

Fáziszárt hurok (PLL) áramkör alkalmazása SECAM dekóderben

ETO 621.397.127

A SECAM-rendszerű színes TV-vevőkészülék, vagy monitor egyik kulcsfontosságú áramköre a szélessávú FM-jel demodulátor. Több különböző eljárás, módszer ismeretes, amely a célnak megfelel, bár egy, vagy több paraméter szempontjából kívánni valót hagy maga után. Az alábbiakban összefoglaljuk azokat a kutatási eredményeket, amelyek a fáziszárt hurok (phase-locked loop) típusú áramkörök ilyen célra történő felhasználása során adódtak.

1. Követelmények az ideális SECAM jel demodulátorral szemben

Figyelembe véve a SECAM-rendszerű színes TV-jel kódolási előírásait [1], az ideális FM-jel demodulátornak a következő két követelményt kell kielégítenie:

a) A demodulátor kimenőfeszültsége legyen szigorúan arányos a bemenő jel pillanatnyi frekvenciájával, amennyiben az a 3,9 MHz...4,8 MHz frekvenciatartományba esik (statikus linearitás).

b) A kimenő jel pontosan kövesse a bemenő jel leggyorsabb pillanatnyi frekvenciaváltozását (kb. 2 kHz/ns) is (dinamikus linearitás).

A statikus linearitási követelmény frekvenciahatárait a SECAM kódolási rendszer paramétereiről írják elő, hiszen a modulált színsegédvívók pillanatnyi frekvenciáinak alsó és felső határa 3900 kHz, ill. 4756 kHz, a modulált színsegédvívók pillanatnyi frekvenciái bármely időpillanatban e két határ közé eshetnek csupán ([1], 2.9.). Az ideális FM-detektornak tehát ezt a frekvenciatartományt kell tudnia feldolgozni. Meg kell azonban jegyezni, hogy ez a megállapítás csupán az FM-demodulátorra vonatkozik, az öt megelőző fokozatoknak a sáv szélessége, helyesebben amplitúdó és fázis menete ennél lényegesen szélesebb sávban (kb. $\pm 1,5$ MHz) kell hogy elegendően legyen a SECAM-rendszerben lefektetett követelményeknek (ún. haranggörbe erősítő amplitúdó és fázis menete [1], 2.11.).

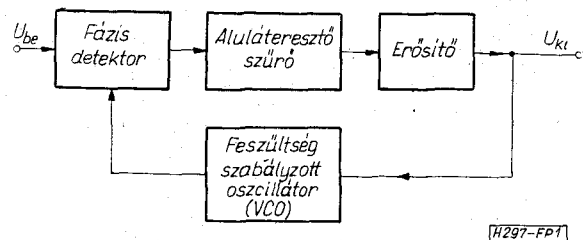
A dinamikus linearitási követelmény számszerű megszabásánál figyelembe kell venni a SECAM-rendszerű jelátvitel alapsávról előírt előkiemelési előírását ([1], 2.7). Ismeretes, hogy már a 75% amplitúdójú színcsíkakra legtöbb színátmeneténél az alapsávi szinkronizációs jel eléri a határolási szintet, ami azt jelenti, hogy a színsegédvívó pillanatnyi frekvenciája ezeknél a tranzienccsúcsoknál megegyezik a statikus linearitás fentebb megadott határértékeivel. Figyelembe véve továbbá az alapsávi szinkronizációs jelre vonatkozó sávhatárolást is ([1], 2.16) ki-

számítható (illetve méréssel ellenőrizhető), hogy a kódolva átvitt szinkronizációs jelek felfutási ideje kb. 350 ns és ezalatt az idő alatt a színsegédvívó pillanatnyi frekvenciája változhat kb. 700 kHz-et is. Ebből $700 \text{ kHz}/350 \text{ ns} = 2 \text{ kHz/ns}$ maximális frekvenciaváltozási sebesség adódik.

Megjegyzendő azonban itt is, hogy a kb. 350 ns felfutási idő az átviteli útnak csupán a video előkiemelést és utóelnyomást megvalósító áramkörök közötti szakaszára érvényes csupán, a SECAM-rendszerű kódolással ténylegesen átvitt szinkronizációs jel felfutási ideje elvileg kb. 500 ns.

2. Az FM detektorként használt fáziszárt hurok (PLL) tulajdonságai

A fáziszárt (vagy másképpen fázisszinkronizált) hurok (= phase locked loop = PLL) részletes analízise az irodalomban [2], [3] megtalálható, arra itt nem térünk ki. Felépítését tömbvázlatban az 1. ábra tünteti fel. Ebből közvetlenül belátható, hogy amennyiben a fáziszár fennáll a bemenő jel és a VCO között, akkor a kimenő feszültség arányos lesz a bemenő jel pillanatnyi frekvenciájával, hiszen a VCO egy lineáris feszültség-frekvencia átalakítóként tekinthető. Mivel pedig a fáziszár garantálja, hogy a VCO frekvenciája megegyezik a bemenő jel pillanatnyi frekvenciájával, így a bemenetre FM-jelként adva a kimeneten a demodulált FM-jel vehető le.



1. ábra. Fáziszárt hurok elvi felépítése

Vizsgáljuk meg a PLL-áramkör FM-jel demoduláló tulajdonságait tekintettel a SECAM-rendszerű kódolt színjeire.

a) Statikus linearitás. — Ebből a szempontból a PLL-áramkör feszültség-szabályozott oszcillátorának (VCO) van döntő szerepe. A korszerű áramköri technika alkalmazása lehetővé teszi az ideális igen jól megközelítő lineáris feszültség-frekvencia karakterisztika realizálását széles frekvenciasávban. Mivel relaxációs oszcillátorok hangolása RC-elemeket igényel csupán, pl. multivibrátorral olyan igen lineáris FM-demodulátor készíthető, amely áramkör nem tartalmaz hangolt kört.

b) Dinamikus linearitás. — A gyors frekvenciaváltozások követésének készsége alapvetően a PLL hurokárámkörének sávszélességétől függ. Ha a hurokban levő aluláteresztő szűrő, az erősítő, továbbá a fázisdetektor sávszélessége elegendően nagy, úgy a VCO követni tudja a bejövő jel leggyorsabb frekvenciaváltozását is. Jóllehet ez a körülmény a behúzási tartományt nagymértékben megnöveli, a SECAM-jel esetében ez — nem okoz problémát, mert a frekvenciasávban (videosáv) nincs olyan más, zavaró periodikus jel, amire a VCO hibásan ráhúzna.

Látható tehát, hogy nincs elvi akadálya annak, hogy PLL-áramkört használjunk SECAM-rendszerű kódolt jel demodulálására.

3. A SECAM-jel demodulálása integrált PLL-áramkör segítségével

A Signetics cég (USA) hozott elsőként forgalomba monolitikus integrált áramköri megoldásban PLL-áramköröket [4]. Az 560 típusszámú gyártmánycsalád egyes tagjai alkalmasak voltak SECAM-jel demodulálására. A kísérleteket az ezek közül rendelkezésre álló NE561B típusú PLL-áramkörrel végeztük. Az áramkör legfontosabb gyári adatai a következők:

NE561B:

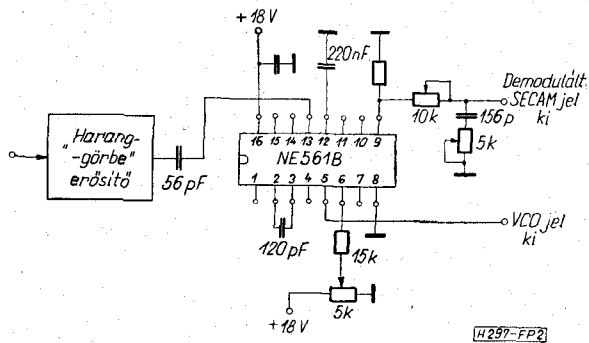
| | |
|--|--|
| Felső frekvenciahatár | 30 MHz |
| Max. követési (tartási) tartomány | $0,4 \cdot f_0$ |
| FM demodulálási torzítás | 0,3% |
| Löketerézékenység | $1 \text{ V}/0,05 \cdot f_0$ |
| VCO frekvencia hőstabilitása | $\pm 6 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ |
| VCO frekvencia tápfeszültség függősége | 0,3%/V |
| Ajánlott tápfeszültség-tartomány | +15 V... +26 V |

Figyelembe véve, hogy SECAM-rendszerben $f_0 \approx 4,3$ MHz, e katalógusadatokból a következő konkrét számadatok nyerhetők:

| | |
|-------------------------|-------------|
| Max. követési tartomány | 1,72 MHz |
| Löketerézékenység | 4,65 mV/kHz |

Mivel a 0,3%-os FM-demodulációs torzítás a teljes követési tartományra érvényes, így az adatokból következik, hogy az NE561 B (illetve a vele e szempontból egyenértékű 560B) jelentősen túlteljesíti a statikus linearitásra vonatkozó ideális követelményeket. (1,72 MHz szemben a szükséges 0,9 MHz-cel.) Nem elhanyagolható előnyt jelent továbbá az sem, hogy a SECAM-rendszerű jel maximális frekvencialöketére (alsó modulációs határtól a felsőig 900 kHz) a kiadott, demodulált feszültségváltozás több, mint 4 V.

Az integrált áramkör a maximális dinamikus linearitást akkor nyújtja, ha a hurok valamennyi eleme a lehető legnagyobb sávszélességű. Szabadsági fok csupán az aluláteresztő szűrő megvalósításában rejlik. Ennek azáltal adhatunk maximális sávszélességet, ha — hivatkozva a korábbi megfontolásainkra — külső szűrőelemet nem használunk, csupán az IC belső szórt kapacitásai által meghatározott szűrést hagyjuk érvényesülni. Mind ezt, mind pedig az

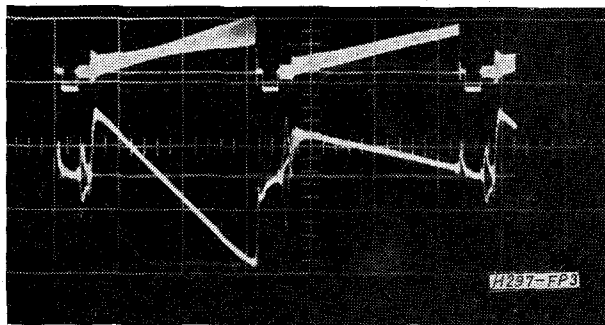


2. ábra. Az NE561B, mint SECAM-jel demodulátor

előbb vizsgált statikus linearitást természetesen végső fokon mérésrel ellenőriztük, illetve mérés útján határoztuk meg.

Az NE561B integrált áramkörnek, mint szekenciális SECAM-jel demodulátorának a méréseink során alkalmazott kapcsolási vázlatát a 2. ábra mutatja.

Ahhoz, hogy ellenőrizni lehessen, mennyire teljesíti az NE561B az ideális SECAM-demodulátorra vonatkozó követelményeket, szükséges, hogy a mérési elrendezés gondoskodjék a kódolt jelet ért valamennyi előtorzítás kompenzálásáról. A demodulálás előtt a nagyfrekvenciás („haranggörbe”) előkiemelés, a demodulálás után az alapsávi előkiemelés inverzét kell megvalósítani. Megjegyzendő, hogy a nagyfrekvenciás utóelnyomást nem annyira az FM-jel amplitúdómenetének, hanem főként és elsősorban az inverz haranggörbe erősítő fázistorzításának ellensúlyozására kell alkalmazni. (Az a tény, hogy az FM-jel egyidejűleg amplitúdóban is modulált, első közelítésben érdektelen lenne, hiszen a fáziszárt hurok alig érzékeny a bemenő jel amplitúdóváltozásaira.)



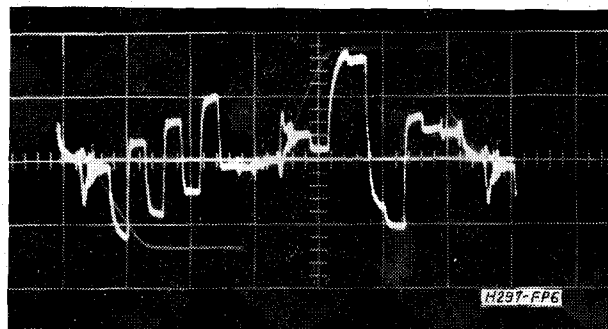
3. ábra. Lineáris, 100%-os kék-sárga átmenet. Felül: bemenő SECAM-jel 1 V/cm. Alul: demodulált SECAM-jel, 1 V/cm

Az áramkör statikus linearitási viszonyait a 3. és 4. ábrán bemutatott oszcillogrammok szemléltetik. A mérőjel létrehozásához sorfrekvenciás, pozitív, illetve negatív iránytangensű fűrészfeszültséget adtunk a SECAM-kóder RGB-bemeneteire értelemszerűen úgy, hogy először a kék, majd a vörös színkülönbségi jelű tv-sorokban a soridő alatt a maximális frekvencialöket létrejőjön. Bár a demodulált jel linearitását ezúttal egyaránt befolyásolja a kóder és demodulátor karakterisztikája, megfigyelhető a kivételesen jó lineáris feszültségváltozás.

A dinamikus linearitás mérése célszerűen a 25.0.25.0



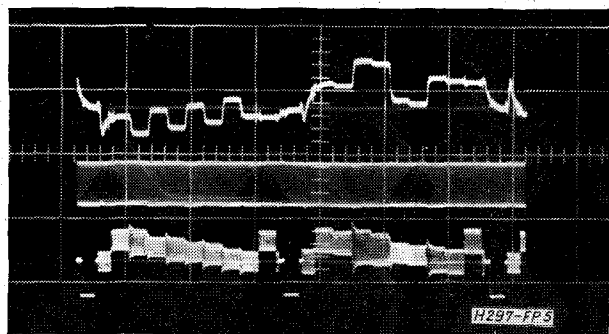
4. ábra. Lineáris, 100%-os cian-vörös átmenet. Felül: bemenő SECAM-jel, 1 V/cm. Alul: demodulált SECAM-jel, 1 V/cm



6. ábra. 100.0.100.0. színsávra demodulált jele. Lépték: 1 V/cm, ill. 20 μ s/cm

jelű (25% amplitúdójú) színsáv ábrával történt. Ennél ui. még a tranziens csúcsok nem érik el a modulációs határokat, így az alakhű jelátvitel feltétele elvileg teljesül. Az 5. ábra felvételének felső része mutatja a PLL-áramkörrel nyert demodulált jelet. Jól megfigyelhető ezen a kifogástalan impulzusalak-átvitel. A fel-, illetve lefutási időik mindenütt kb. 500 ns nagyságúak, ami a SECAM-rendszerű kódolással elérhető optimális határértéknek tekinthető.

Az ábra középső részén a feszültség szabályozott oszcillátor (VCO) jele látható. Figyelemre méltó ezen a frekvenciaváltozás ellenére megmaradó amplitúdó egyenletesség.



5. ábra. 25.0.25.0. színsávra demodulált jele. Felül: demodulált SECAM-jel, 1 V/cm. Középen: VCO jele 1 V/cm. Alul: bemenő kódolt SECAM jel, 0,5 V/cm

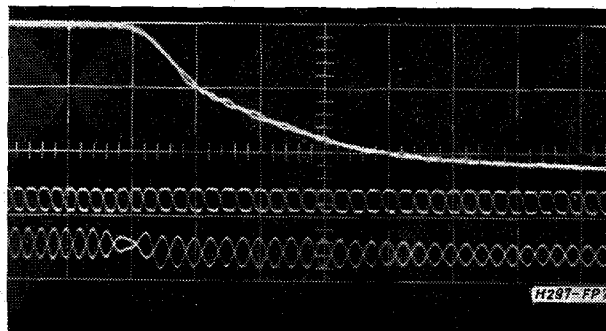
Az oszcillátor természetesen nem áll le a sorvisszafutási idő alatt, hanem az ún. szabadon futó frekvenciájával tovább rezeg egészen addig, a míg a következő tv-sor elején a modulálatlan színsegédvívó be nem lép. Itt figyelhető meg a PLL-áramkör egyetlen negatív tulajdonsága: ahhoz, hogy a fáziszár ismét beálljon, véges idő kell, és ezelőtt a VCO szabályozó feszültsége (=kimenő detektált feszültség) kedvezőtlen fázisállapítási szög esetén (l. pl. R-Y sorok kezdetét) a helyes értéktől először távolodni kezd. Ez a feszültséglengetés — a deemfázis karakterisztika miatt — tetemes hosszúságú lecsengési idejű lehet (a példában kb. 5 μ s), és a behúzási tranziens megzavarhatja a hasznos soridő elején levő színátvitelt.

Ha viszont a fáziszár egyszer már létrejött, a vizsgált PLL-áramkör még a legdrasztikusabb frekvencia-

változás esetén sem esik ki a szinkronból. Ezt illusztrálják a 6. és 7. ábra oszcilogramjai.

A 6. ábra két tv-sor egymás utáni demodulált képét mutatja 100%-os (100.0.100.0) színsávjelet tartalmazó bemenőjel esetén. Az impulzusalakok eltorzulását a SECAM-rendszer elvi korlátai okozzák: a kóderben a nagyamplitúdójú színtranziensek vágása következtében az eredeti moduláló jel elvileg sem reprodukálható alakhűen a demodulálás után. Tekintsük most az (R-Y) sorokban a zöld-bíbor átmenetet. Ennek nagyított képét a 7. ábra felső része mutatja.

A 7. ábrán mindhárom jelalakra vonatkozóan a vízszintes lépték 500 ns/cm. Középen a VCO jele (1 V/cm) látható. Ez utóbbi alapján lemérhető, hogy a zöld-bíbor színtranzienst kezdete balról 15 mm-nél, a határolással végződő másik vége ugyancsak balról számítva kb. 25 mm-nél van. A tranziens tehát mintegy 500 ns alatt zajlik le, mialatt a frekvencia kb. 4,8 MHz-ről 3,9 MHz-re (alsó határolási szint) csökken. A 7. ábra VCO-jelének a bemenő jellel periódusról periódusra való egybevetésével egyszerűen belátható, hogy a fáziszár egyetlen pillanatra sem szűnik meg, a VCO frekvenciája hűen követi periódusról periódusra a bejövő jel frekvenciaváltozását. Ami a két jel fázishelyzetét illeti, megfigyelhető, hogy az ábra bal oldalán (0...15 mm között) és balközépen (25...50 mm között) a két jel egymáshoz képest kb. 180°-os fáziscsúszást mutat. Ez egyezik azzal, hogy a vizsgált PLL-áramkör követési tartománya kb. megegyezik a SECAM-jel frekvenciatartományával, (3,9 MHz...4,8 MHz), és a fázisdetektor (l. 1. ábra) a működési tartományának a széléig igénybe van véve. Maga a demodulált jel



7. ábra. 100.0.100.0. színsávra zöld-bíbor átmenete kinagyítva az (R-Y) sorokban. Vízszintesen 500 ns/cm. Felül: demodulált jel, 1 V/cm. Középen: VCO jele, 2 V/cm. Alul: bemenő SECAM-jel, 1 V/cm

természetesen itt nem mutathatja ezt a gyors átváltást, hiszen a deemfázis áramkör hatására minden gyors változás „ellaposodik”.

NE561B (Signetics) integrált áramköri kivitelű PLL-áramkör gyakorlatban is igazolta az elvi úton nyert megállapításokat.

4. Összefoglalás

Az előzőekben röviden áttekintettük a fáziszárt hurok (PLL)-áramkörök alkalmazhatósági kérdéseit SECAM-rendszerű színes televízió dekóderben. Megállapítottuk, hogy mind a statikus, mind a dinamikus linearitási követelményeket elvileg kifogástalanul teljesíteni tudja. A gyakorlati méréssel megvizsgált

I R O D A L O M

- [1] Normes des émission de télévision en couleur. Journal Officiel de la République Française. 24 Janvier 1967, pp. 899.
- [2] F. M. Gardner: Phaselock techniques. Wiley, 1966. New York.
- [3] A. J. Viterbi: Principles of coherent communication. McGraw-Hill, 1966. New York.
- [4] Signetics linear PLL applications book. Copyright 1972. Signetics Corporation, Sunnyvale, California, USA.