



Predmet:

Elektronika v avtomatiki

Izvajalec:

izr. prof. dr. Boštjan Murovec

Vrsta gradiva:

Zapiski predavanj

Avtor:

Katja Mihalič

Študijsko leto:

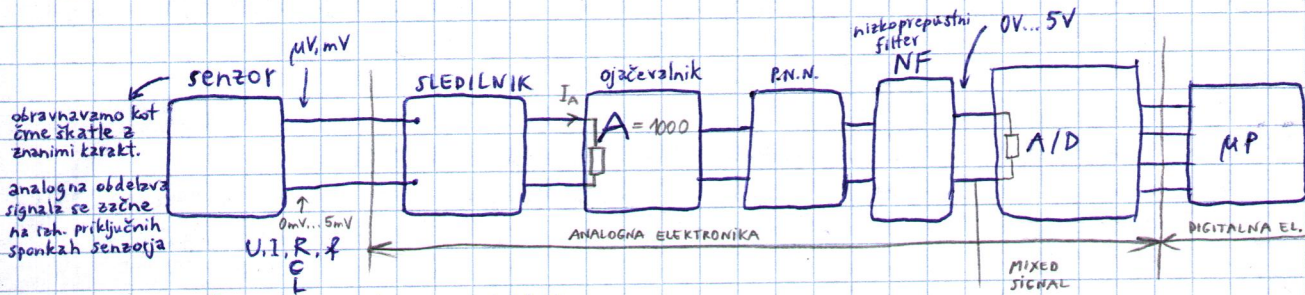
2015/16



ELEKTRONIKA V AVTOMATIKI

Boštjan Murovec

vaje: M4



neelektrične veličine pretvarja v električne - senzor

↳ temp, tlak, vlaga, navor

↳ napetost, tok, upornost, kapac., ind., impedanca, frekvenca

mikroprocesor sprejema digitalne številke

A/D pretvornik - črna škatla, ki na podlagi vhodne analogne veličine zgradi digitalno

ojačevalnik (označujemo z A)
0mV... 5mV, ojačenje 1000

A/D pretvornik zajema vh. napetosti od 0V-5V, senzor pa nam daje na izhodu območje od 0mV-5mV.

↳ Ideja je, da območje, ki ga senzor generira, čim bolj nabijemo v območje, ki ga A/D zahteva.

signali tudi energijsko revni (poleg velikosti) ko prikl. ojačevalnik, bi se napetost sesedla (večje za senzor predstavlja breme)

3,782mV → 3,217mV

(majhne senzorjeve signale smo pripeljali do zadosti velikih vrednosti) da so primerne za A/D

sledilnik - na svojih izhodnih sponkah regenerira to napetost na vhodnih sponkah, s tem da vhod čim bolj? obremeni *

če želimo vходу ojačevalnika vsiljevati neko napetost, se bo ta vhod obnašal kot breme (ima vh. notr. upornost) in zato teče nek tok v vходу ojačevalnika; če sledilnika ne bi bilo, bi ta tok vlekl iz senzorja ven → to poveruča sesedanje na senzorju koliko je napet. vir obremenjen, merimo s tem, kakšen bremenski tok dovaja večji tok → bolj se napetost seseda

signali, ki jih senzori dajejo so zelo majhni (μV, mV)

A/D pretv. pa imajo velika območja

0V	...	0000	0000
5V	...	1111	1111
2,5V	...	1000	0000

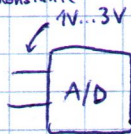
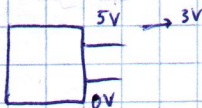
Kaj dobim na izhodu? →

lepit - kaj je razl, če sledilnik nadomestim z navadno žico?

prilagajanje napetostnih nivojev

Kombinacija ojačanja in pristrtevanja neke konstante

škatla generira napetosti od 0V-5V



ni zadost samo ojačevalnik (ne bomo mogli vh. območje zmagirat v teh.) ⇒ rabimo

A/D, ki sprejema napetosti v območju od 1V-3V

napetostno prilagajanje

škatla, ki 0V preslika v 1V in 5V v 3V... lin. interpolacija 2,5V → 2V

kjerkoli, kjer se pojavlja večje sesedanje, kot je dopustno → X

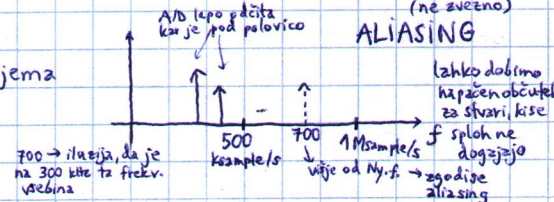
kavbojci

3 kolesa se vrtijo nazaj generirajo se le določeno št. slik/s (ne zvezeno)

filter - za odpravljanje šuma

(koristne informacije in šum sestavljajo signal), noben A/D pretvornik ne zajema signala kontinuirano (kavbojci), ampak na nek digitalni clock (sample/s)

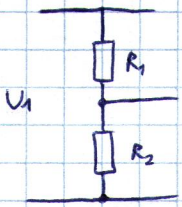
Da se ne bi dogajal aliasing, sfiltriramo z niekoprepustnimi filtri tako, da signal zanesljivo nima nobene frekv. vsebine nad Nyquistovo frekvenco.



če se kolo zavrti več kot polovico naprej znotraj enega stratoskopskega očitka (= če v signalu ejudi nekaj hitreje kot diktira polovica vrtočenja, se zamira v nižjo frekvenco)

* Naloga sledilnika je ta, da je sposoben regenerirati to napetost na svojih sponkah, pri čemer ta tok, ki teče v naslednjo stopnjo, ne vleče iz senzorja ven. Če bo sledilnik ustrezno izbran, bo sesedanje manjše kot brez njega.

cilj napetostnega delilnika:



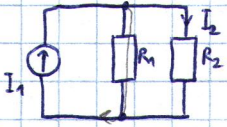
U_1 pripeljemo na delilnik, U_2 dobimo (izhodna)

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U_1}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

koncept:

v števcu je izhodni upor, v imenovalcu vsota na podlagi toka smo prišli do formule

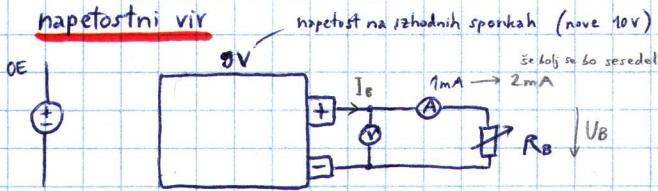
tokovni delilnik



$$I_2 = I_1 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

vzbujamo s tokom; vhodni tok priklopimo, izhodnega dobimo izh. tok je napram vh. manjši (ker en del vh. toka izgubimo tam, kjer teče čez R_1) v števcu je preostali upor (ne izhodni), večji kot je R_1 , manj tok bo šlo čez

napetostni vir



idealni voltmetr (∞ upornost), ne bremeni vira \rightarrow z njim bi lahko izmerili 9V

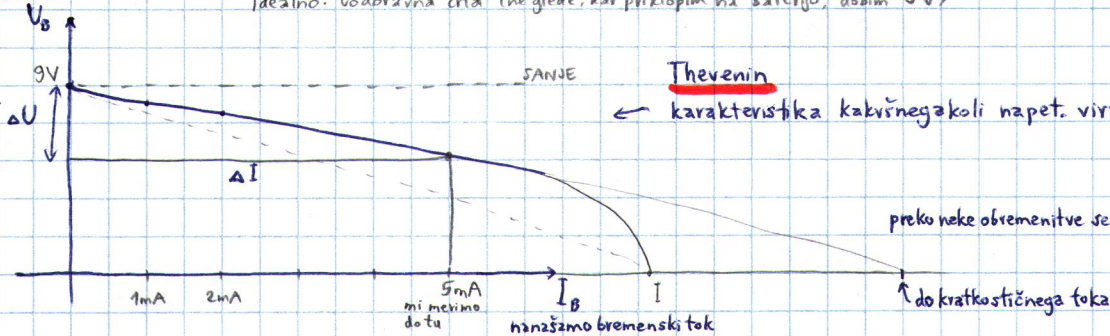
V bo pokazal manj, ko priklj. breme (kazal bo manj) napet. vir se bo sesedel ob obremenitvi

sesedanje? odvisno od aplikacije

napetostni viri: napajalnik, (senzori), baterija, avtom. akumulatori... vse v viru so viri, sklop priklučimo na prejšnjega (vse se seseda)

napetost, ki jo dejansko dobimo na bremenu

idealno: vodoravna črta (ne glede, kaj priklopim na baterijo, dobim 9V)



Thevenin karakteristika kakršnegakoli napet. vira

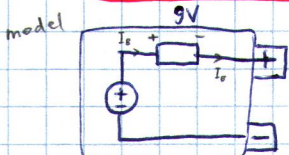
preko neke obremenitve se začne krivulja ukrivljati ali crkne

viru priredimo

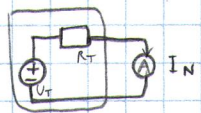
Theveninovo nadomestno vezje (iz idealnega vira in neke upornosti)

Th. napetost vira določimo pri odprtih sponkah.

Kako določimo upor? OE: zveži baterijo v kratek stik (= vežemo idealni A), izmeriš tok (kratkostični), vsa Th. nap. na Th. uporu



če ni obremenitve, ni padca tok ne teče



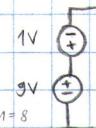
$$I_N = \frac{U_T}{R_T}$$

$$R_T = \frac{U_T}{I_N}$$

varovalka počí, akumulator raznese 9-1=8

tako veže na izh. sponkah izkazuje karakteristiko, ki smo jo izmerili

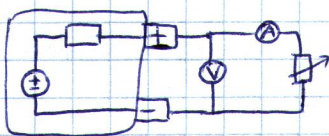
čim imamo tok \rightarrow padec \rightarrow napetostna izhodna se bo zmanjšala (tok teče v pozitivno polarizacijo! sponko upora)



zapovedno vežemo

Kako določiti Th. nap. vira? Pri odprtih sponkah. (dobimo jo, dokler nimamo bremena) \rightarrow Th. nap. se prestika na sponke.

možnost spreminjat breme, da dobimo kakšno točko



$$R_T = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

glej gornji graf

Kaj torej navedimo? (za notr. upornost)

Pogledamo karakteristiko. Imeti možnost spreminjati breme, da dobimo točke.

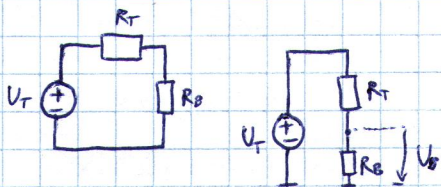
Pri določeni spr. toka ΔI pogledamo kakšen padec napetosti na sponkah smo dobili (na nekem omejenem področju, kjer lahko normalno uporabljamo vir)

Kaj dela baterija? Ustvarja potencialno razliko.

baterija mora poskrbeti, da je v tej točki za 1.5V višji potencial kot v tej točki akumulator

2x večji tok \rightarrow 2x večji padec napetosti na uporu

poskuša senzorju ustvariti iluzijo, da je priklopljen na odprte sponke $R_v \gg R_s$



$$U_B = U_T \cdot \left(\frac{R_B}{R_B + R_T} \right)$$

faktor, ki pove, kak sanje odstopajo od realnosti zanemarljivo nezanemarljivo

če je $R_B \gg R_T$ (lahko R_T zanemarim) $U_B \approx U_T$ (zelo blizu Th. nap. vira)

\Rightarrow teoretični temelji, zakaj uporabljamo sledilnike za senzore

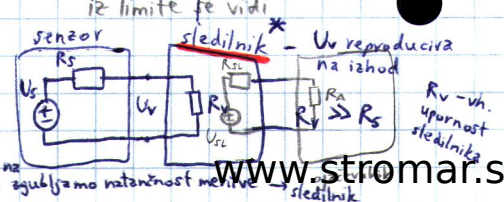
Th. notr. upornost skupaj z bremensko

tvori napetostni delilnik (brem. nap. je vedno manjša od Th.)

KOLOKVIJ: remišli si neel. primer

(BMW z žaklji cementa)

* sledilnik se tudi seseda \rightarrow mu priredimo nov Th. vir U_{sc} , R_{sc} , gjačevalnik ima vh. upornost R_v , se spet tvori parazitni delilnik...



1. LABORATORIJSKA VAJA

Kako upor pravilno obniti? Kolobarček tanjši, bližje roba → upor daš na levo (zlata, srebrna) → na desno

$1000 \Omega = 1 k\Omega$

zadnji kolobar - št. 2 → napišemo še 2 ničli

Koliko je to res? Ohmmeter, 4 nivoji težavnosti:

1) Noben element nima takih parametrov, kot trdi ohmje. Nominalne vrednosti niso fiksne in niso enake dejanski vrednosti parametrov. Toleranco podaja zadnji kolobar (zlata... ±5%)

2) Elementi med sabo odstopajo (navidez enaki, a je vsaka druga črta) in se med seboj razlikujejo. Ne odstopajo vsi enako od nominalne vrednosti.

47000Ω

3) Vplivne veličine (temperatura...), parametri se spreminjajo z vplivnimi veličinami. Zunanje dejavnike lahko merimo in ocenimo vpliv na element.

Ko zun. vpliv preneha, naj bi se element vrnil v prvotno stanje (REVERZIBILNOST) za več odstopa

$560 k\Omega$, toleranca ±5% → ±28 kΩ

pad, potem nazaj naraste
fen - upornost je upadla
upori - polprevodniški (negat. temp. koeficient)
metalni (modro/zeleno ohmje) - (pozit. temp. koef.)

4) Elementom se s staranjem spreminjajo parametri. (V tabeli podani podatki za staranje.) Toleranca velja za nov element. Dolgotrajno lezenje. Merjenje zunanjih vplivov je težko ali nemogoče. Element se ne vrača v prvotno stanje (IREVERZIBILNOST).

vlaga prodra notri, kemijsko

na kondenzatorjih vedno v pF (včasih ne piše enote)

$0,015 \mu F = 15 nF$

fen - C narašča, ko prenehamo se znižuje nazaj

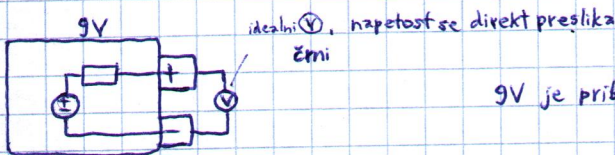
MF/K

↳ pomeni 10% toleranca

100V - max. 100V je lahko

gleda na uporabo (mobitel: semafor)
isti elementi imajo zelo različne cene
vgradimo vse elemente kvalitetne

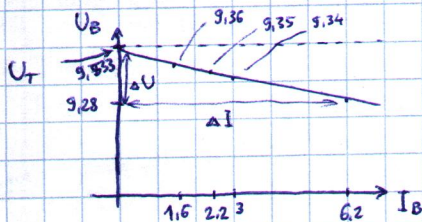
Zmerili bomo Theveninove vire. Bateriji priredimo Th. vezje.



9V je približna ...
9,73
9,70
9,54

modri V - meri na 3 decimalke natančno
črni V - 4

Th. napet. - stanje brez obremenitve
če bi bila baterija sanjska, se ne bi spr. napetost



spremenljiv upor

$R_T = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{9,533 - 9,28}{6,2 \text{ mA}} = 40,8 \Omega$

9,35

- kot upor (daj v položaj najv. upornosti)
- kot potenciometer
ne it do kratkega stika!
(naj se sesede za pribl. 1V)

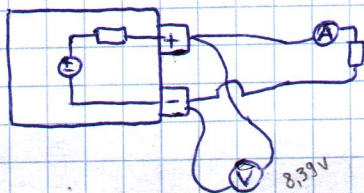
Laboratorijski usmernik

nastavimo od 5V-10V

3 sponke → uporabljamo le + in - (ne mase!)

Določi Th. vezje!

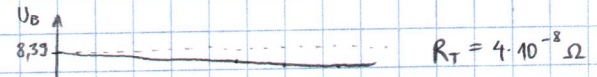
Napajalnik boljši vir kot baterija → zato drugi upor, večji tok, pravilno prikljubi instrumente!



(meri max. do 500 mA)

↓ 100x večji

29 Ω	241 mA	8,374 V
23	301,8	8,372 V
19	361,6	8,370 V
17	394,9	8,368 V



Ka kakšen način je možno doseči, kako usmernik to doseže?

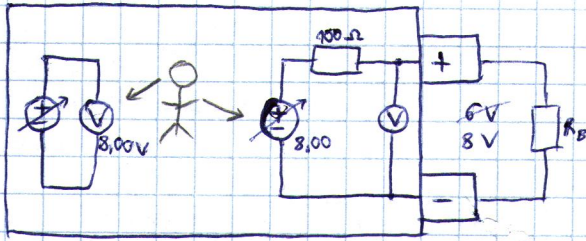
(Z grobo silo.) Regulacijske zanke in negativna povratna zveza.

→ temelj precezijske elektronike

↳ avtom. akumulator

V usmerniku:

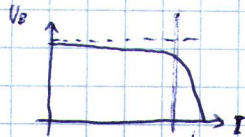
Ⓟ, ki meri dejansko nap. na sponkah referenčni Ⓟ



Priključimo breme, nap. se je sesedla na 6V na šponzi na 10V, da pokrije padec in ustvari na sponkah iluzijo, da generira 8V

nastavi se desnega na 8,00 V

s fem, ko vežamo Th napetost



suvoza karakteristika

Viri mnogokrat izkazujejo tako karakteristiko

Viri lahko ustvarja iluzijo, do neke meje

(tehnološke, principalne meje).

npr. baterija gre le do 15V

Črna škatla - za nas je to zdaj novi vir

↳ Th. vir z upornostjo 1000Ω

vejši tokovi, upori → gremo do kratkega stika

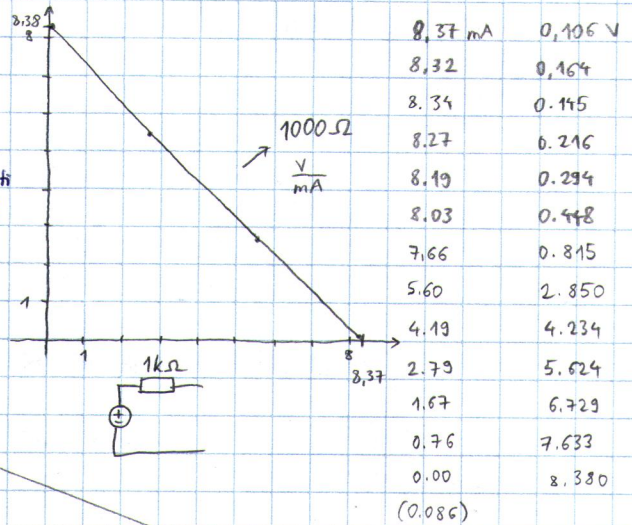
Če gor priklaplamo bremenja, ki imajo bistveno večjo upornost kot Th., bo krmiljeno napetostno.

... manjše... tokovno.

nap. $R_B \gg R_T$

tok. $R_B \ll R_T$

z lastnim tokom ne vpliva na vrednost napetosti in bo približno enaka Theveninovi



10 MΩ nap. se % malo spreminja, tok zelo

1 MΩ ⇒ napetostno krmiljenje

100 kΩ

10 kΩ

Odčitavanje modrih in zelenih uporov

en določa toler., en vrednost, upornosti

srebrn - za 2 decimalki nazaj, zlata 1

rd rd srebrna → MULTIPLIEN
0,22 1,00

prvi kolobar pove (če sta srebrn in zlat)

Upor mora biti tokovno krmiljen (tok bo v bližini Nort. vira → tok v kratkem stiku, napetost se procentualno zelo spreminja)

0,22 Ω	8,45 mA	0,0319 V
1,00 Ω	8,45 mA	0,0383 V
4,70 Ω	8,41 mA	0,069 V
10,00 Ω	8,37 mA	0,119 V

modri in zeleni so bistveno manjši

škatli B1, B2 - izmerimo Th. (do kratkega stika)

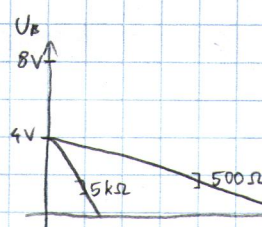
BA: 0,65 mA	3,869 V	B2: 0,39 mA	2,276 V
0,90	3,751	0,43	2,049
1,17	3,615	0,51	1,654
1,79	3,310	0,60	1,250
2,51	2,950	0,70	0,726
0,890	0,045	0,84	0,005

naklon 500 Ω

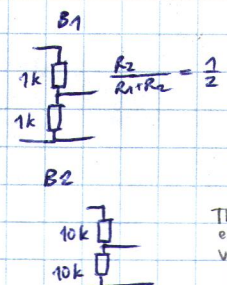
5 k Ω

1.2

pol napetosti kot pri A



pomembno, kako velike so abs. vred. (ne le razmerje)

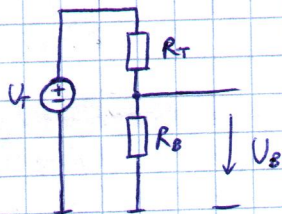


Th. uporn. enaka zap. vezavi

prejšnja skrajnost: breme je napetostno krmiljeno, vir je napetostni, sam z lastno upornostjo ne vpliva na lastno napetost

druga skrajnost: nastopa bremenski upor v enačbi za bremensko napetost (brem. nap. je izrazito odvisna od brem. upornosti), tokovno krmiljeno

ali je breme krmiljeno nap. ali tok., ne določa tip vira
↓
odloča razmerje med Th in bremensko upornostjo



$$U_B = U_T \cdot \frac{R_B}{R_B + R_T}$$

$$R_B \ll R_T$$

$$U_B \approx U_T \cdot \frac{R_B}{R_T}$$

$$U_B \approx U_T$$

$$I_B = \frac{U_B}{R_B} = \frac{U_T}{R_T} \cdot \frac{R_B}{R_B} = \frac{U_T}{R_T} = I_N$$

Nortonov tok vira tok neodvisen od brem. upornosti
tok določa samo vir (parametri vira)

s Th virom lahko dosežemo tokovno in nap. krmiljenje z Nort. -11-

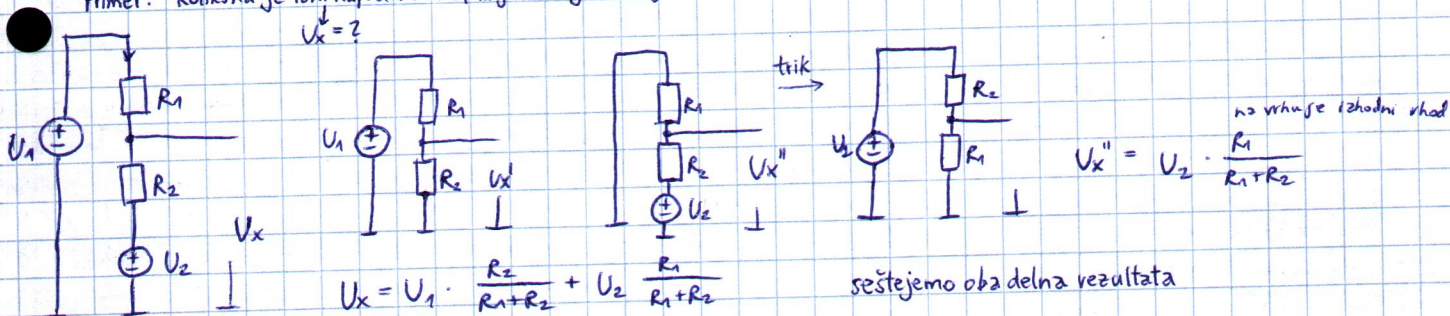
Th ↔ Nort.
Th vir se da spremeniti v Nort.
Nort. in Th vir je model realnega dogajanja

superpozicija (ko imamo večje število virov)

ideja: upoš. posamezni vir naenkrat, ostale sklopimo ~ popolnoma preprečimo veličino, ki jo generira
napetostne vire zamenjamo s kratkim stikom, tok. vire pa z odprtimi sponkami

zanimá nas napetost med vozličema zli tok v neki veji

Primer: kolikšna je izh. nap. delilnika, ki je vzbujan obojestransko?



$$U_x = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

seštejemo oba delna rezultata

(izr. še brez uporabe superpozicije (Kirch. Ohm.)

$$U_x = U_2 + U_{R_2} = U_2 + R_2 I = U_2 + R_2 \cdot \frac{U_1 - U_2}{R_1 + R_2} =$$

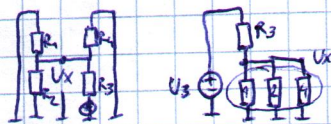
$$= U_2 + \frac{R_2 U_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_2 U_2}{R_1 + R_2} = \frac{(R_1 + R_2) U_2 - R_2 U_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_2$$

enak rezultat

1. kolokvij

Zapiši Th upornost proti masi!

Napišite izraz za superpozicijo vira U3!



$$U_x'' = U_3 \cdot \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel R_4}{R_3 + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_4)}$$

↑ tega ne pozabit!

Pogoj, da je breme krmiljeno tokovno?

$$R_B \ll R_T$$

$$R_B \ll (R_1 \parallel R_2)$$

Th upornost je vzp. vezava dveh uporov!

4 težave

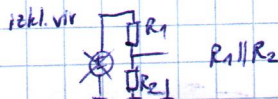
Napet. vir z notr. upor 600Ω → sp. v vir z 200Ω

Na izh. sponke vzp. vezemo. → uporna napetost bo padla

Ne vzporedno vezat! To je model, tam ni vozlišča.



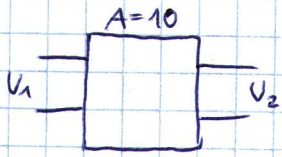
$$U_T' = \frac{300}{900}$$



OPERACIJSKI OJAČEVALNIK

Črna škatla, vezje, vh. in izh. napetost, vh. mi vsilimo, izhodno pa ojačevalnik generira glede na vrednosti obeh vh. napetosti

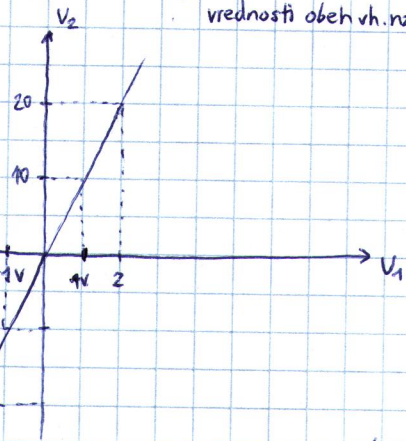
Kako bi preverili ojačanje? U_1 na x, y - kar izmerim



$$U_2 = A \cdot U_1$$

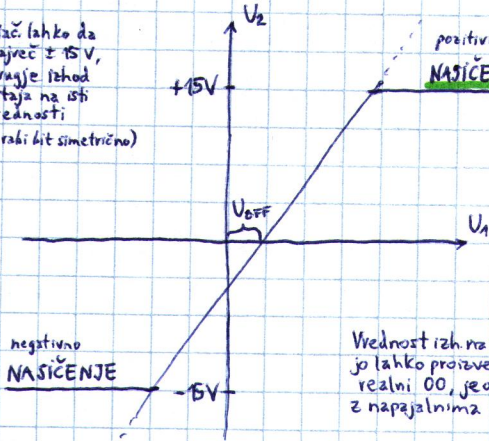
ne moremo po tej enačbi definirat, če ne gre karakteristika čez izhodišče!
→ dobimo nesmiselne rezultate

razkrija karakteristiko ojačevalnika



anomalije pri resničnih ojačevalnikih

ojač. lahko da največ ±15V, drugje izhod ostaja na isti vrednosti (ne rabi bit simetrično)



pozitivno NASIČENJE

negativno NASIČENJE

2 fenomen: (neidealnosti)

- karakt. ne poteka skozi koord. izhodišče (zakaj? offset), povzročajo toleranca polprevodnikov, ki sestavljajo ojačevalnik

napetostni premik // voltage offset

- premica se ne more nadaljevati v ∞ (ojač. ima omejitve do katerih izhnap. lahko pridemo (pogojeno z napajanjem, topologijo) → NASIČENJE izhod ostaja na isti vrednosti (ko gremo čez omejitve izhodne napetosti) omejen interval napetosti, ki jih lahko ojač. generira na izhodu → končne vrednosti napajalnih napetosti

Vrednost izh. na pet., ki jo lahko proizvede realni 00, je omejena z napajalnima napetostima.

Količina offseta je, koliko je premica izmaknjena (od) izh. po x-osi. Če damo na vhod offset, dobimo na izhodu 0!

OFFSET: Tista vhodna napetost, ki jo moram pripeljati na vhod ojačevalnika, da na izhodu dobim ničlo.

oz. Napetostni premik U_{off} definiramo kot tisto napetost, ki jo moramo vsiliti vhodnim sponkam ojačevalnika, da na izhodnih sponkah dobimo napetost 0.

Primer:

$$U_1 = 0,5V$$

$$U_2 = 0V$$

$$A = U_2 / U_1 = 0$$

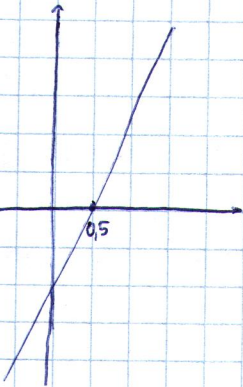
$$U_1 = 1V$$

$$U_2 = 5V$$

$$A = 5$$

$$\frac{-5V}{0V} = -\infty$$

z izbiro druge merilne točke smo dobili razl. ojačenja (v vsaki točki bom izr. drugačno ojačenje, čim imamo offset)



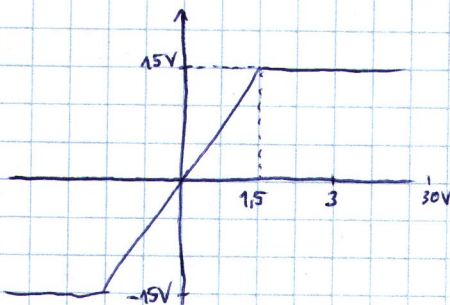
Primer: offset smo odpravili, imamo nasičenje

$$A = \frac{15V}{1,5V} = 10$$

$$A = \frac{15V}{3V} = 5$$

$$A = \frac{15V}{300V} = 0,05$$

z izbiro delovne točke, se nam ojačenje spreminja (ojač. mora biti karakteristika vezja in ne postopka merjenja!)



DEF. OJAČENJA:

v praksi A merimo na podlagi končnih diferenc

Trik:

$$A = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$$

SPREMEMBA!

ojačenje je merilo velikosti izh. napetostne spremembe pri pripadajoči vh. napetostni spremembi

$A = \frac{\text{sprememba, ki se je zgodila na izhodu}}{\text{spr. na vhodu, ki je to spremembo povzročila}}$

izloči tudi offset instrumenta (poteg off. ojačevalnika) formula odpravi vse

(graf) 0,5V...0V
1V...5V

$$A = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{5V}{0,5V} = 10$$

Karakteristika ojačenja je strmina

↳ kako močno se izhod odziva na spremembo na vhodu

ojačevalnik se ne odziva na vhod → nasičenje

$$A = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{0V}{1V} = 0 \quad (\text{v nasičenju je } A=0)$$

izh. napetost se ne spreminja

(str. 62)

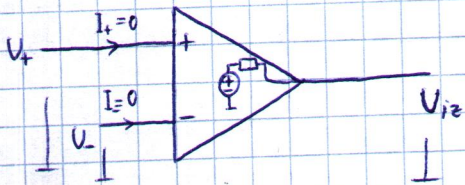
$$U_2 = A(U_1 - U_{\text{off}})$$

∴ rezultat neodv. od npr. premika U_{off}

U_+ , U_- → napetosti, ki ju pripeljemo gor

U_{iz} - na podlagi teh dveh vhodnih napetosti ojačevalnik zgenerira neko izhodno napetost

2 vhoda, 1 izhod



kobomo razglabljali, kako neko vezje deluje, bomo uporabljali idealni operacijski ojačevalnik

Karakteristika

kamorkoli sponki vklopim, ne spremeni razmer v vozlišču

napetosti v vozliščih se nam ne sesedajo, ne povzročajo padca nap. na Th. upornosti vozlišča (tok v ± sponko = 0) v vhod ne teče nič, vh. sponki se obnašata kot odprti sponki

ojač. na izh. generira napetost → izh. sponka je napetostni vir; da se modelirata s Th. virjem

vir je v izhodu! izhod nima upornosti

vezjem v izhodu vidimo Th. vir
v izhodu vidimo Th. vir
v praksi to ni res
teh. sponka idealnega DO je idealni napet. vir, izhodna sponka realnega DO je Theveninov vir.

op. ojač. se odziva le na njuno razliko (ne na vrednosti)

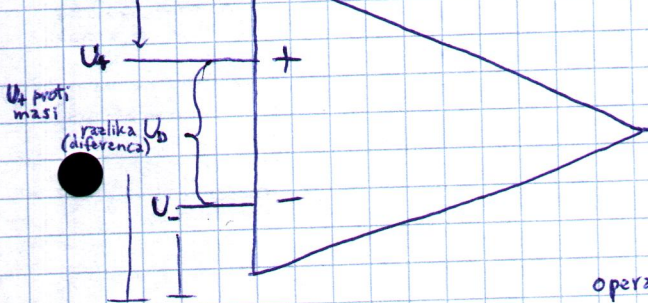
ojačenje ojačevalnika
diferenčna napetost

$$U_{\text{iz}} = A_D \cdot U_D = A_D \cdot (U_+ - U_-)$$

(misli si Δ razven) abs. vred. ne igrajo vloge, **SPREMEMBA JE RAZLIKA!**

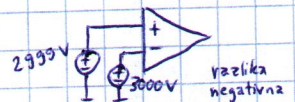
↳ lahko je tudi negativna

neinvertirajoči vhod



$$U_{\text{iz}} = A_D \cdot (+1) \cdot U_+ + A_D \cdot (-1) \cdot U_-$$

ojačevalnik, ki ojačuje razliko vhodnih napetosti (=diferenčni)



operacijski ima ojačenje ∞ (ideal)

neinvert. vhod → če U_+ dvigam, se to množi s +, in večam U_D , se odziva v isto smer, gre izhod v isto smer
invert. vhod → če U_- dvigam, se bo U_D manjšal, izhod gre v drugo smer

+ , - → nista napajalni sponki

+ ne pomeni, da moramo sem dajati + napetost (vse je možno)

označujeta predznaka s katerim nastopata veličini v U_+ in U_- enačbi

diferenčni ojačevalnik
če hočemo, da je operacijski, mora imeti ojačenje ∞

$$A_D \rightarrow \infty$$

Operacijski ojačevalnik je zgolj in samo ojačevalnik napetosti U_D .

napajalke napetosti določajo močne izhode napetosti

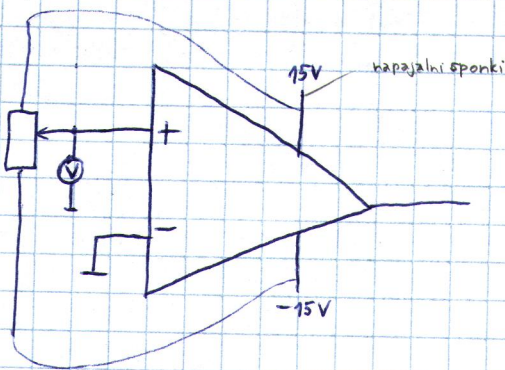
rabi napajanje izhod se lahko spreminja od $\pm 15V$

realno ne bo 15V (1,5V manj)

$A_D = 100000$ (približek ∞)

damo

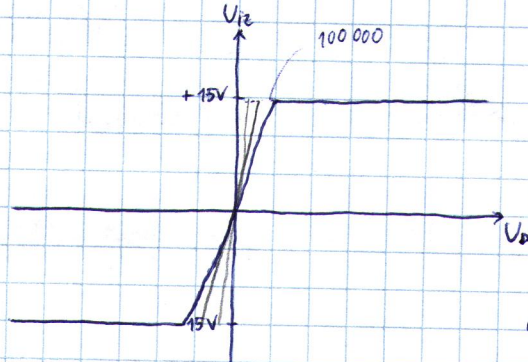
eno sponko / na maso, drugo vzbujamo s potenciometrom (na sponki bomo poljubno nastavljali napetost od $-15V$ do $+15V$) (ko dam potenciometer v skrajni položaj, bo \rightarrow na sredi 0)



0, ker je vezana na maso

razlika

U_+	U_-	U_D	$A_D \cdot U_D$	U_{iz}
5V	0	5V	500000V	15V
1V	0	1V	100000V	15V
0,1V	0	0,1V	10000V	15V
0,01V	0	0,01V	1000V	15V
0,001V	0	0,001V	100V	15V
0,0001V	0	0,0001V	10V	10V
0	0	0	0	0V
-0,0001V			-10	-10V
-1V	0	-1V	-100000	-15V



si da v glavo, da bo dal na izhod 100000V (njegov cilj)

na x-os nanjšam razliko na vhodu na y-os izh. napetost

če napetost ne bo minimalna, bom dobil nasičenje na ozkem področju okrog ničle, se obnaša kot linearni ojačevalnik če bi bilo še večje ojačenje, bi bila premica bolj strma ∞ , stopnica

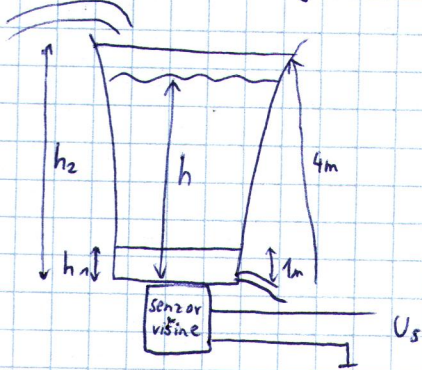
nasičenje bi se prej dosegli

(posledica ogromnih ojačenj)

čim je napetost na + sponki malenkost večje od nap. na -, je izhod ojačevalnika pozitivno nasičenje (višja manjša) če je napetost na - sponki malenkost večje od nap. na +, je izhod ojačevalnika negativno nasičenje (nižja večja)

idealni enc:

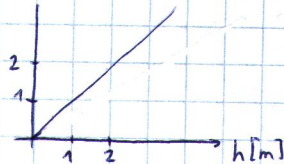
rezervoar s kemikalijo



če se spusti pod nivo, se proces prekine če je preveč, se zliva čez

2 akciji

uporovni listič na dno posode prilepimo (večja višina (višina spr. v upornost) tak, pritisk na listič)



$$K_s = \frac{1V}{4m} \text{ konstanta senzorja}$$

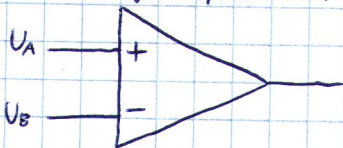
ko imamo analogne funkcije, je uporabno vmesno območje, ko digitalne, pa nasičenje (dig. vezja ne obstajajo)

dig. stanja so nasičenja analognih ojačevalnikov

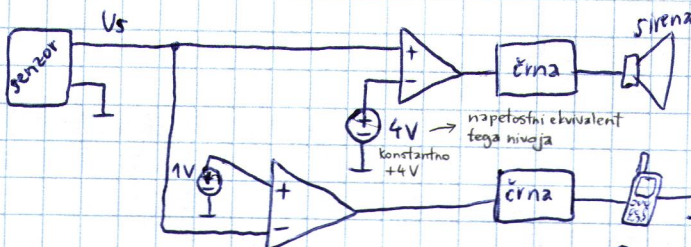
izh. nap.

Vrednosti v obeh nasičenjih predstavljata digitalni stanji logična 1 in 0, ki sporočata predznak napetosti U_D in s tem, katera od obeh vh. napet. je višja.

\pm nasičenje interpretiramo kot logično stanje (0,1)



opravlja funkcijo „napetostno primerjanje“ \rightarrow lahko ga uporabimo kot napetostni primerjalnik (na izhod da, kar je večje) sprejema analogni veličini, ven da digitalni podatek



če je logična 1, naj se sirena vključi

dokler je napetost manjša, bo zabit v - nasičenje

če bo nivo vode presegel dovoljeno napetost, bo postala malenkost višja od druge \rightarrow oper. ojač. gre v pozit. nasičenje

če $U_A > U_B$, bo izhod zabit v + nasičenje \rightarrow dobim logično 1
 $U_A < U_B \rightarrow 0$
na vhod 2 analogna podatka: izhod da podatek, katera od napetosti je večja

2. LABORATORIJSKA VAJA

Bipolarno napajanje izvedemo z dvema ločenima napetostnima viroma.

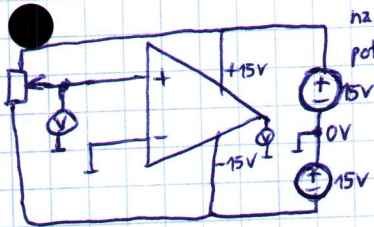
TL081

aktivni element

na izhodu se obnaša kot n.zpet. vir

potrebuje napajanje → 2 usmernika (na pribl. isto napetost), sr. sponka postane -15V, zg. +15V

tō smo lahko naredili, da vezje čuti potencialno razliko



Elementi vezij in s tem celotna vezja občutijo samo potencialne razlike med vozlišči, ne pa absolutnih potencialov.

napajanje ne bomo risali

razpored pinov na 4. je -V, na 7. +V

na izhod damo V, s potenciometrom generiramo nap. od -15V do 15V → + oz. - nasičenje

3 sponke

10kΩ - čim večje upore

dodamo predupore (prevzamejo dobičen del) 47kΩ, 10kΩ daje bolj precizno

$U_1 = 0,7 \text{ mV}$ $U_2 = 0,6 \text{ V}$ ocenimo $A = 2000$
 0 5,8
 -7 -7,6
 $A = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{14 \text{ V}}{7 \text{ mV}}$



tipična vred. ojačenja je 200000 (datasheet) meri se preko DIFERENC!

datasheet - seznam problemov

če gremo ↓, pričakujemo - nasič.; ojač. se zmanjša in skoči ↑
 datasheet: dovoljeno območje vh. napetosti je podano (drugič lahko ponori in narobe deluje, večje verjetnost, da ponori v - smer)

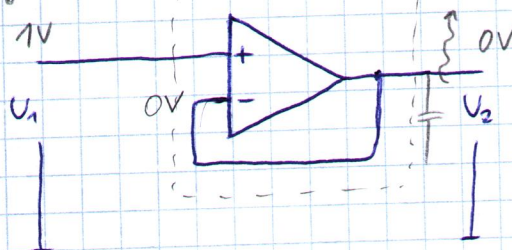
NAPETOSTNI SLEDILNIK

ne more bit hipno, ampak ZVEZNO

poprečnem pogledu doseže ∞ (100000)

↳ kapacit. ! parazitne kapacitivnosti (spr. zahteva, da se C napolni /sprazni) bi rabili ∞ tok (ne moremo zaradi indukt. kline dovolj, da hitro zraste)

str. 33



Kakšno funkcijo dobimo? To je napetostni sledilnik.

TiFk

izb. vh. nap. (1V) in izh. nap., ki zanesljivo ni ustrezna (0V) ∞ ojačuje razliko (kakšna je in kam bo težil?)
 ↓ 1V

neg. povratna zvez (izhod vpliva na vhod)

izhod je došel do 0,5V } 0,5, razlika le še 0,5 10000
 0,9V 0,1 s tem ko izh. šiba ↑, se manjša razlika U_D
 0,99V 0,01 načrt 1000 V
 0,999V 0,001 načrt 100 V (ga sprati spreminja)
 0,9999V 0,1 mV
 0,99999V

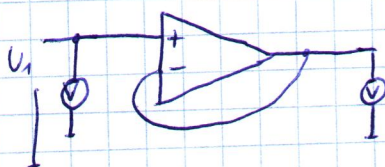
izh. napet. se bliža vhodni

(ne more se izenčiti zaradi končnega ojačenja)

ustali se na nap., ki je dokaj blizu vhodni izh. zakaj ni U₂ = U₁? pri končnem ojačenju ne sledi

$$U_2 = A_D \cdot U_D \quad \text{rabi to špranj}$$

$$U_D = \frac{U_2}{A_D}$$



Večanje ojačenja omogoča generiranje določene izh. nap. ob čedalje manjši vhodni razliki U_D, zaradi česar je sledenje čedalje bolj točno.

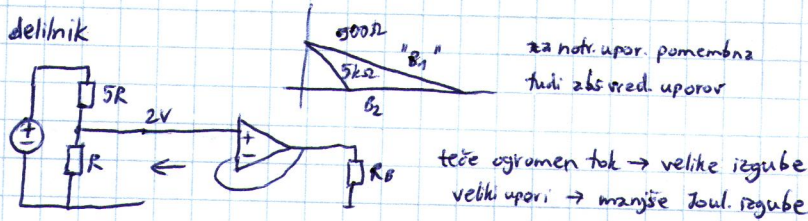
A_D → ∞, U_D → 0, sledenje je točno

v datash. so tudi izh. omejitve (kolikšne izh. nap. lahko generira pri nekem napajanju npr. 12V)

Zaradi končnega ojačenja napetostno sledenje ni popolnoma točno, ker mora med vhodnima sponkama ∞ obstajati napet. razlika, da ojačevalnik lahko generira izh. napetost. www.stromar.si

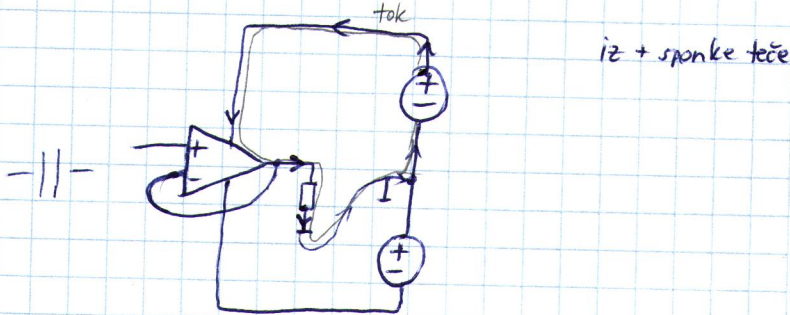
Zakaj se uporabljajo sledilniki? Z njimi manjšamo sesedanje signalnih napetostnih virov ob priklopu bremen.

delilnik

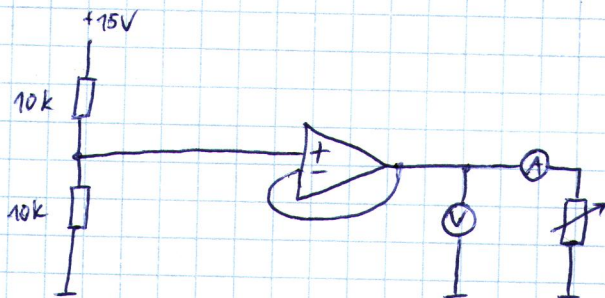


na vhod pripeljemo sledilnik
tok, ki ga breme potrebuje, ne vlečemo iz delilnika ven

Izhodna napetost sledi vhodni, pri čemer sledilnik vhodni vir razbremeni, saj bremenski tok dovaja operac. ojačevalnik in ne vhodno vezje.



naredi delilnik (velike upore.. 10kΩ), +15V, zmeri Th. vezje (odprte sponke, spr. breme. do kr. stika)

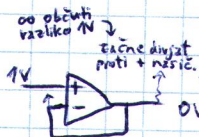


potem vgradimo sledilnik

0,38 mA	4,21 V
0,52	3,49
0,72	2,51
1,01	1,1
1,22	18,4 mV

rezultat:
0,5 Ω

2. KOLOKVIJ



idealni, izkazuje končno hitr...
na vходу je dolgo časa ničla (= na izhodu je 0V), nato hipna spr. na 1V. Kaj se dogaja? ker dviga izh. napr. dviga tudi to napetost, ki se približuje vhodni, torej U_0 se manjša ustalila se bo, kjer $U_0 = 0$

0 mA... U = 7,50
18 mA... U = 7,50V
 $\Delta U = 0,01 V$
 $R_T = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0V}{20} = 0$
če ne vidiš spr., še ne pomeni da je ni

1. Skic. sledilnik!

2. Ojač. $A_d = 1000$, $0 \rightarrow 1V$, $U_2 = ?$ Oceni končno vrednost izh. napetosti!



$U_2 = A_d \cdot U_0$
 $U_0 = \frac{U_2}{A_d} = \frac{1V}{1000} = 1 mV$, ocena 999 mV

U_0 mora bit ustrezno velika
↳ razlika med vh. in izhodom

$R_T < \frac{0,01 V}{20 mA} = \frac{0,01 V \cdot 10^3}{20} = 0,5 \Omega$

3. isti odgovor samo U_1 in U_0 določata izh. napetosti

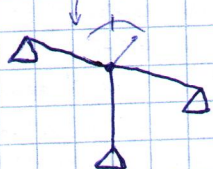
4. Stranski učinek ∞ ojačenja? Napet. primerjanje.
Napet. razlika porine v nasičenje, če je ojačenje ∞.

