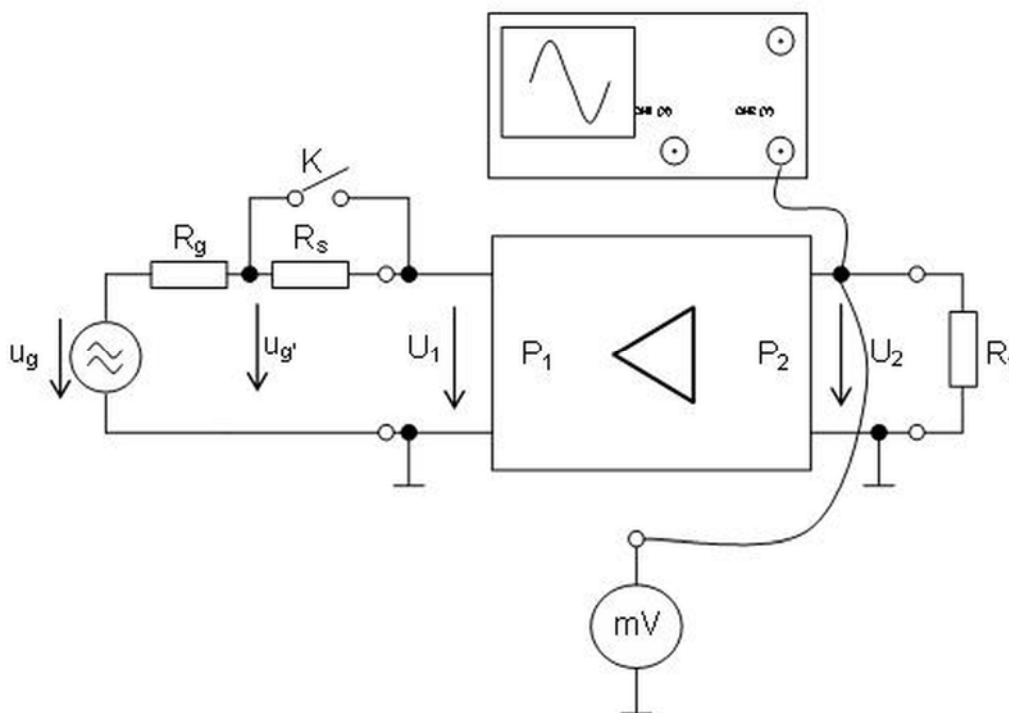
$$U_1 = u_{g'} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_s}, \text{ ebből } R_1 = R_s \cdot \frac{U_1}{u_{g'} - U_1}.$$

R_s értékét úgy válasszuk meg, hogy a várható bemeneti ellenállás értékével azonos nagyságrendű legyen, ebben az esetben mérünk a legkisebb hibával!

Az oszcilloszkóp segítségével a kimeneti jelet figyelve mindig ellenőrizzük, hogy szinuszos jelet mérünk.

A mérést dekádellenállással is elvégezhetjük. R_s helyére a dekádellenállást beiktatva addig változtatjuk értékét, amíg az erősítő bemenetére jutó feszültség: $U_1 = \frac{u_{g'}}{2}$ lesz. Ekkor a dekádellenállásról közvetlenül az erősítő bemeneti ellenállását olvashatjuk le.

Ha az erősítő bemeneti ellenállása nagy (100 k Ω1 M Ω nagyságrendű), akkor a vele párhuzamosan kapcsolódó műszer belső ellenállása számottevő hibát okozhat. Ebben az esetben a 16. ábrán látható mérési módszert alkalmazhatjuk.



16. ábra. Nagy bemeneti ellenállás mérése

Most is egy feszültségosztót mérünk, hiszen a lineáris tartományban a kimeneti feszültség mindig a bemeneti A_u -szorosa. A kapcsoló zárt állásában a kimeneten $A_u \cdot u_{g'}$ feszültséget, a kapcsoló nyitott állásában pedig $A_u \cdot U_1$ feszültséget mérünk. A bemeneti ellenállás értékét az előbbi összefüggés szerint számíthatjuk ki:

$$R_1 = R_s \cdot \frac{A_u \cdot U_1}{A_u \cdot u_{g'} - A_u \cdot U_1} .$$

Célszerű akkor is ezt a mérési módszert alkalmazni, ha a feszültségmérőnk kis érzékenységgű. Ebben az esetben a bemeneti kis feszültségek pontatlan mérése helyett az erősítő kimenetén mérve pontosabb eredményre jutunk.

