

1. előadás

Dabóczi Tamás

IE 422

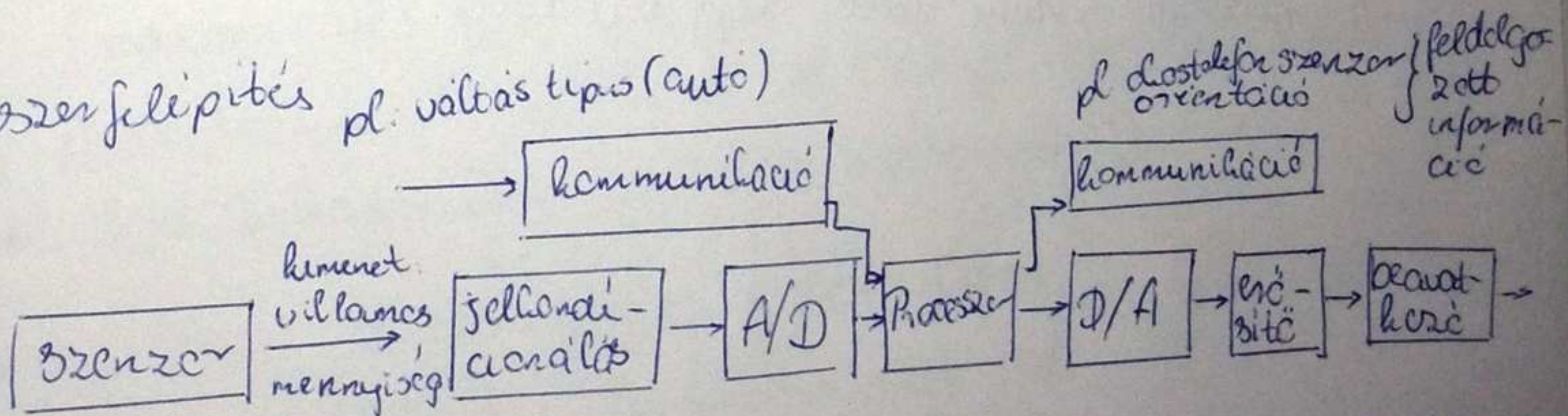
daboczi@mit.bme.hu

1. Beágyazott rendszerek

- számítógépes rendszer (programozható hardver) processzes rendszer
 - FPGA
 - mikrokontroller
- fizikai/technológia környezeti utenzív kapcsolatban van
 - megfigyelés: szenzorok, mérőelők
 - feldolgozás
 - beavatkozás: (beav) beavatkozók

IEE def: olyan egység amely vezérel v. felügyel egy gépet berendezést vagy ipari folyamatot.

2. Folyamat rendszer felépítés pl. váltás típus (auto)



átalakító (transducer). egyk fizikai mennyiség → másik fizikai mennyiség

érzékelő (szenzor). fizikai mennyiség → villamos mennyiség
Mi szenzorokkal dolgozunk!

Jelhandicionalás

- erősítés: jel/zaj viszony miatt; jó helyen is kell erősíteni mert nem akarjuk a zajt is beerősíteni
- szintillesztés: az A/D átalakító szintjére kell hozni a jeltartományt
- galvanikus leválasztás
 - zajterjedés
 - életvédelem
- impedancia illesztés: belső impedancia nagy; külső impedancia kicsi
- linearizálás
- szűrés: szabványozott jel esetén nagyon jól definiált
(a figyelt tartomány a megfigyelt tartomány)
digitalizálásnál többszöröse nőhet a zaj

Szenzor:

- aktív: külső táp szükségese (nyúlásmérő belyeg)
- passzív: nem kell tápfeszültség (thermocell)

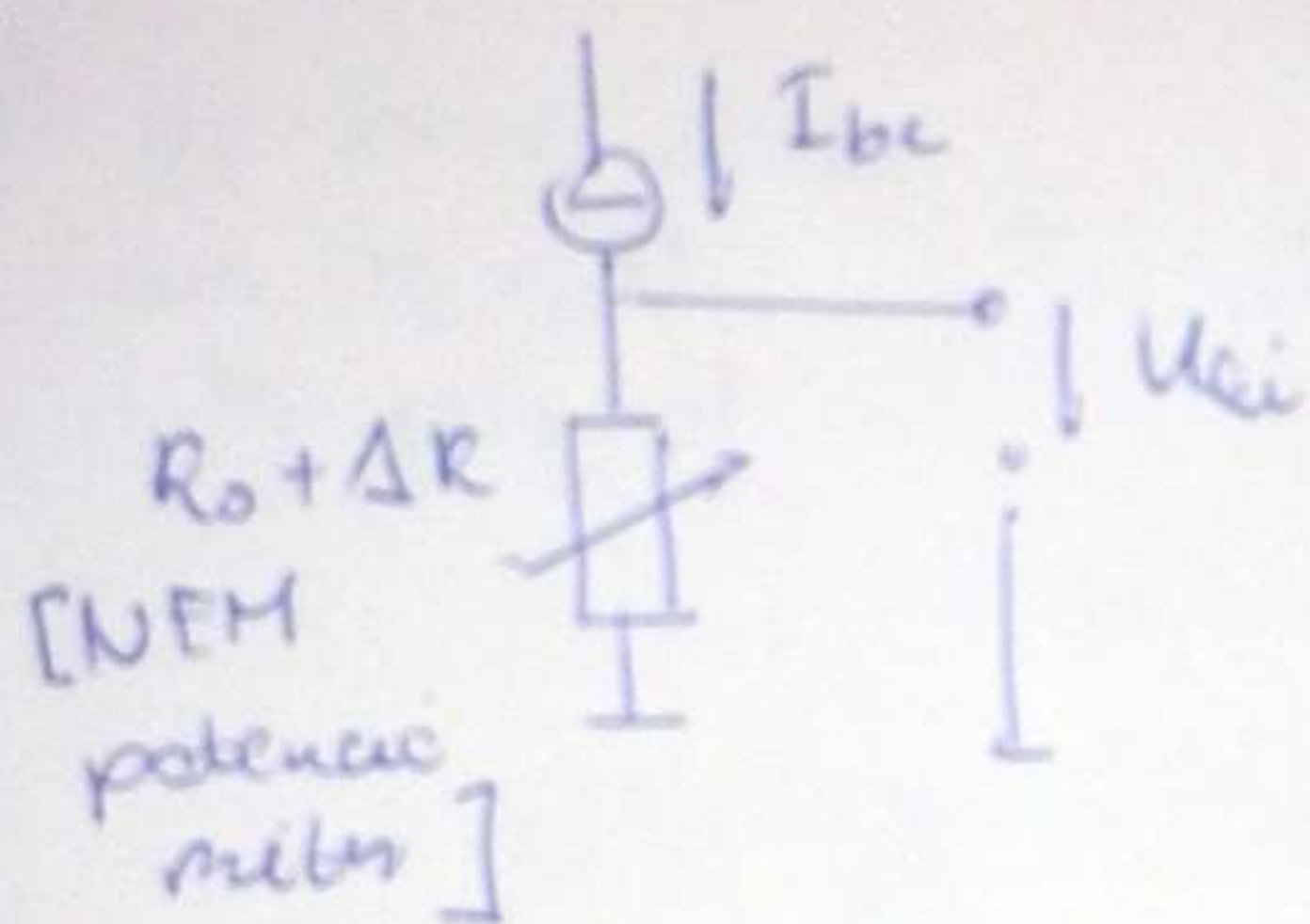
1. Felhordicionalás

Rezisztív érzékelők

Adott fizikai mennyiség változása \rightarrow ellenállás változás

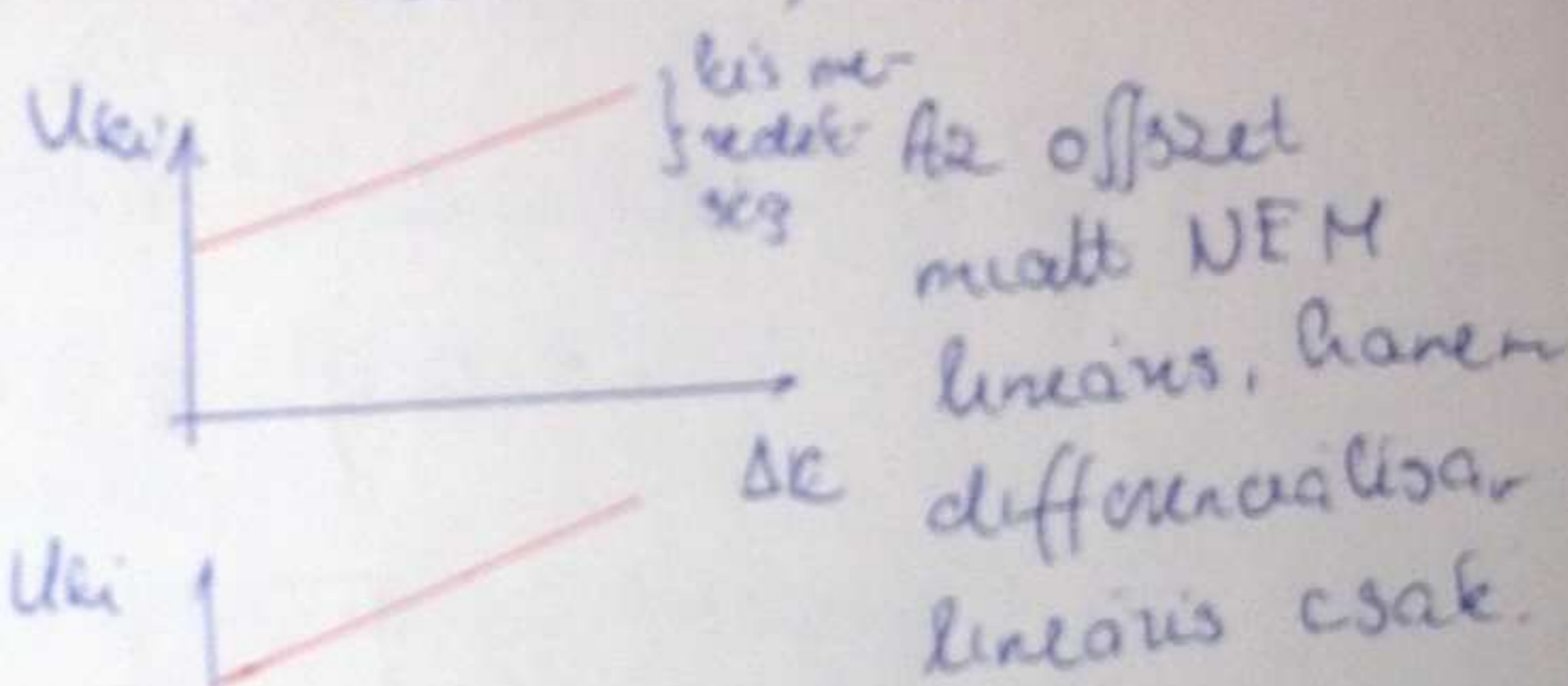
Dezobtalási lehetőségek

1. Módszer:



ΔR : lineáris változás

$$U_{ci} = I_{bc} (R_0 + \Delta R) = I_{bc} R_0 + I_{bc} \Delta R$$



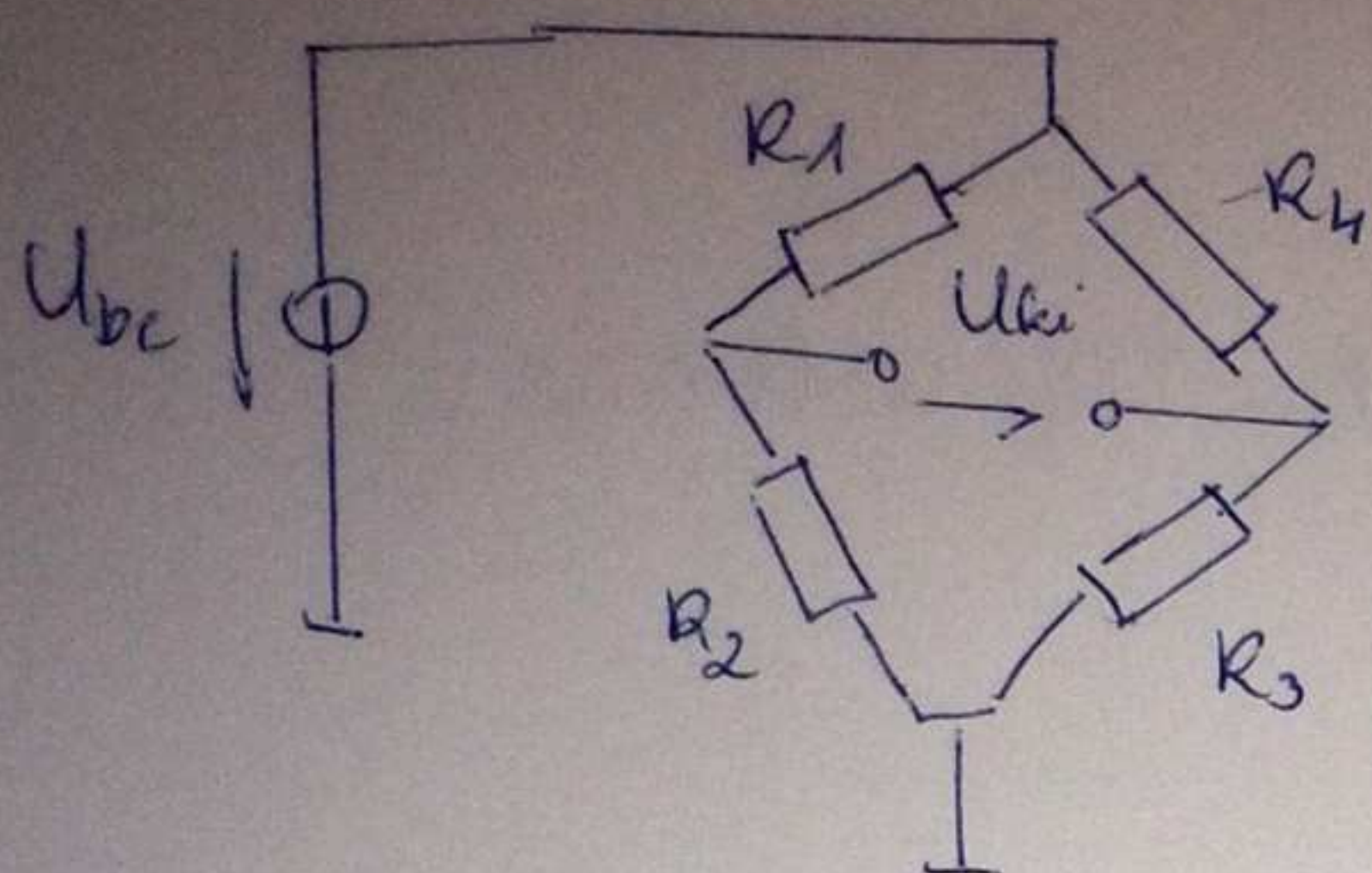
Egy nemlineáris hálót mérhető viselkedés mint egy lineáris.

Az AD átalakító kvantálása \neq ánya lesz, fizikailag nem lesz használható a teljes tartomány.

Lineáris táp: először is a félesleget
Rendszerüzemi táp: kullamasabb jel.

2. Módszer:

Wheatstone-híd:



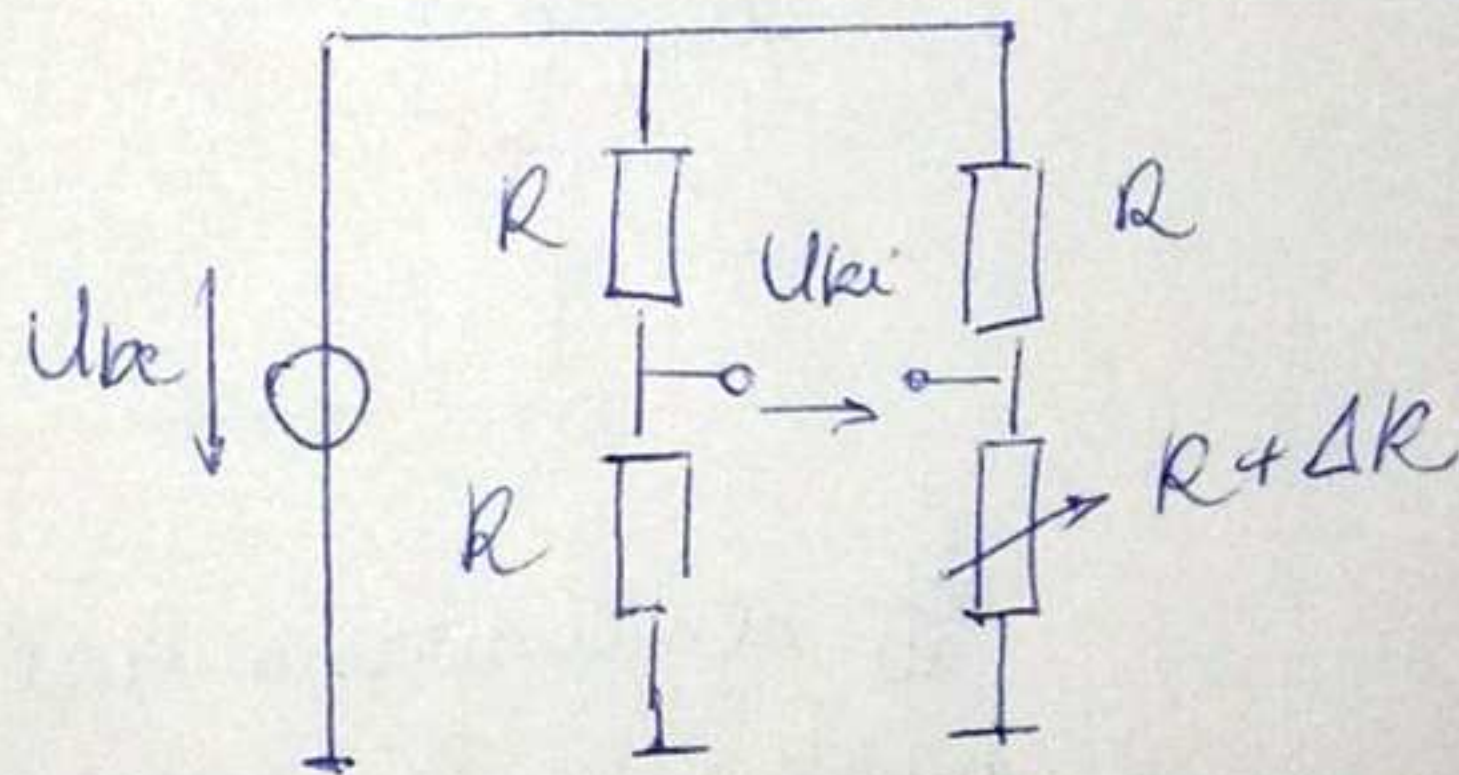
$$U_{ki} = U_{bc} \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] =$$

$$= U_{bc} \frac{R_2 R_4 + R_2 R_3 - R_1 R_3 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}$$

a, kiegyenlítés $U_{ki} = 0$
 $R_1 R_3 = R_2 R_4 \rightarrow$ csak akkor jó ha $U_{ki} = 0$ mert akkor
 tényleg 0

b, dekvassuk a híd kimenet

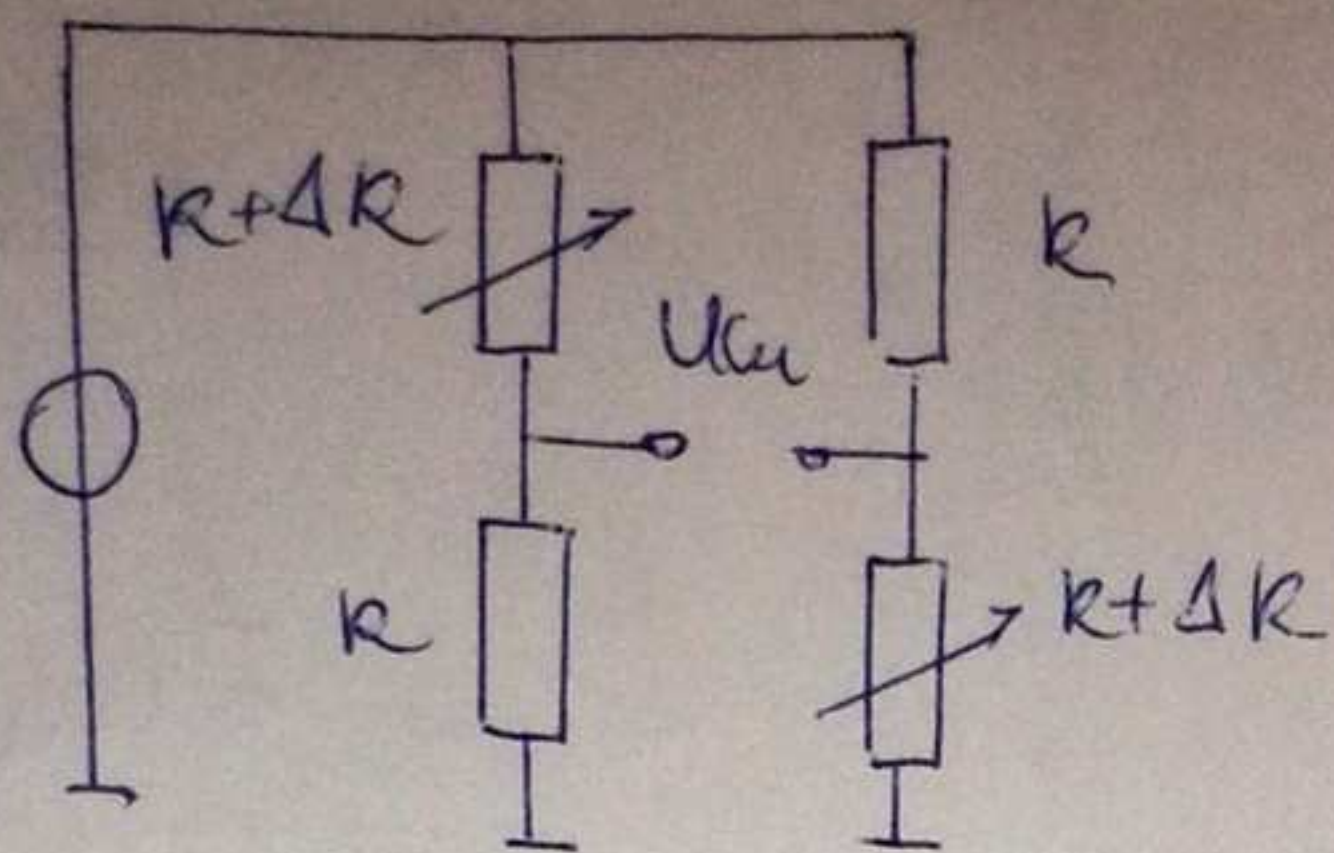
• Feszültség generátoros meghajtás
 1 nyúlásmérő belyeggel.



$$U_{ki} = U_{bc} \left(\frac{1}{2} - \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} \right) = \frac{U_{bc}}{2} \left[\frac{R + \frac{\Delta R}{2} - R - \Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}} \right] =$$

$$= - \frac{U_{bc}}{4} \frac{\Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}}$$

2 nyúlás mérő belyeggel



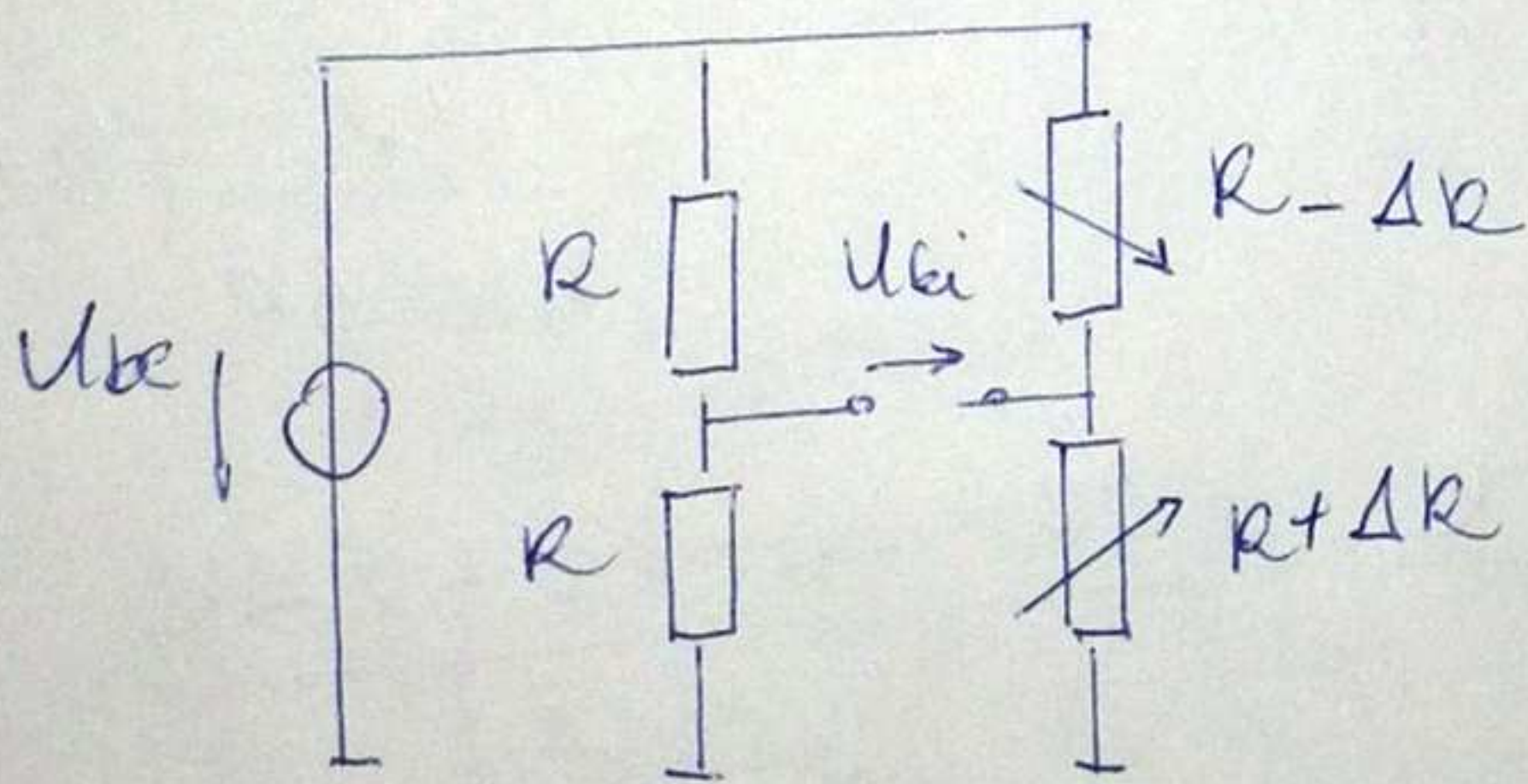
$$U_{ki} = U_{be} \left[\frac{R}{2R + \Delta R} - \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} \right] = \frac{U_{be}}{2} \left[\frac{R - R - \Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}} \right] =$$

$$= - \frac{U_{be} \cdot \Delta R}{2 \left(R + \frac{\Delta R}{2} \right)}$$

x2-es erősítés az előzőhöz képest

Megéri? Annyira arától függ.