5. Kako so utelešena dig. stanja celic? Kot nasičenja
↳ to pa interpretiramo kot logično stanje, katera napet. je večja
Napetostni primerjalnik za delovanje izkorišča zgolj veliko ojačenje ∞.

bolj kot je ojačenje ∞ , bolj je ozko področje, bolj natančno bo napetostno primerjanje

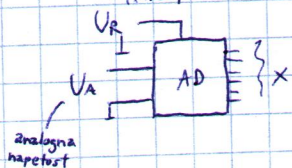
SPREJEMANJE
ODLOČITEV

Kdaj vse uporabljamo primerjalnike? ko moramo izvesti odločitev na podlagi analognega stanja sistema.
Ni A/D pretvornika brez napetostnega primerjalnika. (odločitev, ali bo oddal 0 ali 1)



zelenjava, uteži (referenčne napetosti), tehtnica sporoči odločitev, česa je več
tehtnica enakovredna primerjalniku
(A/D pretvornik vabi reference)

reference morajo imeti ustrezno natančnost



↳ ne more delati brez!

AD ima 2 vhoda: - vhod v veličino, ki jo pretvarja
- ref. napetost (določa uteži bitov)

ref.
tehtnica se uteži je A/D pretvornik

bliskovni AD pretvornik (str. 24)

hitra - vsi primerjalniki delijo naenkrat, (najhitrejša arhitektura)
možna izvedba: 8 primerjalnikov, (očimo vh. sig. in ref. nap. (ki je za vsak signal drugačna)
vzamemo ref. nap. (ki je na vrhu prikazana) in se jo z delilnikom razdeli
kroženje

od 0 do $\frac{1}{8}$ dobimo vrednost 0, od $\frac{1}{8}$ do $\frac{2}{8}$ → 001 ... itd. do vrha

potratna z materialom

napetost U_s je vhodni signal, ki vstopa v AD pretvorbo

vhod za ref. napetost U_r določa uteži posameznih bitov AD rezultata

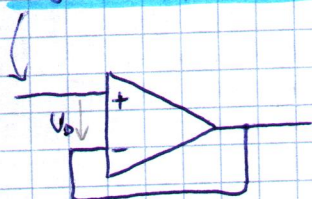
Prehod iz analogne domene v digitalno obliko se izvrši v primerjalniku.

Primerjalniki primerjajo vhodni signal z ustreznimi deleži referenčne veličine.

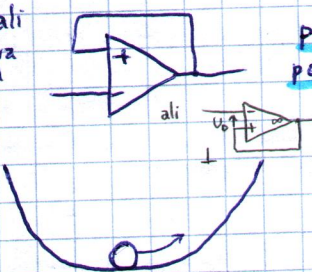
Referenčna veličina določa vrednost posameznih bitov AD rezultata.

Vsak AD pretvornik ima 2 vhoda: merjeno veličino in referenco.

Negativna povratna zveza



ali
izhod vpliva
na + vhod



pozitivna
povr. zveza

izhod vpliva nazaj na lastni vhod
izh. napet. povratno vpliva na vhodno

STABILNO RAVNOVESJE: sistem se v vseh primerih vrača v
izhodiščno stanje in deluje v smeri izničevanja motnje.

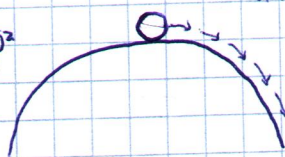
LABILNO RAVNOVESJE: nadaljuje gibanje v smeri motnje;

vezje se ustali, ko U_2 doseže negat. nasičenje oz. pozit.

ish. nap. zmanjš., U_0 zm. U_2 in U_0 se povečujeta

bariere predstavljajo nasičenje

vezje se vedno nahaja
venem od nasičenj



kar velja za sledilnik o
neg. povr. zvezi, bo temelj
za naprej

Katero realistično vezje ponazarja
škata? → statični RAM
pomnilnik

tako deluje flip-flop

ob vklopu je random logič. stanje

štart od vrha, od prve

motnje je odvisno, ali

bo v \pm nasičenju

če malo brcnemo, bo

še vedno v nasičenju;

če zelo, bo šla v drugo

stanje

žogica miruje; če jo brcnemo (v katerokoli smer)

- 1. primer: po prehodnem pojavu se bo vrnila na izhodiščno mesto (ko motnja popusti)
- 2. primer: se ne bo vrnila, ampak nadaljevala v smeri motnje

stabilno stanje nakazuje to, da sistem tolerira določeno količino motnje in se kljub
njej normalno obnaša

robustnost na motnje
povezано z negat. povratnimi zvezami

... funkcije analogne elektronike

Kompas,
zdravstveno
stanje

labilno stanje

Sistem ni odporen na motnje; ni stabilen

Karakteristika labilnega ravnovesja:

po prenehanju motnje se ne vrača v izh. stanje,
ampak se giba v smeri, ki izmik iz prvotnega stanja
še povečuje!

pri vezjih z 00
položaj predmeta
nadomestijo vrednosti

el. veličin (napetost, tok)

gre v eno ali drugo logično stanje

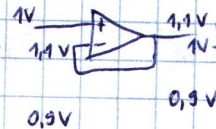
... digitalne funkcije (ko dig. vezje zavzame

je v ozadju nasičenje vezja)

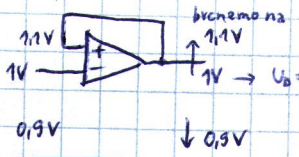
določeno dig. stanje, 0,1

Primer sledilnika

motnja se prenese, izhod tišči navzdol 1,1 V
 sistem sili gor 0,9 V



Pri sledilniku povr. zveza določa, da je U_b enaka 0, ko je izh. nap. enaka vhodni, zaradi česar dobimo operacijo sledenja. Tvežnja določene operacije je stranski učinek velikega ojačenja in povratne zveze.



kar je sp. nap. manjša od zganje
 pri pozit. povr. zvezi sistem podpira motnjo (teži navzgor)
 sistem teži še bolj navzdol
 brcnemo ↑, U_b poveča, + nasičenje

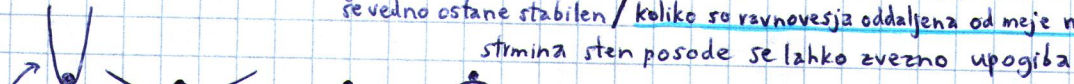
sistem teži v nasprotno smer nastopa motnje pri negat. povr. zvezi
 (sistem postane robusten na motnje; po prenehanju motnje se vrne nazaj v stanje, ko motnje ni bilo)

ZAKLJUČEK:

Kadarkoli imamo negat. povr. zvezo in kadarkoli je ∞ zadosti idealen, bo v ustaljenem stanju $U_b = 0$. (stanje, koje žoga na dnu doline). Če se izh. napetost izmakne (motnja...), se bo tudi $U_b \neq 0$ in glede na predznak konkretne vrednosti bo sistem težil ↑ ali ↓ na način, da bo U_b enaka vhodni. Karakteristika povr. zveze bo določala, katero funkcijo vezje opravlja. Vezje pa vedno opravlja tako funkcijo, da se bo izh. nap. morala nastaviti na tako vrednost, da bo $U_b = 0$.

RESLEDICA NEG. POV. ZVEZE
 Pri kateri izh. nap. bo dosegel $U_b = 0$?

Relativna stabilnost - rezerva, koliko se lahko parametri nekega sistema spreminjajo, da še vedno ostane stabilen / koliko so ravnovesja oddaljena od meje nestabilnosti:



visoka stopnja stabilnosti

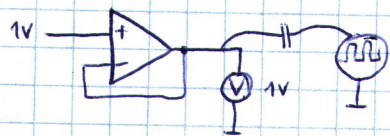
žoga ima čedalje manj možnosti, da se vrne nazaj po brci
 mejno stabilno stanje

Izhodno ali drugo vzhlišče brcnemo iz ravnov. lege z uporabo generatorja prvok. napet. pulzov, ki jih preko kondens. vzbujamo vzhlišča.

parazitni učinki lahko posodo obračajo navzdol; in če je preveč obrnjena, postane vezje, ki je na papirju stabilno, neuporabno

Na kakšen način preverimo, da je vezje stabilno?

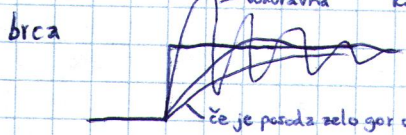
„Brcnemo.“ str. 47



vzemem sign. generator
 vohujemo preko kond. na izhod
 na osciloskopu opazujemo karakt. prehodnega pojava

kako močne brce sistem prenese, da se še vrača v zači. stanje?
 relat. stabl. - koliko se lahko param. spremenijo, da je posoda še ne bo obrnjena navzdol? kakobrcemo?

nobenega vezja ne daj iz rok, ne da bi preveril, ali je stabilno (lahko na proto boardu dela, ko ga damo na tiskano vezje pa ne) drugačne parazitne kapac.



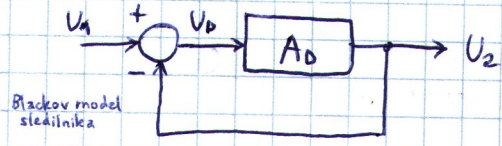
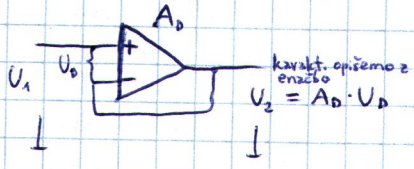
dušenje je merilo, koliko je posoda obrnjena navzgor

če je nadkritično, je posoda zelo obrnjena navzgor pod - vsaka sprememba lahko povzroči hudo spr. v obnašanju vezja

Relativno stabilnost vezij preizkušamo z dodajanjem motenj v vzhlišča in opazovanjem rezultirajočih prehodnih pojavov.

BLACKOV MODEL POVROTNE ZVEZE

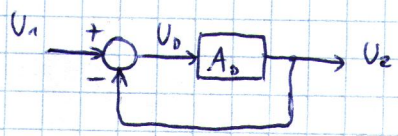
U_b pove, za koliko je izhod izmaknjen iz stanja, ki ga pričakujemo (error signal) če je na prvem mestu, je error = 0



$U_b = U_1 - U_2$
 Če je error signal pozitiven, se U_2 povečuje in s tem manjša error signal RC

Sledilnik je skrajni / limitni primer ojačevalnika.

napetostnega $A=1$ $U_2 = A \cdot U_1$ idealni sledilnik: $U_2 = 1 \cdot U_1$



$$U_2 = A_0 \cdot U_b = A_0 (U_1 - U_2) = A_0 U_1 - A_0 U_2$$

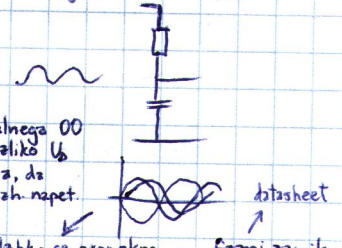
$$U_2 + A_0 U_2 = A_0 U_1$$

$$U_2 (1 + A_0) = A_0 U_1$$

$$U_2 = \frac{A_0}{1 + A_0} \cdot U_1$$

sledilnikovo ojačenje - 8 - < 1

Končno ojačenje A_0 realnega ∞ potrebuje napetostno razliko U_b med vhodnima sponkami, da lahko generira ustrezno izh. napet.



Blackov model povratne zveze

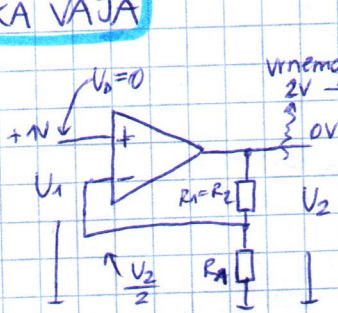
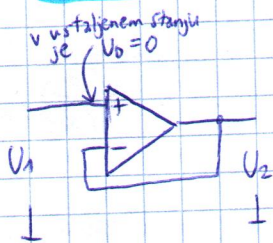
Napišemo enačbo, iz katere je razvidna vrednost izh. napetosti v odvisnosti od vhodne

Seda zračunaj natančno vrednost sledilnikovega ojačenja?

Večje ojač. → faktor limit. proti 1 → bolj sledilnik deluje idealno, boljše delovanje vezja

NEINVERTIRAJOČI OJAČEVALNIK

3. LABORATORIJSKA VAJA



→ dobili smo ojačevalnik

U_2 vzbuja delilnik, na izhodu je zmanjšana za nek faktor $\frac{U_2}{2}$

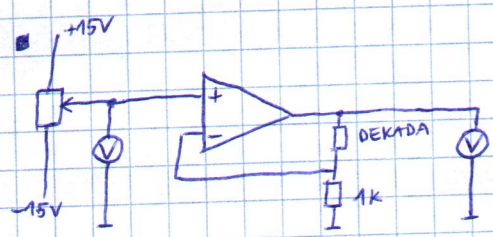


obratna vrednost delilnega razmerja je ožčenje vezja

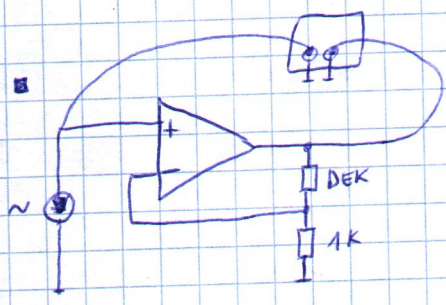
če rabimo ojač. 1000, naredimo delilno razm. $\frac{1}{1000}$

$$A = \frac{1}{\frac{R_3}{R_1+R_2}} = \frac{R_1+R_2}{R_3} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

enačba opisuje funkcijo sistema: $A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$



večje ojač. → hitreje pridemo v nasičenje



vzb. s sig. generatorjem

oscil. priklopimo na vhod IN izhod

50Ω Th. upornosti ali 600Ω → na desni strani funkc. generatorja

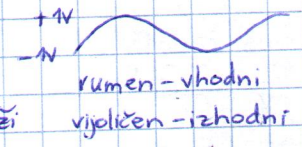
oscil.

osnovne nastavitve pogledj!

2 kanala

1V/div → koliko V predstavlja vsak razdelek menu (volts/div, offset (sig. pomikamo ↓, bandwidth na 20 MHz, DC 1MΩ, 1 sweep, invert - izhod signala pomnoži z (-1))

čas. baza (Pervo spodaj) 10ms/razdelek → horizontalno slika skače... trigger nastavi pogoj, katera točka bo v sredini ekrana

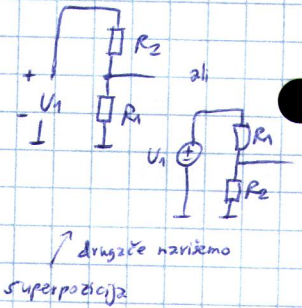
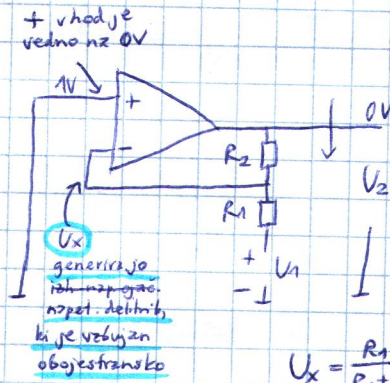
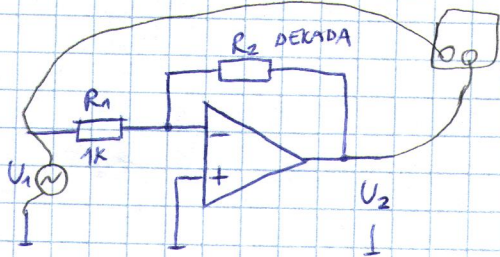


če je dekada na 0, dobimo sledilnik 5V/razd, več ojač. ... da se vidi nasičenje (ko zahtevamo več kot zmore izhod)

signala ne invertira

ko vh. sig. narašča v +, tudi izh. (karakter. neinv. ojač.)

INVERTIRAJOČI OJAČEVALNIK



$$U_x = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_2 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1$$

$U_x = 0 + \text{neki pozit.} = \text{pozit.}$
 pozit. napet. → izhod začne tikt ↓ (pri pozit. vходу)
 $U_x = \ominus + \oplus$
 $U_D \rightarrow 0$

basen izmisli. vh. napet in izhod nastanem na nekaj napačnega

$U_1 = -1V \rightarrow U_x$ bo negat., U_D pozit.

izhod začne tik ↑

izhod gre vedno v naspr. smer polaritete na vходу!

v končnem stanju mora bit $U_D = 0$

$$U_x = -U_D$$

nastavimo končno stanje

$$0 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_2 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1$$

/ · (R1+R2) pisalne vzije

$$0 = R_1 U_2 + R_2 U_1$$

$$-R_1 U_2 = R_2 U_1$$

enačba invertir. ojačevalnika

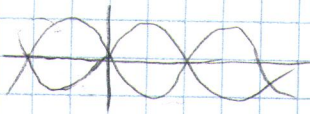
$$U_2 = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1$$

prejšnjič: $U_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1$

ojačenje določajo pasivni elementi

minus - ker izhod teži v drugo polariteto kot vход

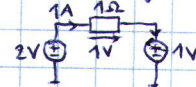
gornja slika (levo)



predznak! napetosti se obrne

temelj za izvedbo ostalih funkcij

7. poglavje



tok lahko teče v vir

druga razlaga $U_{R2} = R_2 I_1$

osnovni princip: $U_D = 0$ (ker imam negat. povr. zvezo)

temu vozlišču pravimo VIRTUALNA MASA

ker ima isti potencial kot masa

ista napet. kot je na vходу, je vsiljena R_1 (U_1 je na upor)

tok, ki teče preko vhodne veje, je:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I \text{ prenosovozm z } U$$

cel tok gre naprej



I_1 je prisiljen teči čez R_2

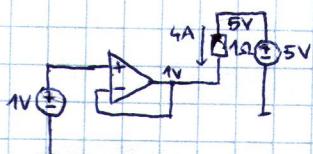
$$U_{R2} = R_2 \cdot I_1$$

izh. napet.

tok teče v pozit. sponko!

napetost do minus pzdca na upor R_2

$$U_2 = -U_{R2} = -R_2 \cdot I_1 = -R_2 \cdot \frac{U_1}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$$



$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$$

vhodni tok, ki je prisiljen teči čez R_2

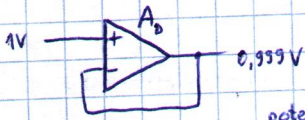
virtualna masa izolira vhodno vejo od izhodne

minus → ker je + sponka vezana na maso

$$\frac{A_D}{A_D} = \frac{1}{\left(\frac{1}{A_D} + 1\right)}$$

$$U_2 = \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{A_D}}\right) \cdot U_1$$

KAKO VLEČEMO NAPAKE VEN, V ZUNANJE VIRE?
(iluzija)



potem bo ojačenje popolnoma enako 1, ni resedanja...

radi bi ohranili sledilnik idealen



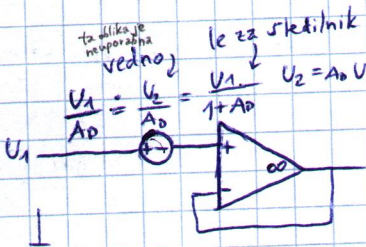
nz izhodu dobim 0,999 V, ker je to prišlo na vhod
1V sploh ni prišel do sledilnika, ker je vmes vrnjen model napake (paraziti vir)
ezato na vhod dobimo napačen signal

vezja nam procesirajo signale

napake - dodatni krogi po superpoziciji lahko povlečemo napako ven iz ∞ * povežem ven \rightarrow napake ločeno študiram * je spremenim v signal

želim ohraniti realen pogled na svet, kljub temu, da imamo idealen sledilnik (neidealnosti modeliramo z dodajanjem fiktivnih elem. v vezje)

Ko želimo ponazoriti napako zaradi končnega ojačenja ∞ , vgradimo napet. vir $\frac{U_2}{A_D}$; ∞ potrebuje na svojem vhodu napetost U_D , ki znaša $\frac{U_2}{A_D}$, za kolikor se morata razlikovati vh. in izh. napetost sledilnika:



večje ojač. \rightarrow manjša napaka

$$U_2 = \frac{A_D}{1 + A_D} \cdot U_1 \quad | : A_D$$

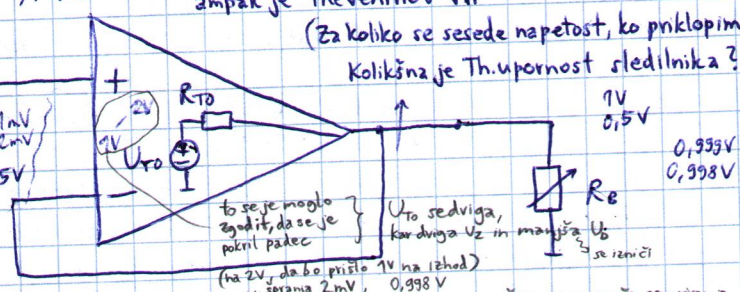
$$\frac{U_2}{A_D} = \frac{U_1}{1 + A_D} \approx \frac{U_1}{A_D} \text{ izr. vrednost napake}$$

3 krogi (str. 50, 51)

posledica: lažja obravnava, če jih ne želimo upoštevati, jih po superpoziciji porežemo ven; omogoč, da napake ločeno študiramo vsako zase ali da študiramo idealno vezje (neodvisno od napak) (če imam vh. signal) v datasheetu \rightarrow kako nek podatek upliva na signale (napake v tej obliki predstavim) vrednotimo, katere napake so dominantne

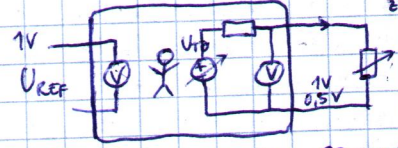
druga neidealnost: izhod ni idealen napetostni vir, ampak je Theveninov vir

če je ∞ navedim sledilnik $U_1 = 1V$
izh. nap. pride sem, ∞ začne regulirat, izpotat $\uparrow U_D$ ko pride točka do 1V, se bo ustalil



(Za koliko se sesede napetost, ko priklopim breme?)
Kolikšna je Th. upornost sledilnika? 0, če je $A = \infty$.

pajac ima na razpolago Th. vir; nastavimo referenco 1V pajac je U_D nastavljen na tako vrednost, da je tudi na izhodu 1V. Potem priklopim breme in to zaradi toka povzroči padec (recimo, da se sesede na 0,5V) \rightarrow možiček začne dvigat, ker ni isto



∞ uteleša princip pajaca, ∞ izvaja korekcijo

razlika ogromna (0,5V), sponza $\oplus \uparrow$ (ustvari iluzijo, da ima sledilnik...)

NEG. POVR. ZVEZA zniž. Th. upornost vezja v primerjavi z izhodiščno Th. uporn. ∞ .

∞ bo navaren prikazal bistveno manjšo upornost od R_{T0} , ker bo zreguliral, da bo napetost skoraj enaka, kot je bila pred priklopom bremena \Rightarrow ustvari iluzijo, da ima sledilnik ful manjšo notr. upornost od surove notr. upornosti ∞ (tako deluje tudi usmernik... in sledilnik)

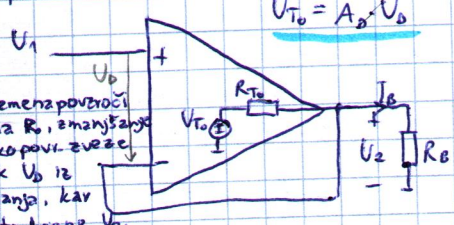
$$U_{T0} = A_D \cdot U_D$$

$$R_{TS} = - \frac{\Delta U_2}{\Delta I_B}$$

Ali je regulacija popolna? $R_{T0} = 0$? Pri obremenitvi je U_D drugačen... Ne, bo neka končna vrednost. Znamo to izračunati?

Izraz za izračun Th. upornosti sledilnika

s sledilnikom manjšamo sesedanje napetosti ob priklopu bremena na vir s preveliko Th. upornostjo



* Ko priklop bremena povzroči sesed. napet. na R_0 , zmanjšanje izh. napet. preko povr. zveze povzroči izmik U_D iz ustaljenega stanja, kar nato dvigne U_D , da pokrije padec napetosti na upornosti R_0 .

OZ. Padec napetost na upornosti R_0 se kompenzira z dvigom U_D , zato se vezje navaren obnaša, kot da ima mnogo manjšo Th. upornost od R_0 .

$$U_2 = U_{T0} - R_{T0} \cdot I_B = A_D \cdot U_D - R_{T0} \cdot I_B = A_D (U_1 - U_2) - R_{T0} \cdot I_B$$

$$U_2 (1 + A_D) = A_D U_1 - R_{T0} I_B$$

$$U_2 = \left(\frac{A_D}{1 + A_D}\right) U_1 - \left(\frac{R_{T0}}{1 + A_D}\right) I_B$$

$$R_{TS} = - \frac{\Delta U_2}{\Delta I_B} = - \frac{R_{T0}}{1 + A_D}$$

$$R_{TS} = \frac{R_{T0}}{1 + A_D} = \frac{R_{T0}}{A_D}$$

v katalogu to se priklopi na vhod isčemo v po tej spremenljivki bomo odvajali

teoretično minus - ker referenčne polaritete niso vezane

∞ ima neko Th. upornost in sledilnik bo imel navidez tolikokrat manjšo notr. upornost kolikor je ojačenje operacijskega ojač.

Primer:

$$R_T = 100 \Omega$$

$$A_D = 100000$$

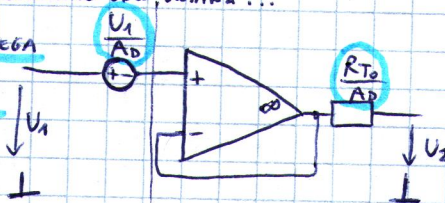
$$R_{Ts} = \frac{100 \Omega}{100000} = 1 m\Omega \quad (\text{vsaj toliko... spodnja meja upornosti})$$

večje ojačenje $\infty \rightarrow$ močnejše je delovanje negat. povr. zveze \rightarrow upornost nam manjša

če upoštevamo oba učinka ...

pripeljem napako $\frac{U_1}{A_D}$, na izhod pa $\frac{R_{To}}{A_D}$, sledilnik je idealen in nič kriv (povlečemo vse napake ven) \rightarrow v obliki zunanega elementa

MODEL REALNEGA OJAČENJA IN TH. UPORNOSTI SLEDILNIKA



poglejte o izh. tokovih

pri neskončnem ojačenju A_D napetost U_0 v ustaljenem stanju izgine \rightarrow končna izh. napetost je enaka vhodni neglede na vrednost bremenskega toka \rightarrow s tem je Th. upornost sledilnika enaka 0 neglede na R_o , saj velja $\frac{\Delta U_2}{\Delta I_0} = 0$.

pri končnem ojačenju A_D izh. in nova izhodna napetost nista popolnoma enaki, ker operacijski ojačevalnik potrebuje vhodno napetostno razliko U_0 , da lahko generira izh. napetost U_2 .

Th. upornost sledilnika se zmanjša približno tolikokrat, kolikor znaša ojačenje A_D . \rightarrow učinek negat. povr. zveze

Realno sesedanje sledilnikove napetosti modelira fiktivni upor R_T (vezan je zaporedno z idealnim nap. virom)

Večanje ojačenja A_D proti ∞ čedalje bolj izboljšuje lastnosti vezij z operacijskim ojač. Poleg natančnega sledenja je v tem primeru tudi Th. upornost sledilnika enaka 0.

Neg. povr. zveza močno rebojša mnogo lastnosti vezij (npr. manjšanje Th. upornosti ojačevalnikov).

Omejenost bremenskega toka

izkazuje le dokler lahko padec napetosti na upornosti R_o pokriva z drugo napetostjo U_0
 \rightarrow vir je omejen z napajalno napet. in notr. arhitekturo, zato doseže nasičenje

Elektronski napet. viri delujejo zadovoljivo in izkazujejo majhno Th. upornost, dokler bremenski tok ne preseže določene max. vrednosti. Po prekoračitvi meje se prične napetost vira mnogo hitreje sesedati z nadaljnim povečevanjem $I_b \rightarrow$ naraste tudi Th. upornost vira.

Ko napetost U_0 doseže max., se vsak nadaljni padec napetosti na upornosti R_o direktno odraža na padcu izhodne napetosti vezja. (Funkcija sledenja odpove, saj izh. nap. ne sledi več nadalj. povečev. vhodne.)

Mnogo modelov ∞ ima vgrajeno pretokovno zaščito, ki preprečuje prevelik tok preko izhodne sponke, kar ojačevalnik zaščiti, da ne pregori.

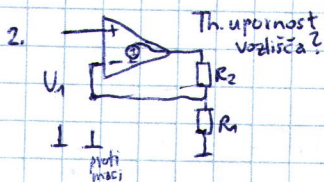
Ko I_b preseže vgrajeno mejo, se aktivira pretokovna zaščita, ∞ namerno povzroči izdatno sesedanje napetosti na svojem izhodu.

vrednosti max. tok: 10-50 mA

3. KOLOKVIJ

1. Neinv. ojač. - razloži delovanje

če izh. nap. delimo preden pride na vhod ...



Th. upornost vzhliča? če ni napisano, je idealen ∞ ; izklopimo vse virov v vezju, $U_2 = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot U_1$, pogledamo nadom. vezje R_1 in R_2 sta vzporedna

3. Invert. ojač. $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$, $U_2 = -U_{R2} = -R_2 I_1 = (-\frac{R_2}{R_1}) U_1$

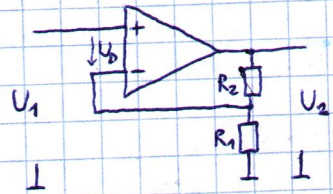
4. (zbilno, stabilno (iz vseh smeri!))

NEINVERTIRAJOČI OJAČEVALNIK

invertirajočemu vhodu 00 ni vsiljena celotna izhodna napetost U_2 , ampak le njen del, ki ga določa napetostni delilnik iz uporov R_1 in R_2

ojačenje A je enako obratni vrednosti izbranega delilnega razmerja

$$A = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\frac{R_1}{R_1+R_2}} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$



Ko je U_0 pozitivna, izh. nap. narašča;
-||- negativna upada.
(kot sledilnik)

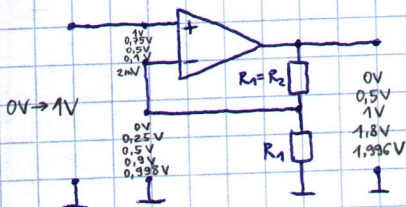
Bolj kot izhodno napetost delimo, na ustrezno večji mnogokratnik vhodne napetosti se mora nastaviti izhodna napetost, da U_0 postane 0.

Ojačenje je enako obratni vrednosti delilnega razmerja delilnika.

- Če delilnik vrne na ojač. vhod le polovico U_2 , se mora U_2 nastaviti na 2x vrednost vh. napetosti, da je $U_0 = 0$.
- Če delilnik napetosti U_2 deli na desetino, mora izh. napetost zavzeti 10x večjo vrednost od vh. nap., da napetost U_0 izgine.

Ime neinv. ojač. izvira iz dejstva, da je ojačenje A pozitivno, zaradi česar je polariteta izh. napetosti enaka polariteti vhodne napetosti.

Princip (str. 62)



naredimo spremembo vh. napetosti z 0V na 1V (00 ne reagira neskončno hitro na vhodno spremembo)

ker velja $A_0 = 1000$ in $U_0 = 1V$, skuša 00 na izhodu ustvariti 1000V, zato se prične izh. napetost povečevati

zaradi delilnika se samo del (polovica) izh. napetosti vrne na invertirajoč vhod ... $U_0 = 0,5V$... izhodna napetost se še naprej povečuje proti 500V ($0,5 \cdot 1000$)

Ko na izhodu dosežemo 1,996V, velja $U_0 = 2mV$ in $A_0 \cdot U_0 = 2V$, kar pomeni, da se v bližini te točke vezje ustali.

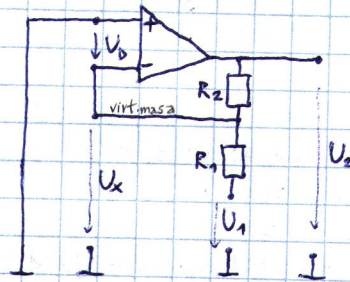
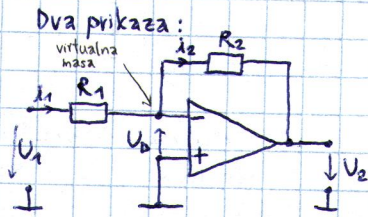
Zaradi končnega ojačenja se izh. napetost ne more natančno izenačiti z dvakratno vrednostjo vh. napetosti, saj mora imeti 00 vh. razliko $U_0 = 2mV$, da lahko generira izh. nap. 2V.

Večanje ojačenja 00 proti ∞ omogoča bolj natančno izvedbo zadane operacije $\rightarrow U_0$ se bolj približa vrednosti 0.

Napetostni sledilnik je zgolj limitni primer neinvert. ojačevalnika (R_2 limitiramo proti 0, R_1 proti ∞ , $A=1$, $U_2=U_1$). Namen ojačevanja je pridobivanje ustreznega nivoja napetosti (pri referenci) ali napet. območja signala (pri senzorju). Neinv. ojač. ne bremeni vira vhodne napetosti.

INVERTIRAJOČI OJAČEVALNIK (inverter)

Oba na izhodu generirata napetost, ki je enaka vhodni napetosti, pomnoženi z ojačenjem.
 Ojačenje je negativno, zato se polariteta (predznaka) vh. in izh. napetosti razlikujeta.
 Inverter uporabljamo prav zaradi spreminjanja polaritete napetosti.



Razlika med neinv. in invert. ojač. je le v mestu priklopa vh. signala. Pri neinv. ojač. je vezujen neinv. vhod 00, izh. nap. pa vpliva na inv. vhod. Da se U_0 izniči, mora izh. napetost generirati isto polariteto napetosti, kot je vh. nap. vezja, da zagotovi enakost nap. na obeh vhodih 00.

Neinvertirajoči vhod 00 je vezan na maso. Napetost invert. vhoda U_x je določena z izhodno napetostjo napetostnega delilnika, sestavljenega iz uporov R_1 in R_2 . Delilnik je vezujen obojestransko z U_1 in U_2 .

po superpoziciji

$$U_x = -U_0 = \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right) \cdot U_1 + \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) \cdot U_2$$

V ustaljenem stanju je $U_0 = 0$, zaradi česar je tudi $U_x = 0$. $\left(-\frac{R_2}{R_1+R_2}\right) \cdot U_1 = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) \cdot U_2$

ojačenje invertirajočega ojačevalnika (vedno negativno)

$$U_2 = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1$$

Princip (str. 66)

... ker je U_0 negativna, prične izh. napetost upadati od 0V proti negativnim vrednostim. To manjša napetost U_x in abs. vrednost U_0 .
 Izh. napetost manjša U_0 proti 0. (značilnost neg. povr. zveze)

Ko vhodna napetost vzbuja eno stran napetostnega delilnika, ji mora izhodna napetost držati protutež z napetostjo nasprotno polaritete, da napetost U_0 regine.

Virtualna masa

Med vh. in izh. vejo vezja je virt. masa, zaradi katere se vezji v obeh vejah ne čutita med seboj.

Vzemimo vezje v ustaljenem stanju, kjer je $U_0 = 0$. Ker je neinv. vhod 00 vezan na maso, U_0 pa je nič, je v ustaljenem stanju tudi vozlišče inv. vhoda na potencialu mase.

VOZLIŠČU INVERTIRAJOČEGA VHODA PRAVIMO VIRTUALNA MASA

↳ potencial vozlišča je enak 0V
 ↳ ustvarjeni potencial 0V je zgolj stranski učinek delovanja povratne zveze

i_1 je premo sorazmeren z napetostjo U_1 (= posledica virt. mase) $\rightarrow i_1 = \frac{U_1}{R_1}$

i_2 je enak i_1 (= posledica tolovega Kirch zakona)

i_2 povzroča na uporu R_2 padec napetosti U_{R2} , ki znaša $R_2 \cdot i_2 = R_2 \cdot i_1$

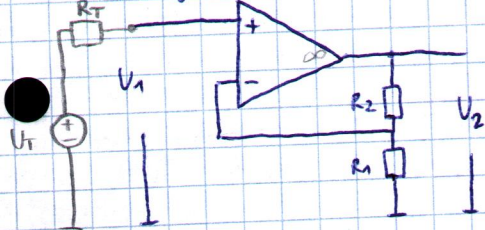
ker tok vedno teče v pozitivno sponko upora, je leva sponka upora R_2 pozitivna; ta sponka je vezana na virt. maso, zato je desna sponka upora ravno na potencialu $-U_{R2}$. To je hkrati izhodna napetost vezja U_2 .

$$U_2 = -U_{R2} = -R_2 \cdot i_2 = -R_2 \cdot i_1 = -R_2 \cdot \frac{U_1}{R_1} = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1$$

$\frac{U_1}{R_1} \rightarrow$ vhodni tok, ki teče preko upora R_2 v izh. veji

Bistvo inverterja je, da je izhodna napetost enaka (negativnemu) produktu toka i_1 , ki teče v vhodno vejo, in impedanca R_2 v izhodni veji.

Vhodna notranja upornost neinv. ojač.



Razliki: $A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

(lahko ustravi le ojačenja večja od 1 (skrajni primer je sledilnik))

Vhodna notr. upornost ne inverterja je ∞ . (če priklj. vir, čuti V_1)

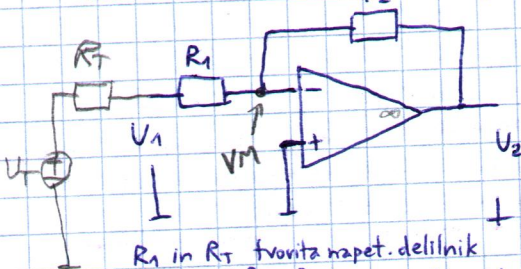
neinv. ojač. NE obremenjuje vh. signala

Vh. signal je vezan le na vh. sponko ∞ , ki se v idealu obnaša kot odprta sponka, zato je vir neobremenjen. daje sesedanje sprejemljivo

$U_1 = U_T$ (ni sesedanja)
Povezava vh. sponke ∞ na napet. vir v idealu ne povzroči sesedanja nap. na izhodnih sponkah vira.

Vhodna notr. upornost inv. ojač.

(15. poglavje)



R_1 in R_T tvorita napet. delilnik

$U_1 = \left(\frac{R_1}{R_T + R_1}\right) \cdot U_T$; $V_1 \approx U_T$, ko $R_1 \gg R_T$

$A = -\frac{R_2}{R_1}$

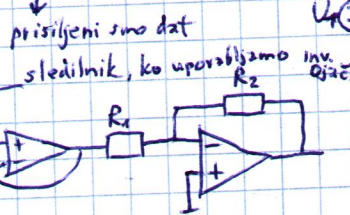
če potrebujemo neg. ojač., $R_2 < R_1 \rightarrow A < 1$

izh. signal stabiljen glede na vh.

... inverterja pa \uparrow .

(virtualna masa), priklolim Th. vir (vir vhodnega signala)

obremenjuje vh. signal s stališča vira je enako kot:



izh. nap. ob upošt. sesedanja zaradi Th. notr. uporn. vira:

$U_2 = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1 = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{R_1}{R_T + R_1}\right) \cdot U_T = \left(-\frac{R_2}{R_T + R_1}\right) \cdot U_T$ oz. $\left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow \left(-\frac{R_2}{R_T + R_1}\right)$

ojačenje inv. ojač. določa zgolj razmerje uporov (ne abs. vred.)

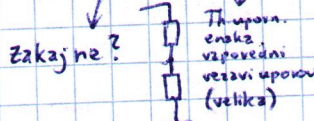
namesto da bi v vzh. sponki mase teklo tok U_T/R_1 se tok zmanjša na $\frac{U_T}{R_T + R_1}$

primerna za ojač. senzor. signalov

Vir je priključen na levo sponko upora R_1 medtem ko je upora desna sponka prikl. na virt. maso.

ojač. ne ojačuje U_T , kar želimo, ampak U_1 na vhodnih sponkah ojačevalnika

lahko dobim manjši signal tudi če uporabim delilnik



Tu je več sesedanja.

Negativna povratna zveza (2. del) (16. poglavje)

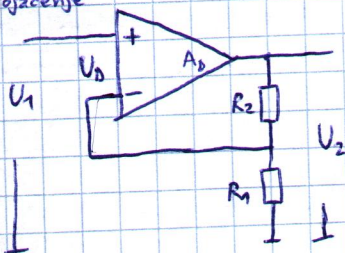
to on ojačuje

V ojačevanje vstopa U_D , na izhodu U_2 .

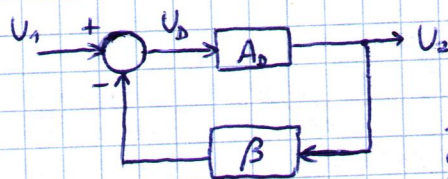
Zaradi napet. delilnika se na inverting vhod ∞ ne vrne celotna U_2 , ampak le del.

neinvert. ojač., ki je izveden z ∞ , katerega diferencialno ojačenje je A_0

∞ potrebuje U_D za gener. izh. napetosti



Neg. povr. zveza omili vpliv akutnih neidealnosti na delovanje vezja; zmanjša vpliv nekaterih neidealnosti ∞ .



Blackov model

v ojačevanje vstopa error signal oz. U_D , U_D ojač. ojačuje z A_0

signal gre skozi delilnik (se deli s faktorjem $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ preden se vrne v sumacijsko točko)

$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \beta$, faktor $\beta < 1$

β določa delilno razmerje

izpeljava

datiščet

$U_2 = A_0 \cdot U_D = A_0 (U_1 - \beta U_2) = A_0 U_1 - A_0 \beta U_2$
 $U_2 + A_0 \beta U_2 = A_0 U_1$
 $U_2 (1 + A_0 \beta) = A_0 U_1$

$U_2 = \frac{A_0}{1 + A_0 \beta} \cdot U_1$

prevedimo

$U_2 = \frac{A_0 \beta}{A_0 \beta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}} \cdot U_1$

$U_2 = \left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}}\right) \cdot U_1$

IDEAL MERILO ODSTOPANJA IDEALA OD REALNOSTI

temelj vseh vezij s povratno zvezo opisuje splošno karakt. vezja, ki deluje na podlagi povr. zveze

oz. odstopanje od ideala

pri sledilniku je karakt. povr. zveze β enaka 1, zato faktorja nismo opazili

idealno ojačenje ojačevalnika določa idealno funkcijo vezja neodv. od tipa povr. zveze

izraz $\frac{1}{\beta}$ je enak idealni karakt. vezja, ki jo določa samo karakt. povr. zveze

β bo ponazarjala / opisuje spl. karakt. povr. zveze

delilno razmerje delilnika v povr. zveze

$\beta = \frac{1}{2} \rightarrow$ idealni odziv 2

če $A = \infty$, bi bil faktor 1 ideal

merilo, za koliko odstopa od realnosti

$$1 + \frac{1}{A_D \beta}$$

neg. povr. zveza je predpogo, da navedimo kaj precizijskega

U_D je signal napake (error), saj je njena vrednost odvisna od tega, za koliko se dejanski odziv vezja U_2 razlikuje od idealnega odziva.

! enačba kvantitativno razkriva, da če imamo vezje s povr. zvezo, potem idealni odziv vezja določa samo karakteristika povr. zveze

β bo ponazarjala splošno karakt. povr. zveze

(določa samo karakteristika povratne zveze zakaj?)

bitvo povr. zveze: $U_D = 0$

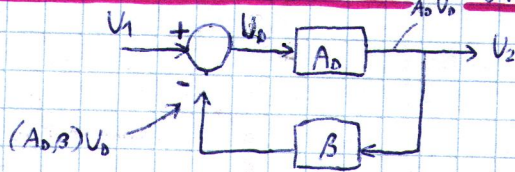
v ustaljenem stanju $U_1 = U_2$ (pri kateri izh. nap. se bo to izpolnilo, določa samo karakt. povr. zveze)

↳ določim funkcijo vezja

$$U_D = (U_1 - U_2)$$

Bolj kot U_2 odstopa od njene idealne vredn., večja je U_D po abs. vredn. Predznak U_D določa smer spremembe, ki naj jo sistem izvede, da se dejanska izh. veličina približa idealni vredn. Pri pozit. vredn. U_D naj izh. nap. NARASČA, pri neg. vredn. U_D pa naj poveča upadanje izh. napetosti.

A_D/β



zanko ne zaključim

zančno ojačenje je ojačenje, ki ga signal U_D doživi, ko prepotuje celotno zanko, tik preden se vrne v sumacijsko točko (ali kompletno ojačenje error signala skozi celo zanko)

kompletno ojačenje error signala skozi celo zanko

zančno ojačenje (str. 75)

veličina, ki meri moč povratne zveze (govori o kakovosti delovanja povr. zveze)

določa odstopanje realnega delovanja vezja od idealnega

(koliko ideal odstopa od realnosti določa izključno zančno ojačenje)

ideal, da se U_D izniči

+1V bi se ojačal z A_D , potem bi se ojačil / ostabil s faktorjem β , in z - predznakom bi veličina vstopila v suma. točko in bolj bi veličina se odštela od U_D

-1V (če je nap. neg.) → U_D potiskalo proti 0
spremenilo bi se v + veličino in se prištevalo

Če U_D odstopa od 0, ima veličina $(A_D/\beta) \cdot U_D$ tak predznak, da se odšteva od U_D in U_D spravlja proti 0.

zančno ojačenje je direktno merilo, kako se povr. zveza trudi U_D spraviti v 0.

, koliko se U_D lahko približa 0, koliko dobro signal lahko deluje

Zaradi končnega zančnega ojačenja se U_D ne more dokončno nastaviti na 0.

↳ tem večje kot je, bolj se U_D približa 0

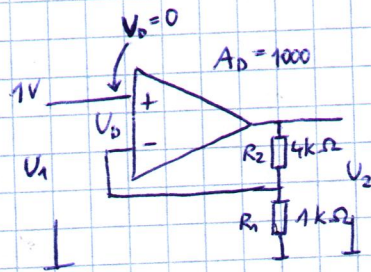
ideal temelji na temu, da se U_D izniči; zaradi končnega zančnega ojač. to ni v celoti možno

Ideal: $U_2 = \left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot U_1$

$\beta = \frac{1}{5} \Rightarrow \left(\frac{1}{\beta}\right) = 5$ ojačevalnik z ojačenjem 5

$A_0 \beta = 1000 \cdot \frac{1}{5} = 200$

sledilnik: $A_0 \beta = 1000 \cdot \frac{1}{1} = 1000$



Realnost: $U_2 = \left(\frac{1}{\beta}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}}\right) U_1$

procentualno odstopanje dejanskega ojačenja od idealnega

$E_{REL} = \frac{A_{REAL} - A_{IDEAL}}{A_{IDEAL}} = \frac{\left(\frac{1}{\beta}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}}\right) - \left(\frac{1}{\beta}\right)}{\left(\frac{1}{\beta}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}}\right)} = \frac{\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}} - 1}{\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}}} = \frac{-\frac{1}{(A_0 \beta) \left(1 + \frac{1}{A_0 \beta}\right)}}{\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}}} = \frac{-1}{1 + A_0 \beta}$

kako dobro se bo ojač. približalo idealnemu $\frac{1}{A_0 \beta}$

relat. napaka ojač. je obr. sorazm. z znčnim ojačenjem

sledilnik ima najmočnejšo možno povr. zvezo, ki jo lahko naredimo z nekim 00 (slabljenje uvedemo v povr. zvezo → s tem slabimo znčno ojač. in moč povr. zveze s tem upada, zato % napaka narašča), večje ojačenje kot bom navedil z 00, bolj bom moral oslbiti povr. zvezo

sledenje ima znčno ojač. 1000, → sledenje bo na 1 promil natančno

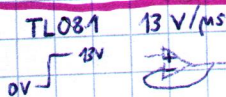
$A_0 \beta = 100 \rightarrow 1\%$ napake
 $10 \rightarrow 10\%$

ojačenjem $1 \dots 0,999$
 $\rightarrow 1000x$ bolj oslabilena povr. zveza v primerjavi s sledilnikom
 \downarrow
 $1000x$ večja napaka

↳ bolj bodo vezja odstopala od idealnih

SLEW RATE

kako hitro se lahko izh. napetost spreminja



0,3 V/ms
25 V/ms

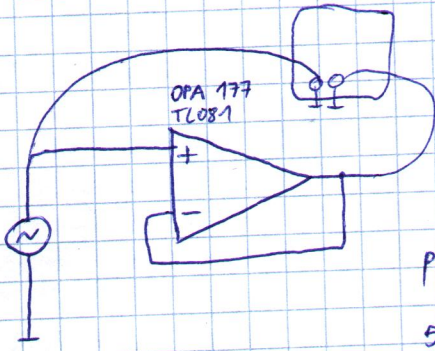
fizika onemogoča, da bi proizvajalec naredil vse parametre dobre (če neki izboljša, mora drugo oslabeti)

100 dB → 100.000
80 dB → 10.000

ne kupuj na podlagi cene

→ sound blaster (precizno ojač. nima pomena, pomembni višji harmoniki → barva zvoka)

4. LABORATORIJSKA VAJA



največja hitrost spreminjanja

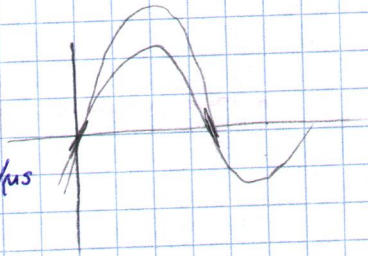
naredili bomo sledilnik, ki ga bomo vzb. s sig. gener. in na oscil. gledali, kaj se dogaja

slew rate 13 V/ μ s
najlažje opazovat, ko imamo velike amplitude

povečamo frekv. \rightarrow sin se spremeni v trikotnik

5V / razdelek
200 ns

$$\frac{\Delta U_2 = 20V}{\Delta t = 1400 ns} \left\} \frac{20V}{1,4 \mu s} = 14,29 V/\mu s$$



OPA 177

zmanjšajo napako $\frac{U_2}{A_0}$, večje ojačenje 1,30 €
moraliso ga upočasniti, da je stabilen (večji slew rate) 50x
pri nizkih frekv. je OK

če ful povečamo, se „posoda obrača navzdol“
iščemo ravno mejo, da odčitamo slew rate

$$\frac{20V}{80 \mu s} = 0,25 V/\mu s$$

TL081

oscil. priklopi na + napajalno sponko

neidealnosti na napajalnih sponkah

(majhne napake \rightarrow iz 5V / razd. spr. na 10 mV / raz.)

