

---

---

# IRÁNYÍTÁSTECHNIKA ESZKÖZEI

---

---

DAVID KISS

DAVID.KISS@AUT.BME.HU

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezet</b>	<b>3</b>
<b>2. Analóg elektronikai alapismeretek</b>	<b>4</b>
<b>3. Digitális technika alapjai</b>	<b>5</b>
3.1. Digitális jelek . . . . .	5
3.2. Digitális számábrázolás . . . . .	5
3.2.1. Számrendszerek . . . . .	5
3.2.2. Negatív számok ábrázolása . . . . .	5
3.2.3. Tört számok ábrázolása . . . . .	5
3.2.4. Egyéb numerikus kódolások . . . . .	5
3.3. Digitális logika . . . . .	6
3.4. Kombinációs logikai hálózatok . . . . .	6
3.4.1. Alapvető logikai kapuk . . . . .	6
3.4.2. Logikai függvények leírása . . . . .	6
3.4.3. Logikai függvények egyszerűsítése . . . . .	6
3.5. Sorrendi logikai hálózatok . . . . .	6
<b>4. Elektronikus érzékelők</b>	<b>10</b>
4.1. Feszültségmérésre visszavezethető mérési eljárások . . . . .	10
4.1.1. Galvanikusan csatolt mérési elrendezések . . . . .	14
4.1.2. Galvanikusan leválasztott mérési elrendezések . . . . .	15
4.2. Idő vagy frekvencia mérésre visszavezethető mérési eljárások . . . . .	17
<b>5. Beágyazott irányító rendszerek</b>	<b>21</b>
5.1. Beágyazott irányító rendszerek típusai . . . . .	21
5.2. Mikrovezérlő alapú rendszerek . . . . .	21
5.3. Gyakran használt mikrovezérlő perifériák . . . . .	21
5.3.1. AD Átalakítók . . . . .	21
5.3.2. Timer és Capture perifériák . . . . .	21
5.4. Beágyazott kommunikációs interfészek . . . . .	21
5.5. Digitális kommunikációs vonalak felépítése . . . . .	21
5.5.1. I2C . . . . .	22
5.5.2. SPI . . . . .	25
5.5.3. UART . . . . .	26
5.5.4. CAN . . . . .	28
<b>6. Bevezetés a teljesítményelektronikába</b>	<b>32</b>
6.1. Teljesítményelektronikai félvezető elemek . . . . .	32

6.1.1.	Dióda . . . . .	32
6.1.2.	IGBT . . . . .	32
6.1.3.	FET . . . . .	32
6.2.	Lineáris üzem tápegységek . . . . .	32
6.3.	Kapcsoló üzem tápegységek . . . . .	32
6.3.1.	Buck-konverter . . . . .	32
6.3.2.	1 fázisú inverterek . . . . .	32
6.3.3.	3 fázisú inverterek . . . . .	32
6.4.	Kapcsoló üzem táegységek digitális irányítása . . . . .	32

## **A jegyzetről**

---

A dokumentum folyamatos fejlődés alatt áll

Ez a jegyzet az Elektronikus Átalakítók Irányítása tantárgy támogatására készült.

# Analóg elektronikai alapismeretek

# Digitális technika alpajai

Az elz fejezetben megismert analóg elektronikai ismeretek segítségével sok irányítási és szabályozási probléma megoldható, azonban ezek használata ma már csak szék és speciális körökre korlátozódik, az analóg szabályzások helyét a digitális megoldások vették át. Ennek ok, hogy a digitális irányító rendszerek jellemzen sokkal nagyobb flexibilitást kínálnak, hiszen az adott rendszer késbb is tetszlegesen újraprogramozható. A beágyazott mikorvezérlek terjedésével pedig a költségük is rendkívül alacsony, illetve nem szabad megfeletkezni arról sem, hogy az ilyen, digitális irányító egységgel ellátott rendszerek komplexitása jellemzen sokkal alacsonyabb, hiszen a több 10-100 alaktészbl álló analóg szabályzót egy darab CPU helyettesíti, amely elvégiz a szükséges számításokat. A digitális és az analóg világ közti átmenet azonban kihívásokat rejt magában. Míg az analóg jelek információtartalmát gyakorlatilag a zajterheltség és a sáv szélesség határozza meg, addig digitális esetben számolnunk kell az ábrázolás *bitmélységével*, illetve a *mintavételi idvel*. A digitális jelekre való konverzió nem veszteségmentes, az eredeti jel teljes valójába nem állíthaó vissza.

## 3.1. Digitális jelek

## 3.2. Digitális számábrázolás

### 3.2.1. Számrendszerek

### 3.2.2. Negatív számok ábrázolása

### 3.2.3. Tört számok ábrázolása

### 3.2.4. Egyéb numerikus kódolások

#### BCD kódolás

#### Gray-kód

### 3.3. Digitális logika

### 3.4. Kombinációs logikai hálózatok

#### Example 3.1 Logikai kapuk

Soroljon fel 6 fajta logikai kaput! Valósítson meg egy 2 bites összeadót! Átvitelrel nem kell számolni.

**Solution:**

AND, OR, NAND, NOR, NOT, XOR, ezek rajzjelei, igazságtáblája és logikai jelölése.

#### 3.4.1. Alapvet logikai kapuk

#### 3.4.2. Logikai függvények leírása

#### 3.4.3. Logikai függvények egyszerűsítése

### 3.5. Sorrendi logikai hálózatok

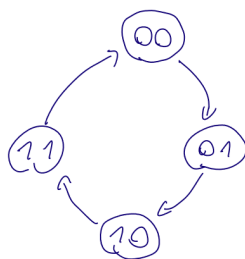
#### Example 3.2 Sorrendi logikai hálózatok 1.

Valósítsa meg az alábbi 1kimenet 2 bemenet funkciót NAND kapuk felhasználásával:  $Q=1$ , ha  $S=1$ ,  $Q=0$ , ha  $S=0$  és  $nR=0$ , egyébként  $Q$  megrzi addigi értékét!

