

Műszaki ismeretek tananyag

- Beágyazott technológiák
- Modern mérés technika

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Támogató pályázat

EFOP-3.5.1-16-2017-00004

Duális és kooperatív képzések és azokat támogató
szolgáltatások fejlesztése a Szegedi
Tudományegyetemen

Tananyag részei

- Beágyazott technológiák
- Modern mérés technika

Tananyag célja

- Célcsoport:
Mérnökinformatikus MSc
Duális képzés
- Önálló felkészülés támogatása
- Gyakorlatokra való felkészülés segítése
- Vizsgára készülés segítése

Tananyag elérhetősége

- YouTUBE lejátszási lista:
https://www.youtube.com/playlist?list=PL-0Sm209reshPfupAglC7QwxK5laG9_nY

1. Beágyazott technológiák

Tananyagrész elérhetősége

- YouTUBE lejátszási lista

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLrJ2EIBT8WAxIQ6ITWjrO9wSdIfKfsx7M>

1.1. Beágyazott rendszerek általános felépítése

Áttekintés

- Elvek, eszközök, gépek
- Analóg rendszerek
- Digitális rendszerek
- Digitális komponensek

Példák

- Általános példák
- Példák - Texas Instruments Példák - Analog Devices
- Példák - Hallgatói munkák

1.2. Mikrovezérlők beágyazott rendszerekben

Általános felépítés

- Alapelvek
- 8-bites architektúra
példa
- 32-bites architektúra
példa

Felügyeleti áramkörök

- Biztonságos működés,
hibakezelés
- Reset források
- Power-on reset
- Watchdog timer példa

1.2. Mikrovezérlők beágyazott rendszerekben

General purpose input/output

- GPIO alapok
- Meghajtó áramkörök
Adatlapi értékek
- Felépítés - ATmega328
- Felépítés - C8051F410
- Felépítés - STM32L452
- Felépítés - Raspberry PI
- Illesztési példák
- Rövidzárak elkerülése
Szintillesztés

1.2. Mikrovezérlők beágyazott rendszerekben

A/D konverterek

- Alapok
- Felépítés
- Működés

Alacsony fogyasztási üzemmódok

- Órajelfüggés vizsgálata

1.3. Kommunikáció

UART

- UART adatátvitel vizsgálata
- UART jelalakok

1.4. Memóriák

Flash memóriák

- Flash memóriák tulajdonságai
- Flash memóriák választéka

1.5. Beágyazott szoftverek

Beágyazott C szabványok

- Kódolási szabványok
- Formai szabályok
- Fontosabb kódolási szabályok

Valós idejű működés

- Megszakítási késleltetés

Beágyazott technológiák

Bevezetés

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap

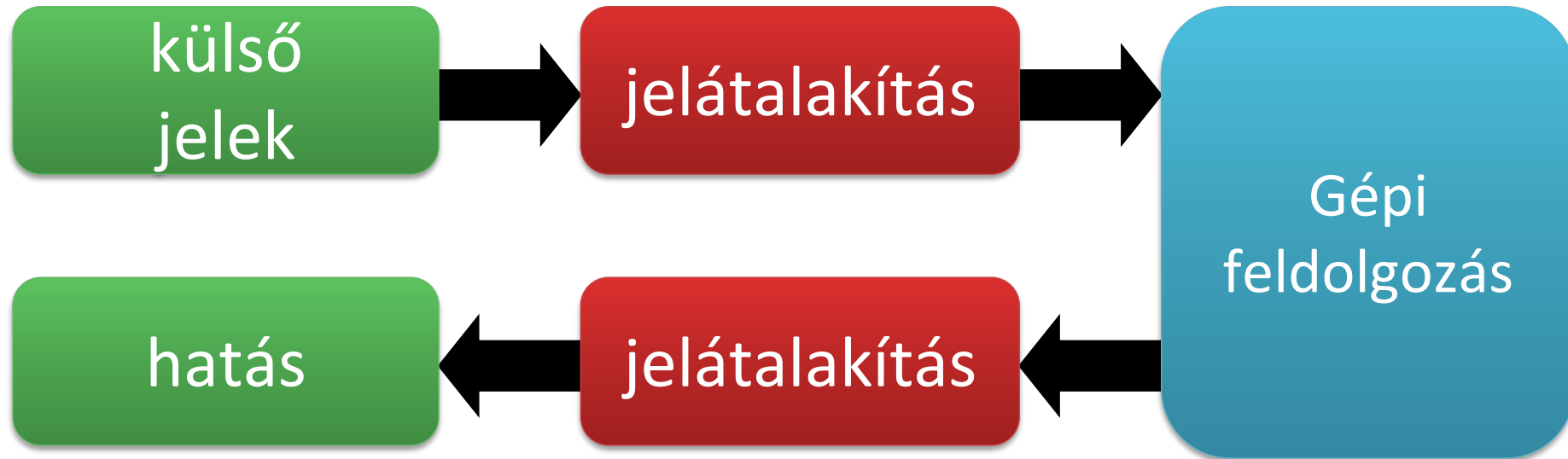


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Az ember kapcsolata a külvilággal



Eszközök, gépek



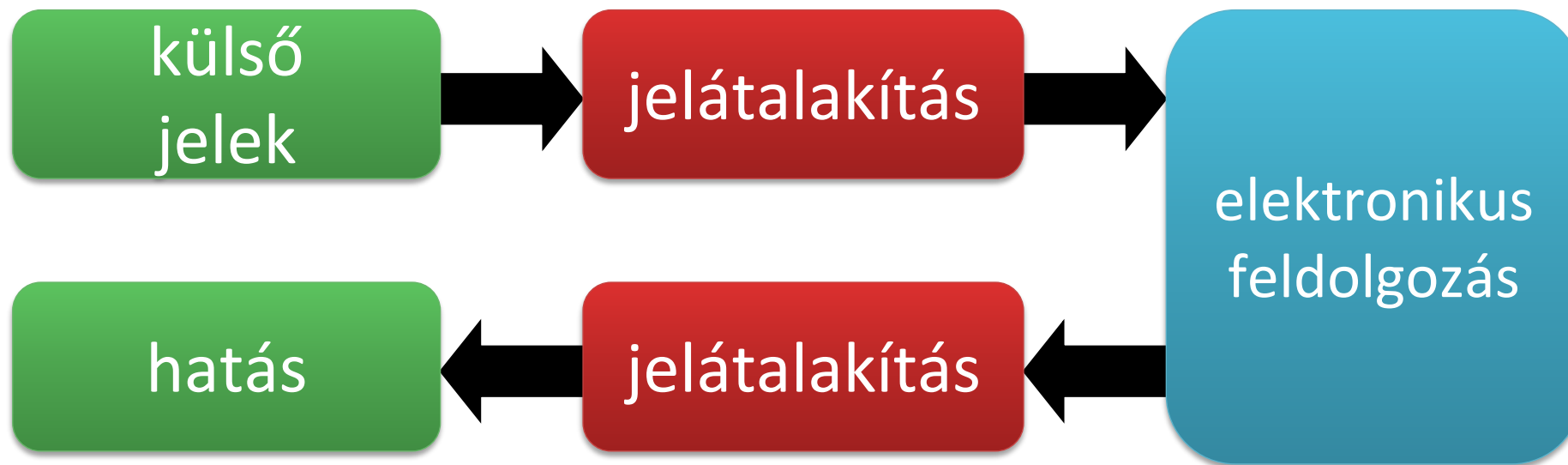
Eszközök, gépek működése

- A működés matematika műveletekkel írható le
- Jelek - változók
- Információnyerés a jelekből – műveletek, egyenletek
- A feldolgozás eredményeként beavatkozás
- Azaz
 - fizikai, kémiai, biológiai folyamatok, jelek
 - matematikai leírás, ennek közelítése

Eszközök, gépek tervezése, készítése

- A feladat $\rightarrow$ szükséges műveletek
- A szükséges műveleteknek megfelelően működő eszközt kell létrehozni
- Optimális megoldás megadása
 - Egyszerű, olcsó, pontos, megbízható

A feladat leghatékonyabb megoldása: elektronika



Eszközök, készülékek, gépek

- A feldolgozási rész kiemelten fontos
- A legjobb hatékonyság: elektronika
- A lehető legtöbb rész legyen elektronikus:
 - Analóg
 - Digitális
 - Processzorok, szoftver

Eszközök, készülékek, gépek

- A lehető legtöbb rész legyen digitális
 - Kevésbé érzékeny jelek
 - Jobb feldolgozhatóság, tárolhatóság, továbbíthatóság
 - Akár azonos hardver többféle eszközhöz
 - Szoftverdefiniált eszközök
 - Gazdaságosság
 - ...
- Analóg rész mindig marad

Összefoglalás

- Eszközök gépek
 - Külvilág jeleinek érzékelése, információszerzés
 - Feldolgozás
 - Beavatkozó jelek, hatás
- Elektronikus eszközök
 - Számítógépeket tartalmaznak

Beágyazott technológiák

Digitális beágyazott rendszerek általános felépítése

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020

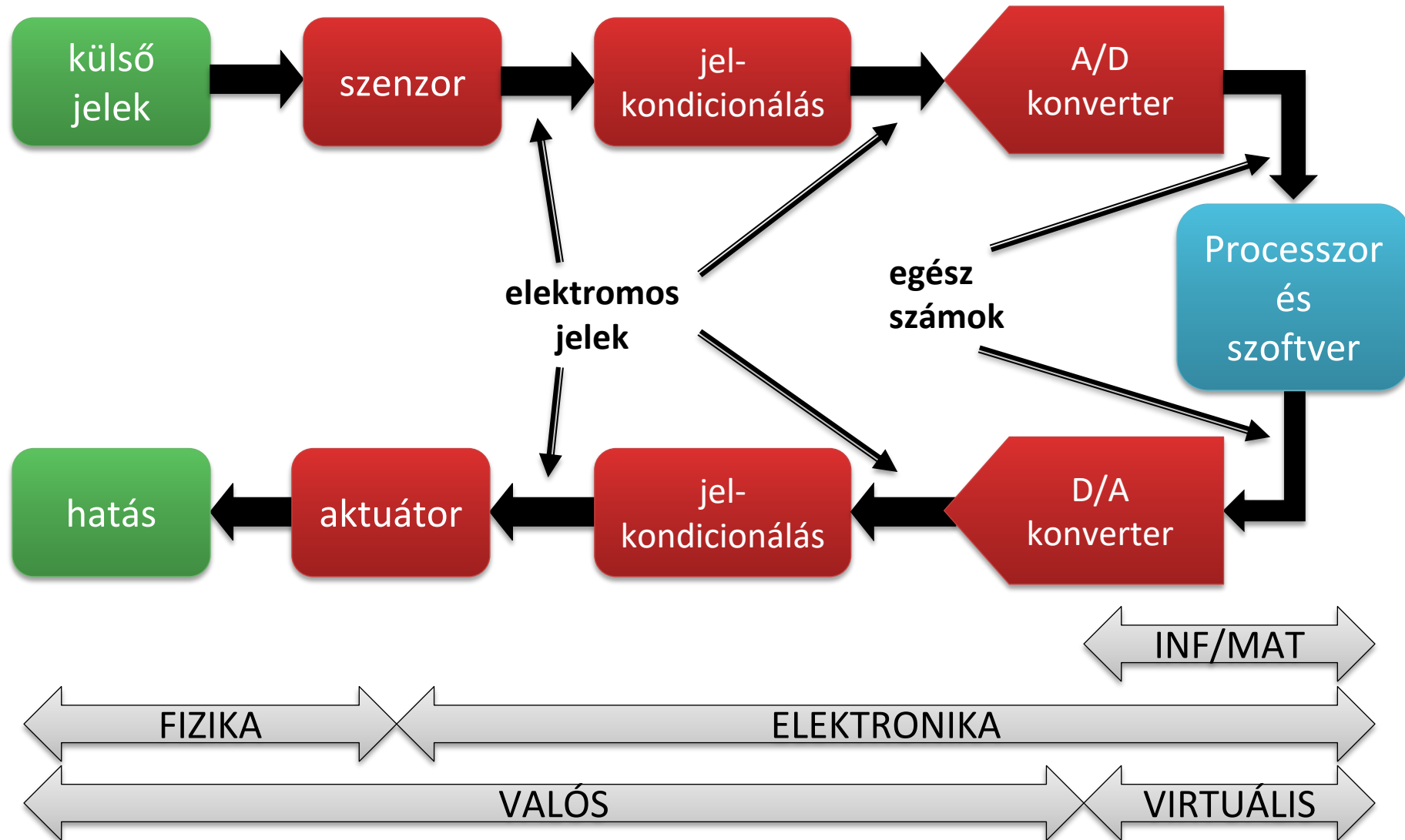


Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Modern eszközök felépítése



Beágyazott rendszerek

- Célfeladatot végző rendszer, belső „számítógép”
- Univerzális számítógép $\leftrightarrow$ beágyazott rendszer
 - hasonlóságok: felépítés
 - különbségek: funkcionalitás, sebesség, megbízhatóság
- Processzor + perifériák
- Ipari szabványoknak felelnek meg
- Hőmérséklet, vízállóság, tartósság, ...

Tipikus műszaki rendszer

- Célra optimalizált megoldás, ismert építőelemek
- A lehető legegyszerűbb megoldások
- Nagyfokú megbízhatóság
- Autonóm működés, hibajavítás
- Akár folyamatos működésre tervezett

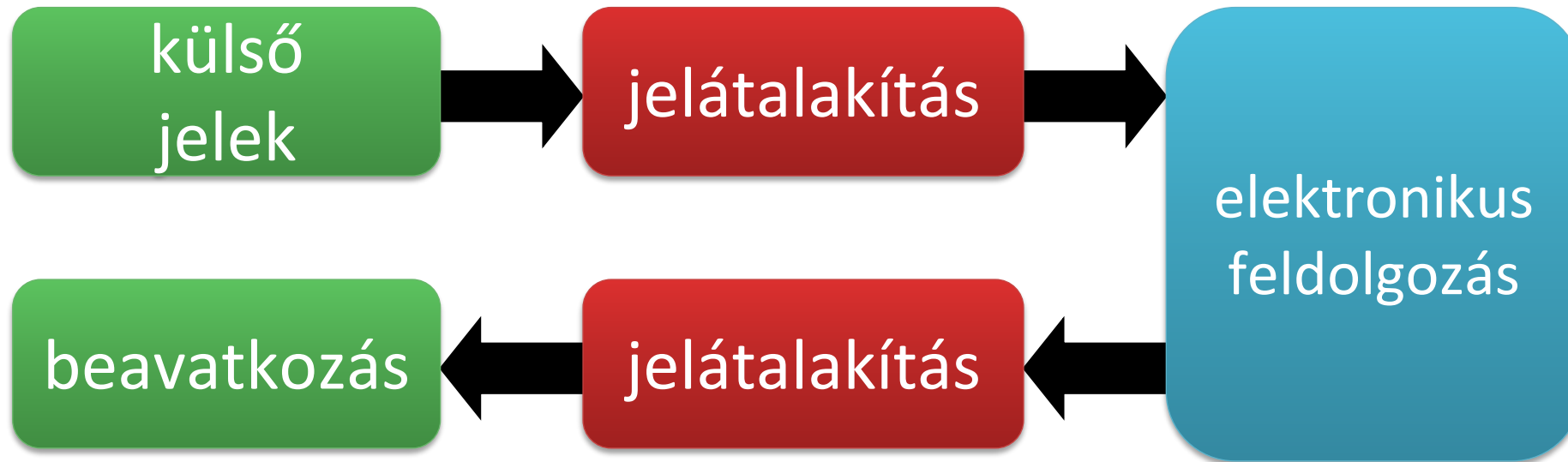
Tipikus műszaki rendszer

- Időkritikus feladatok biztos elvégzése
- Extrém körülmények
- Specifikált, részletes információk
- Nem szabad a specifikációknak nem megfelelő körülmények közt használni!

Fontosabb funkciók

- Felhasználói felület
- Szenzorok, aktuátorok kezelése
- Folyamatok időzítése, időmérés
- A működés felügyelete, beavatkozás
- Feldolgozás, műveletek végrehajtása
- Adatkezelés, tárolás, továbbítás
- Tápellátás

Eszköz, gép felépítése



Analóg áramkörös feldolgozás

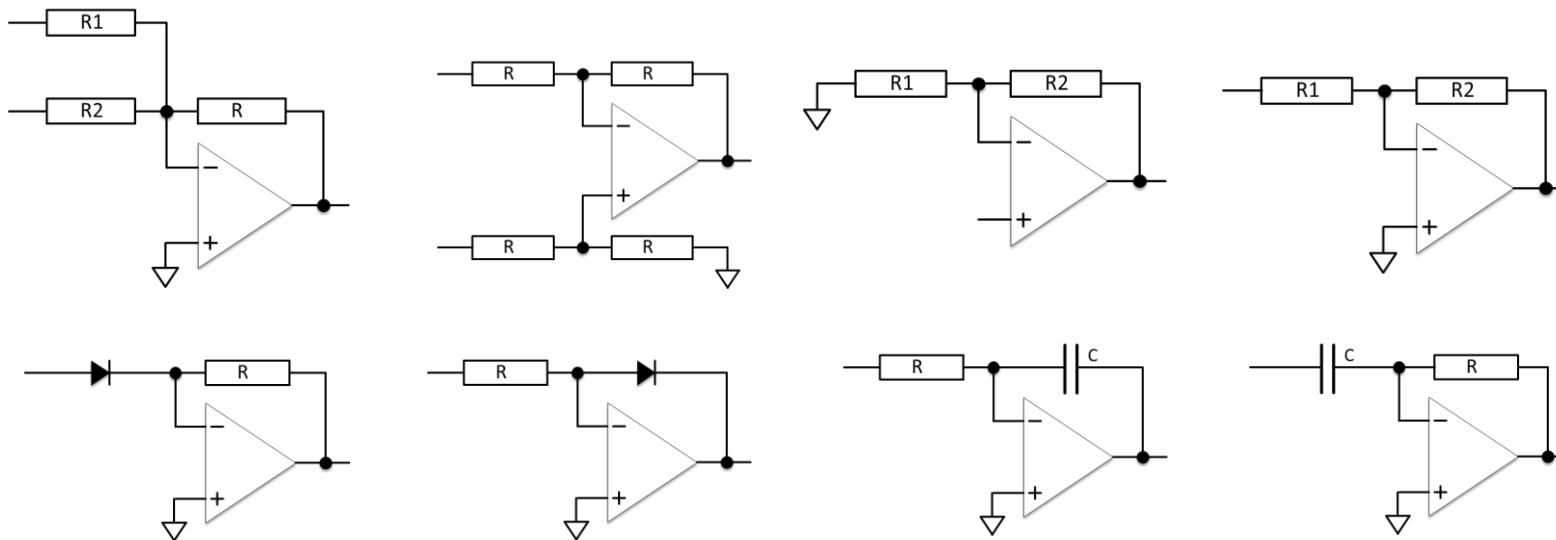
- Műveletek végzése folytonos jeleken
- Komparátorok – „igen/nem”
- Időzítő áramkörök

Analóg áramkörök – opcionális kiegészítők

- Felhasználói felület
 - Nyomógombok, kapcsolók, potenciométerek
 - Analóg kijelzők, LED-ek
- Tárolás
- Továbbítás

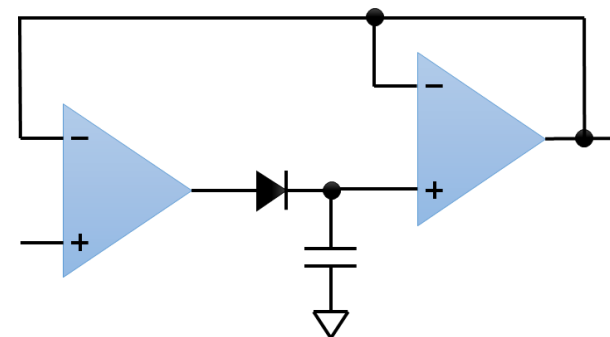
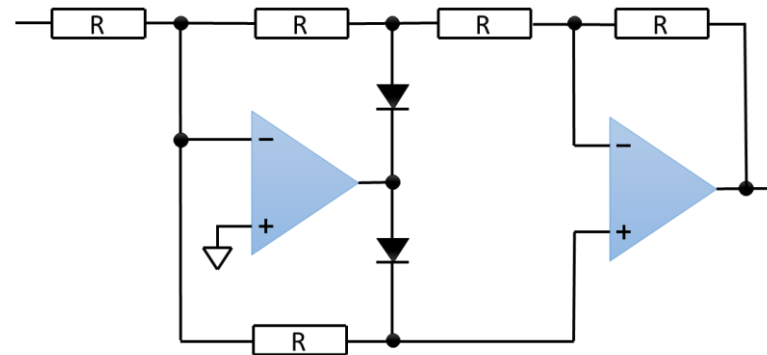
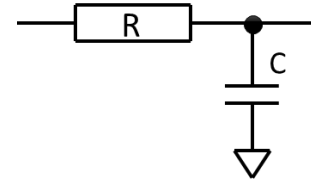
Analóg számítógép

- Megadott egyenletnek megfelelő működés
- Akár differenciálegyenletek
- Analóg műveletvégző áramkörök



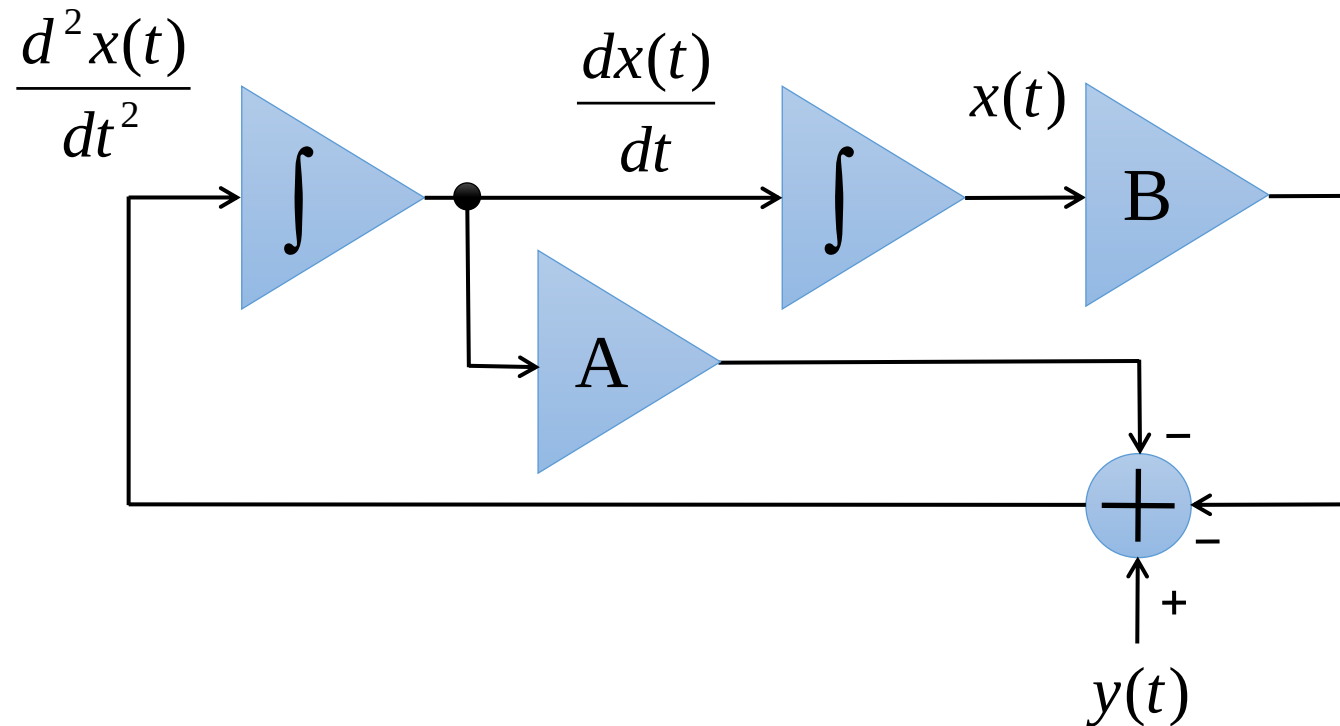
Analóg számítógép

- Átlagérték
- Abszolútérték
- Csúcsérték
- Limitálás
- Pulzusgenerálás
- VFC - FVC
- Négyzet, gyök
- ...



Analóg számítógép példa

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + A \frac{dx(t)}{dt} + Bx(t) = y(t)$$

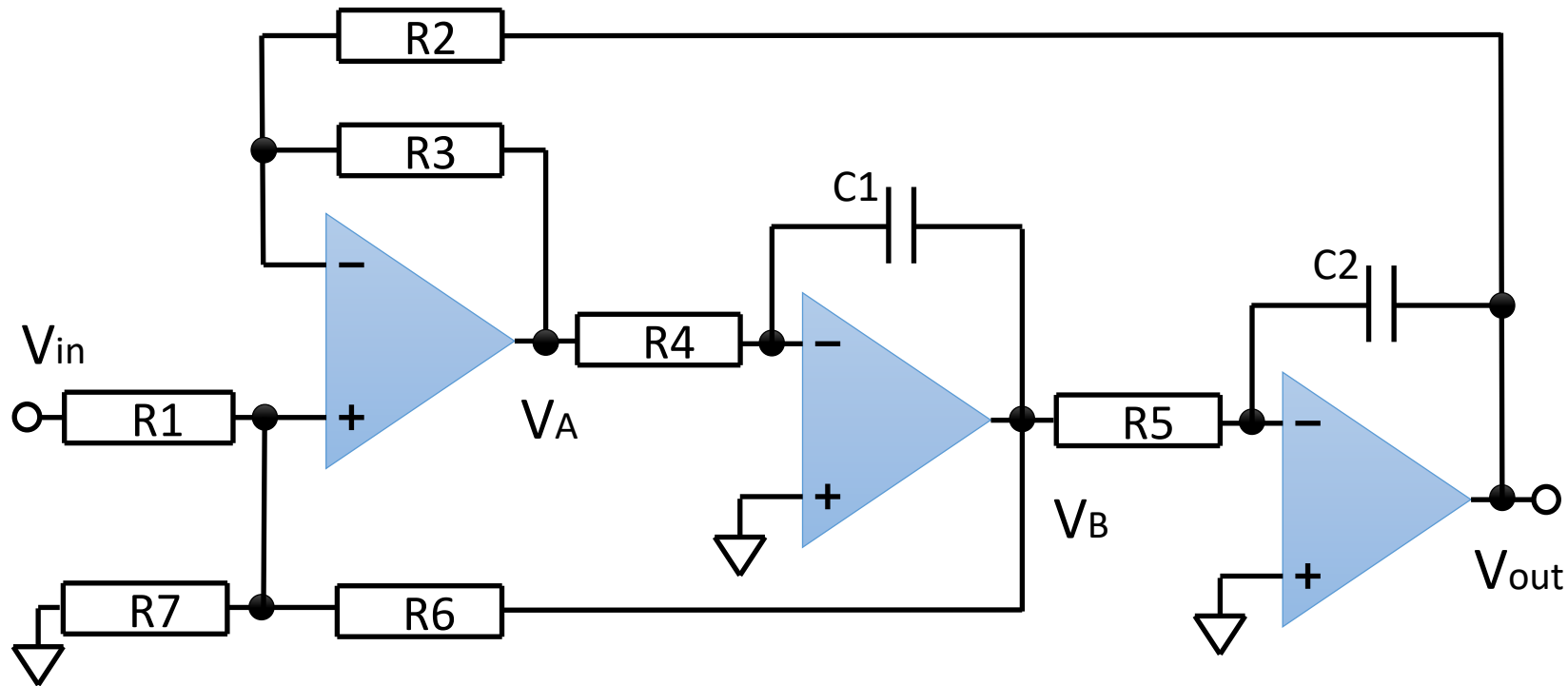


Megépítés műveleti erősítőkkel

$$V_A = \gamma V_B + \delta V_{in} - \lambda V_{out}$$

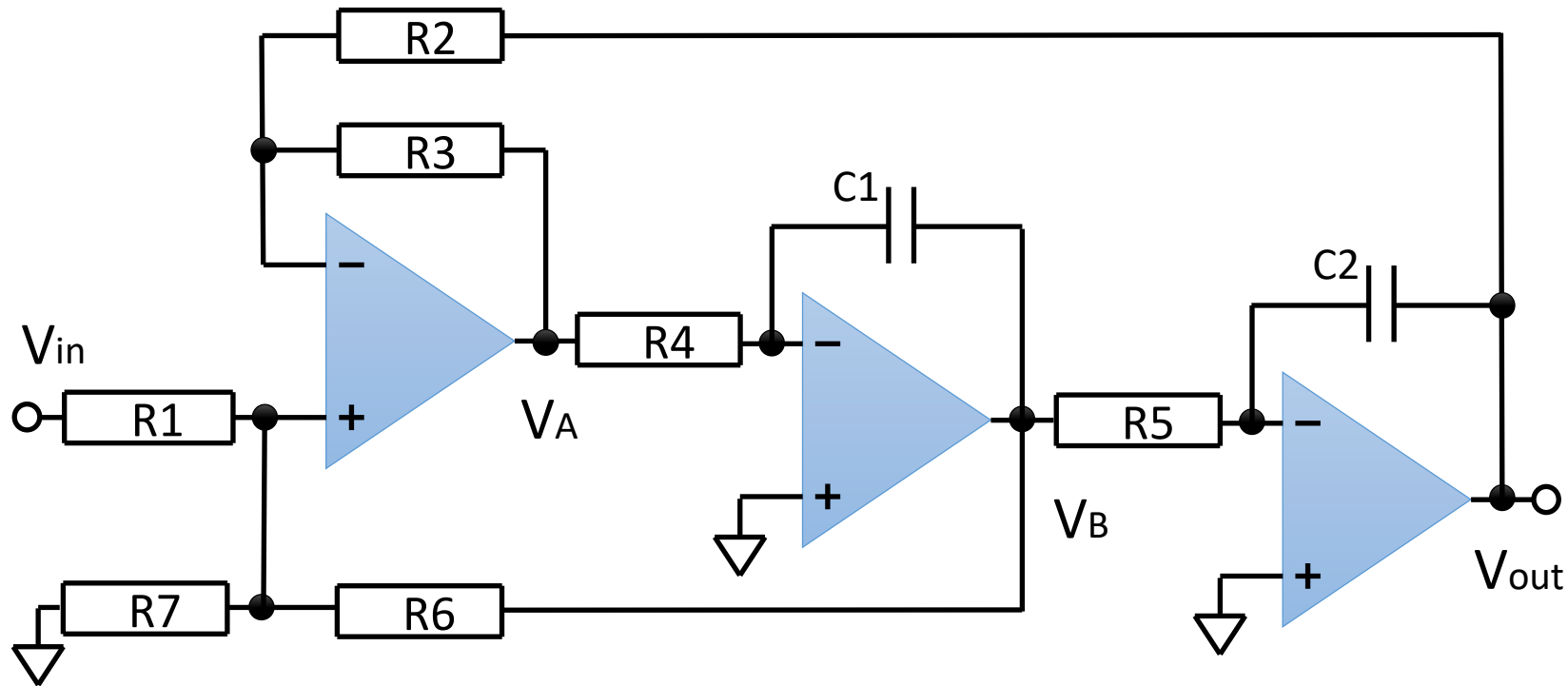
$$V_A = -\beta \frac{dV_B}{dt}$$

$$V_B = -\alpha \frac{dV_{out}}{dt}$$



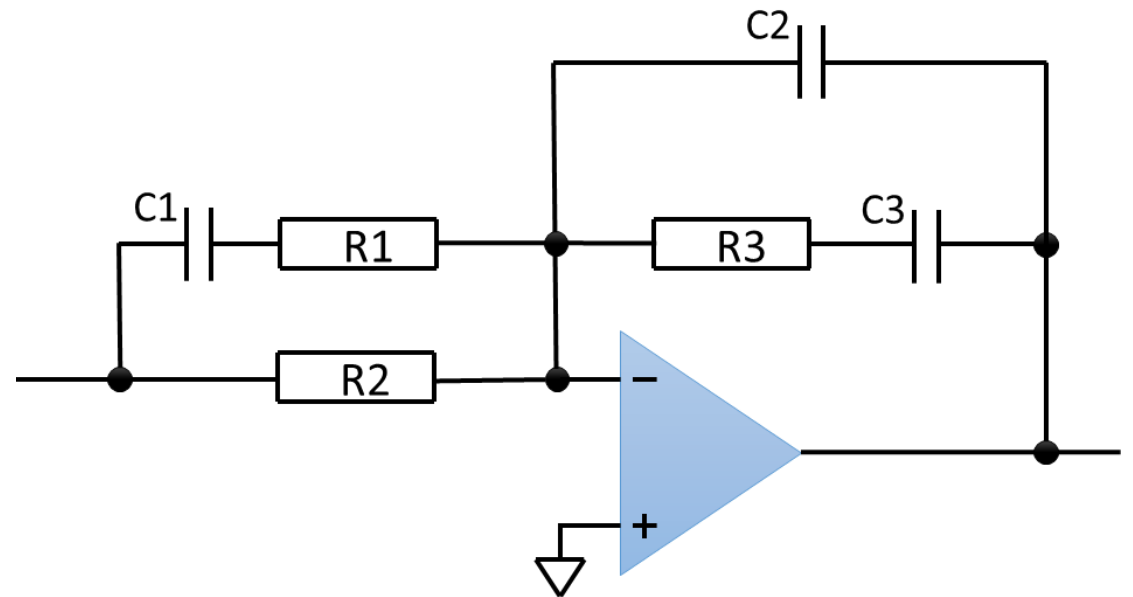
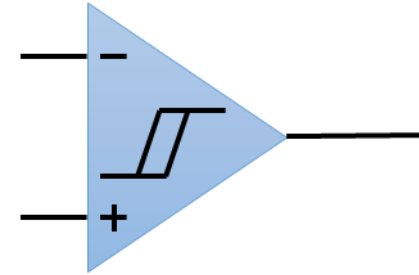
Analóg számítógép példa

$$\alpha\beta \frac{d^2V_{out}}{dt^2} + \alpha\gamma \frac{dV_{out}}{dt} + \lambda V_{out} = \delta V_{in}$$



Egyszerű példák

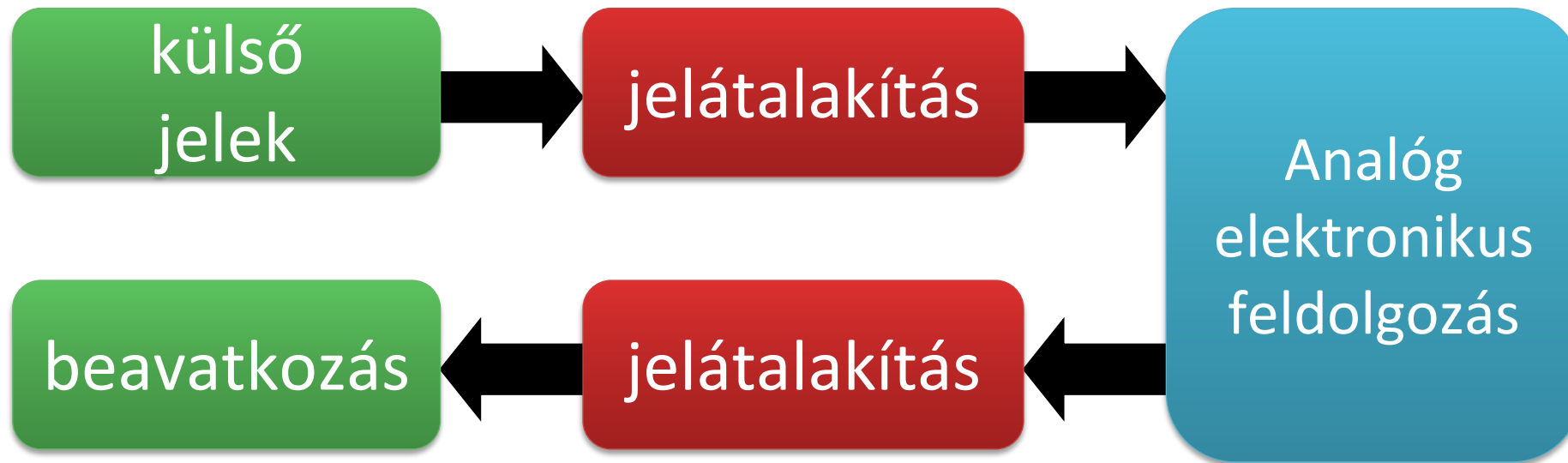
- On-off szabályzók
 - pl. termosztátok
- PID szabályzók
 - pl. TEC – thermoelectric cooling

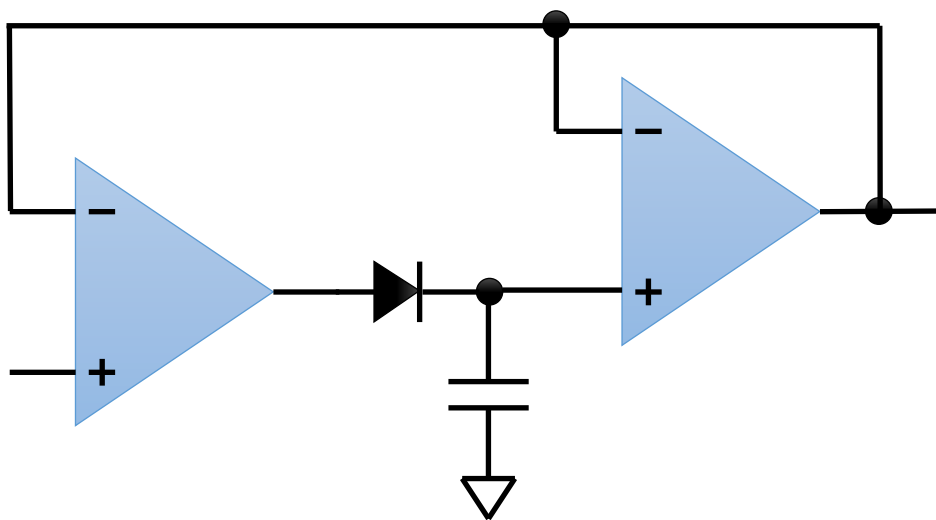
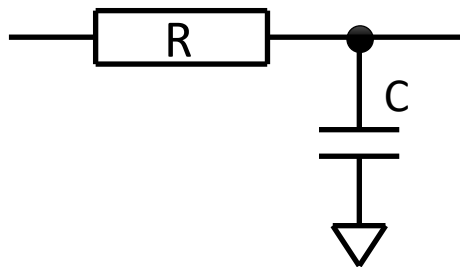


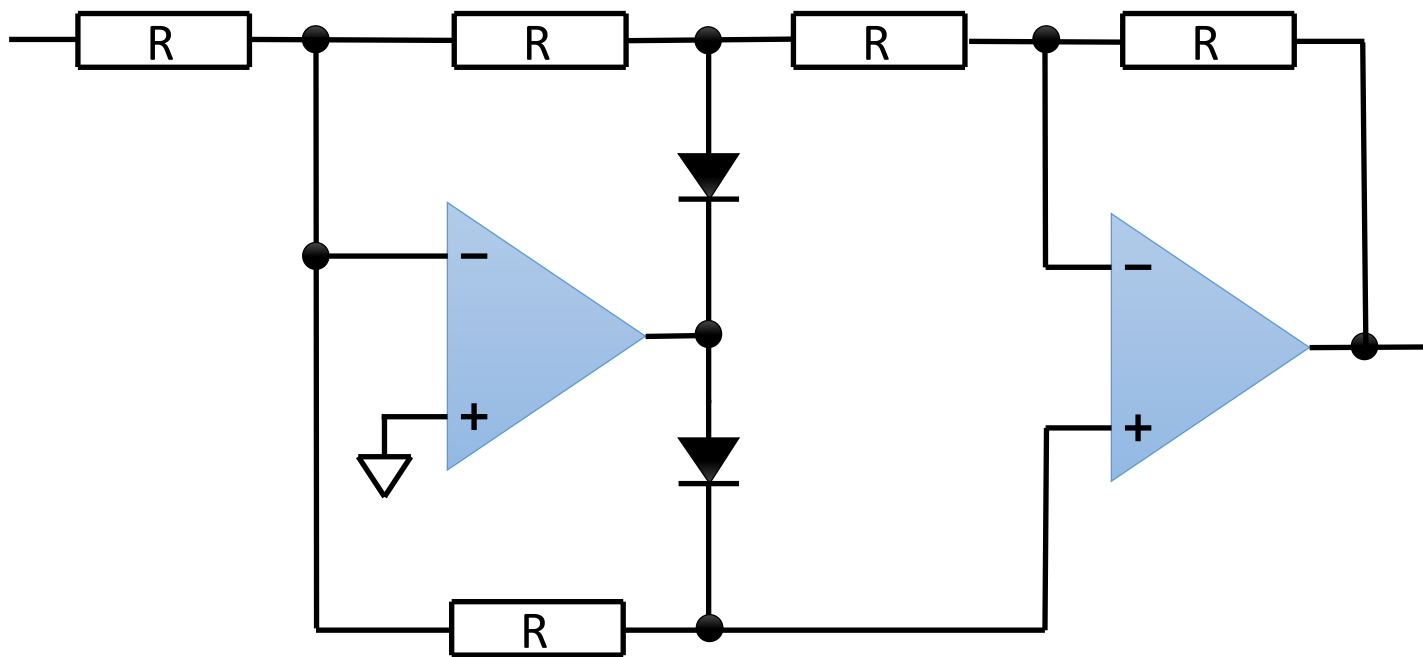
Egyszerű példák

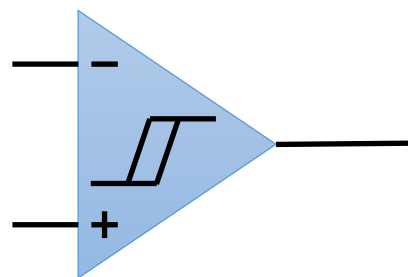
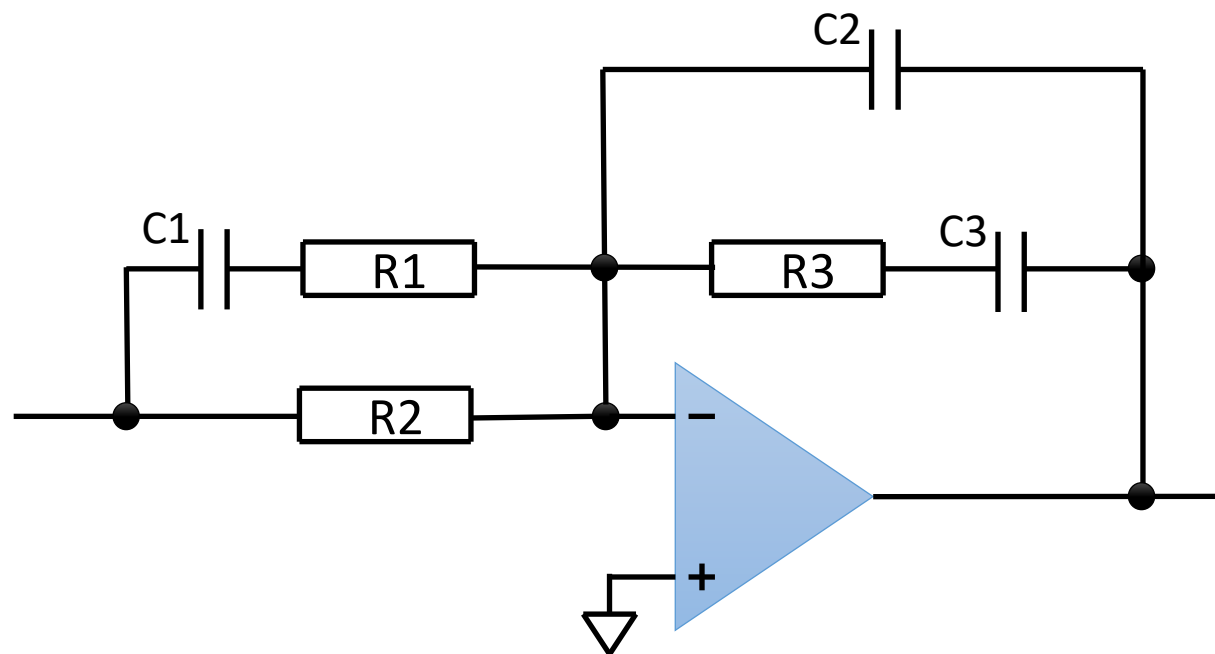
- Lépcsőházi világítás vezérlése
 - monostabil időzítők (555 timer)
- Analóg audió rendszerek
 - AGC: RMS mérés + VCA
 - Fekete lemez lejátszó
 - Magnetofon

Összefoglalás









Beágyazott technológiák

Alkatrészek – digitális technológia

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020

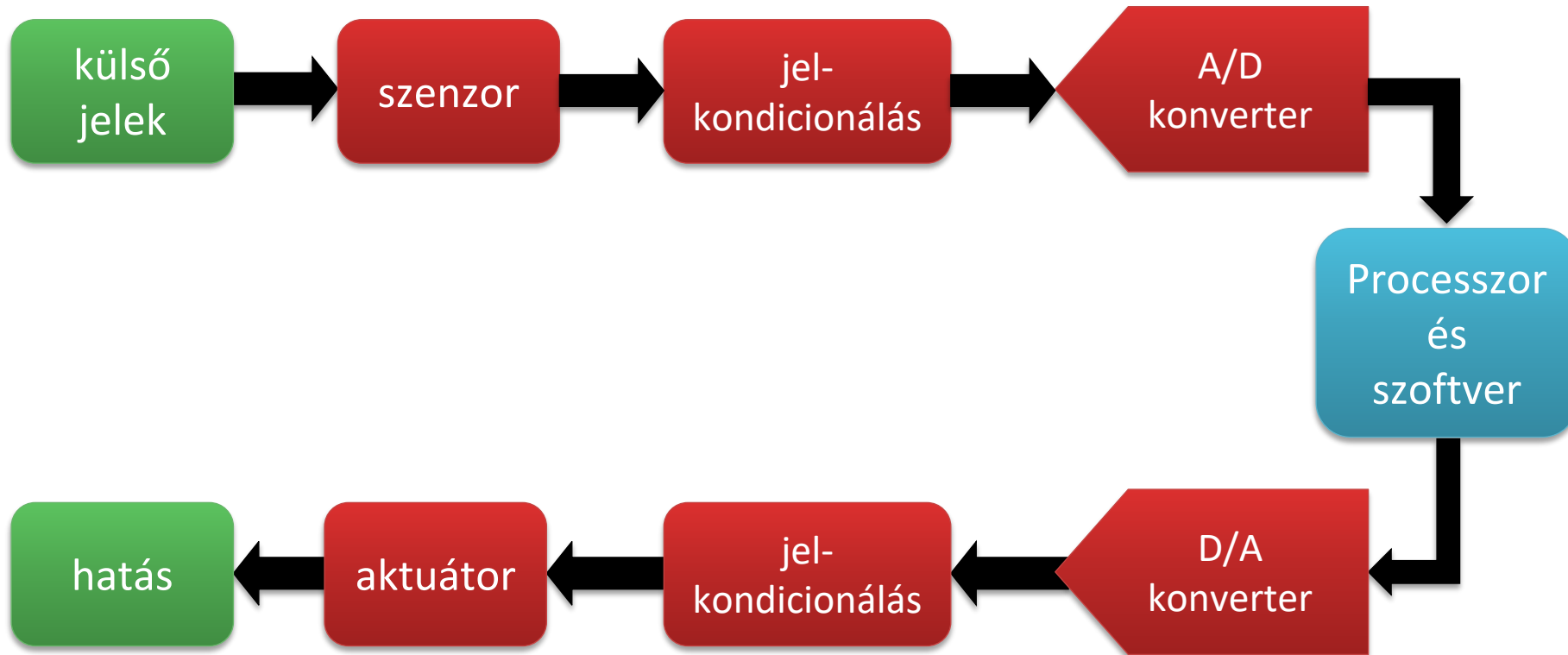

MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Modern eszköz, gép felépítése



Logikai áramkörök

- Fix funkciójú integrált áramkörök (kombinációs, sorrendi)
- Programozható funkciójú áramkörök, PLD-k
 - PLA – programmable logic array
 - GAL – generic array logic
 - CPLD – complex PLD
 - FPGA – field programmable gate array

Számítógépek

- Mikroprocesszor
- Boot/ROM memória (UV-EPROM, EEPROM)
- RAM
- Háttértároló
- Kommunikációs áramkörök
- Input/Output (D-tárolók, 3 állapotú bufferek)
- Adatkonverterek
- Szenzorok, aktuátorok
- Sok komponens, nagy méret, sok vezeték

Korai elterjedtebb processzorok

- Intel
 - 4004, 4040, 8080, 8086/8088, 80286/386, ...
- Zilog
 - Z80
- Motorola
 - 6800, 68000
 - DSP56000

Az integráltság növelése

- Mikrovezérlők – legnagyobb integráltság
- Digitális jelprocesszorok
- FPGA-k

Beágyazott technológiák

Alkatrészek

Univerzális építőelem: mikrovezérlő

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Mikrovezérlők – egycsipes számítógépek

- CPU
- RAM
- ROM – flash
- SFR – memory mapping
- Port I/O – GPIO
- Kommunikációs áramkörök
- DMA
- Oszcillátor
- Timer/counter
- Tápáramkörök
- Működést felügyelő áramkörök
- Speciális műveletvégző áramkörök
- Debug port

Mikrovezérlők – népszerűbb változatok

- 8-bit

- Intel: 8051

- Silicon Laboratories:
C8051F, EFM8

- Motorola: 6811

- Microchip: PIC

- Atmel: Atmega

- 16-bit

- Texas Instruments:

- MSP430

- 32-bit

- ARM

- ARM Cortex-M

- Sok gyártó (ST, NXP, TI,...)

További lépés: analóg perifériák integrálása

- Komparátorok
- A/D konverterek
- D/A konverterek
- Feszültségreferenciák
- Analóg multiplexerek
- PGA
- Műveleti erősítő
- Hőmérsékletszenzor
- Érintésérzékelők

Beágyazott technológiák

Alkatrészek – mikrovezérlő példák 8-bites architektúra – C8051F410

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Mikrovezérlő felépítési példák – C8051F410

- 8-bites mikrovezérlő
- C8051F410
 - 8051
 - Silicon Laboratories

Beágyazott technológiák

Alkatrészek – mikrovezérlő példák 32-bites architektúra – STM32L452

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020 


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Mikrovezérlő felépítési példák – STM32L452

- 32-bites mikrovezérlő
- STM32L452RE
 - ARM Cortex M4
 - ST

Beágyazott technológiák

Beágyazott rendszerek felépítése Példák

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Felépítési példák – nagyon széles választék

- Akár egyetlen pár mm-es csip egy-két gombbal, LED-del, elemmel
 - távirányító, okosóra, ...
- Lehet akár olyan, mint egy PC, monitor, billentyűzet, érintőképernyő
 - ATM, jegyautomata, ipari PC, ...

Példák

- HDD, CD-ROM, Router
- Háztartási gépek
- Orvosi műszerek, eszközök
- Okosóra, aktigráf
- Fénymásoló
- Oszilloszkóp
- Navigációs eszköz
- Autó ECU
- Önvezető autók
- Repülés, űrkutatás
- Robotok

Példák belső felépítésre

- Komponenseket gyártó cégek honlapjai
- Alkatrészek alkalmazási útmutatói
- Általános ismertető oldalak
- Szakmai videó ismertető (teardown)

Beágyazott technológiák

Beágyazott rendszerek felépítése Példák a Texas Instruments honlapján

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Példák modern beágyazott rendszerek felépítésére

- Texas Instruments [alkalmazási oldalai](#)
- [Smartphone](#)
- [Stethoscope](#)
- [Fitness & activity monitor](#)
- [Car window module](#)
- [Portable POS](#)

Beágyazott technológiák

Beágyazott rendszerek felépítése Példák az Analog Devices honlapján

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Példák modern beágyazott rendszerek felépítésére

- Analog Devices alkalmazási oldalak
- Pulse oximetry
- Industrial motion control
- Field Instruments
- Digital Storage Oscilloscope
- LCR and Impedance Measurement

Beágyazott technológiák

Beágyazott rendszerek felépítése Példák hallgatóink munkáiból

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

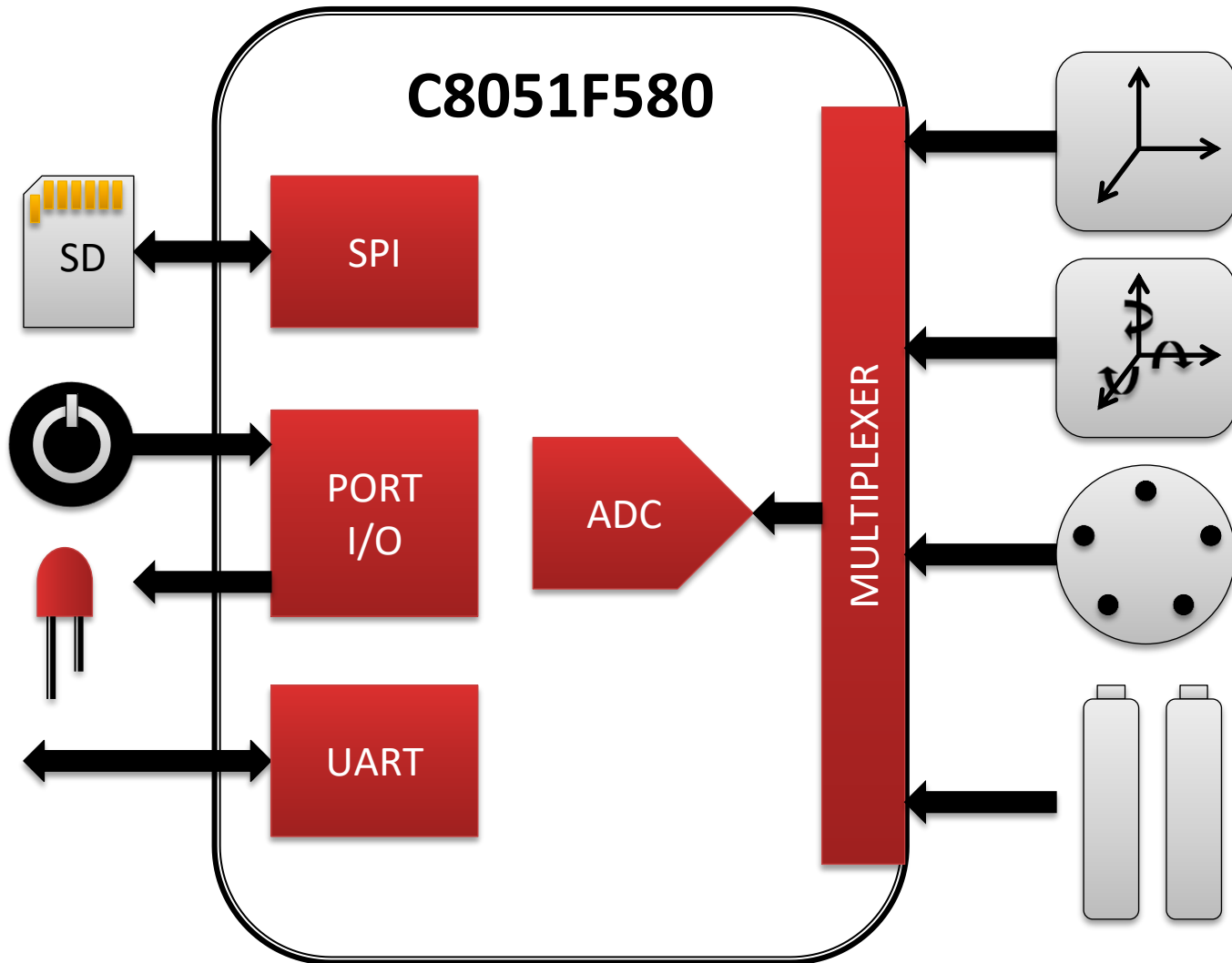


Európai Unió
Európai Szociális
Alap



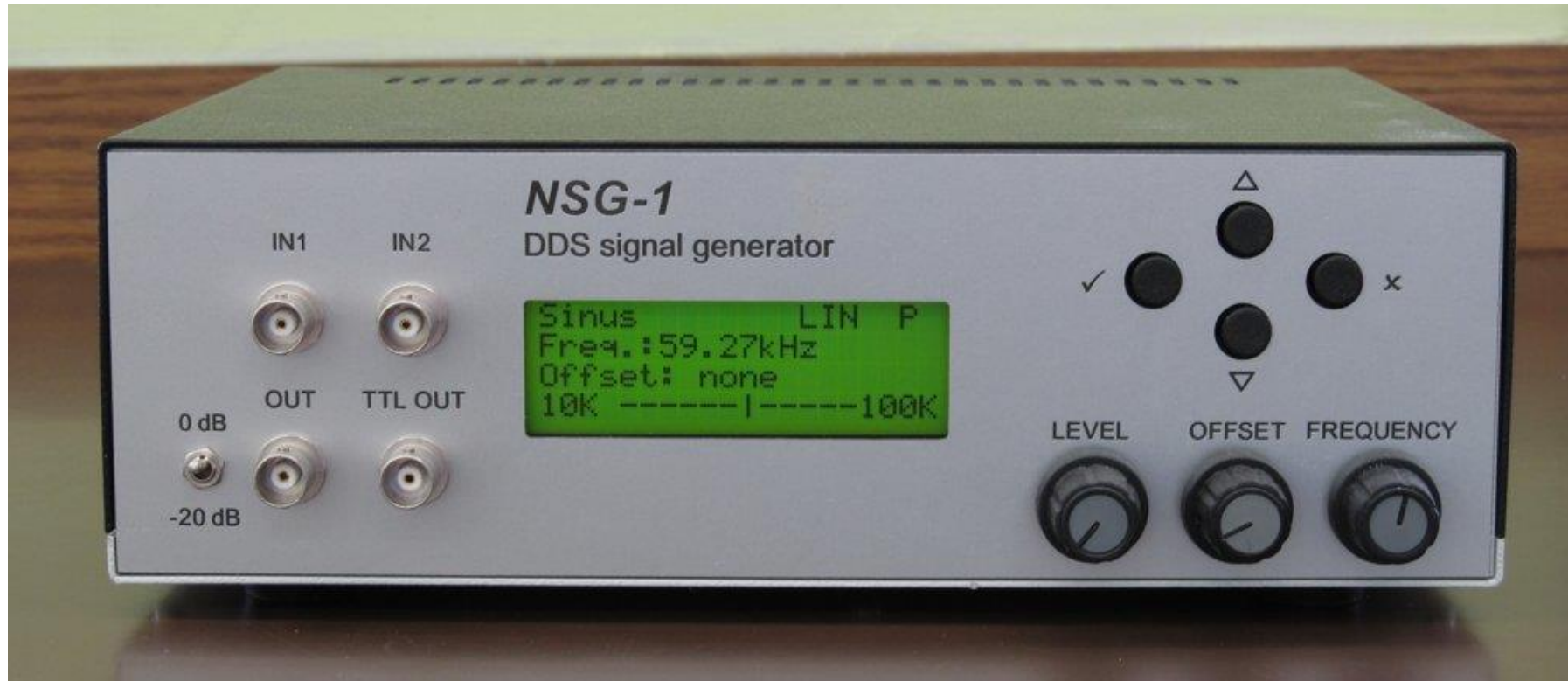
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Kajak mozgásrögzítő műszer

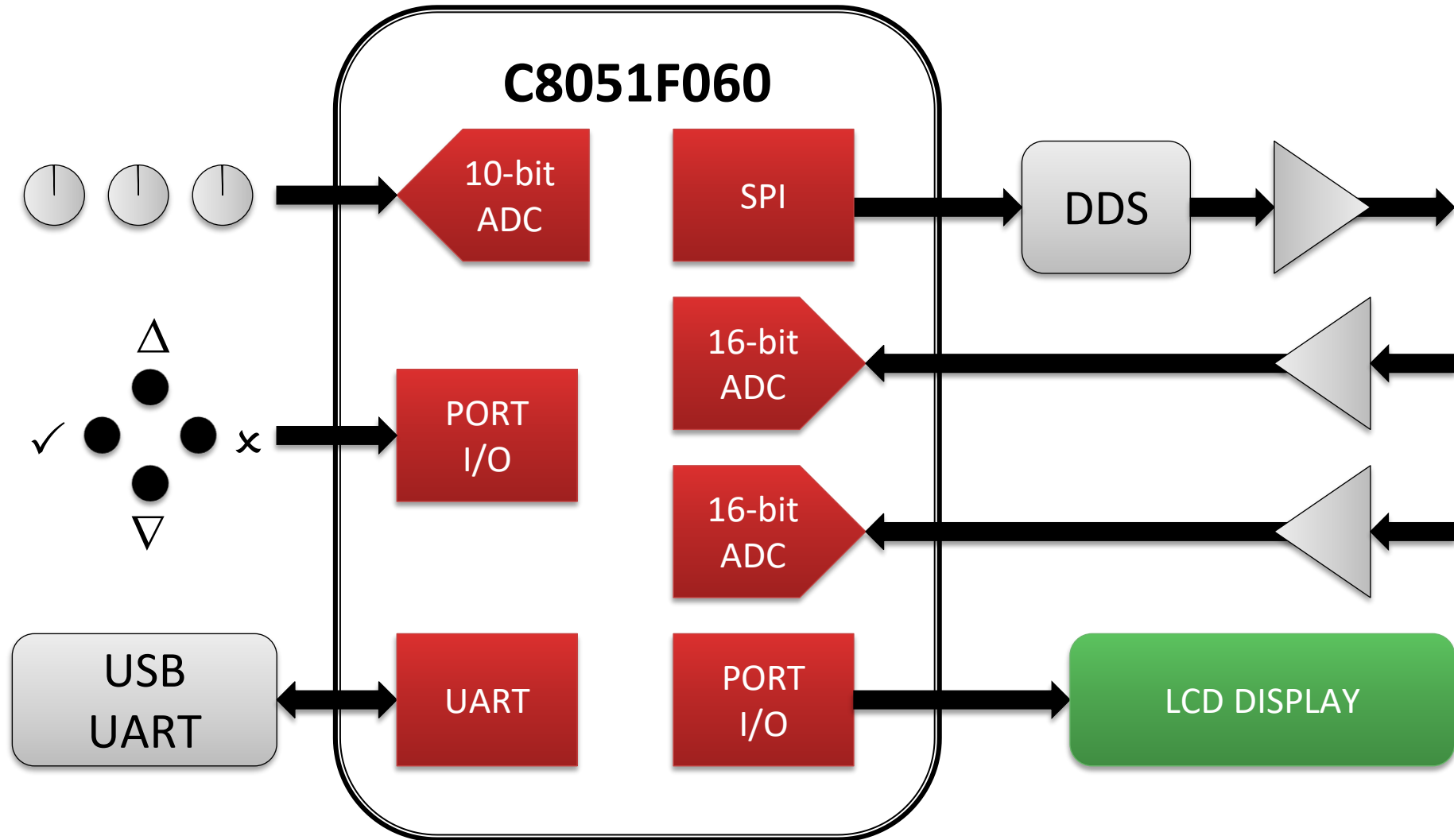


DDS jelgenerátor, vektor voltmérő

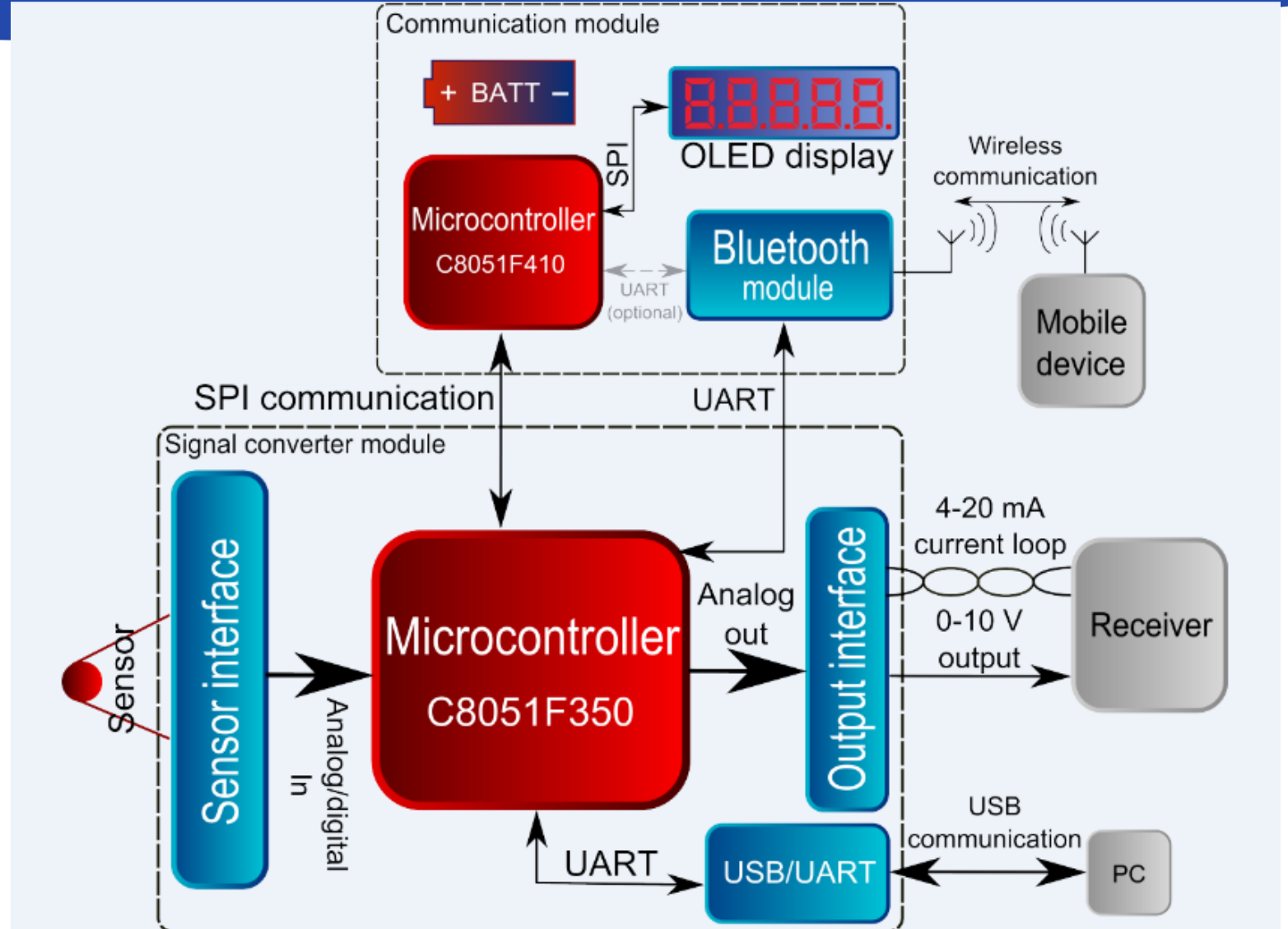
- DC-1MHz jeltartomány
- LCD kijelző
- Amplitúdó, fázis mérése
- Frekvenciafelbontás 24-bit



DDS jelgenerátor, vektor voltmérő

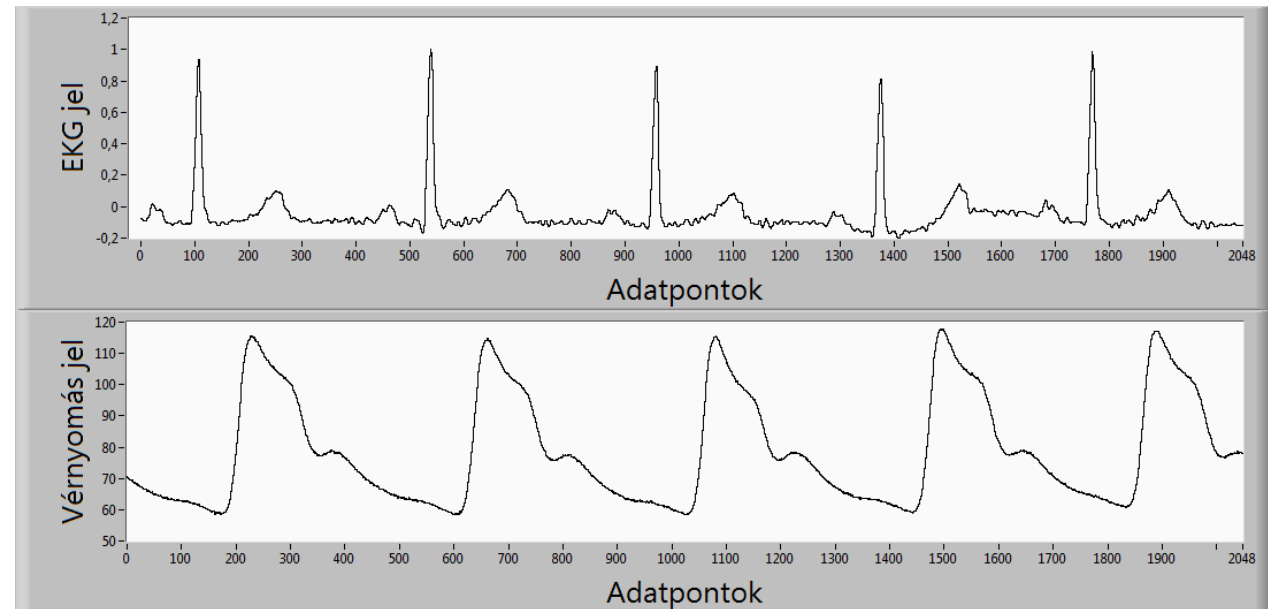


Ipari szenzorinterfész – Ipar 4.0

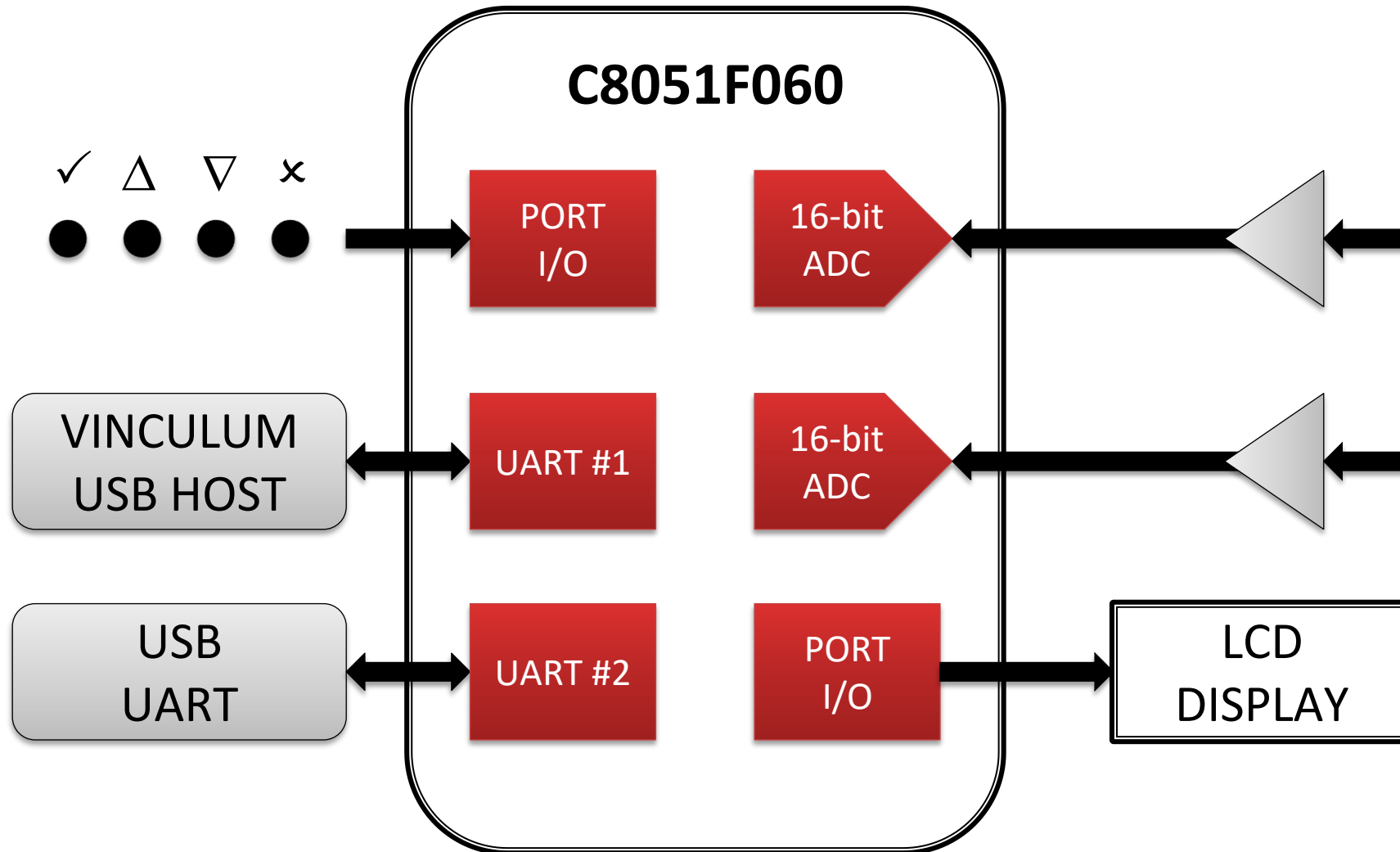


EKG adatgyűjtő műszer

- EKG és vérnyomás-jelek
- Önálló műszer
- LCD kijelző, gombok
- USB adattárolás



EKG adatgyűjtő műszer



Köszönet a hallgatóknak

- Kocsis Péter: kajak, jelgenerátor
- Bácskai Zoltán: jelgenerátor
- Boros Péter: szenzorinterfész
- Barna Angéla: EKG adatgyűjtő

Beágyazott technológiák

Biztonságos működés, hibakezelés

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott rendszerek biztos működése

- Többségében autonóm működés
- Minimális felhasználói beavatkozás
- Megakadás, hibás működés nem megengedhető
 - Autók „visszahívása”, pl. légzsák problémák
 - [Ariane 5 katasztrófa](#)

Beágyazott rendszerek biztos működése

- A megbízhatóság alapvető
- Stabilitás, robusztusság, egyszerűség
- Fejlesztési elvek, szabványok
 - Hardverfejlesztési módszerek
 - Szoftverfejlesztési módszerek
 - Hibák minimális esélye
 - Minden számításba vehető hiba kezelése

Váratlan hibák

- Pl. külső zavarok, szoftverhiba, hardverhiba
- Nincs kezelés implementálva
- Önjavítás – felhasználói beavatkozás nélkül
- **Gyors** helyreállítás – idő?

Váratlan hibák

- Váratlan hiba esetén
 - Megállás?
 - Folytatás a többi funkcióval?
 - Újraindulás/reset?
- **Bekapcsolás után jól ismert, biztonságos állapot**
 - Ha újraindulás, annak oka lekérdezhető
 - Előző állapot megtartása/felismerése

Példák – milyen hibakezelés várható el?

- Háztartás
 - kenyérsütő
 - mosógép
 - kazán
- Járműelektronika
 - motorvezérlés
 - fékek
 - légzsák
 - autonóm járművek
- Ipar
 - gyártósorok
 - szerelőrobotok
- Egészségügy
 - diagnosztikai eszközök
 - betegőrző monitorok
- Vásárlás, kereskedelem
 - ATM-ek
 - bankkártyás fizetés

Beágyazott technológiák

RESET források

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Reset források

- Bekapcsolás, újraindulás
- Váratlan események kezelése
 - Nincs szoftveres megoldás (pl. kivételkezelés)
- Példák
 - 8-bites mikrovezérlő
 - 32-bites mikrovezérlő

Reset

- Az újraindulás forrása lekérdezhető
 - C8051F410, STM32L452RE
- Az SFR-ek többsége definiált
- A RAM nem definiált
- A GPIO tipikusan input (open drain)
 - Ez komoly megfontolást igényel
- A reset időtartama ms alatti nagyságrendű

Beágyazott technológiák

Power on reset

Brown out reset

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Bekapcsolás – power on reset (POR)

- Reset áramkör
- Komparátor figyeli a tápfeszültséget
- Resetben tart a biztonságos tápszint elérése után még egy ideig
- Példa
 - 8-bit – C8051F410
 - 32-bit ARM – STM32L452RE

Tápfeszültség monitor – power supply monitor

- Brown-out detector
- Komparátor figyeli a tápfeszültséget
- Reset generálása szükség esetén
- Példa
 - 8-bit – C8051F410
 - 32-bit ARM – STM32L452RE

Beágyazott technológiák

Missing clock reset

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Missing clock detector

- Külső órajel vagy külső komponensek
 - Fokozottabb hibalehetőségek
- Külső órajel frekvenciájának mérése
- Túl alacsony frekvencia esetén reset
 - Elv: timeout (monostabil, wdt, kommunikáció)
- Példa
 - 8-bit – C8051F410

Beágyazott technológiák

Flash error reset

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Flash error reset

- A flash memória írása kritikus
- Hibák detektálása esetén reset
- Pl.
 - Illegális cím
 - nem megengedett írási művelet
- Példa
 - 8-bit – C8051F410
 - 32-bit ARM – STM32L452RE (firewall)

Watchdog timer

- Szoftveres hibák kezelése
- Reset:
 - ha túl hosszú ideig nem kap jelet az áramkör
 - ha egy időablakon belül nem kap jelet az áramkör
- Tipikus megoldás: számláló
- Külső áramkör is lehet
- Linux: [/dev/watchdog](#)

Watchdog timer

C8051F410

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE



Beágyazott technológiák

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020

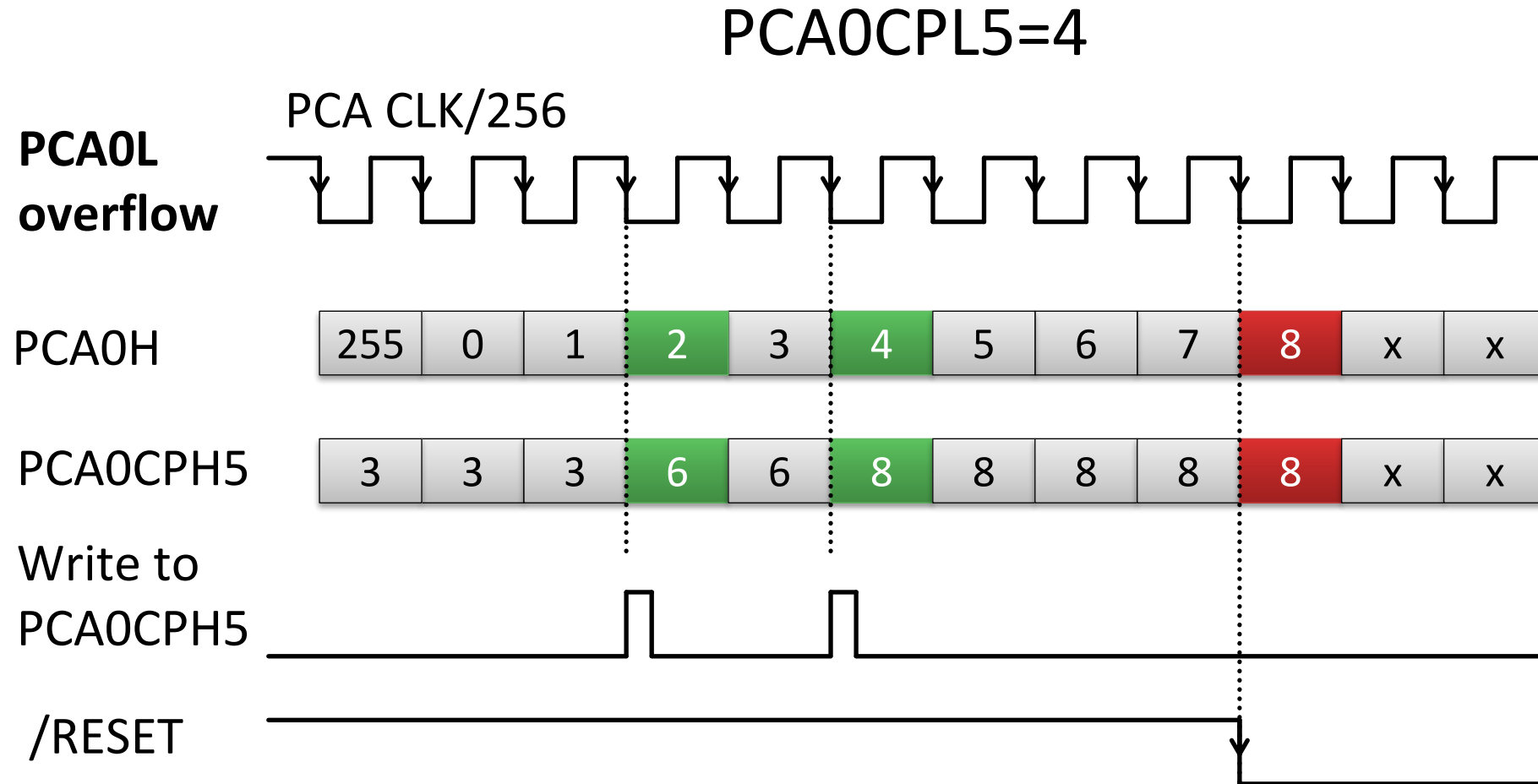


Európai Unió
Európai Szociális
Alap

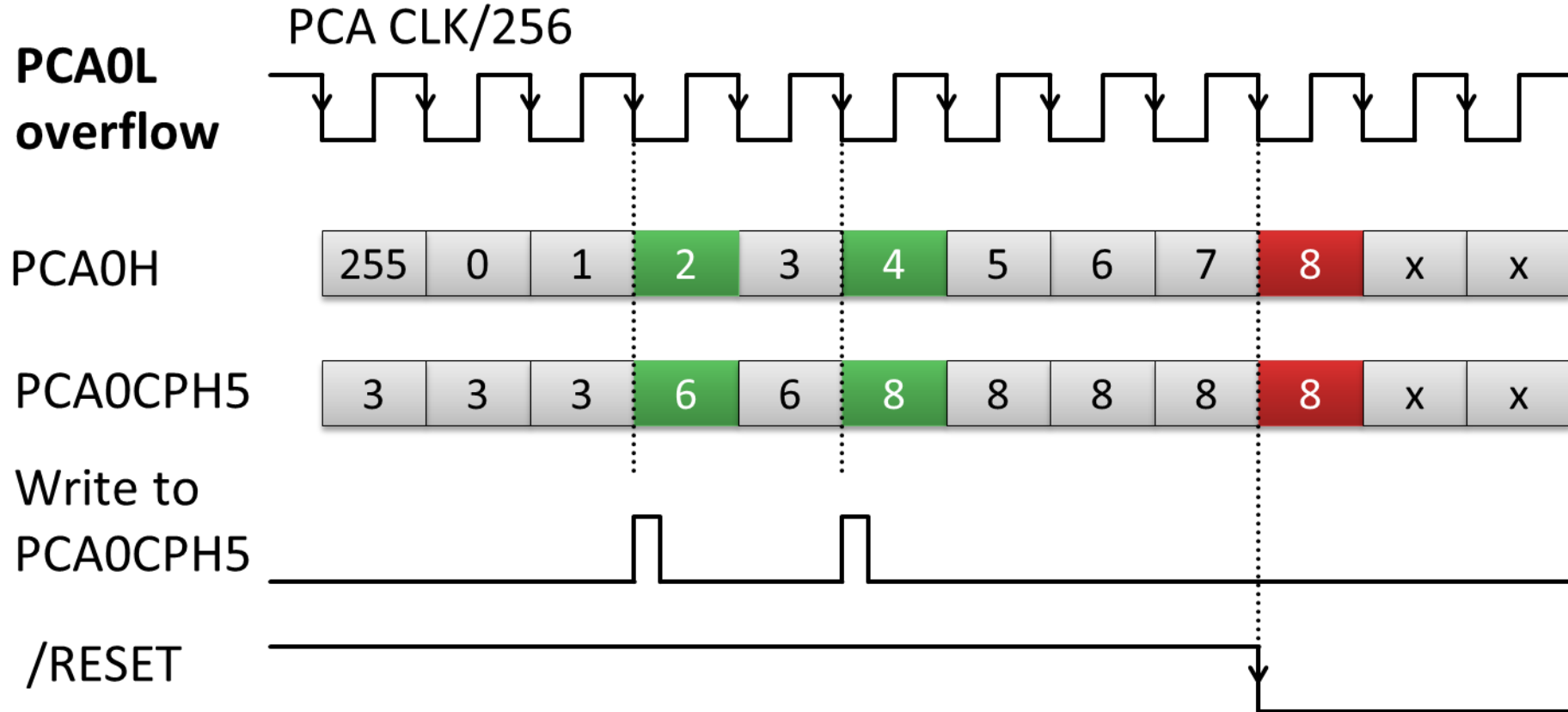


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

C8051F410 watchdog timer idődiagram példa



PCA0CPL5=4



Beágyazott technológiák

GPIO – general purpose input/output

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Általános célú input/output – GPIO

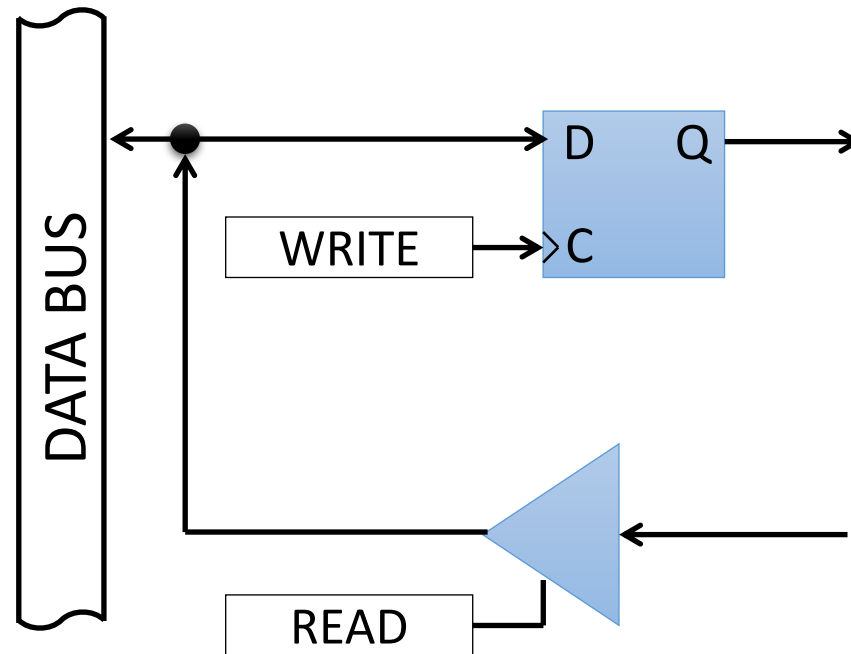
- **Cél:**
 - **Logikai jelek a külső áramkörök, eszközök számára**
 - **Külső logikai jelek értékének beolvasása**
- A processzorok adatbuszán csak rövid ideig érvényes az adat
 - Számos periféria azonos buszt használ
 - Kétirányú busz
 - A busz szélessége adott, korlátozott

GPIO ► feladatok

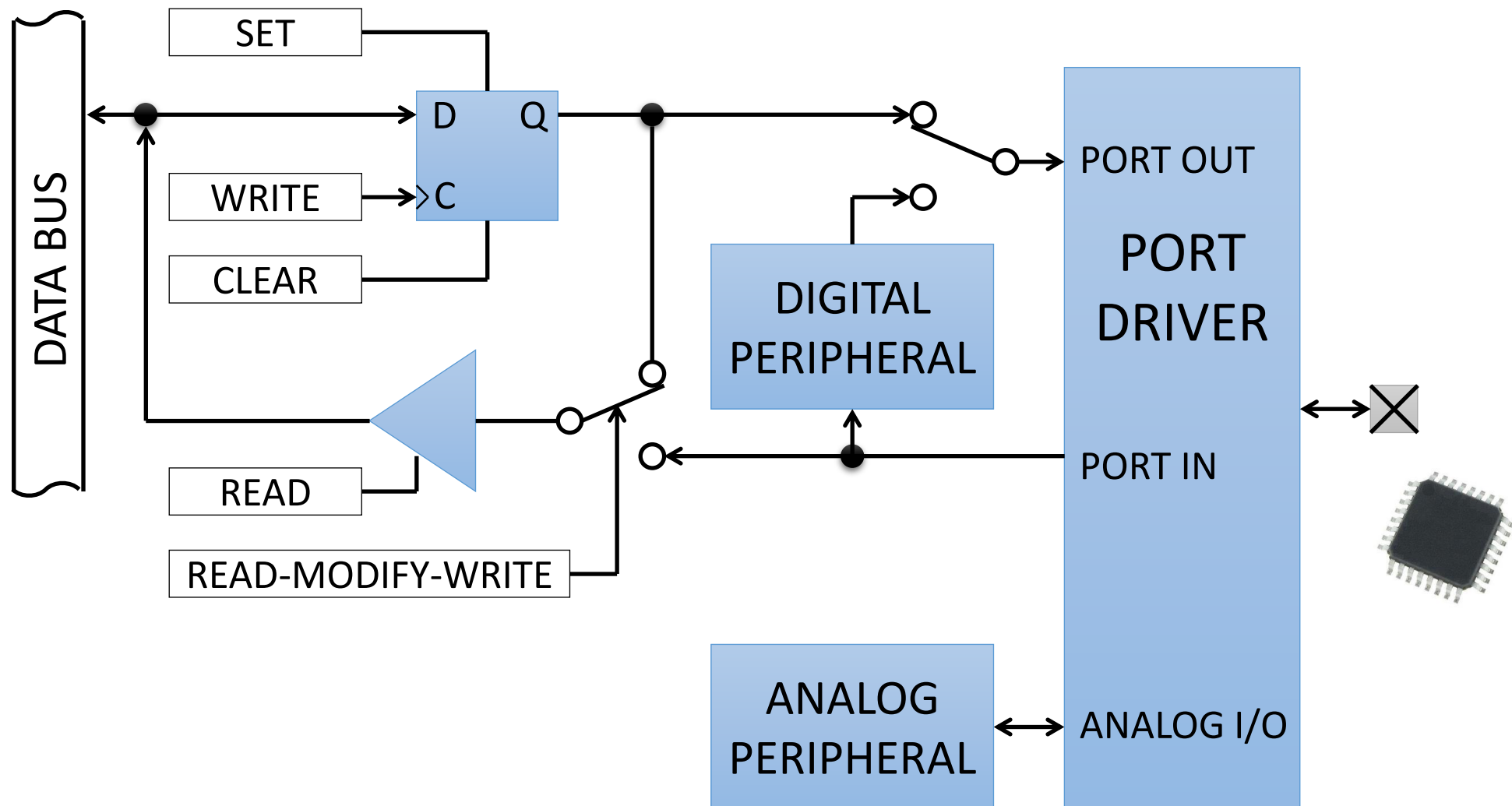
- **Logikai jellel vezérelhető eszközökhöz:**
 - Áramkörök logikai bemeneteinek meghajtása
 - LED-ek vezérlése
 - Külső meghajtó-fokozattal:
 - relé (jelfogó), mágnesszelep, motorok, stb.
- **Logikai jeleket adó eszközökhöz:**
 - Kapcsoló, nyomógomb, billentyűzet
 - Áramkörök logikai kimeneteinek figyelése
 - Külső elektronikával:
 - fénykapuk, Hall-detektorok, stb.

