

## PAL és NTSC jelek előállításának a szokásostól eltérő megoldásai

ETO 621.397.3:621.397.6222

A PAL- és az NTSC-rendszerek közös vonása a színinformáció továbbításának lényegében megegyező módszere, nevezetesen a kvadratúra-moduláció alkalmazása. A két rendszer közötti különbségekre nem térünk ki, mert azok a későbbiekben leírtak lényegi mondanivalóját nem érintik. A továbbiakban a leírás során csak a PAL-rendszerű kvadratúra-modulált jel előállításával foglalkozunk tételesen, de természetesen az ismertetett eljárások értelemeszerű alkalmazása NTSC rendszerű kvadratúra-modulált jel előállítására is alkalmasak.

### 1. PAL rendszerű kódolt jel előállítása mintavételezéssel

#### 1.1. Mintavétel PAL színsegédvívő-frekvenciájú jellel

Hasonlóan a hagyományos PAL-kódoláshoz itt is az alapsávi sávhatárolt vörös és kék szinkülönbségi jelekből indulunk ki. A vörös szinkülönbségi jelet  $v(t)$ -vel, a kék szinkülönbségi jelet  $u(t)$ -vel jelöljük. Az eljárások lényegét az 1. ábra mutatja.

A kék szinkülönbségi jeltől természetes mintavétellel vesz mintát egy szorzóáramkör segítségével az  $s(t)$  (az 1. ábrán megadott) impulzussorozat, melynek ismétlődési frekvenciája egyenlő a PAL színsegédvívő-frekvenciával. A vörös szinkülönbségi jeltől soronkénti váltással a  $g_1(t)$  és  $g_2(t)$  jelekkel veszünk mintákat. Tételezzük fel, hogy  $g_1(t)$  az  $m$ -edik sorban,  $g_2(t)$  pedig az  $(m+1)$ -edik sorban veszi a mintákat.

A mintavett jeleket összeadás után sávszűrőre vezetjük. A sávszűrő hangolási frekvenciája a PAL színsegédvívő-frekvencia ( $f_{sv}$ ), sávzélessége az alapsávi szinkülönbségi jelek sávzélességének duplája. A sávszűrő kimenetén kvadratúra-modulált jel jelenik meg. Ez a következő módon igazolható.

Az igazolást először az  $m$ -edik sorban végezzük el. Az  $s(t)$  és  $g_1(t)$  mintavető jelek Fourier-sora rendre a következő:

$$s(t) = \frac{U_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} e^{-jn\omega_{sv} \frac{T}{4}} e^{jn\omega_{sv} t}, \quad (1)$$

$$g_1(t) = \frac{U_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} e^{jn\omega_{sv} t}. \quad (2)$$

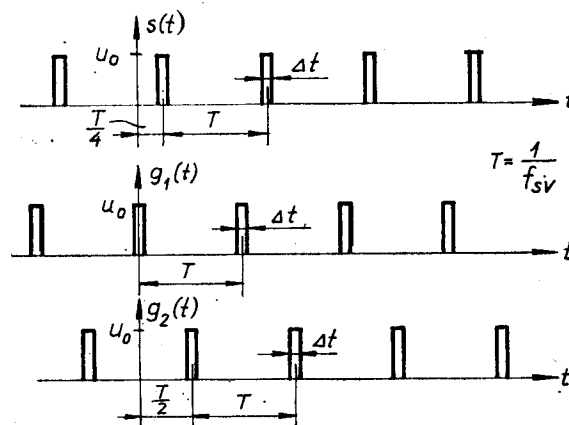
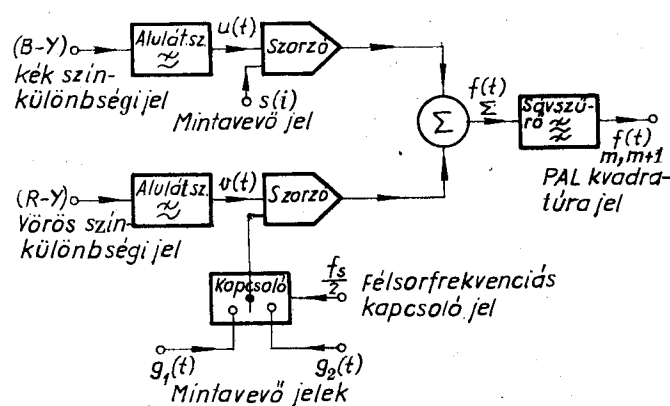
A mintavétel és az összegzés után a következőt kapjuk:

$$f_{\Sigma}(t) = u(t) \cdot s(t) + v(t) g_1 t =$$

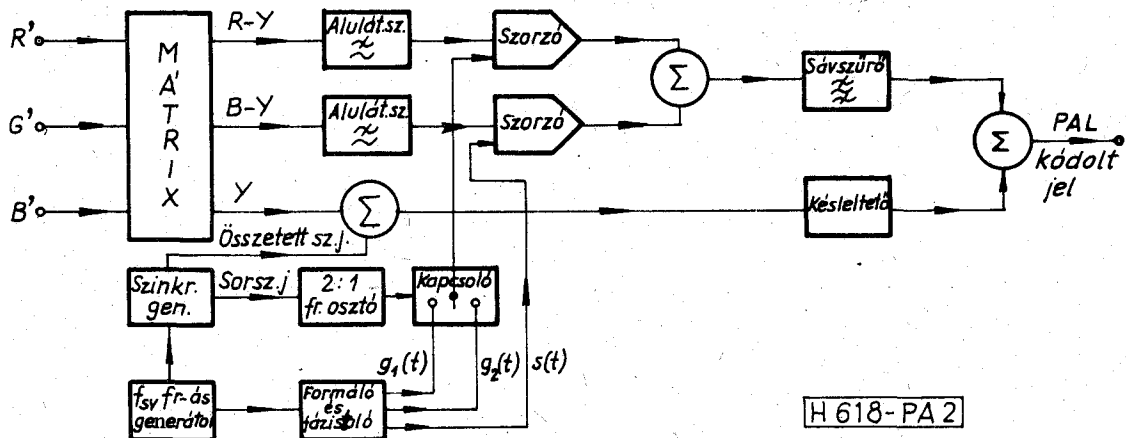
$$= u(t) \frac{u_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} e^{-jn\omega_{sv} \left(\frac{T}{4} - t\right)} +$$

$$+ v(t) \frac{u_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} e^{jn\omega_{sv} t}. \quad (3)$$

Tételezzük fel, hogy az  $u(t)$  és  $v(t)$  sávhatárolt alapsávi szinkülönbségi jeleknek léteznek a Fourier-transzformáltjai és ezek  $F\{u(t)\} = U(f)$  és  $F\{v(t)\} = V(f)$ . Ezen feltétel teljesülése esetén a természetes



H 618-PA 1



2. ábra. Mintavivős kódolási eljárás bővített tömbvázlata

mintavétellel kapott  $f_{\Sigma}(t)$  Fourier-transzformáltja az alábbi módon írható fel [1]:

$$F\{f_{\Sigma}(t)\} = U_0 \frac{\Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} e^{-jn\omega_{sv} \frac{T}{4}} \cdot U(f - n_{sv}) + U_0 \frac{\Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} \cdot V(f - n_{fsv}). \quad (4)$$

A sávszűrő hatását úgy vehetjük figyelembe, hogy a (4) kifejezésben elvégezzük az  $n = \pm 1$  behelyettesítést. Ennek alapján a sávszűrő kimenetén az  $m$ -edik sorban megjelenő jel Fourier-transzformáltja az alábbi lesz:

$$F\{f_m(t)\} = U_0 \frac{\Delta t}{T} \frac{\sin \omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} \left[ U(f - f_{sv}) e^{-j\omega_{sv} \frac{T}{4}} + U(f + f_{sv}) e^{j\omega_{sv} \frac{T}{4}} + V(f - f_{sv}) + V(f + f_{sv}) \right]. \quad (5)$$

Elvégezve az (5) kifejezés inverz Fourier-transzformálását,  $f_m(t)$ -re az alábbi kifejezést kapjuk:

$$f_m(t) = 2 \frac{U_0 \Delta t}{T} \frac{\sin \omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} [U(t) \sin \omega_{sv} t + v(t) \cos \omega_{sv} t]. \quad (6)$$

Az előbbi gondolatmenetet alkalmazva az  $(m+1)$ -edik sorra a végeredmény a következő lesz:

$$f(t)_{m+1} = 2 \frac{U_0 \Delta t}{T} \frac{\sin \omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} [U(t) \sin \omega_{sv} t - v(t) \cos \omega_{sv} t]. \quad (7)$$

A (6) és (7) kifejezések mutatják, hogy az 1. ábrának

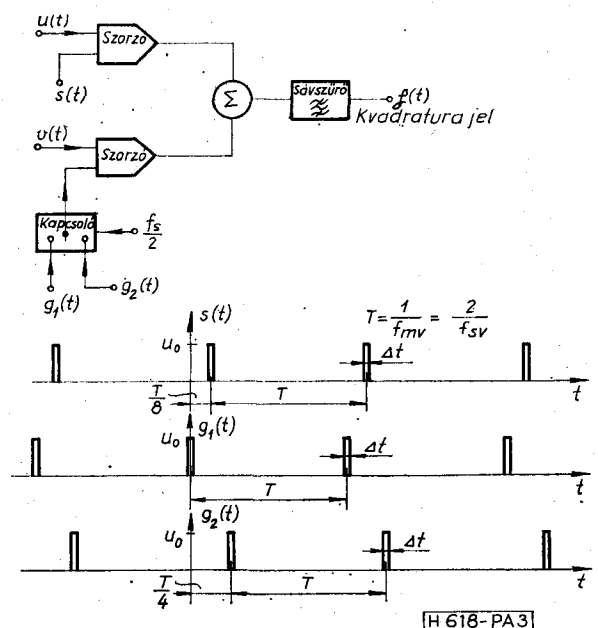
megfelelő elvi eljárással előállítható PAL kvadrátúra-modulált jel (az  $m$ -edik és  $[m+1]$ -edik sorokban szereplő azonos értékű szorzó konstansok csak a létrejövő PAL jel csúcstól-csúsig vett értékét befolyásolják, tehát elvi szerepük nincs). Az 1. ábrán bemutatott elv alapján működő PAL dekóder részletesebb tömbvázlata a 2. ábrán látható.

1.2. Mintavétel a PAL színsegédvívő-frekvencia felével

A módszer lényegét a 3. ábra mutatja. A 3. ábrát és az 1. ábrát összehasonlítva láthatjuk, hogy a két tömbvázlat lényegében megegyezik egymással. A különbség a mintavevő jelek frekvenciájában és azok egymáshoz képesti fázishelyzetében van. Jelen esetben a mintavevő frekvencia a PAL színsegédvívő-frekvencia felével egyenlő.

A számszerű vizsgálatokat ismét az  $m$ -edik sorra végezzük el.

A 3. ábrán megadott fázishelyzetű  $s(t)$  és  $g_1(t)$  jelek Fourier-sora rendre a következő lesz:



3. ábra. Mintavételezés  $f_{sv}/2$  frekvenciájú jellel

$$s(t) = \frac{U_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}} e^{-jn\omega_{mv} \frac{T}{8}} e^{jn\omega_{mv} t}, \quad (8)$$

$$g_1(t) = \frac{U_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}} e^{jn\omega_{mv} t}. \quad (9)$$

A mintavétel és az összegzés után az alábbiakat kapjuk:

$$\begin{aligned} f_z(t) &= U(t) \cdot s(t) + v(t)g_1(t) = \\ &= t(t) \frac{U_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}} e^{jn\omega_{mv} (t - \frac{T}{8})} + \\ &+ v(t) \frac{U_0 \Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}} e^{jn\omega_{mv} t}. \quad (10) \end{aligned}$$

A (10) kifejezés Fourier-transzformáltja a következőnek adódik:

$$\begin{aligned} F\{f_z(t)\} &= U_0 \frac{\Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}} e^{-jn\omega_{mv} \frac{T}{8}} \cdot U(f - n f_{mv}) + \\ &+ U_0 \frac{\Delta t}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}}{n\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}} V(f - n f_{mv}). \quad (11) \end{aligned}$$

A 3. ábrán az összegzőt egy, a PAL színsegédvívőre hangolt sávszűrő követi. Tekintettel arra, hogy jelenleg fennáll az  $f_{sv} = 2f_{mv}$  összefüggés a mintavételi és segédvívő frekvenciák között, a sávszűrő hatását úgy vehetjük figyelembe, hogy a (11) kifejezésben elvégezzük az  $n = \pm 2$  behelyettesítést:

$$\begin{aligned} F\{f_m(t)\} &= U_0 \frac{\Delta t}{T} \frac{\sin 2\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}}{2\omega_{mv} \frac{\Delta t}{2}} \left[ U(f - 2f_{mv}) e^{-j2\omega_{mv} \frac{T}{8}} + \right. \\ &\left. + U(2f + f_{mv}) e^{j2\omega_{mv} \frac{T}{8}} + V(f - 2f_{mv}) + V(f + 2f_{mv}) \right]. \quad (12) \end{aligned}$$

Érdeemes észrevenni, hogy az (5) és (12) kifejezések – a mintavételi és segédvívő frekvenciák közötti összefüggés miatt – megegyeznek egymással. Ily módon természetesen a (12) kifejezés inverz Fourier-transzformáltja is meg fog egyezni a (6) kifejezéssel. Az előbbiekhöz hasonlóan eljárva az  $(m+1)$ -edik sorban is megkaphatjuk a (7) kifejezéssel megegyező végeredményt.

Mindezek alapján az  $m$ -edik és  $(m+1)$ -edik sorok közös alakja az alábbi lesz:

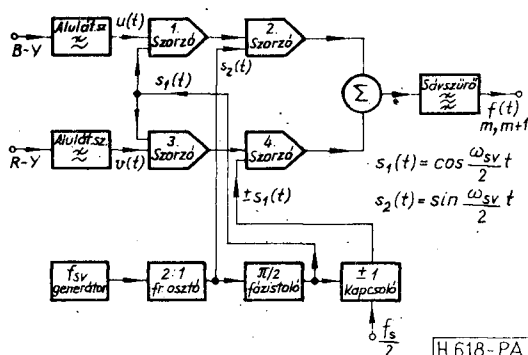
$$f_{m,m+1}(t) = 2 \frac{U_0 \Delta t}{T} \frac{\sin \omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}}{\omega_{sv} \frac{\Delta t}{2}} \cdot [U(t) \sin \omega_{sv} t \pm v(t) \cos \omega_{sv} t]. \quad (13)$$

Megállapíthatjuk, hogy a (13) kifejezés egy konstans szorzótól eltekintve megegyezik a PAL kvadrátúra-jellel.

## 2. PAL rendszerű kódolt jel előállítása szinuszos modulációval

### 2.1. Sávszűrőt alkalmazó eljárás

Kiindulási alapunk most is a sávhatárolt alapsávi vörös  $v(t)$  és kék  $u(t)$  színkülönbségi jel. Az eljárás elvét a 4. ábrán látható tömbvázlat mutatja. A tömbvázlat alapján kövessük végig a kvadrátúra-modulált jel kialakulását az  $m$ -edik sorban!



4. ábra. Kvadrátúra-modulált jel előállítása szinuszos modulációval

Az 1. szorzó áramkörön az  $u(t) \cdot s_1(t)$ , a 2. szorzó áramkörön az  $u(t) \cdot s_1(t) \cdot s_2(t)$ , a 3. szorzón az  $v(t) \cdot s_1(t)$ , a 4. szorzón pedig az  $v(t) \cdot s_1(t) \cdot s_2(t)$  szorzatok képződnek. Nézzük meg a 2. és 4. szorzó áramkörök kimenő jeleit, ha

$$s_1(t) = \cos \frac{\omega_{sv}}{2} t \quad \text{és} \quad s_2(t) = \sin \frac{\omega_{sv}}{2} t \quad \text{és} \quad \omega_{sv}$$

a PAL segédvívő körfrekvenciával egyezik meg.

$$\begin{aligned} u(t) \cdot s_1(t) \cdot s_2(t) &= u(t) \cos \frac{\omega_{sv}}{2} t \sin \frac{\omega_{sv}}{2} t = \\ &= \frac{1}{2} u(t) \sin \omega_{sv} t, \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v(t) \cdot s_1(t) \cdot s_1(t) &= v(t) \cdot \cos \frac{\omega_{sv}}{2} t \cdot \cos \frac{\omega_{sv}}{2} t = \\ &= \frac{1}{2} v(t) \cos \omega_{sv} t + \frac{1}{2} v(t). \quad (15) \end{aligned}$$

Az összegző kimenetén a (14) és (15) összege jelenik meg, amelynek Fourier-transzformáltja az alábbi:

$$F\{f_z(t)\} = \frac{1}{2} \left[ U(f \pm f_{sv}) e^{\pm j \frac{\pi}{2}} + V(f \pm f_{sv}) + V(f) \right]. \quad (16)$$

Az összegzőt követő, segédvívő-frekvenciára hangolt sávszűrő a  $V(f)$ -nek megfelelő alapsávi nemkívánatos részt eltávolítja. A sávszűrő kimenetén tehát, az inverz Fourier-transzformálás elvégzése után, egy konstans szorzótól eltekintve a PAL kvadratura jel jelenik meg.

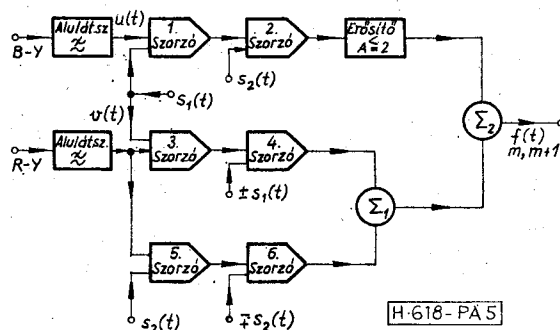
$$f_m(t) = \frac{1}{2} [u(t) \sin \omega_{sv} t + v(t) \cos \omega_{sv} t]. \quad (17)$$

Az  $(m+1)$ -edik sorban hasonlóan eljárva, annyi különbséggel, hogy a 4. szórzóáramkör szórozójele  $-s_1(t) = -\cos \frac{\omega_{sv}}{2} t$ , a sávszűrő kimenetén a következő jel jön létre:

$$f_{m+1}(t) = \frac{1}{2} [u(t) \sin \omega_{sv} t - v(t) \cos \omega_{sv} t]. \quad (18)$$

### 2.2. Sávszűrőt nem alkalmazó eljárás

Az eljárásnak az a lényege, hogy az előbbi esetben jelentkező alapsávi komponens kiejthető sávszűrő nélkül is alkalmasan választott fázisú szórozójelek felhasználásával. Alapsávi összetevő csak a vörös színkülönbségi jelből keletkezett, ezért elegendő, ha csak az itteni változásokat vizsgáljuk meg (5. ábra).



5. ábra. Sávszűrőt nem alkalmazó eljárás elve

A 3. és 4. szorzó az előbbi esettel megegyező szorzatot állítja elő mind az  $m$ -edik, mind az  $(m+1)$ -edik sorban, tehát a  $v(t) \cdot [\pm s_1(t)] \cdot s_1(t)$  szorzatot. Az 5. és 6. szorzó viszont a  $v(t) [\mp s_2(t)] s_2(t)$  szorzatot. Az 1. összeadón tehát a következő jel jelenik meg:

$$v(t) [\pm s_1(t) \cdot s_1(t) \mp s_2(t) \cdot s_2(t)] = v(t) = v(t) \left[ \pm \cos^2 \frac{\omega_{sv}}{2} t \mp \sin^2 \frac{\omega_{sv}}{2} t \right] = \pm v(t) \cos \omega_{sv} t. \quad (19)$$

A (19) kifejezésből látható, hogy akár a kék színkülönbségi csatornában pl. a 2. szorzó után alkalmazott 2-szeres erősítésű erősítő, akár a vörös színkülönbségi csatornában pl. az 1. összeadó után alkalmazott 2-szeres csillapítású osztó felhasználása esetén a 2. összeadó kimenetén PAL kvadratura jel jelenik meg, azaz

$$f_{m,m+1}(t) = u(t) \sin \omega_{sv} t \pm v(t) \cos \omega_{sv} t. \quad (20)$$

### 3. Összefoglalás

a) A bemutatott eljárások mindegyike elvileg új módszernek tekinthető PAL és NTSC jelek előállítására.

b) A bemutatott eljárások helyességének bizonyításakor  $u(t)$  és  $v(t)$  jelekről csak azt tételeztük fel, hogy sávhatároltak és létezik a Fourier-transzformáltjuk. Érdeemes megjegyezni, hogy az igazolás akkor is elvégezhető, ha  $u(t)$ -t és  $v(t)$ -t — a valóságot jobban megközelítő módon — gyengén stacionárius folyamatnak tekintjük.

c) Az 1.1., 2.1. és 2.2. fejezetekben közölt megoldások, részletesebb vizsgálatok alapján is igazolhatóan, az eredeti PAL eljárással egyenértékű kódolt jelet hoznak létre.

d) Az 1.2. fejezetben közölt eljárás a PAL rendszerű aluláteresztő szűrők karakterisztikáinak ismeretében a félszegvívő-frekvenciás mintavétel következtében fellépő spektrumátlapolódás miatt nem tud a hagyományos eljárással egyenértékű kódolt jelet létrehozni. Torzítástól mentes kódolt jel csak oly módon állítható elő, ha az alapsávi színkülönbségi jelek sávhatárolását biztosító aluláteresztő szűrők sávzélességét az átlapolódás mentes eset eléréséhez szükséges mértékben csökkentjük. Ez természetesen továbbra is azt jelenti, hogy a kialakuló kódolt jel nem egyenértékű a hagyományos eljárással létrehozható PAL jellel.

### IRODALOM

[1] Dr. Ferenczy Pál: Hírközlélmélet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.  
 [2] Dr. Ferenczy Pál: AM-PM konverzió alapuló új eljárás PAL színes tv-jel dekódolására. Színes televízió vételtechnikai szeminárium, Budapest, 1978.