**Solution:**

#### Example 3.3 Sorrendi logikai hálózatok 2.

Valósítsa meg az alábbi 1kimenet 3 bemenet funkciót logikai kapuk és D tárolók felhasználásával: a CLK bemenet felfutó élét követően  $Q=1$ , ha  $S=1$ ,  $Q=0$ , ha  $S=0$  és  $R=1$ , egyébként  $Q$  megrzi



1. ábra. Enter Caption

addigi értékét!

**Solution:**

#### Example 3.4

#### Sorrendi logikai hálózatok 3.

D tároló(k) és NAND kapu(k) felhasználásával valósítsa meg a következő funkciót: A CLK órajel felfutó élénél a Q kimenet megváltoztatja értékét, ha az EN bemenet 1, ellenkez esetben Q állapota változatlan marad.

**Solution:**

#### 3.1 Példafeladat

D tároló(k) és NAND kapu(k) felhasználásával valósítsa meg a következő funkciót: A CLK órajel felfutó élénél a két Q kimenet rendre az alábbi értékeket veszi fel: 00, 01, 10, 11, 00

A feladatban egy sorrendi logikai hálózatot kell terveznünk. Első is, nézzük meg, hogy hány állapotváltozóra, vagyis memóriaelemre van szükségünk. Mivel 2 biten kell adatot tárolnunk, mindegyik bit egy-egy állapotváltozó, így mindegyik bit tárolására szükségünk van.

Tehát a feladat megoldása két D flip-flopot fog igénybe venni.

Második lépésben vegyük fel a rendszer állapotdiagramját. Az állapotdiagram egy irányított gráf, melynek csúcsai a rendszer állapotait, élei pedig az azok közti átmenetet jelképezik. Ebben az esetben a következőképpen néz ki:

Mivel csak egy irányba kell számolnunk, ezért csak egyfajta utat kell feltüntetnünk a gráfon. Az állapotok elnevezésénél a kimenet értékét használtuk, ezzel gyakorlatilag elvégeztük az **állapot kódolást** is, hiszen ha a bináris szám bitjeit  $q_0$ -nak és  $q_1$ -nek nevezzük, ahol  $q_0$  a legalacsonyabb helyiérték,



úgy ezeken a számoknak megfeleltethetjük a D flip-flopok Q kimeneteit.

$$\begin{aligned} q_0 &= Q_0 \\ q_1 &= Q_1 \end{aligned} \tag{1}$$

Harmadik lépésben nézzük meg, hogy a következ állapotot milyen kombinációs logikai hálózattal tudjuk előállítani. Ehhez bemenetként ebben a feladatban csak az aktuális állapotok szolgálnak. (Ha pl. a feladat része lenne, hogy lehessen váltani a számláló irányát, úgy egy DIR bemenetünk is megjelene, amely független az aktuális állapotoktól, és az állapotdiagrammot is ki kéne egészítenünk egy másik iránnyal.)

A logikai hálózat meghatározásához az állapottáblát kell felírunk:

Aktuális állapot		Következő állapot	
$q_1$	$q_0$	$q_1'$	$q_0'$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0

2. ábra. Állapottábla

Az állapottáblából kiolvashatjuk az egyes állapotváltozók következő állapotát meghatározó igazságtáblát.

$q_1$ igazságtábla			$q_0$ igazságtábla		
$q_1$	$q_0$	$q_1(n+1)$	$q_1$	$q_0$	$q_0(n+1)$
0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0

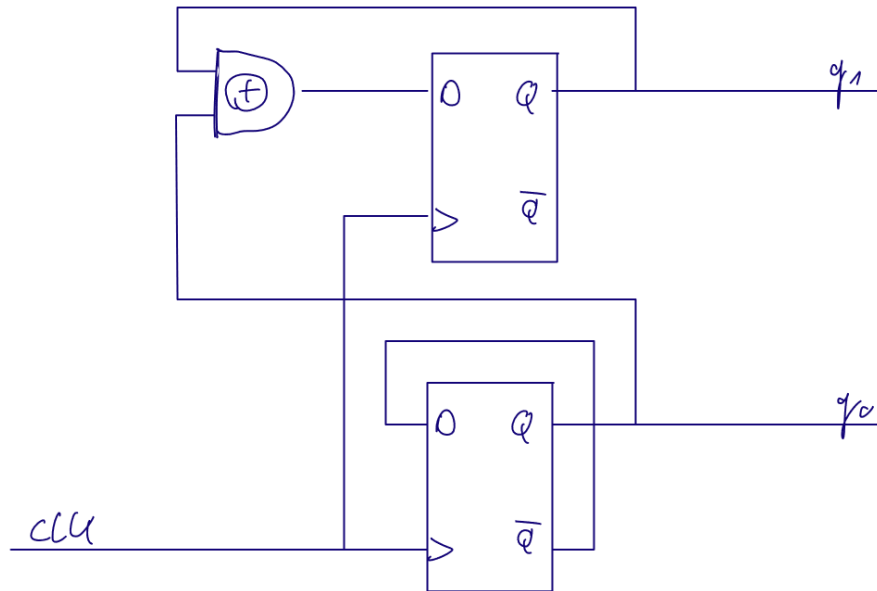
$\Rightarrow \text{xor}$        $\Rightarrow \overline{q_0}$

3. ábra. Igazságtábla

Ezekből az igazságtáblákból látszik, hogy:

$$\begin{aligned} q_{0(n+1)} &= \bar{q}_0 \\ q_{1(n+1)} &= q_0 \oplus q_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Innen pedig a hálózat már egyszerűen felrajzolható:



4. ábra. 2 bites számláló kapcsolási rajza

#### Example 3.5

#### Sorrendi logikai hálózatok 4.

Készítsen 2 bites számlálót D tárolók és NAND kapuk felhasználásával!

**Solution:**

### 4.1. Feszültségmérésre visszavezethet mérési eljárások

#### 4.1 Példafeladat

Egy kapcsolóüzem tápegység szretlen kimen feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. A kimenet és a vezérl elektronika tápja egy ponton összeköthet. Javasoljon érzékelési módszert és méretezze az érzékelt! ( $U_i = 0..100V$ ,  $U_o = 0..5V$ , elírt pontosság 1%, az A/D váltó bemeneti árama  $1\mu A(\max)$ , bemeneti kapacitása  $50pF(\max)$ ).