2 nyúlás mérő ellentétes irányúsággal



$$U_{ki} = U_{be} \left[\frac{1}{2} - \frac{R + \Delta R}{2R} \right] =$$

$$= - \frac{U_{be}}{2} \left[\frac{\Delta R}{R} \right]$$

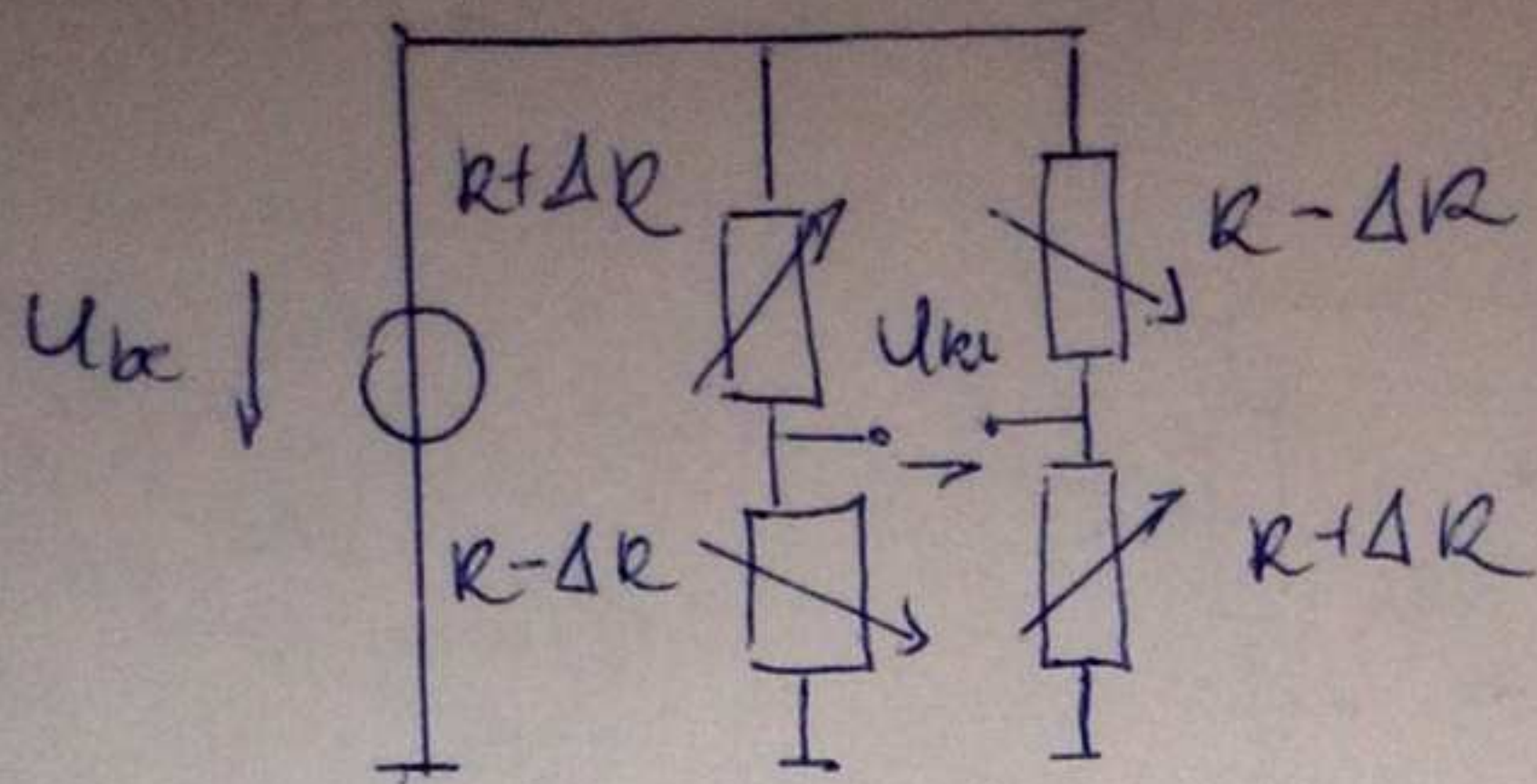
ez már lineáris

pl.
kényszer mérő

Ára: pontosan azonosan hibás ellentétes irányba változik a két szenzor.

USB arpa
1.1.6. számú

• 4 nyúlásmérő



$$U_{ki} = U_{be} \left[\frac{R-\Delta R}{2R} - \frac{R+\Delta R}{2R} \right] =$$

$$= + \frac{U_{be}}{2} \frac{R-\Delta R - R-\Delta R}{R} =$$

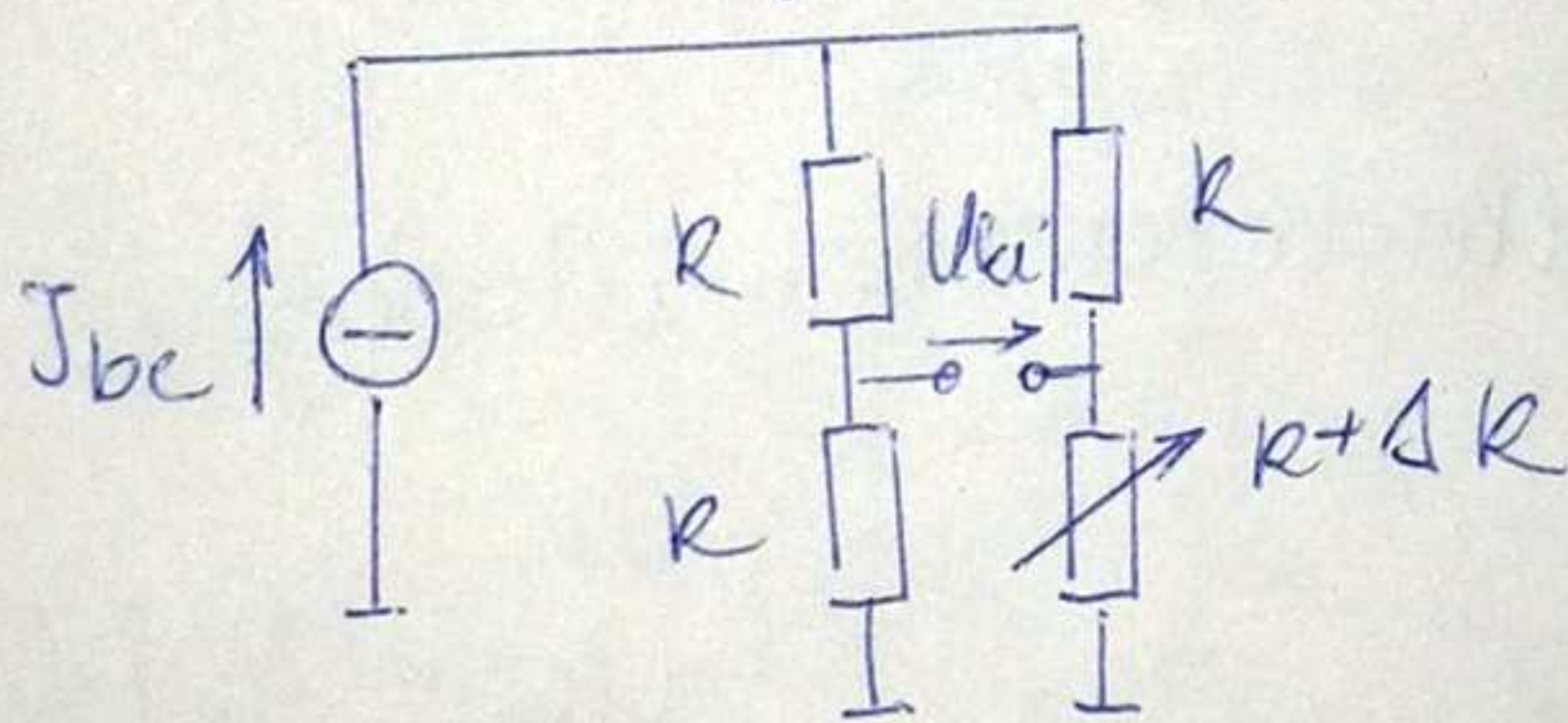
$$= \frac{1}{4} U_{be} \frac{\Delta R}{R}$$

x2 erősítő
előzőhöz
kapcsol

lineáris

Áramgenerátor:

• 4 nyúlásmérő



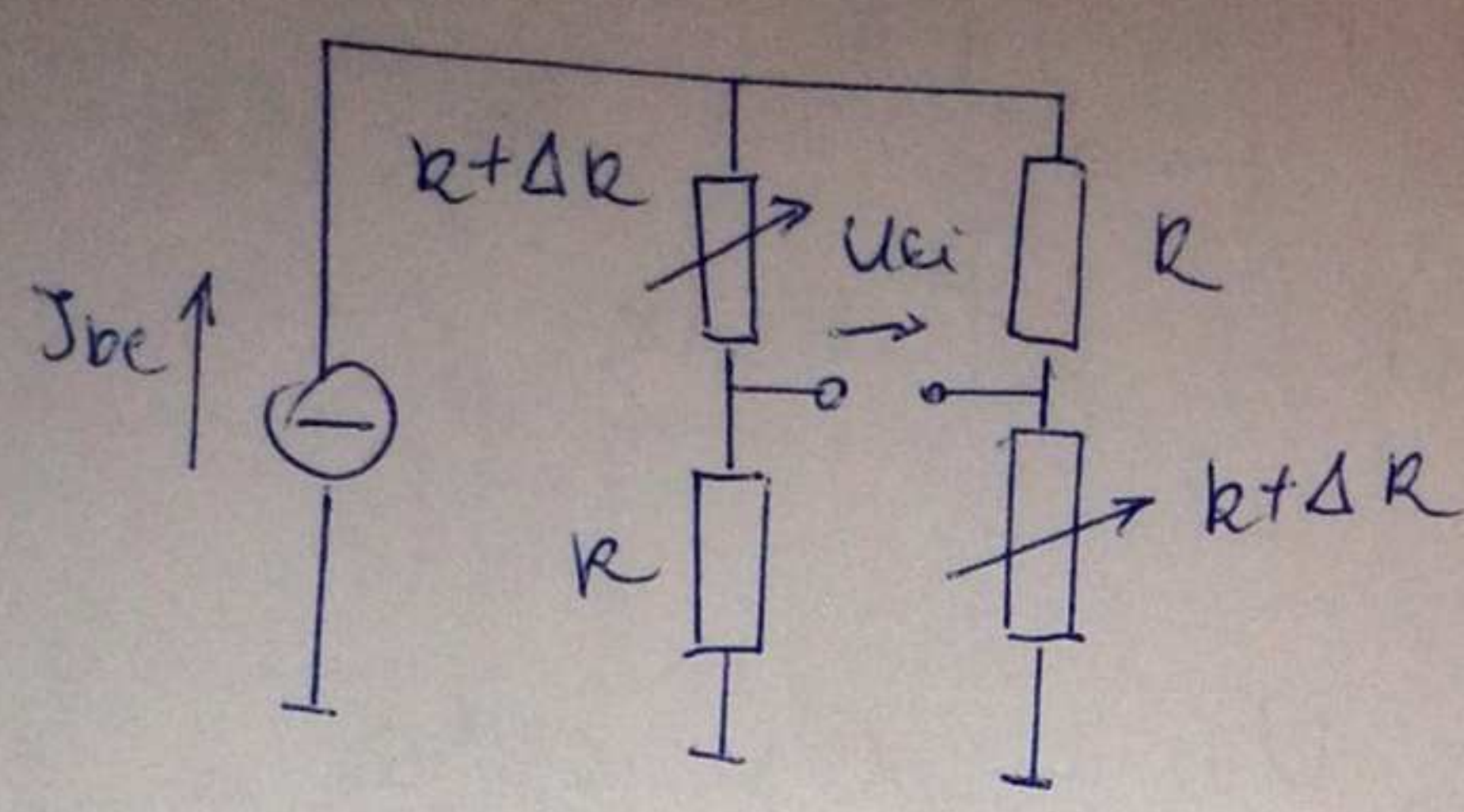
$$(U_{ki} = U)$$

$$U_{ki} = J_{be} \left[\left(\frac{2R+\Delta R}{4R+\Delta R} \right) R - \frac{2R}{4R+\Delta R} (R+\Delta R) \right] =$$

$$= \frac{J_{be} R}{4} \cdot \frac{2R+\Delta R - 2R - 2\Delta R}{R+\Delta R} =$$

$$= - \frac{J_{be} R}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R+\frac{\Delta R}{4}}$$

2 mérésmódo



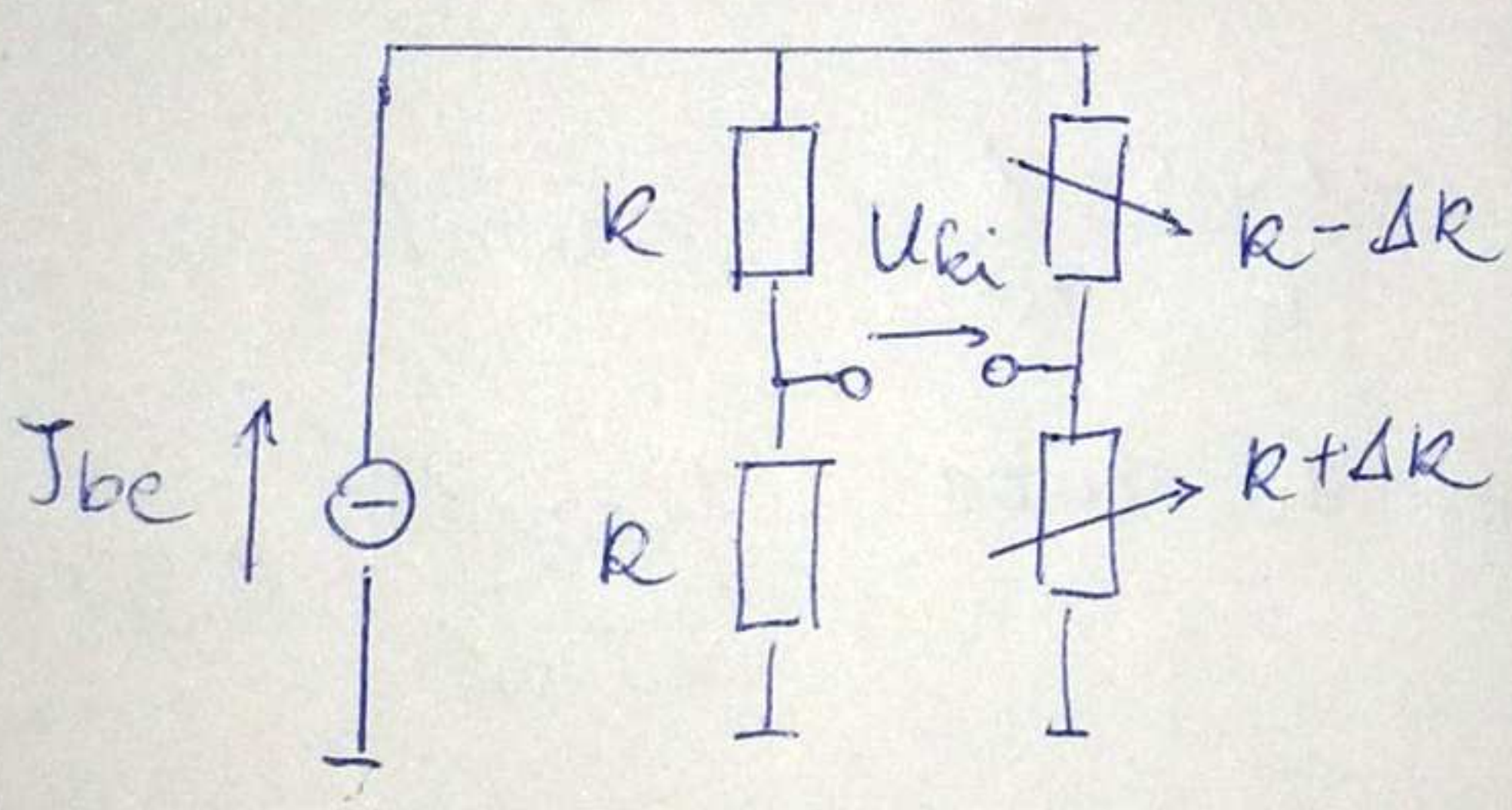
$$U_{ki} = J_{be} \cdot \frac{1}{2} (R - (R + \Delta R)) =$$

$$= -\frac{J_{be}}{2} \Delta R =$$

$$= -\frac{J_{be} R}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

lineáris

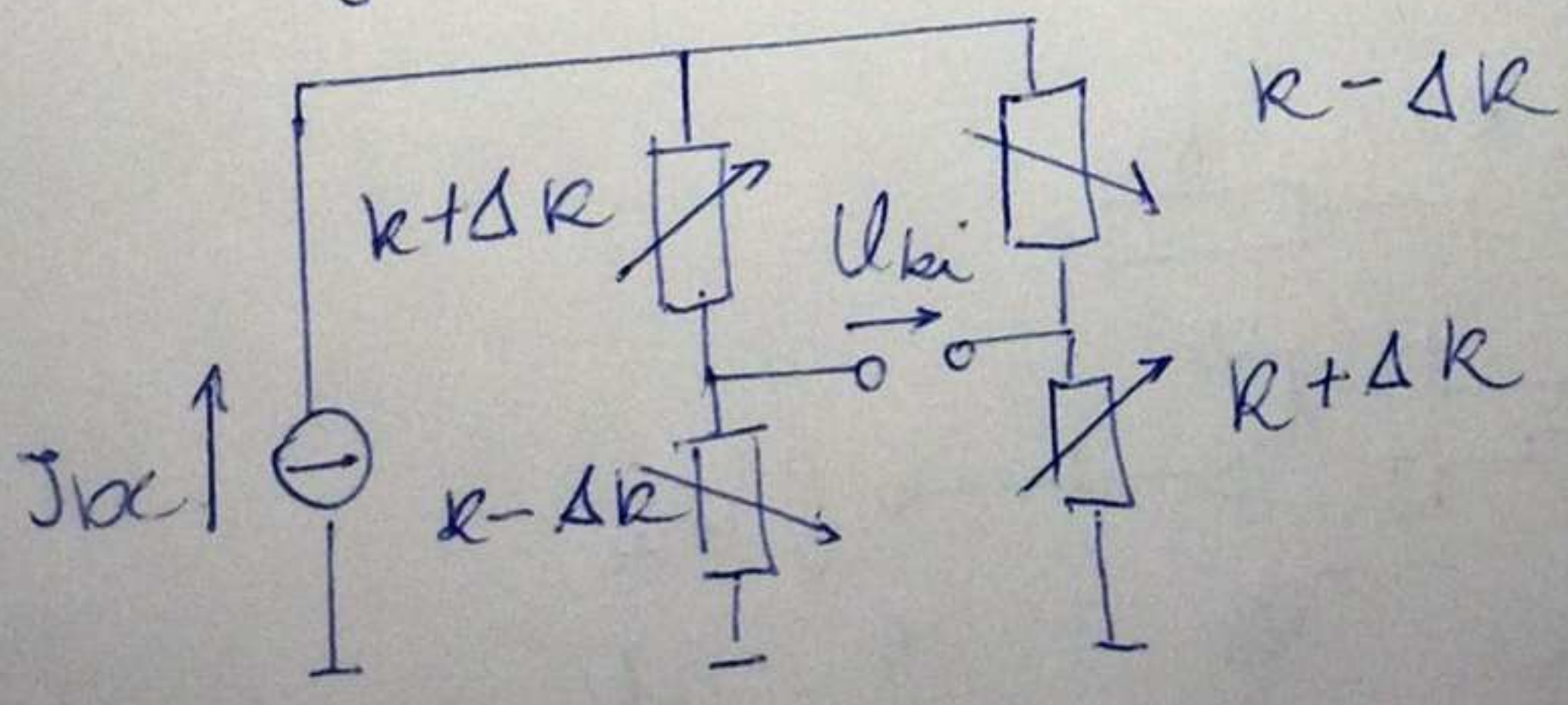
2 mérésmódo (ellentételek)



$$U_{ki} = J_{be} \cdot \frac{1}{2} [R - (R - \Delta R)] =$$

$$= \frac{J_{be}}{2} \Delta R = -\frac{J_{be} R}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

4 mérésmódo

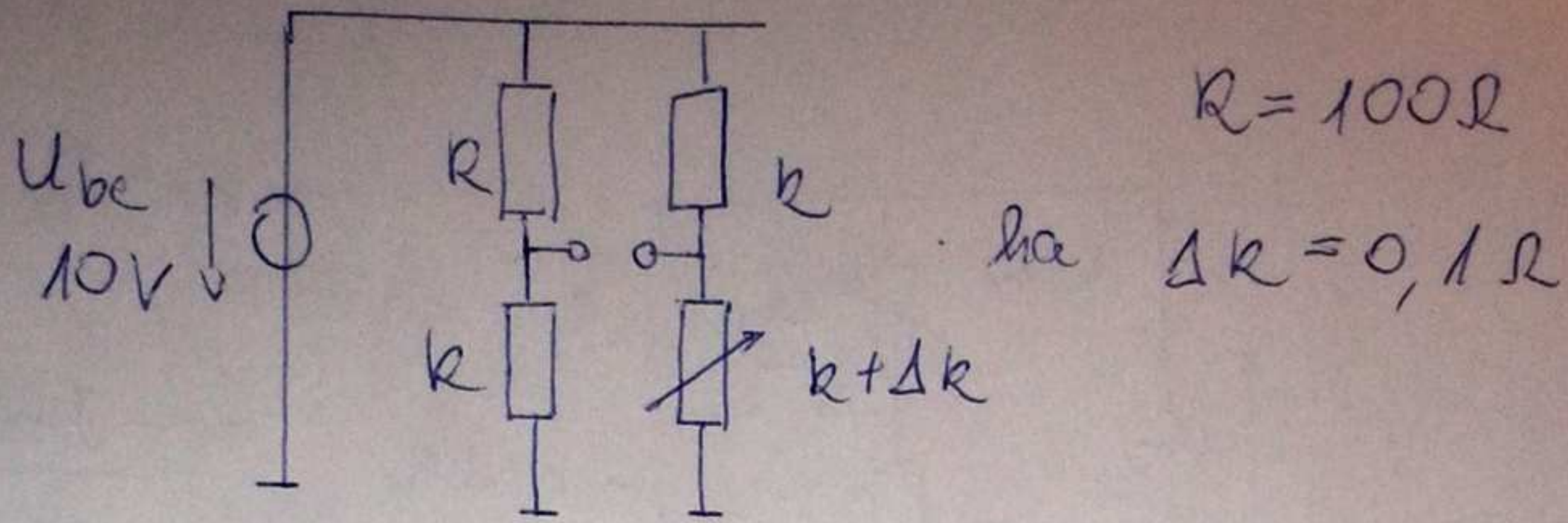


$$U_{ki} = J_{be} \cdot \frac{1}{2} [R - \Delta R - (R - \Delta R)] =$$

$$= -J_{be} \Delta R = -J_{be} R \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

algebrai

Példa:



$$U_{ki} = \frac{-10V}{4} \cdot \frac{0,1\Omega}{100 + \frac{0,1}{2}} = -2,49875 \cdot 10^{-3} V$$