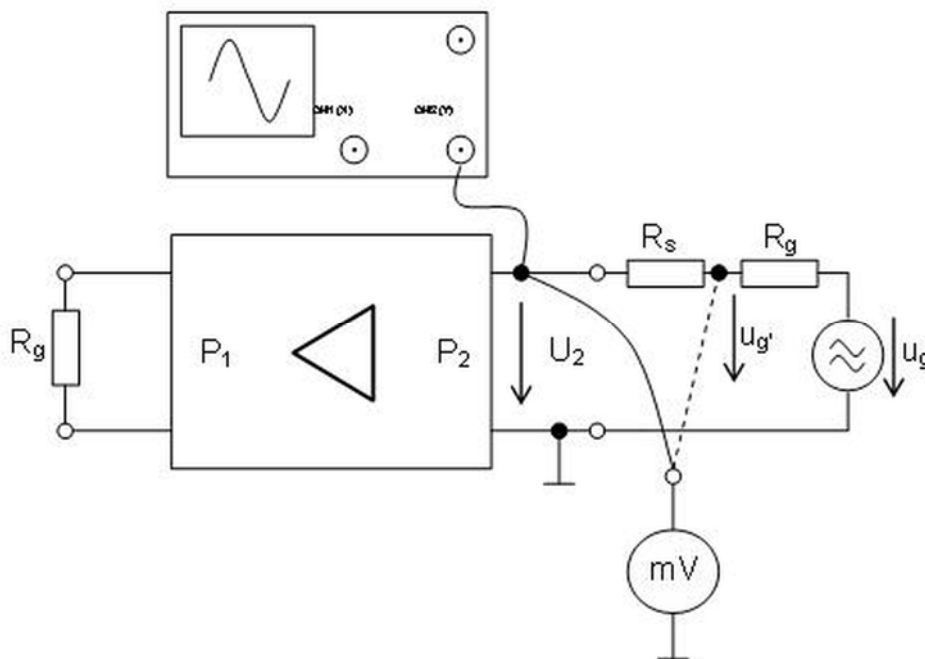
4. Az erősítő üzemi kimeneti impedanciájának mérése

Az erősítő üzemi kimeneti impedanciája: $Z_2 = \frac{u_{2\dot{u}}}{i_{2r}}$. Az erősítő frekvencia független (sávközépi) tartományában ohmos ellenállás.

A kimeneti ellenállást a definíció alapján nem lehet mérni. Az erősítők általában feszültséggenerátoros kimenettel rendelkeznek. Ha kimenetüket rövidre zárnánk (a rövidzárási áram méréséhez), akkor károsodnának.

A kimeneti ellenállás meghatározását szintén feszültség mérésre vezetjük vissza. Értékének megállapítására két módszert is ismertetünk.

a) Ha az erősítő kimenete feszültséggenerátoros jellegű, akkor a bemenetén nem vezérelt erősítő kimenete R_2 értékű, passzív ellenállással modellezhető. Ennek értéke a bemeneti ellenállás mérésénél ismertetett feszültségosztós módszerrel meghatározható (17. ábra).



17. ábra. Kimeneti ellenállás mérése

Az erősítő kimenetére akkora feszültség kerülhet, hogy az torzítatlan, szinuszos maradjon. Ezt oszcilloszkóppal ellenőrizhetjük.

A kimeneti ellenállás mérését is mindig kisjelű vizsgálatként kell elvégezni, sávközépi (1 kHz-es frekvencián).

Mérve az így kialakított osztó bemenetére kerülő $u_{g'}$ és az erősítő kimentén lévő U_2 feszültséget, az erősítő kimeneti ellenállása meghatározható:

$$U_2 = u_{g'} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_s}, \text{ ebből } R_2 = R_s \cdot \frac{U_2}{u_{g'} - U_2} .$$

R_s értékét úgy válasszuk meg, hogy a várható kimeneti ellenállás értékével azonos nagyságrendű legyen, ebben az esetben mérünk a legkisebb hibával!

A mérést dekádellenállással is elvégezhetjük. R_s helyére a dekádellenállást beiktatva addig változtatjuk értékét, amíg az erősítő kimenetére jutó feszültség: $U_2 = \frac{u_{g'}}{2}$ lesz. Ekkor a dekádellenállásról közvetlenül az erősítő kimeneti ellenállását olvashatjuk le.