Els lépésben gyjtsük ki a szükséges paramétereket, a jelölések értelmezéséhez a 5. ábra szolgál segítségül:

$$\begin{aligned} U_{in} &= 0..100 V; \\ U_o &= 0..5 V; \\ C_{AD} &= 50 pF; \\ I_{AD} &= 1 \mu A; \\ \alpha &= 1 \%; \end{aligned} \tag{3}$$

Ezek után meghatározzuk a feszültségosztáshoz szükséges ellenállások mértékét a feszültségosztó képlettel.

$$U_o = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{4}$$

Mivel ebben az egyenletben két ismeretlen van, így a megoldáshoz  $R_1$  és  $R_2$  értéke közül az egyiket nekünk kell megválasztanunk. A gyakorlatban ezeket az ártákeket általában úgy választjuk meg, hogy a feszültségosztó árama kelleen kicsi legyen, elkerülve a nagy teljesítmény disszipációt, viszont ne túl kicsi ahhoz, hogy túlságosan zavarérzékeny legyen. Ebben a feladatban meg van adva az elvárt pontosság  $\alpha = 1\%$ , illetve az AD váltó által felvett áram maximális értéke  $I_{AD} = 1\mu A$ . Ezt értelmezhetjük úgy, hogy az AD váltó áramfelvétele, maxmim 1% mértékben változtathatja meg a feszültségosztó áramát, tehát  $R_2$  áramának legalább a 100 szorosának kell lennie  $I_{AD}$ -nak.

$$\begin{aligned}
I_{R2} &\geq I_{AD} \cdot \alpha \\
\frac{U_o}{I_{R2}} &\geq \frac{U_o}{I_{AD}} \cdot \alpha \\
R_2 &\geq \frac{U_o}{I_{AD}} \cdot \alpha = \frac{5 \text{ V}}{1 \mu\text{A}} \cdot \frac{1}{100} = 50 \text{ k}\Omega \\
R_2 &= \underline{\underline{50 \text{ k}\Omega}}
\end{aligned} \tag{5}$$

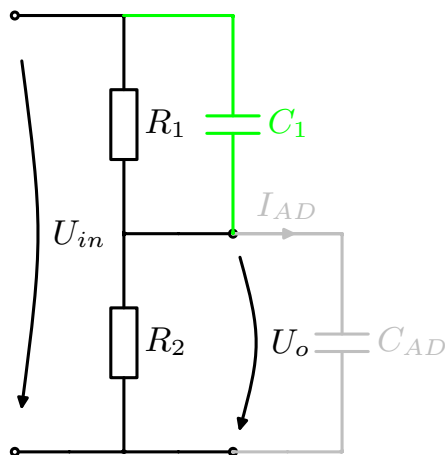
$R_2$  ismeretében már a feladat egyértelműen megoldható:

$$\begin{aligned}
U_o &= U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
R_1 &= \frac{U_i \cdot R_2 - U_1 \cdot R_2}{U_o} = \frac{100 \text{ V} \cdot 50 \text{ k}\Omega - 5 \text{ V} \cdot 50 \text{ k}\Omega}{5 \text{ V}} = \underline{\underline{950 \text{ k}\Omega}}
\end{aligned} \tag{6}$$

Innen már nincs más hátra, mint elvégezni a frekvenciakompenzációt.

$$\begin{aligned}
R_1 \cdot C_1 &= R_2 \cdot C_2 \\
C_2 &= C_{AD} \\
C_1 &= \frac{R_2 \cdot C_2}{R_1} = \frac{50 \text{ k}\Omega \cdot 50 \text{ pF}}{950 \text{ k}\Omega} = \underline{\underline{2,63 \text{ pF}}}
\end{aligned} \tag{7}$$

Ezzel pedig a feladat el is készült.



5. ábra. Feszültségosztó

**Example 4.1****Közvetelen érzékelk 2.**

Egy nagyfeszültség impulzusgenerátor kimen feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. Tervezzon galvanikusan nem leválasztott feszültség érzékelk, ha a kimenet és a vezérl elektronika nulla pontja azonos,  $U_i = 0..100V$ ,  $U_o = 0..5V$ , elírt statikus pontosság 1%, dinamikus pontosság 2%, az A/D váltó statikus bemeneti árama  $0 - 10\mu A$ , bemenetére redukált kapacitás  $25 - 50pF$ !

**Solution:**

**Example 4.2****Közvetelen érzékelk 3.**

Egy nagyfeszültség impulzusgenerátor kimen feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. Tervezzon galvanikusan nem leválasztott feszültség érzékelk, ha a kimenet és a vezérl elektronika nulla pontja azonos,  $U_i = 0..1kV$ ,  $U_o = 0..3V$ , elírt pontosság 2%, az A/D váltó statikus bemeneti árama  $1\mu A(max)$ , bemenetére redukált kapacitás  $50pF(max.)$ !

**Solution:**

**Example 4.3****Közvetelen érzékelk 4.**

Egy nagy kapcsolási frekvenciával működő DC/DC átalakító kimen feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. A kimenet és a vezérl elektronika tápja egy ponton összeköthet. Javasoljon érzékelési módszert és méretezze az érzékelk! ( $U_i = 0..100V$ ,  $U_o = 0..5V$ , elírt pontosság 1%, az A/D váltó bemeneti árama  $1\mu A(max)$ , bemeneti kapacitása  $50pF(max.)$ ).

**Solution:**

**Example 4.4****Közvetelen érzékelk 5.**

Egy nagyfeszültség impulzusgenerátor kimen feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. A kimenet és a vezérl elektronika tápja egy ponton összeköthet. Javasoljon érzékelési módszert és adja meg a méretezési szempontokat!

**Solution:**

**Example 4.5****Közvetelen érzékelk 6.**

Egy nagyfrekvenciás nagyfeszültség jelet nagysebesség A/D váltóval kívánunk mintavételezni. Milyen érzékelt használ, ha galvanikus leválasztás nem szükséges?