Coupling spr. v AD

□ pulzi ... špice in zadera zanika

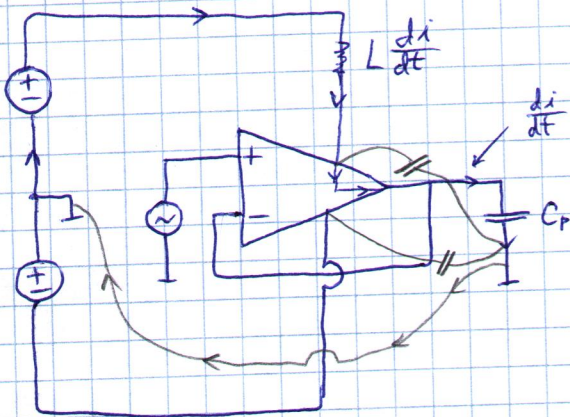


AC režim - signal odstrani enosm. komponento in vidimo le spremembe

ob priklopu napajalna napetost zniha

damo kondenzator iz izhoda na maso \rightarrow efekt se poveča
če smo rehol dodatno kapacit. obremenili, še bolj ponori napajalna napetost

celo vezje (tudi napajanje)



vedno obstajajo parazitne kapacitivnosti (učinek rezist. zlasti pri pravok. pulzih)

\hookrightarrow hipna spr.

(kond. je treba napolnit in sprazniti) - ogromno tok

tik preden dobimo stopnico, je tok 0, potem je blazno velik odvod toka

$$I_c = C \frac{dU_c}{dt}$$

tok teče po notranjosti čipa iz napajanja (tok kroži)

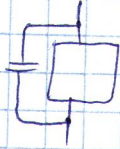
usmernika nista enako obremenjena (glede na potrebo bremena)

fokorna zanka, z veliko površino \rightarrow zanke predstav. parazitne induktivnosti \hookrightarrow (indukt. padec na sami žici) \rightarrow ni kriv usmernik, niti napaj. nap. na čipu niha

vedno je treba preverjat, kaj se dogaja na napaj. sponkah (če je nestabilno, se posoda \curvearrowright)

Ukrepi za zmanjšanje

- čim manjše površine zank, + in - ozko skupaj
- ground plane, če je več stoev, en staj štrujemo za maso (da je ground blizu)
- blokirani kondenzatorji



104 → 10.0000 pF
 103 ↑ štiričr → 100 nF
 10 nF
 pF ali nF iz oblike uganemo

blok. kond. med + nzp in maso in med - in maso

se izboljša č

Preprečujejo nihanje na napajalnih linjah

(prejšnja slika)

čim krajše povezave

hitri tok - in-rush current

$$I = C \frac{U}{dt}$$

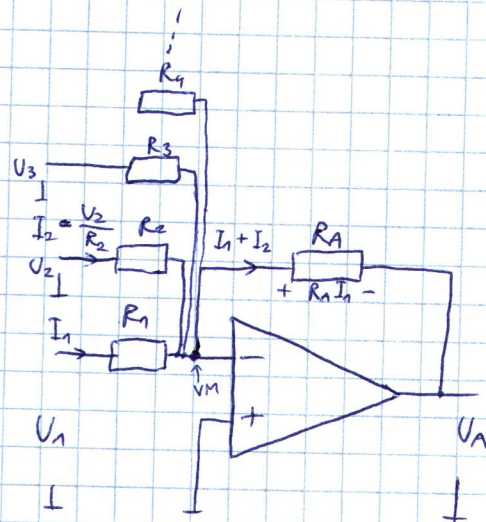
kond. pokriva tokovno potrebo

1. razlog: lokalni rezervoar naboja

ne prevelik! sredinske vred. pri visokih frekv. so kond. tuljave, pri nizkih upri



$$Z = \frac{1}{j\omega}$$



U1 vsiljenav R1, tok $\frac{U1}{R1}$, teče skoz RA padec $R_A \cdot I1$

$$U_A = -R_A \frac{U_1}{R_1} = \left(-\frac{R_A}{R_1}\right) \cdot U_1$$

dodamo še en upor R2 (navavež)

VM bi še vedno bila

ne zmoti tok v drugi veji

tok se nič ne spremeni

2 tokova pritokata skoz VM in skoz upor RA

$$U_A = -R_A (I_1 + I_2) = -R_A \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}\right)$$

(vsota vh. nap.)

$$U_A = -(U_1 + U_2)$$

negat. vsota vh. napetosti
seštevalnik

brez - ni virtualne mase

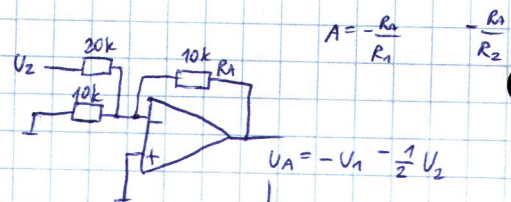
še R3

če so enaki, vsota

$$\text{različni: } U_A = -R_A \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_N}{R_N}\right)$$

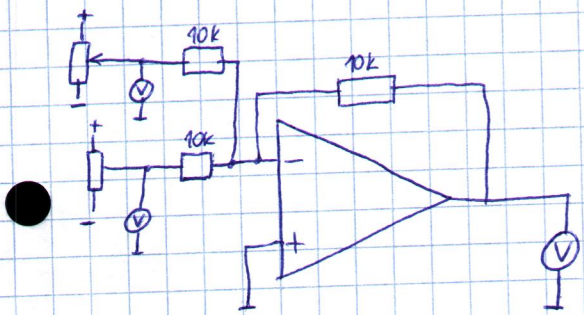
določimo koeficient

če upori namerno niso enaki (obrnj)



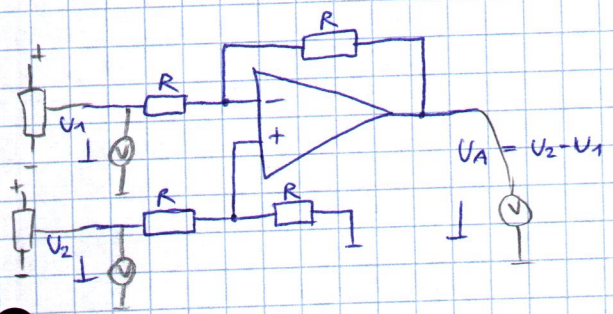
$$A = -\frac{R_A}{R_1} - \frac{R_1}{R_2}$$

kitara, klavir... akustična mešalna miza
 RA - master, R⁷



pride naspl.
3V, 5V, -8V

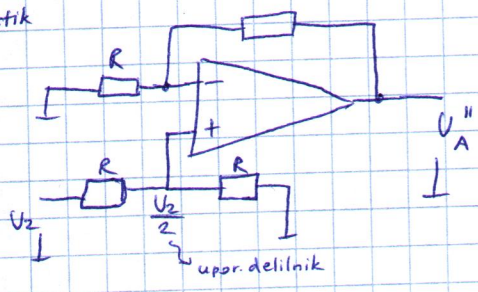
SEŠTEVALNIK



kar dam na vhod dobim na izhodu (poslki za U2)

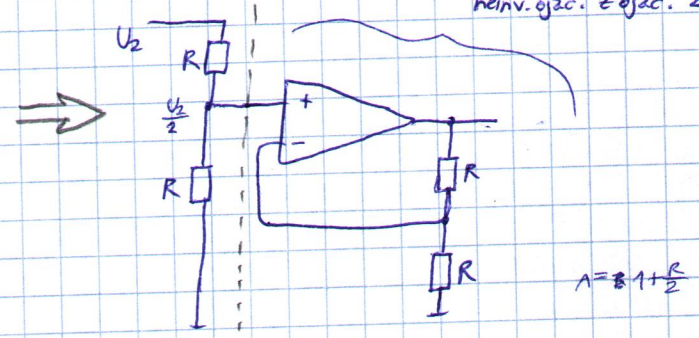
Uporabimo superpozicijo!

za U2:
kratki



veže drugače narišemo

neinv. ojač. z ojač. 2

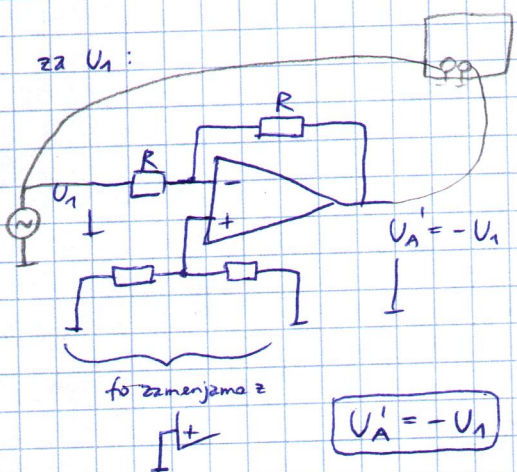


Vh nap. se deli na pol, potem se ojači z ojač. 2

$$U_A'' = U_2$$

veže prestika na izhod

za U1:



to zamenjama z

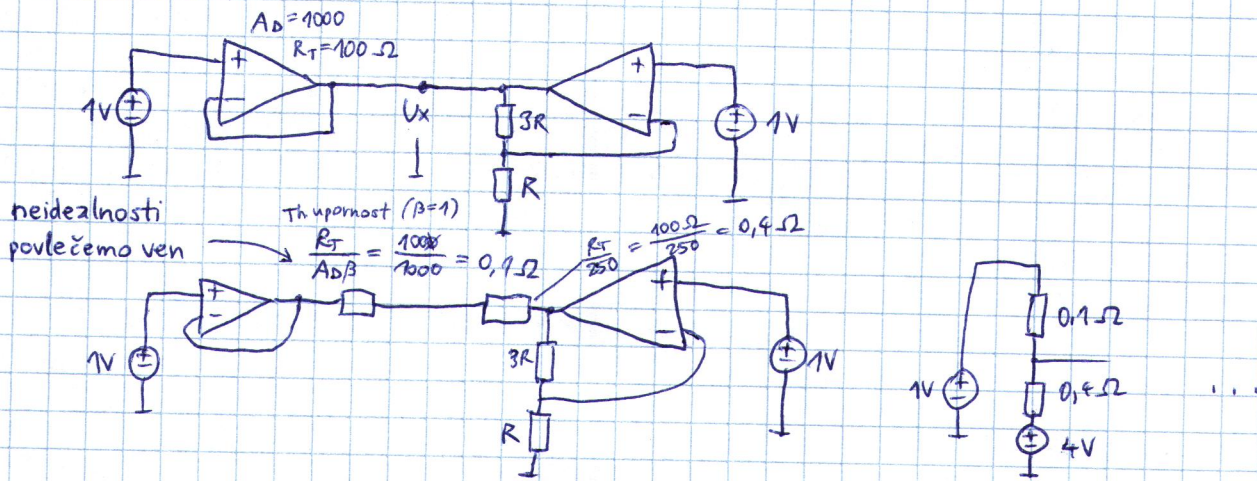
$$U_A' = -U_1$$

ojač. je komb. inverterja in neinverterja

$$U_A = U_2 - U_1$$

4. kolokvij

1. Seštevalnik razloži delovanje
2. Odštevalnik razloži (superpozicija)
3. Reši U_x proti masi!



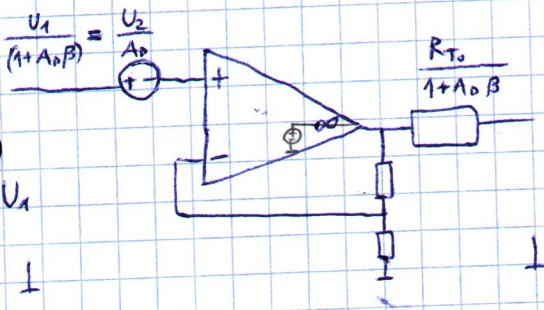
pri ojačevalniku pa upoštevamo β faktor

$$1000 \cdot \frac{1}{4} = 250$$

Realni $\infty \rightarrow$ naredimo ojačevalnik

$$U_2 = \left(\frac{1}{\beta}\right) U_1$$

za obravnavanje napak s
superpozicijo. lažje razumev.
vlečemo neidealnosti ven,
želimo, da ∞ postane
idealni

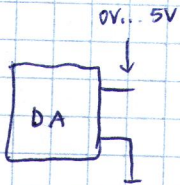


sesedanje prikazemo z zunanjim
uporom, ki ga vežemo zraven

napako ojačenja ponazorimo z
zunanjim virom, ki ga vežemo zraven

NAPETOSTNO PRILAGAJANJE OBMOCIJ

kombinacija ojačevanja in prištevanja konstantne napetosti



vezje za prilag. napet. območij nam določen interval vh. nap. preslika v drug int. izh. nap. (vmesne vh. nap. se preko lin. interpolacije preslikajo v vmesne izh. vrednosti)

-10V...+10V

potrebujemo precizno uporovno razmerje za izvedbo preciznega ojačevanja in tudi napetostno referenco za izvedbo preciznega napet. premika

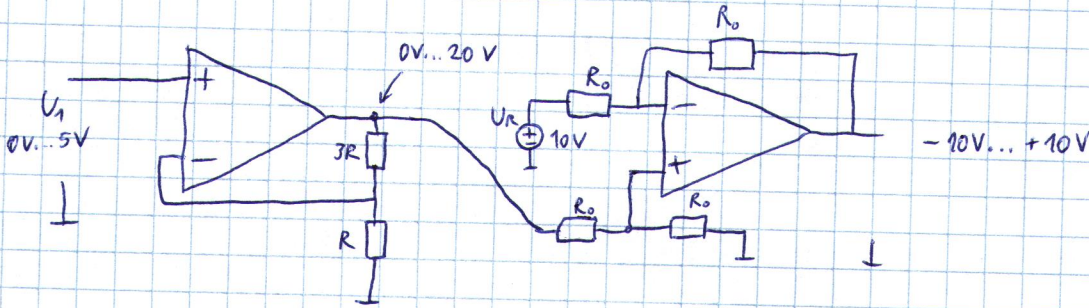
"TI SI JIN, KI SA MISEM NIKOLI IMEL."

ocenimo širino vh. in izh. intervala

5V 20V → razbimo 4x ojačenje

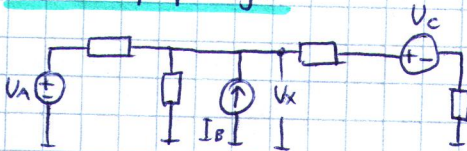
0V...5V → 0V...20V

→ treba je še od V_x odšteti konst. (referenčno) napetost $U_R = 10V$



vezje ni optimalno

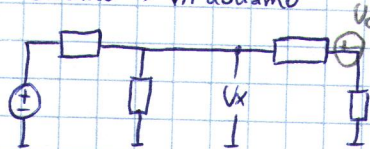
"reverzna superpozicija"



$$U_X = K_A \cdot U_A + K_B \cdot I_B + K_C \cdot U_C$$

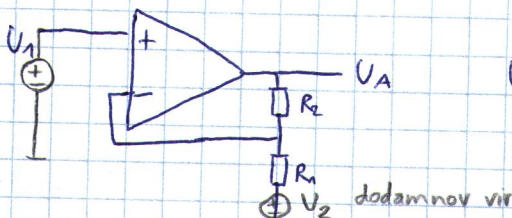
lahko obravnavamo kot superpozicija

obratno → vir dodamo



$$U_X = K_A \cdot U_A + K_C \cdot U_C$$

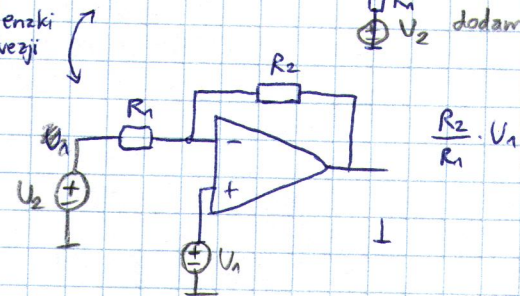
kadarkoli imate v nekem vezju neko signalnosponko vezano na maso, lahko to obravnavate kot da imate izklopljen vir superpoz. (če tam prikl. signal, dobimo nov člen superpozicije)



$$U_A = \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_1}_{\text{superpozicija za } U_1} - \underbrace{\frac{R_2}{R_1} U_2}_{\text{superpozicija za } U_2}$$

neinvert. ojač. $U_A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1$
invert. ojač. $U_A = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_2$

če vezem na maso, mi tisti člen izgine



imam inverter in neinverster

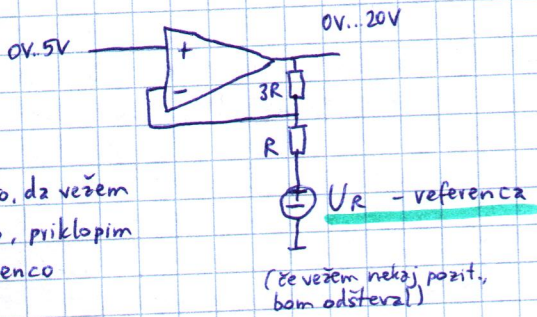
na maso gledamo kot neizkoriščen vhod

Neinvert. in invert. ojačevalnik sta eno in isto vezje, to vezje hkrati in vedno izvaja obe funkciji. Če izvedba v konkretnem primeru uteleša samo en tip ojačevalnika, je to zato, ker ne izkoriščamo obeh njegovih vhodov.

Če je signalna veja vezana na maso, taka veja predstavlja možni dodatni vhod vezja (če vejo odklopimo od mase in jo pričneemo vebujati s signalom, pridobimo dodatno funkcionalnost - dodatni člen superpozicije, brez dodatnih elementov in stroškov).

Vgotovitev ne veja z napajalne veje.

opči z ojačenjem 4



namesto, da vežem na maso, priklopim na referenco

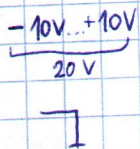
$$U_R \cdot \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) = -10V$$

$$U_R \cdot 3 = 10V$$

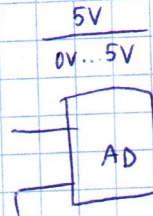
$$U_R = \frac{10V}{3}$$

ojačenje in odštevanje se izvedeta hkrati v enem koraku (bolj kompaktna zaveza, brez problemov nasičenja ...) prihranek stroškov

obratni primer



$$A = \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{4}$$

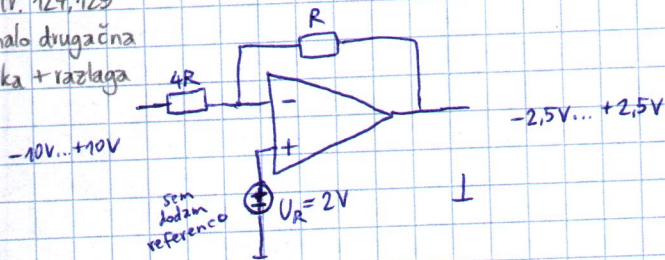


vzimo ojač. $\frac{1}{4}$

v praksi dodamo k ref. n.p. še sledilnik, saj je referenca obremenjena z nizko vh. upornostjo ojačev. R_1 (slika spodaj levo)

str. 126
nujno začnemo z inverterjem (ker je možno doseči ojač. < 1)

str. 124, 125 malo drugačna slika + razlaga



offset

Z invert. ojač. lahko izvedemo tudi ojačenje, ki so po abs vrednosti < 1 .

Slabljenje lahko izvedemo tudi z delilnikom, vendar je delilnikova Th. upornost velika, kar zahteva dodatek sledilnika.

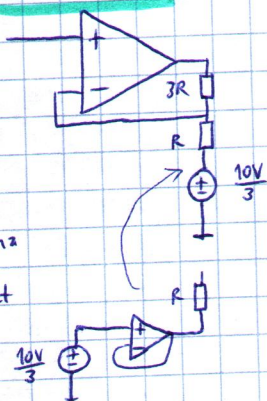
$$1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{1}{4} = \frac{5}{4} \text{ (ojačenje)}$$

$$U_R \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 2.5V$$

$$U_R \cdot \frac{5}{4} = 2.5V$$

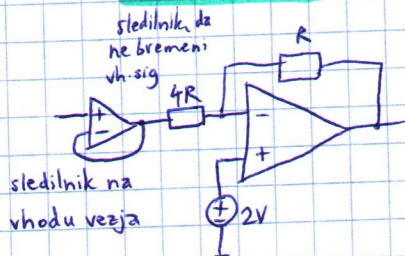
$$U_R = \frac{4}{5} \cdot 2.5V = 2V$$

2 vezji z neinvert. sistemom



tu je pa referenca obremenjena ↓ moramo dati sledilnik

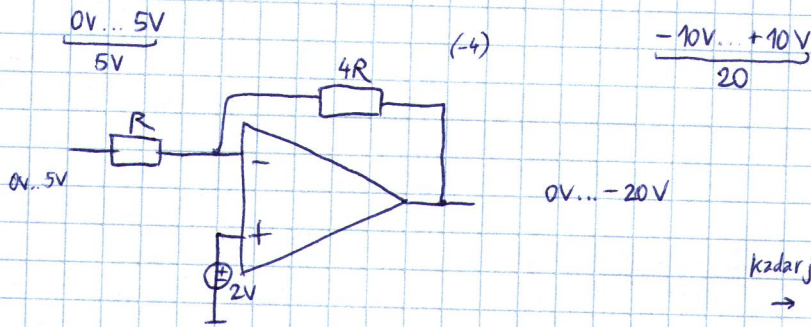
z invert. sistemom



sledilnik na vhodu vezja

sledilnik, da ne bremeni vh. sig.

izvorni problem
hočem inverter



vhod čuti ojačenje:

$$1 + \frac{4R}{R} = 5$$

kako dosežem premik za 10V? da dazm @ 2V

kadar je ojač. večje od 1, se splača probat
→ refer. uporabimo za obe vezji

TOKOVNI VIRI

R_1 je krmiljen napetostno, R_2 pa tokovno s tokom I_1

↳ v ustaljenem stanju je $U_b = 0$,
s čimer sta oba vhoda ∞ na potencialu U_1 ,
uporu R_1 je vsiljena U_1 ne glede na vrednost
njegove upornosti

$$U_{R2} = R_2 \cdot \left(\frac{U_1}{R_1}\right)$$

$$U_{R1} = U_1$$

① U_1 je vsiljen uporu R_1

$$② I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

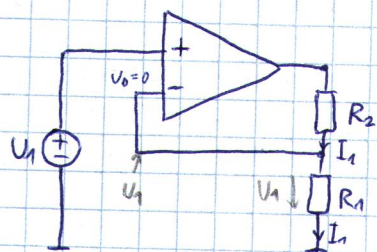
↳ priteče iz ojačevalnika, preko R_2
(preko obeh uporov teče isti tok I_1)

napetostno krmiljeno

nap. vsiljena,
s tokom se
prilagodi

tokovno krmiljenje

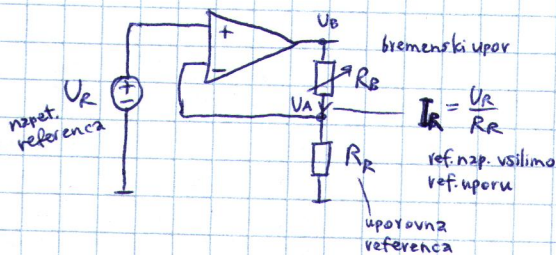
upor se ne more odložit
o toku, ki teče čez njega
vir se prilagodi z
napetostjo
v širokem obm. upornosti bo tok pribl. enak



∞ v ustalji stanju izregulira, da
je U_1 vsiljena uporu R_1

vh. nap. in R_1 določata
tok prek upora R_2

Tokovno krmiljenje senzorских uporov



bremenski upor

$$I_R = \frac{U_R}{R_R}$$

ref. nap. vsilimo
ref. uporu

uporovna
referenca

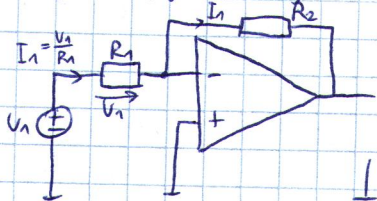
senzorju R_b vsiljujemo I_{ref} , ki priteče preko
 R_b , ki posledično čuti, daje priključen na precizijski tok vir I_{ref} .
ima vlogo bremena, ki je priklj. na tok. vir, medtem ko sta U_a in U_b
priklj. sponki tok. vira

odštevalnik napetosti U_b in U_a na svoj izhod prenese zgolj koristni del informacij
(dobljeni signal je primeren za priklj. na AD pretvornik)

Tokovni vir lahko napaja breme R_2
s tokom obeh smeri.

ker je pomazljanje
tokovnih referenc,
vzememo napet. ref. in vsilimo
ref. uporu → prisilimo, da tok teče čez breme

pri inverterju je ista situacija



upor je tokovno krmiljen

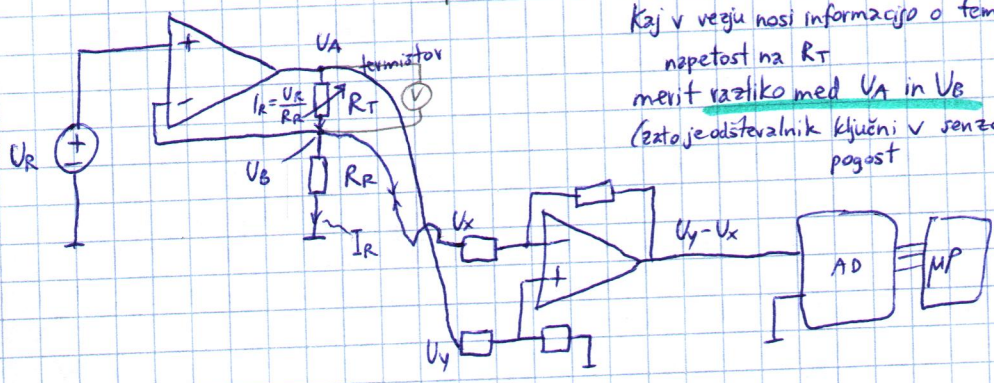
aplikacije:
čezemanje uporovnih
senzorjev

Ⓟ plava //
↳ praktično neugodno

Na podlagi temperature se termistor spreminja.

prisilimo, da prek termistorja teče ref. tok I_R

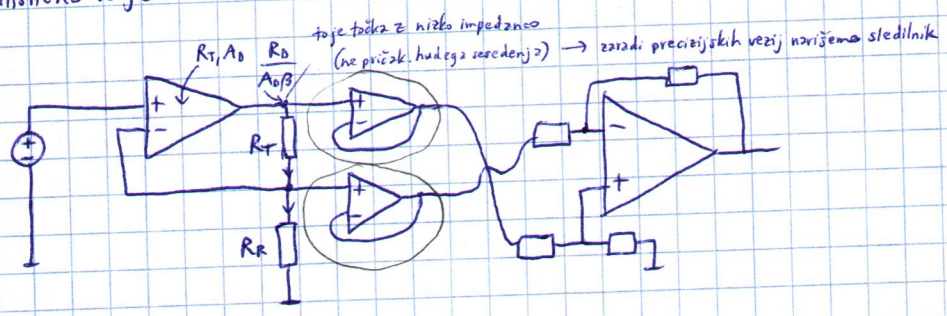
Kaj v vezju nosi informacijo o temperaturi?
napetost na R_T
merit razliko med U_A in U_B
(zato odtičevalnik ključni v sensoriki)
pogost



ODTĪČEVALNIK daje reh. n.zp., ki je referencirana proti masi

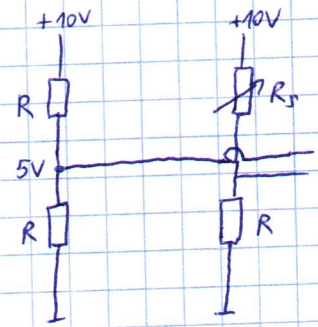
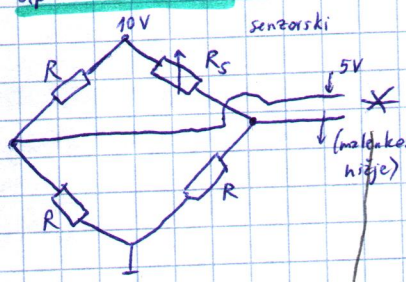
za U_x manjka stredilnik

realistično vezje:



Uporovni mostiči

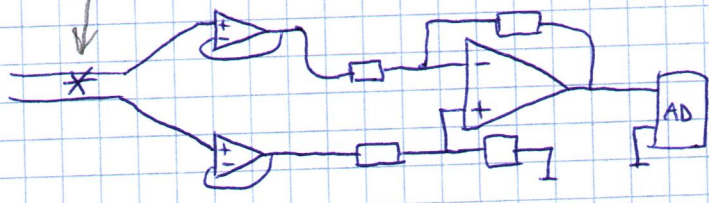
~ 2 neodvisna delnika



razlika pove o višini vode

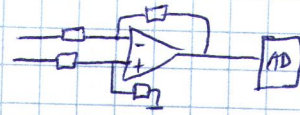
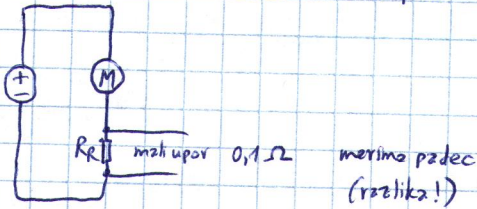


tako se odtičava tokovne senzorje



Krmiljenje mag. polj ali mehanskih navorov
motor (str. 146)

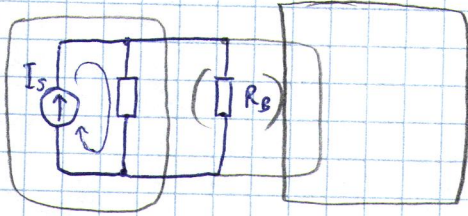
Krmilimo navor motorja, ki je pri mnogih izvedbah DC motorjev prenosor. s tokom → sledi zahteva po krmiljenem tokovnem viru.



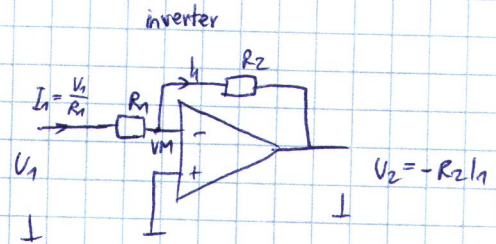
Odcitavanje tokovnih senzorjev

25 mA

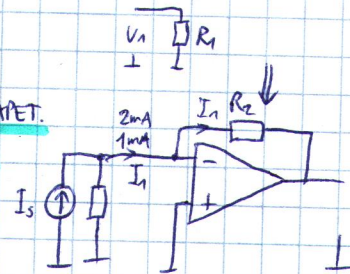
Na kakšen način zajeti tok, ne da upliva na senzor?



senzor prikl. na črno skatlo

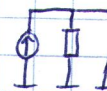


TOKOVNO-NAPET. PRETVORNIK



BISTVO
 $V_2 = -R_2 \cdot I_1 = -R_2 \cdot I_s$

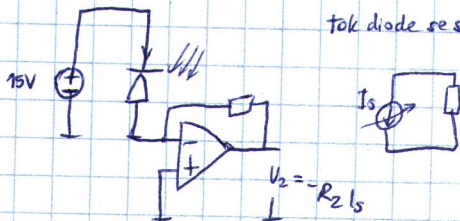
višnji v iluziji, da je vezan v kratek stik (v ustaljenem stanju)



zodnjih 73

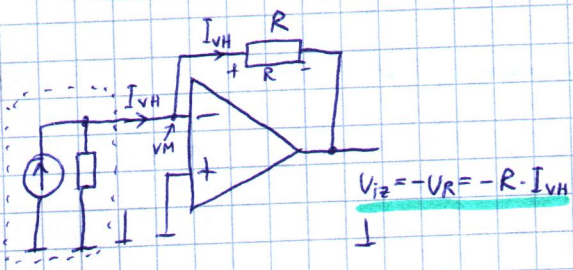
fotodioda

tok diode se spr. z osvetljenostjo



ANALIZIRAJE
ZA IZENČU VPODNE
VARNOSTI 1/10 PRETV.

5. LABORATORIJSKA VAJA - TOKOVNO-NAPETOSTNI PRETVORNIK



tok.-nzp. pretvornik
Nortonovo vezje

Napetost na izhodu je odvisna od toka, kiga vsiljujemo na vodu.

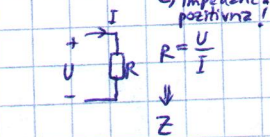
$$U_{iz} = -R \cdot I_N$$

Tokovni signal se spremeni v napetostni, zato je to IN pretvornik.

Impedanca - kompl. upornost
Razm. med. nzp. in tokom na (DTH) sponkah
↳ impedanca pozitivna!

$$U_{iz} = k \cdot I_{VH}$$

↑ transimpedanca



$$k = \frac{U_{iz}}{I_{VH}}$$

→ ko je razmerje na razl. sponkah ~ TRANS (ena vhod, druga izhod)

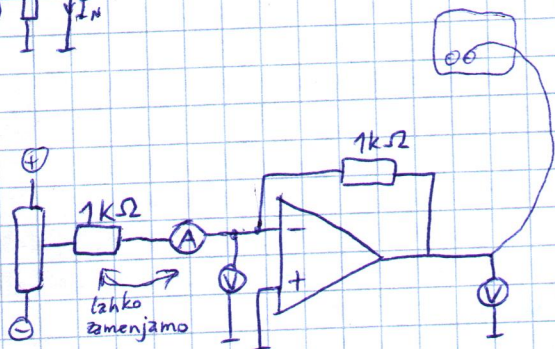
Nort.vir dovaja tok v vhodno sponko

Upornosti R pravimo TRANSREZISTANCA → faktor, ki pove, kolikokrat večja bo napr. na izhodu proti toku na vodu

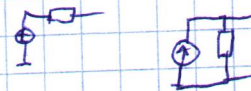
predznaki niso pomembni, lahko je +/-



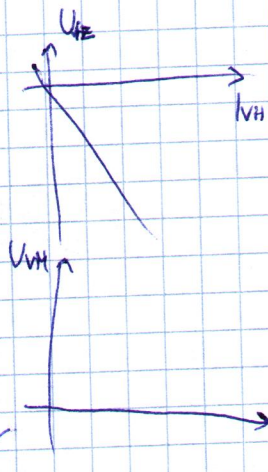
hočemo, da je vezni v kratek stik



Th.vir lahko uporabimo kot Nortonov



bo ravna črta na oscil., ker vezje ni kritično



0	20mV
-2,23 mA	→ 2,12V
-1,27	→ 1,26V
-0,64	→ 6,37
0,19	→ 193,6 mV
1,11	→ 11,06
2,29	→ -2,26
3,20	→ -3,73

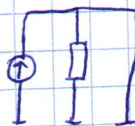
-8,31 mA	→ 0,01 mV
2,78	0,01
0	1,15
1 mA	→ 1,17 mV
2	→ 1,18
3	1,2
4	1,24
-6	1,13
6	1,33

985.417

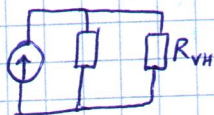
↓ iz!

lahko določimo vh. notr. upornost

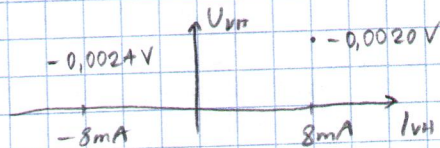
ideal je, da je Th.vir vezan v kr.stik



realnost:



$$R_{VH} = \frac{\Delta U_{VH}}{\Delta I_{VH}} = \frac{\partial U_{VH}}{\partial I_{VH}} \text{ teoretično}$$



$$\frac{0,4 \text{ mV}}{16 \text{ mA}} = 0,025 \Omega$$

Invertirajoč je v osnovi V/I in I/V pretvornik v enem.

analitično

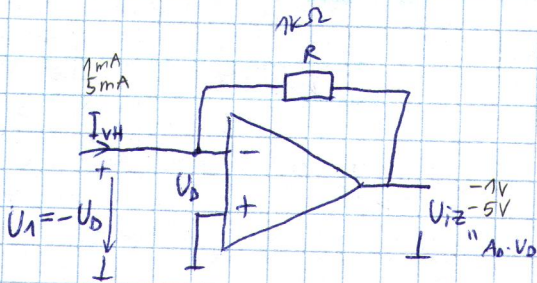
U_D onemogoča, da bi bila vh. upornost 0

$$R_{VH} = \frac{\Delta U_{VH}}{\Delta I_{VH}} = \frac{\partial U_{VH}}{\partial I_{VH}} = \frac{R}{A_D}$$

$$U_{iz} = A_D \cdot U_D$$

rabi U_D , da se izh. napetost generira

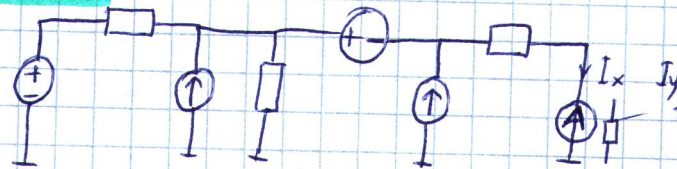
če A ni ∞ , vh. upornost ne more bit 0



$$U_{VH}(I_{VH}) = -U_D = -\frac{U_{iz}}{A_D} = -\frac{(-R) I_{VH}}{A_D} = \frac{R \cdot I_{VH}}{A_D}$$

$$R_{VH} = \frac{\partial U_{VH}}{\partial I_{VH}} = \frac{R}{A_D} = \frac{10^3 \Omega}{200000} = 0.005 \Omega$$

Merjenje toka



NOTR. UPORNOST $\text{\textcircled{A}}$!

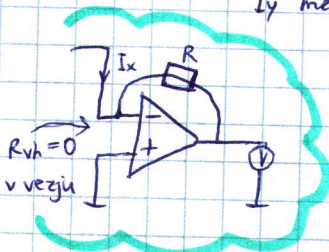
to bi dzeli, da bi zmerili tok

$\text{\textcircled{A}}$ moramo vidt kot impedanco

s priklj. $\text{\textcircled{A}}$ spremenimo razmere v vezju, zato ne merimo I_x

I_y merimo in upzmo, da je dovolj podoben I_x

druga rešitev



pridemo bližje pravi vrednosti kot če vgradimo $\text{\textcircled{A}}$

$$U \rightarrow -R I_x$$

$$I_x = \frac{U}{-R}$$

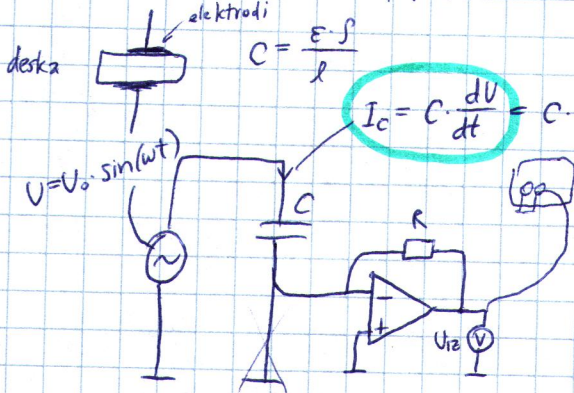
želimo izmeriti tok, ne da bi spremenili razmere v vezju
 → napeljemo maso na virtualno maso
 ∞ vedraje na vrodu virt. maso, zato v idealnem primeru pri merjenju toka ne naredimo sistematičnega pogreška

Zakaj to ni v $\text{\textcircled{A}}$?
 Ker to ni robustno
 Upornost je nizka
 dakler ∞ ni v nasičenju... občutljivost

merjenje kapacitivnosti

(merilnik vlažnosti, bližine, pospeškometer)

Kapacitivnost lahko merimo tako, da vzbujamo kondenzator s sinusno napetostjo in merimo tok skozi C.



$$I_C = C \cdot \frac{dU}{dt} = C \cdot \frac{d(U_0 \cdot \sin(\omega t))}{dt} = C \cdot U_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$$

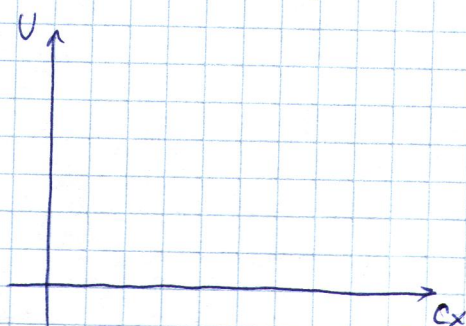
$$U_{iz} = -R \cdot I_C = C \cdot \underbrace{[-R \cdot U_0 \cdot \omega]}_k \cdot \cos(\omega t)$$

$$U_{iz} = -R \cdot I_C \propto C$$

na kondenzatorju
 tok je prenos or. s kapac.
 pri konstantni ampl. in frekv. vzbujanja
 tok naj teče v VM

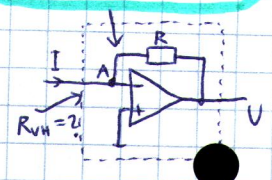
Vh. napetost V/I pretv. je 0! Ker je točka A na virt. masi, je vh. nap. $U_{VH} = 0$ ne glede na to, kakšen tok pripeljemo na vhod.

Kalibriramo, vzp. vezava kapacitivnosti



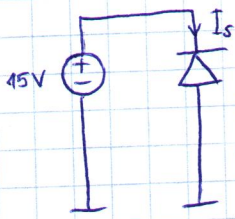
30,6	0,306 V
dodamo	10^{-4}
1,436 V	10^{-4}
10,3	$\rightarrow 10000 \mu F$
1,525	

33 μF	$\rightarrow 0,397 V$
10000 pF	$\rightarrow 1,044 V$
0,001 μF	$\rightarrow 0,096 V$
10000 pF	$\rightarrow 0,116 V$



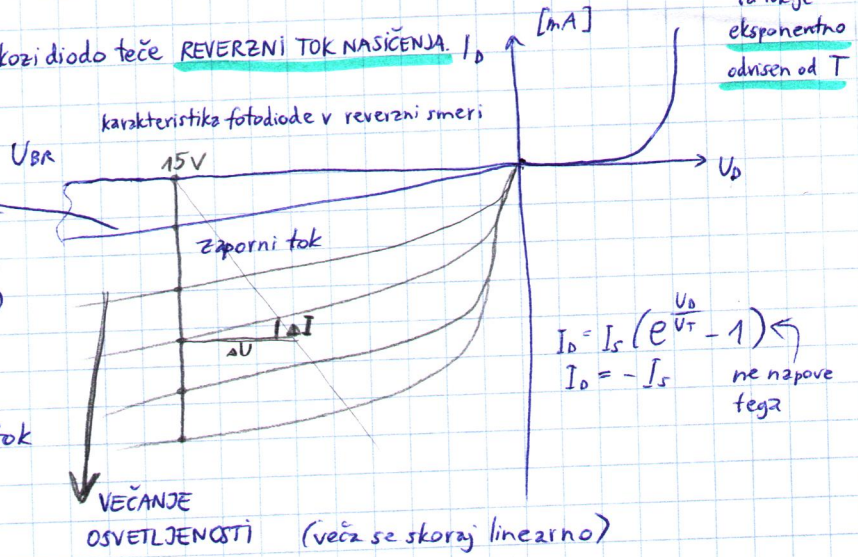
FOTODETEKTORJI

fotodiodo povežemo v zaporno smer, skozi diodo teče REVERZNI TOK NASIČENJA, I_D



tok, ki ga dobimo, ko dioda ni osvetljena
 ← DARK CURRENT (reverzni termični tok nasičenja)

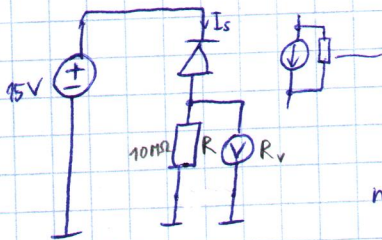
I_s odvisen tudi od osvetljenosti diode
 če dodo svetlino, sebo dodal dodatni tok



$$I_D = I_s \left(e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1 \right)$$

$$I_D = -I_s \quad \text{ne napove tega}$$

vgradimo upor, z \odot merimo padec napet. na uporu (I_s merimo posredno preko padca nap. na uporu)
 → ko narašča, pade na diodi napetost



lahko obravnavam kot tok.vir
 diodo obr. kot Nort.vir

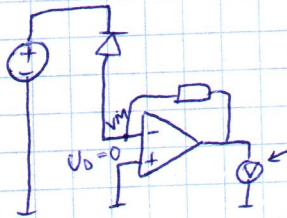
Nortonova upornost

$$R_N = -\frac{\Delta U}{\Delta I}$$

odčitamo kot strimino karakteristik

napetostna \odot je sorazmerna osvetljenosti

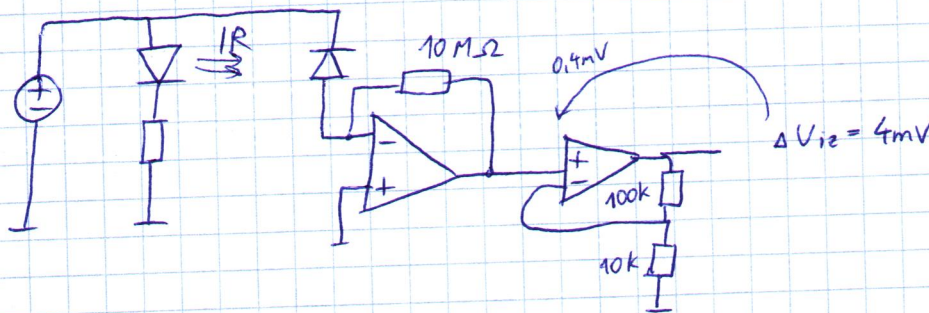
strmina predstavlja Nortonovo notranjo upornost



PROBLEM: več je osvetlitve, več je toka, večji padec nap. na R, manjši je padec nap. na diodi
 Dioda torej ne držimo na konstantni reverzni napetosti, zato ne moremo dobiti lin. odvisnosti napetosti voltmetra od osvetljenosti.

napetost je bolj linearno odvisna od svetlobe
 $U_2 = -R \cdot I_s$

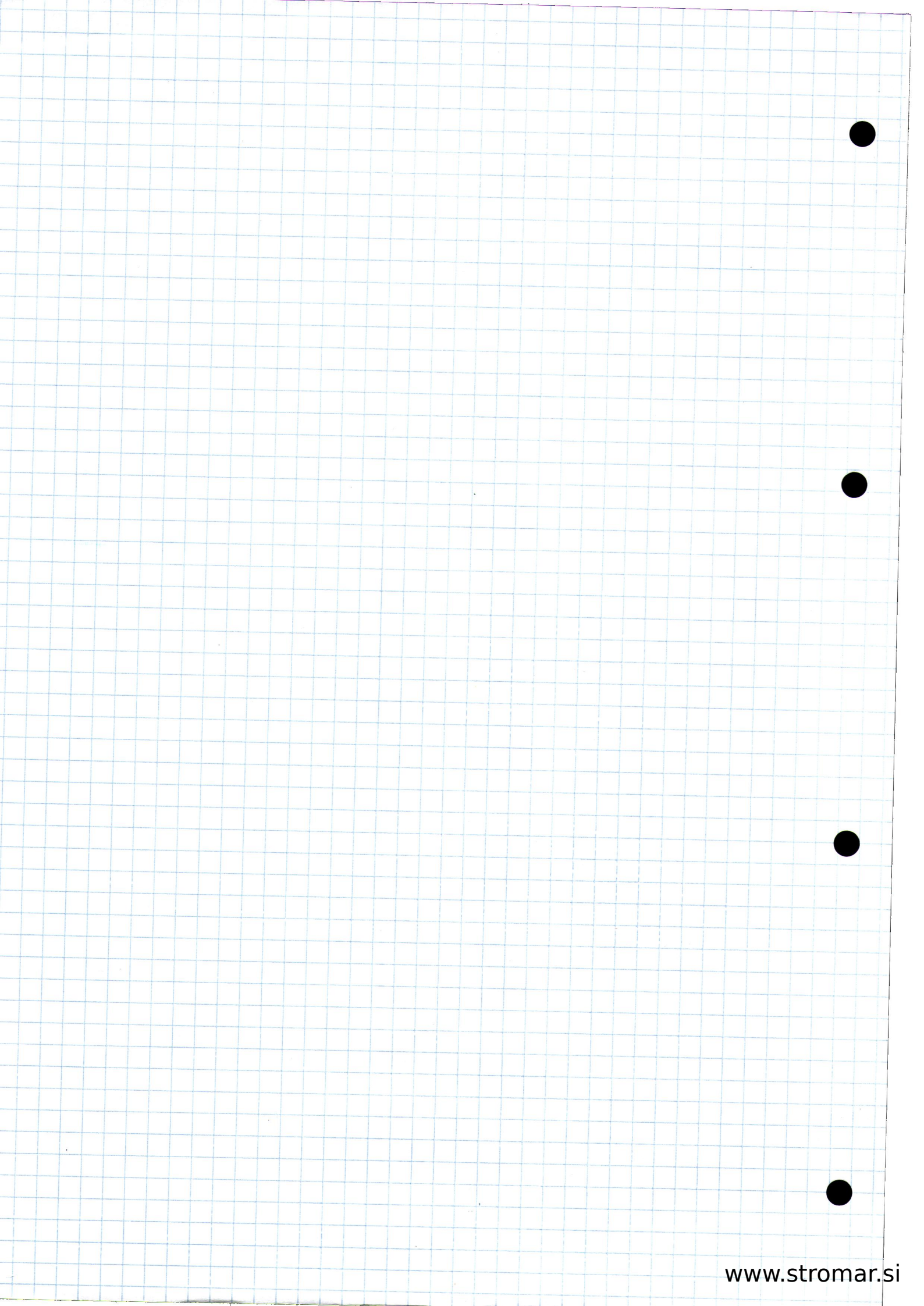
Ker skozi diodo teče tok tudi ko ni osvetljena, dobimo na izhodu neko negativno napetost.



$$I = \frac{0.4 \text{ mV}}{10 \text{ M}\Omega} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{10^7} = 40 \text{ pA}$$

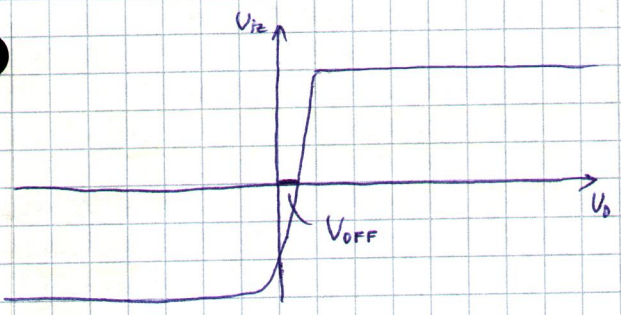
senzorjevi signali so zelo revni

St. 50
 izboljšava
 večja?