Az erősítő bemenetén látható R_g ellenállás az üzemi lezárás miatt van, a kimeneti ellenállás elvileg mindig függ a bemeneti oldal lezárásától is. A gyakorlatban a legtöbb erősítő nem "átlátszó", vagyis R_g nagysága nem befolyásolja R_2 értékét.

b) Az erősítő kimeneti ellenállása meghatározható a kimenet üresjárási feszültségéből és a kimenetre kapcsolt ismert ellenálláson mért feszültségéből is (18. ábra).

Gyakorlatilag most is egy feszültségosztót hoztunk így létre. Először megmérjük az erősítő kimeneti feszültségét üresjárásban ($U_{2ü}$). Majd a kimenetre az ismert értékű ellenállást csatlakoztatva mérjük a kimeneti feszültséget (U_2).

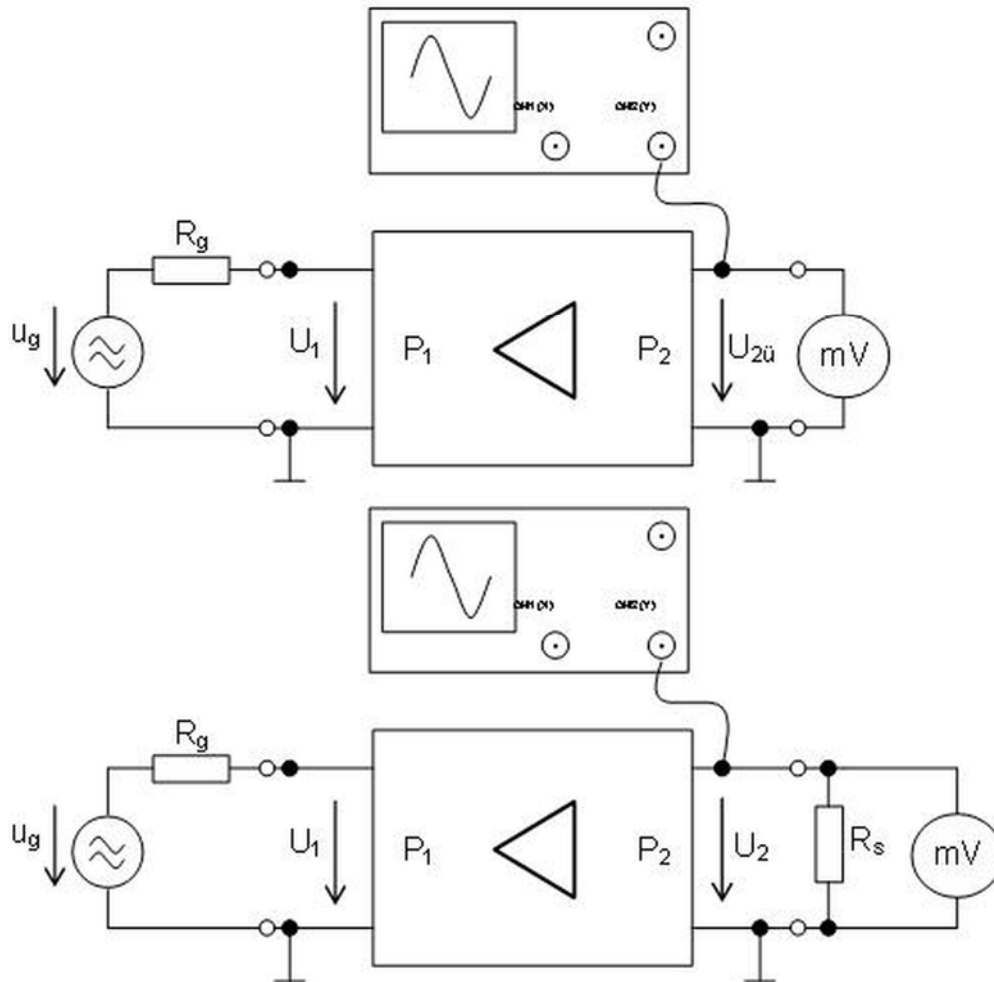
A feszültségosztó képletéből a kimeneti ellenállás értéke meghatározható:

$$U_2 = U_{2ü} \cdot \frac{R_s}{R_2 + R_s}, \text{ ebből } R_2 = R_s \cdot \frac{U_{2ü} - U_2}{U_2} .$$

R_s értékét úgy válasszuk meg, hogy a várható kimeneti ellenállás értékével azonos nagyságrendű legyen, ebben az esetben mérünk a legkisebb hibával!