GPIO ► felépítés

- **Kimenet:** D tároló (latch)
 - a beírt adat (Q) a következő írásig azonos marad
- **Bemenet:** 3 állapotú meghajtó
 - olvasáskor az adatbuszra tudja kötni a jelet



GPIO ▶ teljesebb kép



Beágyazott technológiák

GPIO – meghajtó áramkörök

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



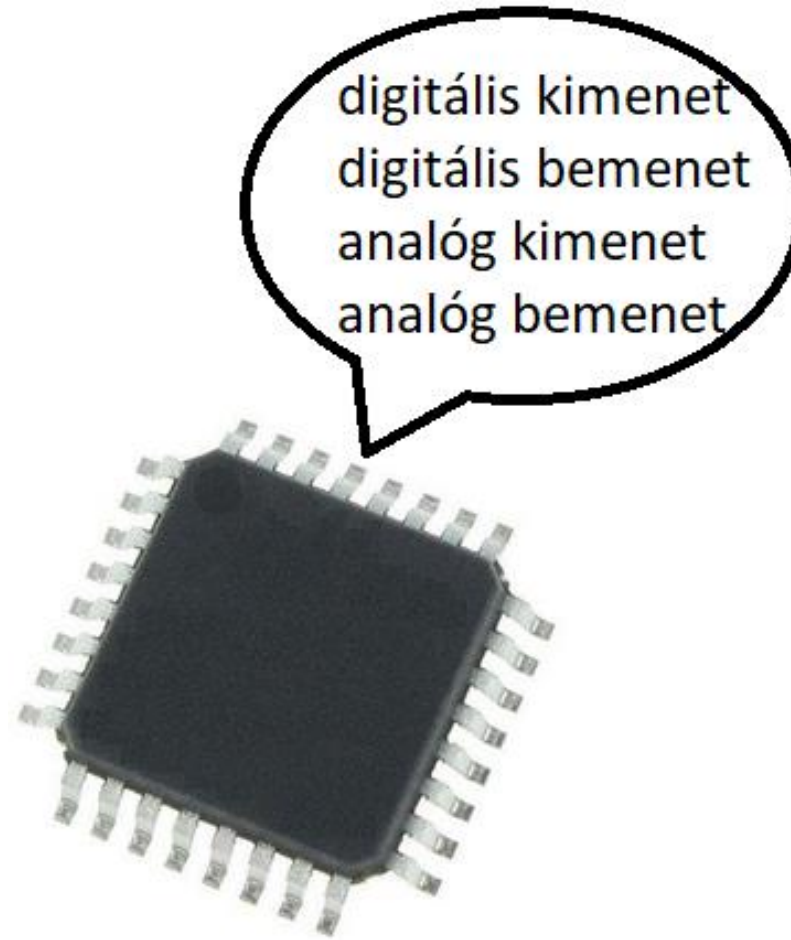
Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

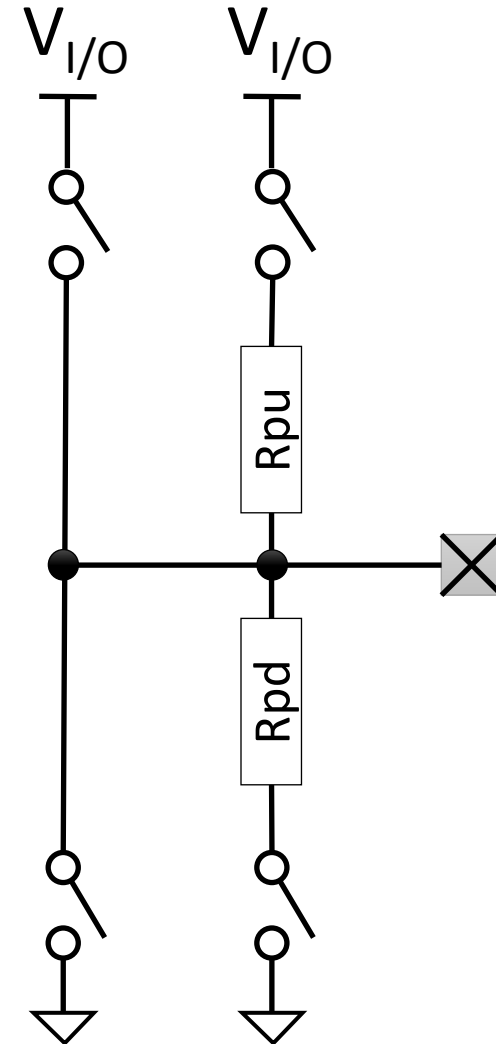
GPIO ▶ a meghajtó rész alapelve

- Sokféle mód egyetlen kivezetés esetén
- A digitális ki- és bemenetek többfélék is lehetnek

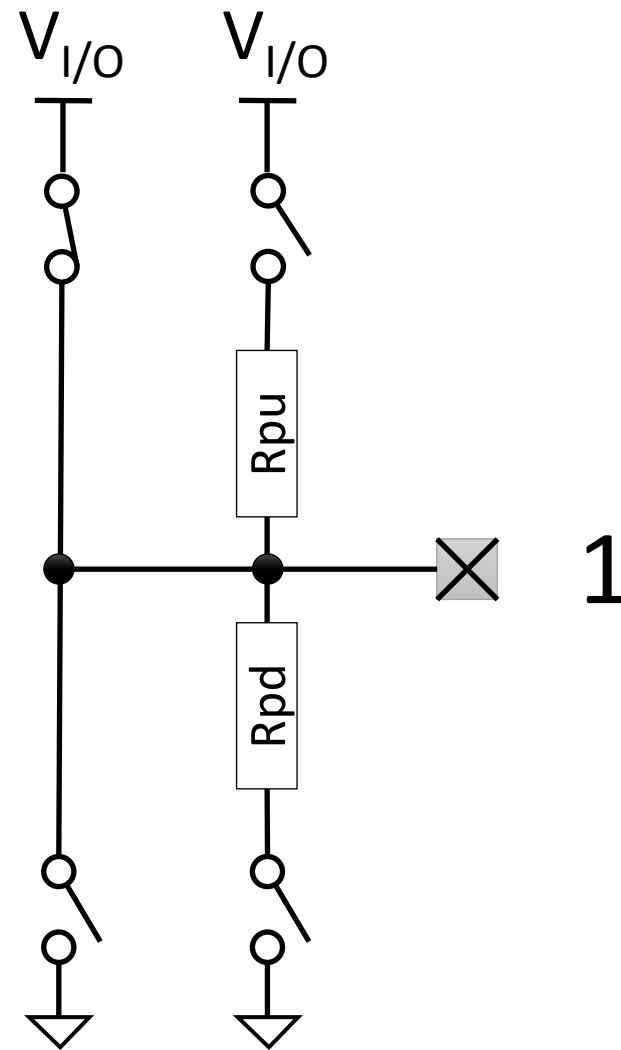
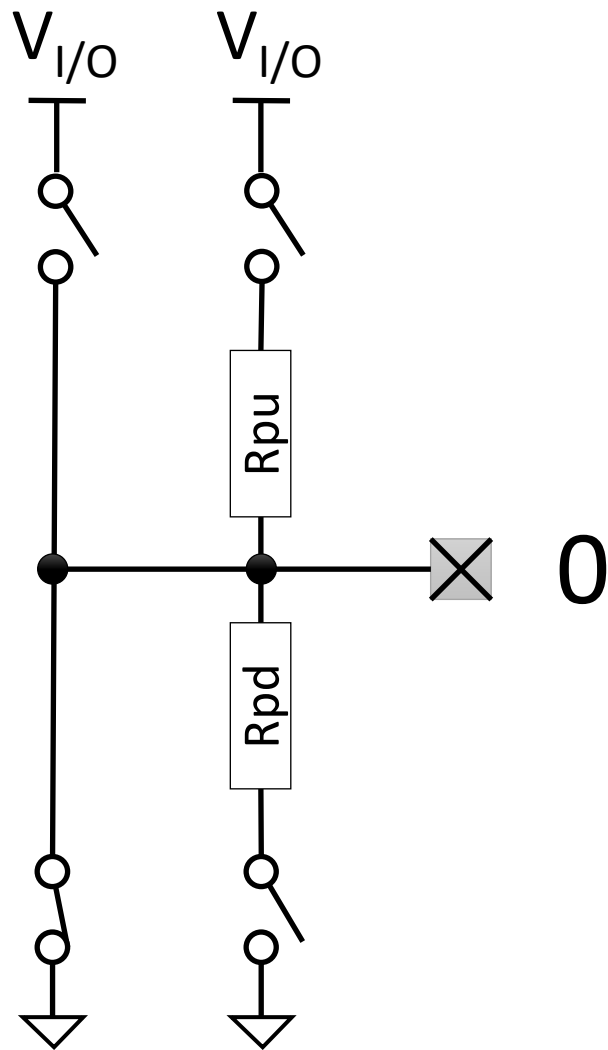


GPIO ▶ a meghajtó rész általános felépítése

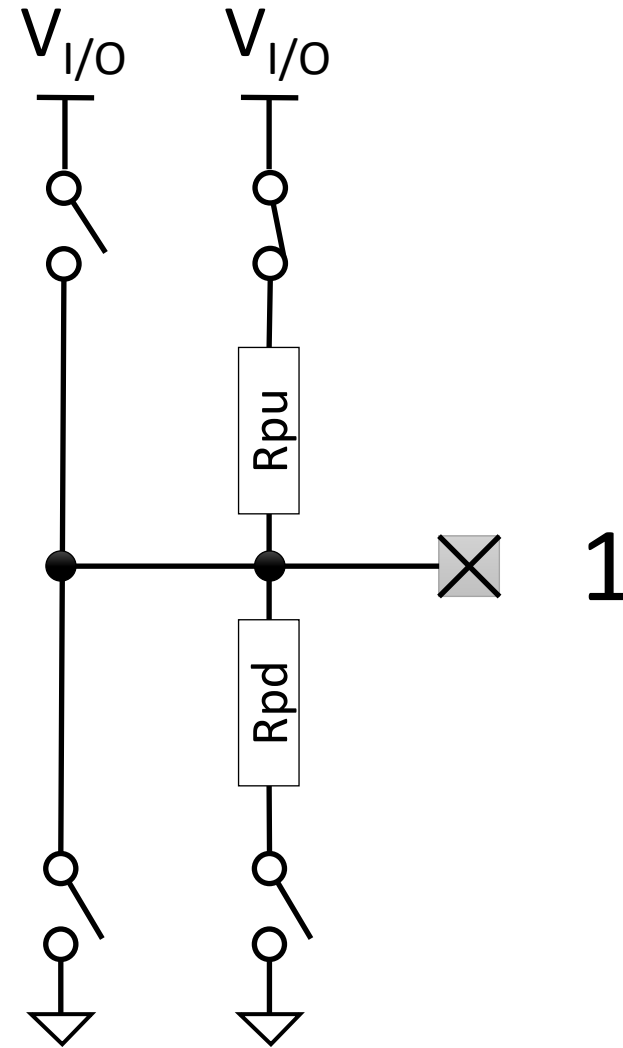
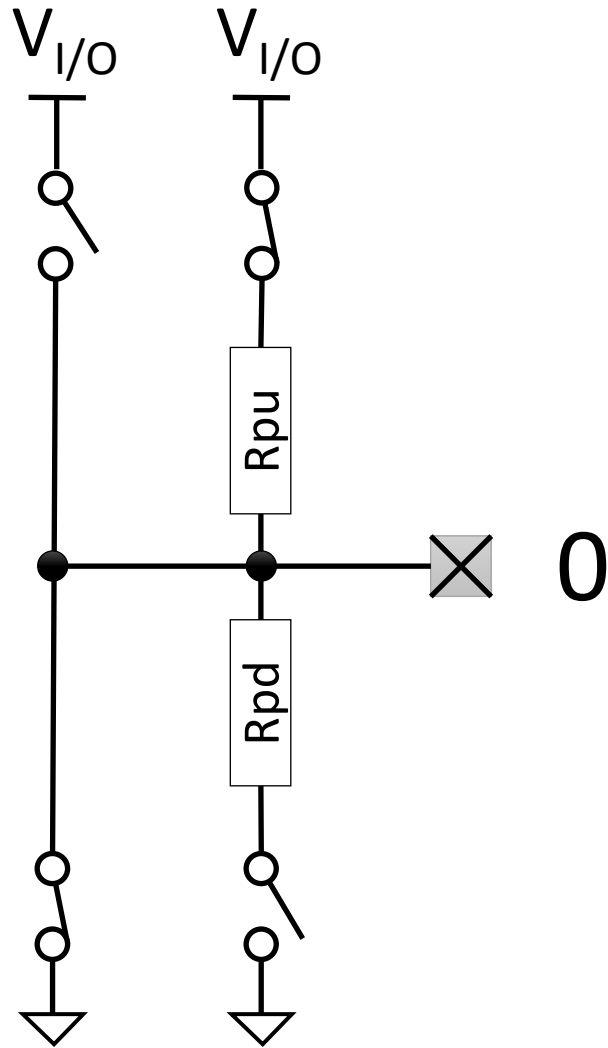
- A kapcsolók szabják meg
 - A kiválasztott módot
 - A logikai értéket
- A kapcsolók tranzisztorok
 - Digitális jelek vezérlik őket
- $V_{I/O}$: input/output tápfeszültség
 - Általában nagyobb a mikrovezérlő belső áramköreinek tápfeszültségénél (V_{dd})



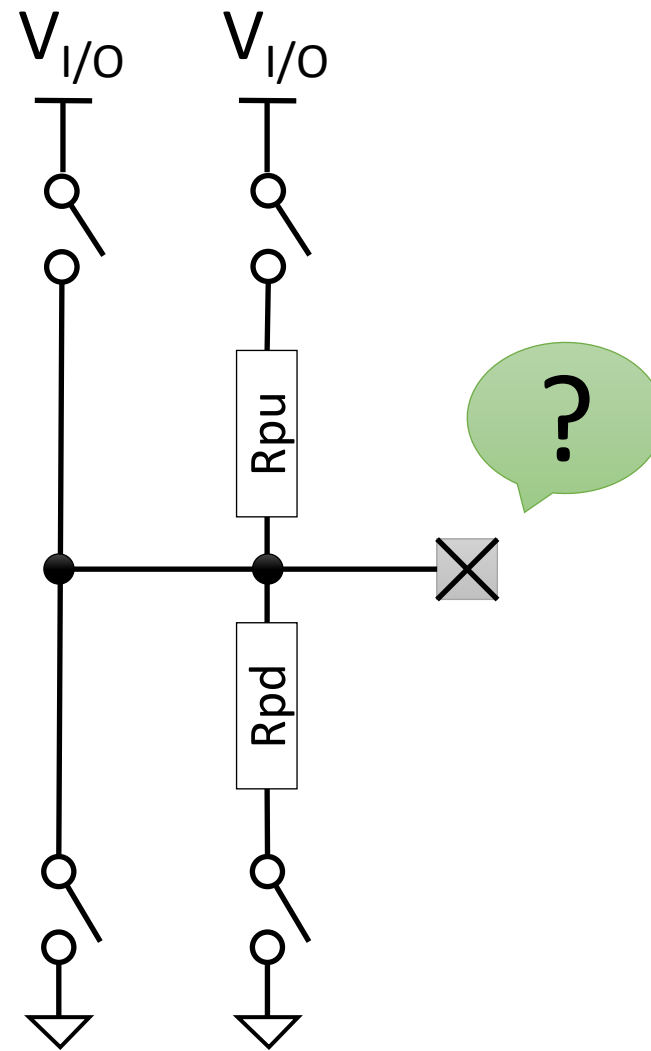
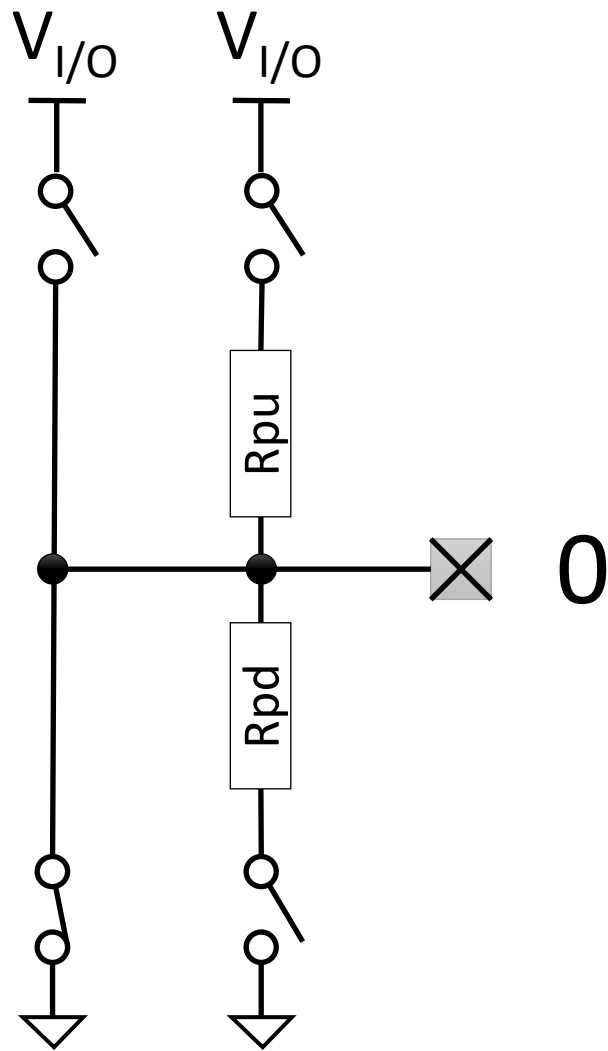
GPIO ► Digital output: push-pull



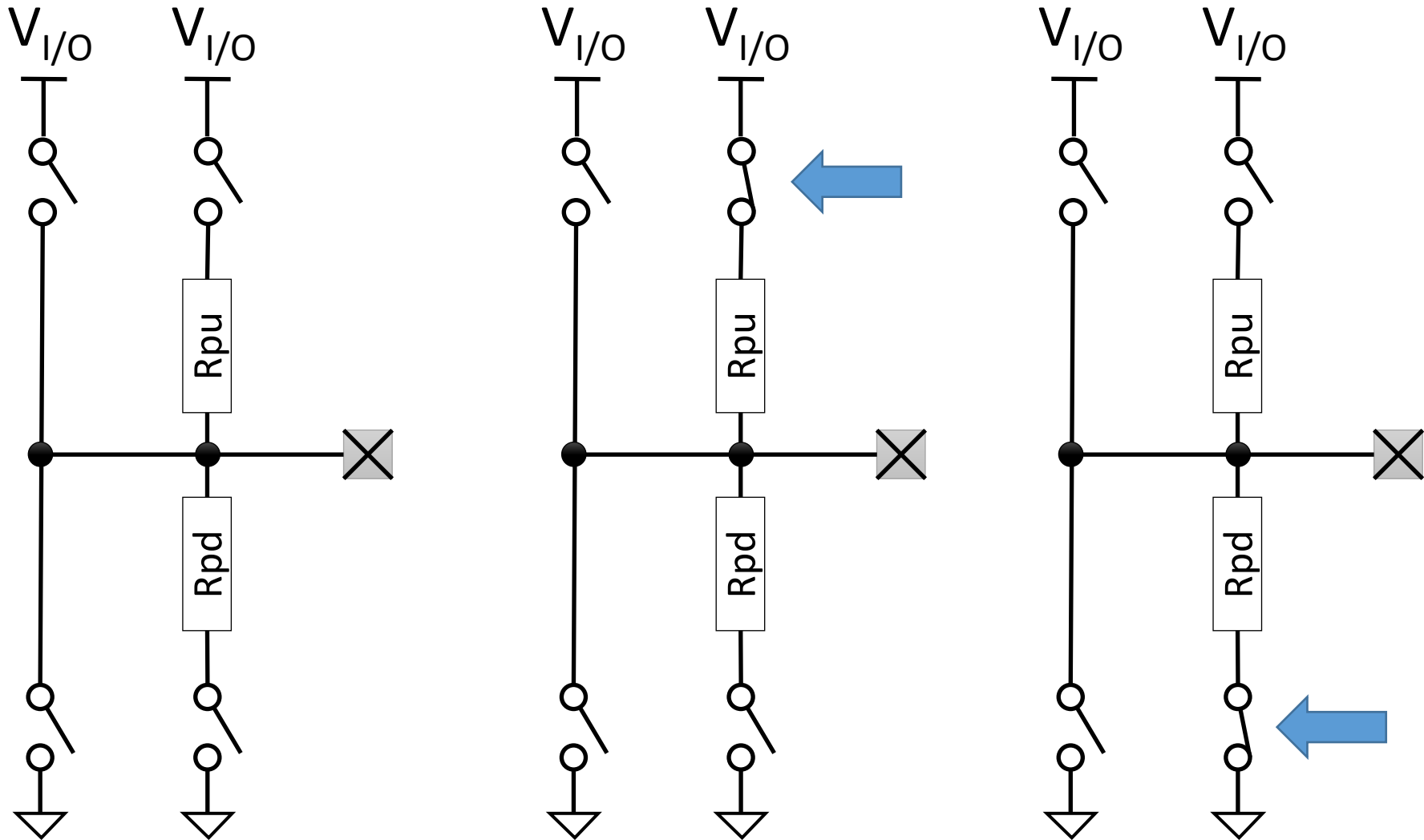
GPIO ► Digital output: open drain with pull-up



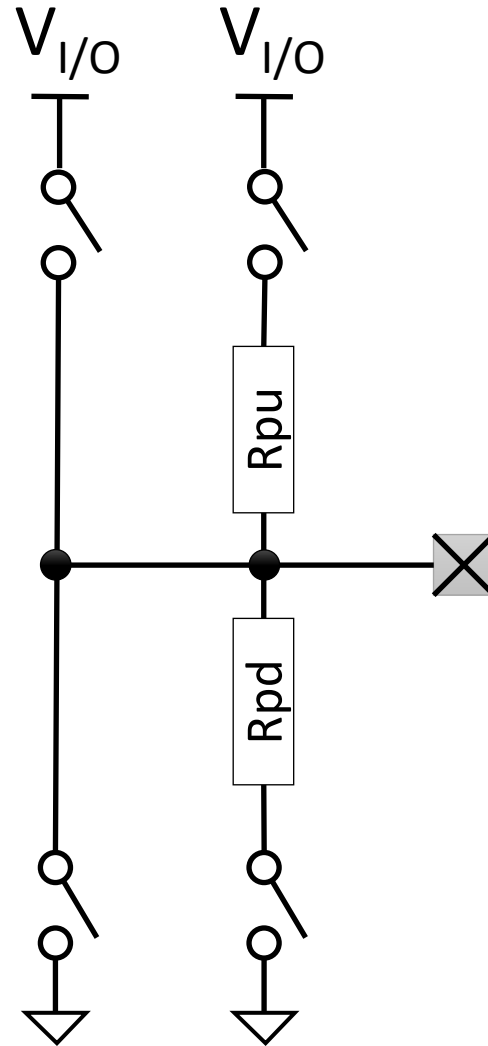
GPIO ► Digital output: open drain



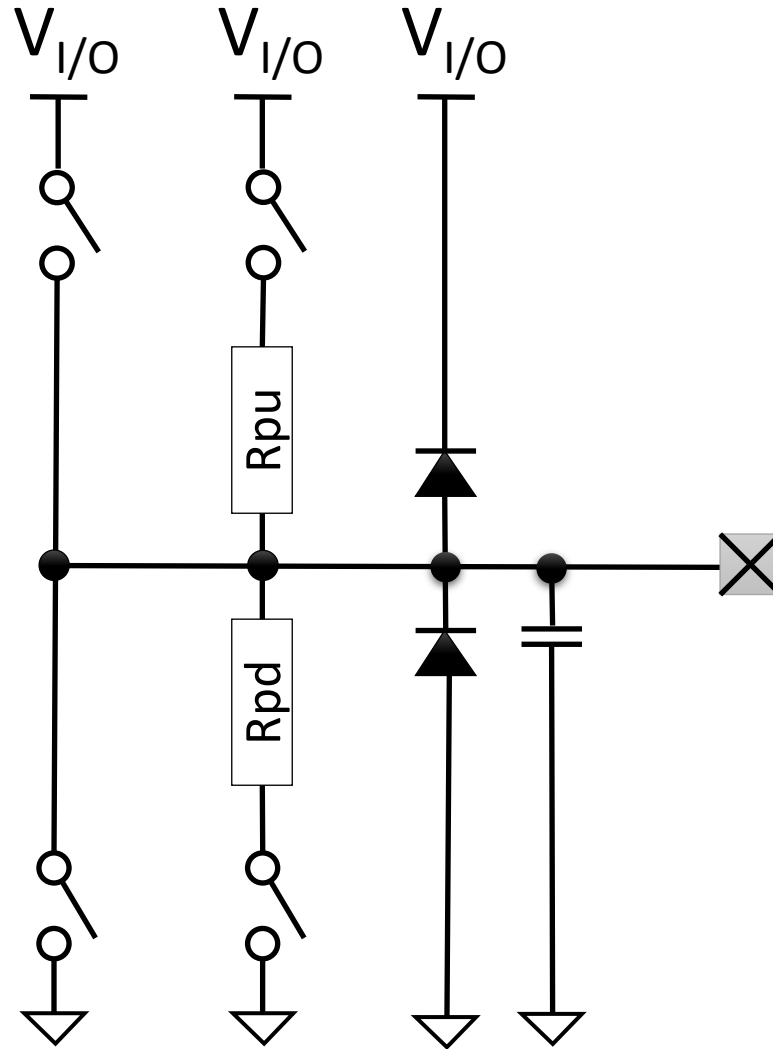
GPIO ► Digital input módok



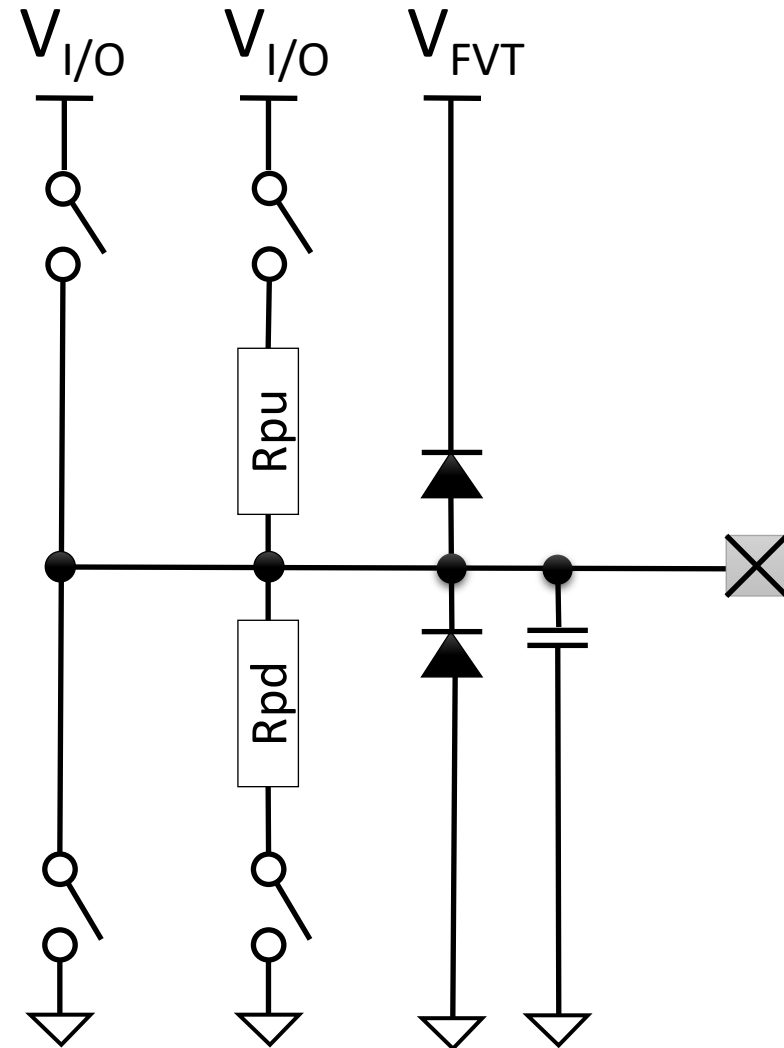
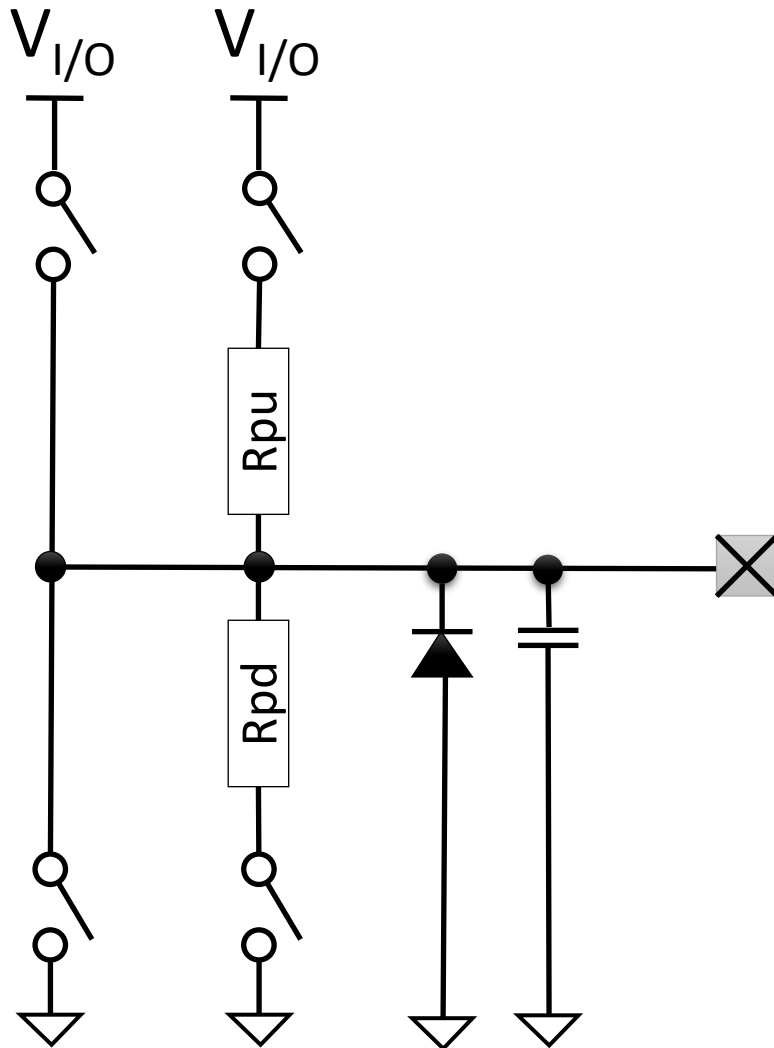
GPIO ► Analog input/output



GPIO ► ESD védelem, kivezetéskapacitás



GPIO ▶ 5V toleráns bemenetek



GPIO ▶ Reset utáni állapot

- Jól definiált állapot
 - Bementi mód, esetleg felhúzó ellenállással
 - A port tárolók értéke logikai magas
- A rendszer tervezésekor figyelembe kell venni
- A reset bizonyos ideig tart

GPIO ▶ Nem használt kivezetések

- Az áramkörök bemeneteit mindig stabil potenciálra kell kötni
- Lehetőségek:
 - Bemenet felhúzó/lehúzóellenállással
 - Földelés?
 - Kimenet 0 vagy 1 értékűre
 - Csak ha biztosan nincs külső áramkör rákötve

Beágyazott technológiák

GPIO – adatlapi értékek

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

GPIO ▶ Az adatlapi feltételek betartása

- Ha megsértjük az **ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** feltételeket
 - az áramkör károsodhat (rejtetten, részben, teljesen)
 - megbízhatatlanná válhat
- Ha megsértjük az **ELECTRICAL CHARACTERISTICS** feltételeket
 - az áramkör helyes működése nem garantált

GPIO ▶ Az adatlapi feltételek betartása

- Mindkettőt szükséges ismerni, betartani
- Még akkor is, ha egyébként úgy tűnik, hogy jól működik, nem látszik gond
- Overclocking, overdriving, overloading – sosem

GPIO ▶ A hardver védelme

- Hibás szoftveres konfigurálás előfordulhat
- Különösen változó hardverkörnyezet esetén
 - Pl. fejlesztőkitek
- Kimenet-kimenet összekötés veszélye
 - Ilyen akár szoftveresen is kialakulhat
- Rövidzár kapcsolóval, nyomógommbal

GPIO ▶ A hardver védelme

- Kis értékű soros ellenállás, áramkorlátozás
- Túlfeszültségvédelem
 - diódák, integrált áramköri megoldások
 - tápfeszültségeken kívüli értékek
 - kikapcsolt állapot

Beágyazott technológiák

GPIO példák

8-bit – ATmega328/Arduino

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020 


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott technológiák

GPIO példák

8-bit – C8051F410

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott technológiák

GPIO példák

32-bit ARM – STM32L452RE

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott technológiák

GPIO példák

Raspberry PI

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020 


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott technológiák

GPIO – illesztési példák

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020 


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

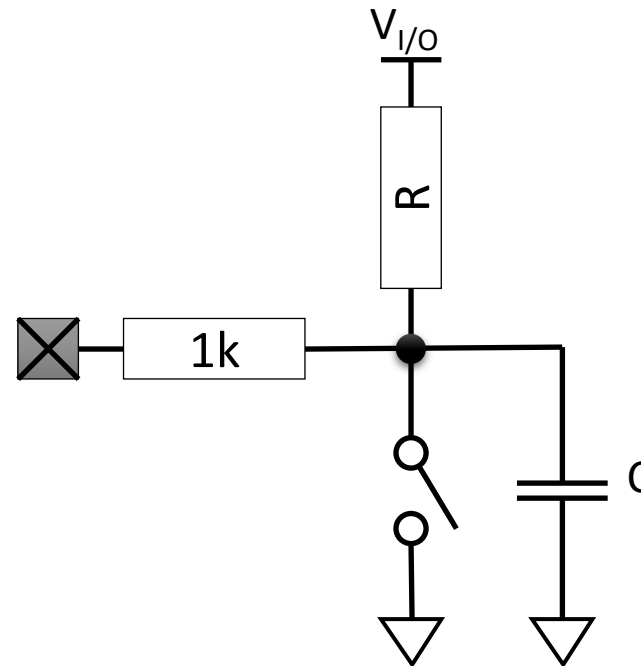
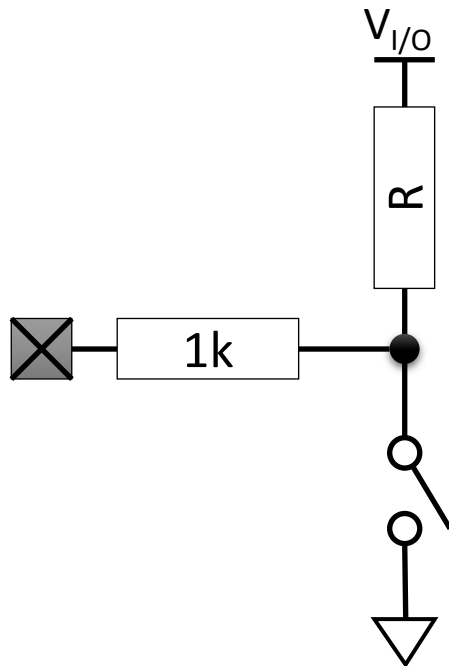
Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

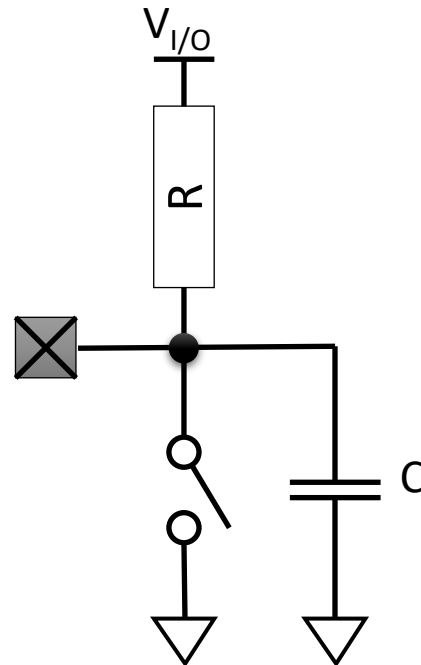
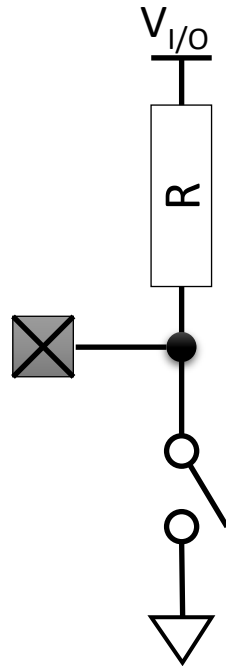
Port I/O ► nyomógomb, kapcsoló

- Mekkora legyen a felhúzó ellenállás (R) ?
- Szokásos értékek: **4k7**, 10k, 3k3, 2k2, 1k
- A kondenzátor csökkenti a zavarérzékenységet
- Soros 1k: a port hibás konfigurálása elleni védelem

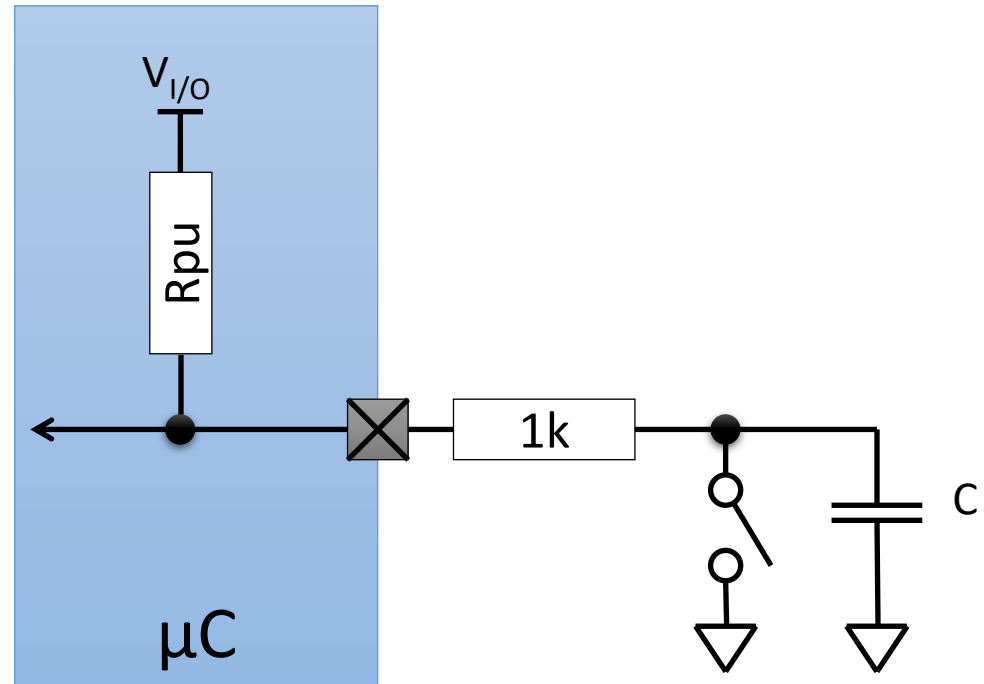
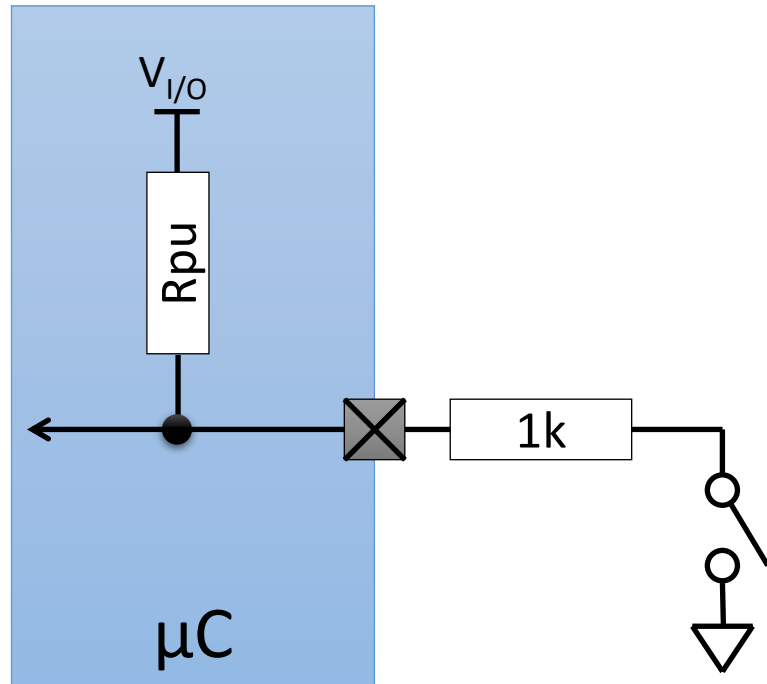


Port I/O ► nyomógomb, kapcsoló

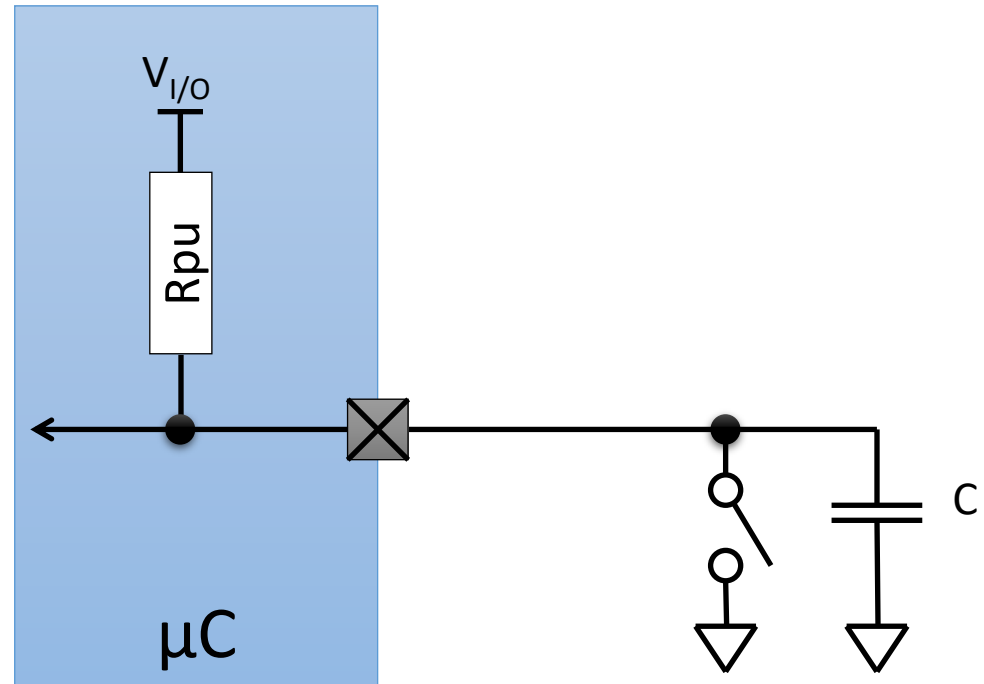
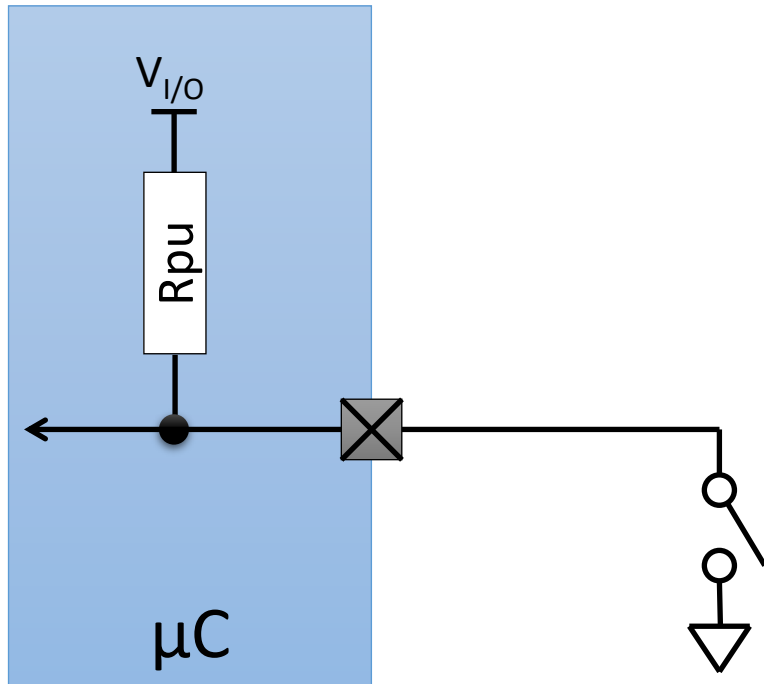
- A soros védőellenállás elhagyható
 - Ha nem általános célú, sokszor újrakonfigurált a hardver
 - Gyártásra alkalmas eszközökben



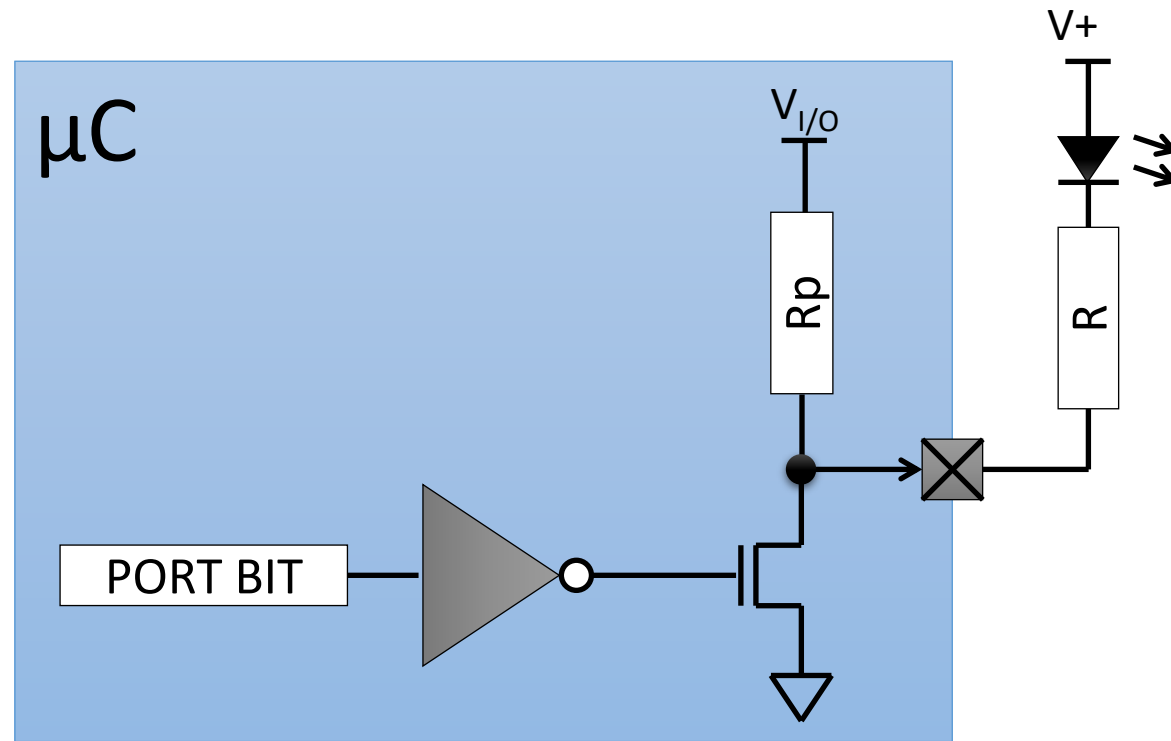
Belső felhúzó ellenállás



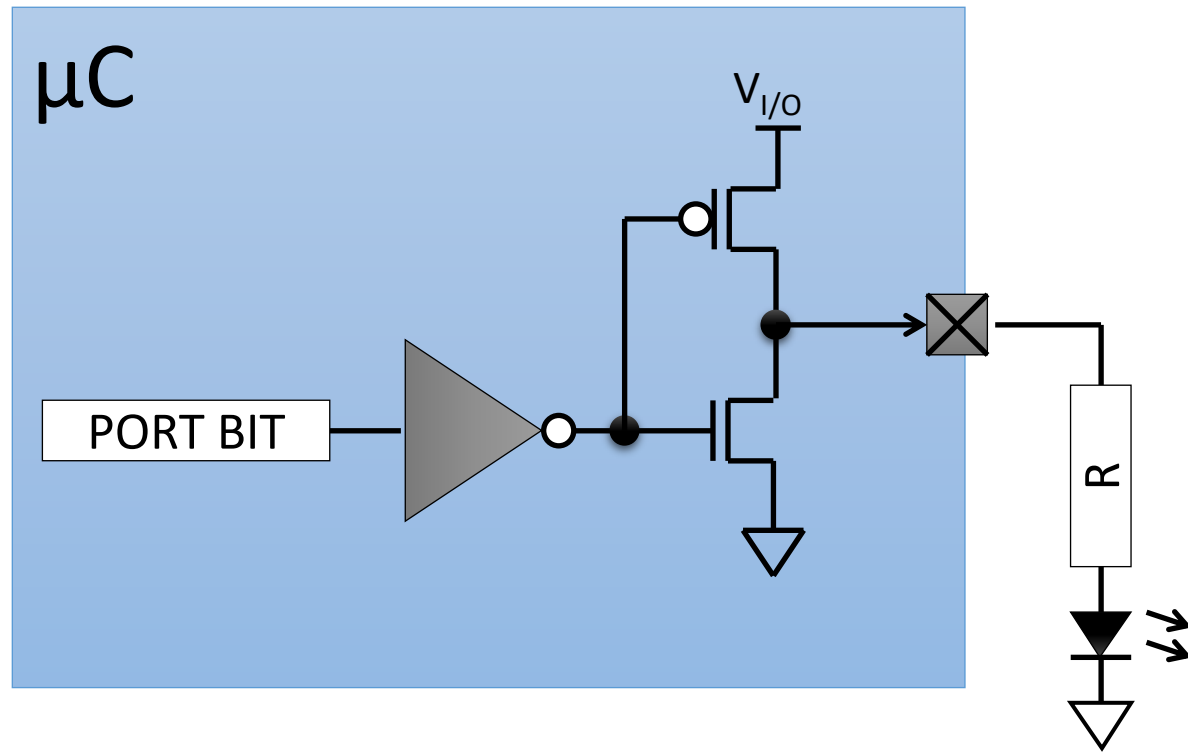
Belső felhúzó ellenállás



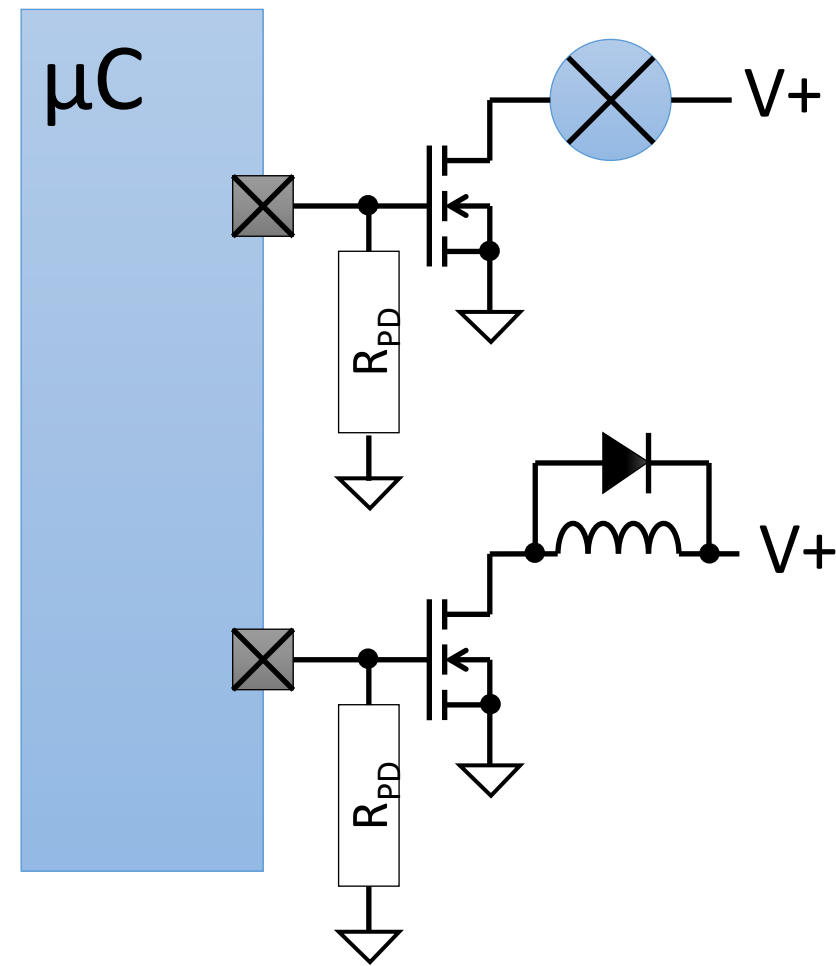
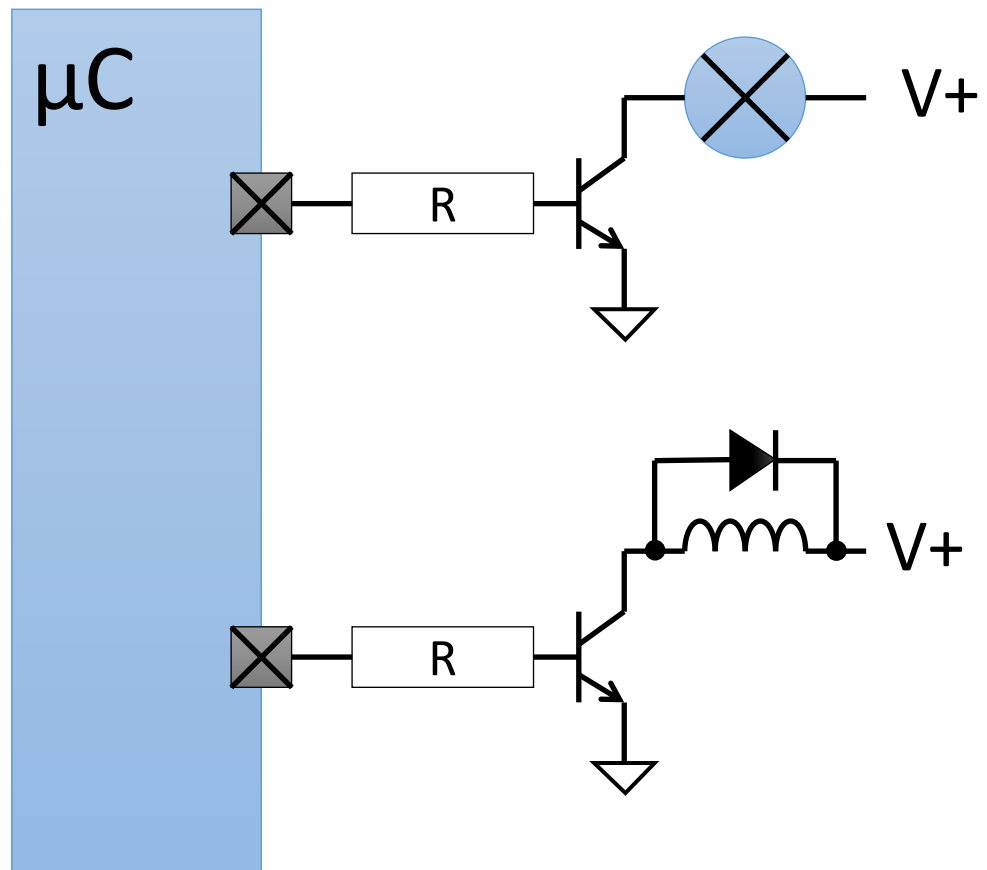
LED illesztése – negatív logika



LED illesztése – pozitív logika



Nagyobb terhelésekhez



Beágyazott technológiák

GPIO – szintillesztés

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

GPIO összekötések

- Az összekötött áramkörök, különböző $V_{I/O}$
- Nem kompatibilis logikai szintek
- Ki- és bemenetekre más szintek
 - bemeneten:
 - L: $0.3 \cdot V_{I/O}$ és H: $0.7 \cdot V_{I/O}$
 - kimeneten függ a terheléstől, bemenetek meghajtásakor közel GND, $V_{I/O}$

Példa

$V_{I/O} = 5V$		$V_{I/O} = 3.3V$		
output →		→ input		
L	<0.1V	L	<0.99V	✓
H	4.9V..5V	H	>2.31	✓ ?
input ←		← output		
L	<1.5V	L	<0.1V	✓
H	>3.5V	H	3.2V..3.3V	✗

Output current < 1mA, output resistance < 100 Ohm

5V output, 3.3V input

- Ha 5V toleráns a bemenet, akkor OK
- Külső 3.3V logikai áramkör, ami 5V toleráns
- Open drain output, 3.3V-ra pull-up
- Feszültségosztó?
 - Terhelést jelent
 - Nagyobb ellenállások esetén kisebb meghajtó teljesítmény (sebesség, felhúzóellenállás)

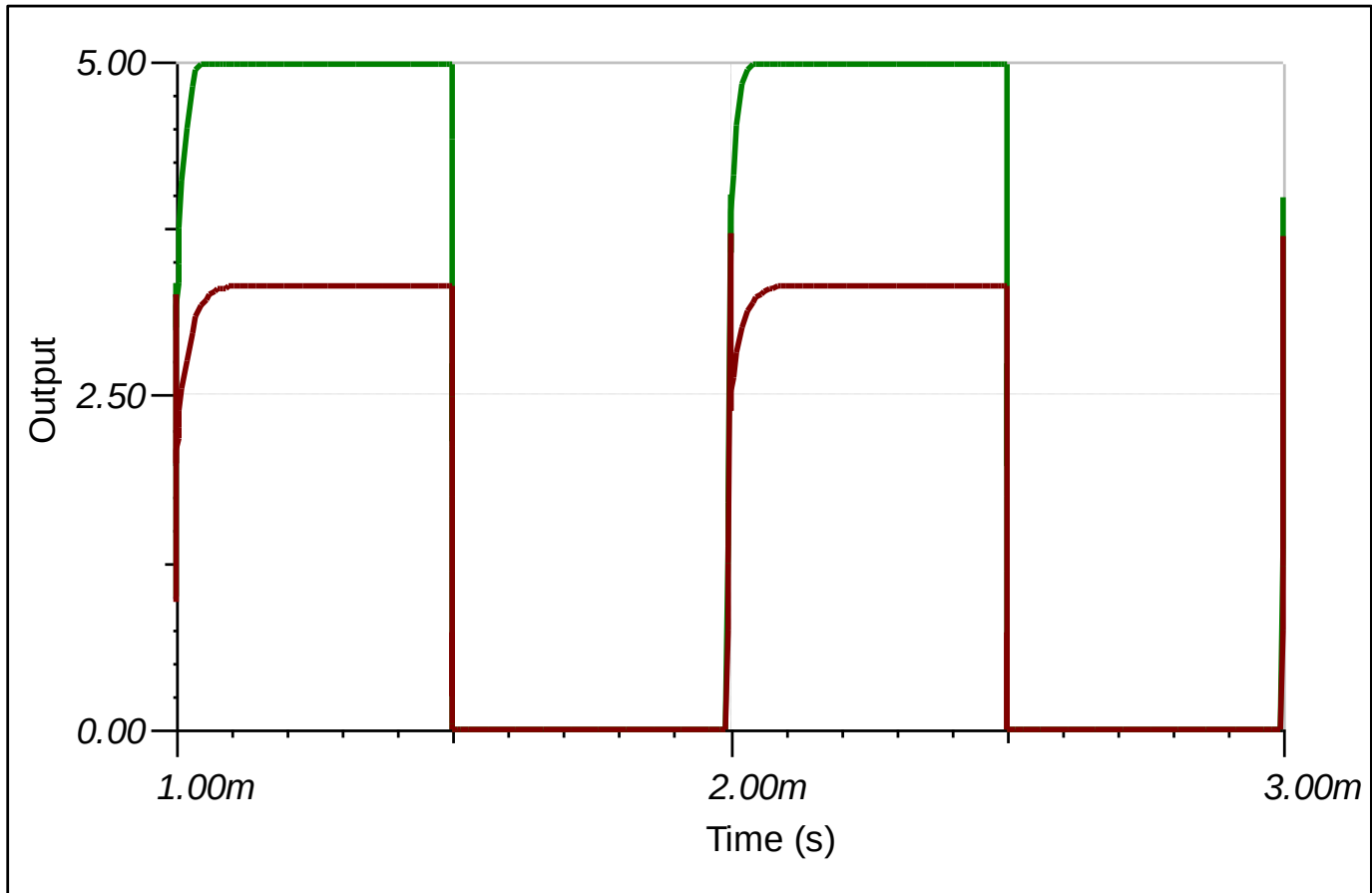
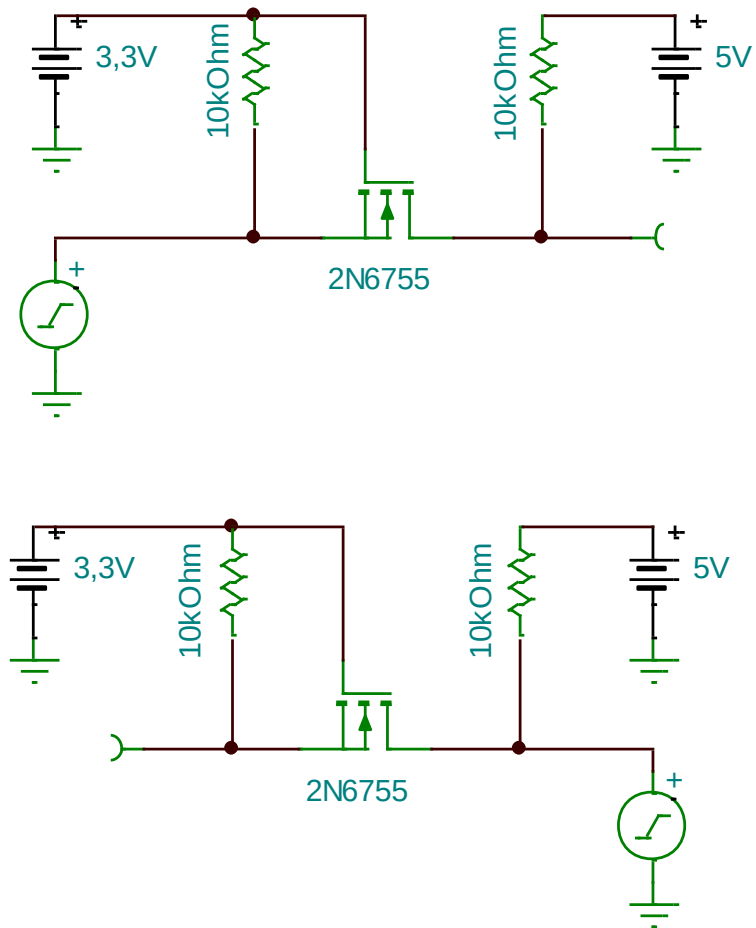
3.3V output, 5V input

- 5V-os CMOS logikai áramkörök (TTL bemenet)
- TTL kompatibilis bemenet:
 - L: $<0.8V$
 - H: $>2.0V$
- CMOS kompatibilis kimenet

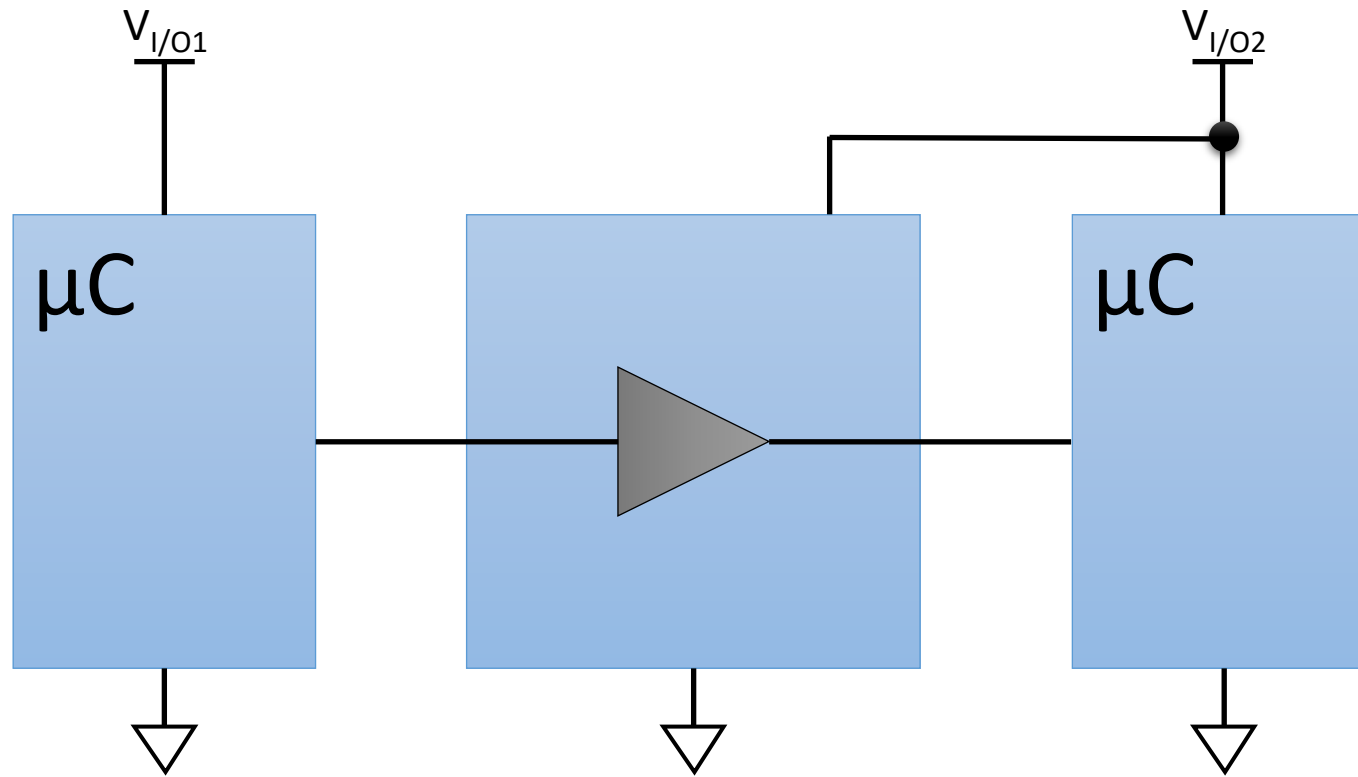
Logic level translator áramkörök

- Két tápfeszültség
- Egyirányú
- Kétirányú: programozható vagy automatikus
- Push-pull
- Open drain

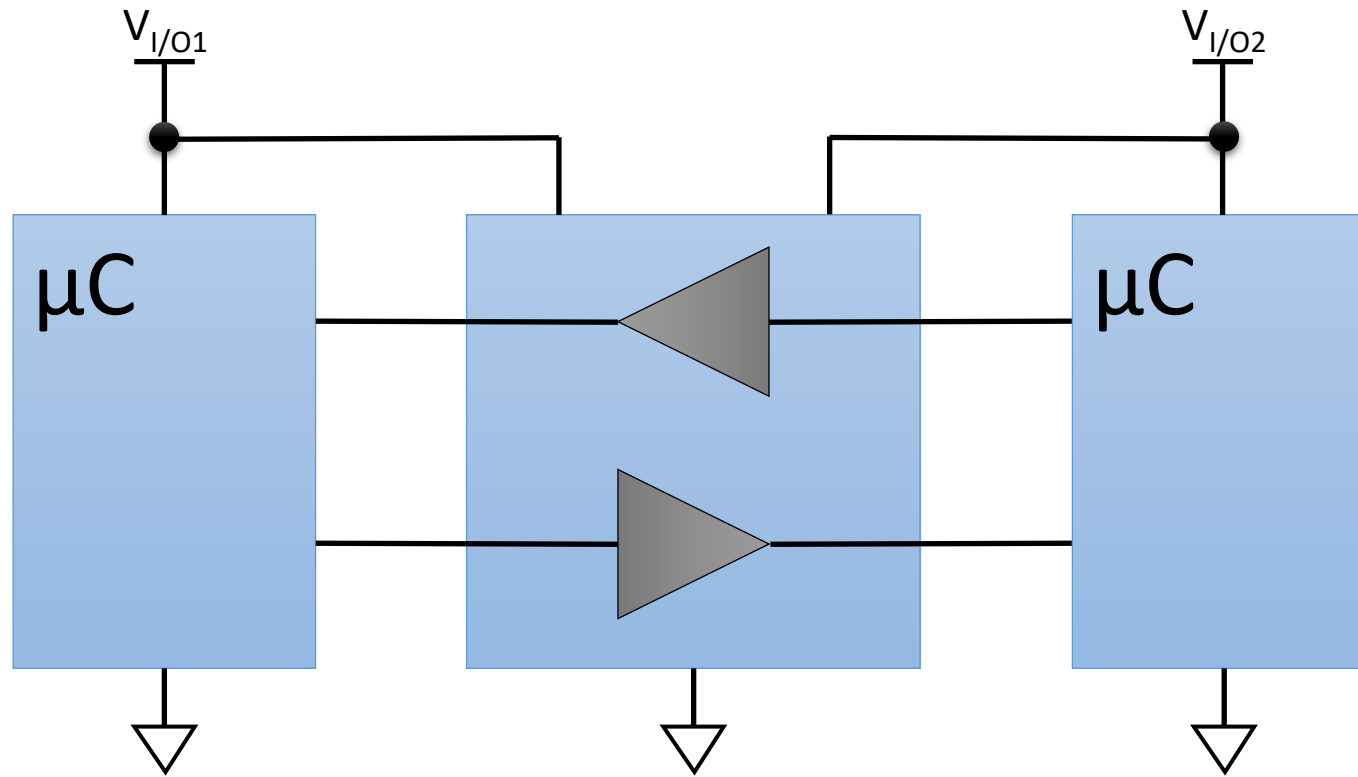
Simple open drain level translator



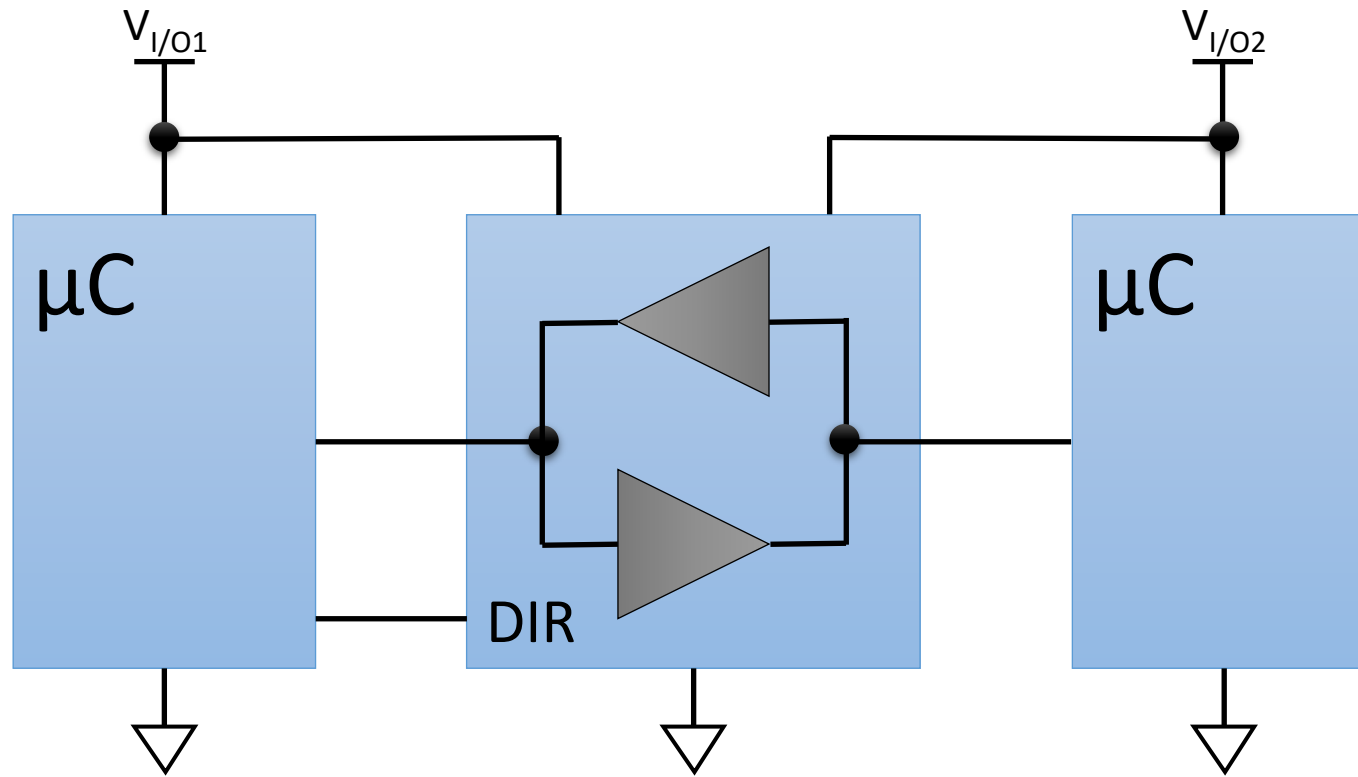
Egyirányú szintillesztés



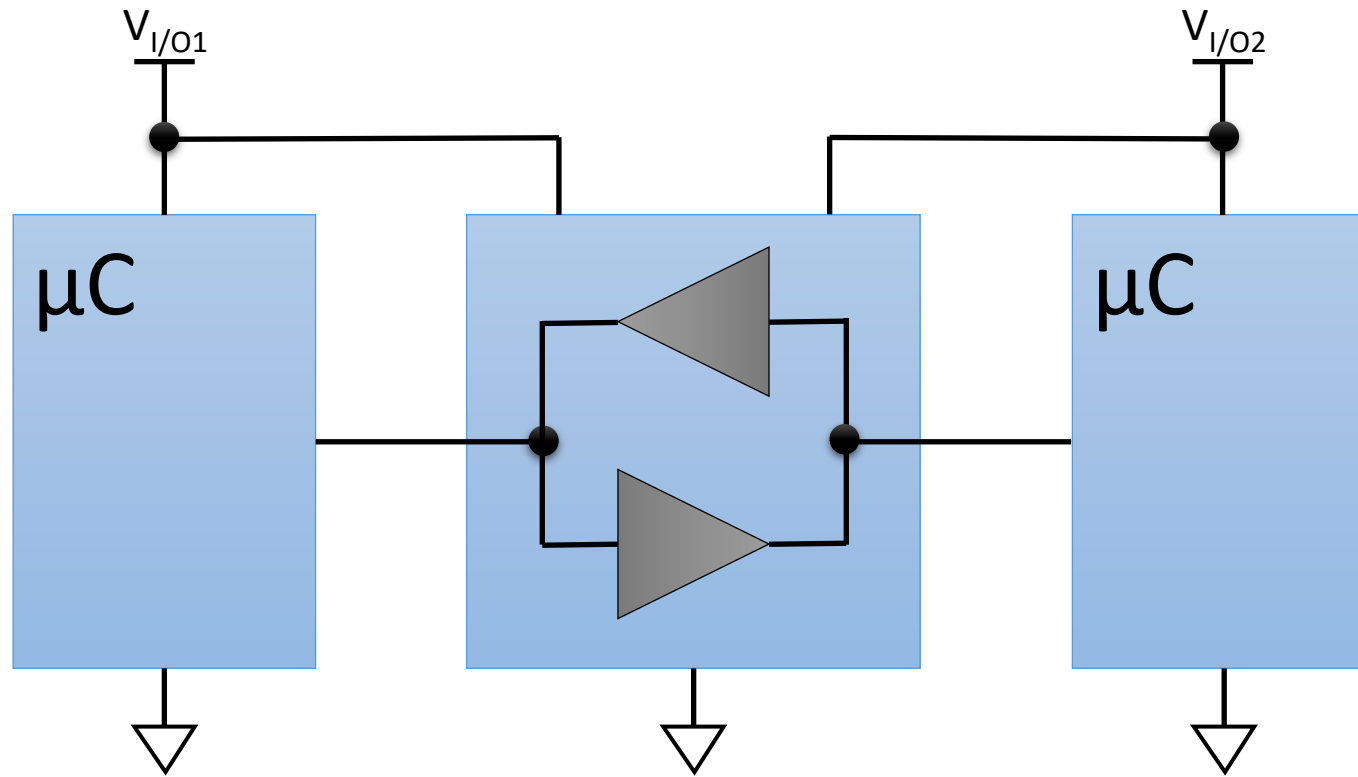
Kétirányú szintillesztés



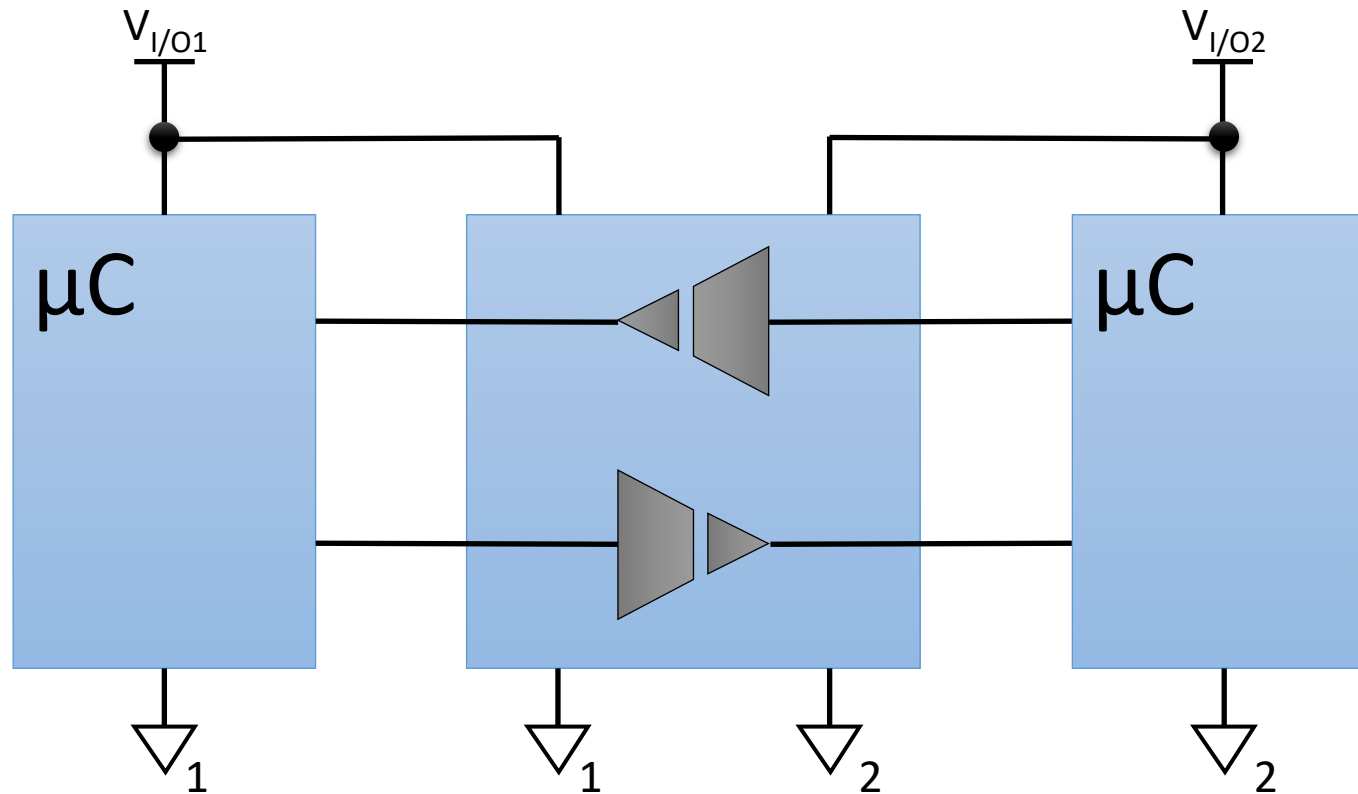
Kétirányú szintillesztés, programozható irány



Kétirányú szintillesztés, automatikus



Galvanikusan leválasztott szintillesztés



Beágyazott technológiák

GPIO – rövidzárak

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap

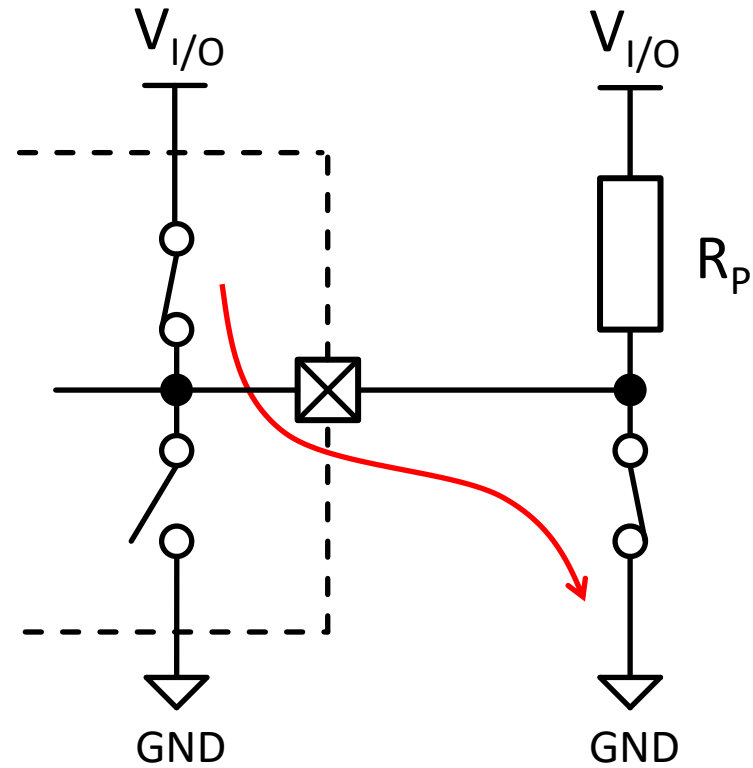
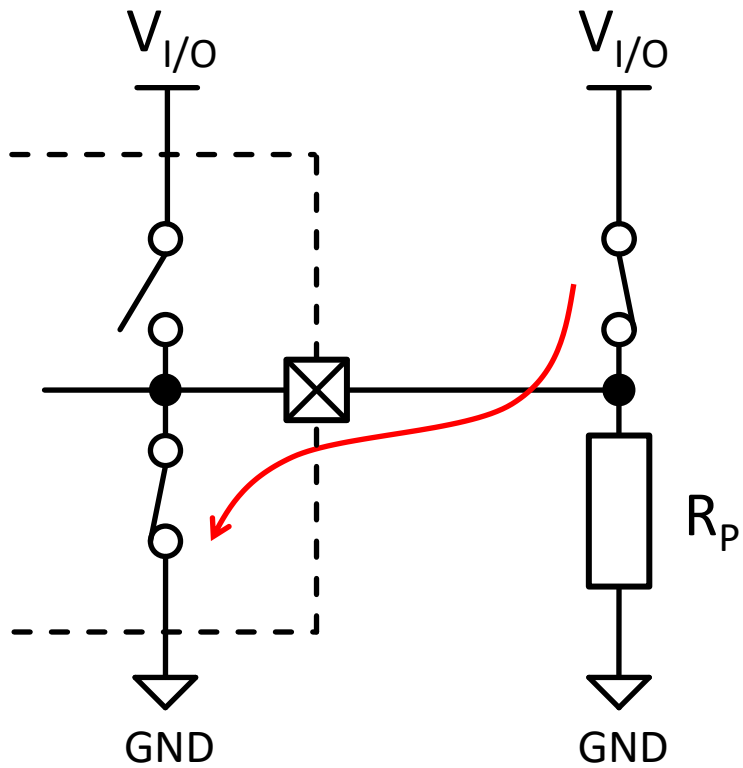


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

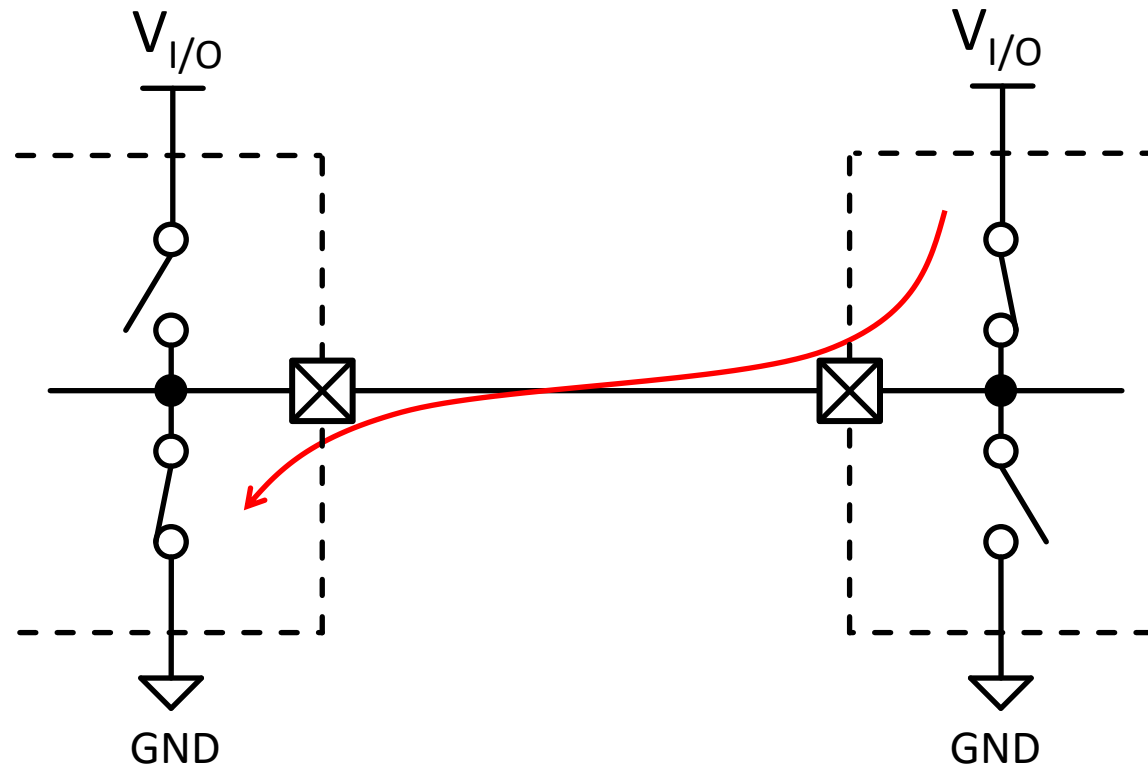
Hibás I/O konfigurálás

- Bemenetként használt kivezetések
 - Kivezetés földre vagy tápra kötése
 - Kivezetések összekötése
- Hiba a szoftverben
 - Kimenetként konfigurálás

Rövidzár kapcsoló, nyomógomb miatt



Kimenetek összekötése



Károsodhatnak az áramkörök?

típus	$V_{I/O}$	R_D	I_S	I_{MAX}
ATmega328	5V	$\approx 30 \text{ Ohm}$	$\approx 160 \text{ mA}$	40 mA
C8051F410	5V	$\approx 80 \text{ Ohm}$	$\approx 60 \text{ mA}$	100 mA
STM32L452	3.3V	$\approx 40 \text{ Ohm}$	$\approx 80 \text{ mA}$	20 mA

Kimenetek összekötése esetén az áram kisebb
Több kimenet esetén további korlát

Megelőzés

- Fejlesztési fázisban áramkorlátozó ellenállások
 - Fejlesztőkiteknél mindenképp
 - Az Arduino nem alkalmazza ezt
- Véglegesített áramkörnél, szoftvernél elhagyható az extra védelem

Beágyazott technológiák

Oscillátorok

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Oszcillátorok szerepe

- Ütemjel a processzor számára
- Ütemjel a perifériák számára
- Valós idő mérése

Órajelek frekvenciája

- Számítások sebessége
- Áramfelvétel/fogyasztás
- Maximális frekvencia
 - minimális frekvencia?
- Overclocking – sosem!

Belső oszcillátorok

- Akár több oszcillátor
 - gyors vagy alacsony fogyasztású
 - belső, külső
- Adott frekvencia, de programozható osztás (prescaler)
- Pontosság?
- Stabilitás?

Kvarc kristály belső áramkörökkel

- Külső kvarc
- Frekvenciatartomány
- Külső kapacitások
- Analóg áramkörnek számít, érzékeny
- Beállási idő

Külső oszcillátor áramkörök

- Komplette áramkör órajel kimenettel
- Pl. <https://abracon.com/Oscillators/ASTX-H12.pdf>

PLL – frekvenciasorozás

- Belső vagy külső órajelforrás
- Beállási idő

Órajelforrások

8-bites mikrovezérlő példa EFM8SB2

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Órajelforrások

32-bites ARM mikrovezérlő példa STM32L452RE

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott technológiák

Időzítő/számláló áramkörök

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

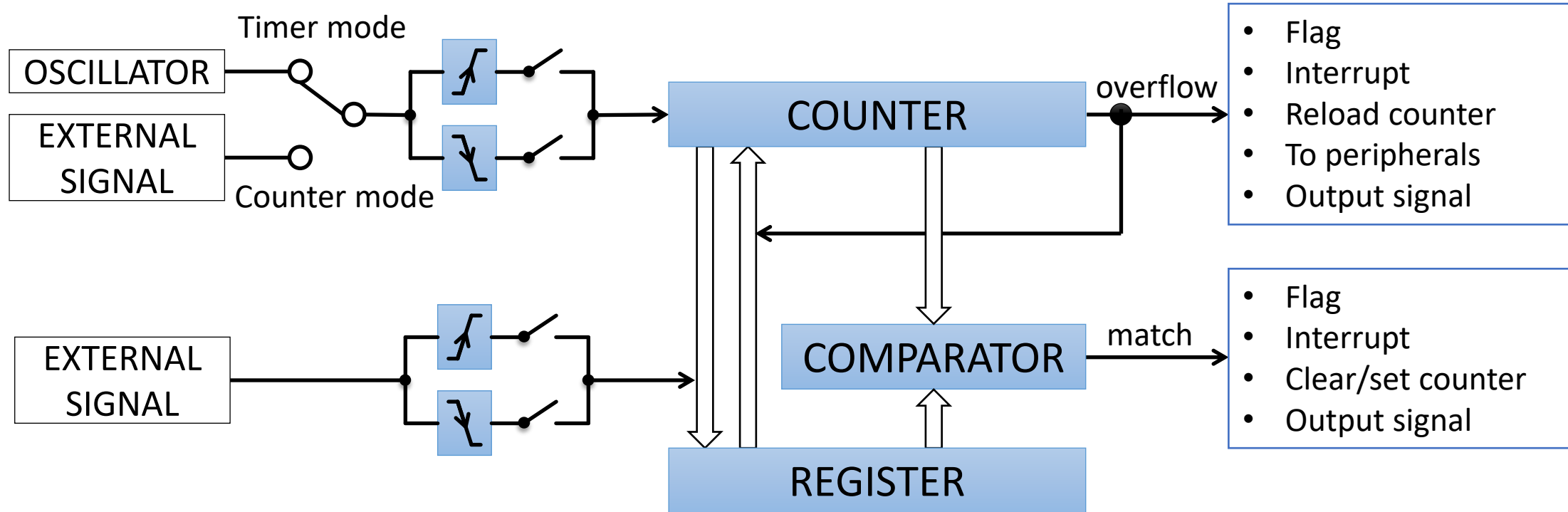
Időzítés

- Valódi rendszerek működésének időzítése fontos
 - Ütemezett események generálása
 - Jelek mintavételezése
 - Kommunikáció
 - Perifériák ütemezése
- Szoftveres vagy hardveres megoldás?

Számláló – önálló működésű periféria

- Bináris számláló
- 8, 16, 32 bit (vagy akár több)
- Timer
 - Ismert órajel, oszcillátor, prescaling
 - RTC is ilyen
- Számláló
 - Külső jel hajtja a számlálót

Tipikus felépítés

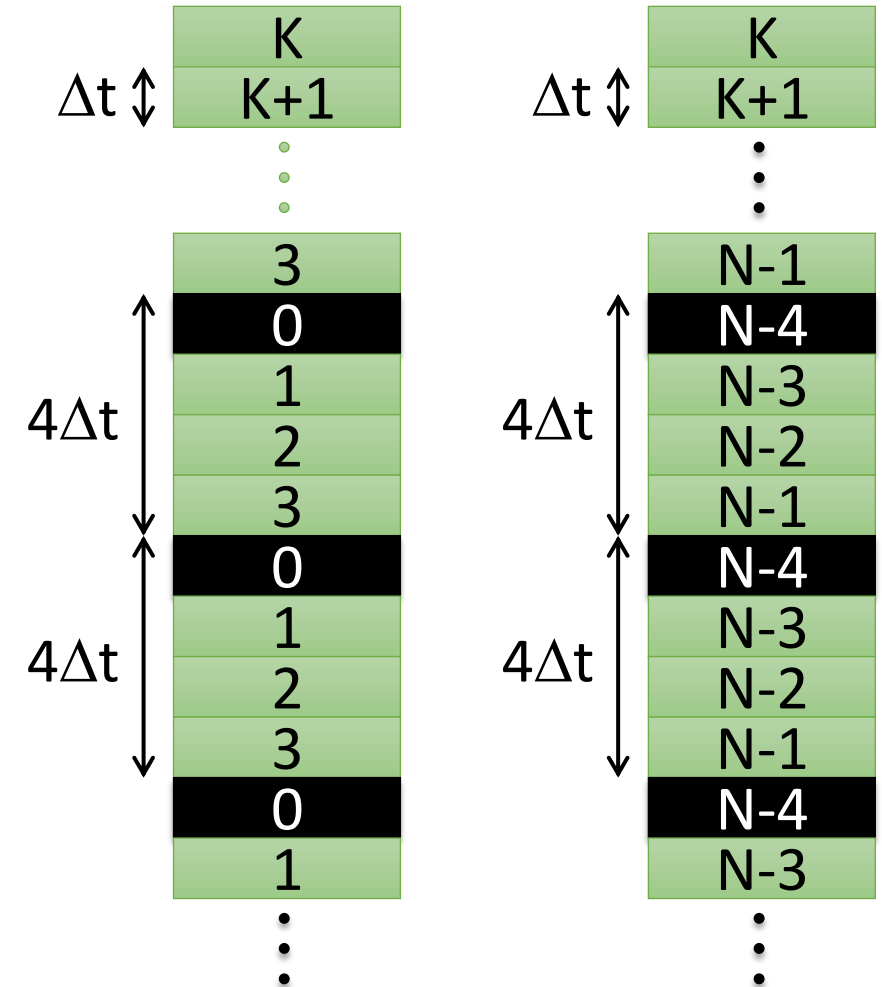


Üzemmodok – fel/le számlálás

- Folyamatos számlálás
- Túlcsordulásakor esemény generálása
- Alkalmazások
 - periodikus megszakítások
 - késleltetés, várakozás
 - kód futási idejének mérése
 - ...

Üzemmodok – auto-reload

- Ha a számláló elér egy értéket, törlődik
- Ha a számláló túlcsordul, egy értékről indul
- Alkalmazások
 - periodikus megszakítások
 - ütemjel perifériák számára
 - jelgenerálás
 - ...

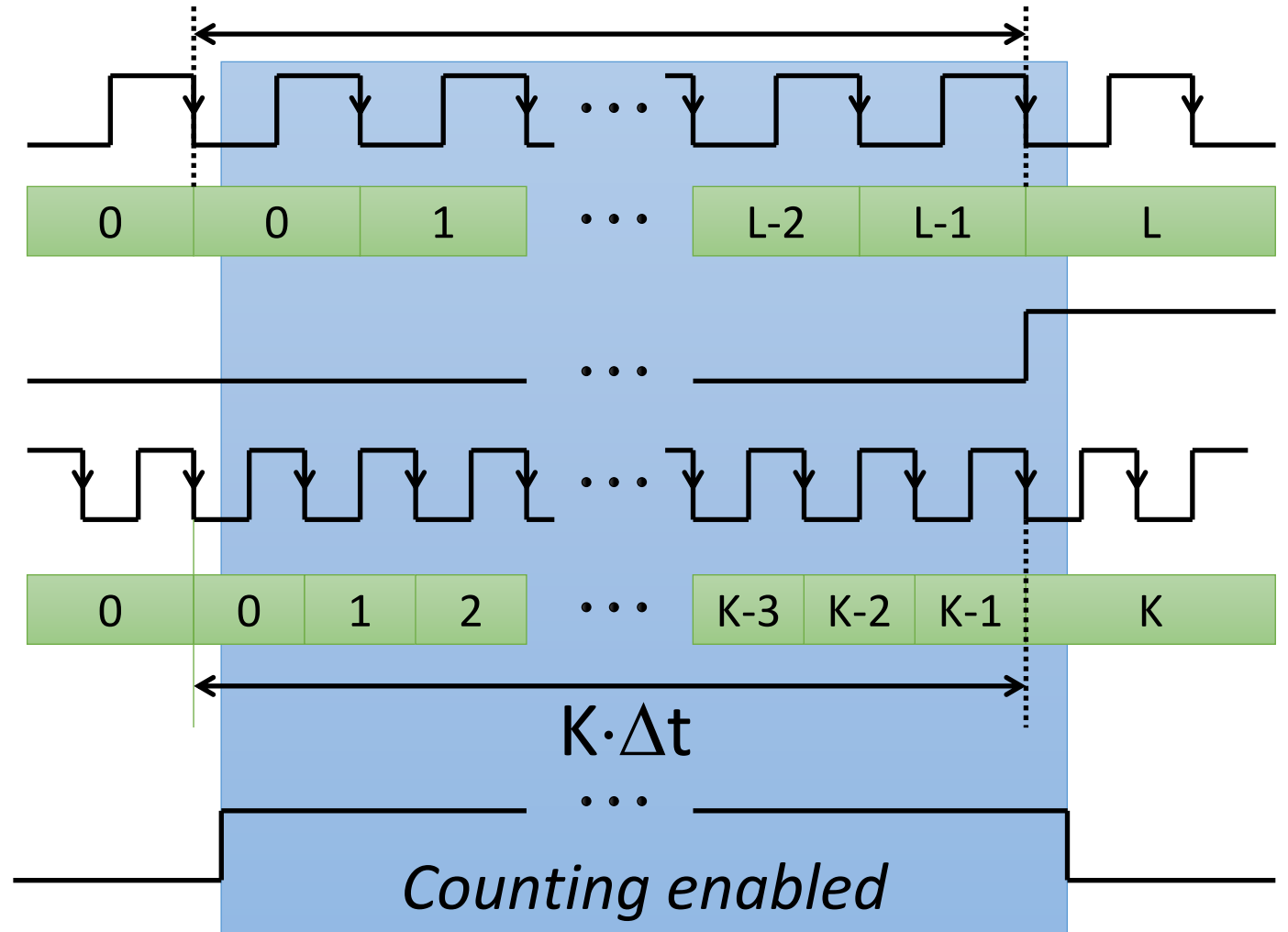


Üzemmodok – *capture*

- Egy jel váltásainak hatására a számláló értéke tárolódik
- Alkalmazások
 - esemény időpillanata (időbélyege)
 - események közötti időtartam
 - ...

