

A HAMEG 806 oszcilloszkóp határfrekvenciájának beállítása

Dr. Tolnai János okl. híradástechnikai szakmérnök, HA5LQ@freemail.hu

A közelmúltban egy szignálgenerátor javításakor tűnt fel, hogy a (több, mint 20 évvel ezelőtt vásárolt és kalibrált) 80 MHz-es oszcilloszkópom határfrekvenciája 40 MHz-re csökkent. A szükségesnek bizonyult beállítás ismertetése előtt felhasználom az alkalmat, hogy foglalkozzak néhány alapvető kérdéssel az oszcilloszkóp határfrekvenciájával, felfutási idejével és annak mérésével – ezzel összefüggésben a mérőfejekkel és kalibrálásukkal – kapcsolatban.

Az oszcilloszkóp határfrekvenciája

Talán nem árt először tisztázni, mi értendő az oszcilloszkóp határfrekvenciája alatt. Mi történik, milyen jel jelenik meg a képernyőn (egyáltalán, megjelenik-e bármi), ha egy 20 MHz-es határfrekvenciájú oszcilloszkóp bemenetére pl. 21 MHz-es jelet adunk?

A válasz igen egyszerű: mint bármely erősítőnek, az oszcilloszkóp függőleges erősítőjének az erősítése is változik a frekvencia függvényében. A korszerű oszcilloszkópban alkalmazott erősítő már DC-től (egyenfeszültségtől, azaz 0 Hz-től) erősít, a frekvencia növekedésével azonban erősítése csökken (1. ábra). Azt a frekvenciát, ahol az erősítő erősítése (általában 100 kHz-es „referencia” jelhez képest) 3 dB-lel (azaz a feszültségerősítés kb. a 71%-ára) csökken, nevezik az oszcilloszkóp f_c határfrekvenciájának.

A függőleges erősítő erősítésének a csökkenése miatt az ernyőn megjelenő jel függőleges mérete is csökken. Ha pl. a bemeneti osztón 1 V/DIV eltérítési érzékenységet állítunk be (DIV = division = osztás), egy 100 kHz-es, 3 V amplitúdójú szinuszjel ± 3 DIV, azaz csúcstól csúcsig 6 DIV nagyságú ábrát hoz létre a katód-

sugárcső ernyőjén. Ugyanekkorra amplitúdójú, de f_c frekvenciájú szinuszjel erősítése az előbbinek már csak 71%-a, tehát az ernyőn csak kb. 4,2 DIV függőleges méretű szinuszjel jelenik meg, azaz ha a jel nagyságát az oszcilloszkóp ernyőjéről olvasuk le, a jel csúcstól csúcsig vett

frekvenciájú (szinusz-) jelnél feszültségméréskor figyelembe kell venni az oszcilloszkóp függőleges erősítőjének frekvenciafenntartását, és az annak megfelelő korrekciót kell alkalmazni.

Azt, hogy szinuszjel méréséről van szó, azért kell hangsúlyozni, mert más jelalak esetén a jel az

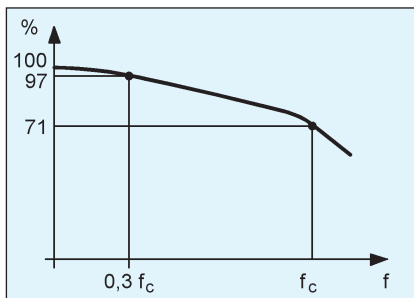
alapharmonikusán kívül felharmonikusokat, azaz magasabb frekvenciájú komponenseket is tartalmaz, melyeket a függőleges erősítő frekvenciájuktól függően, nem egyforma mértékben erősít. Ennek eredményeként nem szinuszos jel mérések az ernyőn akkor is torzított jelalak jelenhet meg, ha a mért jel frekvenciája kisebb, mint $0,3 f_c$. Pl. a 2. ábrán 5 MHz-es négyszögjelet láthatunk 80 MHz sávzélességű oszcilloszkóp ernyőjén. Mivel az oszcilloszkóp véges sávzélessége következté-

ben – mint ezt a következő pontban elemezzük – a fel- és lefutási idő összemérhető a jel periódusidejével, az ernyőn megjelenő jel négyszögjel helyett inkább torz szinuszjelre hasonlít. Ha az oszcilloszkóp bemenetére 500 kHz-es négyszögjelet kapcsolunk, akkor a jel fel- és lefutási ideje nem változik (3. ábra), de a periódusidőhöz képest tizedére csökken, ezért a teljes négyszögjelet az ernyőre rajzolva a torzítás már alig látható (4. ábra).



értékét a tényleges 6 V helyett 4,2 V-nak mérhetjük. Ez azt jelenti, hogy a mért jel frekvenciájától függő, nem elhanyagolható mértékű mérési hiba jön létre.

Mint az 1. ábrán látható, ahhoz, hogy ez a hiba az oszcilloszkópos feszültségmérésnél szokásos $\pm 2...3\%$ tűrésszínél belül maradjon, a mért jel frekvenciája legfeljebb $0,3 f_c$ lehet, ugyanis jól beállított oszcilloszkópnál az erősítés kb. ezen a frekvencián csökken 3%-kal. Ennél nagyobb

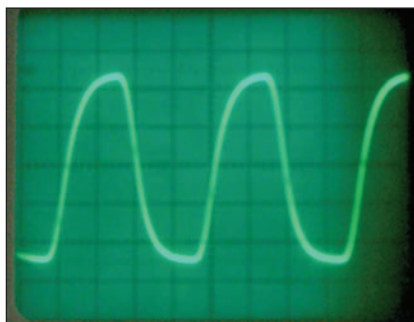


1. ábra

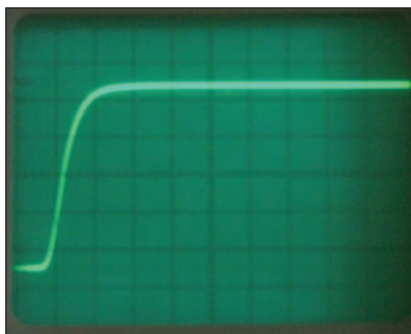
Az erősítő határfrekvenciájának és fel-/lefutási idejének kapcsolata

Egy erősítő bemenetére kapcsolt feszültségugrás a kimeneten torzítva (túllövésrel, lassan felfutva) jelenik meg (5. ábra). Az impulzus felfutása előtt és után is jelentkehetnek viszonylag nagy amplitúdójú lengések, amelyek jelenléte miatt bizonytalan lehet, hogy az impulzus felfutása mikor kezdődött és mikor végződött. Ezért megállapodás szerint az impulzus felfutási idejét úgy határozzák meg, mint (a feszültség kiindulási értékét 0-nak, a végértékét 100%-nak tekintve) a 10%-os és 90%-os feszültségszint elérése között eltelt időt. (A lefutási idő pedig értelemszerűen a 90%-os és 10%-os feszültségszint elérése között eltelt idő.)

A kapcsolat az erősítő határfrekvenciája és felfutási ideje között [feltételezve, hogy az erősítés csökkenését parazita (pl. szerelési) kapacitások okozzák, mint a 6. ábrán látható C kapacitás] a következő, egyszerű számítással igazolható. A K kapcsoló zárásakor C kondenzátoron U_c feszültség exponenciálisan sül ki (7. ábra).



2. ábra



3. ábra

$$U_c = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

A jel lefutási ideje a megállapodás szerint a $0,1 U_0$ -hoz tartozó $t_{0,1}$ és a $0,9 U_0$ -hoz tartozó $t_{0,9}$ idő különbsége. Behelyettesítve az adatokat:

$$0,9U_0 = U_0 \cdot e^{-\frac{t_{0,9}}{RC}}$$

$$0,1U_0 = U_0 \cdot e^{-\frac{t_{0,1}}{RC}}$$

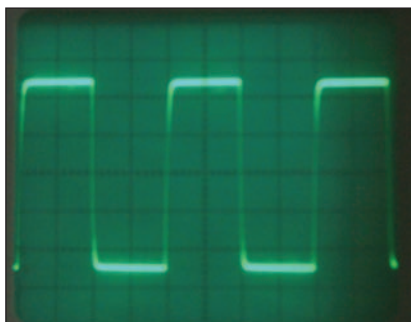
A két egyenlet bal és jobb oldalát egymással elosztva és az egyenletet rendezve:

$$\ln 9 = \frac{t_{0,1} - t_{0,9}}{RC} = \frac{t_f}{RC}$$

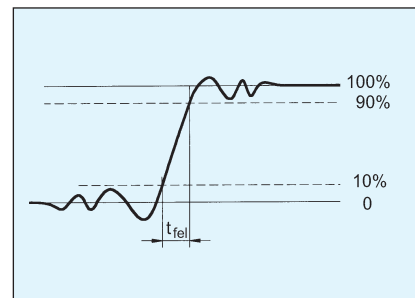
ebből pedig a felfutási idő

$$t_f = \ln 9RC$$

Ha a 6. ábrán látható hálózat bemenetére (K kapcsoló elé) nem rövidzárt, hanem váltakozófeszültségű generátort kapcsolunk, akkor növekvő frekvenciá-



4. ábra



5. ábra

val C kondenzátor reaktanciája, és ezért a rajta eső U_c feszültség csökken. A hálózat határfrekvenciája az a frekvencia, ahol U_c feszültség az egyenfeszültségen mérhetőhöz képest $0,71$ -szeresére esik. Ez – figyelembe véve, hogy a kondenzátoron az áram 90 fokkal siet a feszültséghez képest – azon az f_h frekvencián következik be, ahol $X_c = 1/2\pi f_h C$ és R megegyezik, azaz

$$R = 1/2\pi f_h C,$$

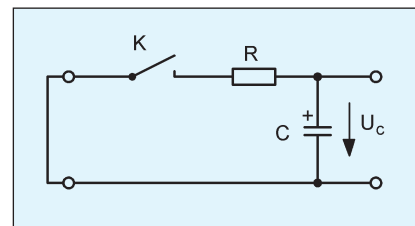
így

$$RC = 1/2\pi f_h.$$

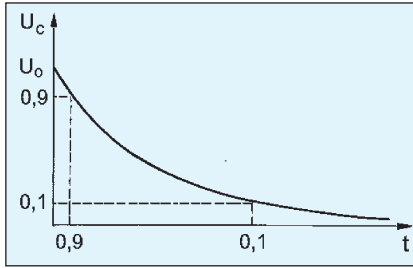
Ezt behelyettesítve a fenti képletbe

$$t_f = \ln 9RC = \ln 9/2\pi f_h = 0,35/f_h.$$

És valóban, egy oszcilloszkóp műszaki adatlapján megadott t_f felfutási idő és f_h határfrekvencia közt ezt az összefüggést találhatjuk meg. (Ha a határfrekvenciát MHz-ben helyettesítjük be, a felfutási időt us-ban kapjuk. Pl. egy 10 MHz-es határfrekvenciájú oszcilloszkóp felfutási ideje így $0,035 \mu s = 35$ ns.) Az előzőekből következik, hogy magának az oszcilloszkópnak a határfrekvenciája ellenőrizhető úgy, hogy a szkóppal mérjük egy négyszögjel fel-/lefutási idejét. Természetesen közelítően is pontos méréshez ekkor a négyszögjel tényleges



6. ábra



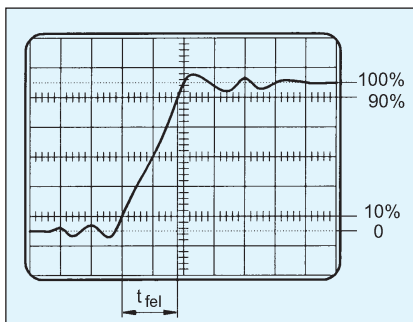
7. ábra

fel-/lefutási ideje nagyon rövid kell, hogy legyen az oszcilloszkóp fel-/lefutási idejéhez képest, valamint nagyfrekvenciás, ugyancsak nagyon rövid felfutási idejű mérőfejet kell alkalmazni, ugyanis ha a mért jel tényleges felfutási ideje t_j , a mérőfej saját felfutási ideje t_m , és az oszcilloszkóp saját felfutási ideje t_f , akkor az ernyőről leolvasható mért felfutási idő:

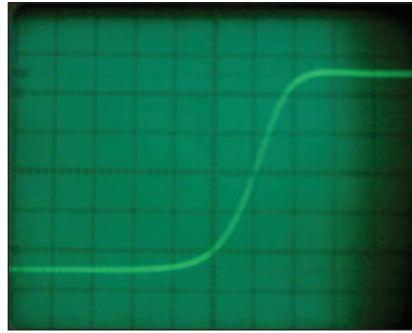
$$t = \sqrt{t_j^2 + t_m^2 + t_f^2}.$$

A fel- és lefutási idő mérése az oszcilloszkóppal

A felfutási idő mérése céljából az oszcilloszkóp ernyőjén két, pontozással jelölt vízszintes jelzővonal látható. A pontozott vonal helye a katódsugárcső típusától függően változhat. Egy jellegzetes megoldás, amikor az alsó, 0% jelű jelzővonal az alsó skálavonaltól 1,5 DIV-el feljebb, míg a felső, 100% jelű pedig a felső skálavonaltól 1,5 DIV-el lejjebb található. A két jelzővonal távolsága így pontosan 5 DIV (100%). Ennek megfelelően 10% 0,5 DIV-nek felel meg, azaz a 10%-os feszültség-szint éppen az alsó skálavonalnál 2 DIV-el feljebb, a 90%-os feszültség-szint éppen a felső skálavonalnál 2 DIV-el lejjebb található, sűrűbb osztású skálavonalnak felel meg (8. ábra).



8. ábra



9. ábra

rűbb osztású skálavonalnak felel meg (8. ábra).

A felfutási idő mérése úgy történik, hogy az impulzus kiindulási értékét a 0%, végértékét a 100% jelű pontozott jelzővonalra állítjuk. Ehhez az adott csatorna függőleges pozíciószabályozó gombján kívül a függőleges erősítést kalibrált helyzetéből elállító VAR forgatógombot kell megfelelően beállítani, hiszen egyáltalán nem valószínű, hogy kalibrált helyzetében a mért impulzus pontosan 5 DIV kitérésű lenne.

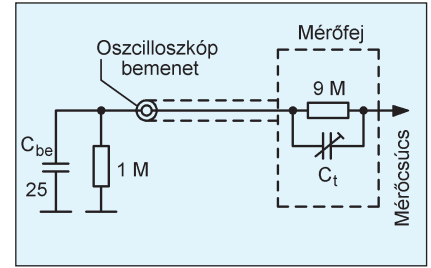
Ez után a 10% jelű skálavonalon az impulzus felfutási helyét a vízszintes pozíciószabályozó potenciométerrel egy függőleges skálavonalra állítva, a 90% jelű skálavonalon (a sűrűbb vízszintes osztás által adott pontosabb leolvasás lehetőségét felhasználva) leolvassuk a 10%-os és 90%-os szintű skálavonal metszése között eltelt időtartamot, ez lesz azonos az impulzus felfutási idejével.

Az impulzus lefutási idejének mérése hasonló módon történik, de most az impulzus kiinduló értékét állítjuk a 100%-os, és végértékét a 0%-os jelzővonalra, és a 90% és 10% jelű skálavonalak metszése között eltelt időt mérjük.

A 9. ábrán az oszcilloszkóp képernyőjének bal oldalán látszik a 0%, a 10%, a 90%, és a 100% felirat. A vízszintes eltérés 5 ns/DIV, a 10%-os vízszintes vonalat a jel az ernyő közepén metszi, a 90%-os vonalat pedig 1,8 DIV-vel jobbra, így a mért felfutási idő 9 ns.

Mérőfejek

A vizsgált áramkör mérendő pontját valamilyen módon össze

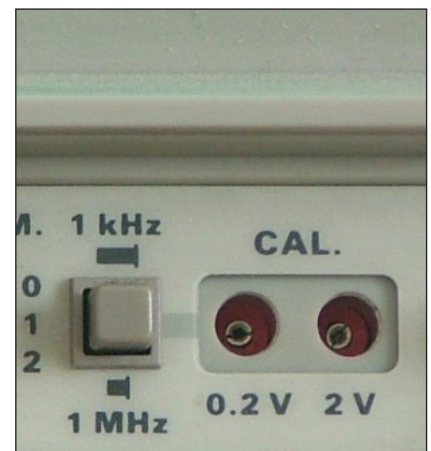


10. ábra

kell kötni az oszcilloszkóp bemenetével. Ezt az összeköttetést létre lehet hozni egy darab vezetékkel (mérőzsinórral) is, de e vezetékben a környező mágneses terrek zavarfeszültséget indukálhatnak (a vezeték „zavarokat szed fel”), amely a mérési eredményt meghamisíthatja.

Az oszcilloszkóp aszimmetrikus bemenetű, azaz az említett zavarok ellen a mérővezeték árnyékolásával lehet védekezni. A szokásos 1...3 m hosszúságú árnyékolt mérővezeték belső ere és árnyékolása között azonban 100...200 pF kapacitás mérhető, amely az oszcilloszkóp bemenő kapacitásával (a HM 806 esetén 25 pF-dal) párhuzamosan kapcsolódva terheli a mért áramkört.

Az oszcilloszkóp feszültségmérő, azaz akkor mér pontosan (akkor nem befolyásolja jelentősen a mért áramkör működését), ha a bemenő impedanciája nagy. A szokásos 1 MΩ-os bemenőellenállással párhuzamosan kapcsolódó kapacitás a frekvencia növekedtével egyre kisebb reaktanciát jelent. Például a 200 pF-os vezeték reaktanciája 10 MHz-en 79,6 Ω, amely megengedhetetlenül meg-



11. ábra