A mérést dekádellenállással is elvégezhetjük. R_s helyére a dekádellenállást beiktatva addig változtatjuk értékét, amíg az erősítő kimenetére jutó feszültség: $U_2 = \frac{u_{2ü}}{2}$ lesz. Ekkor a dekádellenállásról közvetlenül az erősítő kimeneti ellenállását olvashatjuk le.

Az oszcilloszkóp segítségével ellenőrizzük, hogy a jelalak ne torzuljon a mérés ideje alatt.



18. ábra. Kimeneti ellenállás mérése

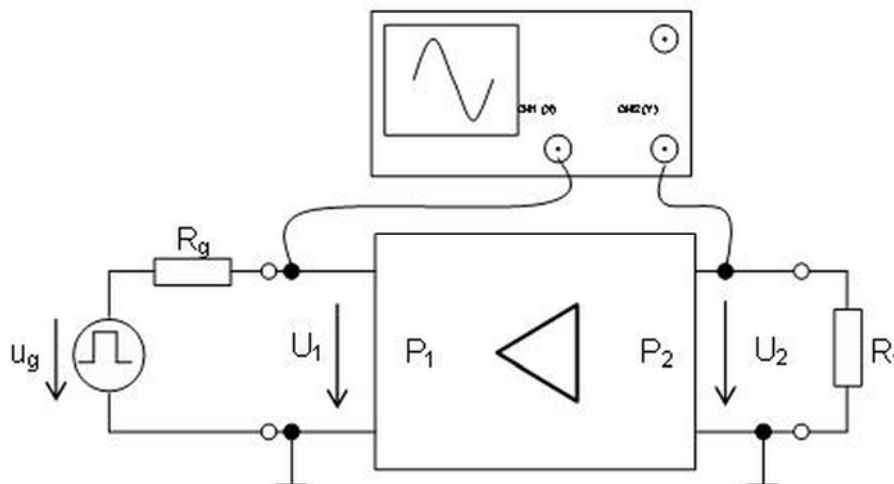
5. Jelváltozási sebesség (Slew rate, S.R.) mérése

A jelváltozási sebességet nagyjelű üzemben, közel a maximális kivezérelhetőséghez mérjük. Az erősítő bemenetére ilyenkor négyszögjelet kapcsolunk és a kimenetre oszcilloszkópot kötve határozzuk meg a jelváltozási sebesség értékét (19. ábra).

A hullámforma generátor kimenetén akkora feszültséget állítsunk be, hogy az erősítő kimenetén a maximális kivezérelhetőség határán legyünk.

Az oszcilloszkóp kalibrált bemeneti osztóinak segítségével leolvassuk a maximális amplitudóváltozáshoz tartozó feszültséget és időtartamot, ebből a jelváltozási sebesség

$$\text{számítható: } S.R. = \frac{\Delta U_2}{\Delta t} .$$



19. ábra. Jelváltozási sebesség mérése

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Az elemi számolási készség és mennyiségérzék kialakulásához sok feladat megoldásán keresztül vezet az út. Ezekből néhányat az önellenőrző feladatoknál megtalálhatunk. Ha elakadunk a feladat megoldásában, akkor térjünk vissza az adott elméleti anyag részhez és újra ismételjük át a tudnivalókat.

Ha rendelkezésünkre áll az Internet, a különböző alkatrészgyártó- illetve forgalmazó cégek honlapjain is hozzájuthatunk kiegészítő és hasznos információkhoz (pl. www.ti.com, a Texas Instruments cég honlapja). Ezen feladatok elvégzését csoportmunkában is végrehajthatjuk.

A mérés egyik legfontosabb célja az elméletben elsajátított ismeretek begyakorlása. A mérés alkalmával elsajátítjuk az alapvető műszerek működési elveit, kezelését és a különböző típusok jellemző adatainak sokasága rögződik bennünk.

A mérési feladatok elvégzése az erősítők elemeinek megváltoztatásával lehetőséget ad arra, hogy megismerjük, az hogyan befolyásolja az erősítő paramétereit.