Frekvencia, periódus mérése

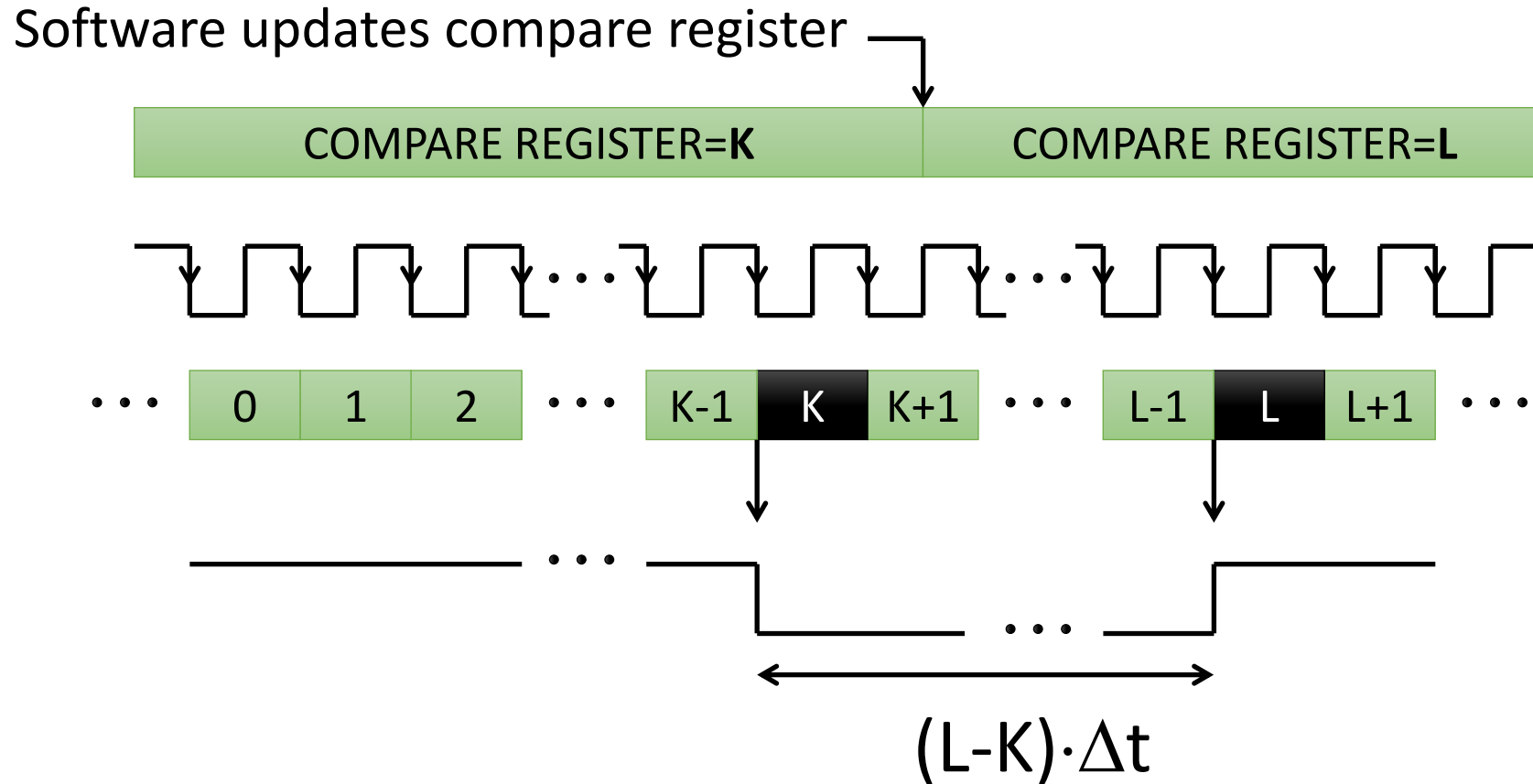
- Frekvencia
 - adott ideig számlálás
- Periódus
 - adott számú esemény idejének mérése



Üzemmodok – komparátor alkalmazása

- Esemény, ha a számláló és a regiszter értéke megegyezik
- Alkalmazások
 - rugalmasan időzített események
 - komplexebb jelalakok, több jel
 - ...

Üzemmodok – komparátor alkalmazása



Üzem módok – PWM

- Periodikus négyszögjel
- Változtatható kitöltési tényező
 - Az átlagérték változtatható
- Átlagképzés szükséges
- Példák implementálásra

Üzem módok – digitális jelgenerálás

- A jel váltási ideje programozható
- Váltáskor beállítható a következő időpillanat

Beágyazott technológiák

Real-time clock

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Üzem módok – RTC

- Pontos frekvencia
- 32768 Hz, 10-20 ppm
- Egyszerű számláló vagy hardveres naptár
- Programozható ébresztő funkciók
- Külön táplálás
- Alacsony fogyasztás (uA)

Beágyazott technológiák

UART

Soros adatátvitel

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



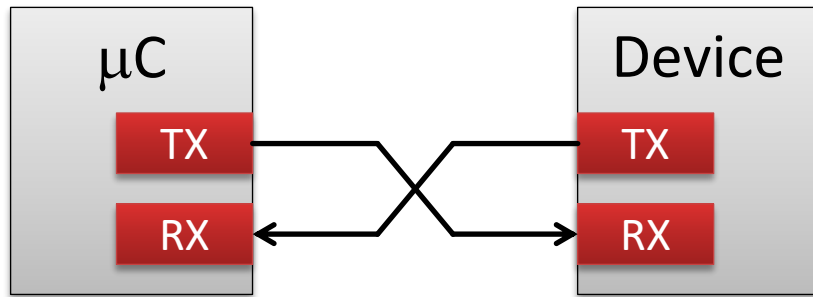
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

UART

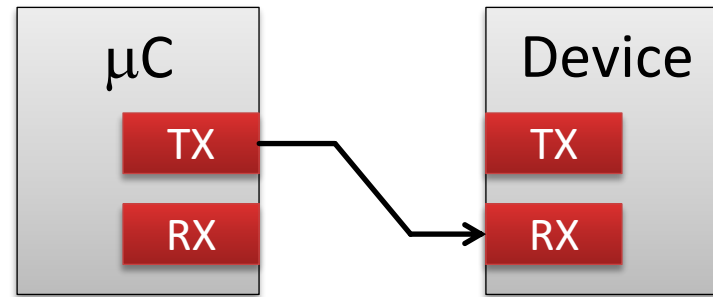
- Universal Asynchronous Receive Transmit
- Soros adatátvitel – bitenként
- Egy irányban az adat egy jel
- Egy bit adott ideig érvényes
- Start bit – nincs külön szinkronjel

UART összekötések

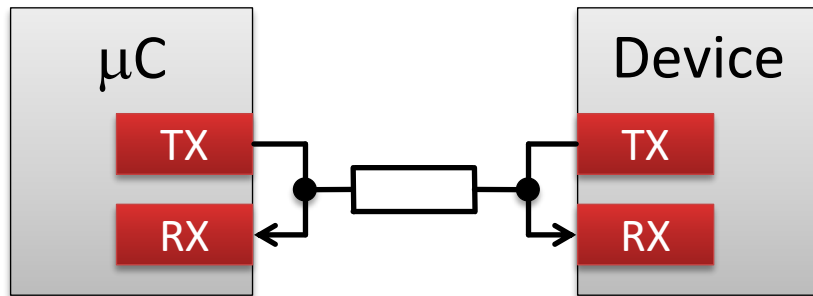
FULL DUPLEX



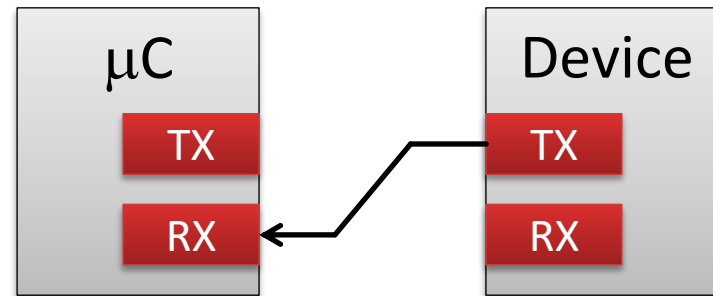
SIMPLEX



HALF DUPLEX

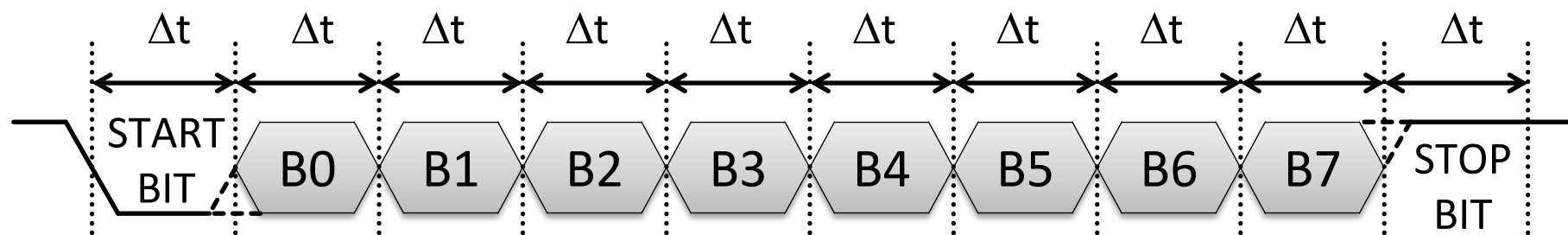


SIMPLEX



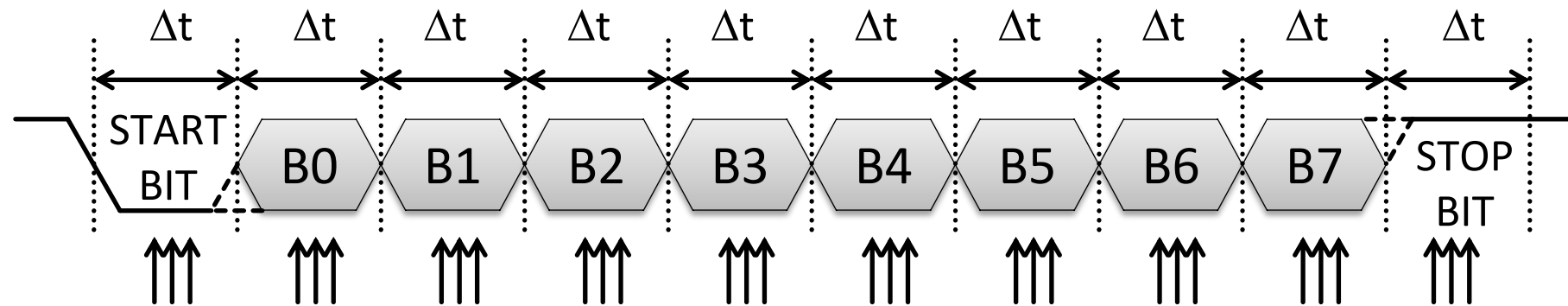
Egyszerre csak egy
TX engedélyezhető

UART jelalak



- Start bit (logikai 0), átvitel detektálására
- Stop bit (logikai 1), minimum szünet küldések között
 - 1, 1.5 vagy 2 szokott lenni
- Byte átviteli idő: $10 \cdot \Delta t$ (1 stop bit esetén)
- 9 bites átvitel is választható:
 - az utolsó bit külön programozható
 - paritásbitként, multiprocesszoros adatátvitelhez

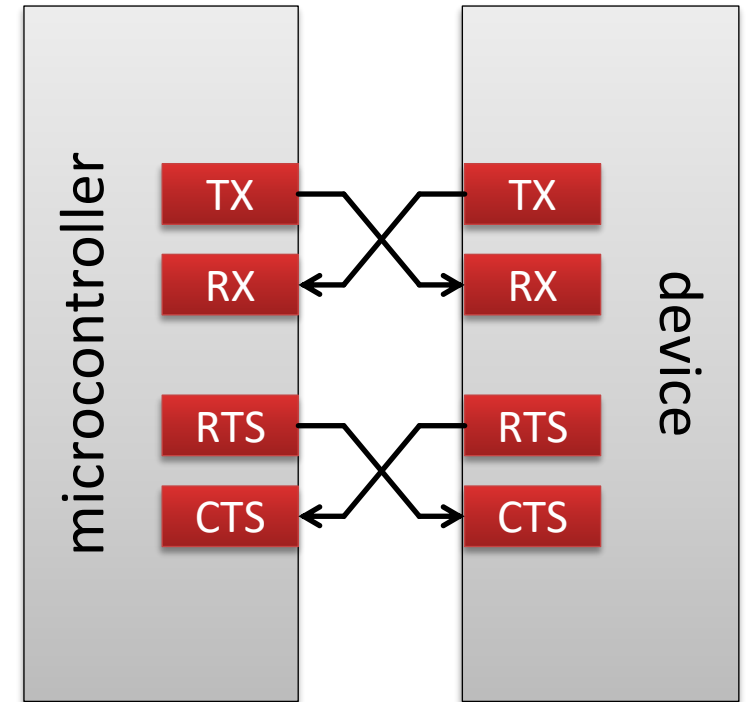
Kezdet és bitek detektálása



- Zavarvédelem
- Jelalak – fel/lefutó élek meredeksége
- Eltérés az időalapokban – bitek elcsúszása
- Tipikus baud (bits/s) értékek (pl. 9600, 115200, ...)

Hardware flow control

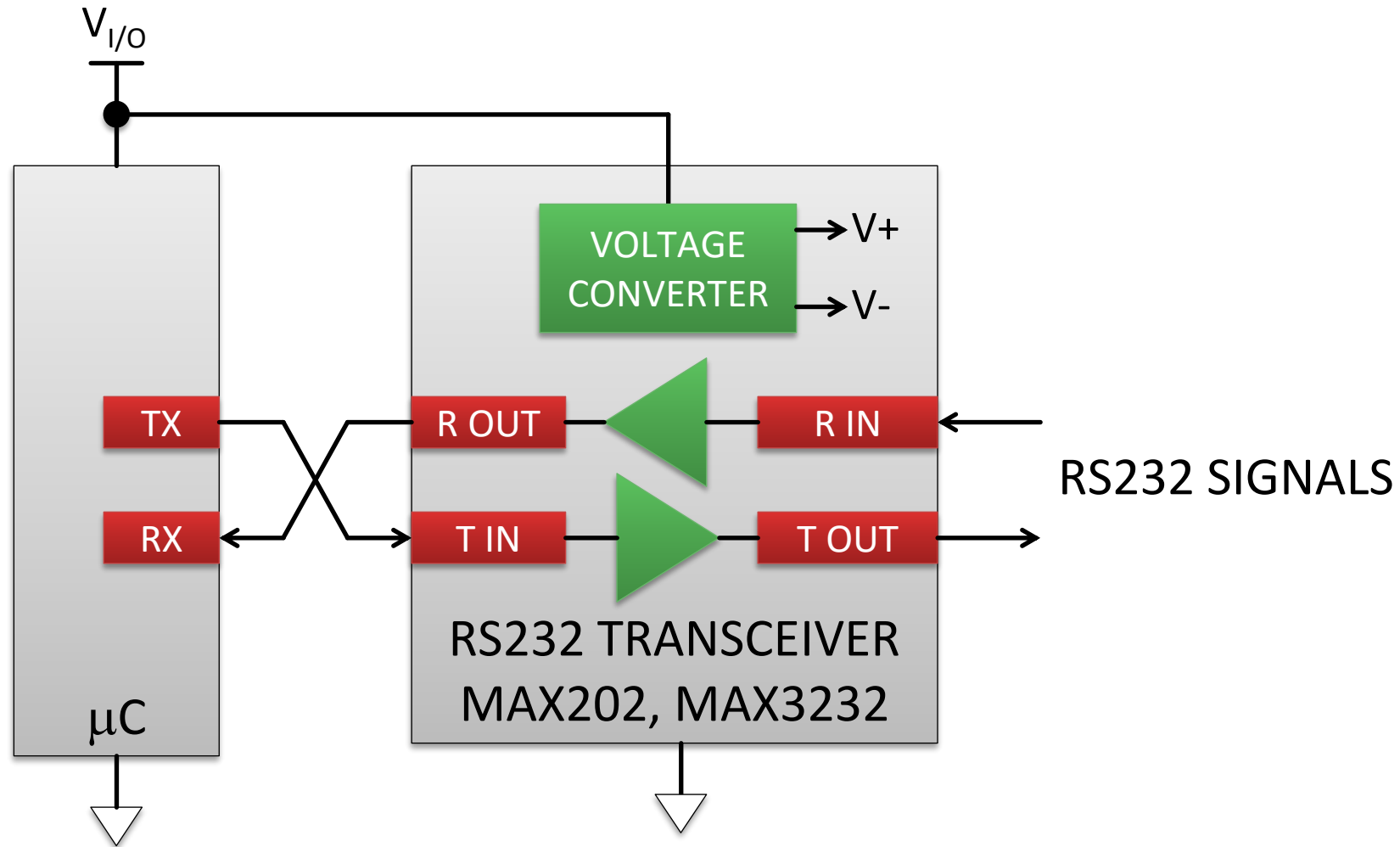
- RTS
 - Kimenet
 - Inaktív (1), ha nem tud fogadni
- CTS
 - Bemenet
 - Nem küld, ha inaktív



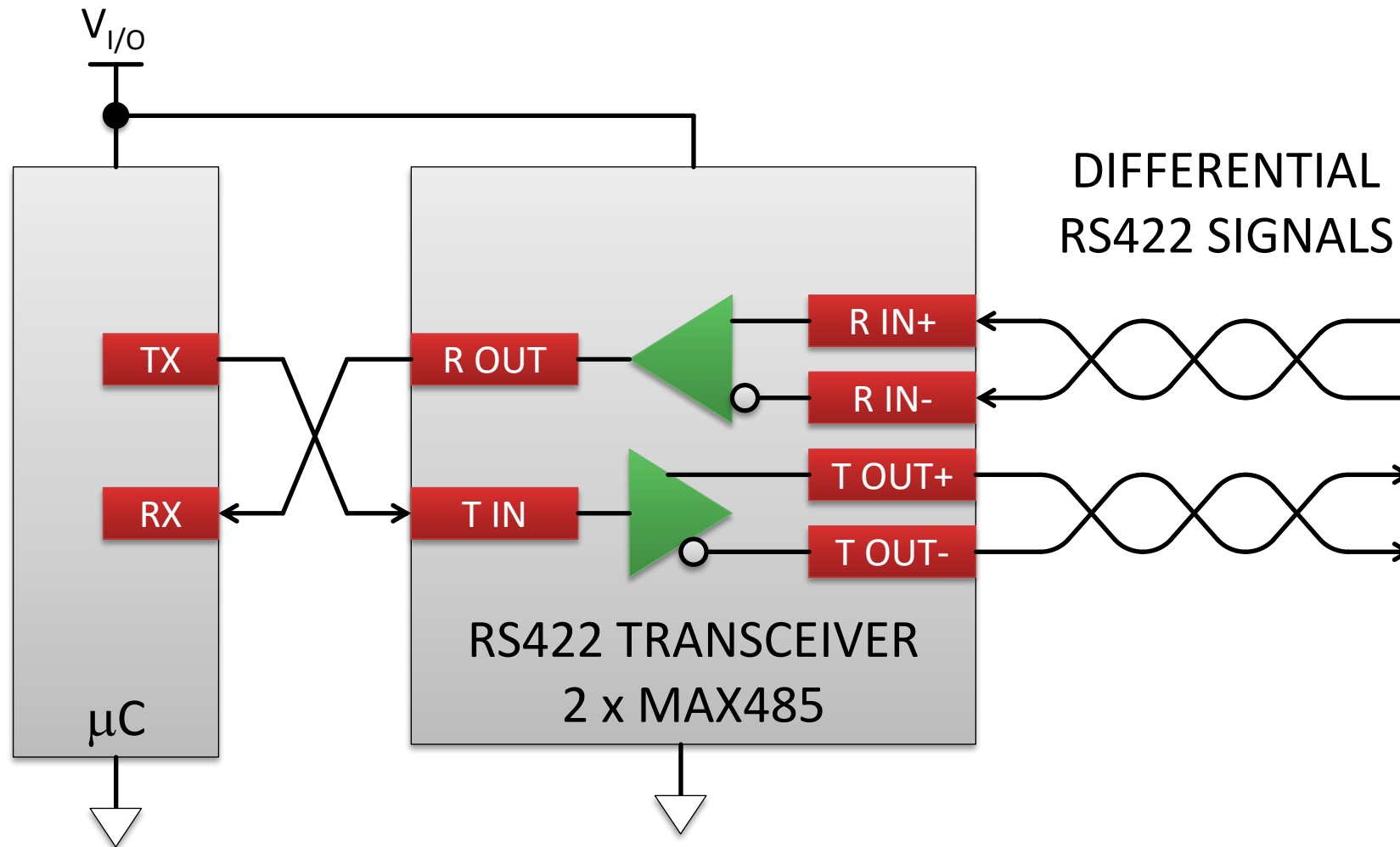
Software flow control

- TX és RX vonalakon
- Régebbi módszer
 - XOFF (0x13) küldése leállít
 - XON (0x11) küldése engedélyez
 - Nem teljesen biztonságos
 - Nem bináris
- Visszajelzés megvárása

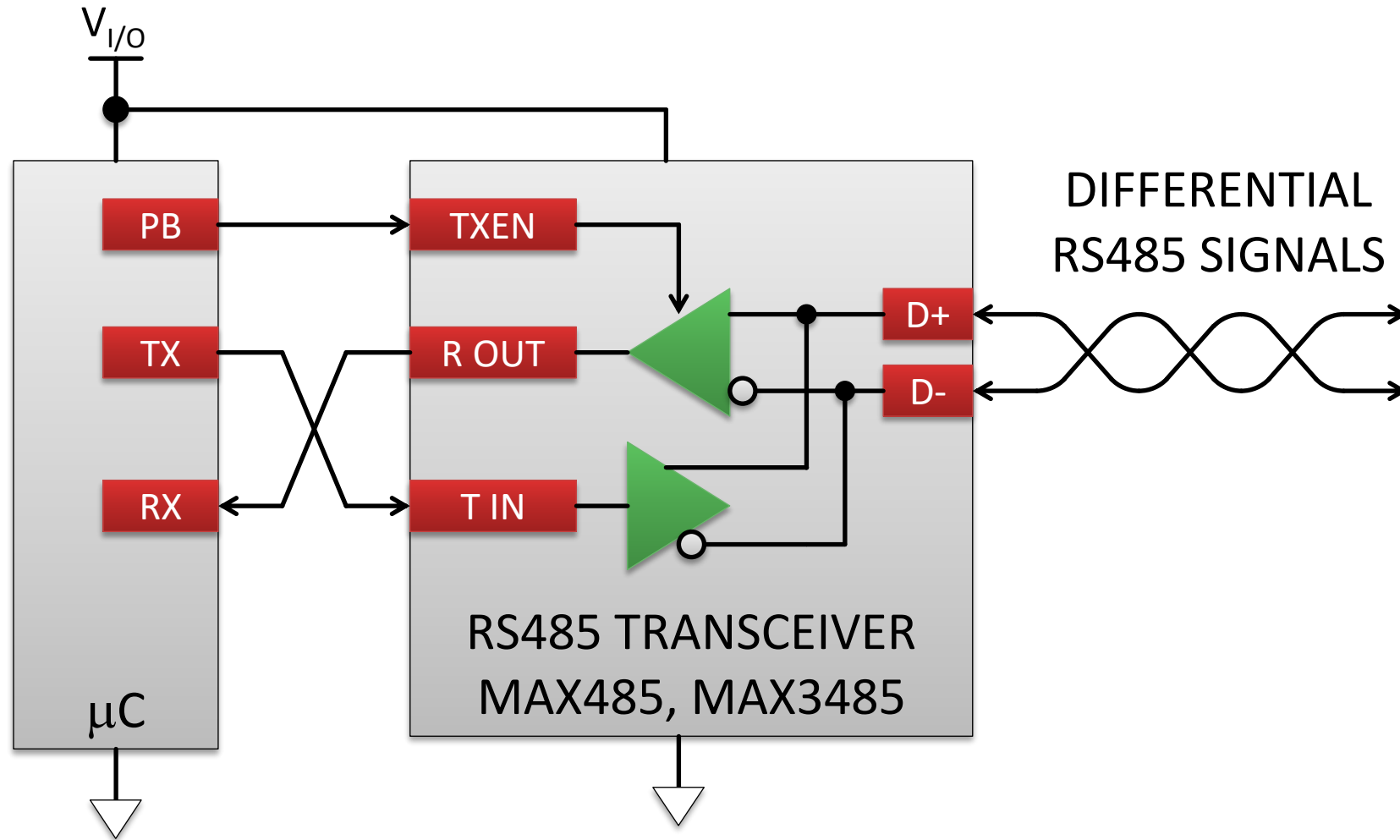
Hosszabb vezetékek – RS232



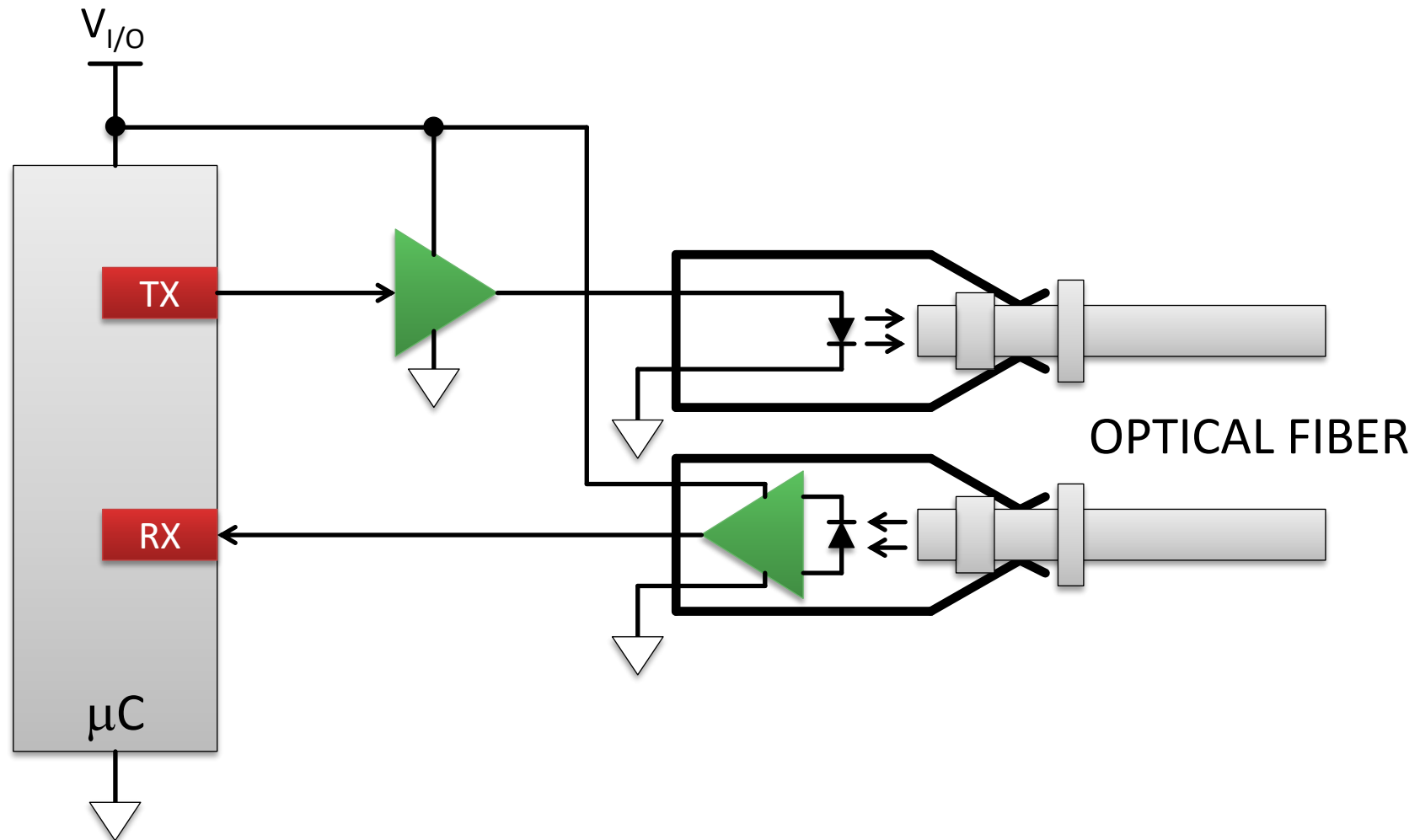
Hosszabb vezetékek – RS422



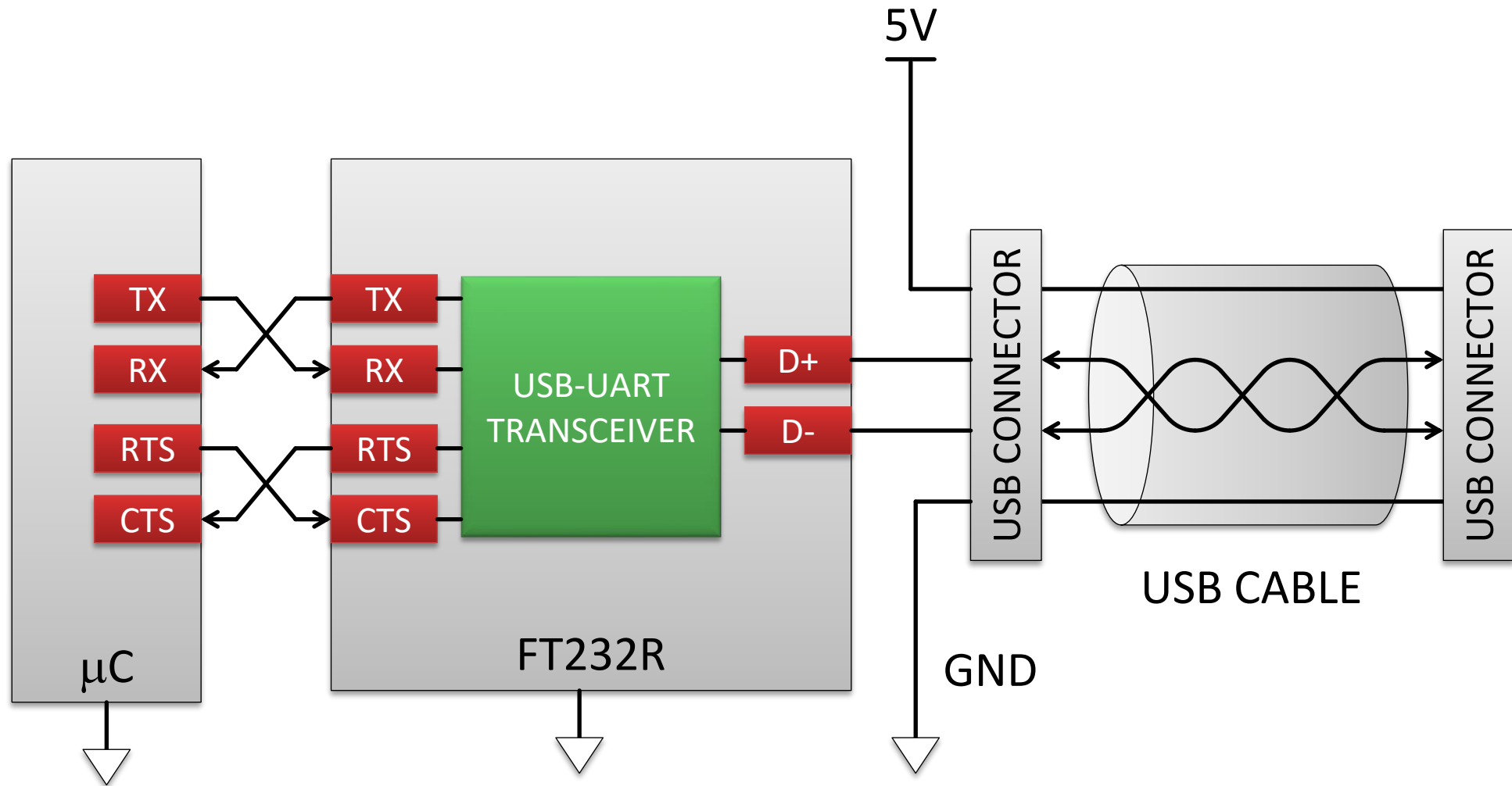
Hosszabb vezetékek – RS485, half duplex



Optikai adatátvitel



USB-UART



Összegzés

- Mikrovezérlő és másik számítógép összekötésére
- Két fél, szoftveresen kiegészíthető többre is
- Vonalmeghajtók alkalmazhatók
- USB-UART áramkörök

Beágyazott technológiák

UART jelalakok vizsgálata

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Összegzés

- Az adatkimenetnek push-pull módban kell lennie
- Az RS232 áramkör
 - lassabb adatátvitel
 - hosszabb vezetékek
 - speciális jelszintek

Beágyazott technológiák

UART adatátvitel vizsgálata

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Összegzés

- Egy byte átvitele legalább 10 egységnyi idő
 - Start, stop, 8 bit
- Azonos időalap (bit/s)
- Tolerancia
 - Függhet áramköri megvalósításoktól
 - A jelalak is hatással van rá

Beágyazott technológiák

Flash memóriák

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Permanens tárolás

- Tápfeszültség nélkül is megőrzi tartalmát
 - Data retention ($\approx$ 10 év)
 - Endurance ($\approx$ 100000 írás)
- Program tárolása
 - On-chip flash, off-chip flash
- Adatok tárolása
 - On-chip program/scratchpad flash, off-chip flash

Off-chip flash memóriák

- NOR – program/adat tárolása
 - korlátozottabb kapacitás (GB-ig)
 - random elérés, gyorsabb olvasás
 - költségesebb
- NAND – adatok tárolása
 - nagy kapacitás (GB, akár TB-ig)
 - gyorsabb írás, törlés
 - bad block kezelés szükséges

Tulajdonságok

- Szervezése
 - Byte/Word
 - Page (256 byte/2kbyte)
 - Block (pages), Plane (blocks)
- Írás előtt törlés (page) szükséges

Tápfeszültség, interfész, tokozás

- 1.8V (1.65V..1.95V), 3V (2.7V..3.6V)
- párhuzamos interfész
 - adatbusz (8 vagy 16 bites)
 - vezérlőjelek
- soros interfész (SPI, 1x,2x,4x)
- tokozások (5mm x 3mm, 6mm x 4mm, ...)

Beágyazott technológiák

Flash memóriák választéka

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott technológiák

A/D konverterek

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



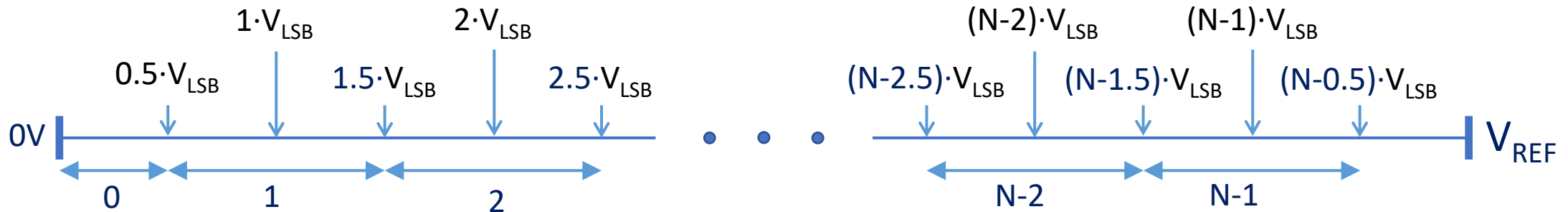
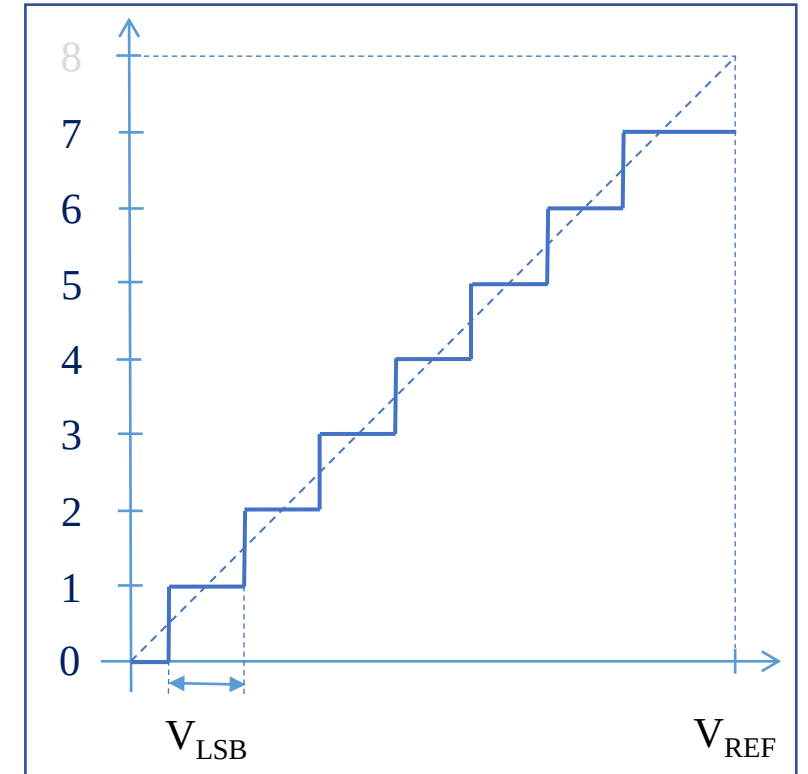
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

A/D konverzió: feszültség $\rightarrow$ egész számok

- Feszültségbemenet: $V = 0..V_{\text{REF}}$
- Egész szám kimenet: $x = 0..N-1$, $N=2^b$
- Felbontás: $\Delta V = V_{\text{LSB}} = V_{\text{REF}}/N$
- Téves értelmezés:
 - $0..V_{\text{REF}}$ leképezése $0..N-1$ -be: $0V \leftrightarrow 0$, $V_{\text{REF}} \leftrightarrow N-1$
 - azaz: $V = x \cdot V_{\text{REF}} / (N-1)$
 - Elterjedt Arduino példa: $x * 5.0 / 1023$

A/D konverzió

- Az egész számok: *intervallumok*
 - 0: $[0V, 0.5 \cdot V_{\text{LSB}})$
 - 1: $[0.5 \cdot V_{\text{LSB}}, 1.5 \cdot V_{\text{LSB}})$
 - i: $[i \cdot V_{\text{LSB}} - V_{\text{LSB}}/2, i \cdot V_{\text{LSB}} + V_{\text{LSB}}/2)$
 - N-1: $[(N-1.5) \cdot V_{\text{LSB}}, (N-0.5) \cdot V_{\text{LSB}})$
- Kvantálási hibahatár: $\pm 0.5 \cdot V_{\text{LSB}}$



A/D konverzió

$$x = \left\lfloor \frac{V}{V_{REF}} \cdot N \right\rfloor \qquad V \approx x \cdot \frac{V_{REF}}{N} = x \cdot V_{LSB}$$

- $b = \log_2 N$ tipikus értékei: 8, **10**, **12**, 14, 16
- N : 256, **1024**, **4096**, 16384, 65536
- $V_{REF} \approx 1V..2.5V$ belső/külső referencia vagy V_{dd}
- A mérhető feszültségtartomány gyakran $< V_{I/O}$

Beágyazott technológiák

A/D konverterek felépítése

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020

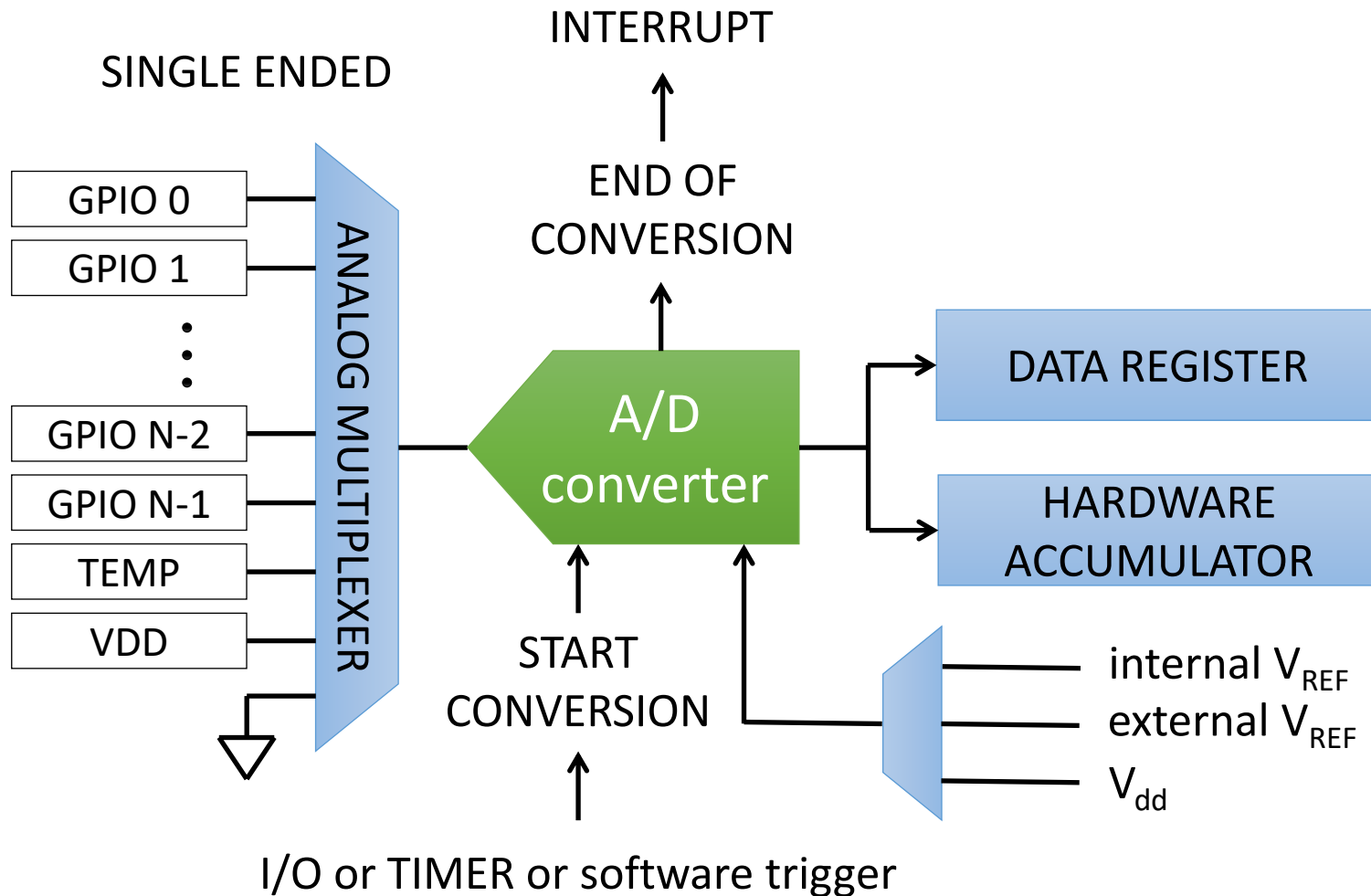


Európai Unió
Európai Szociális
Alap

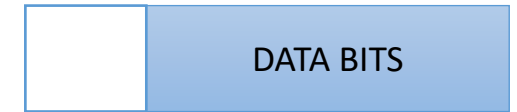


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Általános felépítés



Right justified



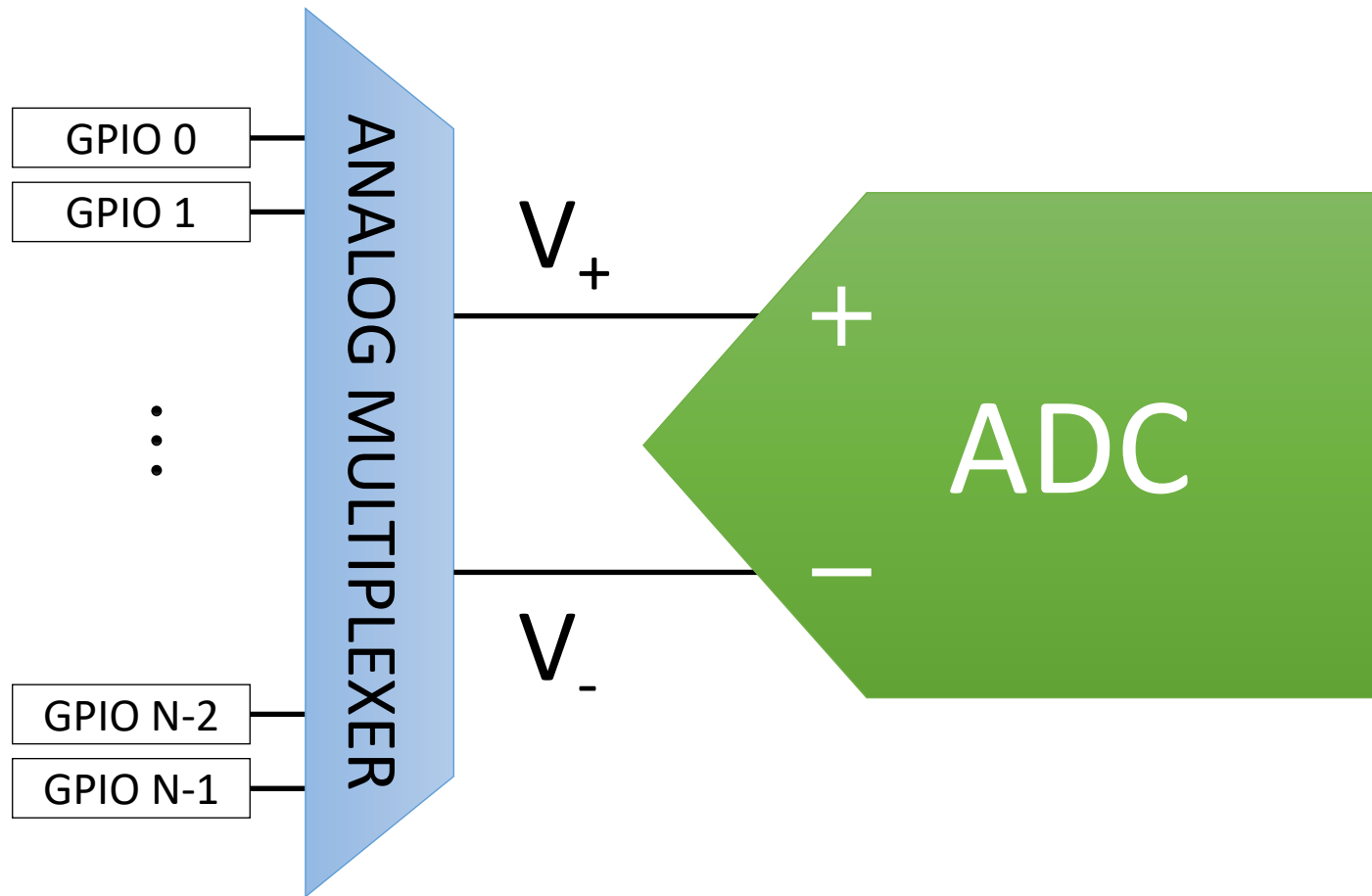
$$V = x \cdot \frac{V_{REF}}{2^b}$$

Left justified



$$V = x \cdot \frac{V_{REF}}{2^{16}}$$

Differenciális mód



- $V_+ - V_-: -V_{REF} \dots V_{REF}$
- x: kettes komplementum
 - C típus: int16_t
- Left justification
- Right justification
 - `adc_data << (16-b)`

Beágyazott technológiák

A/D konverterek jellemzői és működtetése

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Jellemzők

- Architektúra
 - fokozatos közelítés (SAR), 8, **10**, **12**, 14, 16 bit
 - ritkán: $\Sigma\Delta$ vagy $\Delta\Sigma$ (16 vagy 24 bit)
- Ütemjel/clock maximum (minimum?) frekvencia
- Maximum mintavételi frekvencia
- Mintavételi idő (tracking/sampling time)

Módok

- Inaktív
- Folyamatosan aktív
- Csak konverziókor aktív
- Burst mód
- Feléledési idő (V_{REF} is)

Referencia

- Pontosság
- Belső vagy külső referencia
- Tápfeszültség használata
 - Pontosság, stabilitás, zaj
 - Ratiometric mérésekhez
- Feléledési, beállási idő

Multiplexer, bemenetek

- A váltás kellő időben a konverzió előtt
 - az előző konverzió után
- Automatikus léptetési lehetőség előfordul
- GPIO mód: analóg
- A digitális jelektől távol
- Nem használt kivezetések (nem csak analóg)

Beágyazott technológiák

A/D konverterek hibái

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



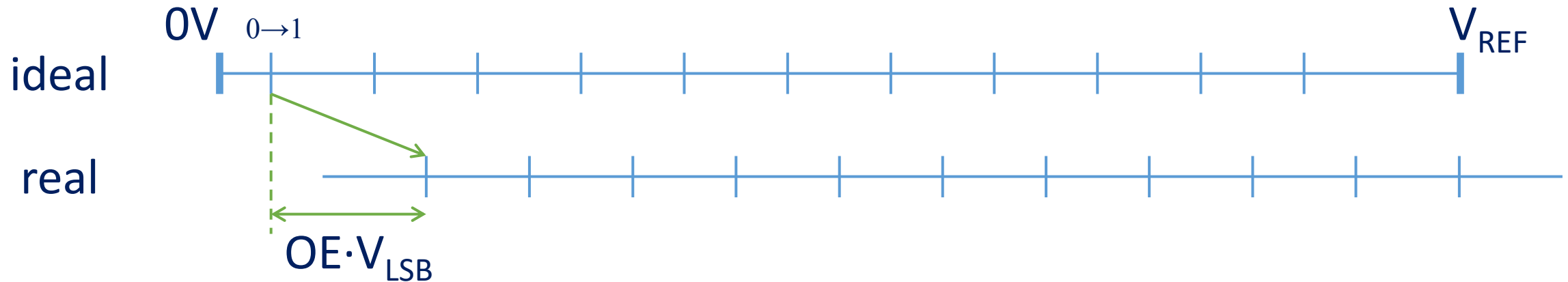
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

ADC hibák

- Nem ideális komponensek
- Az alkatrészek értékei nem pontosak
- A hibák nagyságát LSB értékekben adják meg
 - LSB a legkisebb lépésköznek megfelelő feszültség:
$$V_{\text{LSB}} = V_{\text{REF}}/N$$
 - A hiba nem csak V_{LSB} egész többszöröse lehet
- A kvantálási hiba ($\frac{1}{2} \cdot V_{\text{LSB}}$) ezekhez adódik

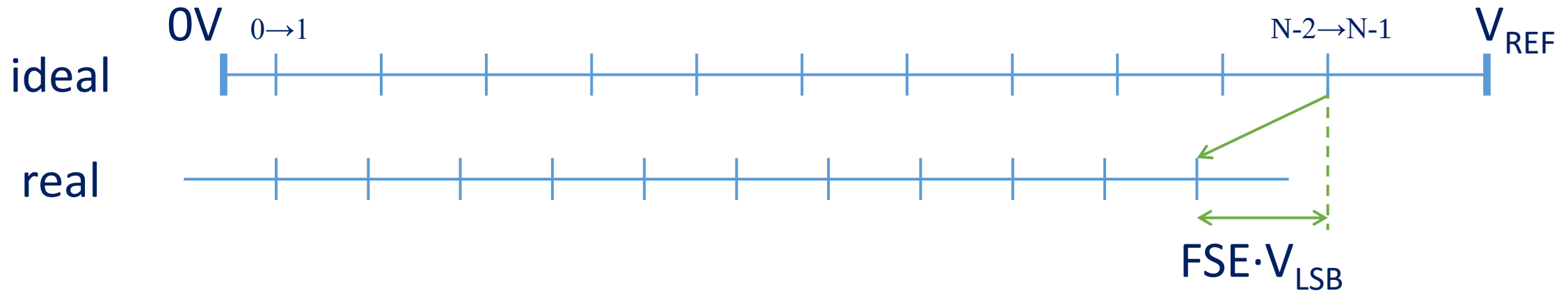
Offset error

- Nullponthiba
- Lehet pozitív és negatív is
- Kompenzálható



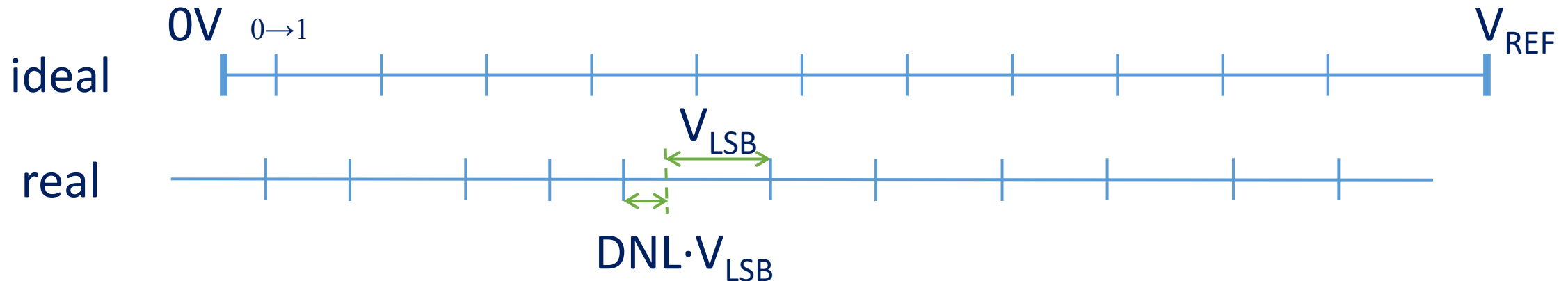
Full scale error, gain error

- Skálahiba, erősítéshiba,
- Kompenzálható



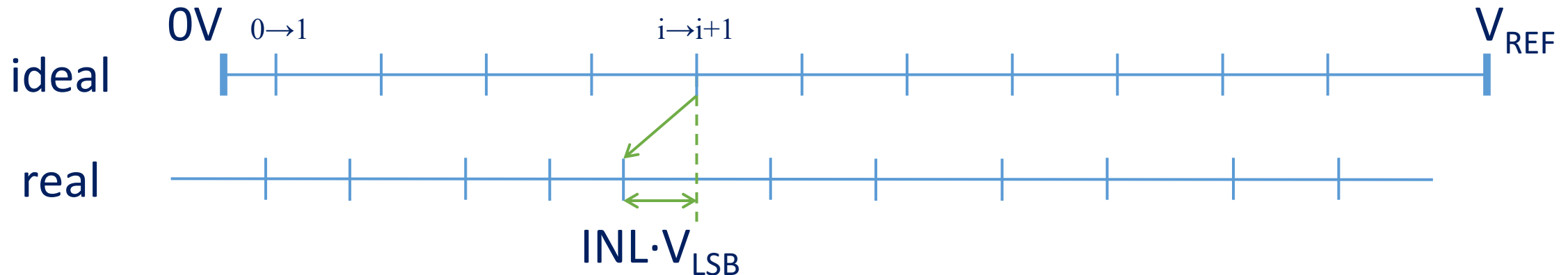
Differential nonlinearity (DNL)

- Az intervallumok nem egyformák, akár negatívak
- DNL = az ideálistól (V_{LSB}) való legnagyobb eltérés
- Nem praktikus kompenzálni



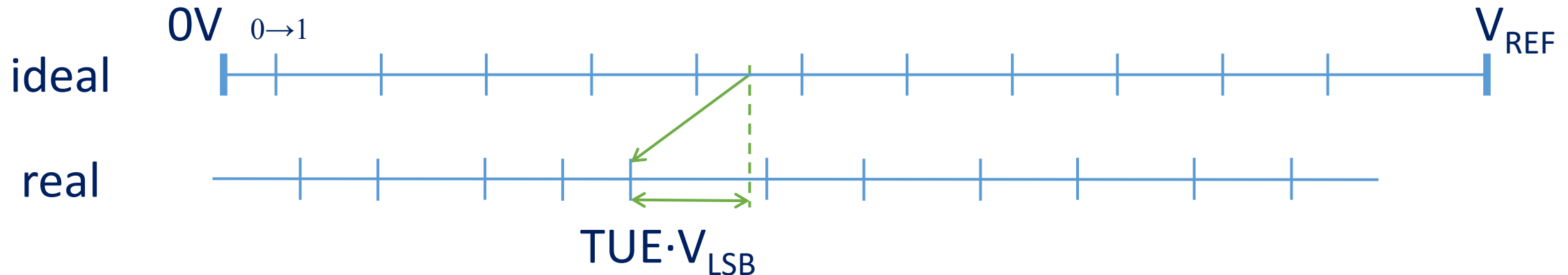
Integral nonlinearity (INL)

- Halmozott hiba, a DNL felösszegzése
- Az ideálistól $((i+\frac{1}{2}) \cdot V_{\text{LSB}})$ való legnagyobb eltérés
- Nem praktikus kompenzálni



Total unadjusted error (TUE)

- A teljes hiba – a valóságban ez jelenik meg
 - offset, full scale, INL, quantization
- Nem csak átmeneteknél vizsgáljuk
- Részben kompenzálható



A/D konverterek meghajtása

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 

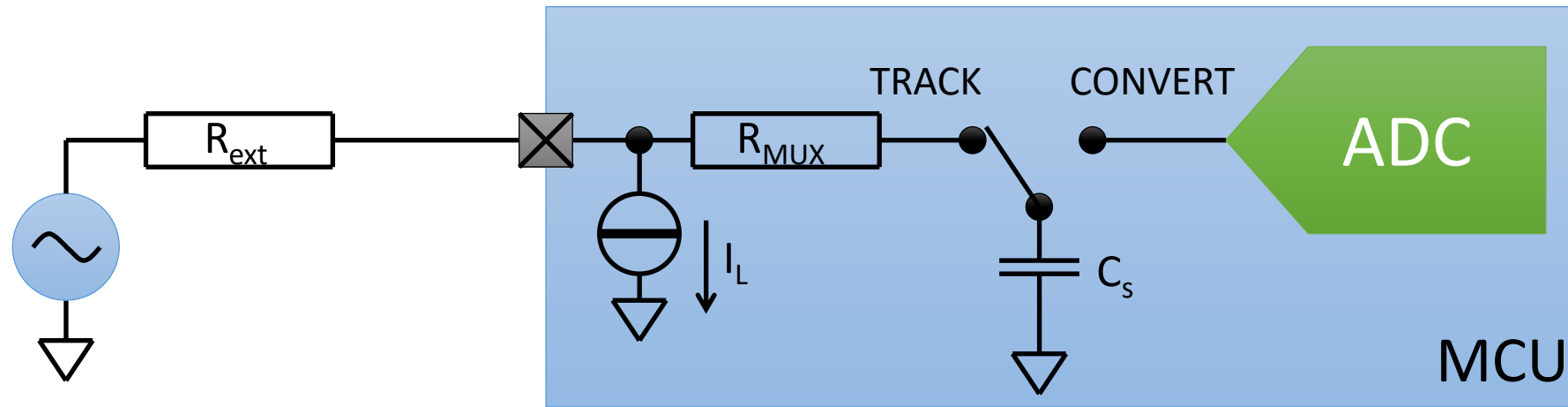


Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

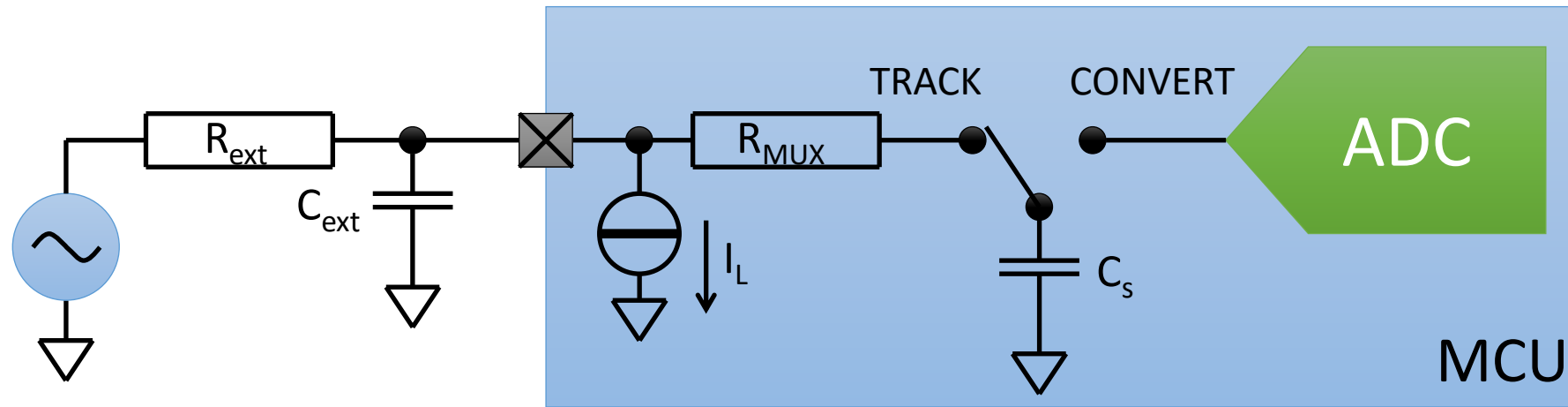
Meghajtás



- C_s minden mintavételkor feltöltődik
- R_{ext} legyen kicsi
- Beállási idő V_{REF}/N pontossággal:

$$t \leq (R_{ext} + R_{MUX}) \cdot C_s \cdot \ln(N)$$

Meghajtás



- Ha R_{ext} nagy vagy erősítő kimenet hajt meg
- átlagos áram: $f_s \cdot C_s \cdot V$
- átlagos feszültségesés: $f_s \cdot C_s \cdot V \cdot R_{ext}$
- $C_{ext} \gg C_s$ (pl. $C_{ext} \geq N \cdot C_s$)

A/D konverter paraméterek

ATmega328

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

A/D konverter paraméterek

C8051F410

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

A/D konverter paraméterek STM32L452

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

A/D konverter paraméterek

C8051F350

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Beágyazott technológiák

Beágyazott C kódolási szabványok

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

A kódolási szabványok szerepe

- Szabvány
 - megbízhatóság biztosítása, hibák elkerülése
 - jól kidolgozott, bevált módszerek követése
 - műszaki területen nélkülözhetetlen
- Beágyazott rendszerek megbízhatósága alapvető
 - kódminőség, fejleszthetőség
 - fontosabb, mint a programozó kényelme

A kódolási szabványok szerepe

- Jó programozási stílus – jó nyelvhasználat
- Egységesesség, érthetőség
- Hibák megelőzése
- Karbantarthatóság
- Csapatmunka
- Hordozhatóság

Szabványok

- Cégek speciális szabványai
- MISRA C
 - Motor Industry Software Reliability Association
 - szigorúbb, nagyobb biztonság
- Barr Group Embedded C coding standard
 - hozzáférhető, nyílt elérésű
 - informatív leírás
 - kevésbé szigorú, de összefér a MISRA C-vel

Beágyazott technológiák

Beágyazott C kódolási szabványok
Barr Group Embedded C coding standard
Formai szabályok

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Sorok hossza, zárójelezés

- A sorhossz maximuma 80 karakter
- *if, else, switch, while, do, for* után zárójelek
 - egyetlen utasítás esetén is
 - a zárójelek külön sorban
 - megfelelő behúzással

```
{  
    if (...)  
    {  
        ...  
    }  
    else  
    {  
        ...  
    }  
}
```

```
{  
    if (...) {  
        ...  
    } else {  
        ...  
    }  
}
```

Zárójelek

- Ne függjön a kód az operátorok kiértékelési sorrendjétől
- Zárójelekkel lehet egyértelműsíteni

```
if ((voltage > MAX_VOLTAGE) || (current > MAX_CURRENT))
```

Kommentek

- Minden komment angol nyelvű
- Nyelvtanilag helyes, teljes mondatok
- Feltételezések kifejtése
- Kódot ideiglenesen sem szabad kommentbe helyezéssel hatástalanítani
 - Helyette pl. *#if ... #endif* blokk használható

Bekezdések, sortörések

- A bekezdések 4 space egész többszörösei
- Ne használjunk tabulátor karaktert
- Hosszú soroknál sortörés után beljebb kell húzni
 - Minél olvashatóbb módon

```
if ((voltage > MAX_VOLTAGE)  
    || (current > MAX_CURRENT))
```

Beágyazott technológiák

Beágyazott C kódolási szabványok
Barr Group Embedded C coding standard
Fontosabb kódolási szabályok

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Header fájlok

- Minden forráskód fájlhoz azonos nevű header
- Minden header fájlban legyen védelem többszöri beillesztés ellen
- Változókat ne deklaráljunk, helyet ne foglaljunk

```
#ifndef ACCELEROMETER_H
#define ACCELEROMETER_H
...
#endif // ACCELEROMETER_H
```

Forrásfájlok

- Csak olyan legyen benne, ami bele illik
- Csak használt header fájlok
- Ne legyen más forrásfájl beillesztve

Adattípusok elnevezése

- Új típusok neve `_t` végű
- Alaptípusok (C99)
- Konstansok végén típus
 - `123u`
 - `12.3f`

```
unsigned char    hour;  
short           adc_data;
```

```
bool  
int8_t           uint8_t  
int16_t          uint16_t  
int32_t          uint32_t  
float32_t  
float64_t
```

```
uint8_t hour;  
int16_t adc_data;
```

Előjelek, lebegőpontos számok

- Bitműveletek csak előjel nélküli adatokon
- Egészek műveleteiben, összehasonlításában azonos vagy csak előjeles, vagy csak előjel nélküli
- Lebegőpontos számoknál sosem használhatók:
== és !=

Eljárások, függvények elnevezése

- A nevek hossza nem több, mint 31 karakter
- Nem kezdődhet aláhúzás karakterrel
- Csak kisbetűs, makróknál csak nagybetűs nevek
- Szavak elválasztásához aláhúzás karakter
- A névből világosan derüljön ki a tartalom
- Megszakítások kezelésénél a név végén _isr

Változók elnevezése

- Az előzőknek megfelelő számos szabály
- Változók neve legalább 3 karakter (ciklusváltozóknál is)
- Globális változók g_ kezdetűek
- Mutatók p_ kezdetűek
- Logikai értéket tartalmazó egészek b_ kezdetűek

Utasítások néhány szabálya

- Változók deklarálásakor ne használjuk a vesszőt
 - `int8_t * row,column;`
- Az if else szerkezetek rövidek legyenek
- Mélységük ne legyen kettőnél több
 - megoldás: függvények vagy *switch – case*

Utasítások néhány szabálya

- A feltételvizsgálatban ne legyen értékadás
 - `if ((voltage = get_adc_voltage()) > MAX_VOLTAGE)`
- *else if* után mindig legyen *else* lezárásképp
 - mint a *default* a *switch – case* esetben

Utasítások néhány szabálya

- Ciklusok határai ne legyenek „mágikus számok”
 - `for (row = 10; row < 100; row++)`
- Végtelen ciklus (?):
 - `for (;;)`

2. Modern měřestechnika

Tananyagrész elérhetősége

- YouTube lejátszási lista

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL-0Sm209reshq6SidA0g2pwz9r9C4tzEw>

2.1. Statisztika, mérési eredmény megadása

01 – Mérések alapjai, mértékegységek

02 – Valószínűségszámítás és statisztika alapjai

03 – Hisztogramok és sűrűségfüggvény

04 – Mérési eredmény megadása

05 – Hibaterjedés

Modern mérés technika 1.

Mérések alapjai Mértékegységek

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Bevezetés

- Cél: alapfogalmak és összefüggések megértése
- További felkészülés:
 - Előadások látogatása
 - Előadás fóliák
 - Ajánlott irodalom

Mérés fogalma I.

*A mért jellemzők leképezése egy
szimbólumhalmazra*

- Példák:
 - Alma színe → piros
 - Ember magassága → 195 cm

Mérés fogalma II.

Egy mennyiség nagyságának jellemzése a választott mértékegységben jellemzett számmértékkel

- Mennyiség = számmérték · mértékegység
- Magasság: $h = 195 \cdot \text{cm}$

Mérés fogalma III.

Egy ismeretlen mennyiség egy ismert állandónak gondolt mennyiséggel való összehasonlítása

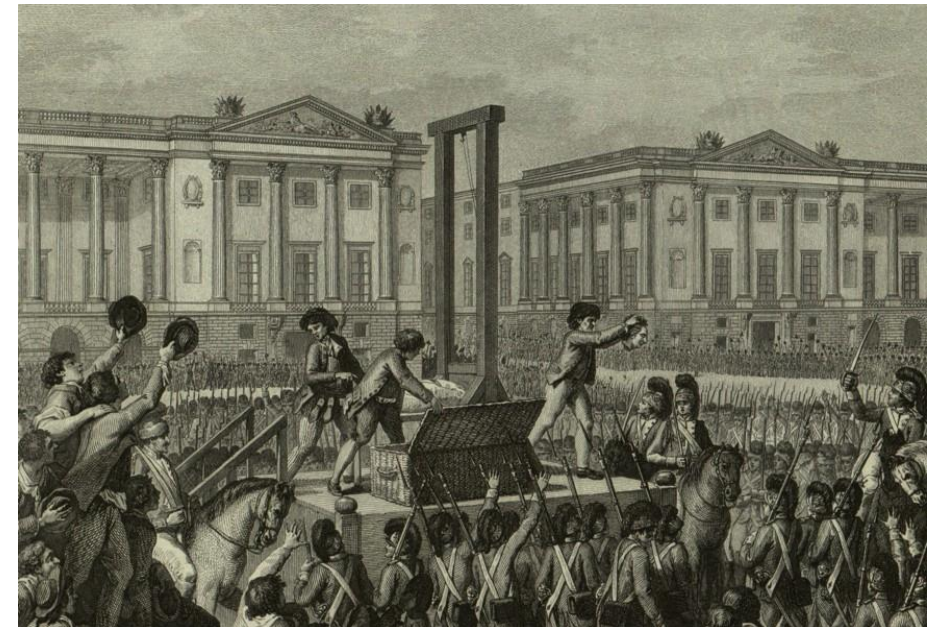
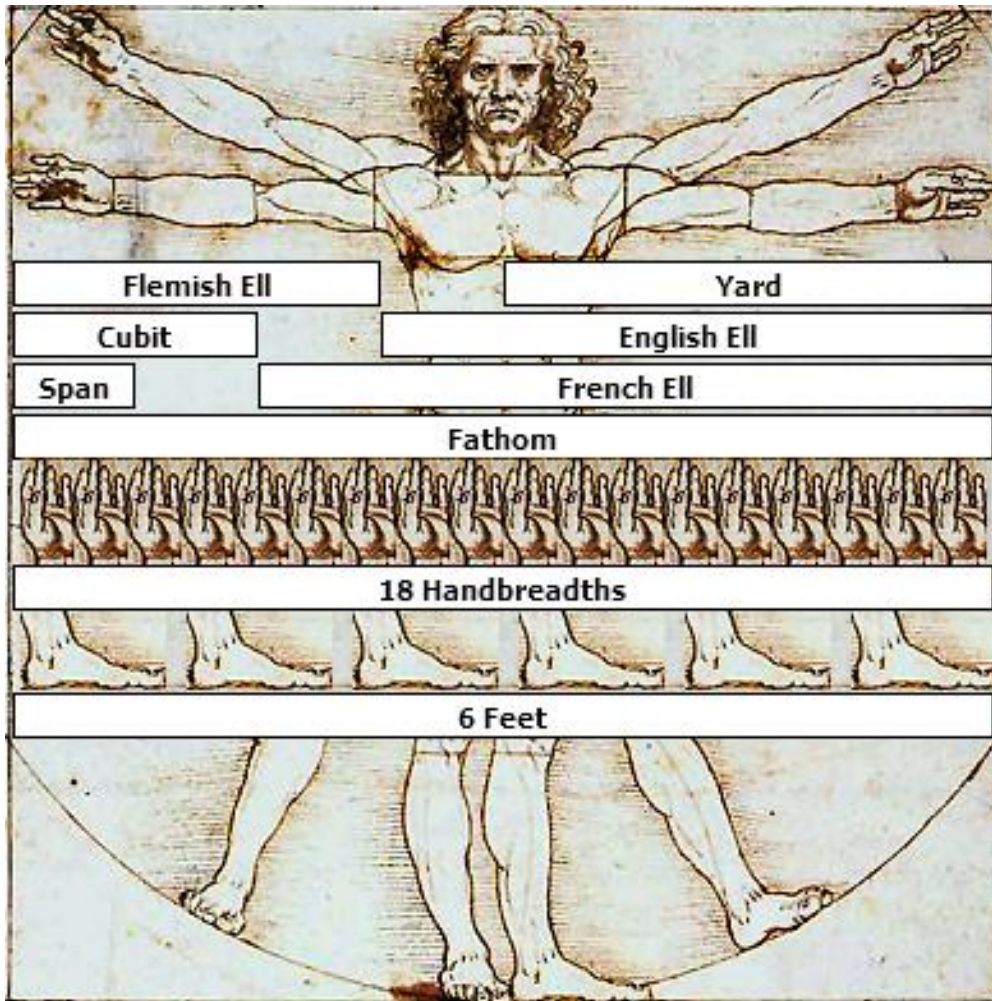
- Ez az állandó (*etalon*) rendelkezésre kell álljon
- Az összehasonlítás lehet közvetlen vagy közvetett

Etalon kiválasztásának szempontjai

- Pontosság
- Időben állandó (reprodukálható)
- Könnyű elérhetőség
- Elméleti alátámasztás

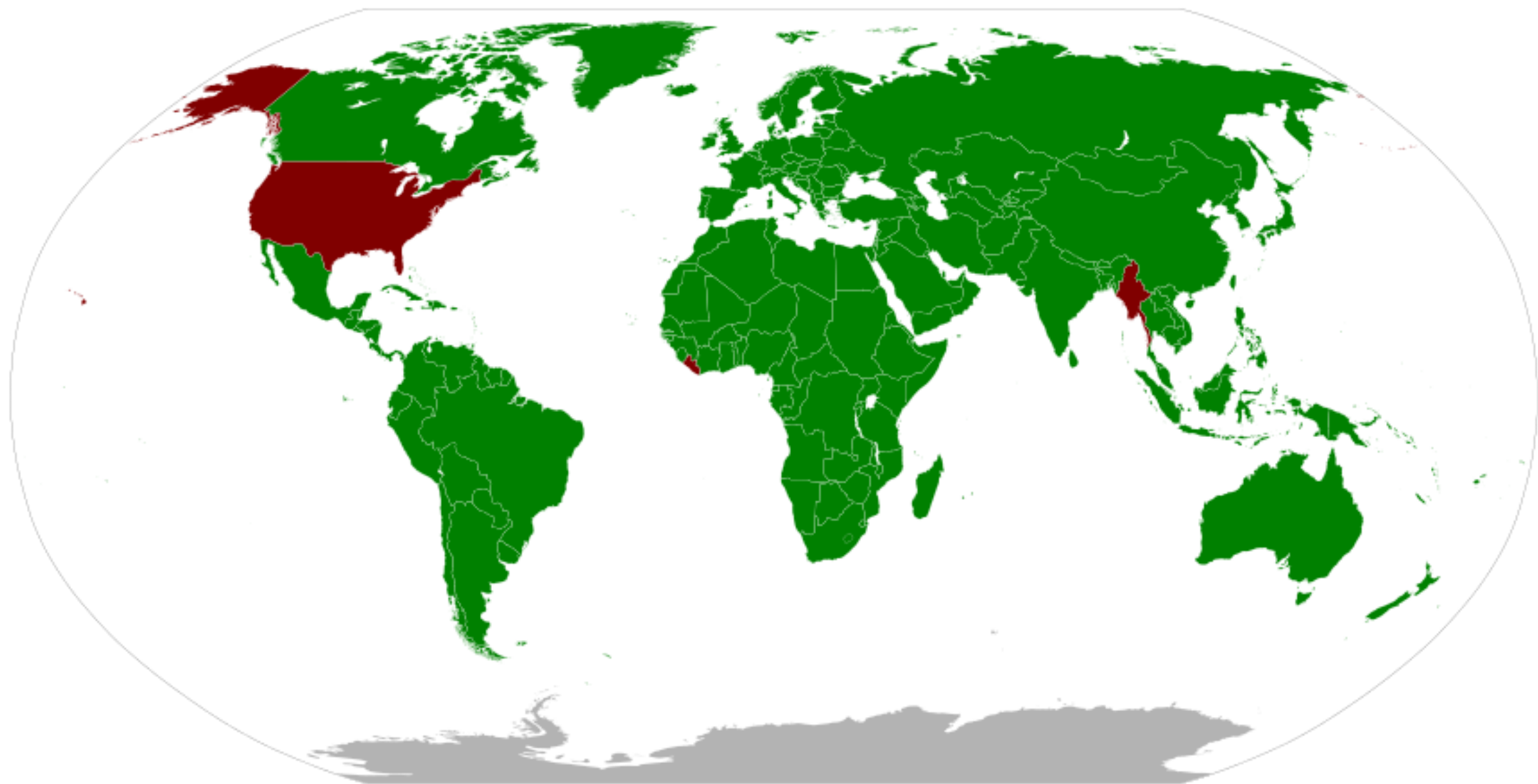
Tradicionális egységek

- Emberi testhez kötött



Metrikus rendszer

- 1791 – francia forradalom
- Méter: Párizson áthaladó délkör negyvenmilliomod része
- Gramm: 1 cm^3 víz tömege az olvadó jég hőmérsékletén
- 1875 – Méteregyezmény
- ...
- 1960 – SI: *Système international (d'unités)*



SI alapegységek

- Másodperc (s)
- Méter (m)
- Kilogramm (kg)
- Ampere (A)
- Kelvin (K)
- Kandela (cd)
- Mól (mol)
- Kiegészítő egységek*:
 - Radián
 - Szteradián

Másodperc – korábbi definíciók

- Egy nap $1/86400$ -ad része
- Az 1900-as trópusi év $1/31\,556\,925,9747$ -ed része

Etalon követelményei:

- Pontosság
- Reprodukálhatóság
- Könnyű elérhetőség
- Elméleti alátámasztás

Másodperc – aktuális definíció

- *A másodperc az alapállapotú cézium-133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama.*

Etalon követelményei:

- Pontosság
- Reprodukálhatóság
- Könnyű elérhetőség
- Elméleti alátámasztás

Méter – korábbi definíciók

- Párizson áthaladó délkör negyvenmillimod része
- A méteretalon hossza
- *A méter a kripton-86 atom $2p_{10}$ és $5d_5$ energiaszintje közötti átmenetének megfelelő, vákuumban terjedő sugárzás hullámhosszának $1\,650\,763,73$ -szorosa.*

Etalon követelményei:

- Pontosság
- Reprodukálhatóság
- Könnyű elérhetőség
- Elméleti alátámasztás

Méter – aktuális definíció

- *A méter a fény által a vákuumban a másodperc $1 / 299\,792\,458$ -ad része alatt megtett út hossza.*

Etalon követelményei:

- Pontosság
- Reprodukálhatóság
- Könnyű elérhetőség
- Elméleti alátámasztás

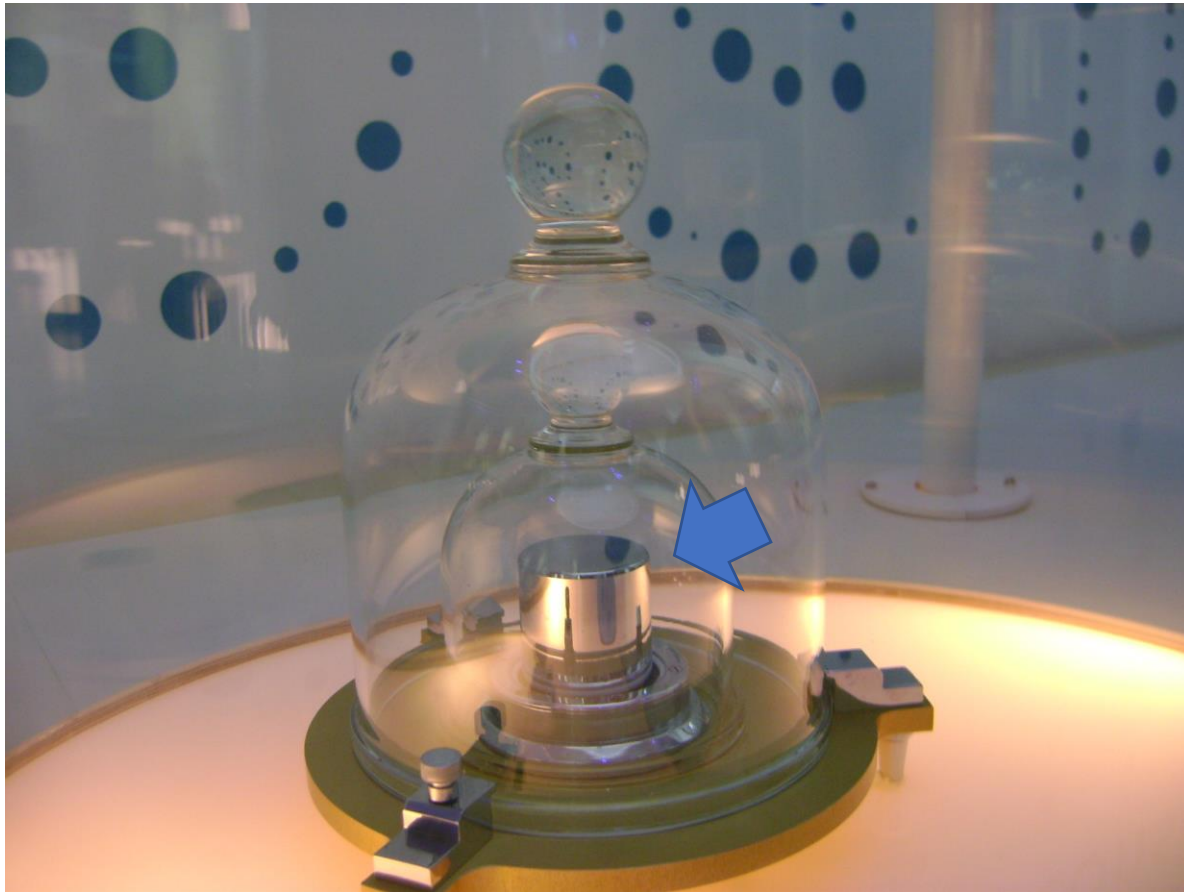
Kilogramm – korábbi definíciók

- *Egy kilogramm annyi víznek a tömege, amely egytized méter élhosszúságú kockába fér a víz fagyáspontján*

Etalon követelményei:

- Pontosság
- Reprodukálhatóság
- Könnyű elérhetőség
- Elméleti alátámasztás

Kilogramm – aktuális definíció



(csak másolat)

Etalon követelményei:

- Pontosság
- Reprodukálhatóság
- Könnyű elérhetőség
- Elméleti alátámasztás

Tervek az SI egységrendszer megújítására

- Természeti állandók
 - Planck-állandó ($\rightarrow$ kg)
 - Elemi töltés ($\rightarrow$ A)
 - Boltzmann-állandó ($\rightarrow$ K)
 - Avogadro-szám ($\rightarrow$ mol)
- Döntés: 2018. november 16. ?

SI prefixumok

Jele	Szorzó	Név
Y	10^{24}	yotta
Z	10^{21}	zetta
E	10^{18}	exa
P	10^{15}	peta
T	10^{12}	tera
G	10^9	giga
M	10^6	mega
k	10^3	kilo
h	10^2	hekto
da / dk	10^1	deka

Jele	Szorzó	Név
y	10^{-24}	yocto
z	10^{-21}	zepto
a	10^{-18}	atto
f	10^{-15}	femto
p	10^{-12}	piko
n	10^{-9}	nano
μ (u)	10^{-6}	mikro
m	10^{-3}	milli
c	10^{-2}	centi
d	10^{-1}	deci

Származtatott egységek

- SI-alapegységek hatványainak szorzatai vagy hányadosai
- Pl.
 - $C = A \cdot s$
 - $V = J \cdot C^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$

Korlátozás nélkül használható egységek

- Térfogat: liter (l, L)
- Síkszög: fok ($^{\circ}$), ívperc, ívmásodperc
- Tömeg: tonna (t)
- Idő: perc (min), óra (h), nap (d)
- Sebesség: km/h
- Munka: Wh
- Hőmérséklet: $^{\circ}\text{C}$

Korlátozásokkal használható egységek

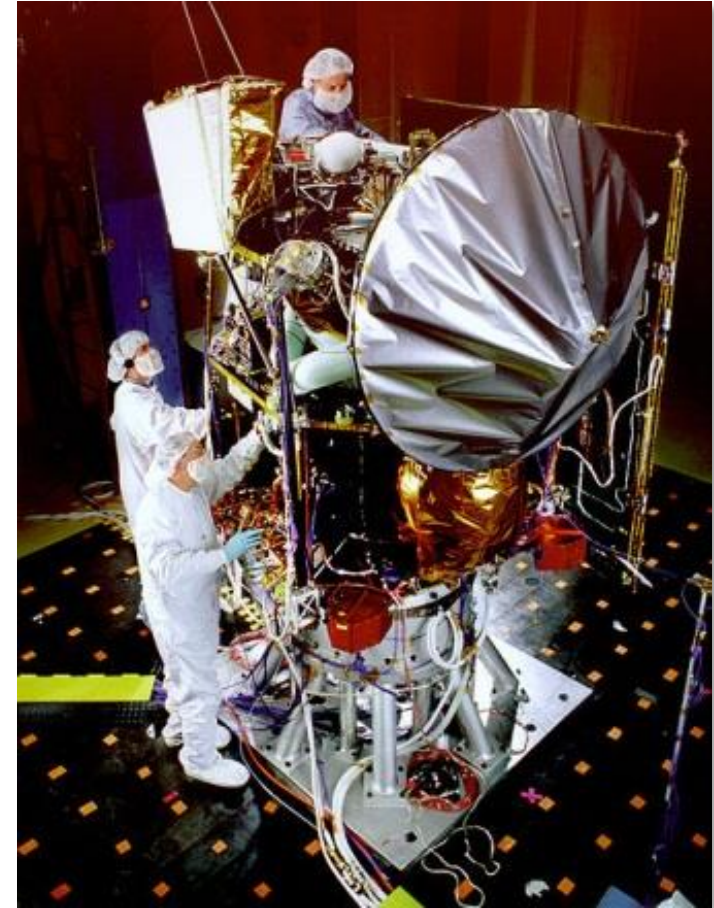
- Hosszúság: tengeri mérföld, csillagászati egység, parsec, fényév
- Terület: hektár
- Síkszög: gon
- Tömeg: atomi egység
- Nyomás: bar, mmHg, atm
- Energia: elektronvolt
- Teljesítmény: VA, var

USA hagyományos mértékegységrendszer

- Hivatalos egységrendszer itt: USA
- A technikai életben elterjedt
- Példák:
 - hüvelyk, láb, yard, mérföld
 - gallon, pint
 - uncia, font, tonna (short ton)

Miért fontos?

- Mars Climate Orbiter
- Egyik szoftverelem
lbf · s egységet használt,
a másik N · s egységet



Modern mérés technika 2.

Valószínűségszámítás és statisztika alapjai

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Alapfogalmak

- **Tömegjelenség:** azonos körülmények között akárhányszor lejátszódhat, megfigyelhető vagy elvégezhető jelenség
- **Véletlen jelenség:** a kimenetelét a figyelembe vehető tényezők összessége nem határozza meg egyértelműen
Nem tudjuk az esemény kimenetét befolyásolni

Alapfogalmak

- **Véletlen tömegjelenség:** olyan tömegjelenség, ahol az egyes események kimenete nem megjósolható
- **Véletlen kísérlet:** véletlen tömegjelenség
 - megfigyelése
 - előidézése

Alapfogalmak

- **Elemi esemény:** egy kísérlet egyes megkülönböztethető véletlentől függő, lehetséges kimenetelei

Alapfogalmak

- **Eseménnytér:** az összes lehetséges elemi eseményből álló halmaz

Alapfogalmak

- **Esemény:** a kísérlet során vagy bekövetkezik, vagy nem. Az eseménytér részhalmaza.
- Példa kockadobás esetén
 - Az eredmény hatos (elemi esemény)
 - Az eredmény páros

Valószínűség fogalma

- **Egy A esemény valószínűsége ($P(A)$):**
a kísérletet (végtelen) sokszor elvégezve, az esetek hány százalékában következik be az A esemény.

Valószínűség számolása kombinatorika segítségével

- Kockadobás eredménye: '6':

$$P('6') = \frac{1}{6}$$

- Kockadobás eredménye páros:

$$P('páros') = \frac{3}{6}$$

Valószínűségi változó fogalma

- **Valószínűségi változó:**
olyan mennyiség, amelynek számmértéke
valamilyen véletlen esemény kimenetelétől függ.
- Példák:
 - Kockadobás eredménye szám
 - Több kockával való dobás esetén: hatosok száma
 - Pénzfeldobás: ,fej' $\rightarrow$ 0 , ,írás' $\rightarrow$ 1

Valószínűségi változók típusa

- **Diszkrét:** Megszámlálhatóan sok lehetséges érték, minden egyes értékhez egy valószínűséget lehet hozzárendelni.
- **Folytonos:** Értékei folytonosan kitöltenek egy intervallumot.

Várható érték

- A véletlen kísérletek során a valószínűségi változó értékei a várható érték körül ingadoznak
- Definíció:

$$E(x) = \langle x \rangle = \mu = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N}$$

- Mérések során a várható értéket sokszor a valódi értékkel azonosítjuk

Várható érték számolása

- Diszkrét eset:

$$E(x) = \sum_{i=1}^k x_i p_i$$

- Folytonos eset:

$$E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx$$

Példa várható érték számolására

- Dobókocka dobás várható értéke:

$$\langle x \rangle = 1 \cdot \frac{1}{6} + 2 \cdot \frac{1}{6} + 3 \cdot \frac{1}{6} + 4 \cdot \frac{1}{6} + 5 \cdot \frac{1}{6} + 6 \cdot \frac{1}{6} = 3,5$$

A várható érték tulajdonságai

- Konstanssal való szorzás:

$$E(a \cdot x) = a \cdot E(x)$$

- Valószínűségi változók összege:

$$E(x_1 + x_2 + \cdots) = E(x_1) + E(x_2) + \cdots$$

Szórás

- Megadja, hogy mennyire térnek el az egyes eredmények a várható értéktől
- Definíció:

$$D^2(x) = \sigma^2 = E((x - E(x))^2)$$

Szórás számolása

- Diszkrét eset:

$$D^2(x) = \sum_{i=1}^k (x_i - E(x))^2 p_i$$

- Folytonos eset:

$$D^2(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - E(x))^2 f(x) dx$$

Szórás tulajdonsága

- Konstanssal való szorzás:

$$D(a \cdot x) = a \cdot D(x)$$

- Valószínűségi változók összege

ha az egyes értékek függetlenek egymástól:

$$D^2(x_1 + x_2 + \dots) = D^2(x_1) + D^2(x_2) + \dots$$

Statisztikai alapfogalmak

- **Statisztikai sokaság:** objektumok összessége, mindegyik objektumhoz tartozik egy numerikus jellemző (valószínűségi változó)
- **Megfigyelés (mérés):** a sokaságból kiválasztunk egy halmazt
mintavételezés → minta

Statisztikai alapfogalmak

- **Becslés:** a sokaság tulajdonságaira (paramétereire) következtetünk a minta adatai (jellemzői) alapján
- Jelölés: $\overline{x}_N$
 - Torzítatlan becslés: $E(\overline{x}_N) = E(x)$
 - Konzisztens becslés: $\lim_{N \rightarrow \infty} P(|\overline{x}_N - E(x)| > \varepsilon) = 0$

Modern mérés technika 3.

