

Frekvenciamodulált jelek fáziskövető rendszerű demodulálása

D. R. PÓCZA
ATTILA,
GEDEON EMIL
KKVMF Híradásipari
Intézet

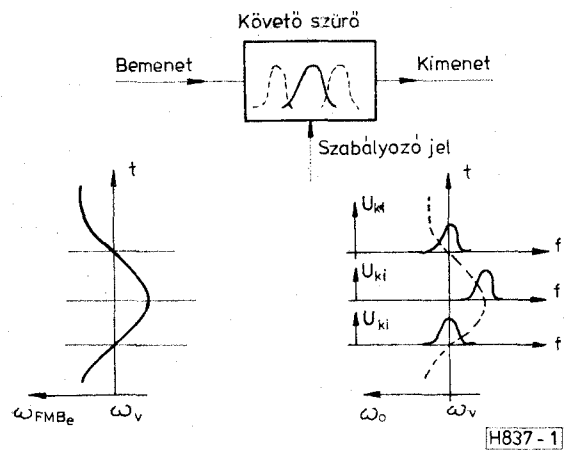
A széles körben alkalmazott frekvenciamodulációval történő jelátvitel esetében a vevőoldal minőségi jellemzőit alapvetően meghatározza az alkalmazott demodulátor. A minőségi jelátvitel egyre emelkedő követelményrendszert jelent, elsősorban a vevő demodulátorával szemben. A hagyományos megoldásokat tekintve e követelmények — a sávközépi frekvenciához képest viszonylag széles frekvenciasávban kis demodulációs torzítás és ugyanakkor a zavaró, interferáló jelekkel szembeni nagyfokú védettség — kielégítése csak kompromisszum útján lehetséges. Ezen, részben ellentmondó követelmények egyidejű kielégítésére alkalmazható a fáziskövető hurokban (Phase-Tracking-Loop, PTL) történő demodulálás. Az alapvető áramköri elrendezés logikus következménye annak az elvnek, mely szerint minden nem kívánatos jel ellen úgy lehet a legjobban védekezni, hogy azt a lehetőségekhez képest a hasznos jeltől elkülönítjük. Ezt egy időben változó paraméterű szűrő segítségével valósítjuk meg. Ez a keskeny sávú szűrő sávközépi frekvenciájában követi a frekvenciamodulált jel pillanatnyi frekvenciáját. A szűrő hangolásáról fázisszabályozó hurok gondoskodik. A továbbiakban egy lehetséges, e rendszert jól közelítő modell megalkotásával és ez alapján a rendszer leírásával foglalkozunk, kialakítva az áramkör tervező számára fontos átviteli alapösszefüggést.

A frekvenciamodulált jelek átvitele követő szűrőn

A frekvenciamodulált jelek frekvencia spektruma elméletileg végtelen határokkal rendelkezik. Adott nemlineáris torzítás esetén a frekvenciamodulált jel adott sáv szélességgel vihető át. Ez akkor igaz, ha a vétel időben állandó paraméterekkel rendelkező középfrekvenciás szűrővel történik. Szigorú torzítási követelmények esetén a szűrő sáv szélessége nagy. Ennek eredményeképpen fokozottabban átvizsi mind a sztochasztikus, mind a determinisztikus zavarjeleket is.

A frekvenciamodulált jel átvihető olyan, az előbbiekhöz képest keskeny sávú szűrőn is, mely szűrő átviteli tartománya időben változó. E változásnak a frekvenciamodulált jel idő szerinti frekvenciaváltozását kell követnie (1. ábra).

Előadásaként elhangzott a KKVMF VII. tudományos ülésén



1. ábra

A követő szűrő sávközépi frekvenciája:

$$\omega_0 = \omega_p + k \cdot u_M(t)$$

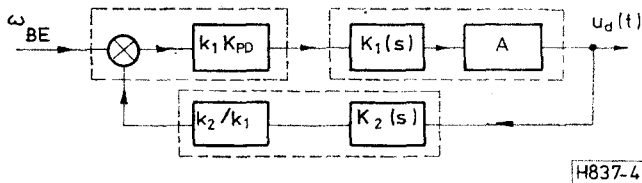
ahol: ω_p a vivőfrekvencia, $u_M(t)$ a moduláló jel, k a modulációs konstans. A szűrő sávközépi frekvenciáját a szabályozó jel változtatja.

A fáziskövető hurok (PTL)

A PTL elnevezés szabályozástechnikai megoldásra utal. A szabályozó jel a követő szűrő kimeneti jelének fázisával arányos. A beavatkozó jel a bejövő jel fázisát módosítja. A fáziseltérés érzékelése fázisdetektorral, a beavatkozás fázistolással történik.

A szabályozó áramkör fő feladata azonban nem a fázis szabályozás. Ez csak eszköze az áramkör lényeges elemét alkotó szűrő sávközépi frekvenciája szabályozásának. Az áramkör működési blokkvázlatát a 2. ábra mutatja be.

A követő szűrőnek olyannak kell lennie, hogy a frekvenciamodulált jel pillanatnyi frekvenciájától függő fázistolást hozzon létre. A szűrő tehát keskeny sávú szűrő, és egyben fázistoló. A létrehozott fáziseltérés a frekvenciamodulált jel fázisához hozzáadódik vagy abból levonódik. Mind a fázisban eltol, mind a közvetlen jel határolás után a fázisdetektorba jut. A fázisdetektor a frekvenciafüggő fázistolástól függő kimeneti feszültsége lényegében a moduláló jellel arányos. A követő szűrő sávközépi frekvenciáját



2. ábra

a pillanatnyi, moduláló jeltől függő bemeneti frekvenciára hangoljuk, a nagyfrekvenciás komponenseket elnyomó hurokszűrő után kapott $u_d(t)$ feszültséggel.

A PTL-áramkör lineáris modellje

Az áramkör modellezésekor messzemenően figyelembe vesszük mindazokat a lehetséges közelítéseket, amelyek lehetővé teszik, hogy a modell lineáris legyen, tekintettel arra, hogy ez teszi legkönnyebbé a számításainkat. Az egész rendszerre érvényes modellnek először az elemeivel foglalkozunk, majd ez elemek összekapcsolásával PTL-rendszerre.

A követő szűrő a frekvenciamodulált jel pillanatnyi frekvenciáján kis áteresztő csillapítással rendelkezik, a vivő frekvencia változásaihoz képest relatív keskeny sávú szűrő. Távlabbi frekvenciákon nem feltétlenül kell nagy csillapítást adnia, hiszen a távoli frekvenciák a demodulátor rendszert megelőző vevőszűrőkkel elnyomhatók.

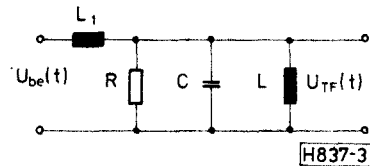
A fázisdetektor rendszerint szorzó áramkör. Bemeneti jelei φ_B és φ_T fázisúak. Tételezzük fel, hogy a szabályozó hurokban nagy szabályozási meredekségre törekszünk és ugyanakkor a szabályozó hurok szükséges szabályozási tartománya kicsi. Utóbbi akkor igaz, ha a demoduláló jel relatív lökete kicsi. Ekkor közelítőleg írhatjuk:

$$u\varphi(t) = K_{PD} \left[\frac{\pi}{2} + \varphi_T(t) - \varphi_B(t) \right], \quad \text{ahol}$$

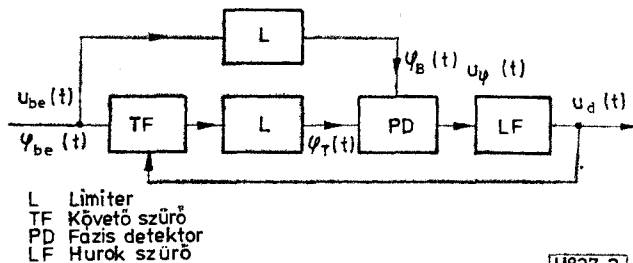
K_{PD} a fázisdetektor transzfer jellemzője.

A szabályozó hurok további eleme a hurokszűrő, amit a kellő szabályozási meredekség elérése végett erősítő fokozattal lehet kiegészíteni.

A hurokszűrő $K_1(s)$ komplex átviteli függvénnyel jellemezhető. A teljes kapcsolásnál nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a beavatkozás helyén, a követő szűrőhöz való csatlakozásnál a lezáró impedancia komplex. A hurokszűrő feltétlenül aluláteresztő



3. ábra



L Limiter
TF Követő szűrő
PD Fázis detektor
LF Hurok szűrő

4. ábra

szűrő, a szorzóból származó vivőfrekvenciás komponensek elnyomása végett.

Az A erősítésű műveleti erősítőt a szabályozó körbe, a kimeneti pont elé célszerű beiktatni annak érdekében, hogy a demodulált $u_d(t)$ feszültség a további fel dolgozás számára megfelelő nagyságú legyen. Végül a követőszűrő a visszacsatoló ágban helyezkedik el, és $K_2(s)$ komplex átviteli függvénnyel írható le. Egy lehetséges megvalósítását a 3. ábra mutatja be, a C kapacitást varicap dióda realizálja.

A részletes matematikai levezetést mellőzve a modellt a 4. ábrán mutatjuk be.

Ennek alapján a hurok átviteli függvénye:

$$\frac{u_d(s)}{\omega_{BE}(s)} = \frac{Ak_1 K_{PD} \cdot K_1(s)}{1 + Ak_2 K_{PD} K_1(s) K_2(s)},$$

ahol: k_1 és k_2 konstansok, értékük az alkalmazott szűrő felépítésétől, a változó kapacitású dióda hangolási meredekségétől stb. függ.

Az általunk alkalmazott közelítő összefüggések és a bemutatott modell relatív kis löketei esetében — normál FM műsorszórás esetén alkalmazott frekvencialöket — tapasztalataink szerint helyesen írják le az áramkör működését.

I R O D A L O M

- [1] Ishigaki, Muraoka and Hagiwara: Phase-Tracking Loop Detector for FM Signals. IEEE Transactions on Cons. Electr. Vol CE—24. No. 3. pp. 215—225.