NAPETOSTNI PREMİK

$V_{OFF} = 1mV$ pomeni, da moramo na + sponko 00 vsiliti napetost 1mV, da dobimo na izhodu napetost 0V.



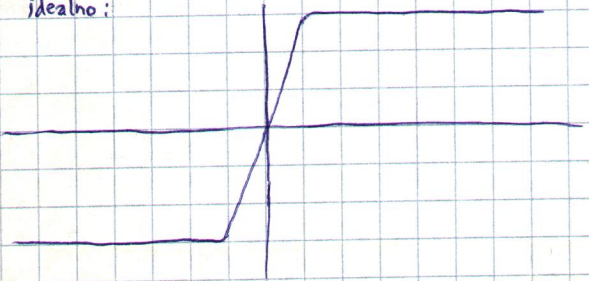
izmik po x-osi je offset (napetost, ki jo moramo dati na vhod, da na izhodu dobimo 0)

zakaj se pojavi? Posledica tolerance izdelave tranzistorjev, ki sestavljajo vhodni diferencialni ojačevalni stopnjo.

diferencialni ojačevalnik

tranzistorji se med sabo razlikujejo!!

idealno:



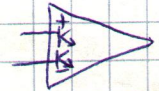
■ Kaj je napetostni premik? Napaka 00, ki povzroči, da 00 narobe zazna, kdaj se njegovi vh.nap. ne razlikujeta. Teh.nap. 00 je enaka 0, ko se napetosti na vh.sponkah razlikujeta za V_{OFF} .

→ večje tolerance → večji offset V_{OFF}

velikostni red 15-20 mV (TL081), narejen je s FET tranzistorji
LM741 je iz bipolarnih tranzistorjev, 3-4 mV

poskušaj biti čim bolj simetrično

bipol. tr. bolj natančno izdelani! offset manjši, ožje tolerance
FET imajo majhen vhodni tok, potrebujejo bazni tok za delovanje
bipol. tr. imajo večje vhodne tokove



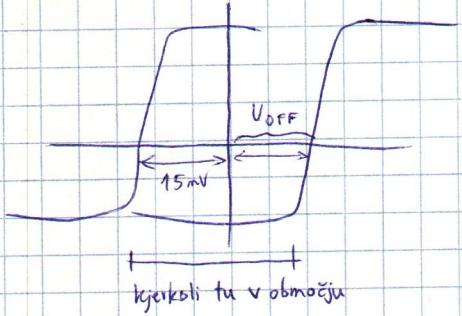
kompromis med preciznostjo, ozko toleranco in majhnimi vhodnimi tokovi

OPA 604, 5mV, FET (nizki vh.tokovi in manjša natančnost)
lasersko trimanje je postopek, ki omogoča proizvajalcu, da naredi element bolj precizen kot mu omogoča surov proizvodnji proces (tako element je bistveno dražji)

OPA177 za precizne aplikacije, majhen offset, lasersko trimanje (se naknadno korigira) 25 μV , bipolarni tr.

koliko je kvakt. izmaknjena iz k.s.

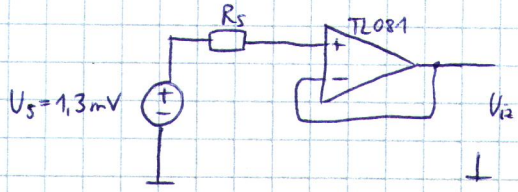
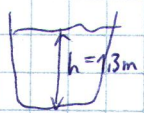
ne pove nam konkretne številke, ampak meje



OFFSET lahko manjšamo z laserskim trimanjem.

Pri odprtem čipu in vazl. temp. merimo napetost in lasersko trimamo (čujemo) upove ter jih s tem nastavimo na optimalno vrednost. Natak način ne moremo povsem odstraniti offseta, ker potem ko čip zalijemo, elektronske komponente za malo spremenijo parametre.

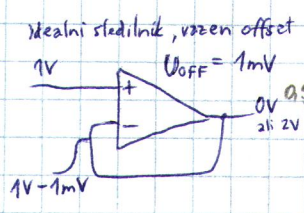
imamo nek senzorski signal
senzori ima veliko T_h upornost
→ sledilnik



■ Skicirajte sledilnik in razložite, kako nap. premik upliva nanj!
00 izhodno sponko sledilnika nastavlja na napetost, ki se za U_{OFF} razlikuje od vhodne napetosti.

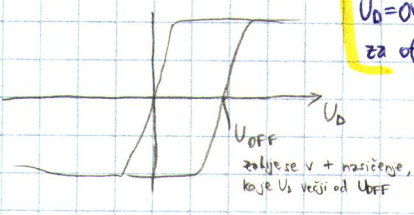
sledilnik teži k temu, da je $U_b = U_{OFF}$, zato se U_2 giblje v tolerancah $\pm U_{OFF}$
 U_{OFF} pove, v kakšnem območju se bo gibala izhodna napetost

Kako offset upliva na senzorski sistem? / Koliko je izh. napetost?



0.999V $U_b!$ sili ↑, sili ↓
ustalil bi se pri 1V
posledica tolerance tranzistorjev:
00 „škili“ - ne vidi pravilno,
kdaj je $U_b = 0V$; misli, da je $U_b = 0V$, ko se sponki razlikujeta za offset

ko bo sponka za offset višja od druge sponke
 $1V - 1mV = 0,999V$
↳ to bo na izhodu



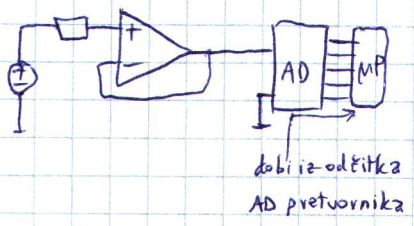
V ustaljenem stanju se bosta sponki razlikovali za offset
pogledamo, pri kakšni izh. nap. bo to izpolnjeno
⇒ tako določimo, kako bo offset uplival na delovanje vezja

Drugi primer: $U_{OFF} = 3mV$, $U_2 = 0,997V$
-5mV 1,005V (bo spodnja točka višja)

TL081, $\pm 20mV$
dobimo območje!

$$U_{iz} = \begin{cases} 1,3mV + 20mV = 21,3mV \\ 1,3mV - 20mV = -18,7mV \end{cases}$$

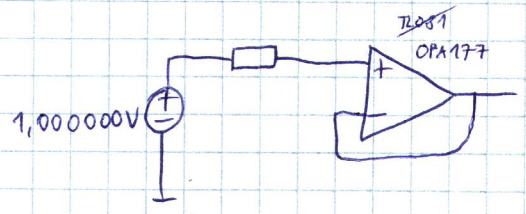
offset paje ves signal
napaka večja od samega signala
neuporabno za našo meritev



$$h = 12,8m \pm 20m$$

OFFSET se podaja v nekih mejah $\pm U_{OFF}$
ne moremo sklepat bolj natančno kot je offset

precizen instrument, precizna referenca
↳ drago



$$1,000,000 \pm 20mV = \begin{cases} 1,02V \\ 0,98V \end{cases}$$

slabo uravnoveženo!

referenca na 2 dec. natančno

če je stvar predolga, je tudi predraga

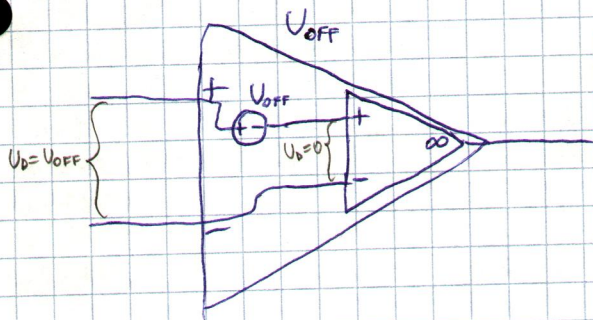
uporabimo OPA177 25mV

$$\begin{cases} 1,000,025V \\ 0,999,975V \end{cases}$$

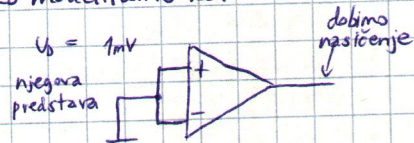
error budget

ZUNANJA KOMPENZACIJA PRI OJAČEVALNIKU
neidealnosti povečemo ven iz ∞

Kompensacijo navedimo tako, da vgradimo napetostni vir, ki ima vrednost kot offset realnega operacijskega



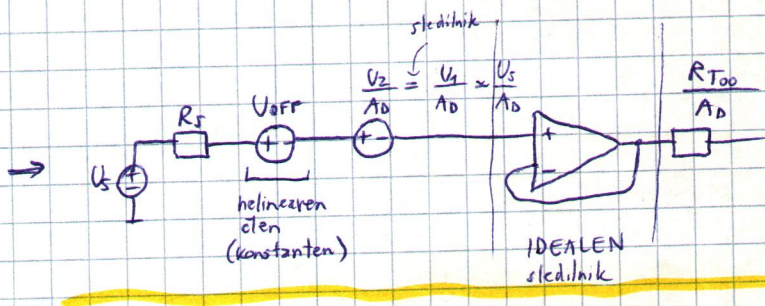
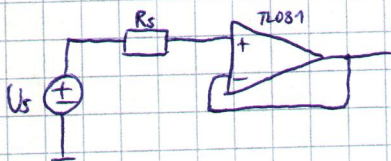
Realni ojačevalnik z offsetom lahko modeliramo kot idealni ojačevalnik, ki ima na + vhod vezan napet. vir z napetostjo offseta.



U_b je 0, ko se sponki razlikujeta za offset

offset potegnemo ven iz ∞ v vezje kot pomožni vir

senzorski sistem



če neki vh. signal, člen $\frac{U_2}{A_D}$ izgine

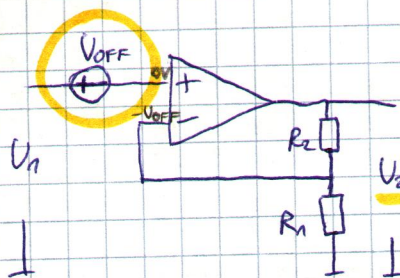


- ① ideal $V_{OFF} = 0V \Rightarrow U_2 = U_1$
 - ② realno $U_b = V_{OFF} \quad U_1 = 0V \Rightarrow U_2 = -V_{OFF}$
- superpozicija $U_2 = U_1 - V_{OFF}$

ojačevalnik

Na kakšen način vpliva offset na ojačevalnik?
Vrščemo ga zaporedno pred + sponko

Če je na + vohodu 0V, bo U_2 imela tako vrednost, da bo na - vohodu napetost $-V_{OFF}$



$$U_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) (U_1 - V_{OFF}) = \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}_{\text{ideal}} \cdot U_1 - \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}_{\text{parazitno}} \cdot V_{OFF}$$

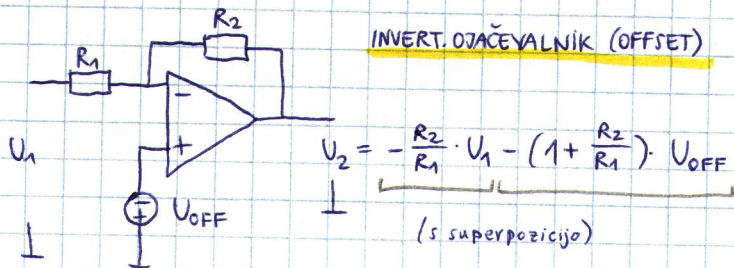
↓
v ojačenje vstopa razlika med U_1 in V_{OFF}

signal + V_{OFF} se ojačujeta (soptno)

- ! Kako napako upoštevamo kot dodaten vir na vohodu, s čimer ∞ obravnavamo idealizirano? Pred + vohod ∞ dodamo napetostni vir vrednosti V_{OFF} , ki ima + sponko na levi.

V_{OFF} se ojačuje z istim ojačenjem kot vh. signal

INVERT. OJACEVALNIK (OFFSET)



$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_1 - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{OFF}$$

(s superpozicijo)

OFFSET DAMO NA PLUS!

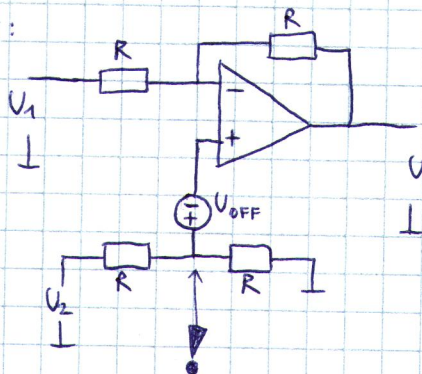
Offset se vedno ojačuje z neinvertirajočim ojačenjem. Offset se bolj ojača kot napajanje (U_1), bolj kot signal. In to je slabost invert. ojač.

če je $R_2 = R_1$

kar priključimo na en vhod se ojačuje z invert. ojač., če na drugega pa z neinv.

Offset se pri majhnih ojačenjih procentualno bolj pozna pri invert. kot pri neinvert. ojač.

Primer:

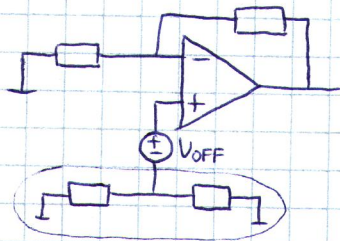


Kako vpliva offset na to vezje? Vgradimo offset zaporedno
Kakšno izh. napetost dobimo?

$$U_{iz} = (U_2 - U_1) - 2 \cdot U_{OFF}$$

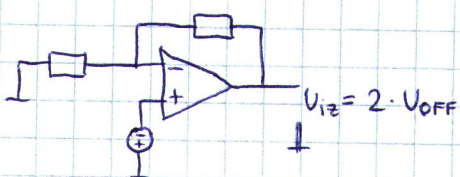
superpozicija za offset (najprej sklopim vse druge vire v vezju), poenostavimo

1. korak

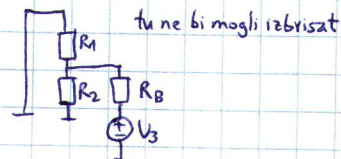


delilnik lahko zbrisemo, ker ni obremenjen (če ne bi morali sesedanje upoštevati)

2. korak (ko poenostavim)



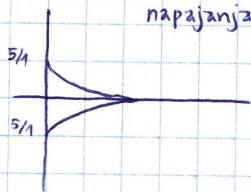
s stališča offseta je to navaden neinvert. ojač.



vse številke iz datasheeta veljajo v termičnem ravnovesju (= naprava/čip je imela dovolj časa, da se je termično ustalila)
številko iz datasheeta spremljajo še ostali učinki, dodatne lastnosti (predstavljene z grafi)

polprevodniki imajo veliko temp. odvisnost

WARM-UP OFFSET ob priklopu napajanja na čip



(1min)

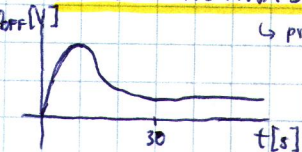
Od trenutka, ko čip napajamo sebo nekje v 75s offset divje spreminjal (20%). To nastane, ker se element segreva. → da se notranjost homogeno segreje in drift ustali. Ideja vertikalne simetrije je ravno v tem, da kompenzira temperaturni vpliv. → učinek se prbl. odšteje; vpliv temp. na offset je le razlika teh dveh podivjanosti

notranjost čipa segreva

Na začetku, ko priklopim na napajanje, se element segreje → pokažejo se joulske izgube. Doktor diferencialni ojačevalnik ne doseže termičnega ravnovesja, je offset večji (kar to pomeni, da se je ena veja bolj segrevala od druge).

OFFSET BLAZNO DIVJA S TEMPERATURO!

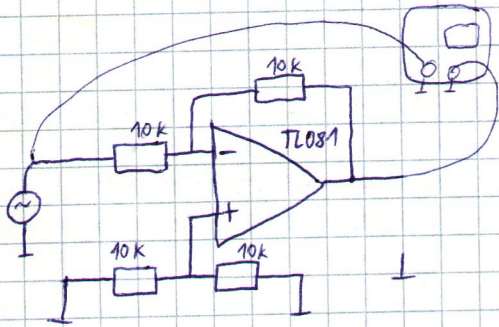
↳ problem



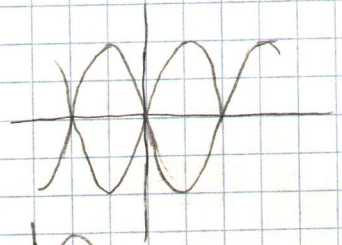
offset voltage change due to thermal shock

Vse naprave izkazujejo bistveno lezenje offseta na začetku.

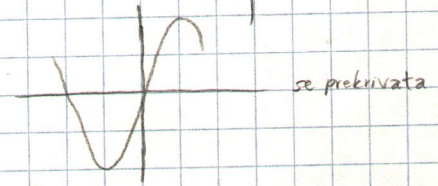
6. LABORATORIJSKA VAJA



dobimo invertirajoč odziv

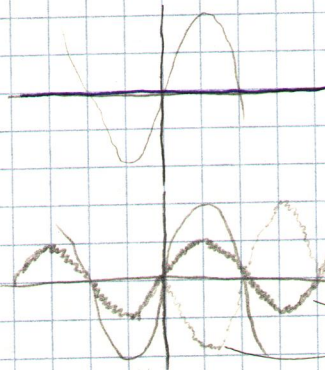
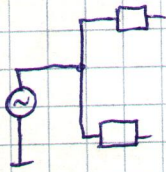


zamenjamo vhod



se prekrivata

vhoda povežemo skupaj in vzbujamo



$$\begin{aligned} 3V - 3V &= 0V \\ 7V - 7V &= 0V \\ -5V - (-5V) &= 0V \end{aligned}$$

0V, ker ne gledamo dovolj natančno

odštevalnik ne deluje dovolj natančno

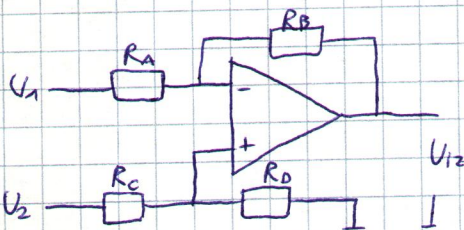
neinvert. odziv
invert. odziv

razl. tudi amplitude
zaradi toleranc so neidealnosti

Zakaj se odštevalniki ne odzivajo samo na razliko vh.nap. ampak tudi na abs. vrednosti napetosti? (zrežemo vhoda)

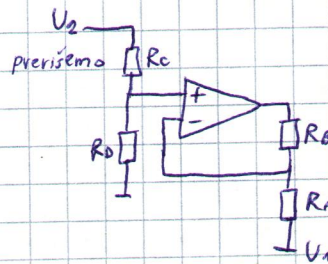
ker ojačeni pozitivnega in neg. vhodanista po abs. vred. enaki (kar povzročijo tolerance uporov) ⇒ ojačeni sta različni

upore razl. označimo



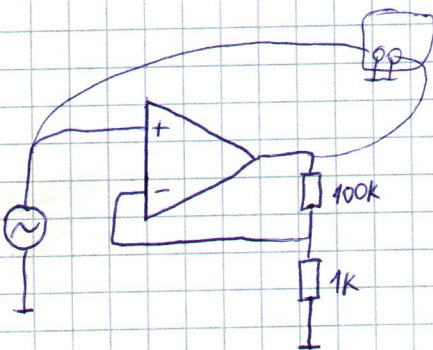
$$U_{12} = \left(\frac{R_D}{R_C + R_D} \right) \left(1 + \frac{R_B}{R_A} \right) U_2 - \frac{R_B}{R_A} \cdot U_1$$

(superpozicija)



upori s toleranco 0.1%

analogno odštevanje ni možno popolnoma natančno



ko menjamo čipe TL081 odziv je vsakič malenkostno drugačen
vzpršen odziv
T vpliva

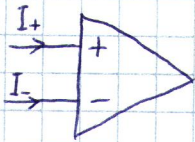
OPA604 isto slabo, ker za akustičnega ni to pomembno
↳ dražji
OPA177 z laserskim trimanjem se je proizv. potrudil, da je offset čim manjši

pri bipolarnih tranzistorjih je I_{bias} posledica fizikalnega delovanja tranzistorjev (bazni tok).

vhodni tok zastaren LM41

input bias current - ocena povpr. vrednosti teh tokov = vhodni mirovni tok

$$I_B = \frac{I_+ + I_-}{2}$$



merilo, za koliko se lahko tokova razlikujeta med sabo = tokovni premik

$$I_{OFF} = |I_+ - I_-|$$

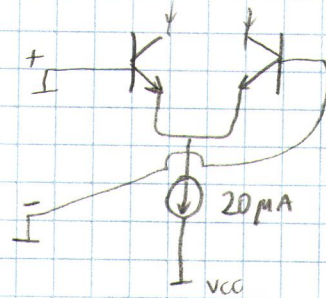
I_{OFF} povzročijo tolerance tranzistorjev, ki sestavljata diferencialni ojačevalnik.

	741	TLO81	OPA604	OPA177
I_B	30 nA	30 pA	50 pA	500 pA
I_{OFF}	3 nA	5 pA	3 pA	300 pA

iz bipol. tr.

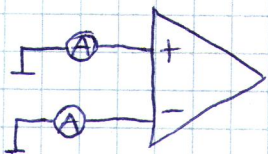
čudno, ker sta iste velikostnega reda

% zelo manj

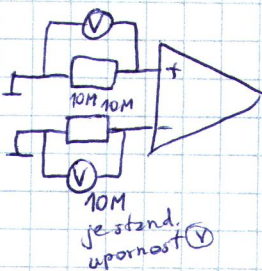


zakaj pride do offset currenta? I_{OFF} Proizv. se trudi navedit simetrijo. Tolerance zahtevajo, da nista enaka.

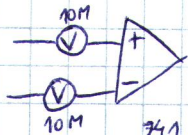
FET tr. so podvrženi večjim tolerancam.



problem je območje
 Ⓐ do 1 mA
 Ⓑ pa 50 pA...



MERIMO TOK!
 merimo padec nap. na uporih



741 → ima največji tok

preko padca napetosti merimo tok

podvrženo polprevodniškim tolerancam

Kako pa merimo nizke tokove?

izkoriščajo lastnost kond. $I = C \frac{du}{dt}$

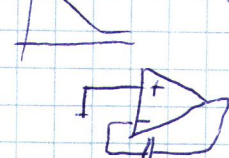
100 pA, $\Delta U = 20V$, $\Delta t = 10s$

$$100 \text{ pA} = C \cdot \frac{20V}{10s}$$

$$C = \frac{10^{-10} A}{2}$$



osc. pade in pride v nasičenje



$$\frac{13V}{18s} \cdot 47 \text{ pF} = 34 \cdot 10^{-12} \text{ A}$$

34 pA

čip na 20°C, potopimo v tekočino 70°C → offset se bo spremenil za 5mV, a po dolgem času (20-30s), obe veji difer. ojač. morata doseči termično ravnovesje. (še en problem) vmes je offset večji
 Preden kalibriravaš, mora biti element v term. ravnovesju (pustiš element prižgan dlje časa).

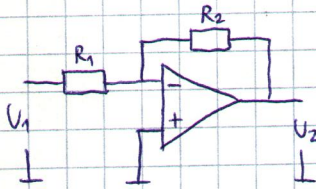
Kaj če rabim element na 6decimalk natančno? Instrument se nadgradi, da izvaja kalibracijo / sam sebi meri offset in ga korigira (to delajo vsi moderni instrumenti).

(SEMI)AVTOMATSKA KALIBRACIJA

omejimo se na inverter

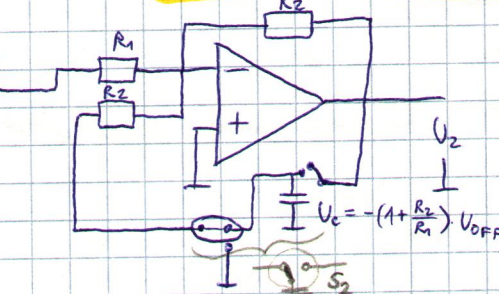
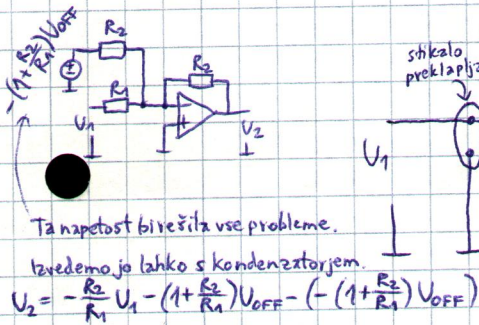
radi bi, da je to idealno

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1 - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{OFF}$$



offseta ne moremo vedeti vneprej, vemo lahko interval (ki tudi ne bo enak zaradi segrevanja, ohlajanja...)

FINTA (na vohodu stikalo, ki je preklapljalno vohodna ojač. med vh. signal in med maso) offset se zlije skupaj s signalom (na podlagi izh. nap. ne moremo sklepati kakšen je signal in kakšen offset)



Če želimo offset izmeriti, moramo med kompenzacijo vh. signale odklopiti. → vohod vežemo na maso!
 zdaj vemo, da vse kar dobimo na izhodu, je posledica offseta
 v idealu bi dobili 0V

ko dam vohod na maso (izhodu je zdaj posledica offseta), vklopim stikalo in nabijem kondenzator na to vrednost, dobim $U_C = -\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{OFF}$. To je odraz dejanskega parametra.

↳ napetost ustreza konkretnemu offsetu (če je pri 00 0,5mV, se bo ojačenih 0,5mV nafilalo na kond.)

Na kondenzator se nabije ustrezna napetost.

S1 in S2 izvedemo kot CMOS stikala

Dodamo še eno vejo, da prištejemo napetost na kond., pomemben predznak polaritete!

ko je kond. nabit, odklopim proč, da miruje, vklopim dodatno vejo seštevalnika (ima ojačenje $-\frac{R_2}{R_1} = -1$)

$$\Rightarrow -1 \cdot \left(-\left[1 + \frac{R_2}{R_1}\right] U_{OFF}\right)$$

člen je enak tistemu, z naspr. predzn. → offset se skompenzira dokler se kond. ne sprazni, imamo za hip na voljo ojačevalnik brez offseta

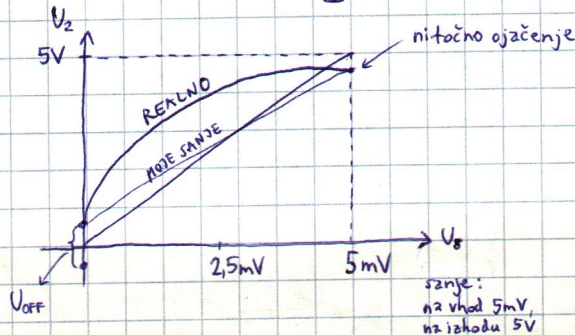
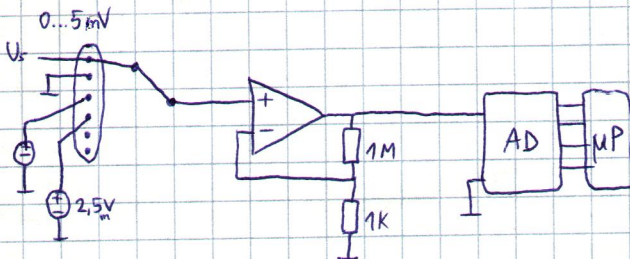
1 kondenzator in 3 stikala

KALIBRACIJA: S1 → ↓; U1 = 0V ⇒ U2OFF = $-\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{OFF}$
 S2 → izhod; kondenzator se nabije na U2OFF

UPORABA SPONK OFFSET NULL

bolj uporabljeno vezje (vzamem stikalo, ki ima več polov)

en vohod vežemo na maso referenca

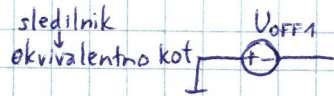
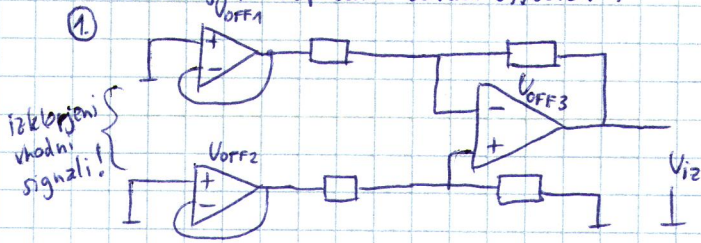


zepamnim si kalibracijske točke (nauči se, kaj dobi na izhodu pri 5mV, za vmesne točke pa interpolira) če ne zadostuje, kupim referenco 2,5mV (še tu opazujem) → instrument se nauči, kakšno ima karakteristiko, potem zgradi inverzni polinom in dela inverzno interpolacijo (dosežemo ultra precizne rezultate)

kupimo cenejše elemente in s kalibracijo in dobrimi referencami dobimo precizen instrument. www.stromar.si

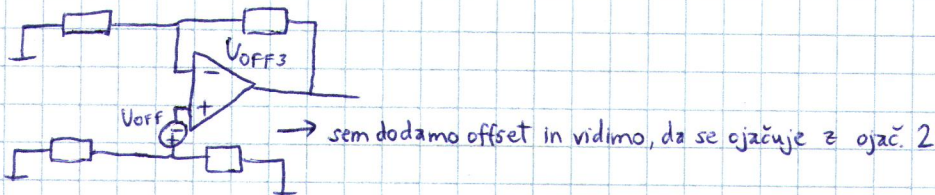
6. KOLOKVIJ

Kakšna je izh. nap. samo zaradi offsetov?



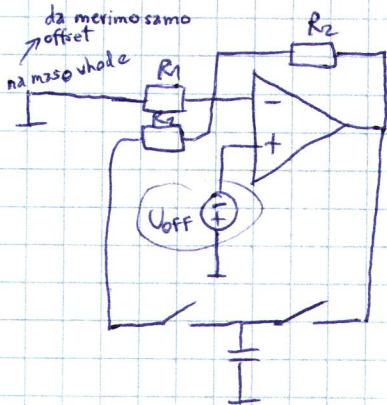
$$V_{IZ} = -V_{OFF2} + V_{OFF1} - 2V_{OFF3}$$

še superpoz. za OFF3



2. Razložite princip pol-avtomatske kalibracije nap. premika!

OFFSET priklopimo in vidimo, da se ojačuje z neinv. ojač.



$$-\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{OFF} - \left(-\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{OFF}\right)$$

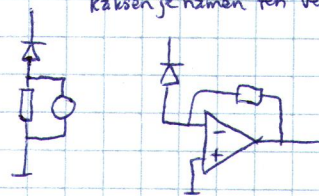
offset se elije skupaj z vh. signalom
dobimo za kratek čas ojačevalnik brez offseta

→ ne moremo vedet, kolikšen je

nabijemo na kondenzator
tačno to napetost
dodajmo na odšt. vhod z ojač. 1
se bo pojavil dodatni člen...

vstni ved stikal!

kakšen je namen teh vezij? Merjenje osvetljenosti!



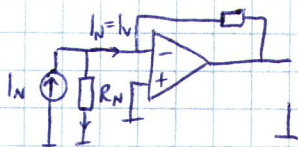
↓ dobimo v principu ojač. brez offseta

3. Zakaj ni 0V? razl. ojačenja

5. KOLOKVIJ

1. vh. in izh. upornost I/U pretv. Zakaj si želimo, da je tako?

↳ 0Ω



$$I = \frac{U}{R_N} \quad (\text{na videz vezano v krstik})$$

utemeljite, da je vh. upornost 0!

$$R_{VH} = \frac{\Delta V_{VH}}{\Delta I_{VH}} = \frac{\Delta V_{VH}}{\Delta I_{VH}} = \frac{0}{\Delta I_{VH}}$$

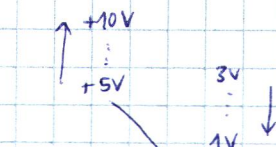
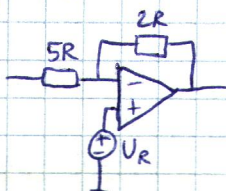
$\frac{R}{A_o}$ ni zdost

zadnja nal.: +5V.. +10V

preslika v obm.

+1V.. +3V

inverter!



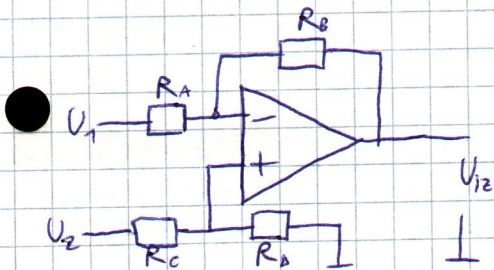
$$5V \rightarrow -\frac{2}{5} \cdot 5V = -2V$$

treba dvignit za 5 ↑

$$U_R = \frac{7}{5} = 5V$$

kako bo nap. nar. bo izh. padala -2V -28-

$$U_R = \frac{2}{7} \cdot 5V = \frac{25}{7}$$

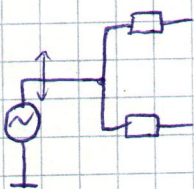


$$U_{iz} = U_2 - U_1$$

superpozicija!

$$U_{iz} = (+1) \cdot U_2 + (-1) \cdot U_1$$

vhode zvezemo skupaj, vzbujamo



izhod paralelen ^{vh.} signalu (sinus \rightarrow sinus, $\Delta \rightarrow \Delta$)
to je neidealnost odštevalnika

pozitivno ojačenje

$$U_{iz} = A_P \cdot U_2 - A_N \cdot U_1$$

upori imajo tolerance (označimo jih)

$$U_{iz} = \left(\frac{R_D}{R_C + R_D} \right) \left(1 + \frac{R_B}{R_A} \right) \cdot U_2 - \frac{R_B}{R_A} \cdot U_1$$

IDEAL: +1

IDEAL: -1

če so upori enaki, se lepo pokrajša in dobimo vrednost +1 oz. -1
če upori niso enaki, vrednost malenkost odstopa od +1 oz. -1

idealno odštevanje $2 - 1 = 1$
 $2\,000\,000 - 1\,999\,999 = 1$

analogni odšt. naredi tole:

$$(+1) \cdot 2 + (-1) \cdot 1 = 1$$

$$(+1) \cdot 2\,000\,000 + (-1) \cdot 1\,999\,999 = 1$$

zaradi tolerance uporov, nista točno (+1) in (-1)
enako odstopata

1. možnost:

$$(+0.98) \cdot 2 + (-0.98) \cdot 1 = 0.98$$

$$(+0.98) \cdot 2\,000\,000 + (-0.98) \cdot 1\,999\,999 = 0.98$$

enako odstopata ± 0.98

Kljub temu se odštevalnik odziva le na razliko vh. napetosti! dokler sta ojačenji po zbs. vred. enaki

izpostavimo lahko

$$(0.98) [2 - 1]$$

$$(0.98) [2\,000\,000 - 1\,999\,999]$$

ko zvezimo žičke skupaj, dobimo 0

2. možnost:

ojačenji po zbs. vred. nista enaki \Rightarrow odštevalnik se ne odziva le na razliko, ampak tudi na zbs. vrednosti vhodnih napetosti

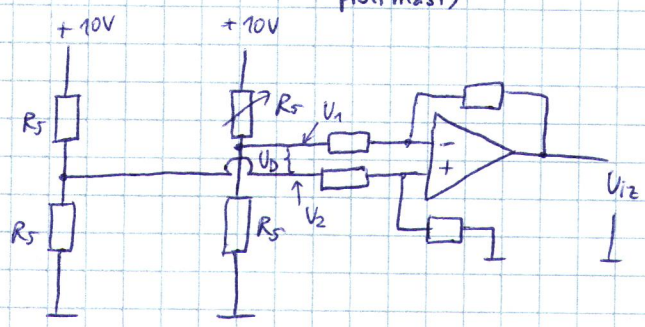
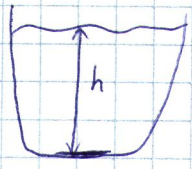
$$(+0.98) \cdot 2 - (1.01) \cdot 1 = 0.95$$

$$(+0.98) \cdot 2\,000\,000 - (1.01) \cdot 1\,999\,999 = -59\,999 \quad (\text{ni blizu 1})$$

To pa je zaradi toleranc.

A_P ni po zbs. vred.
enak A_N

merjenje višine vode v rezervoarju
odčitavanje z uporavnim mostičem



info. o višini vode nam nosi razlika napetosti
(uporabimo odštevalnik → da dobimo razliko, referencirano proti masi)

karkoli je tu pride na vhod z ojač. +1, karkoli je tu pa z ojač. -1

U_2 se preslika na vhod z nekim pozit. ojač. A_P ,
kini točno 1 zaradi toleranc;
 U_1 pa A_N

$A_P \neq A_N$

$U_{Iz} = A_P \cdot U_2 - A_N \cdot U_1 = A_D \cdot U_D + A_S \cdot U_S$

drugačno podajanje napake

če je rezervoar prazen, imajo vsi R_S enako vrednost

$\frac{10V}{2} = 5V$

↳ ne nosi nobene informacije

U_S sofrazni signal "sranje" kvzri meritev, ni posledica razlike na vhodih

označuje del napetosti, ki je skupen obema vodomu (5V jenabith na vhod odštevalnika)

zanimz nas U_D (signal razlike, diferenčni signal)

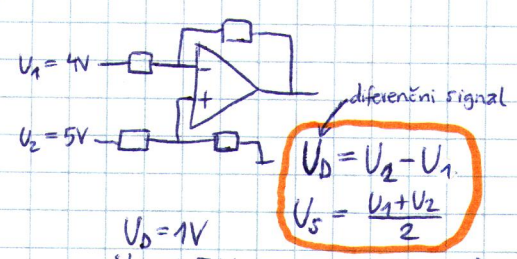
$U_{Iz} = A_D \cdot U_D + A_S \cdot U_S$
 dobro ojač. ↑ vrednost dobrega sig. ojač. sranja ↑ vrednost signala sranja
 koristen člen sranje

(ista enačba, le drugačno poimenovanje učinkov)

A_D in A_S v datasheetu odštevalnika

ojač. zmerimo (dam na vhod sinus → dobim odziv) kako naj prevedem na drug "pogled"?

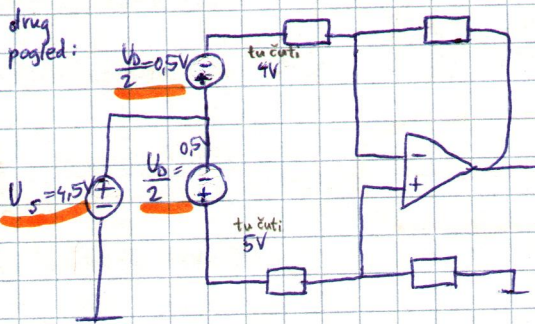
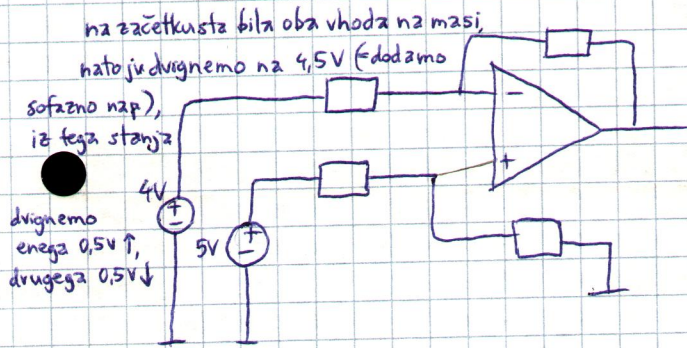
imam U_1 in U_2 , iščem A_D, A_S



$U_D = 1V$
 $U_S = 4,5V$ - povpr. (skupno) nekoristno

Sranje je enako povprečju na obeh vloh.

(razlaga definicije na nast. strani)



dvignemo stranje na 4,5V, potem pa damo ±0,5V
če odklopimo stranje, ostane samo diferenca (superpozicija) in obratno

→ $U_2 = U_1$ U_2 in U_1 zvežem skupaj, $U_D = 0$; $U_S = U_1 = U_2$ (vse kar pripeljem na vhod je stranje)

$$A_P \cdot U_2 - A_N \cdot U_1 = A_D U_D + A_S U_S$$

$$A_P \cdot U_S - A_N \cdot U_S = A_S U_S$$

sofazno ojačenje

$$A_S = A_P - A_N$$

po abs. vrednosti

če sta A_P in A_N enaki, se odštevalnik ne bo odzival na absolutne vrednosti; odzival se bo samo na razliko (ker se ojačenje izpostavi)

bolj kot je abs. vredn. ojačenj različna, bolj se odštevalnik odziva na sofazni signal.

ožje kot imamo tolerance, bolj majhen bo odziv na sofazni signal

→ $U_2 = -U_1$ povpr. bo 0, imeli bomo le diferenco, ne vzbujamo stranja

$$U_D = 2U_2 = -2U_1, U_S = 0$$

$$U_2 = \frac{U_D}{2}, U_1 = -\frac{U_D}{2}$$

$$A_P \cdot \frac{U_D}{2} - A_N \cdot \left(-\frac{U_D}{2}\right) = A_D U_D + A_S \cdot 0$$

diferenčno ojačenje

$$A_D = \frac{A_P + A_N}{2}$$

odziv na kovistni del je enak povprečju obeh odzivov

na razliko se odziva toliko, kot je povprečje obeh ojačenj

če imam znane vrednosti uporov, če vem kakšen A_P in A_N je, lahko ugotovim A_D in A_S

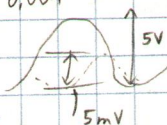
Kolokvij: Kako sta def. diferenčno in sofazno ojačenje? (teoretično)

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{2U}{2I}$$

$$A = \frac{\Delta U_{iz}}{\Delta U_{vh}} = \frac{2U_{iz}}{2U_{vh}}$$

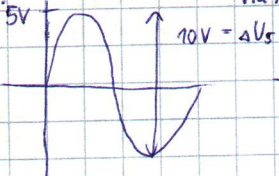
$$A_S = \frac{\Delta U_{iz}}{\Delta U_S} = 0,001$$

sprememba izh.nap., ko navedimo na vohodu neko sofazno spremembo vzbujanja

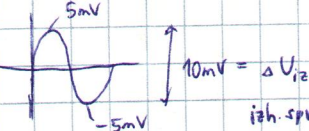


ko smo žici zvezali skupaj, smo poskubeli, daje $U_D = 0$

na vohodu:



na izhodu:



izh. sprememba, kijo je povečala sofazna spr. na vohodu $\frac{\Delta U_{iz}}{\Delta U_S}$

KOLOKVIJ

- Kako bi izračunali sof. ojač., če imate podani A_P in A_N ? $A_P - A_N$
- Kako je definirano sof. ojač.? $\frac{\Delta U_{iz}}{\Delta U_S}$

odštevalnik lahko opišemo s sofaznim in diferencičnim ojačenjem

CMRR je v datasheetih

$$CMRR = \frac{A_D}{A_S}$$

COMMON MODE REJECTION

Ratio (razmerje)

koristno ojačenje / nekoristno

! podatek, kolikokrat je koristno ojač. večje od nek.