Hisztogramok Sűrűségfüggvény

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Egy dobókocka eredményeinek eloszlása

Két dobókocka összegének eloszlása

10 dobókocka összegének eloszlása

Centrális határeloszlás-tétel

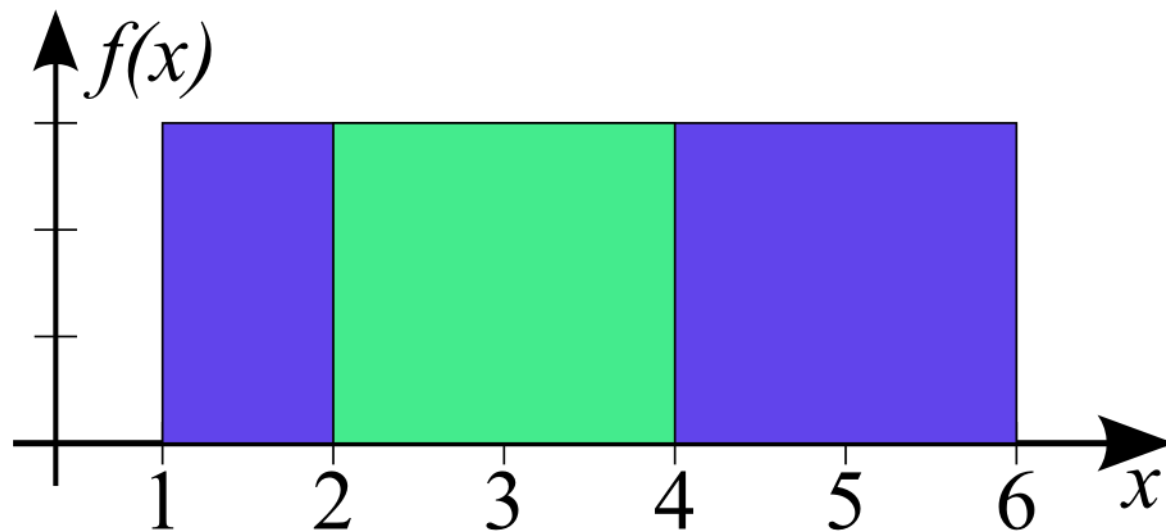
- Sok, független valószínűségi változó összegének eloszlása közelít a Gauss-eloszláshoz
(feltétel: a változók jól meghatározott középértékkel és szórásnégyzettel kell rendelkezzenek)
- Következmény: a természetben és technikai életben előforduló jelenségek nagy része Gauss-eloszlást követ

Folytonos valószínűségi változók hisztogramja

Empirikus sűrűségfüggvény (PDF)

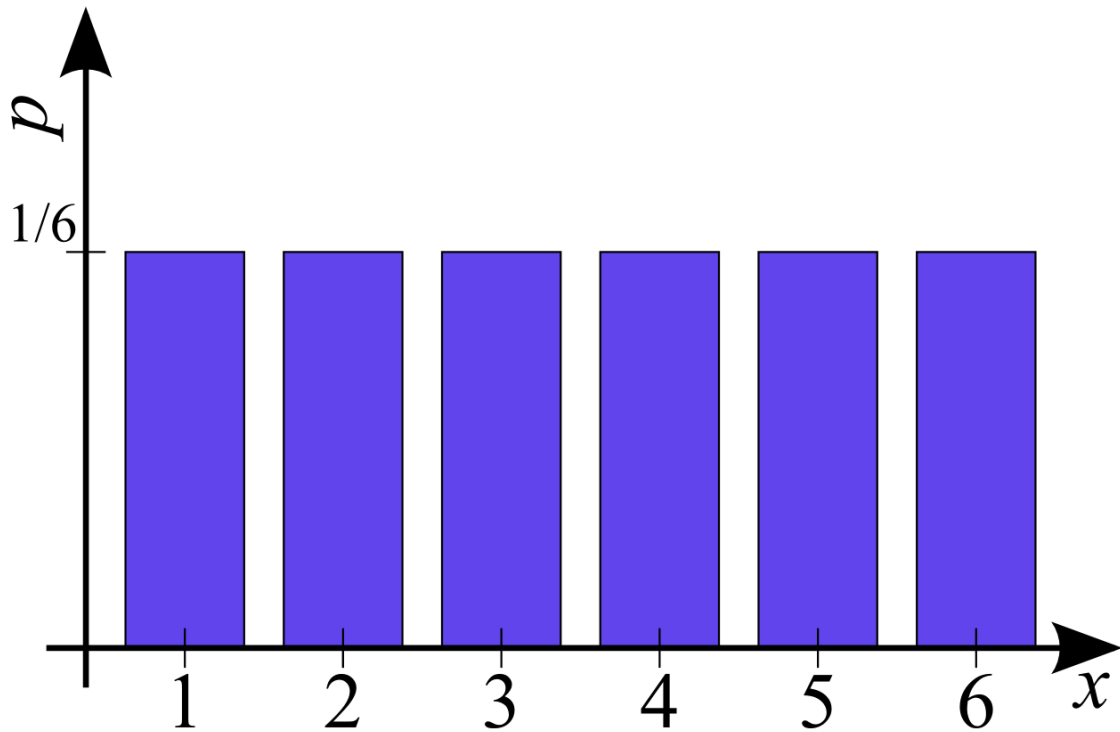
Sűrűségfüggvény használata

$$P(2 < X < 4) = \int_2^4 f(x) dx$$

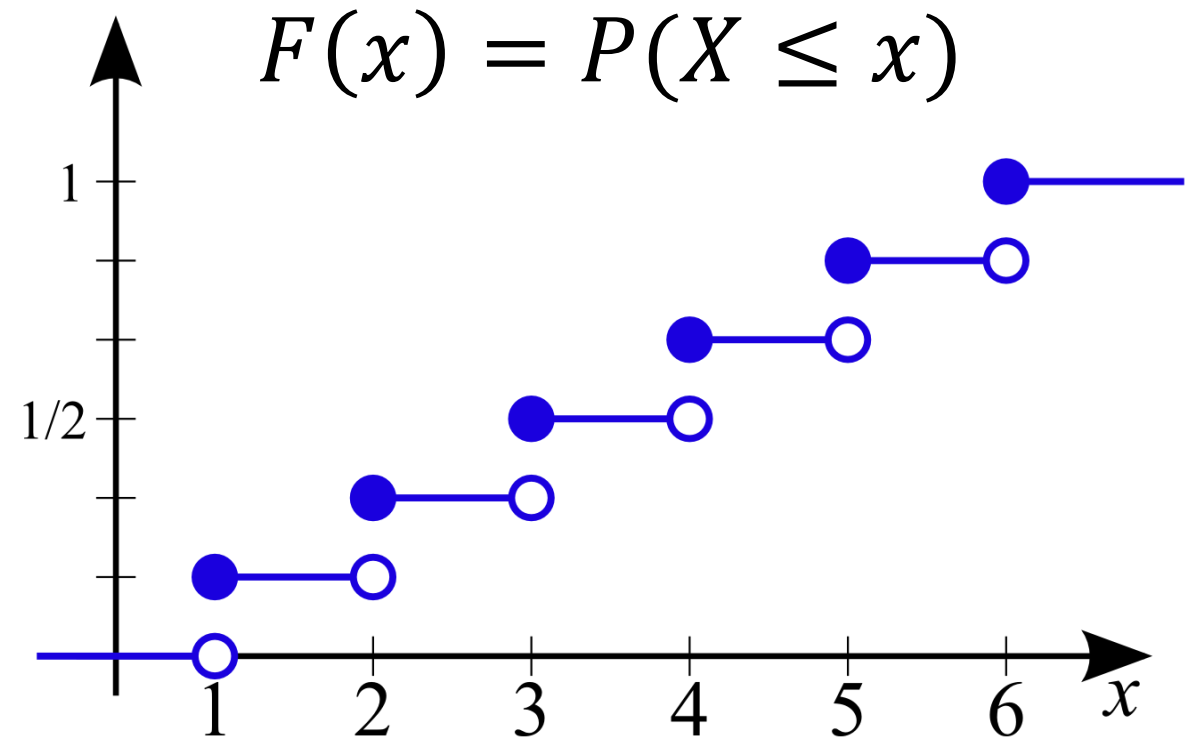


Eloszlásfüggvény (CDF) – diszkrét eset

Dobókocka gyakorisághistogramja

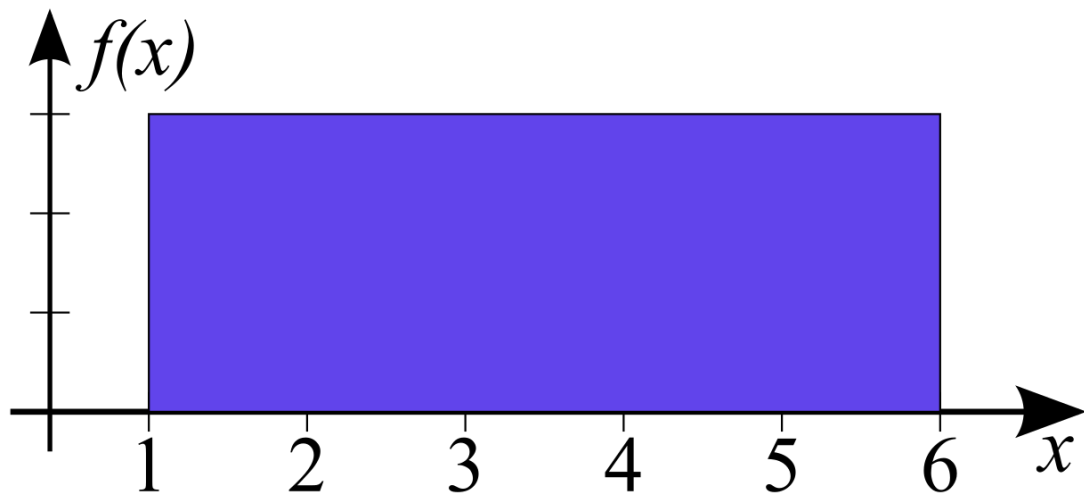


Eloszlásfüggvény $F(x)$



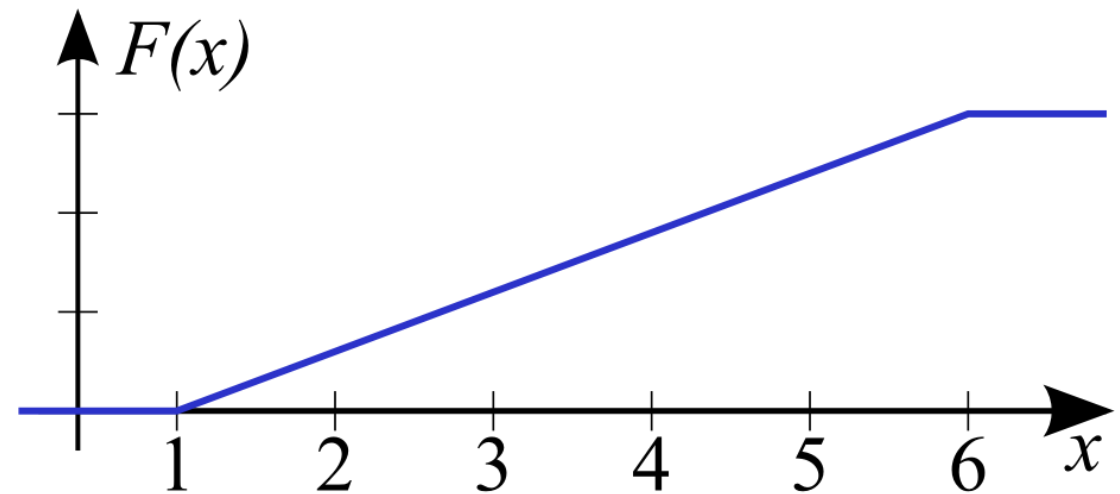
Eloszlásfüggvény (CDF) – folytonos eset

Sűrűségfüggvény $f(x)$



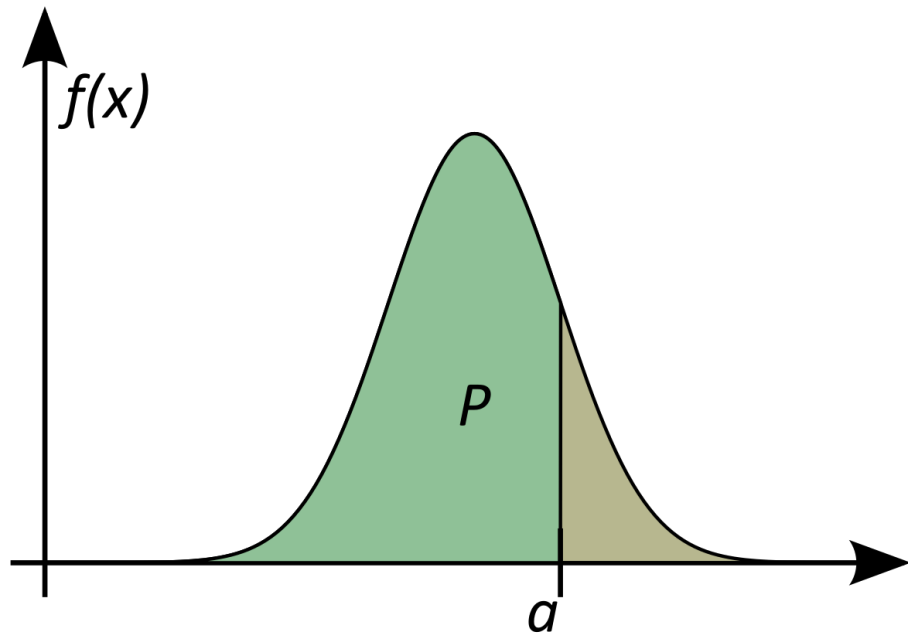
Eloszlásfüggvény $F(x)$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x') dx'$$

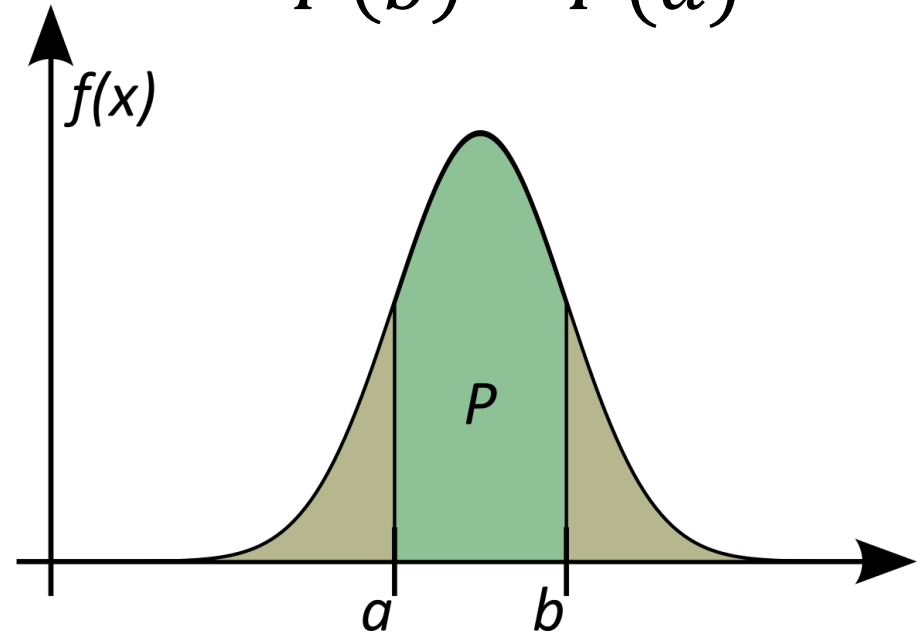


Eloszlásfüggvény használata

$$P(X < a) = \int_{-\infty}^a f(x) dx = F(a)$$

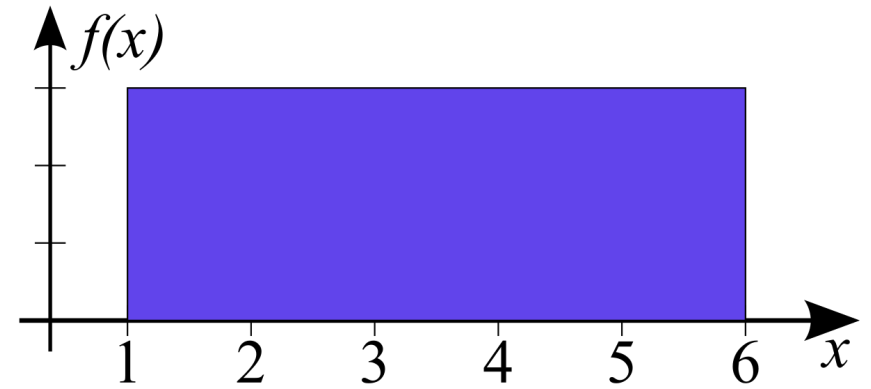


$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx$$
$$= F(b) - F(a)$$

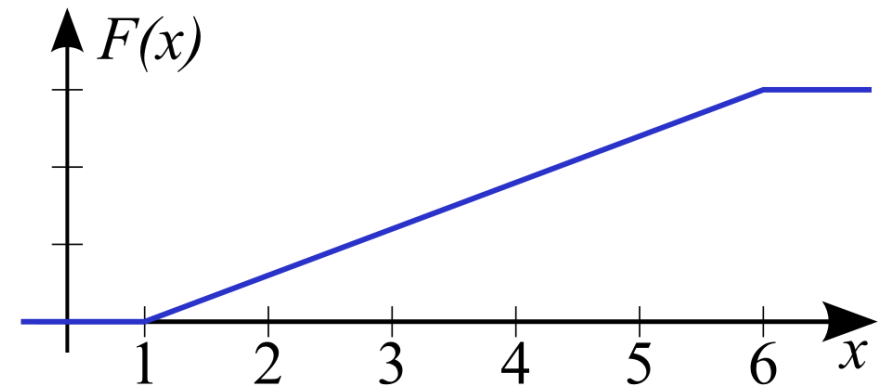


Egyenletes eloszlás

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{ha } a < x < b \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}$$

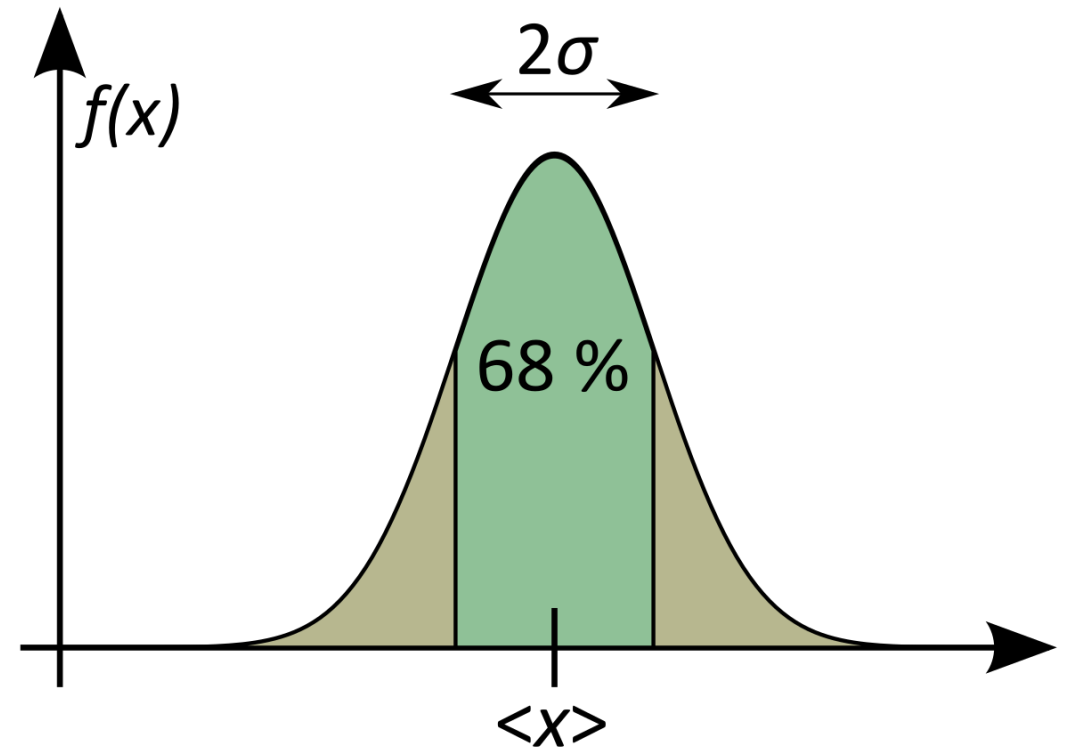


$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x') dx' = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{ha } a < x \leq b \\ 0 & \text{ha } x \leq a \\ 1 & \text{ha } x > b \end{cases}$$



Normális eloszlás (Gauss-eloszlás)

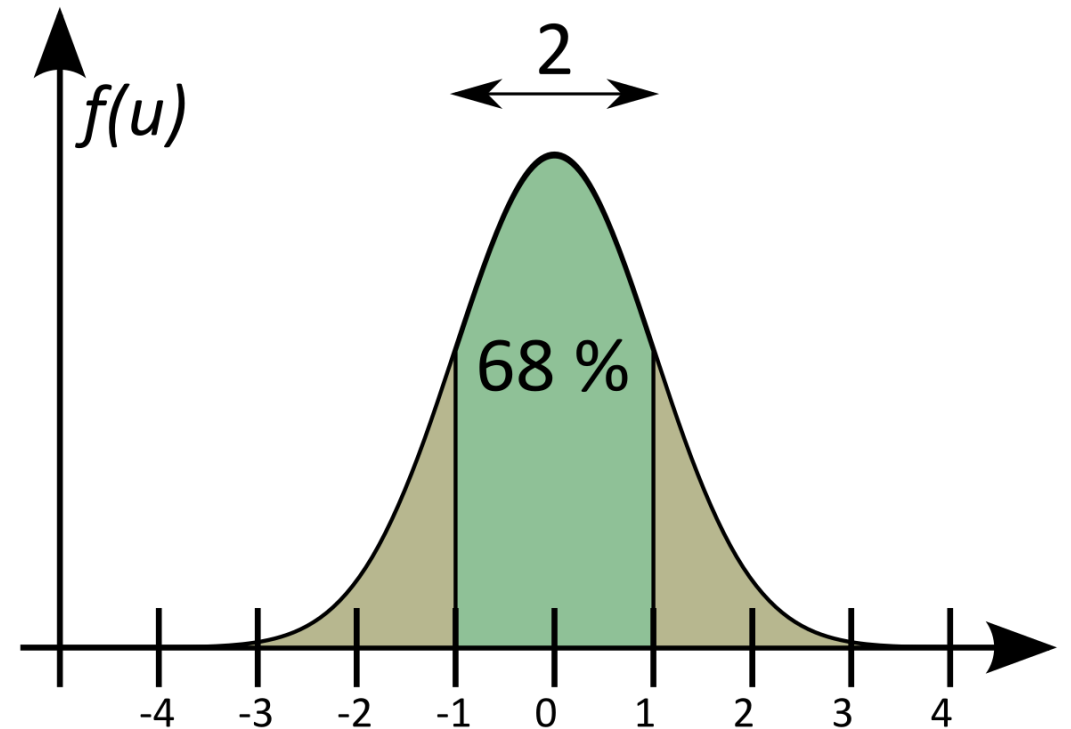
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$



Standard normális eloszlás

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \Rightarrow$$

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}$$



Modern mérés technika

4.

Mérési eredmény megadása

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Mérési hibák típusai

- Durva mérési hiba
- Determinisztikus hibák
- Véletlenszerű hibák

Determinisztikus hibák

(rendszeres mérési hibák)

- okok:
 - nullponthiba
 - skálahiba
 - hőmérséklet hatása a mérésre
 - ...
- Előre meghatározott → kompenzálható

Véletlenszerű hibák

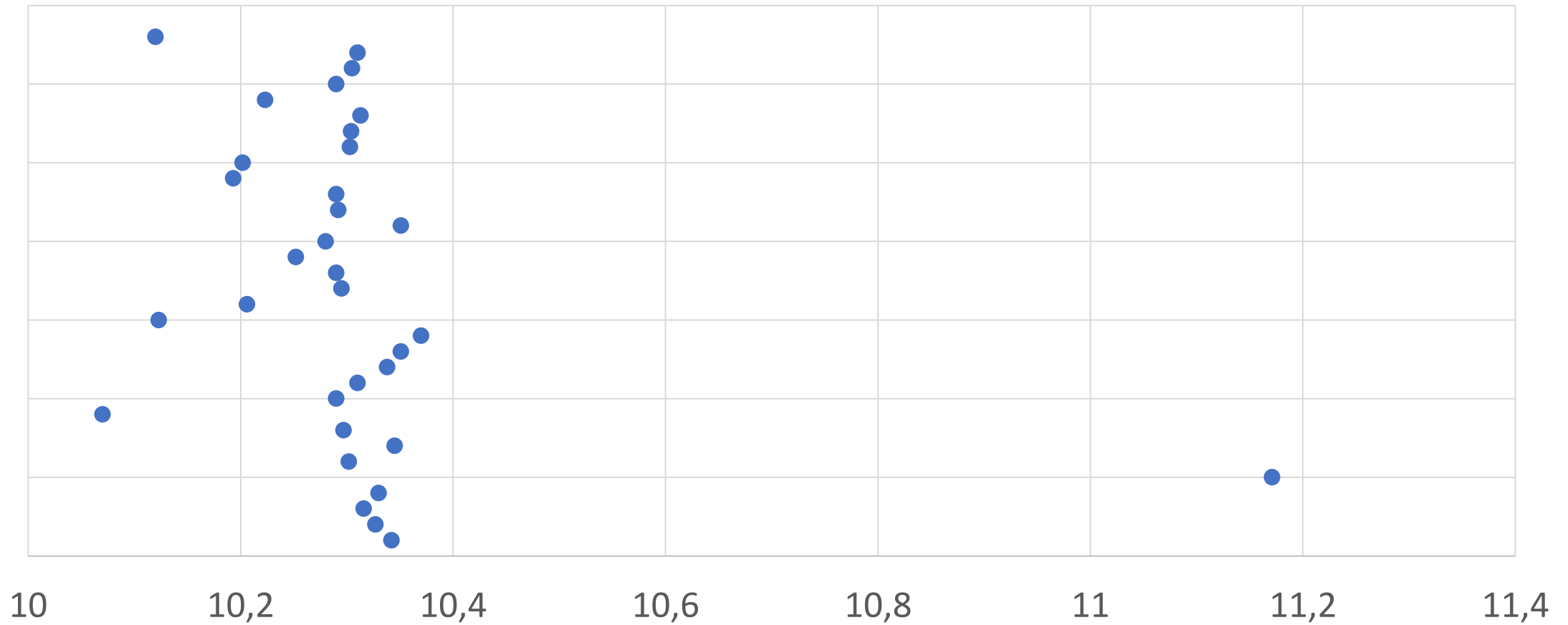
(mérési bizonytalanság)

- minden mérésnél más és más értékű
- nem megjósolható → nem kompenzálható
- okok:
 - zavarforrások
 - hőmérsékletingadozás
 - ...
- kezelés: statisztikai módszerek

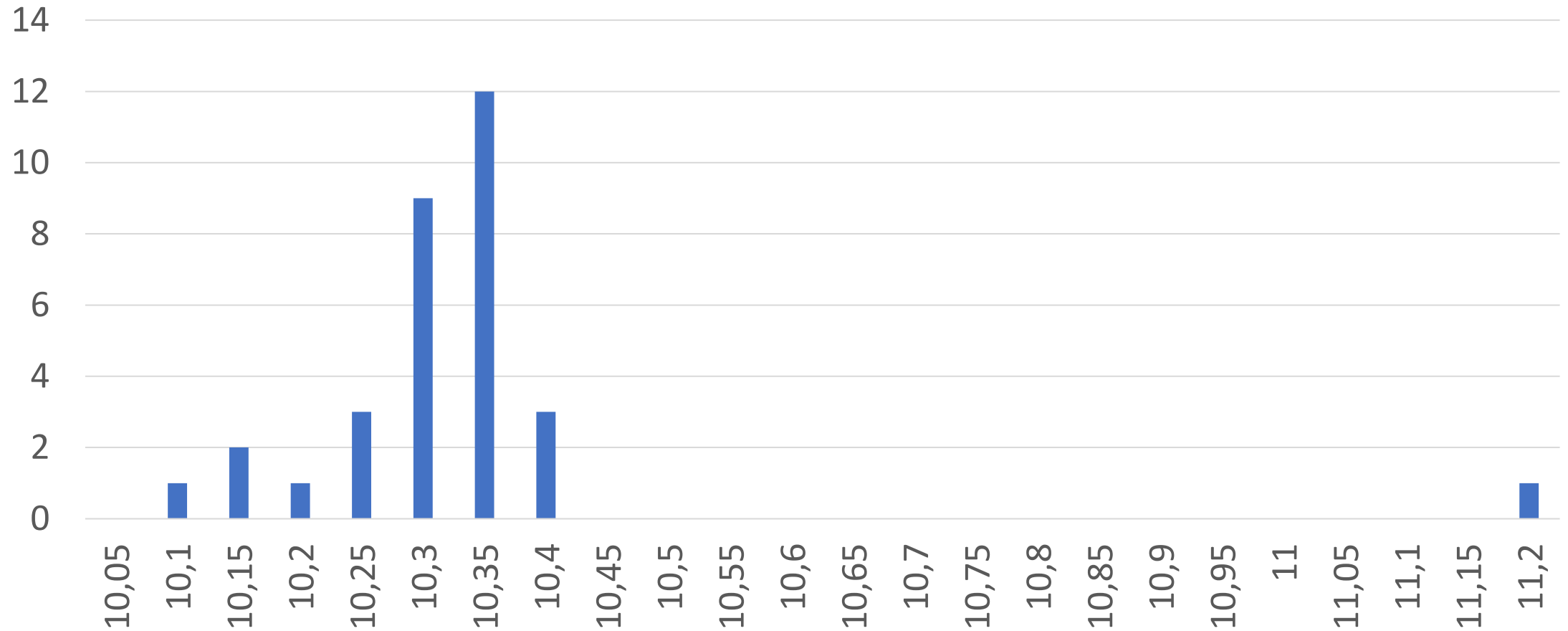
Valószínűségi változók a mérésekben

- A mért mennyiséghez egy véletlenszerű zaj adódik hozzá
 - pl. csillag mért intenzitása
(a légkör sűrűség-ingadozása miatt)
- Maga a mért mennyiség véletlenszerű
 - pl. emberek magassága

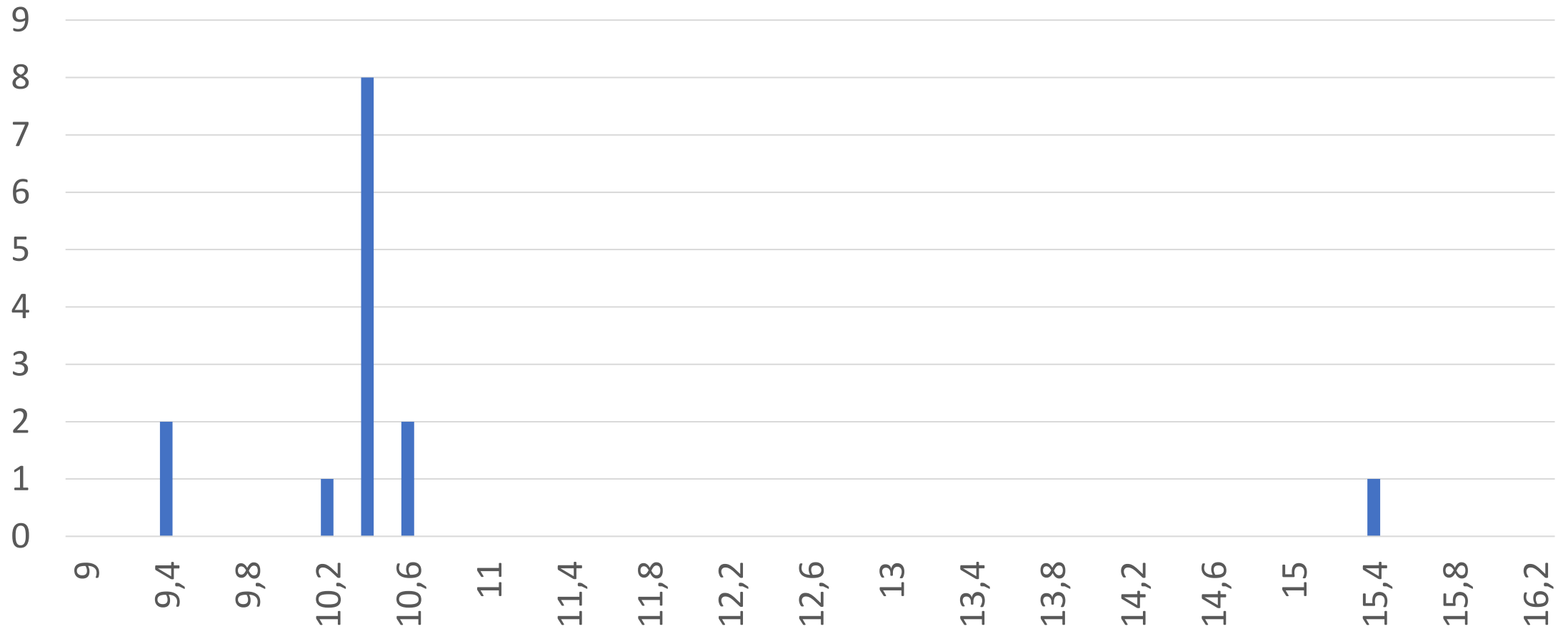
Példamérés



Példamérés – hisztogram

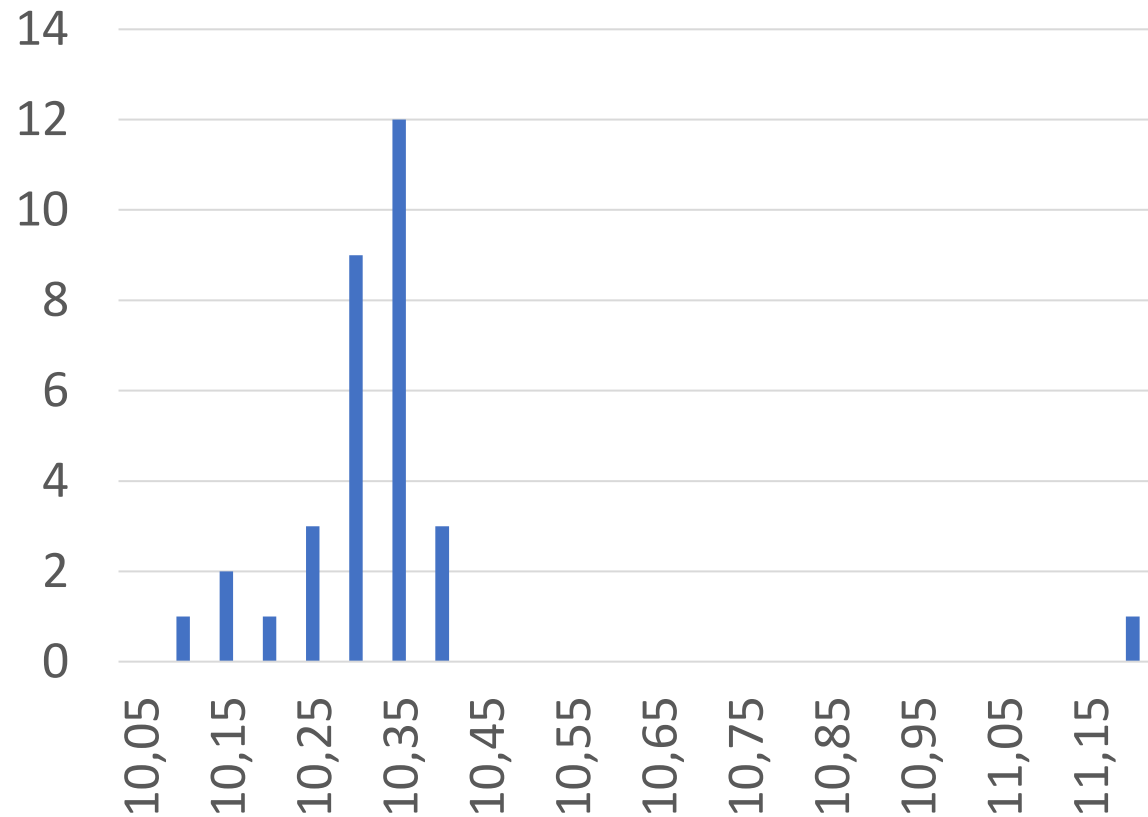


Példamérés – mérőssorozat ismétlése

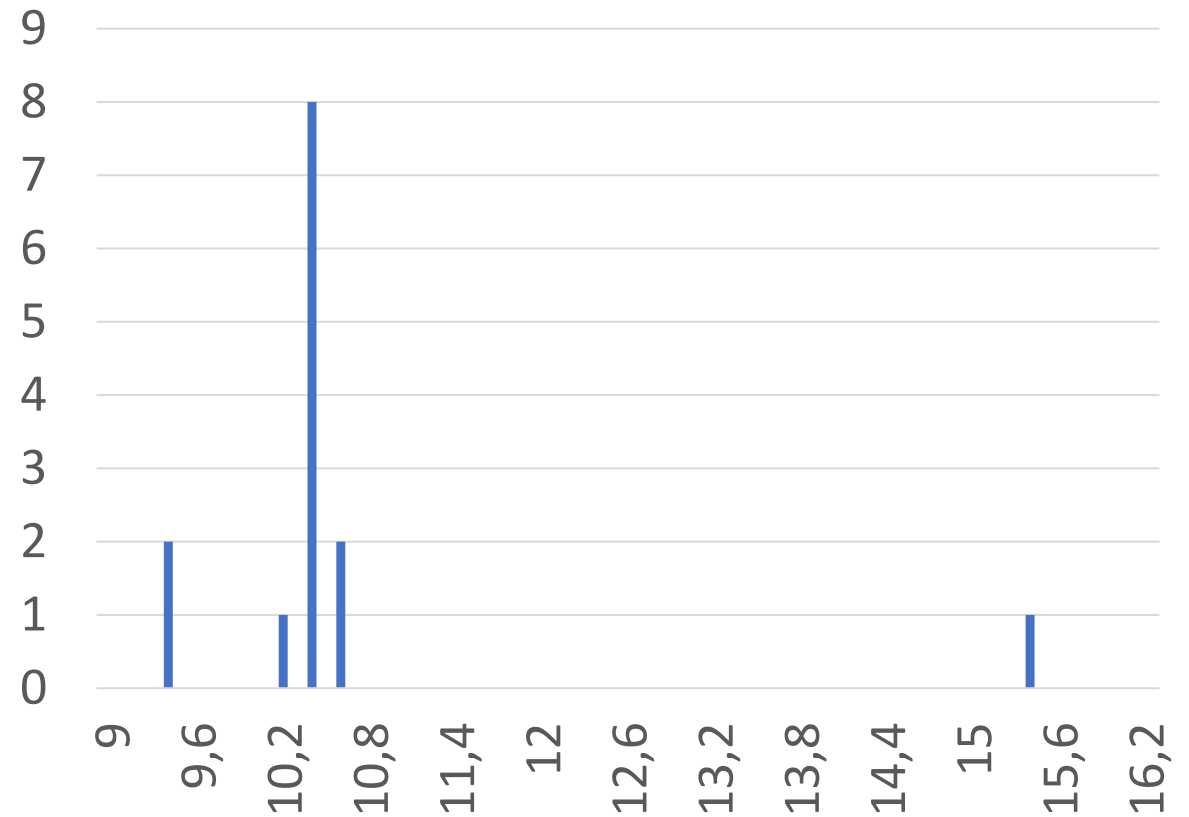


Kég grafikon összehasonlítása

1. év eredményei



2. év eredményei



Mérési eredmény megadása

- Intervallumbecslés

$$\langle x \rangle = \bar{x} \pm \Delta x$$

- $\langle x \rangle$: valódi érték (várható érték)
- $\bar{x}$: mért adat
- Δx : a hiba nagyságát jelző konfidencia-intervallum
A valódi érték a megadott intervallumon belül van
valamekkora p valószínűséggel.

Mérési eredmény megadása

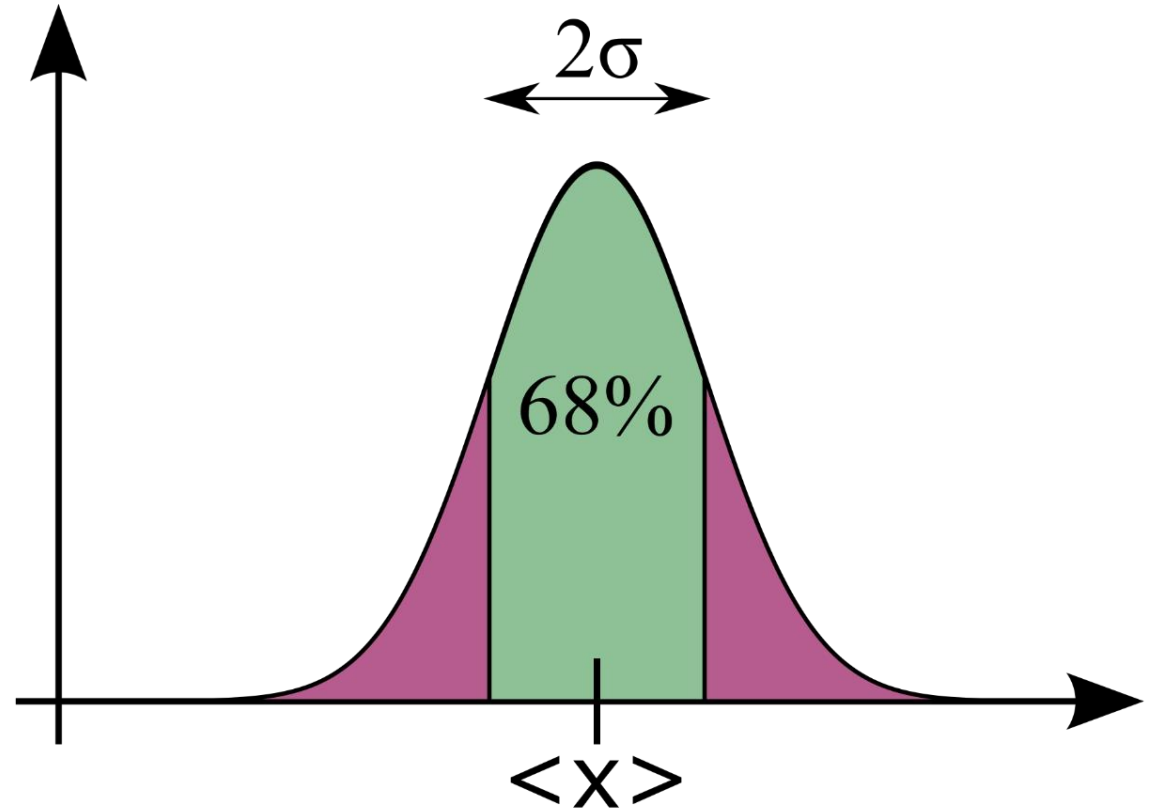
- Intervallumbecslés

$$\langle x \rangle = \bar{x} \pm \Delta x$$

- Szignifikanciaszint: $\alpha = 1 - p$
annak az esélye, hogy tévedünk
(a valódi érték az intervallumon kívül van)

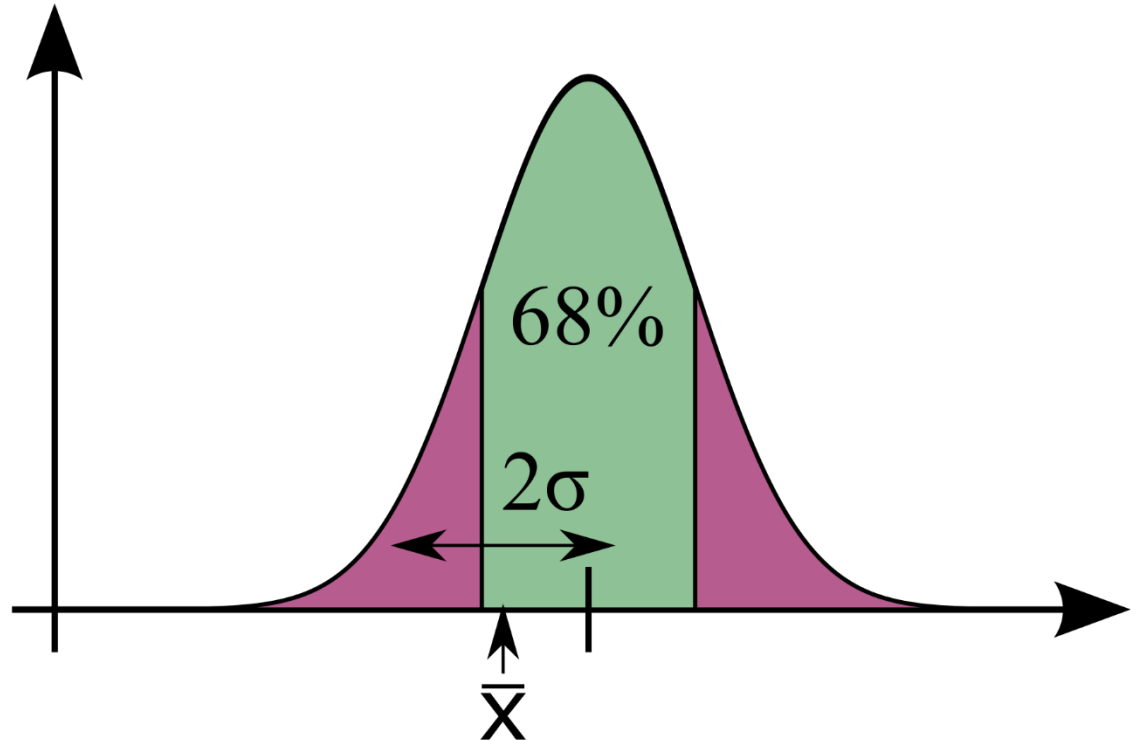
Normál eloszlású hiba

- Az egyes konkrét mérések 68 %-a az $\langle x \rangle \pm \sigma$ intervallumba esik



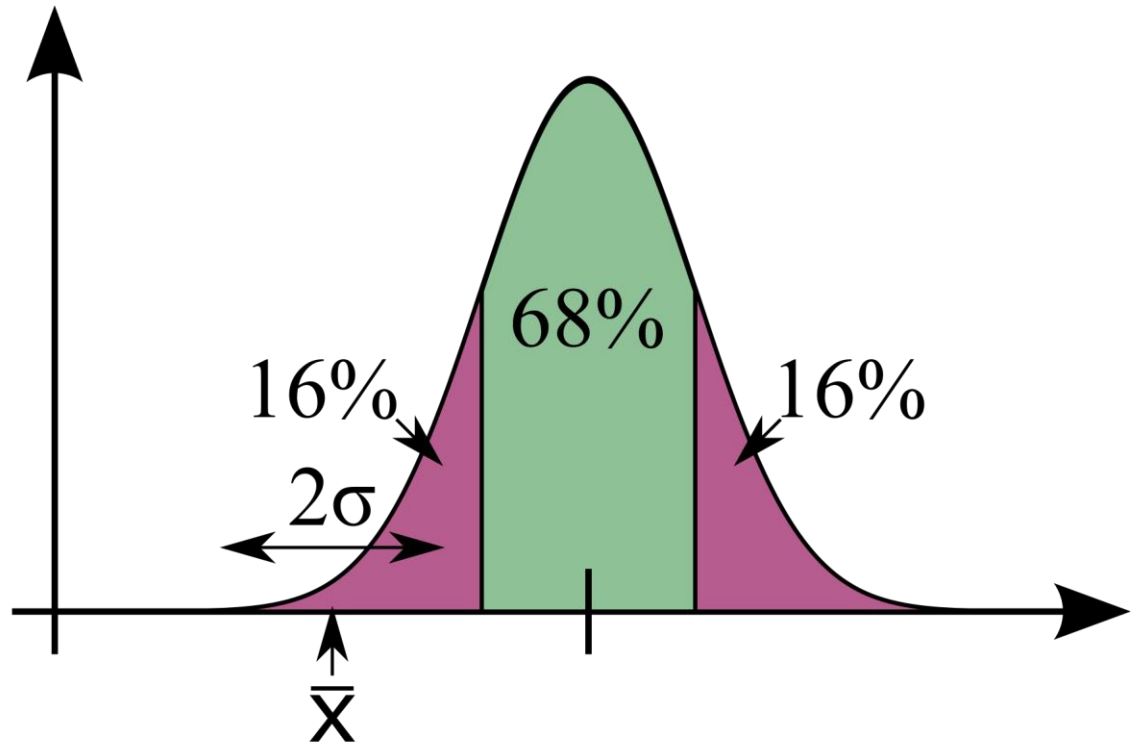
Konfidencia intervallum

- Esetek 68 %-a:
a $\bar{x} \pm \sigma$ intervallumban benne van $\langle x \rangle$



Konfidencia intervallum

- Esetek 32 %-a:
a $\bar{x} \pm \sigma$ intervallumban nincs benne $\langle x \rangle$



Konfidenciaintervallum megadása

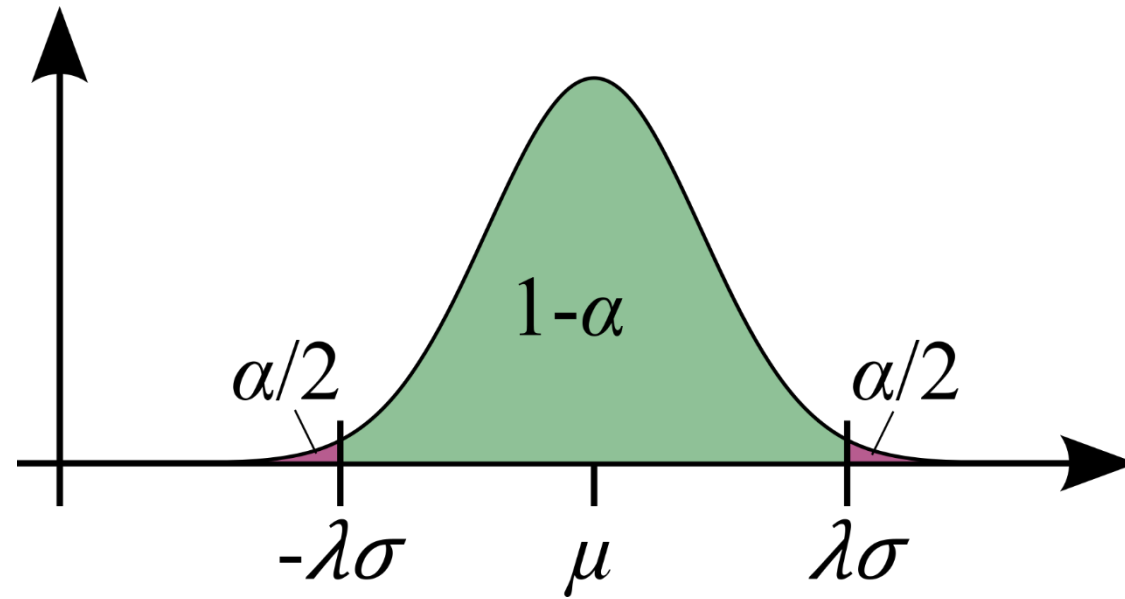
$$\langle x \rangle = \bar{x} \pm \Delta x$$

- 32 %-nyi tévedés általában nem elfogadható

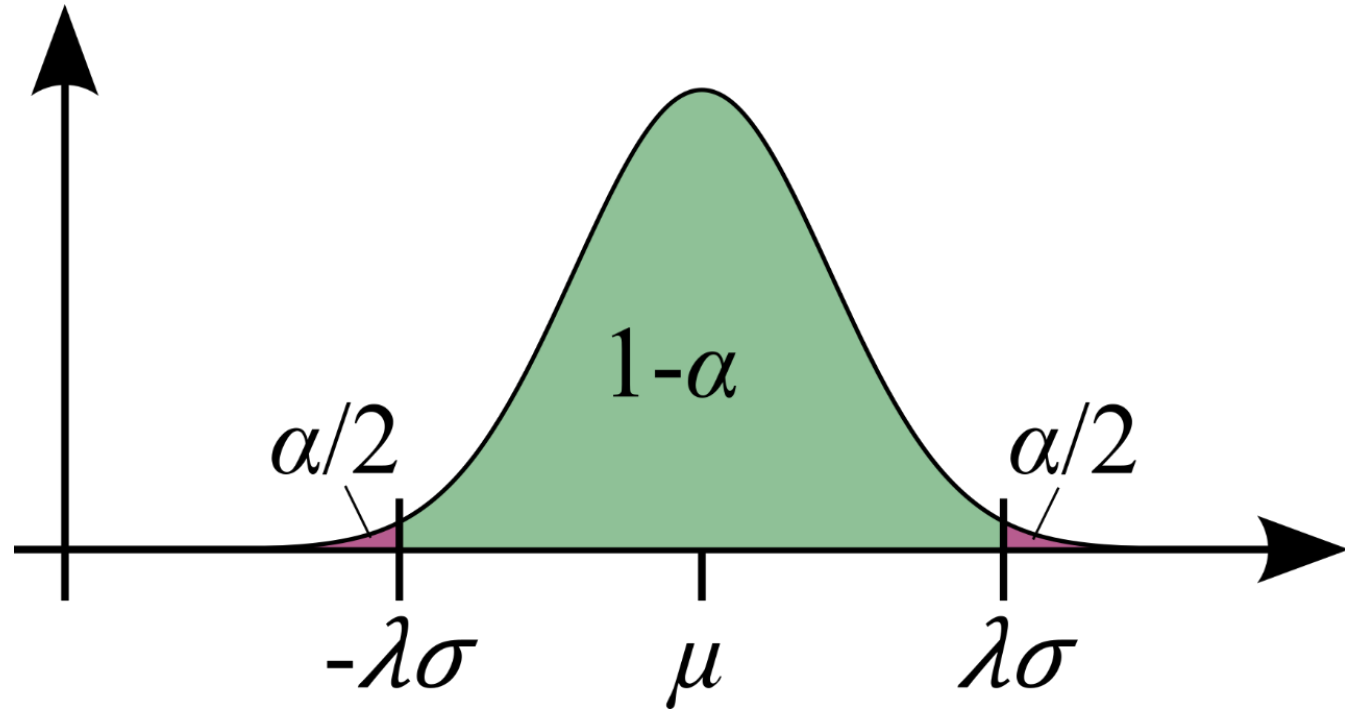
$$\langle x \rangle = \bar{x} \pm \lambda \sigma$$

- Szignifikanciaszint $(\alpha) \rightarrow \lambda$

Konfidencia intervallum meghatározása



Konfidencia intervallum meghatározása



$$1 - \alpha = p = P(|\langle x \rangle - \bar{x}| < \lambda\sigma) = P\left(\frac{|\langle x \rangle - \bar{x}|}{\sigma} < \lambda\right)$$

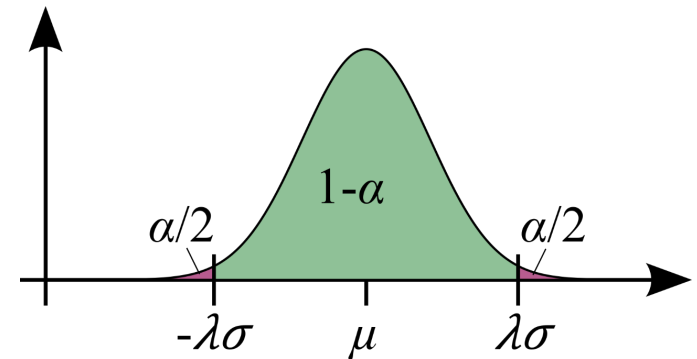
Konfidencia intervallum meghatározása

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$p = P\left(\frac{|\langle x \rangle - \bar{x}|}{\sigma} < \lambda\right) = P(u < \lambda) =$$

$$= \int_{-\lambda}^{+\lambda} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du = F(\lambda) - F(-\lambda)$$

F a normális eloszlás eloszlásfüggvénye: $F(\lambda) = \int_{-\infty}^{\lambda} f(u) du$



Egy dobókocka eredményeinek eloszlása

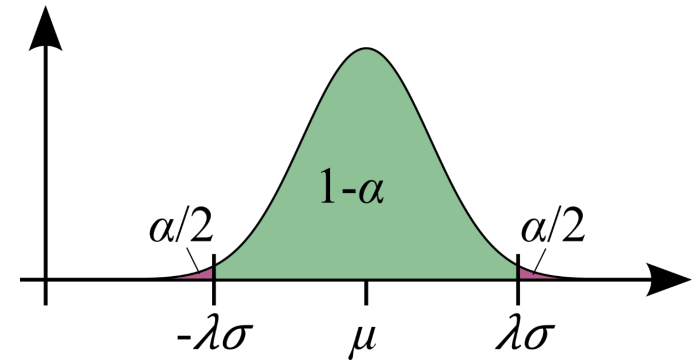
$$F(-\lambda) = 1 - F(\lambda)$$

$$p = 2F(\lambda) - 1$$

λ értéke:

$$\lambda = F^{-1}\left(\frac{p + 1}{2}\right)$$

• pl: $\alpha = 0,05 \Rightarrow p = 0,95 \Rightarrow \lambda \approx 1,96$



N mérési adat, σ ismert

- Valódi érték becslése: átlag (középérték)
Jobb becslés mint egyetlen kiválasztott adat

$$\overline{x_N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

N mérési adat, σ ismert

$$\overline{x_N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

- Az átlag konzisztens és torzítatlan becslés
- A mérési adatok alapján számolt középérték is ingadozik

Az átlag szórása

$$D^2(\overline{x_N}) = D^2\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i\right)$$

Az átlag szórása

Ha a mérési hibák egymástól függetlenek:

$$D^2 \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N D^2(x_i)$$

Az átlag szórása

Ha az az egyes mérési eredmények ingadozása konstans:

$$D(x_i) = D(x)$$

$$\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N D^2(x_i) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N D^2(x) = \frac{1}{N} D^2(x)$$

Az átlag szórása

$$D^2(\overline{x_N}) = \frac{1}{N} D^2(x)$$

$$D(\overline{x_N}) = \frac{1}{\sqrt{N}} D(x)$$

N mérési adat, σ ismert

- A mérési eredmény megadása:

$$\langle x \rangle = \overline{x_N} \pm \frac{\lambda \sigma}{\sqrt{N}}$$

- Fontos feltétel: az egymás utáni mérések hibái egymástól függetlenek és időben állandók

N mérési adat, σ ismeretlen

Emlékeztető: szórás

- Definíció:

$$D^2(x) = \sigma^2 = E((x - E(x))^2)$$

- Diszkrét eset:

$$D^2(x) = \sum_{i=1}^k (x - E(x))^2 p_i$$

- Aktuális eset:

Nem ismerjük: valódi érték, szórás

Empirikus szórás

- Szórás becslése a mérési adatok alapján

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \overline{x_N})^2}$$

Empirikus szórás

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \overline{x_N})^2}$$

- Konzisztens becslés
- Torzított becslés:
várható értéke kisebb a valódi szórásnál!
- Nem használjuk!

Korrigált empirikus szórás

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2}$$

- Konzisztens becslés
- Torzítatlan becslés:
várható értéke megegyezik a valódi szórással

N mérési adat, σ ismeretlen

- Korrigált empirikus szórás használata
- Gauss-eloszlás helyett t-eloszlás

$$\langle x \rangle = \overline{x_N} \pm \frac{t_{N-1} \sigma_{N-1}^*}{\sqrt{N}}$$

$$t_{N-1} = F_{t,N-1}^{-1} \left(\frac{p+1}{2} \right)$$

Szimulációk...

λ, t_{N-1} meghatározása

- Mérési eredmény megadása:

$$\langle x \rangle = \overline{x_N} \pm \frac{\lambda \sigma}{\sqrt{N}}$$
$$\langle x \rangle = \overline{x_N} \pm \frac{t_{N-1} \sigma_{N-1}^*}{\sqrt{N}}$$

- λ, t_{N-1} :
statisztikai programcsomagokba beépített függvény

λ, t_{N-1} meghatározása – Táblázat

p	0,9	0,95	0,99	0,995	0,999
α	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001
λ	1,64521	1,96039	2,57624	2,80739	3,29076

N	p	0,9	0,95	0,99	0,995	0,999
	α	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001
2	t_{N-1}	6,31370	12,70615	63,65672	127,3213	636,619
3	t_{N-1}	2,91996	4,30264	9,92477	14,08897	31,59903
5	t_{N-1}	2,13183	2,77638	4,60409	5,59755	8,61026
10	t_{N-1}	1,83307	2,26215	3,24979	3,68960	4,78089
100	t_{N-1}	1,66036	1,98416	2,62640	2,87130	3,39150

Szignifikanciaszint megválasztása

- Szempontok:
előírások, szokások, tévedés költsége

Terület	α	λ
Bölcsészettudományok	5%	1,96
Természettudományok	1%	2,57
Mérnöki tudományok	0,3%	3
	0,1%	3,29
	0,05%	3,5

Modern mérés technika 5.

Hibaterjedés

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Téglatest térfogata

$$a = 80,63 \pm 2,53$$

$$b = 38,69 \pm 0,96$$

$$c = 10,68 \pm 0,69$$

$$V = a \cdot b \cdot c = ?$$

A mérési hiba terjedése

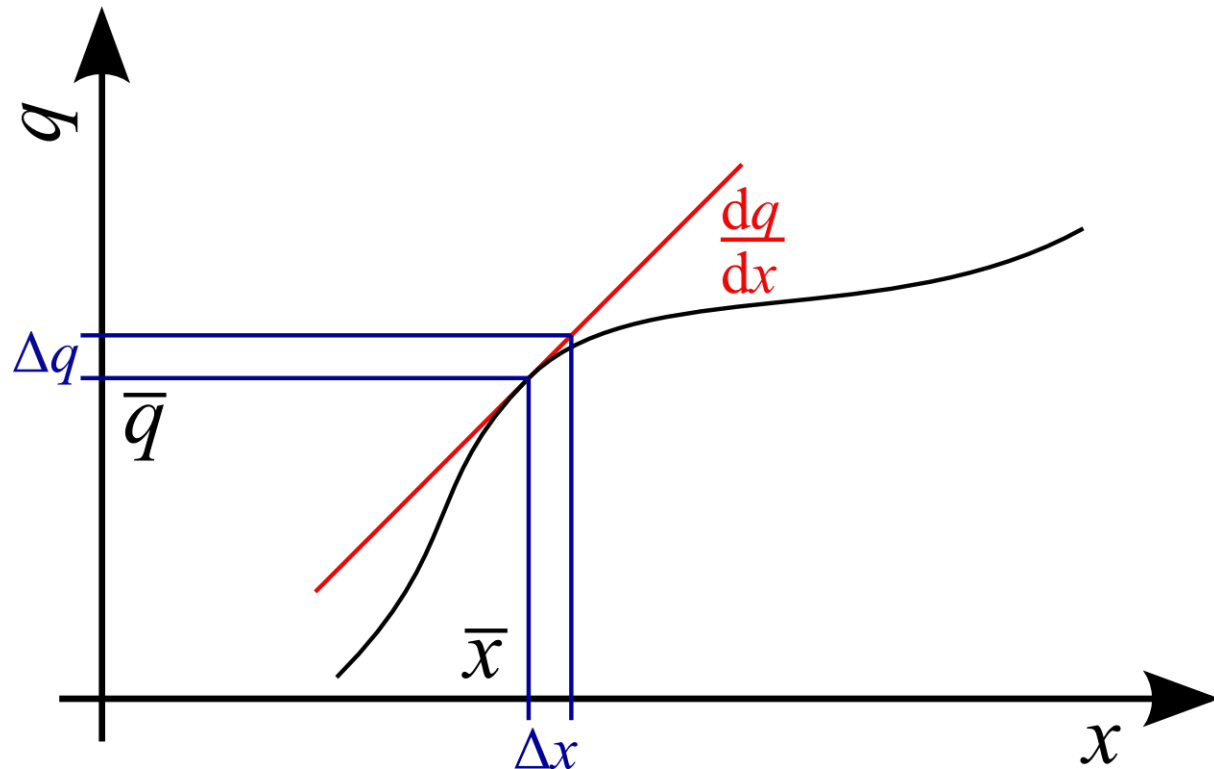
- Mért mennyiségek: hibával terhelvek
- A belőlük számolt mennyiségek is hibával lesznek terhelve
- Az eredmény általános megadása:

$$\langle q \rangle = \bar{q} \pm \Delta q$$

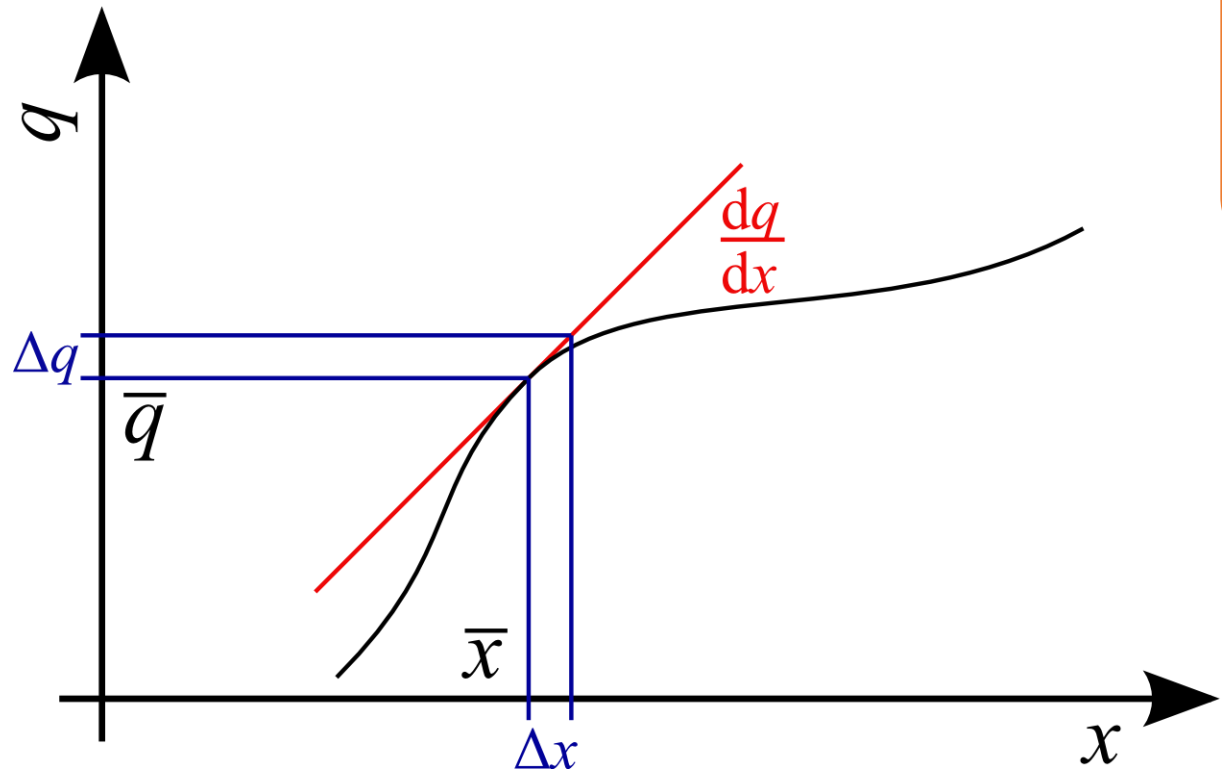
$$\Delta q = ?$$

Egy változó esetén

- Mért mennyiség: $\langle x \rangle = \bar{x} \pm \Delta x$
- Számolt mennyiség: $q = q(x)$



Egy változó esetén



$$\langle x \rangle = \bar{x} \pm \Delta x$$

$$\Delta q = \left| \frac{dq}{dx} \right|_{x=\bar{x}} \cdot \Delta x$$

$$\bar{q} = q(\bar{x})$$

$$\langle q \rangle = \bar{q} \pm \Delta q$$

Több változó esetén

- A vizsgált mennyiség több mért mennyiségtől függ: $q = q(x, y, \dots)$
- Minden egyes mennyiség hibája növeli a végeredmény hibáját

Több változó esetén

- Egymástól független hibák esetén:
szórásnégyzetek adódnak össze:

$$(\Delta q)^2 = (\Delta q_x)^2 + (\Delta q_y)^2 + \dots$$

Hibaterjedés több változó esetén

$$(\Delta q)^2 = (\Delta q_x)^2 + (\Delta q_y)^2 + \dots$$

$$(\Delta q)^2 = \left| \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}}^2 (\Delta x)^2 + \left| \frac{\partial q}{\partial y} \right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}}^2 (\Delta y)^2 + \dots$$

$$\Delta q = \sqrt{\left| \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}}^2 (\Delta x)^2 + \left| \frac{\partial q}{\partial y} \right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}}^2 (\Delta y)^2 + \dots}$$

Példa: téglatest térfogata

$$a = 80,63 \pm 2,53$$

$$b = 38,69 \pm 0,96$$

$$c = 10,68 \pm 0,69$$

$$V = a \cdot b \cdot c = ?$$

Példa: téglatest térfogata

$$a = 80,63 \pm 2,53$$

$$b = 38,69 \pm 0,96$$

$$c = 10,68 \pm 0,69$$

$$\bar{V} = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} = 80,63 \cdot 38,69 \cdot 10,68$$

Példa: téglatest térfogata

$$\begin{aligned}\Delta V &= \sqrt{\left|\frac{\partial V}{\partial a}\right|_{a=\bar{a},b=\bar{b},c=\bar{c}}^2 (\Delta a)^2 + \left|\frac{\partial V}{\partial b}\right|_{a=\bar{a},b=\bar{b},c=\bar{c}}^2 (\Delta b)^2 + \dots =} \\&= \sqrt{\left|\frac{\partial a \cdot b \cdot c}{\partial a}\right|_{a=\bar{a},b=\bar{b},c=\bar{c}}^2 (\Delta a)^2 + \left|\frac{\partial a \cdot b \cdot c}{\partial b}\right|_{a=\bar{a},b=\bar{b},c=\bar{c}}^2 (\Delta b)^2 + \dots =} \\&= \sqrt{|b \cdot c|_{a=\bar{a},b=\bar{b},c=\bar{c}}^2 (\Delta a)^2 + |a \cdot c|_{a=\bar{a},b=\bar{b},c=\bar{c}}^2 (\Delta b)^2 + \dots =} \\&= \sqrt{|\bar{b} \cdot \bar{c}|^2 (\Delta a)^2 + |\bar{a} \cdot \bar{c}|^2 (\Delta b)^2 + |\bar{a} \cdot \bar{b}|^2 (\Delta c)^2 =}\end{aligned}$$

Példa: téglatest térfogata

$$a = 80,63 \pm 2,53$$

$$b = 38,69 \pm 0,96$$

$$c = 10,68 \pm 0,69$$

$$\Delta V = \sqrt{|\bar{b} \cdot \bar{c}|^2 (\Delta a)^2 + |\bar{a} \cdot \bar{c}|^2 (\Delta b)^2 + |\bar{a} \cdot \bar{b}|^2 (\Delta c)^2} =$$

$$= \sqrt{|38,69 \cdot 10,68|^2 (2,53)^2 + \dots}$$

$$V = \bar{V} + \Delta V = 33317 \pm 2532$$

2.2. *Időfüggő jelek mérése, feldolgozása*

06 – Időfüggő jelek osztályozása

07 – Fourier-transzformáció

08 – Mintavételezés

09 – Diszkrét Fourier-transzformáció

10 – Ablakfüggvények

11 – Teljesítménysűrűség-spektrum

Modern mérés technika 6.

Időfüggő jelek osztályozása

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Időfüggő jelek osztályozása

- Determinisztikus jelek
- Sztochasztikus jelek

Determinisztikus jelek

- Periodikus jelek
 - Szinuszos jelek
 - Általános periodikus jelek
- Nemperiodikus jelek (aperiodikus)
 - Kvázi periodikus jelek
 - Tranziens jelek

Sztochasztikus jelek

- Stacionárius jelek

A jellemző statisztikai tulajdonságok állandóak

- Ergodikus jelek
- Nemergodikus jelek

- Nemstacionárius jelek

Példa nem stacionárius folyamatra

- Véletlen bolyongás:

$$\begin{aligned}x_i &= x_{i-1} + \xi_i \\ x_0 &= 0\end{aligned}$$

ξ_i : véletlen szám

Sokaság és időátlag

- **Sokaságátlag:** nagyszámú független kísérlet (mérés egy adott pillanatban)
- **Időátlag:** egyetlen kísérletet vizsgálunk, miközben az idő telik

Ergodikus jelek

- Az időátlag és a sokaságátlag megegyezik



- Sok, különálló folyamat helyett egyetlen folyamatot is vizsgálhatunk

Példa ergodikus jelre

- Véletlen számok sorozata:

$$x_i = \xi_i$$

ξ_i : véletlen szám

Példa nemergodikus jelre

- Véletlen számok sorozata véletlen középpértékkal:

$$x_i = \mu + \xi_i$$

$$x_0 = \mu$$

μ, ξ_i : véletlen számok

Modern mérés technika 7.

Fourier-transzformáció

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Fourier-sor

- Periodikus jelek: szinuszok és koszinuszok összege:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k \cdot \omega_0 t) + b_n \sin(k \cdot \omega_0 t))$$

- $x(t) = x(t + T)$: periodikus függvény
- T : periódusidő

Fourier-sor

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k \cdot \omega_0 t) + b_n \sin(k \cdot \omega_0 t))$$

- $f_0 = 1/T$: alapharmonikus frekvenciája
- ω_0 : alapharmonikus körfrekvenciája ($\omega_0 = 2\pi f_0$)
- k : felharmonikus sorszáma

Együtthatók meghatározása

- Jel átlaga (DC szint):

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt$$

Együtthatók meghatározása

- További együtthatók ($k > 0$)

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos(k \cdot \omega_0 t) dt$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin(k \cdot \omega_0 t) dt$$

Fourier-sorfejtés komplex alakban

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{ik\omega_0 t}$$

$$c_k = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-ik\omega_0 t} dt$$

Jelek és Fourier-komponensei – szimuláció

Fourier-transzformáció

- Nem periodikus jelek esetén használható
- $T \rightarrow \infty$
- $f_0 \rightarrow 0$
- $\Sigma \rightarrow \int$

Fourier-transzformáció

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f t} dt$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{i \cdot 2\pi \cdot f t} df$$

Fourier-transzformáció

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f t} dt$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{i \cdot 2\pi \cdot f t} df$$

- $X(f)$:
frekvencia-tartománybeli
reprezentáció (spektrum)

- $x(t)$:
idő-tartománybeli
reprezentáció

Modern mérés technika 8.

Mintavételezés

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

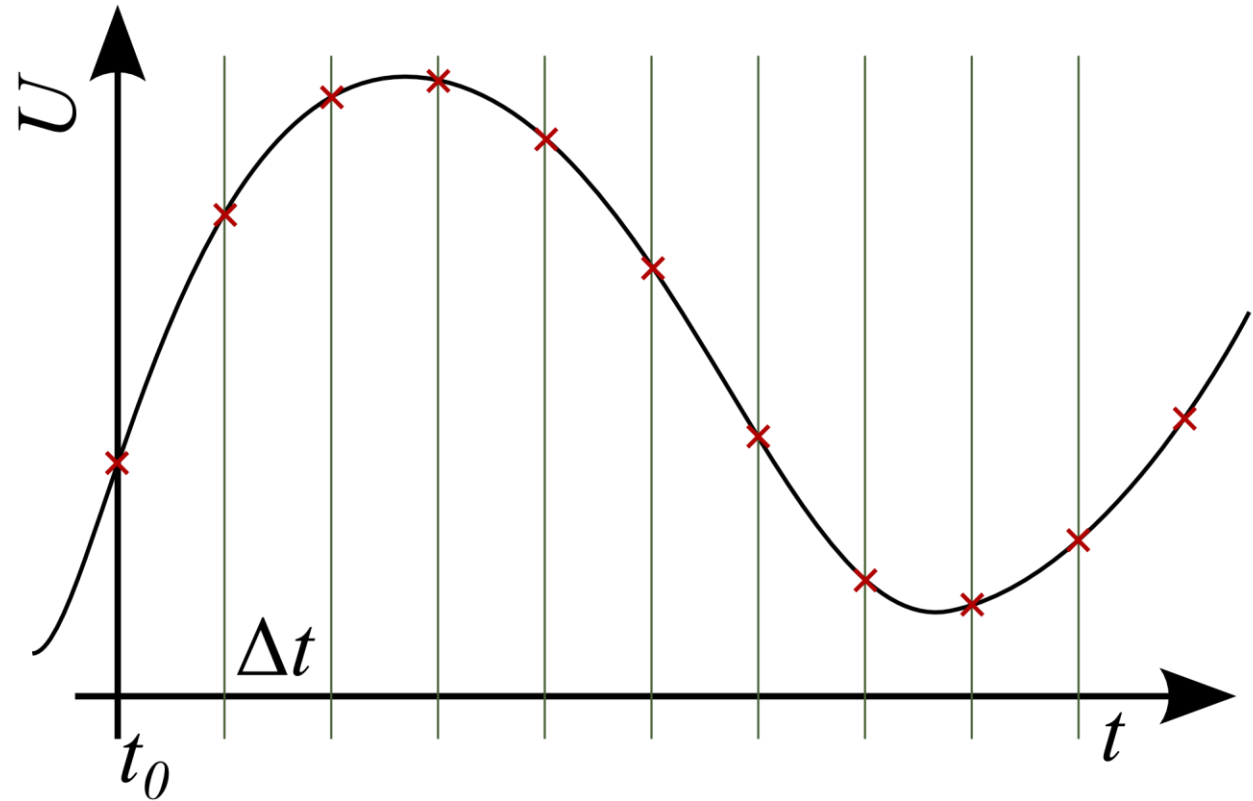
Emlékeztető: mintavételezés a statisztikában

- **Statisztikai sokaság:** objektumok összessége, mindegyik objektumhoz tartozik egy numerikus jellemző (valószínűségi változó)
- **Megfigyelés (mérés):** a sokaságból kiválasztunk egy halmazt
mintavételezés → minta
- **Becslés:** a sokaság tulajdonságaira (paramétereire) következtetünk a minta adatai (jellemzői) alapján

Mintavételezés

- Folytonos jel $\rightarrow$ időben diszkrét jel
- Mintavételi frekvencia:

$$f_m = f_s = 1/\Delta t$$



Mintavételi tétel

- Ha a jelben előforduló legnagyobb frekvenciájú komponens frekvenciája kisebb, mint a mintavételi frekvencia fele, a mintavételezés nem okoz információvesztést.

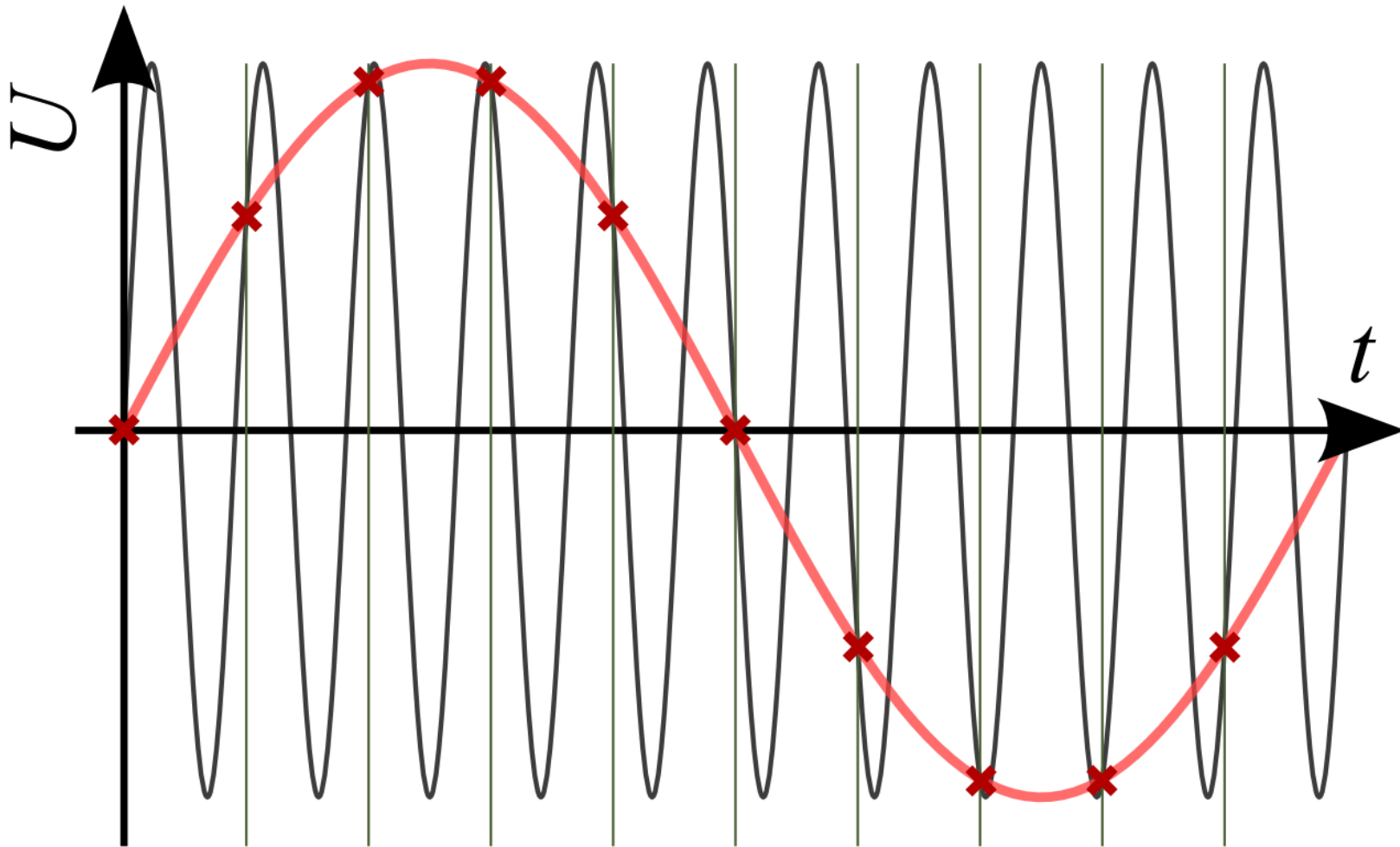
Jel rekonstruálása

- Ha a mintavételi tétel teljesül, az eredeti jel teljes egészében rekonstruálható a mért adatok alapján (bármelyik időpillanatban)

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k \cdot \Delta t) \cdot \frac{\sin[\pi \cdot f_m \cdot (t - k \cdot \Delta t)]}{\pi \cdot f_m \cdot (t - k \cdot \Delta t)}$$

Mintavételezés szimulálása

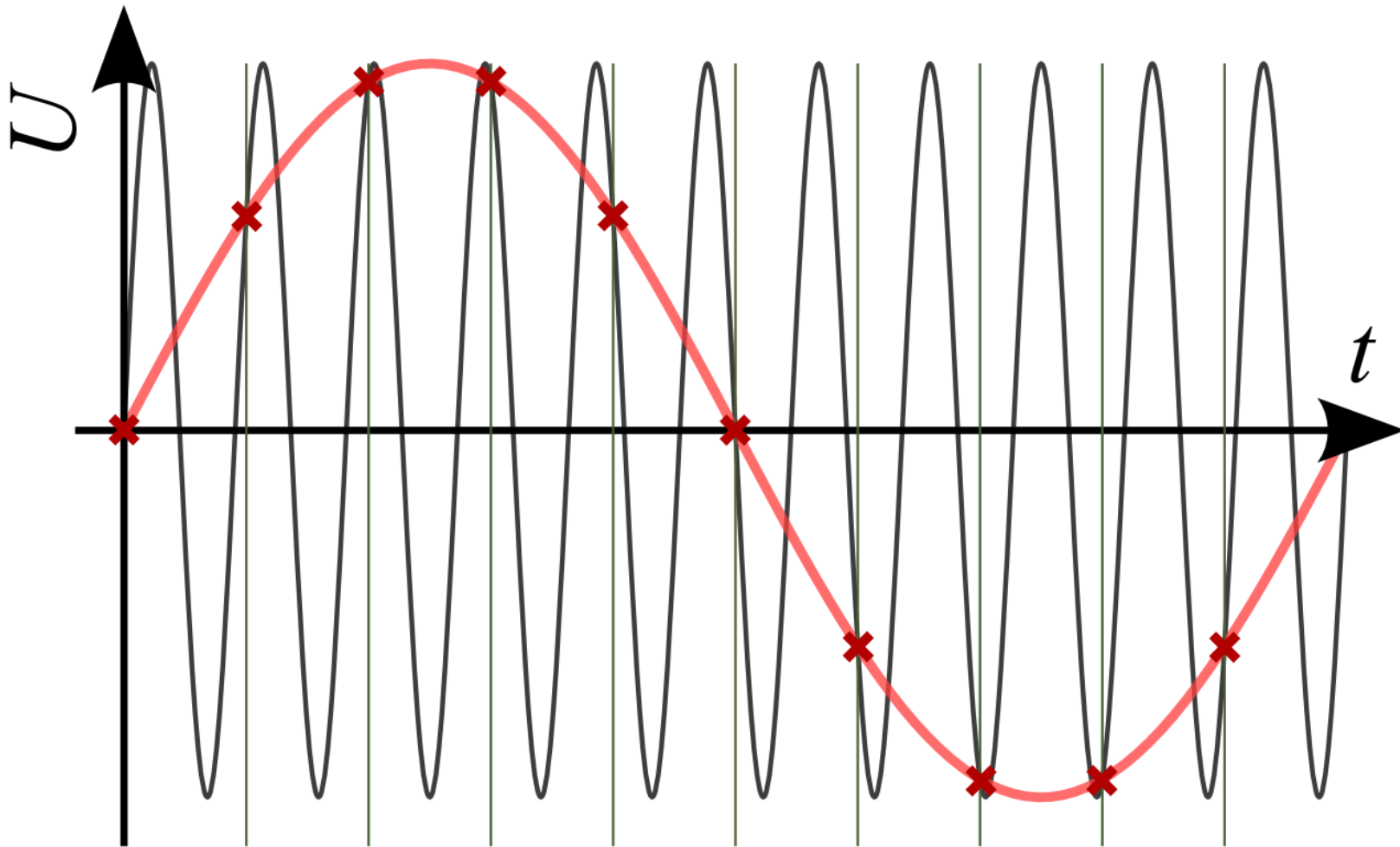
Mintavételi tétel megsértése



Mintavételi tétel megsértése

- A magasabb frekvenciájú komponensek → $\left[0; \frac{f_m}{2}\right]$
- Aliasing zaj (védekezés: mintavételi szűrő)

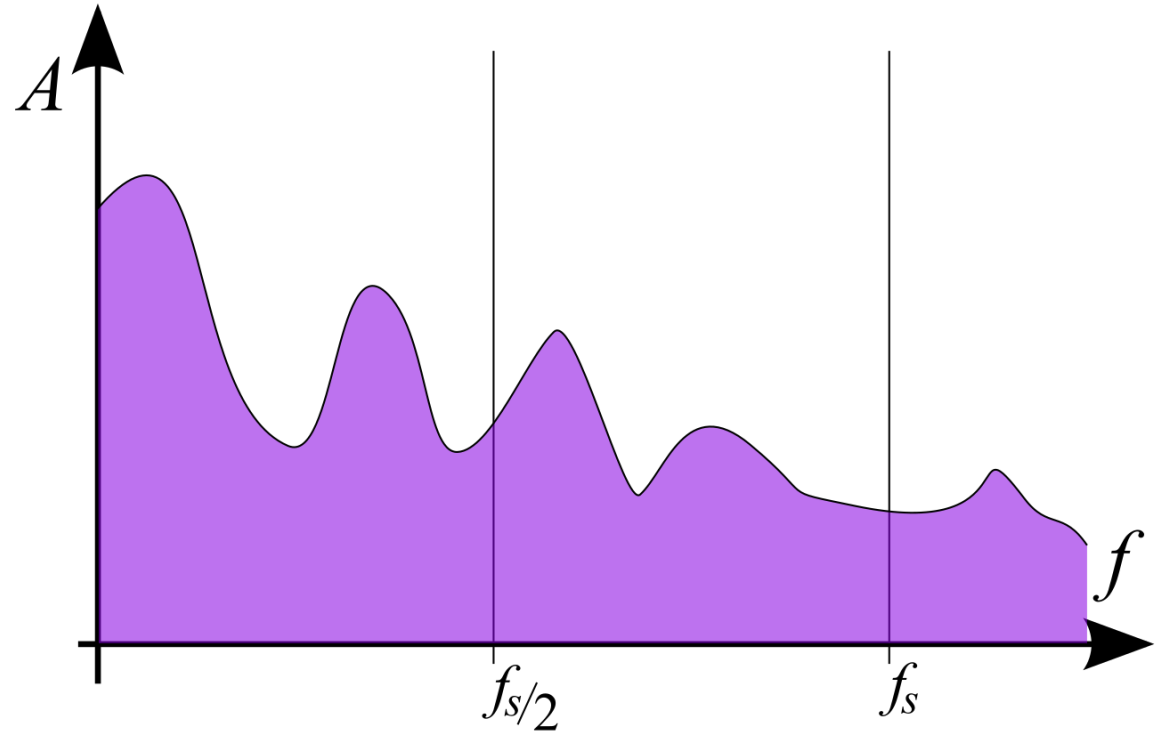
Mintavételi tétel megsértése



Mintavételi tétel megsértésének szimulálása

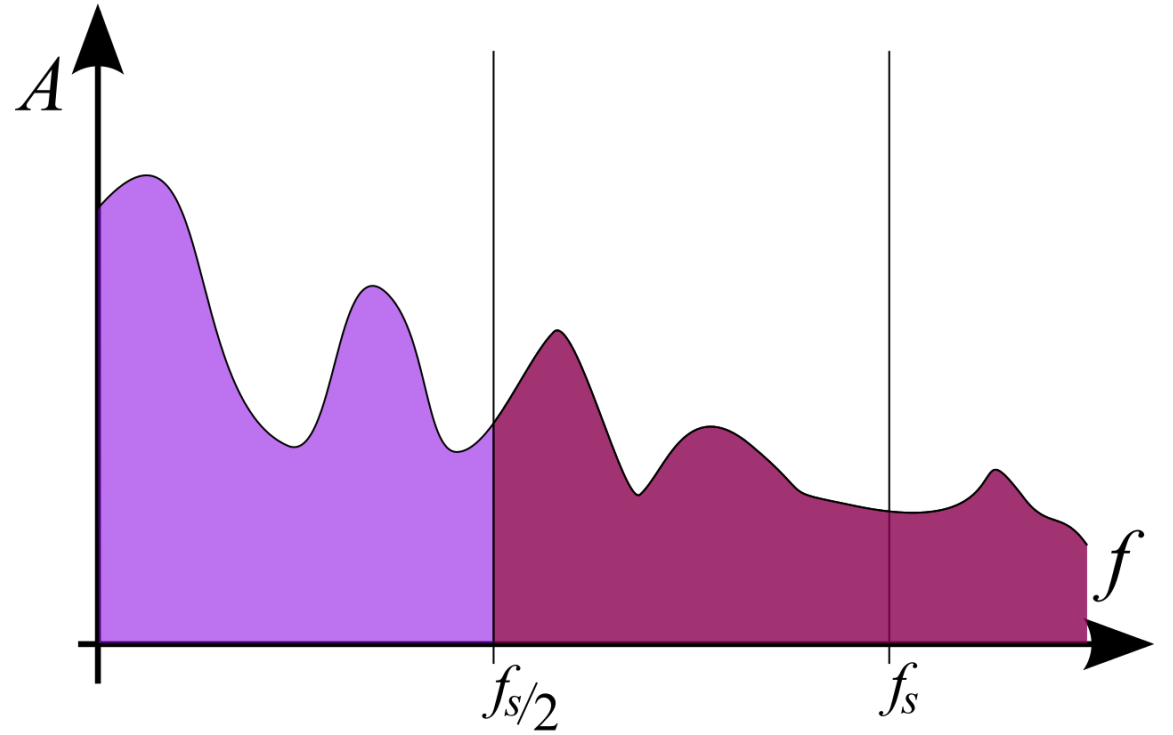
Mintavételi szűrő

- Mérések:
nem ismerjük a jel
frekvenciatartományát



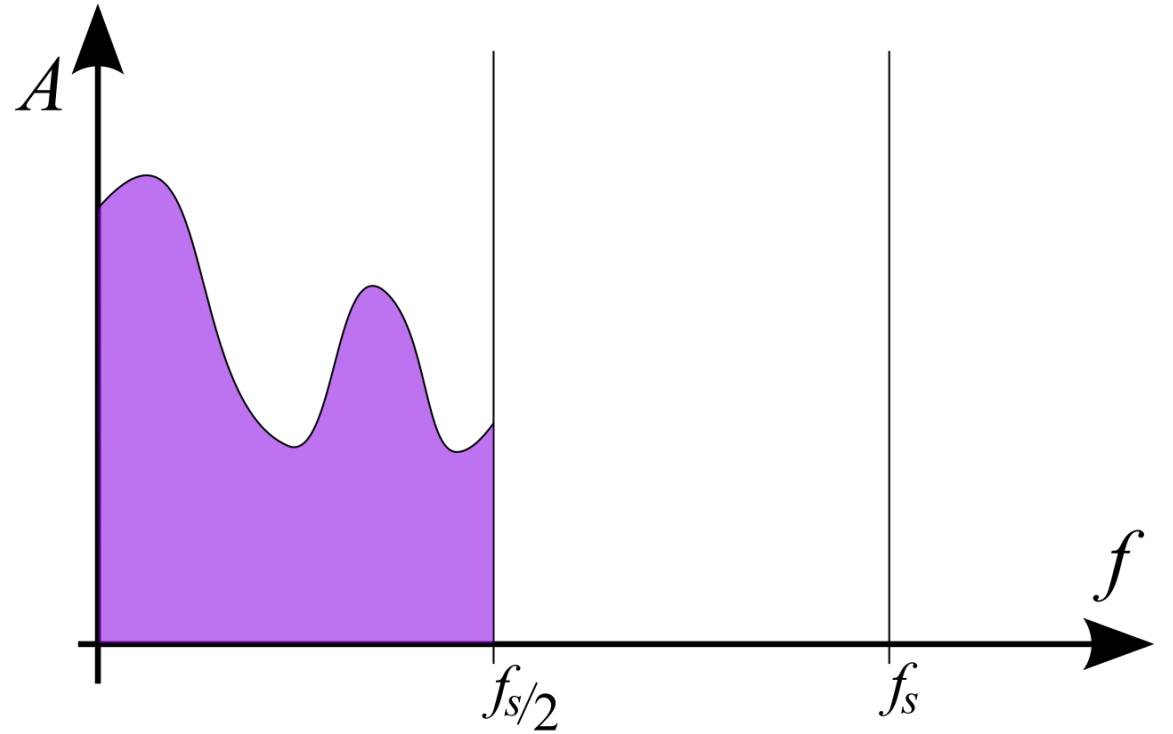
Mintavételi szűrő

- Mérések:
nem ismerjük a jel
frekvenciatartományát
- Megsérthetjük a
mintavételi tételt



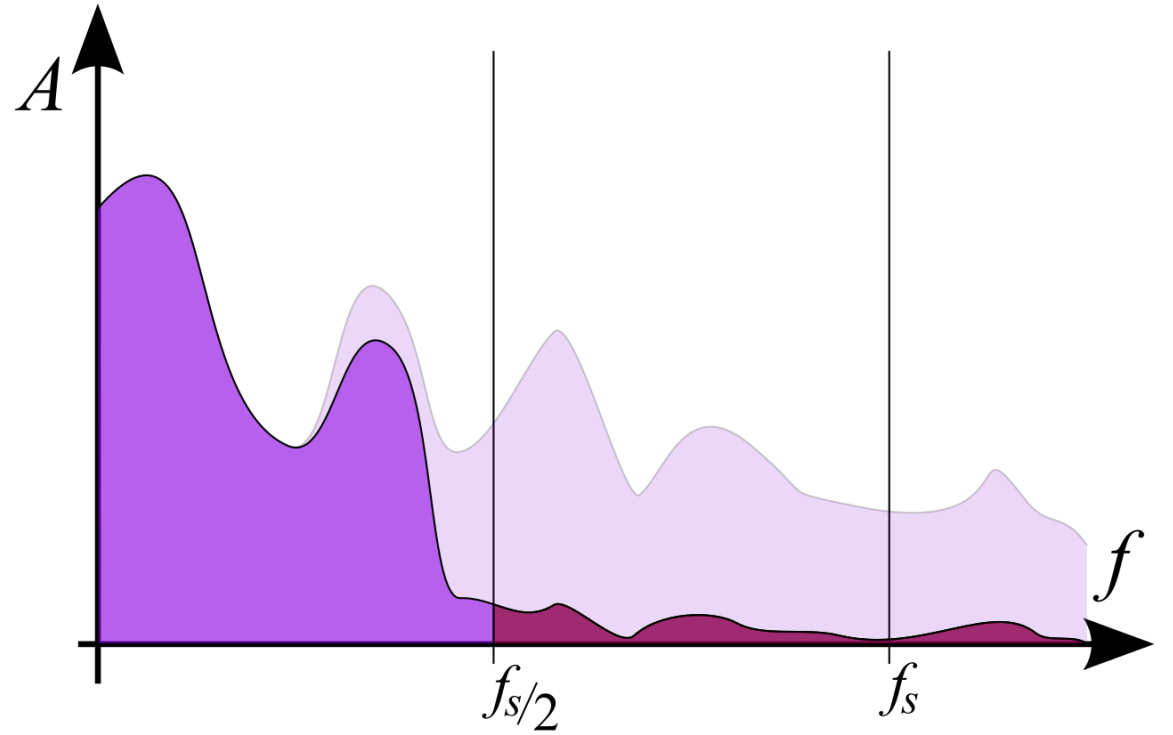
Mintavételi szűrő

- Feladat: szűrjük ki a nem kívánt frekvenciákat
- Szükséges: mintavételi szűrő
Anti-aliasing filter
- Analóg tartományban kell szűrni



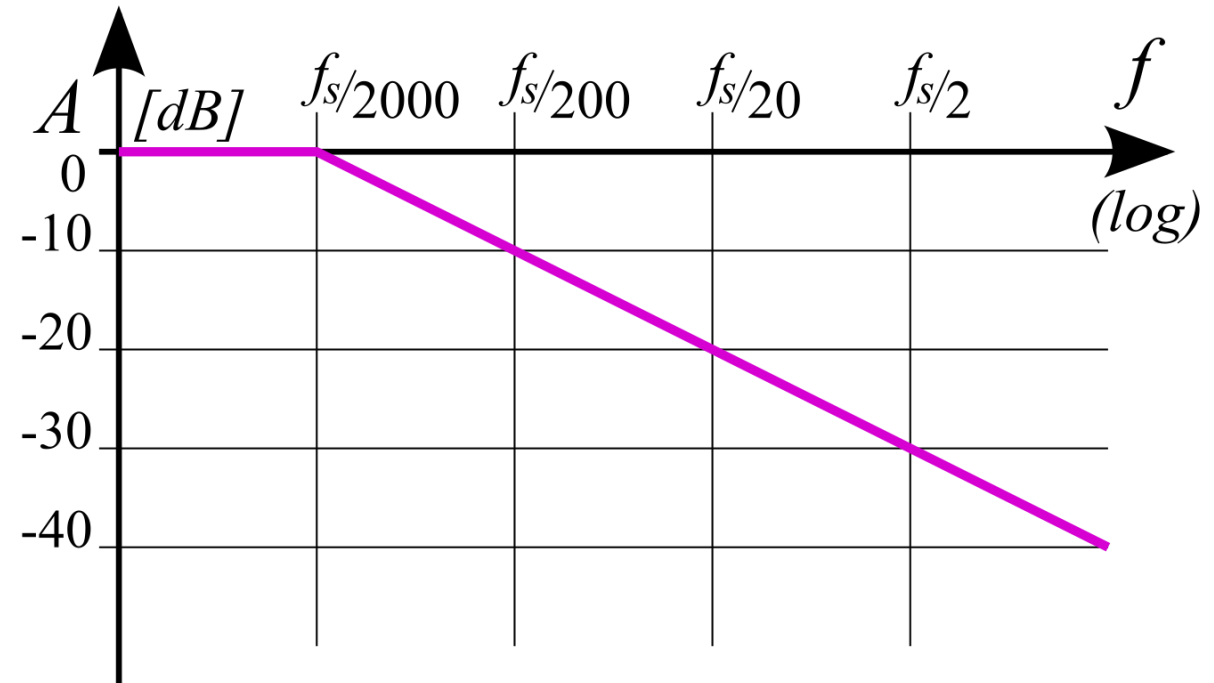
Mintavételi szűrő

- Valós szűrő:
frekvenciamenete nem
ideális



Elsőfokú szűrő megfelelő?