**Solution:**

**Example 4.6****Közvetelen érzékelk 7.**

Közvetlen áramérzékelést valósítunk meg egy 10mOhm-os sönt-ellenállással. A sönt-ellenállás induktivitása  $1\mu H$ . Rajzoljon fel egy olyan kapcsolást, amely a söntön átfolyó 0-10A-es tartományt az AD váltó 0-5V-os tartományába konvertálja és dinamikusán is helyes eredményt ad!

**Solution:**

**Example 4.7****Közvetelen érzékelk 8.**

Tervezzen 0A és +1A között változó áram érzékelésére alkalmas galvanikusan nem leválasztó érzékelk 2 kivezetésű söntellenállás felhasználásával! A söntellenállás mérpontjai közötti ellenállás 100mOhm, a söntellenállás induktivitása 0,1uH. A kimeneti feszültségtartomány 0..5V legyen! A mérési erősítő milyen tulajdonságára kell odafigyelni, ha az elért statikus pontosság 0,5%?

**Solution:**

**4.1.1. Galvanikusan csatolt mérési elrendezések****Example 4.8****Nem leválasztott érzékelk 1.**

Egy 0-100Hz-es tartományban 42V DC feszültséggel üzemel frekvenciaváltó (inverter) kimeneti áramát kell érzékelnünk. Tervezzen és méretezzen olyan érzékelk áramkört, amely a maximum 1A-es kimeneti áram pillanatértéket feltételezve a szükséges mérési tartományban az árammal arányos jelet az A/D váltó 0-5V-os bemeneti tartományába konvertálja! Galvanikusan leválasztás nem szükséges. Az elért érzékelési pontosság 100mA.

**Solution:**

**Example 4.9****Nem leválasztott érzékelk 2.**

Egy árammérk söntellenállás jellemzői:  $R_s=10\text{mOhm}$ ,  $L_s=0.1\mu\text{H}$ . Tervezzen illesztéskört, amely a 0..5A mérési tartományt az AD váltó bemenetére közel frekvenciafüggetlen módon 0..5V-os tartományba alakítja! A sönt 4 kivezetésű, áramkörti negatív pontja közös a jelfeldolgozó elektronika nulla pontjával.

**Solution:**

#### 4.1.2. Galvanikusan leválasztott mérési elrendezések

##### Example 4.10

##### Analóg leválasztók 1.

Egy váltakozó áramú motor áramát áramváltóval mérjük. A motor maximális felvett árama az 5Hz-100Hz frekvenciatartományban 10A. Az áramváltó áttétele 1:100, a szekunder oldalra vonatkoztatott mágnesezési induktivitása 1H. Legfeljebb mekkora sönt-ellenállással zárhatja le az áramváltót, ha a megengedett áramérzékelési hiba 1A?

Solution:

##### Example 4.11

##### Analóg leválasztók 2.

Rajzolja fel a kompenzációs elven működő Hall-elemes áramérzékel és a hozzá kapcsolódó illesztő áramkör kapcsolását! A felhasznált  $R_s$  söntellenállás 1,  $N_p=1$ ,  $N_s=1000$ ,  $I_p=100A$ , a jelfeldolgozó elektronika jeltartománya 5V.

Solution:

##### Example 4.12

##### Analóg leválasztók 3.

Röviden ismertesse az egyszer analóg optikai leválasztó(k) felépítését! Mit takar a CTR rövidítés? Mi a fő akadálya annak, hogy közvetlenül érzékel áramkörben alkalmazzuk?

Solution:



**Example 4.13****Analóg leválasztók 4.**

Rajzolja fel a kompenzációs elven működő Hall-elemes áramérzékelő elvi kapcsolását! Méretezze a sőtellenállást és az erősítőt! ( $N_p=1$ ,  $N_s=1000$ ,  $I_p=100\text{A}$ , a jelfeldolgozó elektronika jeltartománya  $\pm 5\text{V}$  és a sőtellenállás maximális disszipációja  $0,5\text{W}$ ?)

**Solution:**

**Example 4.14****Analóg leválasztók 5.**

Tervezzen max.  $10\text{A}$ -es amplitudójú áram érzékelésére alkalmas galvanikusan leválasztó érzékelő analóg optikai csatoló felhasználásával. Az áramkör disszipációja max.  $1\text{W}$  lehet, az optikai csatoló átviteli tényezője  $0.01$ , max. LED árama  $20\text{mA}$ . A kimeneti feszültségtartomány  $0..5\text{V}$  legyen!

**Solution:**

**Example 4.15****Analóg leválasztók 6.**

Tervezzen max.  $10\text{A}$ -es amplitudójú áram érzékelésére alkalmas galvanikusan leválasztó érzékelő analóg optikai csatoló felhasználásával! A sőtellenállás disszipációja max.  $1\text{W}$  lehet, a sőtellenállás induktivitása  $0.1\mu\text{H}$ , az optikai csatoló átviteli tényezője  $0.01$ , max. LED árama  $20\text{mA}$ . A kimeneti feszültségtartomány  $0..3\text{V}$  legyen!

**Solution:**

**Example 4.16****Analóg leválasztók 7.**

Tervezzon leválasztó ersített analóg optikai csatoló segítségével! Az ersít 100mV-os bemen tartományához a kimeneten 0..10V tartozzon. Az optikai csatoló átviteli tényezje 0.01, maximális LED árama 20mA, a rendelkezésre álló tápfeszültség 15V-os.

**Solution:**

**Example 4.17****Analóg leválasztók 8.**

Egy 0-100Hz-es tartományban üzemel frekvenciaváltó (inverter) kimeneti áramát kell érzékelnünk. Tervezzon és méretezzon olyan érzékel áramkört, amely galvanikusan leválaszt, a maximum 10A-es kimeneti áram pillanatértéket feltételezve a szükséges mérési tartományban az árammal arányos jelet az A/D váltó 0-5V-os bemeneti tartományába konvertálja!

