

7. Mérés

Sztereo multiplex jelek és dekóder mérése

Összeállította: Mészáros András

2015.09.01.

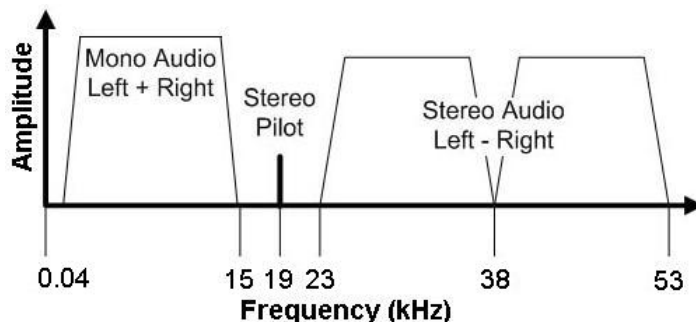
7.1 Elméleti áttekintés:

A mérés során a multiplex sztereo jelek elemzésével fogunk foglalkozni. Ezzel kapcsolatosan megismerkedünk a sztereo átvitel módjával, az átvendő jel előállításával, valamint az ennek vételére alkalmas μ A758 PLL FM sztereo multiplex dekóder integrált áramkörrel.

7.1.1 Multiplex sztereo jel felépítése:

A rádiózás történelme során eleinte monó, azaz egycsatornás hangátvitel volt a jellemző. Ezen régebbi típusú adó- és vevőberendezések elektronikai úgy épültek fel, hogy egy hangcsatorna került feldolgozásra; ezt nevezzük monó adásvételnek. Megjegyzendő, hogy ma is számos helyen előfordul ez, például a mobiltelefonok a mai napig monó átviteli elvűek – egy mikrofon az adóoldalon, egy hangszóró a vevőoldalon. A kor előrehaladtával azonban felmerült a térhangzás igénye, amit a sztereo adás elégített ki, mely során olyan jelet sugároznak, amit a sztereo vételre alkalmas vevőegység képes bal és jobb hangcsatornára bontani. Egyúttal a korábbi rádiók számára is biztosítani kellett a visszafelé kompatibilitást, azaz a sztereo jelet és komponenseit úgy kellett megalkotni, hogy a monó vevőegységek is képesek legyenek a vételre. Ilyen fajta sztereo átvitelről csak FM rádiózásnál beszélünk.

Az így létrehozott jelet nevezzük multiplex sztereo (**Mono-Pilot-Stereo - MPS**) jelnek, melynek spektrumát az 1. ábra szemlélteti:



1. ábra: Sztereo multiplex alapsávi jel spektruma

Az egyszerű sztereo multiplex jelen jól látható, hogy több komponensből épül fel:

1. **Monó jel (M):** az egyszerű monó átvitelnél ez a kizárólagos csatorna, sztereo adás esetén ezt a komponenszt képes egy monó vevő kizárólagosan detektálni (**kompatibilitás**). Frekvencia sávja 40Hz-től 15kHz-ig terjed. A monó jel a bal és a jobb csatorna összege, azaz: $M=B+J$.
2. **Pilot-jel (P):** 19kHz-es frekvenciájú **segédvívó** jel, mely megléte jelzi a vevőegységnek (dekódernek) a sztereo adást, vagyis a sztereo vevő innen tudja megkülönböztetni, hogy az adás monó, vagy sztereo. Amennyiben a vevőoldalon túl kicsi az amplitúdója (vagy nulla), úgy a dekóder monó adásként fogja dekódolni a vett jelet; tehát mindkét csatornán ugyanaz lesz hallható.

3. **Sztereó jel (S):** a sztereó multiplex jel azon komponense, amely a pilot-jel detektálása esetén a monó jel mellett vételre kerül. A spektrumból kivehető, hogy 38kHz-re tükrös, az alapsávi (M) jellel megegyező sávszélességű spektrumkomponensről van szó, azonban 38kHz-en nincs frekvenciaösszetevő. Az ilyen jel AM-DSB/SC, azaz elnyomott vivőjű kétoldalsávós amplitúdómodulált frekvenciakomponens. Ezen komponens teljes frekvencia sávja 23-53kHz-ig terjed. A sztereó jel összetétele a bal és a jobb csatorna különbsége, azaz: $S=B-J$.

A monó komponens lévén, hogy a két csatorna összegét viszi át, **összegi jelnek**, a sztereó jelet pedig **különbségi jelnek** is szokták nevezni.

A fentiek alapján felírhatjuk, hogy az összetett sztereó jel és részegységei az alábbi időfüggvényekkel írhatók le:

$$u_{MPS}(t) = M(t) + P(t) + S(t)$$

$$M = B + J$$

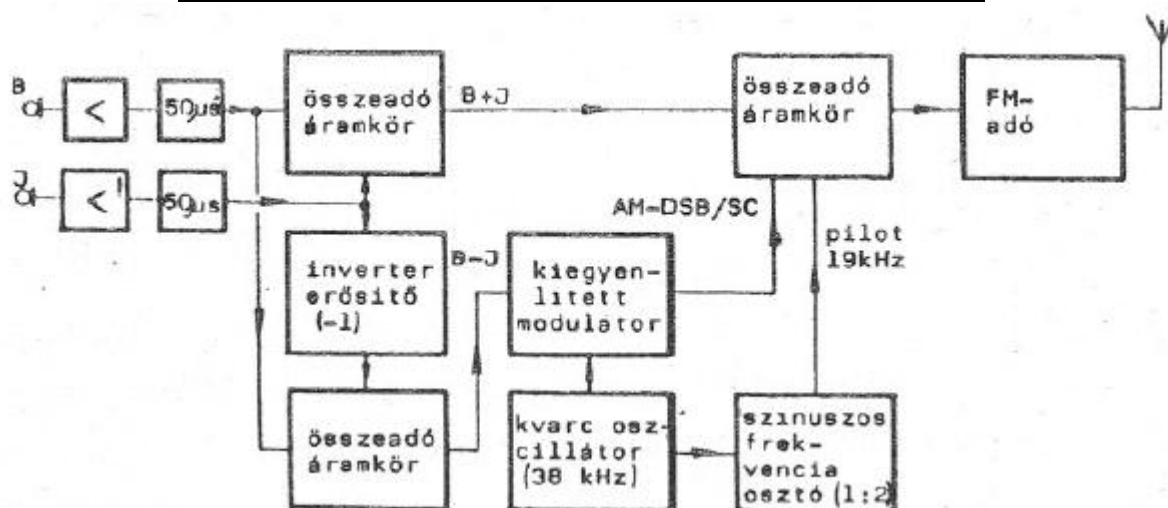
$$P = u_p \sin \frac{\omega_s}{2} t ; \text{ ahol } \omega_s = 2\pi f_s \text{ és } f_s = 38\text{kHz} \pm 2\text{kHz}$$

$$S = (B - J) \sin \omega_s t$$

Ezen összefüggésekből felírható, hogy az MPS jel időfüggvénye:

$$u_{MPS} = (B + J) + u_p \sin \frac{\omega_s}{2} t + (B - J) \sin \omega_s t$$

7.1.2 Multiplex sztereó adó felépítése és működése:



2. ábra: Sztereó multiplex generátor felépítése

A 2. ábrán egy pilot vivős multiplex sztereó adó rendszer tömbvázlata látható, melynek működése az alábbi:

1. Adott a bal (B vagy L, mint left) és jobb (J, vagy R, mint right) csatorna. Mivel frekvenciaosztásos rendszerekben a nyalábolt jel egyenletes teljesítménysűrűségű, az átvitel során fellépő zajok teljesítménysűrűsége azonban nem egyenletes, így az alapsáv különböző részein elhelyezkedő komponenseket nem egyforma mértékben zavarja a zaj. Az **előtorzító áramkör** az alapsávi jelet úgy alakítja át, hogy lehetőleg a sáv minden részén

azonos jel-zaj teljesítményviszony legyen. Ezt az eljárást nevezzük **preemfázisnak** (előkiemelés). A vevőoldalon természetesen vissza kell állítani az eredeti alapsávi jelet, ezt a feladatot a kiegyenlítő áramkör végzi, melynek $D(\Omega)$ karakterisztikája a $P(\Omega)$ preemfázis-karakterisztika inverze; ez utóbbi a **deemfázis**.

2. A következő lépés az összegi (M) és különbségi (S) jelek előállítására. Ennek folyamatát két összeadó áramkör végzi, egyik bemeneteire közvetlenül kapcsolódik a két előtorzított jel, ennek kimenetén M (B+J) jelenik meg. A másikra a bal közvetlenül, de a jobb invertálva (-1-es erősítésű, azaz invertáló áramkörön keresztül), így megalkotva az S komponens (B-J).

3. Az S jel felkeverése a spektrum 23-53kHz-es tartományába. A felkeverést egy 38kHz-es helyi oszcillátorral, valamint egy AM-DSB/SC jel előállítására alkalmazott, ún. kiegyenlített (balanced) modulátor segítségével tesszük meg.

4. A Pilot-jel előállítása: az előbbi jel referencia oszcillátorának kimeneti jelét felezni kell, így megkapjuk a 19kHz-es segédvívó jelet (szinuszos frekvenciafelező).

5. A teljes MPS jel előállítása egy három bemenetű összeadóval történik a korábban ismertetett $u_{MPS}(t)=M(t) + P(t) + S(t)$ összefüggésnek megfelelően.

Az összetett sztereó jelet FM modulálására használjuk. E jel frekvencia sávja 40Hz-53kHz-ig terjed. Ha az FM adó maximális löketét (-deviációját- $f_d=50\text{kHz}$) egységnyinek választjuk, akkor a sztereó jel átvitelekor a Pilot-jel amplitúdója 10%-ig és az S jel M=0 mellett 90%-ig modulálhatja az adót. A valóságban az S=0 előfordulhat, az M=0 nem.

Sztereó adás esetén a két csatorna bemenetén mintegy fele akkora amplitúdójú jel van, mint monó adásnál. A sztereó adás dinamikája ezért 6dB-lel kisebb a monó adáshoz képest. A sztereó átvitel méréséhez 1kHz-es jeleket használnak a következő összeállításban:

1. Monó jel:

$$B = J = 0,45 \cos \omega_m t$$

$$MPS = 0,9 \cos \omega_m t + 0,1 \sin \frac{\omega_s}{2} t + 0$$

2. Sztereó jel:

$$B = -J = 0,45 \cos \omega_m t$$

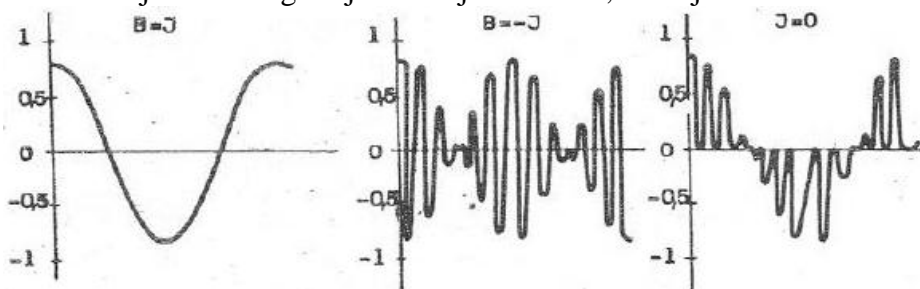
$$MPS = 0 + 0,1 \sin \frac{\omega_s}{2} t + 0,9 \cos \omega_m t$$

3. Bal csatorna:

$$B = 0,45 \cos \omega_m t$$

$$MPS = 0,45 \cos \omega_m t + 0,1 \sin \frac{\omega_s}{2} t + 0,45 \cos \omega_m t \cdot \sin \omega_s t$$

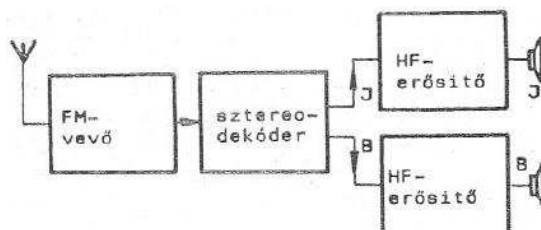
E három mérőjel oszcillogramját mutatja a 3. ábra, Pilot-jel nélkül:



3. ábra: A három mérőjel idődiagramja ($f_m=1\text{kHz}$)

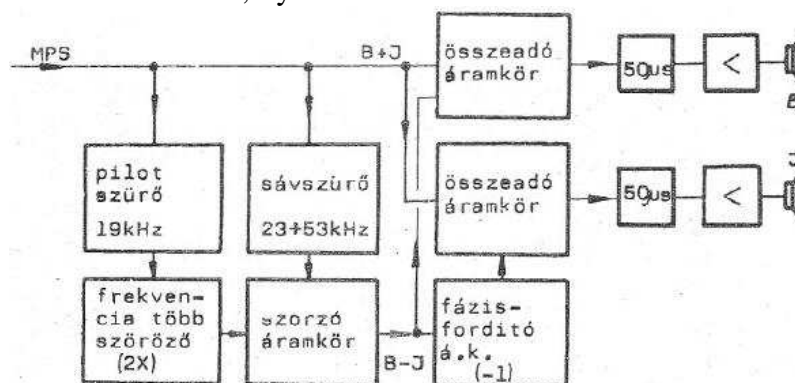
7.1.2 Sztereó multiplex vevő, dekóder felépítése és működése:

A vétel során a vevőkészülék FM demodulátorának kimenetén megjelenik az összetett sztereó jel, amelynek spektrumát az 1. ábra korábban már bemutatta. A (B-J) különbségi jelet a sztereó vevőkészülékben lévő (4. ábra) sztereó dekóder hasznosítja:



4. ábra: Sztereó vevőkészülék egyszerűsített tömbvázlata

A sztereó dekóder előállítja a bal és jobb csatorna jelét, amelyeket független teljesítményerősítőkkel felerősítenek. A PLL áramkörhöz képest más megoldást jelent a szorzó áramkörös sztereó dekóder, ilyen áramkör tömbvázlata látható az 5. ábrán.



5. ábra: Szorzó áramkörös MPS dekóder blokkvázlata

Az összetett sztereó jelből sávszűrővel választják ki a különbségi (B-J) jelet hordozó AM-DSB/SC jelet, amelynek frekvenciasávja 23kHz-53kHz-ig terjed, ezt szorzó áramkörre kell vezetni. A különbségi jel helyreállításához szükség van a 38kHz-es vivő helyreállítására, ami a dekóder által detektált Pilot-jel felkésztetettje, valamint az AM-DSB/SC jel szorzatából adódik. A szorzó áramkör kimenetén többek között megjelenik a különbségi jel is, amelyet az alábbi összefüggés szemléltet:

$$\begin{aligned}
 u_{ki} &= k \cdot u_1 \cdot u_2 = k \cdot U_r \cdot \sin \omega_s t \cdot (B - J) \cdot \sin \omega_s t = \\
 &= \frac{k \cdot U_r}{2} (B - J) - \frac{k \cdot U_r}{2} (B - J) \cdot \cos 2\omega_s t
 \end{aligned}$$

A szorzó áramkört követő aluláteresztő szűrő az alapsávi jelet választja ki, míg a többi jelet kiszűri. A szorzó áramkör helyes működésének az a feltétele, hogy a referencijel frekvenciája és fázisa megegyezzen a vivőhullám frekvenciájával és fázisával. Erre a célra szolgál a Pilot-jel, ami egy VCO-t (Voltage Controlled Oscillator – feszültségvezérelt oszcillátor) vezérelve oldja meg ezt a kérdést. Az M és S jelekből a B és J visszaállítható:

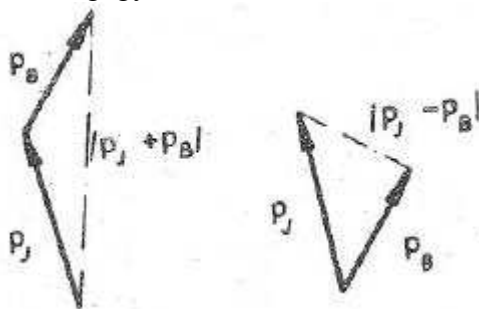
$$\begin{aligned}
 (B+J) + (B-J) &= 2B \\
 (B+J) - (B-J) &= 2J
 \end{aligned}$$

A sztereó átvitel egyik fontos jellemzője a **sztereó áthallási csillapítás**. Ez a jellemző megadja, hogy milyen mértékű az áthallás az egyik csatornából a másik csatornába. Ezen mennyiség definíciója az alábbi:

$$a_{J \rightarrow B} = 20 \lg \frac{|U_J|}{|U_{B_áthallás}|}$$

$$a_{B \rightarrow J} = 20 \lg \frac{|U_B|}{|U_{J_áthallás}|}$$

U_J a jobb csatorna kimenetén mérhető jel és U_B pedig a bal csatorna kimenetén mérhető jel amplitúdója. A vevőkészülékekben legfeljebb 20dB áthallás engedhető meg. A sztereó átvitel másik fontos jellemzője a **sztereó azonossági tényező**, ami a két csatorna azonosságát méri. A definíció magyarázásához felrajzoljuk a két csatorna kimeneti jelének a vektorát (6. ábra). A sztereó azonossági tényező definiálásakor feltételezzük, hogy a két csatorna bemenőjele egymással megegyezik ($B=J$).



6. ábra: sztereó azonossági tényező vektorábrája

$$a_A = 20 \lg \frac{|U_B + U_J|}{|U_B - U_J|}$$

Ideális átvitel esetén a különbségi vektor 0, ezért az a_A azonossági tényező értéke végtelen nagy. A valóságban ez a mennyiség rendszerint frekvenciafüggő, 1kHz-en legalább 25dB-t el kell érnie.

7.2 Mérési feladatok:

A **mérési segédlet (7.3)** a $\mu A758$ IC katalógus-adatait, valamint bekötési rajzát tartalmazza. A sztereó jelet az SMG40 Stereo Generator-ral állítjuk elő (az alatta lévő FM Carrier Unit nem kell). A mérés során mindig válasszunk olyan MPS jel amplitúdót (generátoron COMP OUT), ami könnyedén kezelhető és leolvasható (pl.: 3V), amennyiben az útmutató másképp nem kívánja.

Stabilitási okokból amennyiben az útmutató (kikapcsolt) Pilot-jelet kér, úgy a Pilot-jel továbbra is bekapcsolt állapotban legyen, de 0% nagysággal. L&R funkcióra nincs szükség a mérés során (külső független jelek lennének szükségesek hozzá, például sztereó hangforrás, lejátszó stb.).

A mérőpanel működtetése +12,6V egyenfeszültségű tápellátást igényel. A négy BNC csatlakozó balról jobbra: MPS bemenet, Pilot-jel helyi oszcillátora, BAL kimenet, JOBB kimenet. A mérőpanel tartalmazza a sztereó bekapcsolási határt indikáló LED-et.

1. feladat: A jelet a sztereó generátorból kapjuk, a mérőpanel itt még nem szükséges. Vegyük fel a sztereó multiplex jel spektrumát digitális oszcilloszkóp FFT (Fast-Fourier-Transformation) funkciójával; a modulálójel frekvenciája legyen 5kHz, a Pilot-jel amplitúdója 10%, ne legyen előtorzítás (preemfázis). Vizsgáljuk meg a spektrumot mind a 4 esetben ($B=0$, $J=0$, $B=J$, $B=-J$). Rögzítsük a spektrumokat és magyarázzuk a látottakat, vagyis az egyes összetevőket és azok nagyságát! Mivel az MPS generátor nem ideális, a keverés során megjelenhetnek nem kívánt összetevők is.

2. feladat: Vegyük fel az MPS jel alapsávi jelének frekvencia-amplitúdó karakterisztikáját 25, 50, 75 μ s-os preemfázis mellett, illetve anélkül. A Pilot-jel nagysága legyen 0%, vagy legyen kikapcsolva. A moduláló frekvenciát 80Hz-től 10kHz-ig változtassuk (a generátor saját modulációs frekvenciáit használjuk). Ábrázoljuk a négy görbét közös mm-papíron, amely lin-log léptékű. A csatornákra vonatkozó beállítás lényegtelen ($B=0$, $J=0$, $B=J$, $B=-J$), mivel az U_{pp} (csúcstól-csúcsig vett) értékek megegyeznek.

3. feladat: MPS jel elemzését fogjuk elvégezni. Ebből a célból állítsuk a moduláló frekvenciát 1kHz-re. Ezt a jelet vigyük az oszcilloszkópra. Rajzoljuk le a jelalakot az alábbi esetekben pilot jellel és pilot jel nélkül: $B = J$, $B = -J$, $J = 0$.

4. feladat: A továbbiakban szükségeltetik a mérőpanel, melyet helyezünk áram alá. Az előző feladatban beállított MPS jelet vigyük a dekóder bemenetére (mellékelt mérőpanel) és a dekóder kimeneti (jobb és bal csatorna) jelét az oszcilloszkóp első és második csatornájára. A Pilot-jelet kapcsoljuk ki. Hasonlítsuk össze a két csatorna jelét az előző feladat szerinti feltételek mellett ($B=J$, stb.) és rajzoljuk le a jelalakokat (természetesen csak azokat, ahol van számottevő változás)! A kimeneti jelet dB-ben ábrázoljuk úgy, hogy a 400Hz-en mért érték legyen a 0dB.

5. feladat: Áthallási csillapítás mérése a frekvencia függvényében preemfázis nélkül. Előző feladat beállításánál maradván győződünk meg a dekóder helyes működéséről (a Pilot-jelet jelző LED világít!). A bemenetre adjunk kb. 2V kompozit jelet, a Pilot értéke legyen 10%. A csatornák kimeneti jeleinek amplitúdóját mérjük oszcilloszkóppal. Változtassuk a jobb csatorna moduláló frekvenciáját 80Hz-től 10kHz-ig, miközben a bal csatorna jele 0. Számítsuk ki az áthallási csillapítást ($a_{J \rightarrow B}$). Ezt követően legyen a jobb csatorna jele 0, változtassuk a bal csatorna frekvenciáját a fenti tartományban és számítsuk ki ismét az áthallási csillapítást ($a_{B \rightarrow J}$). Ábrázoljuk az áthallási csillapítás frekvenciafüggését lin-log léptékű mm-papíron.

6. feladat: Ismételjük meg az előző mérést 50 μ s-os preemfázis jellel!

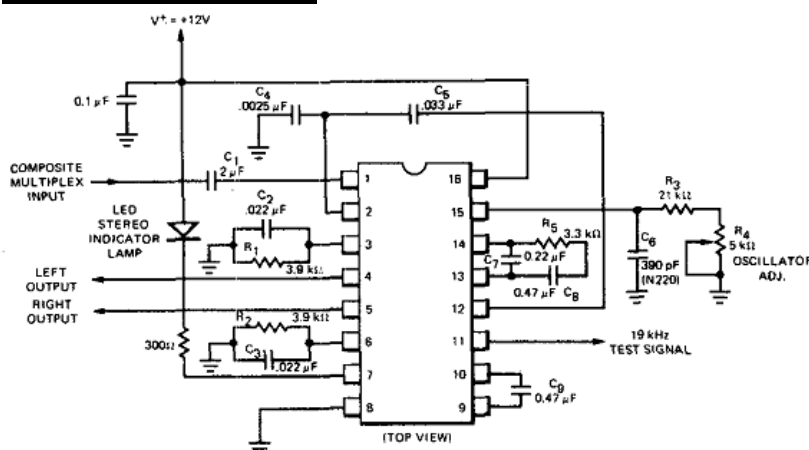
7. feladat: Áthallási csillapítás vizsgálata az MPS jel amplitúdójának függvényében. Elegendő lesz csak az egyik csatorna áthallási csillapításának mérése. Ismételjük meg a 5. feladatot 1kHz-es moduláló frekvencia mellett úgy, hogy az MPS jel amplitúdóját változtatjuk minimumtól maximumig. A Pilot-jel legyen 10%. Az MPS jel minimuma úgy állapítható meg, hogy a Pilot-jelző LED még éppen világít.

8. feladat: Vizsgáljuk meg a dekóderben található PLL-t a dekóder lokális Pilot-jel kimenetén! A sztereó adó és vevő közötti szinkronitást vizsgáljuk. Állítsunk be a bemeneten moduláló jel nélküli MPS jelet 0%-os Pilot-jellel! Ekkor a dekóder helyi oszcillátorának kimenetén 19kHz-es jelet látunk, és a LED nem világít. Kezdjük finoman növelni a Pilot-jel amplitúdóját, igazoljuk, hogy a sztereó bekapcsolási határ alatt a két jel frekvenciája megegyezik, de nincsnek fázisban! Ezt követően igazoljuk, hogy a sztereó bekapcsolási határ elérése után szinkronba kerül a két jel, tehát a dekóderben található PLL behúzott állapotba került.

7.3 Ellenőrző kérdések:

1. Rajzolja fel a sztereó multiplex jel spektrumát, jellemezze a komponenseit!
2. Mit értünk az MPS jel kompatibilitása alatt?
3. Miért kell a sztereó multiplex jelnek Pilot-jelet is tartalmaznia?
4. Milyen moduláció segítségével viszik át az MPS jelet és miért?
5. Rajzolja fel a sztereó multiplexer (adó) blokkvázlatát és magyarázza működését!
6. Mi az előtorzító áramkör feladata és mi a preemfázis? Miért van rá szükség?
7. Mi a deemfázis és miért van rá szükség?
8. Írja fel az MPS jel, valamint részegységeinek időfüggvényeit!
9. Rajzolja fel a sztereó dekóder blokkvázlatát és magyarázza működését!
10. Hogyan történik a bal és jobb csatorna helyreállítása az M és S jelekből?
11. Mit értünk a sztereó dekóder áthallási csillapítása alatt és mi a mérésének elve?
12. Mit értünk a sztereó dekóder azonossági tényezőjén és hogyan mérjük?

7.4 Mérés segédlet:



7. ábra: A dekóder áramkör kapcsolási rajza

ELECTRICAL CHARACTERISTICS [$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V^+ = +12\text{ V}$, 19 kHz pilot level = 30 mVRMS, Multiplex Signal (L = R, pilot OFF) = 300 mVRMS, Modulation Frequency = 400 Hz or 1 kHz, Test Circuit 1, unless otherwise specified]

PARAMETER	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Current	Lamp OFF		26	35	mA
Maximum Available Lamp Current		75	150		mA
Voltage at Lamp Driver Terminal	¹ LAMP = 50 mA		1.3	1.8	V
DC Voltage Shift at Either Output Terminal	Stereo to Mono Operation		30	150	mV
Power Supply Ripple Rejection	200 Hz, 200 mVRMS	35	45		dB
Input Resistance		20	35		k Ω
Output Resistance		0.9	1.3	2.0	k Ω
Channel Separation	100 Hz		40		dB
	400 Hz	30	45		dB
	10 kHz		45		dB
Channel Balance			0.3	1.5	dB
Voltage Gain	1 KHz	0.5	0.9	1.4	V/V
Pilot Input Level	Lamp Turn-On		15	20	mVRMS
	Lamp Turn-Off	2.0	7.0		mVRMS
Pilot Input Level Hysteresis	Lamp Turn-Off to Turn-On	3.0	7.0		dB
Capture Range		2.0	4.0	6.0	%
Total Harmonic Distortion	Multiplex Level = 600 mVRMS Pilot OFF		0.4	1.0	%
19 kHz Rejection		25	35		dB
38 kHz Rejection		25	45		dB
SCA Rejection (Note 2)			70		dB
VCO Tuning Resistance (Note 3)		21.0	23.3	25.5	k Ω
VCO Frequency Drift	$0^\circ\text{C} < T_A < 25^\circ\text{C}$		+0.1	± 2	%
	$25^\circ\text{C} < T_A < +70^\circ\text{C}$		-0.4	± 2	%

NOTES:

- (1) Rating applied for ambient temperatures to 70°C . Derate at $9.1\text{ mW}/^\circ\text{C}$ from 70°C to 85°C .
- (2) Measured with a stereo composite signal consistency of 80% stereo, 10% pilot and 10% SCA as defined in the FCC Rules on Broadcasting.
- (3) Total resistance from pin 15 to ground, in test circuit 1, required to set reference frequency at pin 11 to 19 kHz $\pm 10\text{ Hz}$.

8. ábra: uA758-as MPS dekóder adatlapjának részlete