- Feladat: 0,1%-ra csökkenteni a jeleket $f_s/2$ frekvencián
- 60 dB-es csillapítás
- $f_c = f_s/2000$

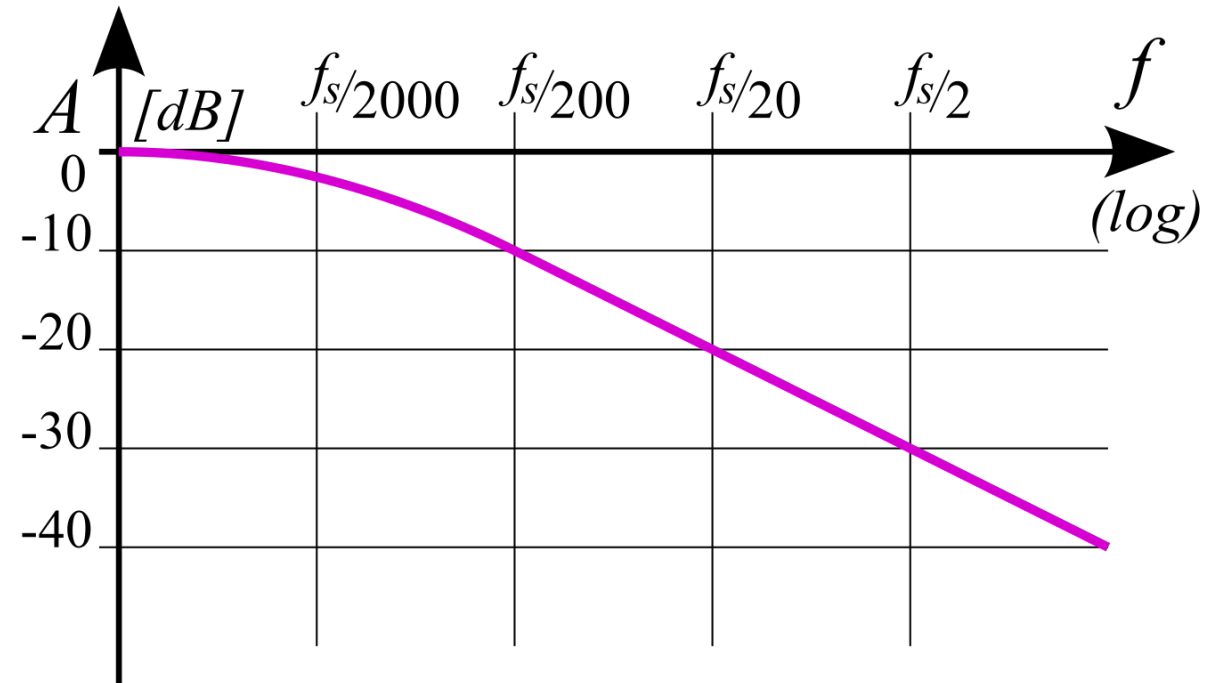


Elsőfokú szűrő megfelelő?

- $f_c = f_s/2000$
3 dB-es csillapítás

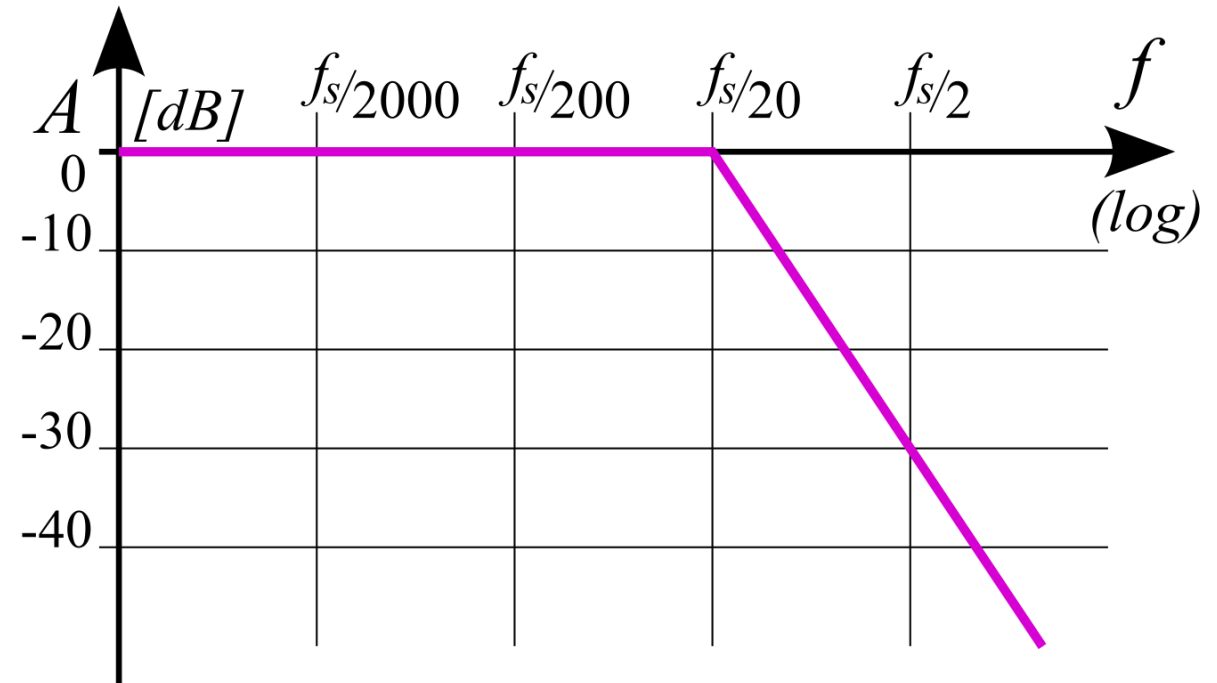


- Elsőfokú szűrő nem ideális



Magasabb fokú szűrők

- Magasabb fokú szűrők
- Pl. harmadfokú szűrő:
 $f_c = f_s/20$



Modern mérés technika

9.

DFT

Spektrumok értelmezése

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

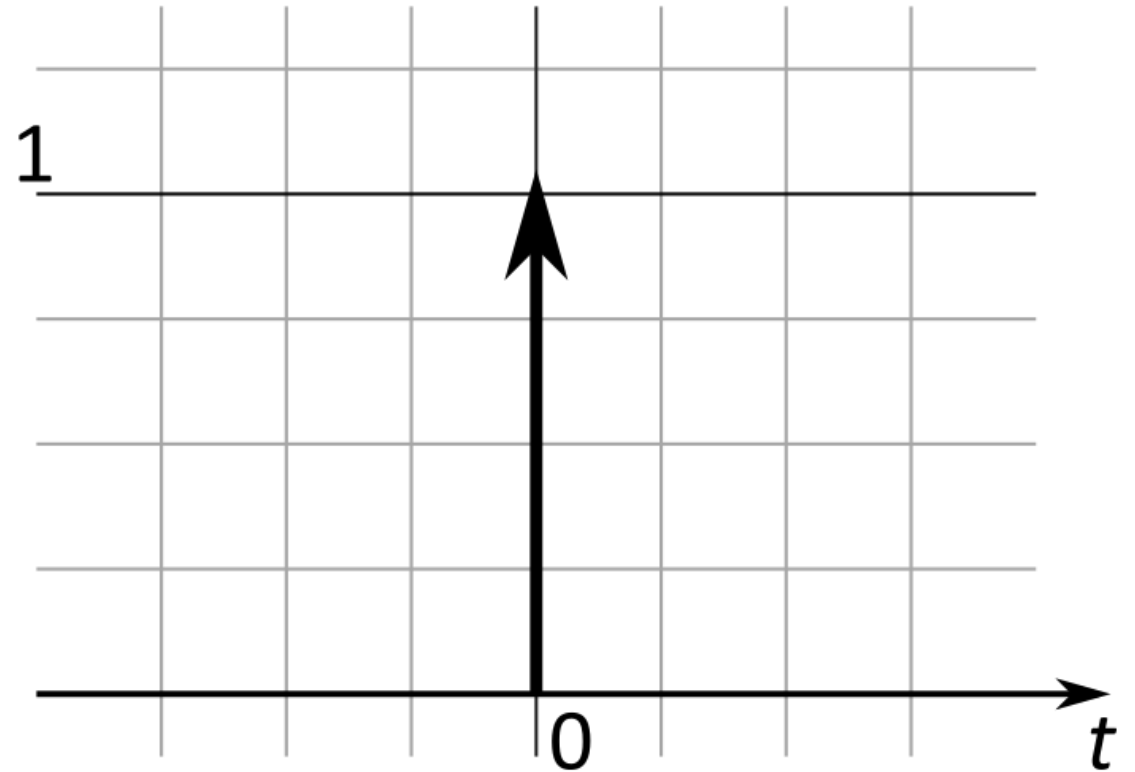
Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Dirac-delta

- $\delta(x) = \begin{cases} +\infty, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}$

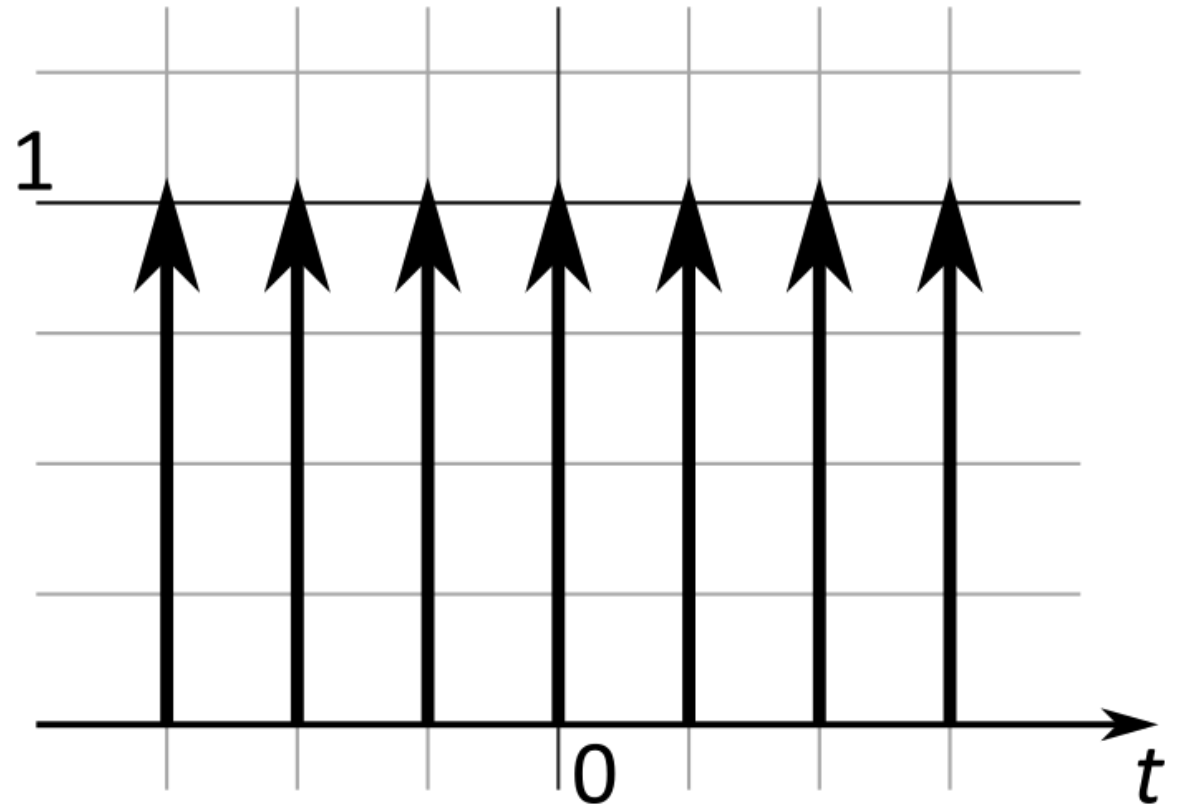


Dirac-delta – tulajdonságok

$$\delta(x) = \begin{cases} +\infty, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}$$
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(x) dx = f(0)$$
$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$$
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(x - T) dx = f(T)$$

Dirac-fésű – Dirac-comb

$$s(t) = \Delta t \sum_k \delta(t - k \cdot \Delta t)$$



Mintavételezett jel

- A mintavételezett jel csak a mintavételek helyén van értelmezve:

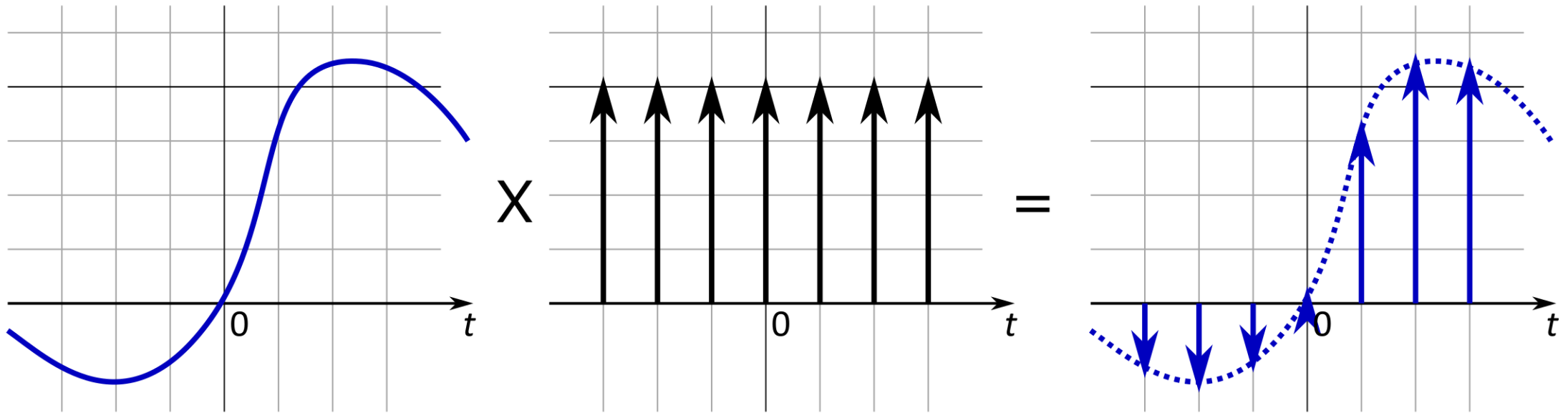
$$x_s(t) = x(t) \cdot s(t)$$

$$s(t) = \Delta t \sum_k \delta(t - k \cdot \Delta t)$$

Mintavételezett jel

- A mintavételezett jel csak a mintavételek helyén van értelmezve:

$$x_s(t) = x(t) \cdot s(t)$$



Mintavételezett jel spektrumának számolása

- Fourier-transzformáció:

$$X_s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x_s(t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f t} dt$$

$$X_s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \Delta t \sum_j \delta(t - j \cdot \Delta t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f t} dt$$

Mintavételezett jel spektrumának számolása

$$X_s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \Delta t \sum_k \delta(t - j \cdot \Delta t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f t} dt$$

... átrendezve ...

$$X_s(f) = \Delta t \sum_j \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \delta(t - j \cdot \Delta t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f t} dt$$

Mintavételezett jel spektrumának számolása

$$X_s(f) = \Delta t \sum_j \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \delta(t - j \cdot \Delta t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f t} dt$$

... integrálva ($t \rightarrow j \cdot \Delta t$) ...

$$X_s(f) = \Delta t \sum_j x(j \cdot \Delta t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f j \cdot \Delta t}$$

Mintavételezett jel spektrumának számolása

$$X_s(f) = \Delta t \sum_j x(j \cdot \Delta t) e^{-i \cdot 2\pi \cdot f j \cdot \Delta t}$$

$$\dots x_j = x(j \cdot \Delta t); \Delta t = 1/f_s \dots$$

$$X_s(f) = \Delta t \sum_j x_j e^{-i \cdot 2\pi \cdot f j \cdot \frac{1}{f_s}}$$

$X_s(f)$ tartománya

Kapott spektrum:

$$\frac{X_s(f)}{\Delta t} = \sum_j x_j e^{-ij2\pi \frac{1}{f_s} f}$$



A spektrum periodikus (f_s)

Fourier-sorfejtés:

$$x(t) = \sum_k c_k e^{ik2\pi \frac{1}{T} t}$$



A jel periodikus (T)

Véges számú minta

$$x_s(t) = x(t) \cdot s(t)$$

$$s(t) = \Delta t \sum_j \delta(t - j \cdot \Delta t)$$

- $j = 0..N - 1$
- Mérési idő: $T = N \cdot \Delta t = N / f_s$

Véges mérési idő hatása $X_s(f)$ -re

- Az időablakon kívüli
,mintavételek' helyén a
jel értéke 0



- $X_s(f)$ folytonos

- A mintavételezett jel
periodikus T
periódusidővel



- $X_s(f)$ diszkrét

Emlékeztető: Fourier-sorfejtés komplex alakban

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{ik\omega_0 t}$$

$$c_k = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-ik\omega_0 t} dt$$

Alapharmonikus: $f_0 = 1/T$

Mintavételezett jel spektrumának számolása

$$X_s(f) = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-i \cdot 2\pi \cdot f \cdot j \cdot \frac{1}{f_s}}$$

$$\dots f_0 = 1/T, f_k = k/T \dots$$

$$X_s\left(\frac{k}{T}\right) = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-i \cdot 2\pi \cdot \frac{k}{T} \cdot j \cdot \frac{1}{f_s}}$$

Mintavételezett jel spektrumának számolása

$$X_s\left(\frac{k}{T}\right) = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-i \cdot 2\pi \cdot \frac{k}{T} \cdot j \cdot \frac{1}{f_s}}$$

$$\dots X_k = X_s(1/T) \dots$$

$$X_k = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-i \cdot 2\pi \cdot k \cdot j \cdot \frac{1}{T f_s}}$$

Mintavételezett jel spektrumának számolása

$$X_k = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-i \cdot 2\pi \cdot k \cdot j \cdot \frac{1}{T f_s}}$$

$$\dots N = T \cdot f_s, \Delta t = T/N \dots$$

$$X_k = \frac{T}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-i \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot k \cdot j}$$

Mintavételezett jel spektrumának számolása

$$X_k = \frac{T}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-i \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot k \cdot j}$$

- Általában a transzformáció során nem rendelünk időt a mintákhoz:
 T egységnyinek van tekintve

DFT (Diszkrét Fourier Transzformáció)

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot \frac{j \cdot k}{N}}$$

$$x_j = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{i \cdot 2\pi \cdot \frac{j \cdot k}{N}}$$

DFT (Diszkrét Fourier-Transzformáció)

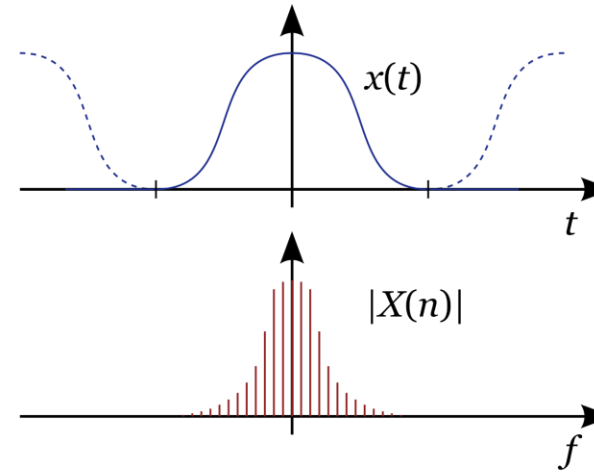
$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot \frac{j \cdot k}{N}}$$

$$x_j = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{i \cdot 2\pi \cdot \frac{j \cdot k}{N}}$$

- $x_j = x(j \cdot \Delta t)$:
mintavételezett jel
- j, k : $0..N-1$
- X_k : spektrum
komplex

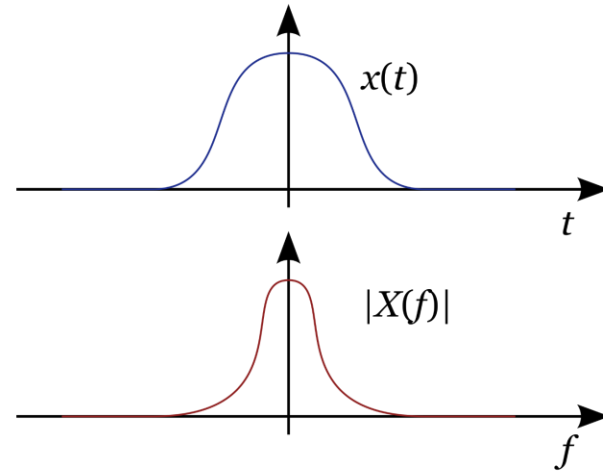
Fourier típusú transzformációk

Fourier-sor

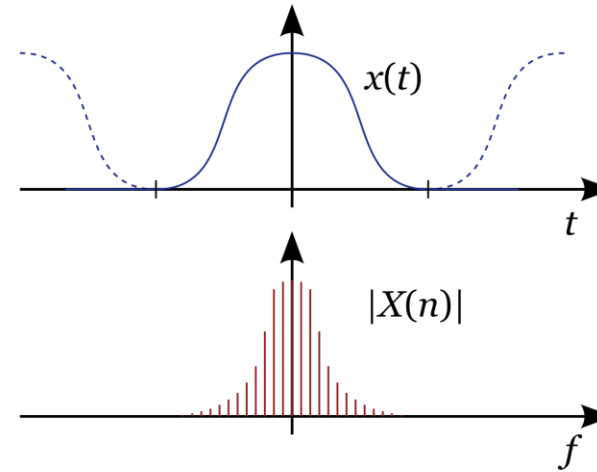


Fourier típusú transzformációk

Fourier-integrál

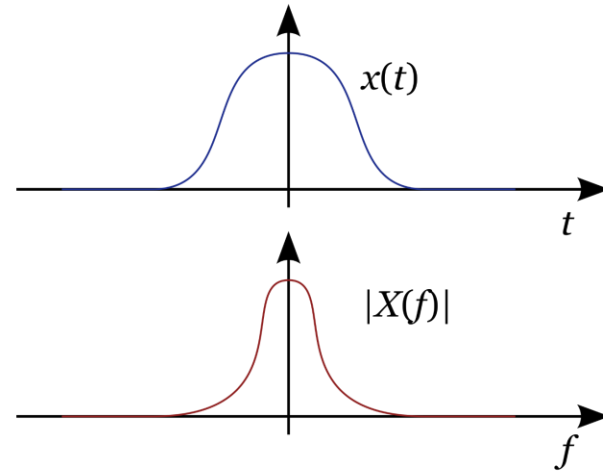


Fourier-sor

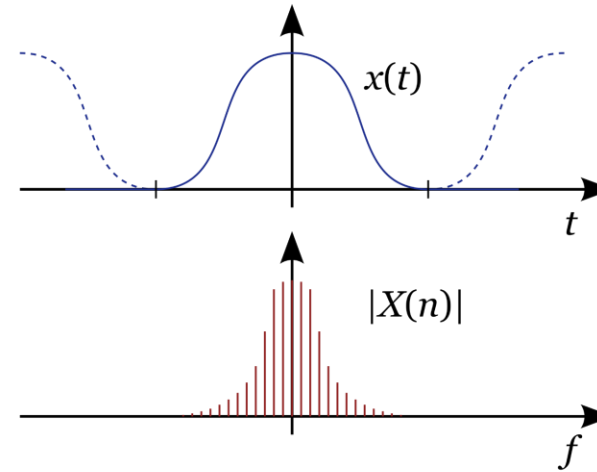


Fourier típusú transzformációk

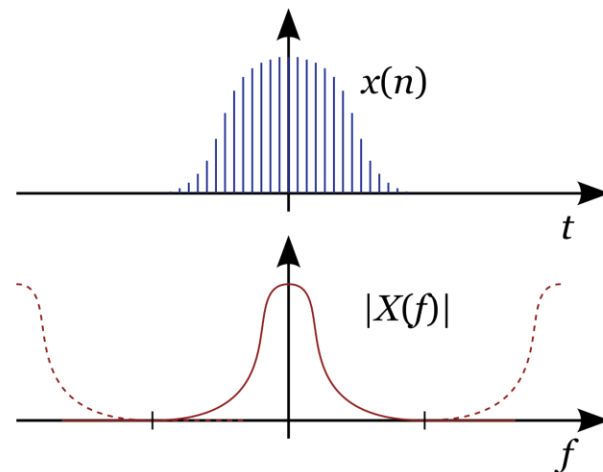
Fourier-integrál



Fourier-sor

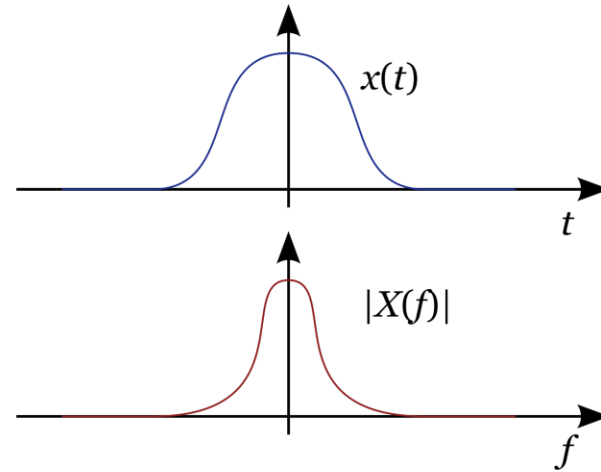


Mintavételezett jelek

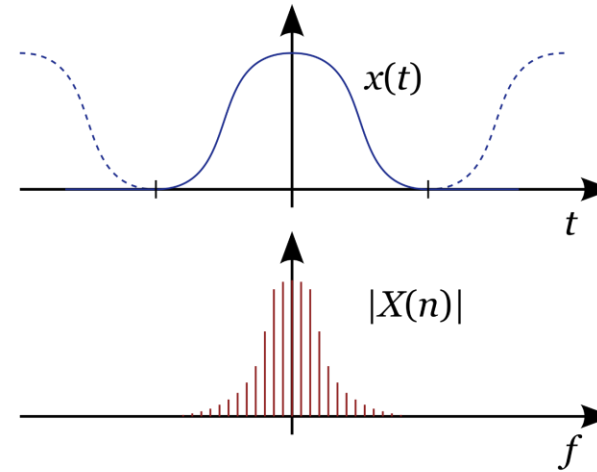


Fourier típusú transzformációk

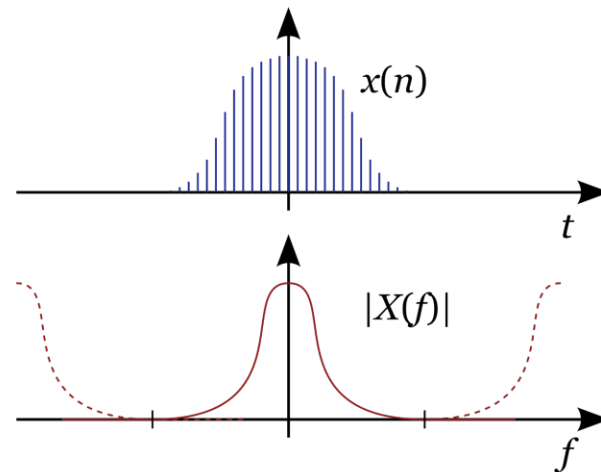
Fourier-integrál



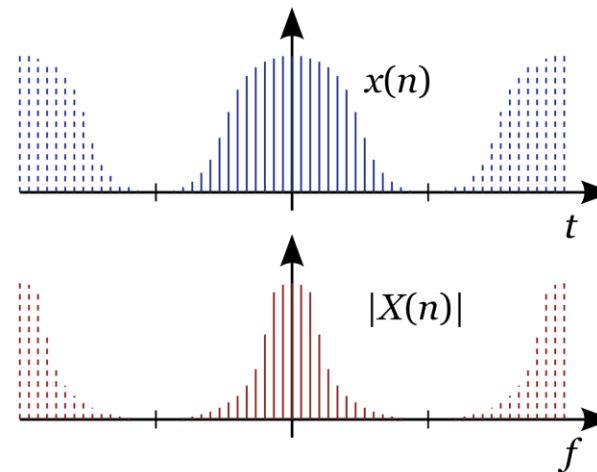
Fourier-sor



Mintavételezett jelek

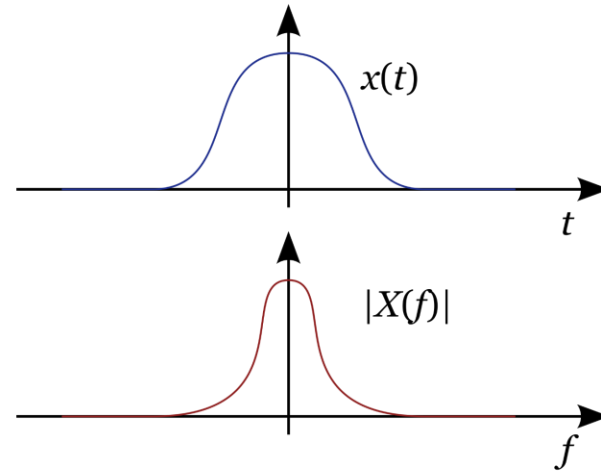


DFT

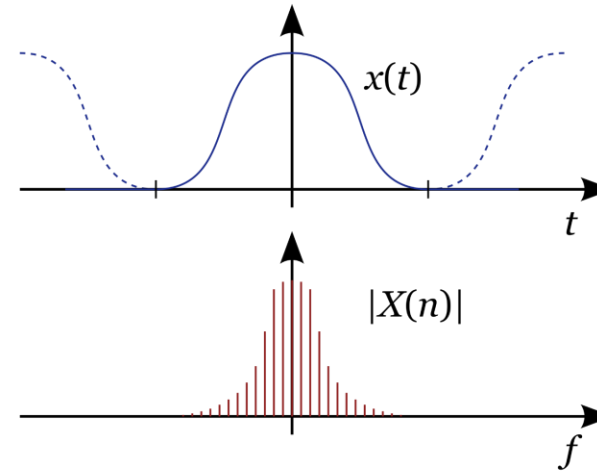


Fourier típusú transzformációk

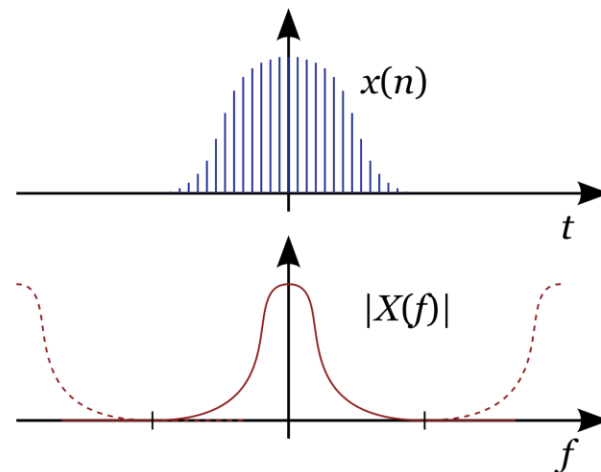
Fourier-integrál



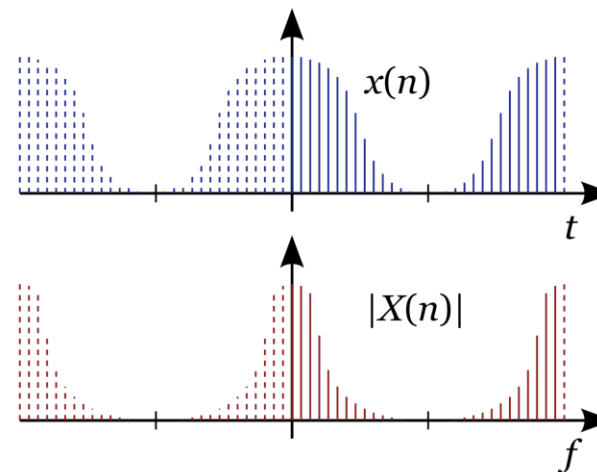
Fourier-sor



Mintavételezett jelek



DFT



FFT – Gyors Fourier-transzformáció

- Egy DFT számolása $O(N^2)$ műveletet igényel
- FFT műveletigénye: $\sim N \cdot \log_2(N)$
- FFT: pont ugyanazt számolja ki, mint a DFT
- Csak akkor használható, ha a pontok száma (N) kettő hatványa

Spektrum értelmezése

- X_0 : DC tag
- Jel egyenfeszültségű komponense (átlaga)
- X_k : abszolútértéke a k -adik komponens amplitúdójának fele
- X_k : fázisa k -adik komponens kezdő fázisa
- Ha $x(t)$ valós jel: $X_k = X_{N-k}^*$

DFT komponenseinek értelmezése

- 8 pont esetén

Elem	Frekvencia
X[0]	DC
X[1]	Δf
X[2]	$2 \cdot \Delta f$
X[3]	$3 \cdot \Delta f$
X[4]	$4 \cdot \Delta f$ (Nyquist fr.)
X[5]	$-3 \cdot \Delta f$
X[6]	$-2 \cdot \Delta f$
X[7]	$-1 \cdot \Delta f$

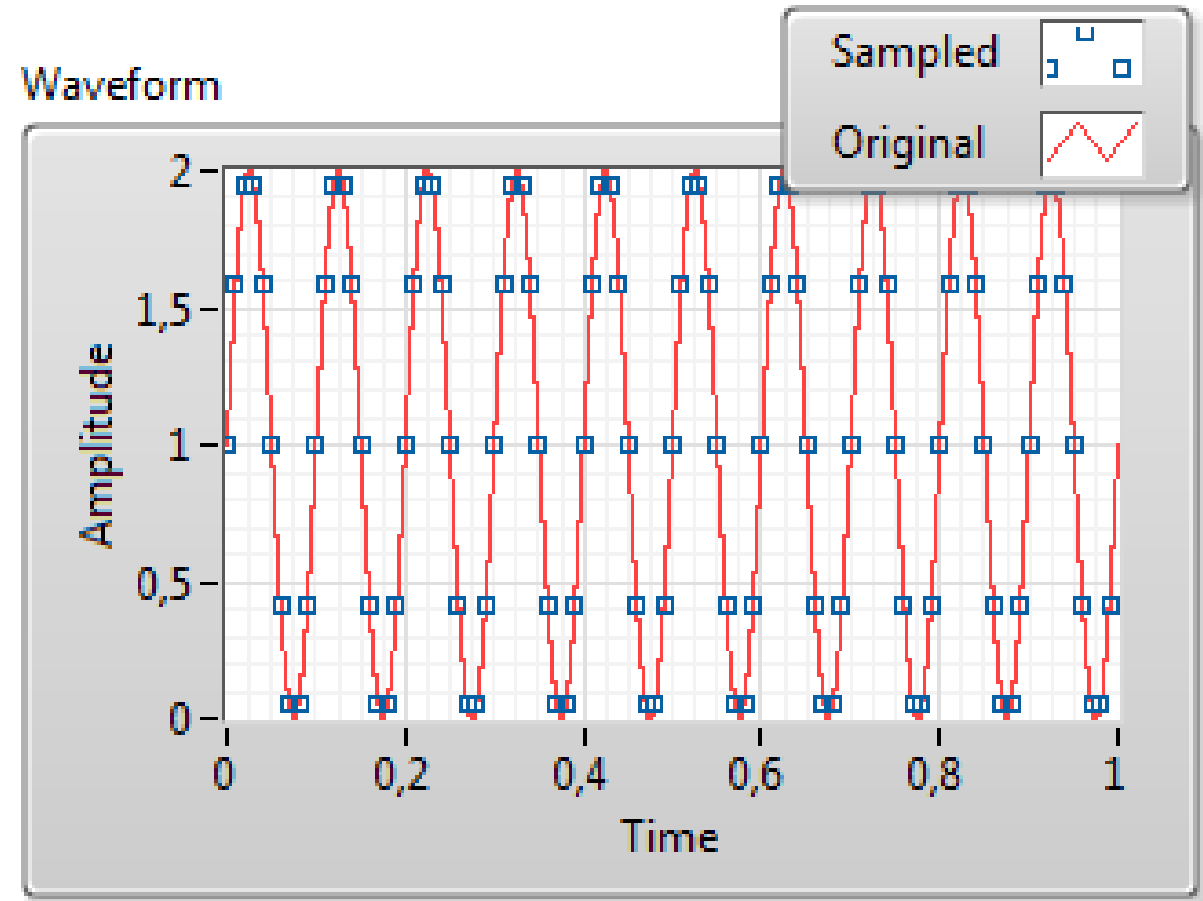
- 7 pont esetén

Elem	Frekvencia
X[0]	DC
X[1]	Δf
X[2]	$2 \cdot \Delta f$
X[3]	$3 \cdot \Delta f$
X[4]	$-3 \cdot \Delta f$
X[5]	$-2 \cdot \Delta f$
X[6]	$-1 \cdot \Delta f$

Példák spektrumokra

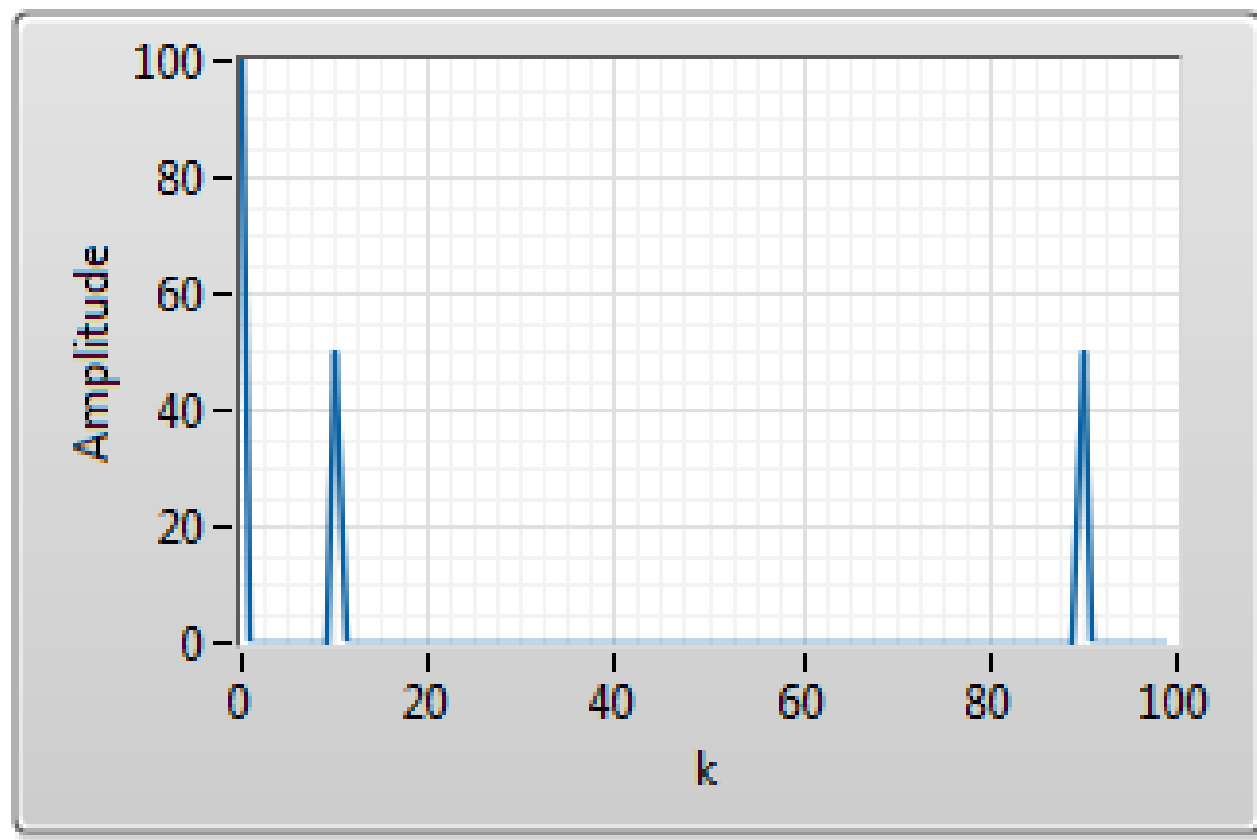
Vizsgált jel

- DC szint: 1 V
- Szinuszos: 1 V, 10 Hz
- $f_s = 100 \text{ Hz}$,
 $N = 100$,
 $T = 1 \text{ s}$,
 $\Delta t = 0,01 \text{ s}$



Amplitúdó-spektrum

FFT (LabVIEW)



- LabVIEW beépített FFT
- Amplitúdó miért 50?

LabVIEW FFT algoritmus

$$X_k = \sum_{j=0}^{N-1} x_j \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot \frac{j \cdot k}{N}}$$

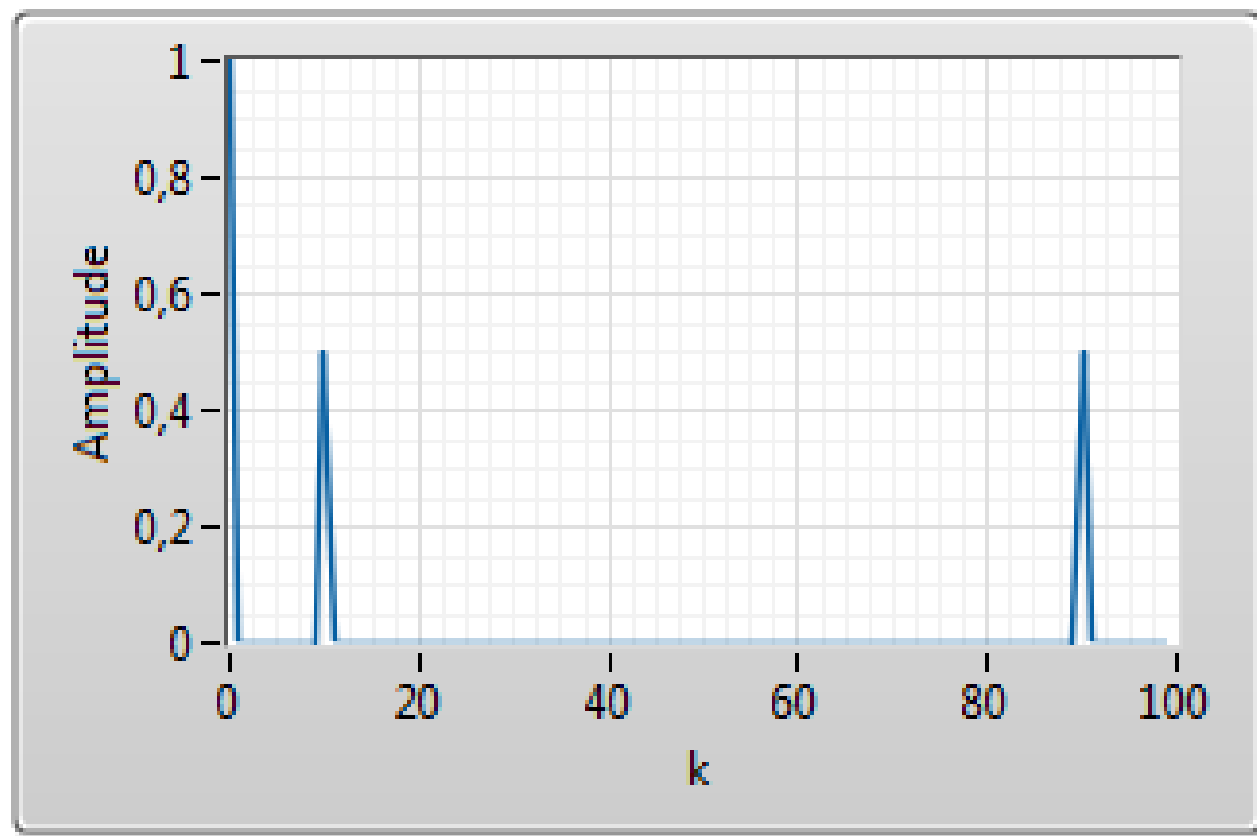
$$x_j = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{i \cdot 2\pi \cdot \frac{j \cdot k}{N}}$$

Általunk felhasznált Dirak-fésű:

$$s(t) = \boxed{\Delta t} \sum_k \delta(t - k \cdot \Delta t)$$

Amplitúdó-spektrum

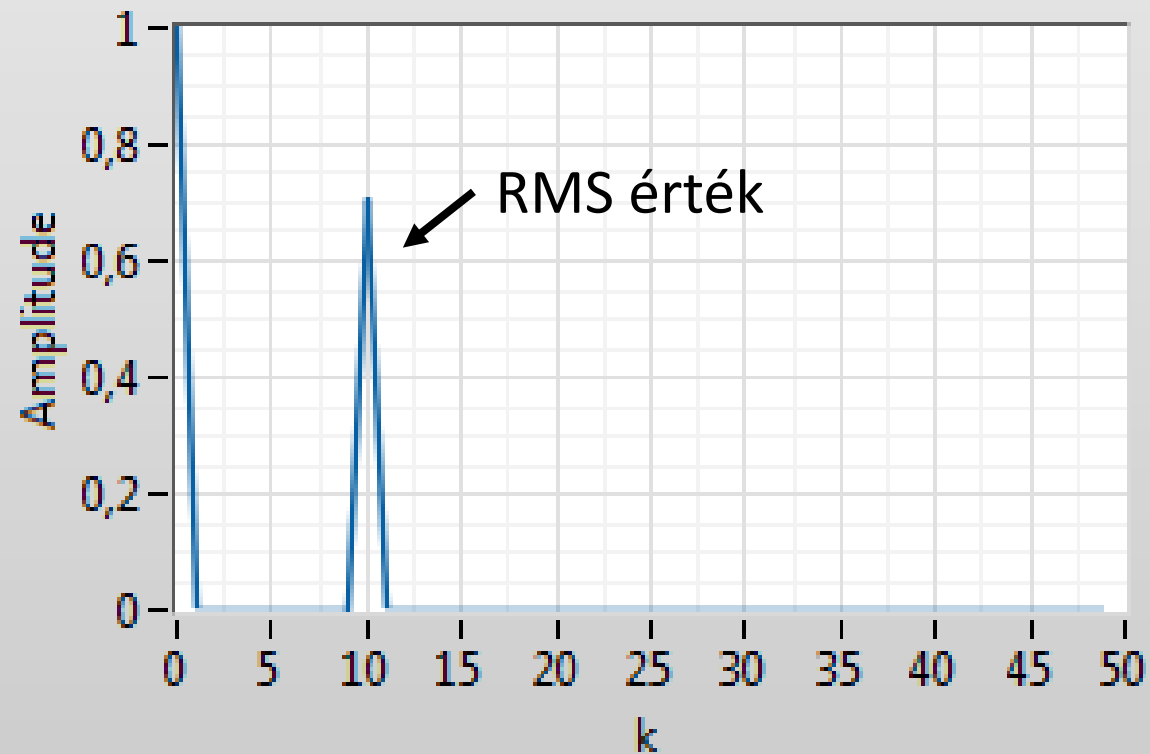
FFT



- Kapott DC amplitúdó: 1 V
- Kapott szinusz amplitúdó: 0,5 V (kétoldalas spektrum)

Egyoldalas spektrum

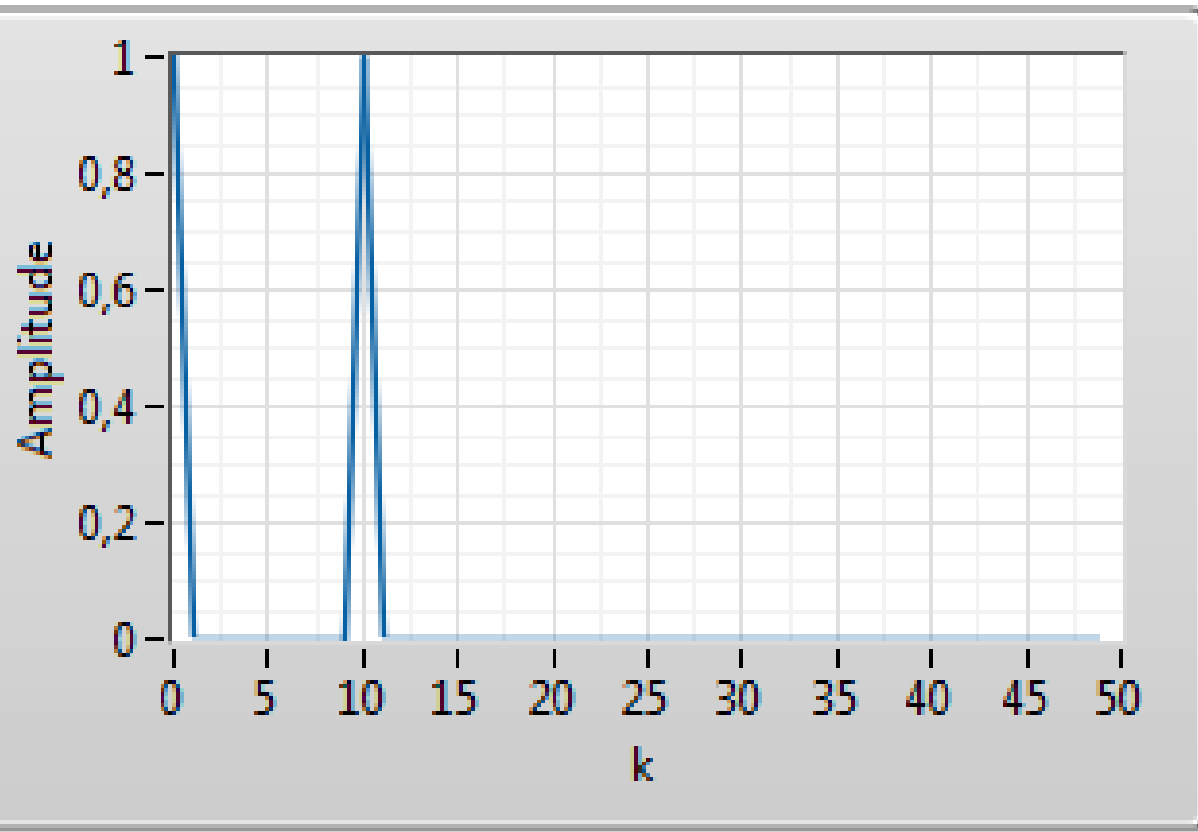
One side amplitude spectrum (LabVIEW)



- LabVIEW beépített: Amplitude and phase spectrum
- Miért 0,7 V?

Egyoldalas amplitúdó spektrum

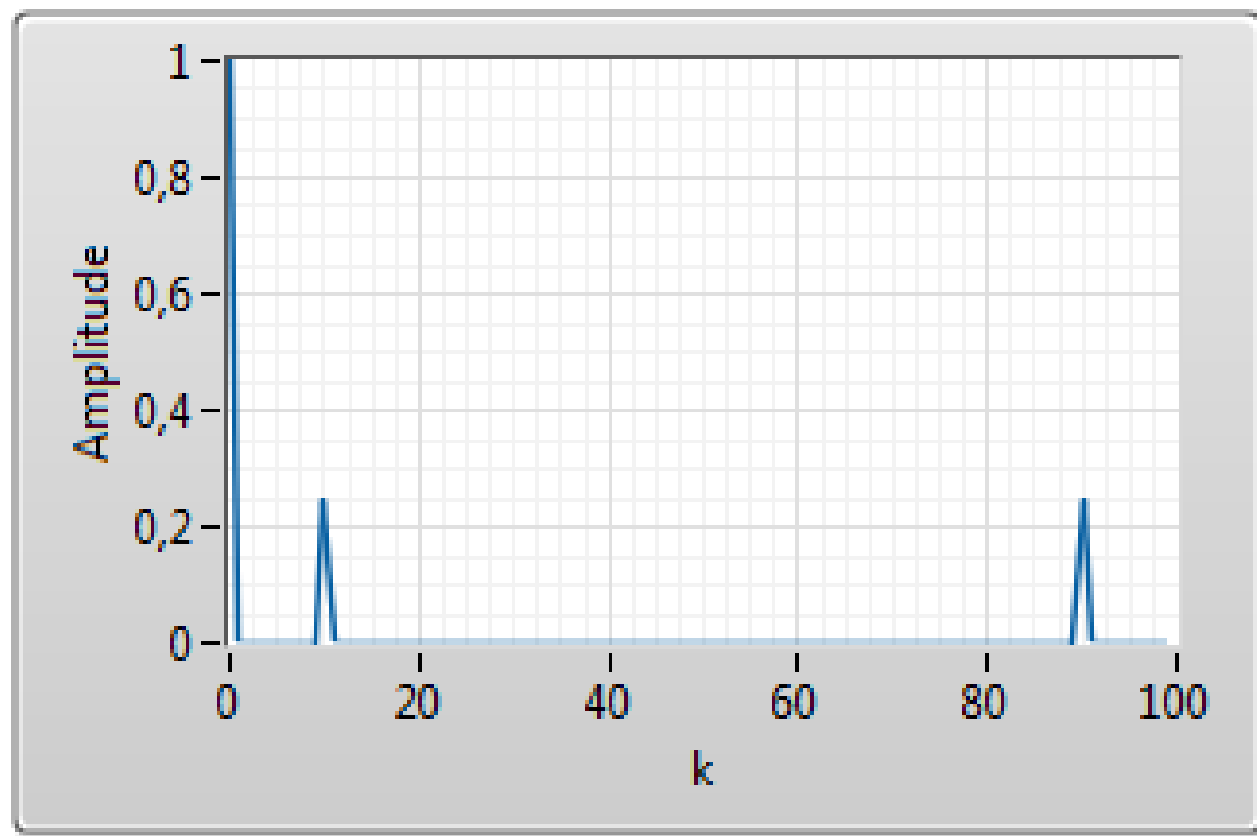
One side amplitude spectrum



- DC szint: azonos a kétoldalas spektrumével
- AC jelek: kétszerese a kétoldalas spektruménak

Teljesítményspektrum

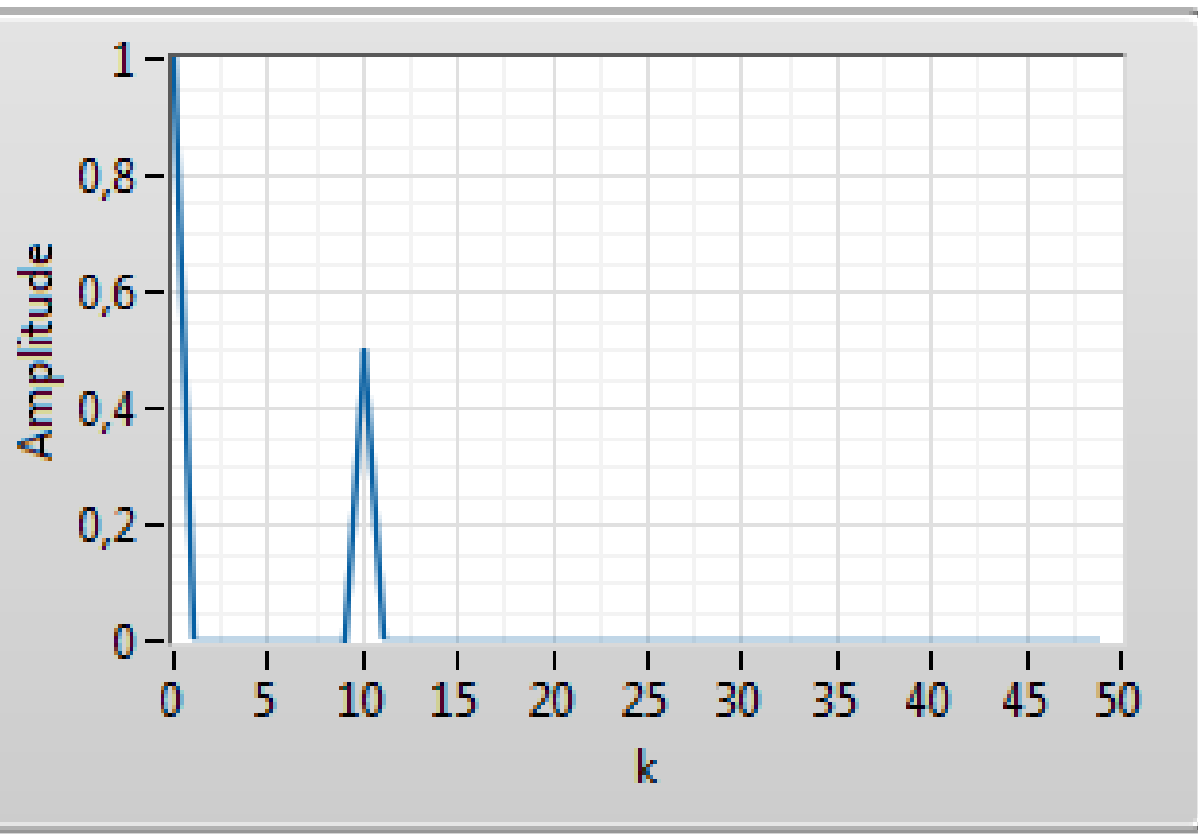
Power spectrum



- Az adott komponensek teljesítményét adja meg
- Kétoldalas
- Teljesítmény: $A^2/2/2$

Egyoldalas teljesítményspektrum

Power spectrum single sided



- Teljesítmény: $A^2/2$

Modern mérés technika 10.

Ablakfüggvények

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



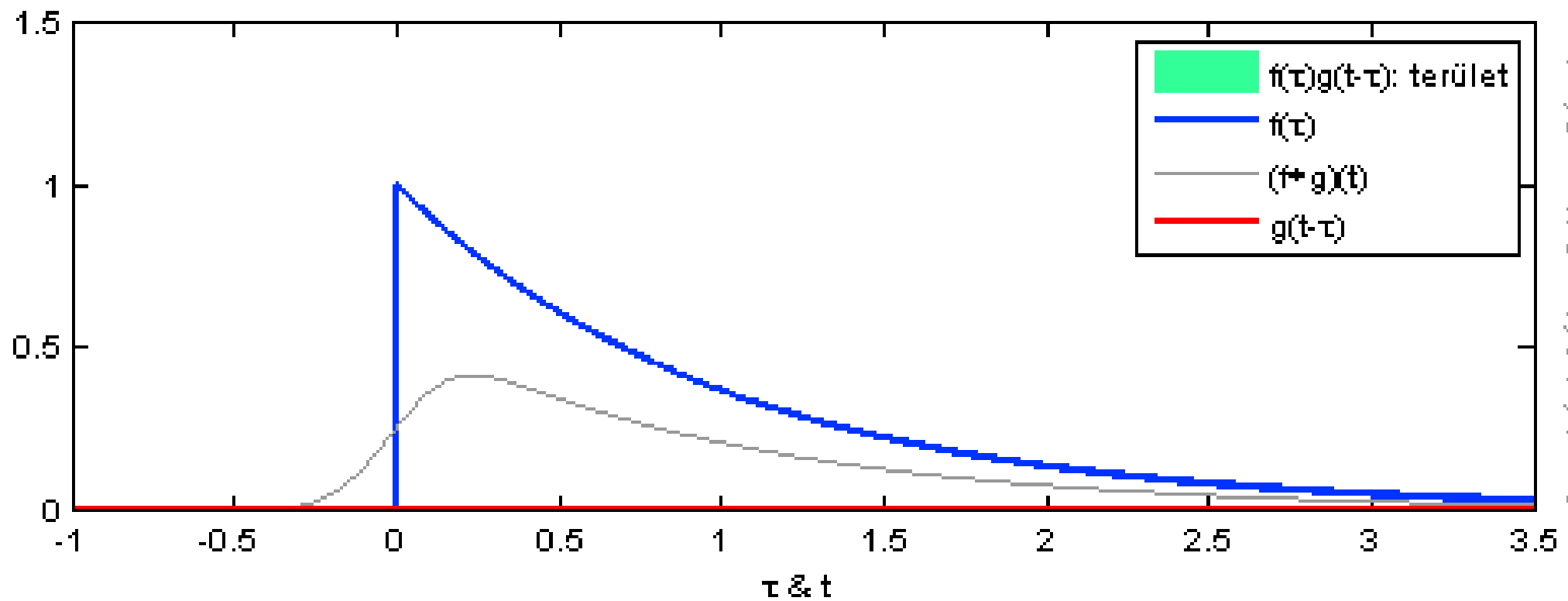
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Konvolúció

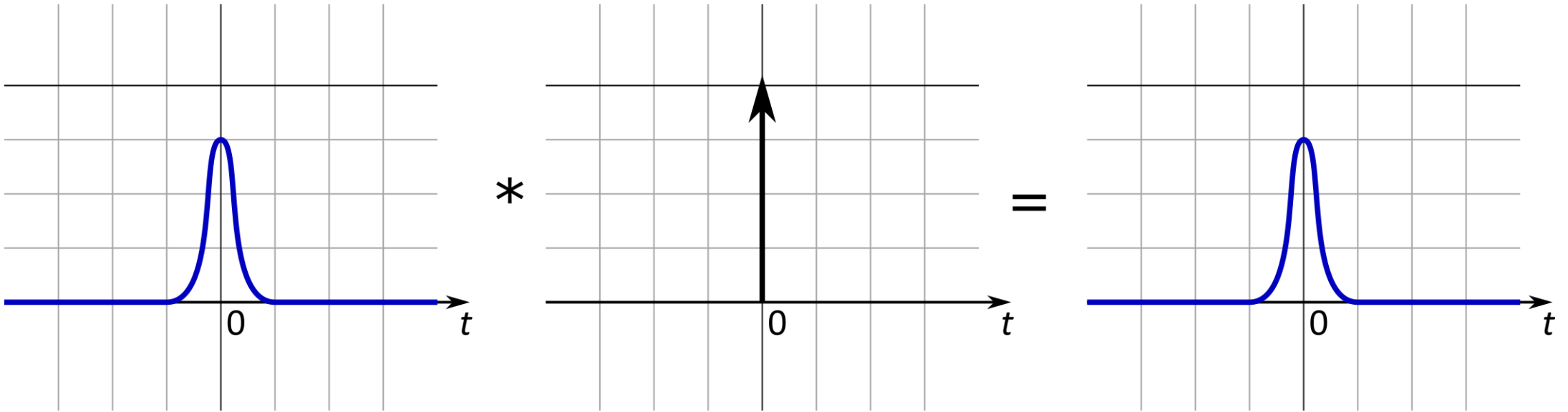
- Függvényeken és disztribúciókon értelmezett művelet

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t - \tau) d\tau$$

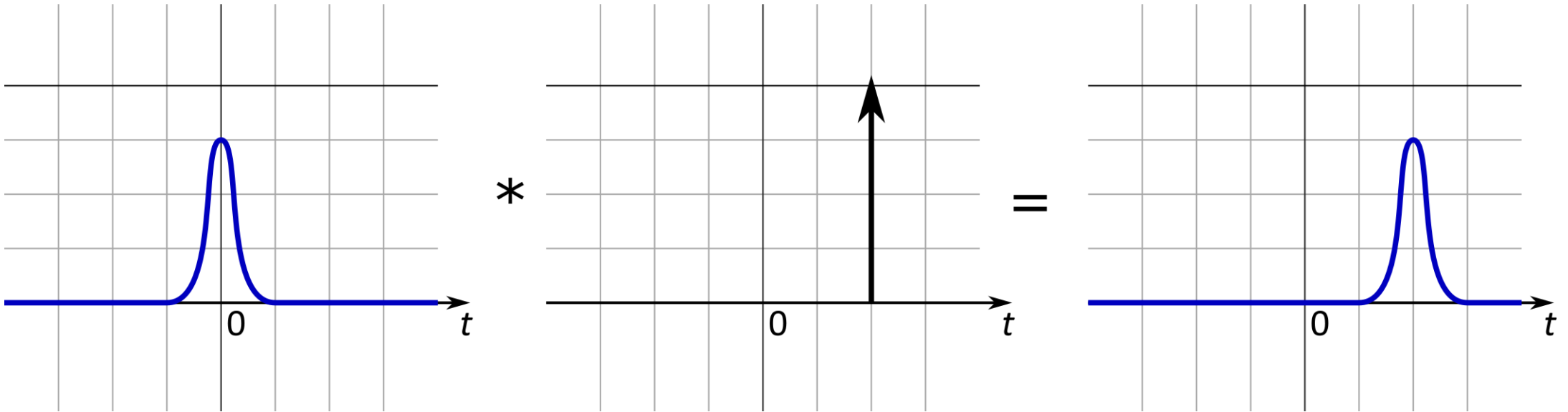
Konvolúció



Konvolúció és a Dirak-delta



Konvolúció és a Dirak-delta

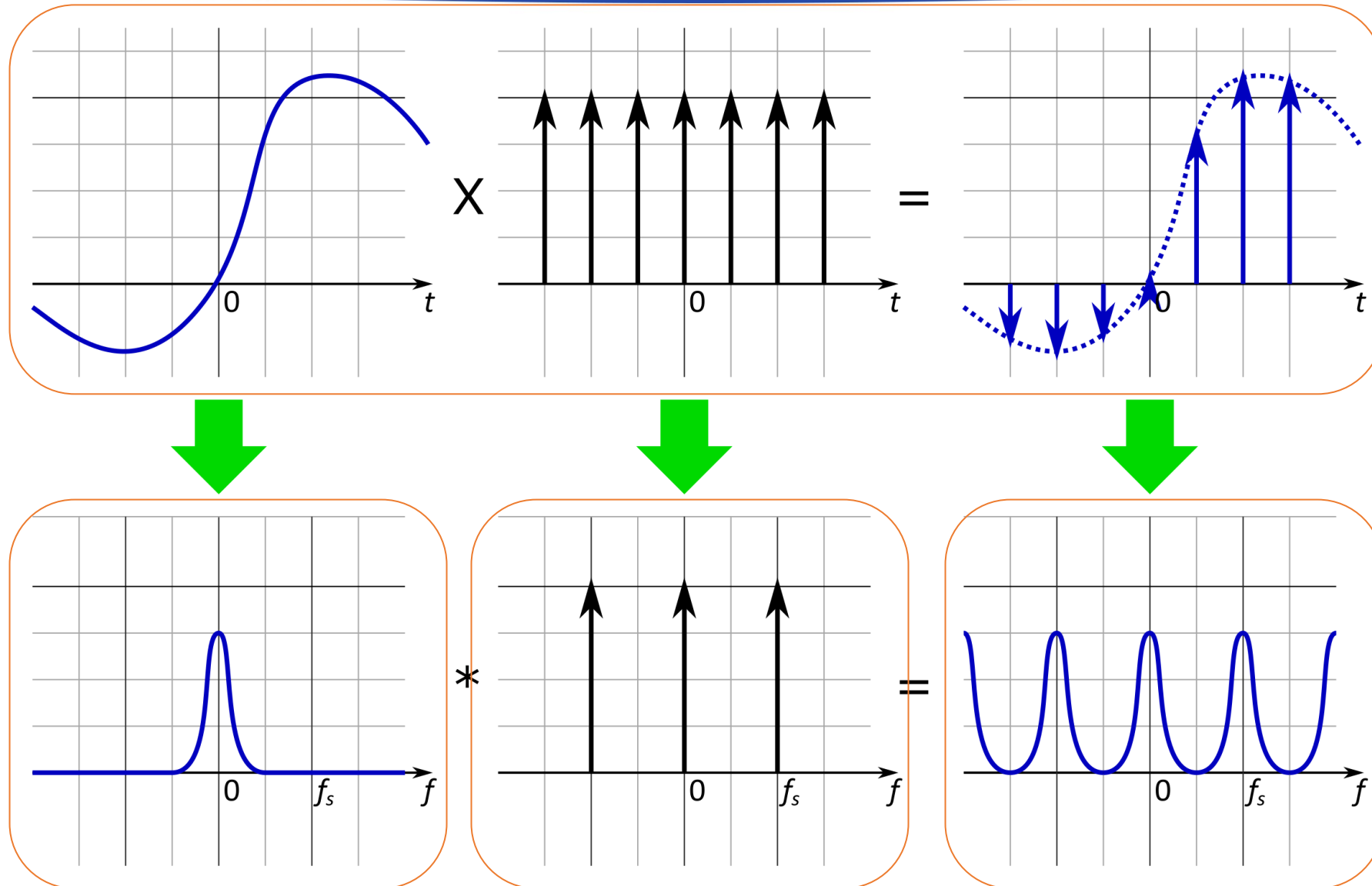


Fourier-transzformáció és konvolúció kapcsolata

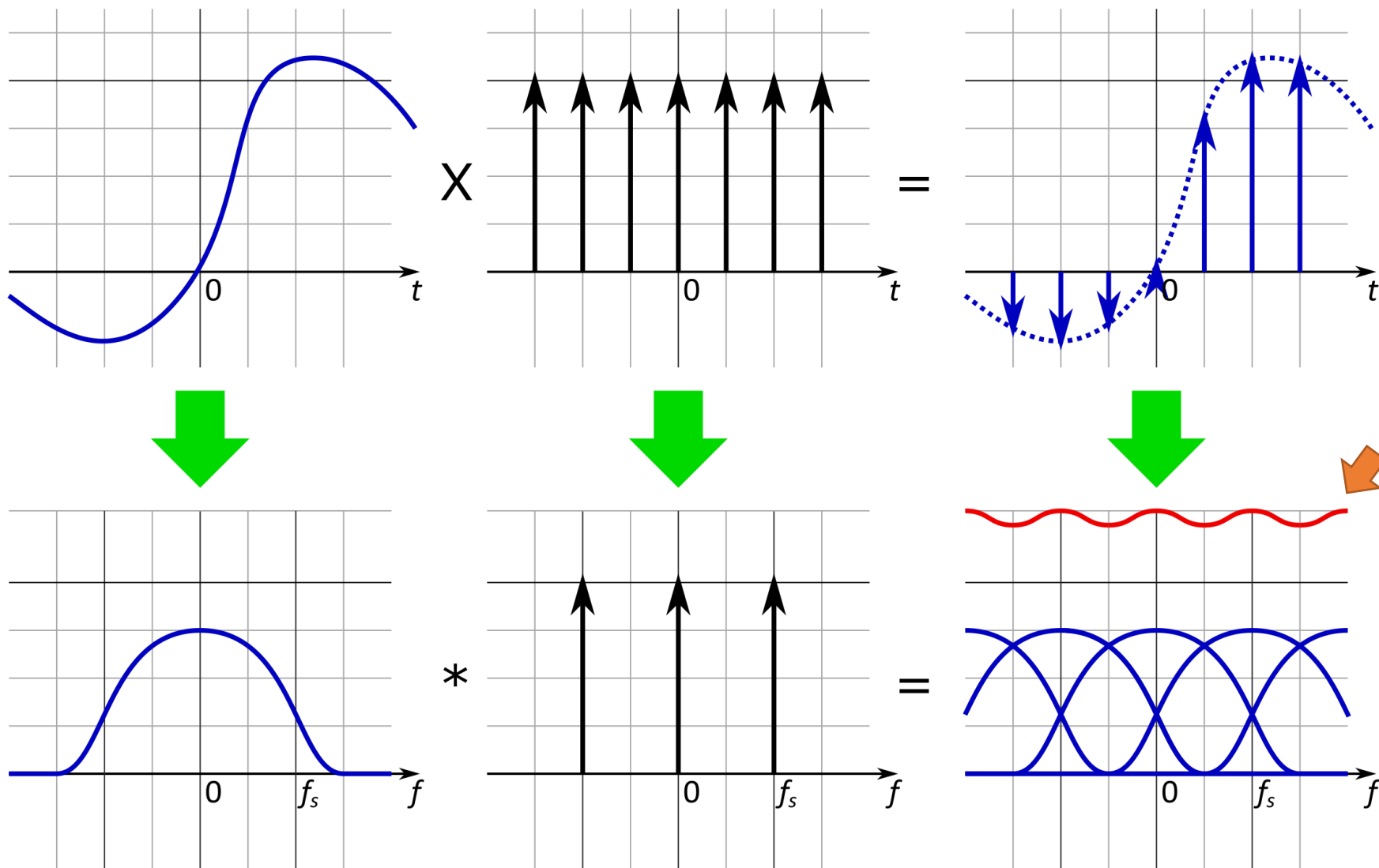
$$\mathcal{F}\{f * g\} = \mathcal{F}\{f\} \cdot \mathcal{F}\{g\}$$

$$\mathcal{F}\{f \cdot g\} = \mathcal{F}\{f\} * \mathcal{F}\{g\}$$

Konvolúció és mintavételezés

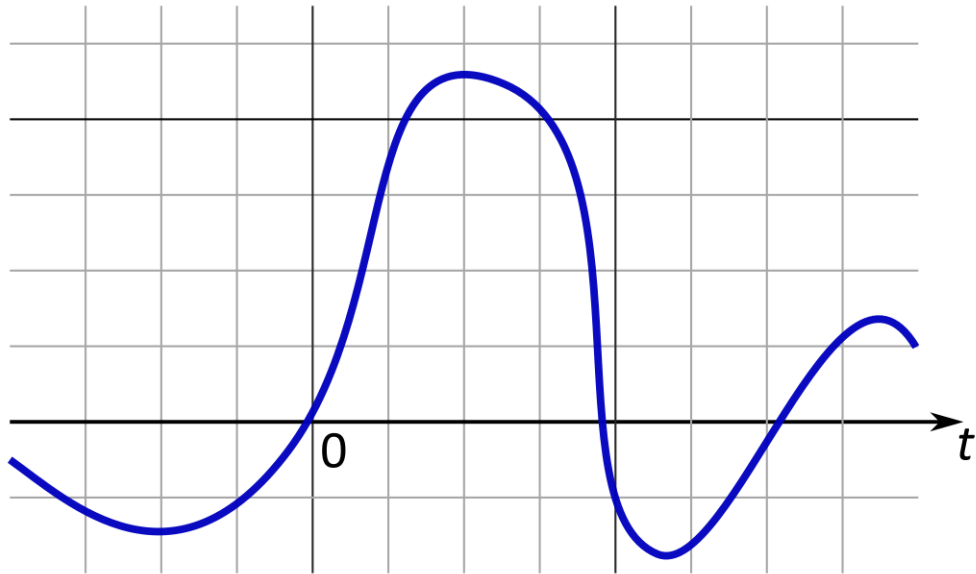


Konvolúció és mintavételezés



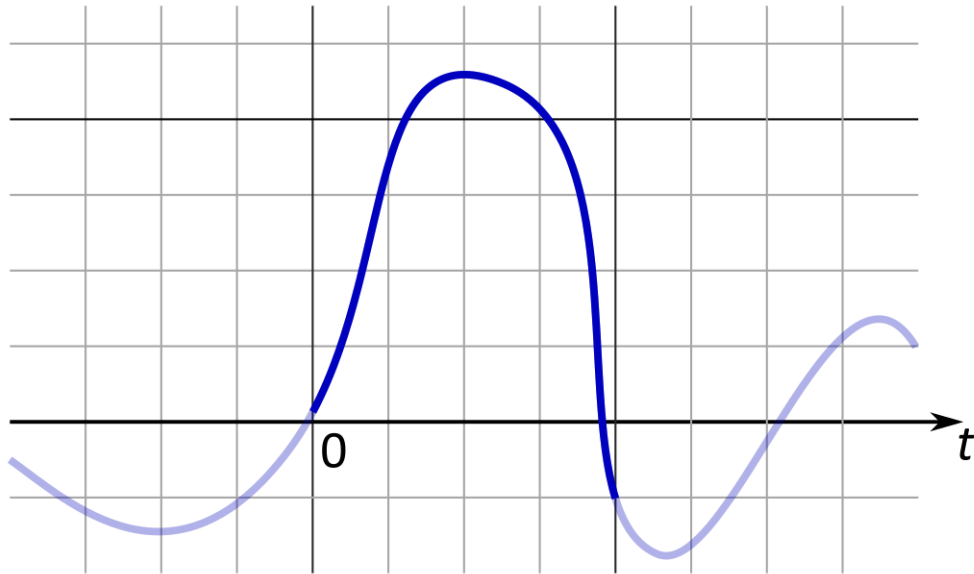
Véges mérési idő

- T ideig tartó mérés



Véges mérési idő

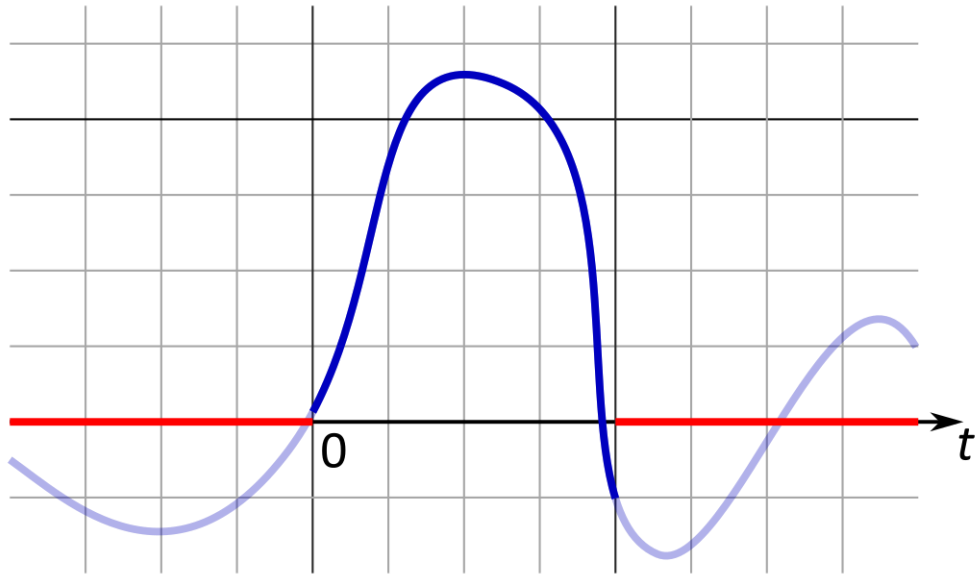
- T ideig tartó mérés



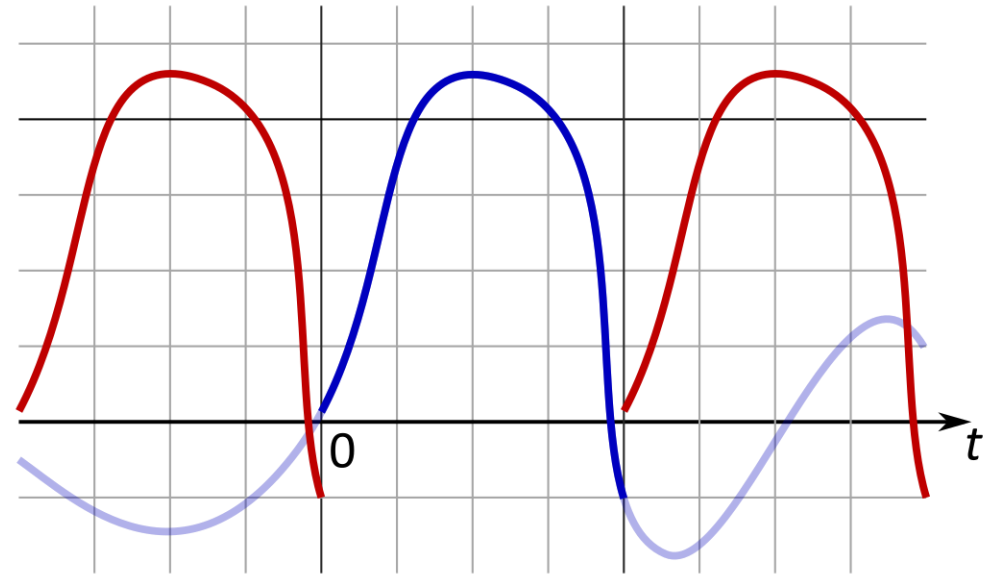
- Mit tegyünk a mérési időn kívüli pontokkal?

Véges mérési idő

- 0-val való kitöltés



- Periodikus kiterjesztés



Periodikus kiterjesztés hatása

Periodikus kiterjesztés hatása

- A jelfrekvencia két diszkrét frekvencia közé esik
- Periodikus kiterjesztés: törés következhet be a jelben
- Több szomszédos frekvencián tapasztalunk jelet:
Spektrális szétfolyás (*spectral leakage*)

Abblakfüggvény használata

Ablakfüggvény használata

- Ablakfüggvény: csökkenti a törést
(A DC szintet el kell távolítani előtte)
- Ablakfüggvénnel való szorzás →
frekvenciatartományban konvolúciú
- Nincs ablakfüggvény: négyszögablak

Abblakfüggvény hatása

Milyen ablakot válasszunk

- Aktuális feladattól függ
 - Hanning – legelterjedtebb
 - Flat top – jelamplitúdó mérése
- Teljesítmény számolásánál: korrekciós faktor

Mikor ne használjunk ablakfüggvényt?

- Egész számú periódus mérése
(Koherens mintavételezés)
Ha lehet, ezt célszerű alkalmazni
- Zaj-jelenségek vizsgálata

Modern mérés technika

11.