**Solution:**

## 4.2. Id vagy frekvencia mérésre visszavezethet mérési eljárások

**Example 4.18****Fordulatszám és pozíció érzékelés 1.**

Egy adott alkalmazásban a fordulatszám-érzékeléssel szemben támasztott követelmények a következők:

- maximális fordulatszám: 1500 [fordulat/perc],
- fordulatszám érzékelés felbontása 1:1000 ,
- mintavételezési időköz: 1msec.

Megoldható-e a feladat inkrementális fordulatszámadóval? Miért? Javasoljon megoldást!

**Solution:**

**Example 4.19****Fordulatszám és pozíció érzékelés 2.**

Mire való a Gray kód? Mit jelent egy abszolút jeladónál a  $2 \cdot 12$  bites felbontás?

**Solution:**

**Example 4.20****Fordulatszám és pozíció érzékelés 3.**

Hogyan és milyen mértékben növelhet meg az inkrementális jeladóval érzékelt fordulatszám felbontása?

**Solution:**

**Example 4.21****Fordulatszám és pozíció érzékelés 4.**

Egy sin/cos jeladó fordulatonként 1024 periódust ad le csatornánként. Mi lesz az érzékelhet legkisebb szögeltérés, ha az analóg jeleket 6 bites pontossággal dolgozzuk fel?

**Solution:**

**Example 4.22****Fordulatszám és pozíció érzékelés 5.**

Inkrementális jeladó jeleit feldolgozó áramkört tervezünk. Rajzolja fel az FPGA-ban megvalósítandó áramkör elvi rajzát! Felhasználható elemek: D tárolók, 4 bemenet 3 kimenet kombinációs hálózat, két irányú szinkron számláló. Mire használható a kombinációs (logikai) hálózat 3. kimenete? Milyen logikai függvényrel állítjuk el?

**Solution:**

**Example 4.23****Fordulatszám és pozíció érzékelés 6.**

Rajzolja fel 1ms-ra az inkrementális fordulatszámadó A és B jeleinek időfüggvényét számszeren is helyes, ha  $D=1000$  és  $n=60/\text{perc}$ !

**Solution:**

**Example 4.24****Fordulatszám és pozíció érzékelés 7.**

Melyek az inkrementális fordulatszámadó jeleinek átadására szolgáló fizikai rétegek? Melyiknek mi az elnye?

**Solution:**

Egy abszolút jeladót SSI-n keresztül kötünk a központi irányító elektronikába. Milyen funkciójú vezetékeket találunk a jeladó csatlakozójában? Hány pólusú csatlakozóra lesz szükség?

**Solution:**

# Beágyazott irányító rendszerek

## 5.1. Beágyazott irányító rendszerek típusai

## 5.2. Mikrovezérl alapú rendszerek

## 5.3. Gyakran használt mikrovezérl perifériák

### 5.3.1. AD Átalakítók

### 5.3.2. Timer és Capture perifériák

Digitális irányító rendszerek esteében alapvet fontosságú a rendszer mködését vezérl úrajel jelenléte. Jelen fejezetben arra nem térünk ki, hogy ez az úrajel honnan származik, de úgy tekintjük, hogy jelen van a rendszerben, ismert a frekvenciája és a pontossága, amely segítségével lehetségessé válik id és frekvenciamérési feladatok megvalósítása.

## 5.4. Beágyazott kommunikációs interfészek

## 5.5. Digitális kommunikációs vonalak felépítése

Digitális eszközök közötti adatcserére az iparban szabványoks kommunikációs protollokat, kommunikációs formákat használunk. Ezek rendkívül sokrétek, az olvasó is találkozhat velük a mindennapjaiban, legyen szó egy FM rádióadásról, a GSM hálózatról, vagy egy Ethernet kapcsolatról. Ezek a kommunikációs eljárások különböz, standard rétegeket implementálnak, melyek akár fel is cserélhetek egymás között. (Pl. TCP/IP alapú kapcsolat megvalósítható WiFi-n és vezetlekes Ethernet hálózaton is) Ilyen modellszer leírást ad meg az Open Systems Interconnection model (OSI model) is.

**Layer 1: Fizikai réteg** A fizikai réteg azt határozza meg, hogy milyen fizikai közegen keresztül áramlik az információ az eszközök között. A fizikai réteg specifikálja, hogy vezetékes, vagy vezeték nélküli kapcsolatról van-e szó, az átvitt jelek százmát, az elvárt feszültségsszinteket és idzítéseket, a moduláció módját. A fizikai réteg dönti el, hogy az adat mely irányba áramolhat, simplex (egy irányú), half duplex (idosztáyban két irányú), vagy full duplex (folyamatosan két irányú) kommunikációról beszélünk-e.

A tanult soros kommunikációk fizikai rétegei közül melyek hasonlóak zavarérzékenység, ill. logikai működés szempontjából?

### 5.5.1. I2C

Az  $I^2C$  (Inter-Integrated Circuit) egy szinkron, csomagkapcsolt soros kommunikációs forma, melyet 1982-ben definiált a Philips Semiconductor (ma NXP). Igen elterjedt, általában nyomtatott áramkörön belül, a különböző digitális eszközök között használt kommunikációs forma. Több, kompatibilis változata is létezik, ilyen pl. az SMBus.

Leggyakrabban külső ADC-k, EEPROM-ok és egyéb Flash memóriák, digitális érzékelők, vagy egyszerű kijelzők vezérlésére alkalmazzák.

