

HÍRADÁSTECHNIKA

Nagy pontosságú idő- és frekvenciamérés az OMH-ban*

M I H A L O V I C S
T A M Á S
ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI
HIVATAL

A cikk fő célja ismertetni a magyar mérésügy jelenlegi helyzetét az idő- és frekvenciamérés tekintetében.

A tudomány és technika rohamos fejlődésével az ipar egyre nagyobb területén igénylik az idő és a frekvencia pontos mérését. Ezen igények kielégítése is hivatalunk feladata. A metrológiában mind szélesebb területen alkalmazzák a frekvenciamérésre visszavezetett mérési módszereket, mivel a frekvenciát tudjuk mérni jelenleg a legnagyobb pontossággal. Ezért van jelentősége a mérési módszerek és mérőeszközök állandó tökéletesítésének.

A jelenleg nemzetközileg elfogadott „Nemzetközi Mértékegységrendszernek, az SI-nek az egyik alapegysége az idő. Az idő mértékegysége a másodperc (jele: s). 1967-ben a Nemzetközi Súly és Mértékügyi Bizottság 13. közgyűlése a másodpercet a következőkben definiálta és tette meg az SI mértékrendszer idő alapegységévé:

A másodperc az alapállapotú cézium atom — 133-as tömegszám — két hiperfinom szintje közötti átmenetéhez rendelt rezgés 9 192 631 770 periódusának időtartama.

Az idő mértékegységének, ill. az ebből lezármaztatott frekvencia mértékegységének (hertz) fenntartását hivatalunkban atomi oszcillátorokkal és nemzetközi összehasonlító mérések segítségével végezzük.

* A TKI Ifjúsági Konferencián (1980. XI.) elhangzott előadás alapján.

Az OMH-ban használt időalap-generátorok

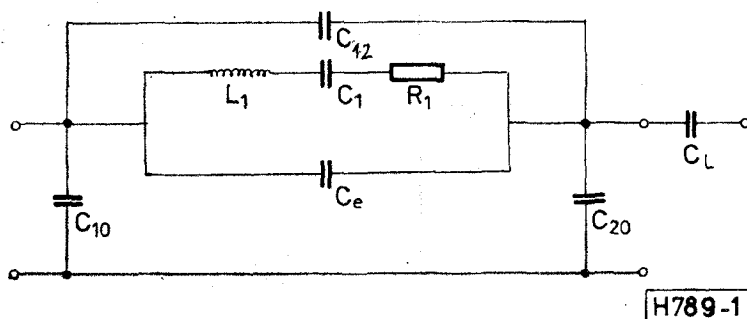
Időalap-generátorokról általában

Az oszcillátor legfontosabb része a frekvenciameghatározó elem. Ezzel kell részletesebben foglalkoznunk. A frekvenciameghatározó elem feladata, hogy az összes lehetséges frekvenciák közül egyet, vagy egy lehetőleg keskeny frekvenciasávot kiválasszon, amin a rendszer rezegni fog. A frekvenciameghatározó elem fontos jellemzői a jóság, a stabilitás és a környezeti hatásokkal szembeni érzékenység. A jóság és stabilitás fokozása speciális frekvenciameghatározó elemek alkalmazását kívánja meg.

Az OMH-ban használt kvarcoszcillátor

Hivatalunkban egy Hewlett—Packard 10 544 A típusú oszcillátort alkalmazunk.

A kvarcoszcillátor rezgésmeghatározó eleme, a kvarrekristály. A kvarrezonátor elektromos helyettesítő képét és az 1. ábrán, ahol L_1 és C_1 a frekvenciameghatározó elemek, R_1 a veszteséget reprezentáló ohmos tag és $C_{10-20-12}$ a tokozás miatti parazita kapacitások. A C_L hangolókapacitás segítségével a kvarrezonátor szűk határok között hangolható. Ezt varikapdióval is helyettesíthetjük, így egyenfeltséggel nagyon finoman tudjuk hangolni az oszcillátorunkat és így automatikus hangolókörbe könnyen beilleszthető az oszcillátor. A hőmérséklet-változás



1. ábra

káros hatása ellen, állandó hőmérsékletű termosztátokba helyezik a kvarcrezonátort. A legjobb kristályoszcillátorok kb. két nagyságrenddel kisebb pontossággal, stabilitással rendelkeznek, mint az atomi oszcillátorok.