Ezért ha lehetőségünk van rá, ismételjük meg a méréseket különböző felépítésű erősítőkkel is. Hasonlítsuk össze az egyes kapcsolások paramétereit!

A mérés is példát mutatott arra, hogy egy paraméter meghatározására (pl. bemeneti, kimeneti ellenállás) többféle mérési módszer is lehetséges. Közülük mindig a lehető legpontosabb eredményt adót kell kiválasztanunk.

A katalógusok használatával a szakmai angol nyelvi tudásunkat bővíthetjük.

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK**1. feladat**

Válaszoljon az alábbi önellenőrző kérdésekre!

a) Mit nevezünk négypólusnak?

b) Mit nevezünk aktív négypólusnak?

c) Milyen négypólus az erősítő?

d) Milyen erősítőt tekinthetünk lineárisnak?

e) Mikor beszélünk lineáris torzításról és milyen elemek okozzák azt?

f) Mikor beszélünk harmonikus torzításról?

g) Mit értünk egy erősítő maximális kivezérelhetőségén?

h) Egy erősítő határfrekvenciáit hogyan határozhatjuk meg mérésel?

i) Milyen esetben beszélünk intermodulációs torzításról?

j) Milyen frekvenciatartományt nevezünk sávközépinek?

k) Mit ad meg a jelváltozási sebesség?

2. feladat

Egy erősítő 16Ω -os terhelőellenállásán 1 kHz -es frekvenciájú, szinuszos jellel 1 W teljesítményt állítottunk be. Szelektív feszültségmérővel mérve a kimeneten 80 mV -os 2 kHz -es, és 40 mV -os 3 kHz -es feszültséget mértünk.

a) Mekkora lesz a kimeneti feszültség?

b) Számítsa ki a harmonikus torzítás mértékét!

c) Addja meg a torzítási tényezőt decibelben is!

3. feladat

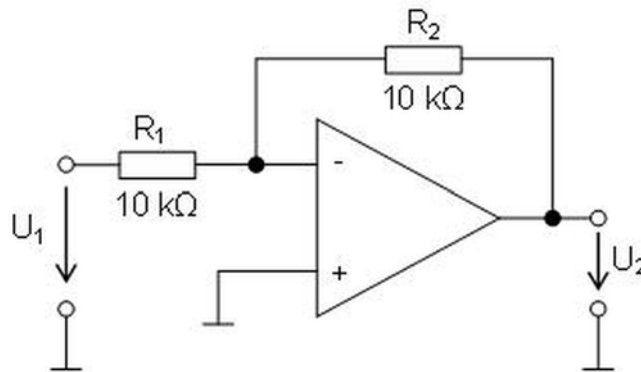
Egy erősítő kimenetén az alapharmonikusok effektív feszültségösszegét 20 V -nak, az intermodulációs torzítást 2% -nak mértük.

Mekkora a kimeneten az összegfrekvenciás összetevő feszültsége?

4. feladat

Az alábbi ábrán egy visszacsatolt műveleti erősítő kapcsolása látható.

A műveleti erősítő katalógusadatai: $A_0 = 200\,000$, $R_{be} = 1\text{ M}\Omega$, $R_{ki} = 75\ \Omega$, $U_{k\max} = 13\text{ V}_p$.



20. ábra. Invertáló alkapcsolás

a) Számítsa ki a visszacsatolt erősítő feszültségerősítését!

b) Határozza meg a visszacsatolt fokozat bemeneti- és kimeneti ellenállását!

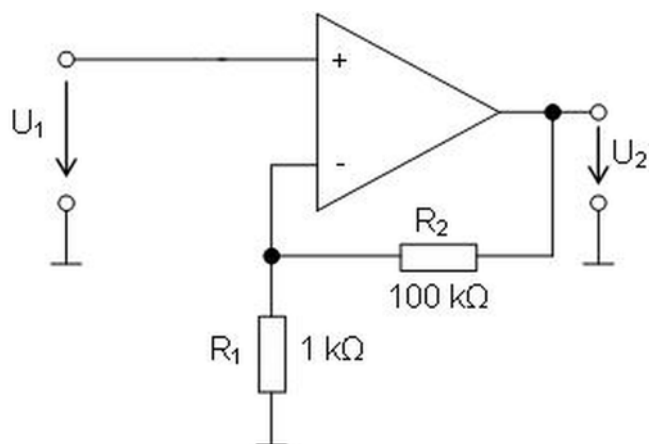
c) Melyik mérési módszer lenne alkalmas a bemeneti ellenállás meghatározására? Választását indokolja!

d) Melyik mérési módszer lenne alkalmas a kimeneti ellenállás meghatározására? Választását indokolja!