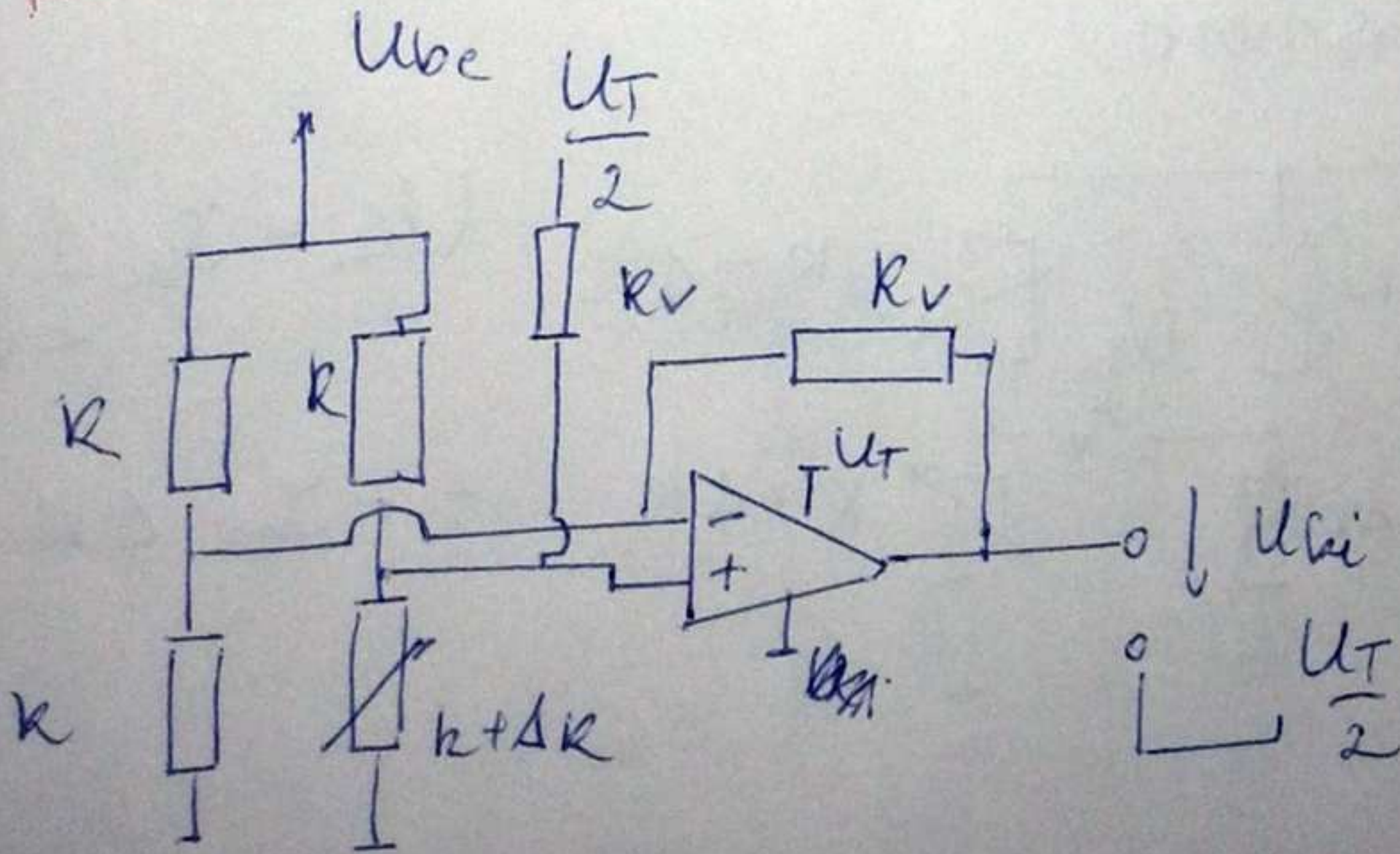
ha $\Delta k = 1\Omega$

$$U_{ki} = \frac{-10V}{4} \cdot \frac{1}{100 + \frac{1}{2}} = -24,87 mV$$

$$U_{ki \text{ ideális}} = \frac{-10V}{4} \cdot \frac{1}{10} = -25 mV$$

relatív hiba: $\frac{125 \mu V}{25 mV} = 0,5\%$

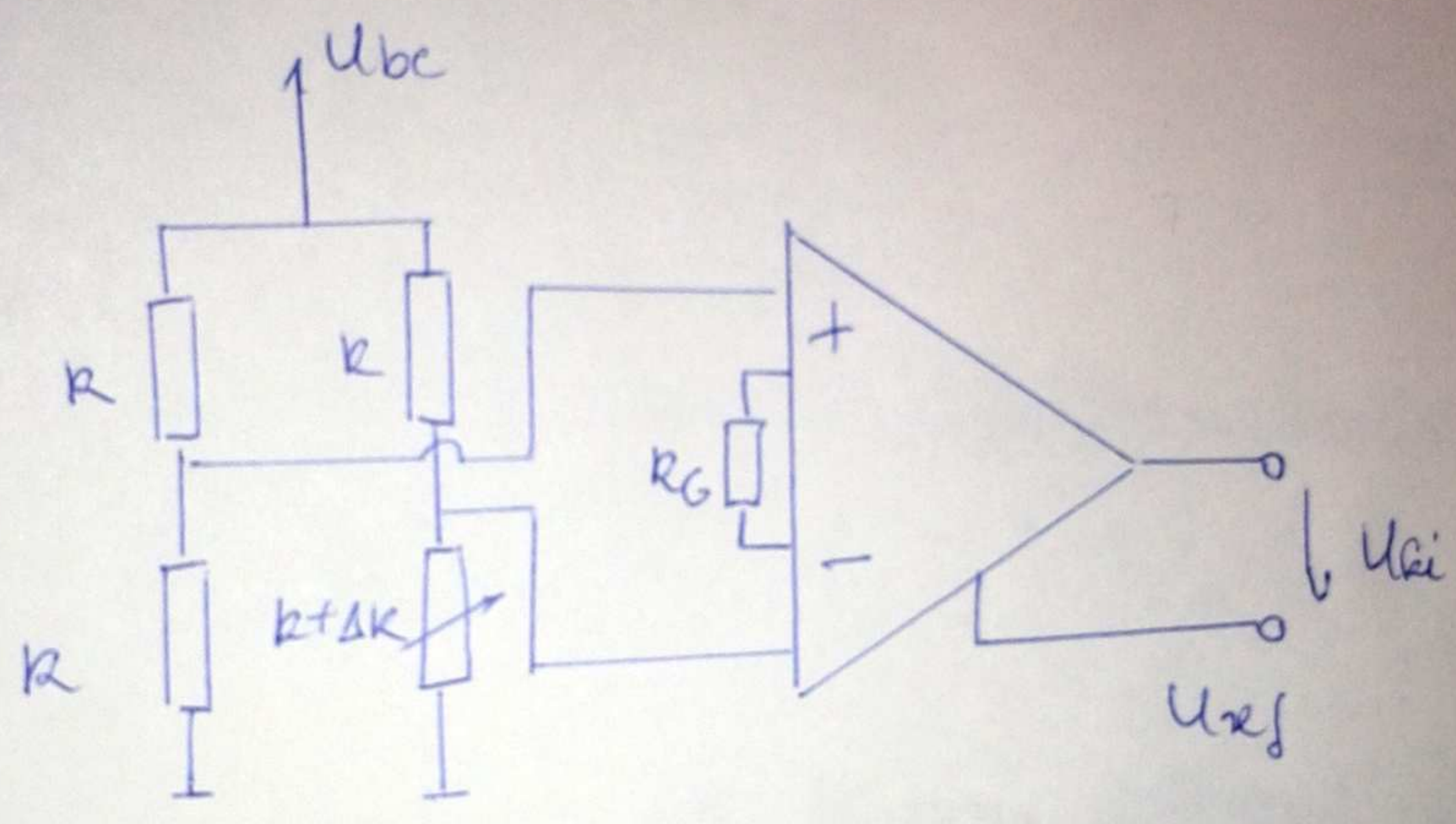
Erősítés:



$$U_{ki} \approx U_{ki \text{ hid.}} \cdot \left(\frac{-R_V}{R/2} \right)$$

erősítés ΔR függő

Műszer erősítő:

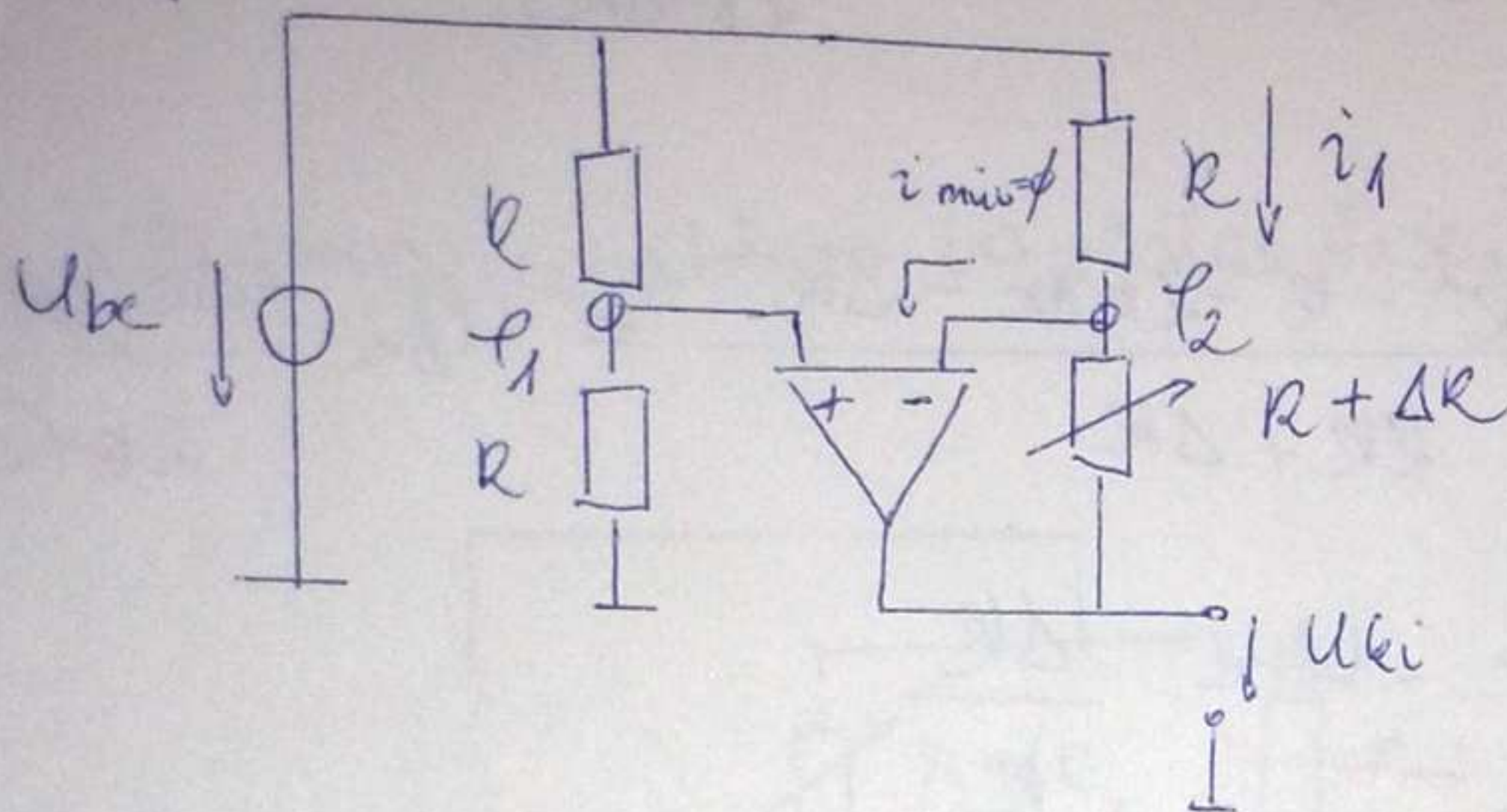


1, Erősítés (rezisztív erősítők, hidlakapcsolás)

- mult. áram -

2, Linearizálás (analóg módok)

• fesz. gen + 1 szenzor + műv. erősítő



$$f_1 = \frac{U_{be}}{2} \quad \text{/ ellenállás osztó /}$$

$$f_2 = f_1 = \frac{U_{be}}{2}$$

$$i_1 = \frac{U_{be} - f_2}{R} = \frac{U_{be} - \frac{U_{be}}{2}}{R} = \frac{U_{be}}{2R}$$

másképpen

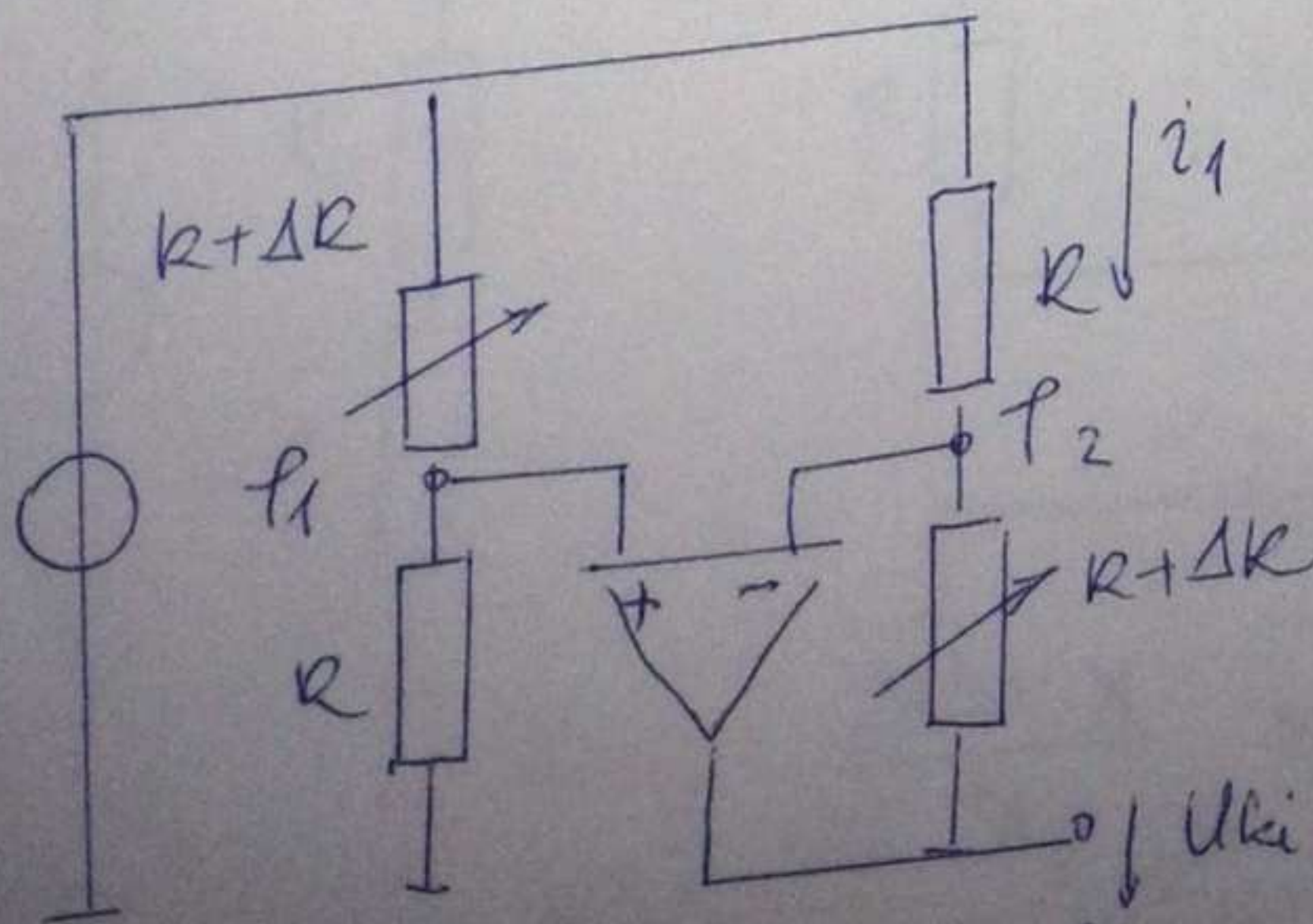
$$i_1 = \frac{f_2 - U_{ki}}{R + \Delta R} = \frac{\frac{U_{be}}{2} - U_{ki}}{R + \Delta R} = \frac{U_{be}}{2R}$$

$$\frac{U_{be}}{2} \cdot 2R - U_{ki} \cdot 2R = U_{be} R + U_{be} \Delta R$$

$$U_{ki} = - \frac{U_{be}}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

kicsi erősítés lineáris hidlakapcsolás

• fesz. gen + 2 szenzor + műv. erősítő



$$f_1 = U_{be} \cdot \frac{R}{2R + \Delta R}$$

$$f_2 = f_1$$

$$i_1 = \frac{U_{be} - f_2}{R} = \frac{f_2 - U_{ki}}{R + \Delta R}$$

$$\frac{U_{be} - U_{be} \cdot \frac{R}{2R + \Delta R}}{R} = \frac{U_{be} \cdot \frac{R}{2R + \Delta R} - U_{ki}}{R + \Delta R}$$

$$\frac{2R + \Delta R - R}{2R + \Delta R} \cdot U_{be} = \frac{U_{be} \cdot \frac{R}{2R + \Delta R} - U_{ki}}{R + \Delta R}$$

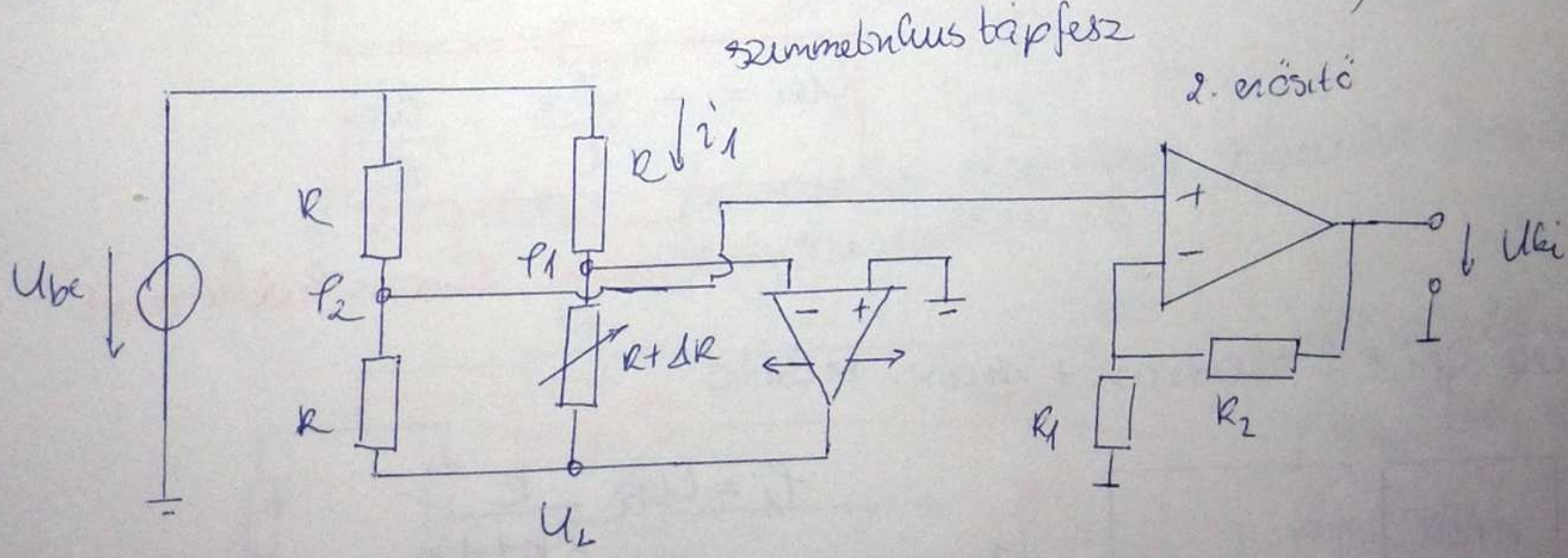
$$\frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} U_{be} (R + \Delta R) = U_{be} R \left(\frac{R}{2R + \Delta R} \right) - U_{ki} R$$

$$U_{ki} \cdot R = U_{be} \frac{R^2 - R^2 - 2R\Delta R - \Delta R^2}{2R + \Delta R} = U_{be} \frac{-\Delta R(2R + \Delta R)}{2R + \Delta R}$$

$$U_{ki} = -U_{be} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$\underbrace{\hspace{2em}}_{2x - \text{re}}$ $\underbrace{\hspace{2em}}_R$
 növekedett $\underbrace{\hspace{2em}}_{\text{lineárisan}}$
 az erősítés

3) Másik módszer (nem lineáris analóg kompenzálás)



$$i_1 = \frac{U_{be} - f_1}{R} = \frac{f_1 - U_L}{R + \Delta R}$$

$$f_1 = 0 \text{ V}$$

$$\frac{U_{be}}{R} = -\frac{U_L}{R + \Delta R} \Rightarrow U_L = -U_{be} \cdot \frac{R + \Delta R}{R}$$

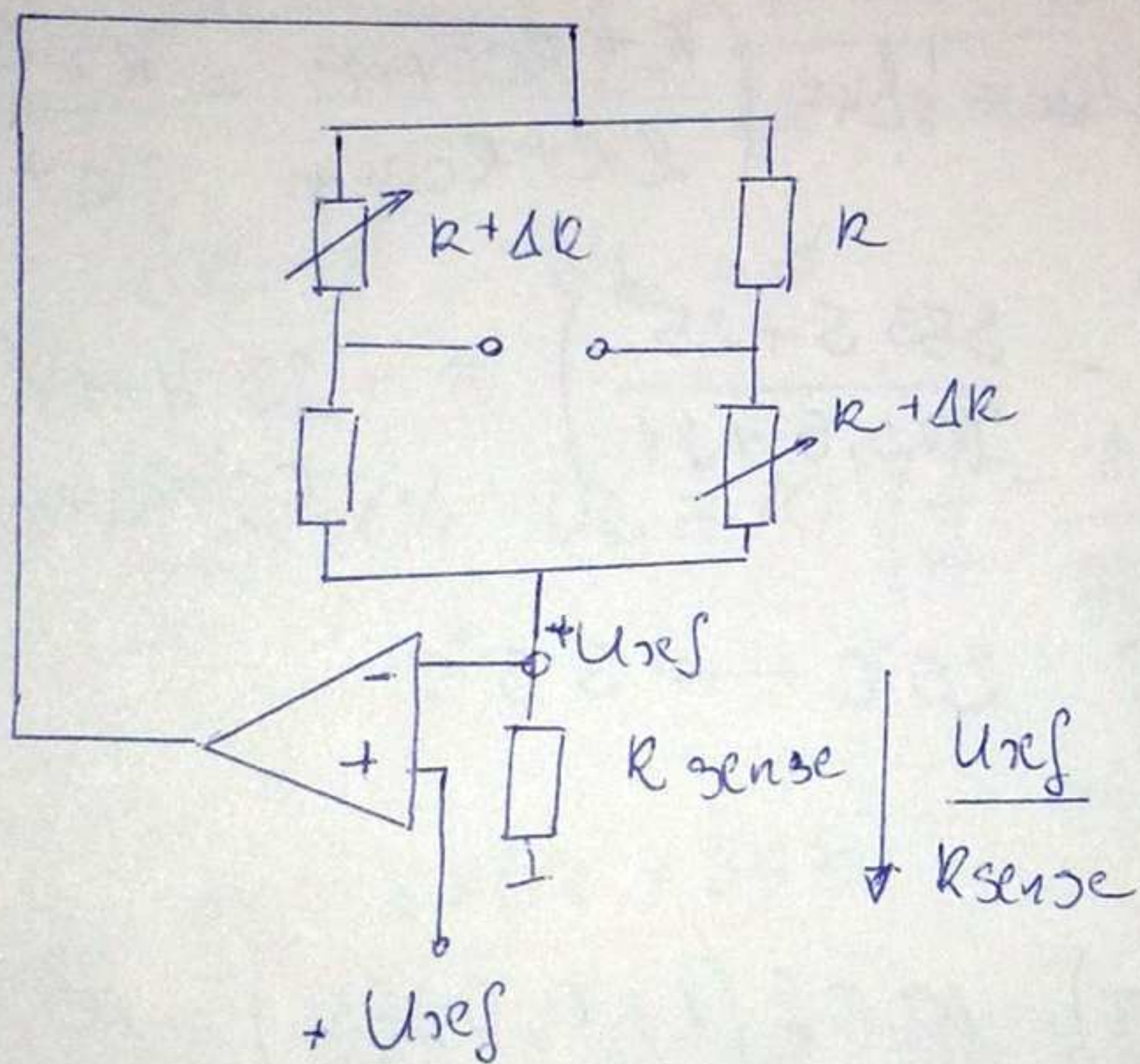
non szelvény
 vellelem a veletlenszerű programtervezés ellen

$$f_2 = \frac{U_{be} + U_L}{2} = \frac{U_{be} - U_{be} \cdot \frac{R + \Delta R}{R}}{2} = U_{be} \cdot \frac{R - \Delta R - R}{2R} = -\frac{U_{be} \cdot \Delta R}{2R}$$

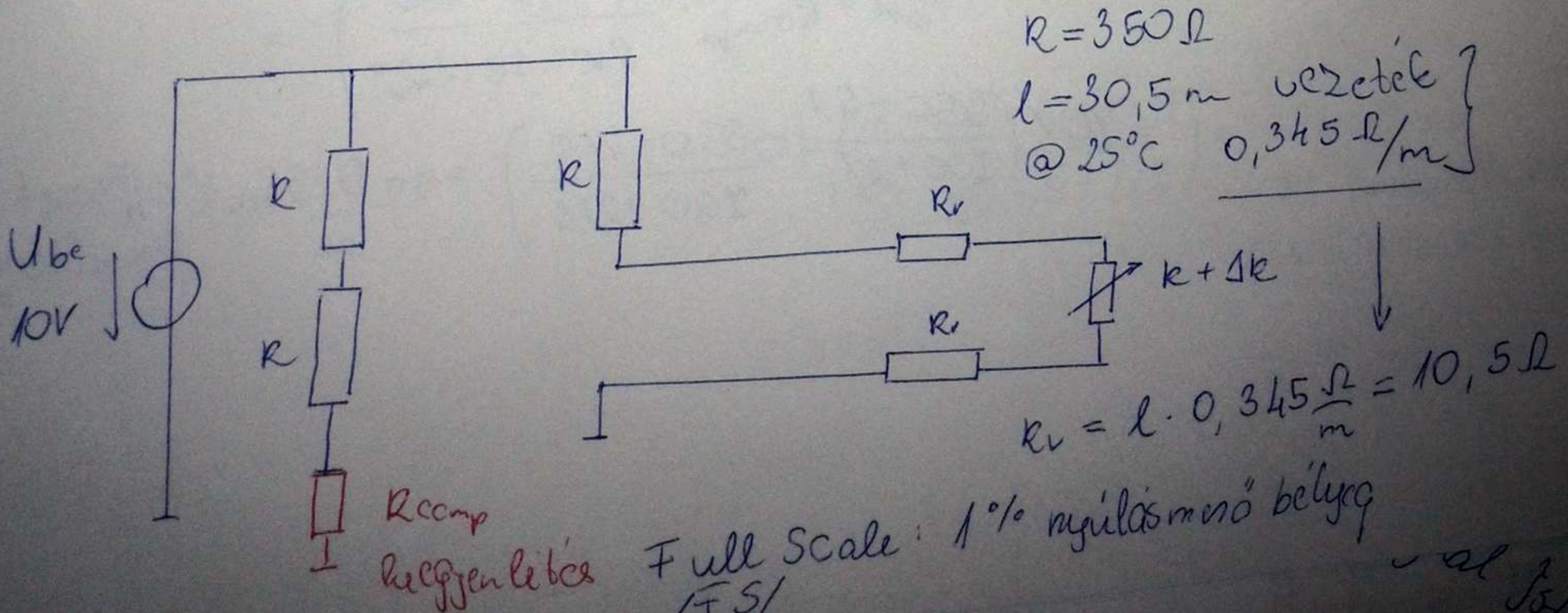
$$U_{ki} = -\frac{U_{be}}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

lineáris
2. erősítő

4, Áramgenerátoros táplálás készítése



5, Gyakorlati alkalmazás: zenei.)
 Ha nagyon táv van a nyúlásmérő béléggel



USB comp

MIPPI 43-46-47

INDUF

a)

$$U_{ki} = U_{be} \left(\frac{1}{2} - \frac{R + \Delta R + 2R_V}{2R + \Delta R + 2R_V} \right)$$