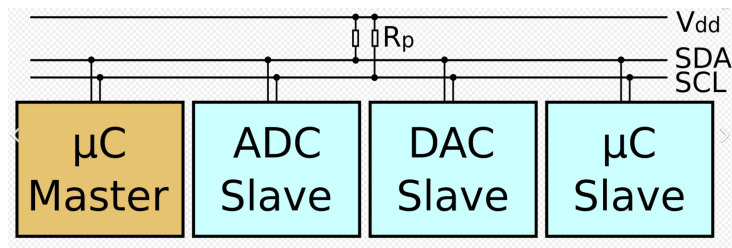
Az I2C kommunikáció fizikai rétege 2 vezetékekből áll, melyre a perifériák open-collectoros kimenetekkel csatlakoznak, emiatt a busz vezetékeit fel kell húzni tápfeszültségre. A tápfeszültségre felhúzó ellenállás méretét a kommunikációs sebesség, illetve a buszon található eszközök kapacitív terhelése határozza meg. Ez azt is jelenti, hogy ha a buszon bármely eszköz lehúzza bármely vezetéket annak feszültsége 0 lesz. Ez a két vezeték az SCL, azaz az órajelet közvetítő vezeték, illetve az SDA azaz az adatot közvetítő vezeték. Mivel az I2C buszon jelek nem differenciális jelvitellel közlekednek, hanem egy vezetéken, ami az elektronika közös referencia feszültségéhez (GND) képest változtatja az értékét, single-ended kommunikációs vonalnak nevezzük. I2C buszon a logikai magas szint a magas feszültségnek felel meg, míg a logikai alacsony szint, a kis feszültségnek. A MASTER egység az üzenetek kezdetét ún. START bittel jelzi, amely nem más mint az SDA vezeték alacsony állapotba állítása az SCL vezeték lehúzása nélkül. A STOP bit hasonló logika mentén, az órajel fix magas állapota melletti SDA magasba állítást jelenti az üzenet végén.

A buszon két típusú eszköz található:

- Master - ezen eszközök indítják a kommunikációt
- Slave - ezen eszközök reagálnak a kommunikációs kérdésekre

Egy buszon szerepelhet több master is, illetve a szerepeket akár dinamikusan is cserélhetik az eszközök, egyszerre azonban csak egyetlen eszköz adhat a buszon.

A buszon az eszközök alábbi üzemi állapotokkal fordulhatnak el:



6. ábra. I2C busz elrendezés

- master transmit
- master receive
- slave transmit
- slave receive

A buszon található különböz egységek megkülönböztetésére a cím szolgál. A master egység a START bit leadása után a MASTER elküldi a SLAVE egység 7 bites címét, majd ez után 1 bitben jelzi, ohgy írni (0), vagy olvasni (1) kíván az adott eszközbe/eszközből. Amennyiben a megcímzett SLAVE egység elérhet a buszon, így egy ACK bit kiadásával válaszol. A gyakorlatban ez az SDA vonal lehúzásást jelteni egy bit idejére.

#### Example 5.2

#### I2C 1

Ismertesse az I2C busz adatkapcsolati rétegét! Rajzoljon fel egy elrendezést 2 potenciális mester és 2 szolga résztvevvel! Vázzolja fel a busz jeleit, ha a mester a 3 cím eszközre egy 0 érték és 255 érték byte-ot ír és az eszköz képes a vételre!

**Solution:**



**Example 5.3****I2C 2**

Ismertesse az I2C busz adatkapcsolati rétegét! Rajzoljon fel egy elrendezést 1 mester és 2 szolga résztvevvel! Vázzolja fel a busz jeleit, ha a mester a 3 cím eszközre egy 0 érték byte-ot ír és az eszköz képes a vételre!

**Solution:**

**Example 5.4****I2C 3**

Ismertesse az I2C busz adatkapcsolati rétegét! Rajzoljon fel egy elrendezést 1 mester és 2 szolga résztvevvel! Vázzolja fel a busz jeleit, ha a mester a 127 cím eszközre egy 0 érték byte-ot ír és az eszköz képes a vételre!

**Solution:**

**Example 5.5****I2C 4**

Ismertesse egy I2C buszos EEPROM egyetlen adatbájta olvasásának fázisait.

**Solution:**

**Example 5.6****I2C 5**

Rajzoljon fel egy elrendezést 1 mester és 2 szolga résztvevvel! Mi történik, ha a mester tévedésből két azonosra állított cím eszközbl olvas, ha az egyik eszközbl olvasandó adat 0xaa, a másiktól 0x55?

**Solution:**

**5.5.2. SPI****Example 5.7****SPI 1**

Rajzoljon fel egy mestert és két szolgát tartalmazó rendszert!

**Solution:**

**Example 5.8****SPI 2**

Egy abszolút pozíció érzékelő SSI interfészen illesztünk a folyamatirányító számítógéphez. Ismertesse a bekötéshez szükséges vezetékek szerepét! Melyik pillanatban érvényes pozíciót kapjak meg az irányító egység?

**Solution:**

**Example 5.9****SPI 3**

Adja meg egy 4 bites adatok duplex átadásakor az SCLK, MOSI, MISO, CS (SL) jelek időfüggvényét!

**Solution:**

**5.5.3. UART****Example 5.10****UART 1**

Rajzoljon fel egy 4 állomásos RS485-ös rendszert!

**Solution:**

**Example 5.11****UART 2**

Hasonlítsa össze az RS422 és az RS485 szabványokat!

**Solution:**

Aszinkron soros kommunikáció alapszint protokollja. Pl.: 7E2.

**Solution:**

Két processzor között aszinkron kommunikációt valósítunk meg. Megfelelnek-e a  $\pm 2,5\%$ -os pontosságú órajel-generátorok, ha a kommunikációs mód 8E1? Mikor lehet szükség egynél több stop bitre?

**Solution:**

Rajzolja fel egy két részvevs RS485 rendszer vezetéke GND-hez képesti feszültségének időfüggvényét, amikor az egyik résztvevő 0x5A kódot küld 7O2 kommunikációs módban!

**Solution:**

Rajzoljon fel egy 4 résztvevő RS485 szabvány szerinti kommunikációs rendszert! Mit érzékelnek a vevők, ha egyik résztvevő sem ad?

**Solution:**

#### 5.5.4. CAN

Mi a soros és a párhuzamos visszaverdés-mentesítés? Mikor melyiket célszerű alkalmazni?

**Solution:**

Egy CAN buszon két eszköz egyszerre kezd adni egy-egy standard ID-j üzenetet. Az első eszköz üzenetének azonosítója 120, a másodiké 64. Rajzolja fel az első eszköz TX és RX jelének első 12 bitjét!