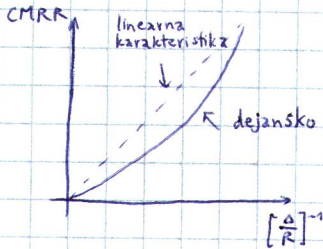
večji kot je, boljše je (želimo ∞)

večje tolerance → slabši CMRR

(kolikokrat je ojačenje protifaznega signala večje od ojačenja sofaznega signala oz. kolikokrat bolj na izhod vpliva protifazna nap. od sofazne)

isti odziv dobim, če navedim sofazno 1V razl. ali diferencično 100x manjšo razliko

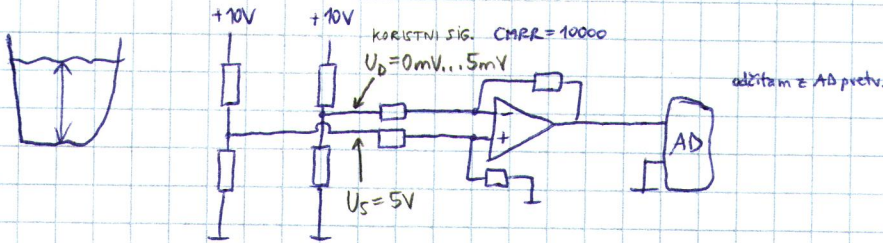
tabela (največja spr. uporov, ki sestavljajo odštevalnik)



CMRR je približno enak obratni vrednosti tolerance uporov v %

toleranca 1%	→ CMRR 100
2%	50
0.1%	1000
0.01%	10000
0.005%	20000

→ max kar lahko naredimo (dosegljiv CMRR)



želimo zajemat majhno diferenco, ki je superponirana na ogromno sofazno komponento

upori so idealni na desni, na levi - tolerance

prazen rezervoar

konst.

$$k = \frac{1mV}{1m}$$

Kakšno višino vode izmeri sistem?

$$U_{iz} = A_D \cdot U_D + A_S \cdot U_S = * \text{ odziv na izhodu je posledica sranja}$$

↑ "0" kar je rezerv. prazen
~1 (odštevalnik)

$$* = \frac{1}{10000} \cdot 5V = 0,5 mV$$

↙ toliko dobim na izhodu

$$CMRR = \frac{A_D}{A_S} \Rightarrow A_S = \frac{A_D}{CMRR} = \frac{1}{10000}$$

to je posledica tega, da imasranje (odštevalnik se odziva na sranje zaradi toleranc)

ojačuje koristen del in nekoristen del

višino izt. na podlagi konstante senzora
0,5mV predstavlja višino 0,5m

ker se odštevalnik odziva na sof. signal, smo pri praznem bazenu izmerili, da ima 0,5m vode

senzor daje ful majhen koristen signal, ojač. jih ful nabije na sofazno komponento → problem

CMRR dvignemo na 100.000, 0,05 mV → 5 cm
1000.000, 5 mm

⇒ neuporaben sistem

Koristni del v senzoriki je majhen, nekoristen pa velik (npr. 1000x večji)

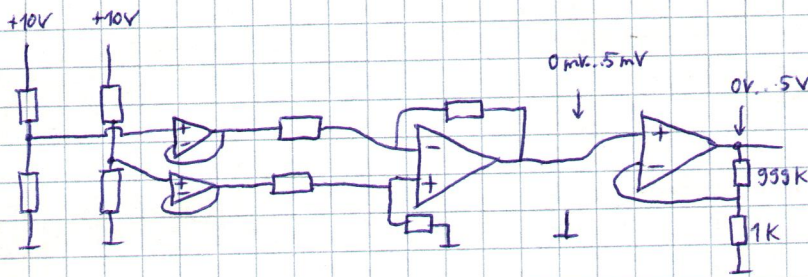
koristni signal je precej manjši od nekoristnega zato veliki CMRRji

na vhodu odštevalnika si želimo imet veliko vh. upornost,
zato da ne bremenimo senzorja (da se ne seseda)
signal zelo majhen → ga moramo ojačit

želimo zajemat majhno diferenco, ki je
superponirana na ogromno sofazno komponento

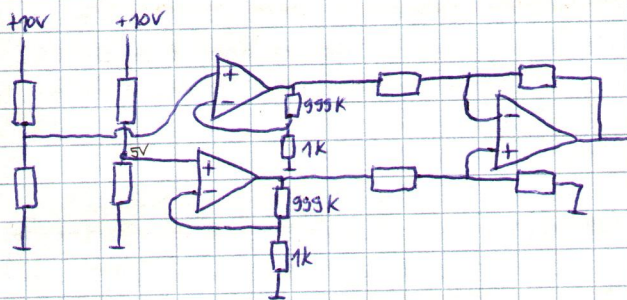
zahteva po ogromnih
CMRRji → nedosegljivi

na vhode odšt. dodamo sledilnike → odpravimo sesedanje na senzorju



se preslika v drugo območje,
da je primerno za AD pretvornik

ojačimo signal preden ga odstejemo



če ojačenja malenkost odstopata med sabo,
tudi pri sofaznem sig. bi dobili
diferenco (dodatno napako)

Kaj še hujshega vidimo?
zahtevamo 5kV napetosti // ta ideja odpade

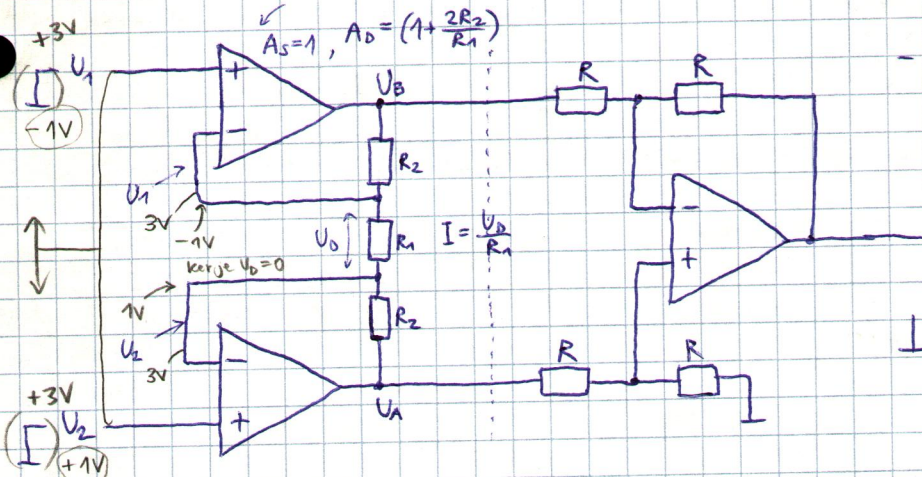
vezje preuredimo, da bomo ojačevali le koristni signal in ne nekoristnega dela
pri istih tolerancah uporov

CMRR lahko dvignemo za tolikokrat, kolikor je ojačenje sistema
CMRR 10000, če potrebujem ojačenje 1000, lahko pričakujem, da bom z istim stroški (tolerancami) imel CMRR 10000000

INSTRUMENTACIJSKI OJAČEVALNIK (instrumentational amplifier)

sofazno ojačenje

splošen kontekst vezja



leva stran: ojačenje signala na način, da
ojačujemo le razliko, ne pa sofaznega dela
oba vhoda vezana na maso
oba OO bosta nastavila izh. nap.,
da bo $U_0 = 0$

na upor R_1 ni napetosti → ne
teče tok skozi njega
tudi čez R_2 in R_2 ne (tok čez vse tri
upore mora biti nujno enak, ker v vhod OO nič ne
teče, ker teče čez R_1 , teče tudi čez R_2 in R_2
(na U_0, U_A je 0), noben od uporov nima
padca napetosti

desna stran: odštevalnik $A_D = 1$
 $A_S = \text{npr. } \frac{1}{10000}$ } $CMRR_z = 10000$

vh. vezana skupaj, pripeljemo +3V,
na R_1 ni padca nap., v vseh vozliščih
je 3V

ojačujemo le razliko! ne pa sofaznega dela

kakšenkoli sofazni signal imam, se bo preslikal na vhod ojač. z ojač. 1
(ne bo postal večji)

ko spreminjam oponki sofazno, tej napetosti
sledijo vsi potenciali hkrati
sofazni signal se preslika na sponke z ojač. 1
(sledi); sof. nap. na vhodu prenese direktno na izhod
levi del ima sofazno ojač. enako 1 $A_S = 1$

sofazni signal ne postane večji: ker je $V_D=0$, se 1V preslika tudi na vozlišče in -1V se preslika drugam

navedimo protifazni signal (-1V, +1V)

vh. razlika je direktno vsiljena R_1 (koristna razlika se preslika na upor R_1) \Rightarrow trik upor R_1 vsilimo koristen del signala / protifazni signal

tok premo soraz. z vh. razliko $I = \frac{V_D}{R_1}$

isti tok mora teči čez vse 3 upore

razlika napetosti (napetost, ki bo vstopala v odštevalnik)

$V_A - V_B = U_{R2} + U_{R1} + U_{R2} = R_2 I + U_D + R_2 I = R_2 \cdot \frac{V_D}{R_1} + U_D + R_2 \cdot \frac{V_D}{R_1} = \underbrace{\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)}_{A_D} U_D$

koristni signal se ojačuje z ojačenjem, ki ga določajo upori (razmerje uporov)

OJAČENJE JE DOLOČENO Z RAZMERJEM UPOROV!

ojačevalnik nekorist. sig. ne ojačuje, le prepušča skozi \Rightarrow uspeli smo ojačit le koristni signal

če potrebujemo $R_1 = 1k, R_2 = 499,5k\Omega \rightarrow A = 1000$

$A_D = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$
 $A_S = \frac{1}{10000}$

nekoristen signal se sem samo preslika z ojač. 1 in se zaduši s sofaznim ojačenjem

CMRR se je dvignil tolikokrat, kolikor je ojač. koristnega signala $\rightarrow CMRR = \frac{A_D}{A_S} = \frac{1000}{\frac{1}{10000}} = 10.000.000$

Levo veze omogoča izvesti ojačenje (npr. 1000), brez da bi povečali sofazno ojačenje.

z realističnimi tolerancami uporov (lahko dosežemo takšne CMRRje kot jih yabimo)

Če potrebujemo ojač. 1000, lahko s tem vezjem dosežemo 1000x večji CMRR, ne da bi pri tem uporabili upore z toleranco.

boljšo

tesno skupaj na silicijski plošči, da se naenkrat segreva in ohlaja

pojavi vezeja je povzročil, da se je pojavil novelement

Kaj je instr. ojačevalnik?

Odštevalno veze, ki ima ogromen CMRR, $R_{vh} \rightarrow \infty$ (želimo, da je ogromna), $R_{iz} \rightarrow 0$ (da ni sesedanja), precizno ojačenje koristnega signala V_D (ker iz izh. nap. sklepamo, kaj je na vhodu)

da ni sesedanja

V_1 in V_2 sta prikl. direktno na vhod 00, torej je zadoščeno

ko prikl. AD pretvornik, ta predst. breme in povzroča sesedanje

Instrumentacijski se imenuje zato, ker se jih tipično uporablja pri meritvah, ojačenju senzorskih signalov...

CMRR se dvigne tolikokrat, kot je vrednost ojačenja

designers guide to inst. amplif.

CMR
G v dB

LABEAR

str (39)

pretvorba do Rodejter

40 (07 09)

dB (označujemo napetosti), v datasheetih
 → razmerje 2 veličin

$$\frac{V_2}{V_1} [dB] = 20 \cdot \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$$

povečanje za
 20 dB pomeni
 razmerje 10

razmerje	dB
1	0 dB (log 1 = 0)
10	20 dB
100	40 dB
1000	60 dB
10000	80 dB
100000	100 dB
1000000	120 dB
10.000.000	140 dB

dB	množ.
6 dB	2
46 dB	200
52 dB	400
3 dB	$\sqrt{2} = 1.4$
41 dB	112

$$\log(a \cdot b) = \log a + \log b$$

1 dB = 10%

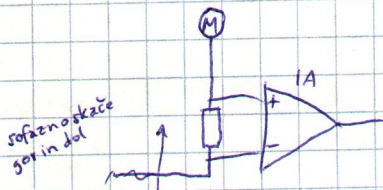
$$\log x^{-1} = -\log x$$

$$\log \frac{1}{x}$$

$$A = \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1}$$

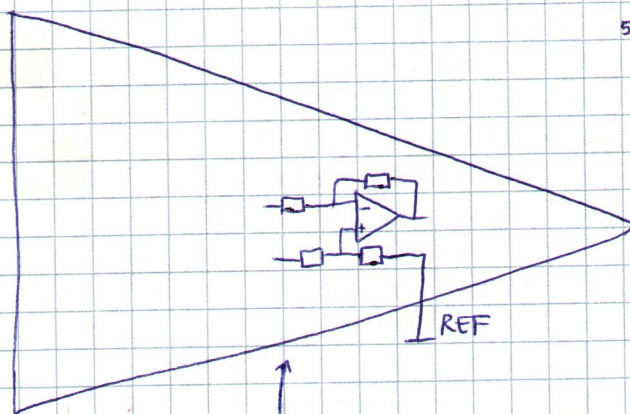
$$CMRR = 100 \text{ dB} = 100.000$$

CMRR blazno upada s
 frekvenco
 ↓ nizke!
 CMRRji so dosegljivi prvi ultra
 nizkih frekvencah

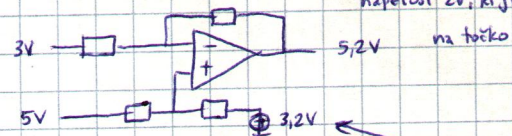


Uporaba ojačevalnikov

instrumentacijski ima vsaj eno dodatno sponko (REF)



tu na koncu je odstevalnik

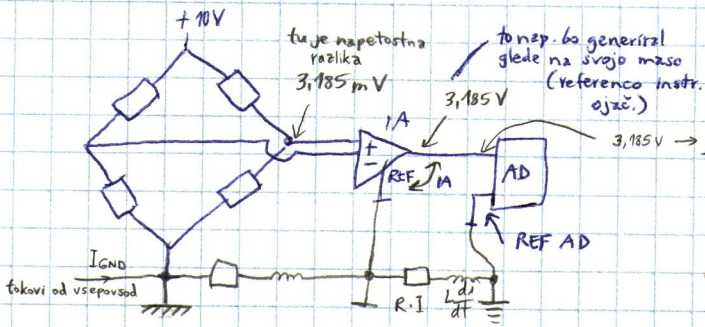


če damo 3,2V, bi dobili 5,2V,
 ker bi odštevalnik ustvarjal
 napetost 2V, ki je referenčna
 na točko

edina masa je in ta točka
 predstavlja referenco za
 generiranje izh. nap.
 ||
 sponka REF

stem ko sponki vsiljujemo ustrezen potencial,
 sami izbiramo na kateri potencial naj
 bo izh. nap. referencirana

(brez tega veže plava, to je oporna točka)



Vsaka točka mase je na drugem potencialu
(vmes so ohmski padci, induktivni - zaradi sprememb toka)

AD meri glede na svojo referenco!
ker je parazitni padec na masi, dobimo (odčitamo) 2,985V

REF IA in REF AD nista enaki!
Instrumentacijskega

Sponko REF pripijemo drugam (nena maso pri instrum. ojač.)
instr. ojač. tipa na kakšni referenci je AD in svojo napetost generira glede na vesnično ref. AD



ali dodamo sledilnik, da so tokovi 0
(oz. čim bolj 0)

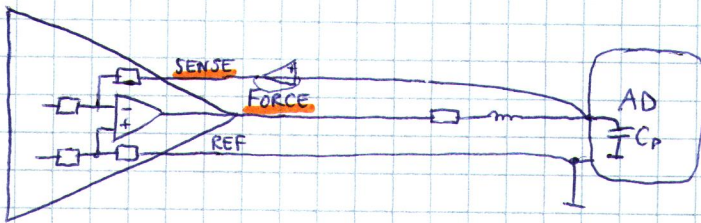
common impedance modulation
(referenca modulira)
npr. precizno maso je treba
očeno napeljat

ta žica nima parazitnih padcev → ker po njej ne tečejo veliki tokovi, hi padca

po masi tečejo
veliki tokovi

ostale izvedbe

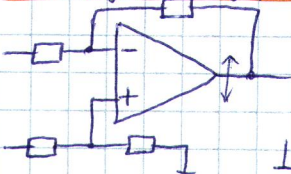
SENSE sami povežemo na OUT, REF povežemo na maso



proizvajalec hoče, da sponko sami povežemo

FORCE sponka vsiljuje napetost AD pretvorn.
→ po tej sponki teče tok in je podvržena
parazitnim padcem

odšt. deluje na podlagi povratne zveze



↳ povr. zv. tipa, kakšna napetost je dejansko na izhodu
on tipa, kaj vsiljuje AD pretv. in glede na to nastavlja svojo napetost V_o na 0
(in s tem pokriva parazitni padec)

- 6-BIT
- 8
- 10
- 12
- 14
- 16
- 18
- 24
- 32
- 64

0V...5V



8bitni AD...	$\frac{5V}{2^8 - 256} = 20mV$
10	$\frac{5V}{1024} = 5mV$
12	1,23
16	76 μV
24	0,3 μV



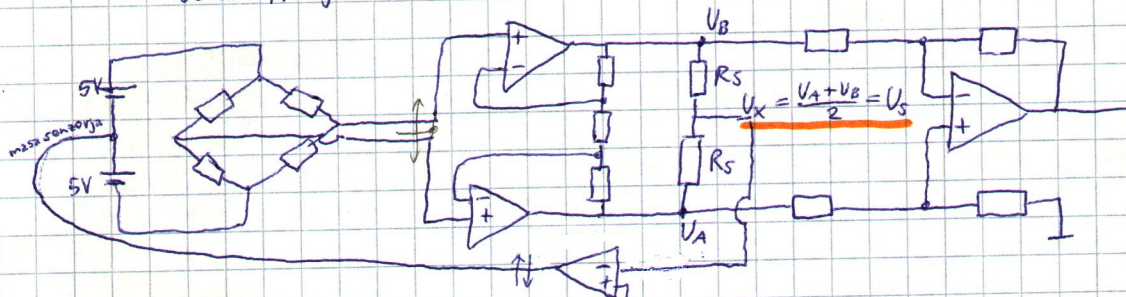
* Sponko REF priključimo direktno na maso AD pretvornika. Če bi jo priključili na maso blizu ojačevalnika, bi bil potencial mase v tej točki drugačen kot potencial mase, kjer je priključen AD, ker po žici za maso (ki ima svojo induktivnost in upornost) tečejo tokovi iz vseh delov vezja I_{GND} . Ta razlika v potencialih mase pomeni napako pri meritvi. Sponko SENSE priključimo direktno na vhod A/D pr. zato da IA v povratni zanki izregulira napetost, ki jo čuti A/D, na napetost, ki bi jo imel IA na svojem izhodu. Trudimo se, da delamo med žicami čim manjše površine zank, da imamo manjše lastne induktivnosti in manjše medsebojne ind. → manjše motnje.

odit. $V_{iz} = A_0 U_0 + A_5 \cdot U_5$
↑ majhen ↑ velik

A_5 smo poskusili zmanjšat (koncept)

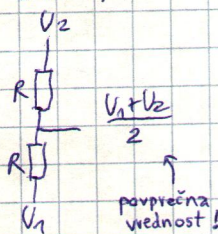
vmes vgradim 2 upora R_S

Se da odpravljat U_5 ?



baterije, da lahko plava

napetosti delilnik iz enakih uporov



napetost na izhodu delilnika? enaka vhodni sofazni nap. U_5

s to metodo smo dobili način, da merimo sofazno napetost U_5 !

Kako se to vidi? zvežem skupaj in pomikam gor in dol (to vse plava na sofazni napetosti)

če pa imam še diferenco, se napetosti razpeta, ampak njuno povprečje postane enako sof. napetosti

senzor napajamo z galvansko ločenim napajanjem (npr. z baterijo), ojačevalnik z ojač. -1 → z njim vsiljujem potencial mase

enako sofazni nap. ki jo instr. ojačevalnik čuti na svojem vhodu

izhod sili ↑ oz ↓

s tem premikam plavajoči potencial sensorja in spreminjam sofazno napetost na vhodu

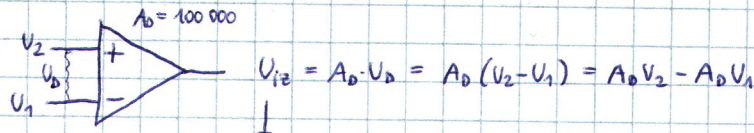
jo lahko merimo

s tem ko merim napetost in jo hočem s primerjalnikom izregulirat na 0

dosežem regulacijsko zanko, ki U_5 spravi na 0! smo odpravili problem

čimje napetost višja od 0 (od mase), bo U_0 negativna → izhod bo sili navzdol ↓
 -1- pozitivna negativna pozitivna navzgor ↑

ojačevalnik ojačuje diferenco



ne moremo naredit čiste vertikalne simetrije

ojačeni se bosta razliko vzeli med sabo (ne bo +100 000 in -100 000)
operacijski se odziva na U_D in absolutne vrednosti

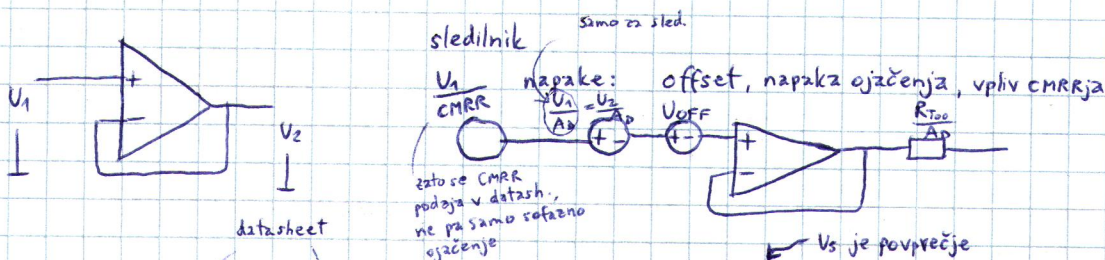
bolj realno

$$A_{iz} = A_D U_D + A_S U_S$$

če je zadeva precizijska, bo tudi bolj simetrična, večji CMRR..

OPA177	140 dB
OPA2604	100 dB = 100 000
	80 dB = 10 000

86 dB	= 20 000
60 dB	= 1000
66 dB	= 2000
72 dB	= 4000
140 dB	= 10000 000



izh. napetost

$$U_2 = A_D \cdot U_D + A_S \cdot U_S = A_D \cdot (U_1 - U_2) + A_S \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right)$$

se odziva tudi na sofazni signal

U_1 pri sledilniku $U_1 = U_2$,
zato izraz zamenjamo z U_1

$$U_2 = A_D \cdot U_1 - A_D \cdot U_2 + A_S \cdot U_1$$

$$U_2 (1 + A_D) = A_D \cdot U_1 + A_S \cdot U_1$$

$$U_2 = \frac{A_D}{1 + A_D} \cdot U_1 + \frac{A_S}{1 + A_D} \cdot U_1$$

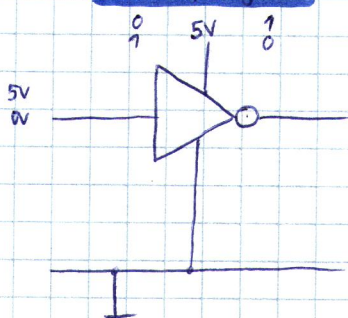
$$U_2 = \frac{A_D}{1 + A_D} \cdot U_1 + \frac{A_D / \text{CMRR}}{1 + A_D} \cdot U_1$$

to je za sledilnik; v splošnem bi imeli še β

$$\text{CMRR} = \frac{A_D}{A_S} \rightarrow A_S = \frac{A_D}{\text{CMRR}}$$

$$\frac{U_1}{\text{CMRR}} \left(\frac{A_D}{1 + A_D} \right)$$

buffer, negator



kako dosežem logično 0 na vhodu?

0V na vhod, 1V na izhod

na vhod dig. enko, dobimo na izhodu dig. ničlo

digitalne celice

uporablja se za zakasnitev in pravilno logiko v vezjih

kako zvežem logično 0 na vhodu?

-||-

1

Dam 0V na vhod

Nasičenje - kolikor je napajanje

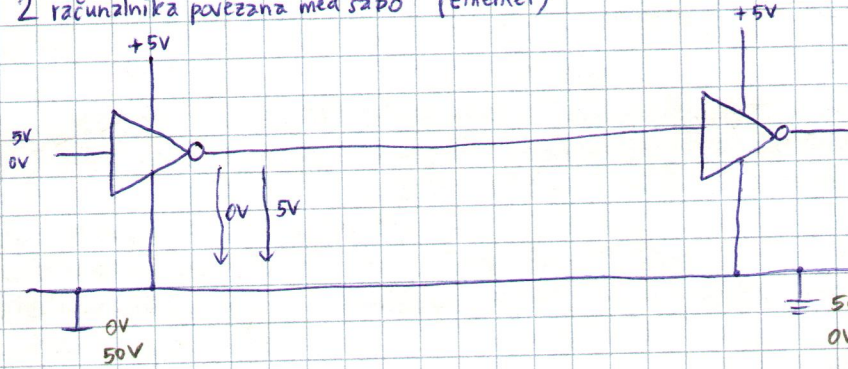
Če je celica napajana z maso in 5V, potem logično 1 uteleša napetost 5V na vhodu.

Kaj delamo z dig. celicami? povežemo na nasled. dig. celico.

2 PCja povezana med sabo

potencial na levi in desni točki ni enak

2 računalnika povezana med sabo (Ethernet)



Potencial na levi in desni točki ni enak

"Nikoli ne zaupaj groundu."

dif. ojač. vidi negativno napetost U_D in misli, da je logična 0

$\rightarrow -50V, -45V$ bi vedno mislil, da je 0

na rešetki bi dal 0V glede na točko $\rightarrow 50V$

zadeva ne more komunicirati

sistem nima dovolj velikega CMRR-ja

odda log. ničlo \rightarrow bo ustvarila 0V napetosti med točkama enko 5V

celica tipa nivo ničle glede na svojo točko \rightarrow celica je diferencialni ojačevalnik (primerja razliko med točkama)

Kakoraj to rešimo? Galvanska ločitev. (alternativna rešitev)

da stvar pride čez transformator, ~~ga moramo~~ mora bit signal živahen transformator

U_S ne pride skozi; $\leftarrow U_D$
 \rightarrow npr. konstanten padec na omrežju

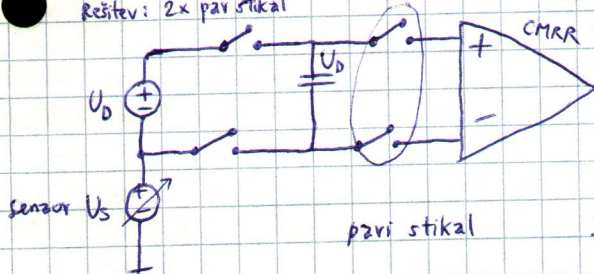
slabost: 2x večjo pasovno širino rabimo, ker se signal lahko spremeni 2x znotraj 1 bita

izboljšava

katerokoli kombinacijo bitov pretvorimo v zapis z 10 biti (5 ničel, 5 enk), DC komponenta signala je vedno enaka (signal ima vedno isto povpr. vrednost) in je stalno živahen (zadosti visoke frekvence, da pride skozi)

ojačevalnik, ki nima zadosti velikega CMRR-ja, da bi U_S izločil ven

Rešitev: 2x par stikal



1. korak: sklenemo stikali

Koristno nap. U_D želimo ojačevati, ta nap. plava na nekonzistentni nap. ki se spreminja

se nabije na U_D , kondenz. ima vlogo plavajočega ∇

\rightarrow ne glede na U_S ker je priključen direktno na U_D

U_D pride na vhod instrumentacijskega ojač. (U_D neodvisen od U_S)

2. korak: v nast. koraku razsklenemo in vklopimo kondenzator gor \rightarrow s tem

tako se U_S ne ojačuje

IZOLACIJSKI OJAČEVALNIKI

nadgradnja instrumentacijskih

v notranjosti so galvanjsko ločeni, v čipu 2 ločeni vezji, ki jih moramo tudi napajati ločeno potenciala mas (lahko veliko plavata (1500V se lahko razlikujeta masi) vmes se navedi negalvanska povezava (magnetna, kapacitivna, optična



vse to je površina induktivne zanke

$$\frac{d\phi}{dt}$$

inducirale se bodo ogromne napetosti, tudi če so mase pri miru dodatni problem

LED dioda
fotodioda

Rešitev → zmanjšamo površino zank galvanjska razbijemo ground lux

prekinjanje induktivnih zank (sploh kadar povezujemo več naprav med sabo)

to je nadgradnja instrum. ojač. → kjer želimo doseči še večjo imunost na ogromne sefazne komponente

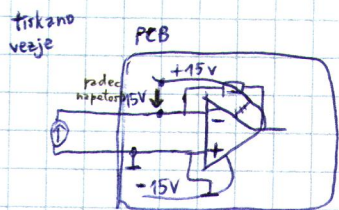
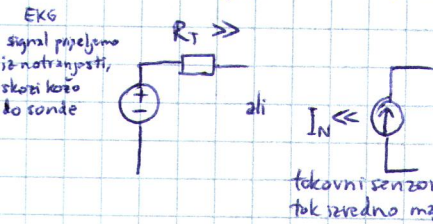
VAROVANJE VHODOV (input guarding)

to ni prenapetostna zaščita!

uporablja se tam, kjer imajo senzorji izredno veliko Th upornost ali pa so tokovni senzorji, ki nam dajejo reven/majhen tokovni signal

ne moremo si privoščiti, da ta tok po nepotrebnem izgubljamo (ko želimo ohraniti vsak pA)

problem če tokovi odteka po izolaciji ven → uporabimo varovanje vhodov



vmes je izolator / dielektrik

upornost dielektrika, da bi puščal le 1pA toka?

$$R_{iz} = \frac{15V}{1pA} = \frac{15V}{10^{-12}A} = 1,5 \cdot 10^{13} \Omega$$

$$10^7 \cdot (10^6) \Omega$$

$$10^7 \cdot (10^9) \Omega$$

rabimo 10000 GΩ-uporov vezanih v serijo, da puščanje toka čez izolacijo ni večje od 1pA

(Varovanje vhodov je tehnika, kjer ne rešujemo z grobo silo.)

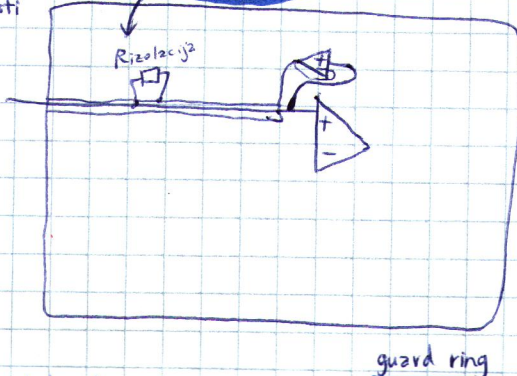
merilnik izolacije (preizkušamo, ali je izolacija še vedno dobra...), merilna območja 500 MΩ

$$I = \frac{U}{R_{par}}$$

poskrbimo, da na izolaciji ni napetosti

ok lahko manjšamo tako, da povečujemo R upornost ali pa poskrbimo, da na izolaciji ni napetosti

predstavlja izolacijsko upornost (ni ga ne vgradimo)



guard poskrbi, da noben se vsi potenciali okrog zaključujejo na guardu

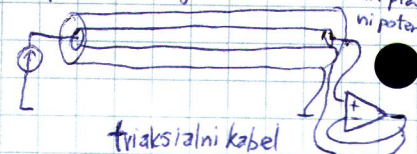
vgradimo sledilnik in izhod napeljemo na PCB na način, da zaobjamemo signal (napetost na upornost je praktično 0) sledilnik tipa potencial sponke in na guard ring

objame žico poskrbi, da je na obeh straneh upora vsiljena ista napetost

kljub temu, da je upornost premajhna, tok še vedno ne teče

sredina predstavlja vhod, odlep se veže na guard

zato da med žilo in plaščem ni potenc. razlike



triazialni kabel (prvi sloj, drugi - oklopitev proti motnjam)

od zunanaj poskrbimo, da je na potencialu 0V

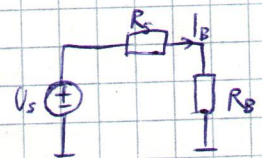
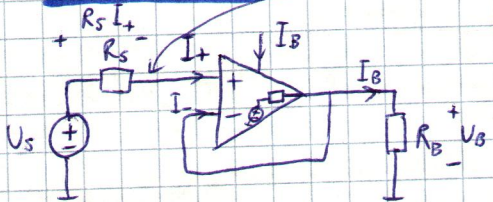
7. LABORATORIJSKA VAJA

VHODNI TOK

$$U_s - R_s I_+$$

odstop. od idealta, ker obstaja vh.-tok

(naraščaja z velikostjo tok z in zunanje impedance)



priklopimo sledilnik (da bremenski tok ne črpamo iz senzorja, ampak iz napajanja; 00 ima lastno napajanje) → senzor je izoliran od bremena

senzor je zdaj obremenjen z vh. tokom 00 (upamo, da je $I_{vh} < I_B$)
če bi bil I_B manjši, bi vgradnja sledilnika poslabšala razmere!

Koliko je napetost na bremenu?
je vh. tok manjši, od bremenskega?
vh. tok povzročaja na Thev. upornosti padec → na vhod sledilnika pride

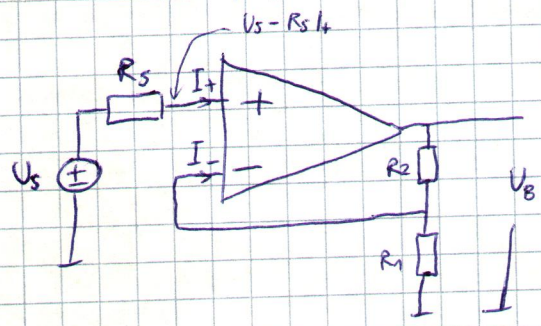
I_- ne bo vplival

$U_s - R_s I_+$
sledilnik to napetost ↑ preslika na breme

zakaj?

vh. tokovi vplivajo na vezje tako, da povzročajo parazitne padce na zunanjih impedancah vezja
- sponka dobi tok iz vozlišča z impedanco 0; zunanje impedance, na katerih tok povzroča padec, spreminjajo razmere v vezju
parazitni člen naraščaja z velikostjo toka in z velikostjo zunanje impedance

prvi parazitni člen spremeni samo napetost, ki pride na vhod

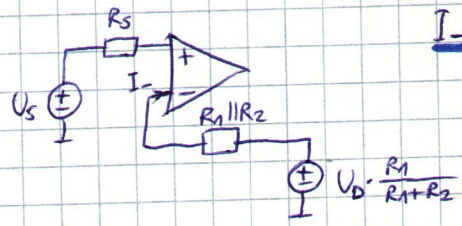


Kakšna je bremenska napetost?

na vhodlojaci pride $U_s - R_s I_+$

Kako vpliva I_- ?
napetost na ^{vhodu} - generira delilnik delilniku se lahko priredi Theven. vir

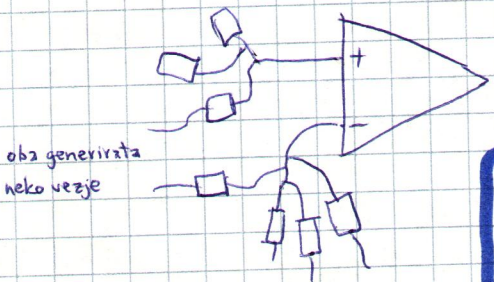
vse je idealno, samo tokovi so



I_- povz. padec na Thev. upornosti

spl. vezje

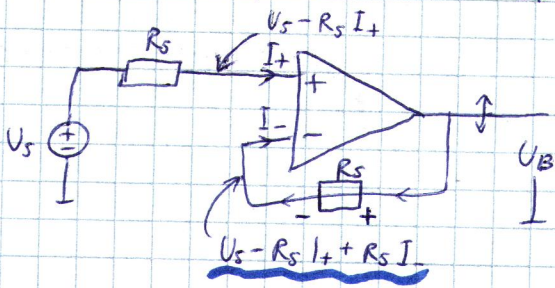
Ovrednotimo vpliv vhodnih tokov!
poglaye: vozlišče kot napetostni vir (11. v Praktikumu)
Th. upornost delilnika (13. -11-)
Theveninova impedanca vozlišča!



oba generirata neko vezje

vozišče se obnaša kot napetostni vir idealni ⊕ med vozišče in maso priklonim → zmerim Theveninovo napetost če v vozišče dodatno nekaj vklopim, bo to dodatno predstavljalo breme vse šavje uporov se združi v Theven. upornost vozišča (Th. impedanco)

Se da omiliti vpliv ?



želim, da je nap. na bremenu čim bolj enaka V_s
 I+ povečajo, da na vhod sledilnika pride malenkost napačna napetost

Kakobi to omiliti ?
 namesto žice vgradimo upor R_s

∞ bo cilj na tako vrednost, da bo v tej točki ista napetost kot tu

(superpozicija) \rightarrow napremik, končno ujač...
 ko bo naciljano, bo tudi tam $V_s - R_s I_+$

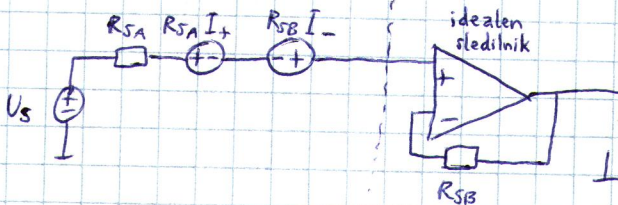
$\rightarrow V_D = 0$
 vse je idealno

Kakšno nap. mora ∞ dati na izhod ? da bo naciljana ta napetost ?
 na izhodu je višja nap., zato je na desni $\square +$
 \hookrightarrow ker je padec nap. na R_s
 se členu med sabo izničita in imamo le V_s

offset current pove, do kakšne mere bo kompenzacija uspela / koliko sta tokova pribl. enaka
 podan v datasheetu

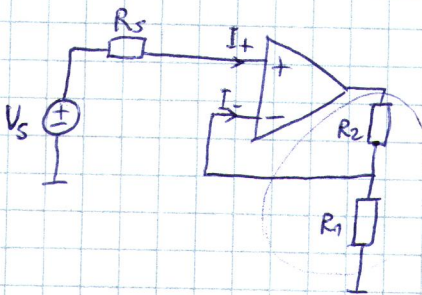
\downarrow
 če bi nam uspelo, da bi bila enaka, bi vpliv vhodnih tokov popolnoma izginil

upoštevam padec ločeno, modeliramo



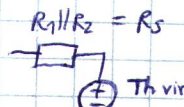
različne polaritete nam povejo, da se to izničuje med sabo

5 krogcev
 \downarrow
 5 superpozicijo



omilimo učinek

$R_1 || R_2$ naredimo enako R_s

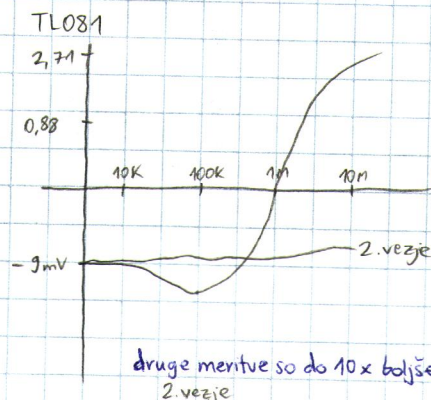
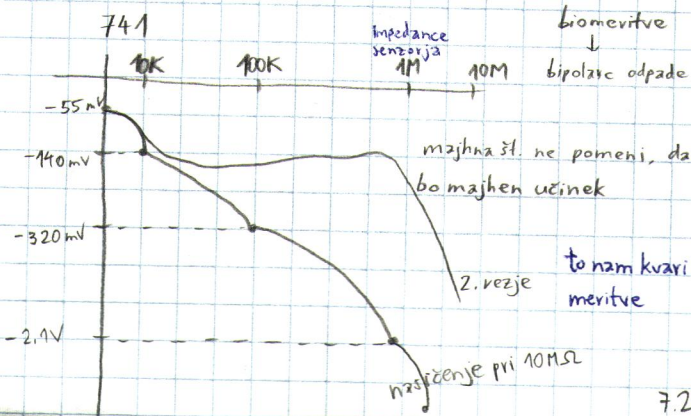


izberem upore tako, da bo Th upornost = R_s

\hookrightarrow Th upornost določajo abs. vrednosti

če offset current ni prevelik
 \rightarrow drugače postabšamo

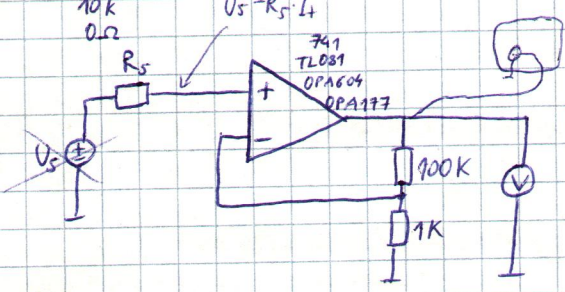
splošno pravilo
 z designom moramo poskrbeti, da oba vhoda ∞ čutita isto impedanco vozlišča, da imata obe vozlišči isto Thev. upornost.



sorazmerje
 1000x boljše

10 MΩ
1M
100k
10k
0Ω

Spreminjamo upor



sestavimo ojač. z $A=100$, opazujemo vplive vhodnih tokov
 opazujemo le superpozicijo za vh. tokove
 Senzor izkl. proč, imamo le R_s , ki ga bomo spreminjali

vsak model se drugače obnaša

če bi bilo $0\Omega \rightarrow$ bi V pokazal $0V$
 realno pa ne (offset...), ni posledica vh. tokov
 navadna žica \rightarrow vse kar bomo dobili, bo posledica offseta

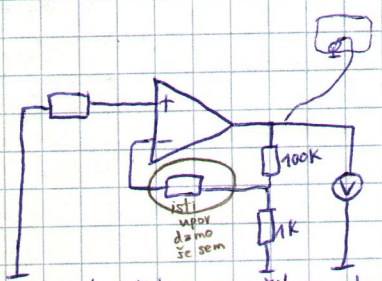
osc. \rightarrow da vidimo, če oscilira
 nebo smiselnih rezultatov

ko bomo večali upore, vsaka razlika glede na zač. meritev, bo predstavljala napako zaradi vh. toka
 predstavlja člen $R_s I_t$



TL081	TL741
$0\Omega \dots -9mV$	$0\Omega \dots -55mV$
$10k \dots -8.6mV$	$10k \dots -138.0mV$
$100k \dots -9.2mV$	$100k \dots -317.0mV$
$1M \dots 0,88V$	$1M \dots -2,13V$
$10M \dots 2,71V$	$10M \dots -10,23V$

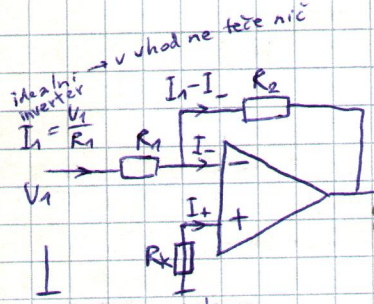
Kar dobimo na izhodu ni vse povzročeno od toka - odšteti moramo začetni del, ki je povzročjen z offsetom, da dobimo učinek vh. toka
 slika na prejšnji strani



TL081	TL741
0Ω	0Ω
$10k \dots -8.8mV$	$10k \dots -103.5mV$
$100k \dots -8.1mV$	$100k \dots -102.7mV$
$1M \dots -7.9mV$	$1M \dots -115.5mV$
$10M \dots -5.4mV$	$10M \dots -0,93V$

te meritve so do 10x boljše
 (z minimalnimi stroški)

s tem želimo izenačiti impedanci
 Je problem, da se impedanca prišteva T_h upornosti delilnika? S praktičnega stališča ne predstavlja problema.
 \rightarrow je manjša kot $1k\Omega$; če dodam upor $10k\Omega$, mi $1k$ predstavlja 10% napake - ni zanika
 100 1%



Kako vh. tokovi vplivajo na to vezje?

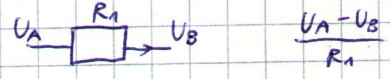
$$U_2 = -R_2 \left(\frac{U_1}{R_1} - I_t \right)$$

I_t se nič ne spremeni, ker I_+ pušča

tok ne spremeni vh. nap., ker jo vsiljujemo od zunaj in ne spremeni potencial virt. mase

$$U_2 = -U_{R_2} = -R_2 (I_1 - I_t) = \frac{R_2}{R_1} U_1 + R_2 I_t$$

(drži zaradi VM) ker je sponka že vedno na VM
 virt. masa se ohrani
 parazitni člen



Potencial se ne spremeni \rightarrow zato tudi ne I_t

$\rightarrow I_1$ teče v večini naprej (čez R_2), razen delež gre v 00

Zakaj ne morem doseči, da imajo invert. sistemi velike vhodne upornosti?

v notranjosti je diferencialni ojačevalnik

delamo ojač. 10 \rightarrow le razm. uporov

$\frac{R_2}{R_1}$	1k	10k
	1M	10M

parazitni člen je večji, tem večji je vh. tok in tem večji je upor R_2

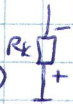
vh. upornost takega vezja je enaka uporu R_1 , ker breme čuti, da je vezano preko R_1 na maso

Zakaj ne smem uporov dvigati v ∞ ? (in s tem navediti vh. upornost poljubno veliko)
 ker s tem sponamo tudi R_2 in parazitni člen postane prevelik. Zato moramo absolutne vredn. uporov držati na zadoštni ravni.

izboljšava: v vejo vgradimo kompenzacijski upor

prej je bila impedanca 0Ω , tok I_+ ni povzročil nobenega padca

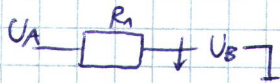
zdaj bo na uporu napetost



$U_k = R_k I_+$

točka bo izmaknila malenkost navzdol!
bo malenkost manj kot 0

Posledica: ∞ bo cilj na novo nižjo vrednost (ne več na maso)



U_A ostane še naprej vsiljen, $U_B \downarrow$
napetost na uporu se poveča!

tok čez njega se poveča

prej $(U_1 - 0V)$

zdaj $(U_1 - (-U_k)) = U_1 + U_k$

∞ nam nekaj toka ukrade; če ga prav povečamo, bomo tisto dobili nazaj

toka ne smemo povečati točno tolikokrat, kot nam ga ∞ ukrade \rightarrow bomo dobili za U_k napačno vrednost na izhodu $U_2 = -U_{R2} - U_k$

ev se je točka izmaknila dol

$$U_2 = -U_{R2} - U_k = -R_2 (I_1 - I_-) - R_k \cdot I_+ = -R_2 I_1 + R_2 I_- - R_k \cdot I_+ =$$

$$= -R_2 \cdot \left(\frac{U_1 - (-U_k)}{R_1} \right) + R_2 I_- - R_k I_+ = \underbrace{-\frac{R_2}{R_1} U_1}_{\text{sanje}} - \underbrace{\frac{R_2 R_k I_+}{R_1}}_{\text{odrec}} + R_2 I_- - R_k I_+$$

ENACBA ZA IZRACUN KOMPENZACIJSKEGA POGOJA

\rightarrow želimo, da je 0
da se dobit R_k , da bo vse to 0

$$0 = -\frac{R_2 R_k I_+}{R_1} + R_2 I_- - R_k I_+$$

$$R_2 I_- = R_k I_+ + \frac{R_2 R_k I_+}{R_1}$$

$$R_2 I_- = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) R_k I_+ \quad / \cdot R_1$$

$$R_1 R_2 I_- = (R_1 + R_2) \cdot R_k I_+$$

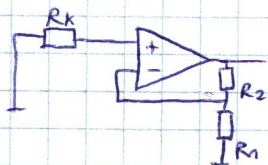
$$R_k = \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2)} \cdot \frac{I_-}{I_+}$$

vzporedna vezava $R_1 || R_2$ \rightarrow razmerje vhodnih tokov

če bi bila vh. tokova enaka, bi bil R_k točno vzporedna vezava dveh uporov
offset current pa pove, koliko to ne uspe

obz v hoda morata čutiti iste impedance

isto vezje bi bilo:



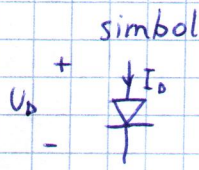
potencial vozlišča vsiljuje napetostni delilnik iz uporov R_1 in R_2

OPA177 offset current, je podoben bias currentu
ne smemo delati kompenzacij (datash. str. 7)

8. LABORATORIJSKA VAJA

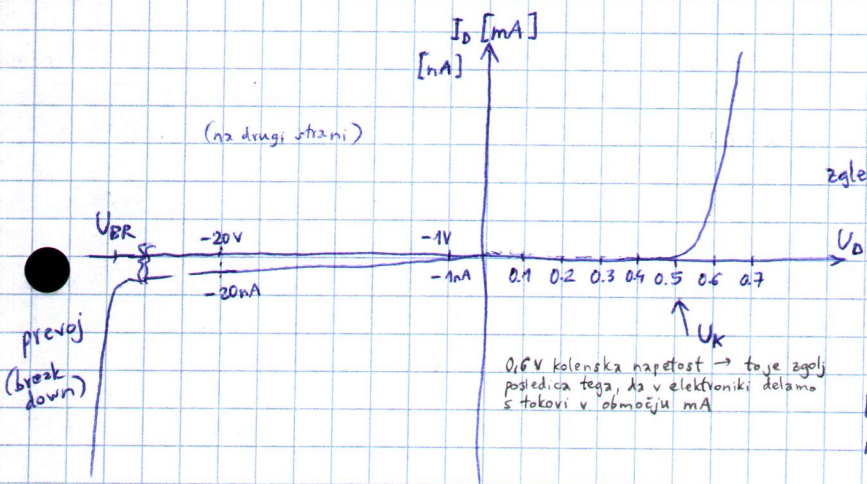
DIODA

prevaja v eno stran, usmernik



▽ označuje smer toka
— bariera

+ sponka na višjem potencialu (bolj prevodno polarizirano)



diodo vzbujamo v prevodni smeri → zglada kot da toka č diodo ni, ko presežemo neko točko, začne tok diujat

zglada kot da je dioda zaprta pri majhnih prevodnih napetostih

kolenska napetost je napetost, pri kateri začne dioda opazno prevajat (namišljena vrednost), ki je določena z našim merilom

pri katerikoli prevodni napetosti, dioda prevaja tok prej so meritve preveč prilepljene na x-os

zvezna karakteristika in zvezno odvedljiva

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1 \right)$$

enačba teoretičnega pn-spoja (idealizacije)

tok nasičenja ("konst.")
tok I_S je blazno podvržen tolerancam
tok je eksponentno odvisen od temperature !

U_D - napetost, ki jo pritisnemo na diodo

velikokrat tega ni v datasheetu

U_T - termična napetost / termični napetostni ekvivalent

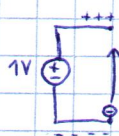
$$U_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

k Boltzmann, T temp. v [K], q povpr. energ. delcev (elektronov in vrzeli), osnovni naboj

temperatura je merilo za povpr. kin. energ. delcev, ki so segreti na neko temp.

tok se s temperaturo povečuje

zaradi temperature ima elektron enako kin. energijo, kot če bi ga pospešil iz - do + sponke usmernika, ki je nastavljen na 25mV (zato je to ekvivalent... ta npr. drugače ne obstaja)



v el. polju: e^- bo čutil silo, ki ga po dol odbija, gov privlačila (pospešek)

naboj je dobil kin. energ. zato, ker je bil postavljen v el. polje, ki ga je pospeševalo

energ: $W = U \cdot q$
 $U = \frac{W}{q}$ ekviv. $\frac{kT}{q} = U_T$

z večanjem T pri isti napetosti tok pada //
 če diodo segrevam, se števec povečuje ... izničujem učinek usmernika //

- do + sponke usmernika

tok I_S je eksponentno odvisen od temperature !
 večanje konstante je bolj dominantno od manjšanja fitega člena
TOK SE S TEMPERATURO POVEČUJE SKOZI DIODO.

