

DSP alapú csatornakegyenlítők

Dr.habil Wühl Tibor

orcid:0000-0002-7522-3511

e-mail: wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Híradástechnika és Infokommunikáció Tanszék. Budapest, Tavaszmező u. 17.

Abstract: Az információ átviteli láncok és információ átvitelre használt csatornák a jelátvitelt torzítják. A nemlineáris hatások nemkívánt frekvenciaösszetevőket, intermodulációs termékeket hoznak létre, így lehetőség szerint a rendszer és csatorna nemlinearitásokat csökkenteni kell. A lineáris torzító hatások ugyan újabb frekvenciakomponenseket nem eredményeznek, de az amplitúdó- és fázistorzító hatás jelentős mértékben ronthatja a minőséget, illetve digitális modulációs átvitel esetén a demodulálhatóságot. Az előadás bemutatja és rendszerezi a főbb lineáris eredetű rendszer- és átviteli problémákat és DSP alapú megoldást javasol a problémák enyhítésére, illetve kiküszöbölésre.

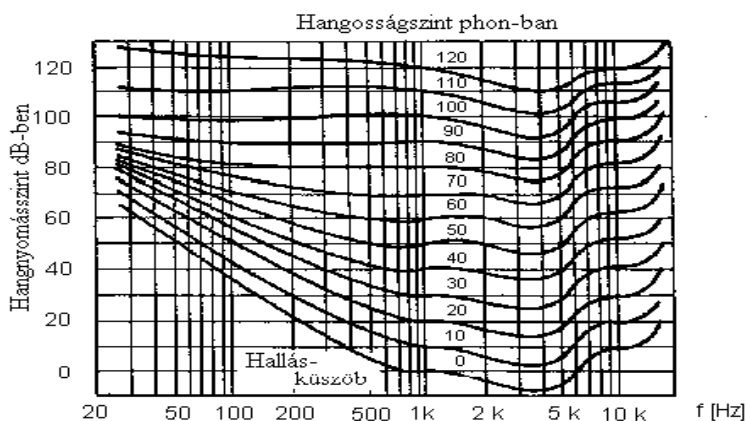
Keywords: DSP, csatorna, kiegyenlítés, lineáris torzítás

1 Bevezető

Az infokommunikációs számos alkalmazásnál előfordulnak lineáris torzítások, melyek kiigazítása, kompenzálása szükséges. Az átviteli lánc lineáris torzításait általában csillatítás, illetve erősítés változások, valamint fázistolások változásait jelentik a frekvencia függvényében. Hangfrekvenciás tartalom továbbítás során az emberi hallás jellemzői és a viszonylag hangerő független zenei tartalmak élvezhetősége érdekében is végzünk csatorna kiegyenlítést. Ez esetben részben az átviteli lánc lineáris hibáit valamint az emberi fül hangerő függő viselkedését, érzékelési jellemzőit igyekszünk kompenzálni. A lineáris problémák egy lineárisnak tekinthető rendszerben lineárisan kompenzálhatók. Bizonyos technikai megoldásoknál elsősorban az amplitúdó karakterisztika kompenzálására elegendő figyelmet szentelni, de vannak olyan alkalmazások ahol a fázishiba kiegyenlítése sem hanyagolható el.

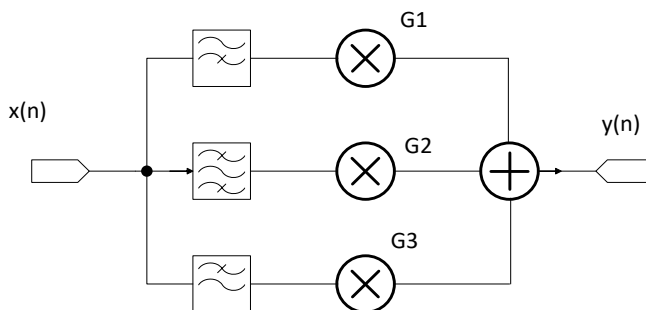
2 Hangfrekvenciás csatorna kiegyenlítő

Hangtechnikai rendszerek esetén gyakran igényként merül fel a hangtechnikai lánc frekvenciamenetének megváltoztatása, aminek több oka van. Elképzelhető, hogy a hangtechnikai lánc egyes elemeinek problémáit kívánjuk eliminálni, ezt az átviteli lánc erősítés, vagy csillapításkarakterisztika inverzének alkalmazásával oldjuk meg. A teremakusztikai adottságok kompenzálása általában komplexebb és a lineáris kiigazításon túl is mutathat a feladat. Frekvenciafüggő kiigazítás gyakorlati ok lehet az emberi fül hangerő függő érzékenysége is. Ez utóbbi azt eredményezi, hogy alacson hangerő mellett bizonyos alacsony és magasabb frekvenciákat tartalmazó alacsonyabb intenzitásúknak érzékeljük [3].



Amikor a hangszínszabályozás az emberi hallás érzethez igazítja a rendszer működését, fiziológiai hangszínszabályozásról beszélünk.

A hangfrekvenciás sávban működő kiegyenlítő működése viszonylag egyszerű alapokon nyugszik. Az átviteli sávot sáv áteresztő szűrőkkel sávokra bontjuk, majd egy-egy nuladfokú komponenssel kaszkádosítva változtatjuk az erősítést állítunk be a kiegyenlítés mértékétől függően. Az egyes erősítés faktor értékek, G1, G2 és G3 (Ábra 1) származhatnak beavatkozó szervtől, vagy egy hangosság beállítást végző algoritmustól egyaránt. Ezen megoldásoknál a fázisproblémákat gyakran elhanyagoljuk, de ez nem minden esetben fogadható el.



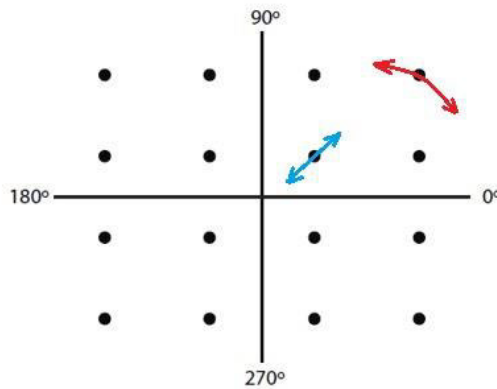
Ábra 2

Hangfrekvenciás kiegyenlítő DSP algoritmus vázlat [1]

A kiegyenlítőben alkalmazott sáv áteresztő szűrők átvitelénél az egyes átviteli karakterisztikák “illeszkedésére” kell figyelni, nehogy spektrum lukak keletkezzenek. Ugyanakkor az átmeneteknél, vagyis a keresztezési frekvenciáknál erős kiemelések sem jelhetnek meg az eredő átvitelben, mert ez gerjedés forrása lehet egy hangtechnika rendszerben.

3 Csatonakiegyenlítés adatátviteli megoldások esetén

Az adatátviteli csatornák frekvenciafüggő csillapítás torzítása különböző lehet, valamint ez a paraméter távolságfüggősége is megfigyelhető. A csillapítás torzítás a frekvencia függvényében függ az adott fizikai közeg minőségétől, például a kábelek elsődleges paramétereitől, valamint a vonalszakaszba esetlegesen beépített erősítő tulajdonságaitól. Abban az esetben, ha egy frekvenciafüggő csillapítás torzítású csatornán szeretnénk nagy adatátviteli sebességet kialakítani többszintű modulációs eljárással, akkor az ilyen torzítások kompenzálása feltétlenül szükséges, mind amplitúdó, mind pedig fázis vonatkozásában. Napjainkban teljesen természetes, hogy nagy szimbólumszámú QAM-et alkalmazunk, például kábelmodemes internet hozzáféréseknél EDS3.0 rendszerekben 256 állapot, de EDS3.1 esetén a szimbólumszám maximum 16384-nek definiált. A nagy szimbólumszám azt jelenti, hogy a szimbólumok egymáshoz „közel” helyezkednek el, így a demodulálásnál könnyen félreérthetők a veti szimbólumok, és úgynevezett szimbólumok közti áthallás (ISI – Inter Symbol Interference) jön létre, ami bithibát eredményez.



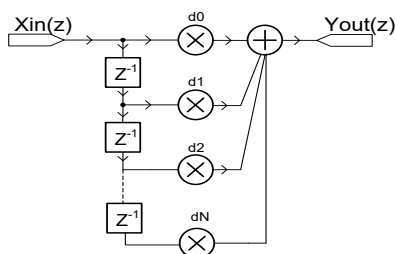
Ábra 3

QAM16 konstelláció egy-egy szimbólumán bemutatott amplitúdó- és fázistorzítás hatása

Az átviteli csatorna fázis- és amplitúdó torzítása (Ábra 3) jól szemlélteti, hogy miként hat az a szimbólumra. A fázistorzítás hatására a szimbólum az ábrán piros nyíllal jelzett irányokba mozdul el, míg az átviteli közeg amplitúdó torzítás hatását a kék nyíl jelzi.

Mindkét torzító hatás az egyes szimbólumokat a szomszédos szimbólumok irányába mozdítja el, így az a helyes detektálást veszélyezteti.

A gyakorlatban például egy 8 MHz sávszélességű átviteli csatorna (kábelhálózaton egy TV csatorna) sávon belül néhány dB-es amplitúdó torzítás is bithibát okozhat, amit feltétlenül kompenzálni kell. A kompenzálás során könnyű fázishibát ejteni, amit a fenti ábrából láttuk, hogy szintén nem megengedett, ezért kizárólag lineáris fázismentű megoldást választhatunk. Ezt a feltételt a FIR struktúrájú szűrő képes kielégíteni.



Ábra 4

Diszkrét idejű konvolúciót megvalósító struktúra a “Z” síkon

A FIR DSP jelfolyamdiagram átviteli függvényét a „z” síkon a következő összefüggés adja:

$$H(z) = \frac{\sum_{n=0}^N d_n \cdot z^{-n}}{1} \quad (1)$$

Mivel a (1) összefüggés nevezője „z” komplex változótól független konstans, ezért az átviteli függvénynek nincs pólusa. Ez a tény jó hatással van a stabilitásra, hiszen a struktúrában nincs visszacsatolás, ezért a FIR struktúra ezért struktúrálisan stabil.

Az időtartományban a FIR struktúra a konvolúció műveletét végzi el, a bejövő mintát és a korábban beérkezett mintákat (melyek a tároló elemekben találhatóak) a szorzó tényezőknek megfelelő súlyozással a kimenetre vezeti.

$$y(n) = \sum_{k=0}^N x(n-k) \cdot d_k \quad (2)$$

A DOCSIS 3.0 és 3.1 ajánlás az adás irányba 24-ed fokú FIR szűrőt helyez. A szűrő konstansokat a kábelmodem (CM) és a központ oldali végződés (CMTS) közti mérési eredményből számítják [9]. A FIR szűrő konstansai az amplitúdó korrektor áramkör súlyfüggvény mintáival fog megegyezni.

A csatornaki egyenlítés fázistorzítása úgynevezett mindent áteresztő tagokkal kompenzálható. A mindentáteresztő tagok átviteli függvénye speciális (3). A mindentáteresztő tagok a teljes működési frekvencia tartományban a frekvenciától függetlenül az átviteli függvényük abszolút értéke egységnyi, viszont a frekvencia függvényében fázistolást végeznek. A mindentáteresztő tagok pólusai és zérusai konjugált reciprok párok.

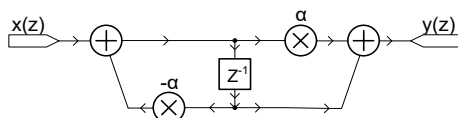
$$H(z) = \frac{1 + \alpha \cdot z}{\alpha + z} \quad (3)$$

Bővítsük a (3) összefüggést a z^{-1} taggal, így a jelfolyamdiagram struktúra a „z” síkon kirajzolódik (2).

$$H(z) = \frac{z^{-1} + \alpha}{\alpha \cdot z^{-1} + 1}$$

(4)

A (4) összefüggés egy első fokú IIR struktúrával megvalósítható (Ábra 5).



Ábra 5

Mindentáteresztő direkt struktúra a "Z" síkon

A mindentáteresztő tagok kaszkádosítása is megengedett, így magasabb fokú elvárások is kielégíthetők a fázismenet vonatkozásában.

Összegzés

A csatornakegyenlítés, mint láthattuk, fontos feladat. A régi analóg rendszerekben is alkalmazták az átviteli közegek okozta lineáris torzítások kiigazítását, például a távközlési vezetékbe illesztett kompenzáló tagokkal. Analóg átviteli láncok esetén több analóg megoldás is napvilágot látott. Ezen feladatok stabilabban, precízebben és költséghatékonyabban valósíthatók meg digitális jelfeldolgozással. A feladat látható, hogy összetett és mérnöki intuíció szükséges ahhoz, hogy a kiegyenlítést milyen precizitással végezzük, illetve milyen elhanyagolásokat alkalmazunk a megvalósítás során.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm, hogy az Óbudai Egyetem és azon belül a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar támogatja kutatásaimat.

Hivatkozások

- [1] Lovászt Ákos: Csatorna és torzítások;
<https://prezi.com/a8a6z0kllrbt/csatorna-torzitasok/>
- [2] Wühl Tibor: DSP algoritmusok Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar (2014)
- [3] ISO 226:2023(en) Acoustics — Normal equal-loudness-level contour
- [4] Wersényi György: Műszaki akusztika Győr, 2010