• $\Delta R = 0$ esetén $U_{ki} = 10V \left(\frac{1}{2} - \frac{350 + 21}{400 + 21} \right) = -145 \text{ mV}$ offset
 feszültség

• $R_V = \beta$, $\frac{\Delta R}{R} = 1\%$ $U_{ki} = 10V \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{353,5}{403,5} \right) = -24,9 \text{ mV}$
 /alapéplet/ FS kiveresékelhetőség

b) Szeregyenlítés: $R_{comp} = 2 \cdot R_V = 21 \Omega$

• $\Delta R = 0$ esetén $U_{ki} = 0$

(A) • $\frac{\Delta R}{R} = 1\%$ $U_{ki} = U_{be} \left(\frac{R + R_{comp}}{2R + R_{comp}} - \frac{R + \Delta R + 2R_V}{2R + \Delta R + 2R_V} \right) =$

$= 10V \cdot \left(\frac{350 + 21}{400 + 21} - \frac{353,5 + 21}{403,5 + 21} \right) = -23,4 \text{ mV}$
 FS kiveresékelhetőség

c) Resztételt a Nap $+10^\circ\text{C} : 25^\circ\text{C} \rightarrow 35^\circ\text{C}$

$t_c = 0,385 \text{ } \%/^\circ\text{C}$

$R_V^* = R_V (1 + t_c \cdot \Delta T) = 10,5 \Omega (1 + 0,0385) = 10,9 \Omega$

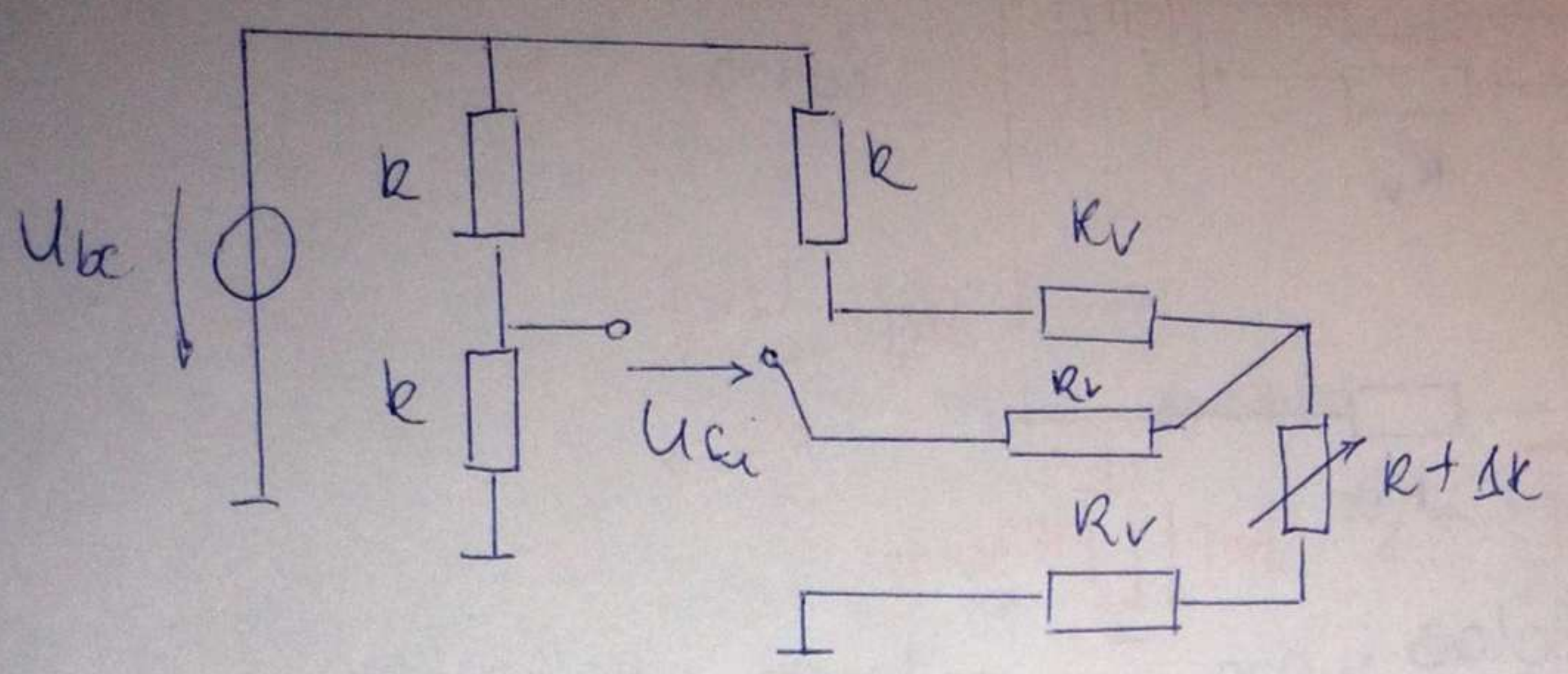
• $\Delta T = +10^\circ\text{C}$ $\Delta R = 0$ $R_{comp} = \text{---}$

$U_{ki} = U_{be} \cdot \left(\frac{R + R_{comp}}{2R + R_{comp}} - \frac{R + \Delta R + 2R_V^*}{2R + \Delta R + 2R_V^*} \right) =$

$= 10V \left(\frac{350 + 21}{400 + 21} - \frac{350 + 21,8}{400 + 21,8} \right) = -5,38 \text{ mV}$ offset
 feszültség

d, Állagjelölés ~~ma~~ másik módja

d, 1) 25°C-on



$$U_{ki} = U_{be} \left(\frac{1}{2} - \frac{k + \Delta k + R_v}{2k + \Delta k + 2R_v} \right)$$

• $\Delta k = \emptyset \quad U_{ki} = \emptyset$

• $\frac{\Delta k}{k} = 1\% \quad U_{ki} = 10 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{353,5 + 20,5}{703,5 + 21} \right) = -24,15 \text{ mV}$
FS kivértesíthetőség

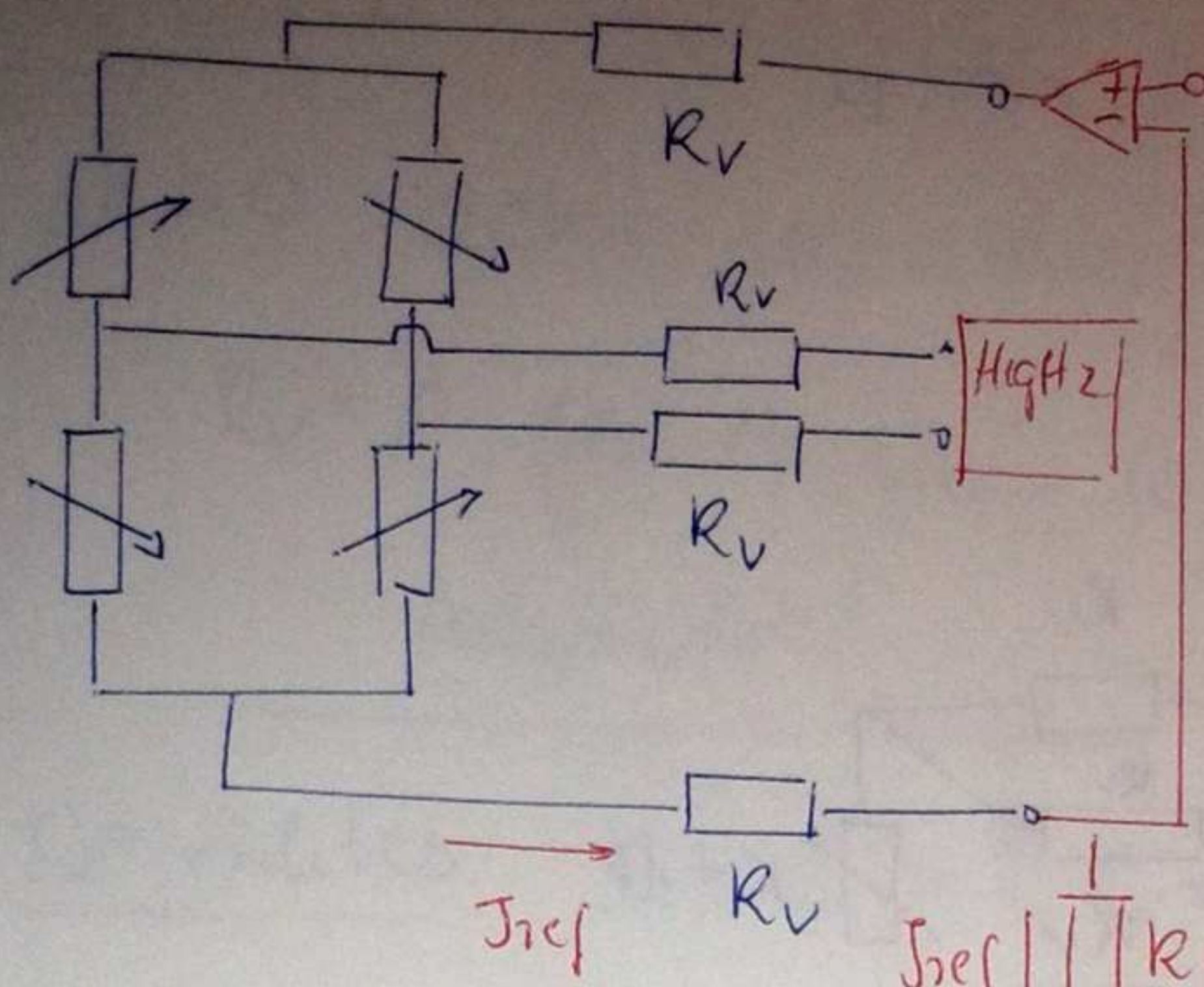
d, 2) 25°C + 10°C = 35°C

- $\Delta T = +10^\circ\text{C} \quad \Delta k = \emptyset \quad U_{ki} = \emptyset$ nincs offset hibá
- tökéletesen egyforma vezeték / U_{ki} vezetésen R_{V3} -nak nem kell megőriznie csak ne folyjon rajta áram /
- ugyanolyan meleg legyenek (de az indultól feszültség miatt ugrik sodorjuk majd)

• $\frac{\Delta k}{k} = 1\% \quad U_{ki} = 10 \text{ V} \left(\frac{1}{2} - \frac{353,5 + 10,9}{703,5 + 21,8} \right) = -24,12 \text{ mV}$
FS kivértesíthetőség
/ kicsi erősítési hibá /

USB
100p

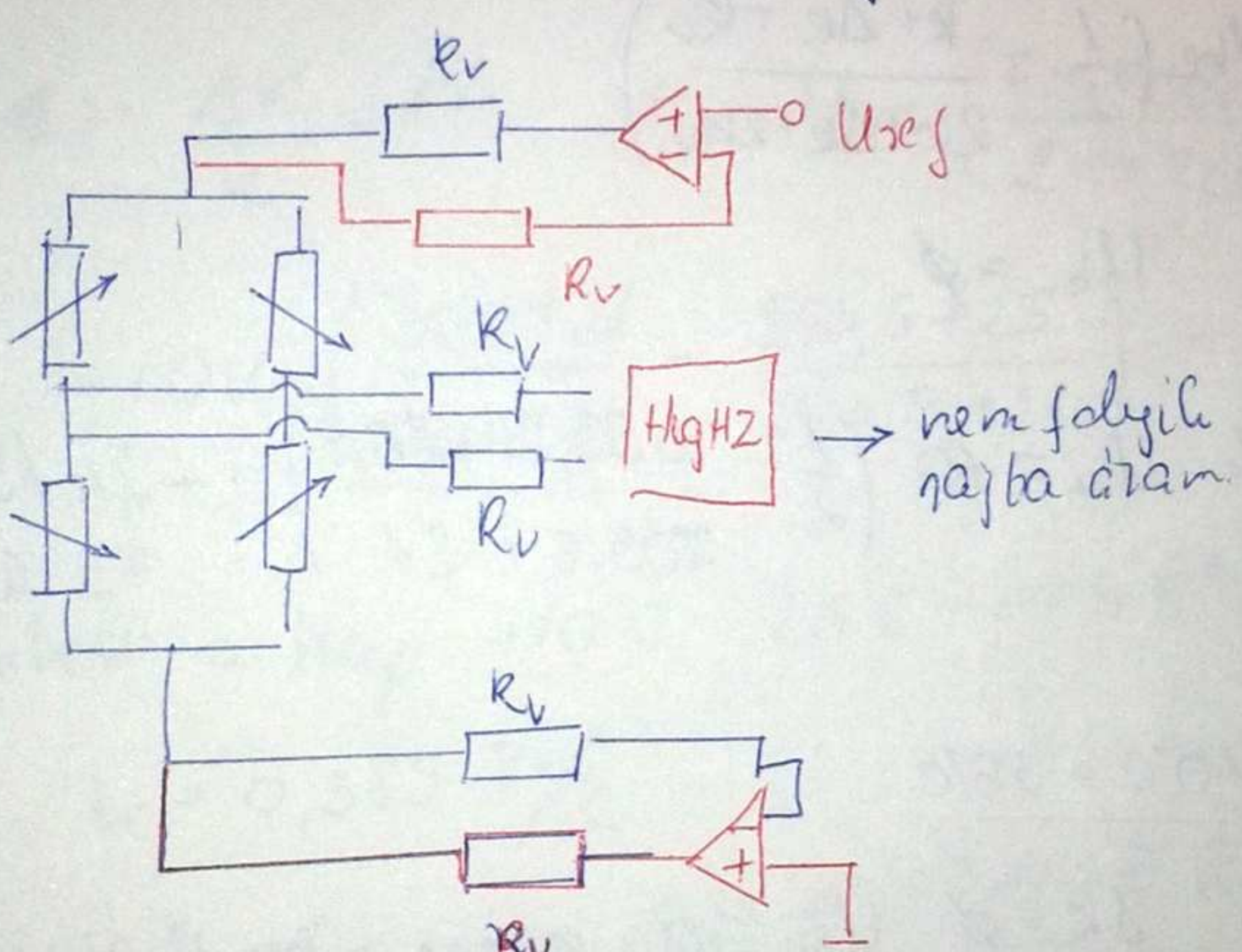
6) Tárcsi most az egész híd is nem csak a szenzor



A vesetekkel miatt lesz benne mindig offset hibba.

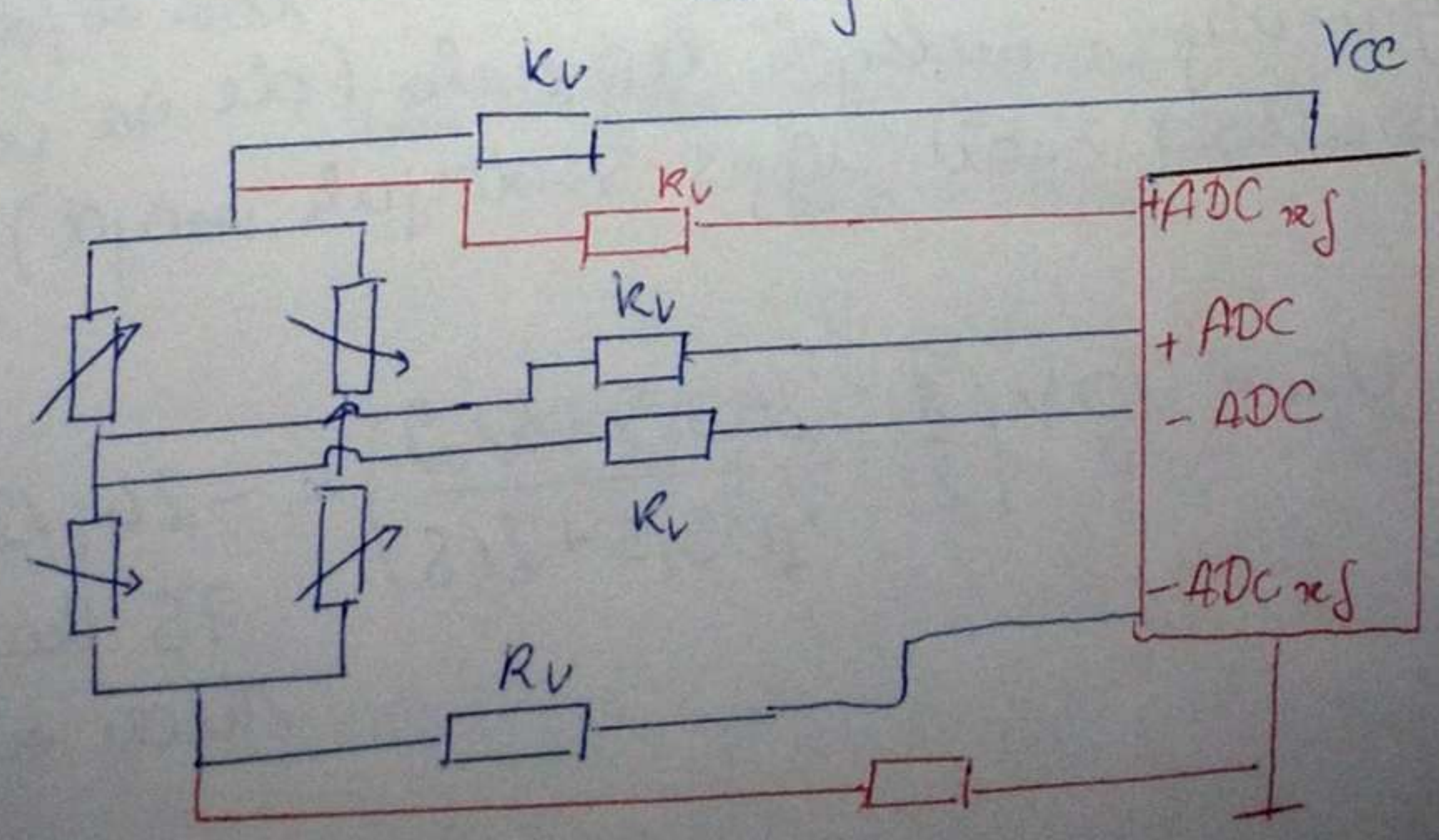
$$I_{ref} = \frac{U_{ref}}{R_{sense}}$$

1. Megoldás: áramgenerátoros meghajtás



→ nem folyik rajta áram

2. Megoldás: hatvesetelés elrendezés, referenci feszültség begyázosítottatása



AD átalakító feszültség visszaméréssel

Finite Impulse Response

Fe

MC

Aktív zajcsökkentő rendszer

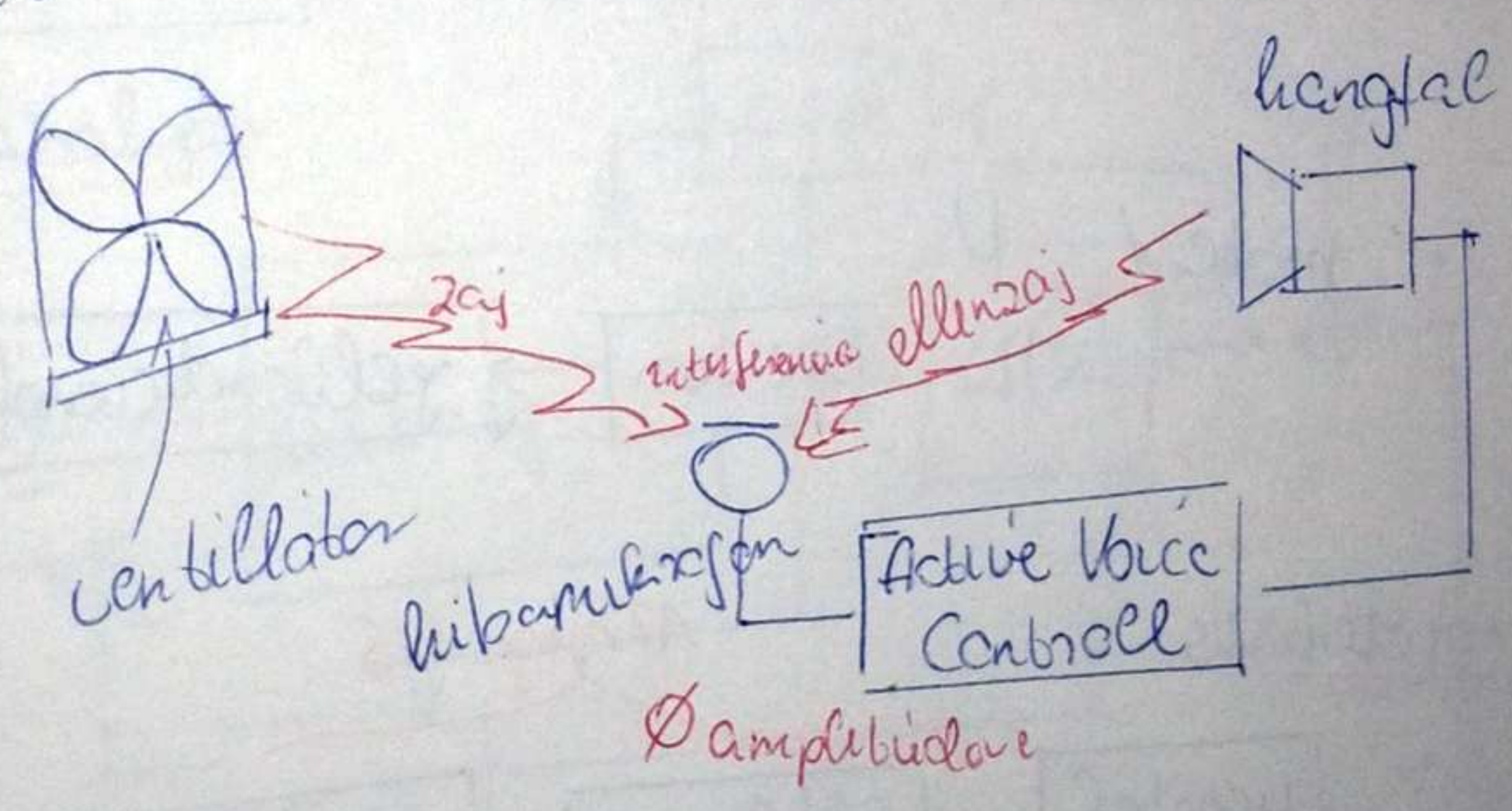
1. Zajcsökkentés

- passzív: zajforrást megpróbálva elszigetelni (pl. hangszigetelés)
- aktív

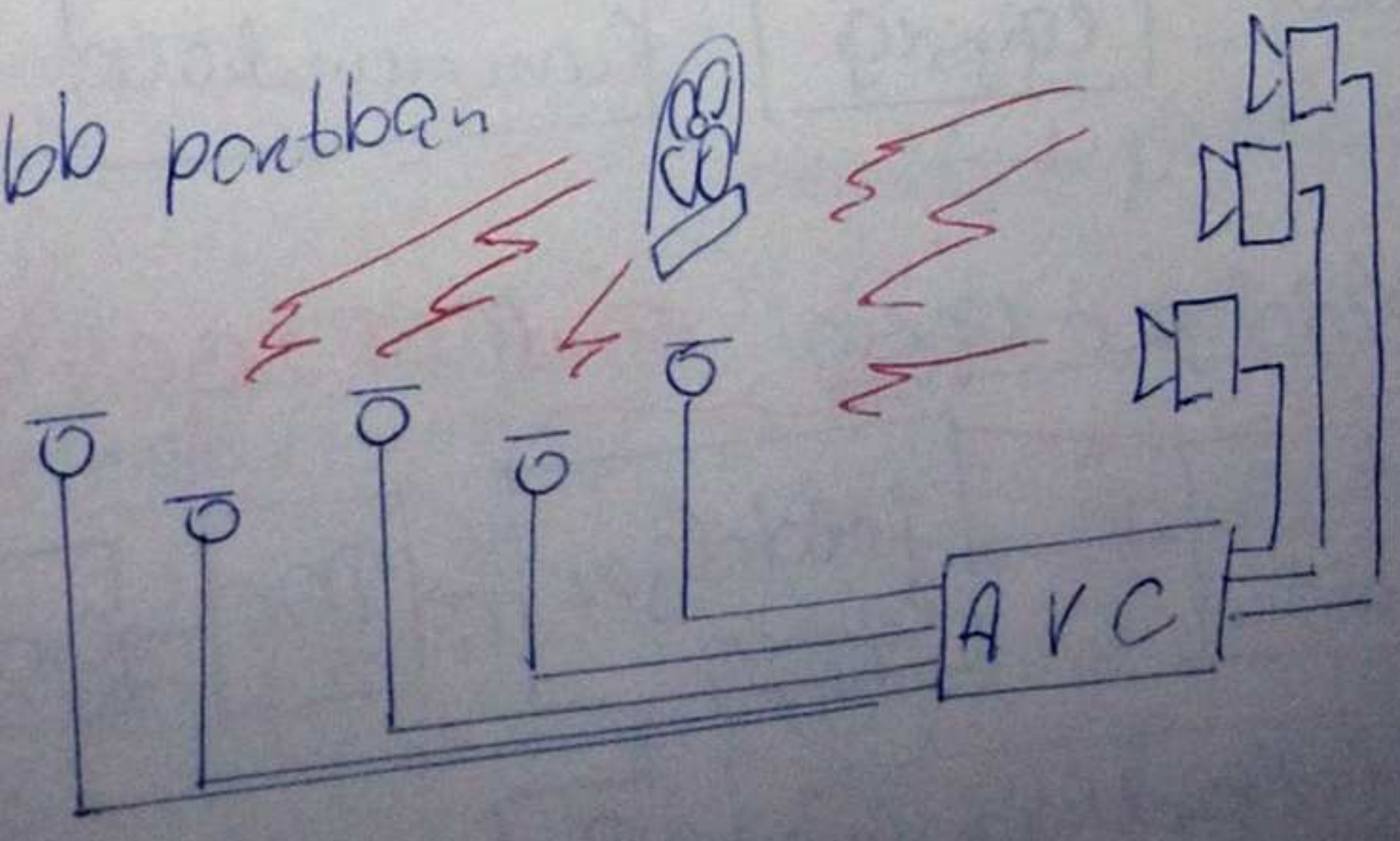
2. Zajforrás

- Mechanikai rezgés: traktor (rázza az ülést, vezető)
- Akusztikus: periodikus zaj, hangszóróval "ellenzajt" kell tenni /ellentétes fázis, azonos frekvencia interferencia/