**Solution:**

**Example 5.18****CAN 3**

Egy CAN buszon két eszköz egyszerre kezd adni egy-egy standard ID-j üzenetet. Az els eszköz üzenetének azonosítója 2047, a másiké 0. Rajzolja fel az els eszköz TX és RX jelének els 8 bitjét! Rajzoljon fel egy 4 résztvevő RS485 szabvány szerinti kommunikációs rendszert!

**Solution:**

**Example 5.19****CAN 4**

CAN buszon az 1. állomás átviteli sebességét 500kBaudra állítottuk, a 2. állomás sebességét 1MBaud-ra. Mi lesz a 2. állomás TxD és RxD jele az els 10 $\mu$ s-ban, ha az 1. állomás ID=3 azonosítójú üzenetet kezd el küldeni?

**Solution:**

**Example 5.20****CAN 5**

Mit jelent a bit szint arbitráció? A CAN üzenet melyik része az arbitrációs mező?

**Solution:**

**Example 5.21****CAN 6**

Hány bites a DLC mez. Miért?

**Solution:**

**Example 5.22****CAN 7**

Hány bites a standard ID? Mit jelent az, hogy a CAN üzenet-orientált?

**Solution:**

**Example 5.23****CAN 8**

Ismertesse a CAN (A) üzenet felépítését! Hogyan változik meg a buszon mérhető jelsorozat, ha az egyik aktív ill. passzív vevő a CRC-t hibásnak érzékeli?

**Solution:**

Mi az error frame és mikor adja egy résztvevő?

**Solution:**

Két processzor között CAN kommunikációt valósítunk meg. Megfelelnek-e a  $\pm 2,5\%$ -os pontosságú órajel-generátorok?

**Solution:**



# Bevezetés a teljesítményelektronikába

## 6.1. Teljesítményelektronikai félvezet elemek

### 6.1.1. Dióda

### 6.1.2. IGBT

### 6.1.3. FET

## 6.2. Lineáris üzem tápegységek

## 6.3. Kapcsoló üzem tápegységek

### 6.3.1. Buck-konverter

### 6.3.2. 1 fázisú inverterek

### 6.3.3. 3 fázisú inverterek

## 6.4. Kapcsoló üzem táegységek digitális irányítása

### Example 6.1

### DC/DC 1

Egy DC motort 10kHz-es kapcsolási frekvenciájú hídkapcsolású DC-DC átalakítóról táplálunk. A DC feszültség 110V, a motor névleges feszültsége 100V, induktivitása 1mH, névleges fordulatszám 1000ford/perc. Mekkora lesz az áramhullámosság álló motornál a tanult két modulációs módszernél?

**Solution:**

## Example 6.2

## DC/DC 2

Egy hídkapcsolású DC-DC átalakítót eltolásos PWM-mel vezérlünk. Adja meg a  $v$  vezérljel és a kimeneti feszültség középvértéke közötti kapcsolatot mindkét áramirány figyelembevételével, ha a  $k$  háromszög vivjel 0V és 10V között változik,  $f_{sw} = 10\text{kHz}$ ,  $t_{don}=1\mu\text{s}$ ,  $t_{doff}=1,5\mu\text{s}$ ,  $t_d=3\mu\text{s}$ ,  $U_{in}=100\text{V}$ !

Solution:

## Example 6.3

## DC/DC 3

Egy hídkapcsolású DC-DC átalakítót eltolásos PWM-mel vezérlünk. Adja meg a  $v$  vezérljel és a kimeneti feszültség középvértéke közötti kapcsolatot mindkét áramirány figyelembevételével, ha a  $k$  háromszög vivjel 0V és 10V között változik,  $f_{sw} = 10\text{kHz}$ ,  $t_{don}=1\mu\text{s}$ ,  $t_{doff}=1,5\mu\text{s}$ ,  $t_d=3\mu\text{s}$ ,  $U_{in}=100\text{V}$ !

Solution:

## Example 6.4

## DC/DC 4

Egy DC motort 15kHz-es kapcsolási frekvenciájú hídkapcsolású DC-DC átalakítóról táplálunk. A DC feszültség 200V, a motor névleges feszültsége 100V, induktivitása 1mH, névleges fordulatszám 1000ford/perc. Mekkora fordulatszámon lesz maximális a nyomatéklüktetés, ha ellen-ütem vezérlést alkalmazunk? Mekkora lesz az áramhullámosság maximuma?

Solution:

## Example 6.5

## DC/DC 5

Egy DC motort 5kHz-es kapcsolási frekvenciájú hídkapcsolású DC-DC átalakítóról táplálunk. A DC feszültség 120V, a motor névleges feszültsége 100V, induktivitása 1mH, névleges fordulatszám 1000ford/perc. Mekkora fordulatszámon lesz maximális a nyomatéklüktetés, ha ellen-ütem vezérlést alkalmazunk? Mekkora lesz az áramhullámosság maximuma?

Solution:

## Example 6.6

## DC/DC 6

Mekkora lesz az egyfázisú hídkapcsolású inverter kimenefeszültségének ötödik felharmónikusa, ha a kapcsoló elemek késleltetése ki és bekapcsolásnál 1-1usec, az egy ágban levő kapcsoló elemek vezérlése közötti holtidő 2usec (mindig a bekapcsolást késleltetjük), a kapcsolási frekvencia 10kHz, a bemeneti DC feszültség 100V és a terhelés soros R-L?

Solution:

## Example 6.7

## DC/DC 7

Egy egyfázisú hídkapcsolású invertert 300V-os egyenfeszültséggel táplálunk. Mekkora lesz ideális esetben a terhelésre jutó feszültség alapharmonikusának effektív értéke a szinuszos kivezérelhetőség határán? Hogyan változik meg a kimenefeszültség alapharmonikusának effektív értéke, ha a kapcsoló elemek késleltetése ki és bekapcsolásnál 1-1usec, az egy ágban levő kapcsoló elemek vezérlése közötti holtidő 2usec, a kapcsolási frekvencia 10kHz és a kimeneti áram alapharmonikusa kb. azonos fázisú a fázisfeszültséggel?

