Elektrofizioloski pojacavac- pojac koji je u stanju da snimi tj. pojaca elektrofizioloski snimak. Osnova svih elektrofizioloskih pojacavaca jesu operacioni pojacavaci.

Operacioni nastali 1948/9 za americku vojsku. Prvi komerc dostupan LM101, posle LM741najrasprosranjenini.

Na semi se vidi elektricna sema, komponente koje on sam ima u sebi-tranzistori i otpornici.

Fizicka realizacija-na nivou cipa (silicijumska plocica).

Nekad su pakovani u metalna kuckista.

Dip-gore levo.

Gore desno-SED, za povrsinsku montazu u cilju minijaturizacije.

U zavisnosti od okruzenja u kom se nalazi merni uredjaj, primenjivace se neka od tehnika otklanjanja smetnji. Elektrofizioloski snimci su niskog intenziteta, a smetnje su nekoliko redova velicine veci.

Princip rada

Gore desno slika: Operacioni pokacavac je aktivna elektricna konponenta-mora da koristi spoljasnji izvor napajanja, mora da se dovede izvor napajanja. 2 ulaza, 1 izlaza. Ulazi oznaceni sa + i -, izlaz uglavnom nije oznacen. Napajanje operacionog pojacavaca se podrazumeva pa se nozice za napajanje u semama izostavljaju i da ne bi sema postala kompleksna. Kad izbacimo dodjemo do donjeg izgleda. Operacioni pojacavac je komponenta koja ima 2 ulaza i 1 izlaz. 2 ulaza su onaceni znakovima + i -. Ima jedan jedini zadatak-da pojaca razliku signala na svojim ulazima. Izlaz je direktno proporcionalan proizvodu nekog pojacanja i razlike signala na ulazima u op. Pojacanje op-a je pojacanje koje se naziva pojacanje u otvorenoj sprezi i vezano je za komponentu op-a. Ono je promenljivo u smislu da zavisi od konkretnog do konkretnog operacionog pojacavaca- pise kad kupimo. Govori koliko puta ce pojacati razliku signala na svojim

ulaznim prikljuccima.

Vout-izlaz, Ao pojacanje u otvorenoj povratnoj sprezi, V+ i V- su potencijali na ulaznim prikljuccima op-a. Clan u zagradi moze biti =<>0. Ako je A0=1 npr, mozemo reci da cemo samo da propustimo tu razliku. Ako je razlika >0, znaci da nam je potencijal na V+ ulazu pozitivniji od potencijala na V- ulazu i kad taj pozitivan broj pomnozimo sa A0, dobijemo signal koji ce biti veci od 0, sto znaci da ce nam signal na izlazu op-a biti u fazi sa razlikom signala na ulazu. Ako je razlika signala negativna, to znaci da je potencijal na - ulazu pozitiviniji od potencijala na + ulazu, posto je ta razlika sad <0, proizvod ce biti <0 tj. signal ide u minus. Znaci ako nam je signal koji dovodimo na V+ ulaz pozitivniji od signala koji dovodimo na V- ulaz, signal na izlazu ce biti istog znaka kao razlika tj. u fazi. Ako je signal koji dovodimo na V- ulaz pozitivniji od signala koji dovodimo na V+ ulaz, signal na izlazu ce biti u protivfazi u odnosu na razliku signala na ulazima. -> minus ulaz invertujuci, a + ulaz neinvertujuci,

jer kad je potencijal signala na - ulazu pozitiviniji od potencijala sig na + ulazu, izlaz ce biti invertovan, tj. kad je potencijal signala na + ulazu pozitivniji od potencijala signala na - ulazu, izlaz ce biti u fazi sa ulaznim signalom. Razlika moze biti i =0. Ako je razlika ulaznih signala =0, izlaz je =0 sto znaci da izlaz moze isto biti =><0. A0 nikad nije =1, vec je u praksi velika vrednost 10⁴/10⁵/10⁶ sto znaci da toliko puta mnozimo razliku ulaznih prikljucaka. Ako je pojacanje milion i razlika 1mV, napon na izlazu pojacavaca je biti 1kV. Od 1mV nalravili 1000V-nije realno. Op mora da ima svoje napajanje. To napajanje znaci da pomocu njega pokrecemo sve tranzistore unutar op-a, a i ogranicavamo izlaz do napona napanja, tj. nas izlaz op-a moze da se krece do +Vcc napajanja, odnosno -Vcc napajanja. Izlaz op-a moze da seta = dise od -Vcc do +Vcc napajanja. Negativno i pozitivno napajanje = dvostruko napajanje se jos zove, predstavlja 2 napajanja koje moze biti pozitivno i negativno; to su neke specijalne topologije energetskih kola.

Najjednostavniji slucaj je da uzmemo 2 baterije od 9V i povezemo na red i izvucemo centralnu tacku spoja te 2 baterije. Dobili smo 3 prikljucka-srednji, gornji i donji. Gornji je odakle je izveden + pol baterije, donji -, a centralna je neutralna tj. referentna tacka za merenje i ako u nju postavimo - kraj voltmetra, a plus na plus kraj baterije, instrument ce prikazati +9V. Ako plus kraj instrumenta prebacimo na - kraj baterije, pokazace -9V. Dobili smo dvostruko napajanje u odnosu na posmatranu tacku (0V). Od 0 do + je pozitivno napajanje, od 0 do - negativno. Ako povezemo op gde je razlika ulaznih prikljucaka= 1mV i A0=milion na te 2 redno povezane baterije, nama ce izlaz biti ogranicen na 9V, a ako bismo doveli -1mV, imali bismo -9V. Posto nam je izlaz pojacavaca na +9 ili na -9V, to znaci da je nas pojacavac dosao do rezima zasicenja. Ako nam je pojacanje u otvorenoj povratnoj sprezi (A0) veliko, bilo koja mala razlika ulaza ce da dovede izlaz pojacavaca u zasicene.

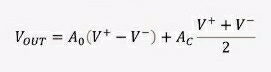
Maksimalni dozvoljeni opseg ulaznog signala (max aplituda ulaznog signala koju smemo da dovedemo na ulaz pojacavaca da ne ode u zasicenje) prema nasoj konfiguraciji napona je napon napajanja/A0 = 9uV. Sve sto je ispod 9uV ce odvesti pojacavac u linearni rezim rada. A0 je u stvari koeficijent pravca prave. Nagib je A0 koji ce biti strmiji i blazi u zavisnosti od A0. Ima veliko A0. Idealni op ima beskonacno A0. Sam op po sebi je neupotrebljiv -> sta ce nam komponenta koja ce ogromno puta da nam pojaca ulaz, a na izlazu imamo zasicenje. Posto ima mnogo veliko pojacanje, moze se koristiti kao komparator- postavimo elektrode za EKG i pojavljuju se zupci i kazemo ako nam ulazni signal predje neki prag, izlaz cd otici u + zasicenje, ako ne predje bice u - zasicenju -> za svako pozitivno zasicenje mozemo da brojimo impulse tj. da brojimo otkucaje srca. -> Op sam za sebe u otvorenoj sprezi moze da se koristi kao komparator- diferencijalni komparator. U elektricnim semama se oznacava isto kao op i na

osnovu elektricne seme ne mozemo znati sta je u pitanju, osim ako ne vidimo konfiguraciju. Ne deklarise se kao op nego kao komparator.

Diferencijalni signal/signal zajednickog moda

Kad govorimo o prirodi signala mozemo reci da postoji 2 tipa signala u odnosu na referentnu tacku. Ako imamo signal koji se javlja izmedju svakog od ulaza pojacavaca i mase, za njega kazemo da je zajednicki signal. Signal koji se nalazi izmedju ulaza op-a naziva se diferencijalni signal. Diferencijalni je uglavnom korisni signal. Signal zajednickog moda je signal smetnje i cilj svih pojacavaca, pogotovu operacionog jeste da pojacaju diferencijalni signal i u isto vreme potisnu signal zajednickog moda. Ne zelimo da pojacavamo sumu korisnog i smetnje, vec da smetnju potisnemo.

Ako govorimo o pojacavacu koji nije diferencijalni nego single-ended amplifier = referenciran u odnosu na masu-1 masa 1 ulaz, a kod diferencijalnog 1 masa 2 ulaza.



Kod diferencijalmog snimanja koristan signal se dovodi izmedju 2 ulaza, a kod referenciranog se dovodi izmedju mase i ulaza.

Razlika kada snimamo diferencijalni i single ended: plava linija je koristan signal koji hocemo da pojacamo, crvena smetnja, kad se saberu dobijemo ovo gore i nama je na ulazu u op u gornji dosao signal taj sabrani i kad prodje kroz pojacavac dobicemo na izlazu koristan signal pojacan i signal suma pojacan -> nije dobro.

Kod diferencijalnog, on ce raditi kao Av puta plavo. Signal zajednickog moda se jos naziva i signal srednje vrednosti = aritmeticka sredina ova 2 potencijala [(V+)+(V-)]/2. Kad nadjemo artimeticku sredinu dobicemo bas tu smetnju. Sto znaci da nasa prva jednacina nije dobra i treba je prosriti. On radi na ovaj nacin:

(V+ - V-) je diferencijalni signal;

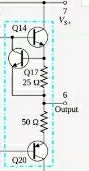
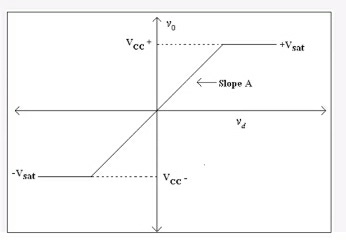
Ac puta mnozimo taj signal smetnje;

Taj Ac mora biti jako malo, u idealnom slucaju 0 posto vidimo da smetnji nema na izlazu. Prva jednacina je idealizovan slucaj u smislu potiskivanja signala smetnje.

Operacioni pojacavac je poluprovodnicka komponenta koja ima zadatak da pojaca razliku signala na svojim ulaznim prikljuccima, a u isto vreme da potisne signal smetnje tj. signal zajednickog moda/srednje vrednosti na svojim ulazima. To je definicija op-a.

Ne moze na svom izlazu da generise napon koj je veci od prikljucaka za napajanje. Moramo uvek da vidimo koliki je max dozvoljeni opseg ulaznog signala.

Ako pogledamo, pozitivno zasicenje - pozitivno napajanje. Negativno zasicenje - negativno napajanje. Izmedju negativnog i pozitivnog napajanja se naziva dinamicki opseg rada op-a. On definise neki skup u okviru kog nas izlaz moze da se seta.



To je dedinisano konstrukcijom op-a. Kad pojacavac dodje do pozitivnog zasicenja, signal na izlazu je jednak pozitivnom naponu napajanja. Kad je u - zasicenju, izlaz je jednak negativnom naponu napajanja. To je idealan slucaj. U realnosti to nije tacno. Jer tranzistor Q10 i Q20

su izlaz op-a.

Tranzistor ne moze da se otvori vise od svog zasicenja, sto znaci da izlaz ne moze biti jednak naponu Vs+ nego ce biti jednak taj napon minus kolektor-emitor saturacija. U realnosti op ne moze dati apsolutno isti napon kao napon napajanja nego je taj napon na izlazu malo nizi.

Parametri

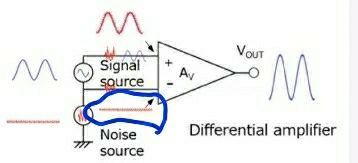
A0 - pojacanje samog op, tj. parametar koji govori o tome koliko puta ce biti pojacana razlika signala na ulaznim prikljuccima. Kod idealnih je beskonacno, kod realnih mnogo veliko. Nema jedinicu, ne postoji, ali neki proizvodjaci vole da napisu V/V ili V/mV ili dB;

Ib - pretpostavimo da je to neka struja op;

GBP - govori o frekvencijskoj karakteristici op:

Vos - napon razdešenosti - da vidimo koliko je razdešen. 0-nije nimalo razdesen, kod realnog je malo razdesen;

CMRR - koliko puta cemo potisnuti ovo crveno. Tj koliko je Ac blizu 0. Definisan samim op.



Invertujuci

Konfiguracija koja je napravljena upotrebom op. Pomocu otpornika R2 signal sa izlaza se vraca na ulaz tj. R2 je naPravio poravratnu spregu za pojacavac i to je negativna povratna sprega. Kad neko kolo treba da radi kao pojacavac, uvek mora da se koristi povratna sprega.

\*ako imamo negativnu povratnu spregu gledamo da smanjimo gresku tj. bude 0. A kad je pozitivna povecavamo gresku i to nema smisla.

\*

Sa pozitivnom povratnom spregom dobijemo oscilator.

Otpornik R1 koji se nalazi na invertujucem ulazu, a drugi njegov kraj nam je u vazduhu i na njega

dovodimo neki signal. Neinvertujuci ulaz je povezan na masu i mi hocemo da vidimo na kom principu funkcionise kolo. -> jednacine. Idealan-sve one prametre zanemarimo.

Ako signal dovedemo na Vin ulaz, struja ce proteci kroz kolo. Ako struja tece u smeru kao na slici, na R1 ulazi sa + i struja prolazi kroz R1, dolazi do cvora i struja bi trebalo da se racva po Kirhofovom zakonu, ali posto su ulazne impedanse za idealni oo beskonacne, to znaci da nikakva struja tu ne ulazi -> struja se ne racva nego kompletan izlaz struje tece kroz otpornik R2 stvarajuci pad napona na njemu. Ako nam je v1 ulaz na masi, onda je v2 ulaz na viruelnoj masi. Cim imamo negativnu povratnu spregu, nama je cilj da signal greske minimizujemo tj. da greska u ustaljenom stanju bude =0. Signal greske je jednak razlici zeljene i ostvarene vrednosti. Ovde mozemo reci ovaj + ulaz je ono sto zelimo, - ulaz je ono sto smo ostvarili, sto znaci da v1-v2 ?? treba da bude =0, odnosno treba v1=v2. Ako je v2 na masi i imamo

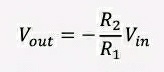
image1631320073031.png

negativnu povratnu spregu, to znaci da je nama cilj da v1 prati v2 pa je v1 na virtuelnoj masi, ali ako je v2 na 2V i na v1 zelimo da bude 2V. Znaci mi na v2 dovodimo napon koji zelimo da imamo na v1. Struje i1 i i2 su jednake. i1=pad napona na R1/otlornost R1. Pad napona na R1 je jednak razlici napona na kraju levo od R1 (taj potencijal je Vin) i desno od r1 (ovaj potencijal je 0 jer je tu virtuelna nula).

Ovaj ovde - nije pojacanje vec samo pokazatelj da ce signal na izlazu biti invertovan u odnosu nasignal na ulazu.

Posto pricamo o kontinualnim signalima, mozemo reci da taj minus znaci da ce signal na izlazu biti u protiv fazi u odnosu na signal na ulazu. R2/R1 koeficijent, taj odnos moze biti trojak R2><=R1:

* Ako je R2 > R1, kolicnik je >1 i mi cemo pojacati ulazni signal. Signal na izlazu ce biti



invertovan, ali pojacan. Signal na izlazu ce biti vece amplitude.

* R1 = R1 kolicnik je =1, kolo vise nije pojacavac vec analogni invertor - invertuje analogni signal, od sinusa pravi -sin, od cos pravi -cos...
* R2 < R1 kolicnik <1, izlaz ce biti manje amplitude u odnosu na signal na ulazu. To koristimo kada hocemo da merimo neki signal koji je mnogo vece amplitude od signala na kom radi nasa elektronika pa da prilagodimo.

-> Invertujuci pojacavac moze raditi kao invertor, pojacavac i oslabljivac. On je jedini koji ima te 3 stvari.

Minus u jednacini nam se uklapa da ako je Vin pozitivniji od V+ izlaz ce biti u protiv fazi.

Iz ovog idealnog ne mozemo nista da zakljucimo.

Frekvencijska ucestanost nam je u opsegu od 0 do beskonacno -> nece nimalo da oslabi

image1631320073038.png

signal,pojaca?

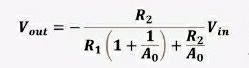
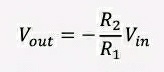
Glavna upotreba realnih parametara op je razumevanje principa rada op, kola rada i na koji nacin se parametar manifestuje.

Uticaj pojacanja u otvorenoj povratnoj sprezi

Imamo pocetnu jednacinu: 2 ulaza i razlika je pojacana A0 puta.

Sada 0 i virtuelna 0 ne postoji. Hocemo preko potencijala da izrazimo. Jednacina za V- je princip superpozicije (potencijal u nekoj tacki ce biti jednak zbiru doprinosa (uticaja) svakog od generatora kad su ostali kratko spojeni).

Ovaj izraz nam opisuje rad iznvertujuceg pojacavaca kada smo uzeli u razmatranje parametar A0 tj. pojacanje u otvorenoj povratnoj sprezi. Ako je A0 beskonacno veliko, svaki clan gde ima A0 u j-ni je =0 -> jednacina postaje R2/R1 -> ako imamo beskonacno pojacanje u

image1631320073042.png

otvorenoj povratnoj sprezi, tacna je jednacina

,

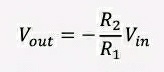
a ako nemamo, onda ova jednacina.

Poredjenje ove 2 jednacine nam govori: imamo negativnu povratnu spregu koja je R2, ako prekinemo povratnu spregu, R2=beskonacno, a ako postavimo beskonacno u novoj, Vout je munus beskonacno. Cim prekinemo povratnu spregu, kod prve jednacine nam pojacavac vise ne radi kao pojacavac nego smo otisli u zasicenje, sad je komparator -> jednacina ne govori o virtuelnoj masi nego o komparatoru.

Kad dobijemo -R2/R1, a A0 beskonacno, imamo negativna povrarna sprega + A0 nam daje da su

V1 i V2 na istom potencijalu (tj. daje virtuelnu masu), tj. da V1 prati V2. Negativna povrstna sprega i beskonacno pojacanje daju nam mogucnost da posmatramo op kao idealan i da su prikljucci na istim potencijalima, tj. da merni minus prati ovaj drugi koji je setpoint. Ako je A0 konacno, to nam znaci da je V1 = nesto puta V2, tj. nemamo sad virtuelnu masu, V1 i V2 se razlikuju, postoji neki deo koji nam menja potencijal V1, povastna sprega ne moze da nam svede taj signal na 0, tj. imamo greski u ustaljenom stanju.

Crveno je R2/R1, a plavo prethodna jednacina. Na prvom grafiku vidimo da je mala razlika izmedju 40 i 39.992, a na drugom smo smanjili R1->povecali smo pojacanje i razlika je dominantnija -> ako kupimo op sa dovoljno velikim A0 i imamo dovoljno pojacanje, ne moramo da uzimamo u razmatrannje A0. Parametar A0 je bitan da bismo razumeli konfiguraciju.

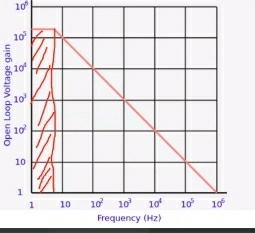


1db=20logX 1/20=logX X=10^(1/20), to je 1.12V. Da li je to malo ili mnogo zavisi od toga sta hocemo da posmatramo: nebitno nam je kad snimamo elektrodama, jer signal dok dodje do koze svakako slabi i to ne znamo koliko puta tako da nam je i ovo zanemarljivo. Bitno je kada projektujemo uredjaj, hocemo da ga izbacimo na trziste i pravimo specifikaciju i te sertifikacione kuce zahtevaju da tacno napisemo koliko je pojacanje pojacavaca u propusnom opsegu, koliko je linearno i kolika je greska.

Kako mozemo da eliminisemo matematicku kompleksnost da ne ubacujemo A0: otpornik na koji mozemo da uticemo ili kupimo pojacavac s vecim sa A0.

Sumirano: kad pokidamo povratnu spregu, Vout ode u zasicenja -> bitna je povratna sprega, a bitno je i A0 da nam drzi da razlika V1 i V2 bude 0.

Op ima ravnu frekvencijsku karakteristiku u kompletnom opsegu frekvencije (0Hz do besk) ->



bilo koja frekvencija da udje u pojacavac, ona ce da izadje pojacana, oslabljena ili invertovana u zavisnosti od odnosa otpornika. To nije moguce -> mora pojacavac da ima frekvencijski uticaj -> uvodimo sledeci parametar.

Proizvod pojacanja u otvorenoj povratnoj sprezi

GBP-propusni opseg op

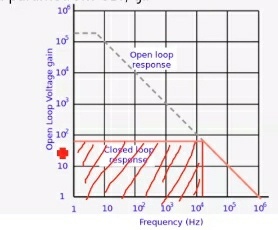
To je neka povrsina koja je konstantna (ne znaci da se ne menja u vremenu nego da ako taj parametar vazi za op, on vazi i za konfiguraciju).

Definise frekvencijske karakt op.

Op mozemo posmatrati kao sistem prvog reda tj. ima 1 domin pol na ucestanosti wg.

Ova povrsina je GBP

i ona govori da op ima ulta uzan propusni opseg,



a dosta veliko pojacanje -> op moze da pojaca A0 puta samo mali opseg ucestanosti. Mobilni telefon ima op tamo gde su zvucnici, kad pustimo muziku. Ova israfirana povrsina je const. Za ovaj primer pojacavac nema povrarnu spregu (open loop), ako stavimo povratnu->

->povecao se opseg, a smanjilo se pojacanje, a povrsine na prvom i drugom grafiku su iste. Postavljanjem povratne sprege dobili smo invertujuci. To sada novo pojacanje je smanjeno mnogo puta u odnosu na A0 (na prvom grafiku) i to 100 je pojacanje inverujuceg, a posto je GBP const, na racun smanjenja pojacanja konfiguracije povecali smo propusni opseg te konfiguracije -> novi propusni opseg puta novo pojacanje = stari propusni opseg puta staro

image1631320073055.png

pojacanje.

wg je granicna ucestanost op, mala je.

A0 pojacanje u otvorenoj povratnoj sprezi op.

A0 postoji samo u odredjenom opsegu frekvencija sto znaci da inicijalna jednacina

se jos siri i postaje Gop(jw). Dobili smo frekvencijsku karakterisitiku pojacavaca, tj. izmodelovali smo preko sistema prvog reda.

Uticaj GBP

Ainv ima u sebi A0 tj. pojacanje op u otvorenoj povratnij sprezi -> Ainv ce uvek biti manje od A0

Sve sto je ispod w je granicna ucestanost.

Wginv ce uvek biti vece od wg.

Primer

Plavo-op, crveno inv

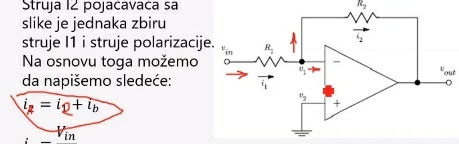
Nama taj parametar znaci da mozemo otprilike da odredimo koliki ce nam biti propusni opseg naseg pojacavaca ako napravimo neku

konfiguraciju i kupimo neki op jer ako nam ima GBP=1MHz i napravili smo pojacavac koji ima pojacanje 100, propusni opseg ce biti 1MHz/100.

Parametar koji nam govori o frekvencijskoj karakterisitci op naziva se GBP. Koliko puta smanjimo pojacanje, toliko puta povecamo propusni opseg.

Struja polarizacije

Op na svojim ulazima imaju tranzistore. Plus i minus ulaz su baze tranzistora i da bismo mogli da ih pokrenemo, moramo da pustimo struju u bazu. Bipolarni se pobudjuje strujom baze, u zavisnosti od hfe smo rekli kolika nam je potrebna struja baze da bi tranzistor radio u aktivnom rezimu. Kolika struja polarizacije ce uci u bazu zavisi od hfe tj. od same konstukcije op. Mi tu struju moramo obezbediti, tj. samo kolo ce povuci struju koja je potrebna. Nama od izvora Vi krece da tece struja kroz R1 do 2 putica. Iz struje i1 op ce sam da izvuce potrebnu struju baze, a ostatak struje ide ka ostatku kola.



Struja polarizavije ib je konstantna (nece op nekad da uzme manje nekad vise). I drugi clan je konstantan i ako je Vin=0, sada imamo ofset i nije nam na izlazu 0 nego -R2Ib.

Na drugom grafiku sinusoida se spustila i strujica od 10uA nam je napravila pomeranje za -1V. Ako povecamo sad R2, otici ce nam op u negativno zasicenje, pomerili smo baznu liniju, koliko god nizak signal na ulaz dovodili, nas pojacavac ne moze da radi. Moramo smanjiti ofset, tj. da ne dozvolimo da nam R2 predje neku granicu ili da kupimo pojacavac koji ima manju Ib. Tako mozemo da smanjimo uticaj struje polarizacije. Ib smanjuje dinamicki opseg. Drugi grafik- Da je nama pojacanje +-2V, negativna poluperioda je na granici, a pozitivna ima jos pola dinamickog opsega. Moramo da ublazimo smanjenje opsega.

Dodajemo otpor Rs. Imamo 2 struje Ib.

\*Ovo u zagradi dolazi od superpozicije kad stavimo Vin =0.

IbR2 mozemo eliminisati samo ako izjednacimo sa ovim gde je zagrada.

\*Rs=R3 na prezentaciji.

Ali i dalje nismo eliminisali skroz uticaj struje-problem je tolerancija otpornika, uvek ce neki mali deo da postoji, ali on ce biti zanemarljiv.