Aktív Zajcsökkentő:
a) 1 pontban

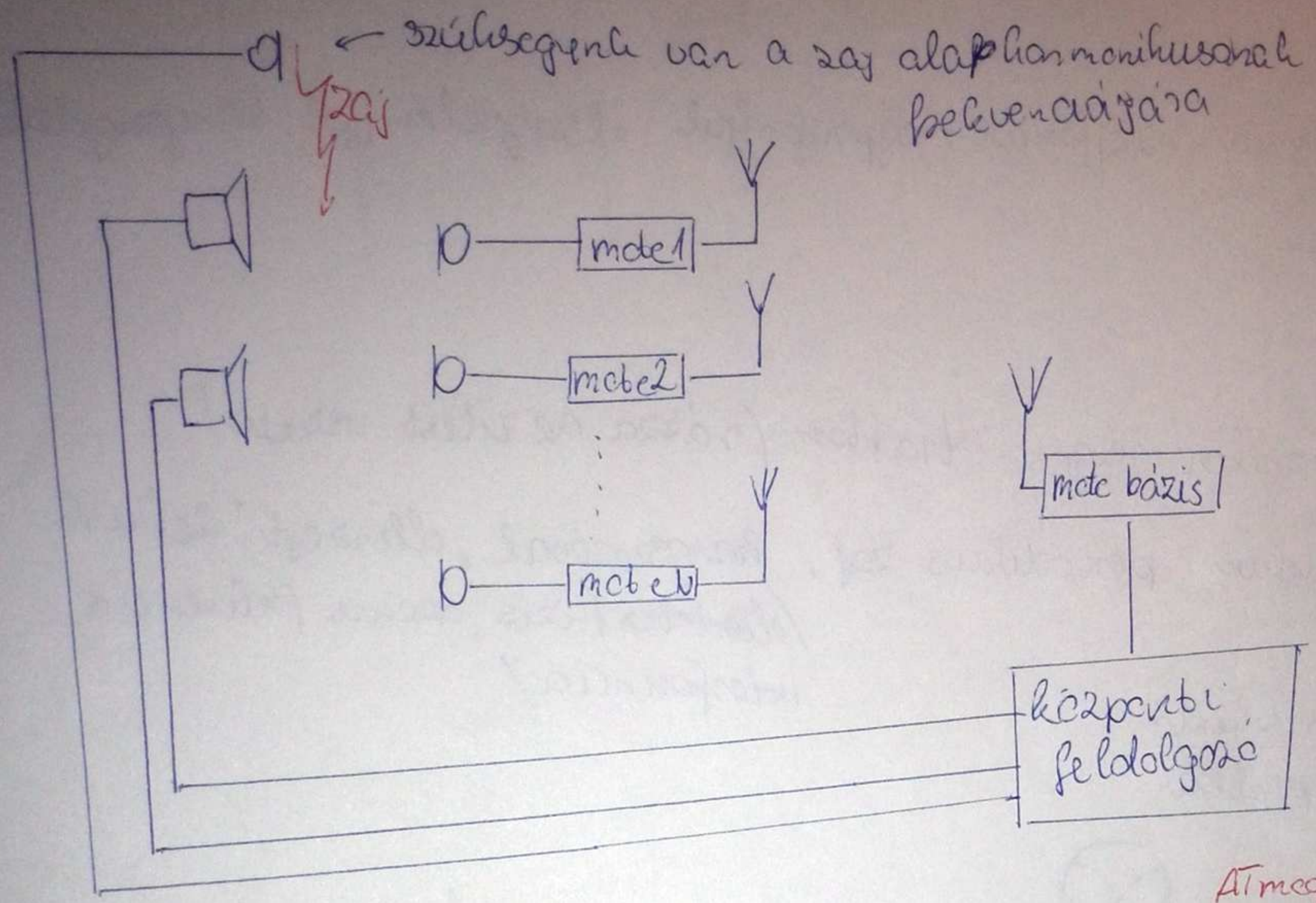


b) Több pontban

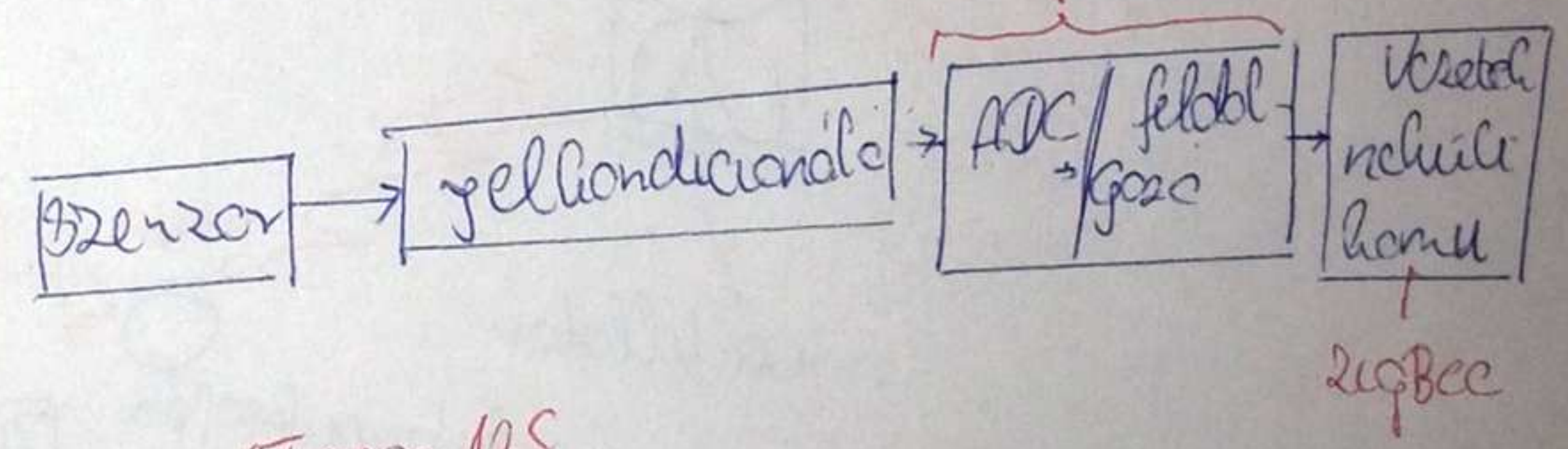


Vezeték nélküli:

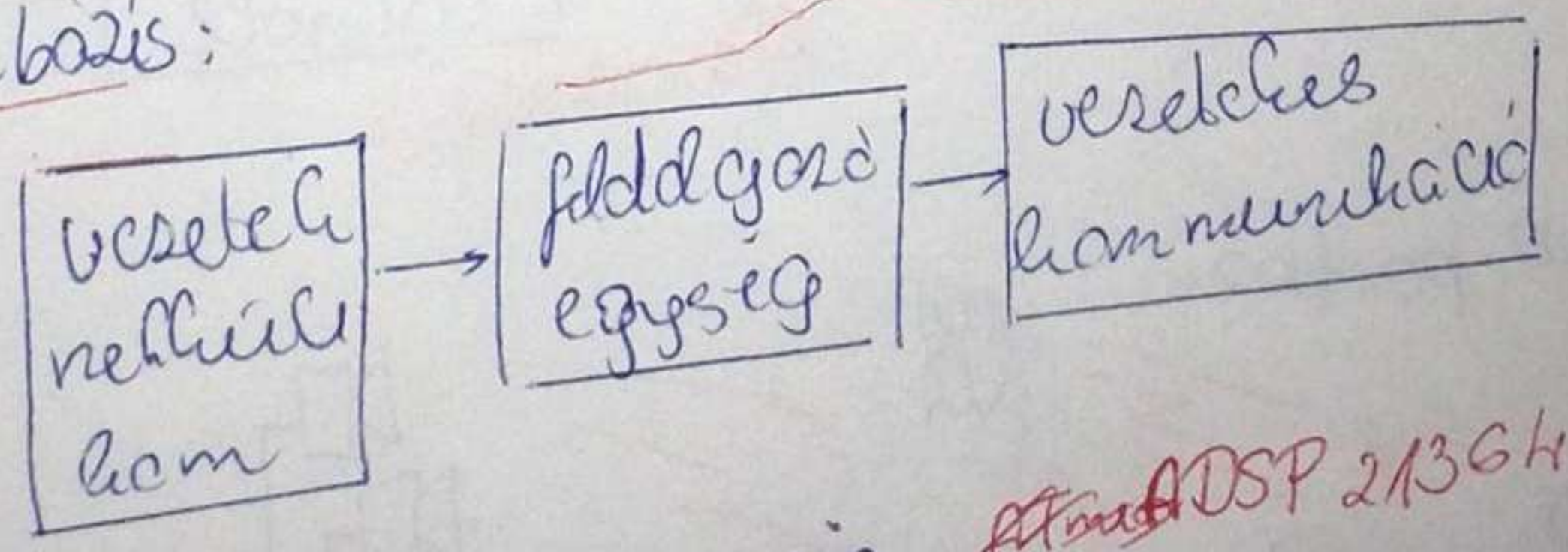
- mikrofonok szama könnyen változtatható
- mikrofonok elhelyezkedése könnyen változtatható



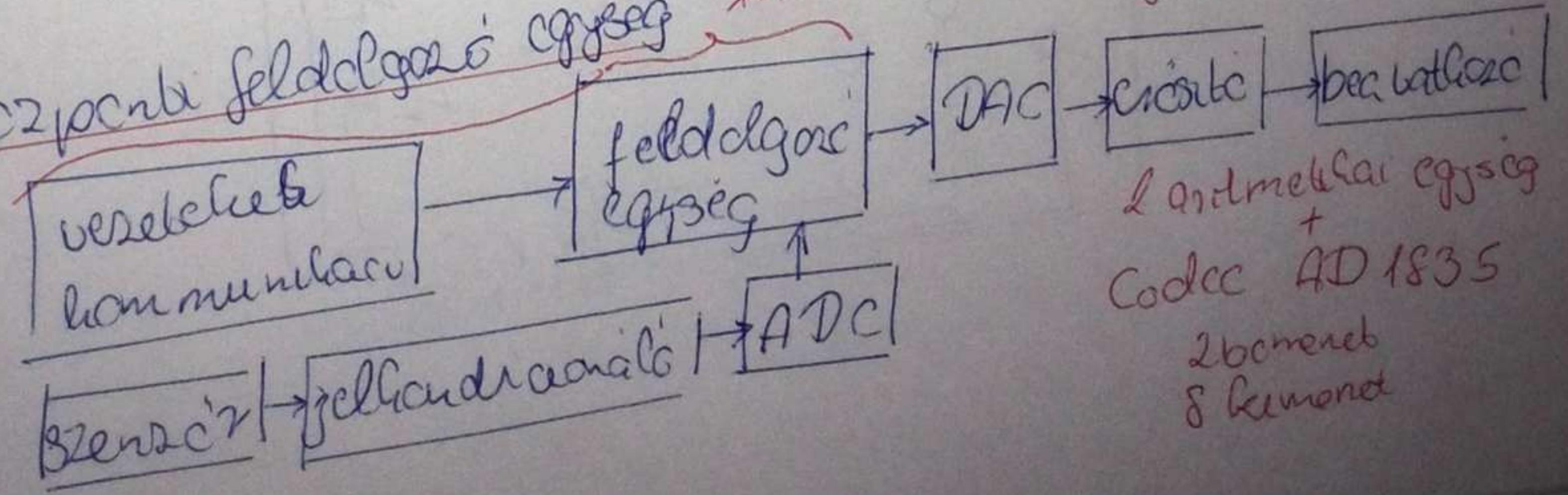
• mote 1 ... N



• mote bázis:



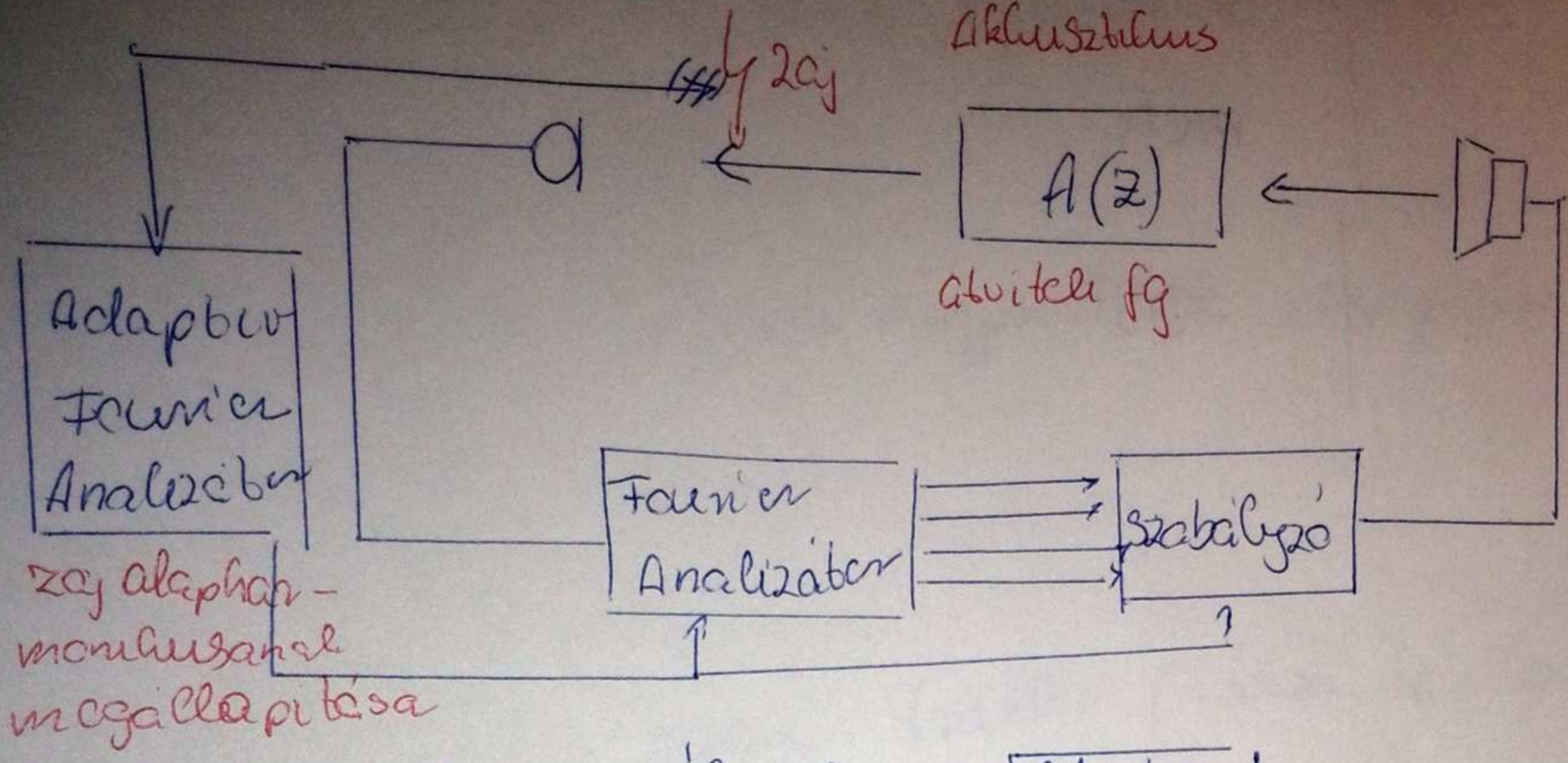
• Központi feldolgozó egység



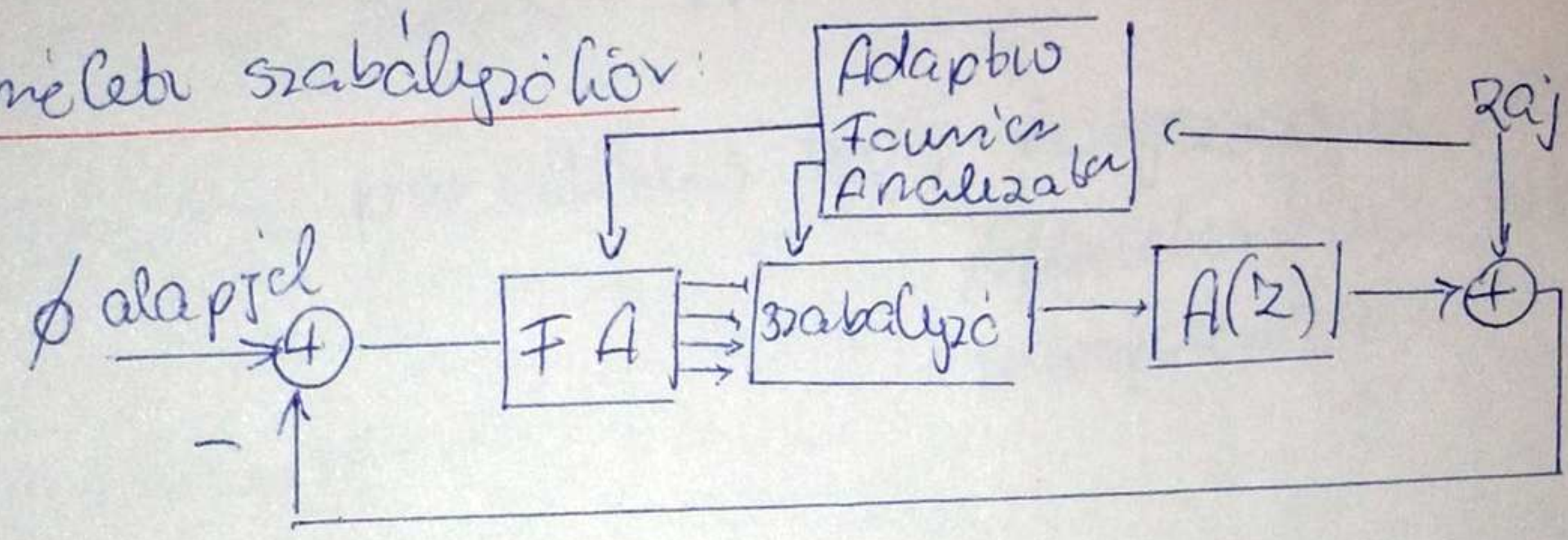
ATmega128
 330MHz
 ATmega DSP 21364 Easy kit lite
 32bit lebegőpontos
 2 analóg csatlakozó +
 Codec AD1835
 2 bemenet
 8 kimenet

feldolgozó feladatokat (DSP)

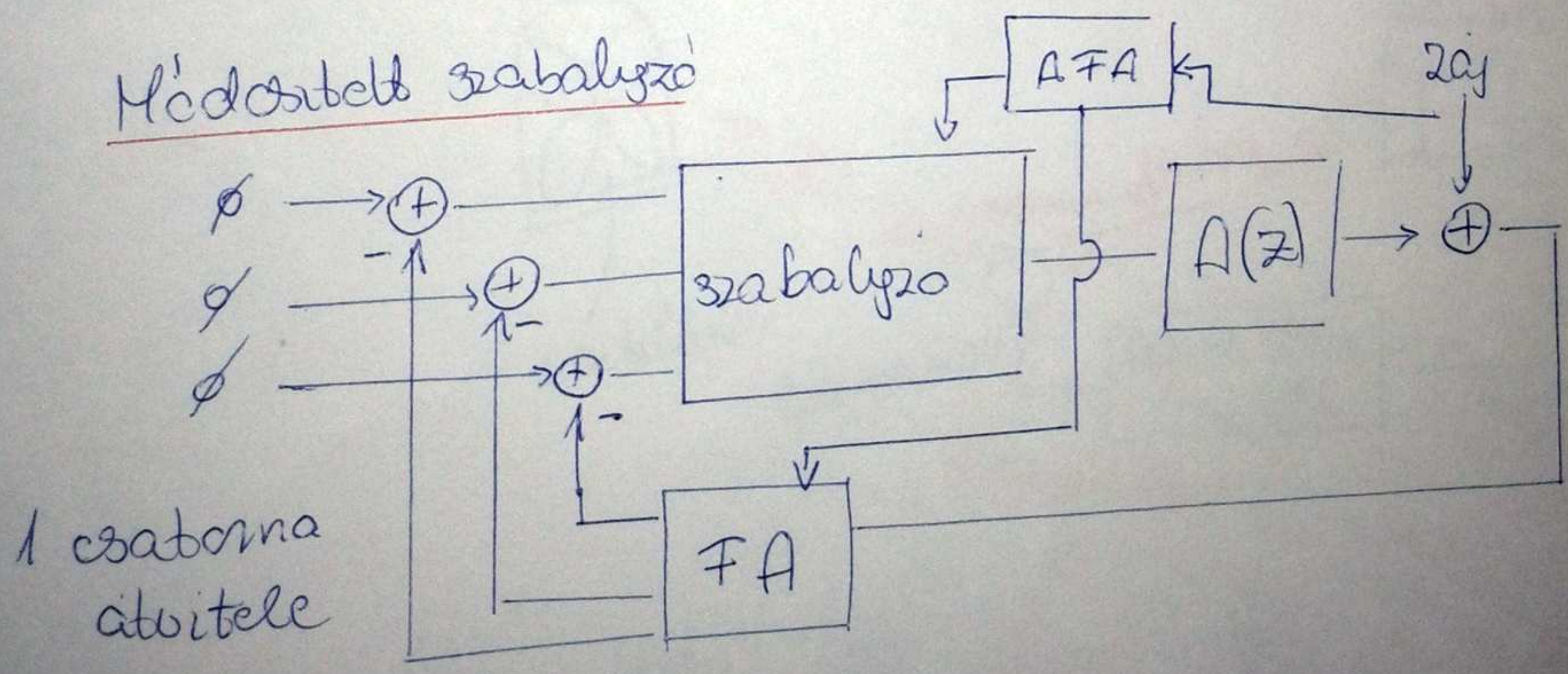
3. Zajcsökkentő algoritmus szabályzó kör



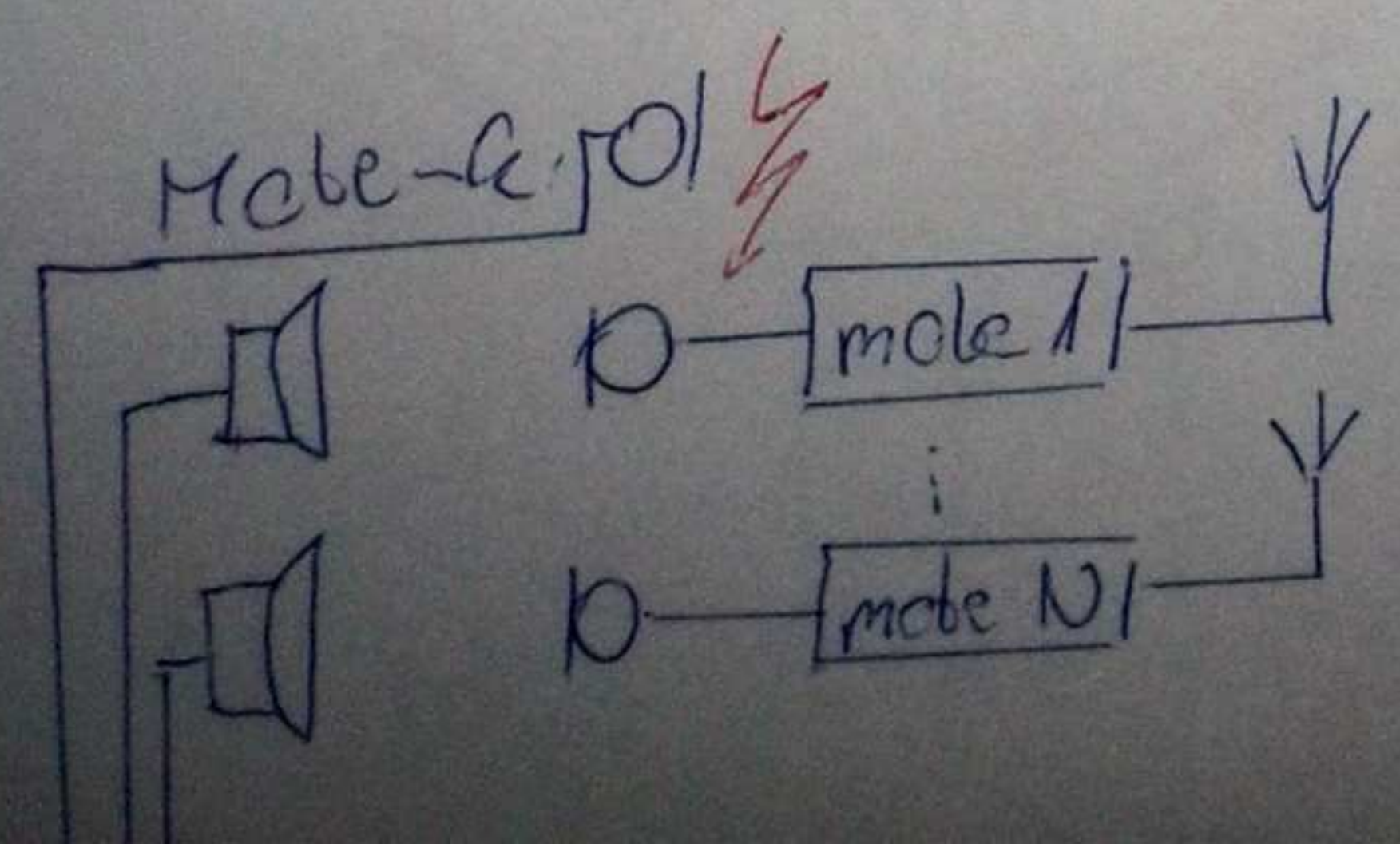
Elméleti szabályzó kör:



Módosított szabályzó



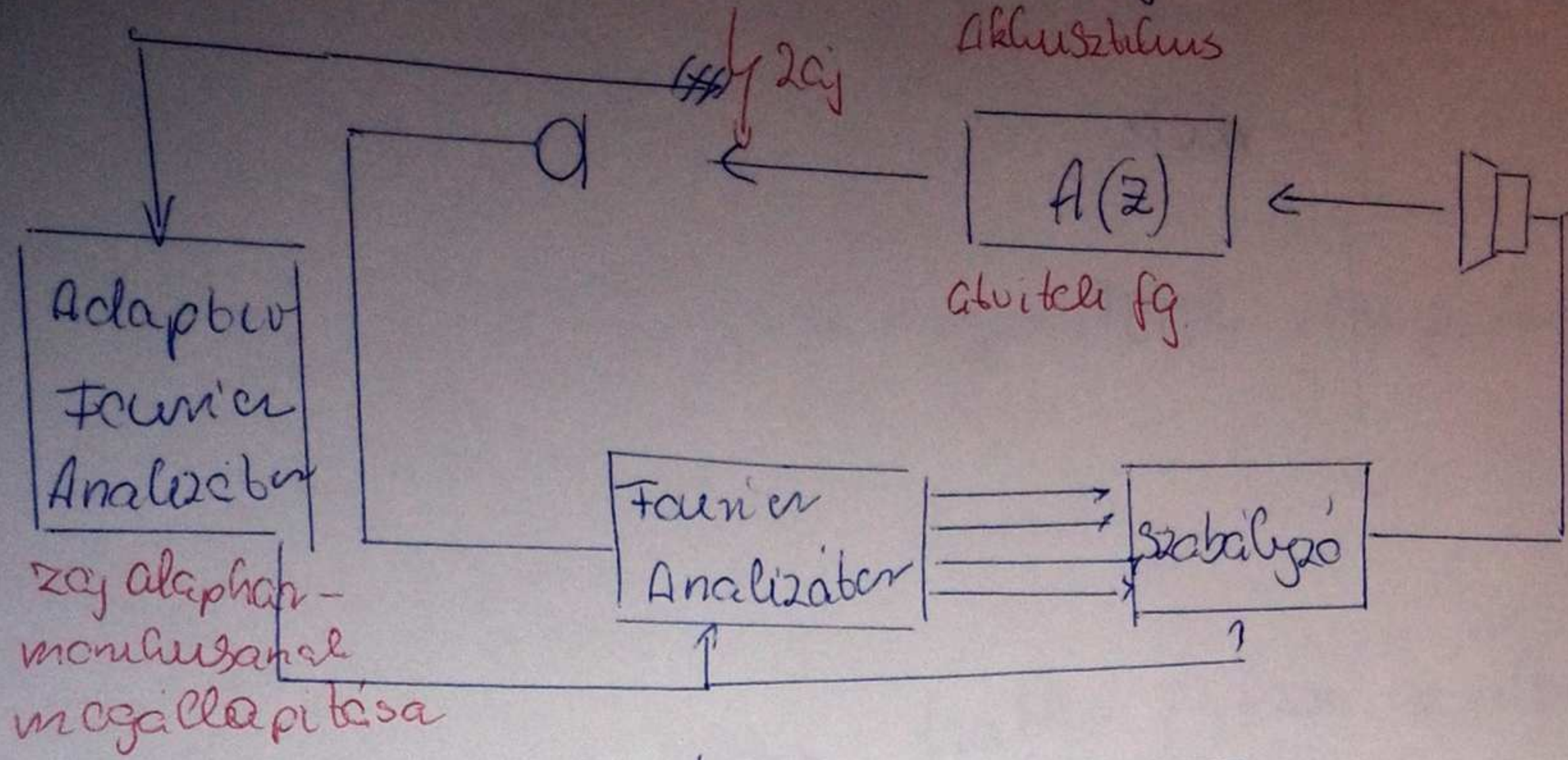
1 csatorna átvitel



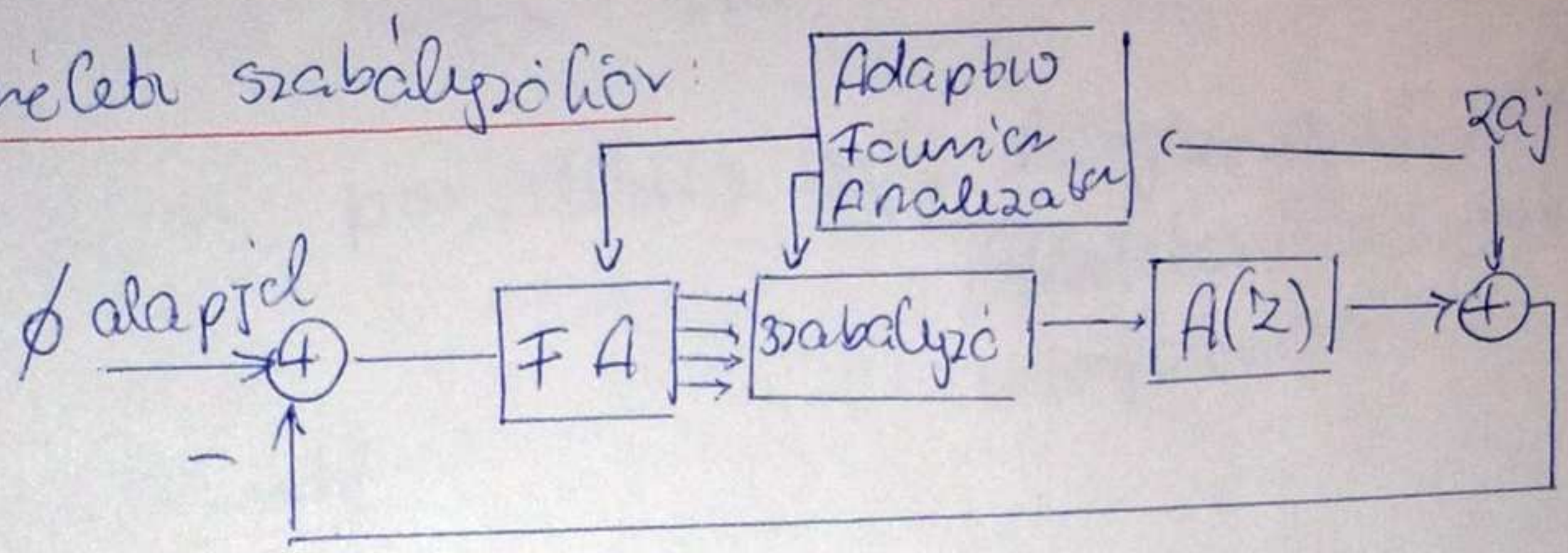
megoldható problémák:

- aszinkronizáció
- $\int S_{mote} \neq \int S_{DSP} \rightarrow$ interpoláció

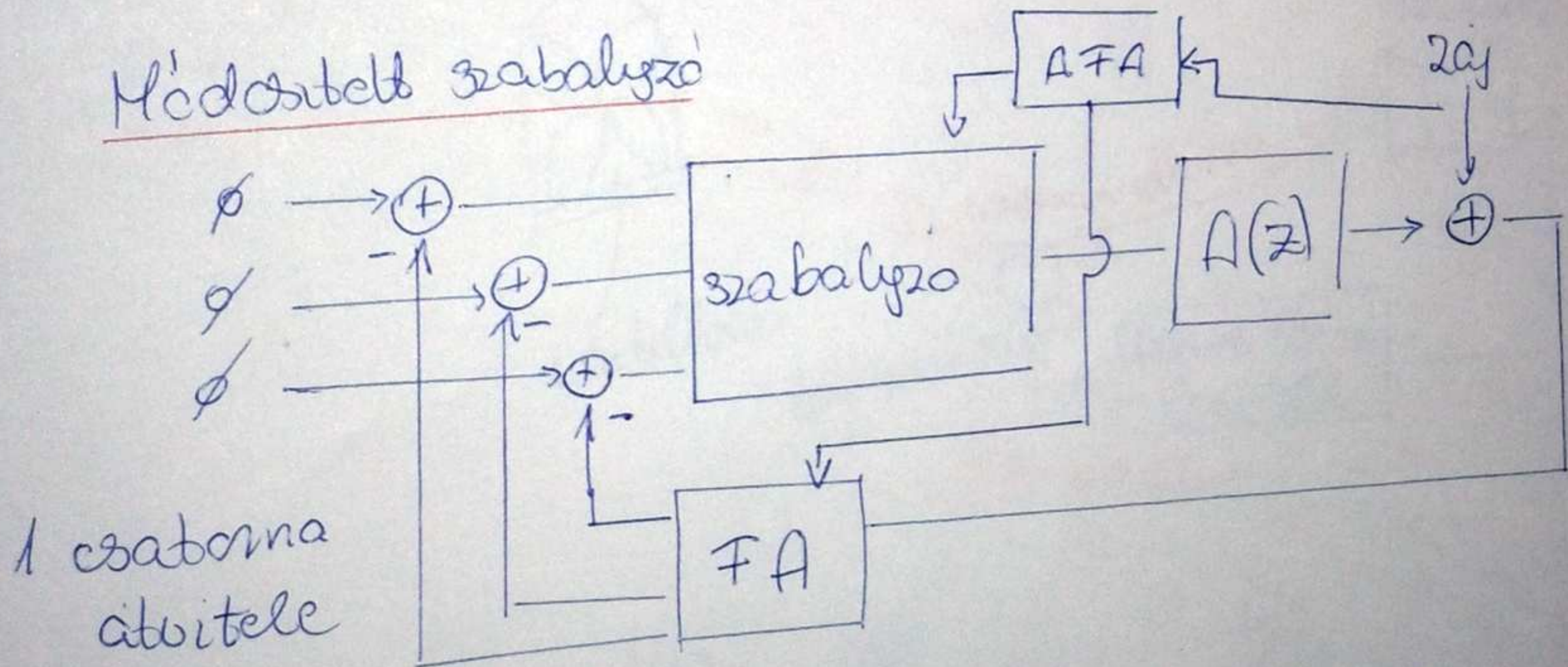
3, Zajcsökkentő algoritmus szabályozó



Elméleti szabályozó



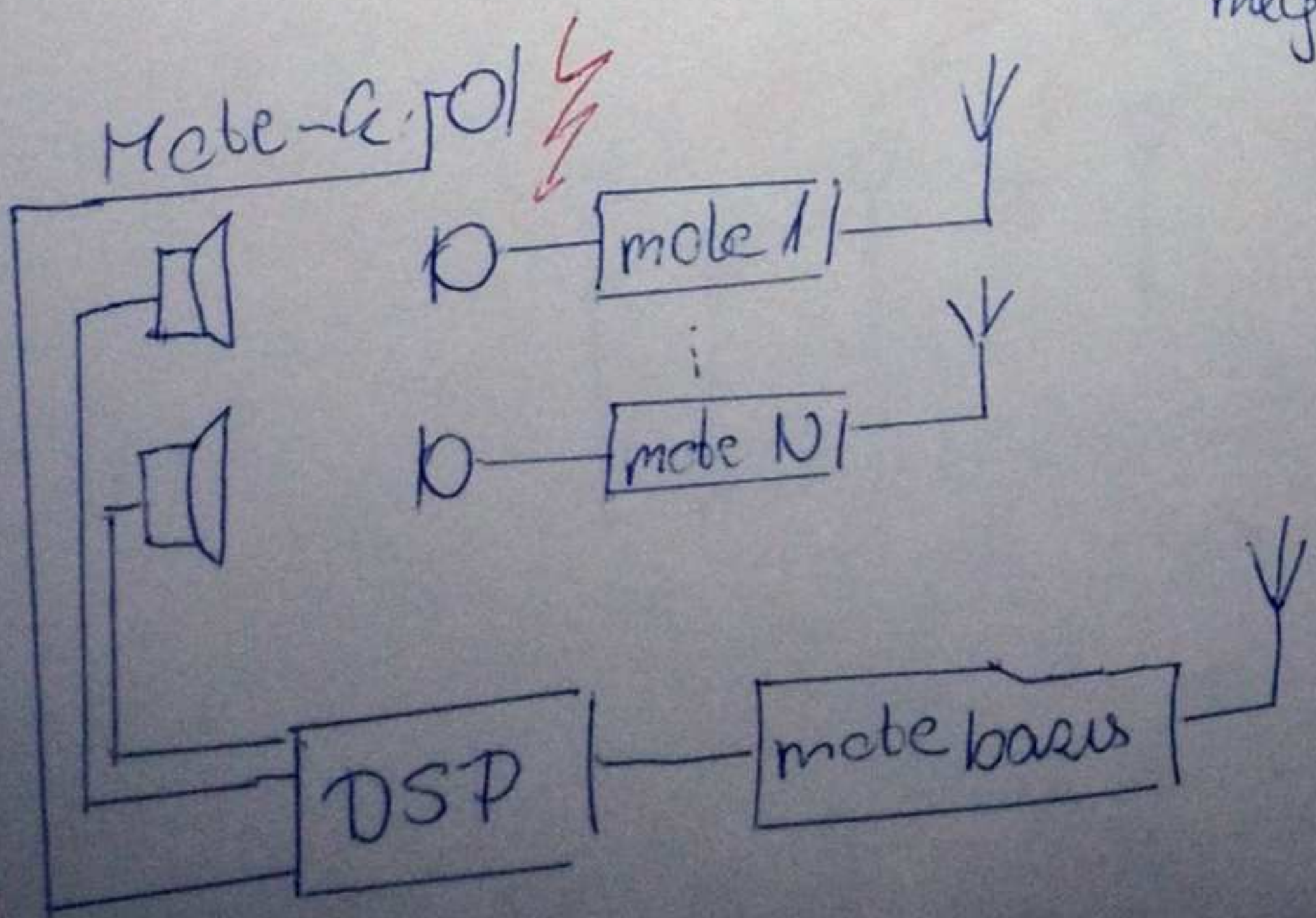
Módosított szabályzó



1 csatorna átvitel

megoldható problémák

- aszinkronizáció
- $\int S_{mote} \neq \int S_{DSP} \rightarrow$ interpoláció



Jelfeldolgozási feladatok
Szűrés (hard...)

03.03

Bambi
7. előadás
Mikrokontrollelek

1, Feldolgozóegység

- μC : mikrokontroler []
- DSP : jelfeldolgozó proc.
[általános célú proc.]
- FPGA hard/soft core CPU

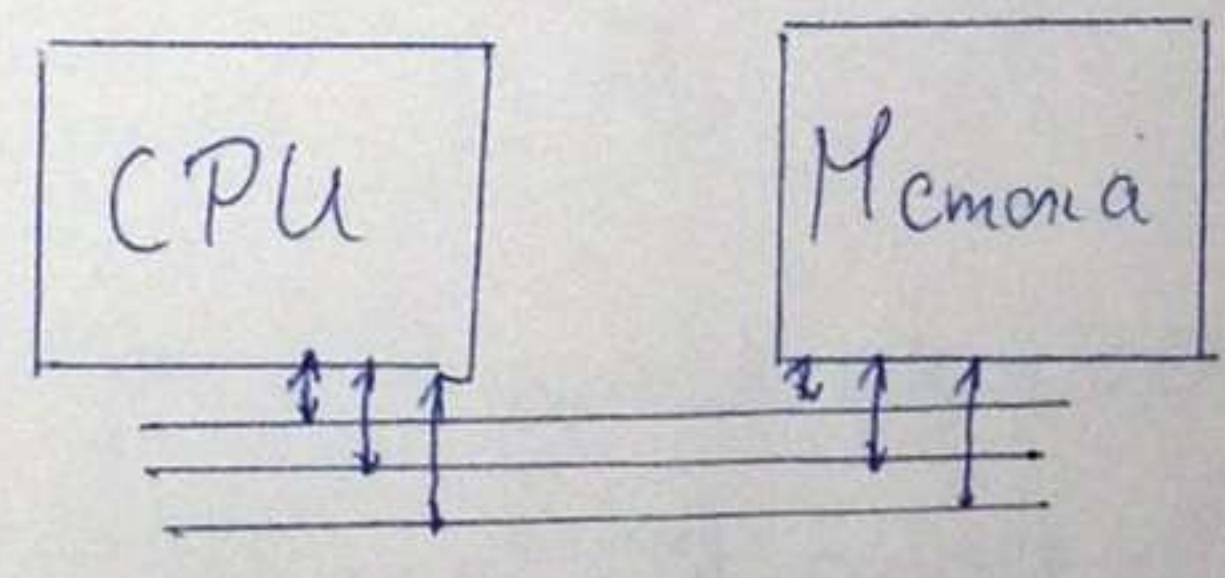
fogyasztás
nő

2, μC

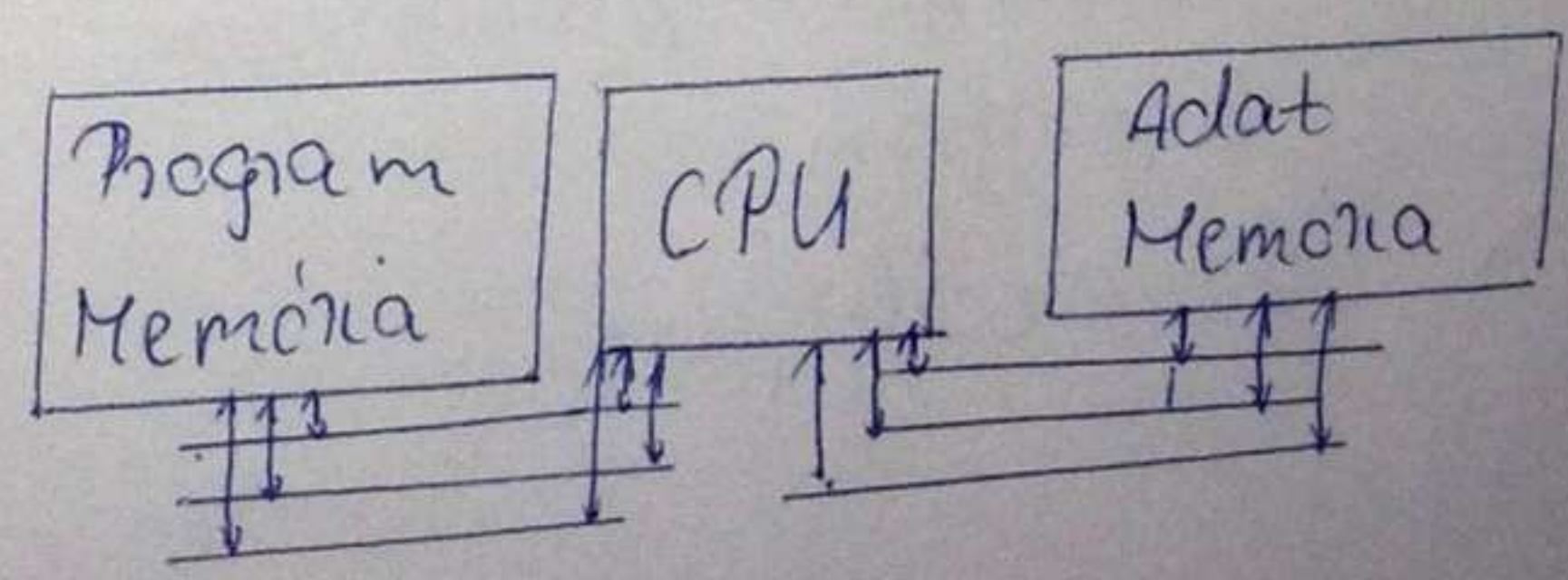
- hány bites? : adatbusz szélesség
- 8, 16, 32 bites architektúra

- címszélesség ~ 16 bit 2^{16} bites memória

architektúra:



• van Neumann

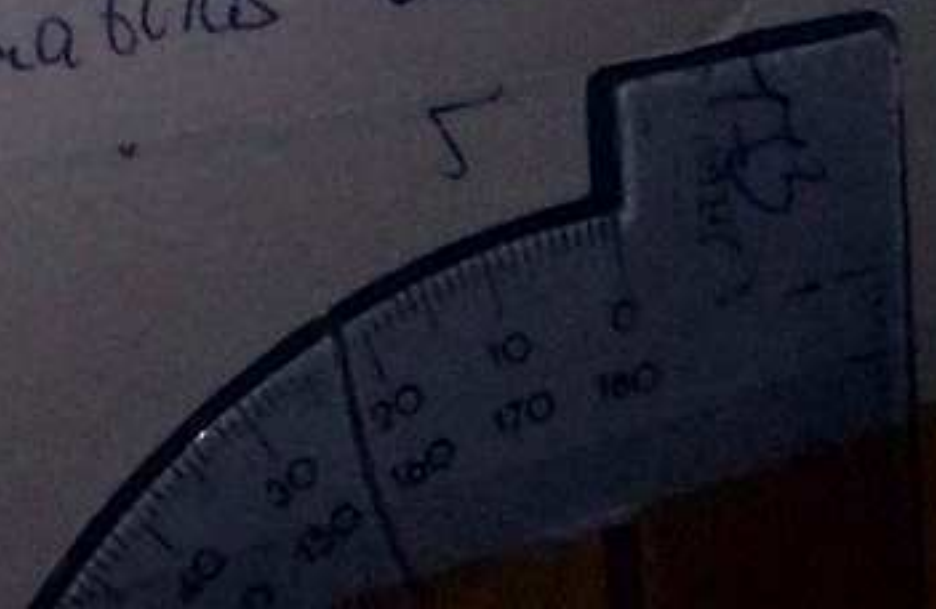


- gyorsabb
- eltérő program és adatmemória típus
- eltérő szélességi
- csökken a véletlenszerű programhibák ellen

5 mm
12-02-11

Gaa

Pod



Perifériahészlet

memória:

• ROM

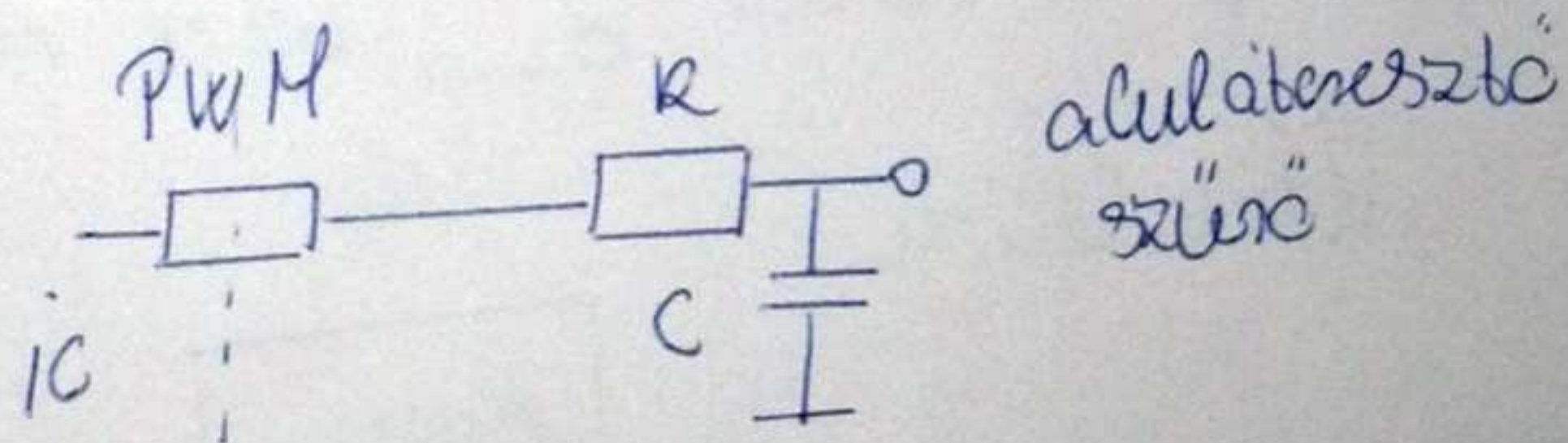
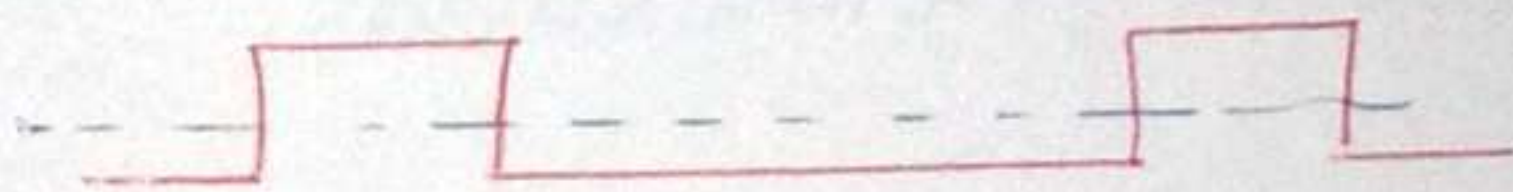
- OTP ~ One Time Programmable } Programmemória
- FLASH / csak bitenként töltés / } /100 kbyte /
- EEPROM / byte-s töltés / /100 byte / } Adatmemória

• RAM

- SRAM: statikus RAM / ~ 4kbyte - 100kbyte /

• Timer - időzítők

- 8, 16 bitesek
- PWM kimenet / pulzus szélesség moduláció /



• Watchdog timer

- belső RC oszcillátor
- Reseteli a processzor a program ha nagyon eltérvekre
- hőmérsékletfüggő

1. feladat

• Kommunikációs egységek

- UART ~ aszinkron (RS232, RS422)
- USART ~ szinkron (SPI, I²C)
- (CAN, FlexRay, USB)

• ADC

- belső periféria
- több bemenet, de MULTIPLEXELT!
- nem merevtechnikai célialak

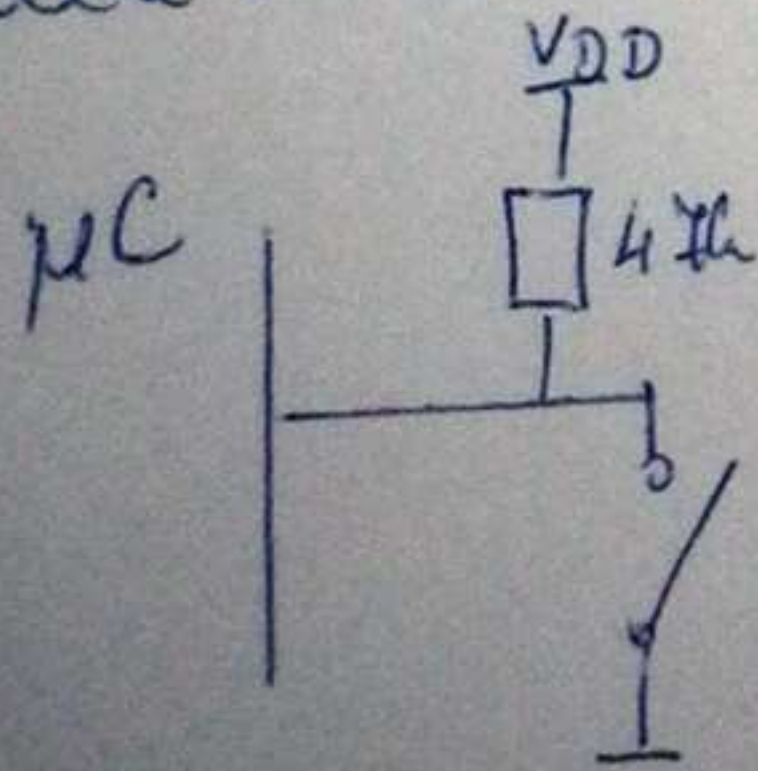
10-12 bites	20-24 bites
Szubszcessziu Aproximacio	Dual Slope