5. feladat

Az alábbi ábrán egy visszacsatolt műveleti erősítő kapcsolása látható.

A műveleti erősítő katalógusadatai: $A_0 = 100000$, $R_{be} = 1 \text{ M}\Omega$, $R_{ki} = 75 \text{ }\Omega$, $U_{ki\max} = 13 \text{ V}_p$.



21. ábra. Nem invertáló alapkapcsolás

a) Számítsa ki a visszacsatolt erősítő feszültségerősítését!

b) Határozza meg a visszacsatolt fokozat bemeneti- és kimeneti ellenállását!

c) Melyik mérési módszer lenne alkalmas a bemeneti ellenállás meghatározására? Választását indokolja!

MUNKANYAG

d) Melyik mérési módszer lenne alkalmas a kimeneti ellenállás meghatározására? Választását indokolja!

MEGOLDÁSOK

1. feladat

- a) A négypólus a bemenetére érkező villamos jelet valamilyen formában "feldolgozza", átalakítja és a kimenetén továbbítja.
- b) Aktív az a négypólus, amely a kimenetén nagyobb teljesítményt ad le mint amennyit a bemenetén felvesz.
- c) Az erősítőt egy olyan aktív négypólusnak tekintjük, amely a kimenetén nagyobb teljesítményt képes leadni, mint amennyit a meghajtó hálózathoz felvesz.
- d) Lineárisnak tekinthetjük azt az erősítőt, amelynek a bemeneti és kimeneti feszültségei, illetve áramai között a nagyságuktól független állandó kapcsolat adható meg.
- e) Az aktív négypólus frekvenciafüggő viselkedése okozta jelalakváltozást lineáris torzításnak nevezzük. A négypólusban lévő lineáris, frekvenciafüggő elemek (kondenzátor, tekercs) okozzák.
- f) Ha a bemenetre egy valóságos (nem szinuszos) jelet kapcsolunk, akkor a kimeneten a jel minden spektrális összetevőjének megjelennek a felharmonikusai is. Az ebből adódó torzítást harmonikus torzításnak nevezzük.
- g) Egy erősítő maximális kivezérelhetőségén azt a maximális bemeneti szinuszos feszültséget értjük, ahol a kimeneti feszültség még nem torzul, alakja szinuszos lesz.
- h) Általában egy négypólus átviteli sávjának határain azokat a frekvenciákat értjük, ahol az amplitudótorzítás eléri a -3 dB-t. Ez azt jelenti, hogy a feszültségerősítés lecsökkent az állandó érték kb. 70%-ára.
- i) Ha az erősítő bemenetére két, eltérő frekvenciájú szinuszos jelet kapcsolunk, akkor a kimeneten a harmonikus összetevők mellett megjelennek ún. kombinációs frekvenciájú ($|f_1 + f_2|$, összeg és $|f_1 - f_2|$, különbség) szinuszos összetevők is. Az ebből adódó jelalaktorzulást intermodulációs torzításnak nevezzük.
- j) Sávközépen a nulla, vagy a -180° fáziskülönbségű frekvenciatartományt értjük, amelyből célszerűen meghatározott frekvencián mérünk. Ez hangátvitelnél általában 1 kHz.
- k) Az erősítő kimenetén megadja az egységnyi idő alatti feszültségváltozás mértékét:
- $$S.R. = \frac{\Delta U_2}{\Delta t}.$$

2. feladat

Adatok: $f=1$ kHz, $P_2=1$ W, $R_t=16$ Ω , $U_{2\text{kHz}}=80$ mV, $U_{3\text{kHz}}=40$ mV.

a) A kimeneti feszültség effektív értéke:

$$U_2 = \sqrt{P_2 \cdot R_t} = \sqrt{1\text{W} \cdot 16\Omega} = 4\text{V}.$$

b) Feltételezzük, hogy a kimeneti jelben csak 1 kHz-es, 2 kHz-es és 3 kHz-es összetevők vannak. Ezek effektív értéke 4 V.

$$U = \sqrt{U_{1\text{kHz}}^2 + U_{2\text{kHz}}^2 + U_{3\text{kHz}}^2} = 4\text{V}, \text{ ebből } U_{1\text{kHz}} = \sqrt{U^2 - U_{2\text{kHz}}^2 - U_{3\text{kHz}}^2} = 3,998\text{V}.$$

$$\text{Tehát } k_h = \frac{\sqrt{U_{2\text{kHz}}^2 + U_{3\text{kHz}}^2}}{U_{1\text{kHz}}} = 0,022.$$

c) A harmonikus torzítás decibelben kifejezve:

$$20 \cdot \lg k_h = 20 \cdot \lg 0,022 = -33\text{dB}.$$

3. feladat

Adatok: $U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} = 20\text{V}$, $k_m=0,02$.

Az erősítő kimenetén megjelenő összeg- és különbséghérfrekvenciás összetevők nagysága megegyezik, tehát:

$$k_m = \frac{\sqrt{2 \cdot U_{f_1+f_2}^2}}{U}, \text{ ebből } U_{f_1+f_2} = \frac{k_m \cdot U}{\sqrt{2}} = 282\text{mV}.$$

4. feladat

Adatok: $R_1=R_2=10$ k Ω

A műveleti erősítő katalógusadatai: $A_0=200000$, $R_{be}=1$ M Ω , $R_{ki}=75$ Ω , $U_{k\text{imax}}=13$ V_p.

a) A visszacsatolt erősítő feszültségerősítése: $A_v = -\frac{R_2}{R_1} = -1$.

b) A visszacsatolt fokozat bemeneti- és kimeneti ellenállása:

$$H = \frac{A_0}{A_v} = 200000, \text{ tehát } R_{be} \cong R_1 = 10\text{k}\Omega \text{ és } R_{ki} = \frac{R_{ki}}{H} = 3,75 \cdot 10^{-4} \Omega.$$

c) Mivel a visszacsatolt erősítő bemeneti ellenállása nem nagyon nagy, ezért mindkét mérési módszer helyes (15. ábra, vagy 16. ábra).

Az R_s ellenállás legyen megegyező R_{bev} -vel a nagyobb mérési pontosság érdekében.

d) Mivel a visszacsatolt erősítő kimeneti ellenállása nagyon kicsi, ezért azt nem tudjuk mérni, gyakorlatilag nulla.

5. feladat

Adatok: $R_1=1\text{ k}\Omega$, $R_2=100\text{ k}\Omega$

A műveleti erősítő katalógusadatai: $A_0=100000$, $R_{be}=1\text{ M}\Omega$, $R_{ki}=75\text{ }\Omega$, $U_{kimax}=13\text{ V}_p$.

a) A visszacsatolt erősítő feszültségerősítése: $A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \cong 100$.

b) A visszacsatolt fokozat bemeneti- és kimeneti ellenállása:

$$H = \frac{A_0}{A_v} = 1000, \text{ tehát } R_{bev} = R_{be} \cdot H = 1\text{ G}\Omega \text{ és } R_{kiv} = \frac{R_{ki}}{H} = 75\text{ m}\Omega.$$

c) Mivel a visszacsatolt erősítő bemeneti ellenállása nagyon nagy, ezért a helyes mérési módszer a 16. ábrán látható.

Az R_s ellenállás legyen $1\text{ M}\Omega$, a nagyobb mérési pontosság érdekében.

d) Mivel a visszacsatolt erősítő kimeneti ellenállása nagyon kicsi, ezért azt nem tudjuk mérni, gyakorlatilag nulla.

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Nagy Ferenc Csaba: Híradástechnikai alapismeretek, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, 2002.

Kármán P., Molnár F., dr. Némethné, Zsom Gy.: Elektronikus laboratórium mérési útmutató I., KKVMF, 1987.

MUNKANYAG

A(z) 0908–06 modul 010–es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
33 523 03 1000 00 00	Távközlési műszerész
33 523 03 0100 31 01	Antenna szerelő
54 523 03 0010 54 01	Beszédátviteli rendszertechnikus
54 523 03 0010 54 02	Elektronikus hozzáférési és magánhálózati rendszertechnikus
54 523 03 0010 54 03	Elektronikus műsorközlő és tartalomátviteli rendszertechnikus
54 523 03 0010 54 04	Gerinchálózati rendszertechnikus
54 523 03 0100 31 01	Távközlési üzemeltető

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:

20 óra

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1–2008–0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210–1065, Fax: (1) 210–1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató