

3. KAPCSOLAT AZ ANALÓG RENDSZEREKKEL

182-228
DAC

Ebben a részben azokkal az eszközökkel, elektronikus megoldásokkal foglalkozunk, amelyek digitális áramköröket tartalmaznak, irányításukat, vezérlésüket digitális egységek végzik, de analóg rendszerekkel is kapcsolatban vannak. Ez a kategória képezi az "átmenetet az analóg és digitális elektronika között", nem sorolható külön külön egyik kategóriába sem. A digitál-analóg átalakítók bemenete digitális, és az ennek megfelelő analóg jelet állítják elő a kimenetükön, az analóg-digitál átalakítók a bemenetükre adott analóg jel-érték digitális ekvivalensét állítják elő kimeneti jelként. E feladatok megvalósításához különféle kiegészítő elemekre is szükség van, ezeket is áttekintjük ebben a részben.

3.1. A DIGITÁL-ANALÓG ÁTALAKÍTÓ (DAC)

3.1.1. A digitál-analóg átalakító feladata, jellemzői

Az elektronikus digitál-analóg konverter (DAC = Digital Analog Converter) feladata, hogy a digitális bemeneteire érkező "D" bemeneti számadatnak megfelelő "A" analóg jelet (általában feszültséget vagy áramot) állítson elő. A működéshez szükséges egy, az alapegységet, léptéket meghatározó referencia, "R" (amely rendszerint egy nagyon pontos vagy legalábbis annak tekintett feszültségforrás). Ez adja egyben a kimeneti jel legnagyobb értékét, a végkitérést (Full Scale, F.S.). A

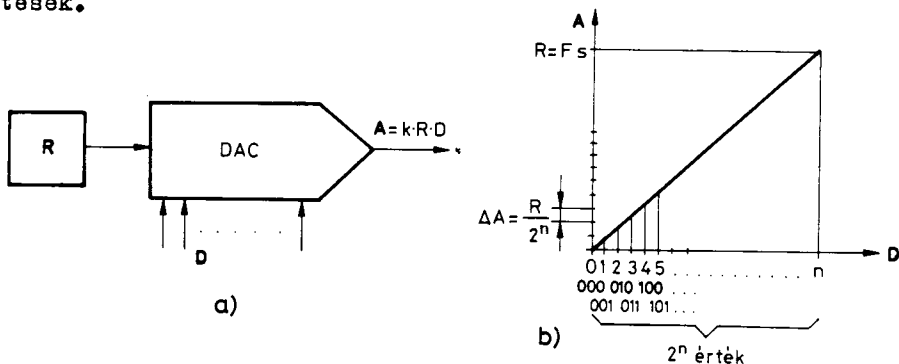
DAC ennek megfelelő funkcionális vázlatát a 3.1a ábra mutatja. A működést egyszerűsített transzfer karakterisztika szemlélteti. E karakterisztika a bemeneti D számértékekhez rendelt kimeneti A értékeket adja meg ideális esetre: a bemeneti számértékek egymás utáni, azonos értékű növelésével a kimeneti jel mindig azonos értékkel nő: a számértékekhez tartozó analóg jelértéket jelképező vonalak végpontjai egy egyenesen vannak (D és A között az összefüggés lineáris). Az egyenes végpontjai ideális esetben az origóban, ill. a legnagyobb számértékhez tartozó R pontban vannak. Az előállítható analóg jelértékek száma n bit esetén maximum:

$$N = 2^n$$

(bináris kód esetén). Az analóg jel előállítása annál pontosabb, minél több számjegyre építjük ki az átalakitót, minél több vonalból áll a karakterisztika. A legkisebb, "elemi" "lépcső" az analóg jelben:

$$\Delta A = \frac{R}{2^n}.$$

A bitek számát felbontásnak szokás nevezni. Minél nagyobb a felbontás, annál "finomabb" a kvantálás, annál pontosabb az analóg jel előállítása. A bit szám növelésével viszont az áramköri megvalósítás lesz bonyolultabb és drágább. Szokásos és kapható DAC-ok általános célra kis pontosság igény esetén 8 bitek (256 lépcső), a pontosabbak 10...12 bitek (1024, ill. 4028 lépcsővel), a nagy precizitású rendszerekben 14...16 bitek.



3.1. ábra.

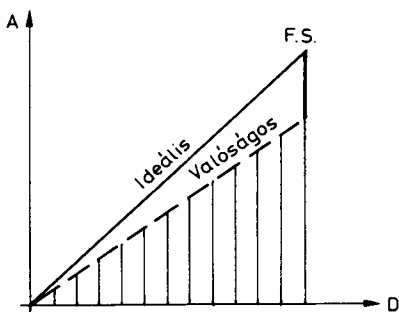
Az elvi transzfer karakterisztikától a valóságos átalakítók karakterisztikája mindig eltér; azt, hogy milyen mértékben, a statikus pontossági jellemzők mutatják meg. Ezeket az adatlapokon közlik - sok más jellemző mellett. Röviden foglaljuk össze a leggyakrabban megtalálható DAC specifikációkat:

1. DC jellemzők:

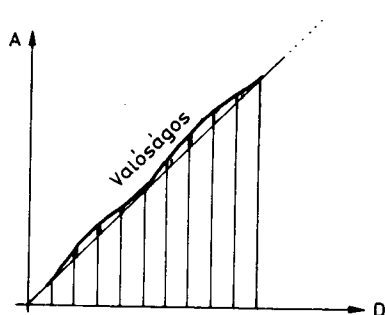
Felbontás: Bit szám (n), esetenként a lehetséges állapotok számát, 2^n -et adják meg. Fontos tudnunk, hogy a felbontásból, ill. a lehetséges állapotok számából nem következik egyértelműen a pontosság: pl. egy 10 bites (1024 állapotú) átalakító nem szükségszerűen 1 % -os pontosságú! Számos olyan hibaforrás van, amely ezt az elvi hibát növeli (l. a továbbiakat!).

Erősítés hiba (Gain Error, Scale Factor Error, 3.2. ábra):

Lényegében a transzfer karakterisztika iránytangens hibája: a végkitérésnek megfelelő digitális kód hatására nem pontosan végkitérésnyi feszültség vagy áram áll elő. A valóságos és az elvi végkitérés maximális eltérését szokás megadni (" % of FSR" = a végkitérés %-ában, de kifejezhetik egységnyi lépcsőben, LSB-ben is). A legtöbb típus erősítése utólag finoman beállítható.



3.2. ábra.



3.3. ábra.

Az erősítés hiba hőfokégyütthatója (Gain Error Tempco): Az előbbi definíció szerinti "erősítés" 1 °C hőmérsékletváltozás okozta relatív eltérése (a végkitérésre vonatkoztatva, rendszerint ppm of FSR/°C-ban, ppm = part per million, milliommodrész - esetleg legkisebb "lépcsőben", LSB-ben kifejezve, fokenként).

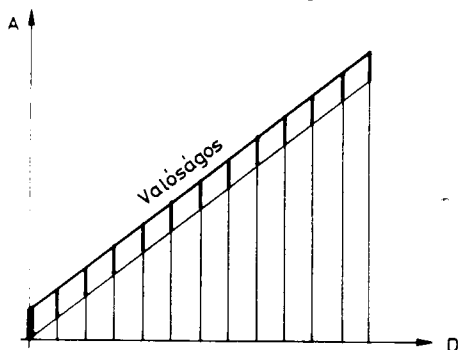
Nemlinearitás (nonlinearity), vagy linearitás hiba (linearity error, 3.3. ábra): azt adja meg, hogy a transzfer karakterisztika függőlegesei maximálisan mennyire térnek el az ideális "burkoló" egyenestől - a végkitérésre vonatkoztatva (% of FSR, esetleg LSB-ben).

A nemlinearitás hiba hőfokegyütthatója (Nonlinearity Tempco): az előbb definiált nemlinearitás 1°C hőmérsékletváltozás okozta relatív megváltozása (ppm of FSR/ $^{\circ}\text{C}$, vagy LSB/ $^{\circ}\text{C}$).

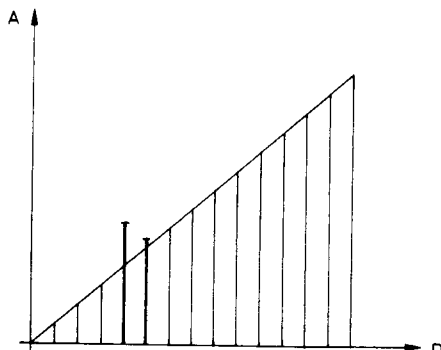
Offset hiba (Offset Error, 3.4. ábra): A zérus bemeneti kódhoz tartozó kimeneti analóg jel (feszültség vagy áram) - rendszerint közvetlenül mV-ban vagy μA -ban, vagy pedig a végkitérésre vonatkoztatva.

Offset drift: Az offset feszültség vagy áram 1°C -ra bekövetkező megváltozása (pl. $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$).

Monotonicitás (Monotonicity): előfordulhat, hogy egy adott bemeneti kód után következő, eggyel nagyobb értékű bemeneti kód esetén, a kimeneti analóg jel nem növekszik, hanem csökken (3.5. ábra). Ez gyakran igen nagy problémát okoz a digitál-analóg átalakítót tartalmazó szabályozó, negatív visszacsatolt rendszerekben, mivel a "negatív dinamikus ellenállású" karakterisztika-szakasz miatt a visszacsatolás pozitívvá válik, ezért oszcilláció, gerjedés jön létre. A DAC típusokhoz megadják azt a bit számot, amelyre nézve az átalakító még monoton (pl. 12 bites DAC 10 bit-re monoton), vagyis olyan ritka vonalakat jelölnek ki, amelyekre már biztosan teljesül a monotonicitás.



3.4. ábra.



3.5. ábra.

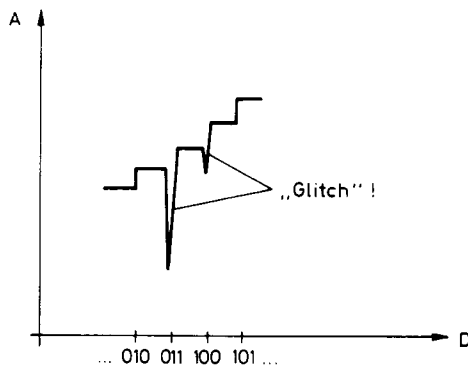
2. AC jellemzők:

A kimeneti jel beállási ideje (Output Settling Time): az az idő, amely a bemeneti kód megváltozásának pillanatától addig telik el, amíg a kimeneti jel az új értékre $1/2$ LSB-n belül beáll (rendszerint a bemeneti jel 0-tól végkitérésig történő megváltozásához adják meg). Ez az adat a DAC-ok egyik legfontosabb jellemzője: ez mondja meg, hogy egy adott rendszerű átalakító sebessége megfelel-e valamely feladathoz! A "gyorsabb" DAC-ok általában kisebb pontosságúak, és általában drágábbak is.

Kimeneti kapacitás (Output Capacitance), feszültség kimenetű átalakítónál kimeneti ellenállás: a kimenetnek, mint generátornak a belső impedanciája a csatlakozó elektronika dinamikus jellemzőinek meghatározásához fontos.

Kimeneti zaj (Output noise): általában az ekvivalens zaj ellenállást adják meg, azt az értéket, amely ugyanakkora Johnson zajt okoz, mint amekkora a DAC kimenetén jelenik meg.

Tranziens zaj ("Glitch"): ez a jellemző, amiről a katalógusok legtöbbször hallgatnak. A bemeneti számjel változtatásakor egyes rendszerek esetenként meglehetősen nagy amplitudójú tranziens után adják ki az új szintet (3.6. ábra). (Gondoljuk el, hogy pl. egy grafikus display DA átalakítójának ilyen "glitch"-e milyen zavaros, "firkált" képet ad!) Ha netalán valamely átalakító tranziens mentes, akkor adatlapjának fejlécén hirdetik, hogy "GLITCH FREE!".



3.6. ábra.

3. Egyéb, az üzemeltetés szempontjából fontos jellemzők:

A digitális bemenetek "log0" és "log1" szintje (feszültség és hozzátartozó áramok)

A digitális bemenet kódja

- a) Legtöbbször bináris: ha előjeles bináris bemeneti jelet is át tud alakítani, akkor rendszerint táblázatosan adják meg a bemeneti kódot, kapcsolási rajzzal, alkalmazási példával együtt. A DAC-okat vezérlő előjeles bináris kódokat a 3.1. táblázatban foglaljuk össze 4 bit-re (a valóságban természetesen több bitről van szó).

3.1. táblázat

Decimális tört-rész			Előjel-nagyság	2-es Komplement	Offset Bináris	1-es Komplement
Pozitív Referencia	Negatív Referencia					
+7	+7/8	-7/8	0 1 1 1	0 1 1 1	1 1 1 1	0 1 1 1
+6	+6/8	-6/8	0 1 1 0	0 1 1 0	1 1 1 0	0 1 1 0
+5	+5/8	-5/8	0 1 0 1	0 1 0 1	1 1 0 1	0 1 0 1
+4	+4/8	-4/8	0 1 0 0	0 1 0 0	1 1 0 0	0 1 0 0
+3	+3/8	-3/8	0 0 1 1	0 0 1 1	1 0 1 1	0 0 1 1
+2	+2/8	-2/8	0 0 1 0	0 0 1 0	1 0 1 0	0 0 1 0
+1	+1/8	-1/8	0 0 0 1	0 0 0 1	1 0 0 1	0 0 0 1
0	0+	0-	0 0 0 0	0 0 0 0	1 0 0 0	0 0 0 0
0	0-	0+	1 0 0 0	(0 0 0 0)	(1 0 0 0)	1 1 1 1
-1	-1/8	+1/8	1 0 0 1	1 1 1 1	0 1 1 1	1 1 1 0
-2	-2/8	+2/8	1 0 1 0	1 1 1 0	0 1 1 0	1 1 0 1
-3	-3/8	+3/8	1 0 1 1	1 1 0 1	0 1 0 1	1 1 0 0
-4	-4/8	+4/8	1 1 0 0	1 1 0 0	0 1 0 0	1 0 1 1
-5	-5/8	+5/8	1 1 0 1	1 0 1 1	0 0 1 1	1 0 1 0
-6	-6/8	+6/8	1 1 1 0	1 0 1 0	0 0 1 0	1 0 0 1
-7	-7/8	+7/8	1 1 1 1	1 0 0 1	0 0 0 1	1 0 0 0
-8	-8/8	+8/8		(1 0 0 0)	(0 0 0 0)	

Ezekkel a digitális technika I. részében már foglalkoztunk. Érdemes megjegyezni, hogy az átalakítók gyakran komplementer bináris (Complementer Binary, CBI) kódban működnek, ami azt jelenti, hogy a táblázatban lévő 0-ák

és 1-ek szerepet cserélnek, azaz "negatív logikával" való vezérlést igényelnek. Magyarázata: a "tényleges" DAC után rendszerint invertáló műveleti erősítő van, ami minden polaritást ellentétesre fordít, ennek korrigálásához szükséges a "teljes mértékben negált" vezérlés.

- b) Decimális bemenetű átalakító esetén feltüntetik a digittek (BCD jegyek) vagy a bitek számát.

Referencia feszültség

A feszültség igényen kívül megadják a referencia-forrást terhelő ellenállást. "Szorzó DAC" esetében a referencia feszültség tartományát adják meg. Vannak integrált átalakítók, amelyek belső referencia-forrást is tartalmaznak, ebben az esetben megadják annak feszültségértékét és driftjét ("tempco"-ját).

További katalógus adatok:

Tápfeszültség igény, teljesítmény (áram) fogyasztás az egyes tápforrásokból.

Tápfeszültség érzékenység (táp-elnyomás): 1 V tápfeszültség változás hány ppm kimeneti jelváltozást okoz a végkiterésre vonatkoztatva.

Működési hőmérséklet tartomány.

Tárolási hőmérséklet.

Tokozás, esetleg huzalozási javaslatok, szabályok.

3.1.2. Átalakítási elvek és az áramköri megvalósítás elvei

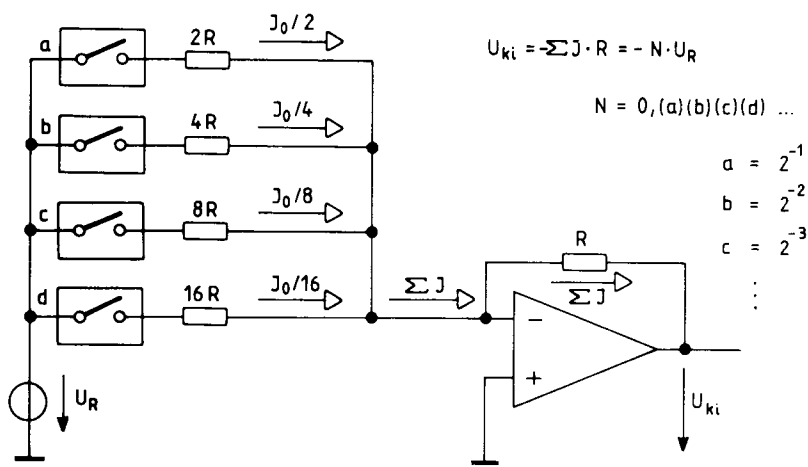
Közvetlen átalakítással működő DAC-ok

Az ilyen típusu átalakítók analóg kimeneti jele a digitális bemenetekkel vezérelt osztás, erősítés útján közvetlenül jön létre, nem iktatunk közbe más egyéb mennyiségeket (időt, frekvenciát) a digitális jel fogadásakor, analógra történő "lefordításakor".

A működés lehet párhuzamos és lehet soros. Párhuzamos működéskor a párhuzamosan rendelkezésre álló digitális jel bit-jei egy időben fejtik ki hatásukat, a bit számmal egyező ismétlődő alkatrész található bennük. A soros átalakítók alapvető jellemzője, hogy kis számú egység segítségével egymást követő,

ismétlődő ciklusokban a bemeneti adatot bitenként felhasználva hozzák létre fokozatosan a kimeneti jelet. A gyakorlatban szinte kizárólag párhuzamos átalakítókat alkalmaznak a közvetlen kategóriában, így csak ezzel foglalkozunk (a speciálisnak tekintett soros átalakítókról a szakirodalomban [7] tájékozódhatunk).

Az áramösszegezés elvén működő egyszerű átalakítóban (3.7. ábra) súlyozott ellenállás sorozat van, amely egy visz-

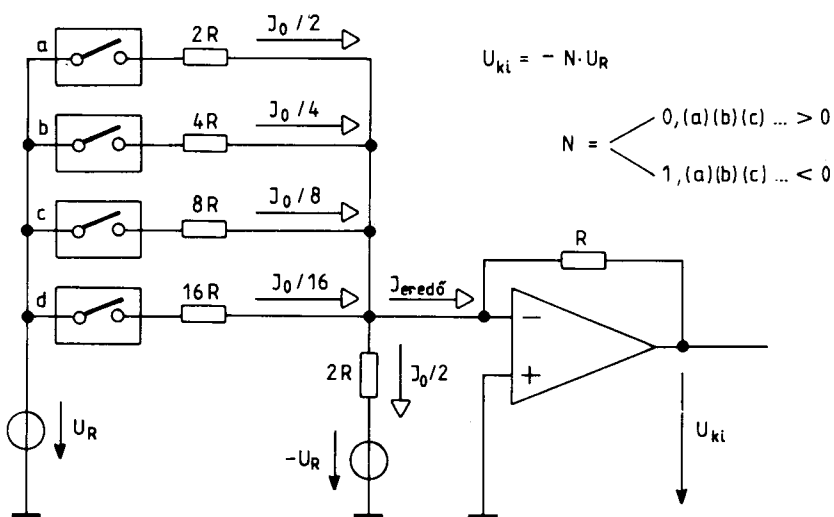


a	b	c	d	U _{ki}		
$\bar{2}^1$	$\bar{2}^2$	$\bar{2}^3$	$\bar{2}^4$			
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$			
1	1	1	1	$U_R - U_R/16$	=	$15 \cdot U_\Delta$
		⋮		⋮		⋮
0	1	0	1	$U_R/4 + U_R/16$	=	$5 \cdot U_\Delta$
0	1	0	0	$U_R/4$	=	$4 \cdot U_\Delta$
0	0	1	1	$U_R/8 + U_R/16$	=	$3 \cdot U_\Delta$
0	0	1	0	$U_R/8$	=	$2 \cdot U_\Delta$
0	0	0	1	$U_R/16$	=	$1 \cdot U_\Delta$
0	0	0	0	0 V	=	0

3.7. ábra.

szacsatolt műveleti erősítővel kiegészítve összegző kapcsolást alkot. A virtuális nullához csatlakozó ellenállásokat egy-egy kapcsolóval lehet a közös referencia feszültségforráshoz hozzákapcsolni, vagy leválasztani. A kapcsolókat a digitál-analóg átalakító digitális bemenetére érkező jel egy-egy bitje vezérli (logikai 1: bekapcsolás, logikai 0: kikapcsolás). Bináris kódot fogadó átalakító esetében az ellenállás értékeket 2 hatványai szerint súlyozott értékek, ily módon a bekapcsoláskor 2 hatványai szerinti viszonyban álló feszültség-lépcsők keletkeznek a kimeneten, több kapcsoló egyidejű bekapcsolásakor pedig a részfeszültségek szuperponálódnak. Unipoláris, 4 bites egyszerűsített változat kimeneti feszültségeit mutatja a 3.7. ábra táblázata a 16-féle kapcsoló kombináció (bináris kódszó) esetére. Ha $U_R = -16\text{ V}$ lenne, akkor a lépcsők éppen 1 V-osak lennének, természetesen csak addig, amíg az erősítő kivezelhetőségét el nem érjük. A valóságban U_R szokásos értéke 10 V, 10,24 V, 5 V, és a gyakorlatban az átalakítók általában nem 4, hanem 8...14 bit-esek. Bipoláris (pozitív-negatív kimeneti feszültséget előállító) átalakító létrehozásának egyik szokásos módja, hogy az összegezési pontba folyó áramokból $I_0/2$ áramot kivonunk, elvezetünk (általában $-U_R$ -re menő $2R$ ellenállással a 3.8. ábra szerint), ezzel eltoljuk a rendszer nulláját egy fél MSB-nek megfelelő értékkel (l. az ábra táblázatát!). Így "a" lesz az előjel bit, a felbontás továbbra is 16 (általánosságban 2^n) lépcső, az átalakító "offset binary" (eltolt bináris) kódot tud közvetlenül fogadni. Az eltoló bináris kód csak az első, előjel bit-ben tér el a 2-es komplementstől, ezért ez utóbbira való áttérés "a" invertálásával egyszerűen végrehajtható.

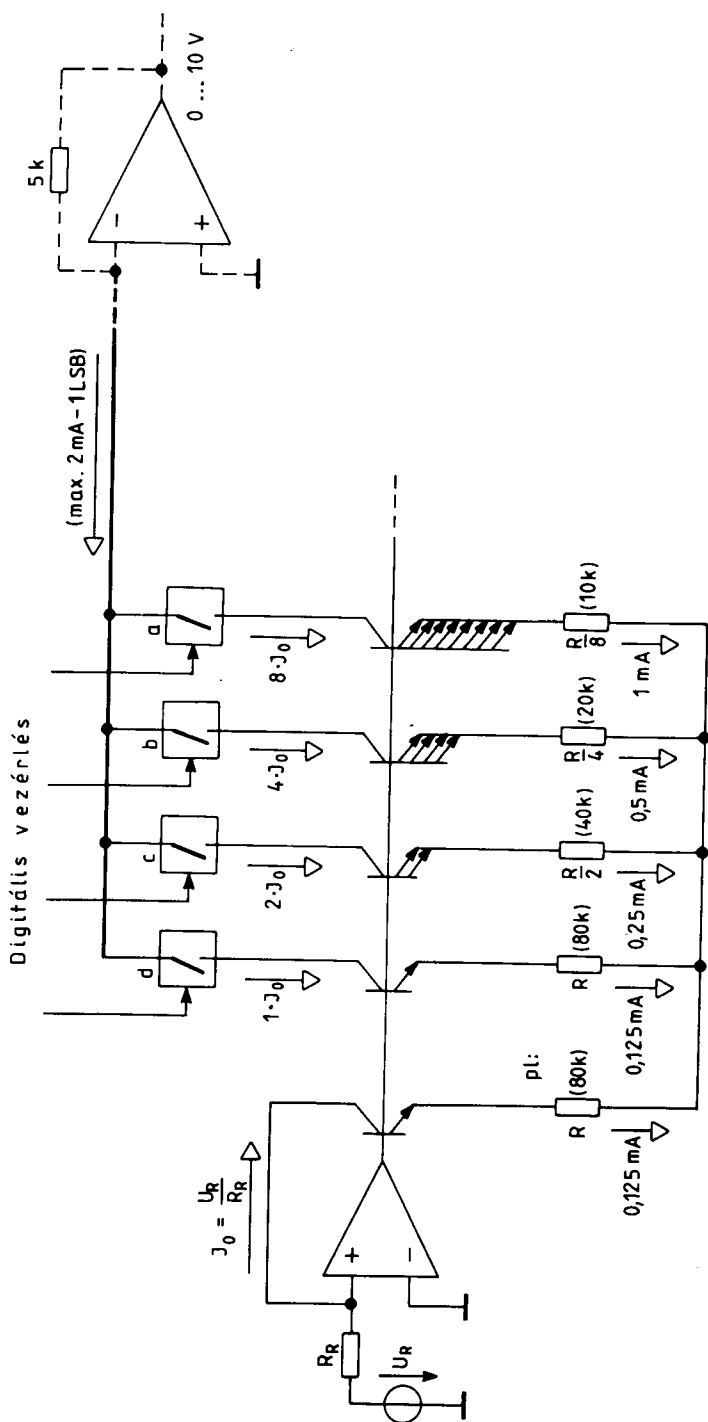
Az áramösszegezés elvén működő átalakítók másik változata a súlyozott áramgenerátoros kapcsolat, amely 2 hatványai szerinti súlyozású párhuzamosan kötött, ki-be kapcsolható áramgenerátorokból áll (egy jellemző változata a 3.9. ábrán látható). Kimenete áram-kimenet, ami sok alkalmazásban előnyös, de műveleti erősítés áram-feszültség átalakítóval feszültség kimenet is előállítható (3.9. ábra szaggatott vonal).



OFFSET BIN.

a	b	c	d	U_{ki}
1	1	1	1	$J_0/4 + J_0/8 + J_0/16 = 7 \frac{J_0}{16} = +7 U_{\Delta}$
1	1	1	0	$= +6 U_{\Delta}$
1	1	0	1	$= +5 U_{\Delta}$
1	1	0	0	$= +4 U_{\Delta}$
1	0	1	1	$= +3 U_{\Delta}$
1	0	1	0	$= +2 U_{\Delta}$
1	0	0	1	$= +1 U_{\Delta}$
1	0	0	0	$= 0$
0	1	1	1	$= -1 U_{\Delta}$
0	1	1	0	$= -2 U_{\Delta}$
0	1	0	1	$= -3 U_{\Delta}$
0	1	0	0	$= -4 U_{\Delta}$
0	0	1	1	$= -5 U_{\Delta}$
0	0	1	0	$= -6 U_{\Delta}$
0	0	0	1	$= -7 U_{\Delta}$
0	0	0	0	$(-J_0/2)R = -U_R/2 = -8 \cdot \frac{U_R}{16} = -8 U_{\Delta}$

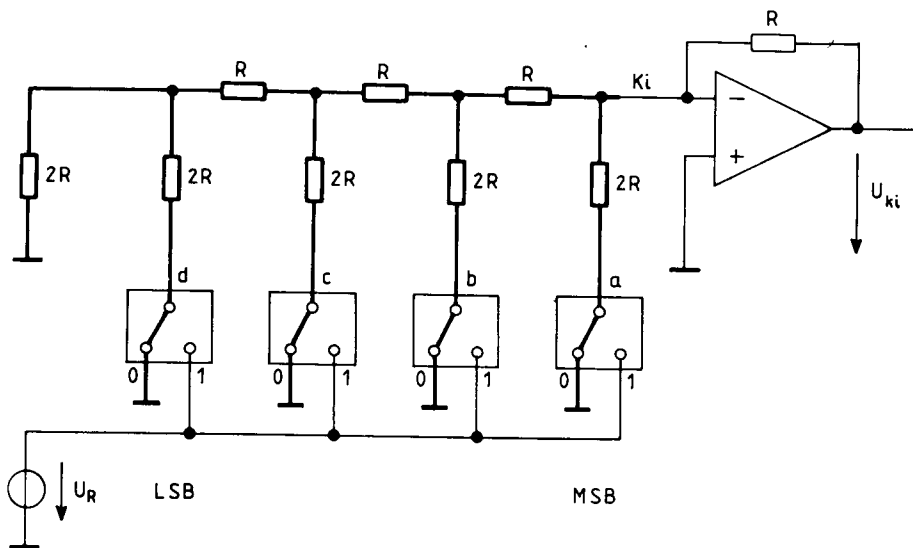
3.8. ábra.



3.9. ábra.

Az áramösszegezés elvén működő átalakítók hátránya, - egyszerűségük mellett - hogy a súlyozott áramokat meghatározó ellenállás sorozat értéktartománya igen széles (10 bitnél 1:1024, 12 bitnél 1:4096, stb.), ami a pontos megvalósítást, integrálást megnehezíti.

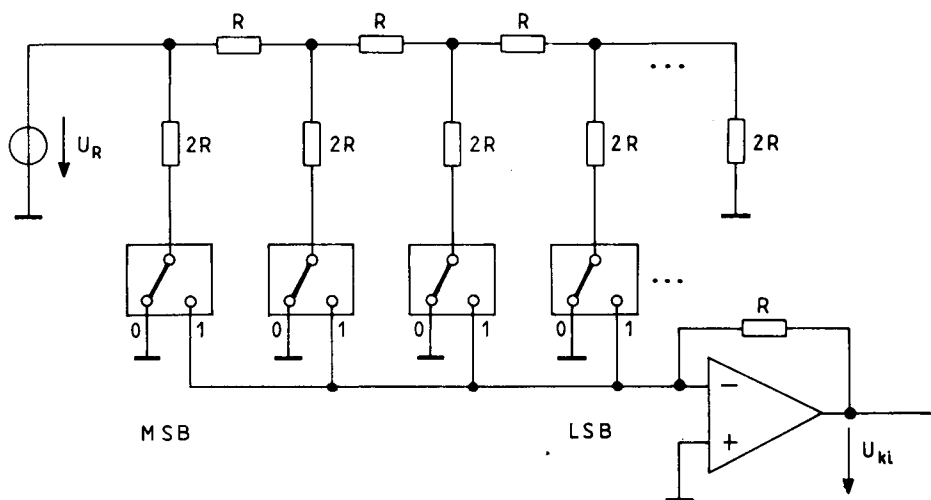
A létrahálózatos, rendszerint R-2R hálózatos átalakító csak kétféle értékű, éppen ezért pontosabban gyártható, sőt ma már monolitikus IC-ben is integrálható ellenállás-sorozatot tartalmaz. A szokásos alapkapsolás a 3.10. ábra szerinti (4 bit-re egyszerűsítve). Az "a", "b", "c", "d" kapcsoló mindegyike kétállású; a digitális vezérléstől (bemeneti jeltől) függően vagy 0 V-ra (logikai 0 vezérlés), vagy pedig az U_R referencia feszültségre (logikai 1 vezérlés) kapcsolja a megfelelő bit-helyen lévő függőleges 2R ágat. Az R-2R hálózat egy R belső ellenállású generátorként viselkedik, amelynek forrásfeszültsége a kapcsolók állásától függ ("a" bekapcsolásával $U_R/2$, "b" bekapcsolásakor $U_R/4$...a forrásfeszültség).



3.10. ábra.

Kimeneti jelként vagy a keletkező üresjárási feszültséget használhatjuk (ilyenkor 1-szeres erősítésű, nagy bemeneti ellenállású buffer erősítő beiktatása szükséges), vagy egy R visszacsatoló ellenállással ellátott invertáló erősítőt iktatunk

közbe (az R belső ellenállású hálózat és az R -rel visszacsatolt erősítő éppen egy -1 -szeres invertáló elrendezést alkot), így a kimeneten az eredeti üresjárási feszültség -1 -szerese jelenik meg "feszültség-generátorosan". Ezt a részt a 3.10. ábrán vékony vonallal jelöltük. Érdekes megjegyezni, hogy az integrált változatoknál ezt az ellenállást is előre "beleintegrálnák" az áramkörbe, ezzel biztosítják az osztó ellenállások és a visszacsatoló ellenállás együttfutását. Az R - $2R$ hálózatos DA átalakító más változatait is használják: pl. a feszültségkapcsolásu helyett az áramkapcsolásu üzemmódot a 3.11. ábra szerinti elrendezésben (a reciprocitás elve szerint egy lineáris hálózatban a feszültség generátor és az "árammérő" felcserélhető; az "árammérő" jelen esetben a műveleti erősítő virtuális nulla pontja és a földpont között van). A bipoláris működés (eltolt bináris vagy 2-es komplementes kóddal való vezérlésre) a már ismertetett $-1/2$ F.S. eltolás segítségével hozható létre az utóbb említett átalakító típusoknál

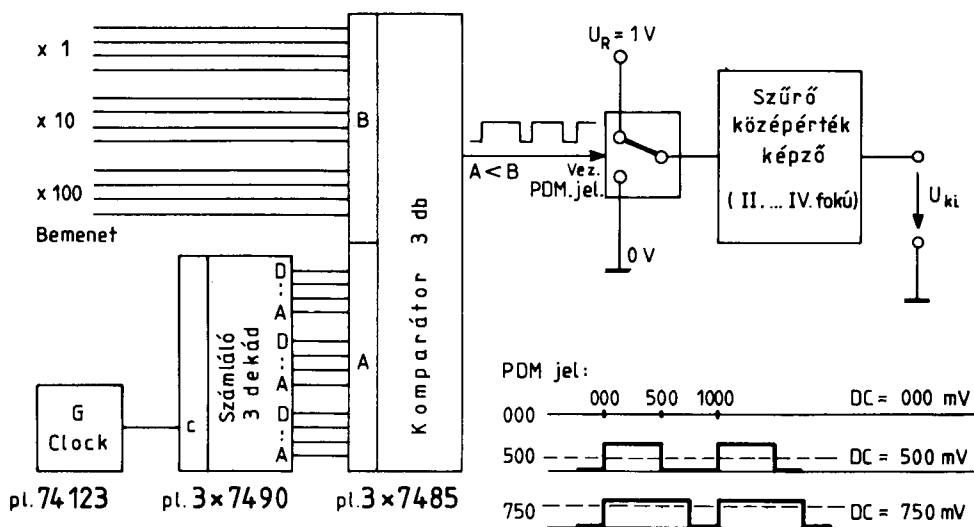


3.11. ábra.

is. Érdekes megjegyezni, hogy a létrahálózatnak nem kell feltétlenül ellenállásokból állnia; váltakozó jelek átalakításakor kondenzátor-létrák, vagy transzformátor tekercsek is felhasználhatók (pl. a digitális hírközlésben használatos CODEC-ekben).

Közvetett átalakítással működő DAC-k

Ezek közül legnagyobb gyakorlati jelentősége a PDM (Pulzus Duration Modulation = Impulzus szélesség moduláció) elvű átalakítóknak van, minden helyre ajánlható, ahol a sebesség nem kritikus. Előnye, hogy a pontos referencia-feszültségen kívül nem igényel pontos áramköri elemet (ellenállás hálózatot, pontos erősítésű erősítőt, stb.)! Hátránya viszont a relatív lassu működés. Egy 3 digités BCD változatra mutat példát a 3.12. ábra. Az impulzus szélesség modulátor részt már felrajzoltuk az 1. fejezetben, az 1.48. ábrán. A számláló számolja (a lehetőleg nagy frekvenciájú) CLOCK jelet, vagyis 000-tól 999-ig folyamatosan növekedő BCD kódot állít elő a kimenetein.

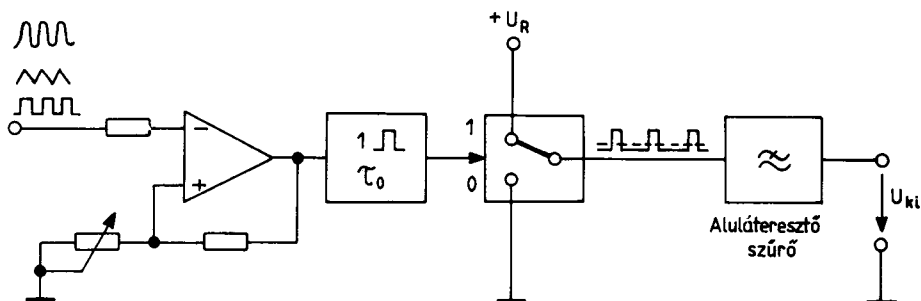


3.12. ábra.

A 999 elérése után újra 000-ra ugrik és előlről kezdődik a ciklus. A számláló kimeneti jele (A) és a bemeneti digitális jel (B) egy digitális komparátorra, összehasonlító áramkörre jut. Amikor a számláló 000-tól kezdve felfelé számol, akkor mindaddig, amíg tartalma, vagyis a komparátor egyik bemenetén lévő A szám el nem éri a bemeneti jelet, vagyis B-t, addig a komparátor $A < B$ kimenetén logikai 1 van jelen. Ha a számláló tartalma elérte B értékét, nem teljesül az $A < B$ feltétel, és a ciklus hátralévő részében ezen a kimeneten log0 áll elő egé-

szen 999-ig. 000-tól újra kezdődik a ciklus, így végeredményben az $A < B$ kimeneten olyan négyszögjel áll elő, amelynek kitöltési tényezője ($\log 1 - \log 0$ aránya) ezrelékben éppen egyezik a bemenetre adott számmal (pl. ha a bemenet 000, akkor a négyszögjel konstans $\log 0$, ha 500, akkor pontosan 50 %-os a kitöltési tényező, 750-nél 75 %, és így tovább). Ezzel a PDM jellel egy olyan kapcsolót vezérlünk, amely $\log 1$ hatására +1 V-os referencia feszültségre, $\log 0$ hatására 0 V-ra kapcsolódik. Az így keletkezett, szigorúan 1 V amplitudójú, és a bemeneti digitális jellel ezrelékes pontosan egyező kitöltési tényezőjű négyszögjel középértéke éppen annyi ezred volt, azaz éppen annyi mV, amennyi a bemenetre adott BCD szám. Ezt a jelet szűrőn, azaz "középérték képzőn" átvezetve kapjuk meg a digitál-analóg átalakító kimeneti jelét (a pontosság csak a referencia-feszültség pontosságától függ, több nagypontosságú elemre nincs szükség).

A frekvencia-feszültség átalakítókra olyan helyeken van szükség, ahol a jelfrekvenciát tekintik a digitális jelben "információ-hordozónak" (sok "frekvencia kimenetű" érzékelő, távadó van), és az analóg jelet kell visszaállítani. Az F-V konverter (Frequency to Voltage converter) igazság szerint a digitál-analóg konverterek speciális, "szélső" esetének tekinthető. Legfontosabb követelmény, hogy a beérkező jelfrekvencia és a kimeneti DC között adott tartományban szigorúan lineáris összefüggés legyen. A visszaalakítást általában a 3.13. ábrán látható egységekből felépített elektronikával végezzük. A bemeneten hiszterézises komparátor végez jelformálást, és periódusonként indítja a monostabilt, amely pontos



3.13. ábra.

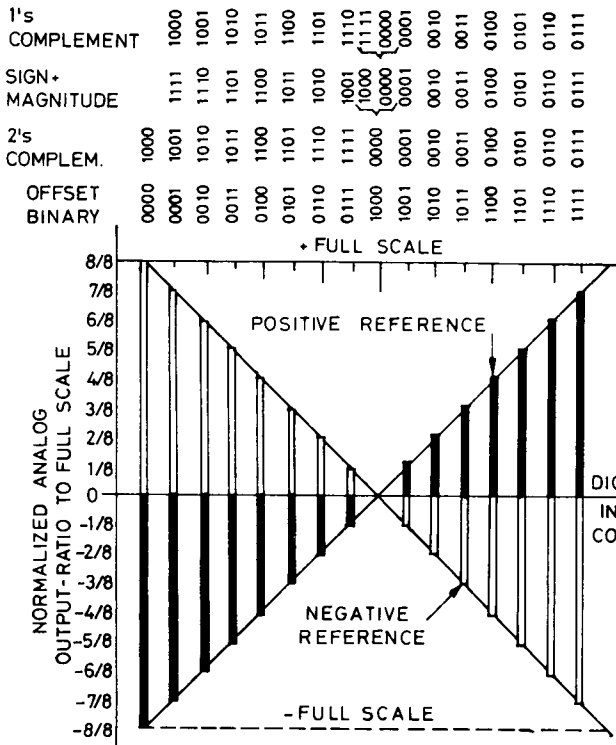
szélességű impulzusokat állít elő a jelfrekvenciától függetlenül. Az analóg kapcsoló feladata, hogy az adott szélességű impulzusok amplitudója is szigorúan meghatározott legyen (a monostabil és a kapcsoló gyakran egyetlen egységet alkot). Mivel az így előállított impulzusok teljesen egyformák, minél nagyobb a jelfrekvencia, annál nagyobb ezek DC középpértéke: kétszer akkora jelfrekvenciához kétszer akkora középpérték tartozik, a kimeneti feszültség arányos a bemeneti jel frekvenciájával.

Szorzó átalakítók

Szorzó digitál-analóg átalakító (Multiplying DAC)-ként hirdetik a digitál-analóg átalakítók nagy részét, ezért célszerű ezt a megkülönböztető jelzőt értelmeznünk. A 3.1a ábra működést bemutató vázlatából következik a szorzó funkció lehetőség, mivel

$$A = k \cdot R \cdot D,$$

vagyis a DAC kimenetén a referencia és a digitális jel szorzatával arányos analóg jel keletkezik (k az arányossági tényező, a transzfer karakterisztika meredeksége). Nem biztos azonban, hogy egy adott rendszer képes ezt a szorzást végrehajtani a referencia zérustól maximális értékig való változtatása közben is. Lehet, hogy ez a szorzás csak a referencia egy adott szűk tartományában hajtható végre kielégítő pontossággal, áramköri korlátozások miatt: az analóg kapcsolók nem biztos, hogy egyenletesen, kielégítően működnek a teljes referencia sávban (munkapontfüggők), lehetnek kivezérlési, zaj nemlinearitási, stb. problémák is. A szorzó DAC elnevezés csak azokat az átalakítókat illeti meg, amelyek a referencia minimális (rendszerint 0 V) értékétől a maximális értékig (U_R) a referencia pillanatnyi értékével pontosan arányos jelet állítanak elő a kimenetükön. Amennyiben a referencia feszültség egyféle előjelel lehet, és a DAC csak pozitív szám-kódot fogad, a szorzás egy-negyedes, ha pozitív és negatív szám-kód is megengedett, akkor "két-negyedes" (2 Quadrant, 3.14. ábrán fekete vonalak). A többleteket is nyújtó, jó minőségű átalakítók pozitív és negatív referenciát egyaránt fel tudnak dolgozni. Negatív referencia esetén a kimenet jele csökken, ahogy a bemeneti szám-kód növekszik, a szorzás négy-negyedes (3.14. ábrán nem feketített



3.14. ábra.

vonalak). A szorzó faktor (digitális mennyiség) természetesen 1-nél mindig kisebb. Ha az ilyen szorzó típusú DAC referencia feszültség bemenetére változó feszültséget adunk, akkor a kimeneti jel időfüggvénye (adott felső határfrekvenciáig) ugyanolyan alakú lesz, mint a referenciáé, de amplitúdója a digitális jeltől függően változik, vagyis az áramkör digitálisan vezérelhető osztóként (pontosabban vezérelhető átviteli tényezőjű hálózatként, "digitális potencióméter"-ként) működik.

3.1.3. A típusválasztékra jellemző példák

Arra nem vállalkozhatunk, hogy a világon gyártott összes típust áttekintsük, ezért néhány jellemző példát nézünk meg a digitál-analóg átalakító építőelemekre, az integrált LSI típusokra és a mikroprocesszor-kompatibilis LSI rendszerekre.