• GPIO: General Purpose IO
 általában célú ki és bemenet

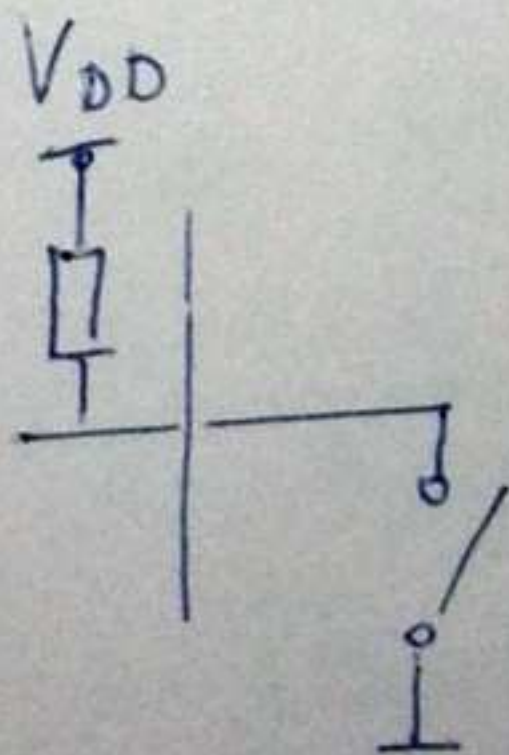
• Interrupt

Orthogonalis: minden egyes művelet minden egyes regiszterrel elvégezhető

Weak Pull Up



WPU
 ~~~~~>



5  
 3. elle

Jelfeldolgozó  
processzorok  
(DSP)

1. Jelfeldolgozási feladatok

- szűrés (zajelnyomás, információ kibelese a zajtól)

- FIR: finite impulse response

- IIR infinite - - -

↳ DSP: FIR

- adaptív szűrés (a bejövő jelhez adaptáljuk a szűrőket)

- transzformációk (DFT ~ diszkrét Fourier)

FFT ~ gyors DFT → 2 egész számú hatványa

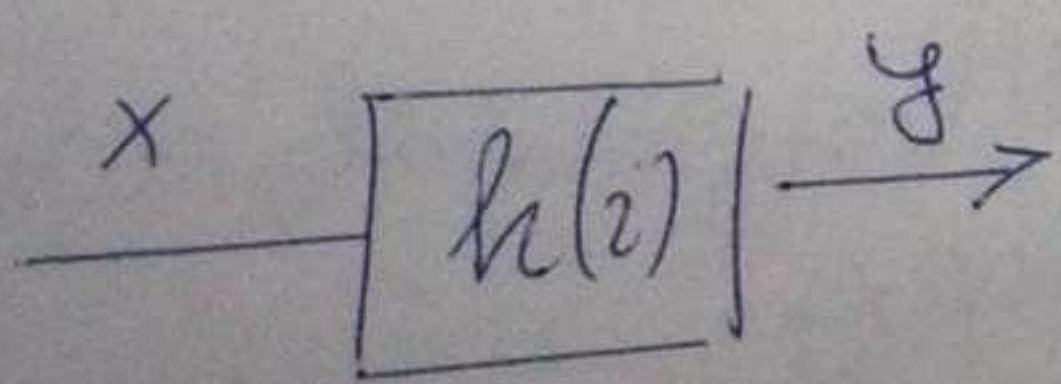
DCT ~ diszkrét cosinus

- decimálás, interpolálás

- moduláció, demoduláció

- jelgenerálás

2. FIR szűrés : Finite Impulse Response



$$y_n = \sum_{k=0}^{N-1} h_k x_{n-k} \quad / \text{diszkrét konvolúció} /$$

- szorzatok összege

- ciklus gyors szerkezete

- ciklusos puffer támogatás
- gyors műveletvégzés
- nagy pontosság

## DSP művelet

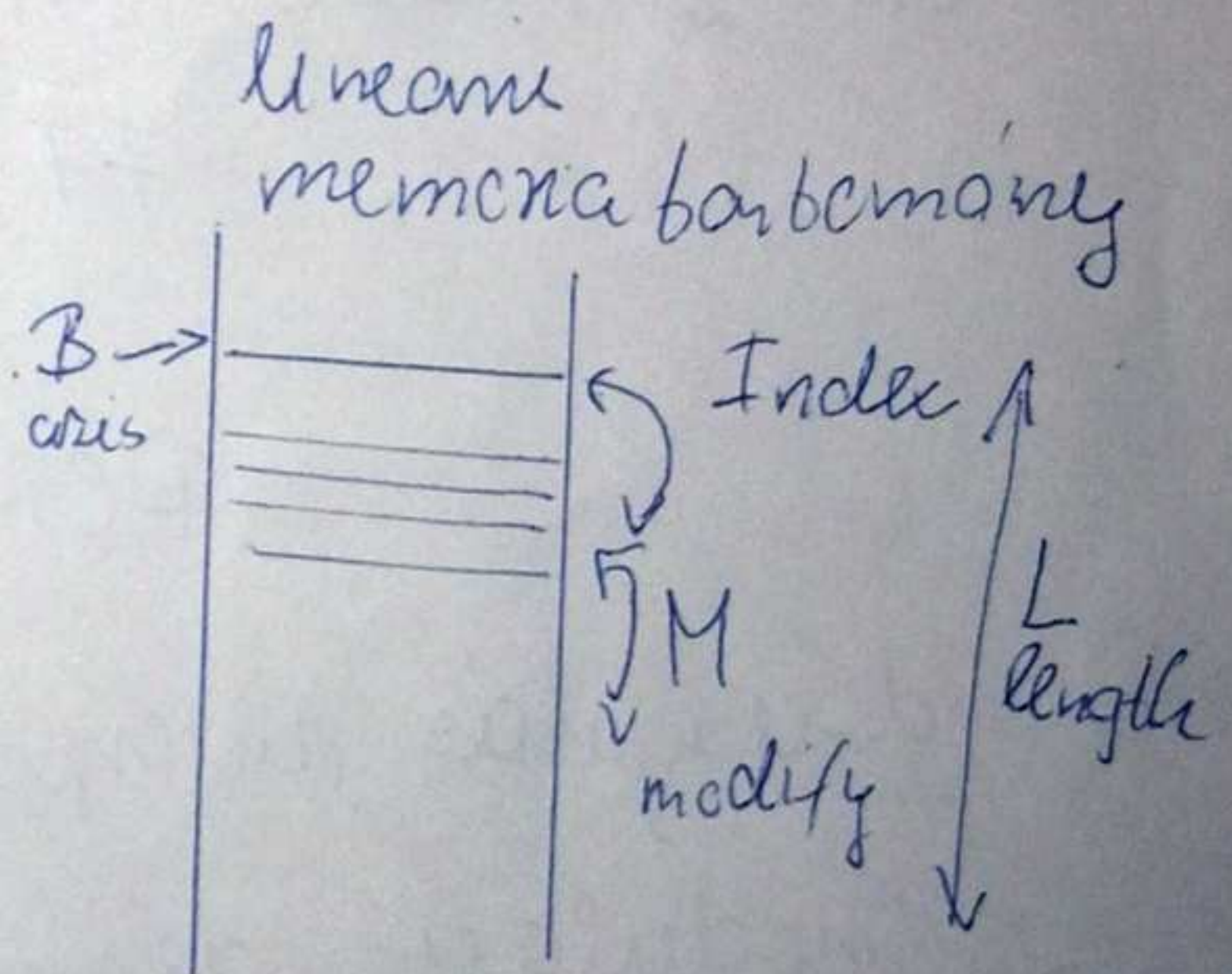
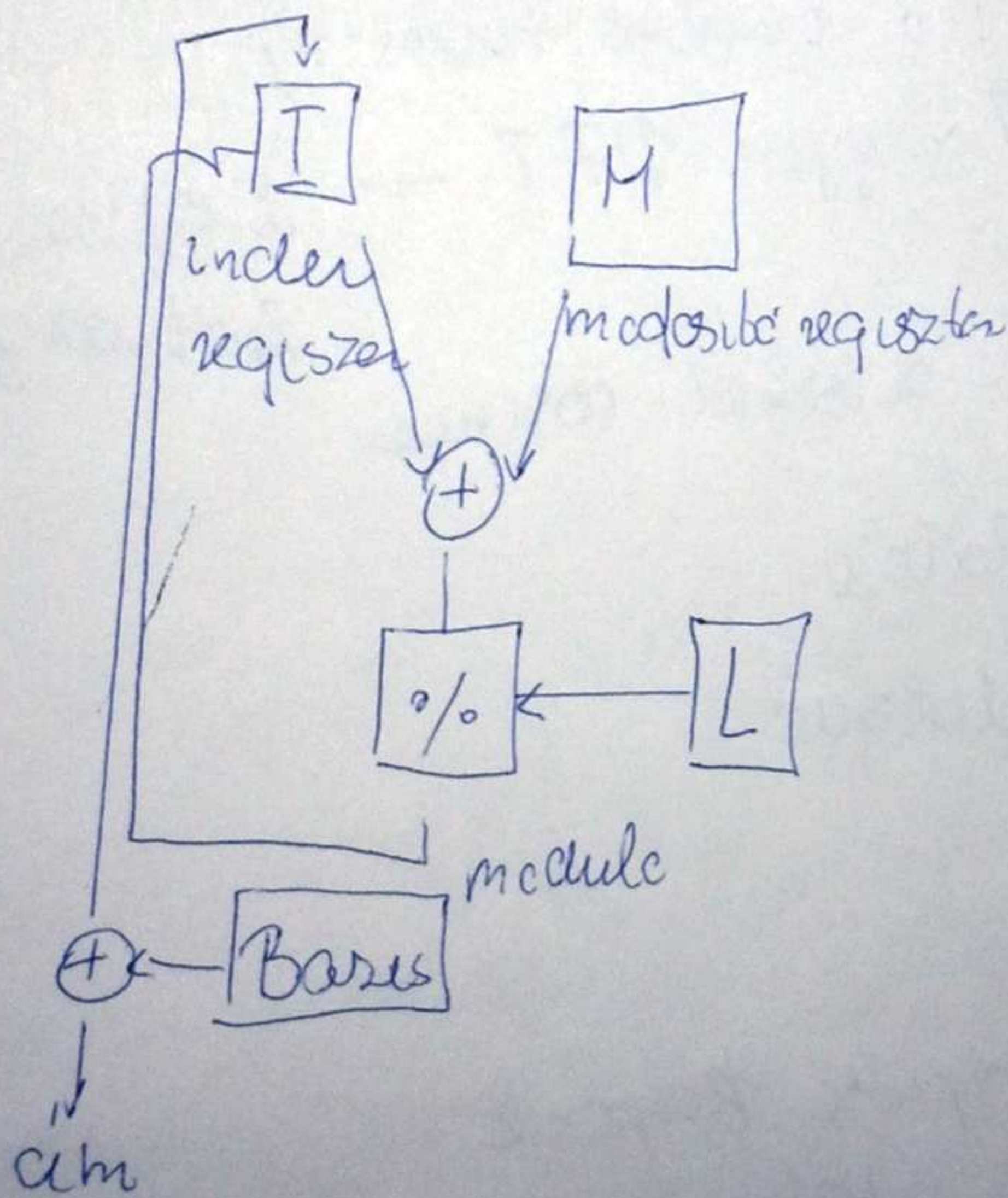
- MAC művelet: Multiply and Accumulate

$$MR = MR + M \times O * M \vee O (SS)$$

összeosztott két regiszter      signed signed előjeles

- hardver támogatás ciklusszervezés

- független címáritmétele



ciklusos puffer  
 létrehozható egy  
 független címáritmétele  
 vel

/DSP NEM lebegőpontos/  
 gyorslag

M: kinyomással végrehajtott  
 modify

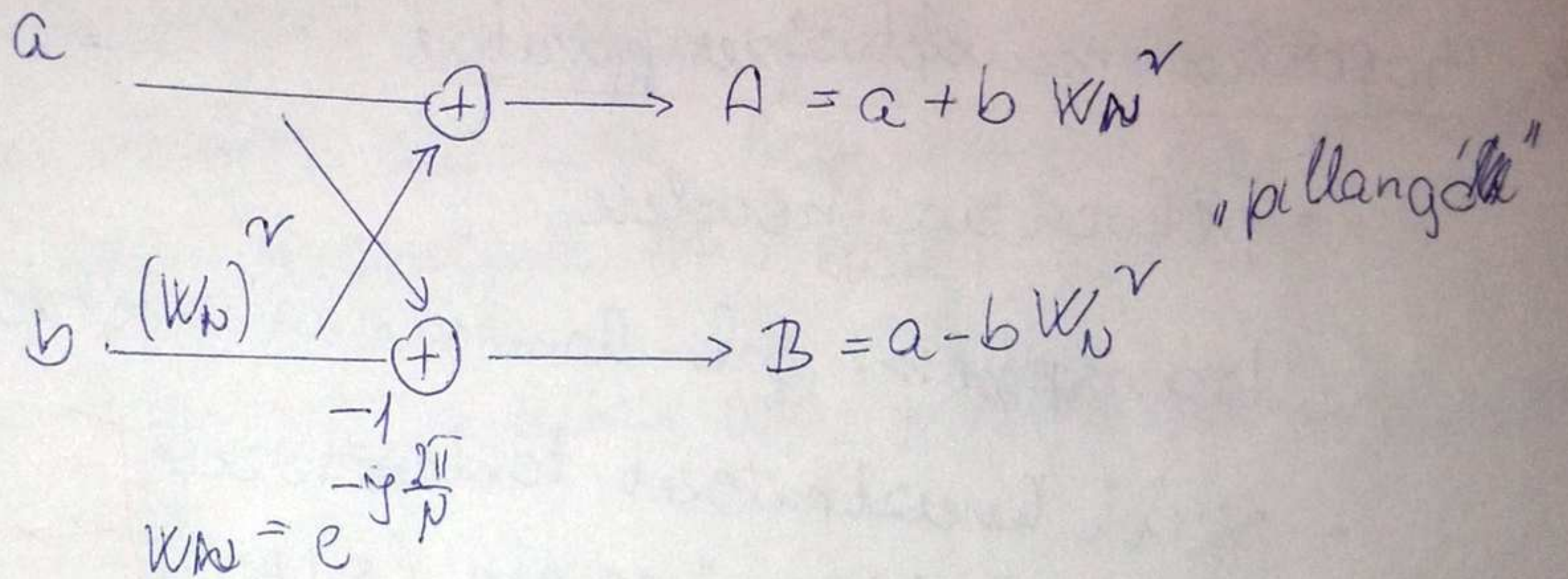
2014.  
 03 10



• Barrel shifter / jobbra, balra shiftelekben  
ha kell /

• FFT

• DFT: 
$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} ki}$$



|       |    |
|-------|----|
| $x_0$ | 00 |
| $x_1$ | 01 |
| $x_2$ | 10 |
| $x_3$ | 11 |

|       |    |
|-------|----|
| $X_0$ | 00 |
| $X_2$ | 10 |
| $X_1$ | 01 |
| $X_3$ | 11 |

$$W_N^r = e^{-j \frac{2\pi}{N} r} = \cos\left(\frac{2\pi}{N} r\right) - j \sin\left(\frac{2\pi}{N} r\right)$$

- gyors adatmozgatás a támogatása DMA-val
- típusok: Harvard architektúra

### 3, SIMD. Single Instruction Multiply Data

- Műveletvégző többszerezése
- Regiszterek szélesebbek
- Szűkített hagyományos DSP architektúra

### 4, Processzor műveletvégzés gyorsítása

- frekvencia növelése
- transzmitter: sok kommunikáció feldolgozó egység
- szűk keresztmetszet többszerezése  
    műveletvégző egység (SIMD) / belső blokk ismétlése /
  - javított DSP
  - VLIV
  - szuperskalari
- pipeline: időben párhuzamosítás, önálló hardverrel

### ↳ VLIV (Very Long Instruction Word)

- sok műveletvégző egység: megvizsgáljuk, hogy hol van feladat és hol van szabad műveletvégző egység
- párhuzamosan elvégzhető utasítások azonosítása  
    ↳ műveletvégző egységekre allokálás
- fordítási időben → compile time scheduling
- kis RISC utasítások → hosszú szó 128-256 bit

Szuperescálár architektúra: futási időben feltérhívesülő  
parhuzamosíthatóság

↳ non-time scheduling

- cache / adat és vagy utasítás cache /
- branch prediction: ugró utasítás predikció  
megpróbáljuk eldönteni hogy melyik ág értelemszerű  
leír, azt cacheljük be / előre /

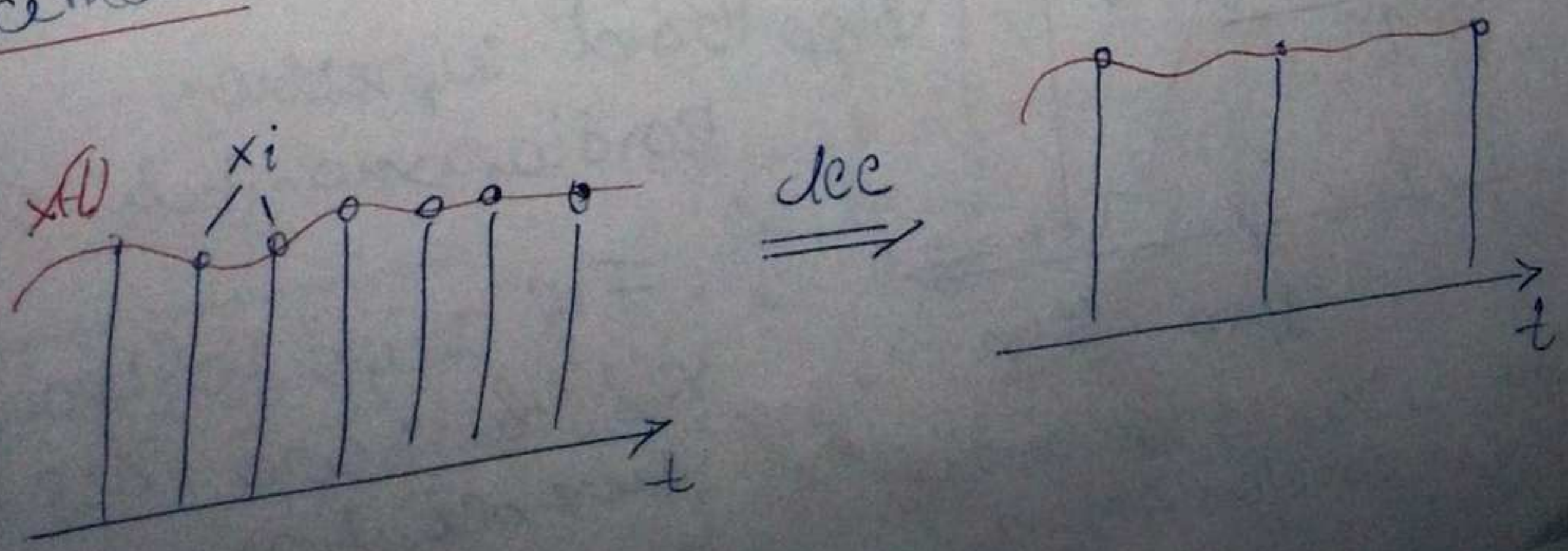
↳ de elronbyál a futási idő pontoságát, kiszámítha-  
tóságot.

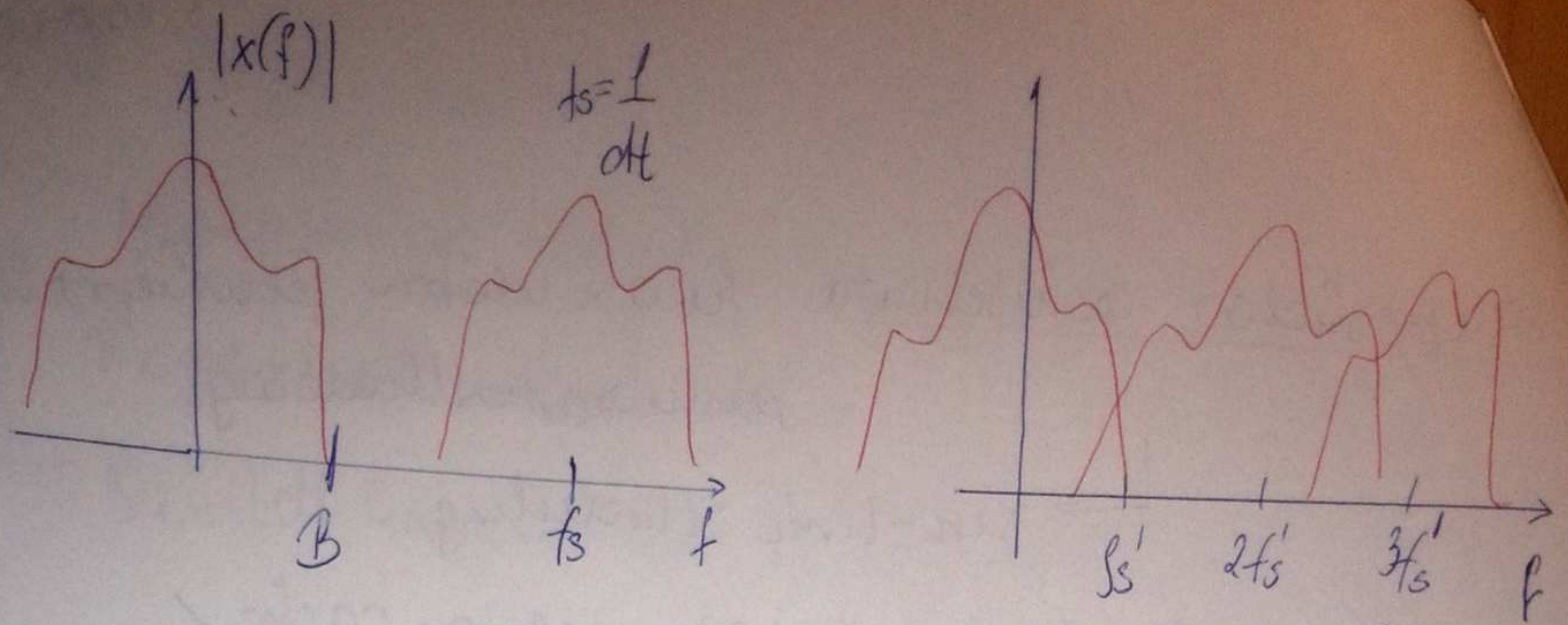
5) Decimálás : mentaveleli frekvencia csökkentése  
 Interpolálás : minbiveleli frekvencia növelése

pl:  
 CD 44,1 kHz  
 DAT 48,4 kHz

Inter:  $\times 160 \uparrow$   
 ↳ Dec:  $\times 147 \downarrow$

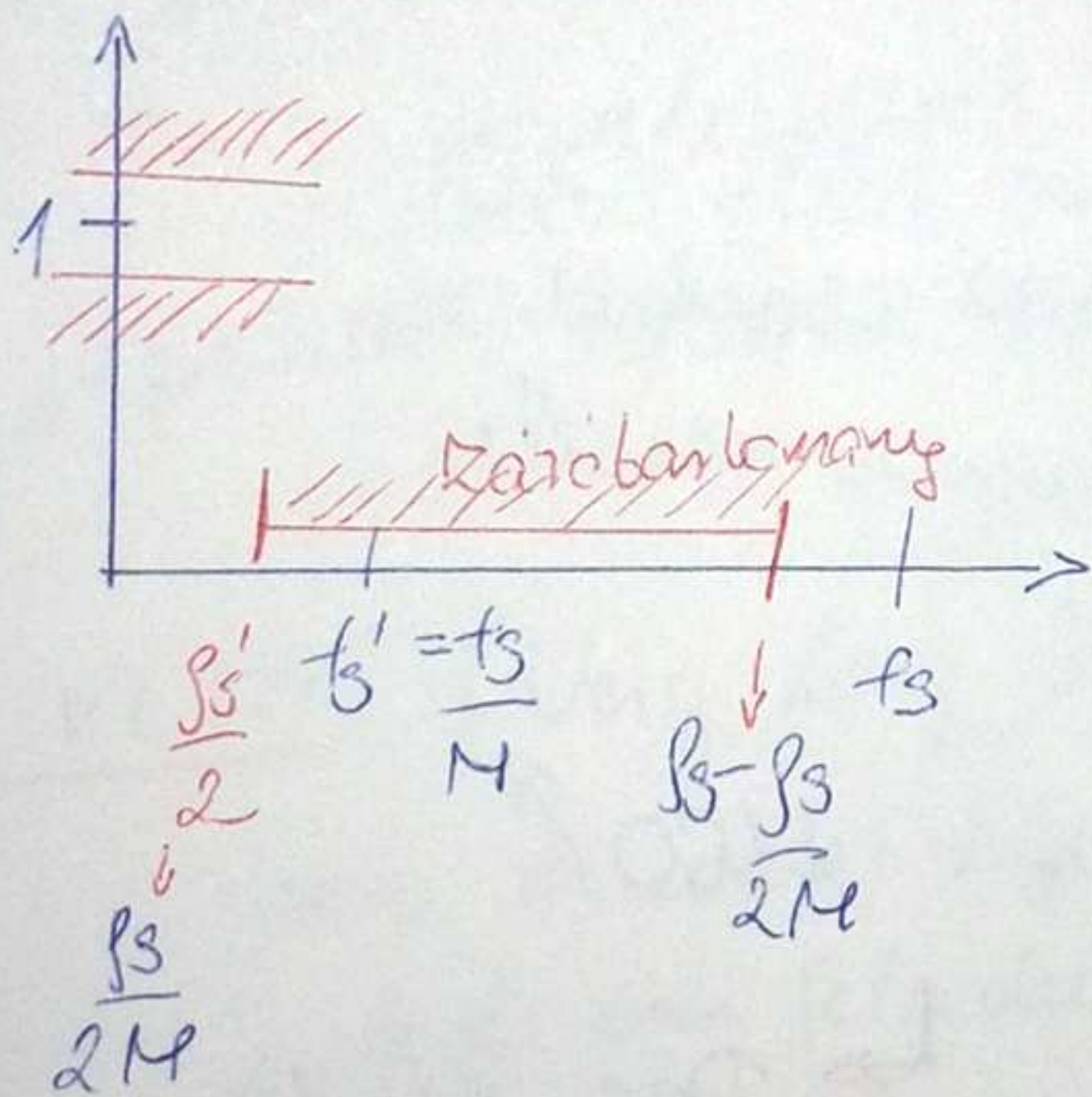
a, Decimálás





diszkrét  $\rightarrow$  periodikus  
 periodikus  $\rightarrow$  diszkrét

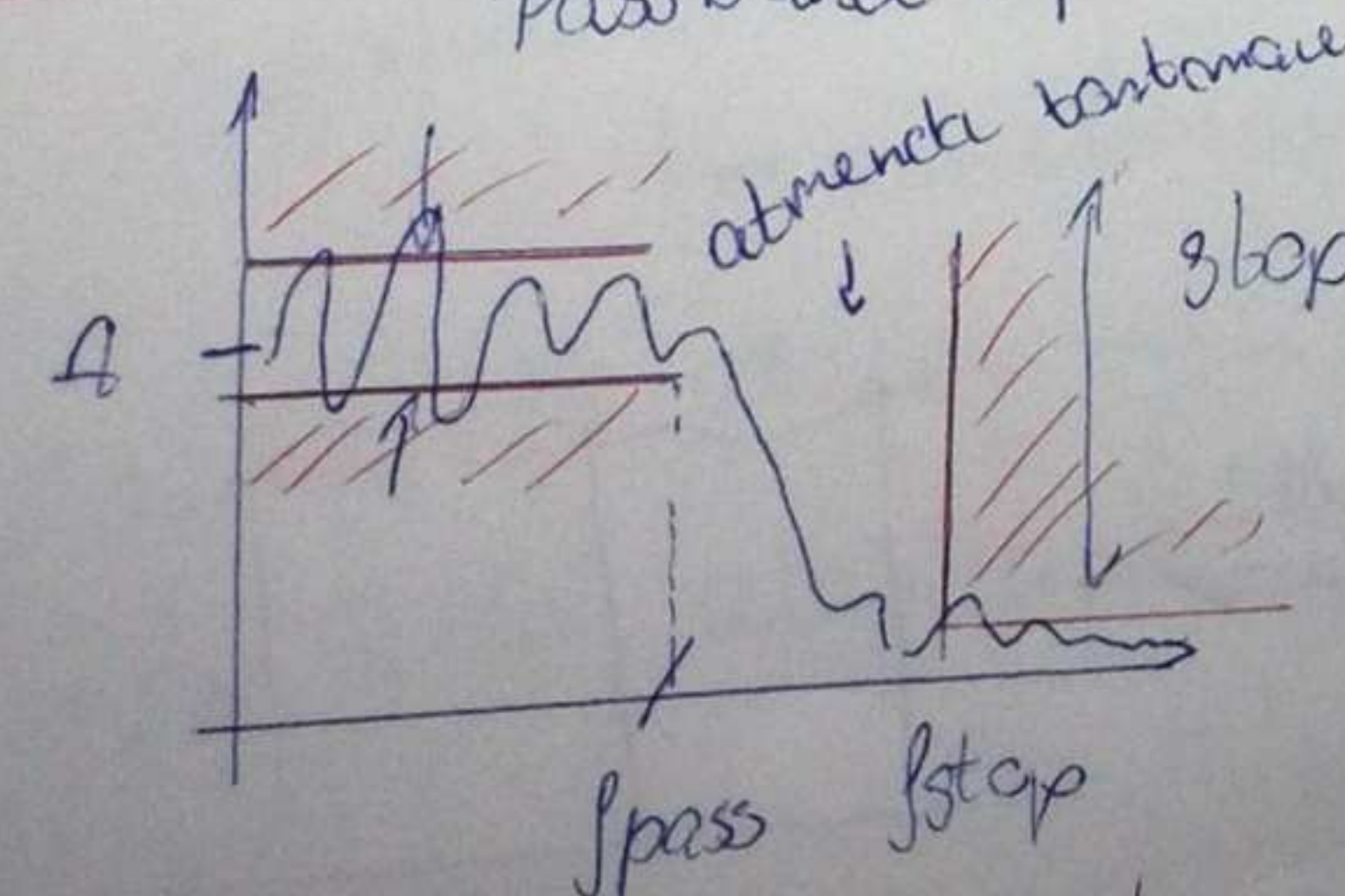
Decimálás: aluláteresztő szűrés, majd mintavételezés eldobása / állapotlagos szűrő / A/A



$f_s' = \frac{f_s}{M}$ : régi mintavételezési frekvencia  
 M-ed rész

$\frac{f_s}{2M}$ : záróbanda kezdet

Szűrőtervezés: Passband ripple: átmeneti tartománybeli ingadozás



stop band suppression: záróbanda tartománybeli elnyomás

FIR szűrő felépítése  
 128 fdu szűrő: 128 dem  
 szerepelhet az impulzusválaszban

$f_{pass}$ : átmeneti tartomány  
 $f_{stop}$ : záróbanda tartomány  $f_s/2M$

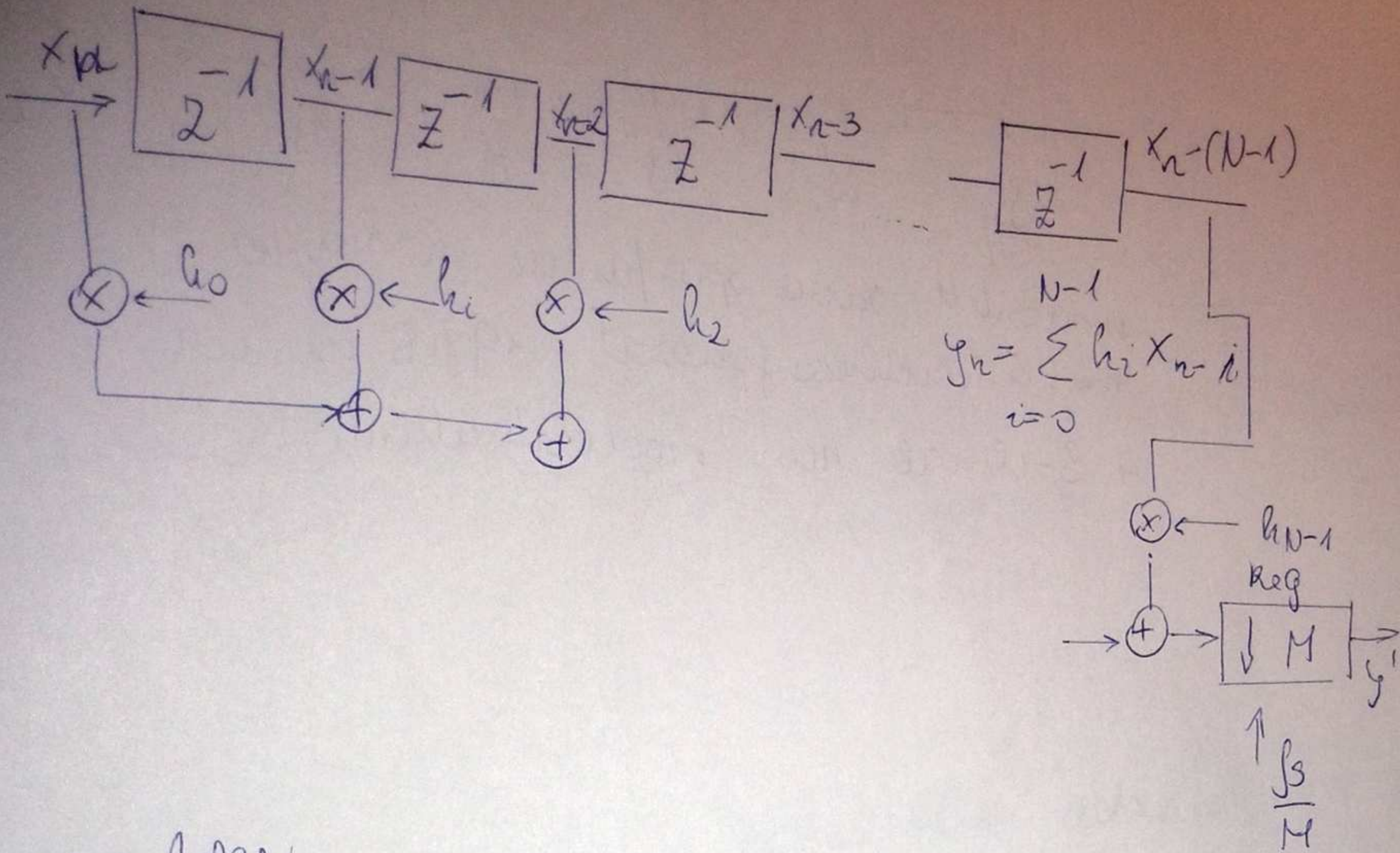
összeadásból károsodásnál  
 még kisebb jelenik meg

USB csatlakozás

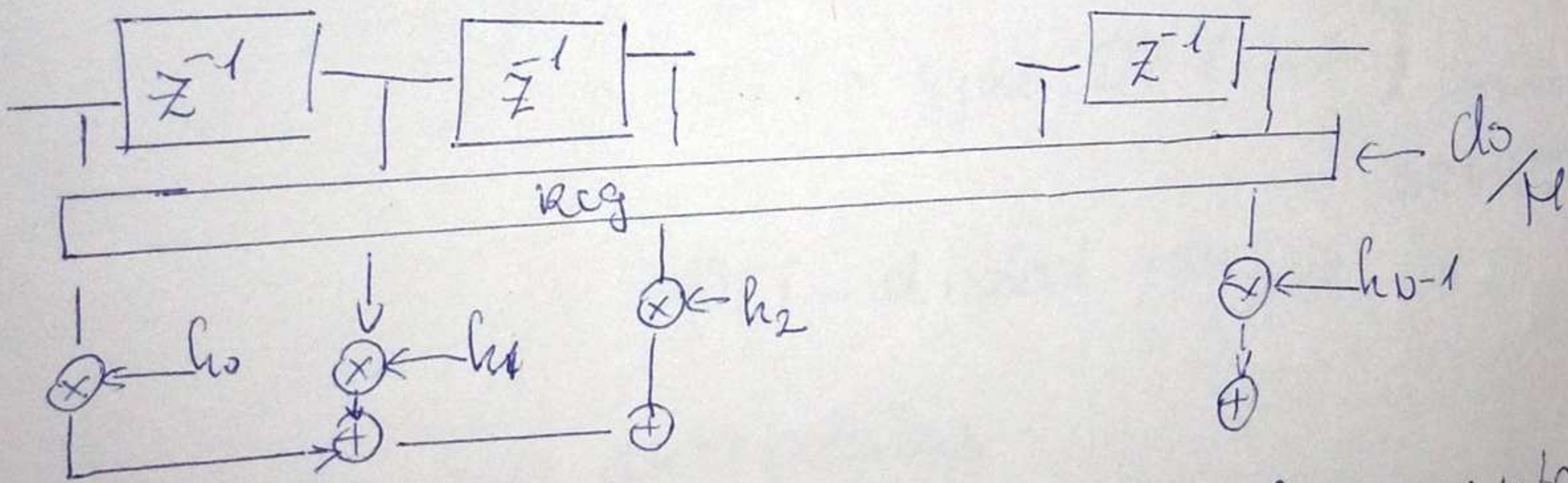
goal for

Szűrő: kényesítés

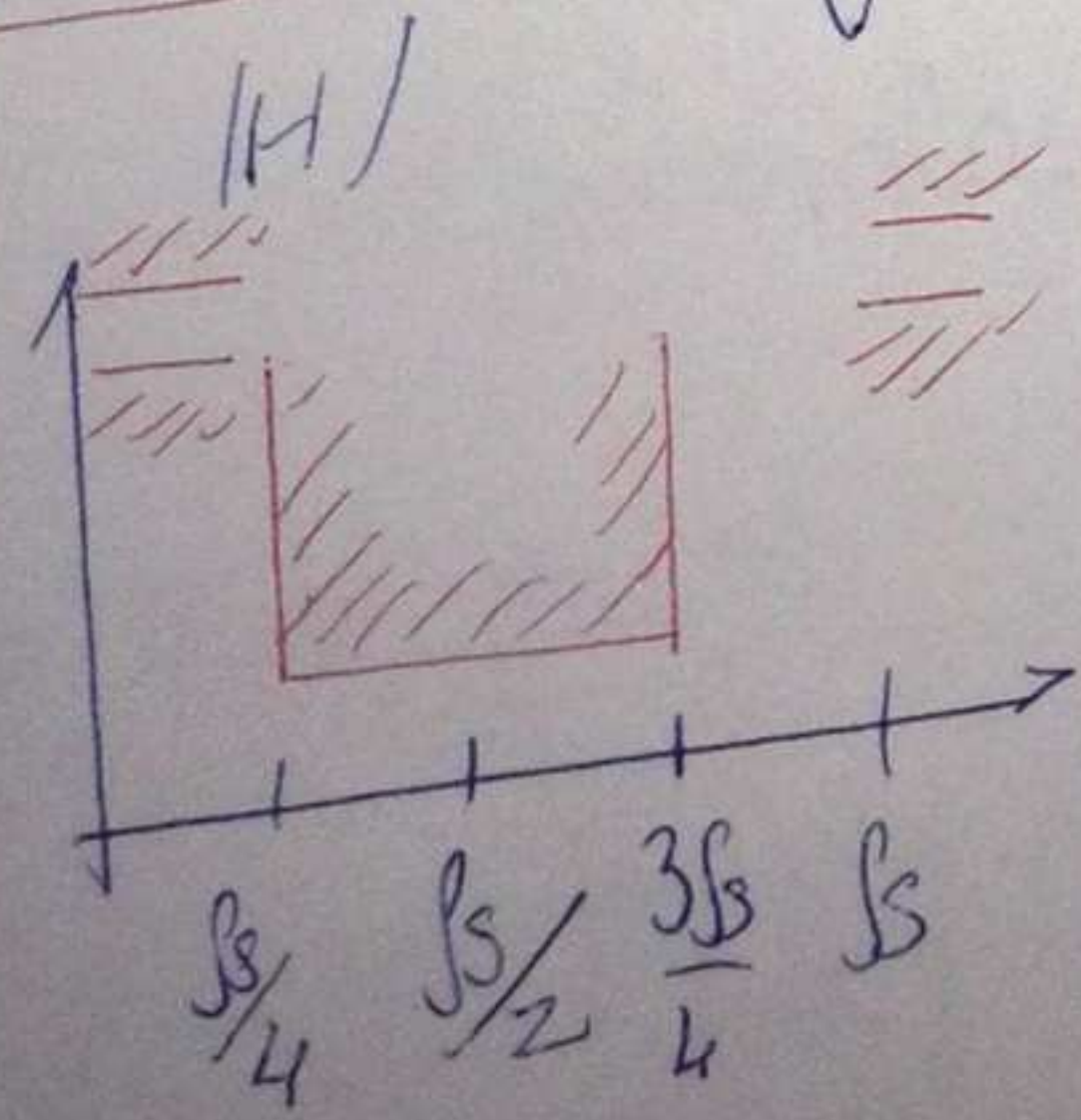
4. lépés



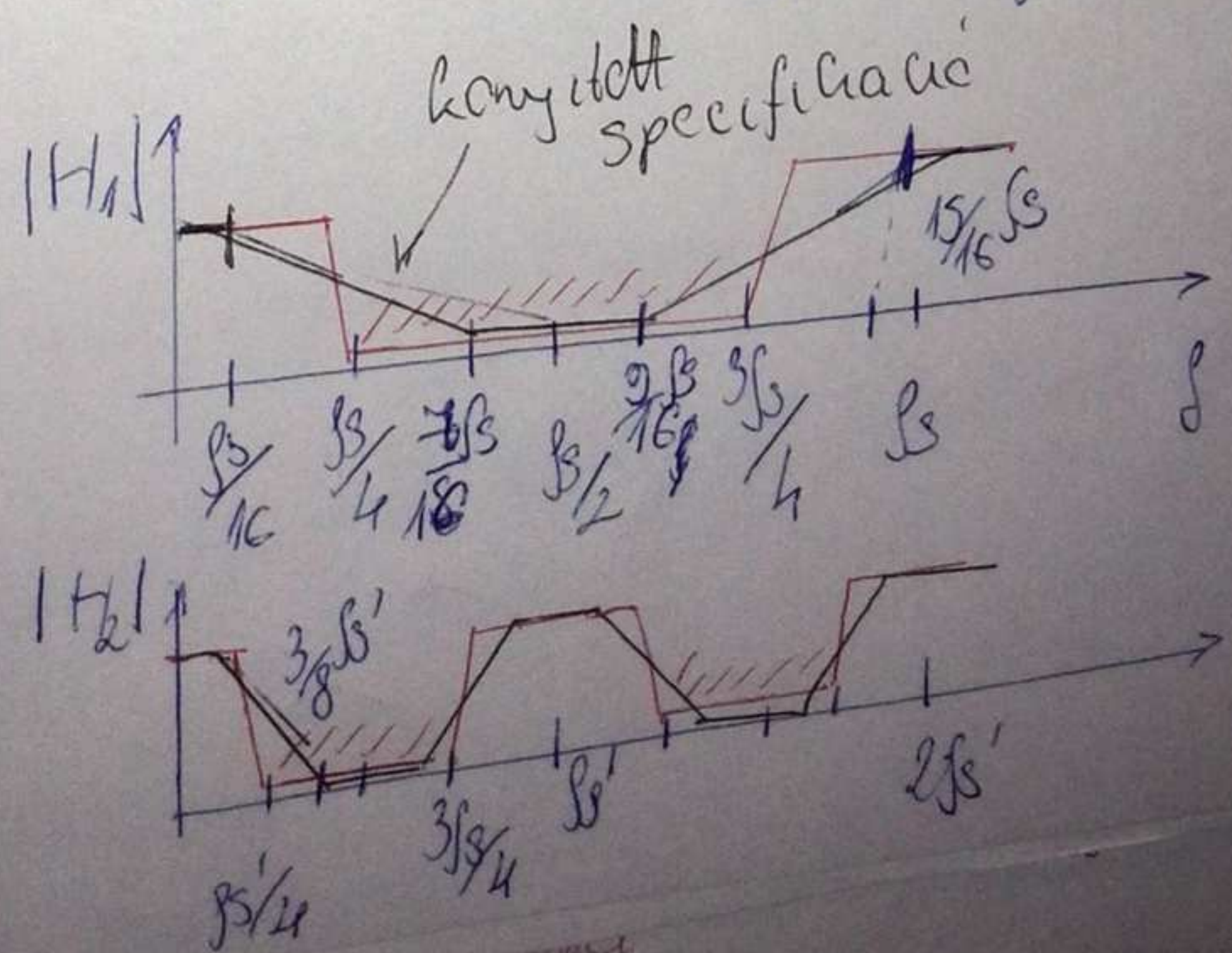
Megoldás:



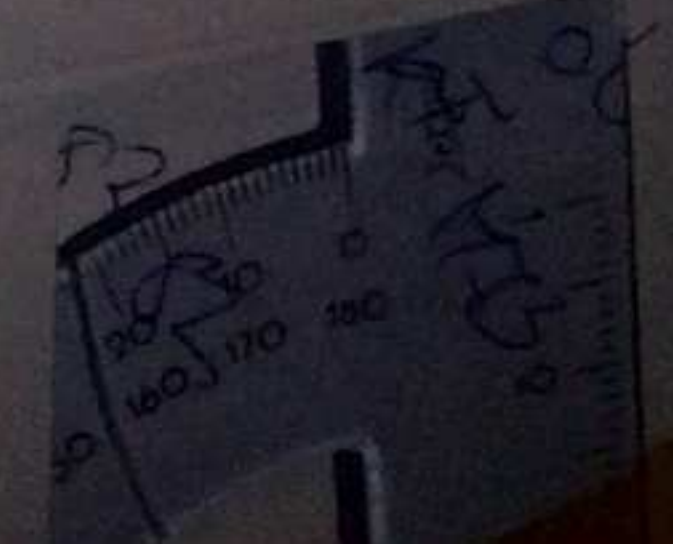
6. Felcsőszűrő:

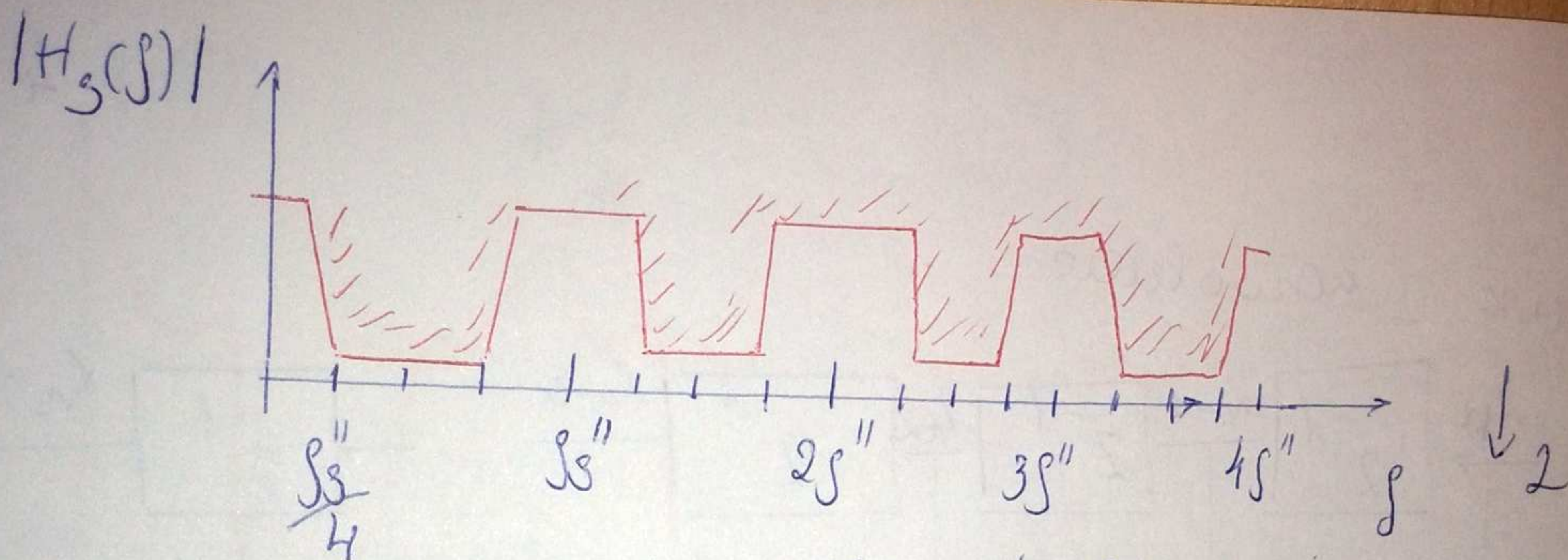


Nyolcadlószűrő: 3 egymás utáni felcső  $\downarrow 2 \downarrow 2 \downarrow 2$



USB csatlakozás





modosított szűrés specifikáció, könnyűkes  
 mest a levelező feloszt egyrészt kúszón  
 A 3-uknál nem módosíthatunka senmit