Solution:

## Example 6.8

## DC/DC 8

Egyfázisú szinuszos PWM vezérlés DC-AC átalakító jellemzi:  $f_{sw} = 10\text{kHz}$ ,  $t_{don}=1\mu\text{s}$ ,  $t_{doff}=1\mu\text{s}$ ,  $t_d=3\mu\text{s}$ ,  $U_{DC}=100\text{V}$ . Mekkora a harmadik harmonikus feszültség összetev, ha a kitöltési tényező:  $d=0.5\sin(\omega t)$  szerint változik?

Solution:

## Example 6.9

## DC/DC 9

Egyfázisú szinuszos PWM vezérlés DC-AC átalakító jellemzi:  $f_{sw} = 10\text{kHz}$ ,  $t_{don}=1\mu\text{s}$ ,  $t_{doff}=1\mu\text{s}$ ,  $t_d=3\mu\text{s}$ ,  $U_{DC}=100\text{V}$ . Mekkora a harmadik harmonikus feszültség összetev, ha a kitöltési tényező:  $d=0.5\sin(\omega t)$  szerint változik?

Solution:

## Example 6.10

## DC/DC 10

Egy egyfázisú hídkapcsolású inverter kapcsolási frekvenciája  $10\text{kHz}$ , kimenefeszültségének 5. felharmónikusa  $5\text{V}$ , a kimenőáram  $10\text{kHz}$ -es összetevje elhanyagolható,  $20\text{kHz}$ -es összetevje  $0.5\text{A}$ . Milyen vezérlési módszert használtunk? Mekkora lesz közelítőleg a kimenefeszültség 5. felharmónikusa és a legjelentsebb nagyfrekvenciás összetevje, ha a kapcsolási frekvenciát  $15\text{kHz}$ -re emeljük? Indoklás!

Solution:

## Example 6.11

## DC/DC 11

Egy háromfázisú hídkapcsolású inverter kapcsolási frekvenciája 10kHz, kimenfeszültségének ötödik felharmónikusa 5V, a kimenáram 10kHz-es összetevje 1A. Mekkora lesz közelítőleg a kimenfeszültség ötödik felharmónikusa és a kimenáram kapcsolási frekvenciás összetevje, ha a kapcsolási frekvenciát 15kHz-re emeljük?

Solution:

## Example 6.12

## DC/DC 12

Egy egyfázisú hídkapcsolású inverter kapcsolási frekvenciája 10kHz, kimenfeszültségének harmadik felharmónikusa 5V, a kimenáram 10kHz-es összetevje 1A. Milyen vezérlési módszert használtunk? Mekkora lesz közelítőleg a kimenfeszültség harmadik felharmónikusa és a kimenáram kapcsolási frekvenciás összetevje, ha a kapcsolási frekvenciát 15kHz-re emeljük? Indoklás!

Solution:

## Example 6.13

## DC/DC 13

Hasonlítsa össze a flat-top moduláció és a 3. harmonikust tartalmazó modulációt a maximális kiadható szinuszos feszültség szempontjából! Hogyan hat a vezérlési holtid az egyik ill. a másik esetben?

Solution:

Hasonlítsa össze a flat-top modulációt és a 3. harmonikust tartalmazó modulációt! Szempon-  
tok: kiadható szinuszos feszültség holtid figyelembevételével, ill. anélkül, kapcsolási vesztesé-  
gek  $\cos(\varphi)=1$  feltételezésével, meghajtók táplálása. Idfüggvények.

Solution:

Hasonlítsa össze a Flat-top és a fázisonkénti szinuszos modulációt maximális kiadható szin-  
uszos feszültség, kapcsolási veszteségek, alkalmazható meghajtó típus és felharmóniakusok  
szempontjából!

Solution:

Mekkora lesz a maximális kiadható szinuszos vonali feszültség csúcserőértéke flat-top, szimetri-  
kus, fázisonkénti szinuszos és a 3. harmonikust tartalmazó moduláció alkalmazásakor, ha a DC  
feszültség értéke 600V? Az utolsó módszernél mekkora lesz a harmadik harmonikus értéke?

Solution:

Mekkora DC feszültség szükséges a tanult modulációs módszereknél, ha a 400V-os háromfázisú motoron névleges feszültséget és szinuszos áramot akarunk biztosítani? Melyik modulációs módszernél a legalacsonyabb a szükséges DC feszültség, ha a holtid hatását is figyelembe vesszük?

**Solution:**

Tüzelanyag-cellával termelt energiát a 400V-os hálózatra szeretnénk visszatáplálni egy 3 fázisú inverter és egy 50Hz-es transzformátor felhasználásával. A tüzelanyag-cella üzemi feszültsége 400V és 250V között változik. Mekkora áttétel transzformátoron keresztül csatlakozzunk a 10%-os trés hálózatra?

**Solution:**

Szimmetrikus (space vector) modulációt alkalmazó inverter alkalmazásban 400V vonali effektív érték szinuszos feszültséget kell elállítanunk. Mekkora DC bemeneti feszültség szükséges? Mennyivel csökken a kiadott feszültség alapharmonikusa, ha változatlan vezérlés mellett a holtid-t is figyelembe vesszük ( $f_{sw} = 10\text{kHz}$ ,  $t_{don}=1\mu\text{s}$ ,  $t_{doff}=1\mu\text{s}$ ,  $t_d=3\mu\text{s}$ ,  $\cos(\phi)=1$ )?

**Solution:**

Egy háromfázisú hídkapcsolású inverter bemeneti feszültsége 600V. Fázisonkénti szinuszos modulációt alkalmazunk, ahol az a fázis fels tranzisztorának kitöltési tényezje  $d_a = 0,5 + 0,4 * \sin(2 * \pi * 50 * t)\beta$ . A kapcsolási frekvencia 10kHz. Rajzolja fel a kapcsolást! Mekkora lesz a kimeneti feszültség alapharmonikus vonali feszültsége? A kimeneti vonali feszültséget spektrumanalizátorral vizsgálva 20V-os 250Hz-es összetevt mérünk. Mi lehet ennek az oka?

**Solution:**