Teljesítményspektrum

Teljesítménysűrűség-spektrum

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Színuszjel teljesítménye

- Elektromos teljesítmény

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R}$$

- Effektív teljesítmény

$$P_{eff} = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (A \cdot \cos(2\pi f t))^2 dt$$
$$P_{eff} = \frac{A^2}{2}$$

Teljesítményspektrum (PS) – DFT alapján

- Kétoldalas spektrum egy komponense:

$$|X_k| = \frac{A}{2}$$

- Effektív teljesítmény:

$$P_{eff} = \frac{A^2}{2} = 2 \cdot |X_k|^2$$

(Egyoldalas teljesítményspektrum)

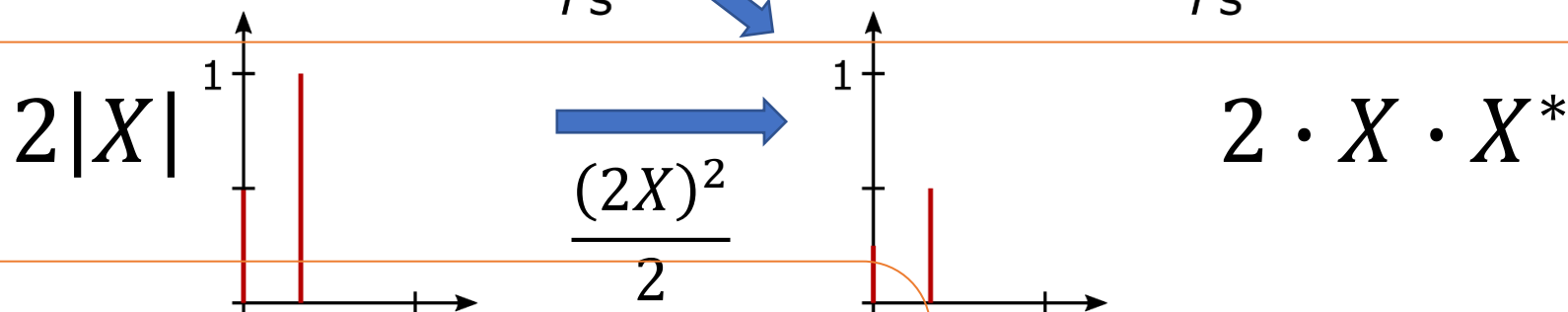
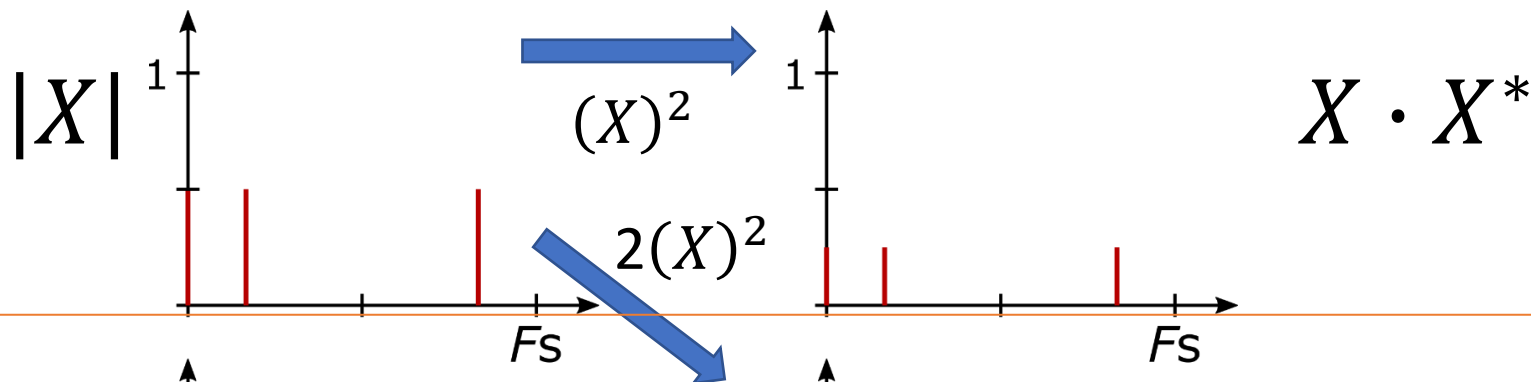
Amplitúdó és teljesítményspektrum kapcsolata

DC: 0,5 V

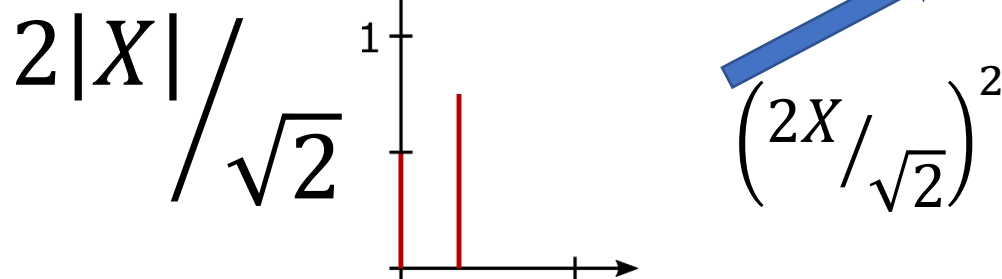
Színusz: 1 V

Amplitúdó spektrum

Teljesítmény spektrum



Effektív érték:



Teljesítménysűrűség-spektrum (PSD)

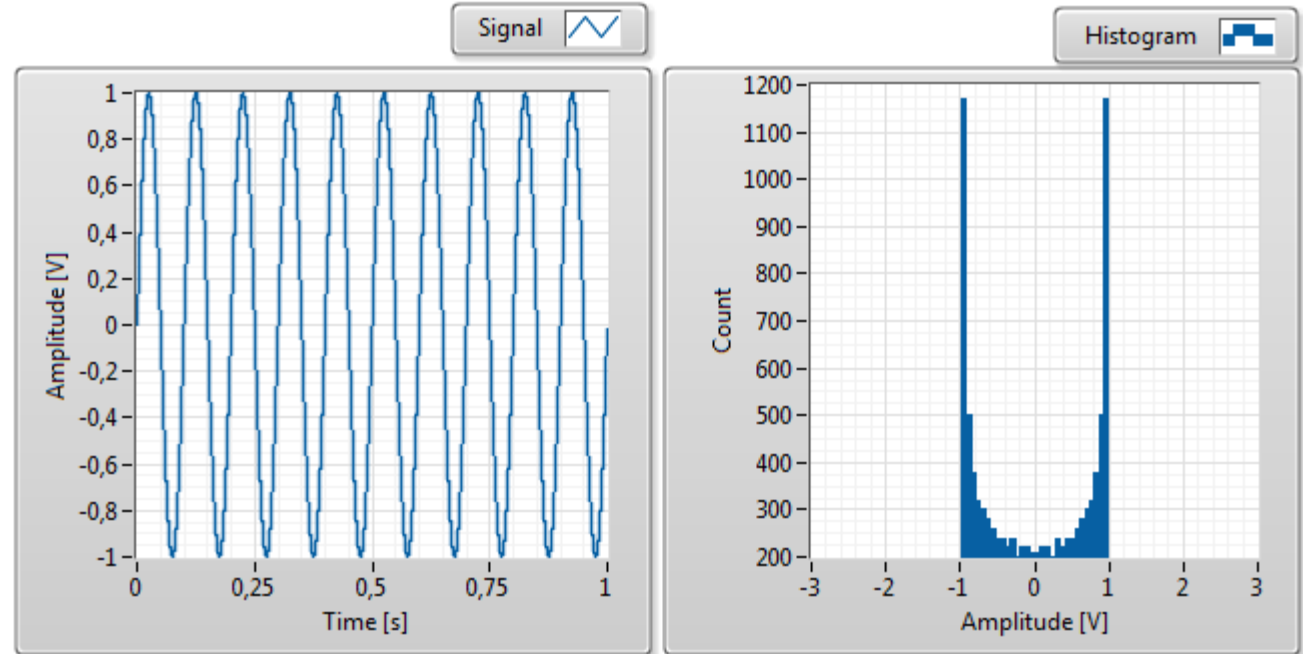
- Teljesítménysűrűség: dP/df
- Diszkrét eset: $\Delta P/\Delta f$
- Szinuszjel spektruma: $P_k = 2 \cdot |X_k|^2$
- Teljesítménysűrűség: $S_k = P_k/\Delta f = P_k \cdot T$

$$S_k = 2 \cdot |X_k|^2 \cdot T$$

(Egyoldalas teljesítménysűrűség-spektrum)

Példa: 1 V, 10 Hz szinuszjel

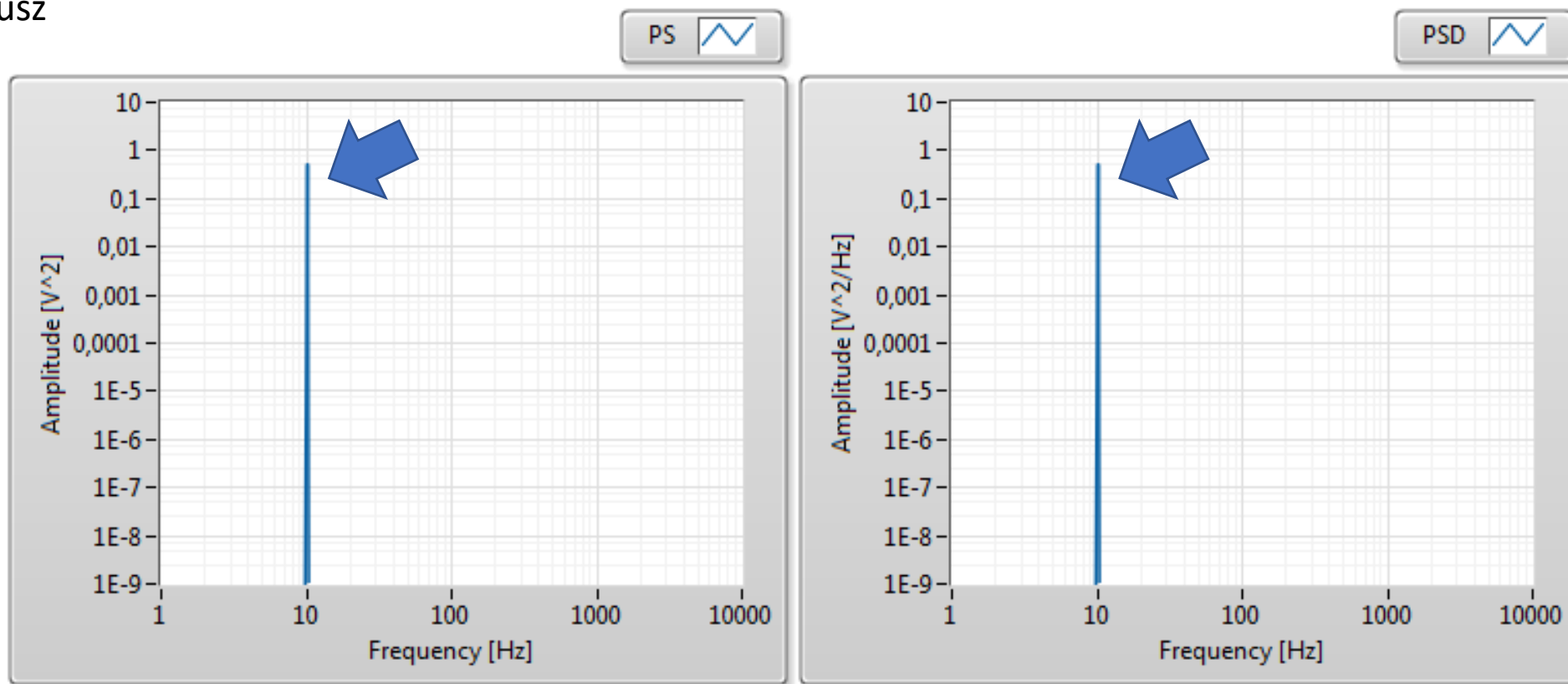
- Szórás = RMS = $1/\sqrt{2}$ V
- Teljesítmény = variancia = $0,5 \text{ V}^2$



Teljesítményspektrum (PS)
és
Teljesítménysűrűség-spektrum
(PSD)

$$F_s = 10 \text{ kHz}, T = 1 \text{ s}$$

10 Hz-es szinusz

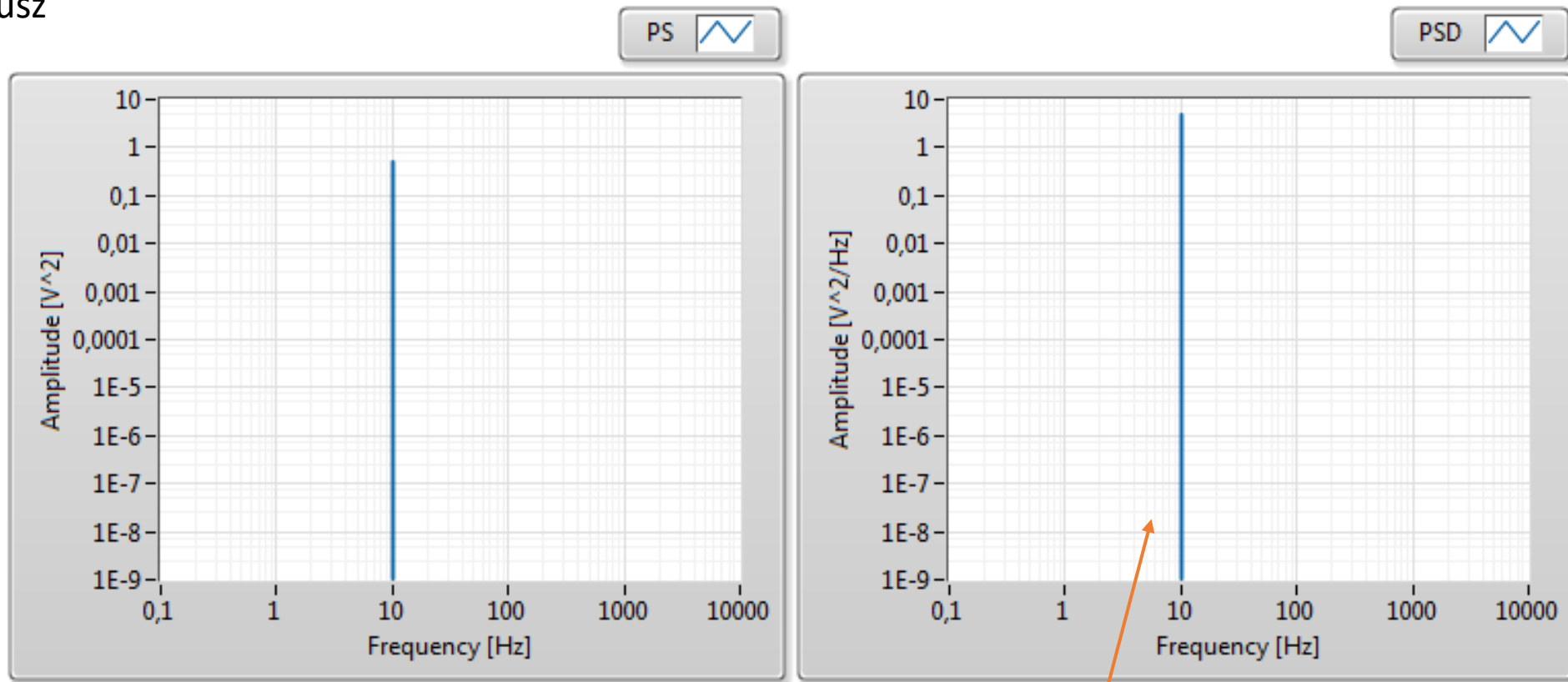


Jel teljesítménye:

10. PS komponens értéke: $0,5 \text{ V}^2$

$$F_s = 10 \text{ kHz}, T = 10 \text{ s } (\Delta f = 0,1 \text{ Hz})$$

10 Hz-es szinusz



Jel teljesítménye:

100. PS komponens értéke: $0,5 \text{ V}^2$

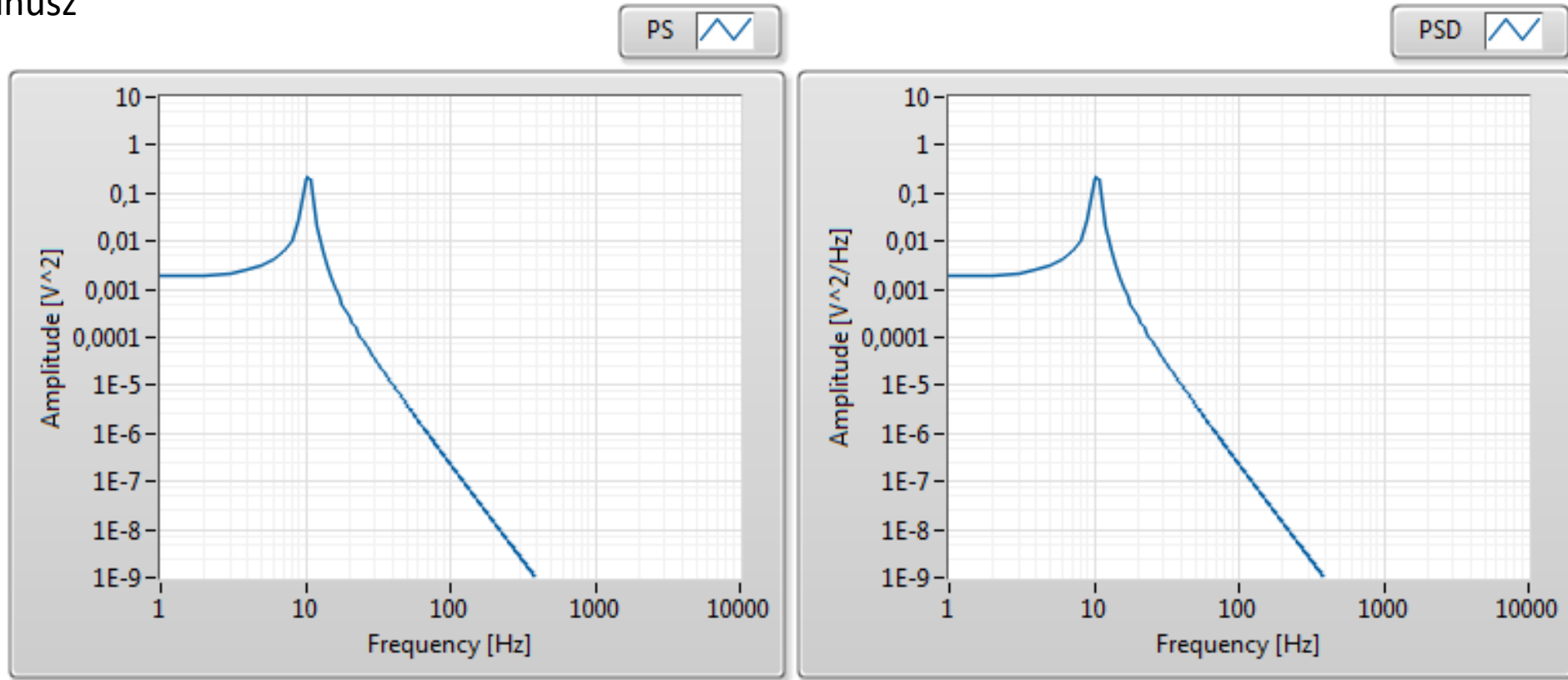
$$5 \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}} \cdot 0,1 \text{ Hz} = 0,5 \text{ V}^2$$

1 V, 10,5 Hz-es szinusz

- Nem egész számú periódus
- Spektrális szétfolyás várható

$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, Négyyszög ablak

10,5 Hz-es szinusz

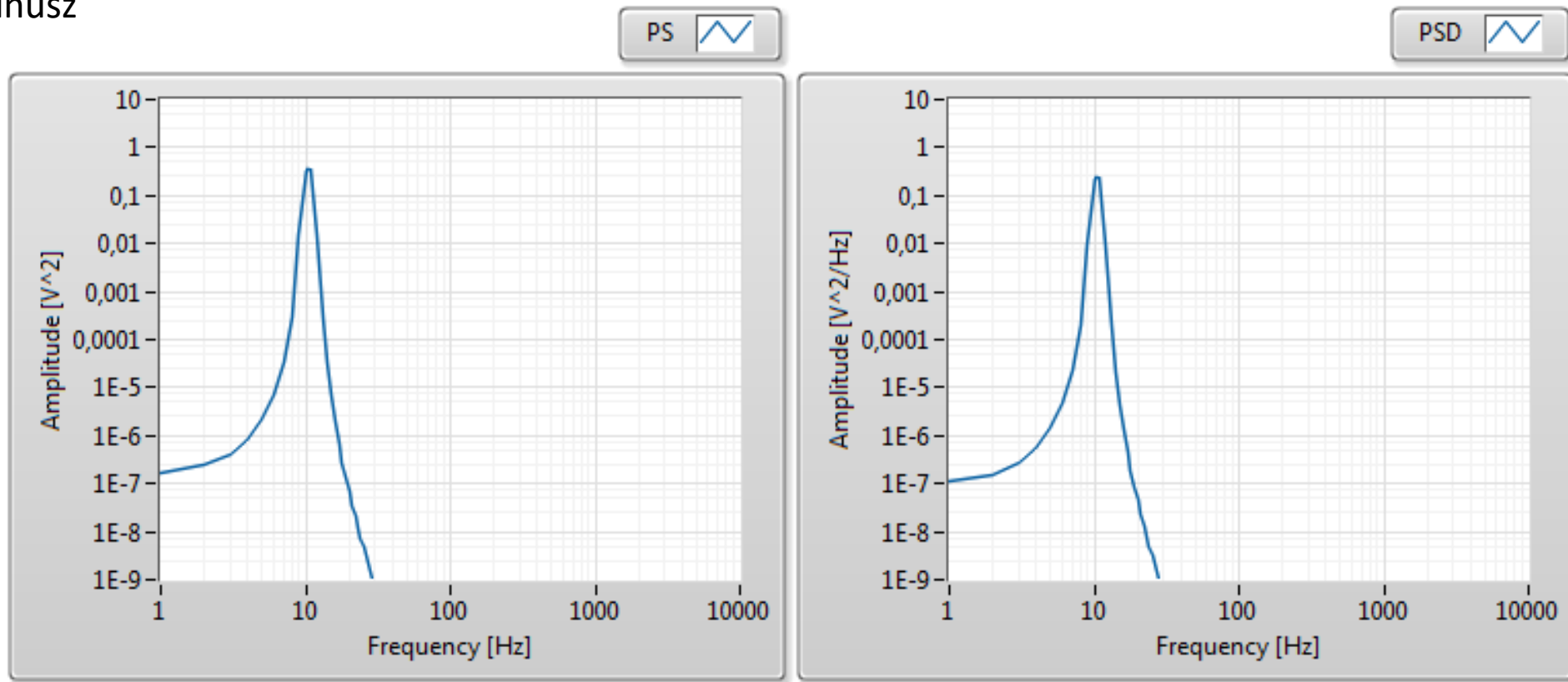


10. PS komponens értéke:
 $0,213 \text{ V}^2$

$$\int_{8\text{Hz}}^{12\text{Hz}} PSD \, df = 0,4621 \text{ V}^2$$

$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, Hanning ablak

10,5 Hz-es szinusz

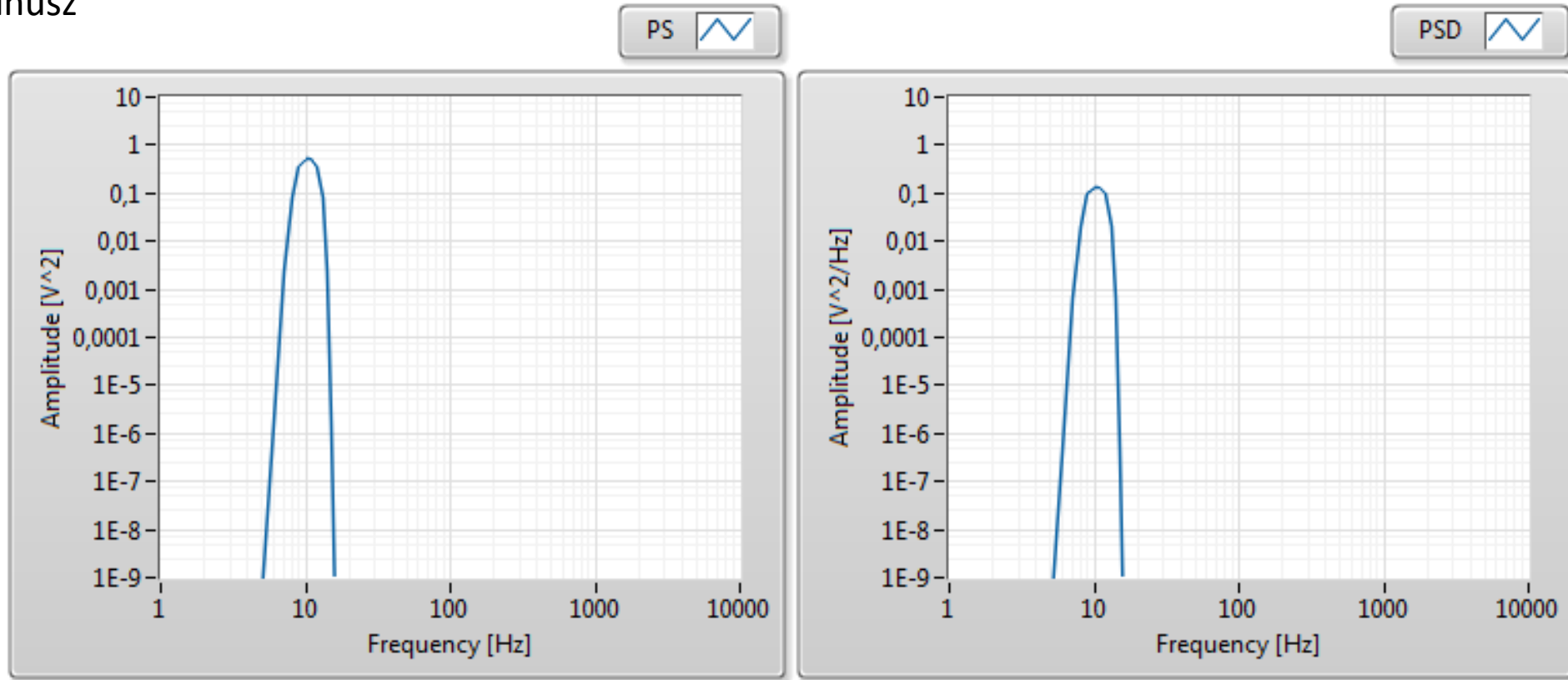


10. PS komponens értéke:
 $0,36V^2$

$$\int_{8\text{Hz}}^{12\text{Hz}} PSD \, df = 0,4997V^2$$

$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, Flat Top ablak

10,5 Hz-es szinusz



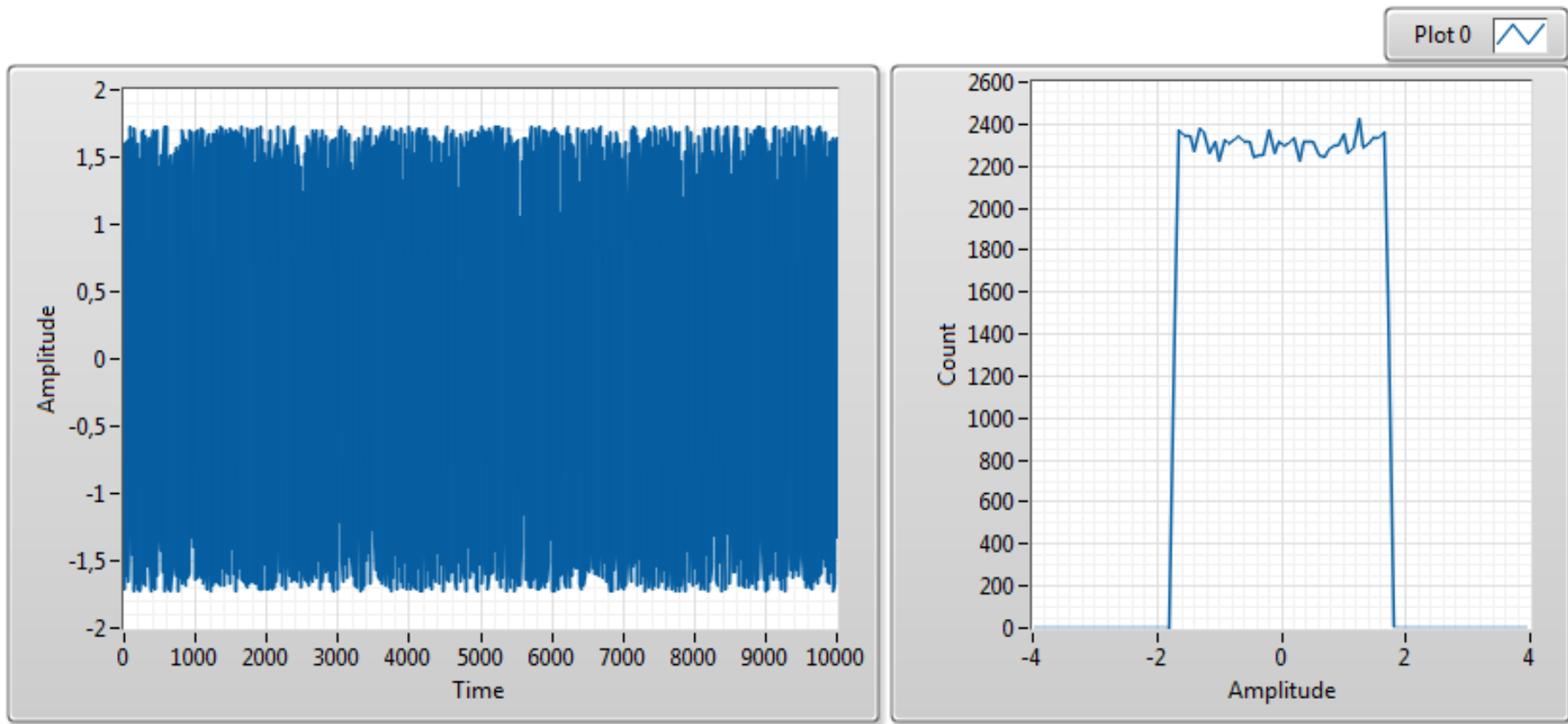
10. PS komponens értéke:
 $0,4989 \text{ V}^2$

$$\int_{7\text{Hz}}^{13\text{Hz}} PSD \, df = 0,4993 \text{ V}^2$$

Fehér zaj

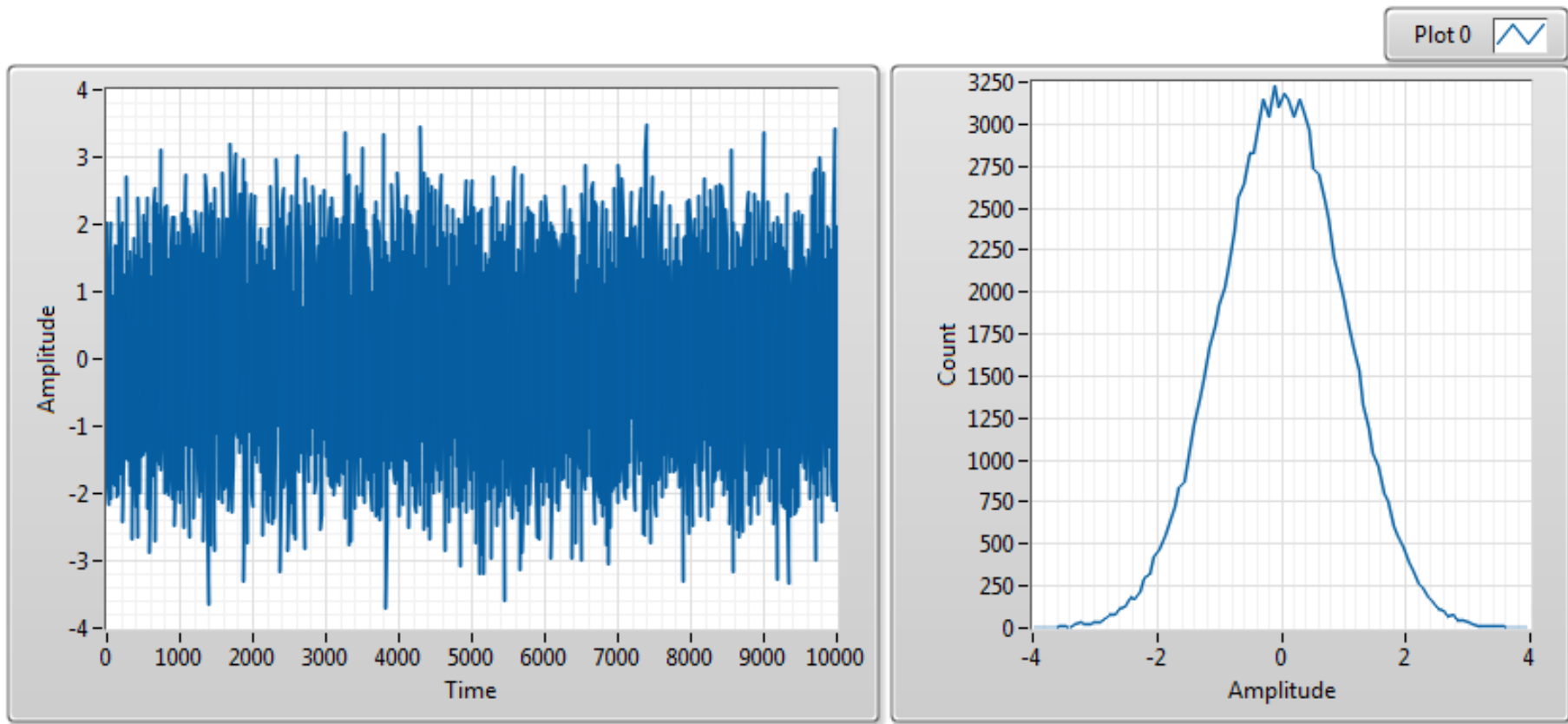
Egyenletes eloszlású fehér zaj

- Szórás = 1, amplitúdó = $\sqrt{3}$, pk-pk = $\sqrt{12}$



Normál eloszlású fehér zaj

- Szórás = 1, pk-pk = 3σ (elvileg ∞)

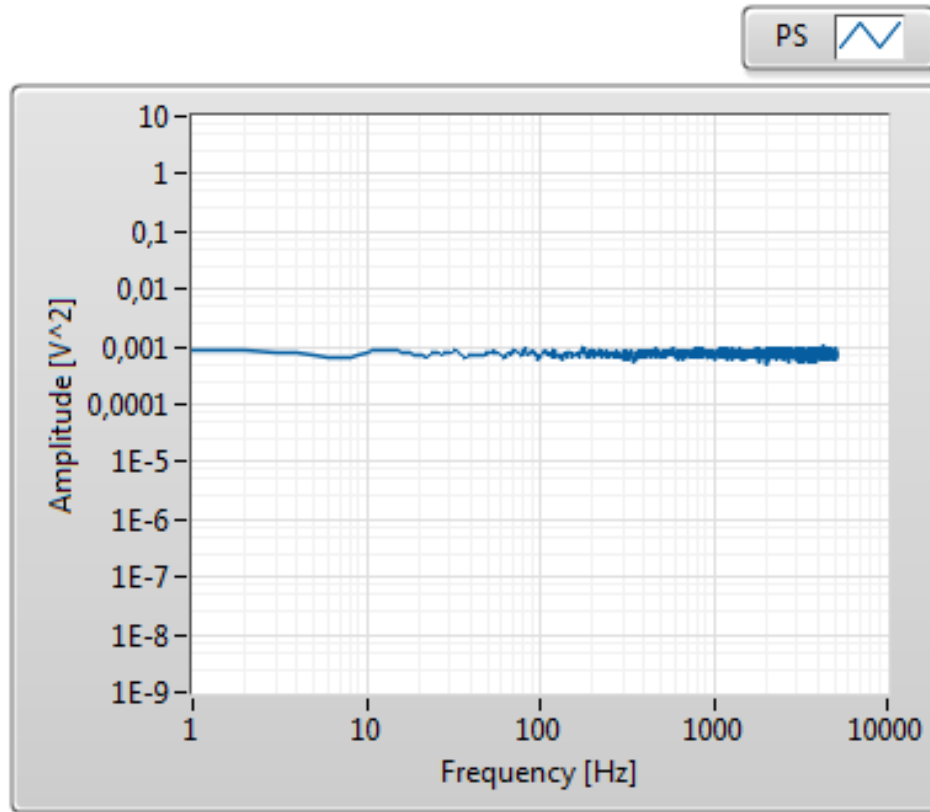


Fehér zaj spektruma

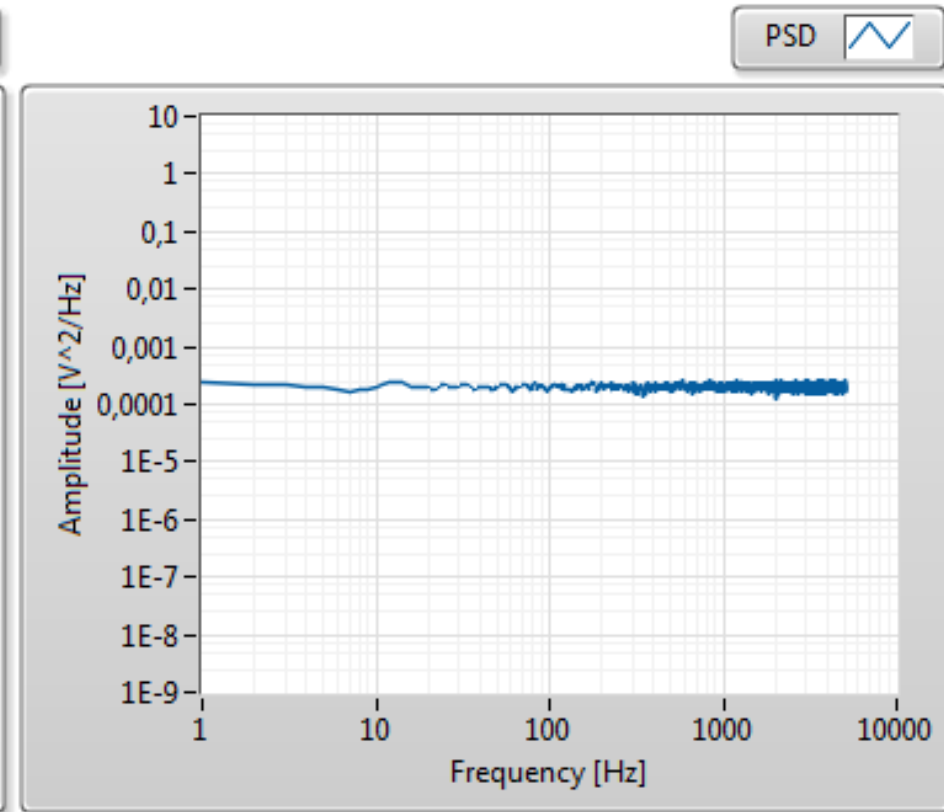
Fehér zaj spektruma – átlagolással

$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, Flat Top ablak, 100 átlag

Fehér zaj



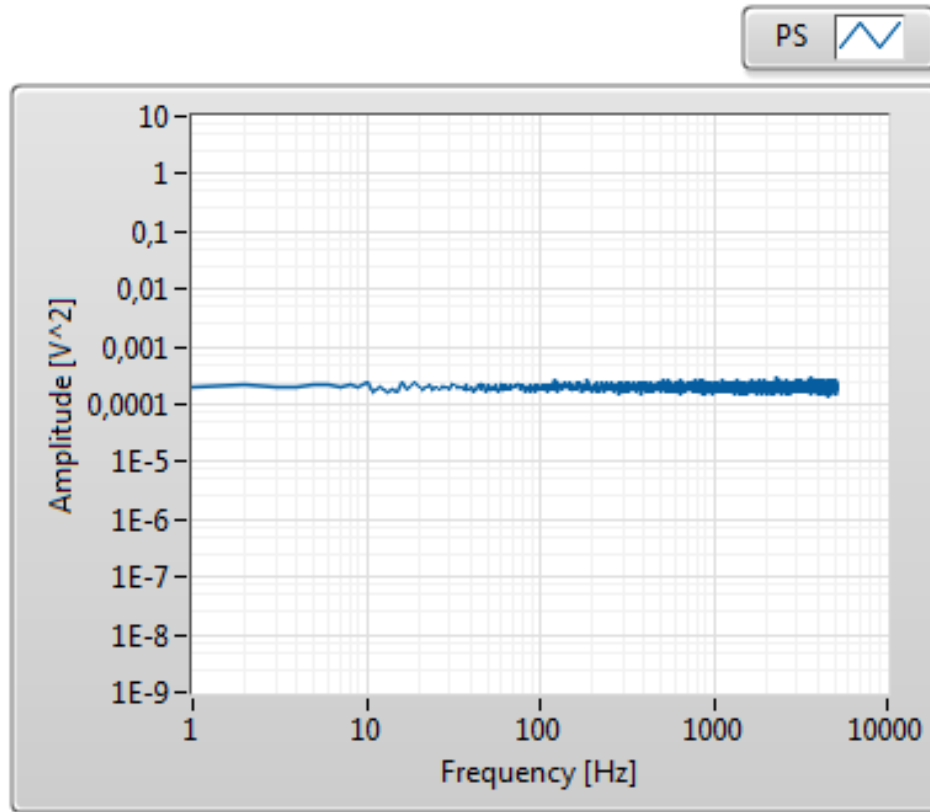
PS teljes teljesítmény:
 $3,774 \text{ V}^2$



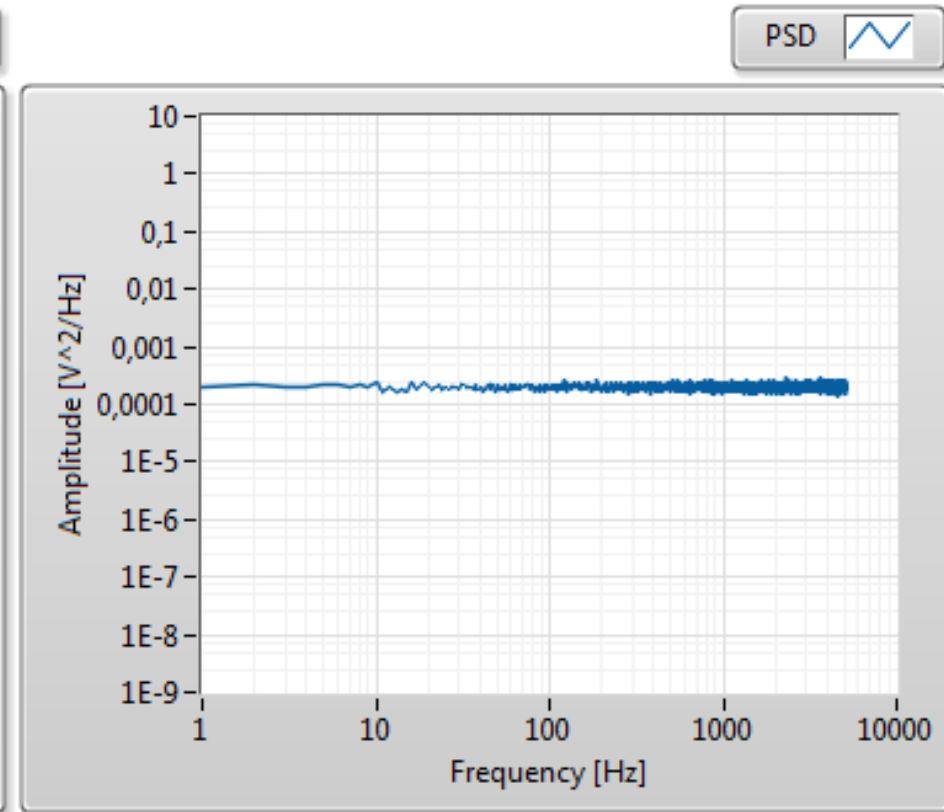
PSD teljes teljesítmény:
 $1,001 \text{ V}^2$

$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

Fehér zaj



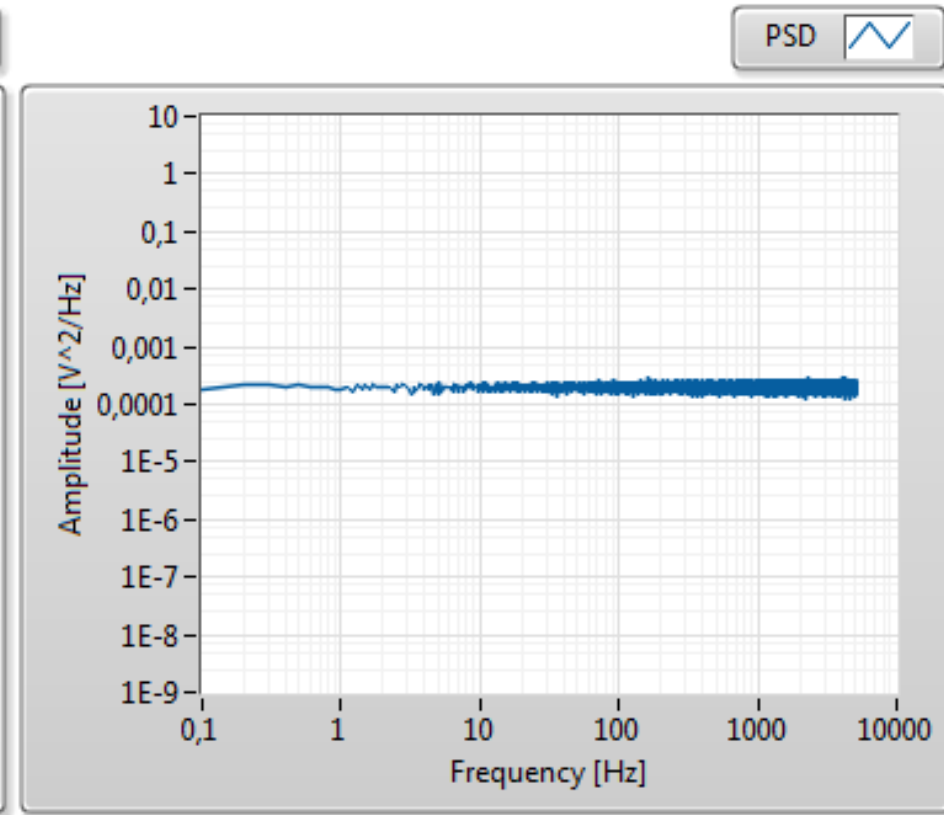
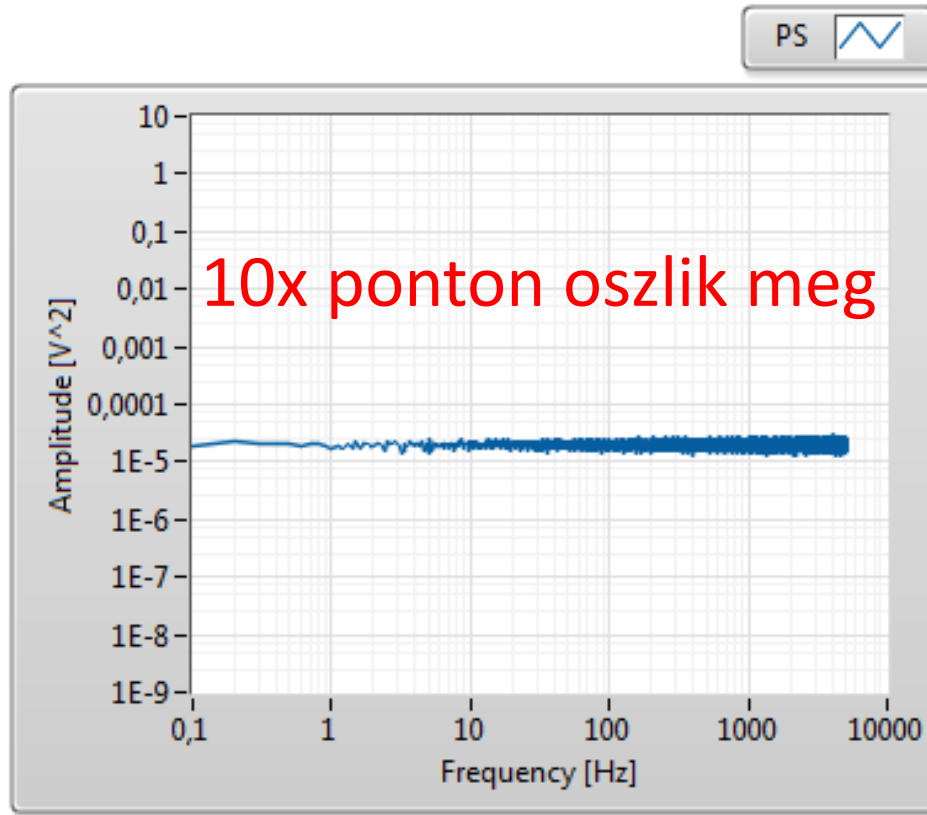
PS teljes teljesítmény:
 $1,001 \text{ V}^2$



PSD teljes teljesítmény:
 $1,001 \text{ V}^2$

$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 10 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

Fehér zaj

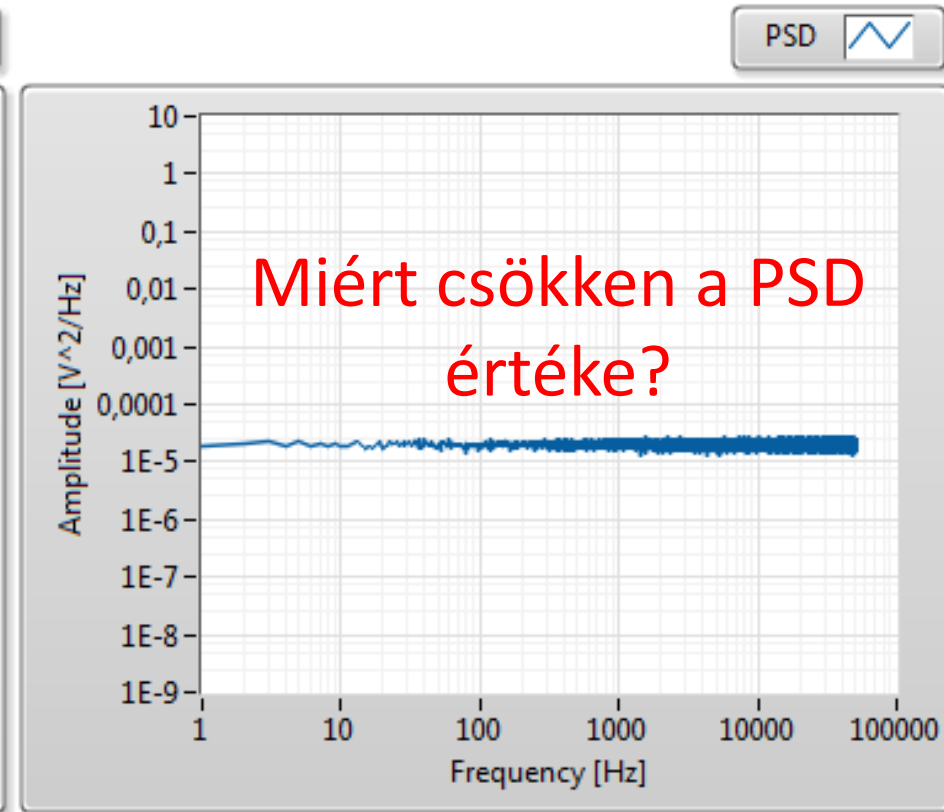
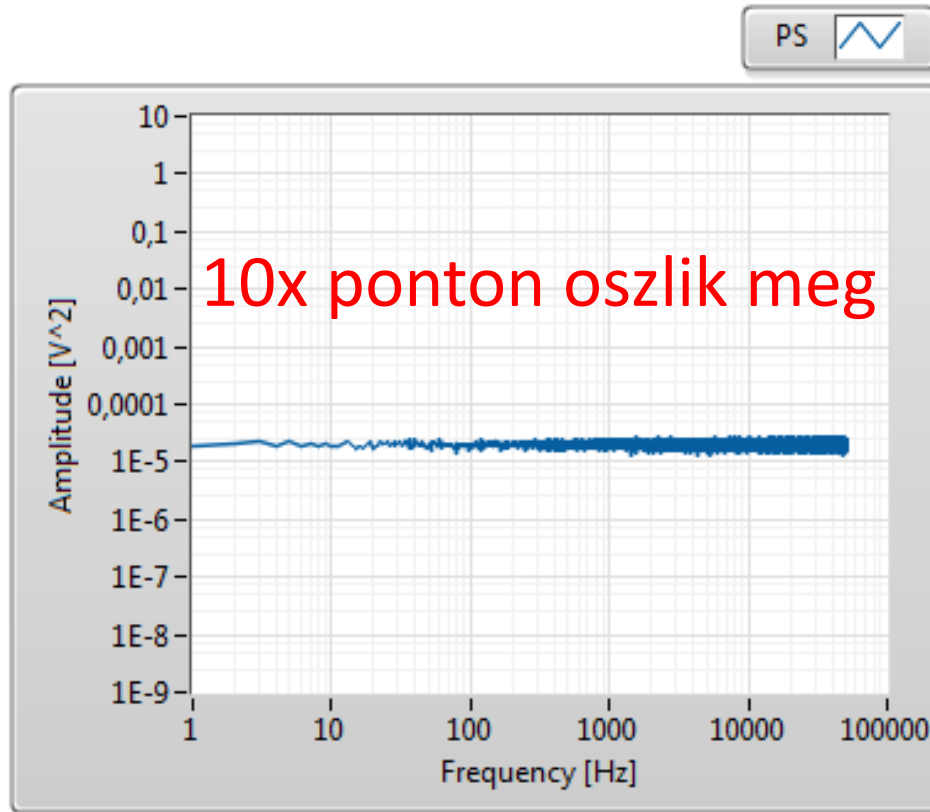


PS teljes teljesítmény:
 $1,001 \text{ V}^2$

PSD teljes teljesítmény:
 $1,001 \text{ V}^2$

$F_s = 100 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

Fehér zaj



PS teljes teljesítmény:
 $1,001 V^2$

PSD teljes teljesítmény:
 $1,001 V^2$

Fehér zaj

- Minden frekvenciatartományban azonos teljesítménysűrűség
- Elméletileg: ∞ sávszélesség



?? ∞ teljesítmény ??

- Szükséges: felső határfrekvencia

Szimuláció

- Felső határfrekvencia:

$$\frac{f_s}{2}$$

- Megadott szórású (teljesítményű) jel generálása
- A jel teljesítménye megoszlik 0 és $f_s/2$ között

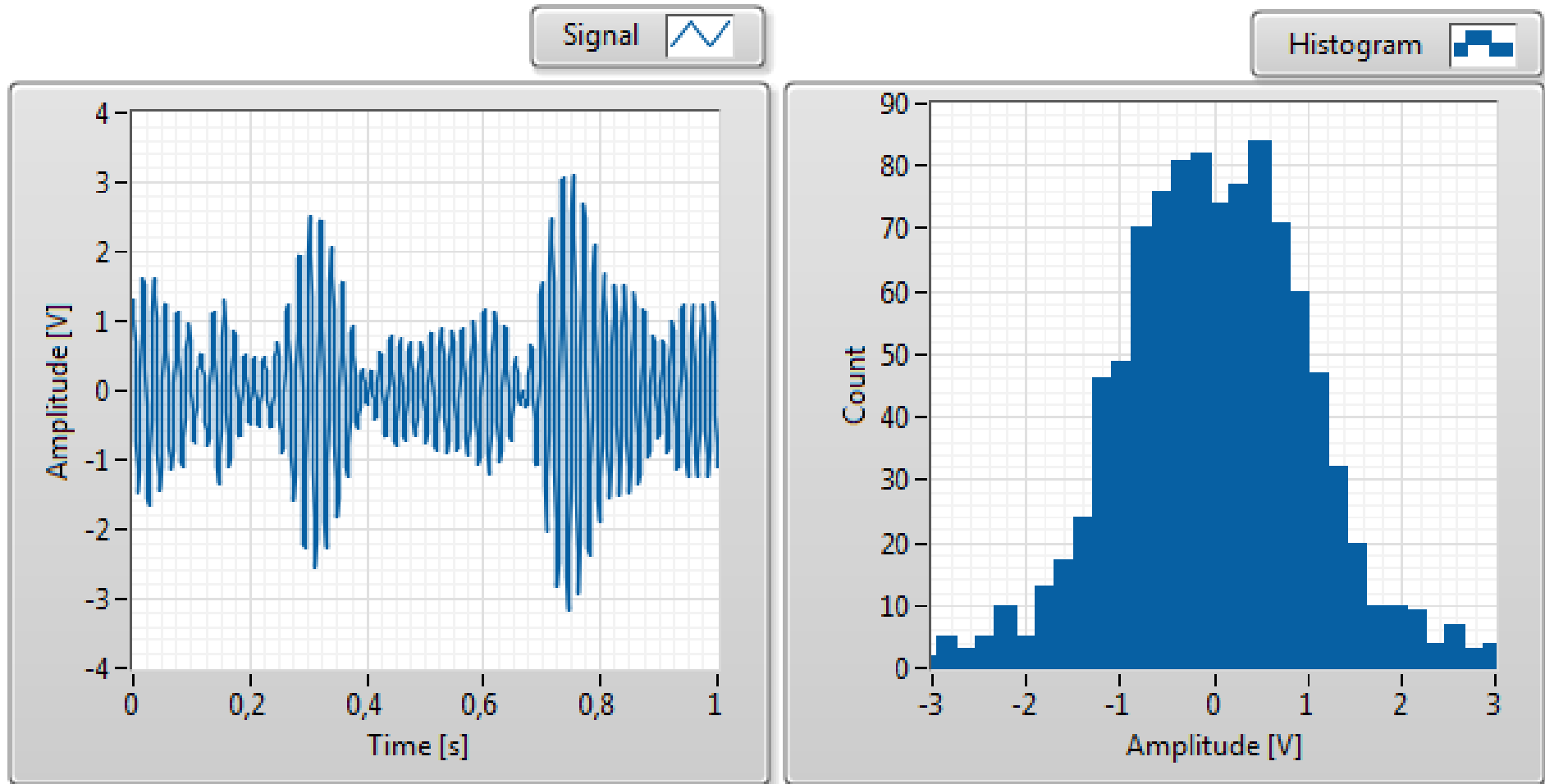
Valós jelek

- PSD konstans
(közelítés)
- A sávszélesség növelése növeli a rendszerben mért zajteljesítményt
- Mintavételezés: a mintavételi szűrő korlátozza a zaj mennyiségét

Sávhatárolt zaj

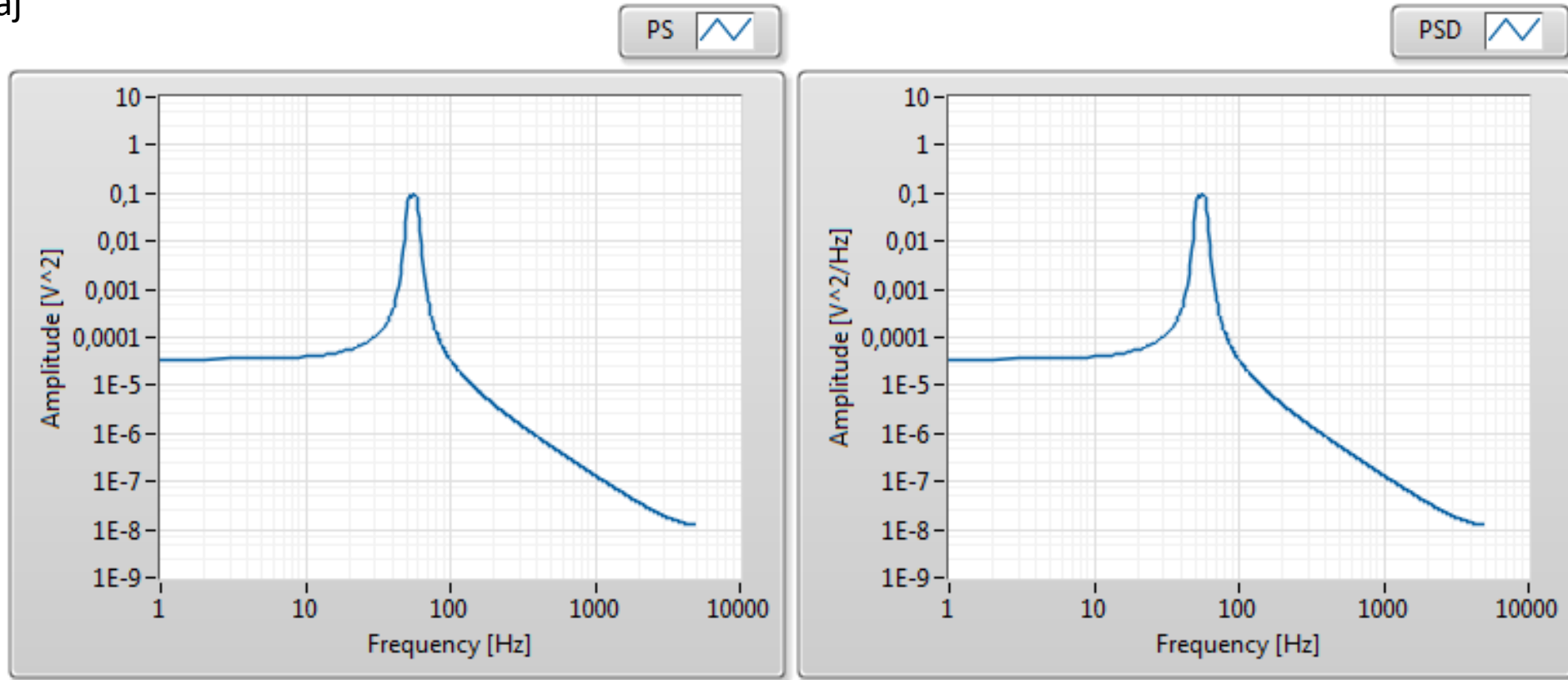
Szórás = 1 V, Teljesítmény = 1 V²

- Frekvenciatartomány: 50-60 Hz



$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

Sávhatárolt zaj



PS, PSD teljes teljesítmény:
 $1,000 \text{ V}^2$

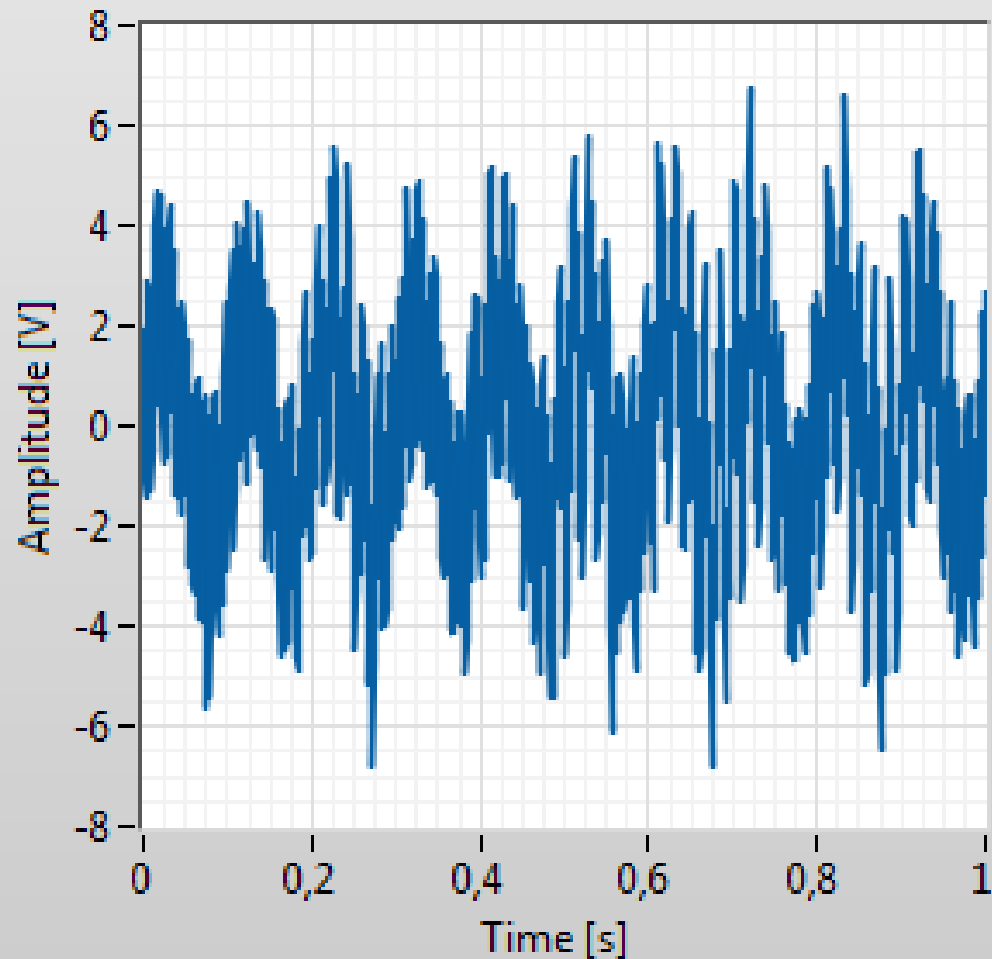
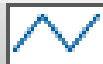
$$\int_{40\text{Hz}}^{70\text{Hz}} PSD \, df = 0,9911 \text{ V}^2$$

Több jel összege

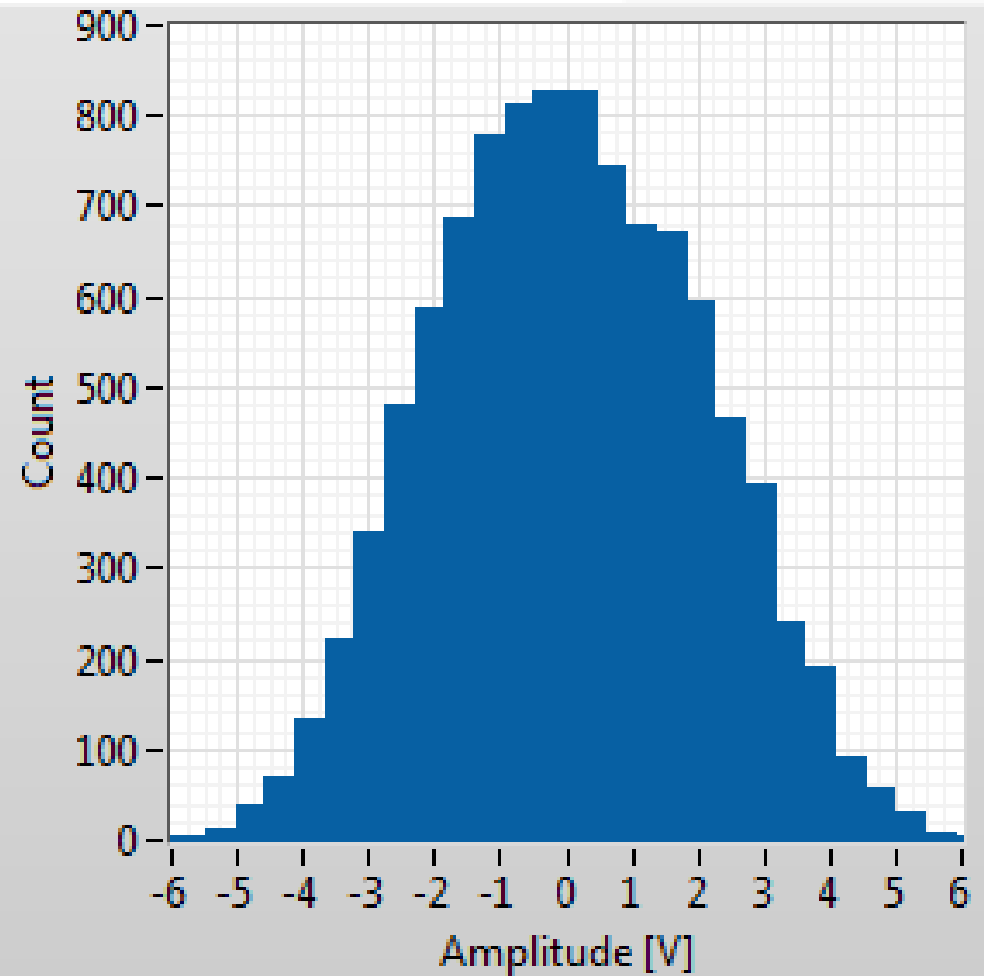
- Szinusz: 10 Hz, 2 V amplitúdó
- Fehér zaj: 1 V szórás
- Sávhatárolt zaj: 1 V szórás, frekvenciatartomány: 50-60 Hz
- Teljes teljesítmény: $\frac{2^2}{2} + 1^2 + 1^2 = 4$
(független folyamatok)

Több jel összege

Signal

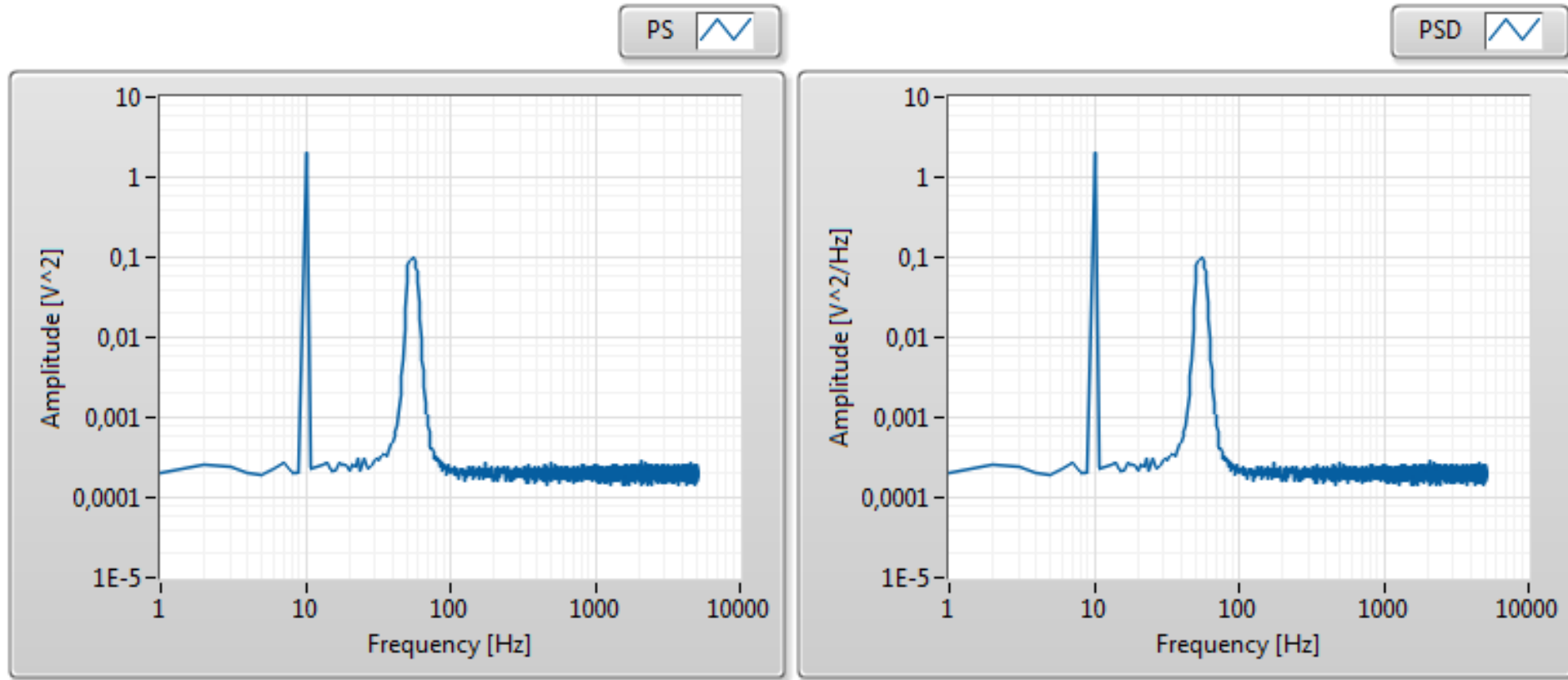


Histogram



$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

3 jel összege

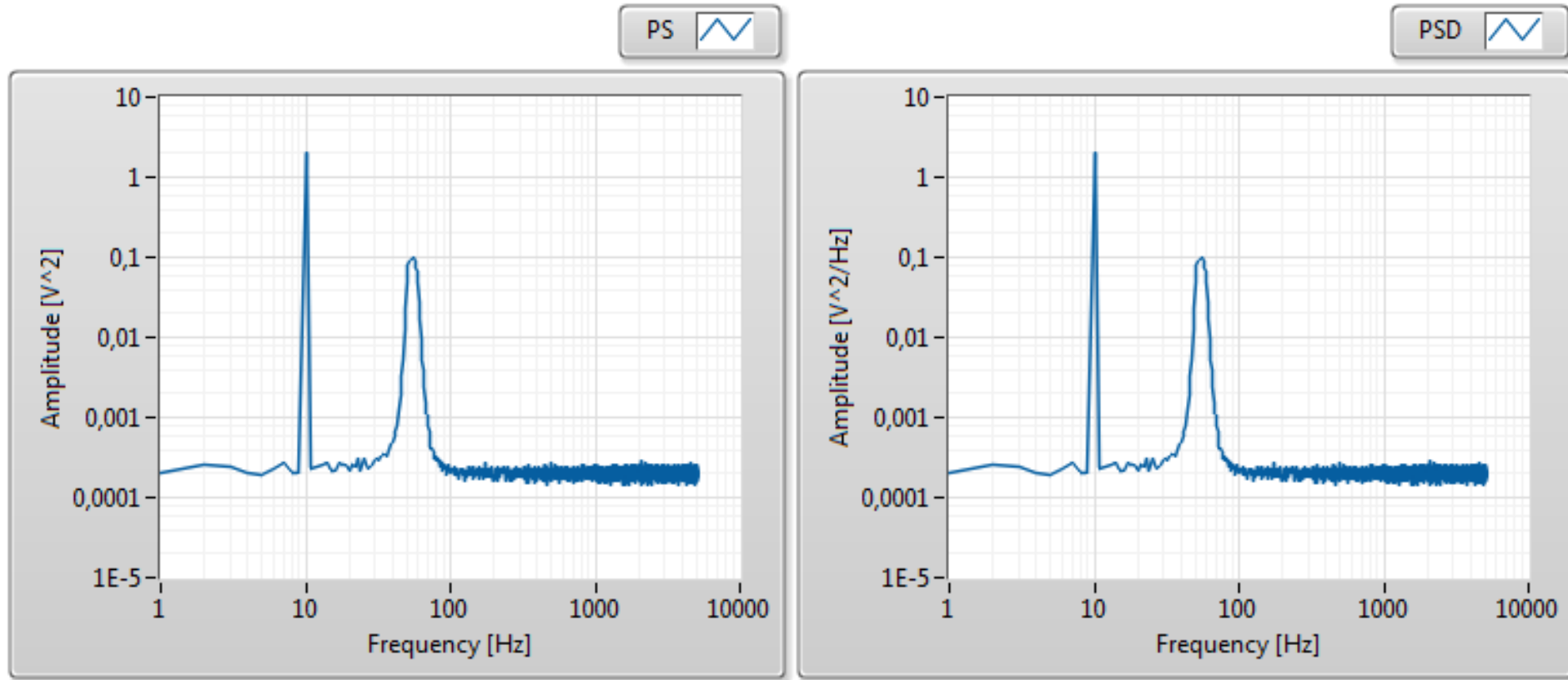


PS, PSD teljes teljesítmény:
 $3,997 \text{ V}^2$

$$\int_{40\text{Hz}}^{70\text{Hz}} PSD \, df = 0,997 \text{ V}^2$$

$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

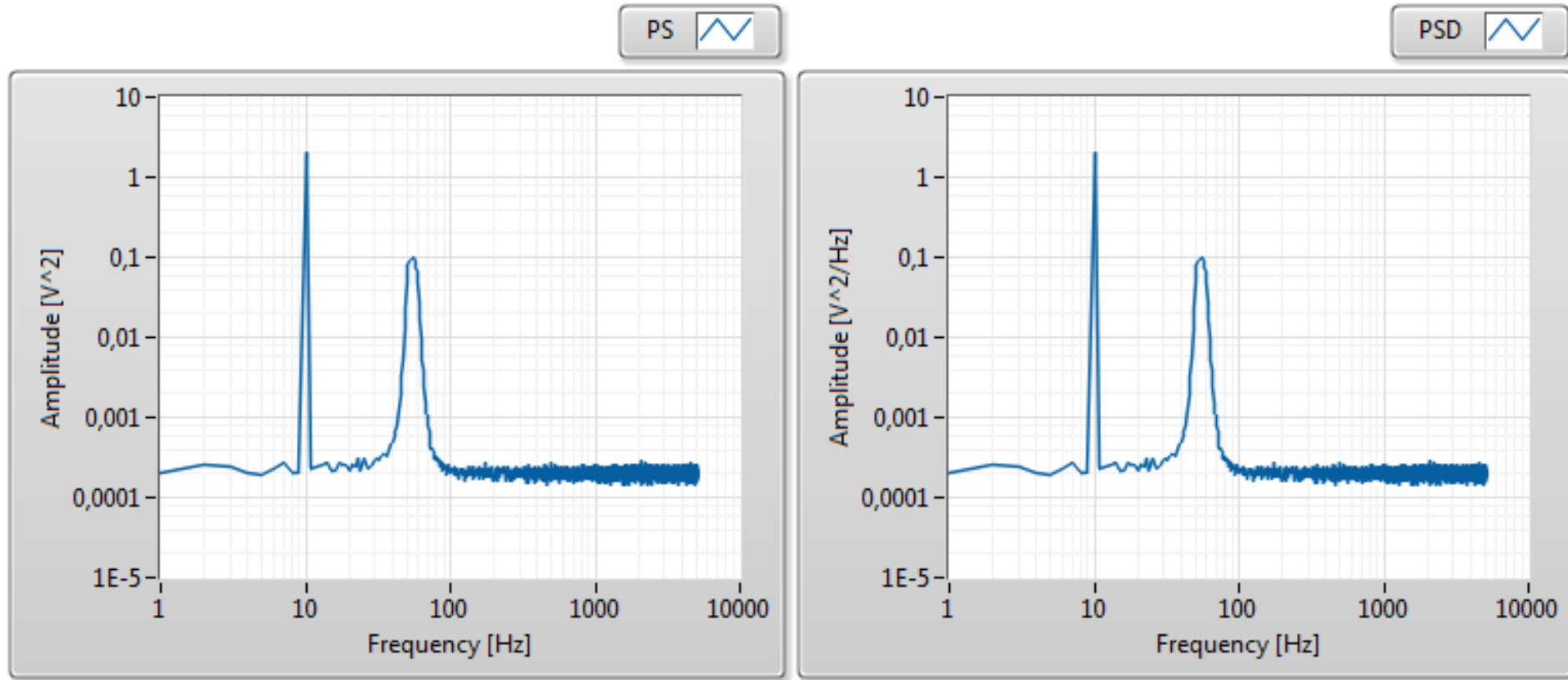
3 jel összege



$$\text{PS}[10\text{Hz}] = 2,000\text{V}^2$$

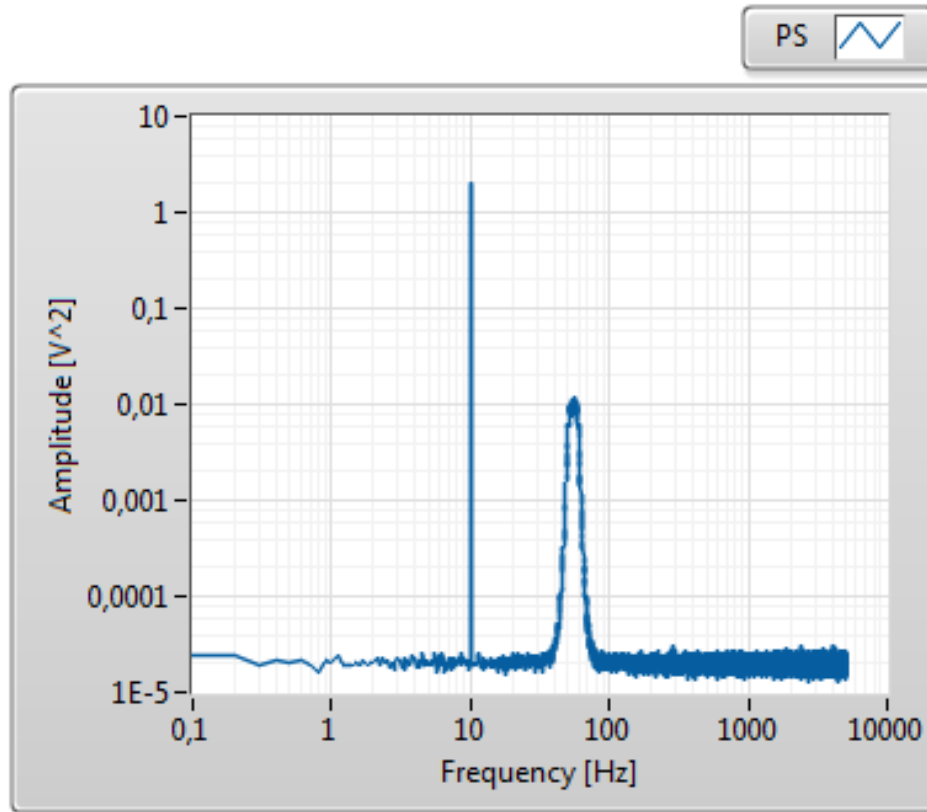
$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

3 jel összege

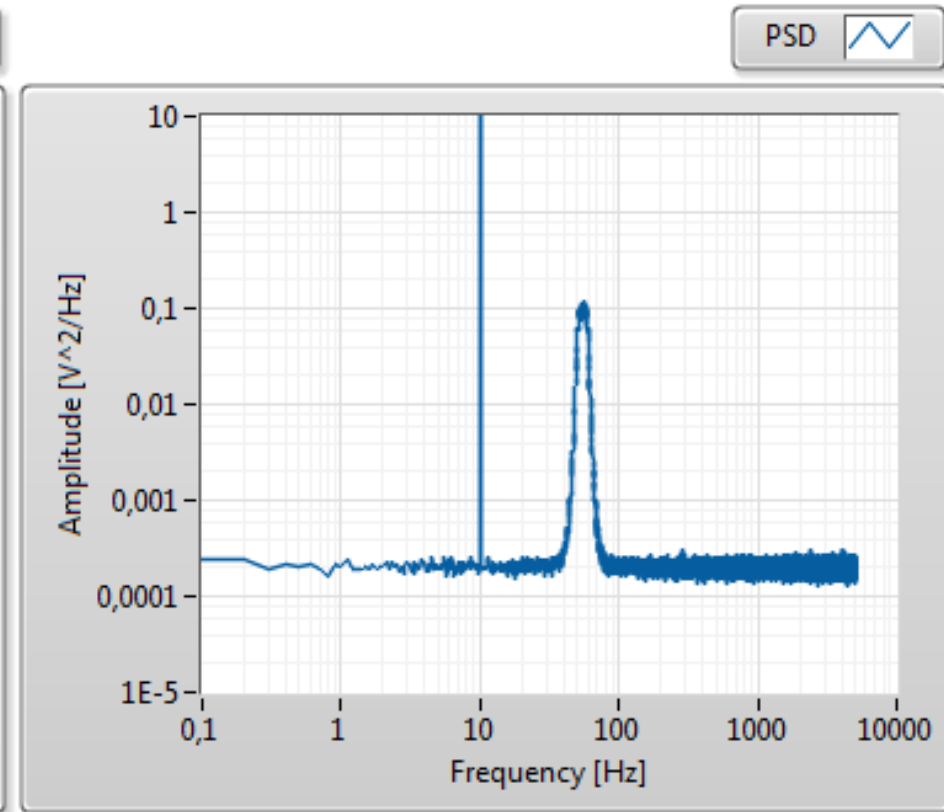


$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 10 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

3 jel összege



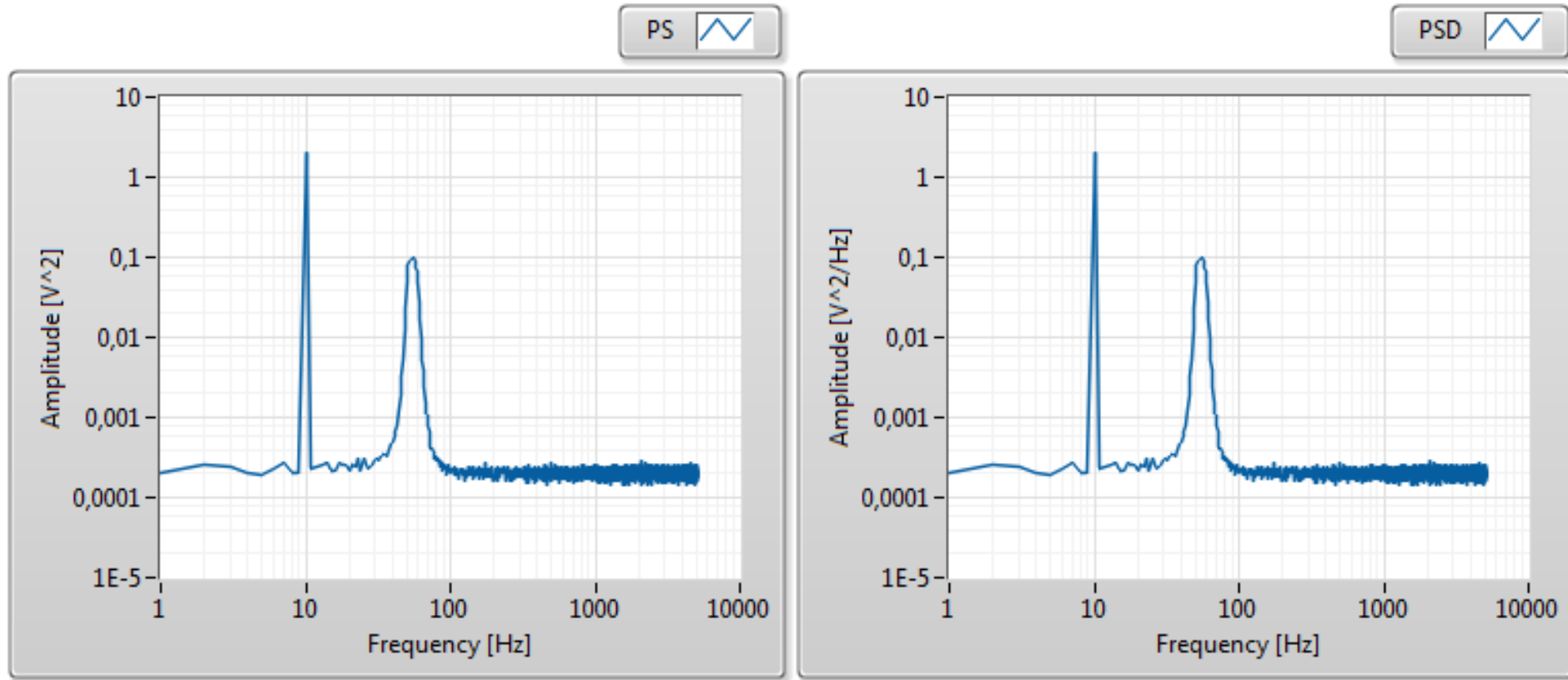
10x ponton oszlik meg



Szinuszos éles csúcsa: ~Dirac-delta

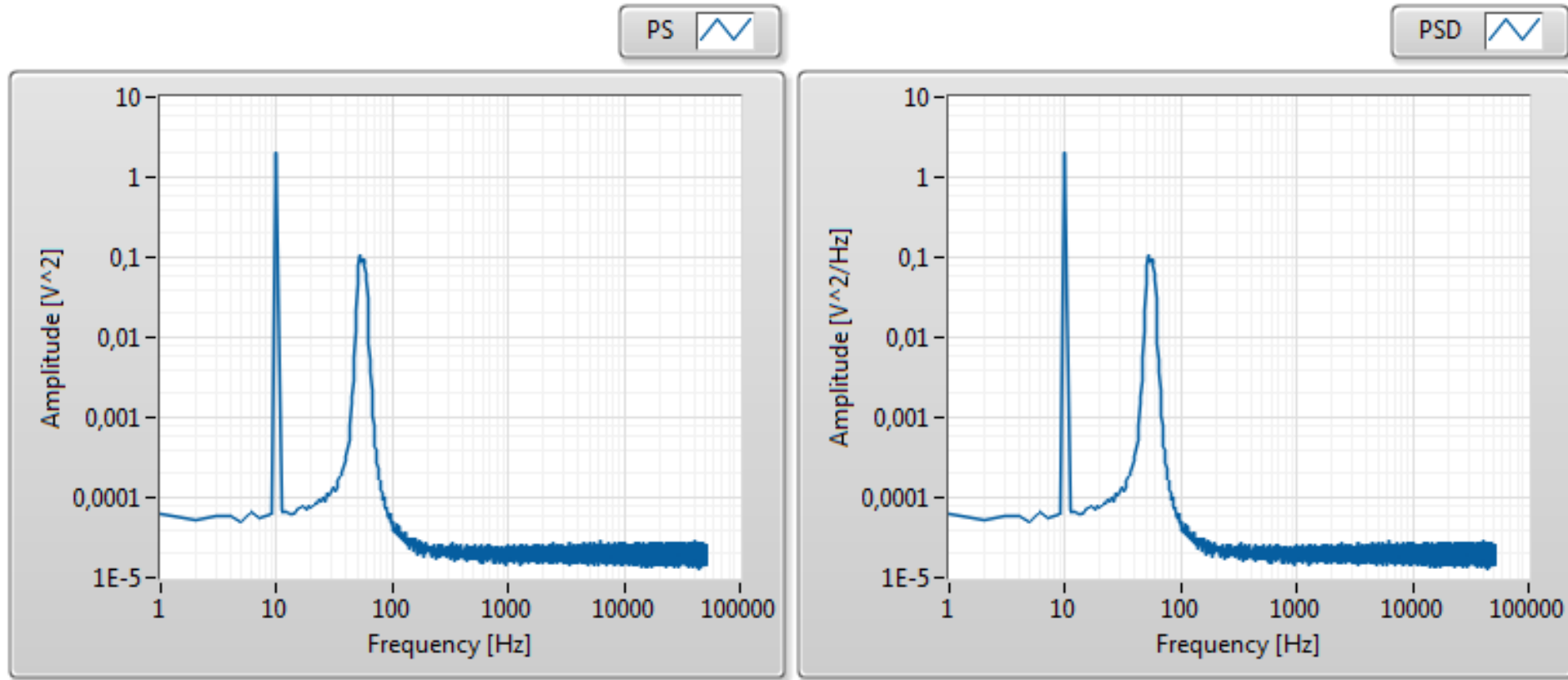
$F_s = 10 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

3 jel összege



$F_s = 100 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

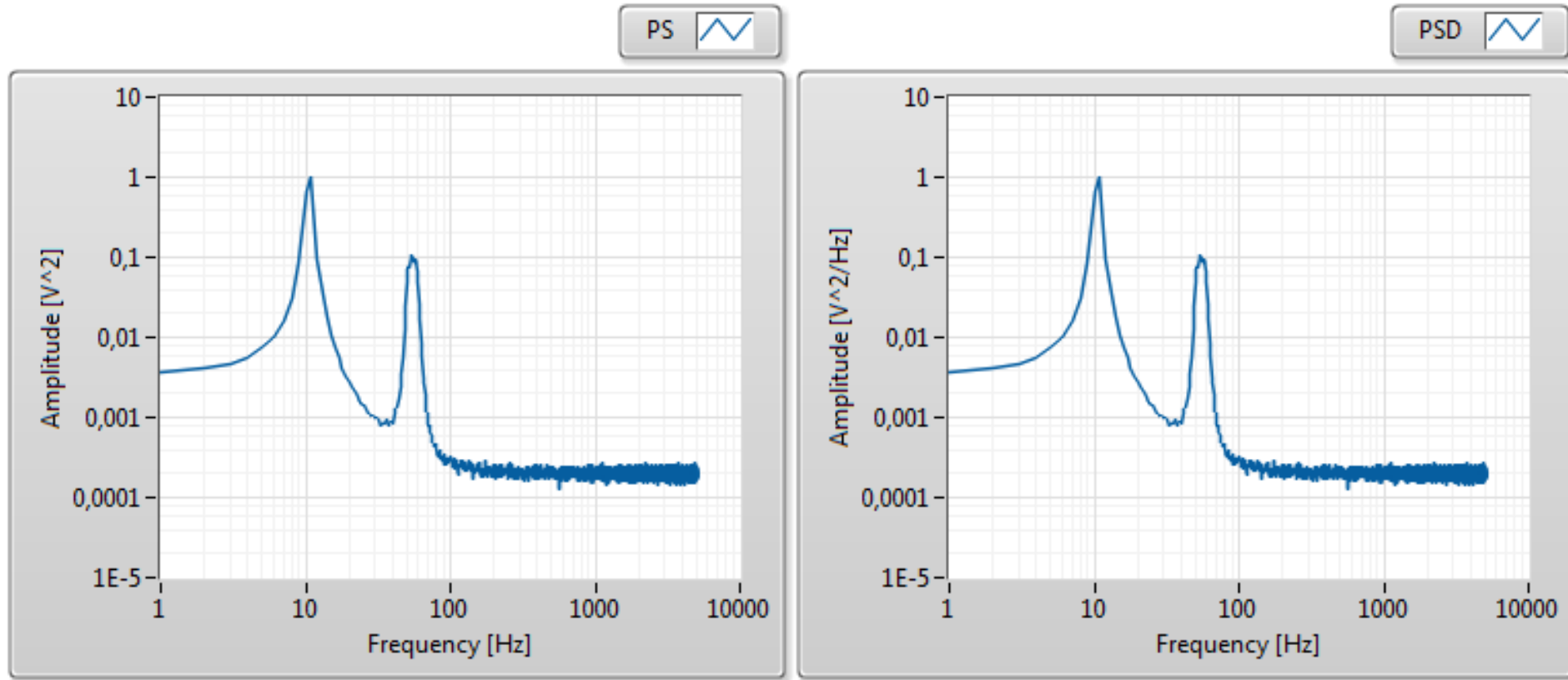
3 jel összege



Fehér zaj: nagyobb sáv szélességen oszlik el
Színusz: azonos frekvenciafelbontás

$F_s = 100 \text{ kHz}$, $T = 1 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

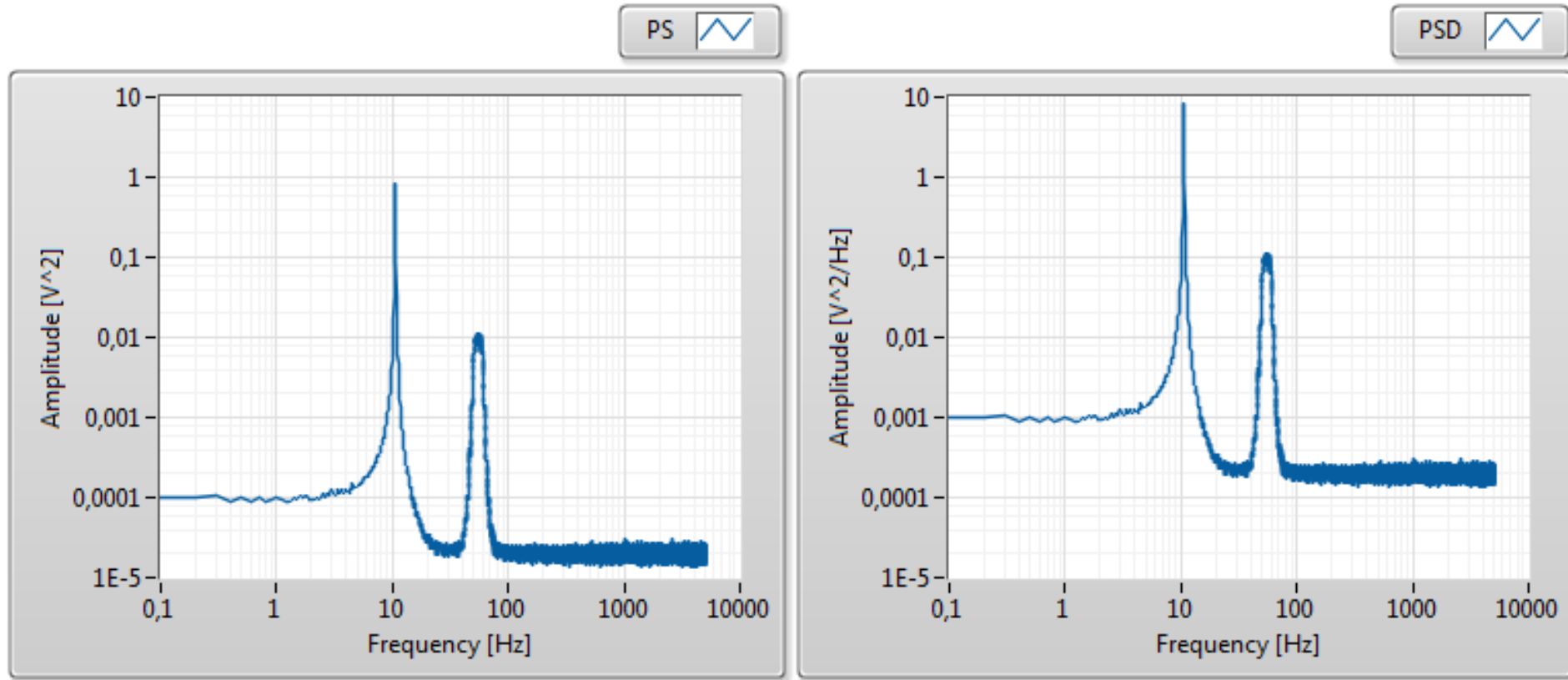
3 jel összege



10,55 Hz-es szinusz

$F_s = 100 \text{ kHz}$, $T = 10 \text{ s}$, négyyszög ablak, 100 átlag

3 jel összege



10,55 Hz-es szinusz

Összefoglalás

- Adott frekvenciájú jelek (szűksávú jelek)
 - Nő a minta hossza (Δf csökken)
 - nő a PSD amplitúdó
 - élesebb csúcs ($\sim$ Dirac-delta)
 - PS változatlan
 - Spektrális szétfolyás is csökken (ha van)
 - Nő a mintavételi frekvencia
 - nincs változás

Összefoglalás

- Szélessávú jelek
 - Nő a minta hossza (Δf csökken)
 - PSD változatlan
 - PS csökken
(több ponton oszlik meg a teljesítmény)
 - Nő a mintavételi frekvencia
 - nincs változás

Összefoglalás

- „Sávkorlát nélküli” fehér zaj
 - Nő a minta hossza (Δf csökken)
 - PSD változatlan
 - PS csökken
(több ponton oszlik meg a teljesítmény)
 - Nő a mintavételi frekvencia
 - PS, PSD csökken
(a teljesítmény nagyobb sáv szélességen oszlik meg)

2.3. Műszerek felépítése, tulajdonságaik és használatuk

12 – Műszerek legfontosabb tulajdonságai

13 – A/D konverterek

14 – A/D konverterek zaja

15 – Multiméterek

16 – Tápegységek

17 – Source meter

Modern mérés technika

12.

Műszerek legfontosabb tulajdonságai

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Pontosság – accuracy

- Pontosság: az a maximális érték, amivel a kijelzett érték eltérhet a valódi értéktől.
- Megadása:
 - Abszolút értéke
Pl. 1mm
 - Relatív értéke
Pl. 1%

Pontosság – accuracy

- Fontos kérdések:
 - Milyen paraméterre vonatkozik a pontosság?
 - Feszültségmérő: U
 - Jelgenerátor: frekvencia, amplitúdó
 - Milyen körülmények között?
- Korlát:
determinisztikus és véletlenszerű hibák

Felbontás – resolution

- Felbontás: az a legkisebb változás a mérendő mennyiségben, melyet a műszer még követni képes.
- Megadás általában abszolút érték
Pl. 1K

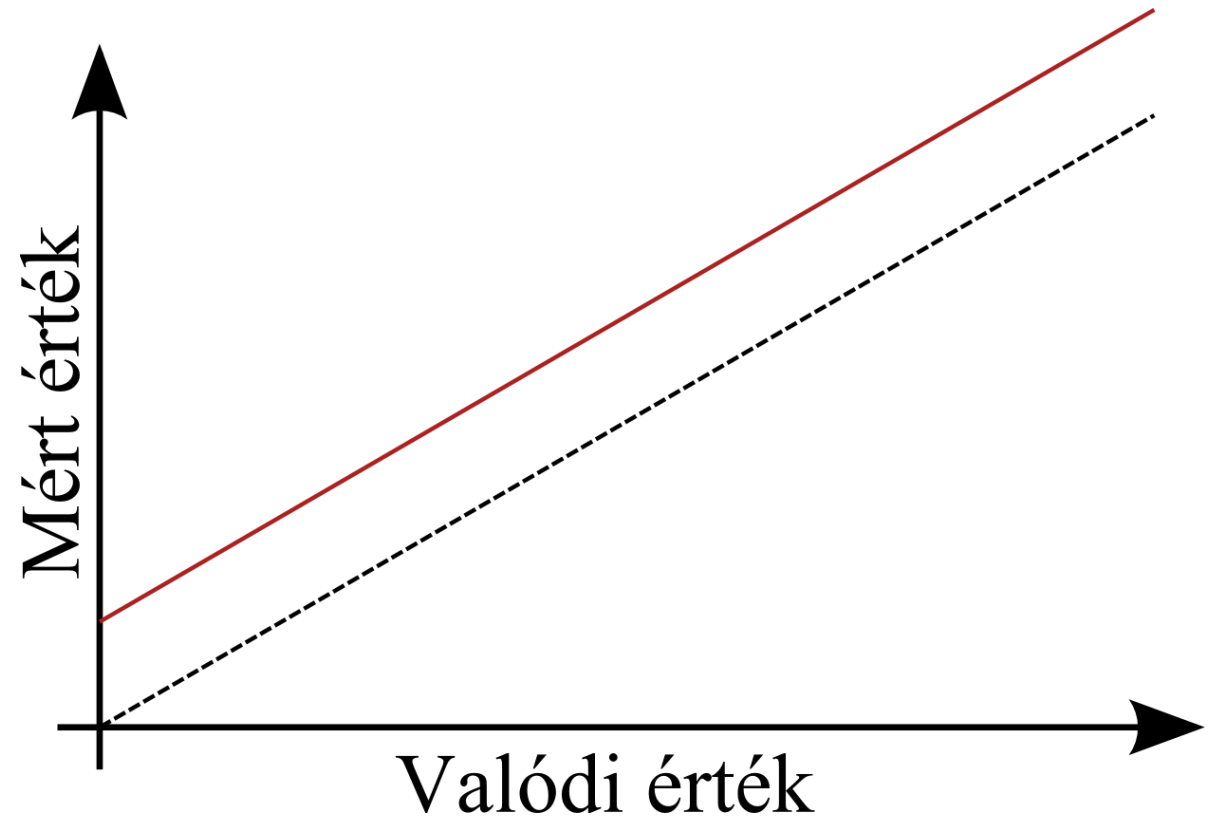
Felbontás – resolution

- Általában kisebb (jobb) értékű mint a pontosság
- Hasznos: változások megfigyelése és követése
- Korlát:
 - Műszer felépítése
 - Véletlenszerű hibák (zaj, drift)

Nullponthiba – offset error

- Az a hiba, mely a mért értéktől függetlenül mindig ugyanakkora. Azonos azzal az értékkel, amit a műszer mutat 0 valódi értéknél.