Ezért ezek csak alaplérőeszközként kezelhetők. Az egység meghatározott pontosságú fenntartása szükségessé teszi, a kristály hosszú idejű stabilitásától függően, atomi oszcillátorral történő időnkénti összehasonlítását. Az összehasonlítás általában etalon adóállomások vételével közvetett módszerrel történik.

Az oszcillátor frekvenciapontosságának, -stabilitásának ellenőrzését etalonfrekvenciát sugárzó adóállomások jelével történő összehasonlítással végézzük. A rendszeresen vett etalonadó az alábbi:

| Hívójel | Telephely és koordinátái | Frekvencia (kHz) | Teljesítmény (kW) |
|---------|---|------------------|-------------------|
| DCF 77 | Mainflingen, NSZK 50° 1' É, 9° 1' K | 77,50 | 12 |

Az összehasonlítás céljára egy olyan berendezést fejlesztettünk ki, mely az oszcillátorunk és a vett jelek fázisát összehasonlítja, s a mért fáziskülönbséget kiírja. A méréseket naponként, azonos időpontokban végézzük. A kiértékelésnél az egy napi fázisváltózással számolunk. Mivel az így mért fázisértékeket a pillanatnyi terjedési viszonyok befolyásolják, a tényleges érték megállapítását hosszabb időszak kiértékelésével végézzük.

Rövid idejű stabilitása viszont az összes oszcillátor fajtánál jobb. Kiválóan alkalmas másodlagos etalon céljára. Fontos szerepe van a kvarcrezonátornak az atomi generátorok működésében is, lévén azok frekvenciameghatározó eleme passzív, nem rezgőképes. Rezgések előállítására ott is kvarcoszcillátort alkalmaznak.

Hivatalunkban használt kvarcoszcillátor specifikációja:

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| frekvencia | 10 MHz, |
| frekvenciastabilitás | |
| -55 - +70 °C között | 1 · 10 ⁻⁸ , |
| 0 - +70 °C között | 3 · 10 ⁻⁹ , |
| öregedés | 5 · 10 ⁻¹⁰ /nap, |
| öregedés | 1,5 · 10 ⁻⁷ /év, |
| rövid idejű stabilitás | 1 · 10 ⁻¹¹ . |

Atomi oszcillátorok

Az atom elektronburkában végbemenő rezonanciajelenséget felhasználó oszcillátorok az atomi oszcillátorok.

Céziumsugár oszcillátor

Az alapállapotú Cs¹³³ atom hiperfinom szerkezetét a 2. ábra mutatja.

A folyamat az ábrán lerajzolt

$$F=4 \quad m_F=0,$$

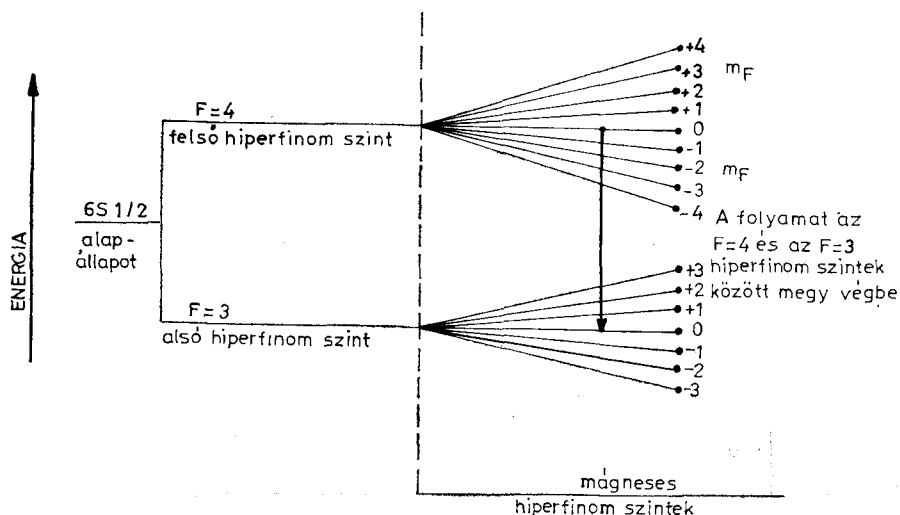
$$F=3, \quad m=0,$$

hiperfinom szintek között megy végbe.

Céziumsugár oszcillátor működési blokkvázlata

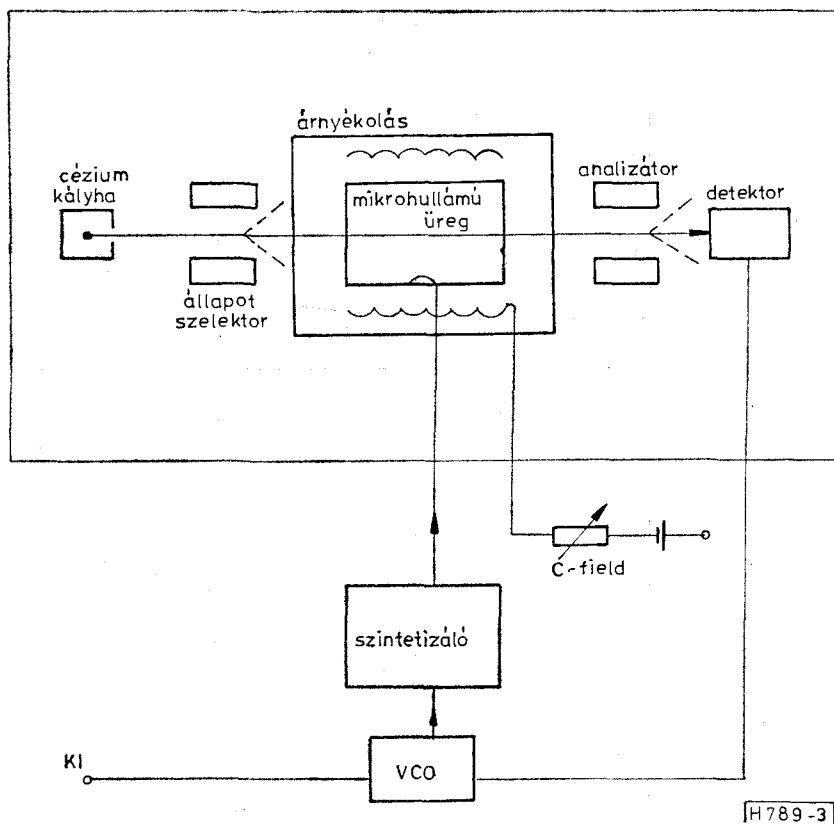
A 3. ábra szerint a céziumsugár áthalad az állapot szelektorok közt. A felső hiperfinom energianívön levő atomok kerülnek az üregbe, az alsón levőket az állapotszelektor szétszórja.

A mikrohullámú üreg alján elhelyezett hurok csatolja be a mikrohullámú energiát, amely a stimulátoremisziót létrehozza. Az üregből kilépő céziumsugár áthalad az analizátoron, ami azokat az atomokat szórja szét, amik nem estek át a stimulált emiszió, azaz a felső hiperfinom szinten maradtak. A maradék atomok, amelyek jele a VCO-t vezérli, mely a szintetizáló révén előállítja a szükséges etalonfrekvenciát.



H789-2

2. ábra



3. ábra

A homogén teret (C-field) előállító tekercs árama szabályozható, amely révén az első ábra szerinti átmenet energiatávolsága, és ezzel a frekvencia kiállítható.

Az átmenethez rendelt mikrohullámú frekvencia 9 192 631 770 Hz. Ezt a frekvenciát a frekvenciaszintetizáló áramkör állítja elő, a feszültséggel hangolt 5 MHz-es kvarcoszcillátor jeléből. A hangolófeszültséget a detektor szolgáltatja.

A céziumsugár oszcillátor frekvenciájának hosszú idejű stabilitása nagyon jó, öregedési (drift) tulajdonságot nem mutat. Egyetlen korlátozó tényező a céziumcső, élettartama 4–5 év.

Hivatalunkban az idő etalon fenntartására használt céziumsugár frekvencia standard főbb stabilitás jellemzői:

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| típus: Hewlett—Packard 5601 A | |
| frekvenciapontosság 0–50 °C | $\pm 1 \cdot 10^{-11}$, |
| hosszú idejű stabilitás | $\pm 5 \cdot 10^{-12}$, |
| rövid idejű stabilitás | |
| 10^{-3} s | $\pm 8 \cdot 10^{-10}$, |
| 1 s | $\pm 5,5 \cdot 10^{-11}$, |
| 10^2 s | $\pm 8 \cdot 10^{-12}$, |
| 10^4 s | $\pm 8 \cdot 10^{-13}$. |

Rubidium gázcellás oszcillátor

A rubidium gázcellás oszcillátor működéséhez az alapállapoton kívül, két gerjesztett állapotra is szükség van. Az Rb^{87} energiaszintjeit a 4. ábra mutatja.

Rubidium gázcellás oszcillátor felépítését az 5. ábrán mutatjuk be.

A spektrál lámpából kilépő fénysugár áthalad a szűrőn és belép a mágneses üregbe. Az üregben levő kvarctartályban rubidiumgőzt tartalmazó nemesgáz van. Ebben történik meg az állapotszelekció és a stimulált emisszió, az üregbe csatolt mikrohullámú energia hatására. Ha a stimulált emisszió létrejön a detektor érzékeli és úgy szabályozza a VCO-t, hogy annak jeléből a szintetizátor a stimulált emisszió stabil fenntartásához szükséges frekvenciát állítja elő.

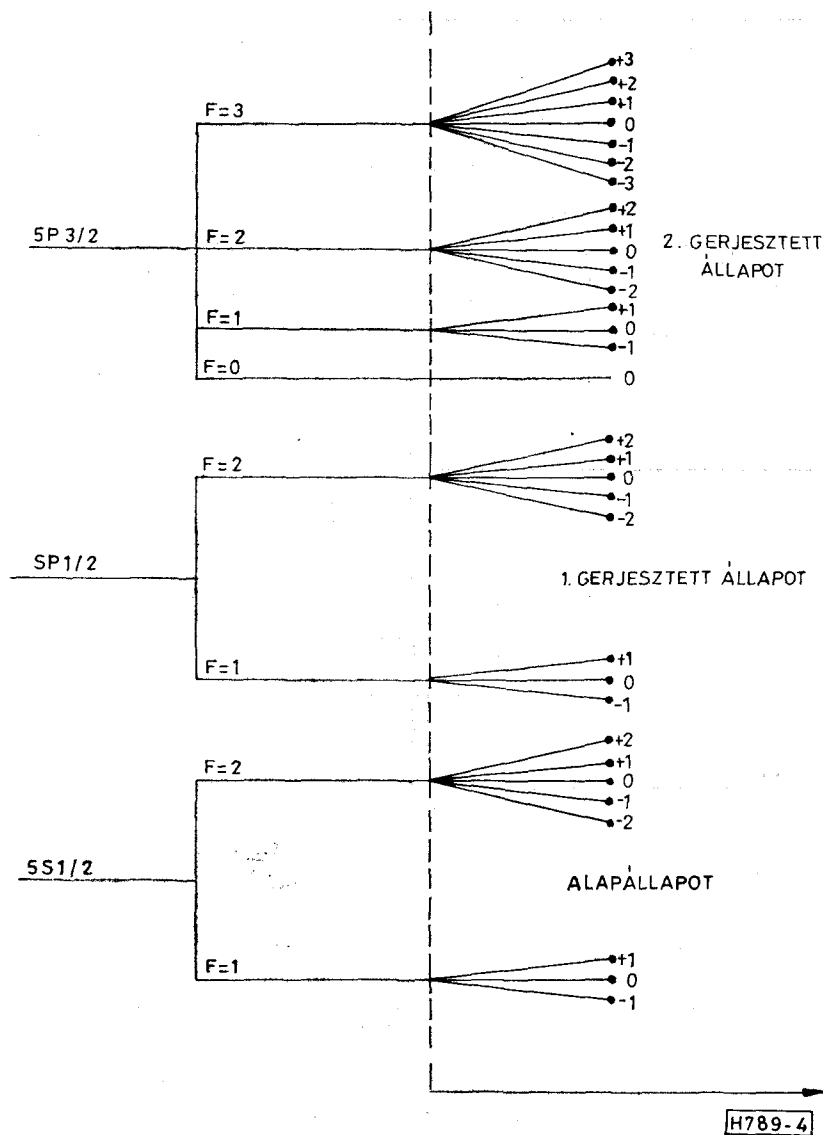
A frekvenciát a C-felddel lehet állítani. A rubidium igen megbízható működésű, kis térfogatban elkészíthető, élettartama gyakorlatilag korlátlan, öregedési (drift) tulajdonságot mutat. Driftje a kvarcokénál sokkal kisebb.

Hivatalunkban használt Rohde Schwarz XSRH rubidium frekvencia standardjának főbb adatai:

| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| Frekvencia | 5 MHz, |
| Hosszú idejű stabilitás | $5 \cdot 10^{-11}$ /hónap, |
| Rövid idejű stabilitás | $1 \cdot 10^{-11}$, |
| Hőmérsékletstabilitás | $2 \cdot 10^{-12}/^\circ C$. |

Nemzetközi feladataink

A cézium időskáláját (tick) kell összehasonlítani más országok etalonjaival. Ezt minden nap elvégezzük tv-láncon történő mérésekkel. A Csehszlovák Televízió szinkronjeleit az ő cézium órájukhoz szinkronozzák, ezt a szinkronozott adást mi vesszük tv-láncon keresztül és a képszinkronjéről megfelelő módon a minket érintő jelet levá-



4. ábra

lasztjuk és hasonlítjuk össze a mi céziumóránk etalon jelével.

Utazásos mérések

1. Késleltetési idő kimérése Bp. és Pozsony között. Ezt figyelembe kell venni a tv-s mérések kiértékelésénél. Minden évben elvégezzük ezt a mérést.
2. Az idő egységét ezen a módon származtatjuk át a felhasználóknak.

KGST-ben vállalt feladataink

ETA 6 kísérleti KGST időskála fenntartása etalonösszehasonlítással (NDK, LNK, CSSZK, SZU) történik.

BIH-val való kapcsolatunk

A tv-s mérések kiértékelte adatait 10 naponként megküldjük a nemzetközi időhivatalba, ahová más országok is elküldik mérési eredményeiket. A BIH-ban

az adatokat számítógéppel feldolgozzák és értesítenek bennünket, hogy az UTC időskálához viszonyítva hol áll az órák.

Mindennapi feladataink közé tartozik, hogy normál frekvenciát szolgáltatunk a postának és mérjük a rádió pontos időjelzését.

Az idő és frekvencia területén a következő ellenőrző vizsgálatokat kell elvégezni:

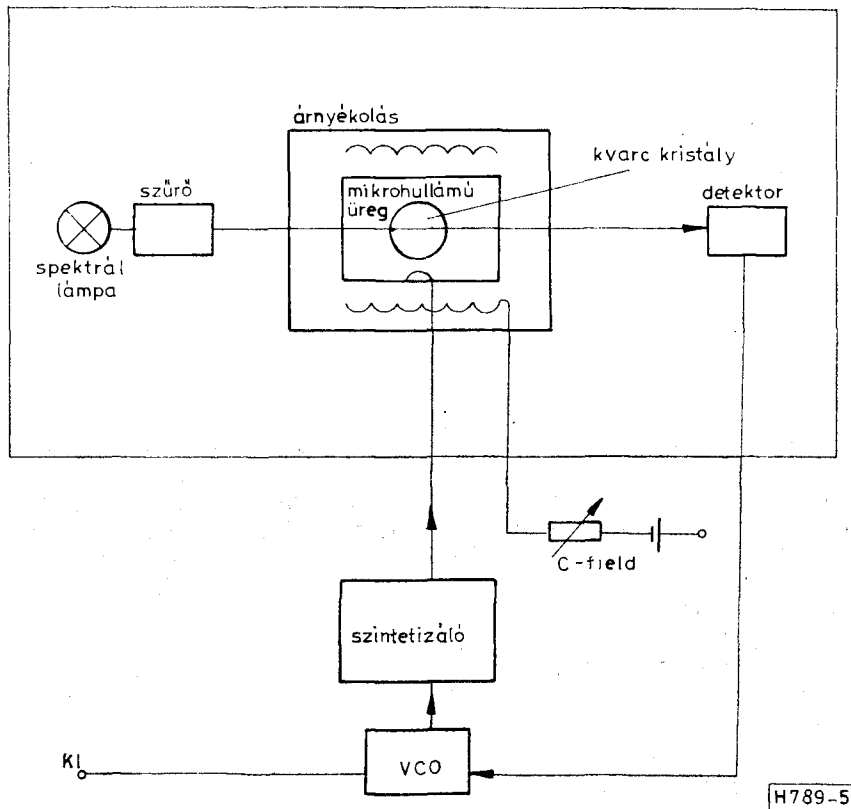
- órák időskáláinak ellenőrzése,
- digitális idő- és frekvenciamérők vizsgálata,
- generátorok vizsgálata,
- stopperok vizsgálata.

Az órák időskáláinak ellenőrzése

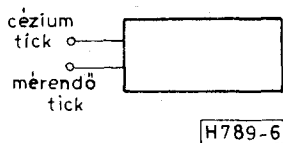
Ellenőrzésre 10 ns felbontású digitális időintervallummérőt használhatunk (6. ábra).

Digitális frekvenciamérők és időmérők vizsgálata

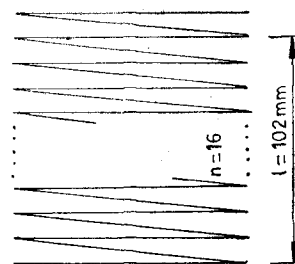
Az időalapgenerátor frekvenciájának pontosítása után – a kapuzási, számlálási és trigger hibák vizs-



5. ábra



6. ábra



$f_0 = 10\text{MHz}$
 $n = 16$
 $v = 5\text{ mm/min}$
 $l = 102\text{ mm}$

H789-7

7. ábra

gálatát végezzük el. Az OMH frekvenciaetalonjáról származtatott jel mérésekor a vizsgált műszeren leolvasható értékből közvetlenül számítható a fenti hibák eredője.

Generátorok vizsgálata

Az időalapgenerátorok vizsgálata során azok frekvenciáját mérjük, ha szükséges pontosítjuk, majd stabilitásvizsgálatot végzünk.

A frekvenciamérést közvetlenül általában nem lehet elvégezni, mivel az időalapgenerátorok pontossági specifikációja olyan, hogy a megengedett frekvenciaeltérés (abszolút hiba) a digitális frekvenciamérők felbontásán belül van.

Időalapgenerátorok frekvenciájának mérésekor al-

kalmazott módszerünk a fázisszögmérésen alapszik (7. ábra).

A mérést mintavételező elven működő vektorvoltage-mérővel végezzük, amelynek kimenetén (fázisszög) arányos egyenfeszültség jelenik meg.

A műszert, egy regisztrálóra kapcsolva kapjuk meg a 8. ábrán látható diagramot. A regisztráló kalibrált időalappal rendelkezik és a papírsebesség több fokozatban beállítható. Ha a papírsebesség $v = 60\text{ mm/s}$, „n” teljes periódusa $n \cdot 2$, a regisztrátum hossza „l”

$$\frac{f}{f_0} = \frac{n \cdot v}{60 \cdot f_0 \cdot l}$$

Ha $f = f_0$, akkor d/dt 0-nak a regisztrátumon lineárisan növekednie kell, ellenkező esetben csökkennie.