Fermijevi nivoji
 če želimo, da dioda prevaja neovirano, moramo dovest nosilcem, ki sodelujejo pri prevajanju, toliko energije kolikor predstavlja energijske ovire ta bariera, ki je vgrajena v diodo v obliki pn-spoja

diodni tok bo v idealu enak 0; v resnici nekaj pušča

leva stran je zaporna

spremenimo merilo v nA

če napetost pritiskamo preko neke meje, se dioda zlomi = preboj (BR)

zaporni tok diode narašča eksponentno s temperaturo

tak se podvoji, ko dvignemo temp. kristala za vsake 10°C

vojska (military temperature range)

0-70°C komerciala

-40-85°C industrija

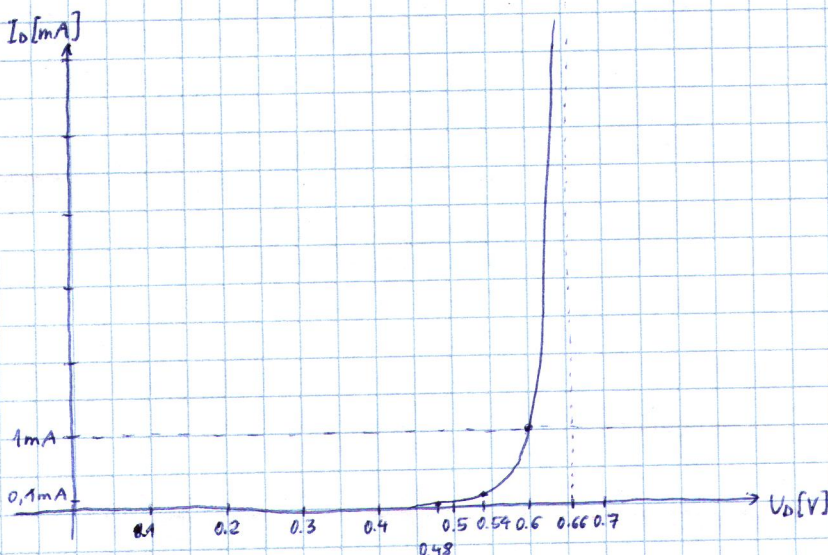
-55-125°C vojska

THE MOST IMPORTANT VIDEO

T I_D

-55°C	1 nA
-45°C	2 nA
-35°C	
-25°C	8
-15	16
-5	32
+5	64
+15	128
+25	256
+35	512
+45	1024
+55	2048
+65	4096
+75	8192
+85	16384
+95	32768
+105	65536
+115	131072
+125	262144

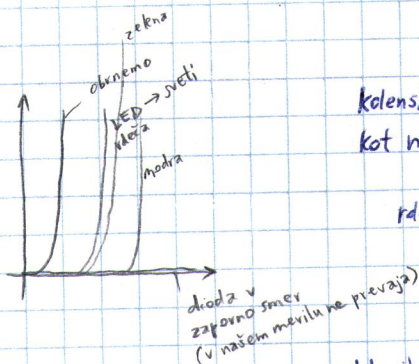
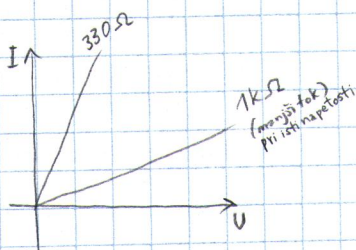
karkt. prevodnega toka v odv. od napetosti



(velja za silicijeve diode pri sobni T)

tak skozi diodo se poveča za faktor 10, ko povečamo napetost za 60 mV na njej

ta dioda pušča 262144 x več, kot ko je hladna



barvnih diod

kolenske napetosti bodo naraščale kot naraščajo barve v mavrici

rdeča ima najvišjo frekv. in najnižjo λ

LED ima malo drugačno kolensko napetost

LED diode svetijo razl. barve (ne zaradi ohišja) zaradi fotonov v pn-spoju. (ker se ustrezni fotoni generirajo v pn-spoju)

$$U \cdot q = W = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

barvo svetl. določa valovna dolžina

$$c = \lambda \cdot \nu$$

svetl. hitr. valovna dolžina

R: 650 nm (rdeča ima najnižjo frekv., najvišjo val. dolžino) → najnižja energijska reža

Z: 550 nm

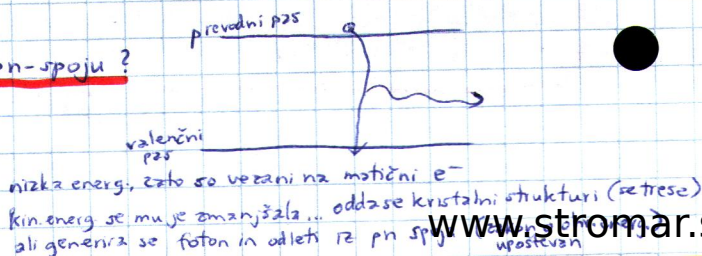
; oranžna, rumena, modra, vijolična

$$U = \frac{h \cdot c}{q \cdot \lambda}$$

Kako se generirajo fotoni v pn-spoju?



ta energija določa barvo svetlobe



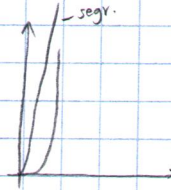
spreminjamo velikost energijske reže

„črna“ - infrardeča
kolenska nap. manjša
od rdeče



diodo segrevam

kolenska se ful zmanjša
energija elektrona se poveča



dioda se fizikalno ne da drugač naredit (je temp. odv.)

svetimo nad diodo (kolenska se zmanjša)

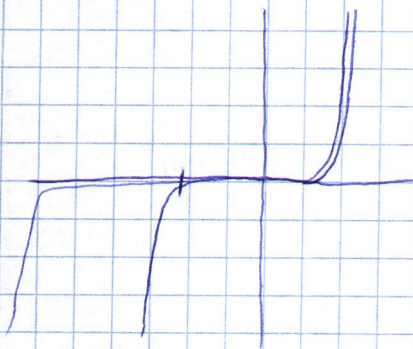
polprev. direkten - omogoči, da
ohrani vrtilno količino (spin)
(% fotonov velik)
indirekten (fononi) - se bo vrt. količin
moralo spremenit

Principi:

1. električni
2. toplotni
3. svetlobni

Zener dioda / prebojna dioda

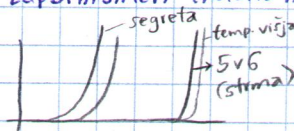
kolensko nap. imajo malo višjo, v prevodni smeri se podobno obnašajo
v zaporni smeri se zlomijo (pri precizijski napetosti)



3V6 = 3.6V zener (preboj se tu zgodi)

namenjena delovanju
v zaporni smeri (koleno ni izrazito), področje odpiranja
je razmazano

ke na vazah dobiš 0,8V,
si Zener dioda navobe
obrnil



segr. gre v levo (pri isti napetosti pri
višji T dobimo več toka)

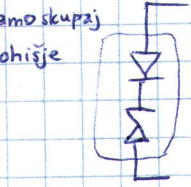
plazovni preboj le pri velikih napetostih
↓ domine

5V6, segrevamo → toliko energije smo

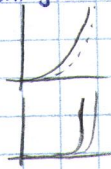
zelo izrazito koleno (to je koristno)

2 principa delovanja Zener diod: Zenerjev preboj (neizrazit), plazovni (hastane samo pri
zadosti velikih napetostih)

kombinacija

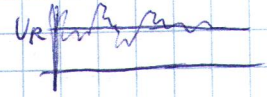


navzven bo učinek manjši (se kompenzira)
ena gre v levo, druga v desno



z diodami bomo delali referenčne vire

T_h upornost je povezana s strmino diode



izogibati se pn-speju v preboju (sploh plazovnem) šum

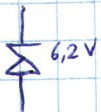
5,6V Zener ful strma - najnižja T_h upornost

strmina karakt. narašča z velikostjo toka

diferencialna upornost



kompromis odločit se, koliko jo bomo žgali



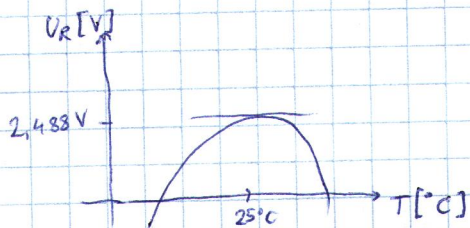
to je lahko hud izvor šuma
2. problem: velika napetost, rabimo še večje napajanje

band gap reference (cela vezja, ki se zaprejo v skupno ohišje) če uravnotežimo, dobimo temperaturno kompenzirani element napetost, pri kateri je naredil najboljšo temp. neodvisnost

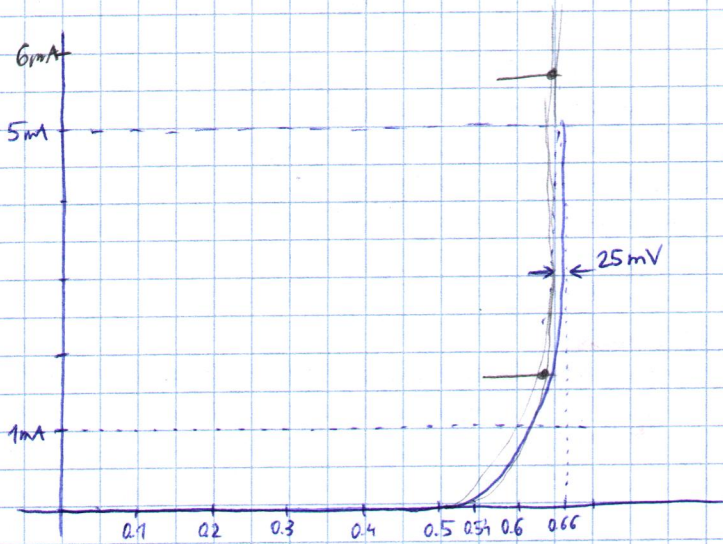


izpodrinile Zener

so temp. kompenzirane (\neq neodvisne)



9. LABORATORIJSKA VAJA



tok diode se poveča za faktor 10, če povečamo za 60 mV

npr. želimo 5mA ; dioda prikl. na ^{precizen} nap. vir



ali uporabim tok. vir, generiram 5mA



Razlika? Kaj bi izbrali v praksi?

stimina je ogromna

navabe naciljana nap. pomeni ogromno spr. toka

→ nerealistične zahteve o preciznosti vira

ni realistična karakteristika

2 diodi se bosta med seboj razlikovali
poprev. imajo široke tolerance

25mV - to je večja št., kot decimalke zahtevajo

fudi če bi imeli nap. vir, tera zgornja rešitev je vedno ne deluje

temperatura !!

na diodi se pojavijo joulske izgube $P = V \cdot I = 0,6V \cdot 5mA = 0,3mW$
izgube povz. malenkasto segrevanje diode → karkt. se premakne
v levo +

od zunej forsiramo nap. na diodo

tok se poveča ful za majhen pomik v levo

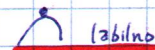
dioda se še bolj segreva ...

→ še višje presečišče

dioda se stopi

$$0,6V \cdot 7mA = 0,42mW$$

$$0,6V \cdot 8mA = 0,48mW$$



čim se segreva, se začne še bolj segrevat

tok vir, tudi izgube

tok ostane isti, napetost se zmanjša

manjšajo se izgube

motnja se ne podpira, ampak izničuje ✓

TERMIČNI POBEG → povzrostoka povzroči kombinacija premika
karakteristike v levo in forsiranje konst. napetosti od
zunaj, kar da višje presečišče toka

(ne pa višja temperatura)

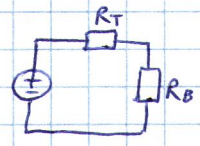
Alta

PN-spoj v prevodni smeri ne smemo krmilit napetostno! Le tokovno.

Tokovno krmiljenje pn-spoja

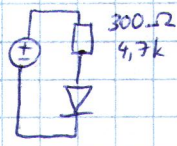
nap. vir. s Th. uporn., breme prikl.

če je $R_T \ll R_B$ je krmiljeno napetostno
 $R_T \gg R_B$ tokovno



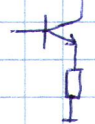
pn spoj čuti tokovno krmiljenje

dodatni upor

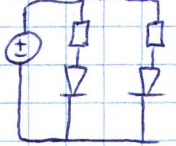


upor dodatno vezemo k Th. viru → povečana Th. upornost → da dioda čuti tok. krmiljenje

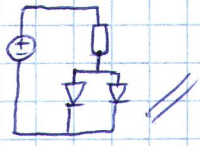
isto za tranzistorje



več LED diod



skupni upor



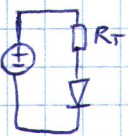
diodi se razl. zaradi toleranc!
niti nista na isti temperaturi

forsiramo na njih isto napetost

(skrozi njiju teče razl. tok) → svetila bo le ena, ker bo prevzela tok nase in crknila, potem bo druga isto



zaporedno je OK

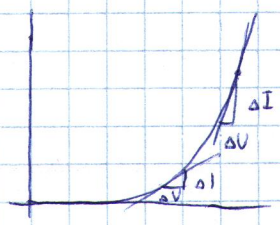


doseči moramo, da je $R_T \gg R_D$
kako vemo, kak upor izbrat

upornost diode

dioda je nelin. element, ni enoumno določene upornosti

$R = \frac{\Delta U}{\Delta I}$



delovna točka → tangenta
diferencialna upornost

$R_D = \frac{\Delta U}{\Delta I}$

→ tako dobimo neke št. vrednosti

se spreminja z delovno točko

teoretično $R_D = \frac{\partial U}{\partial I}$

razbimo funkc. odv. med nap. in tokom

$I_D = I_S (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1)$

↑ formula neuporabna

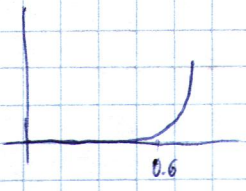
pn-spoj fajz prevodno polariziran → poenostavimo

$I_D = I_S e^{\frac{U_D}{U_T}}$

1 zanemarimo (ko se pn-spoj odpiriz)

$\frac{U_D}{U_T} = \frac{500mV}{25mV} = 20$

$e^{20} = 5 \cdot 10^8$



$$R_D = \frac{\partial U}{\partial I}$$

$$\frac{\partial I_D}{\partial U_D} = I_S e^{\frac{U_D}{U_T}} \cdot \frac{1}{U_T} = I_D / U_T$$

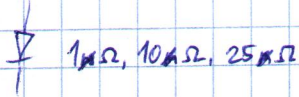
$$\Rightarrow R_D = \frac{\partial U}{\partial I} = \frac{U_T}{I_D}$$

to enačbo veliko uporabljamo

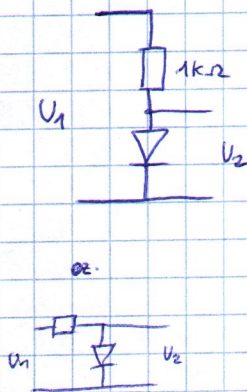
dioda segreta na sobno temp. $\rightarrow 25\text{mV}$

upornost pada lin. s tokom čez njo

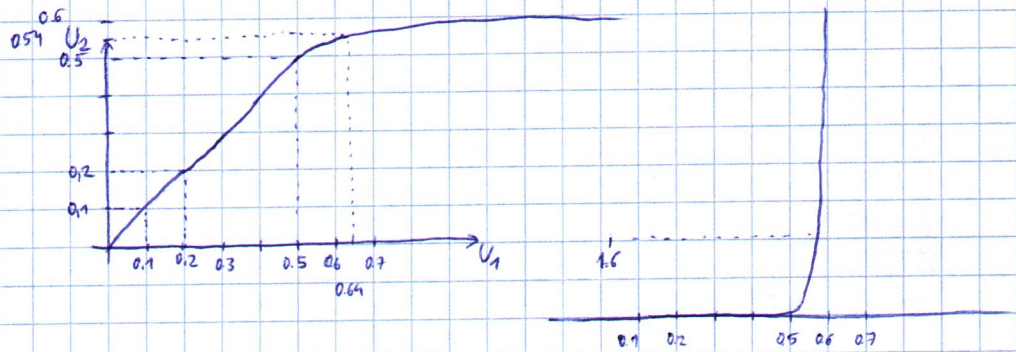
tok 10x večji, upornost 10x manjša



ne lin. področje, zmpak še več: velja $U_2 = U_1$



vezje vez. z U_1 , opazujemo odziv U_2
graf?



če dam 0V na vhod, dobim 0V na izhodu

0.1V, 0.2V, 0.5V (tok čez diodo = 0A)

vh. nap. je vsiljena obema elementoma (uporu in diodi), ne vemo, kako se razdeli

premajhna nap., da bi se dioda odprla
sklepamo, da čez diodo ne teče tok

če ne teče čez diodo, ne more tudi čez upor, ni padca napetosti na uporu

oz. nek čisto zanemarljiv

0.64V na vhod, če je 0.57 na izhodu

kok dam na vhod, da bom na izhodu imel 0.6V?

1.6V (ful povečamo nap. na vhodu)

$$I_D = I_S (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1)$$

$$10^{-15} \text{ A} (e^{\frac{0.1}{0.025}} - 1) = 54 \cdot 10^{-15} \text{ A}$$

$$U_R = 10^3 \Omega \cdot 54 \cdot 10^{-15} \text{ A} = 54 \cdot 10^{-12} \text{ V}$$

-||-

0.66V

10.66V

\rightarrow postane izrazito vodoravno (počasno narašč.)

-||-

0.72V

100V

to vezje je koristno \rightarrow tako se delajo vse referenčne napetosti

\rightarrow dokler so nap. majhne,
lin. področje
velike, izh. nap. ostanejo

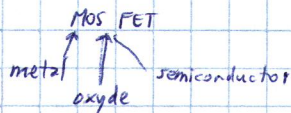
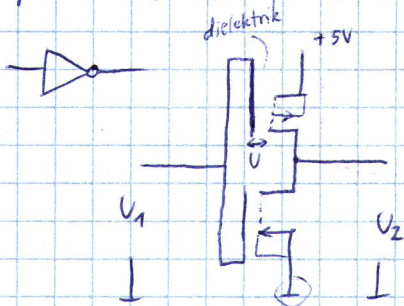
konkavno: izkoriščamo tudi prvi del karakteristike, kjer velja $U_2 = U_1$.
Drugče bi zaščita pokvarila običajne signale in bila neuporabna. +
vezje prepreči porast izh. nap. preko nekih vrednosti in OHRANI signal pod to vrednostjo

zaščita vezij

VARI

Akta 9.3

pomen v dig. vezjih (npr. CMOS izvedba)



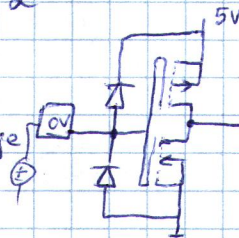
$$E = \frac{U}{x} = \frac{1V}{1\mu m} = 10^6 \frac{V}{m}$$

$x \rightarrow 0 \rightarrow E \text{ narasča}$

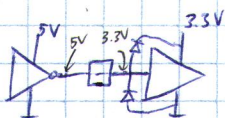
sile $F = E \cdot q$

da se rešimo el-statike

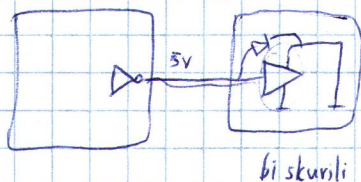
poleg 2 tranzistorjev, dioda iz vat na + in - napajanje



dig. celico prikl na drugo (imes dajmo upor)

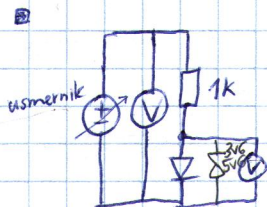
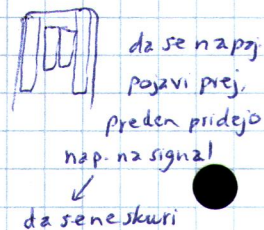


2 napravi (ena vkl, druga izkl.)

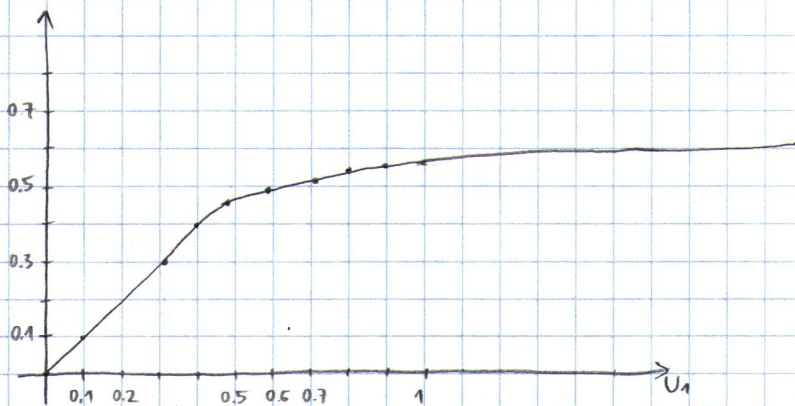


nap na vhodu ne smemo dat čez napajalne napetosti

USB zunanja konektorja sta naprej

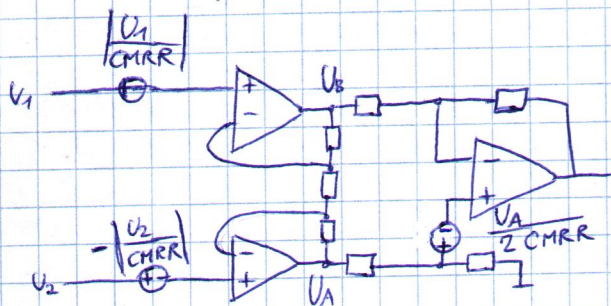


U_1	U_2
3 mV	3 mV
97,8 mV	97,8 mV
302,1 mV	300,5 mV
398,0 mV	388,0 mV
497	454
593	492
702	519
800	536
897	548
1000	559
2V	0,613 V
5V	0,671 V
8V	0,700 V
10V	0,714 V
12V	0,725 V



Kako CMRR vpliva na instr. ožč.?

CMRR vgradimo vir v vezje



potegnemo neidealnost ven
vrišemo vire, ki predstavljajo napake

CMRR je le toleranca (velikost napake)

(+ -) je algebraični predznak motnje (ne numerični)

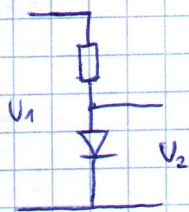
abs. vred. ! sestevamo vplive abs. vrednosti (se ne izničujeta)

Koliko je vrednost 3 vira? $\frac{U_A}{2 \cdot CMRR}$

$\frac{U_0, \text{ ki jo čuti } 00}{CMRR} = \text{vredn. vira}$

1.00 črti sofazni signal U_1 (točkobonaciljal, da bo enak U_1)

(kolkor pride na vhod)



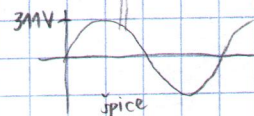
vezje izvaja 2 funkciji:

$$U_2 = U_1$$

vh. nap. enaka izhodni (v prvem delu), vezje ne pokvari signala dodamo upor, ki nam potem, če bi se vh. signal povečal preko, omeji naraščanje napetosti na izh. sponki in s tem zaščiti vezje

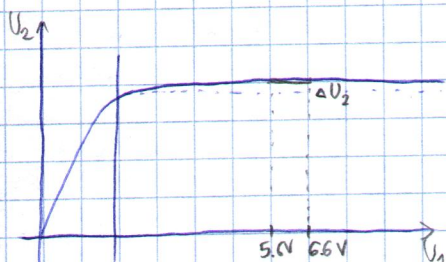
MOS-FET tranzistorji v dig. celicah so tako zaščiteni

prednost Zener diod: precizna preklopnaz nap.



REFERENČNE NAPETOSTI

gibamo se v področju kjer je karakteristika ravna



ko preseže kolensko nap., postane položna, a nikoli vodoravna
Zener dioda popolnoma vodoravna

5v6 je bila najbolj vodoravna

3v6 najmanj

s čim je to povezano? s stimino diodne karakteristike

U_1 ful povečujemo, U_2 se bo čisto malo

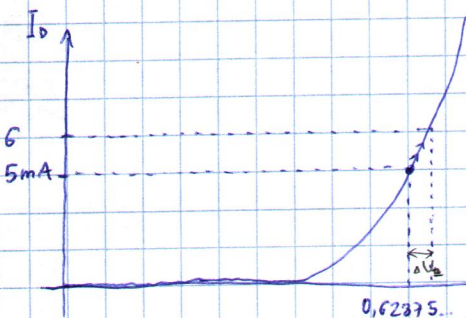
Zener dioda, ki ima plzovno preboj, je ima bolj stimo U_1 karakteristiko

Iv karakt. Zener diod



3v6 - položno koleno (slabše stabilizira napetost) silicijeva (nekje vmes) 5v6

Zakaj je tako?



Dejanska napetost na izhodu je taka, kot pripada diodni karakteristiki takrat ko teče čez njo 5mA toka.

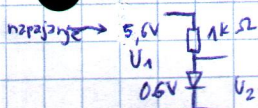
Kaj se zgodi, ko napetost spreminjamo? npr. na 6.6V

premahnili smo se v novo DT, s tem kosmo večal stmina krivulje določa, koliko se bo U_0 spremenil

na diodi se napetost zanemarljivo poveča, približek: cela spr. napetosti se pojavi na uporu; povečal se je tudi tok čez diodo in upor

ker se spr. vh. nap., se spr. tok in zato se more spremenit napetost na diodi

kos spremin tok čez diodo



$$R = \frac{5V}{5mA}$$

zato si želimo diodo s čim bolj stimo karakt.

če bi bila dioda popolnoma navpična, potem ko bi potoval iz 5mA → 6mA, se ne bi nap. na diodi nič spremenila bolj ko je položna, bolj se bo spr. toka odražala na nap. na diodi in izh. nap. vezja

Alketa

problem:

nobena ref. nap. ni neodvisna od napajalne napetosti

(ker ni navišnja karakt. pri nobeni diodi; izh. nap. se spr. z napajalno)

referenco priključimo na breme, iz nje bo tekla bremenski tok

ref. je napetostni vir - ta ima svojo Th. upornost (se seseda)

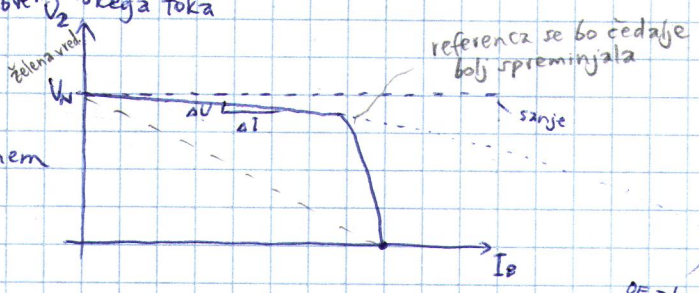
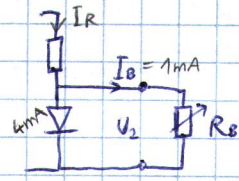
ko bomo bremenski tok spreminjali, ne moremo pričakovati, da bo generirana ref. napetost ostajala konstantna

na lab. vaji: tri diode, merimo izh. napetost v odv. od bremenskega toka

Kakšno krivuljo si želimo?

Vodoravno, ne glede na to, koliko obremenimo.

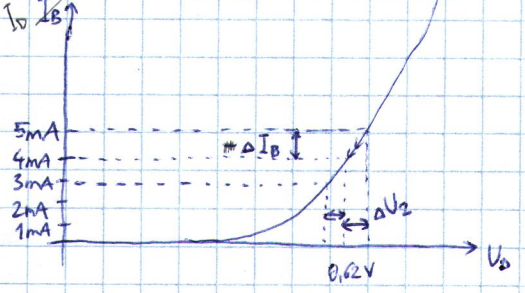
če želimo izmeriti Th. upornost, rabimo $\Delta V, \Delta I$ v uporabnem območju



OE - kratkostižen tok (ko se karakt. nadaljuje do 0)

Od česa je odvisno, kolikšno Th. upornost bo izkazovala dioda?

Od strmine diodne karakteristike.



(ko bremena ni na diodi, teče čez 5mA)

breme kvadr. tok → nižja DT, tok na diodi I_D se manjša

I_R je prej v celoti tekla skozi diodo
zdaj: tok čez upor je vsota toka čez diodo in breme
kolikšen tok bo tekla čez diodo, potem ko se vir že napaja?

poenostavljeno: na diodi se čisto malo spremeni napetost → na upor se napetost malo spremeni

kljub temu, da smo dodali breme, je tok skozi upor enak (pribl.); celoten tok, ki ga breme požre, smo ga ukradli diodi

se premikam po diodni karakt. ↓ iz prvotne delovne točke

strmina določa, koliko se spremeni izhodna referenčna napetost ΔV_2

če breme potegne 5mA toka, za diodo zmanjka → dioda se zapre (kot da je ni več v vezju)

če breme vleče 1mA toka, ostane za diodo 4mA
ko grem na 3mA, ostane za diodo 2mA

od tu naprej je, kot da ni diode (strmina enaka kot upor)

breme je samo še čez upor vezano na napajanje / napetostni vir



→ vezja ne bomo nikoli upravljalji v tem režimu; v tem delu bo strmina 1kΩ (dokaz, da je dioda zaprta)

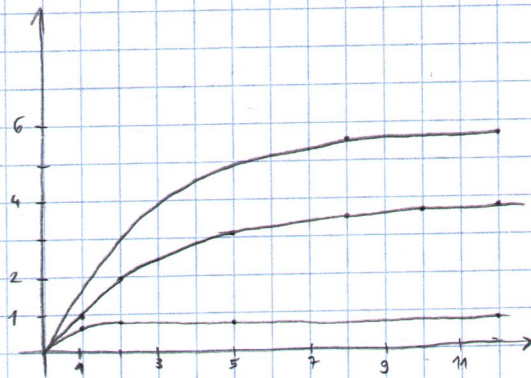
nap. reference - problemi:
sesedanje ob priključu bremena
spreminjanje z napajalno napetostjo
spr. zaradi temperature

3v6
0 0
sledi
:
:

5v6
0 0
sledi...
:
:

1,002V	1,002V
2,063V	2,006V
5V	3,2V
8V	3,5V
10V	3,60V
12V	3,78V

8V	5,63V
10V	5,65V
12V	5,65V

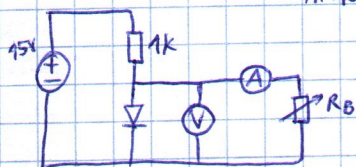


KOLOKVIJ 8

1. Diodni napetostni omejevalnik (razloži delovanje), skiciraj karakteristiko $U_2(U_1)$.
2. Zaščita vezij
3. Ref. n.zp.
4. Termični pobeg

10. LABORATORIJSKA VAJA

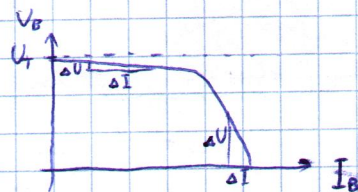
Th-upornost je treba izmeriti posebej



drži, potem se sesede

v uporabnem območju je enaka vrednost kot strmina diodne karakt.

najnižja Th. nap. pri diodah, ki so bolj strome



5v6

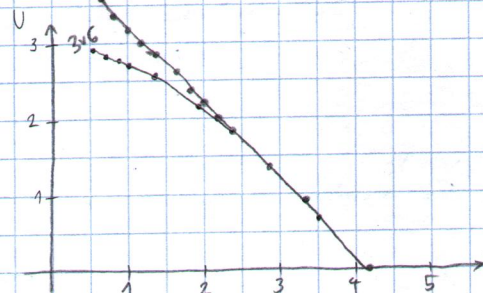
0.64 mA	3.57 V
0.80	3.41
1.00	3.20
1.20	3.01
1.40	2.81
1.60	2.59
1.80	2.41
2.00	2.23
2.20	2.00
2.40	1.80
2.80	1.38
3.30	0.92
4.20	0.02

3v6

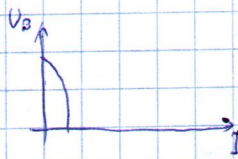
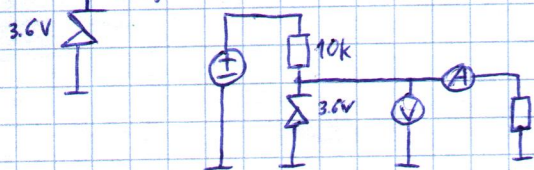
0.52	2.92
0.70	2.86
0.80	2.82
1.00	2.74
1.40	2.54
1.90	2.2
2.40	1.78
3.5	0.68
4.20	0.019

navadna

0.64	3.57
0.80	3.41
1.00	3.22
1.30	2.88
1.60	2.58
2.00	2.16
2.50	1.69
3.00	1.20
3.70	0.49
4.18	0.025



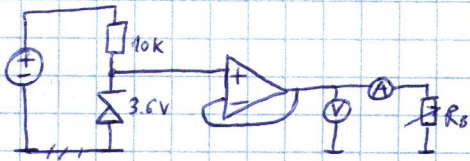
naredimo znič vir z najslabšo diodo



0.50	2.74
0.60	2.64
0.8	2.41
1.0	1.89
1.1	1.17
1.2	0.22
1.22	0

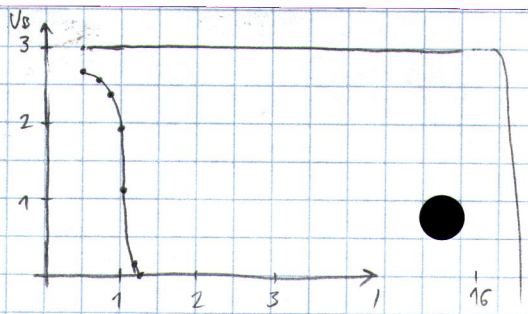
vir lahko izboljšamo

dodamo sledilnik



0.5	3.00
0.6	3.00
0.8	3.00
16.5mA	3.00

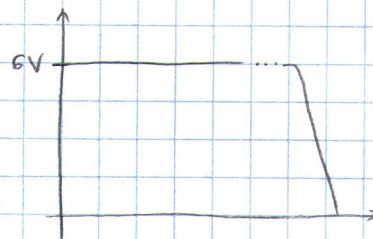
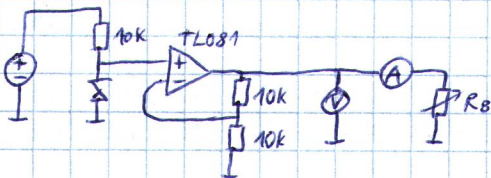
$\frac{dU}{dI}$ je bistveno manjši



navedimo ojačevalnik

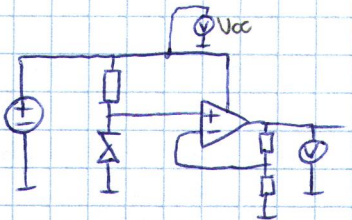
(se mora dvignit na 2x vrednost)

∞ 2x večji kot sledilnik

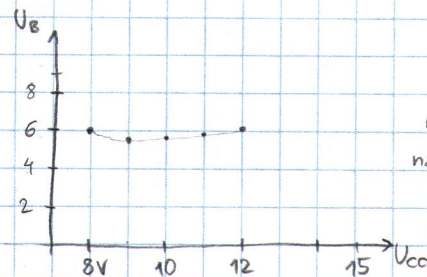


sprevinjamo napajalno napetost

vredn. brem. nap. v odv. od napajalne (od 8V-15V)

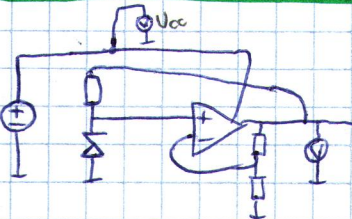


8V ...	5.59V
9	5.70
10	5.81
11	5.92
12	6.00



napajamo iz nap. vira

bolje: napajamo iz izhoda, ki je že stabiliziran



5,08V je skos

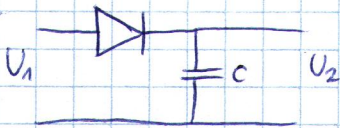
avtomobil. špice

želimo naredit večje, ki bi na izhodu dajalo največjo napetost, ki jo je vhod vidil v zgodovini vklopa naprave

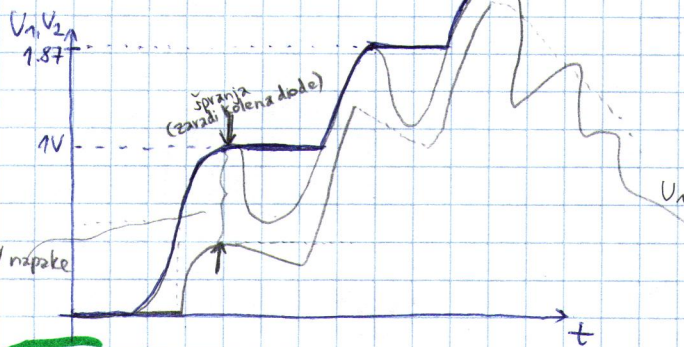
DAJALNIK TEMENSKJE NAPETOSTI

max.

čim je zaporno polarizirana, popolno zapira prevaja



predp. da je dioda idealna (nima kolena), kond. idealen



čim je prevodno polariz., popolno prevaja
KRITERIJ: ko je potencial na anodi višji od katode

ko $U_1 \rightarrow U_2$, bo dioda odprta → prevaja ∞ dobro

∞ hitro kond. nabije max. → nabije se na 1V kondenzator

kond. si zapomni vrednost (element s spominom)

če je U_1 ... kako bo zgledeal U_2 ?
Koj kond. prazen, dokler imam na vohdu 0, bo 0 tudi na izhodu.
Ko se vh. nap. začne povečevati, prevaja. (∞ hitro → zato zadeva sledi)
Ko vh. nap. pada:

v točki, kjer je dosegel vohd max., se je tudi kond. nabil na 1V
no kond. 1V, na vohdu pa manj

ko izh. nap. upada, bo na anodi manjši potencial kot na katodi → zaprta dioda
kond. jo drži naprej... ne upada
dviguje → polni kond., izh. nap. sledi (dioda se prevodno pol.)
vh. nap. navaste nad nap. na kondenzatorju

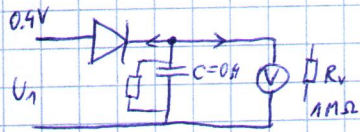
ni le izh. nap. na 1.87V, ampak je tudi kond. nabit; kobo vohd upadel, si bo kond. zapomnil vrednost in dioda bo zaporno pol.

realna dioda



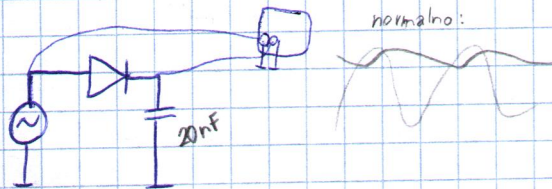
pri majhnih napetostih na diodi je premajhno, da bi se odprla in ne more polnit kondenzatorja imeli bomo napako, dokler razlika med vhomom in izhodom ne bo dosegla prbl. 0,6V do tu bo izh.nap. mrtva (navidez), potem bo naraščala, takzovata bo „konst“ razlika med vhomom in izhodom
 ↳ strmina ni neskončno strma!
 večja razlika bo zahtevala večji tok polnjenja → špranja se bo spreminjala

v točki, kjer vh.nap. doseže max, se tudi kond.nabije na neko vrednost, izh.nap. upada, dioda se zapre Kondenzator ne drži vrednosti, prazni se (napetost bo upadala)



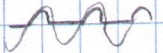
kond. se prazni preko (V); dioda prevaja pušča tudi čez kondenzator vozlišče (čez 3 cevi pušča)

3 razloge zakaj C pozablja: 3 žice ven, skozi katere gre tok ven



polnjenje.. ko je vh.nap. višja od izh.

če je frekv. večja, se nima časa sprazniti (ravna črta) ful nizke frekv. → sprti vse pozabi



Kako bi to izboljšali? z 00.

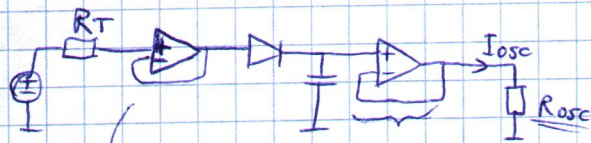
$C = 15 \text{ nF} = 15 \cdot 10^{-9} \text{ F}$

$R = 10^6 \Omega$

$\tau = R \cdot C = 10^6 \Omega \cdot 15 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ s}$

→ osciloskop vedno bremenil !!

btome preveč seseda → sledilnik

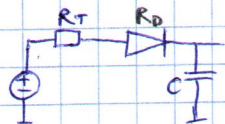


sledilnika, da zmanjšamo izgube iz vozlišča

še vem sledilnik ne vemo, kam bo uporabnik priklopil

sino postali neodv. od Th upornosti

čas.konst. polnjenja kond. $\tau_{pol} = (R_T + R_D) \cdot C$
 → čim krajša



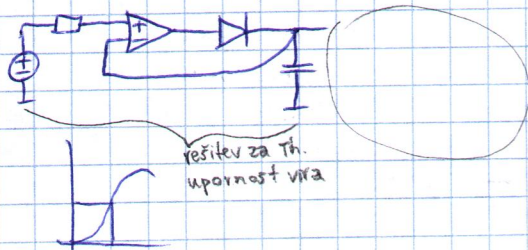
napetostne špice → napetost na kond. začne naraščat, vendar ~~se~~ prepočasni, da bi dosegel vrh špice in na izhodu dobimo veliko manjšo napetost

povr. zvezo damo v drugo točko

(kolensko nap. ven spravimo)

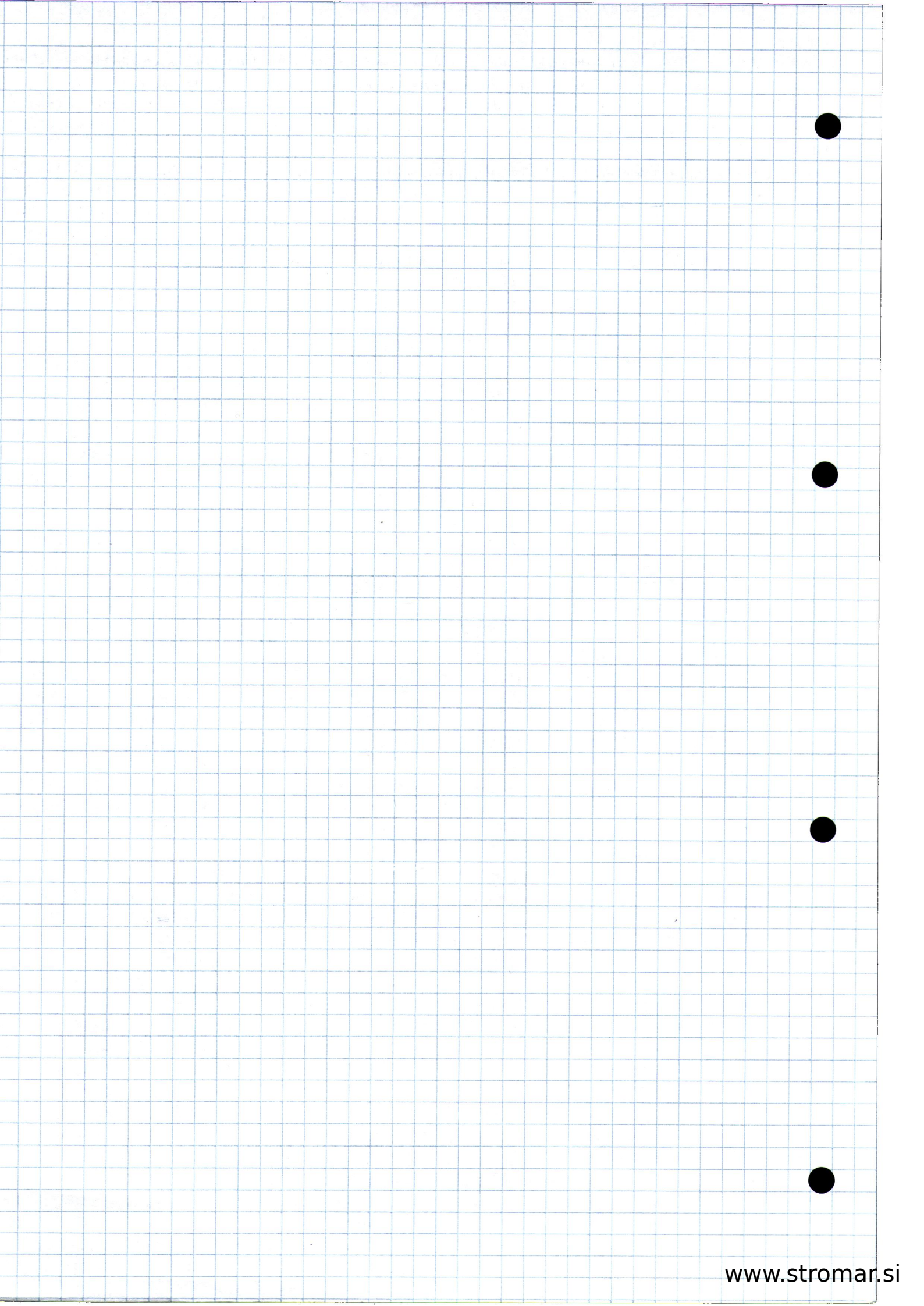
praznjenje zmanjšamo

špranja zmanjšamo

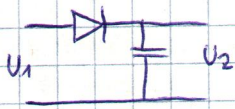


→ bolj hitro in natančno

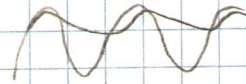
rešitev za Th. upornost viša



11. LABORATORIJSKA VAJA



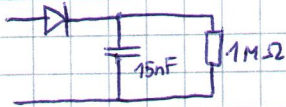
dajalnik temenske napetosti



efekt pozabljanja

izboljšava

krivec je odtekanje toka iz vozlišča
glavni krivec je osciloskop (1MΩ)



$$\tau = RC = 10^9 \Omega \cdot 15 \cdot 10^{-9} F = 15 \cdot 10^{-3}$$

v 15ms pozabi

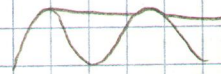
↳ uporabimo sledilnik
brem. tok ne vlečemo iz kond.

tudi sledilnik na vhod
da se znebimo vpliva Th. upornosti
(ne vemo, kje upornostnik priklopi)



povr. zveza → pokrijemo napako kolenske nap.

povečamo periodo kond. se je vedno prazni
(linearno praznjenje)



odpravili smo kolensko,
manj pozablja

vh. tokovi 00 ! to je dominantno
30 nA
iz 2 vej skupi teče 60 nA ≈ 100 nA

741 ima največje vh. tokove (bias current)
30-80 nA

$$I_v = 100 \text{ nA}$$

$$I = C \frac{dU}{dt}$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1V}{0,25s} = 4V/s$$

↳ smo remerili

$$I = \frac{I}{C} = \frac{100 \text{ nA}}{15 \text{ nF}} = 6V/s$$

st. se ujemata

vh. tokovi 00 predst. dominantno paraz. komponento praznenja

vh. tokovi uničijo
zplikacijo

Kako bi to izboljšali? Drug 00. TL081

bolje
če dvignemo ampl. in spustimo nazaj, počasni pade
10x povečamo periodo

$$5 \cdot \frac{1}{2} s = 2,5 s \text{ je signal pozabil}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1,5V}{2,5s} = \frac{3}{5} = 0,6V/s$$

prej 4V/s

vh. tokovi TL081 (FET tranz.)

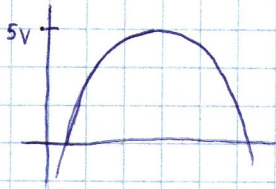
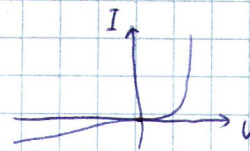
1000x boljše razmere, 30 pA! 1000x manjši tok
bi morale bit → so le 10x boljše

ostali vzroki so postali dominantni!

Damo OPA177. stvar ne dela

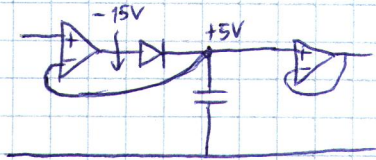
dioda je problem

zakaj tako močno pušča? od napetosti (naraščaj lin. z nap.)



ko se izh. nap. manjša (kond. nabit na 5V), po povr. zvezi pride do ∞ 5V $\rightarrow U_D = \text{neg.}$ in ∞ začne iti \downarrow , na levi manjšaj nap. kot na desni strani diode \rightarrow dioda se zapre

$U_D \text{ neg.}$, zabije se v - nasičenje, ker ∞ nima povr. zveze



ogromne reverzne nsp. na diodi!
na eni strani nasičenje
skozi diodo gre velik tok

Zakaj OPA177 ne deluje?

imamo kratek stik čez njega

dokler je razlika manjša od kolenske, lepo drži
pokem se aktivira zaščita (zašč. vezje v ohišju),
 ∞ v kratkem stiku

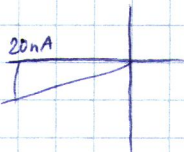
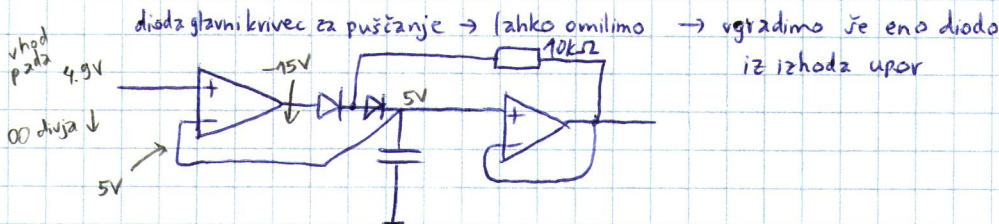
∞ je treba izbirat glede na aplikacijo!

segrevam \rightarrow dajalnik se spremeni v sledilnik

neg. bi met

TL081 JFET je zaporni tok diode
vh. tokovi eksp. naraščajo s temp.

f 2



$$U = 10^4 \Omega \cdot 20 \cdot 10^{-9} A = 20 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-4} V$$

upor velik \rightarrow ne moti polnjenja kond.

ko je vh. sig. manjši od femenske vredn.

-15V se deli na diodi

vsota mora bit 20V \rightarrow 20V in 0V

čez upor teče zaporni tok diode (manj kot 1mV pada), padec zanemarljiv
potenciala levo in desno od diode sta skoraj enaka!

-15V < 5V \rightarrow čez diodo lahko teče le zaporni tok

posledica
dioda ne pušča

(vezje je malenkost bolj počasno zato)

ko dvignem vhod sledi, ko zmanjšam drži (ostane gor)

si zapomni
11.2

nekemu elementu navidez povečamo
notr. upornost

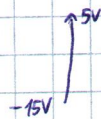
wiii

$$\frac{I}{C} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{15 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{15} \frac{V}{s} \quad \Delta U = \frac{1}{3} V$$

$$\Delta t = 30 s$$

še ena izboljšava
večino časa je 00 v - nasičenju
zakaj je slabo, če je 00 v - nasičenju?

slew rate $SR = \frac{13V}{\mu s}$

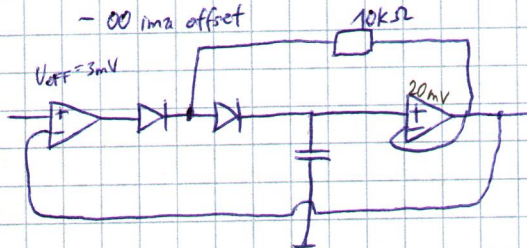


$$T = \frac{\Delta U}{SR} = \frac{20V \mu s}{13V} = 2 \mu s$$

da vezje reagira, rabi 2 μs

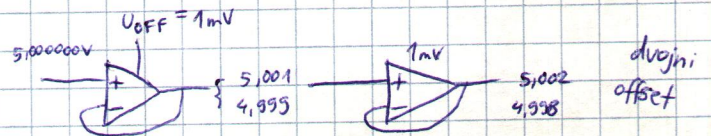
če špicca traja pod 2 μs ,
je sploh ne bomo videli
→ dinamični odziv je problem

pow. zvezo potegnem iz izhoda
- kond. ne obremenjuje
- 00 ima offset



Z offsetom narobe vidi + za 3mV razl od -

še sledilnik pokvari s svojim offsetom
2x napaka
zdaj bo le ena



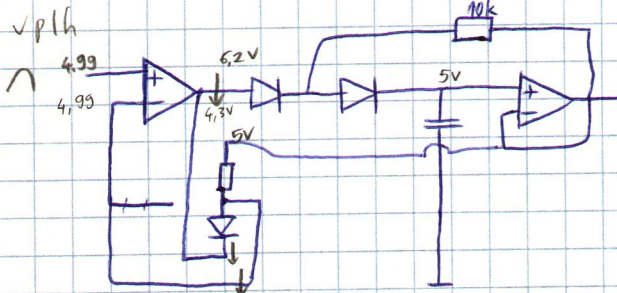
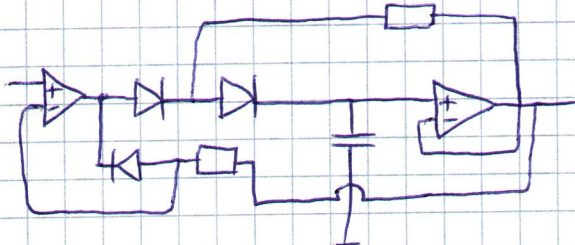
00 bo tipal, kaj je na izhodu

ukrep, da 00 ni več v nasičenju

šel je v nasičenje, ker ni imel feedbacka (dioda se je zaprla)
poskrbimo, da ima feedback v vseh pogojih

dioda v drugo smer

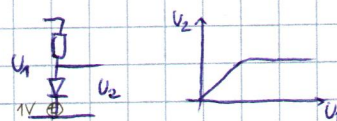
preprečit, da se kond. manjša napetost



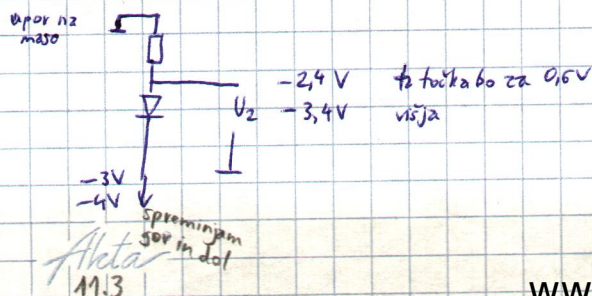
alternativna pow. zveza, ne da bi vplivali na prvotno

diodni omejevalnik

dioda odprta nad 0,6V



vezje čuti potencialno razliko



zadržji

vhod pade na 4,99V, 00 dhyz ↓

5V - kolenska (od tam se bo dioda odprla)

00 dobi povr. zvezo tudi v to smer

vleče točko za sabo z 0,6V razlike

00 pada prot nasičenju, zaščita se aktivira

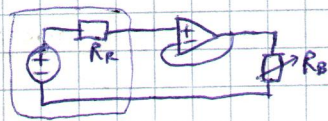
izhod vpliva na vhod, da se 00 ne zabije v nasičenje (to dela povr. zveza)
(ima možnost doseči $V_b = 0$)

združujemo ustrezne diode skupaj (ki izkazujejo pozitivni in negativni temperaturni koeficient)
bolj stabilna karakteristika pride, manj temperaturnega vpliva

bandgap → za neke napetosti se da narediti najbolj temp. stabilizirano: čudne vrednosti 5,422

$U_R = 2,435 V$ podvržena sesedanju bremena (→ ima Th. upornost)

ukrep za zmanjšanje vpliva bremen:
na ref. obesimo strednik



koliko decimalnk uspemo ohraniti?

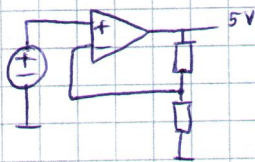
koliko strednik uniči s svojim OFFSETOM, crenanjem...

... čudne ref. vrednosti

kako to rešujemo? Uporabimo ojačevalnik (z izbiro uporov nastavimo pravilno ojačenje, da se nemogoča vrednost preslika v uporabno)

znebili smo se vpliva bremena

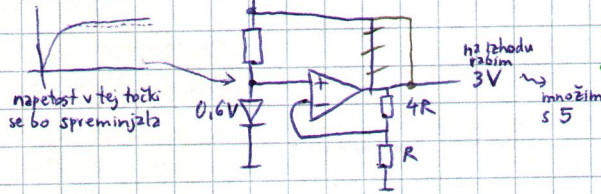
(knjižga)



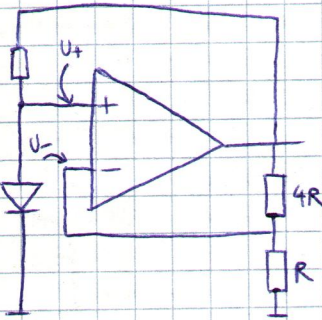
vpliv napajalne napetosti

Kako bi to popravili? (zastoj)

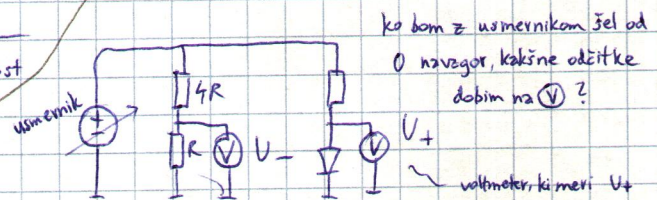
zakaj bi napajal diodo iz napajalne napetosti, ki ni stabilna?
Raje iz izhoda, ki je stabilen



diodo napajam z napetostjo → bo diodni del bolj stabilno napajen → na izhodu bo še bolj stabilna napetost... → zacikla se in je oo dobro



izkoristim potlačeno napetost namesto serove

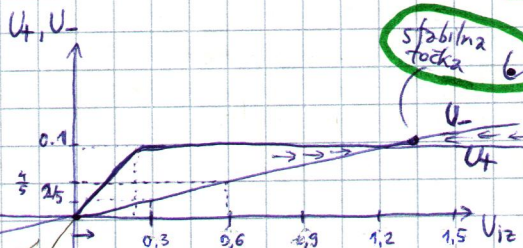


ko bom z usmernikom žel od nazgor, kakšne odčitke dobim na V_+ ?

voltmeter, ki meri U_+

U_- je delilnik ($\frac{1}{5} \dots$), gre tudi v negativno smer
→ zagotavlja, da narašča počasneje kot pod 45°

odvisnost U_+, U_- od izhodne



če motnja sistem brne v tisto smer, bo postala U_- višja od U_+

oo ojačuje razliko; ustali se lahko, kjer je $U_0 = D$ (kjer se krivulji sekata) izmaknemo sistem iz ustaljene lege (brcnemo v vse smeri)

U_- hitreje narašča kot U_+ (U_0 neg.) - oo sili nazaj ← ← (vsem tem območju)

U_+ višja od U_- (v 1. delu), (U_0 poz) - realistična stabilna točka

sistem se ustali

prva brca nazgor

v DRUGI TOČKI (KOORD. PLOHODIŠČE): U_+ bo naraščala hitreje (45° v začetni karakter)

razen če motnja obklopu brne stvar v drugo smer U_+ bolj neg. od U_- , U_0 neg. → konca se v - nasičenju

43 - (U_0) U_- manj od 45° (delilnik) → U_+ pozit. izhod sili je naprej v tisto smer (vsaka motnja izmakne sistem)

pri diodi je na začetku $U_2 = U_1$, zato narašča pod kotom 45° (hitreje kot delilnik) potem se prelevi v položno karakt. (narašča počasneje kot delilnik) zanesljivo se nekje sekata

(sekata se v 2 točkah) postavilo (le teoretično) izkazuje tak karakter

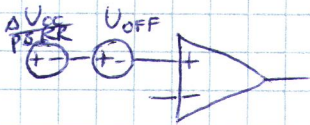
če brcnemo v drugo smer, se bo U_- hitreje nižala

edina možna ustaljena točka (neodvisna od napajanja) } ideal izpolnjen (vezje ∞ stabilno)
določena s karakt. vezji

ZZZZZ

offset se malenkost spreminja z napajalno napetostjo (to je zoprno pri 00)

razlog: tranzistorji se postavljajo v malenkost drugačne delovne točke



modeliramo:
 priključimo še en dodatni nap. vir
 (variabilni del)

sprememba, ki jo lahko pričakujemo na napajanju
 PSRR

PSRR
 power supply rejection ratio (rejekcija vpliva napajalne napetosti)

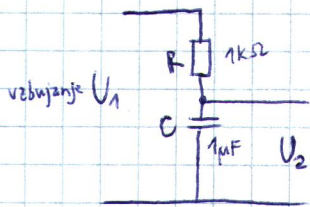
$$1V \rightarrow V_{OFF} = \frac{1}{10000}$$

TL081	80 dB	= 10000
01A177	125 dB	= 10 ⁵
	115 dB	

$$500\mu V = 0,5 mV$$

tranzistorjem v 00 se spreminja delovna točka

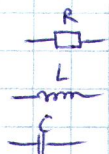
RC ČLENI



nizke frekv. prepušča, visoke duši
pri nizkih frekv. je kond. odprta sponka, pri visokih je kratek stik

izhod vezan v kv. stik in nič ne more priti na izhod

ko da ni kondenzatorja, tok čee ne more tečt. zato ni padca na uporu



$$V = R \cdot I \quad I = \left(\frac{1}{R}\right) \cdot U \quad \text{upor predstavlja skaliranje s konstanto}$$

$$V = L \frac{di}{dt} \quad I = \frac{1}{L} \int u dt \quad \text{odv./integr. (odvisno, kaj vzamemo za vhod/izh.)}$$

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad U = \frac{1}{C} \int i dt \quad \text{odv./integr.}$$

diferencialne enačbe
 kompleksni račun
 ↳ lahko uporabljamo, ko imamo sinusne signale
 ↳ imamo lep odvod

tem enačbam se izognemo s kompl. računom

če vezje vzbujamo s ~~sinusom~~ ^{signalom} neke frekv., botadi odziv imel to frekv.

ω se ohranja, popisovat moram le ampl. in fazo

iščem predstavitev sinusa, ki ima 2 parametra → kompl. št. (real+imag.)

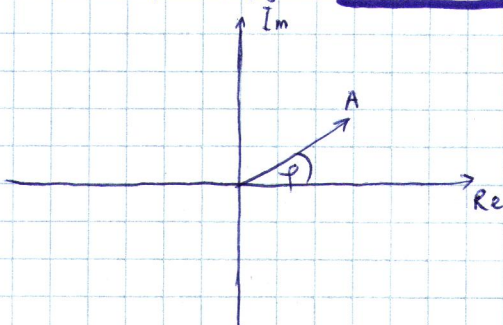
izognemo se dif. enačbam

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

bistvo: ko popisemo vezje, priključimo vez. in izv. odziv

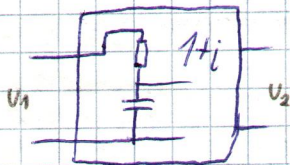
1. sin. signale lahko popisemo na preprost način
2. odvodi, integrali - !!

kompl. št. se ponazarjajo v Gaussovi ravnini



dolžina je amplituda
 φ - koliko je zasukan

amplitude se množijo,
 fazni koti se seštevajo

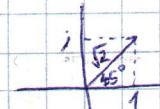


Pretnasna funkcija $H(\omega)$ $U_2 = H(\omega) \cdot U_1$

funkcija popisuje vezje
vh. odziv pomnozimo s to st. in dobimo izh. odziv

amplitude se mnozijo, fazni koti se sestevajo

polica, ki ima A in φ



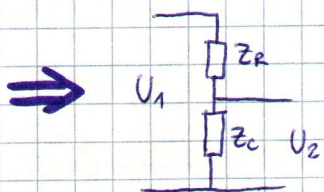
izh. amplituda bo za $\sqrt{2}$ vecja,
faza bo za 45° premaknjena
glede na vh. fazo

izhodni sinus bo za
abs. vrednost stevila 1+1
vecji od vhodnega in
fazno premaknjen za
fazni kot stevila 1+i

Kakobi izv. odvisnost izh. n.zp. od vhodne ?

impedance

... delilnik



$$U_2 = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} \cdot U_1$$

$$H = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

Kaj nam to pove o RC členu ?

delilno razmerje je frekv. odvisno

Poenostavitve: (ločimo 2 glavni področji)

če so $\omega \ll \omega_m$ (zelo majhne):

$$H = \frac{1}{1 + j\omega RC} \approx 1$$

(ampl. in faza se ne
spremenita - RC člen
prevaja nemoteno)
vh. signal je nespremenjen
pri prehodu skozi RC člen

če bodo frekv. majhne, bo tudi člen $j\omega RC$ majhen (nekje ga ni treba upoštevati)
komp. št. dolgo 1, kot 0 (faza), ampl. in faza se ne spremenita
pri nizkih frekv. RC člen prevaja signal skoraj neovirano

RC člen = najpreprostejši
primer analognega filtra

osnovna finta v
ozadju vseh
analognih filtrov

(v prenosni f. več
členov, ki tekmujejo
med sabo
v razl. frekv. področjih
razl. zmaga)

če so $\omega \gg \omega_m$: $H = \frac{1}{1 + j\omega RC} \approx \frac{1}{j\omega RC} = \left(\frac{1}{RC}\right) \cdot \left(\frac{1}{j\omega}\right) = \frac{\omega_m}{j\omega}$

člen postane ful vecji od 1, jo zanemarimo

RC člen vh. signal duši, saj je
ampl. na izhodu mnogo manjša
od vhodne ampl.

$$\frac{1}{j} = \frac{j}{j \cdot j} = -j$$

ko bomo frekvenco višali,
na začetku bo signal nespremenjen
(ampl. bo enaka 1, faza 0 - ne bo zaustankz, vhod
in izhod se bosta prekrivala); ko bo frekv. vecja, se bo začela faza asimptotično približevati -90°

RC člen pri visokih frekv.,
izvaja integriranje

(dobimo na izhodu integral signala)

z višanjem frekv. signala meko ω_m ampl. odziv asimptotično
pada proti 0 (VF so dušene)

ne popolnoma, ker
počasi pada proti 0



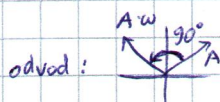
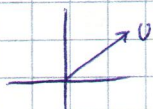
$\frac{1}{j\omega}$ - predstavlja integral, $j\omega$ predst. odvod

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\dot{x}(t) = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$= A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \varphi + 90^\circ)$$

odvod originalnega sinus je pomnož. z ω in fazi je dodan $+90^\circ$



odvod: pomnožim z ω in zasukam za 90°

$$U = \frac{1}{C} \int i dt$$

$$U = \frac{1}{C} \frac{1}{j\omega} I$$

j ne spreminja amplitude, ampak fazo
poveča za 90°

j - dolžina 1

$$I = C \frac{dU}{dt}$$

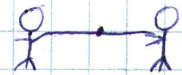
$$I = C \cdot j\omega U$$

odvod in integral se spremenita v
enost. algebraični operaciji

nizke, visoke frekvence?

Mejna frekvenca je teoretično najboljša meja med nizkofrekvenčno in visokofrekvenčno asimptoto frekvenčnega odziva.

meja? odvisno kdaj kater člen prevlada 1 ali $j\omega RC$
→ kjer sta člena po zbs. vred. enaka



$$|1| = |j\omega RC|$$

ω_m - mejna frekv.

Največje odstopanje dejanske vred. od
aproximativne je pri ω_m .

$$H(\omega) = \frac{1}{1+j} \Rightarrow |H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

Amplituda izh. signala pade
na 70% vh. vrednosti.

$$1 = \omega_m RC$$

$$\omega_m = \frac{1}{RC}$$

dejansko vzbujanje je ful nižje ali pa ful višje od ω_m

$$RC = \frac{1}{\omega_m}$$

$$H = \frac{1}{1+j\omega RC} = \frac{1}{1+j\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)}$$

ω_m je odločilna

in

$$H = \left(\frac{1}{RC}\right) \cdot \left(\frac{1}{j\omega}\right) = \frac{\omega_m}{j\omega}$$

kolikokrat vzbujanje ω preseže ω_m ,
tolikokrat manjši bo odziv
to moraš obvladati

str. 63 LabEAR graf.

Bodejev diagram RC člena

ampl. in fazni odziv
v odv. od ω

$$\omega_m = 2\pi \cdot 1 \text{ kHz}$$

$$H = \frac{1}{1+j\omega RC} = \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_m}} = \frac{1}{1+j}$$



izhod zaostaja (ker je -90°)
neg. faza

če vzb. $\approx 10 \text{ kHz}$,
dobil bom 10x manj

$$\frac{1}{\sqrt{2}} < -45^\circ$$

0.707

0.707

ie. fe. uni-ljsi

ampl. pade za pribl. 30%, faza je točno na pol -45°

1 dekada pomeni frekv. območje
od polj. frekv. x do frekv. 10x

izm. mejno frekv. ! (meriš -45°)

z osnovo 10, kar pomeni, da vsako dekada frekvenc
predstavlja dolžina ene enote na abscisni osi
(logaritemsko merilo)

pri ful nizkih fr., je ampl. odziv 1
faza 0°

0dB... vh. signal je enak izhodnemu

sprememba na izhodu

ω frekv. večamo od 0 navzgor → faza se začne prej poznati (pri $\frac{1}{10}$ - konča se pri 10x)

pred $\frac{1}{10}$ je 0

6° napake

(v približku zanemarimo)

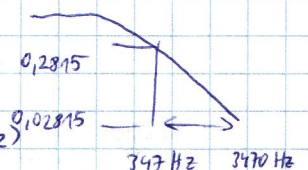
realna faza se ukrivi

aproximativno potegnemo s črto

ampl. odstopa bistveno kasneje (pri polovici ω_m , 1dB napake 10%)

v zadnjem delu... spreminjanje -20dB na dekada (= ampl. upada lin. s frekv.)

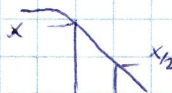
$10^0, 10^1, \dots$
območje med katerokoli frekv. (347 Hz in 3470 Hz)



-6dB/oct

octava: razmerje med fr. in 2x

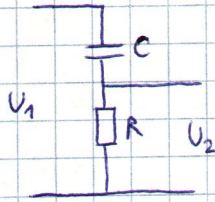
346 Hz 2·346 Hz



če frekv. 10x povečamo, se
 V_2 10x zmanjša

str. 64

CR ČLEN

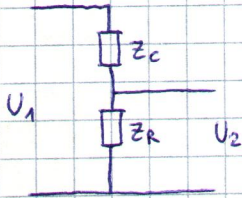


Kako se bo ta stvar odzivala?

Pri nizkih frekvencah je kond. odprta sponka → izhod je nič

Pri visokih frekvencah je kond. kratak stik → izhod je vezan direktno z vvhodom

RC člen duši nizke frekvence, visoke prevaja nespremenjene



$$H = \frac{Z_R}{Z_R + Z_C} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

~ podobno odzivu RC člena in odvajanju

← spet imamo 2 člena, ki teknujeta med sabo

še ena oblika zapisa $H = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega RC}}$

neprimerna oblika za Bodejev diagram

pri nizkih frekv. pri enosmer. napetostih je odvod 0 →

str 48

enosm. komponent ne prevaja

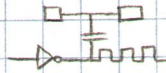
Enosm. komp. poveže

RC - integrator, CR - diferenciator

RC integrira signal, ko so frekv. velike → faza vrta za -90°, odziv manjša sorazmerno s frekvenco

$\omega \ll \omega_m$: $H = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \approx j\omega RC = (RC) \cdot (j\omega) = \frac{j\omega}{\omega_m}$
 ↑ odvod vh. signala

$\omega \gg \omega_m$: $H = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \approx 1$ → CR člen visokih frekvenc ne spreminja, nič nam ne pokvari težava (izredno zoprna stvar): pri visokih frekv. imate v vezju povezave povsod...



senzor, Ad pretv., skače, parazitno...

CR člen: če dajemo majhne frekv., izvaja odvod

Kakšna je meja med tema dvema področjema? Isto kot prej.

$\omega_m = \frac{1}{RC}$

samo mejna frekv. opiše vse

Čim poznam mejno funkcijo, je prenosna funkcija CR člena popolnoma določena

$$H = \frac{\left(\frac{j\omega}{\omega_m}\right)}{1 + \left(\frac{j\omega}{\omega_m}\right)}$$

če smo pod ω_m , bo faza blizu +90° (prehitavanje)

kolikokrat smo pod ω_m , tolikokrat manj dobimo (če je $\omega_m = 1 \text{ kHz}$, pri 100 Hz dobimo 10x manj)

Zakaj R in C simetrično nastopata v ω_m ?

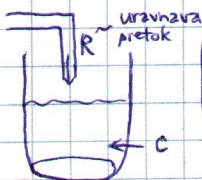
če upov 2x povečam, bo 2x manj toka teklo

kondenzator = vedro; površina vedra = kapacitivnost; pipa = upor (omejuje tok)

shrani napetost

shrani vodo

opazujemo spreminjanje višine vode glede na spr. površine vedra in dotoka vode



višina vode se bo enako hitro večala/manjšala. Če površino vedra povečam x2, se bo višina 2x počasneje spremenila. Če dotok vode zmanjšam na polovico pri isti površini... → simetrično oba enako vplivata na izhodno napetost

pri RC členu je faza izhod. negativna (signal zsoztaja), pri CR je faza pozitivna (signal prehitava)

Uvhoda nastopi vvhom izhoda

www.stromarsi

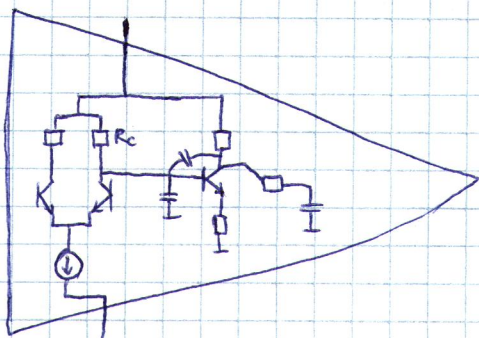
LabEAR, str. 67: Bodejev diagram za CR člen (amplituda: naraščanje za 20 dB/dek \Rightarrow 6 dB/okt)

pri RC členu je faza negativna, pri CR členu pa pozitivna

90-0 skala

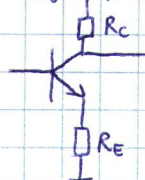
Ta zadeva je zelo odločilna pri 00:

diferencialna stopnja se priklapi na naslednjo ojačevalno stopnjo

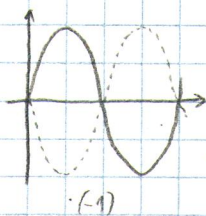
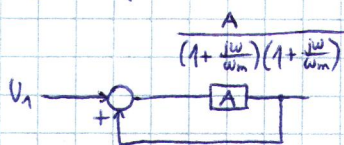


Ker hočemo, da je RC velik, je Th. upornost vzlišča velika.

Signal pri potovanju skozi 00 potuje skozi RC člene.



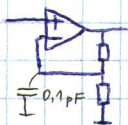
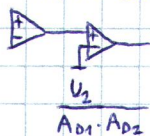
$$A = -\frac{R_c}{R_E}$$



operacijski, ki jih uporabljamo na vezjih, so zaščiteni (imajo zelo nizko ω_m)

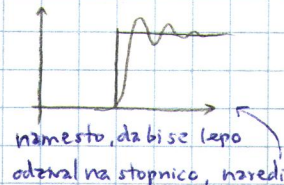
faza se obrne za 180°, s tem nastane pozitivna povratna zanka in destabilizacija sistema

$A_1 \cdot A_2$ (skupno ojačenje zanke)



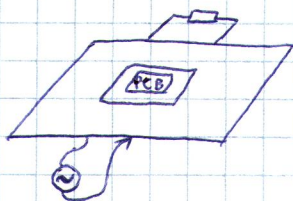
~ povratna zveza nam dodatno vrta fazo nehoti

~ že najmanjša kapacitivnost nam lahko popolnoma spremeni zgodbo



namesto, da bi se lepo odzval na stopnico, naredi

GROUND-PLANE



tiskano vezje, več površin ... eno žrtvujemo, da je vse masa potem imamo boljše prevajanje

spodnja stran kovinska (povsod baker), na zg. strani prikl. na spodnjo signalni generator

kje teče tok po spodnji strani? direkt po svedu (pri nizkih frekv.)

↳ tamkjer je nižja impedanca

pri visokih frekv. bo tok tekel točno pod žico (ne naravnost) → na ta način ima induktivnost manjšo povšino

ground-plane imamo zato, da se lahko tok povsod vrača nazaj s čim manjšo impedanco (da signali čutijo čim manjšo impedanco)

Aproksimacija faznega odziva

$$\phi(\omega) \Big|_{\omega < \frac{\omega_m}{10}} \approx 0^\circ \quad \text{fazni odziv še ne doseže } -6^\circ$$

Največjo napako aproksimacije naredimo pri $\frac{\omega_m}{10}$ in $10 \cdot \omega_m$.

$$\phi(\omega) \Big|_{\omega > 10 \cdot \omega_m} \approx -90^\circ \quad \text{fazni zamik je } -84^\circ \text{ ali več}$$

V vmesnem frekv. področju aproksimirani fazni zamik monotono pada od 0° do -90° . Pri mejni frekv. je fazni zamik točno -45° , saj sta Re in Im del imenovalca prenosne funkcije enako velika.

Pri nizkih frekv. je izhodni signal praktično v fazi z vhodnim. Pri visokih izh. signal zaostaja za vhodnim za četrtno periode (okvirno -90°).

Bodejev diagram RC člena

LABEAR, str. 62

V področju NF in VF se dejanski in aproksimativni odziv praktično prekrivata, razlikujeta se v okolici mejne frekvence.

Amplitudni odziv:

Ko velja $\omega \ll \omega_m$, je aproks. odziv enak 0 dB in se pokriva z dejanskim.

Pri $\omega_m/2$ je odstopanje 1 dB (12%).

Pri ω_m za 3 dB (30%), pri $2 \cdot \omega_m$ 1 dB, $\omega \gg \omega_m$ sta poteka enaka in upadata 20 dB/dek, kar pomeni, da vsako povišanje frekvence za faktor deset, zmanjša prepuščanje signala za 10 x.

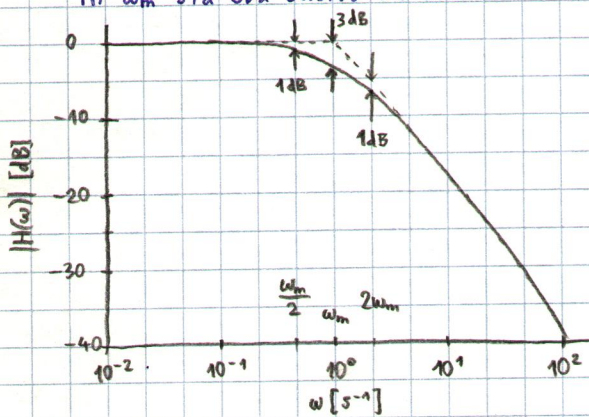
Vsako povišanje frekvence za faktor k zmanjša prepuščanje signala za k-krat.

Fazni odziv:

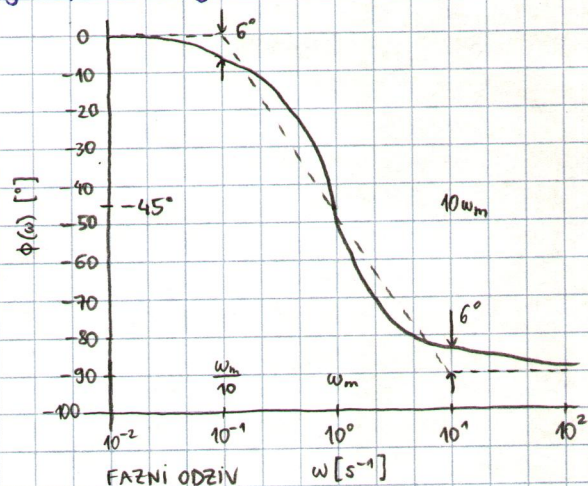
V področju NF in VF se odziva prekrivata.

Pri $\omega_m/10$ in $10 \cdot \omega_m$ imamo največje odstopanje aproksimacije za 6° .

Pri ω_m sta oba odziva natančno -45° .



AMPLITUDNI ODZIV



FAZNI ODZIV

Pri aproksimaciji faze se dejanski potek počasneje približuje aproksimativnemu kot pri ampl. odzivu.

Časovni odziv RC člena na sinusno vzbujanje (str. 64)

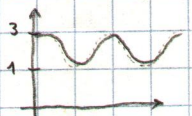
Z višanjem frekv. signala se prične izh. signal razlikovati od vhodnega (malenkostno zaostajanje pri $\frac{1}{10}$).

Pri $\frac{1}{2} \omega_m$ postaja zaostanek izrazitejši, opazimo tudi malenkostno zmanjšanje izhodne amplitude. (Kondenzator ima vedno manj časa za polnjenje in praznjenje glede na tok omejitvev, ki jo določa upor.)

Pri $\frac{1}{2} \omega_m$ se ampl. izh. signala zmanjša za 1 dB (12%), fazni zamik -30° .

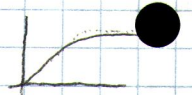
Pri $\frac{1}{10} \omega_m$ (karakteristična frekv. RC člena) je fazni zamik -45° , izh. ampl. zmanjšana za 3 dB (30%).

Ko višamo frekv. vzbujanja nad ω_m , postaja izh. signal vedno bolj dušen, fazni zamik se približuje -90° .



Bodejev diagram CR člena

Amplitudni odziv CR člena je geom. simetričen glede na ω_m z ampl. odzivom RC člena. Pri CR členi je ampl. odziv majhen pri nizkih frekvencah in asimptotično pada proti 0, ko se približujemo frekvenci 0 s^{-1} .



Od frekv. 0 s^{-1} do ω_m ampl. odziv narašča 20 dB/dek , pri čemer velja, da je izhodna ampl. tolikokrat manjša od vhodne, kolikokrat je frekvenca signala nižja od mejne fr. CR člena.

Ko so frekv. bistveno večje od ω_m , je ampl. odziv enak 1 in fazni odziv 0° , kar pomeni, da signal prehaja preko CR člena nespremenjen. Z aproksimacijo zopet naredimo napzko 3 dB pri ω_m in 1 dB pri $\frac{\omega_m}{2}$ in $2 \cdot \omega_m$.

$$|H(\omega)| = \frac{\omega}{\omega_m}$$

Fazni odziv je pri nizkih fr. približno $+90^\circ$ in z višanjem fr. pada proti 0° . Pri $\frac{\omega_m}{10}$ in $10 \cdot \omega_m$ zaokrožimo. Pri mejni fr. je vrednost dejanskega in aproksimiranega faznega odziva $+45^\circ$.

$\nearrow +90^\circ$ $\searrow 0^\circ$

Časovni odziv CR člena na sinusno vzbujanje

\rightarrow se zaduši

Pri visokih fr. je izh. signal enak vhodnemu, le da nima enosmerne komponente!

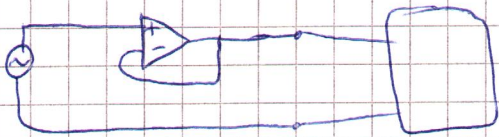
Signal se premika v drugo smer glede na RC člen, saj je predznak faznega zamika drugačen.

Prehitevanje + zmanjšanje izh. amplitude (pojava sta čedalje bolj izrazita z nižanjem frekv.)

Pri RC členu je fazni zamik negativen, zato izhodni signal zaostaja za vhodnim.

Pri CR pozitiven prehiteva vhodnega.

EXTRA PREDAVANJE



imamo enosm. napajalnik U_T , ima notr. upornost R_T



škalo vklopimo:

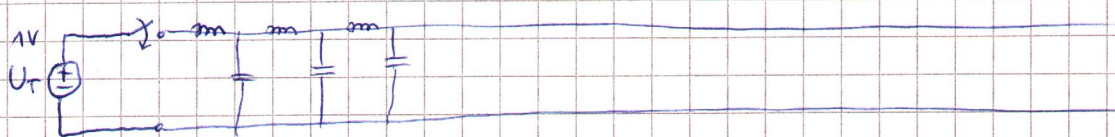
$$U_B = U_T \cdot \frac{R_B}{R_B + R_T}$$

$$I_B = \frac{U_T}{R_B + R_T}$$

ne more ∞ hitro reagirat

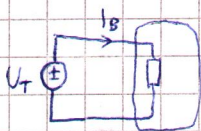
strnjena vezja (kjer ni zakasnitev), vse je v točki

U_T brez R_T , ∞ dolg kabel - kaj se dogaja, ko sklenemo



elin mag. polje

kond. se ne more napolnit ∞ hitro, ker tuljava preprečuje ∞ tok \rightarrow val, el. energija potuje po vezju \rightarrow nap. in toka po kablu



tok je konstanten

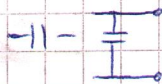
príkl. upor



$$\frac{U_T}{I_0} = Z_0$$

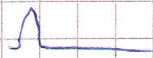
karakt. impedanca kabla

če ni upora

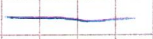


povratni el. mag. val

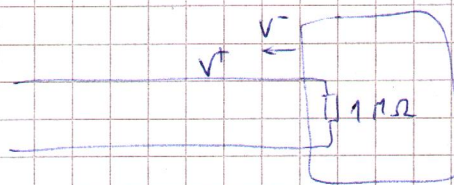
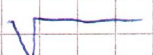
$R_B > Z_0$



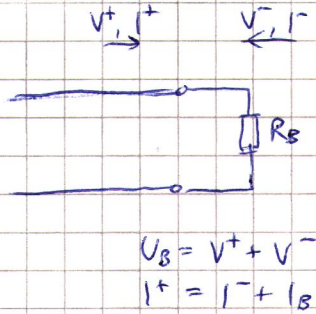
Z_0



$R_B < Z_0$



$$\Gamma_B = \frac{R_B - Z_0}{R_B + Z_0}$$



$$U_B = R_B I_B$$

$$V^- = U_B - V^+$$

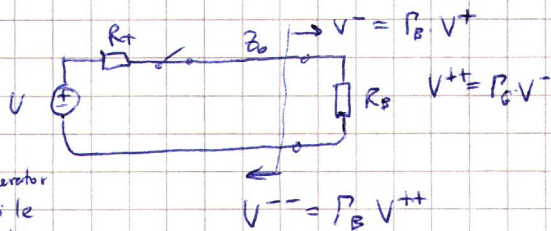
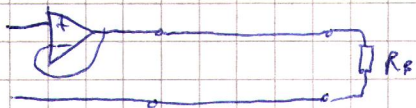
$$V^- = R_B I_B - V^+$$

$$V^- = R_B (I^+ - I^-) - V^+$$

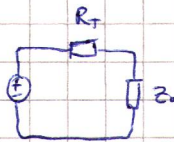
$$V^- = R_B \left(\frac{V^+}{Z_0} - \frac{V^-}{Z_0} \right) - V^+$$

$$U_B = V^+ + V^-$$

$$I^+ = I^- + I_B$$



generator čuti le karakt. impedanca kabla



$$U^+ = U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0}$$

heskončna veriga odbojev

seštejem vaje

$$V^+ = U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0}$$

$$V^- = \Gamma_B \cdot V^+$$

$$V^{++} = \Gamma_G \cdot V^- = \Gamma_G \cdot \Gamma_B \cdot V^+$$

$$V^{--} = \Gamma_B = \Gamma_B \Gamma_G \Gamma_B \cdot V^+$$

$$U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0} \left(1 + \Gamma_B + \Gamma_G \Gamma_B + \Gamma_G \Gamma_B \Gamma_G + \Gamma_G \Gamma_B \Gamma_G \Gamma_G \right) = \dots =$$

$$\Gamma_G = \frac{R_T - Z_0}{R_T + Z_0}$$

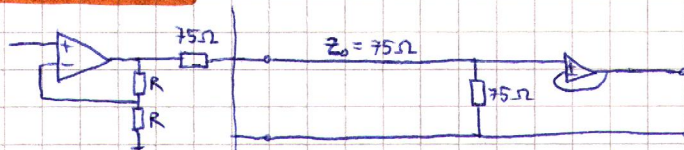
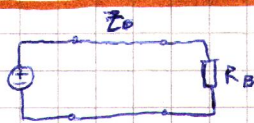
$$\frac{Z_0}{R_T + Z_0} \frac{1 + \Gamma_B}{1 - \Gamma_G \Gamma_B} = \frac{Z_0}{R_T + Z_0} \frac{1 + \frac{R_B - Z_0}{R_B + Z_0}}{1 - \frac{(R_T - Z_0)(R_B - Z_0)}{(R_T + Z_0)(R_B + Z_0)}} = \dots =$$

$$= \frac{2 \cdot Z_0 \cdot R_B}{R_T R_B + R_T Z_0 + Z_0 R_B + Z_0^2 - R_T R_B + R_T Z_0 + Z_0 R_B - Z_0^2} = \frac{R_B}{R_T + R_B}$$

Kirch. zakoni so limitni primeri realnega dogajanja

če je večje majhno, pluskanje izaveni hitro

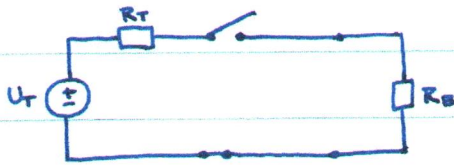
ne čuti bremena, ampak karakteristično impedanco



oz. kark. imp. valovodov so enake, jih ne moremo spreminjati

- pravi elektroniki ne marajo protoboardov, ker ne moremo kontrolirat $Z_0 \rightarrow$ ni možno izvajanje prilagajanj + odboji na luknjah (protoboard je uporaben do 10 kHz)
- podobno pri pcb-ju
- RS-232: mere kablov, kjer pljuskanje izaveni (2400 bp... 60 m, 56000bps... 2,6 m)
- PB 485 \rightarrow ne dela na dolge razdalje, ker zaradi pljuskov ne moremo ločit 0 in 1

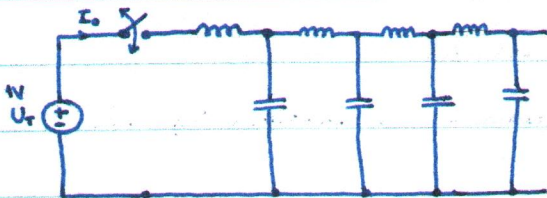
- teorija vezij nam želi zbrat dejstvo, da je v ozadju elektrodinamika
- usmernik nam odpravlja motnje do tiste, ki jo lahko generira (na nek način regulacija zaupa)
- in moremo generirati visokih frekvenc, ker imamo nizkofrekvenčno vzbujenje



Ko stikalo zleenuro:

↳ konstanto: $U_B = U_T \cdot \frac{R_B}{R_B + R_T}$
 $I_B = \frac{U_T}{R_B + R_T}$

← upisova ml. teorija
 Einstein je rekel, da se to ne more
 zgoditi v hipu (zaradi elektrodinamike)



↑
 mehanicno dolg
 kabl → ampak
 zaključiti veljajo
 za vrsto končnih
 del kablo!

- shodni signal ne more v trenutku uveljaviti učer napetost
- efekt napajanja potuje po kablu
- vrta ločilo žice ima malo induktivnosti
- tuljava ne pusti žipne spremembe toka → do kondenzatorja ne pride
 neskončno velik tok (se ne more v hipu uveljaviti)
- vrata tuljava omajuje → transverzalni val, ki potuje po kablu oz.
žiri se val napetosti in toka s končno hitrostjo
- ∞ velik kabl ima tok I_0 → ∞ kabl se dovaja kot Ohmski upor

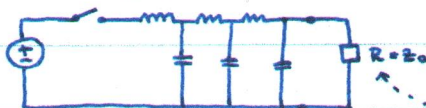
* če nam konst. U_T ,

bo kabl stalno sesal I



$$\frac{U_T}{I_0} = Z_0$$

- končen kabl → tok se ustavi → na koncu bo kapacitivnost → želimo olomsati upornost



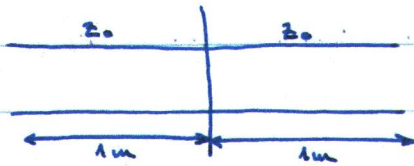
Akta

↑
 tuhi ni
 nobenega
 pfitanja

↓
 dodamo upor s
 upornostjo Z_0
 ta upor ustvari iluzijo,
 da je kabl neskončno
 dolg i

50Ω kabel ~ ~~je~~ karakteristična impedanca, ki se obnašala kot 50Ω upor

$$\frac{1V}{50\Omega} = 0,02A \text{ (tok na tuljavah)}$$

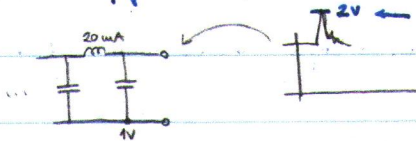


$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Kaj če na koncu uinamo upora, ampak odprte spone?

- tok ne more tečt naprej, tuljava ga ne ustavi oz. ga vodi ustavit → valji napetost →

pojavi se lonca

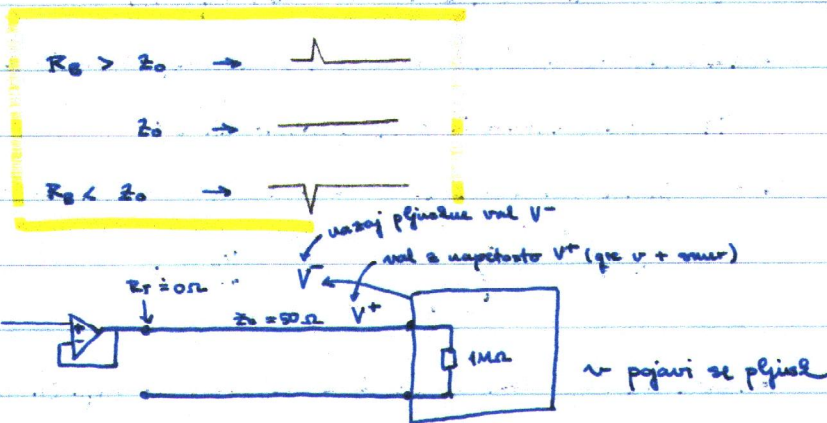
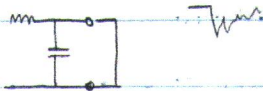


ta val udari nazaj po liniji → povratni elektromagnetni pojav val

- ta žpica vedno obstaja, pri visokih in nizkih frekvencah
- val potuje, se zabija ob sid in pflinske → sprememba karakteristične impedanca usraj

Kaj če namo na koncu R

- žrakle stle salitura dodatne tok, tuljava pa ne pusti povečanju toka → pflisk navzdol
- večji odliv, kot priliv

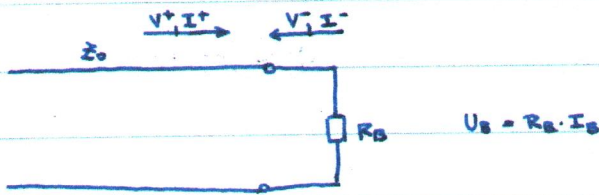


$$\Gamma = \frac{R_g - Z_0}{R_g + Z_0}$$

odboj
preobrnjena

($R_g \rightarrow \infty$; $T_g = 1$; pflinske usraj)

načelno superpozicija: $U_B = V^+ + V^-$



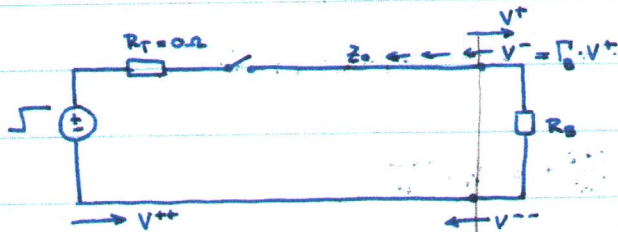
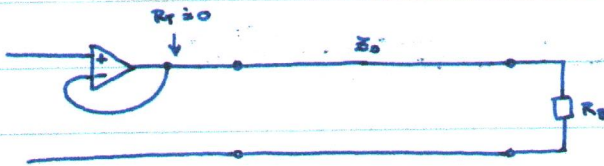
$$I^+ = I^- + I_B$$

$$V^- = U_B - V^+$$

$$V^- = R_B I_B - V^+$$

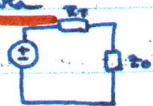
$$V^- = R_B (I^+ - I^-) - V^+$$

$$V^- = R_B \left(\frac{V^+}{Z_0} - \frac{V^-}{Z_0} \right) - V^+$$



generator ušli in se, žalostno je brzina oz on ne čuti brzina → čuti samo karakt.

impedanca kablo



R_T in Z_0 tvorita zap. delitelj

↳ KABEL BREMENI VIR! (vir ne more vedet, kaj je na koncu kabla)

$$U^+ = U^T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0}$$

• stalna odbitega vala je na vrodu samo R_T → nov odboj V^{++}

$$V^{++} = \Gamma_G \cdot V^-$$

↑
odboj
generatorja

• se spet odbija: $V^{--} = \Gamma_0 \cdot V^{++}$

↳ inamo NEKONČNO VERIGO ODBOJEV

Kolikna je vrsta tla (nekonzul) odbojev?

$$V^+ = U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0}$$

$$V^- = \Gamma_B \cdot V^+$$

$$\Gamma_B \in [-1, 1]$$

$$V^{++} = \Gamma_C \cdot V^- = \Gamma_C \Gamma_B \cdot V^+$$

$$V^{--} = \Gamma_C \cdot V^{++} = \Gamma_C \Gamma_B \Gamma_C \cdot V^+$$

$$U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0} (1 + \Gamma_B + \Gamma_C \Gamma_B + \Gamma_B \Gamma_C \Gamma_B + \Gamma_C \Gamma_B \Gamma_C \Gamma_B + \dots) = \leftarrow \text{Geometrijska vrsta}$$

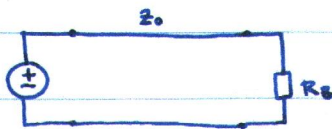
$$= U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0} (1 + \Gamma_B) \underbrace{\left[1 + \Gamma_C \Gamma_B + (\Gamma_C \Gamma_B)^2 + (\Gamma_C \Gamma_B)^3 + \dots \right]}_{\frac{1}{1 - \Gamma_C \Gamma_B}} =$$

$$= U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0} \cdot \frac{1 + \Gamma_B}{1 - \Gamma_C \Gamma_B} = \Gamma_C = \frac{R_T - Z_0}{R_T + Z_0}$$

$$= U_T \cdot \frac{Z_0}{R_T + Z_0} \cdot \frac{1 + \frac{R_B - Z_0}{R_B + Z_0}}{1 - \frac{R_B - Z_0}{R_B + Z_0} \cdot \frac{R_T - Z_0}{R_T + Z_0}} = U_T \cdot Z_0 \cdot \frac{(R_B + Z_0) + (R_B - Z_0)}{(R_T + Z_0)(R_B + Z_0) - (R_T - Z_0)(R_B - Z_0)} =$$

$$= U_T \cdot \frac{2 \cdot Z_0 R_B}{R_T R_B + R_T Z_0 + Z_0 R_B + Z_0^2 - R_T R_B + R_T Z_0 + Z_0 R_B - Z_0^2} = U_T \cdot \frac{R_B}{R_T + R_B}$$

Kirchhoffovi zakoni so v bistru limitni primeri limita tega dogajanja.



$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

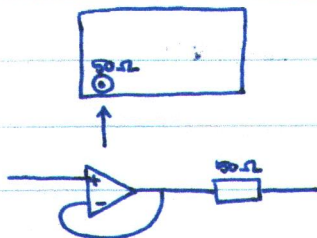
$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = LC \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

$$LC = \frac{1}{v^2}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

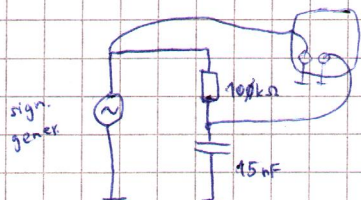
↑
hitrost potovanja

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



12. LABORATORIJSKA VAJA - RC ČLENI

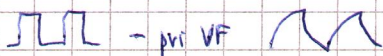
Bodejev diagram



$$f_m = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 100k\Omega \cdot 45nF} = 1,06 \text{ kHz}$$

→ vhodne zgladi

najprej se pozna faza, potem amplituda



Ker je na vhodu (in.f.) dobimo pri VF kvadratno

$$y=kx \quad \int kx dx = \frac{kx^2}{2}$$

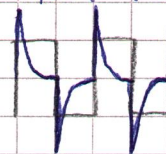
grd sinus (zobljen) pri VF

pri VF RC člen opravlja funkcijo integratorja

člen, ki izvaja integriranje

CR VF prepušča, pri NF je vhod premaknjen v levo, pri NF odraža
 10·ωm 6° zamika
 faza +90°
 odvod lin.f. je konst.
 CR se odzove na preskoke (Diracovi impulzi)

↳ v praksi ne moremo imet ∞ napetost (ker se kond. ne napolni/sprazne v hipu)

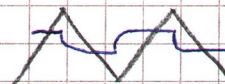


Zakaj opazujemo ravno te tri oblike signalov?

~ , ~ , ~ najbolj uporabljeni

reprezentativno za razl. fenomene

- ~ - pretrgani signali
- ~ - lep odvod
- ~ - zvezni signali (predstavnik)



FOURIEROVA VRSTA

vsak signal lahko razbijemo na vsoto sinusov in kosinusov in konst. (= enosm. komponenta) frekv. 0 Hz
 pri povprečju so napake oz. „oddaljenosti“ uravnotežene str. 75 LABEAM
 povprečje - najboljši pribl. ki ga navedem s konst. vrednost konst. mora biti enaka povpr. vredn. sig.

ujemanje mora bit enako v vseh periodah, zato mora imet sinus isto periodo kot signal (1. harm. komponenta)

s sinusom aproksimiramo (izberemo periodo in ampl.)

ujemanje mora bit enaka v vseh periodah
 osnovna komponenta signala

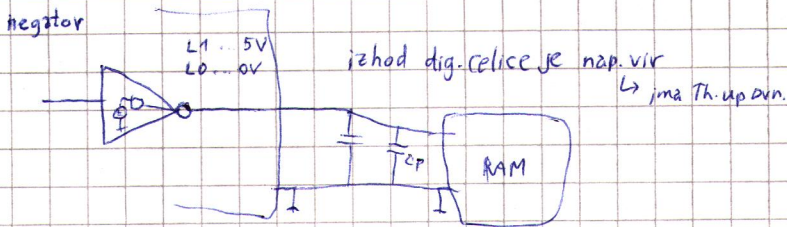
dodam sinus, ki kompenzira premajhen/prevelik del sinusa
 ↳ višji HARMONIK
 vedno boljši približek; z vse višjim harmonikom vse bolj krijevemo vezliko in se približamo originalu

3 intervali: kjer je sin > sig, sin < sig

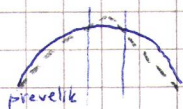
dodam tretjoharmonsko komp. → 5 intervalov → s 5. harmonikom zmanjšamo napako

sin.f. so temeljne f.;
 ampl. spekter signala ~ kvadratna parabola
 str. 79 ~ vsaj za pretrgane signale (3. harmonik ima 3x manjšo vredn. od osnovn.)
 ~ vsaj za pretrgane signale (3. harmonik ima 3x manjšo vredn. od osnovn.)

sin-signal zasede le 1 frekvenco, ostali več pomembno pri digit. vezjih



Razvoj \sin signala v FV



po 1. harmoniku se že lepo prilega

→ 5 področij (preveč, premalo...)

pogrešamo špičko

ovojnica pada s kvadratom frekvence $\frac{1}{n^2}$

↳ (če so harmoniki zvezni), hitreje upada ovojnica; zasedajo manjše frekv. področje

če so sig. zvezni, ne rabimo tako velik frekv. pas

modulacije

pop TV, planet TV... treba jih je ločiti, drugače bi se programi „prekrivali“, motili med seboj $\xrightarrow{\text{rešitev}}$ s pomočjo modulacije omejujejo harmonike

\square - rob postane zvezen
najbolj nesinuosne strani se izgubijo

\square harmoniki padajo $\frac{1}{n}$ → \sin $\frac{1}{n^2}$

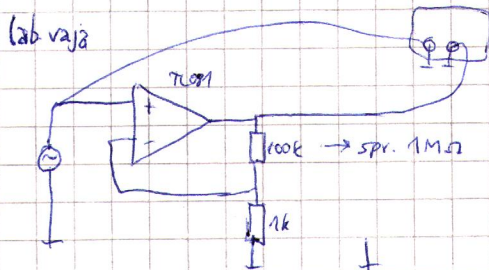
$$H = \frac{\omega_m}{\omega} \leftarrow$$

harmoniki morajo padati z eno frekv. več kot

če imamo premalo harmonikov,

izgubimo fineše (vrh Δ , nezvezni rob pravokotnika)

(če hočеш integral nečesa, moraš frekvenčno harm. ovojnico množiti z $\frac{1}{n}$)



$f_m =$	frekv. meja (podvržena velikim tolerancam)
100kΩ	21 kHz ($A=100$)
1MΩ	2,3 kHz ($A=10$)
10k	210 kHz ($A=10$)

$$A \cdot f_m = \text{konst.}$$

Za operacijske velja $A \cdot f_m = k$

TL081: 3 MHz, unity-gain bandwidth

OPA177: za T merit, počasen 600 kHz ($A=1$) closed loop bandwidth

OPA604: 20 MHz gain-bandwidth

pri VF vidimo isto

obnašanje kot pri RC členu
(use 00 izdelamo z RC členu)

Spektri signalov različnih oblik, frekvenc in amplitud

Nomenklatura

Datoteke OSC vsebujejo slike z osciloskopa oziroma časovni potek signala.

Datoteke ANA vsebujejo slike spektrov.

Datoteke FFT vsebujejo številске vrednosti spektrov.

Datoteke z isto število v prvem delu imena spadajo skupaj. Če ime vsebuje črko "a" za prvo število, je frekvenčni spekter zajet s korakom 50 Hz in prikazuje dogajanje do frekvence 50 kHz. Datoteke brez črke "a" vsebujejo spekter s korakom 20 Hz in pokrivajo območje do 10 kHz. Pri večini signalov sta na voljo oba spektra za nazorno opazovanje dogajanja v okolici osnovne harmonske komponente in v širšem območju.

Ugotovitve

Sinusni signal (slike od 01 do 04) vsebuje močno spektralno komponento pri svoji lastni frekvenci, vse kar ostaja drugje, je posledica parazitnih pojavov in neidealnosti. Tako na slikah od 01_ANA do 04_ANA vidimo določeno vsebino pri vseh merjenih frekvencah, kar je večinoma posledica šuma, ki je vedno prisoten.

Opazimo tudi špičo pri dvakratni frekvenci signala, kar je verjetno posledica neidealnosti signalnega generatorja, saj se uniformno pojavlja na vseh 4 slikah. Ta komponenta je okvirno 80 dB manjša od osnovne harmonske komponente, kar pomeni, da ima 10.000-krat manjšo amplitudo, torej je sinusni signal dokaj čist in nepopačen.

Pomembna ugotovitev je, da tako majhnih popačenj signala z osciloskopom niti približno ne moremo opazovati, saj je ta instrument mnogo pregrob za tako natančne meritve. Osciloskop je torej primeren za opazovanje časovnih potekov signalov (prehodni pojavi, prenehavanja, dvizni čas), ne pa za analizo čistosti signalov.

Ko sinusnemu signalu manjšamo amplitudo (slike od 05 do 07) ostaja nivo šuma več ali manj enak, manjša pa se relativno razmerje signal/šum, zato je sinusni signal čedalje bolj pošumljen, kar lahko opazimo tudi na slikah osciloskopa, čeprav nam le-te ne omogočajo preciznega merjenja vsebovanosti šuma.

Pri nesinusnih oblikah signala (sliki 09 in 10 skupaj z 08 za primerjavo) se v spektru pojavijo višjiharmonske komponente. Vsebovanost le-teh (velikost pripadajočih amplitud) je tem večja, čimmanj je signal podoben sinusu. Za pravokotni signal so značilni nenaadni skoki, kar je izrazito nasprotje od zveznega sinusnega poteka, zato potrebujemo za njegov opis mnogo sinusnih komponent (glej LabEAR 2b). Trikotni signal je zvezen, zato je njegov opis s sinusnimi komponentami bistveno lažji.

To vidimo tudi s spektrov. Slika 09_ANA kaže, da v območju do frekvence 10 kHz (50-kratna vrednost osnovne harmonske komponente) vrednosti harmonskih komponent upadejo komaj za okvirno 35 dB oziroma za 50-krat ($32 \text{ dB} = 20 \text{ dB} + 6 \text{ dB} + 6 \text{ dB} = 10 * 2^2 = 40$).

To se ujema s teorijo, da pri pravokotnem signalu harmonske komponente upadajo linearno s frekvenco in se amplituda višjiharmonske komponente zmanjša glede na osnovno harmonsko komponento toliko, kolikorkrat je frekvenca harmonske komponente višja od frekvence osnovnega harmonika.

Isto ugotovitev preverimo tudi na sliki 09a_ANA, kjer vidimo, da do frekvence 50 kHz (250-krat osnovna frekvenca) amplitude harmonikov upadejo za nekoliko manj od 50 dB ($46 \text{ dB} = 40 \text{ dB} + 6 \text{ dB} = 100 * 2 = 200$).

Pri trikotnem signalu opazimo kvadratno odvisnost upadanja amplitud z naraščajočo frekvenco. Slika 10a_ANA nakazuje, da pri frekvenci 50 kHz amplitude harmonikov upadejo okirno za 95 dB pod amplitudo osnovnega harmonika ($92 \text{ dB} = 80 \text{ dB} + 6 \text{ dB} + 6 \text{ dB} = 10.000 * 2^2 = 40.000$).

Sledi, da potrebuje pravokotni signal bistveno večjo pasovno širino od trikotnega signala. Ugotovitev generaliziramo v pravilo, da potrebujejo nezvezni signali mnogo večjo pasovno širino od zveznih signalov. To je koristno vedeti tako pri načrtovanju digitalnih vezij kot pri modulačijskih tehnikah v telekomunikacijah.

Slednjo generalizirano ugotovitev ilustrirajo slike od 16 do 18, kjer omejimo strmino naraščanja in padanja pravokotnega signala. Pri dviznem/upadnem času 0,1 ms (slika 16a_ANA) ni nobena harmonska komponenta večja od okvirno -70 dB, ko frekvenca 40 kHz ($72 \text{ dB} = 60 \text{ dB} + 6 \text{ dB} + 6 \text{ dB} = 1000 * 2^2 = 40.000$), kar je izrazito hitreje upadanje kot pri navadnem pravokotnem signalu (primerjava s sliko 09a_ANA). Iz oblike poteka harmonskih amplitud tudi zaslužitmo funkcijo $\sin(x)/x$ v ozadju.

Nadaljnje večanje dviznega/upadnega časa (serija slik 17 in 18) potrjuje, da harmoniki čedalje hitreje upadajo. Na sliki 18a_ANA, ki pripada dviznemu času 0,5 ms, padejo harmonske komponente pod -80 dB pri frekvenci 30 kHz. Z večanjem dviznega časa postaja spekter signala čedalje bolj podoben spektru trikotnega signala.

Ugotovitev se koristno uporablja v praksi. Obstajajo digitalna integrirana vezja, pri katerih proizvajalec namerno kontrolira dvizni čas in kupcu jamči, da le-ta ni krajši od npr. 2 ns. S tem se omejuje visokofrekvenčno onesnaževanje okolice, kar je zlasti pomembno pri integriranih vezjih, ki prenašajo signale preko dolgih kablov (npr. USB kabel), ki delujejo kot antene in motnje učinkovito širijo na okoliske električne naprave.

Primer takega izdelka (integrirano vezje za izdelavo USB naprav) je na voljo na

<http://cache.national.com/ds/US/USB9603.pdf>, st. 53, sekcija 8.3. V tabeli vidimo podatka za signala

D+ in D-, ki sta signala za vzbujanje USB kabla, z zajamčeno minimalnim časom dviga ali spusta 4 ns (za razliko od običajnih digitalnih signalov, kjer se po pravilu podaja samo maksimalni čas, torej si želimo čim hitrejšega prehoda, izvemo pa samo kaj lahko pričakujemo v najslabšem primeru). PS: žal piše, da je integrirano vezje zastarelo, vendar je to edino, ki ga sedaj lahko stresem iz rokava, ker sem z njim delal pred 10 leti.

Pravokotni signal na sliki 09 se žal izkaže kot najbolj ugoden, kar se tiče frekvenčne vsebovanosti. Hujše razmere dobimo, če delovni cikel (razmerje časovnega intervala v katerem je signal v visokem in v nizkem stanju; ang. Duty cycle) ni 50%. Razmere prikazuje serija slik od 12 do 14. V teh primerih je signal še manj podoben sinusu kot osnovni pravokotnik, zato za njegov opis potrebujemo mnogo večje amplitude harmoničnih komponent.

Pri delovnem ciklu 1% (serija slik 14) vidimo na podlagi spektra 14a_ANA, da v bližini frekvence 50 KHz amplitude harmonikov še vedno dosegaajo več kot -20 dB, kar pomeni, da se glede na osnovni harmonik ne zmanjšajo niti na 10%, kljub temu, da je njihova frekvenca že skoraj 250-krat večja od osnovne frekvence signala.

Ugotovitev nakazuje, da digitalna vezja, ki v splošnem generirajo pulze v različnih časovnih intervalih (na videz stohastično), potrebujejo še mnogo širše pasovne širine za prenos signalov in tudi strezno intenzivnejše onesnažujejo okolico z motnjami. Vidimo, da so urini signali za mikroprocesorje, ki so eni redkih digitalnih signalov z delovnimi cikli 50%, še najbolj nedolžni signali mikroprocesorskih sistemov.

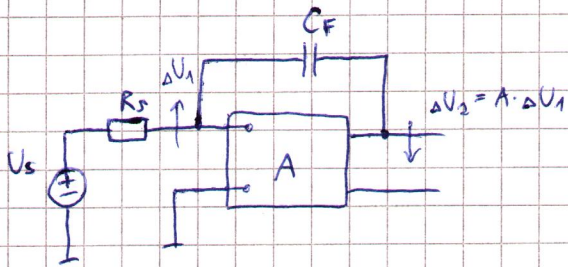
Serija slik 11 prikazuje žagasti signal, ki zaseda podobno frekvenčno območje kot pravokotni signal, vsebuje pa tudi sode harmonske komponente za razliko od pravokotnega signala.

Slike 15 obravnavajo signal $\sin(x)/x$, ki sicer v praksi nikoli ne nastopa kot tak, je pa zanimiv, ker je njegov frekventni spekter do določene meje uniformno enak. Torej se nam taka oblika signala pojavlja, če nek drug signal bogate frekvenčne vsebine prevajamo skozi analogni sistem, ki od neke frekvenčne meje naprej hitro duši harmonike.

Zanimivo bi bilo videti pseudo-naključni-binarni signal (ang. PRBS, pseudo-random-binary-noise), ki ima ravno tako uniformne amplitude harmonikov do določene frekvence in ga je izredno preprosto generirati z ustreznim digitalnim vezjem, žal pa naš signalni generator nima te možnosti. PNBS je izredno pomemben signal v identifikacijskih sistemov, ker uspe vzbuditi vse frekvence sistema, zato tudi na izhodu čutimo njihove odzive, ki jih sicer ne bi videli in mogli identificirati. Pomemben je še iz mnogo drugih razlogov, ki tu ne bodo navedeni.

Serija slik 19 in 20 kaže spektralno vsebino signala, ki hitro naraste (upade), nato pa eksponentno pojema (naraste). Vidimo, da je v tem primeru frekventni spekter zelo bogat in nahit s harmoniki velikih amplitud. To je pomembno vedeti, saj to obliko signala srečamo v digitalnih vezjih. Npr. pri vodilu I²C za prehod signala iz logične 1 v logično nič (iz 5 V na 0 V) skrbi digitalna logična celica (MOSFET tranzistor) z relativno majhno upornostjo kanala, zato je prehod relativno hitre, ker majhna upornost hitro izprazni parazitno kapacitivnost linije. V obratno smer je prehod mnogo počasnejši, saj zanj skrbi takotnomovani pull-up upor, ki mnogo počasneje polni isto kapacitivnost.

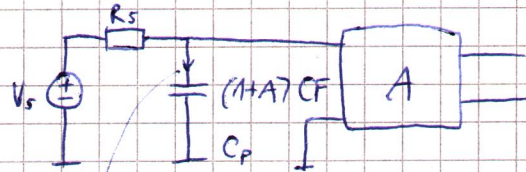
Zaradi tega dejstva težimo pri hitrih digitalnih vezjih, da sta oba prehoda simetrična, kar je velika odlika sedaj splošno uveljavljenih CMOS digitalnih vezij za razliko od starejših TTL vezij, ki so bila izrazito asimetrična.



OO izkazuje obnašanje RC člena

Kakšno vrednost kapacitivnosti čuti signalni vir?

S stališča sign. vira, čuti:



Na kakšen način C vpliva na delovanje vezja?

teče tok $I = C_p \frac{dU}{dt}$
 (odprite sponke) - tako se obnaša OO na vходу
 ves tok, ki teče v kond., mora priteči / odteči čez signalni vir
 OO ima ojačenje A (omejimo se na invert. ojač.)

če vhsig. spr. za $\Delta U_1 \uparrow$, se bo izh. sig. premaknil za $\Delta U_2 = A \cdot \Delta U_1 \downarrow$
 ko naredim na vh. spremembo ΔU_1 , se nap. na kond. spremeni

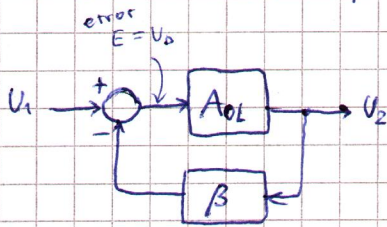
nap. na kond. se spremeni $U_C = (1+A) \Delta U_1$

ves tok, ki ga dobi kondenzator (zato da na sebi lahko spremeni napetost), mora priteči s signalnega vira
 vir čuti, kot da je na njegove sponke vezan $(1+A)$ -krat večji kondenzator kot je v resnici

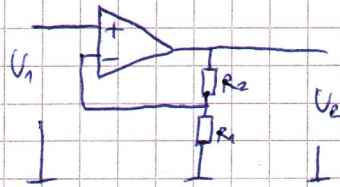
Millerev pojav

če imamo vezan kond. med vhod in izhod ojačevalnika, se kond. preslika na vh. sponke
 kot $A \cdot x$ večji kond.

Blackov model povratne zveze



OL - open-loop



β - faktor dušenja, ki ga čuti signal, ko prepotuje...

$\frac{1}{\beta}$ = idealni odziv

$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ delino vrazm.

A_{OL} - ojačenje samega operacijskega
 začno ojač. - error signal, ki ga doživi

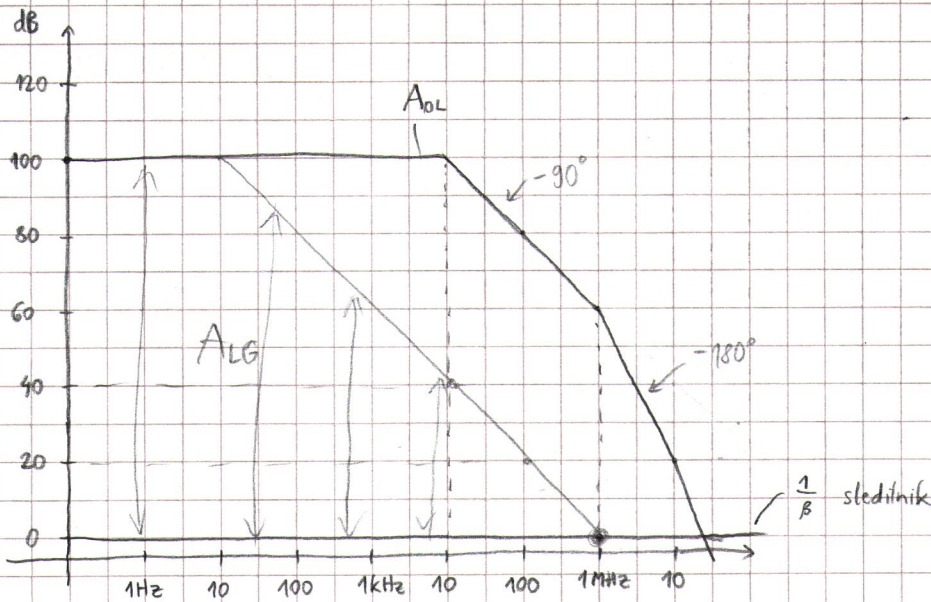
A_{CL} - close-loop, dejansko ojač. sistema, ojač. ki ga da cela zaprta zanka

$\frac{1}{\beta}$ - idealno ojač. sistema

v resnici izkazuje A_{CL} , želimo $\frac{1}{\beta}$

na vhod se vrne samo del izh. nap.
 ko prepotuje celo zanko preden se vrne v izhodišče

A_{CL} - loop-gain (moč sistema), ojačenje same zanke



od neke frekv. naprej začne upadati -20 dB/dek (ker imajo tranzistorji, upori ... kapacitivnosti)
kasneje pa -40 dB/dek

z 00 naredimo sledilnik, $\beta = 1$



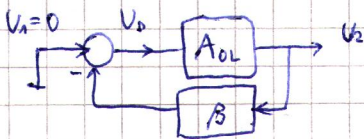
pri tem vezju je Δ

OL se seka z $1/\beta$, vidi se iz 8od. diagr., če je sistem stabilen ali ne (kot, pod katerim se sekata)

pri ojač.: pripeljemo vhod, dobimo izhod; pri oscilatorju ni vhoda, ker sam generira signal

Pod kakšnimi pogoji bi povr. zveza lahko predstavljala oscilator?

↳ nimam vh.sig.



če V_0 prepotuje celotno zanko, se znore točno regenerirat (ne rabi vh. sig.)

$$V_0 \rightarrow A_{OL} \cdot V_0 \rightarrow A_{OL} \cdot \beta \cdot V_0 \rightarrow V_0$$

če je to možno, bo sistem osciliral
daje V_0 sposoben sam sebe regenerirat

Pogoja za oscilacije

Barkhaus. 1. pogoj: $|A_{OL} \cdot \beta| = 1$

2. pogoj: $\angle A_{OL} \cdot \beta = -180^\circ$
kadar je fazni kot \uparrow

⇒ \uparrow

če si želimo oscilator, moramo pogoja izpolniti

če sta pogoja izpolnjena, je sposoben sam sebe regenerirat in se lahko oscilacije nadvladujejo v ∞ → pasoda obrnjena navzdol

$|A_{OL} \cdot \beta| = 1$ to velja v točki, kjer se sekata A_{OL} in $1/\beta$, takrat velja ... (iščemo, dabo veljal ta pogoj)

$$A_{OL} = \frac{1}{\beta}$$

Pogledati moramo naslednje:

kolikšna je razlika strmih obeh krivulj?

$40 \text{ dB/dek} \rightarrow$ oscilator

-180° zamika

če se krivulji sekata pod kotom 20 dB/dek , smo ravni (Bark. pogoji so daleč proč)

-11-

40

, imamo oscilator

zamaknjen signal pride do drugega pola, ki ga še dodatno obrne za -90°
⇒ imamo fazni zamik -180°

proizvajalec pol premika v levo, da v drugem polu dobimo 1000x manj



frekv. kompenzacija

stvar postaja počasna, če dajemo še v levo

želi, da bi nastopil tam, kjer OL pade na 1

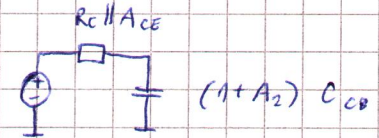
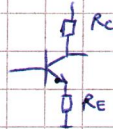
fazni razbčček (kolikaj je posoda še obrnjena ↑) phase margin

COMP - sponke za zunanjo kompenzacijo
C1 - premaknil lokacijo mejne frekvence

nekateri CO niso taki, da jih samo zvežes in delajo (TL080...)

za velika ojač. mora bit RC velik

$$A = -\frac{R_C}{R_E}$$



kond. + Millerjev pojav → da dobimo TL081

desni pol se premika v →

povr. zveza

$$U_2 = A_{OL} \cdot U_b = A_{OL} (U_1 - \beta \cdot U_2)$$

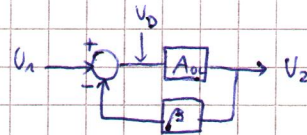
$$U_2 = A_{OL} U_1 - A_{OL} \beta U_2$$

$$U_2 (1 + A_{OL} \beta) = A_{OL} \cdot U_1$$

$$U_2 = \frac{A_{OL}}{1 + A_{OL} \beta} \cdot U_1 = \left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{OL} \beta}} \cdot U_1$$

$$U_2 = \frac{A_{OL}}{1 + A_{OL} \beta} \cdot U_1 = \left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{OL} \beta}} \cdot U_1$$

faktor, ki podaja odstopanje od ideala



$$H(j\omega) = \frac{A_0}{\left(1 + \frac{j\omega}{\omega_{m1}}\right) \left(1 + \frac{j\omega}{\omega_{m2}}\right)}$$

če večem v sledilnik, kje bo frekv. meja?

mejna frekv. zaprte zanke je tam, kjer se sekata

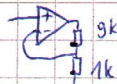
$$H_{OO}(j\omega) = \frac{A_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_{m1}}} \approx \frac{A_0}{\frac{j\omega}{\omega_{m1}}} = \frac{A_0 \cdot \omega_{m1}}{j\omega}$$

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{A_0 \beta}} = \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{A_0 \omega_{m1} \beta}}$$

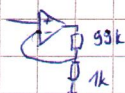
$$A_{CL} = 1 \text{ (sledilnik)}, f_{m1} = 1 \text{ MHz}$$



$$A_{CL} = 10, f_{m1} = 100 \text{ kHz}$$



$$A_{CL} = 100, f_{m1} = 10 \text{ kHz}$$



produkt med ojač. zaprte zanke in frekv. meje je konstanta

če so Bark. pogoji izpolnjeni, potem presečišče določa frekvenca oscilacij
-11- niso frekv. meja našega vezja

$$\frac{1}{\beta} = \text{GAIN DEMAND}$$

recimo, da je $A_{OL} \cdot \beta = 100$ (ne pa ∞)

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{100}}$$

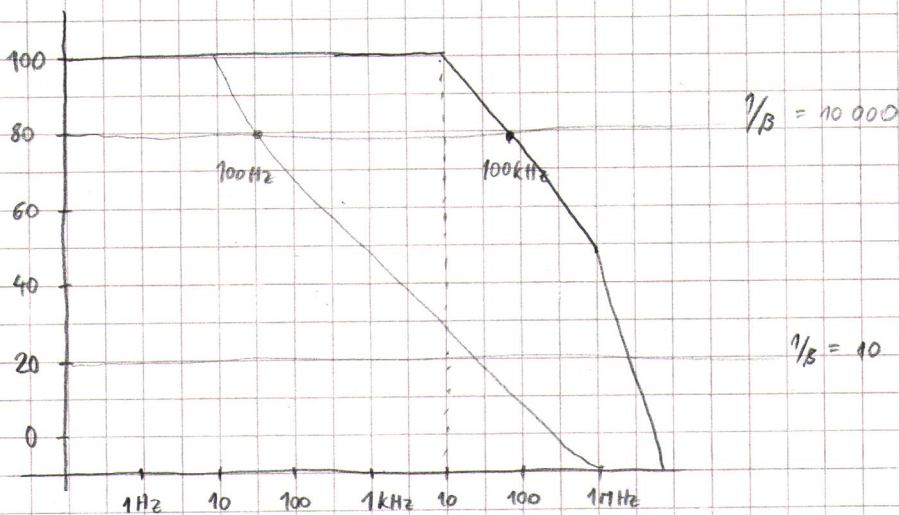
Se to vidi z Bod. diagrama? razlika med krivuljama

Loop-gain je enak špranji med OL in $\frac{1}{\beta}$

$$A_{LG} = A_{OL} \cdot \beta = \frac{(A_{OL})}{(\frac{1}{\beta})}$$

$$\log \frac{A}{B} = \log A - \log B$$

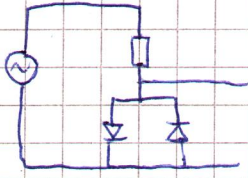
do te frekv. nam bo sledilnik delal toliko natančno (opr. na 1 promil)



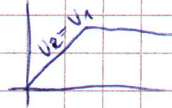
sledilnik ... moramo npr. kompenzirati
pri $\frac{1}{\beta} = 10$ (lahko 10x manj kompenziramo)
(samo toliko, kolikor rabimo)
kompenzacija uničuje hitrost, slew rate

13. LABORATORIJSKA VAJA

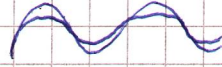
diodni omejitnik v vlogi zaščitne vezij



Kako dobro se signal obrani?



na osciloskopu ne moremo napake opaziti
pogledamo Fouriera → spekter



ko je bil signal prevelik,
ga je omejitnik omejil

harmoniki, ki pripada signalu
harmoniki, ki jih povzročijo omejitnik

0,9V
gremo navzdol → boljše, vse se malo zmanjša

0,6V - vh. in izh. enaka, omejitnik ne dela nič (kao), se ne vidi na osc., se pa z sig. gener.

0,5V - čedalje manj nap. na diodi
od tu naprej ni več takšnih sprememb

zvdio
ojačevalniki
(čistost zvoka)

za osc. velja Bodejev diagram
pri 100 MHz po meril 10% narobe!

mejnafi. RC člena,
ki to modelira

↳ št. na osciloskopu
efekte povzroči merimo
z RC členi

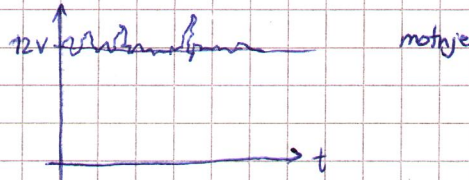
□ signal f/f VALI

druga naprava je le 100 MHz

↓
200 MHz - to modelira
kot RC člen

šum je velik problem

2 signala, lepa pravokotnika



7V
div

1mV
div - ne bomo nič videli

odstranimo enosm. komp., na osc. izberemo AC coupling → vklopim in egubim offset, en ostane
v centru

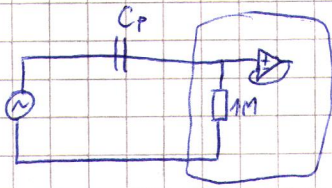
kako osc. to naredi? CR člen odstrani tudi neko št. harmonikov; nobena vezje ne more tega narediti
↳ ~~Vklopimo RC člen~~

ko je signal ful nad ω_m je to uspešno

pri 100 Hz se že kviri

sig. generator napeljeno na osciloskop
povezavo damo stran, signal vseeno pride čez

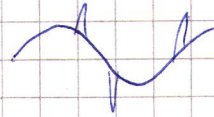
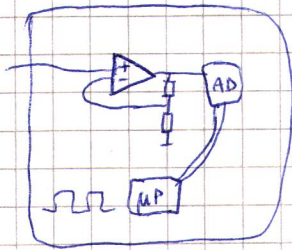
v osc. upor $1M\Omega$



spulimo žičko → ostane praznina kapacit.
gre čez, kot da je povezava

$$f_M = \frac{1}{2\pi \cdot RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \Omega \cdot 10 \text{ pF}} = \frac{1 \cdot 10^{-11}}{2\pi \cdot 10^6} = 10^4 \text{ Hz}$$

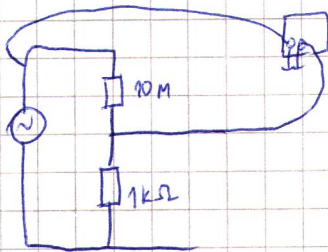
imamo povezave v vezju posod, kjer jih načemo imet



pulzi
če imamo dig. in analog.
skupaj v vezju

dig. vezja

↳ zaradi visokih harmonikov ful svinjajo



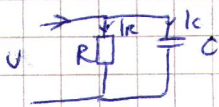
narzden delilnik

$$\frac{1}{10000} \times \text{manj kot na vhodu}$$

ponori



črven vsakega
upora imam vezan
tudi kondenzator



pri NF so odprte sponke...

vzb. z napetostjo

tok se deli na ohmski in kapac. tok. kateri prevladuje? zanemarimo...

$$I = I_R + I_C = \frac{U}{R} + j\omega C \cdot U = \left(\frac{1}{R} + j\omega C\right) \cdot U$$

2 člana, ki tekmyeta (en je fikv. neodv. en lin. s frekv.)
nekje bomo imeli le upor, druge le kond.

$$\left|\frac{1}{R}\right| = |j\omega C|$$

$$\frac{1}{R} = \omega_m C$$

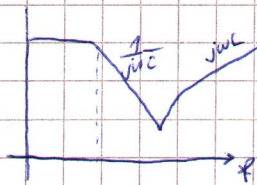
$$\omega_m = \frac{1}{RC}$$

$$f_{M1k\Omega} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \Omega \cdot 1 \text{ pF}} = 160 \text{ MHz}$$

upora ne moremo
spremenit v kond.
(z našo opremo)

$$f_{M10M\Omega} = \frac{1}{2\pi RC} = 16 \text{ kHz}$$

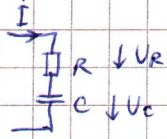
nad 16, je kond. bolj vpliven



od neke naprej je kond., od naprej pa kot tuljava



zaporedna vezava - kako bi se obnašalo?



vzb. s tokom (ker je skupen obema) - povzročita ohmski in kapacit. padec

$$U = U_R + U_C = R \cdot I + \frac{1}{j\omega C} I = \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right) I$$

2 člena tek. med sabo (en se s frekv. spreminja)

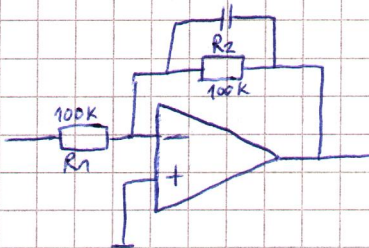
pri VF bo R prevladal, pri NF pa C

mejna fr.?

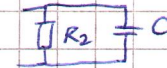
$$|R| = \left| \frac{1}{j\omega C} \right|$$

$$R = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega_m = \frac{1}{RC}$$



ni memo režem kond. vzporedno

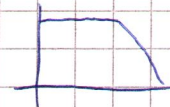
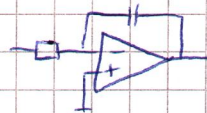


$$A = -\frac{R_2}{R_1}$$

R in C določata neko ω_m

za $\omega \gg \omega_m$, je:

$$A = -\frac{1}{j\omega C R} = \left(\frac{1}{RC} \right) \left(\frac{1}{j\omega} \right)$$



bo slabše ojačeval

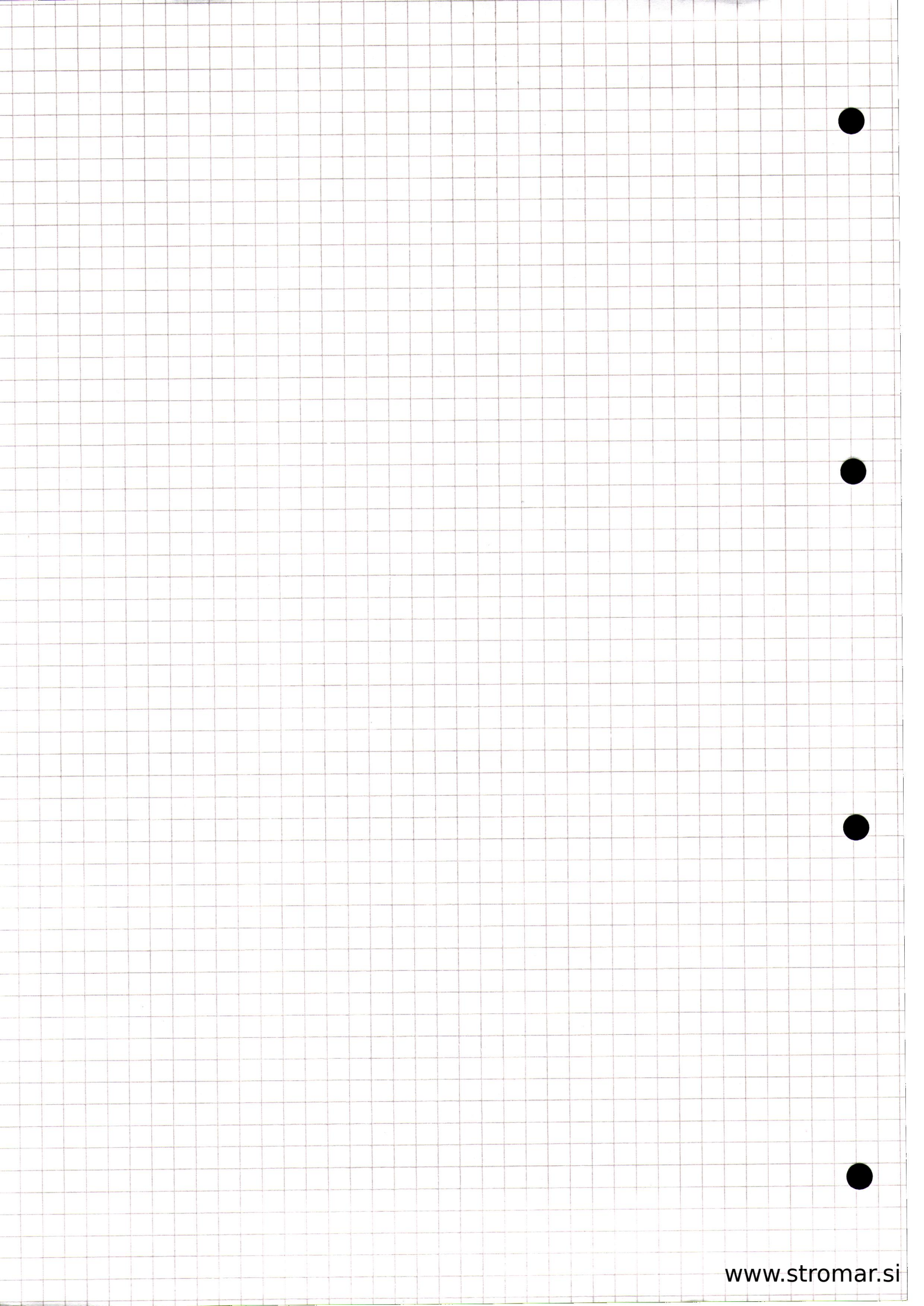
vsi analog. filtri delujejo tako, da člani tekmujejo med sabo visoke frekv. zadušimo, nizke ... zvočnik

RC člani dušijo le 20dB/dek (počasi)
višji kot je red filtra, bolj lahko dušimo

višji red \rightarrow bolj bo občutljivo na tolerance

8-polni filter (z 8. potenco bo rezal frekvence)

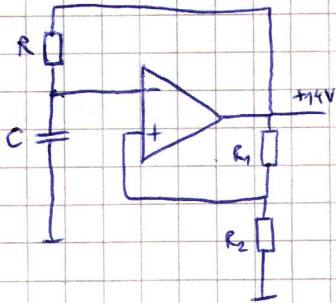
do 1 kHz dobro drži, potem pade na -80dB (oster prehod), faza je pa katastrofa



ko bo signal padel pod prag, bo inverter preklopil navzgor
 (vseeno, če bo signal divjal)
 ko signal preseže zg. nivo, se zgodi preklop dol

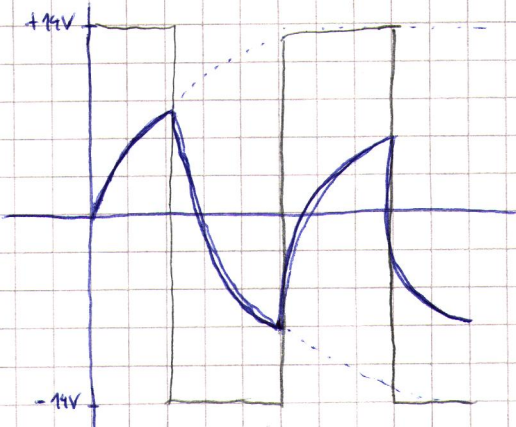
ko moramo analog. signal interpretirati digitalno, potrebujemo Schmittov prožilnik


četje je pravilno, če je histereza večja od največje motnje



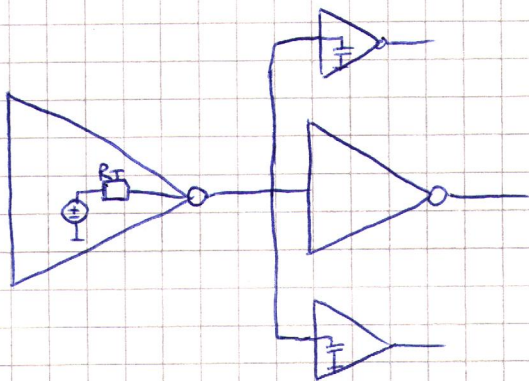
oscilator?
 na vhod vgradimo RC člen

kond. se eksp. polni, sch. prožilnik preklopi v drugo stanje

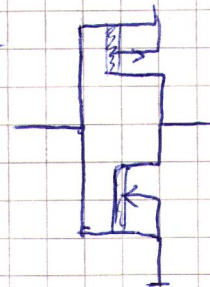


XOR 

X1	X2	O
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



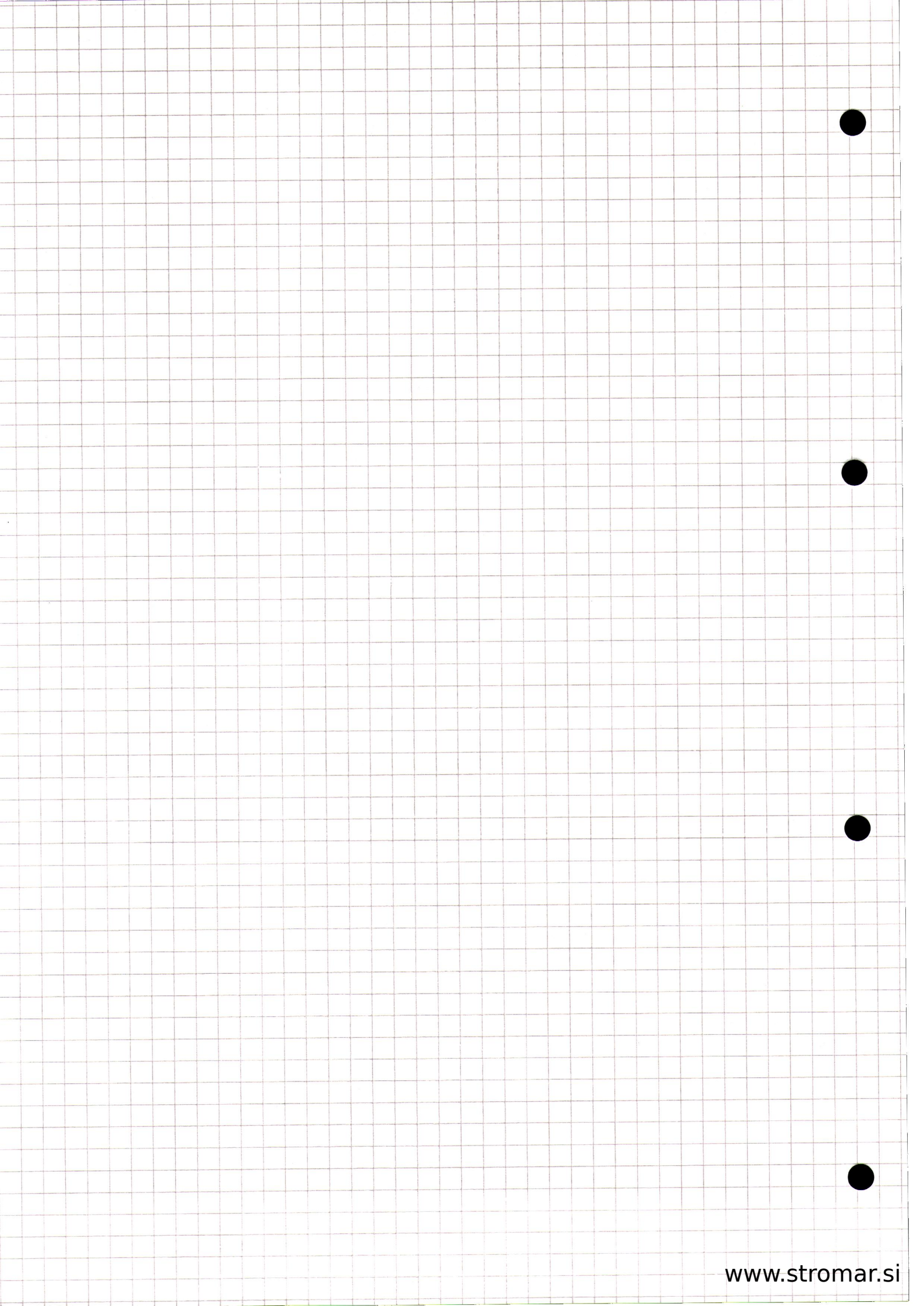
dig. celica
 v vhod ne teče tok



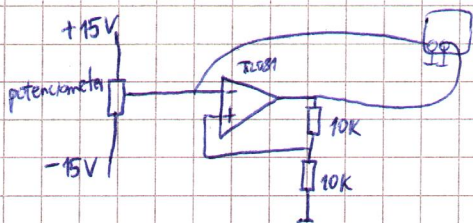
poraba narašča s clockom
 mikroprocesorji se grejejo (zaradi clocka)

poraba narašča s kapacitivnostjo, celico segrevamo

CISC (complete)
 RISC (reduced)
 ('set
 instruction)

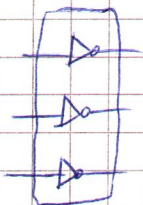


14. LABORATORIJSKA VAJA

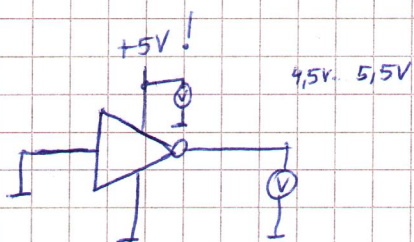


ko presežem prag, skoči v - nasič.
grem ful v drugo smer
histereza!

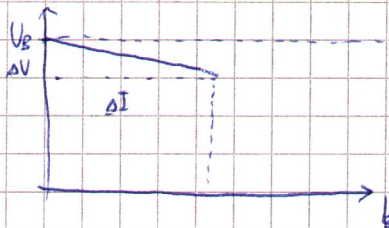
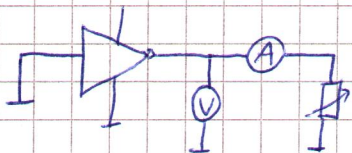
74HC04



vse vhode, ki jih ne rabimo,
moramo vezati (na maso ali
+ napajanje), zato da so
pri miru

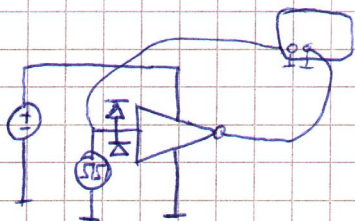


na izhodu bomo dobili isto nap.



0.25 7.52

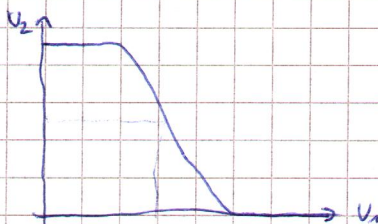
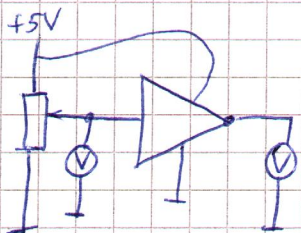
$$\frac{0.25}{7.52} = 33,2 \Omega$$



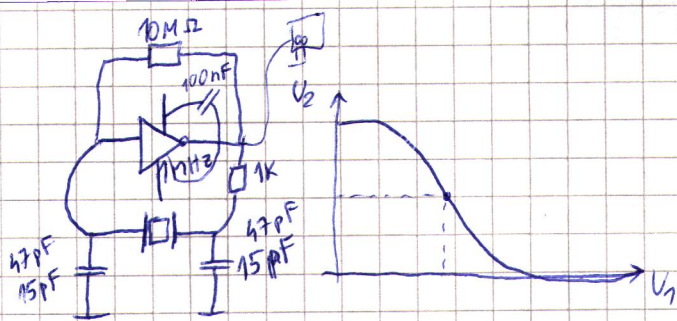
Th. upornost nam tvori RC člen.
(dobimo M namesto \square)

vsa dig. vezja so analogna

Zakasnitev med vklopom in izklopom



navaden analogni ožja.

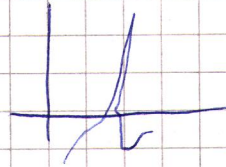


doseči moramo samoregulacije

med vh in izh. vežemo upor
ni padca nap., tok skoraj ne teče

realni in mag. del

kristal. se obnaša kapzo. in ind. na nekem območju
↳ 1.000



biti. že 6 je kar OK, 11 pa je čist ravna črta