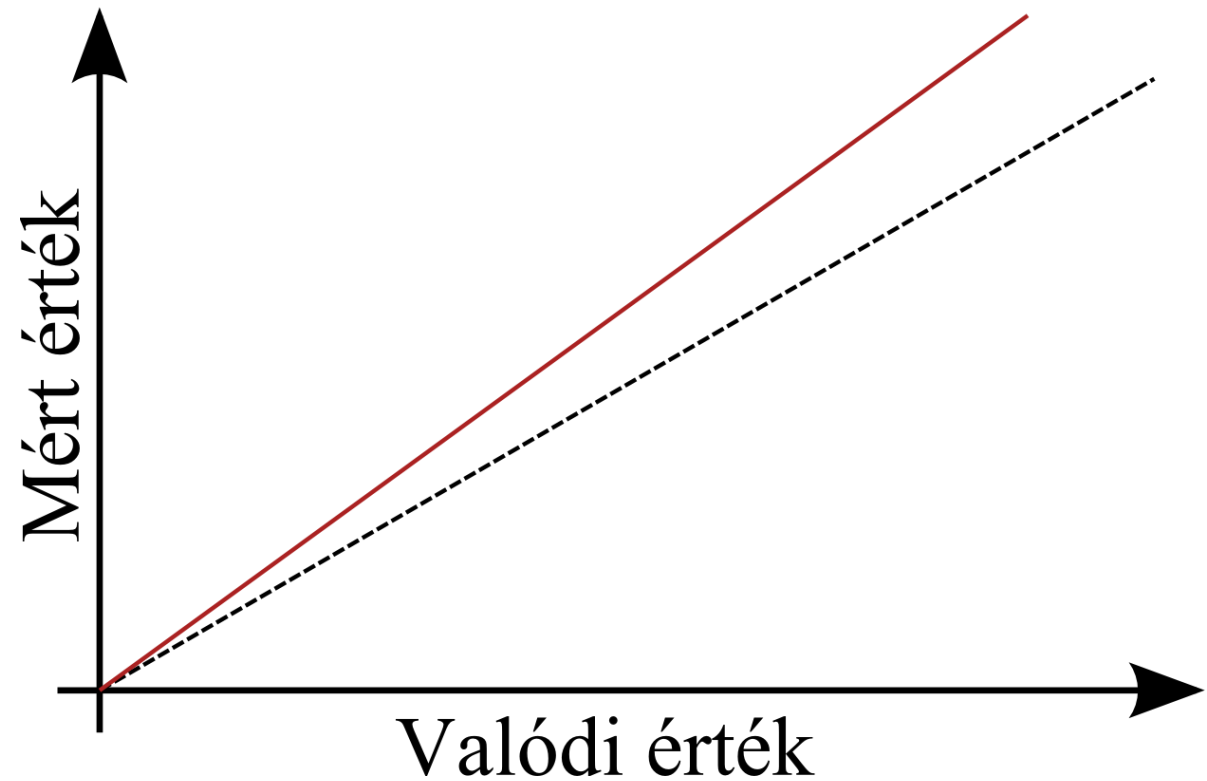
$$x_{mért} = x_{valódi} + x_{hiba}$$



Skálahiba – gain error

- A valós és a mért érték hányadosa nem 1.
- A hiba arányos a mért értékkel.

$$x_{mért} = (1 + a_{hiba}) \cdot x_{valódi}$$



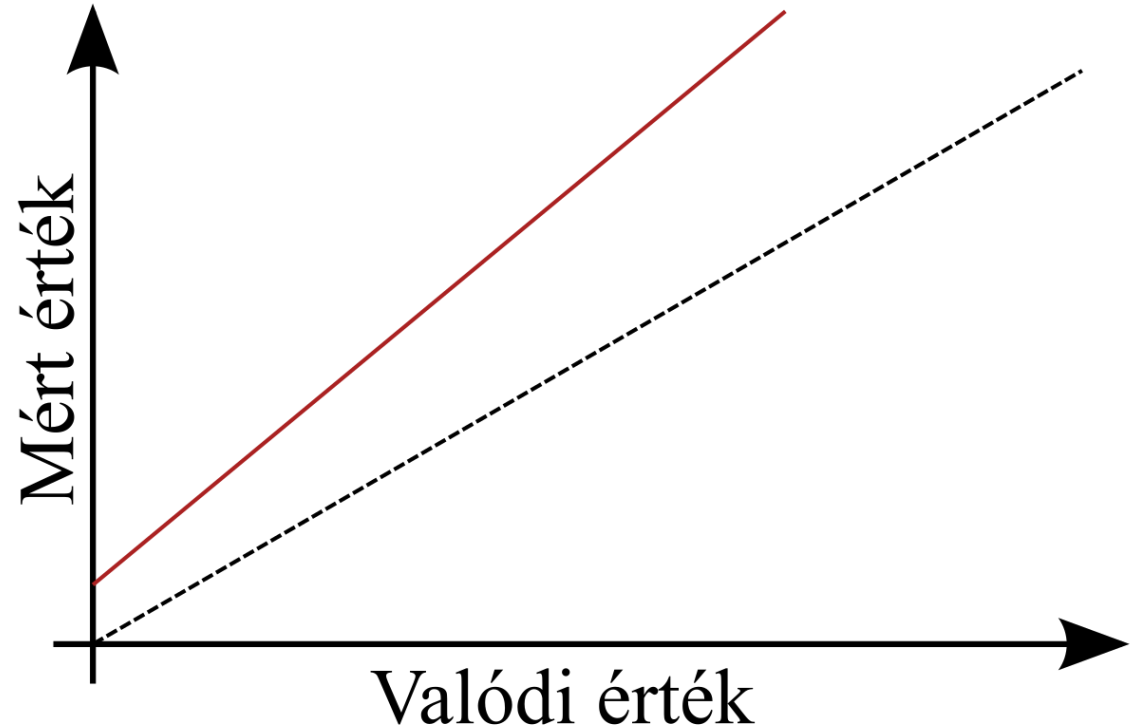
Nullponthiba és skálahiba

- Együtt lépnek fel

$$x_{mért} = (1 + a_{hiba}) \cdot x_{valódi} + x_{hiba}$$

$$x_{valódi} = \frac{x_{mért} - x_{hiba}}{1 + a_{hiba}} .$$

- Hiba meghatározása:
kalibrálás



Műszerek kalibrálása

- Cél: megbízható mérési eredmények
- A mérési eredmények visszavezethetősége:
 - Egységdefiníció
 - Nemzetközi etalon
 - Nemzeti etalon
 - Referencia etalonok (akkreditált kutatólaboratóriumok)
 - Használt etalonok (felhasználói kalibrálások)
 - Mérőműszer
- Önkalibrálás: belső, stabil etalon

Hitelesítés és kalibrálás összehasonlítása

Hitelesítés

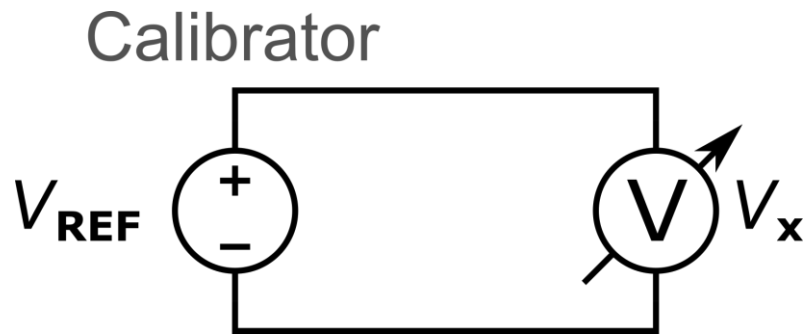
- Hatósági tevékenység
- Jogi szabályozás
- OMH hitelesít
- Tanúsítvány: hatósági dokumentum
- Kötelező ismételés

Kalibrálás

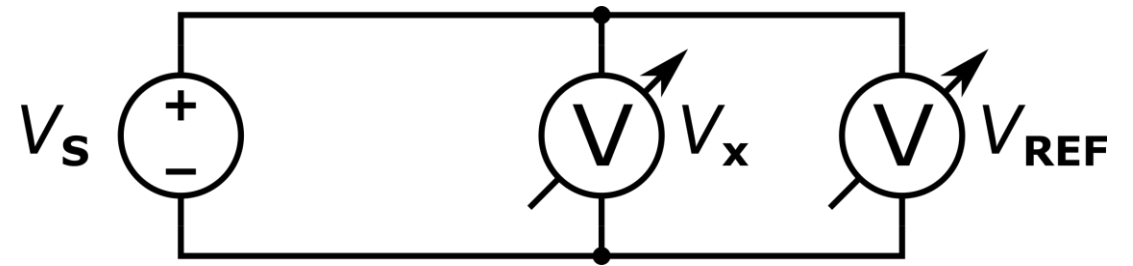
- Bárki kalibrálhat
- Bármilyen eszköz
- Kalibrálási bizonyítvány
- Megújítás: tulajdonos döntése

Kalibrálás

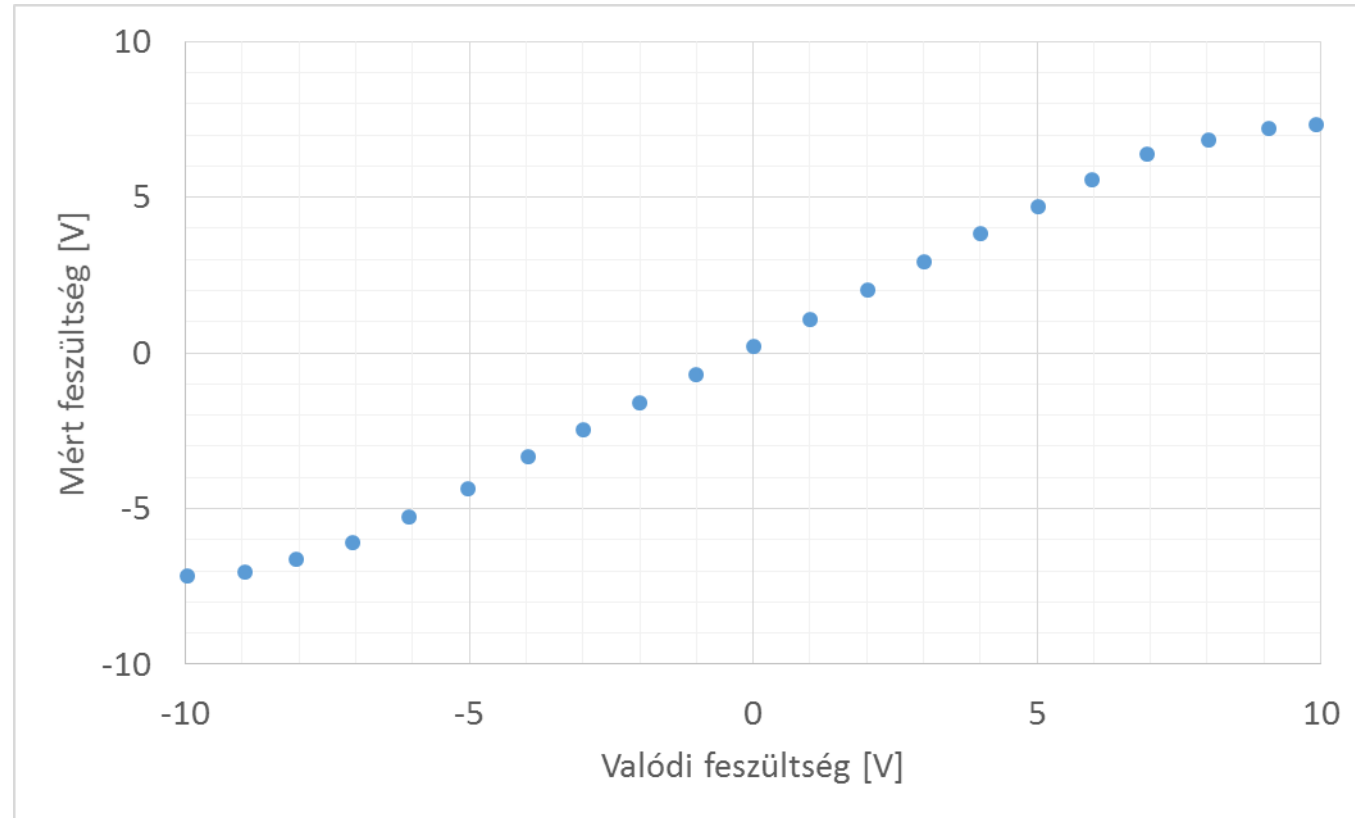
- Direkt



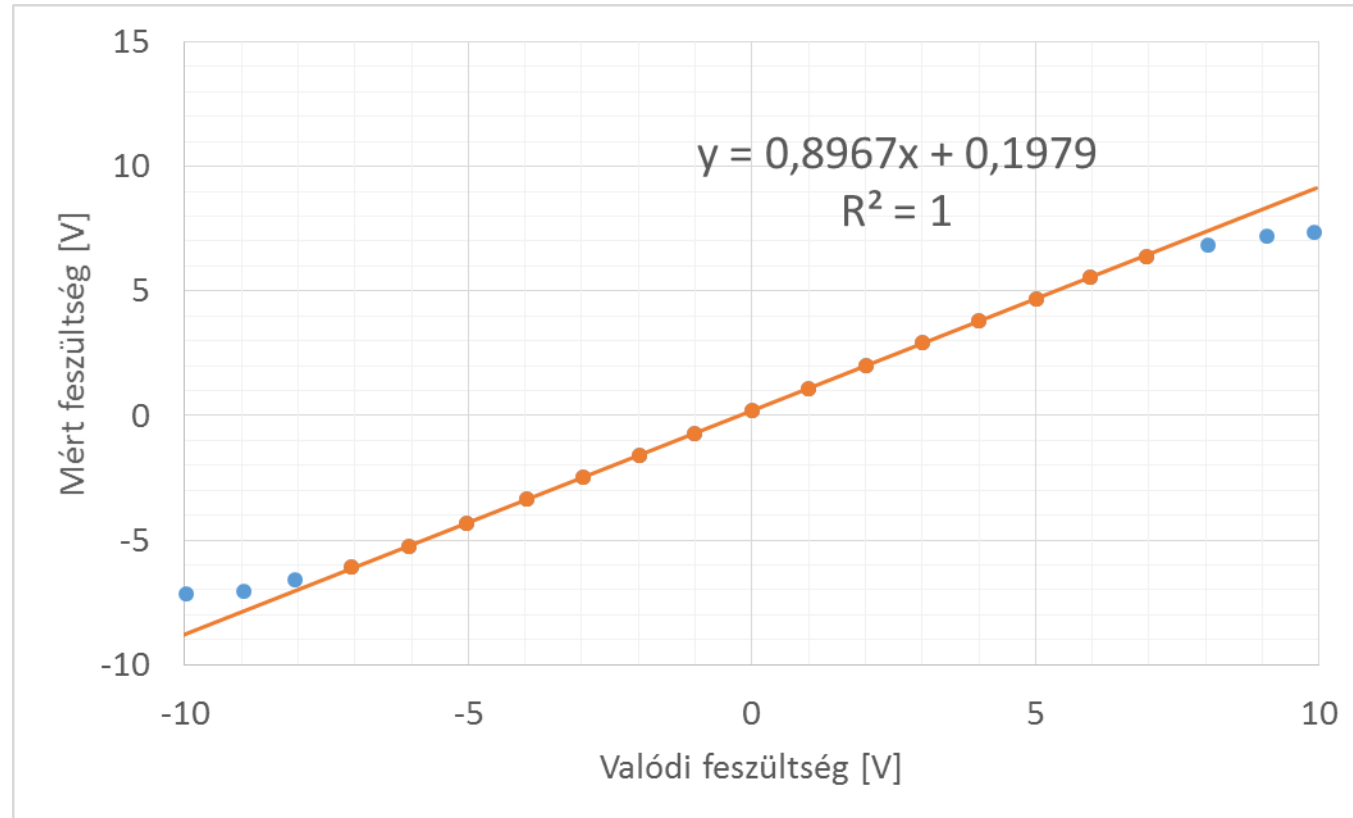
- Indirekt



Példa kalibrálásra



Illesztés az adatpontokra



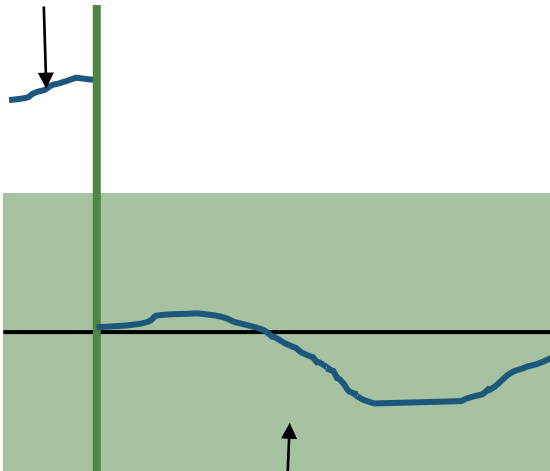
$$U_{valódi} = \frac{U_{mért} - 0,1979}{0,8967}$$

Drift

- A műszer számos paramétere időben változik
 - Nullponthiba
 - Skálahiba
 - ...
- Okai:
 - Környezeti paraméterek változása (hőmérséklet, páratartalom, ...)
 - Alkatrészek öregedése
 - ...

Rendszeres kalibrálás

Kezdő
pontosság
gyártás után



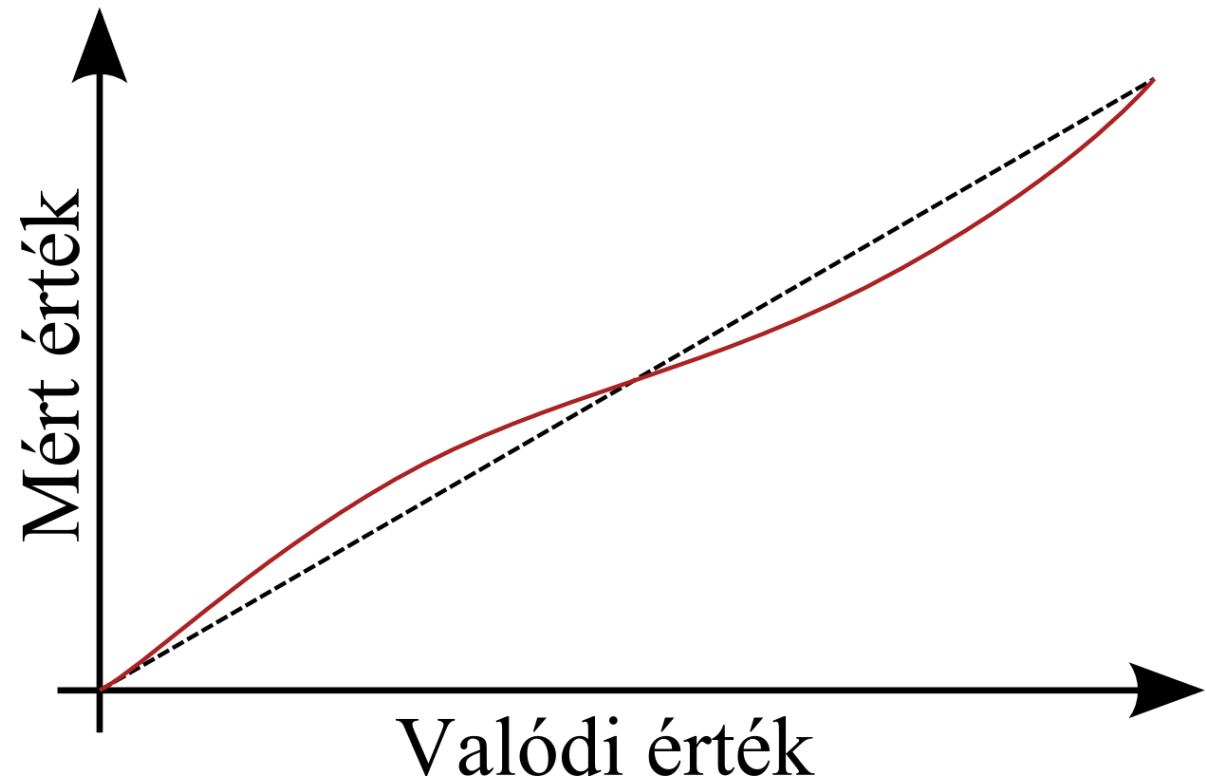
Kalibrálás

Kalibrálás
(megfelel a követelményeknek)

Linearitáshiba – linearity error

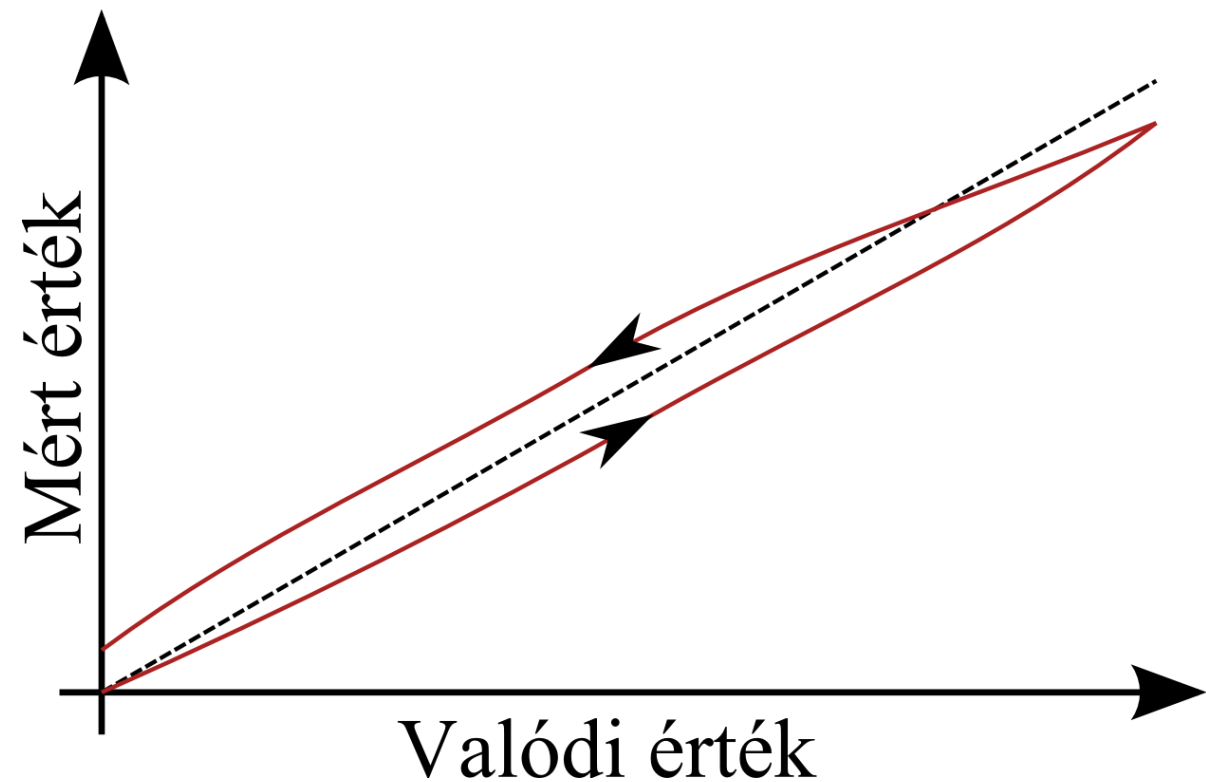
- A mért érték nem lineáris függvénye a valós értéknek.

$$x_{mért} = x_{valódi} + x_{hiba}(x_{valódi})$$



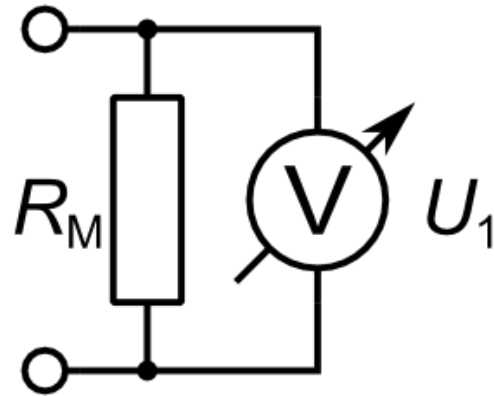
Hiszterézis – Hysteresis

- A hiba függ attól, hogy a mért érték nő vagy csökken.
- Oka pl. a súrlódás.

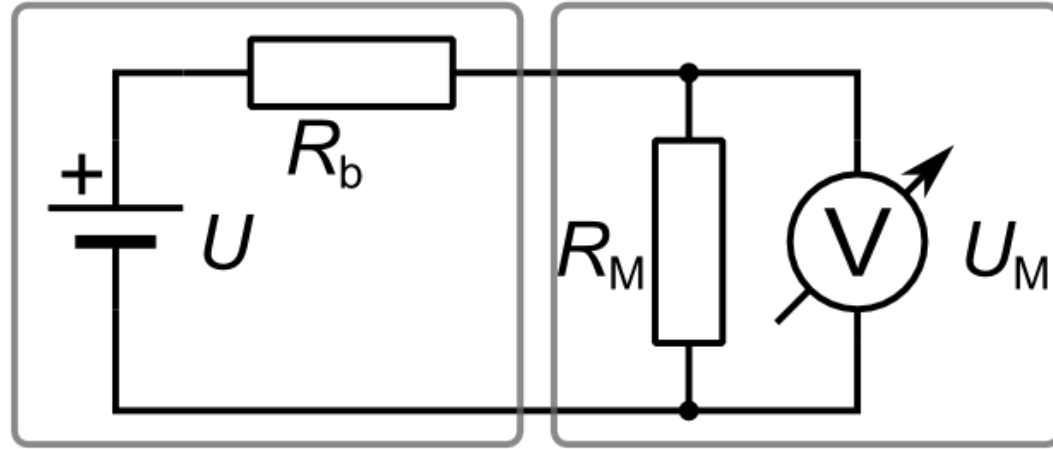


Bemenő impedancia

- Ideális feszültségmérő nem vezet
- Reális feszültségmérő:
véges belső ellenállás (R_M)
- Helyettesítő kép:

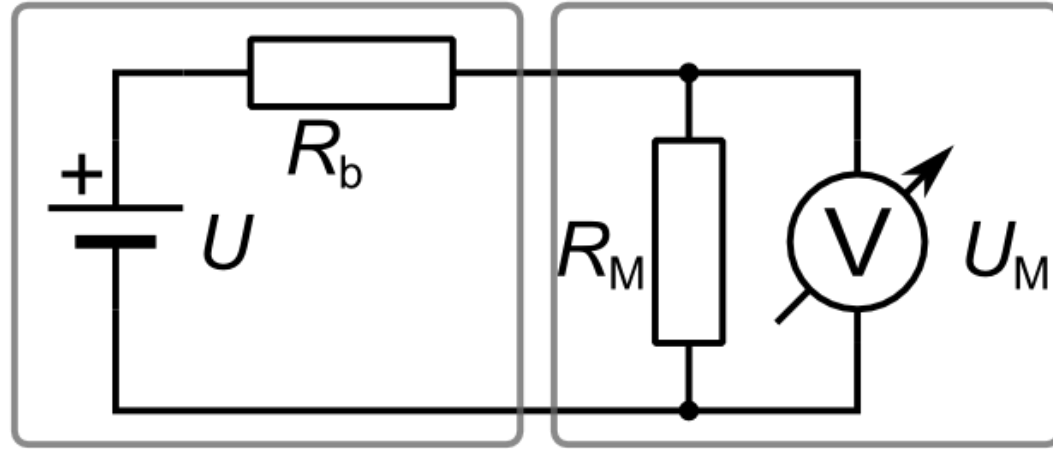


Bemenő impedancia hatása



- R_b : a feszültségforrás belső ellenállása (impedanciája)
- R_M : a műszer belső/bemenő ellenállása

Bemenő impedancia hatása - példa



- $R_b = 100 \text{ k}\Omega$, $R_M = 1 \text{ M}\Omega$, $U = 10 \text{ V}$

$$U_M = I \cdot R_M = \frac{U}{R_b + R_M} R_M = \frac{10 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega + 1 \text{ M}\Omega} \cdot 1 \text{ M}\Omega = 9,09 \text{ V}$$

- A feszültségmérés relatív hibája: $h = 9,09 \%$

Észrevétel bemenő impedanciához

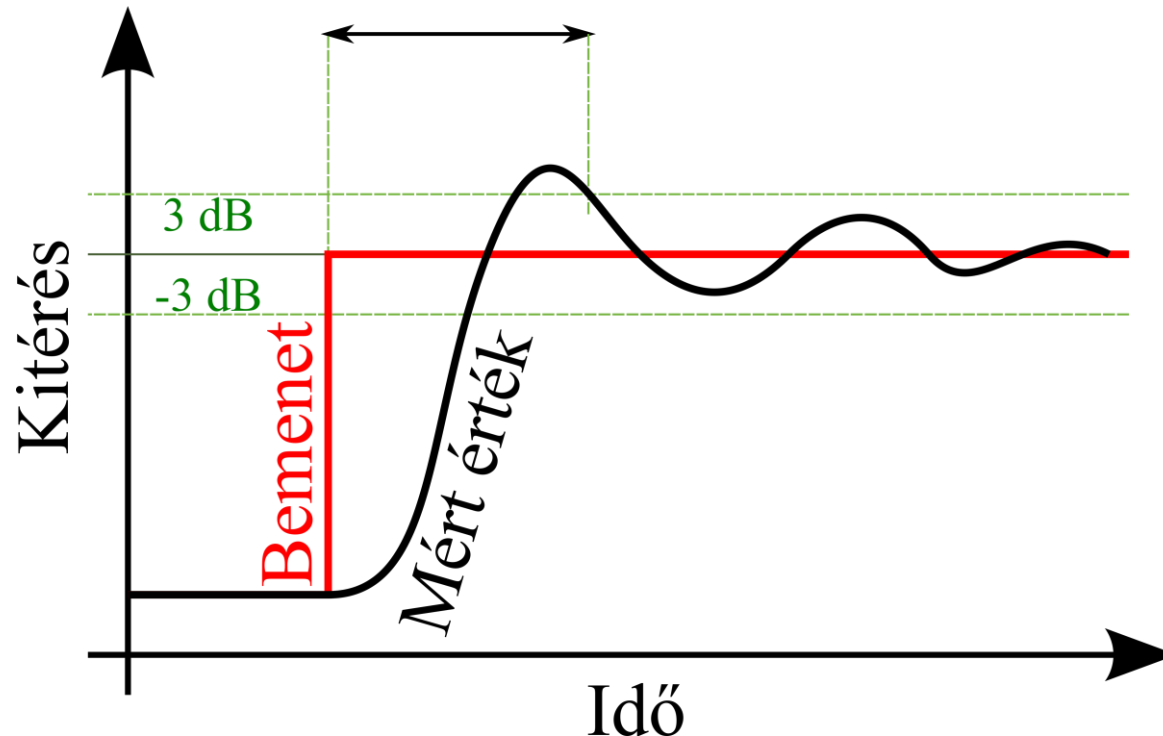
- Értéke nem pontos
- Nincs feltétlenül 0V-os potenciálra kötve



- Csak a hiba becslésére használható

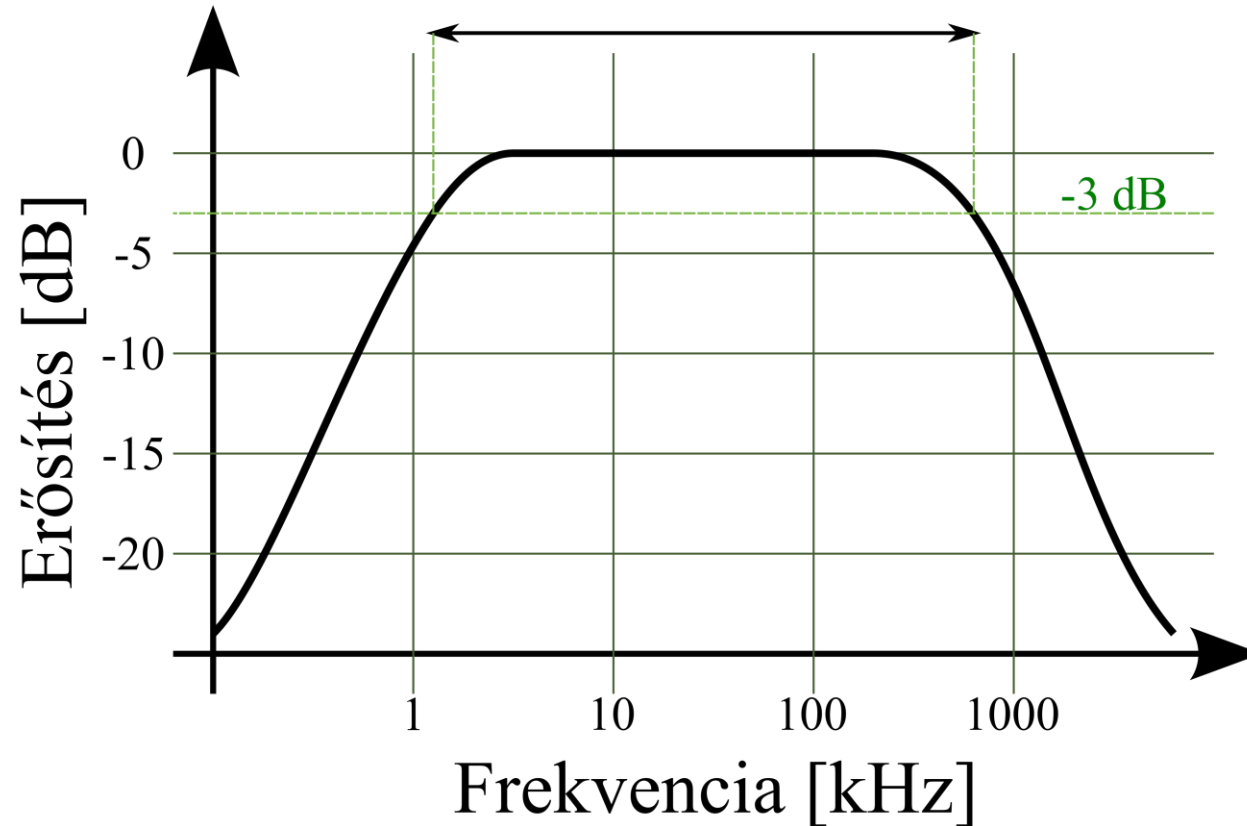
Beállási idő – settling time

- Gyors változást követően az az idő, míg a hiba egy megadott küszöbszint alá csökken



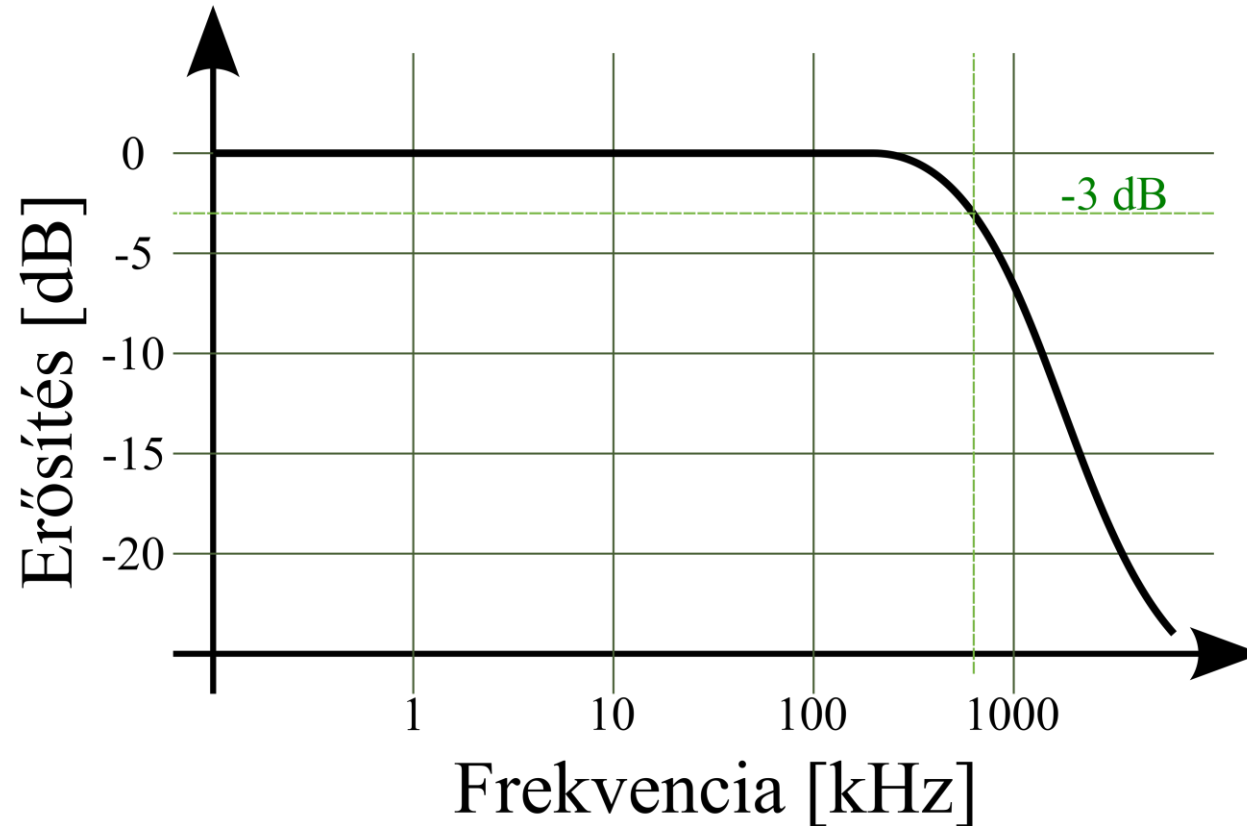
Sávszélesség – bandwidth

- Maximális eltérés: -3dB



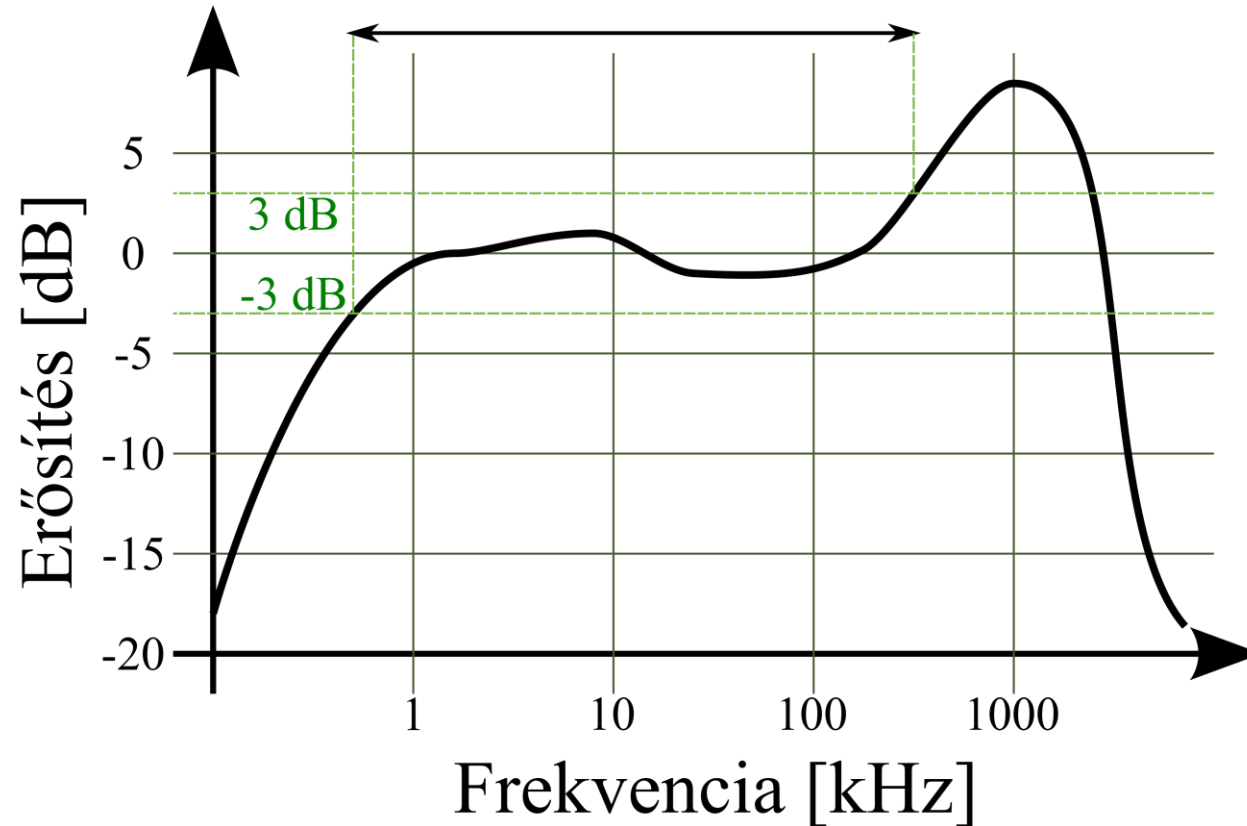
Sávszélesség

- Műszerek nagy része: DC - könyökfrekvencia



Sávszélesség

- Időnként meglepetések



Mérési tartomány

- Mérési tartomány
 - A műszer ezen tartományon belül teljesíti a specifikációkat
- Túlterhelési tartomány
 - A műszer által kijelzett érték nem helyes
 - A műszer nem károsodik maradandóan

Túlfeszültségvédelem

- Túlfeszültség kategóriák
 - CAT I
 - Hálózathoz nem csatlakozó készülékek
 - Leválasztó transzformátor utáni , kis feszültségű mérések
 - CAT II
 - CAT III
 - CAT IV

Túlfeszültségvédelem

- Túlfeszültség kategóriák
 - CAT I
 - CAT II
 - Hálózathoz dugaszon keresztül csatlakoztatott készülékek (irodai, háztartási)
 - CAT III
 - CAT IV

Túlfeszültségvédelem

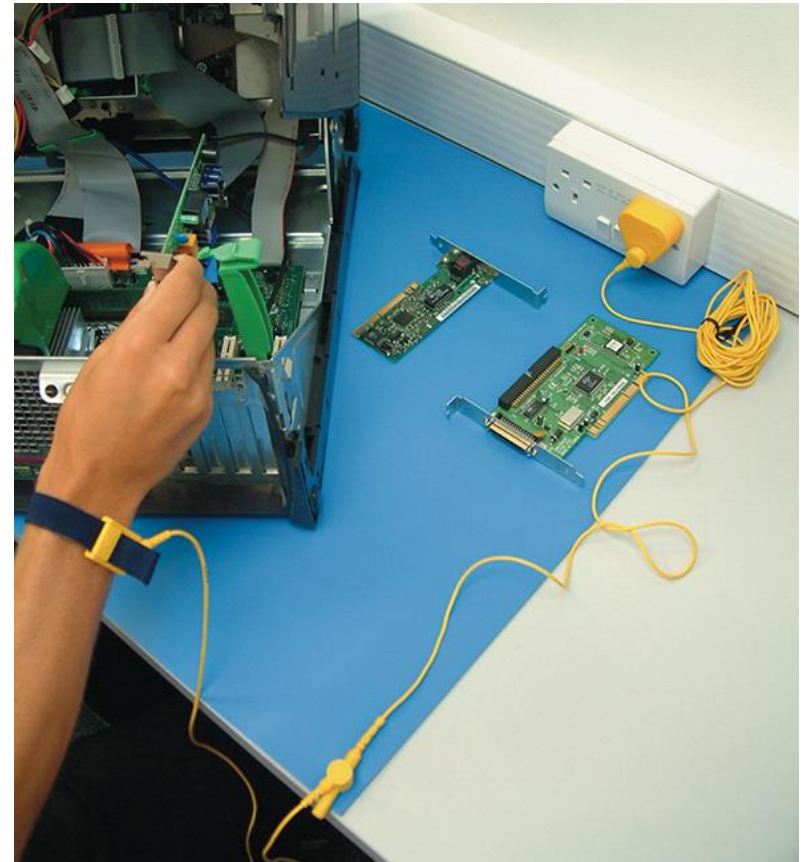
- Túlfeszültség kategóriák
 - CAT I
 - CAT II
 - CAT III
 - Nagy teljesítményű, hálózathoz közvetlenül bekötött eszközök
 - CAT IV

Túlfeszültségvédelem

- Túlfeszültség kategóriák
 - CAT I
 - CAT II
 - CAT III
 - CAT IV
 - Mérések közvetlenül a tápfeszültségforrásnál (fogyasztásmérők, kapcsolószekrények)

Túlfeszültségvédelem

- ESD védelem: elektrosztatikus feltöltődés ellen



Modern mérés technika 13.

A/D konverterek

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap

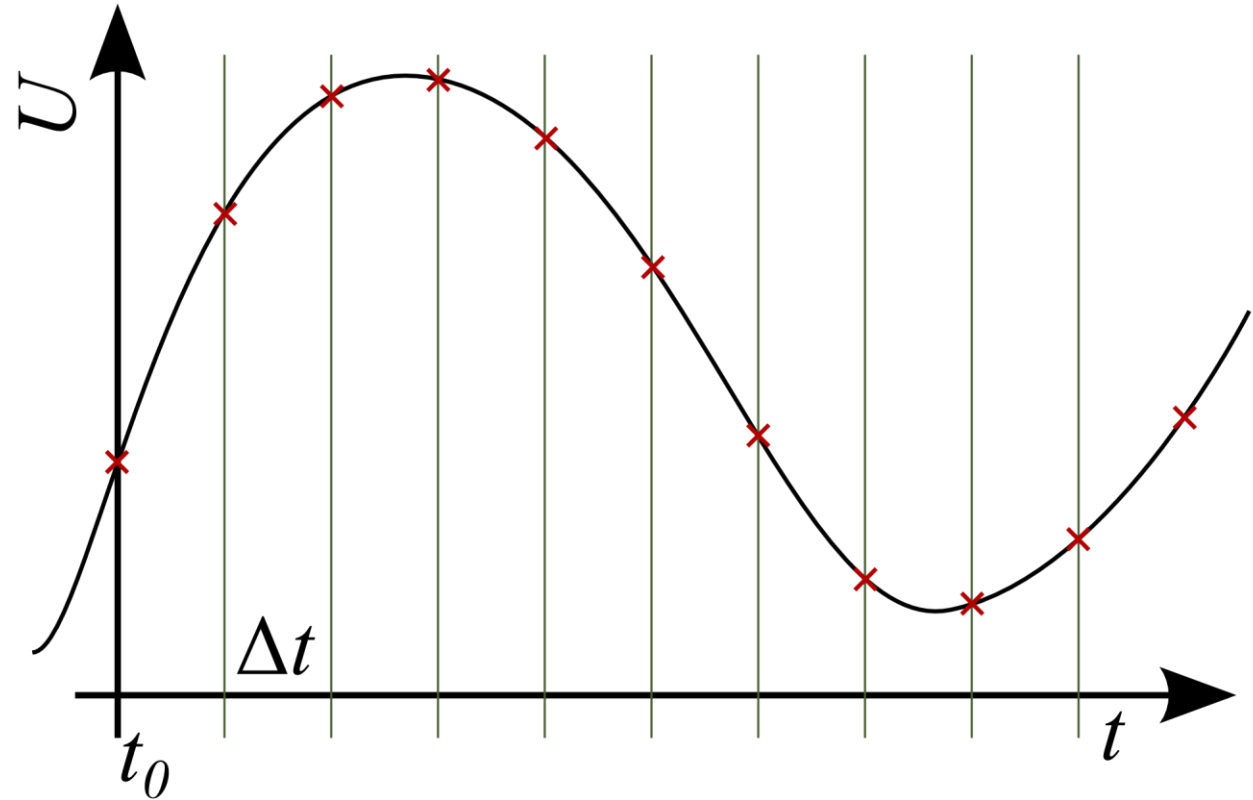


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Mintavételezés

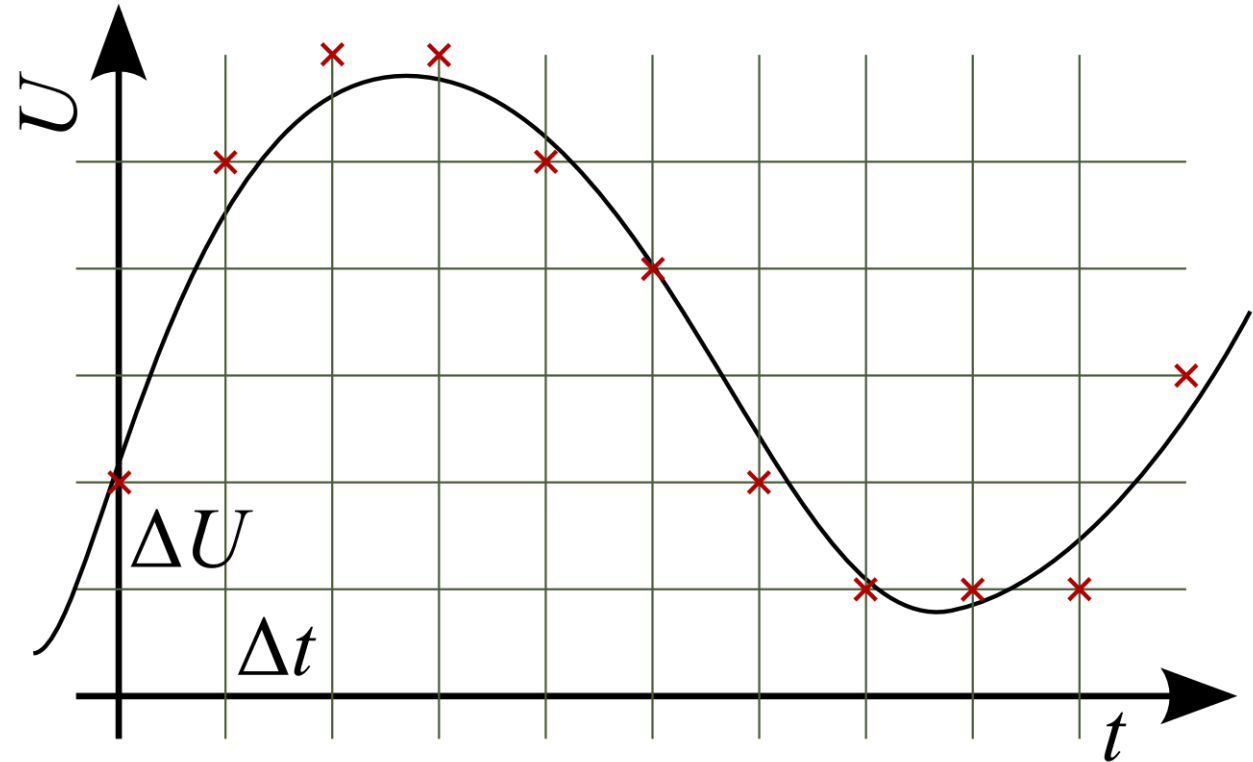
- Folytonos jel $\rightarrow$ időben diszkrét jel
- Mintavételi frekvencia:

$$f_m = f_s = 1/\Delta t$$



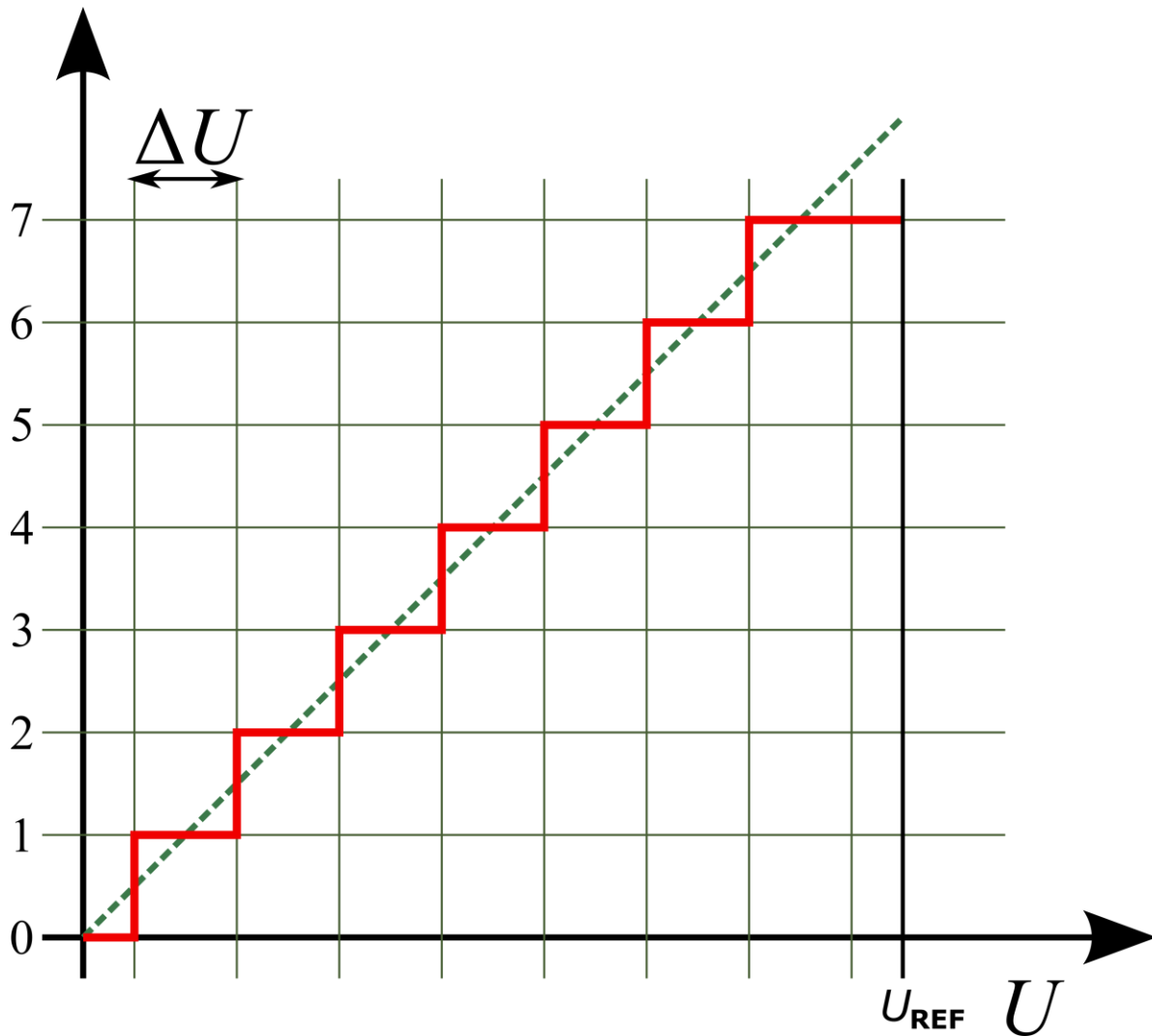
A/D konverzió

- Folytonos jel (feszültség) $\rightarrow$ egész szám
- Időbeli és amplitúdóbeli kvantálás



A/D konverzió

Átviteli függvény



$$Z = \left[\frac{U}{\Delta U} \right] = \left[\frac{U \cdot N}{U_{\text{ref}}} \right]$$

$$Z = \left[\frac{U \cdot 2^b}{U_{\text{ref}}} \right]$$

A/D konverterek

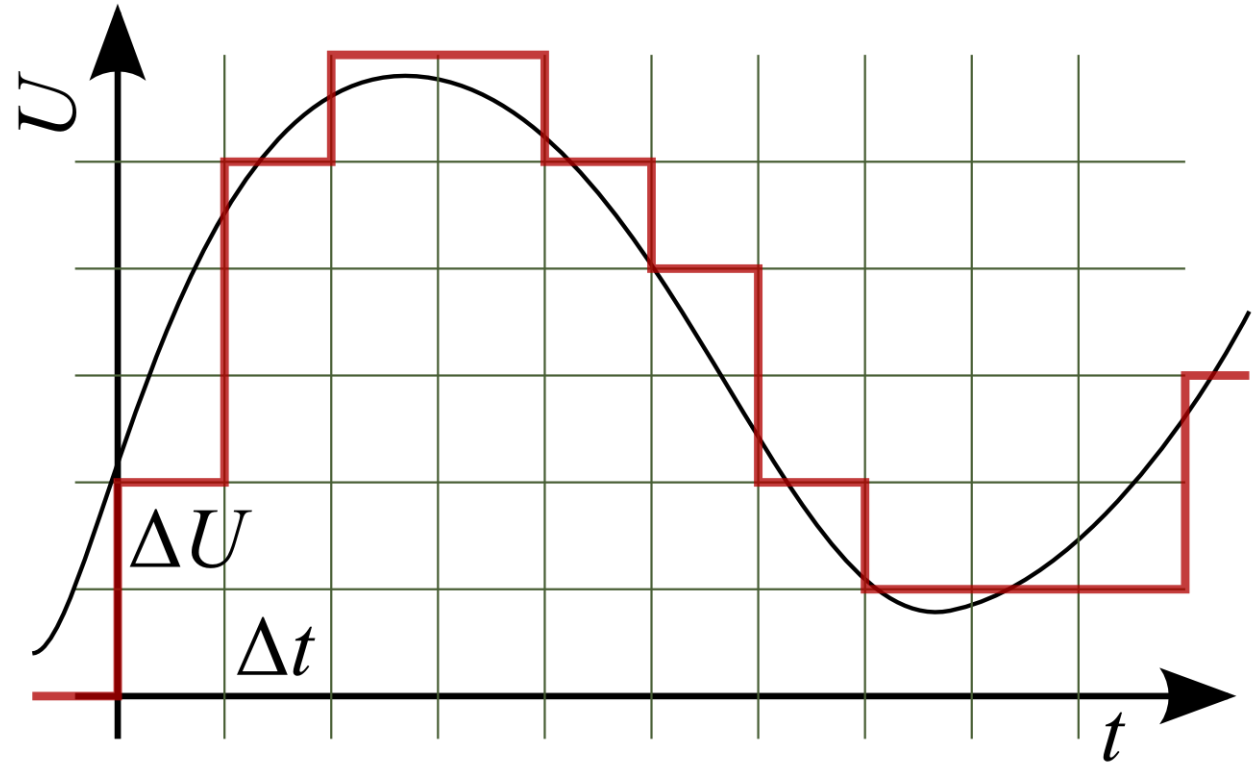
$$Z = \left[\frac{U}{\Delta U} \right] = \left[\frac{U \cdot N}{U_{\text{ref}}} \right] = \left[\frac{U \cdot 2^b}{U_{\text{ref}}} \right]$$

- U_{ref} : a konverter referenciafeszültsége
- N : ábrázolható értékek száma
- b : bitek száma
- Az aktuális képlet a kialakítástól függően módosulhat!

D/A konverter

- Egész szám $\rightarrow$ analóg jel (pl. feszültség)

$$U = Z \cdot \Delta U = \frac{Z \cdot U_{\text{ref}}}{N} = \frac{Z \cdot U_{\text{ref}}}{2^b}$$



Számábrázolás

- Bináris szám $\leftrightarrow$ feszültségjel

- Példa:

$$b = 8;$$

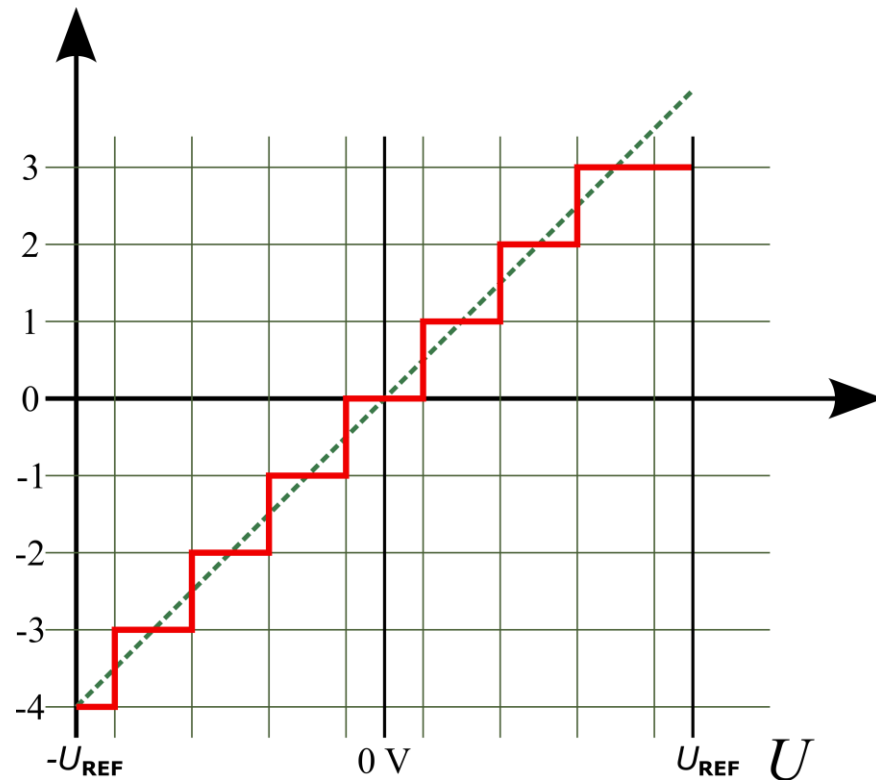
$$N = 256;$$

$$U_{\text{ref}} = 10 \text{ V}$$

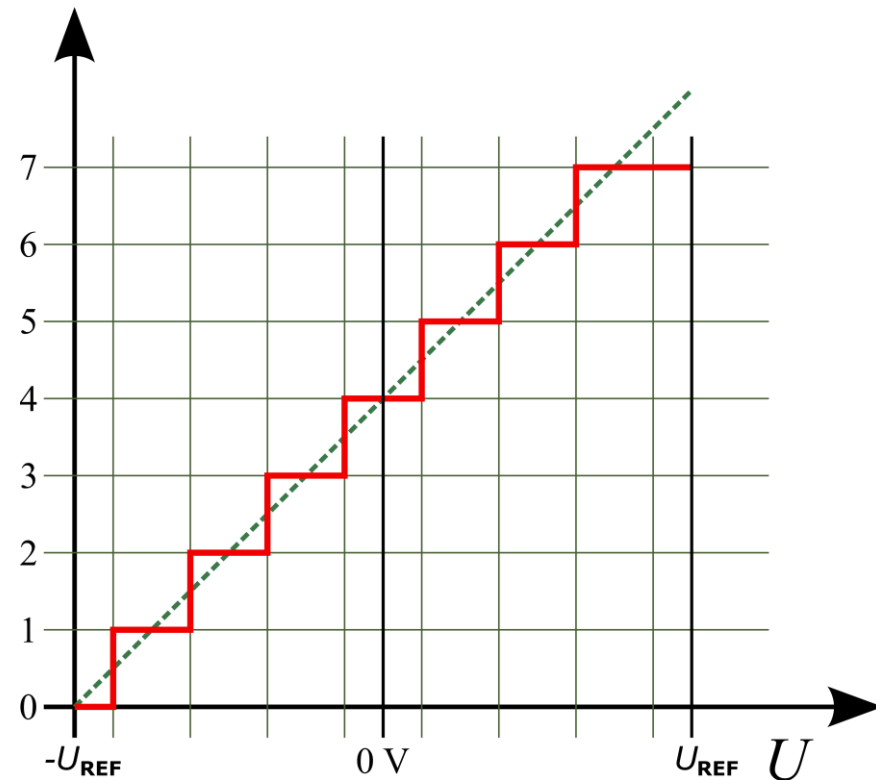
Bináris	Előjel nélküli	Kettes komp.				
11111111	255	-1	9,96 V	-0,04 V	4,96 V	-4,96 V
10000000	128	-128	5 V	-5 V	0 V	0 V
01111111	127	127	4,96 V	4,96 V	-0,04 V	0,04 V
00000000	0	0	0 V	0 V	- 5 V	5 V

Számábrázolás

Kettes komplement



Ofszet-bipoláris



1. Példa

- Egy 12 bit-es A/D konverter referenciafeszültsége 5 V.
- 12 bit:
0 V $\rightarrow$ 0
~5 V $\rightarrow$ 4095 (4096 pontosan 5 V lenne)
- Mekkora a kvantumnagyság (ΔU)?

$$\Delta U = \frac{U_{\text{ref}}}{N} = \frac{U_{\text{ref}}}{2^b} = \frac{5 \text{ V}}{4096} = 1,22 \text{ mV}$$

1. Példa

- A mért feszültség 3 V. Milyen kódot ad a konverzió?

$$Z = \left[\frac{U}{\Delta U} \right] = \left[\frac{U \cdot 2^b}{U_{\text{ref}}} \right]$$

$$Z = \left[\frac{3 \text{ V} \cdot 4096}{5 \text{ V}} \right] [2457,6] = 2458$$

2. Példa

- Egy 16 bit-es A/D konverter bemenete ± 10 V.
- 16 bit:
 - 10 V $\rightarrow$ 0
 - ~ 10 V $\rightarrow$ 65535 (65536 pontosan 10 V lenne)
- Mekkora a kvantumnagyság (ΔU)?

$$\Delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{N} = 305 \mu\text{V}$$

2. Példa

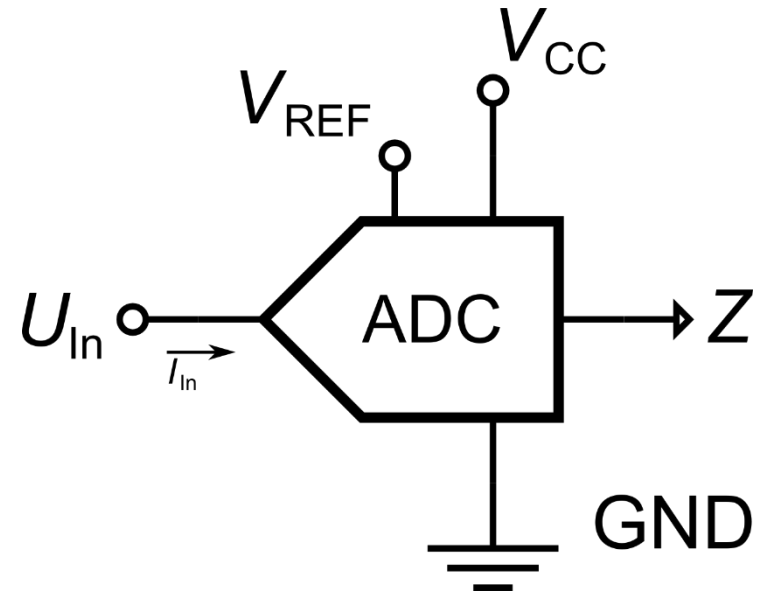
- A mért feszültség 3 V. Milyen kódot ad a konverzió?

$$Z = \left[\frac{U - U_{\min}}{\Delta U} \right]$$

$$Z = \left[\frac{3 \text{ V} - (-10 \text{ V})}{305 \text{ } \mu\text{V}} \right] = [42598,4] = 42598$$

Feszültségmérés A/D-vel

- Mérési tartomány:
GND és V_{REF} között
- Túlterhelés:
GND alatt vagy V_{CC} felett
(tönkre mehet az ADC)
- I_{In} : bemenő áram
(az ADC nem ideális
feszültségmérő)

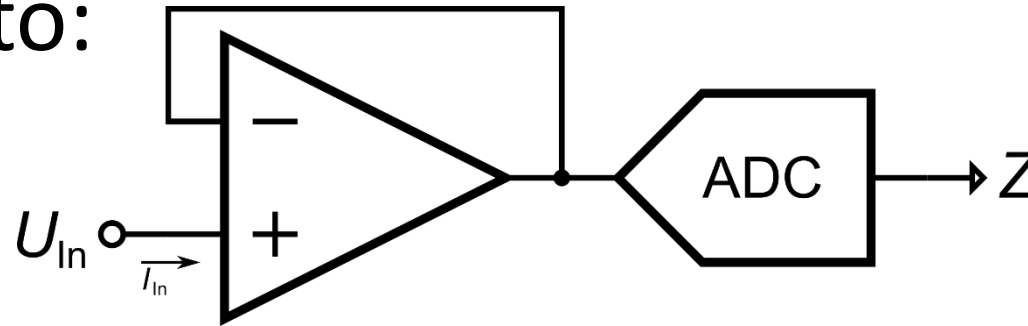


Példa ADC adatok: ADC121C021

- Tápfeszültség: 2,7 ... 5,5 V
- Felbontás: 12 bit (Ha $V_{ref}=2,5\text{ V} \rightarrow \Delta U=0,6\text{ mV}$)
- Bemenő áram (szivárgó): $1\text{ }\mu\text{A}$ (max)
(100 k Ω -os ellenálláson 0,1 V esik)
- Bemenő kapacitás: 30 pF
(10 kHz frekvencián 530 k Ω -os ellenállásnak felel meg)

Bemenő impedancia növelése

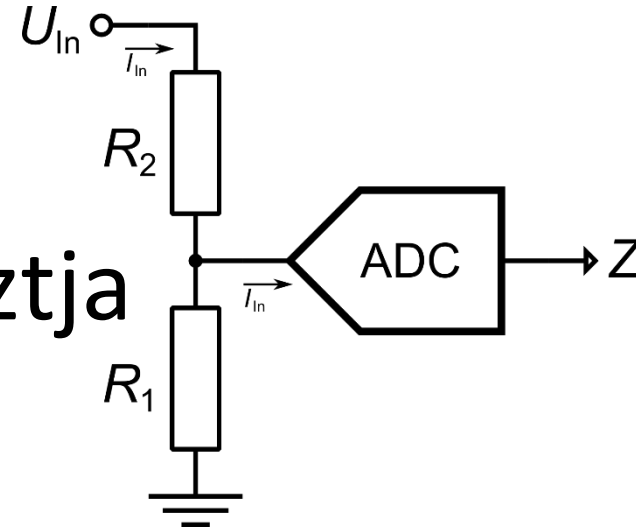
- Követő erősítő:



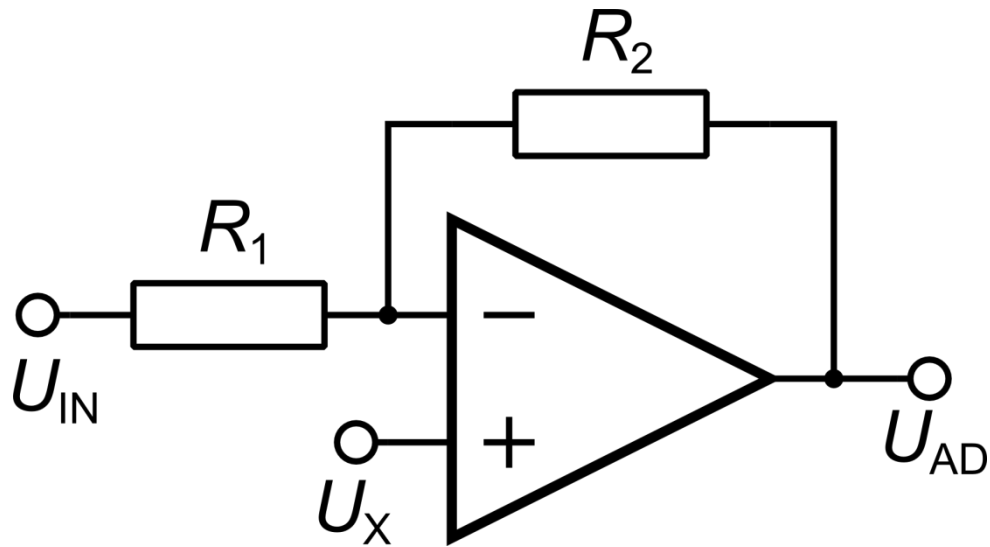
- Bemenő áram TL081 esetén: 30 pA (0,00003 μ A)
- Megjegyzés: az ADC nem feltétlenül köthető közvetlenül az erősítő kimenetére (lásd Műszerelektronika MSc kurzus)

Méréshatár kiterjesztése

- Feszültségosztó:
a bemenő feszültséget leosztja
- Unipoláris bemenet:
nem lehet negatív
- Ellenállások értéke: 1-100 k Ω
- Figyelembe kell venni a bemenő áramokat
Szükség esetén követő erősítőket kell berakni!



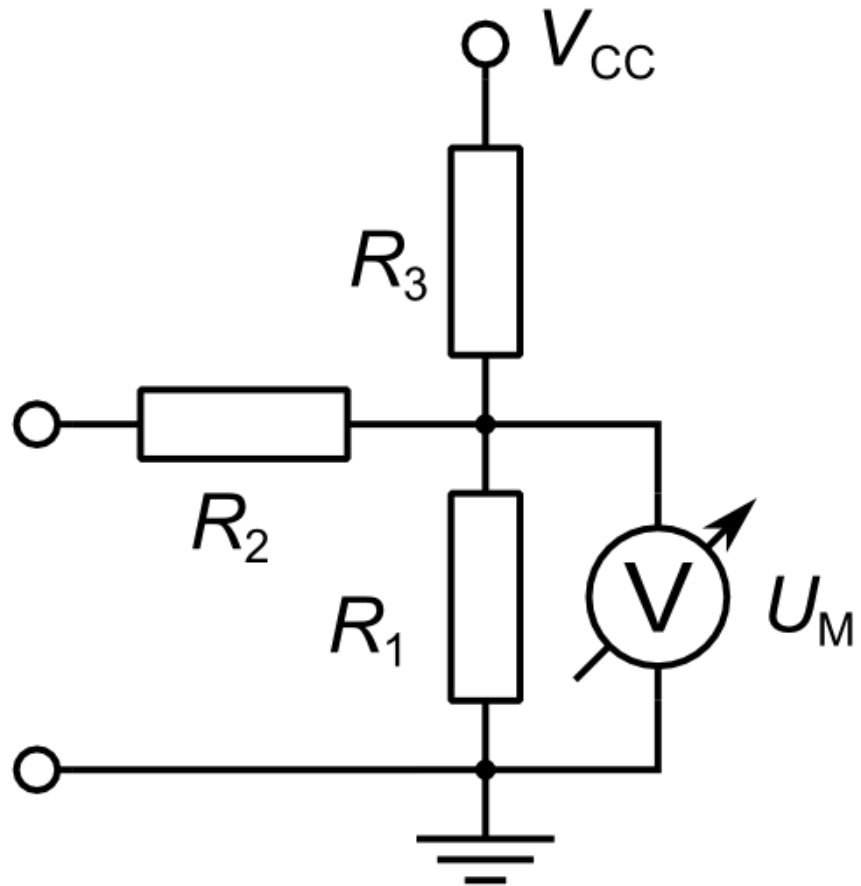
Jel átskálázása műveleti erősítővel



- Pl. bemenő jel $\pm 1\text{ V}$
- Kimenő jel: $0..2,5\text{ V}$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{1,25} ,$$
$$U_X = 0,444\text{ V}$$

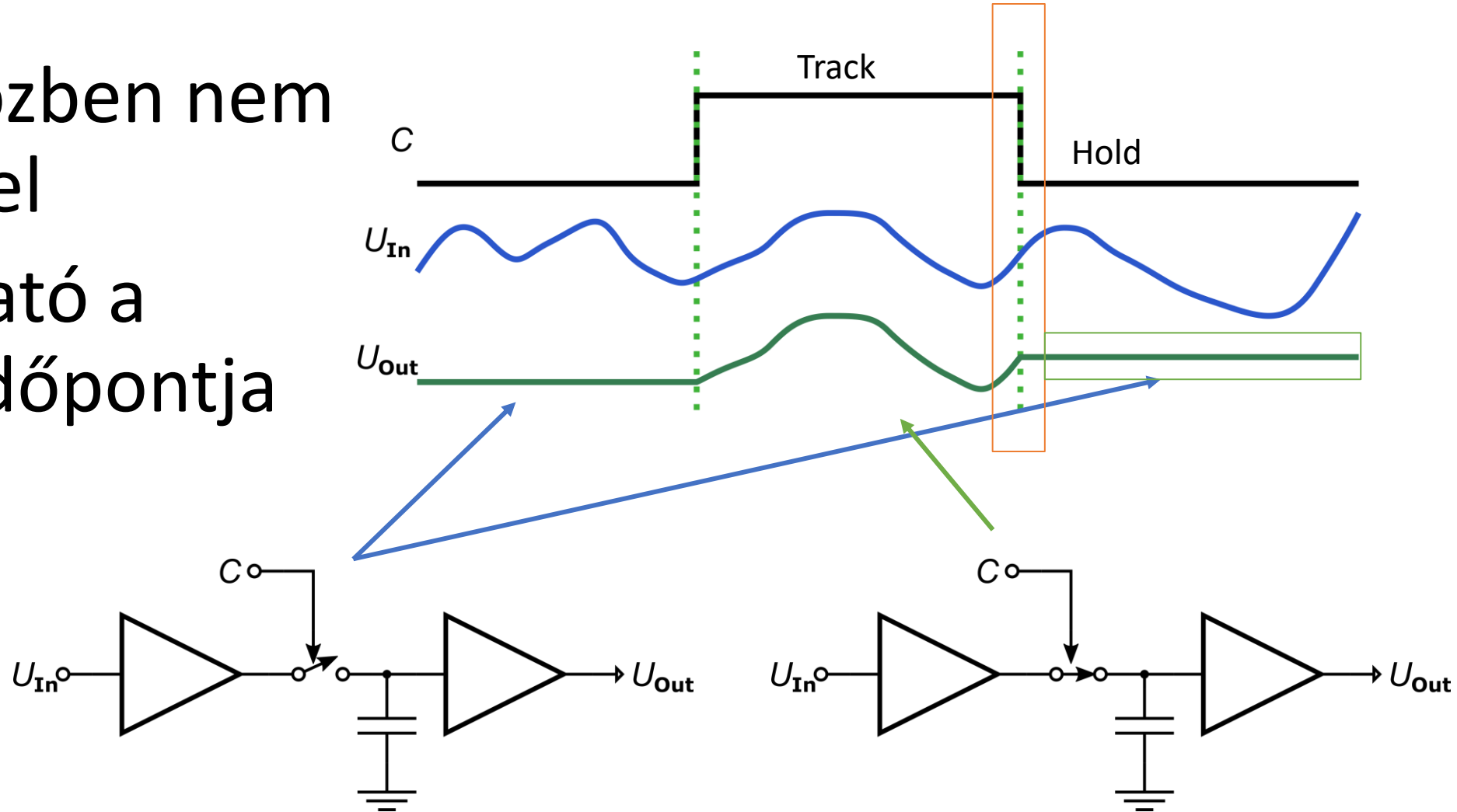
Jel átskálázás műveleti erősítő nélkül



$$R_M = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}$$
$$U_0 = V_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3}$$

Mintavevő-tartó – sample and hold

- Konverzió közben nem változhat a jel
- Jól definiálható a mintavétel időpontja



A/D konverterek típusai

Flash ADC

- Gyors
- Felbontás: 6-8 bit
- Megvalósítása költséges
- 0 – 2,5 GS/s
- Magasabb ráta: interleaved ADC
(egyszerre több mintavevő tartó és ADC időben eltolva mintavételez)

Pipelined ADC

- Gyors
(de 10 lassabb mint adott bitszámú Flash ADC)
- 8-16 bit
- Adat késleltetve jelenik meg
- 1 MS/s – 100 MS/s
- Bonyolult felépítés

SAR ADC (Successive approximation)

- Általános célú, elterjedt ADC típus
- 10-16 bit
- 0 – 10 MS/s

$\Sigma\Delta$ -konverter

- Nagy pontosságú
- Felbontás akár 24 bit
- 1 S/s – 1 MS/s
- Mért jel túlmintavételezése + digitális szűrő
- A mintavételi szűrő sokszor kihagyható

Kettős integrálású konverter – dual slope)

- Nagy pontosságú
- Felbontás: 12-18 bit
- Sebesség: $\ll 100$ kS/s
- Egyszerű felépítés
- A mérés ideje alatt átlagol
(nincs szükség mintavételi szűrőre)

Példa: ADC121C021



ADC121C021, ADC121C021Q, ADC121C027

www.ti.com

SNAS415F – JANUARY 2008 – REVISED MARCH 2013

ADC121C021/ADC121C021Q/ADC121C027 I²C-Compatible, 12-Bit Analog-to-Digital Converter with Alert Function

Check for Samples: [ADC121C021](#), [ADC121C021Q](#), [ADC121C027](#)

FEATURES

- **I²C-Compatible 2-Wire Interface Which Supports Standard (100kHz), Fast (400kHz), and High Speed (3.4MHz) Modes**
- **Extended Power Supply Range (+2.7V to +5.5V)**
- **Up to Nine Pin-Selectable Chip Addresses (VSSOP Only)**

DESCRIPTION

These converters are low-power, monolithic, 12-bit, analog-to-digital converters (ADCs) that operate from a +2.7 to 5.5V supply. The converter is based upon a successive approximation register architecture with an internal track-and-hold circuit that can handle input frequencies up to 11MHz. These converters operate from a single supply which also serves as the reference. The device features an I²C-compatible serial interface that operates in all three

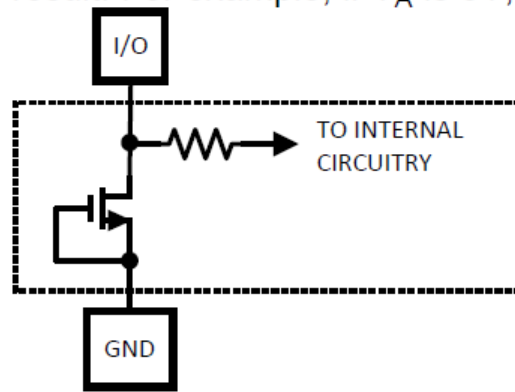
Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

Supply Voltage, V _A			-0.3V to +6.5V
Voltage on any Analog Input Pin to GND			-0.3V to (V _A +0.3V)
Voltage on any Digital Input Pin to GND			-0.3V to 6.5V
Input Current at Any Pin ⁽⁴⁾			±15 mA
Package Input Current ⁽⁴⁾			±20 mA
Power Dissipation at T _A = 25°C			See ⁽⁵⁾
ESD Susceptibility per JESD22 ⁽⁶⁾	V _A , GND, V _{IN} , ALERT, ADDR Pins	HBM	2500V
		SDA	250V
		CDM	1250V
	SDA	HBM	8000V
		MM	400V
ESD Susceptibility per AEC-Q100 ⁽⁶⁾	V _A , GND, V _{IN} , ALERT, ADDR Pins	HBM	2500V
		MM	250V
		CDM	1250V
	SDA, SCL Pins	HBM	2500V
		MM	250V
Junction Temperature			+150°C
Storage Temperature			-65°C to +150°C

Operating Ratings⁽¹⁾⁽²⁾

Operating Temperature Range	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +105^{\circ}\text{C}$
Supply Voltage, V_A	+2.7V to 5.5V
Analog Input Voltage, V_{IN}	0V to V_A
Digital Input Voltage ⁽³⁾	0V to 5.5V
Sample Rate	up to 188.9 ksp/s

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. For ensured specifications and test conditions, see the [Electrical Characteristics](#). The ensured specifications apply only for the test conditions listed. Some performance characteristics may degrade when the device is not operated under the listed test conditions. Operation of the device beyond the maximum Operating Ratings is not recommended.
- (2) All voltages are measured with respect to GND = 0V, unless otherwise specified.
- (3) The inputs are protected as shown below. Input voltage magnitudes up to 5.5V, regardless of V_A , will not cause errors in the conversion result. For example, if V_A is 3V, the digital input pins can be driven with a 5V logic device.



Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_A = +2.7V$ to $+5.5V$, $GND = 0V$, f_{SCL} up to 3.4MHz, $f_{IN} = 1kHz$ for f_{SCL} up to 400kHz, $f_{IN} = 10kHz$ for $f_{SCL} = 3.4MHz$ unless otherwise noted. **Boldface limits apply for $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}** ; all other limits $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted. ⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Typical ⁽²⁾	Limits ⁽²⁾	Units (Limits)
STATIC CONVERTER CHARACTERISTICS					
	Resolution with No Missing Codes			12	Bits
INL	Integral Non-Linearity (End Point Method)	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$, f_{SCL} up to 400kHz ⁽³⁾	± 0.5	± 1	LSB (max)
		$V_A = +2.7V$ to $+5.5V$, f_{SCL} up to 3.4MHz	+1.2		LSB
			-0.9		LSB
DNL	Differential Non-Linearity	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$, f_{SCL} up to 400kHz ⁽³⁾	+0.5	+1	LSB (max)
			-0.5	-0.9	LSB (min)
		$V_A = +2.7V$ to $+5.5V$, f_{SCL} up to 3.4MHz	+1.3		LSB
			-0.9		LSB
V_{OFF}	Offset Error	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$, f_{SCL} up to 400kHz ⁽³⁾	+0.1	± 1.6	LSB (max)
		$V_A = +2.7V$ to $+5.5V$, f_{SCL} up to 3.4MHz	+1.4		LSB
GE	Gain Error		-0.8	± 6	LSB (max)

(1) To ensure accuracy, it is required that V_A be well bypassed and free of noise.

(2) Typical figures are at $T_J = 25^\circ C$, and represent most likely parametric norms. Test limits are specified to TI's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

(3) The ADC will meet Minimum/Maximum specifications for f_{SCL} up to 3.4MHz and $V_A = 2.7V$ to 3.6V when operating in the Quiet Interface Mode (See [Quiet Interface Mode](#)).

Electrical Characteristics (continued)

The following specifications apply for $V_A = +2.7V$ to $+5.5V$, $GND = 0V$, f_{SCL} up to 3.4MHz, $f_{IN} = 1kHz$ for f_{SCL} up to 400kHz, $f_{IN} = 10kHz$ for $f_{SCL} = 3.4MHz$ unless otherwise noted. **Boldface limits apply for $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}** ; all other limits $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted. ⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Typical ⁽²⁾	Limits ⁽²⁾	Units (Limits)
DYNAMIC CONVERTER CHARACTERISTICS					
ENOB	Effective Number of Bits	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$	11.7	11.3	Bits (min)
		$V_A = +3.6V$ to $+5.5V$	11.5		Bits (min)
SNR	Signal-to-Noise Ratio	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$	72.5	70.4	dB (min)
		$V_A = +3.6V$ to $+5.5V$	71		dB (min)
THD	Total Harmonic Distortion	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$	-92	-78	dB (max)
		$V_A = +3.6V$ to $+5.5V$	-87		dB (max)
SINAD	Signal-to-Noise Plus Distortion Ratio	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$	72.6	70	dB (min)
		$V_A = +3.6V$ to $+5.5V$	71		dB (min)
SFDR	Spurious-Free Dynamic Range	$V_A = +2.7V$ to $+3.6V$	90	76	dB (min)
		$V_A = +3.6V$ to $+5.5V$	87		dB (min)

IMD	Intermodulation Distortion, Second Order Terms (IMD ₂)	$V_A = +3.0V$, $f_a = 1.035 \text{ kHz}$, $f_b = 1.135 \text{ kHz}$	-89		dB
		$V_A = +5.0V$, $f_a = 1.035 \text{ kHz}$, $f_b = 1.135 \text{ kHz}$	-91		dB
	Intermodulation Distortion, Third Order Terms (IMD ₃)	$V_A = +3.0V$, $f_a = 1.035 \text{ kHz}$, $f_b = 1.135 \text{ kHz}$	-88		dB
		$V_A = +5.0V$, $f_a = 1.035 \text{ kHz}$, $f_b = 1.135 \text{ kHz}$	-88		dB
FPBW	Full Power Bandwidth (-3dB)	$V_A = +3.0V$	8		MHz
		$V_A = +5.0V$	11		MHz

ANALOG INPUT CHARACTERISTICS

V_{IN}	Input Range		0 to V_A		V
I_{DCL}	DC Leakage Current ⁽⁴⁾			± 1	μA (max)
C_{INA}	Input Capacitance	Track Mode	30		pF
		Hold Mode	3		pF

SERIAL INTERFACE INPUT CHARACTERISTICS (SCL, SDA)

V_{IH}	Input High Voltage			$0.7 \times V_A$	V (min)
V_{IL}	Input Low Voltage			$0.3 \times V_A$	V (max)
I_{IN}	Input Current ⁽⁴⁾			± 1	μA (max)
C_{IN}	Input Pin Capacitance		3		pF
V_{HYST}	Input Hysteresis			$0.1 \times V_A$	V (min)

SERIAL INTERFACE INPUT CHARACTERISTICS (SCL, SDA)					
V_{IH}	Input High Voltage			$0.7 \times V_A$	V (min)
V_{IL}	Input Low Voltage			$0.3 \times V_A$	V (max)
I_{IN}	Input Current ⁽⁴⁾			± 1	μA (max)
C_{IN}	Input Pin Capacitance		3		pF
V_{HYST}	Input Hysteresis			$0.1 \times V_A$	V (min)
ADDRESS SELECTION INPUT CHARACTERISTICS (ADDR)					
V_{IH}	Input High Voltage			$V_A - 0.5V$	V (min)
V_{IL}	Input Low Voltage			0.5	V (max)
I_{IN}	Input Current ⁽⁴⁾			± 1	μA (max)
LOGIC OUTPUT CHARACTERISTICS, OPEN-DRAIN (SDA, ALERT)					
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{SINK} = 3 \text{ mA}$		0.4	V (max)
		$I_{SINK} = 6 \text{ mA}$		0.6	V (max)
I_{OZ}	High Impedance Output Leakage Current ⁽⁴⁾			± 1	μA (max)
	Output Coding		Straight (Natural) Binary		

(4) This parameter is ensured by design and/or characterization and is not tested in production.

Electrical Characteristics (continued)

The following specifications apply for $V_A = +2.7V$ to $+5.5V$, $GND = 0V$, f_{SCL} up to $3.4MHz$, $f_{IN} = 1kHz$ for f_{SCL} up to $400kHz$, $f_{IN} = 10kHz$ for $f_{SCL} = 3.4MHz$ unless otherwise noted. **Boldface limits apply for $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}** : all other limits $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted. ⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions		Typical ⁽²⁾	Limits ⁽²⁾	Units (Limits)
POWER REQUIREMENTS						
V _A	Supply Voltage Minimum				2.7	V (min)
	Supply Voltage Maximum				5.5	V (max)
Continuous Operation Mode -- 2-wire interface active.						
I _N	Supply Current	f _{SCL} =400kHz	V _A = 2.7V to 3.6V	0.08	0.14	mA (max)
			V _A = 4.5V to 5.5V	0.16	0.30	mA (max)
		f _{SCL} =3.4MHz	V _A = 2.7V to 3.6V	0.37	0.55	mA (max)
			V _A = 4.5V to 5.5V	0.74	0.99	mA (max)
P _N	Power Consumption	f _{SCL} =400kHz	V _A = 3.0V	0.26		mW
			V _A = 5.0V	0.78		mW
		f _{SCL} =3.4MHz	V _A = 3.0V	1.22		mW
			V _A = 5.0V	3.67		mW
Automatic Conversion Mode -- 2-wire interface stopped and quiet (SCL = SDA = V _A). f _{SAMPLE} = T _{CONVERT} * 32						
I _A	Supply Current	V _A = 2.7V to 3.6V		0.41	0.59	mA (max)
		V _A = 4.5V to 5.5V		0.78	1.2	mA (max)
P _A	Power Consumption	V _A = 3.0V		1.35		mW
		V _A = 5.0V		3.91		mW

Power Down Mode (PD ₁) -- 2-wire interface stopped and quiet. (SCL = SDA = V _A).						
I _{PD1}	Supply Current	See ⁽⁵⁾		0.1	0.2	μA (max)
P _{PD1}	Power Consumption			0.5	0.9	μW (max)
Power Down Mode (PD ₂) -- 2-wire interface active. Master communicating with a different device on the bus.						
I _{PD2}	Supply Current	f _{SCL} =400kHz	V _A = 2.7V to 3.6V	13	45	μA (max)
			V _A = 4.5V to 5.5V	27	80	μA (max)
		f _{SCL} =3.4MHz	V _A = 2.7V to 3.6V	89	150	μA (max)
			V _A = 4.5V to 5.5V	168	250	μA (max)
P _{PD2}	Power Consumption	f _{SCL} =400kHz	V _A = 3.0V	0.04		mW
			V _A = 5.0V	0.14		mW
		f _{SCL} =3.4MHz	V _A = 3.0V	0.29		mW
			V _A = 5.0V	0.84		mW

(5) This parameter is ensured by design and/or characterization and is not tested in production.

A.C. and Timing Characteristics

The following specifications apply for $V_A = +2.7V$ to $+5.5V$. **Boldface limits apply for $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$** and all other limits are at $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions ⁽¹⁾	Typical ⁽²⁾	Limits ⁽²⁾	Units (Limits)
CONVERSION RATE					
	Conversion Time		1		μs
f _{CONV}	Conversion Rate	f _{SCL} = 100kHz	5.56		ksps
		f _{SCL} = 400kHz	22.2		ksps
		f _{SCL} = 1.7MHz	94.4		ksps
		f _{SCL} = 3.4MHz	188.9		ksps
DIGITAL TIMING SPECS (SCL, SDA)					
f _{SCL}	Serial Clock Frequency	Standard Mode Fast Mode High Speed Mode, C _b = 100pF High Speed Mode, C _b = 400pF		100 400 3.4 1.7	kHz (max) kHz (max) MHz (max) MHz (max)
t _{LOW}	SCL Low Time	Standard Mode Fast Mode High Speed Mode, C _b = 100pF High Speed Mode, C _b = 400pF		4.7 1.3 160 320	us (min) us (min) ns (min) ns (min)
t _{HIGH}	SCL High Time	Standard Mode Fast Mode High Speed Mode, C _b = 100pF High Speed Mode, C _b = 400pF		4.0 0.6 60 120	us (min) us (min) ns (min) ns (min)

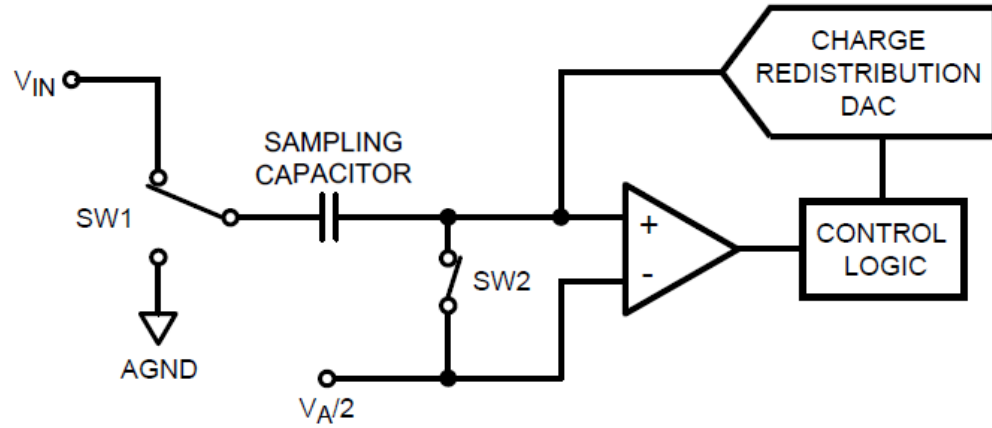


Figure 20. ADC121C021 in Track Mode

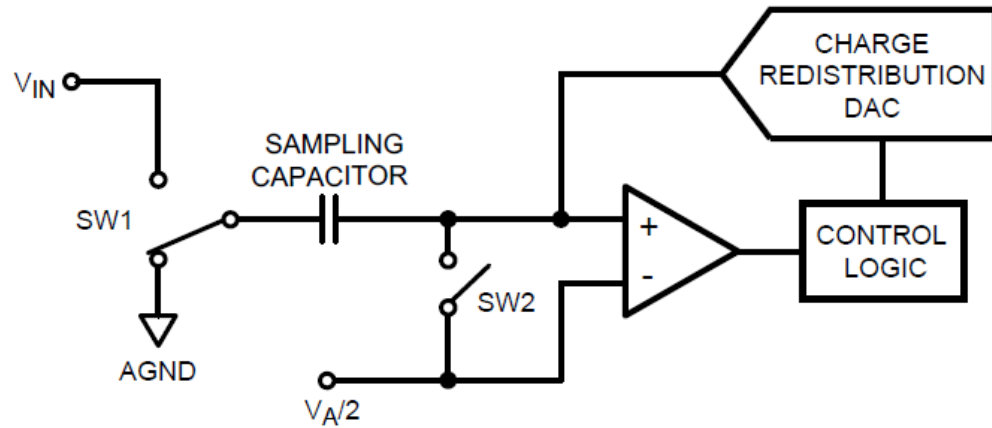


Figure 21. ADC121C021 in Hold Mode

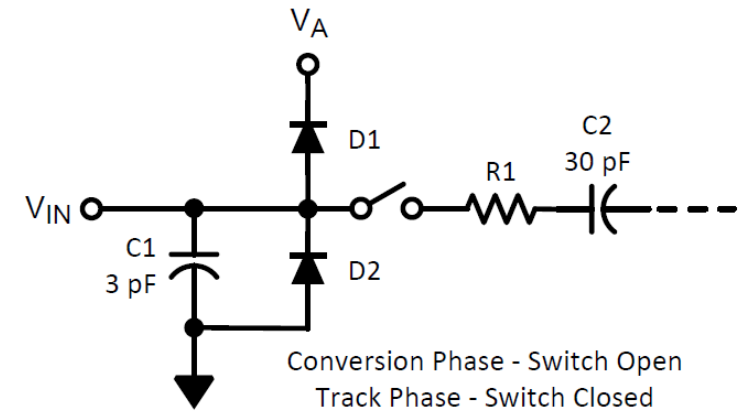


Figure 22. Equivalent Input Circuit

Modern mérés technika

14.

Zaj szerepe az A/D konverzió során

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Kvantálási zaj

Kvantálási zaj értéke

- Egyenletes eloszlású $-V_{LSB}/2$ és $V_{LSB}/2$ között

$$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{V_{LSB}} , & \text{ha } |x| < \frac{V_{LSB}}{2} \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

Kvantálási zaj értéke

- A zaj szórása (RMS):

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\int_{-\frac{V_{\text{LSB}}}{2}}^{\frac{V_{\text{LSB}}}{2}} x^2 \cdot p(x) dx} = \frac{V_{\text{LSB}}}{\sqrt{12}}$$

Fizikai zaj

- Elektronikai komponensek ->
mindegyik valamekkora fizikai zajjal jellemezhető

Ellenállás termikus zaja

Termikus zaj (Johnson noise) – fehér zaj

- Teljesítménysűrűség (PDF):

$$S(f) = 4kTR$$

- Zaj RMS értéke:

$$\sigma_V = \sqrt{4kTR \cdot \Delta f}$$

Δf : a rendszer sáv szélessége

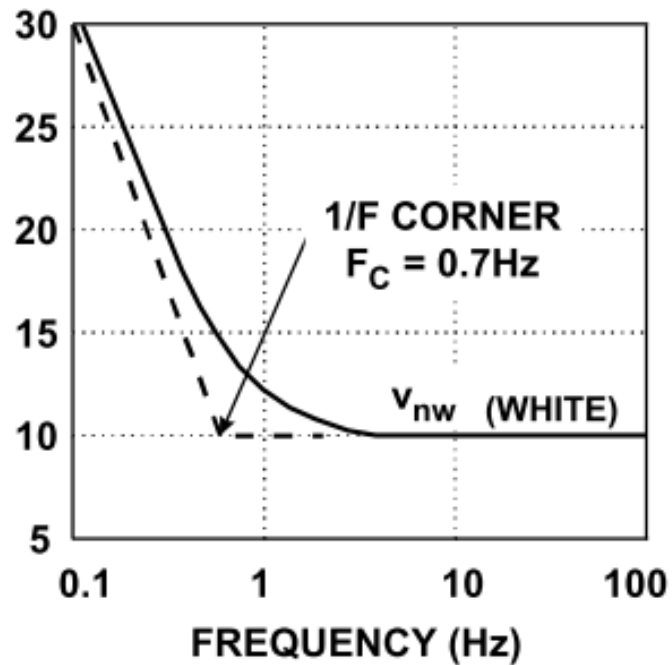
- Kapacitások zaja: $S(f) = kT/C$

Ellenállás $1/f$ zaja

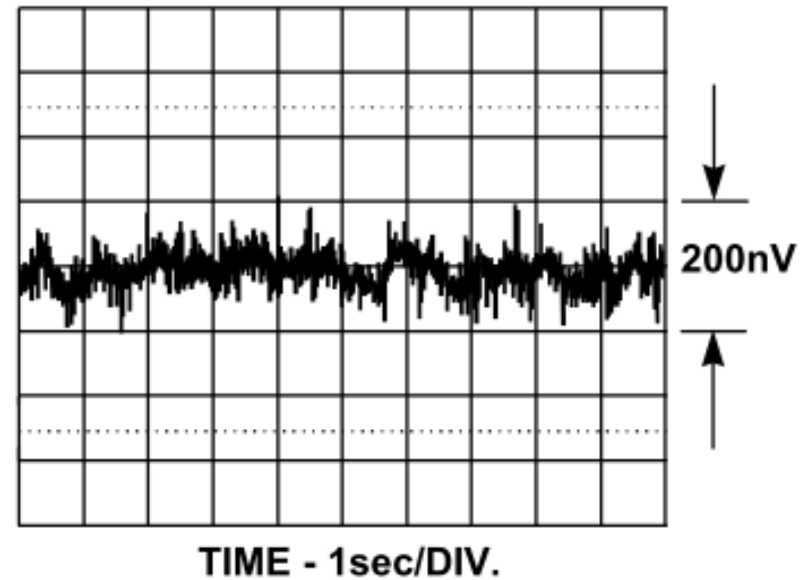
- Az $1/f$ zaj értéke függ:
 - Vezető típusa
 - Töltéshordozók száma
 - Áram nagysága
- Jó ellenállások esetén az $1/f$ zaj elhanyagolható
- Félvezetők: $1/f$ zaj jelentős lehet

Műveleti erősítők zaja (OP177)

INPUT VOLTAGE NOISE, nV / $\sqrt{\text{Hz}}$



0.1Hz to 10Hz VOLTAGE NOISE



$$\blacksquare V_{n,rms}(F_H, F_L) = v_{nw} \sqrt{F_C \ln \left[\frac{F_H}{F_L} \right] + (F_H - F_L)}$$

■ For $F_L = 0.1\text{Hz}$, $F_H = 10\text{Hz}$, $v_{nw} = 10\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $F_C = 0.7\text{Hz}$:

$$\blacklozenge V_{n,rms} = 36\text{nV}$$

$$\blacklozenge V_{n,pp} = 6.6 \times 36\text{nV} = 238\text{nV}$$

Fizikai zaj

- Elektronikai komponensek -> mindegyik valamekkora fizikai zajjal jellemezhető
- Tápfeszültség, feszültségreferenciák, külső zaj
- A zaj általában normál eloszlású
- Nagy felbontású ADC-k esetén szembetűnő

Fizikai zaj hatása

Fizikai zaj hatása

- Ha a fizikai zaj nagyobb a kvantálási zajnál → felbontást korlátozó tényező
- Hány bit-es felbontásnak van „értelme”?
- Két fő megközelítés a hatás meghatározására:
 - a zaj effektív értékének felhasználása
 - a zaj csúcstól-csúcsig (peak-to-peak) értékének felhasználása

Effektív bitszám – effective number of bits (ENOB)

- Példa: 16 bit ADC, 2,5 V referencia
- Felbontás: $2,5 \text{ V} / 2^{16} = 38,15 \text{ } \mu\text{V}$
 - Kvantálási zaj szórása: $38,15 \text{ } \mu\text{V} / \sqrt{12} = 11 \text{ } \mu\text{V}$

Effektív bitszám – effective number of bits (ENOB)

- Példa: 16 bit ADC, 2,5 V referencia
- Felbontás: $2,5 \text{ V} / 2^{16} = 38,15 \text{ } \mu\text{V}$
- Legyen a fizikai zaj: $100 \text{ } \mu\text{V}$
- Ez a teljes mérési tartomány 25000-ed része
- Az effektív bitszám: $\log_2(25000) \approx 14,6 \text{ bit}$

Csúcstól-csúcsig érték

- Gauss-eloszlású zaj: bármilyen értéket felvehet
 - Csúcstól-csúcsig érték:
 - $6\sigma = \pm 3\sigma$ (99,7%)
 - $6,6\sigma = \pm 3,3\sigma$ (99,9%)
- σ a zaj effektív értéke (szórás, RMS)

Zajmentes felbontás (noise-free resolution)

- 6x vagy 6,6x-szer rosszabb mint az effektív felbontás
- $\log_2(6) \approx 2,6$ vagy $\log_2(6,6) \approx 2,7$
- Zajmentes felbontás:
 $14,7 - 2,6 = 12,1$ bit vagy $14,7 - 2,7 = 12$ bit

Átlagolás hatása az A/D konverterek teljesítményére

Optimális zajmennyiség

Modern mérés technika 15.

Multiméterek

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap

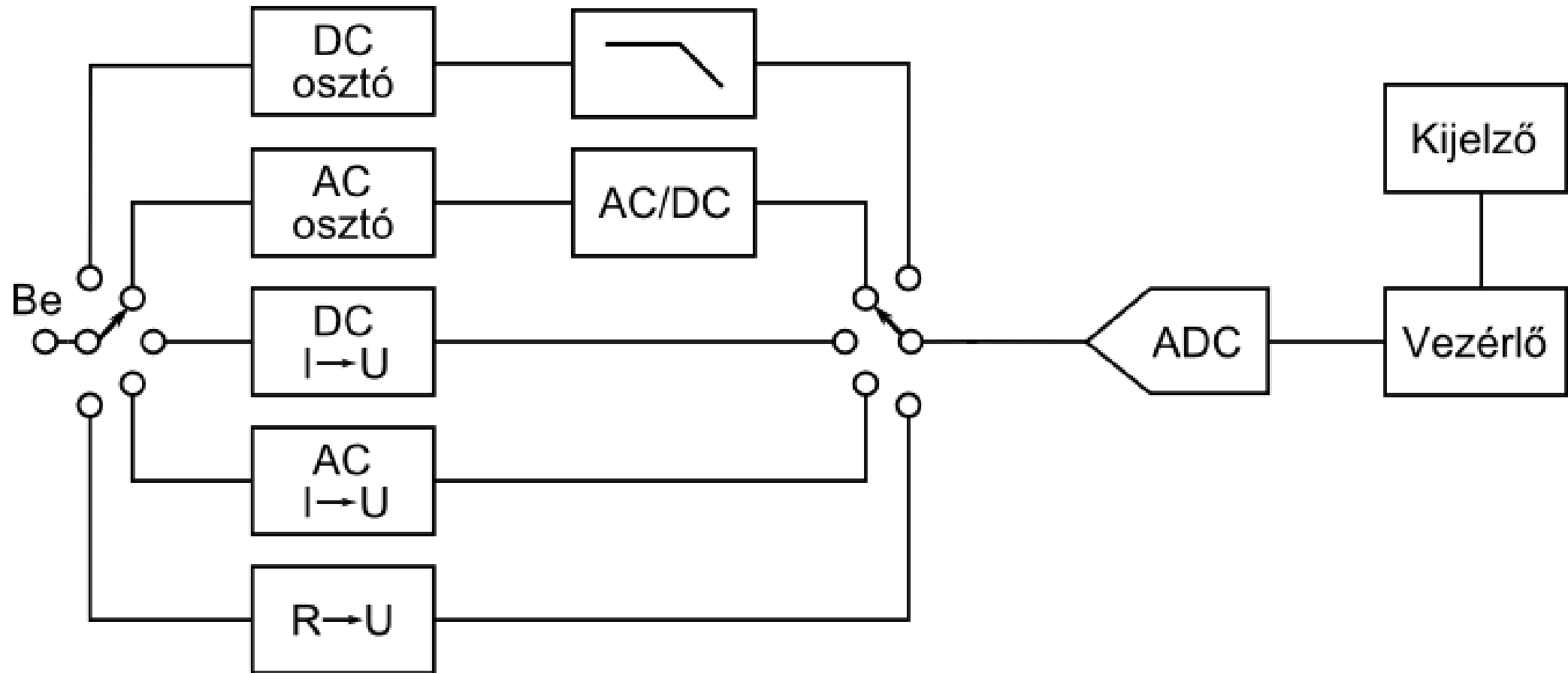


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Multiméterek – mért mennyiségek

- Egyenfeszültség/váltófeszültség
- Egyenáram/váltóáram
- Ellenállás
- Kapacitás
- Dióda/tranzisztor
- Hőmérséklet
- ...

Digitális multiméter blokkvázlata



Feszültség mérése

Mérési idő – Aperture time

- PLC: power line cycle
- 50 Hz → 20 ms
- 60 Hz → 16,7 ms

Integration Time	Resolution
0.001 PLC*	30 ppm x Range
0.002 PLC*	15 ppm x Range
0.006 PLC	6.0 ppm x Range
0.02 PLC	3.0 ppm x Range
0.06 PLC	1.5 ppm x Range
0.2 PLC	0.7 ppm x Range
1 PLC (default)	0.3 ppm x Range
2 PLC	0.2 ppm x Range
10 PLC	0.1 ppm x Range
100 PLC	0.03 ppm x Range
* Model 34411A/L4411A	

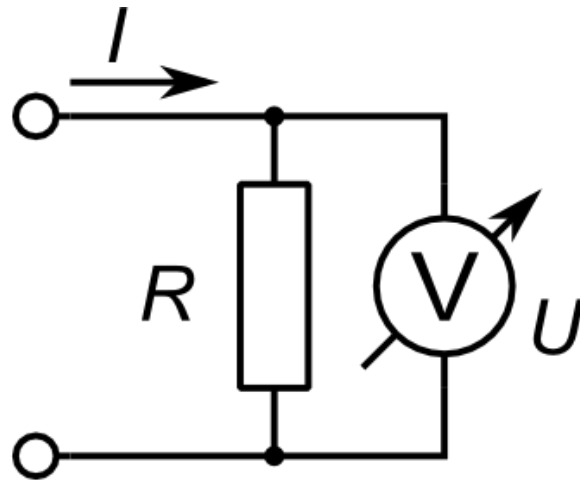
Bemeneti impedancia

- Általában $10\text{ M}\Omega$
 - 1% körüli pontosság
 - Méréshatárfüggő
 - Méréshatár túllépésekor lecsökkenhet
 - Nagyobb forrásimpedanciák esetén jelentős hiba
- Nagy impedanciás mód
 - $P_l > 10\text{ G}\Omega$

Áramerősség mérése

Áramerősség-feszültség konverzió

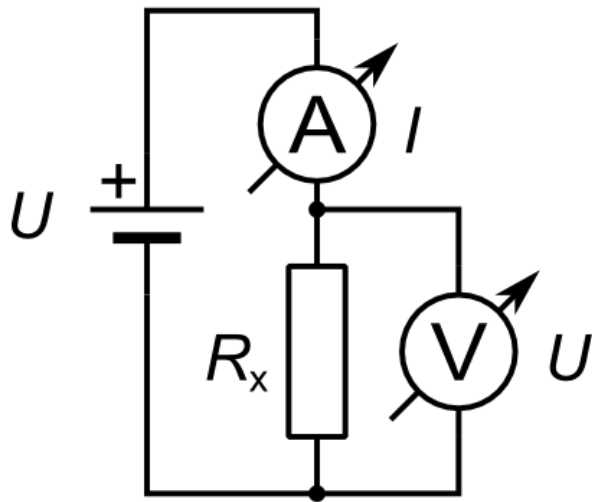
- Ohm törvény alapján: $I = U/R$



Ellenállás mérése

Ellenállás mérése Ohm törvény alapján

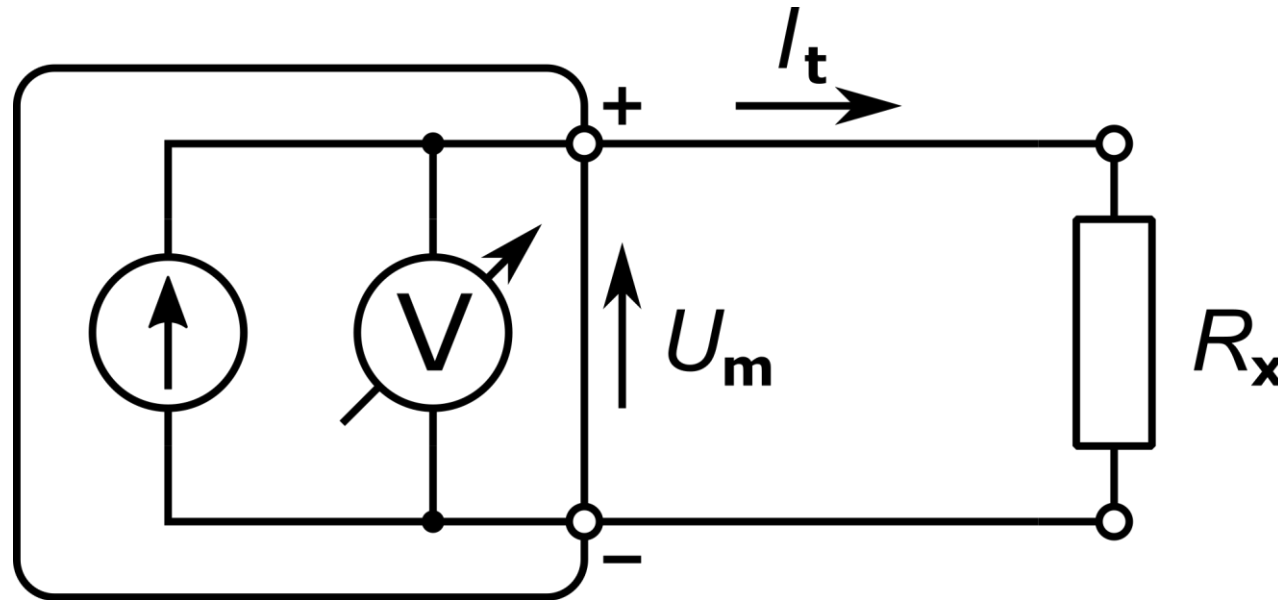
$$R_x = \frac{U}{I}$$



- Megjegyzés:
az ellenállást mindig ki kell szedni az áramkörből!

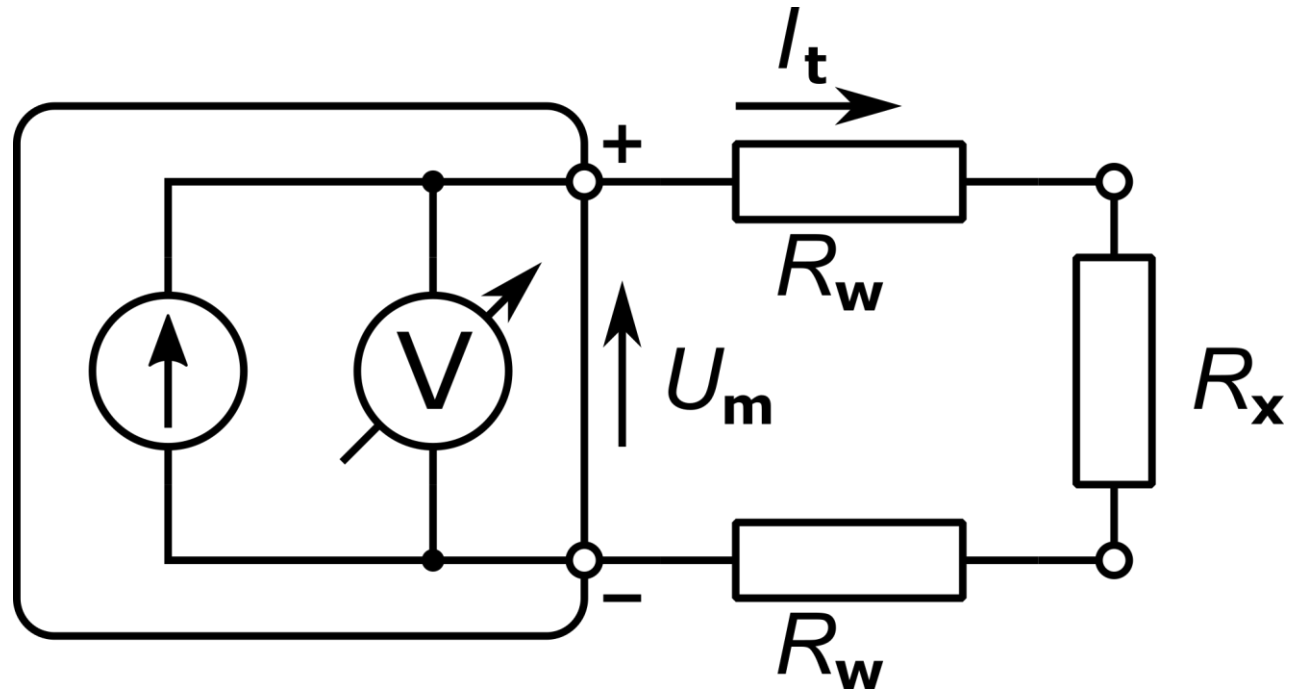
Ellenállás mérése áramgenerátorral

- Előny: a mért feszültség arányos az ellenállással



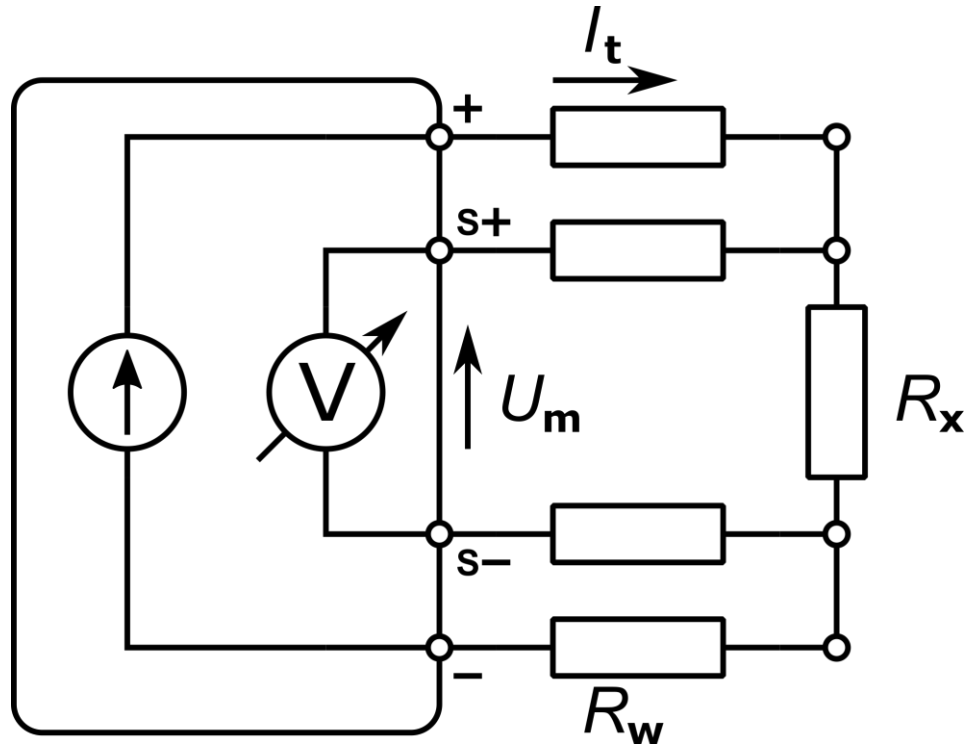
Vezetékek ellenállásának hatása

- A vezetékek ellenállása hibát okoz



Négypontos ellenállásmérés

- Cél: vezeték ellenállásának kiküszöbölése



Kelvin csipesz

- Négy pontos ellenállásmérés egyszerű megvalósítása



Teszt áramok

- A mért ellenálláson folyó áram hőtermel -> megváltozhat a mért ellenállás

Range	Test Current	DUT Power at Full Scale
100 Ω	1 mA	100 μ W
1 k Ω	1 mA	1 mW
10 k Ω	100 μ A	100 μ W
100 k Ω	10 μ A	10 μ W
1 M Ω	5 μ A	25 μ W
10 M Ω	500 nA	2.5 μ W

Multiméterek pontossága

Példa: UNI-T UT60H

Accuracy Specifications(1)

Accuracy: $\pm(a\% \text{ reading} + b \text{ digits})$, guarantee for 1 year.

Operating temperature: 18°C~28°C

Relative humidity: $\leq 75\%RH$

A. DC Voltage

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
4V	0.0001V	$\pm(0.1\%+5)$	1000V
40V	0.001V		
400V	0.01V		
1000V	0.1V	$\pm(0.2\%+5)$	

Remarks:

- Input impedance: Approx.10M Ω .

Példa: UNI-T UT60H

Accuracy Specifications(1)

Accuracy: $\pm(a\% \text{ reading} + b \text{ digits})$, guarantee for 1 year.

Operating temperature: 18°C~28°C

Relative humidity: $\leq 75\%RH$

A. DC Voltage

Range	Resolution	Accuracy	Overload Protection
4V	0.0001V	$\pm(0.1\%+5)$	1000V
40V	0.001V		
400V	0.01V		
1000V	0.1V	$\pm(0.2\%+5)$	

Remarks:

- Input impedance: Approx. 10M Ω .

- Pl. mért érték: 18 V
- Méréshatár: 40 V

$$\begin{aligned}\Delta U &= 18 \text{ V} \cdot 0,001 \\ &\quad + 0,001 \text{ V} \cdot 5 \\ &= 0,023 \text{ V}\end{aligned}$$

Példa: Agilent 34410 adatlapja

Accuracy Specifications $\pm$ (% of reading + % of range) ^[1]

Function	Range ^[3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour ^[2] $T_{CAL} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	90 Day $T_{CAL} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 Year $T_{CAL} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperature Coefficient/ $^{\circ}\text{C}$ 0 $^{\circ}\text{C}$ to ($T_{CAL} - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($T_{CAL} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) to 55 $^{\circ}\text{C}$
DC	100.0000 mV		0.0030+0.0030	0.0040+0.0035	0.0050+0.0035	0.0005+0.0005
	1.000000 V		0.0020+0.0006	0.0030+0.0007	0.0035+0.0007	0.0005+0.0001
	10.00000 V		0.0015+0.0004	0.0020+0.0005	0.0030+0.0005	0.0005+0.0001
	100.0000 V		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001
	1000.000 V ^[5]		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001

[1] Specifications are for 90 minute warm-up and integration setting of 100 NPLC.

For <100 NPLC, add the appropriate "RMS Noise Adder" from the table on the following page.

[2] Relative to calibration standards.

[3] 20% overrange on all ranges, except 1000 VDC, 3 A range.

Példa: Agilent 34410 adatlapja

Accuracy Specifications $\pm$ (% of reading + % of range) ^[1]

Function	Range ^[3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour ^[2] $T_{CAL} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	90 Day $T_{CAL} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 Year $T_{CAL} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperature Coefficient/ $^{\circ}\text{C}$ 0 $^{\circ}\text{C}$ to ($T_{CAL} - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($T_{CAL} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) to 55 $^{\circ}\text{C}$
DC	100.0000 mV		0.0030+0.0030	0.0040+0.0035	0.0050+0.0035	0.0005+0.0005
	1.000000 V		0.0020+0.0006	0.0030+0.0007	0.0035+0.0007	0.0005+0.0001
	10.00000 V		0.0015+0.0004	0.0020+0.0005	0.0030+0.0005	0.0005+0.0001
	100.0000 V		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001
	1000.000 V ^[5]		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001

- Pl. mért érték: 18 V
- Méréhatár: 100 V
- 1 éven belül

$$\begin{aligned}
 \Delta U &= 18\text{ V} \cdot 0,000004 \\
 &\quad + 100\text{ V} \cdot 0,0000006 \\
 &= 0,00132\text{ V}
 \end{aligned}$$

Accuracy Specifications $\pm$ (% of reading + % of range) ^[1]

Function	Range ^[3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour ^[2] $T_{CAL} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	90 Day $T_{CAL} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 Year $T_{CAL} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperature Coefficient/ $^{\circ}\text{C}$ 0 $^{\circ}\text{C}$ to ($T_{CAL} - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($T_{CAL} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) to 55 $^{\circ}\text{C}$
DC	100.0000 mV		0.0030+0.0030	0.0040+0.0035	0.0050+0.0035	0.0005+0.0005
	1.000000 V		0.0020+0.0006	0.0030+0.0007	0.0035+0.0007	0.0005+0.0001
	10.00000 V		0.0015+0.0004	0.0020+0.0005	0.0030+0.0005	0.0005+0.0001
	100.0000 V		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001
	1000.000 V ^[5]		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001
Resistance ^[4]	100.0000 Ω	1 mA Current Source	0.0030+0.0030	0.008+0.004	0.010+0.004	0.0006+0.0005
	1.000000 K Ω	1 mA	0.0020+0.0005	0.007+0.001	0.010+0.001	0.0006+0.0001
	10.00000 K Ω	100 μA	0.0020+0.0005	0.007+0.001	0.010+0.001	0.0006+0.0001
	100.0000 K Ω	10 μA	0.0020+0.0005	0.007+0.001	0.010+0.001	0.0006+0.0001
	1.000000 M Ω	5.0 μA	0.0020+0.0010	0.010+0.001	0.012+0.001	0.0010+0.0002
	10.00000 M Ω	500 nA	0.0100+0.0010	0.030+0.001	0.040+0.001	0.0030+0.0004
	100.0000 M Ω	500 nA 10 M Ω	0.200+0.001	0.600+0.001	0.800+0.001	0.1000+0.0001
	1.000000 G Ω	500 nA 10 M Ω	2.000+0.001	6.000+0.001	8.000+0.001	1.0000+0.0001
DC Current	100.0000 μA	<0.03 V Burden V	0.010+0.020	0.040+0.025	0.050+0.025	0.0020+0.0030
	1.000000 mA	<0.3 V	0.007+0.006	0.030+0.006	0.050+0.006	0.0020+0.0005
	10.00000 mA	<0.03 V	0.007+0.020	0.030+0.020	0.050+0.020	0.0020+0.0020
	100.0000 mA	<0.3 V	0.010+0.004	0.030+0.005	0.050+0.005	0.0020+0.0005
	1.000000 A	<0.80 V	0.050+0.006	0.080+0.010	0.100+0.010	0.0050+0.0010
	3.00000 A	<2.0 V	0.100+0.020	0.120+0.020	0.150+0.020	0.0050+0.0020
Continuity	1000 Ohms	1 mA Test Current	0.002+0.010	0.008+0.020	0.010+0.020	0.0010+0.0020
Diode Test	1.0000 V ^[6]	1 mA Test Current	0.002+0.010	0.008+0.020	0.010+0.020	0.0010+0.0020

Modern mérés technika

16.

Tápegységek

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020


MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

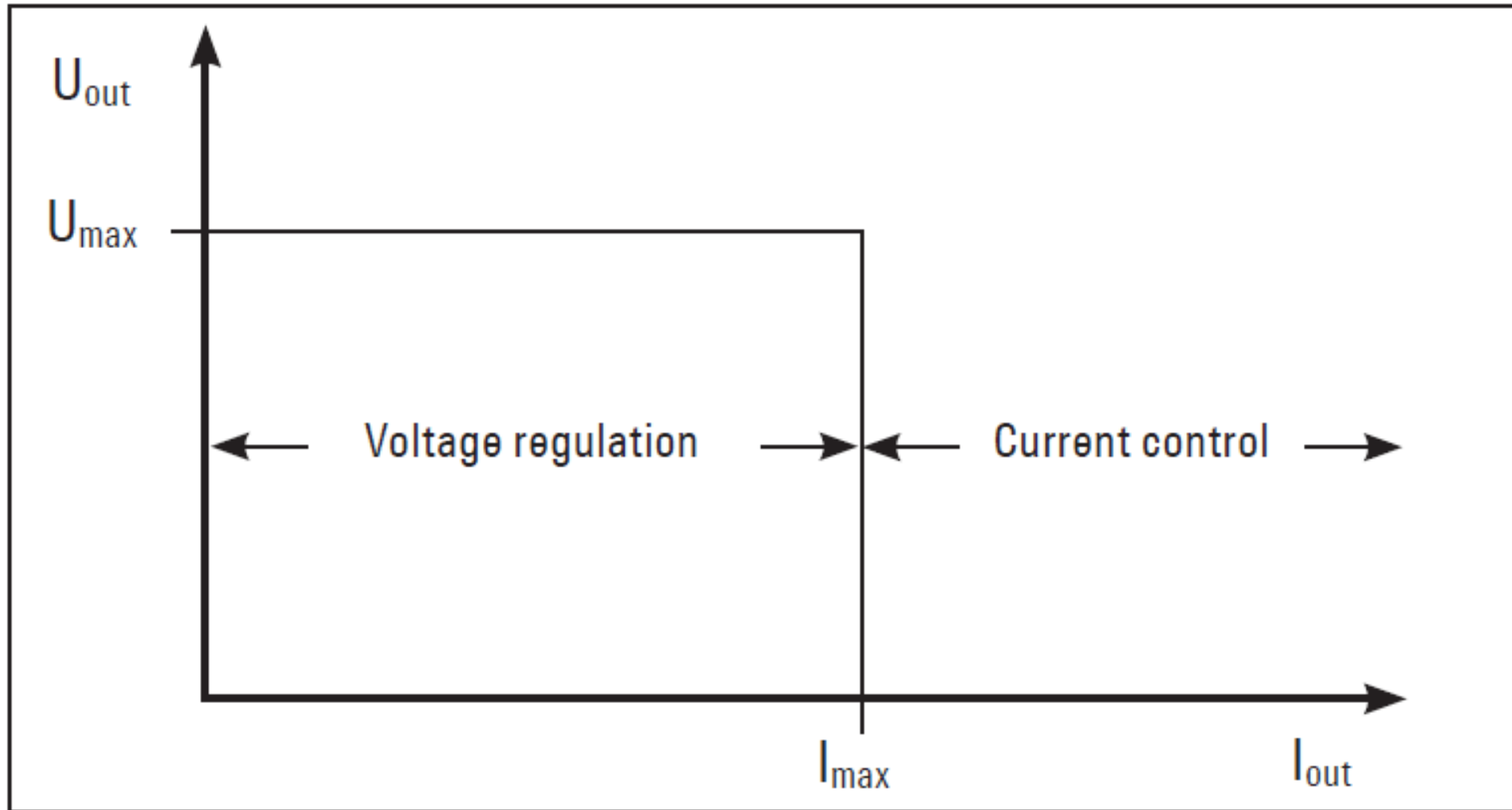
Laboratóriumi tápegységek

- Tesztelés alatt álló áramkör tápfeszültségének biztosítása
- Védelem
 - Túláram
 - Túlfeszültség
 - Rövidzár

Laboratóriumi tápegységek

- Mérés
 - Kiadott feszültség
 - Áramfelvétel
 - Fogyasztás

Alapvető működés



Példa: R&S HMC8041/42/43

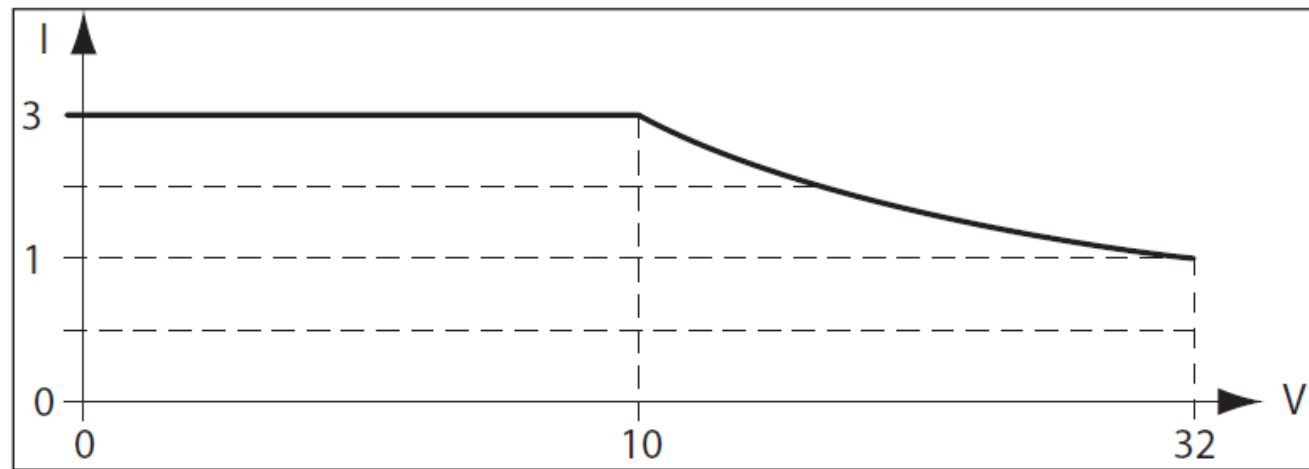
Electrical Specifications	
Total power output	100W
Maximum power per channel	
R&S®HMC8043	33W
R&S®HMC8042	50W
R&S®HMC8041	100W
Voltage output	
all models	0V to 32V
Current output	
R&S®HMC8043	max 3A
R&S®HMC8042	max 5A
R&S®HMC8041	max 10A
Number of outputs	
R&S®HMC8043	3
R&S®HMC8042	2
R&S®HMC8041	1

- Közel azonos hardver
- Különböző csatornaszám
- Különböző teljesítmény és áramkorlát

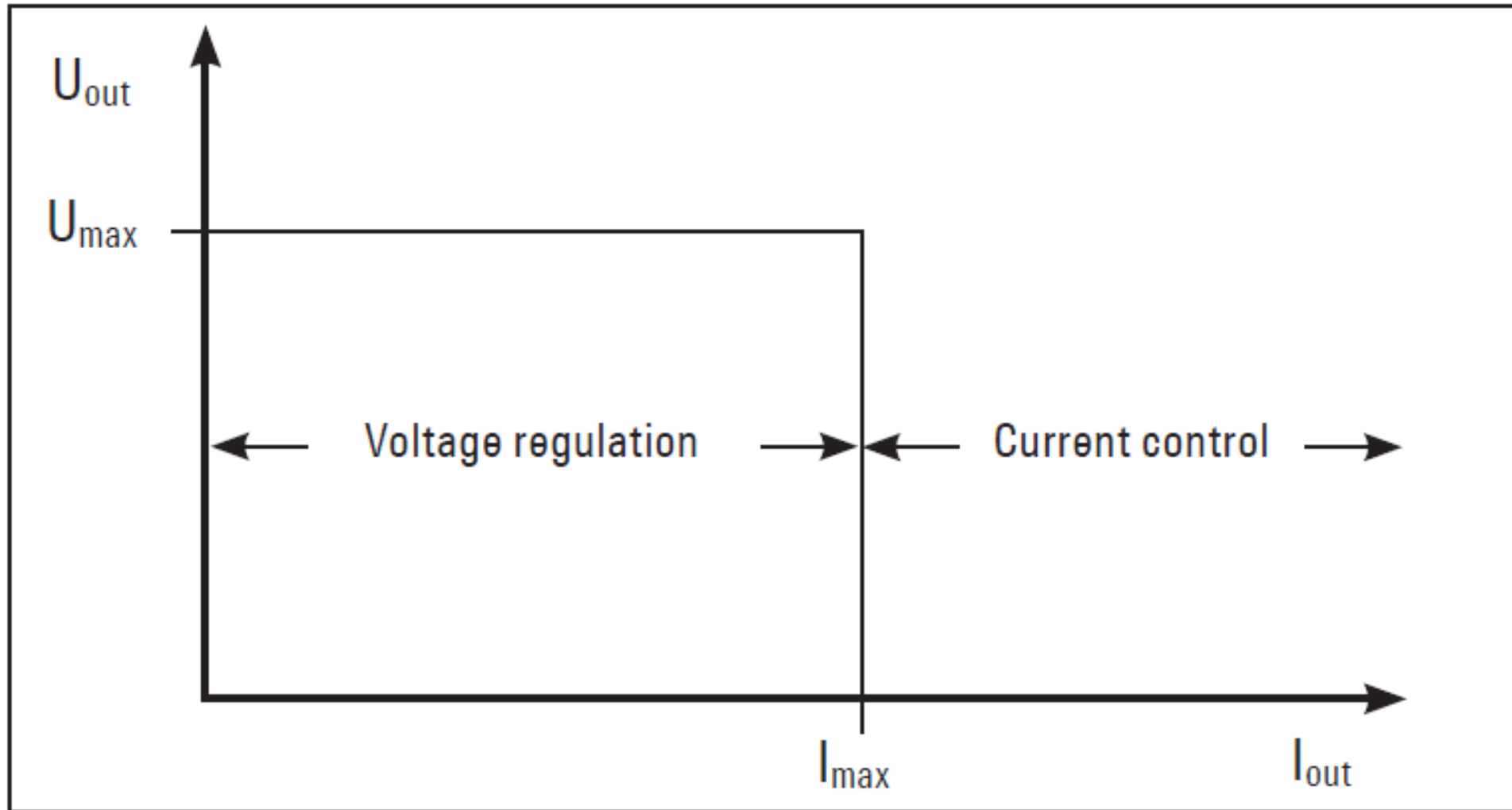
Teljesítmény hiperbola

Electrical Specifications	
Total power output	100W
Maximum power per channel	
R&S®HMC8043	33W
R&S®HMC8042	50W
R&S®HMC8041	100W
Voltage output	
all models	0V to 32V
Current output	
R&S®HMC8043	max 3A
R&S®HMC8042	max 5A
R&S®HMC8041	max 10A
Number of outputs	
R&S®HMC8043	3
R&S®HMC8042	2
R&S®HMC8041	1

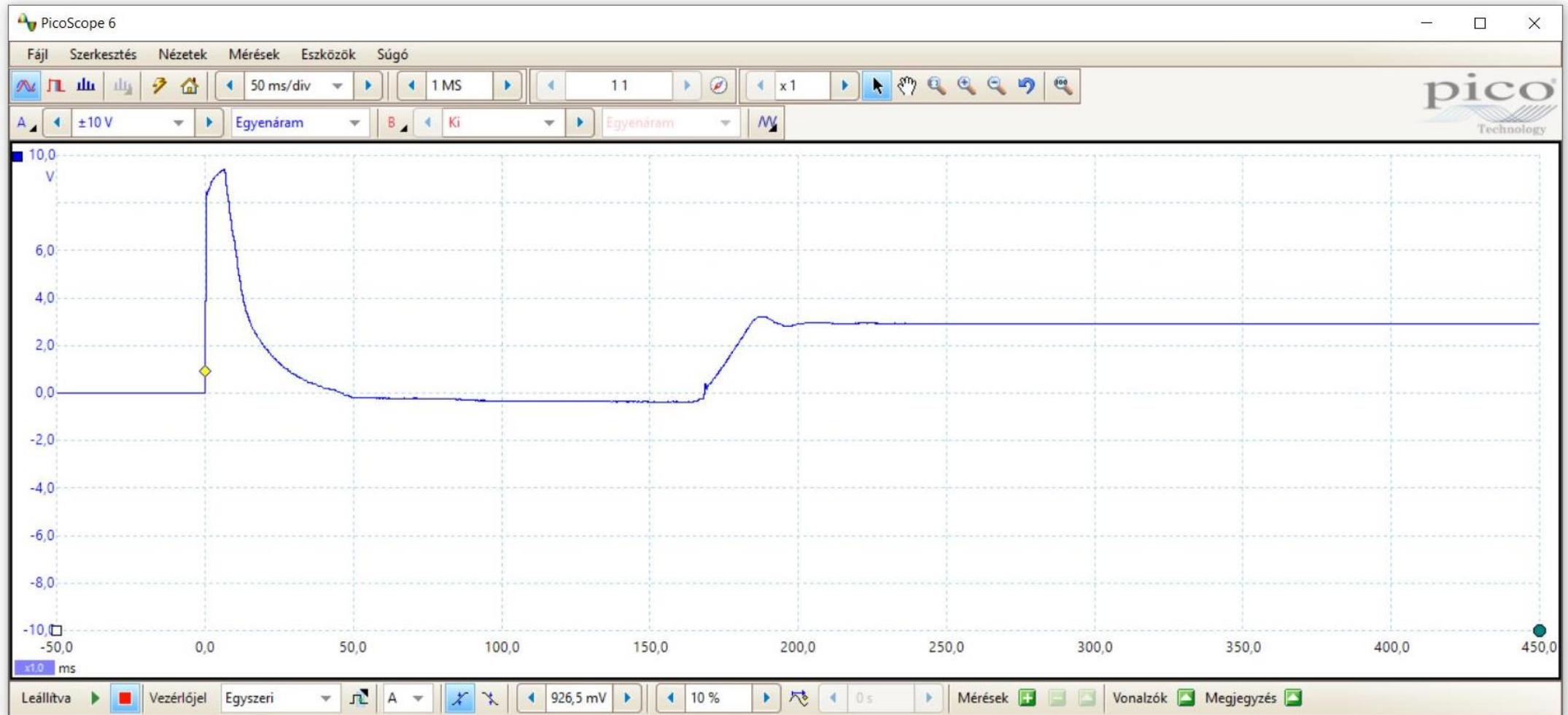
- A maximális áram és feszültség egyszerre nem érhető el
- Pl: HMC8043:



Alapvető működés



Ideális áramrenerátor?



Túláram és túlfeszültségvédelem

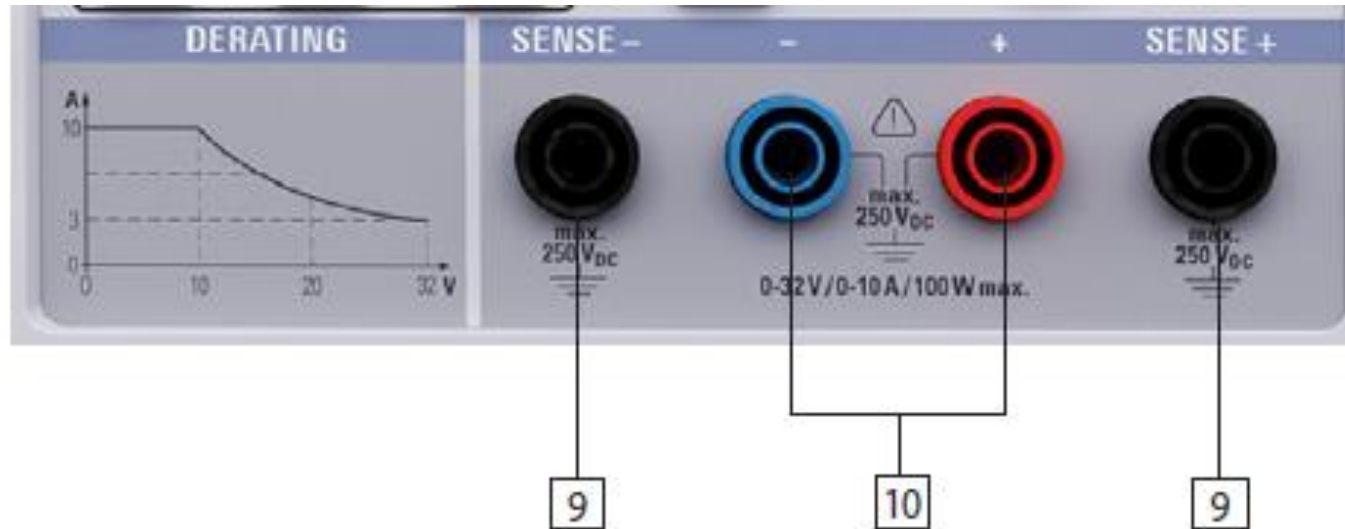
- Fuse: túláram esetén kikapcsolja az adott kimenetet
- Fuse link: túláram esetén több kimenet is egyszerre kapcsolható ki
- Fuse Delay: túláram esetén kioldás késleltetése (pl. kapacitív terhelések esetén)

Túláram és túlfeszültségvédelem

- Over Voltage Protection: túlfeszültségvédelem
- Overload Protection: megadott teljesítmény felett kapcsol ki

Négy pontos mérések

- Vezetékek hatásának kiküszöbölése



További funkciók

- Tracking: több csatorna egyszerre való vezérlése
- Arb: tetszőleges jelalakok előállítása
- Sequencing: csatornák egymás után való vezérlése
- Analog In: kimenet vezérlése analóg jellel
- Data Logging: adatok mentése

Tápegység pontossága

Feszültség/áram szabályozása

Line & load regulation (SENSE connected)

Constant voltage mode

R&S®HMC8043	<0.02% + 3 mV
-------------	---------------

R&S®HMC8042 R&S®HMC8041	<0.03% + 5 mV
----------------------------	---------------

Constant current mode

R&S®HMC8043	<0.03% + 200 μ A
-------------	----------------------

R&S®HMC8042 R&S®HMC8041	<0.03% + 300 μ A
----------------------------	----------------------

Voltage ripple 20 Hz to 20 MHz (front connector) (V=16 V, I=I_{max}*0.5)

R&S®HMC8043 R&S®HMC8042	450 μ V _{rms} / 4 mV _{pp}
----------------------------	---

R&S®HMC8041	1 mV _{rms} / 5 mV _{pp}
-------------	--

Current ripple 20 Hz to 20 Mhz (V=16 V, I=I_{max}*0.5)

all models	typ. <1 mA _{rms}
------------	---------------------------

Response time with SENSE compensation (10% to 90% load change)	1 ms ($\pm$ 20 mV)
--	---------------------

Max SENSE compensation	1 V
------------------------	-----

The specifications are based on a 30 min warm-up period.

Pontosság

Programming accuracy (23°C ±5°C)

Voltage

all models	<0.05% + 2 mV
------------	---------------

Current

R&S®HMC8043	<0.05% + 2 mA typ. <0.05% + 1 mA (I <100 mA)
-------------	---

R&S®HMC8042	<0.1% + 5 mA typ. <0.05% + 2 mA (I <100 mA)
-------------	--

R&S®HMC8041	<0.2% + 10 mA typ. <0.2% + 4 mA (I <100 mA)
-------------	--

Readback accuracy (23°C ±5°C)

Voltage

all models	<0.05% + 2 mV
------------	---------------

Current

R&S®HMC8043	<0.05% + 2 mA typ. <0.05% + 1 mA (I <100 mA)
-------------	---

R&S®HMC8042	<0.05% + 4 mA typ. <0.1% + 2 mA (I <100 mA)
-------------	--

R&S®HMC8041	<0.15% + 10 mA typ. <0.2% + 4 mA (I <100 mA)
-------------	---

Felbontás

Resolution	
Voltage	
all models	1 mV
Current	
R&S®HMC8043 R&S®HMC8042	0.1 mA (I < 1 A) 1 mA (I > 1 A)
R&S®HMC8041	0.5 mA (I < 1 A) 1 mA (I > 1 A)

Logging	
Sampling rate	1000 Sa/s, 100 Sa/s, 10 Sa/s, 1 to 3600 Sa/s
Resolution	
R&S®HMC8043	1 mV / 0.1 mA (<100 Sa/s) 10 mV / 1 mA (1000 Sa/s)
R&S®HMC8042 / R&S®HMC8041	1 mV / 1 mA (<100 Sa/s); 10 mV / 10 mA (1000 Sa/s)
Memory	Internal or external memory (USB memory sticks)
Maximum number of points	limited by memory

Kommunikáció

- USB
 - USB VCP (virtual COM port + SCPI)
 - USB TMC (Test & Measurement Class)
- Ethernet
 - LXI (LAN eXtensions for Instrumentation)
- IEEE-488.2 / GPIB

Modern mérés technika 17.

Source meter unit

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 

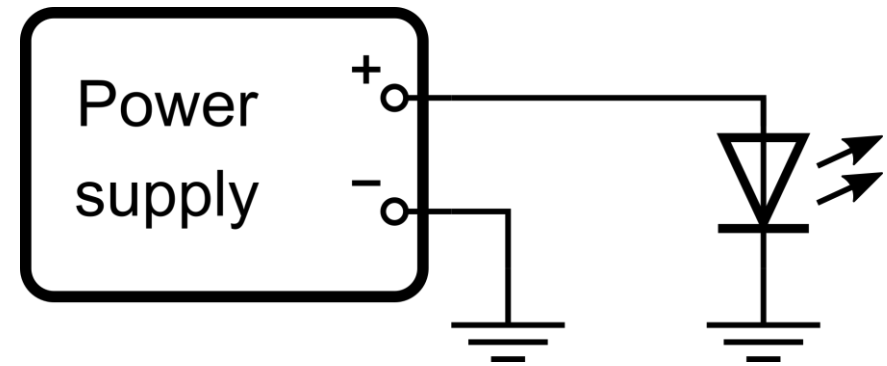
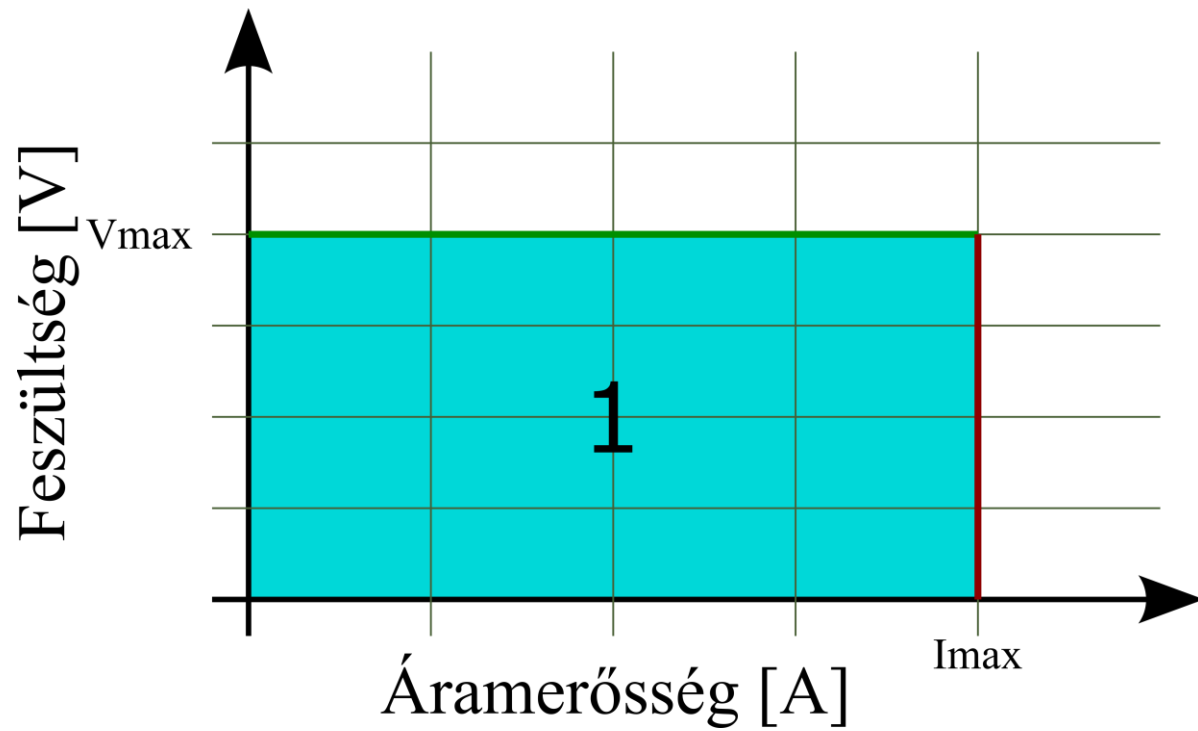

MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap

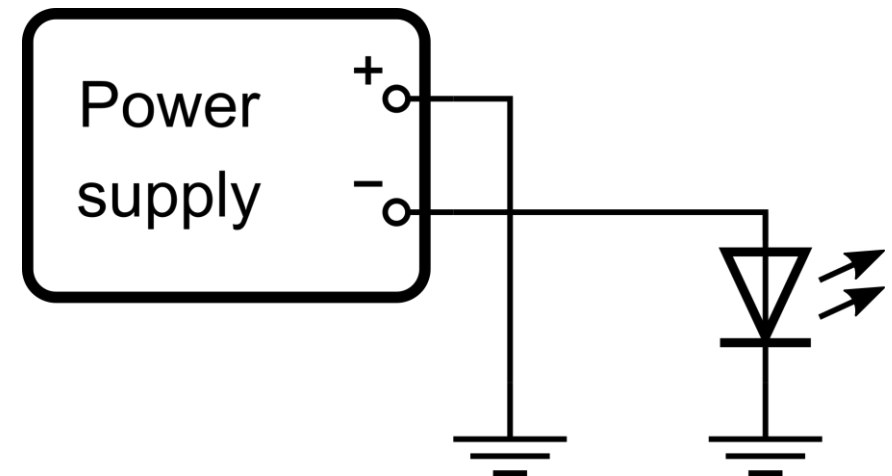
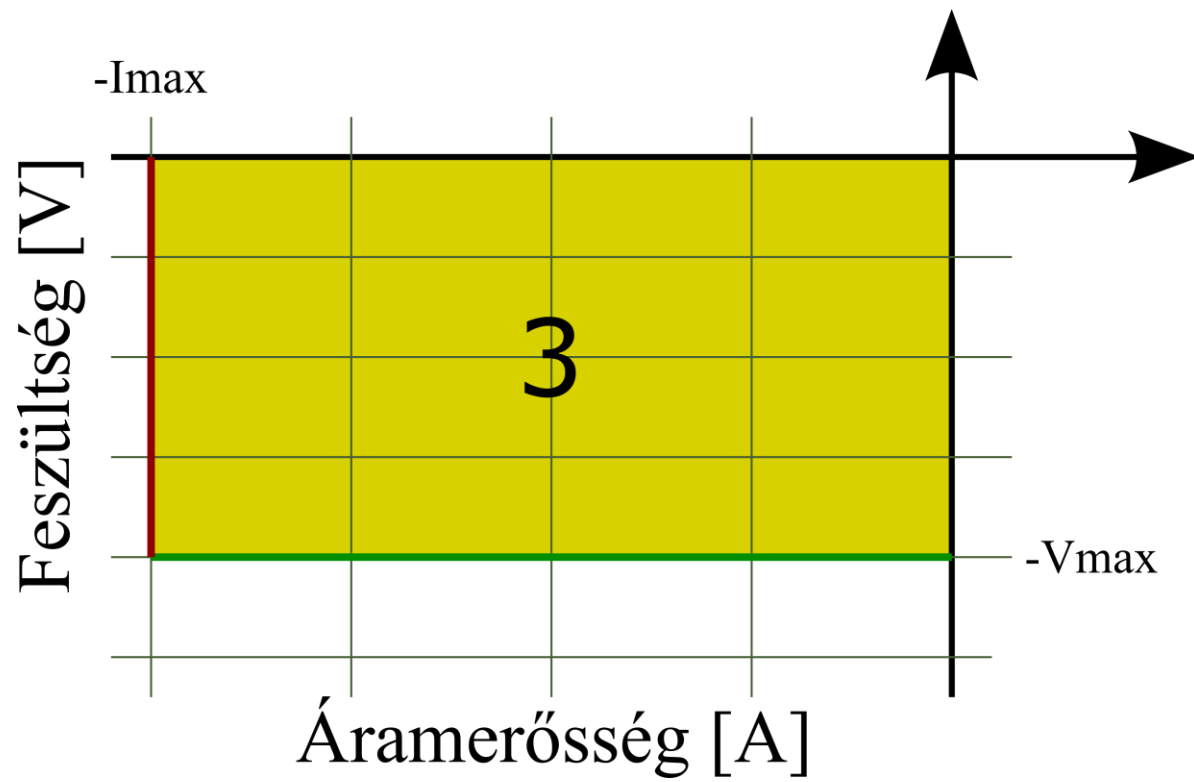


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

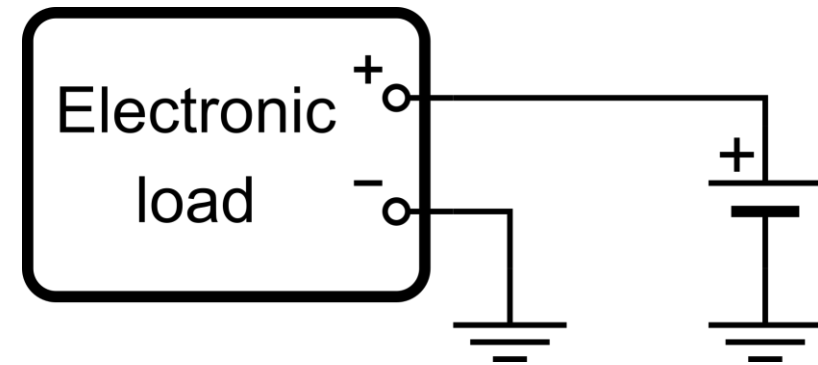
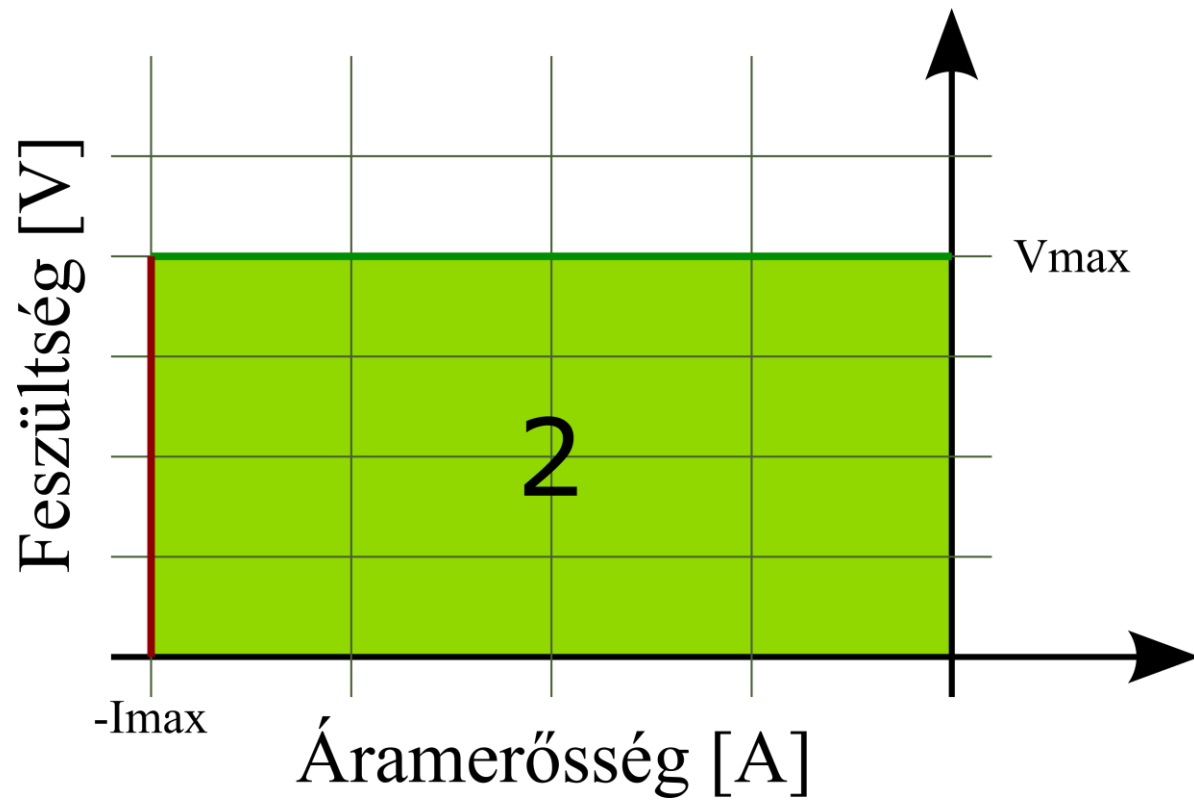
Laboratóriumi tápegységek



Laboratóriumi tápegységek



Műterhelés



Műterhelés

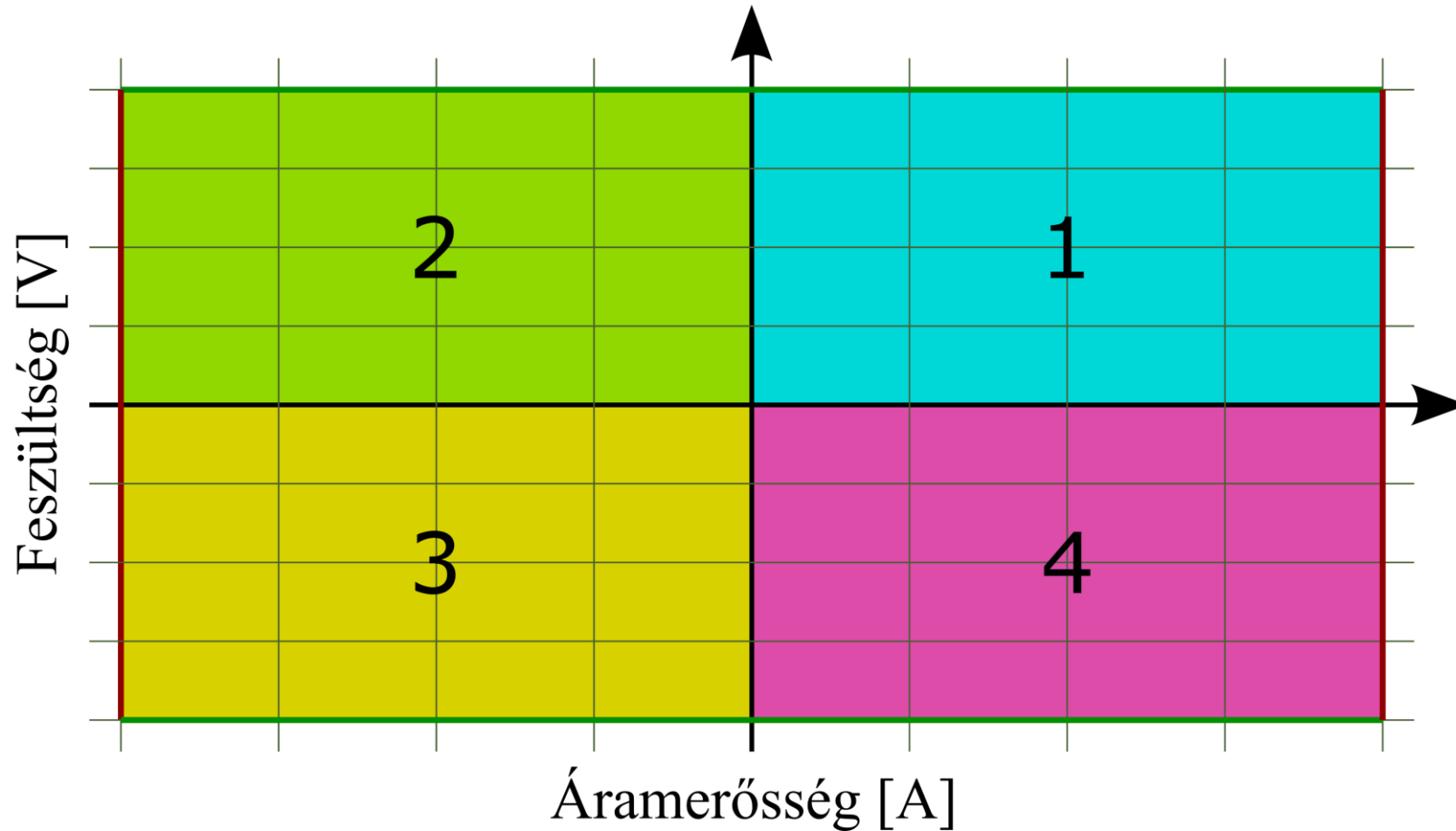
- Felhasználás: áramforrások tesztelése
(pl. tápegységek, elemek, napelemek, ...)
- Teljesítmény-ellenállás
Nem szabályozható
- Vezérelt (teljesítménytranzisztor)

Példa: BK-precision 8500 sorozat

- Üzem módok:
 - Konstans áram
 - Konstans feszültség
 - Konstans ellenállás
 - Konstans teljesítmény



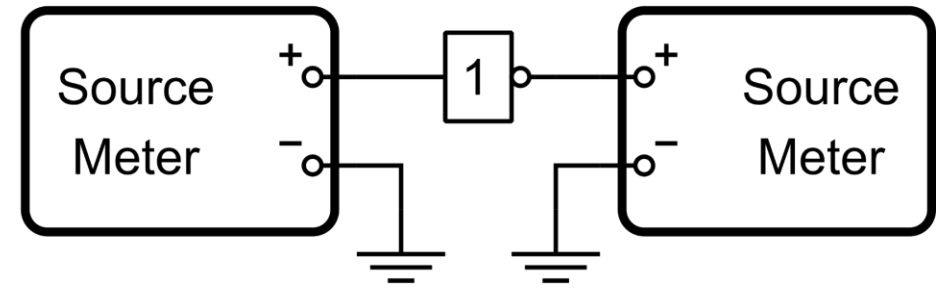
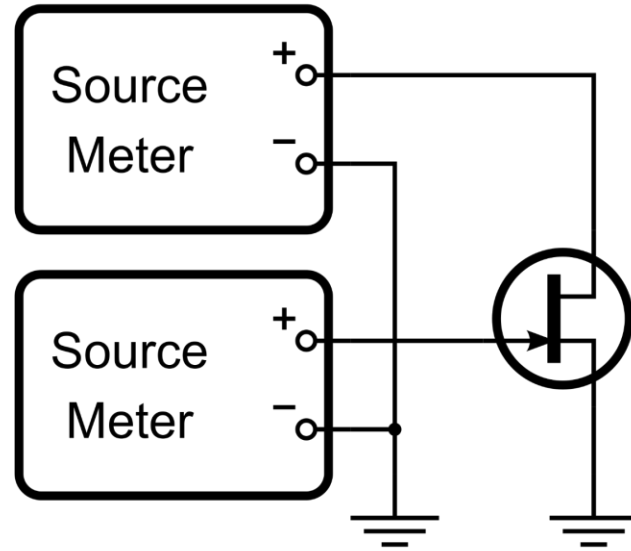
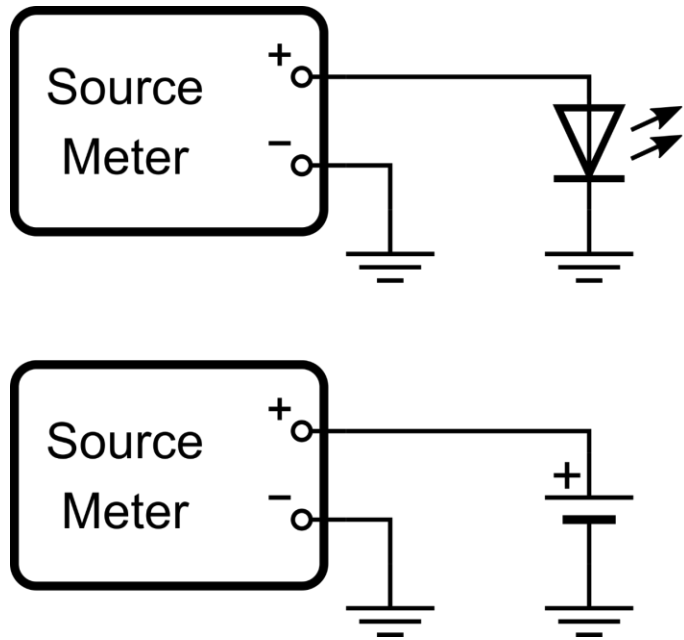
Műszer mely mindegyiket helyettesíti?



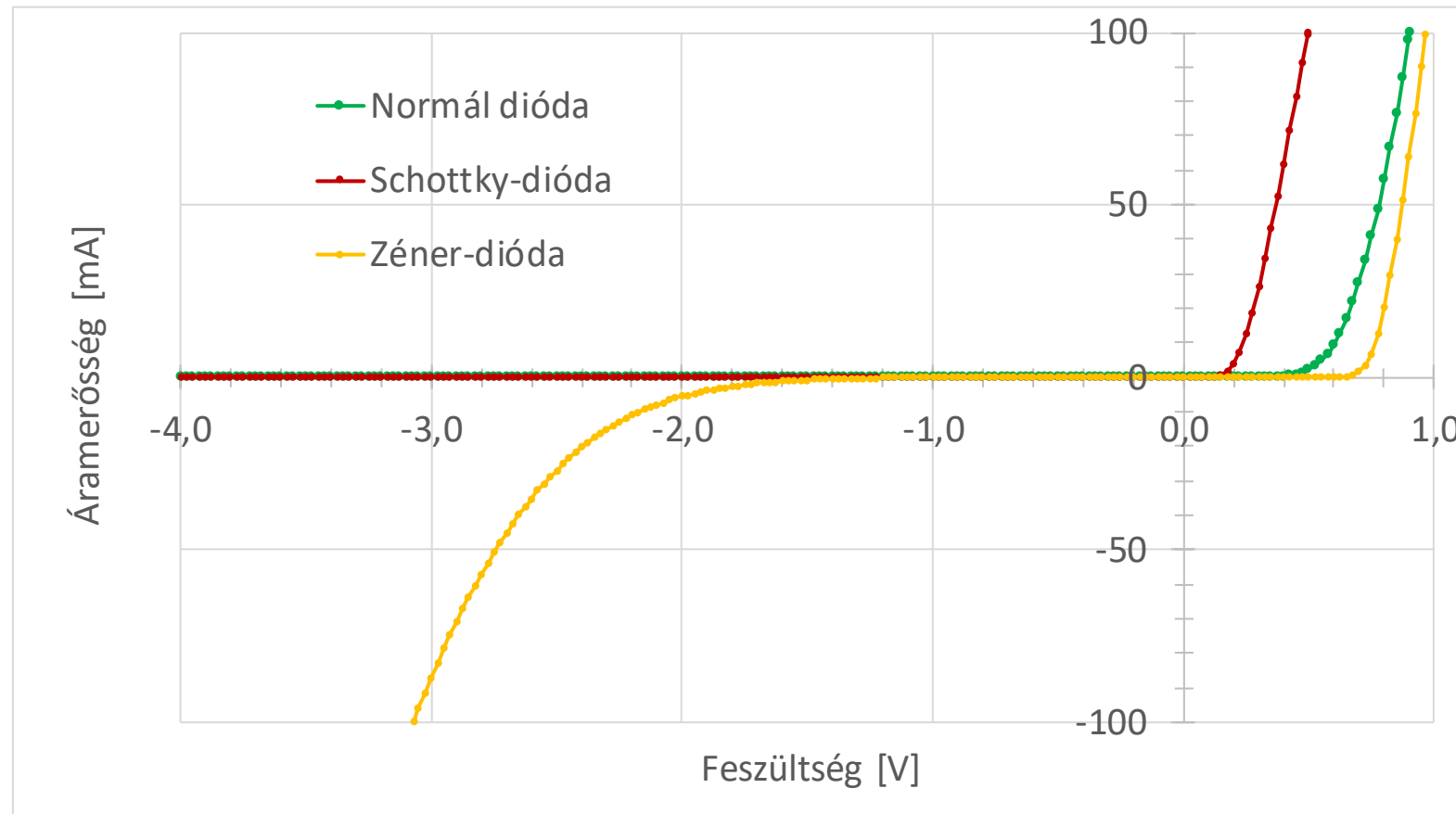
Source meter unit (SMU)

- Négy kvadránsos források
- Precíz áram és/vagy feszültségforrás
- A kiadott jelet nagy pontossággal visszaméri
- Felhasználás:
 - vezetők/félvezetők karakterisztikájának mérése
 - automatikus teszt-rendszerek

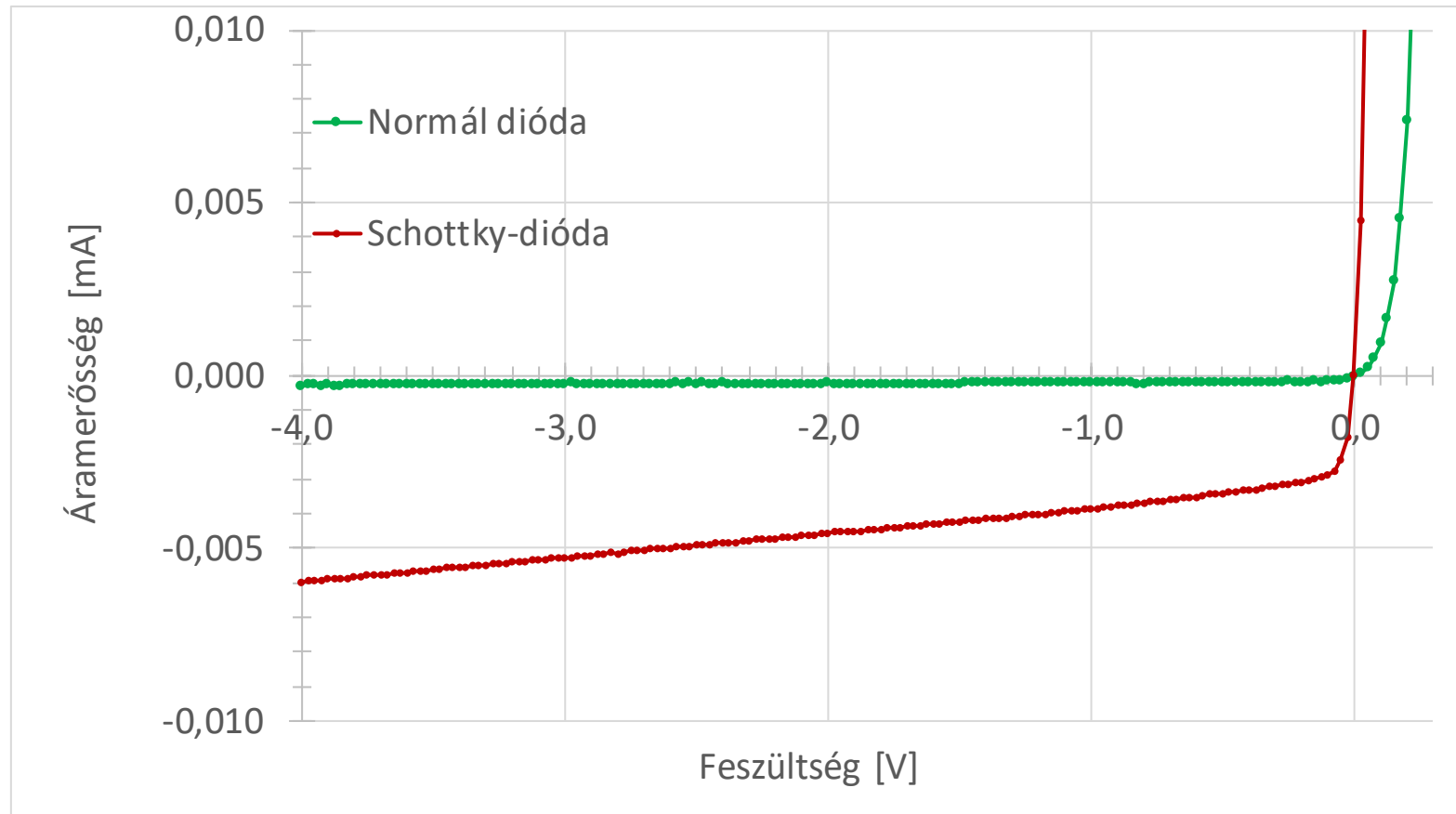
Source meter unit (SMU)



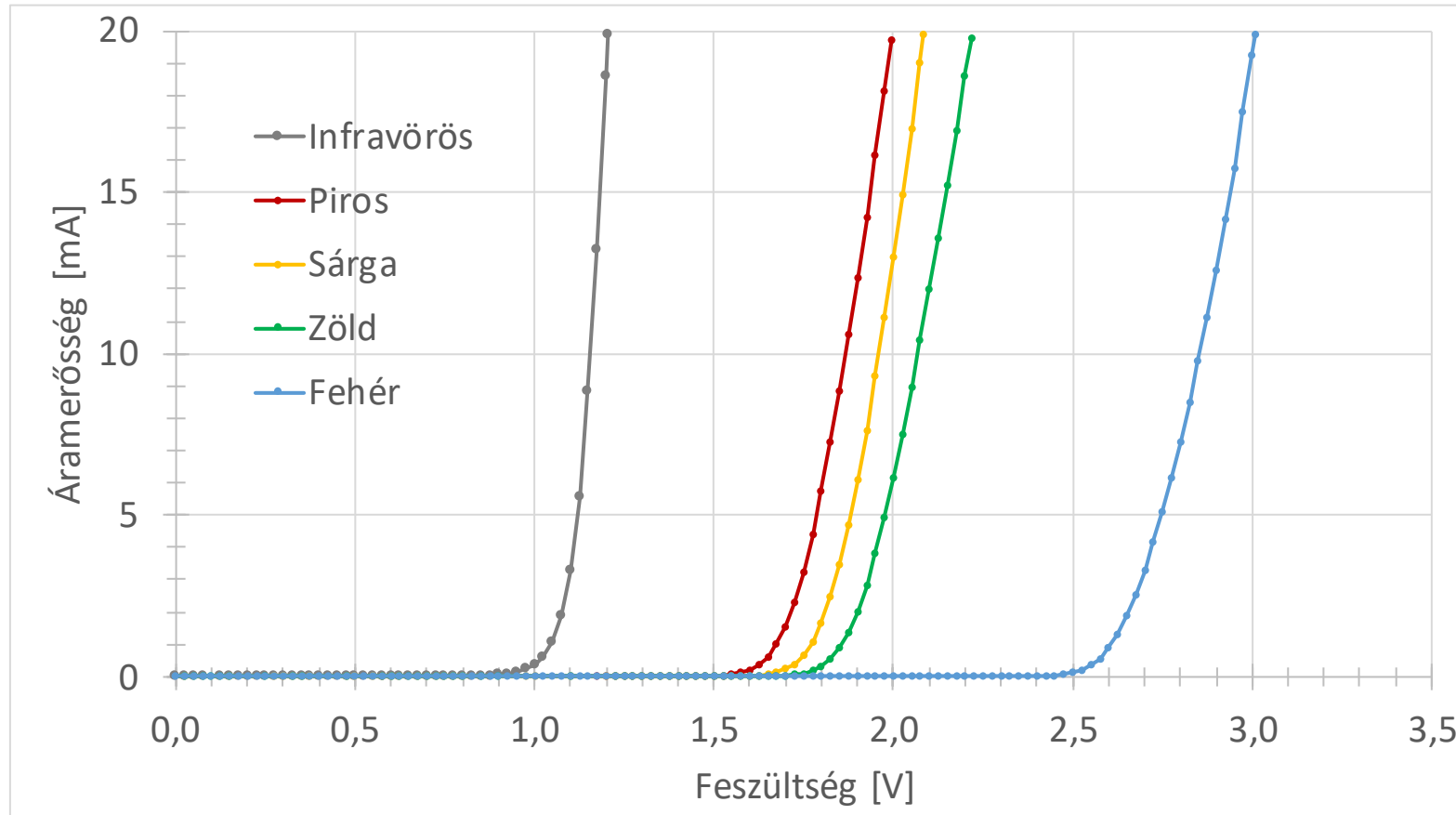
Példa: diódák karakterisztikája



Példa: diódák karakterisztikája



Példa: LED-ek karakterisztikája



Példa: NI PXIe-4139

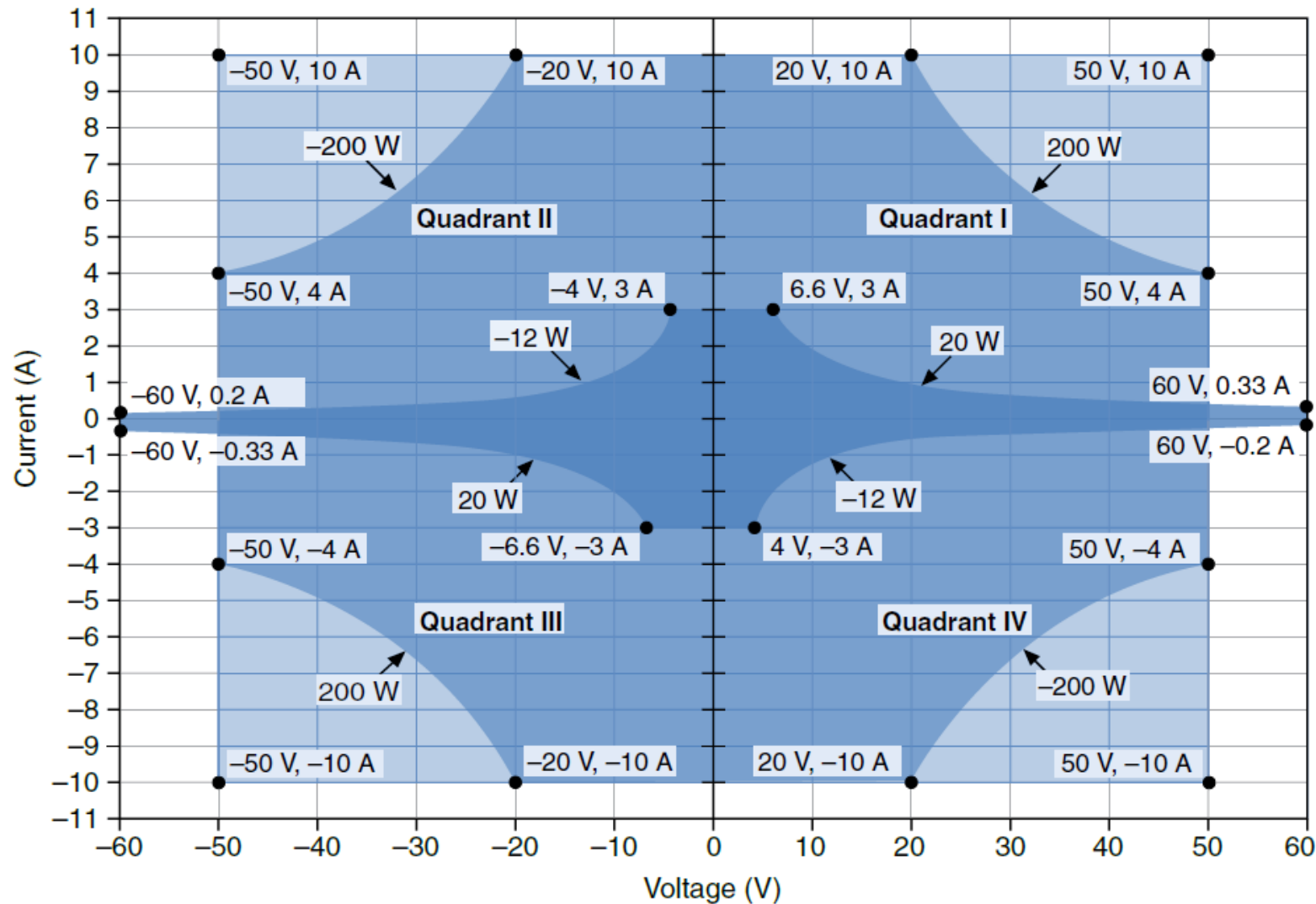


- Nem önálló műszer
- PXI szabványú
- $\pm 60\text{ V}$
- 3 A

NI PXIe-4139 – méréstartományok

DC voltage ranges	DC current source and sink ranges
600 mV	1 μ A
6 V	10 μ A
60 V ²	100 μ A
	1 mA
	10 mA
	100 mA
	1 A
	3 A
	10 A, pulse only

NI PXIe-4139 – méréstartományok



- Pulse or DC
- Pulse only, 1ms, 5% duty cycle
- Pulse only, 400 μ s, 2% duty cycle

Előállítás/mérés pontossága

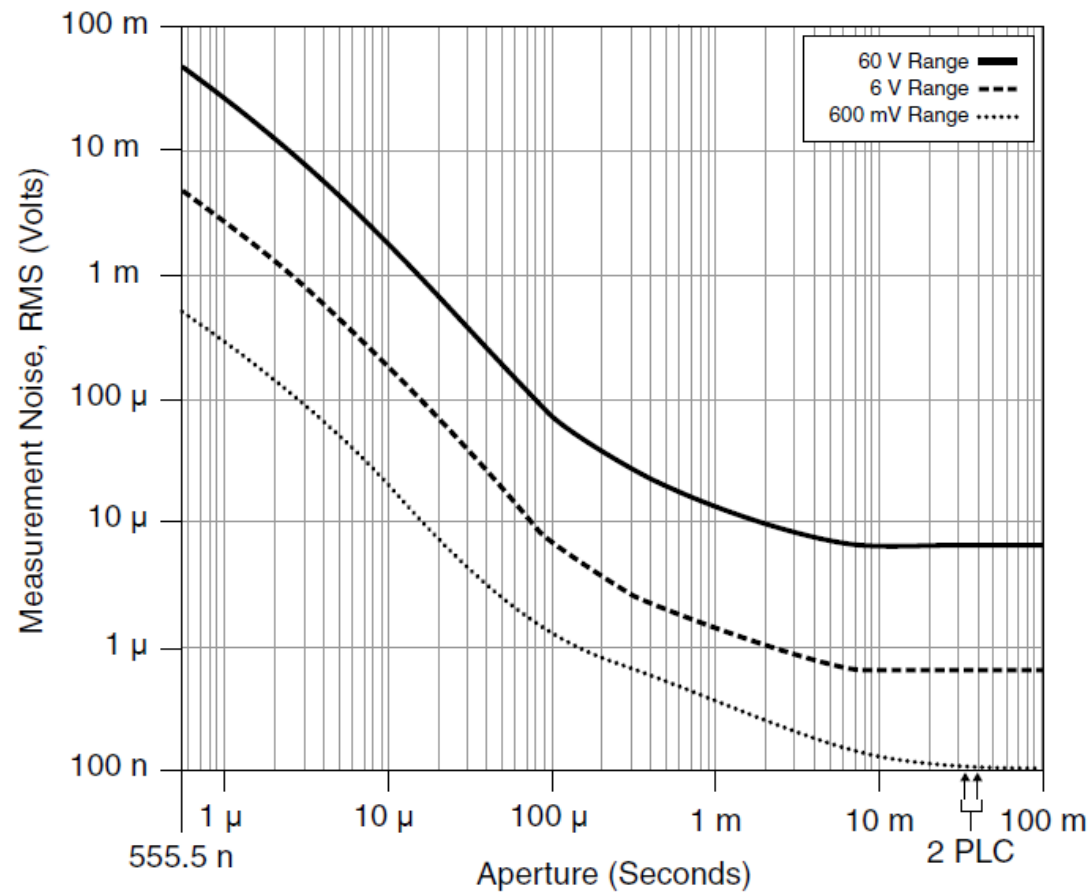
Range	Resolution (noise limited)	Noise (0.1 Hz to 10 Hz, peak to peak), Typical	Accuracy (23 °C ± 5 °C) ± (% of voltage + offset) ⁴		Tempco ± (% of voltage + offset)/°C, 0 °C to 55 °C
			T _{cal} ± 5 °C	T _{cal} ± 1 °C	
600 mV	100 nV	2 µV	0.02% + 50 µV	0.016% + 30 µV	0.0005% + 1 µV
6 V	1 µV	6 µV	0.02% + 300 µV	0.016% + 90 µV	
60 V	10 µV	60 µV	0.02% + 3 mV	0.016% + 900 µV	

Range	Resolution (noise limited)	Noise (0.1 Hz to 10 Hz, peak to peak), Typical	Accuracy (23 °C ± 5 °C) ± (% of current + offset)		Tempco ± (% of current + offset)/°C, 0 °C to 55 °C
			T _{cal} ± 5 °C	T _{cal} ± 1 °C	
1 µA	100 fA	4 pA	0.03% + 100 pA	0.022% + 40 pA	0.0006% + 4 pA
10 µA	1 pA	30 pA	0.03% + 700 pA	0.022% + 300 pA	0.0006% + 22 pA
100 µA	10 pA	200 pA	0.03% + 6 nA	0.022% + 2 nA	0.0006% + 200 pA
1 mA	100 pA	2 nA	0.03% + 60 nA	0.022% + 20 nA	0.0006% + 2 nA
10 mA	1 nA	20 nA	0.03% + 600 nA	0.022% + 200 nA	0.0006% + 20 nA

Range	Resolution (noise limited)	Noise (0.1 Hz to 10 Hz, peak to peak), Typical	Accuracy (23 °C ± 5 °C) ± (% of current + offset)		Tempco ± (% of current + offset)/°C, 0 °C to 55 °C
			T _{cal} ± 5 °C	T _{cal} ± 1 °C	

100 mA	10 nA	200 nA	0.03% + 6 µA	0.022% + 2 µA	0.0006% + 200 nA
1 A	100 nA	2 µA	0.03% + 60 µA	0.027% + 20 µA	0.0006% + 2 µA
3 A	1 µA	20 µA	0.083% + 900 µA	0.083% + 600 µA	0.002% + 20 µA
10 A, pulsing only, typical					

NI PXIe-4139 – Apertúra és zaj viszonya



Az NI PXIe-4139 használata soft panellel

2.4. Kiegészítő anyagok a gyakorlat számára

01 – LabVIEW alapfeladatok

02 – SubVI és grafikonok használata

Modern mérés technika laboratórium 01.

LabVIEW alapfeladatok megoldása

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

1. Két komplex szám összege

- Előlap kialakítása
- Program megírása
- Program tesztelése

2. Másodfokú egyenlet megoldása

3. $N!$ számolása

Pl.:

$$5! = 1 * 2 * 3 * 4 * 5$$

C példakód:

```
x = 1;
for (int i = 1; i <= 5; i++)
{
    x = x * i;
}
```


4. Brown mozgás

$$x_i = x_{i-1} + \xi_i$$

```
while(!stop)
{
    xi = xi+2*random()-1;
    waitms(50);
}
```

5. Jelzőlámpa készítése

Modern mérés technika laboratórium 02.

SubVI és Grafikonok használata

Dr. Gingl Zoltán és Dr. Mingesz Róbert
Műszaki Informatika Tanszék, Informatika Intézet
Természettudományi és Informatikai Kar, Szegedi Tudományegyetem

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

SubVI használata

SubVI

- Hagyományos programozási nyelvek:
függvényhívás
- Cél: kódelemek újrahasznosítása

1. lépés: VI elkészítése

Shift register – futások között tárolhat adatokat

2. lépés: Connector pane előkészítése

3. lépés: ikon szerkesztése

4. lépés: *subVI* felhasználása

Bemenetek alapértelmezett értéke?

Több helyen való felhasználás

- Ugyanarra a memóriaterületre menti az adatokat

Reentrant execution

- A VI egyszerre több helyről is végrehajtható
- Saját memóriaterülettel rendelkeznek az egyes példányok (klónok)

Különböző grafikonok használata

Waveform chart

Több görbe egy grafikonon?

Egyszerre több adat megjelenítése egy grafikonon

Waveform graph

Egyszerre több görbe egy grafikonon

Waveform: időtengely beállításai

Több waveform egy grafikonon

XY grafikon: mennyiségek egymás függvényében

Több görbe egy grafikonon



Köszönjük a figyelmet

További anyagokra mutató linkek a videó leírásában

A tananyag az EFOP-3.5.1-16-2017-00004 pályázat támogatásával készült
az SZTE TTIK Modern mérés technika kurzusa számára

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE