EMIK

- otpor vodova - R_V (2x)

$$\delta = \frac{\text{Izmj.} - \text{stvarno}}{\text{stvarno}} \cdot 100\%$$

C_k - kapacitivnost = paralela!

MJERNA PRECIZNOST

prec.: 68,3%; 95%; 99,7% | $\bar{R} \pm u\sigma_R$; $u = 1, 2, 3, \dots$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{u} N_i R_i}{\sum_{i=1}^{u} N_i}$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{u} N_i (R_i - \bar{R})^2}$$

INTERVAL POUZDANOSTI: a

$$a = \frac{x}{100} \cdot R + y \cdot r$$

r → razlučivost

R → izmjerena vrijednost

točnost: x [%] + y [digits]

→ MJERNA NESIGURNOST

- sonda kompenzirana: $\tau_1 = \tau_2 = R_1 C_1 = R_2 C_2$

$H(j\omega)$ = ukupni Z gledano sa osciloskopa

prijenosna → $U_{ug.} = U_g \cdot H(j\omega)$

$u_d = u_1 - u_2$

$u_i = \dfrac{u_1 + u_2}{2}$

$F = \dfrac{A_d}{A_i}$

R

$Q_{MAX_{Hf}} = \omega L_S = \dfrac{1}{\omega C_p}$

1.1. Skicirati u logaritamskom mjerilu amplitudno-frekvencijsku i fazno-frekvencijsku karakteristiku impedancije dvaju metaloslojnih otpornika otpora 1 Ω i 10 kΩ, proizvedenih istim tehnološkim postupkom uz iste geometrijske parametre (L=10 nH, C=1 pF). Odredite sve bitne koordinate te jednadžbe krivulja po dijelovima. Za oba otpornika crtati (zasebne) karakteristike u istom koordinatnom sustavu.

1.2. Metaloslojni otpornici proizvedeni istim tehnološkim postupkom imaju parazitni induktivitet 10 nH. Najšire radno frekvencijsko područje imaju otpornici otpora 500 Ω.

a) Nacrtajte troelementnu nadomjesnu shemu otpornika i izračunajte vrijednosti svih elemenata.
b) Izračunajte maksimalnu radnu frekenciju otpornika otpora 1 Ω pri kojoj fazni kut impedancije ne prelazi 45°.
c) Skicirajte frekvencijsku ovisnost modula impedancije u logaritamskog mjerilu za slučaj pod b).
d) Označite vrijednosti svih karakterističnih točaka frekvencijske karakteristike iz c).
e) Izračunajte maksimalnu radnu frekvenciju za otpornik otpora 1 MΩ koji je proizveden istim tehnološkim postupkom.

1.3. Odredite najveću dopuštenu efektivnu vrijednost (sinusnog) napona frekvencije 20 kHz na kondenzatoru kapaciteta 100 nF, ako mu je nazivni ("istosmjerni" - vremenski nepromjenjivi) napon 400 V, nazivna (najveća dopuštena radna) snaga 100 mW, nazivna struja (najveća dopuštena efektivna vrijednost) 100 mA, a tangens kuta gubitaka (omjer radne i jalove snage) 0,005. Nacrtajte naponsko-frekvencijsku karakteristiku tog kondenzatora.

1.4. Nazivni istosmjerni napon kondenzatora kapaciteta 100 nF iznosi 400 V, a nazivna efektivna struja 100 mA.

a) Nacrtajte frekvencijsku ovisnost maksimalnog dozvoljenog napona kondenzatora u općem slučaju i označite sva ograničenja.
b) Izračunajte minimalnu nazivnu radnu snagu kondenzatora pri kojoj nazivna snaga kondenzatora ne utječe na područje sigurnog rada ako je tangens kuta gubitaka 0,005.
c) Nacrtajte frekvencijsku ovisnost maksimalnog dozvoljenog napona kondenzatora za slučaj pod b).
d) Odrediti kritičnu frekvenciju za slučaj pod b).
e) Odrediti maksimalni dozvoljeni napon na kritičnoj frekvenciji iz d).

2.1. Zadan je folijski kondenzator slijedećih značajki: kapacitet 1nF, nazivni istosmjerni napon 630V, dopuštena radna snaga 50mW, tangens kuta gubitaka 0,002 u frekvencijskom području od 0,01Hz do 50kHz (na frekvencijama višim od 50kHz raste s 20dB/dec) i najveća dopuštena efektivna vrijednost struje 50mA.

a) Nacrtajte krivulju ovisnosti najveće dopuštene efektivne vrijednosti sinusnog napona na kondenzatoru o frekvenciji tog napona u logaritamskom mjerilu, s unesenim koordinatama svih svojstvenih točaka i nagibima pravaca.
b) Kolika je vrijednost tog napona na frekvenciji 50kHz?

2.2. Tangens kuta gubitaka folijskog polipropilenskog kondenzatora kapaciteta 100 nF može se opisati na sljedeći način: frekvencijski ovisan (-20 db/dek) do frekvencije 0,01 Hz, konstantnog iznosa 0,002 između 0,01 Hz i 10 kHz, frekvencijski ovisan (+20 dB/dek) za frekvencije više od 10 kHz. Rezonantna frekvencija kondenzatora je 1 MHz. Nacrtajte nadomjesnu shemu kondenzatora i izračunajte sve elemente. Nacrtajte frekvencijsku ovisnost tangensa kuta gubitaka i odredite vremensku konstantu samopražnjenja kondenzatora.

2.3. Nacrtajte nadomjesnu shemu i odredite svojstvene vrijednosti njenih elemenata, te nacrtajte frekvencijsku ovisnost modula impedancije s naznačenim karakterističnim frekvencijama za elektrolitski kondenzator slijedećih značajki:

- nazivni kapacitet $C = 2200\ \mu F$
- otpor elektrolita $R_e = 0{,}2\ \Omega$
- serijski otpor $R_s = 0{,}02\ \Omega$
- serijski induktivitet L_s = ~~30 nH~~, 3uH
- konstanta pražnjenja $\tau = 4000$ s,
- rezonantna frekvencija $f_r = 3{,}66$ MHz.

Odredite iznos i fazni kut impedancije tog kondenzatora na frekvencijama 500 Hz, 50 kHz i 50 MHz.

2.4. Serijskim spojem dvaju kondenzatora potrebno je ostvariti titrajni krug s temperaturno neovisnom rezonantnom frekvencijom od 118,519 kHz. Temperaturni koeficijent zavojnice induktiviteta 100 μH iznosi +18 ppm/°C, a na raspolaganju su kondenzatori temperaturnih koeficijenata 0 ppm/°C i -100 ppm/°C. Izračunajte iznose kapaciteta pojedinih kondenzatora i njihovog serijskog spoja.

NOTE: [illegible] letter of recom.

3.1. Diferencijalnim pojačalom sa simetričnim izlazom i diferencijalnog pojačanja $A_D = 1000$, faktora potiskivanja (drugi naziv faktor rejekcije, oznake: *CMRR*, *H* ili *F*) $H = 80$ dB i faktora diskriminacije $F_D = 80$ dB mjeri se diferencijalni napon amplitude 1 mV uz prisutnost zajedničkog napona smetnje amplitude 2 V. Izračunajte izlazni napon.

3.2. Diferencijalnim pojačalom s asimetričnim izlazom i pojačanjem $A_D = 1000$ mjeri se napon dijagonale tenzometarskog mosta izvedenog istim otpornicima. Uslijed djelovanje sile napon na dijagonali mosta je 1 mV. Napajanje mosta je 10 V. Ako je faktor potiskivanja pojačala 80 dB, izračunajte napona na izlazu pojačala.

3.3. Nacrtajte shemu instrumentacijskog pojačala s kontinuirano promjenjivim pojačanjem izvedenog s tri operacijska pojačala. Drugi stupanj pojačala ima ulazni diferencijalni otpor 22 kΩ i stalno diferencijalno pojačanje 5. Elemente pojačala proračunajte tako da se pojačanje može mijenjati u granicama od 10 do 100.

3.4. Impedancija neinvertirajuće stezaljke plivajućeg pojačala prema masi je 2 GΩ, a invertirajuće stezaljke 1,5 GΩ. Diferencijalno pojačanje pojačala je $A_D = 1$. Kada se na međusobno kratko spojene ulazne stezaljke pojačala spoji naponski izvor zanemarivog unutarnjeg otpora, faktor potiskivanja pojačala je F=140 dB. Pronađite ovisnost faktora potiskivanja o unutarnjem otporu izvora zajedničkog signala, te izračunajte faktor potiskivanja za unutarnji otpor od 1 kΩ.

3.5. Diferencijalno pojačalo diferencijalnog pojačanja $A_D = 100$ i ulazne impedancije za svaku od stezaljki prema masi $R_{ul} = 1$ MΩ spojeno je na dijagonalu mosta s vrijednostima otpornika $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10$ kΩ koristeći središnje vodove dva koaksijalna kabela. Oklopi oba koaksijalna kabela su spojeni na način kojim se smanjuju smetnje zbog električnog polja. Kapacitet između aktivnog voda i oklopa svakog od kabela je 160 pF, a između oklopa i voda napajanja gradske mreže 230 V / 50 Hz je 200 pF. Pretpostavite da diferencijalno pojačalo ima beskonačan faktor potiskivanja.

a) Nacrtajte nadomjesnu shemu mjerenja koja uključuje i parazitne kapacitete.
b) Odredite amplitudu smetnje na izlazu pojačala ako su svi oklopi ispravno spojeni.
c) Odredite amplitudu smetnje na izlazu pojačala ako se oklop jednog od kabela odspoji.
d) Odredite modul impedancije ulazne stezaljke prema masi u slučaju ispravno spojenog oklopa i odspojenog oklopa na frekvenciji 100 kHz.

3.6. Na sinusni naponski izvor unutarnjeg otpora 5 kΩ, frekvencije 750 kHz i amplitude 1 V spojena je ili sonda x1 ili kompenzirana sonda x10. Kapacitet kabela svake od sondi je 75 pF, a ulazna impedancija osciloskopa je 1 MΩ || 25 pF. Za oba spoja nacrtajte nadomjesnu shemu i izračunajte amplitudu napona na zaslonu osciloskopa. Koja sonda manje odstupa od očekivane vrijednosti i zašto?

3.7. Sinusni naponski izvor konačnog unutarnjeg otpora i frekvencije 20 MHz spojen je kompenziranom naponskom sondom x10 na jedan kanal osciloskopa. Ako se identična sonda spojena na drugi kanal osciloskopa spoji na izvor paralelno prvoj sondi, amplituda napona na zaslonu osciloskopa se smanji za $\sqrt{2}$. Kapacitet kabela obje sonde je 101 pF, a ulazna impedancija oba kanala osciloskopa je 1 MΩ || 25 pF.

a) Nacrtajte nadomjesnu shemu mjerenja i odredite vrijednosti svih elemenata.
b) Izračunajte unutarnji otpor naponskog izvora.

Naputak: u proračunu pod b) pretpostavite da su impedancija sonde i ulazna impedancija osciloskopa kapacitivnog karaktera zbog visoke frekvencije mjerenja.

3.8. Izvor nazivne vrijednosti 5 V koristi se kao izvor referentnog napona analogno-digitalnog pretvornika ulaznog opsega 0–5 V. Referentni izvor ima značajke kao u tablici.

Inicijalna točnost	50 ppm	maks.
Koef. naponske regulacije	300 μV/V	maks.
Koef. strujne regulacije	50 μV/mA	maks.
Temperaturni koeficijent	20 ppm / °C	maks.

Termička histereza	20 ppm	tip.
Šum, 0,1 Hz – 10 Hz	20 μV	tip.
Dugotrajna stabilnost	15 ppm	tip.

Temperaturno područje rada je od 10 °C do 40 °C, najveća promjena napona napajanja je 500 mV, a najveća promjena opterećenja referentnog izvora 4 mA. Izračunajte: (Uputa: izračunajte konzervativnu ocjenu.)

a) doprinose šuma, termičke histereze i dugotrajne stabilnosti ukupnoj točnosti referentnog izvora,
b) doprinose naponske i strujne regulacije ukupnoj točnosti referentnog izvora,
c) ukupnu točnost referentnog izvora,
d) najveću razlučivost analogno-digitalnog pretvornika za koju je ovaj izvor prikladan.

3.9. Kristal kremena ima kapacitet između elektroda 5 pF i dinamičke parametre: induktivitet 10 H, otpor 1,5 kΩ i dinamički kapacitet 0,05 pF. Nacrtajte nadomjesnu shemu kristala i obilježite njene elemente. Nacrtajte (kvalitativno) ovisnost impedancije kristala o frekvenciji. Odredite razliku između paralelene i serijske rezonancijske frekvencije. Izračunajte faktor kvalitete kristala za serijsku rezonanciju.

3.10. Colpittsov oscilator ima faktor kvalitete titrajnog kruga 100, induktivitet zavojnice 50 μH i strminu FET-a 0,1 mA/V. Izračunajte kapacitete kondenzatora u djelilu tako da oscilator ima ispunjen uvjet osciliranja na frekvenciji 5 MHz. Kondenzatori u djelilu čine kapacitet titrajnog kruga.

3.11. Izvorom stalne frekvencije 1kHz i faznom povratnom vezom želi se ostvariti izvor frekvencije između 1MHz i 2MHz s korakom promjene od 1kHz. Odrediti vrijednosti do kojih brojilo mora brojati i parametre naponski kontroliranog oscilatora, ako promjeni ulaznog napona oscilatora između 1,1V i 3,9V odgovara promjena frekvencije signala na izlazu od 1,5MHz.

3.12. Selektivnim voltmetrom se mjerni napon u području frekvencija od 1 MHz do 20 MHz. U prvom stupnju za miješanje koristi se promjenjivi oscilator kojemu se frekvencija može mijenjati u području od 31 MHz do 50 MHz, a selektivno pojačalo tog stupnja ima rezonantnu frekvenciju 30 MHz. Selektivno pojačalo u drugom stupnju za miješanje ima rezonantnu frekvenciju 1 MHz.

a) nacrtajte principijelnu blok-shemu selektivnog voltmetra s dva stupnja za miješanje i naznačite vrijednosti navedene u zadatku,
b) odredite frekvenciju stabilnog oscilatora u drugom stupnju za miješanje,
c) odredite koliku frekvenciju treba namjestiti na oscilatoru u prvom stupnju ako se u spektru ulaznog signala mjeri amplituda komponente od 10 MHz.

EMK 03.10.2016.

prof. Darko Vasić ; D-143

- labosi
- MI - 30
- ZI - 30
- UI - 40

prag (50%) ukupni

- "2" ~ 50
- "3" ~ 60
- "4" ~ 75
- "5" ~ 90

Pasivne komponente

$$u = i \cdot R$$

$$u = \frac{1}{C} \int i\,dt$$

$$u = L \frac{di}{dt}$$

E6 (20%) → 6 vrijednosti u dekadi

E12, E24 → 4 boje: prva znamenka, druga -||-, eksponent, tolerancija

E48, E96 → + treća znamenka

SMD otp: 330 Ω → $33 \cdot 10^0$ Ω

822 Ω → 8.2 Ω

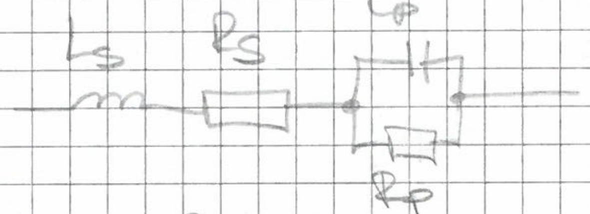
ZNAČAJKE:

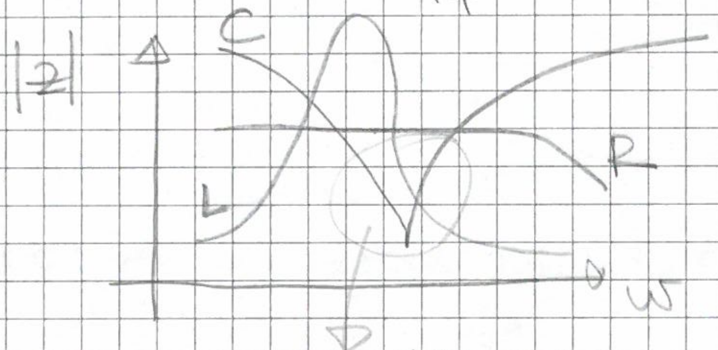
1. **Stabilnost** – sposobnost da zadrži tenofin vrijednost
2. **Temperaturna ovisnost**

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta T + \beta \Delta T^2 + \ldots)$$

3. **Maksimalna opterećenja** – za pasivne komponente propisuje se najveća vrijednost radnog napona, struje, snage i temp.

Faktor kvalitete: $Q = \frac{P_D}{P_R}$





REZONANCIJA

OP:
- pred. – 5
- akt. – 5
- DZ – 5
- seminar – 15
- MI – 30
- ZI – 40

17.10.2016.

OTPORNICI

- 170 milijardi godišnje

SVOJSTVA OTPORNIKA:

- TOLERANCIJA
- TEMPERATURNI KOEFICIJENT [ppm/°C]

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta T)$$

$\Delta T = T - 25°C$

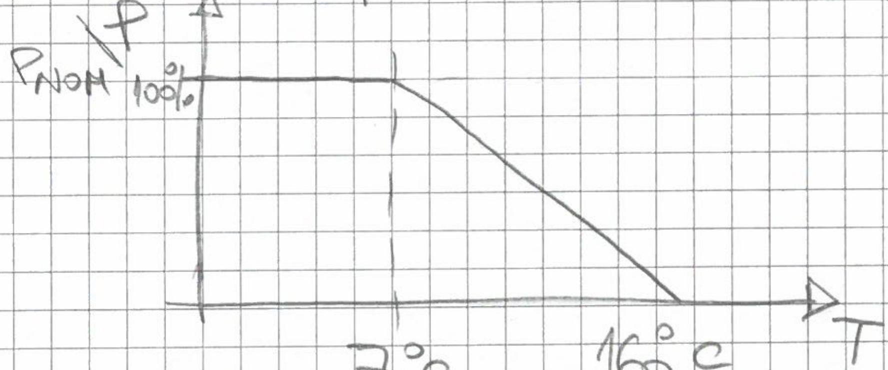
temp. koef.

R↑ T↑ → $\alpha > 0$

R↓ T↓ → $\alpha < 0$

- LINEARNOST
- DOPUŠTENO OPTEREĆENJE (usko vezano uz grijanje otpornika i veće struje → disipacija energije na otporniku)

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



- PARAZITNI KAPACITETI I INDUKTIVITETI ;
FREV. KARAKTERISTIKA

$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$; l - duljina
S - površina popr. presjeka

- MAKS. NAPON I STRUJA
ako je kako je otpornik napregnut, dimenzije, raspon, može doći do proboja napona

- STARENJE

- ŠUM - ELEKTRONIČKI ŠUM
- $U = R \cdot I$; fluktuacije U i I
→ stohastički pomaci
→ šum

- MEHANIČKA SVOJSTVA
- namještanje vrijednosti
- kontaktni otpor
- materijal
- tehnološki postupak

- CIJENA

NEPROMJENJIVI OTPORNICI

- UGLJENI (ugljena masa)
- SLOJEVITI:
  - ugljeni
  - metal-film
  - metal-oksid
  - čip
- ŽIČANI

- TOLERANCIJA:
  - OPĆA NAMJENA ($\geq 5\%$)
  - SREDNJE PRECIZNI ($1-5\%$)
  - TOČNI / PRECIZNI ($0,5-1\%$)
  - VRLO TOČNI ($< 0,5\%$

- slojni:

staklena jezgra

SKLADIŠTENJE: 5000h	25°C	125°C
UGLJENO-SLOJNI	0,1 %	1%
METALNO-SLOJNI	0,05 %	0,17%

METAL-SLOJNI
- NIŽI ŠUM
- BOLJI TEMP. KOEF.

METAL-OKSID
- VEĆA DISIPACIJA
- MAKS. NAPON VEĆI
- BOLJE PODNOSI KRATK. SPOREĆENJA
- VIŠE TEMP., MANJE DIMEN.
= JEFTINIJI, MANJI PARAZITI

	(1) UGLJENI	(2) UGLJENO SLOJNI	(3) METALNO SLOJNI	(4) METAL OKSID	(5) ŽIČANI
RASPON	1Ω–10 MΩ	1Ω–10 MΩ	0,1Ω–100 MΩ	1Ω–1 GΩ	250 [illegible]
SNAGA	1/8 W – 2 W	1/8 W – 2 W	5 W	>10 W	2,5 kW
TEMP. RADNJE	0–60 °C	<200 °C	250–300 °C	450 °C	
TEMP. KOEF.	500 ppm/°C	150 ppm/°C	50 ppm/°C	100–300 ppm/°C	
STARENJE	VELIKO	VELIKO	MALO	MALO	
TOLERANCIJE	5–20%	>5%	<0,5%	1%–5%	0,1% – 5%
ŠUM	VELIK	VELIK, MANJI OD UGLJENIH	NIZAK	KAO (2)	
FREK. OVISNOST	IZRAŽENA (velike struje)	MANJE IZRAŽENA (manji skin effect)	MALA	MALA	VELIKA
PREDNOSTI	jeftini, snaga/dimenzija		dobre tolerancije, dobar TC, dobar napon. [illegible]	veće snage	
NEDOSTACI	loša tolerancija, loš temp. koef.		visok nap. koef., cijena srednja, slabije snage	skupi	loša frek. karakt., skupi

Metalno - folijski

- TEMP. KOEF. < 1 ppm/°C
- vrlo nizak šum
- DISIPACIJA < 1 W
- 30 Ω – 600 kΩ
- SKUPI

Žičani otp.

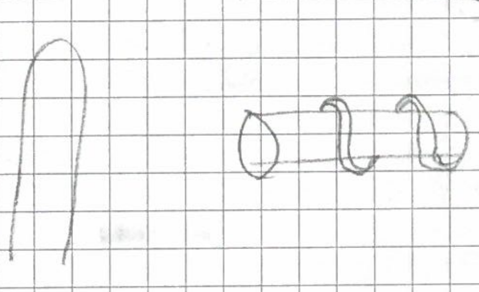
- vrlo točni
- velike disipacije
- loša frekv. karakt.

OPĆE NAMJENE: 0,25 Ω – 10 kΩ

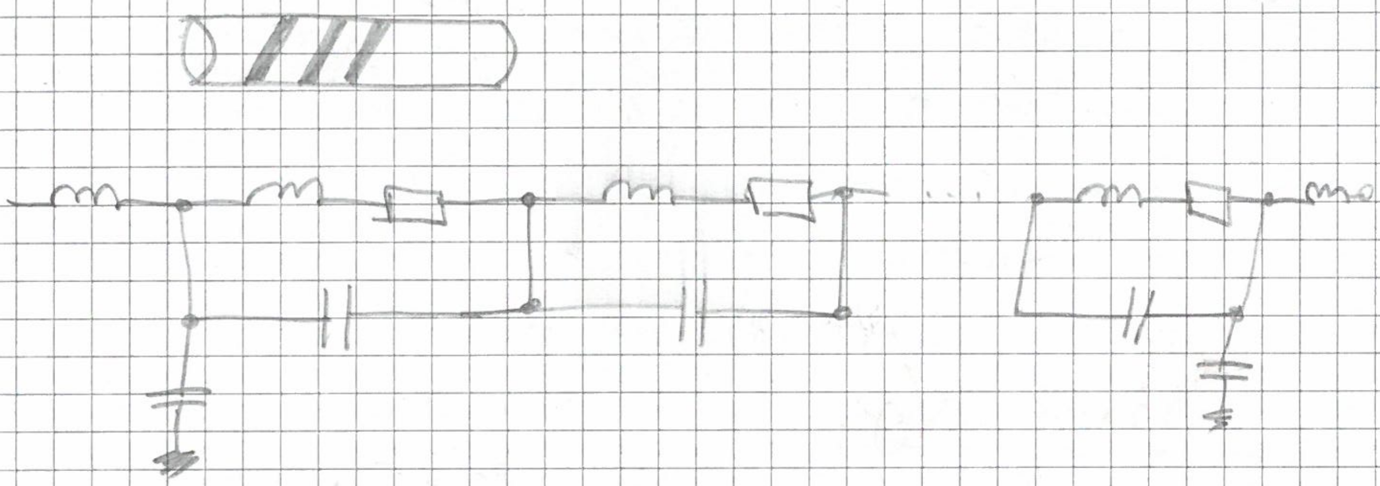
OTPORNICI SNAGE: 1 Ω – 1 MΩ, 1500 W
(5-20 % toler.)
5 ppm/°C

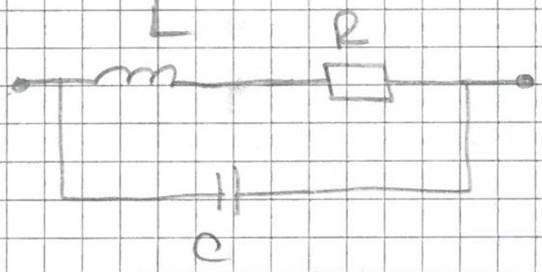
TOČNI OTPORNICI: 1 Ω – 10 MΩ
$< 0,5$ %
~5 ppm/°C
~2 W

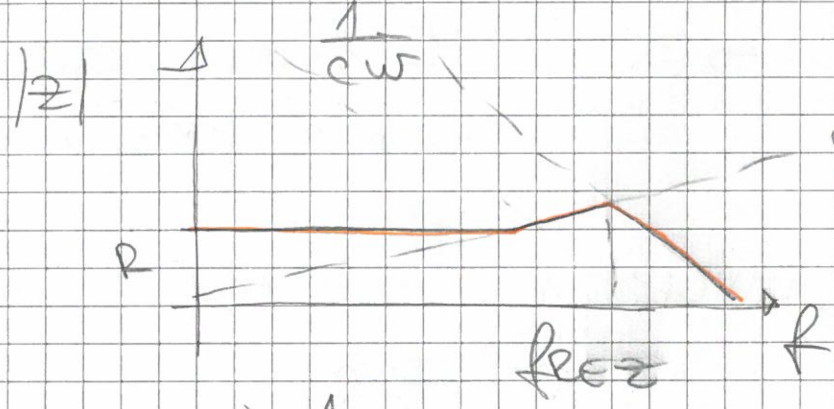
- BIFILARNO MOTANJE – za poništavanje parazitskih kapaciteta

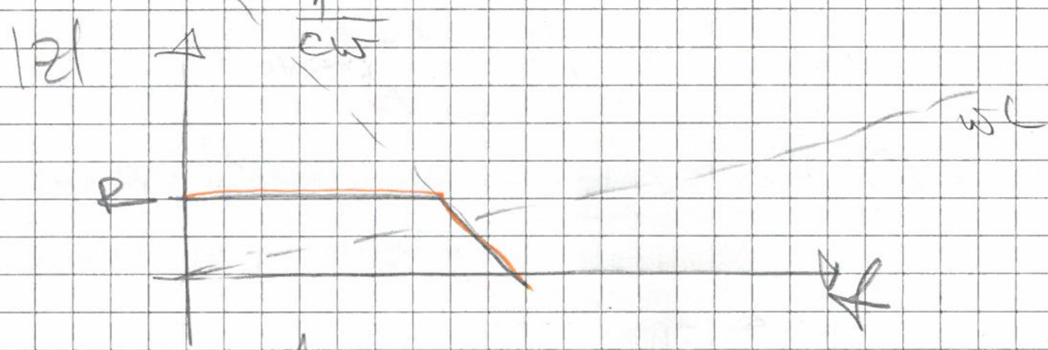


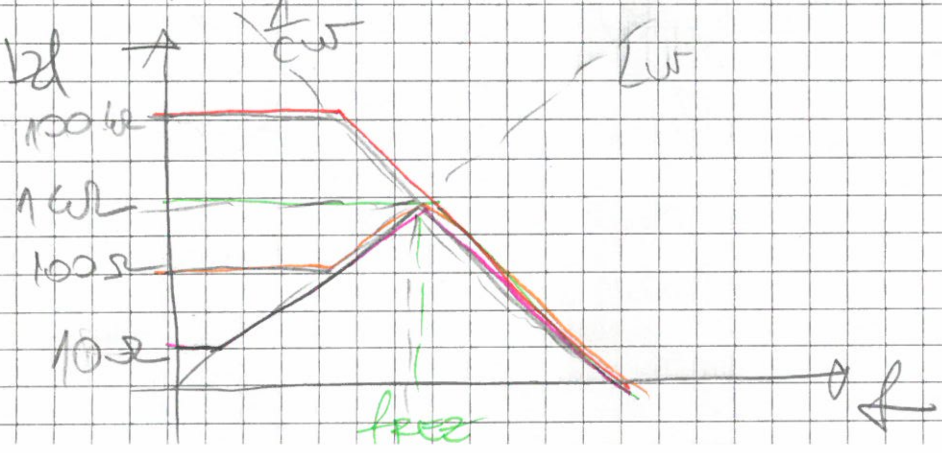
Frekvencijska karakteristika slojnih otpora









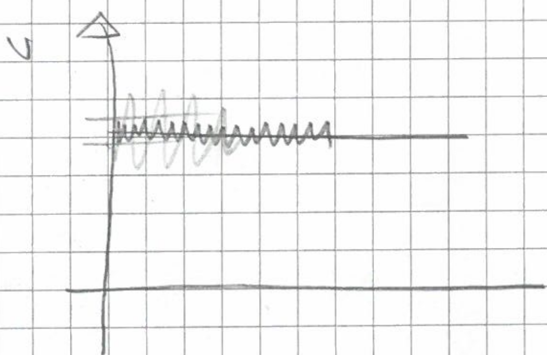


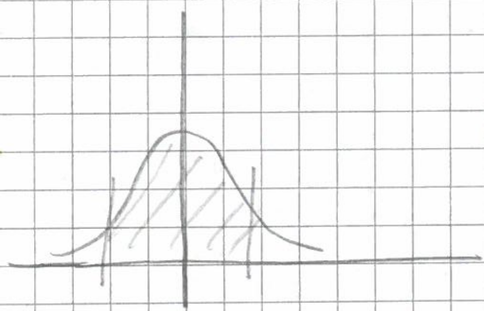
– niže vrijednosti otpora do izražaja induktivni karakter

– kod viših kapacitivni karakter

ŠUM – stohastički signal
– fluktuacije naboja kroz materijal
– Brownovo gibanje

↓
izraženije pri većoj temp.





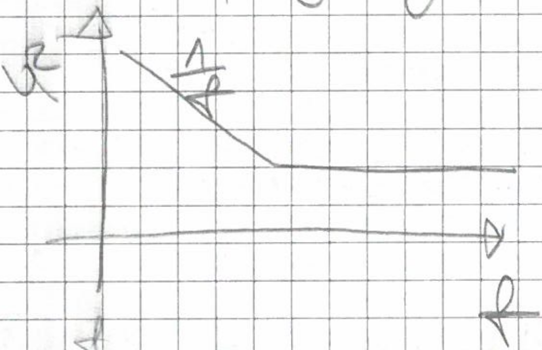
– DERIVACIJA:

$$U = \sqrt{4 k T R \Delta f}$$

k: $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K
T: [K]
Δf: frekv. područje

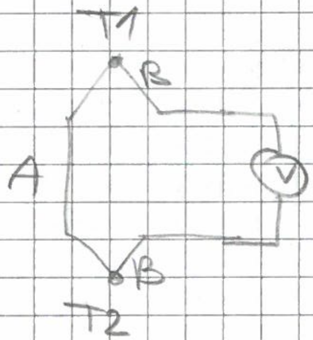
– do 1 THz

STRUJNI ŠUM – posljedica [illegible] struje



$$U_{ef}^2 = \int_0^\infty u^2 \, df$$

SEEBACKOV EFEKT



$$U = \int_{T_1}^{T_2} \left[S_B(T) - S_A(T) \right] dT$$

$$U = \Delta S \cdot \Delta T$$

$\Delta T = 1°C$ $\quad U = 20\ \mu V$

$T_1 > T_2$

POTENCIOMETRI

- JEDNOKRUŽNI (300°, UGLJENI SLOJ, 50 Ω - 5 MΩ, 10-20%)
- VIŠEKRUŽNI (VIŠE OKRETAJA, SPIRALNI OTPORNI SLOJ, 50 Ω - 250 kΩ, 3%, 5 W)
- TRIMERI (VIŠE OKRETAJA, OGRANIČEN BROJ PODEŠAVANJA)

- materijali: ugljen
  metal-film
  vodljiva plastika
  žičani

24.10.2016.

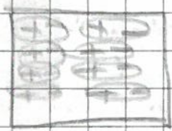
KONDENZATORI

$C = \varepsilon_0 \varepsilon_R \frac{S}{d}$; $\varepsilon_0 \varepsilon_r$ – dielektričnost

S – površina između elektroda

d – udaljenost između elektroda

$i = C \frac{du}{dt}$



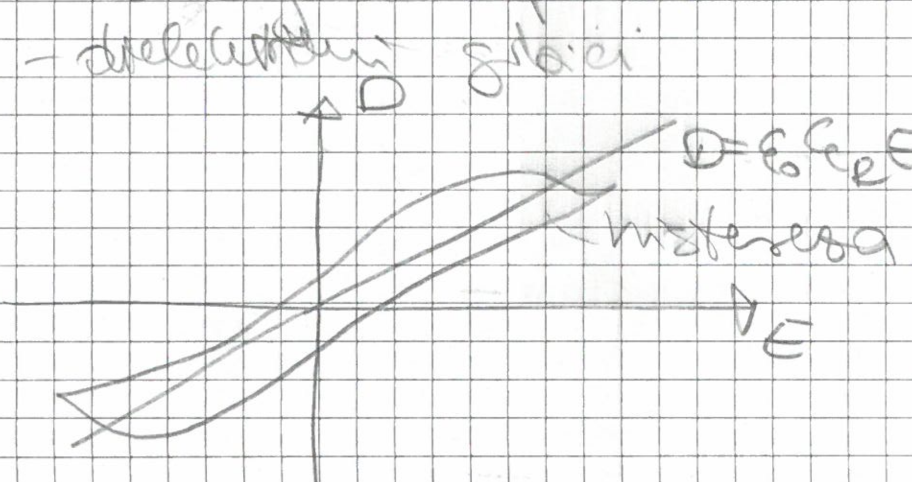
$D = \varepsilon_0 E + P$

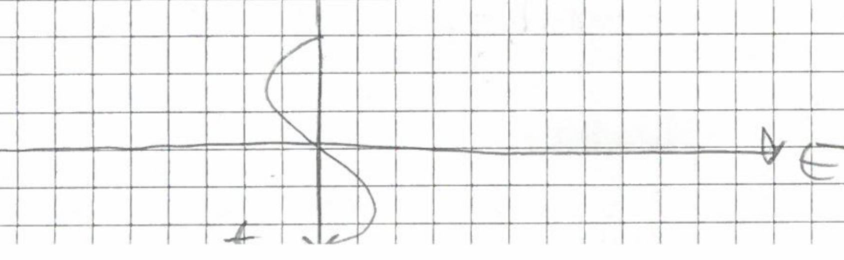
$= \varepsilon_0 E + \varepsilon_0 \chi_e E$

$= \varepsilon_0 \underbrace{(1 + \chi_e)}_{\varepsilon_R (E;\, x, y, z)} E$

GLAVNE ZNAČAJKE DIELEKTRIKA:

- dielektrična konst., ε_R
- izolacijski otpor
- dielektrični gubici



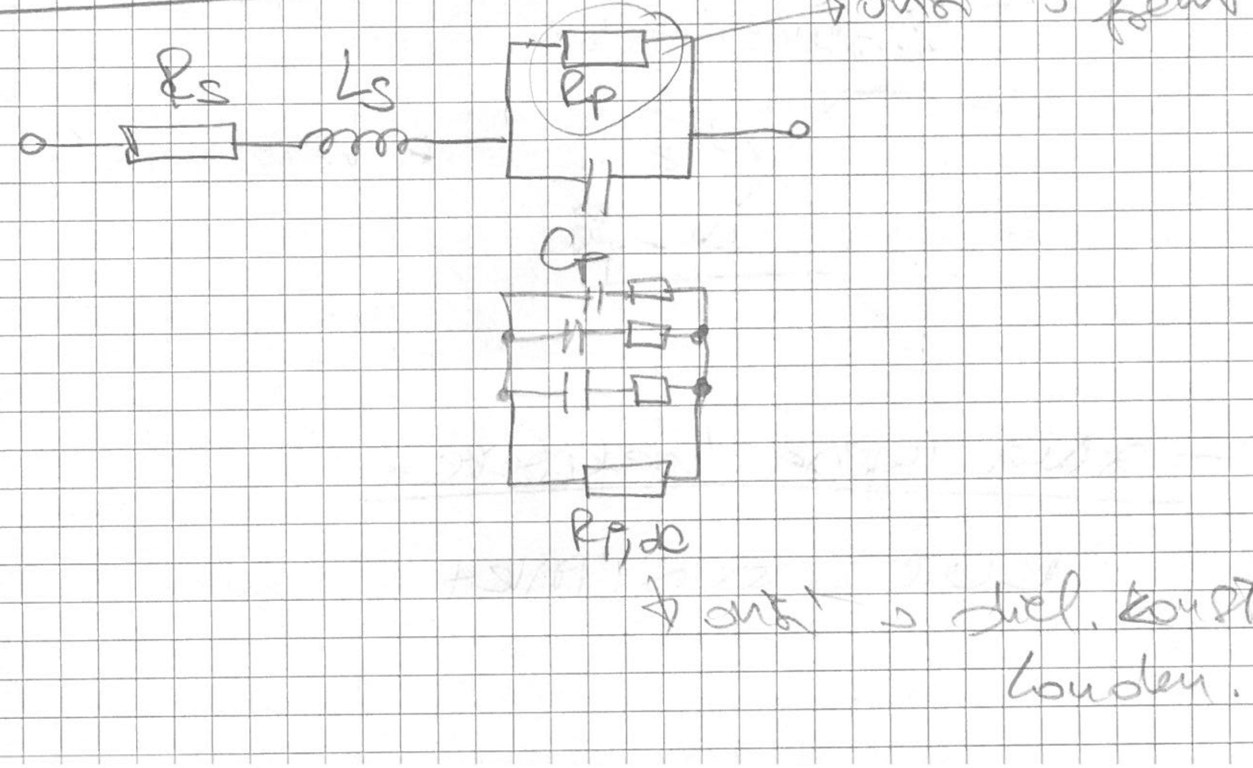


- frekv. ↑ ; el. gubici ↑
- dielektrična čvrstoća (probojni napon)
  - kod neke zadane napona, materijal će biti toliko plastičan da ga uništi
- temp. ovisnost

UTJECAJ HISTEREZE $D(E)$:
- ovisnost ε_r o naponu : $i = C(u)\frac{du}{dt}$
- zagrijavanje
- frekv. ovisnost
- zaostali D (memorijski efekt)

ε_r = ovisnost o naponu
  - histereza
  - temp. ovisnost svih karakt. vezana uz materijal

NADOMJESNA SHEMA



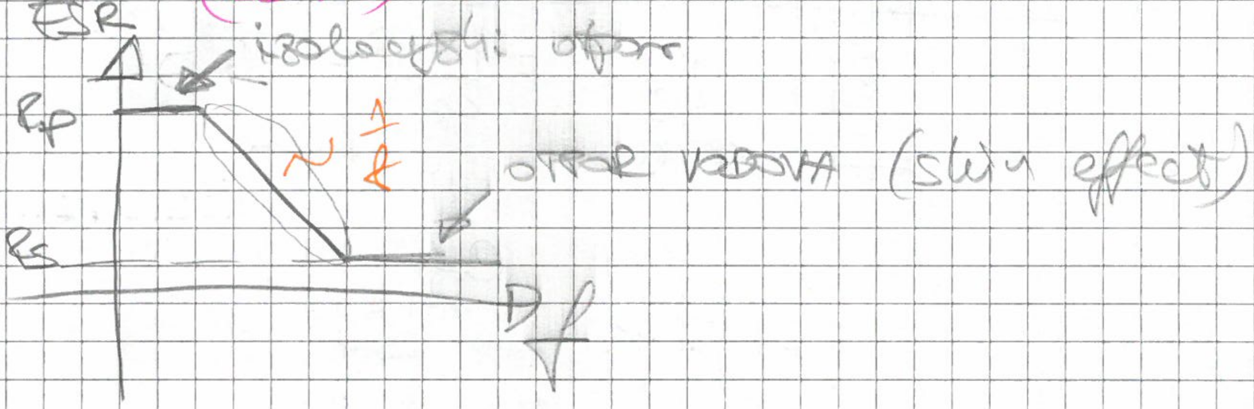
– SKIN EFFECT – teče struja po površini vodiča; – zbog mag. polja

– smanjivanje presjeka vodiča, povećanje R_S – a

$$Z = R_S + j\omega L_S + \frac{R_P}{1 + j\omega R_P C_P}$$

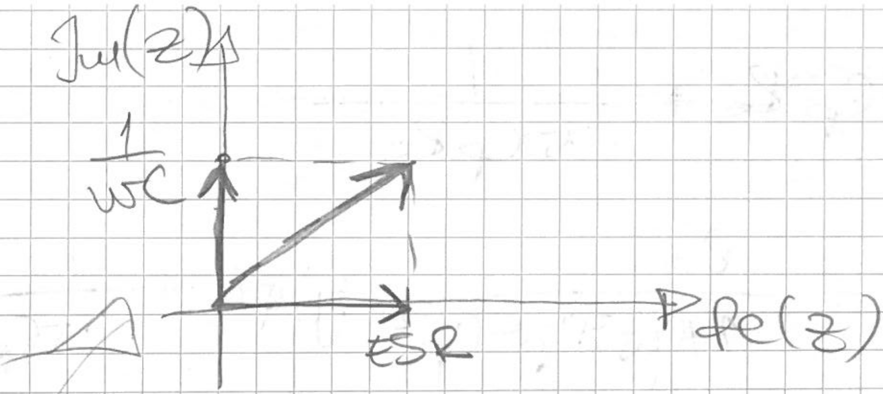
$$Z = R_S + \frac{R_P}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2} + j\omega L_S - j\omega \frac{C_P R_P^2}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2}$$

$$= \underbrace{R_S + \frac{R_P}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2}}_{\text{EKVIVALENTNI SERIJSKI OTPOR (ESR)}} + j\omega L_S + \frac{1}{j\omega C_P} \cdot \frac{\omega^2 C_P^2 R_P^2}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2}$$



– bitna mjera kvalitete:

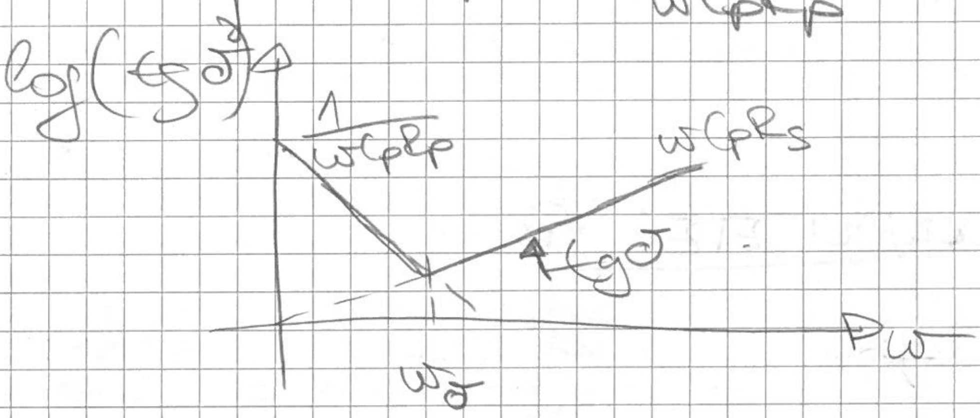
KUT GUBITAKA



$$tg\,\delta = \frac{ESR}{\frac{1}{\omega C_p}} = \frac{R_s + \frac{R_p}{1+\omega^2 R_p^2 C_p^2}}{\frac{1}{\omega C_p}}$$

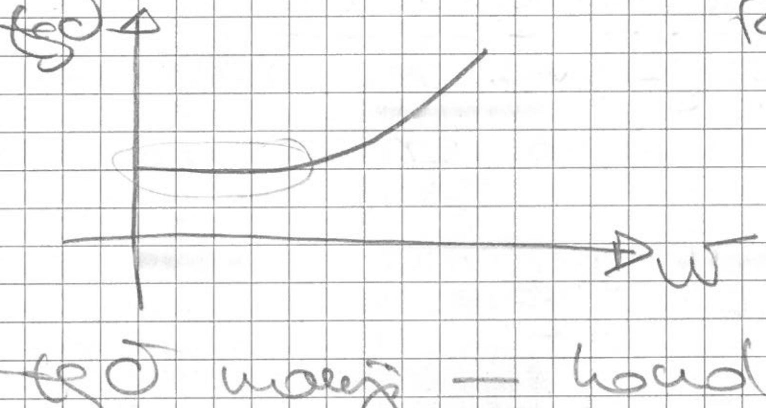
$$\omega^2 R_p^2 C_p^2 \gg 1$$

$$tg\,\delta = \omega C_p R_s + \frac{1}{\omega C_p R_p}$$



$$\omega_\delta C_p R_s = \frac{1}{\omega_\delta C_p R_p} \propto \frac{1}{\omega}$$

$$\omega_\delta = \frac{1}{C_p\sqrt{R_s R_p}}$$



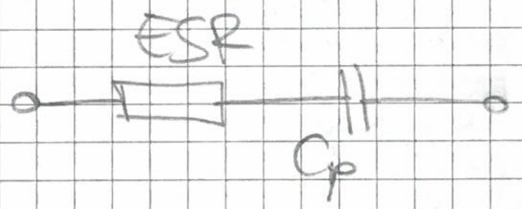
REALNA

$tg\,\delta$ mały — kond. dobry

$$\operatorname{tg}\delta = \omega C_p R_s + \frac{1}{\omega C_p R_s}$$

$$z = R_s + \frac{R_p}{1+\omega^2 R_p^2 C_p^2} + \cancel{j\omega L_s} + \frac{1}{j\omega C_p} \cdot \frac{\omega^2 C_p^2 R_p^2}{\underbrace{1+\omega^2 C_p^2 R_p^2}_{\gg 1}}$$

$$z = ESR + \frac{1}{j\omega C_p}$$



FAKTOR KVALITETE Q

$$Q = \frac{P_{kap}}{P_{ESR}} = \frac{\cancel{I^2} X_{kap}}{\cancel{I^2} ESR} = \frac{\frac{1}{\omega C_p}}{ESR}$$

$$= \frac{1}{\omega C_p ESR} = \frac{1}{\operatorname{tg}\delta}$$

PODRUČJE SIGURNOG RADA

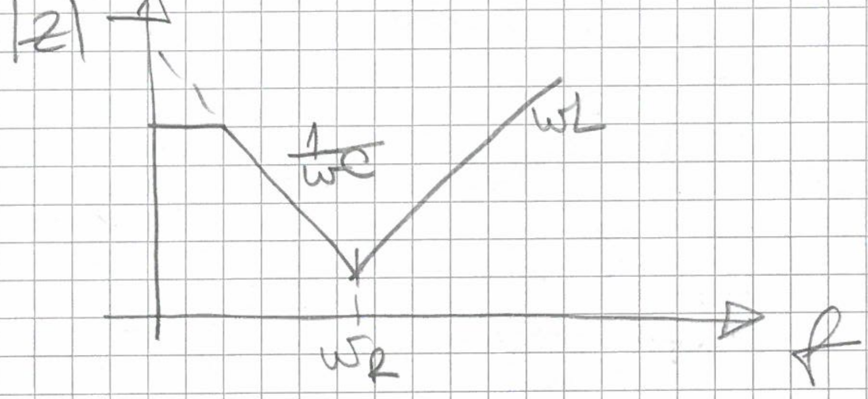
- područje opsega napona, struje i temp. za koje smijemo koristiti na kond.

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

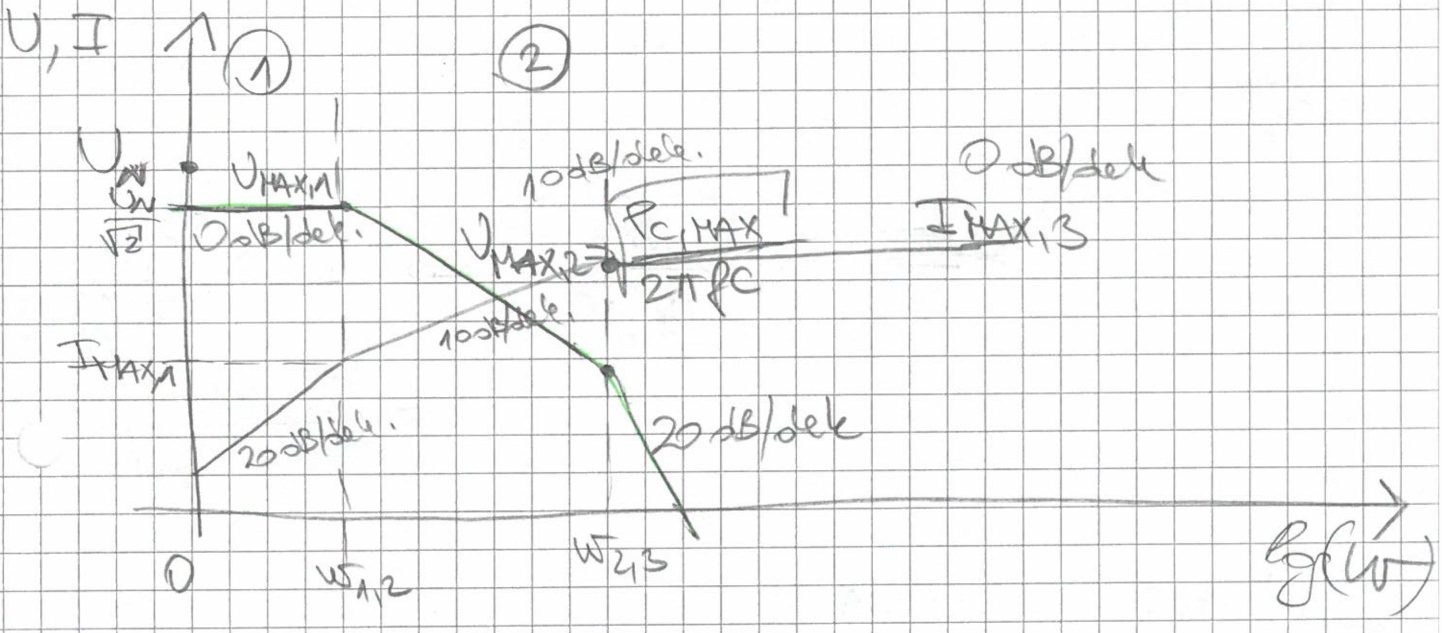
– kond. većeg kap. nego više rez. frekv. ; $\omega_R = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

– manje kućište – manji induktivitet



1) ISTOSMJ. NAPON – PROBOJNI NAPON

U_N



– određivanje max. napona na kond.

$$U_{MAX,1} = \frac{U_N}{\sqrt{2}}$$

$$I_{MAX,1} = \frac{U_{MAX,1}}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_N}{\sqrt{2}} \cdot \omega C$$

2) MAKSIMALNA DISIPIRANA SNAGA

- ovisnost zog: kućište, materijal, okoliš

$$P_R = \operatorname{tg}\delta \cdot P_C$$

jalova snaga

$$P_{C,MAX} = \frac{U_{MAX,2}^2}{\frac{1}{\omega C}} = \omega C\, U_{MAX,2}^2$$

$$\boxed{U_{MAX,2} = \sqrt{\frac{P_{C,MAX}}{\omega C}}}$$

$$\boxed{I_{MAX,2} = \omega C\, U_{MAX,2} = \sqrt{\omega C\, P_{MAX2}}}$$

$$\omega_{1,2}: \; U_{MAX1} = U_{MAX,2}$$

$$\frac{U_N}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{P_{C,MAX}}{\omega_{1,2} \cdot C}} \Rightarrow f_{1,2} = \frac{P_{C,MAX2}}{\pi U_N^2 C} = \frac{P_{R,MAX}}{\pi \operatorname{tg}\delta\, U_N^2 C}$$

3) MAKS. STRUJA

$$I_{MAX,3}$$

$$U_{MAKS,3} = I_{MAKS,3} \cdot \frac{1}{C\omega}$$

$$P_{C,MAX} = \frac{I_{MAX,3}^2}{2\pi f_{2,3} \cdot C}$$

$$f_{2,3} = \frac{I_{MAKS,3}^2}{2\pi P_{C,MAX2} \cdot C}$$

SIGURNI RAD U IMP. REŽIMU

$$i = C \frac{du}{dt}$$

$$I_{MAX} = C \cdot \left(\frac{du}{dt}\right)_{MAX}$$

- upr. switcheri: velike i nagle promjene napona

PREGLED TEHNOLOGIJA KOND.:
MATERIJALI
IZVEDBE

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

- KERAMIČKI KONDENZATORI
  ε_r - visoke
- FOLIJSKI KONDENZATORI
  ε_r - preveliko, ali se S povećava
  - folije / film, velika površina
- ELEKTROLITSKI (tanak sloj Al, Ta oksida)

KERAMIČKI

TIP 1	TIP 2	~~TIP 3~~
- stalan TC	- promjenjiv TC	
P100 +100 ppm/°C	- piezoelektrični efekt	
→ NP0 0 ppm/°C		
C0G — // —		
N150 -150 ppm/°C		

KOND. V AOS:

1) NPO
2) - Folyshi, PC - polikarbonat
- polistiren
- polipropilen - za impulsni
- MICA - drahé, za VF

- dekalibrovaní napr. velé: kapacit. když je
na vyšším napětí na kapacita se sníží

BLOKADNI
- 10 uF - tantalov elekt.
- 100 uF - MLCC

KONDENZATORI

- pasivne komponente koje se u širem području frekvencija, napona i struja može aproksimirati s:

$$i = C \cdot \frac{du}{dt}$$

- većina značajki realnih kondenzatora proizlazi iz značajki dielektrika

KAPACITET:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \qquad C = 2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{d}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

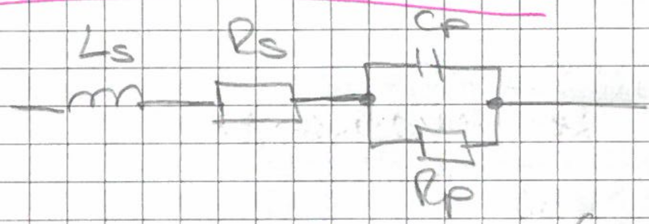
$$Q = C \cdot U$$

- najčešće upotrebljavani:
  - folijski
  - keramički
  - elektrolitski

- značajke kondenzatora:
  - kapacitet
  - radni napon
  - tolerancije
  - gubici
  - temp. područje primjene
  - otpornost na vlagu

- postizanje željenog iznosa kapaciteta:
  - → **FOLIJSKI** - imaju veliku površinu S, što se postiže namatanjem vodljivih traka i folije dielektrika na valjkasto tijelo
  - → **KERAMIČKI** - relativna dielektrična konst. ε_r je jako velika (>10000) te se s malim pločicama može stvoriti veliki kapacitet
  - → **ELEKTROLITSKI** - koriste okside metala visokog probojnog napona, pa se visok iznos kapaciteta može postići malim razmakom d

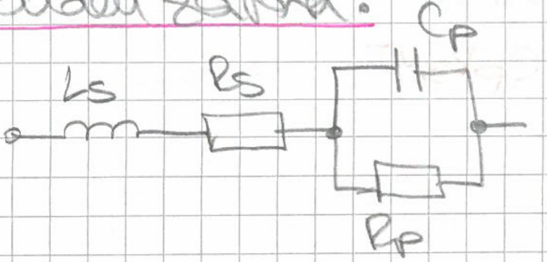
NADOMJESNA SHEMA



$$Z = R_S + j\omega L_S + \left(R_P \parallel \frac{1}{j\omega C_P} \right)$$

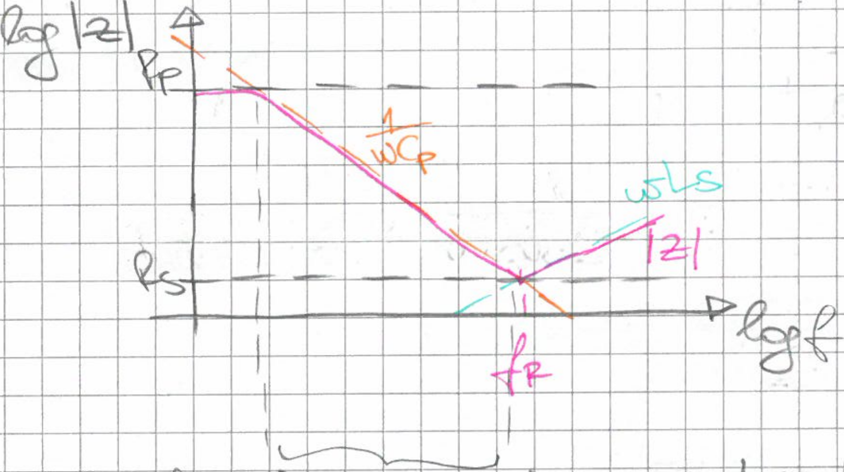
- **SERIJSKI OTPOR R_S:**
  - otpor izvoda kondenzatora
  - na najvišim frekvencijama postaje frekvencijski ovisan (skin effect)
- **SERIJSKI INDUKTIVITET L_S:**
  - induktivitet izvoda kondenzatora
- **PARALELNI OTPOR R_P:**
  - niske frekv.: konačni otpor izolacije
  - visoke frekv.: dielektrični gubici
  - naponska i frekv. ovisnost

- frekvencijska karakteristika impedancije kondenzatora:



$$Z = R_s + j\omega L_s + \frac{R_p}{1 + j\omega C_p R_p}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_s C_p}}$$

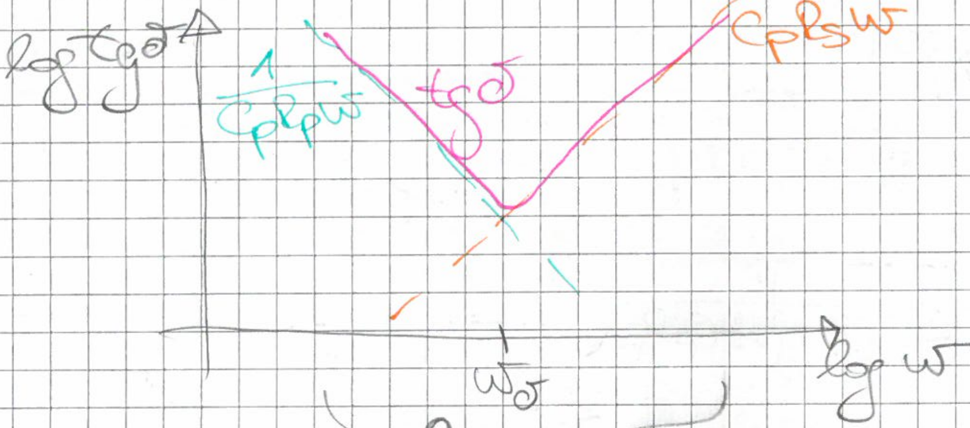


područje u kojem se kondenzator "ponaša" kapacitivno

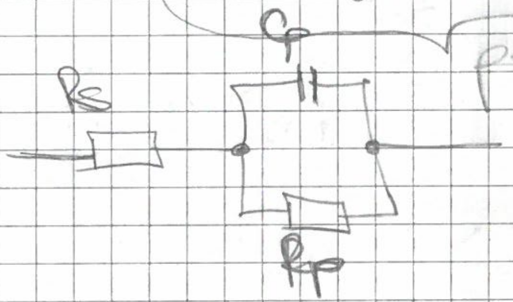
- za postizanje više rezonantne frekv. treba:
  - izvedbom smanjiti parazitni induktivitet (što kraće priključnice)
  - u drugom slučaju koristiti manje vrijednosti kapaciteta

- niža vrijednost kapaciteta → viša frekvencija samorezonancije

- frekvencijska karakteristika gubitaka kondenzatora



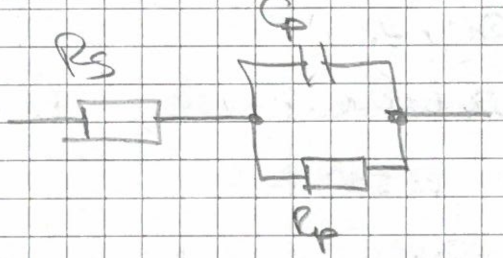
područje u kojem se kondenzator "ponaša" kapacitivno



$$\operatorname{tg}\delta = C_p R_s \omega + \frac{1}{C_p R_p \omega}$$

$$\omega_\delta = \frac{1}{C_p \sqrt{R_s R_p}}$$

GUBITCI KONDENZATORA



$$\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}(\delta_s) + \operatorname{tg}(\delta_p) = \omega R_s C_p + \frac{1}{\omega R_p C_p}$$

$$\operatorname{tg}(\delta_p) = \frac{1}{\omega R_p C_p}$$

$$\operatorname{tg}(\delta_s) = \omega R_s C_p$$

07.11.2016.

ZAVOJNICE - primjene

- usko frekv. područje
- pohrana električnog. energije

PARAMETRI KVALITETE ZAVOJNICE:

- vrijednost induktiviteta (točnost)
- frekvencijsko područje
- faktor kvalitete i njegova frekv. ovisnost
- omski otpor
- parazitni kapacitet

PARAMETRI KVALITETE JEZGRE:

- permeabilnost materijala

μ4 L4

- vršna permeabilnost (raste za zračni raspor jezgre)
- maksimalna i preporučena gustoća mag. toka kroz jezgru
- remanentni (preostali) magnetizam
- frekvencijsko područje jezgre
- radna temp. / temp. područje

PRORAČUN INDUKT.:

- empirijski izrazi
- numerički proračun (FEM - finite element method)
- analitički proračun

KONSTRUKCIJA

→ zavojnica sa zračnom jezgrom

→ zavojnica sa feromag. jezgrom

Z. S ZRAČNOM JEZGROM

(AIR COIL)

- $\mu_R = 1$
- mali gubici
- mali induktivitet (max. 100 μH – 1 mH)
- velike dimenzije
- OK na visokim frekvencijama – VF

  ~10 – 100 MHz

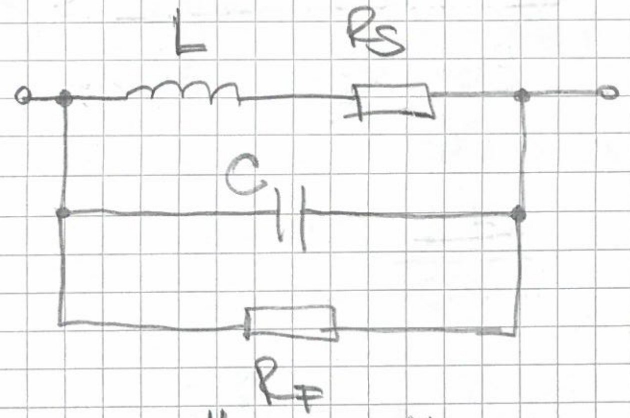
Z. S FEROMAG. JEZGROM

$\mu_R \gg 1$ (~1000 i više)

- manje dimenzije
- veći induktivitet (~1 H)
- jezgra unosi gubitke dodatne
- parametre jezgre je teško kontrolirati

  ↳ posljedica: veće tolerancije

nadomjesna shema:



R_S - gubici u namotajima

R_F - gubici u jezgri

C - parazitni kapacitet

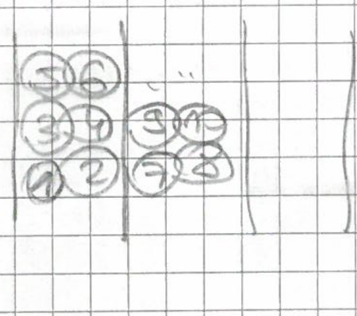
- KAPACITET IZMEĐU ZAVOJA
- KAPACITET IZMEĐU SLOJEVA
- KAPACITET IZMEĐU ZAVOJA I JEZGRE

- namotanje radi smanjivanja C, podizanje rez. frekv.:

LAYER WINDING (SLOJEVITO NAMATANJE)

BANK WINDING

NAMATANJE U VIŠE GRUPA



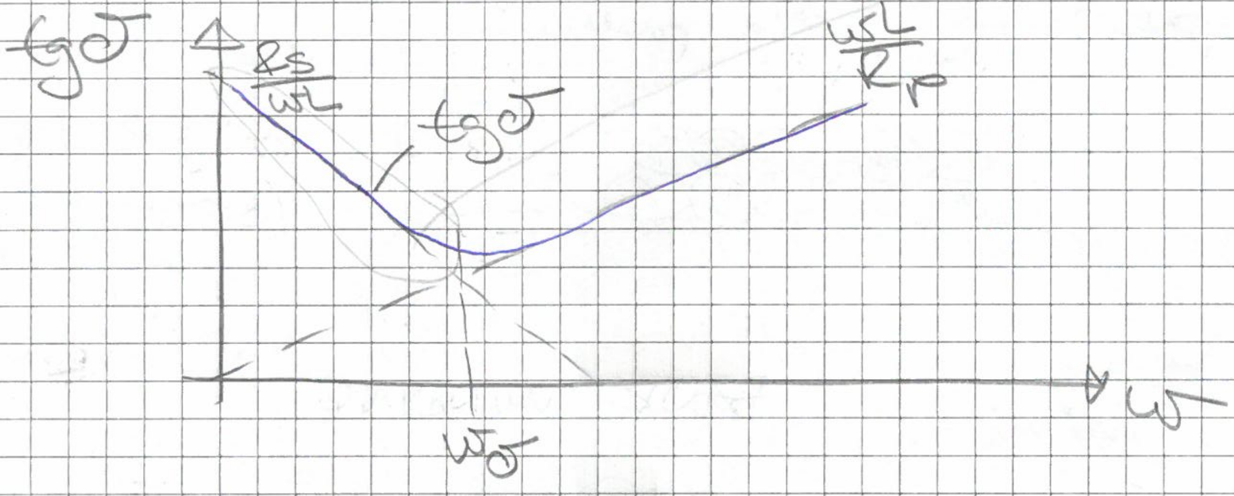
$$Z = \frac{(R_s + j\omega L)\cdot R_p}{R_s + R_p + j\omega L} = \dots$$

— za $f_{ekv.}$ níže ∞

$$f_{ez} = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\dots = \underbrace{\frac{(R_s + R_p)\cdot R_s R_p + \omega^2 L^2 R_p}{(R_s + R_p)^2 + \omega^2 L^2}}_{ESR} + j\omega L \cdot \frac{R_p^2}{(R_s + R_p)^2 + \omega^2 L^2}$$

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{Re(Z)}{Im(Z)} = \left| R_s \ll R_p \right| = \frac{R_s}{\omega L} + \frac{\omega L}{R_p}$$



$$\omega_\delta = \frac{\sqrt{R_s R_p}}{L}$$

→ bylo velké!

— pa je obtížné konstruují pod dto

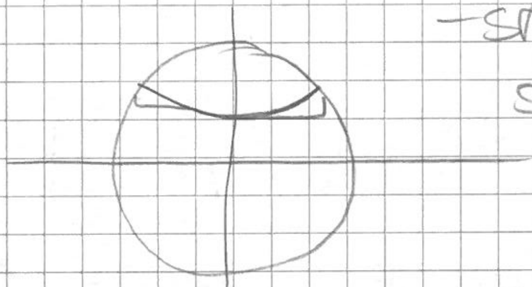
$$Q = \frac{\text{POHRANJENA ENE.}}{\text{DISIPIRANA}} = \frac{\mathrm{Im}(Z)}{\mathrm{Re}(Z)} = \frac{1}{\operatorname{tg}\delta}$$

za dominantan R_S

$$Q = \frac{\omega L}{R_S}$$

GUBICI

- omski otpor žice, $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$
- skin efekt
  - struja ne prodire skroz u unutrašnjost vodiča



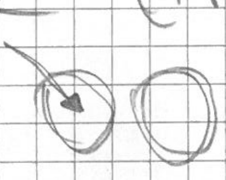
$$J = J_S \exp\left(-\frac{d}{\delta}\right)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu_r \sigma}}$$

$$R = \rho \frac{l}{\pi R^2 - \pi (R-\delta)^2} = \rho \frac{l}{\pi (2R\delta - \delta^2)} = \rho \frac{l}{2\pi R \delta}$$

$$R \propto \sqrt{\omega}$$

- efekt blizine (PROXIMITY)

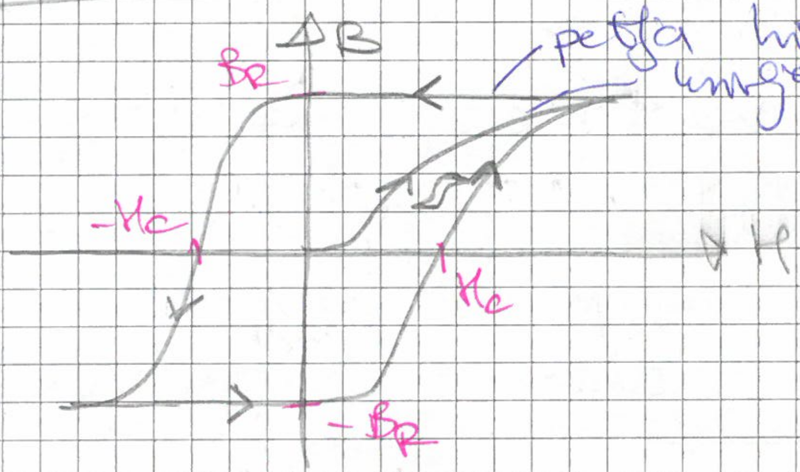


$\uparrow \sqrt{\omega}$

– gubitci u dielektriku , ↑ ω^3

– gubitci zbog feromag. pojave (histereze) , ↑ ω

ZAVOJNICE S JEZGROM



INKREMENTALNA P. $\mu_{R,in.} = \frac{\Delta B}{\Delta H}$

REVERZIBILNA PERM. $\mu_R = \frac{dB}{dH}$

– ako B & H nisu u fazi
→ μ_R imaginaran

FERITNE JEZGRE, (100 MHz)

(Fe_2O_3) VZ

DODATAK OKSIDA:

MnZn	NiZn
- visoka perm.	- niža perm.
- gubici rastu brzo s frekv.	- gubici prihv. do 100 MHz
- velika diel. konst.	- veći otpor
- dobri su za niže frekv.	- veća Curiejeva temp.

SINTERIRANI ŽELJEZNI PRAH (Fe)

- mala vodljivost (male vrtložne struje)
- mala permeabilnost (~30 - 100)
- teško dovesti u zasićenje
- vremenski stabilne
- do nekoliko 100 Hz

LIMOVI

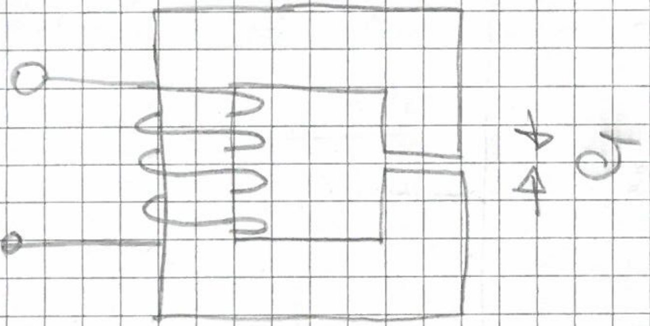
- NF primjene
- transformatori
- laminirani (smanjuje gubitke vrtložnih struje)

PLETENI VODIČ (LICNA, LITZENDRAHT)

isprepletene žice, međusobno izolirane

- ŠUPLJI VODIČI
- PLOSNATI VODIČI

Smanjivanje vrtložnih struje



AMPEROV ZAKON $\oint H\, dl = NI$

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

$$\oint \frac{1}{\mu_0 \mu_r(l)} \cdot B\, dl = NI$$

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

$$\frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{1}{S} \cdot \cancel{\Phi} \cdot \oint \frac{1}{\mu_r(l)}\, dl =$$

$$= \frac{\Phi}{\mu_0 S}\left(\frac{l_m}{\mu_r} + \delta\right) = NI$$

$$= \frac{N^2 \cancel{\Phi}}{L}$$

$$\Rightarrow \quad L = \frac{\mu_0 N^2 S}{\frac{l_m}{\mu_r} + \delta} = \frac{\mu_0 N^2 S}{\delta}$$

$$= \frac{\mu_0 S}{\delta} \cdot N^2$$

INDUKTIVITET PO JEDINIČNOM ZAVOJU

- definiše ga proizvođač

$$L = A_L \cdot N^2$$

$$[nH / zavoj^2]$$

PRIMJENE:

- UGOĐENI KRUGOVI (OSCILATORI, TUNED CIRCUITS)
- IZVORI NAPAJANJA (DC-DC)
- POTISKIVANJE SMETNJI

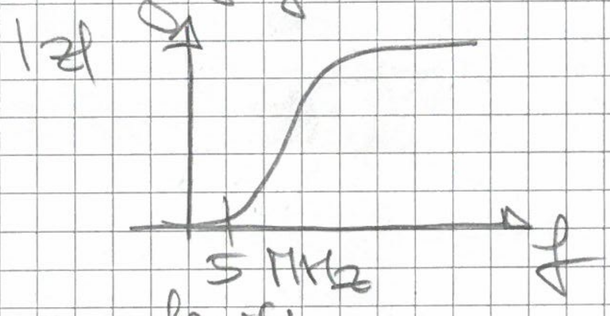
- UGOĐENI KRUGOVI: - točni induktiviteti
  - visoki Q (faktor kvalitete)
  - male struje, zasićenje i histereza nisu bitni

$f < 1\,MHz$ FERITI

$f > 1\,MHz$ ŽELJEZNI PRAH

- IZVORI NAPAJANJA: - točnost manje bitna
  - bitna je mogućnost spremanja energije
  - $LI^2 \rightarrow$ veliko zasićenje
  - skup radi na VF
  - MnZn FERITI s rasporom
  - željezni prah

- POTISKIVANJE SMETNJI: - veliki gubitci u jezgri poželjni
  - gušenje VF smetnji

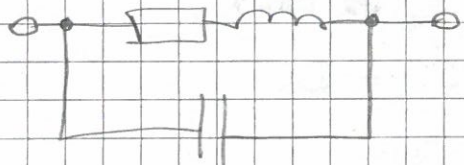


- BEAD, CHOKE

- feriti

AUDITORNE 1

1.1.



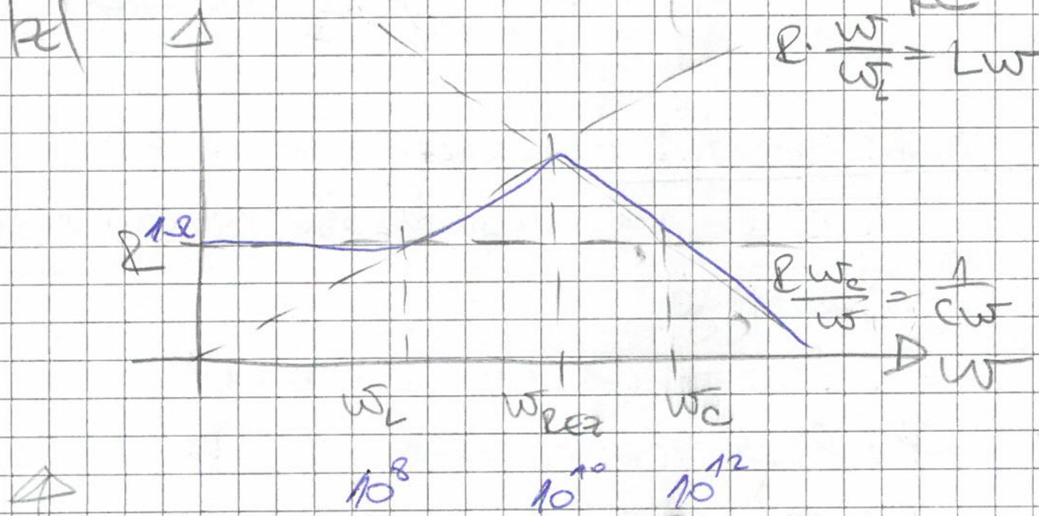
$$Z = \frac{(R + j\omega L)\cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = R \cdot \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_L}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_{Rez}^2} + j\frac{\omega}{\omega_C}}$$

$$\omega_L = \frac{R}{L}$$

$$\omega_{Rez} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega_C = \frac{1}{RC}$$

$$R \cdot \frac{\omega}{\omega_L} = L\omega$$



a) $R = 1\ \Omega$, $\omega_L = 10^8\ s^{-1}$

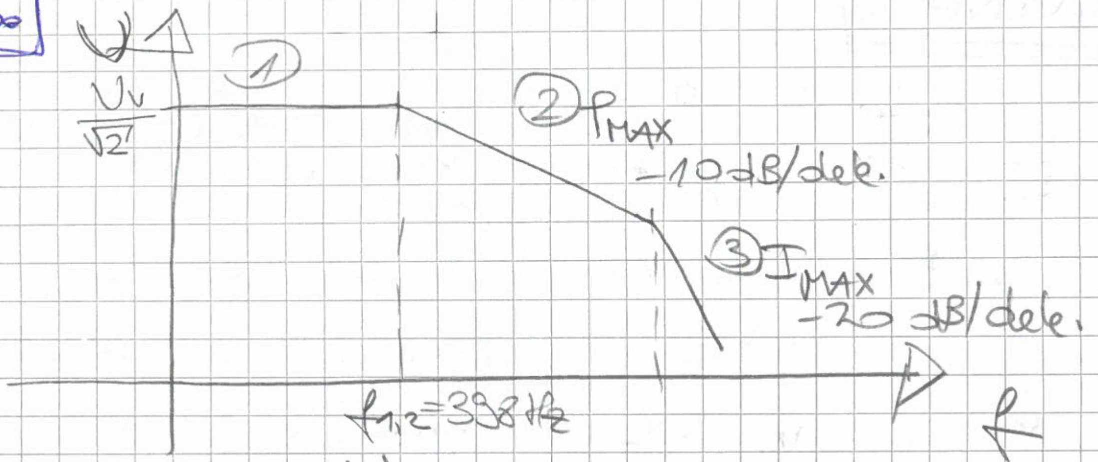
$\omega_R = 10^{10}\ s^{-1}$

$\omega_C = 10^{12}\ s^{-1}$

$$|Z(\omega_R)| = R \cdot \frac{\frac{\omega_R}{\omega_L}}{\frac{\omega_R}{\omega_C}} = \cancel{R} \cdot \frac{\frac{1}{\cancel{R}C}}{\frac{\cancel{R}}{L}} = \frac{L}{RC}$$

$$= 10\ k\Omega$$

1.3a)



1 $\quad U_1 = \frac{U_N}{\sqrt{2}}$

2 $\quad P_{MAX} = Q \cdot tg\sigma = \frac{U_2^2}{\frac{1}{2\pi f C}} \cdot tg\sigma$

$$U_2 = \sqrt{\frac{P_{MAX}}{2\pi f C \cdot tg\sigma}}$$

$$f_{1,2} = \frac{P_{MAX}}{\pi C \, tg\sigma \cdot U_N^2} = 398 \text{ Hz}$$

3 $\quad f_{2,3} \Rightarrow I_{MAX} = \frac{U_3}{\frac{1}{2\pi f C}}$

$$U_3 = \frac{I_{MAX}}{2\pi f C}$$

$$f_{2,3} = \frac{I_{MAX}^2 \cdot tg\sigma}{2\pi C \cdot P_{MAX}}$$

$\Rightarrow \quad U_2(f_{2,3}) = U_3(f_{2,3})$

$$f_{2,3} = 796 \text{ Hz}$$

!

20 kHz − u području 3

$$U(f = 20 \text{ kHz}) = U_3(f = 20 \text{ kHz}) = \frac{I_{MAX}}{2\pi f \cdot C}$$

AUDITORNE 1

1.1. Skicirati u log. mjerilu ampl.-frekv. i fazno-frekv. karakteristiku impedancije dvaju metaloslojnih otpornika otpora 1 Ω i 10 kΩ, proizvedenih istim tehnološkim postupkom uz iste geometrijske parametre (L=10 uH, C=1 pF). Odredite sve lomne koordinate te jedn. nagiba po odsječcima. Za oba otpornika ostati (zasebne) karakteristike u istom koordinatnom sustavu.

$L = 10\ uH$

$C = 1\ pF$

a) $R = 1\ \Omega$; b) $R = 10\ k\Omega$

$$Z = \frac{(R + j\omega L)\cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$= \frac{(R + j\omega L)\cdot \frac{1}{\cancel{j\omega C}}}{\frac{j\omega C(R + j\omega L) + 1}{\cancel{j\omega C}}}$$

$$= \frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 CL + j\omega CR}$$

$$= R \cdot \frac{1 + j\omega \frac{L}{R}}{1 - \omega^2 CL + j\omega CR}$$

$$= R \cdot \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_L}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_{REZ}^2} + j\frac{\omega}{\omega_C}}$$

$\omega_L = \frac{R}{L}$

$\omega_{REZ}^2 = \frac{1}{CL}$

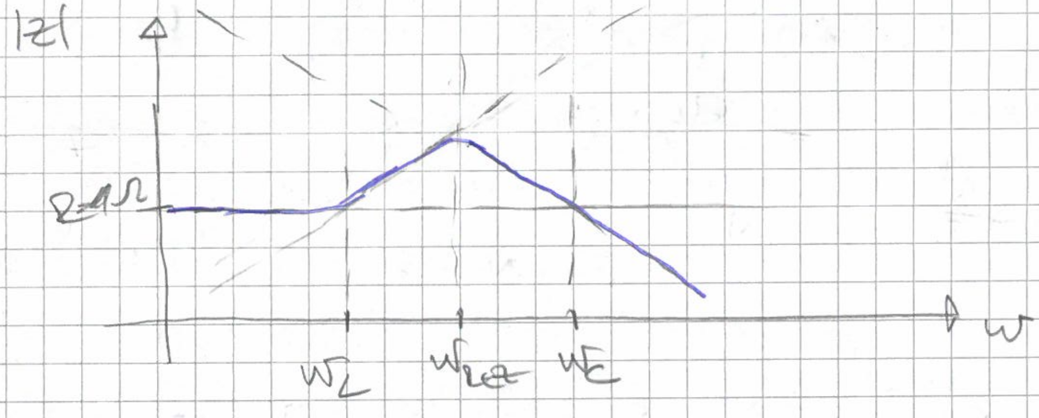
$\omega_{REZ} = \frac{1}{\sqrt{CL}}$

$\omega_C = \frac{1}{CR}$

$\omega_L = 10^{8}\ s^{-1}$

$\omega_{REZ} = 10^{10}\ s^{-1}$

$\omega_C = 10^{12}\ s^{-1}$

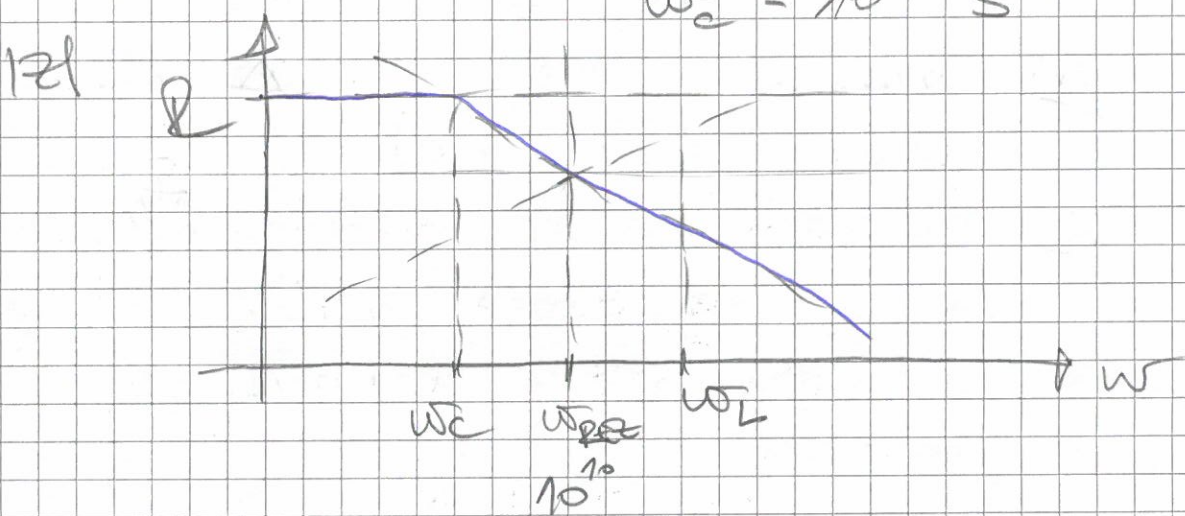


$|Z(\omega_{REZ})| = 10\ k\Omega$

b) $R = 10\ k\Omega \rightarrow \omega_L = 10^{12}\ s^{-1}$

$\omega_{REZ} = 10^{10}\ s^{-1}$

$\omega_C = 10^{8}\ s^{-1}$



1) $\omega < \omega_C \Rightarrow Z = R$

2) $\omega > \omega_C \Rightarrow Z = \frac{1}{j\omega C}$

3) $\omega = \omega_{REZ} \Rightarrow Z = R \cdot \frac{1 + \cancel{\frac{\omega_{REZ}}{\omega_L}}}{j\frac{\omega_{REZ}}{\omega_C}} \Rightarrow \frac{1}{j\omega C}$ zan.

4) $\omega > \omega_R \Rightarrow Z = \frac{1}{j\omega C}$ $\left(\frac{RC}{L} \ll \omega C\right)$

1.2.) Metaloslojni otpornici proizvedeni istim tehnološkim postupkom imaju parazitni induktivitet 10 nH. Najšire radno frekvencijsko područje imaju otpornici otpora 500 Ω.

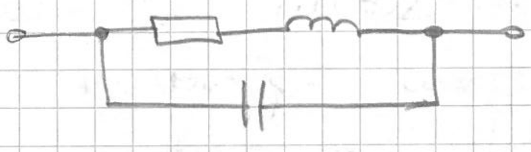
a) nacrtajte frekvencijsku nadomjesnu shemu otpornika i izračunajte vrijednosti svih elemenata

b) izračunajte maks. radnu frekv. otpornika otpora 1 Ω pri kojoj fazni kut impedancije ne prelazi 45°

c) skicirajte frekv. ovisnost modula impedan. u log. mjerilu za slučaj b)

d) označite vrijednosti svih karakt. točaka frekv. iz c)

e) izračunajte maks. radnu frekv. za otpornik otpora 1 MΩ koji je proizveden istim tehnološkim postupkom



$R_{MAX,f} = 500\ \Omega$

a) $R_{MAX,f} = \omega L_S = \frac{1}{\omega C_P}$ $\Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{L_S C_P}$

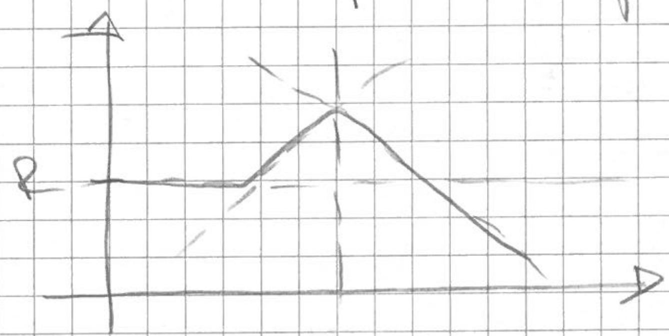
$L_S = 10\ \mu H$

$\Rightarrow \omega = 5 \cdot 10^{10}\ s^{-1}$

$\Rightarrow C_P = 0{,}04\ pF$

b)

c)



d) $R = 1\ \Omega = \omega L \Rightarrow \omega = 10^{8}\ s^{-1}$

$f_1 = 15{,}9\ MHz$

$f_2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} = 8\ GHz$

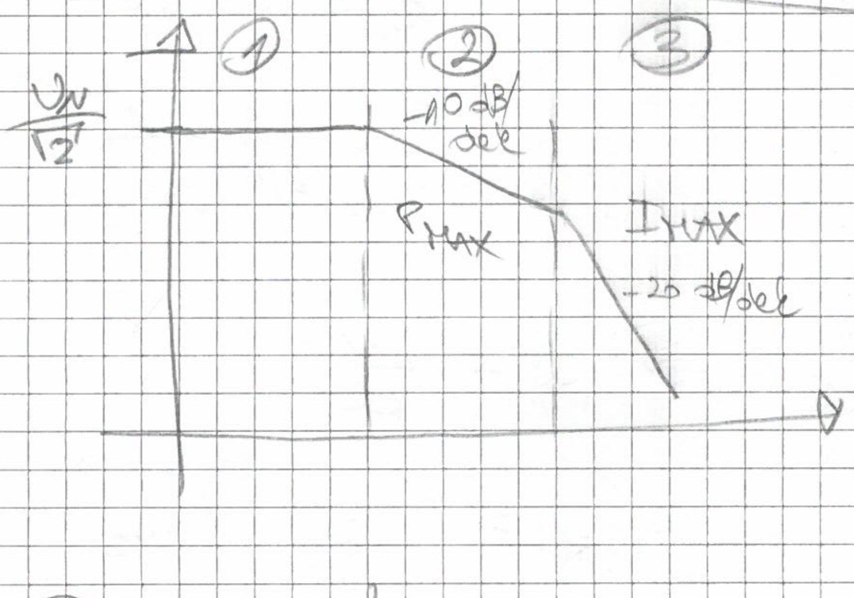
e) $R = 1\ M\Omega$

$R = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega = \frac{1}{RC}$

$f = 3{,}98\ MHz$

1.3. Odredite najveću dopuštenu efektivnu vrijednost (sinusnog) napona frekvencije 20 kHz na kondenzatoru kapaciteta 100 uF, ako mu je nazivni ("istosmjerni" -vremenski nepromjenjivi) napon 400 V, nazivna (najveća dopuštena radna) snaga 100 mW nazivna struja (najveća dopuštena ef. vrij.) 100 mA, a tangens kuta gubitaka (omjer radne i jalove snage) 0,005.
Nacrtajte naponsko-frekv. kar. tog kondenz.

$$f_{max} = 20 \text{ kHz}$$
$$C = 100 \text{ uF}$$
$$U_N = 400 \text{ V}$$
$$P_{MAX} = 100 \text{ mW}$$
$$I_{MAX} = 100 \text{ mA}$$
$$\text{tg}\,\delta = 0{,}005$$



① $U_1 = \dfrac{U_N}{\sqrt{2}}$

② $P_{MAX} = Q \cdot tg\,\delta = \frac{U_2^2}{\frac{1}{\omega C}} \cdot tg\,\delta$

$$\Rightarrow \quad U_2 = \sqrt{\frac{P_{MAX}}{2\pi f C \cdot tg\,\delta}}$$

$$f_{1,2} = 398 \text{ Hz}$$

③ $f_{2,3} \Rightarrow \quad I_{MAX} = \frac{U_3}{\frac{1}{2\pi f C}}$

$$U_3 = \frac{I_{MAX}}{2\pi f C}$$

$$f_{2,3} = \frac{I_{MAX}^2}{2\pi C} \frac{tg\,\delta}{P_{MAX}}$$

$$f_{2,3} = 796 \text{ Hz}$$

$$U_2(f_{2,3}) = U_3(f_{2,3})$$

$$U_2(f = 20 \text{ kHz}) = U_3(f = 20 \text{ kHz}) = \frac{I_{MAX}}{2\pi f C}$$

14.11.2016.

Aktivne elektroničke komponente

- dioda, tranzistor, tiristor, trijak, dijak, ...

IGBT

→ ISOLATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR

- vrlo mali pad napona u vođenju
- velike gustoće struja u vođenju
- jednostavniji upravljački sklopovi
- široko sigurno radno područje

PREDNOSTI

NEDOSTACI:

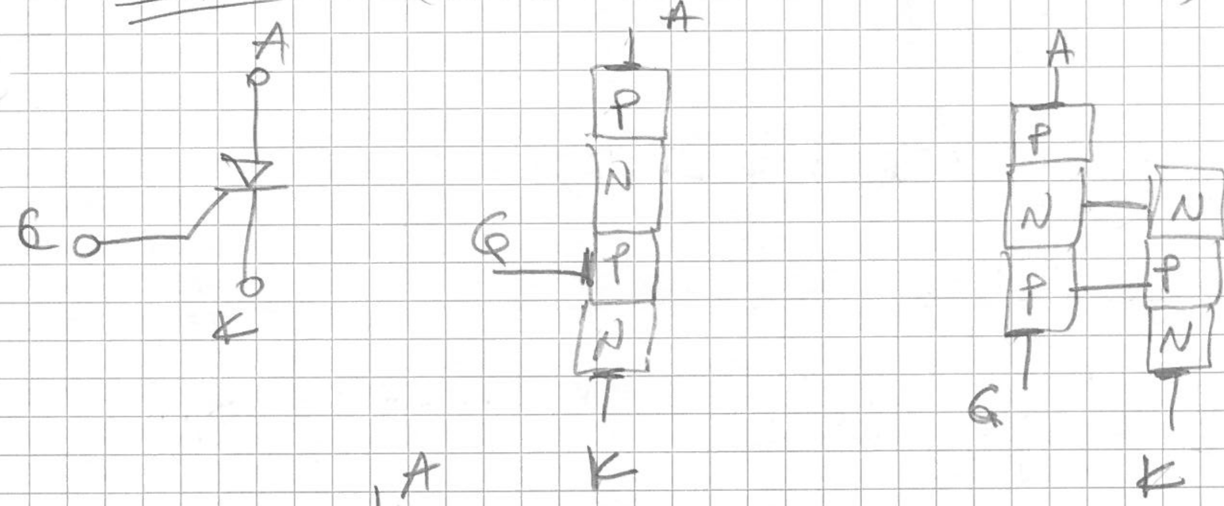
- brzine prebacivanja manje od mosfeta, veće od BT
- parazitna tiristorska struktura

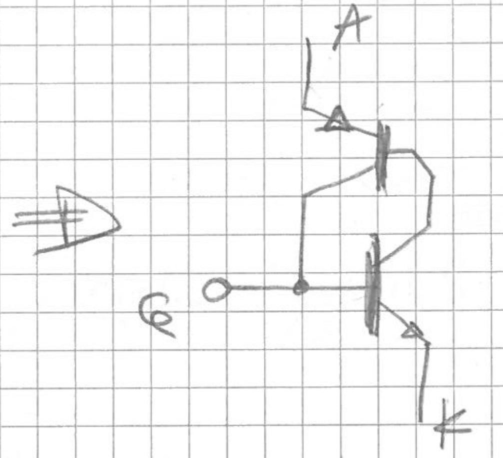
TIRISTOR - poluvodička sklopka (varij...

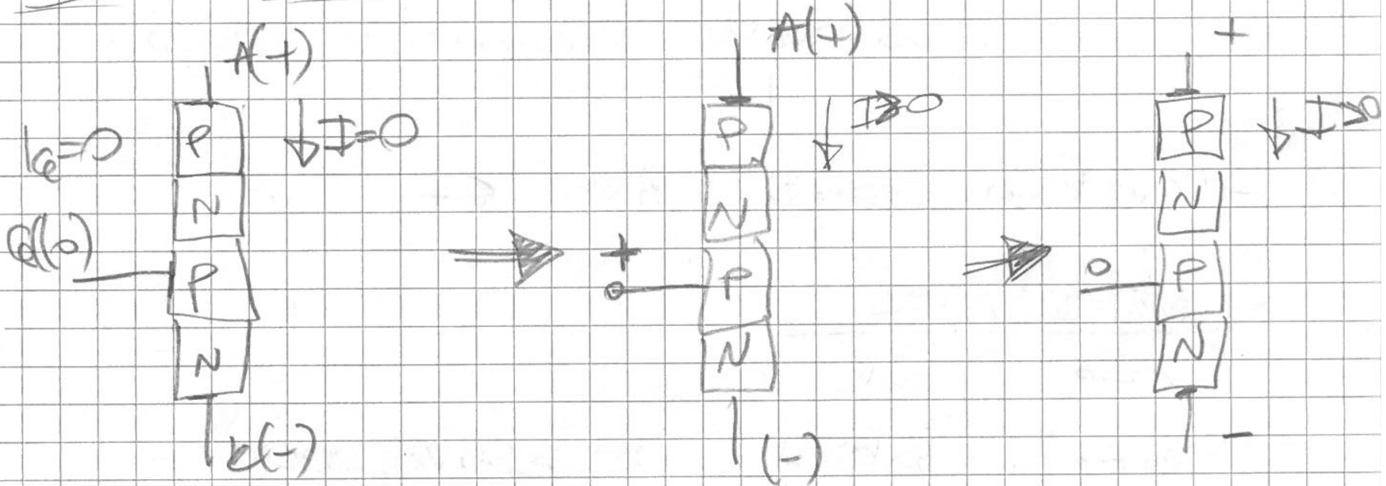
- SCR (silicon controlled rectifier)
- TRIAC (bidirectional triode thyristor)
- DIAC

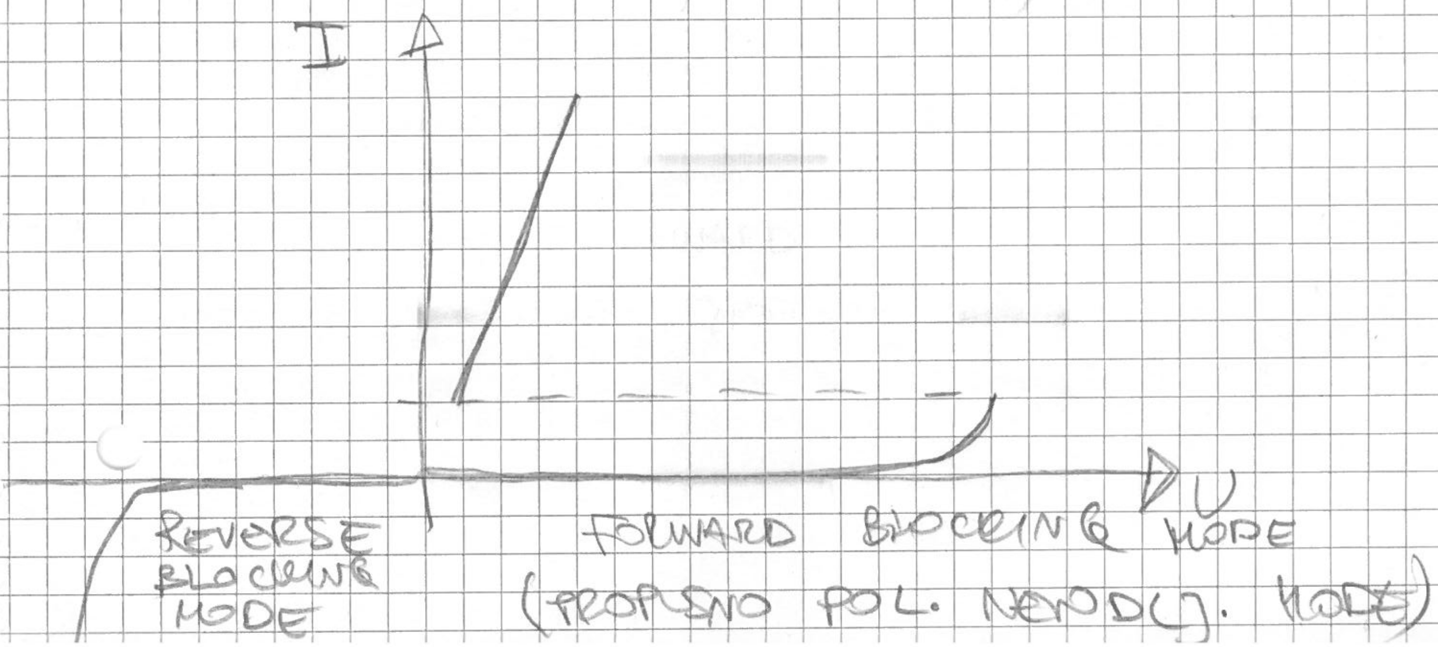
- varijante izvedbi diode (ispravljača) i sklopke

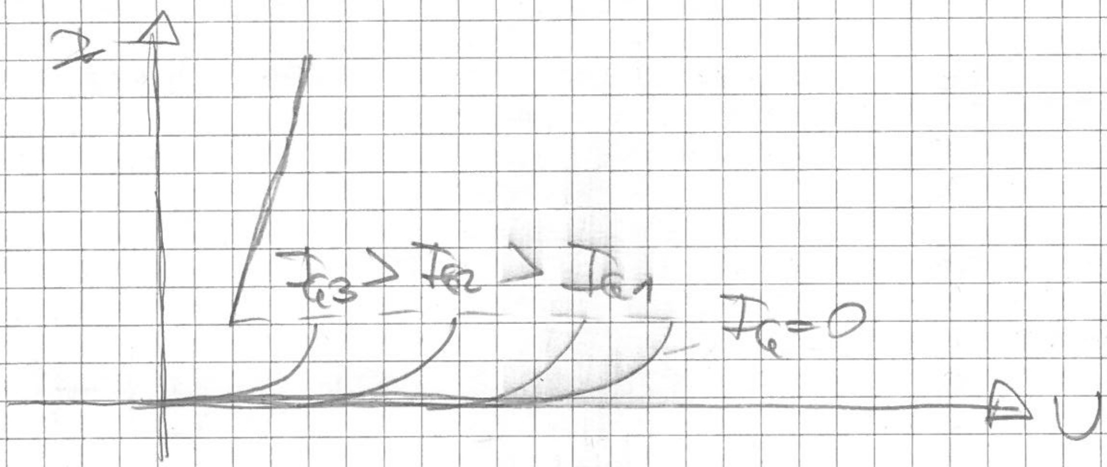
SCR (tiristor u užem smislu)











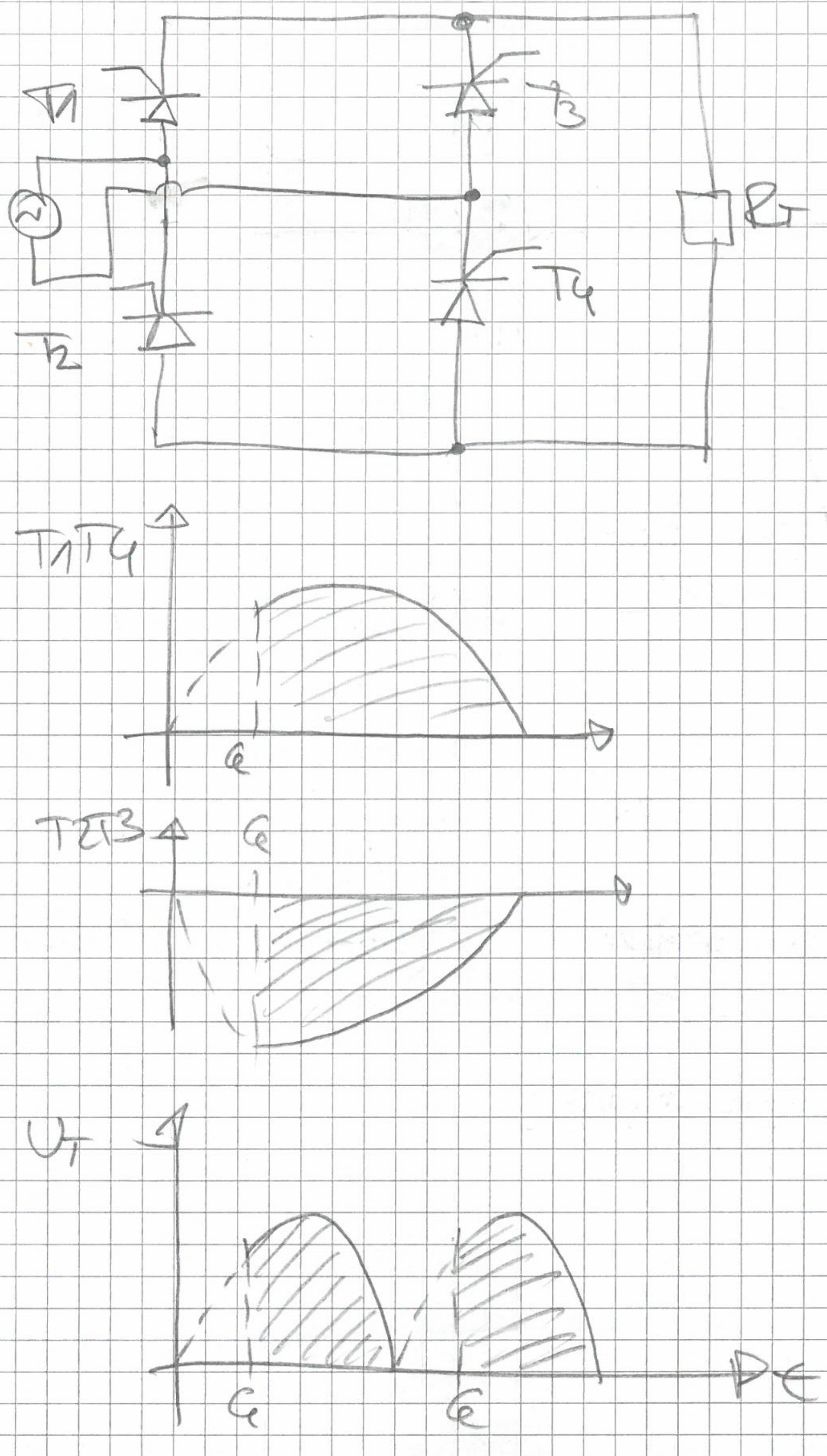
- 2 spoja tranzistora PNP + NPN

- PALJENJE
  - pozitivan impuls na G
  - napon U_{AK} ≥ probojnog napona

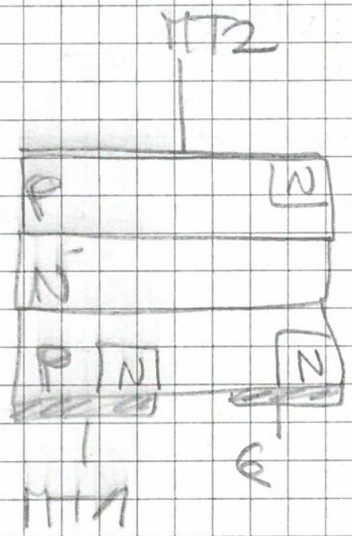
- GAŠENJE
  - smanjiti struju ispod minimalne (holding current, struja održavanja)
  - kratko spojiti A i K

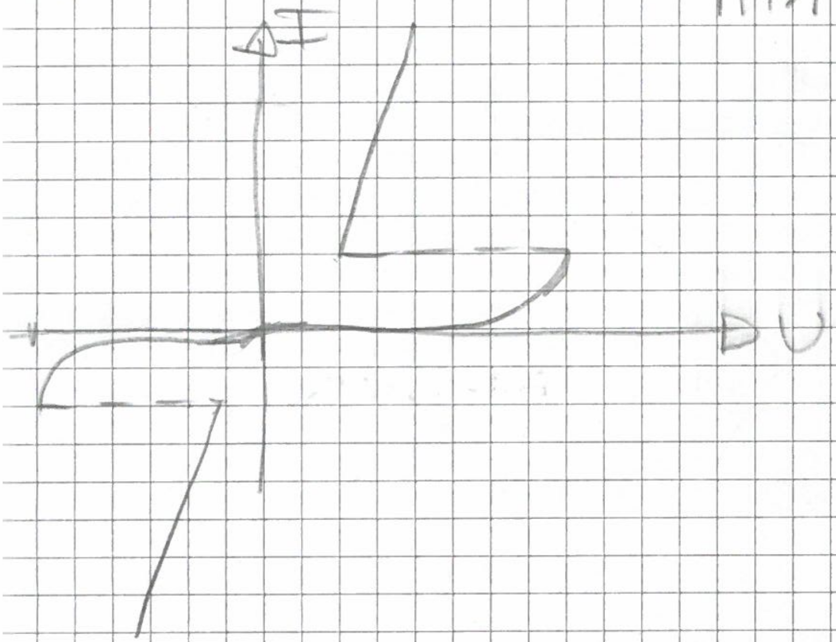
- TRANZISTOR
  - brže prekapčanje
  - manji gubici u prekapčanju

πλήρης ανόρθωση



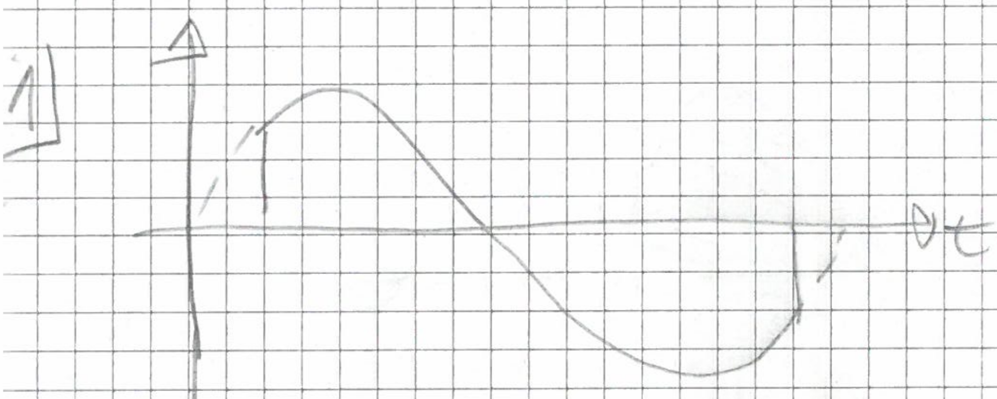
TRIAC (TRIJAK)





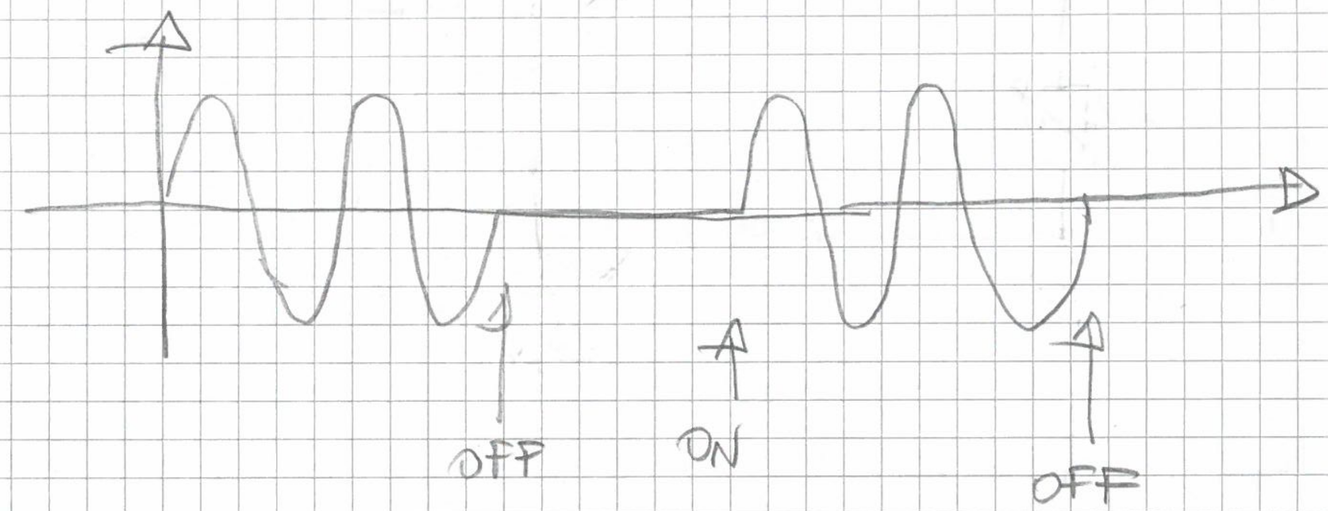
- dva antiparalelno spojena tiristorja
- polvodniška struktura

FAZNO UPRAVLJANJE



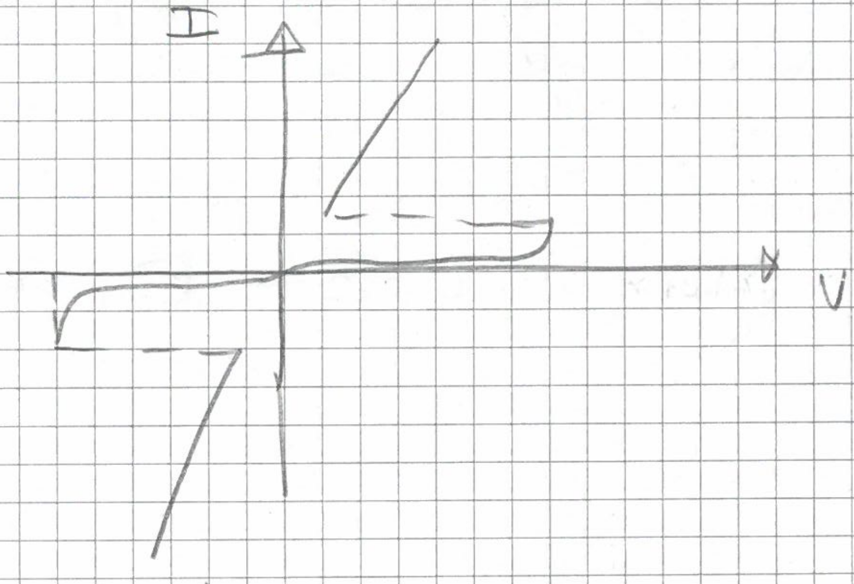
GENERIRA EM SMETNJE

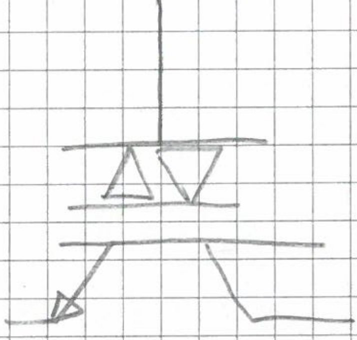
2| PREKLAPANJE U NULI (ZERO POINT SWITCHING)

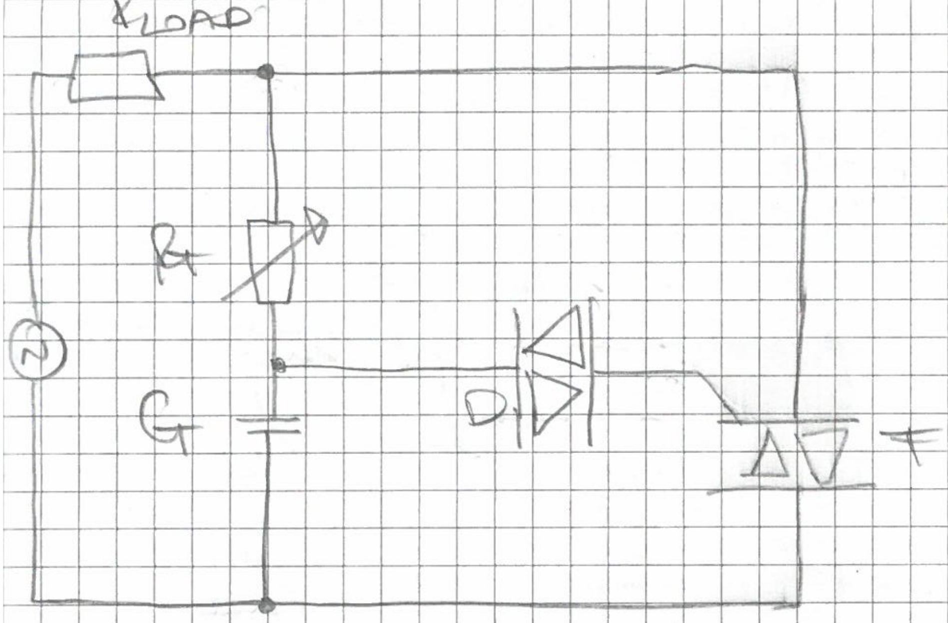


DIAC (DIJAK)

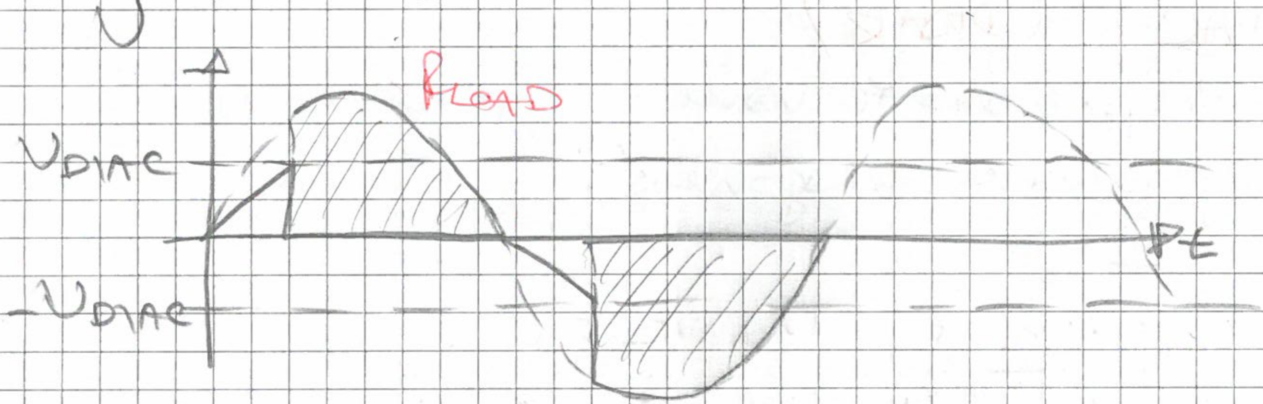
- ventil, bidirekcionalni, primjena u izmjeničnim krugovima







$R_{LOAD} \ll R_T$



- dijak pali trijak ; [illegible] – R_T, C_T konst

Mjerne metode

- DUT - device under test

a) serijski C ⇒ { - Wienov most
b) paralelni C   - za C s malim
c) serijski L   gubitcima
d) par. L

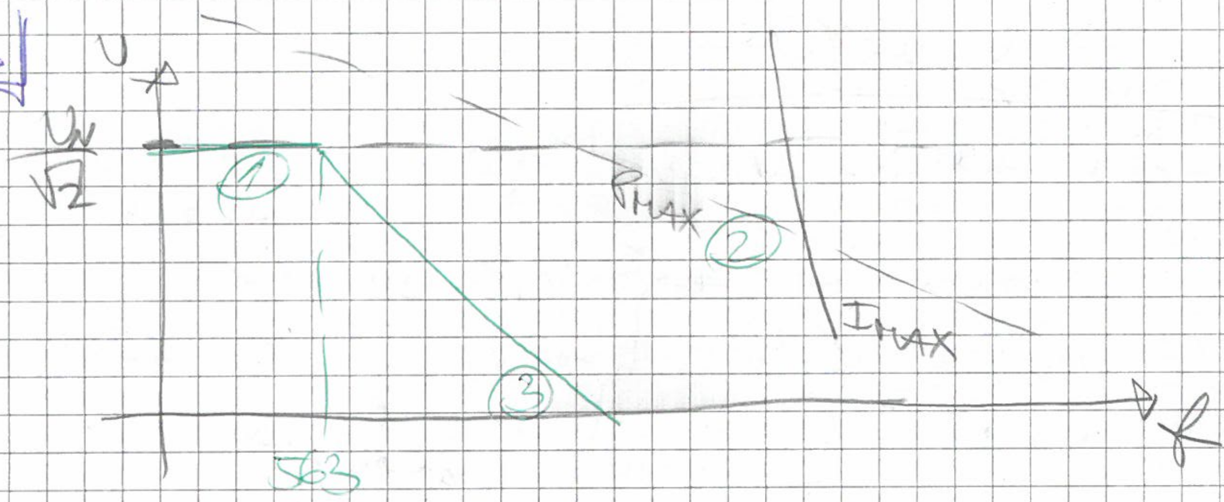
---

b) za C s velikim gubitcima
c) Maxwellov most
- zavojnice s malim Q
d) Hayov most
- zavojnice s velikim Q

IMPEDANCIJSKA SPEKTROSKOPIJA

- mjerenje impe. u ovisnosti o f

1.4.



$$\frac{V_N}{\sqrt{2}} = \frac{I_{ef}}{2\pi f_{13} \cdot C} \Longrightarrow f_{13} = \frac{\sqrt{2}\, I_{ef}}{2\pi V_N C}$$

$$= 563 \text{ Hz}$$

$$f_{12} = \frac{P}{\pi C \cdot tg\delta\, V_N^2} = f_{13}$$

$$\longrightarrow P = f_{13}\, \pi C\, tg\delta\, V_N^2 = 0{,}141 \text{ W}$$

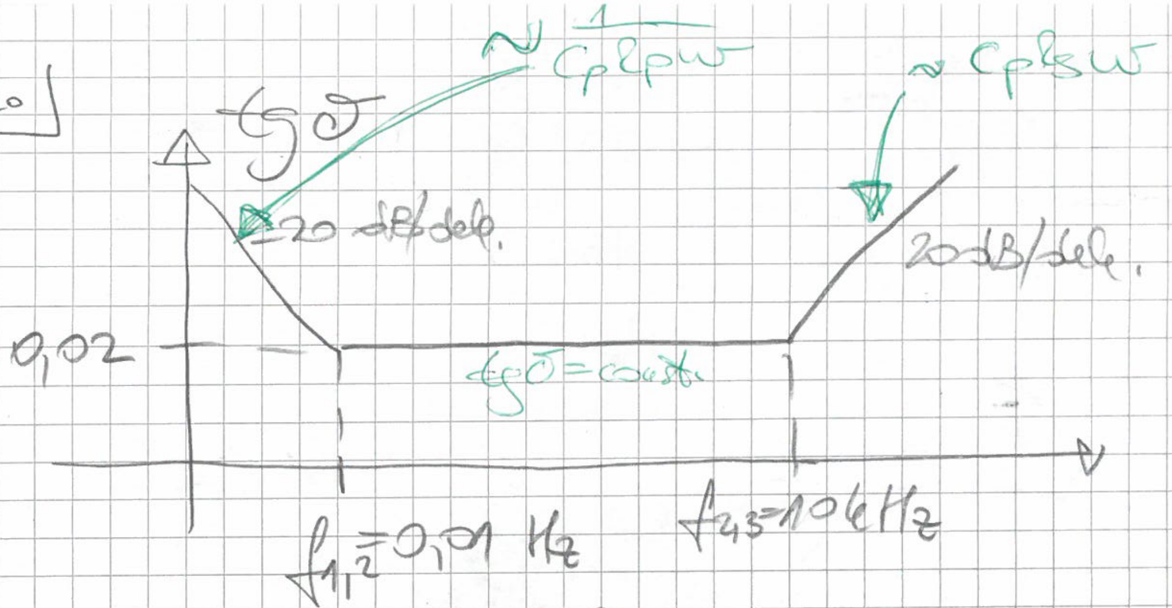
2-1) $f_{12} = 20{,}05$ kHz

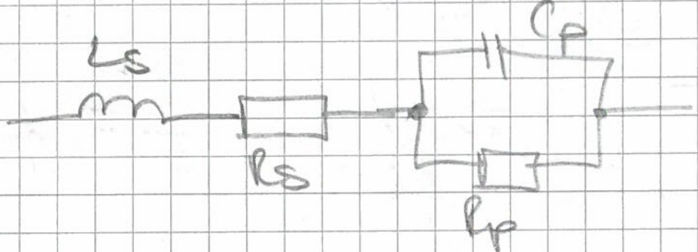
$f_{13} = 17{,}86$ kHz

$f = 50\text{kHz} > f_{13} \longrightarrow 3$

$$V_3 = \frac{I}{2\pi f C} = 159{,}2 \text{ V}$$

2020





$$\mathrm{tg}\,\delta = C_p R_S \cdot \omega + \frac{1}{C_p R_p \cdot \omega}$$

$$C_p \cdot R_S \cdot 2\pi f_{23} = 0{,}002 \longrightarrow R_S = 0{,}318\ \Omega$$

$$\frac{1}{C_p R_p 2\pi f_{12}} = 0{,}002 \longrightarrow R_p = 7{,}96 \cdot 10^{10}$$

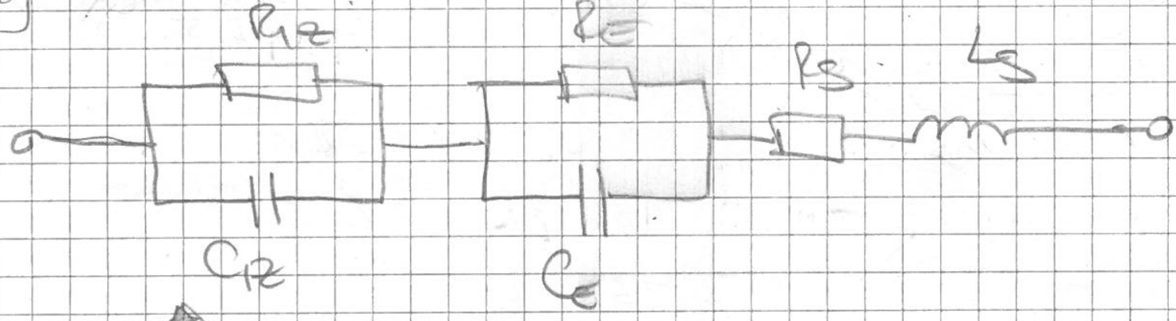
$$\omega_{REZ} = \frac{1}{\sqrt{L_S C_p}}$$

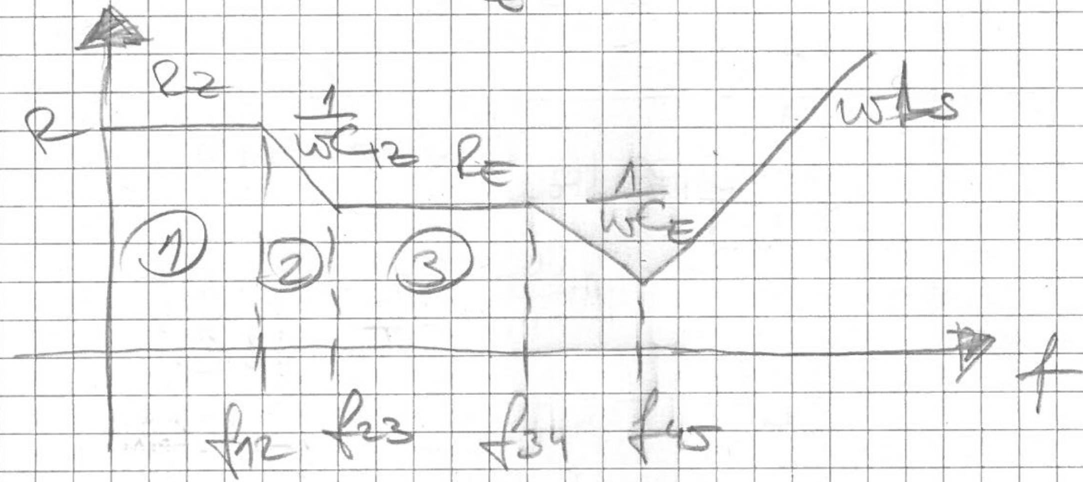
$$f_{REZ} = 0{,}01\ \mathrm{Hz}$$

$$L_S = 3{,}35\ \mu H$$

$$\tau = R_p C_p = 7958\ s$$

2.3.





$$\tau = R \cdot C \longrightarrow R = \frac{\tau}{C} = 1{,}82\ M\Omega$$

$$f_{12} \longleftarrow R = \frac{1}{2\pi f_{12} C} \quad , \quad f_{12} = 40\ \mu Hz$$

$$f_{23} \longleftarrow \frac{1}{2\pi f_{23} C} = R_E \quad , \quad f_{23} = 361{,}7\ Hz$$

$$\frac{1}{2\pi f_{34} C_E} = R_E \quad ; \quad C_E = ?$$

$f_{34} = 1{,}2\ MHz$ $\quad C_E = 633\ nF$

$$f_{45} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L_S C_E}} = f_{RES}$$

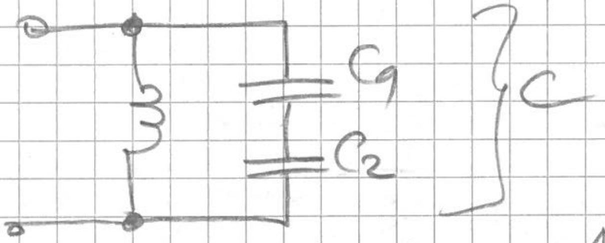
2.4.

$L = 100\ \mu H$

$\alpha_L = 18\ ppm/°C$

$\alpha_{C1} = 0\ ppm/°C$

$\alpha_{C2} = -100\ ppm/°C$



$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- kombiniramo da pridobimo temp. koef.

$$\alpha_L = \frac{dL(T)}{dT} \cdot \frac{1}{L(T_0)}$$

$$L(T) = \alpha_L \cdot \overset{(T-T_0)}{\Delta T} \cdot L(T_0) + L(T_0)$$

$$d f_{rez} = \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}^3} \cdot dL$$

$$+ \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}^3} \cdot dC$$

$$\frac{d f_{rez}}{f_{rez}} = -\frac{1}{2} \frac{dL}{L} - \frac{1}{2} \frac{dC}{C} = \emptyset$$

$$\frac{dL}{L} = -\frac{dC}{C} \Rightarrow \frac{1}{L} \frac{dL}{dT} = -\frac{1}{C} \frac{dC}{dT}$$

$$\frac{dC}{dT} = -\frac{C}{L} \cdot \frac{dL}{dT}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow C = 18\ \mathrm{nF}$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$\frac{1}{C_1} \cdot \frac{dC_1}{dT} = \alpha_{C_1} \quad , \quad \frac{1}{C_2} \cdot \frac{dC_2}{dT} = \alpha_{C_2}$$

$$dC = \frac{C_2(C_1 + C_2) - C_1 C_2}{(C_1 + C_2)^2} \cdot dC_1$$

$$+ \frac{C_1(C_1 + C_2) - C_1 C_2}{(C_1 + C_2)^2} \, dC_2$$

$$dC = \frac{C_2^{\,2}}{(C_1 + C_2)^2} \, dC_1 + \frac{C_1^{\,2}}{(C_1 + C_2)^2} \, dC_2$$

$$\frac{dC}{dT} = -\frac{C}{L} \cdot \frac{dL}{dT}$$

$$\frac{1}{C} \frac{dC}{dT} = \cancel{\frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{C_1} \frac{dC_1}{dT}} + \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{C_2} \frac{dC_2}{dT}$$

$$\Rightarrow \quad (\alpha_{C_1} = 0\ \mathrm{ppm}/°\mathrm{C})$$

TEORIJA

1) Navesti razliku između idealnih i realnih pasivnih komponenti.

- idealni elementi su linearni i vremenski nepromjenjivi
- realni elementi su podložni starenju te mijenjaju svojstva u ovisnosti o temperaturi i drugim vanjskim čimbenicima
- realne komponente se ne mogu proizvesti tako da budu točno željene vrijednosti, nego je njihova stvarna vrijednost u nekom predviđenom intervalu (toleranciji)

2) Opisati Renardov niz te dati E12 primjer:

- nazivne vrijednosti pasivnih komponenti odrediti se prema Renardovom nizu opisanom izrazom:

$$N = a r^{n-1}$$

pri čemu je: N - nazivna vrijednost
a - prvi član niza
r - gustoća niza
$n = 1, 2, 3, \ldots$

primj. E12

$a = 1$

$r = \sqrt[12]{10}$

$n = 1, 2, 3, \ldots, 12$

$N = 1;\ 1,2;\ 1,5;\ 1,8;\ 2,2;\ 2,7;\ 3,3;\ 3,9;\ 4,7;\ 5,6;\ 6,8;\ 8,2$

3. Objasniti označavanje otpornika

- nazivne vrijednosti otpornika označavaju se bojama, pri čemu za EN niz:
  1. oznaka (boja) označava prvu znamenku
  2. oznaka drugu znamenku
  3. oznaka eksponent
  4. oznaka toleranciju

4. Nabrojati osnovne značajke pasivnih komponenti te ih ukratko objasniti.

STABILNOST – svojstvo komponente da zadrži vrijednost parametara unatoč utjecaju djelovanja na parametre, odnosno da nakon prestanka utjecaja poprimi jednaku vrijednost kao prije njegova nastanka

TEMPERATURNA OVISNOST – vrijednosti parametara elektroničkih komp. mijenjaju se s temp. budući da se mijenjaju svojstva materijala od kojih su komponente proizvedene

MAKSIMALNO OPTEREĆENJE – za pasivne komponente propisane su najveće (maksimalne) vrijednosti radnih napona, struje, snage i temp. koje te komponente ne smiju prijeći

OSTALE ZNAČAJKE:

- LINEARNOST – vrijedi do određene granice
- PROBOJNI NAPON – ako na kondenzator stavimo preveliki napon do proboja dielektrika i el. polje djeluje na građu otpornika
- VDR efekt – ovisnost o naponu kod otpornika
- TEMP. PODRUČJE – donja temp. granica $0 \div -55°C$, gornja $40 \div 350°C$
- VLAŽNOST – $50 \div 90$ %
- POUZDANOST – intenzitet kvara 0,1 do $10^7 / 10^9$ h

5 Kako se ispituje stabilnost i kako se izražava?

ISPITIVANJE STABILNOSTI – najčešće se provode ispitivanja:
- uz zadanu temp.
- uz ciklične promjene temp. (grijanje–hlađenje)
- pod utjecajem nuklearnog zračenja

IZRAŽAVANJE STABILNOSTI – stabilnost se izražava kao relativna promjena vrijednosti parametara u postocima (%) ili ppm (parts per million), u zadanom vremenskom razdoblju i zadanim uvjetima

6. Kako se iskazuje temp. ovisnost?

- relativne promjene iznosa iskazuju se kao temp. koeficijent, uglavnom u % ili ppm/°C
- temp. koef. dobro opisuje ovisnost samo ako je ona linearna

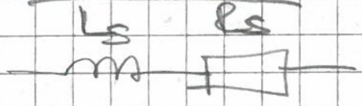
$$\alpha = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{T}$$

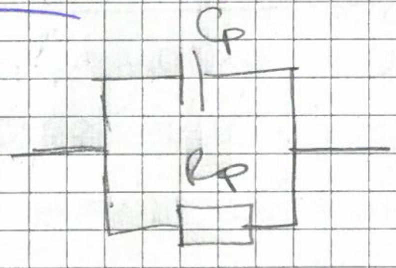
7. Zašto je važno navesti maksimalno opterećenje za pasivne komp.?

- maks. vrijednosti važne su za pojavu tranzijentnih pojava i u slučaju nastupanja kvara na nekoj drugoj komponenti

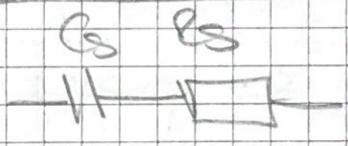
8. Nacrtati dvoelementne nadomjesne sheme pasivnih komponenti

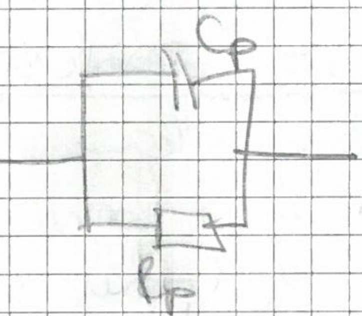
OTPORNIK



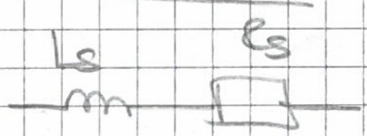


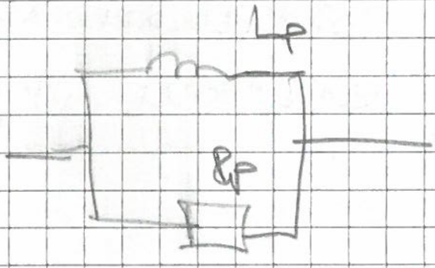
KONDENZATOR





ZAVOJNICA



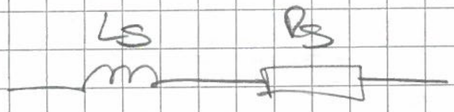


9. Što je faktor kvalitete Q i kako se definiše? Dati primjer za serijsku i paralelnu dvoelementnu shemu zamjene.

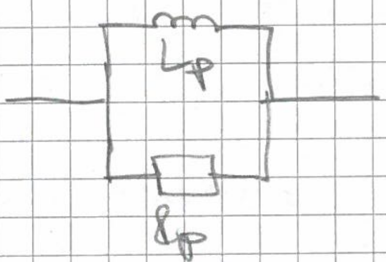
Q - faktor - (FAKTOR KVALITETE) - mjera za odstupanje od idealnih elemenata
- definiše se kao omjer jalove i radne (disipirane) snage na komponenti

primjer

$$Q = \frac{P_L}{P_R}$$



$$Q = \frac{I^2 \omega L_s}{I^2 R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s}$$



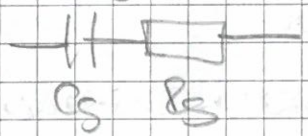
$$Q = \frac{\frac{U^2}{\omega L_p}}{\frac{U^2}{R_p}} = \frac{R_p}{\omega L_p}$$

10. Što je faktor disipacije D ili tangens kuta gubitaka tgδ i kako se definiše? Dati primjer za serijsku i paralelnu dvoelementnu shemu kond.

D - faktor - (FAKTOR DISIPACIJE) - kod kondenzatora se kao mjera odstupanja stvarnog elementa od idealnog definiše faktor disipacije D (tangens kuta gubitaka, tg δ):

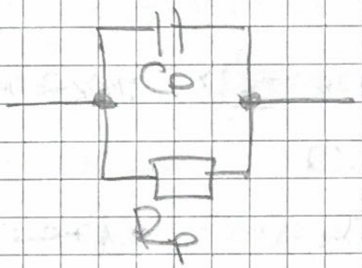
$$D = tg\delta = \frac{1}{Q}$$

Prim.) serijska dvoelementna shema kond.:



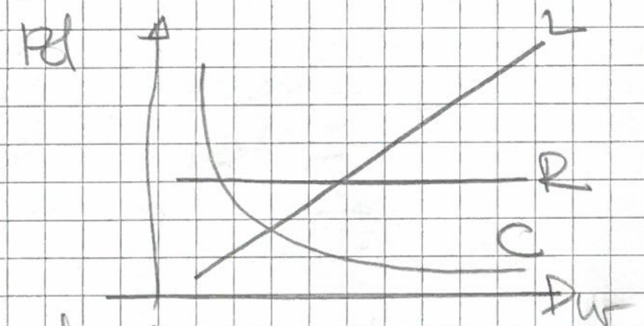
$D = \omega R_s C_s$

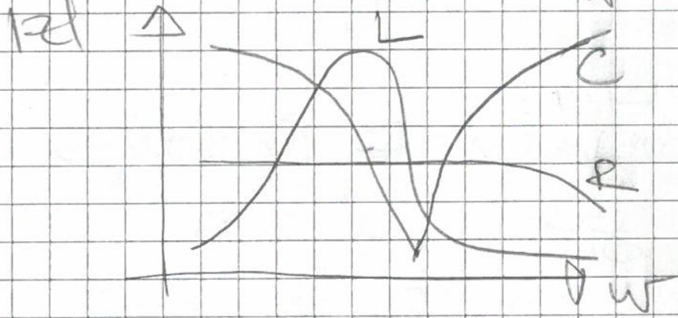
paralelna dvoelementna shema kond.:



$D = \frac{1}{\omega C_p R_p}$

(11) Nacrtati frekvencijsku ovisnost impedancije za idealne & realne komponente





(12) Nabrojati koje se otpornike poznaje

STALNI - ugljena masa
- slojni: - ugljeni
  - metal-film
  - metal-oksid
  - čip
- žičani

PROMJENJIVI – POLOŽAJNO – potenciometri

– TEMPERATURNO

+PTC (positive temp. coeff.)

–NTC (neg. temp. coefficient)

– NAPONSKI

–VDR (voltage dependent resistor)

– SVJETLOSNO

–LDR (light dependent res.)

(13) Nabrojati značajke otpornika i ukratko ih objasniti:

- RASPON VRIJEDNOSTI
- STABILNOST
- TOLERANCIJE
- NOMINALNE SNAGE
- VELIČINE
- MAKSIMALNI NAPON
- ŠUM
- LINEARNOST

(14) Opisati karakteristike slojnih ugljenih otpornika:

RASPON VRIJEDNOSTI

0,1 $\Omega \div$ 10 MΩ

NOMINALNA SNAGA

– nominalna snaga definira se pri nekoj temp. (55 ÷ 70 °C)

– iznad te temperature, dozvoljena snaga na otporniku opada i postaje 0 na maksimalnoj dozvoljenoj temp., $T_{max} = 125 \div 180$

MAKSIMALNI NAPON

- ako je otpor otpornika velik, tada se ograničava uslijed najvećeg dozvoljenog napona na otporniku i uslijed VDR efekta (~ 1-2%)

TOLERANCIJE

- zbog starenja nema smisla raditi precizne ugljene slojne otpornike, te su tipične tolerancije: 20%, 10%, 5%, maks. 2%

TEMPERATURNI KOEFICIJENT

- za manje vrijednosti otpora temp. koeficijent iznosi -200 ppm/°C, za veće otpore raste

(15) Kako stalnost slojnih ugljenih otpornika ovisi o vlažnosti, temperaturi, vremenu? Navesti nekoliko parametara koji dovode do procesa starenja ugljenih slojnih otpornika.

- starenjem ugljeni slojni otpornici povećavaju otpor
- otpor raste više što su temp., vlaga i početni otpor veći

PARAMETRI KOJI DOVODE DO STARENJA:

- elektroliza kod polariza DC
- apsorpcija plinova
- destilacija vodljivog materijala
- promjena kontaktnog otpora

- instaliranje vodljivog materijala
- otvrdnjivanje
- kaljenje rezka

(16) Opisati karakteristike <u>metal-film otpornika</u>: temp. koef., dimenzije, te ovisnost o temp., vremenu uskladištenja, vlazi

<u>TEMP. KOEFICIJENT</u> - temp. koef. α obzirom je graničan u tipične vrijednosti su:
- 100 ppm/°C
- 50 ppm/°C
- 20 ppm/°C

<u>DIMENZIJE</u> - za isti otpor su manje dimenzije od ugljenih otpornika

<u>OVISNOST O TEMP., VREMENU SKLADIŠTENJA I VLAZI</u> - najstabilniji su otpori između 1 kΩ i 100 kΩ
- otpor raste proporcionalno s temp., starenjem i skladištenjem

(17) Koje su prednosti, a koji nedostaci SMD čip otpornika?

<u>PREDNOSTI</u> - na pločicu ih mogu automatski slagati roboti pri nanosu podloga s npr.:
- nejednolikim ili istanjenim izvodima
- jeftiniji su jer je za manji prostor štampe i cijena manja

<u>NEDOSTACI</u> - VDR efekt
- nelinearnost
- STRESNI ŠUM (napregnut sloj otpornika

1.4. Nazivni istosmjerni napon kondenzatora kapaciteta 100 uF iznosi 400 V, a nazivna efektivna struja 100 mA.

a) nacrtajte frekv. ovisnost maks. dozvoljenog napona kondenzatora u općem slučaju i označite sva ograničenja

b) izračunajte minimalnu nazivnu frekv. struje kondenzatora pri kojoj nazivna struja kondenzatora ne utječe na područje trajnog rada ako je tangens kuta gubitaka 0,005

c) nacrtajte frekv. ovisnost maks. dozvoljenog napona konden. za slučaj b)

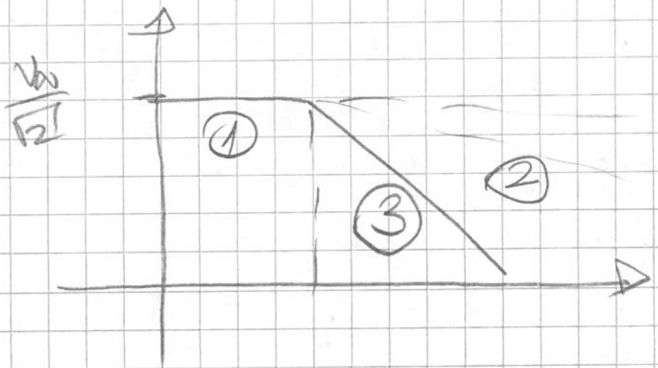
d) odrediti kritičnu frekv. za slučaj b

e) odrediti maks. dozvoljeni napon na kritičnoj frekv. iz d)

$C = 100\ \mu F$

$U_N = 400\ V$

$I_{ef} = 100\ mA = 0{,}1\ A$



$$U_1 = \frac{U_N}{\sqrt{2}} = 282,84\ V$$

$$\frac{U_N}{\sqrt{2}} = \frac{I_{ef}}{2\pi f_{13} C}$$

$$f_{13} = \frac{\sqrt{2}\, I_{ef}}{2\pi C U_N} = 563\ Hz$$

$$f_{12} = \frac{P}{\pi C \operatorname{tg}\delta\, U_N} = f_{13}$$

$$P = f_{13}\, \pi C \operatorname{tg}\delta\, U_N^2 = 9141\ W$$

2.1.) Zadan je foliski kondenzator sljedećih svojstava: kapacitet 1 uF, nazivni istosmjerni napon 630 V, dopuštena radna snaga 50 mW, tangens kuta gubitaka 0,002 u frekv. području od 0,01 Hz do 50 kHz (na frekvencijama višim od 50 kHz raste s 20 dB/dec) i najveća dopuštena ef. vrijednost struje 50 mA.

a) nacrtajte krivulju ovisnosti najveće dopuštene ef. vrijednosti izmjeničnog napona na kondenzatoru

b) kolika je vrijednost tog napona na frekvenciji 50 kHz?

Rj:

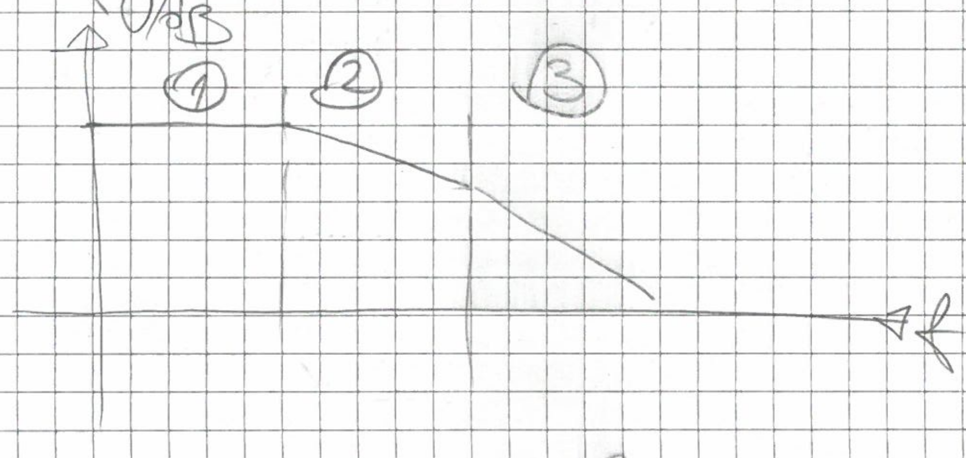
$C = 1\ \mu F$

$U_N = 630$

$P_R = 50\ mW$

$tg\,\delta = 0{,}002$

$I_{ef} = 50\ mA$



$$P_N = Q \cdot tg\,\delta = \frac{U^2}{\frac{1}{\omega C}} \cdot tg\,\delta$$

$$U = \sqrt{\frac{P_N}{2\pi f C \, tg\,\theta}}$$

$$f_{12} = \frac{P_N}{U^2 \, 2\pi C \, tg\,\theta} = 20{,}1 \text{ kHz}$$

3

$$I_{max} = \frac{U_3}{\frac{1}{\omega C}} \longrightarrow f = \frac{I}{2\pi C \cdot U}$$

$$f_{13} = 17{,}86 \text{ kHz}$$

$$U_2(f_{13}) = U_3(f_{13})$$

$$\sqrt{\frac{P_N}{tg\,\theta \, 2\pi f_{13} C}} = \frac{I_{ef}}{2\pi f_{23} C}$$

$$P_N = \frac{I_{ef}^2 \, f_{13} \, tg\,\theta}{4\pi^2 f_{23}^2} \rightarrow f_{23} = 15{,}92$$

b) $f = 50$ kHz

$$U(f = 50 \text{ kHz}) = I_{ef} \cdot \frac{1}{\omega C}$$

$$= 159{,}15 \text{ V}$$

2.2.) Tangens kuta gubitaka plastičnog polipropilenskog kondenzatora kapaciteta 100 uF može se opisati na sljedeći način:

- frekvencijski ovisan (-20 dB/dek.) do frekv. 0,01 Hz
- konstantnog iznosa 0,002 između 0,01 Hz i 10 kHz
- frekv. ovisan (+20 dB/dek.) za frekv. više od 10 kHz

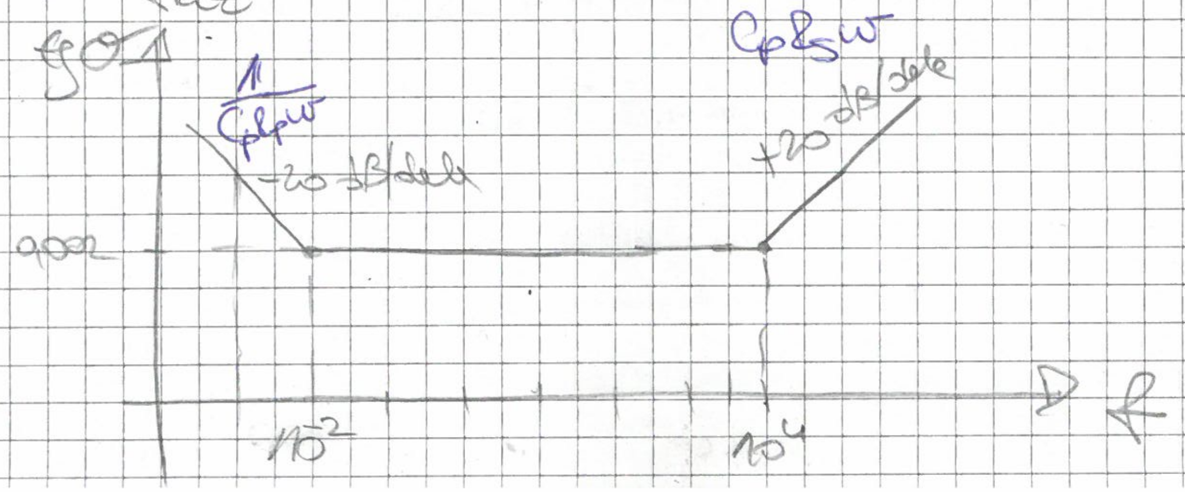
Rezonantna frekv. kondenzatora je 1 MHz. Nacrtajte nadomjesnu shemu kondenzatora i izračunajte sve elemente. Nacrtajte frekvencijsku ovisnost tangensa kuta gubitaka i odredite vremensku konstantu samopražnjenja kondenzatora.

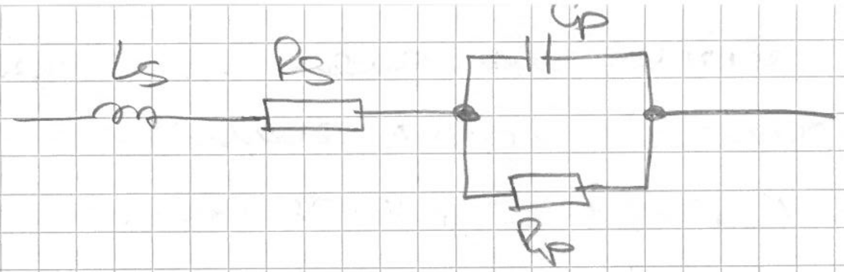
Rj:

$C = 100\ \mu F$

$$\mathrm{tg}\,\delta = \begin{cases} -20\ \mathrm{dB/dek.} \\ 0{,}002\ ; \quad 0{,}01 \le f \le 10\ \mathrm{kHz} \\ 20\ \mathrm{dB/dek.} \end{cases}$$

$f_{rez} = 1\ \mathrm{MHz}$





$$tg\,\delta = C_p R_S \omega + \frac{1}{C_p R_p \omega}$$

$$tg\,\delta_{1R} = 0{,}002 \; ; \; f_{1R} = 0{,}01 \text{ Hz}$$

$$tg\,\delta_{1R} = \frac{1}{C_p R_p \omega} \Rightarrow R_p = \frac{1}{C_p \cdot 2\pi f_{1R} \cdot tg\,\delta_{1R}}$$

$$R_p = 7{,}9577 \cdot 10^{10}\ \Omega$$

$$tg\,\delta_{2,3} = C_p R_S \omega \Rightarrow R_S = \frac{tg\,\delta_{2,3}}{C_p \omega}$$

$$R_S = 0{,}3183\ \Omega$$

$$\omega_{REZ} = \frac{1}{\sqrt{L_S C_p}} \; ; \; f_{REZ} = 1 \text{ MHz}$$

$$f_{REZ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_S C_p}} \Rightarrow f_{REZ}^2 = \frac{1}{4\pi^2 L_S C_p}$$

$$L_S = \frac{1}{4\pi^2 f_{REZ}^2 C_p}$$

$$L_S = 253{,}3\ \mu H$$

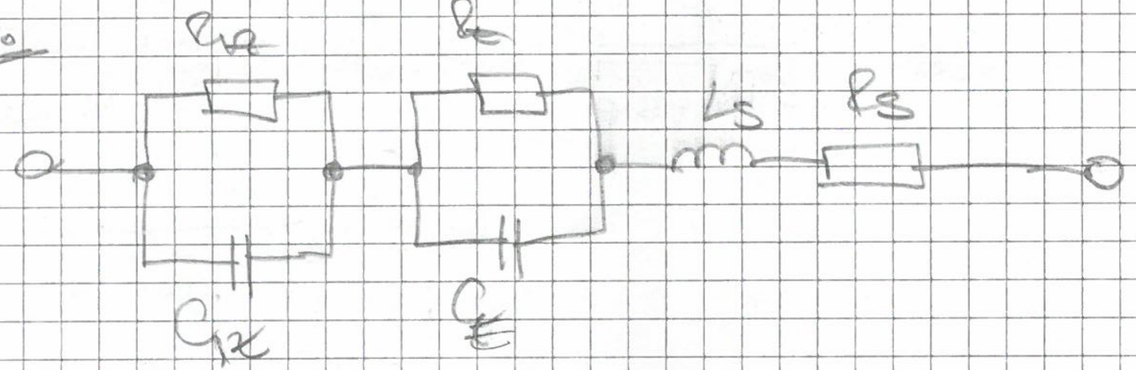
$$\tau = R_p C_p = 7957{,}7\ s$$

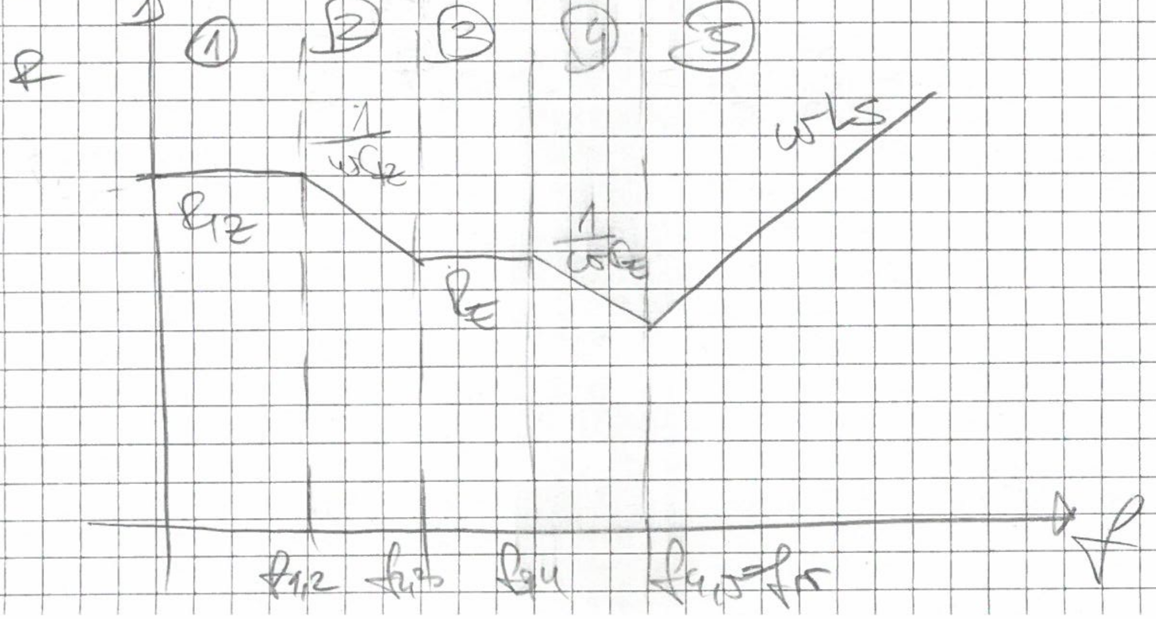
Zd. 3. Nacrtajte nadomjesnu shemu i odredite svojstvene vrijednosti njenih elemenata, te nacrtajte frekv. ovisnost modula impedancije s naznačenim karakterist. frekv. za elektrolitski kondenzator sljedećih svojstava:

- nazivni kapacitet $C = 2200\ \mu F$
- otpor elektrolita $R_E = 0{,}2\ \Omega$
- serijski otpor $R_S = 0{,}02\ \Omega$
- serijski ind. $L_S = 3{,}0\ nH$
- konstanta pražnjenja $\tau = 4000\ s$
- rezonant. frekv. $f_r = 3{,}66\ MHz$

Odredite iznos i fazni kut impedancije tog kondenzatora na frekvencijama 500 Hz, 50 kHz i 50 MHz.

Rj:





$$\tau = R_{12} \cdot C_{12} \Rightarrow R_{12} = 1{,}8118 \ M\Omega$$

$$f_{1,2} \Rightarrow R_{12} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f_{1,2} C}$$

$$\Rightarrow f_{1,2} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{12} C}$$

$$f_{1,2} = 37{,}79 \ \mu Hz$$

$$f_{2,3} \Rightarrow f_{2,3} = \frac{1}{2\pi \cdot R_E C_{12}}$$

$$f_{2,3} = 361{,}416 \ \cancel{\Omega} \ Hz$$

$$f_{3,4} = \frac{1}{2\pi \cdot R_E C_E}$$

$$C_E = ?$$

$$f_{4,5} = f_r = 3{,}66 \ MHz = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_S C_E}}$$

$$\sqrt{L_S C_E} = \frac{1}{2\pi \cdot 3{,}66 \cdot 10^6}$$

$$C_E = \frac{1}{L_S} \cdot \frac{1}{(2\pi \cdot 3{,}66 \cdot 10^6)^2}$$

$$C_E = 630{,}31 \ \mu F$$

$$\Rightarrow f_{3,4} = 1{,}2625 \ MHz$$

2.4. Serijskim spojem dvaju kondenzatora potrebno je ostvariti titrajni krug s temp. neovisnom rezonantnom frekv. od 118,519 kHz. Temperaturni koef. serijske induktivnosti 100 μH iznosi +18 ppm/°C, a na raspolaganju su kondenzatori temp. koef. 0 ppm/°C i −100 ppm/°C. Izračunajte iznose kapaciteta pojedinih kondenzatora i ukupnog serijskog spoja.

$$f_{rez} = 118{,}519 \text{ kHz}$$

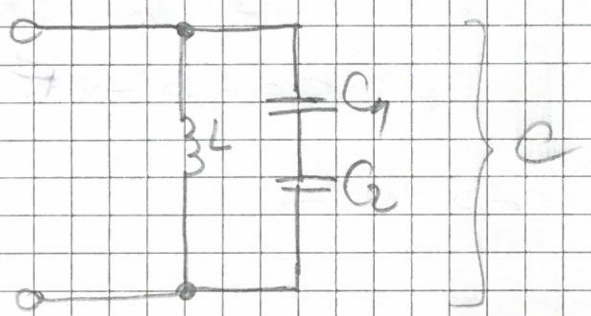
$$= \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$L = 100 \ \mu H$$

$$\alpha_L = 18 \text{ ppm}/°C$$

$$\alpha_{C1} = 0 \text{ ppm}/°C$$

$$\alpha_{C2} = -100 \text{ ppm}/°C$$



– kompenziramo do nultog temp. koef.

$$\alpha_L = \frac{dL(T)}{dT} \cdot \frac{1}{L(T_0)}$$

$$L(T) = \alpha_L \cdot \Delta T \cdot L(T_0) + L(T_0)$$

$$d f_{REZ} = \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{1}{2\pi\sqrt{C}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}^3} dL + \left(-\frac{1}{2}\right) \frac{1}{2\pi\sqrt{L}} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}^3} dC$$

$$\frac{d f_{REZ}}{f_{REZ}} = -\frac{1}{2}\frac{dL}{L} - \frac{1}{2}\frac{dC}{C} = 0$$

$$\frac{dL}{L} = -\frac{dC}{C} \Rightarrow \frac{1}{L}\frac{dL}{dT} = -\frac{1}{C}\frac{dC}{dT}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{dC}{dT} = -\frac{C}{L} \cdot \frac{dL}{dT}$$

$$f_{REZ} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{1}{(2\pi f_{REZ})^2 \cdot L}$$

$$C = 18{,}03 \text{ uF}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$\frac{1}{C_1}\frac{dC}{dT} = \alpha_1 \quad ; \quad \frac{1}{C_2}\frac{dC}{dT} = \alpha_2$$

$$dC = \frac{C_2(C_1+C_2) - C_1 C_2}{(C_1+C_2)^2} dC_1 + \frac{C_1(C_1+C_2)}{(C_1+C_2)^2} dC_2$$

$$dC = \frac{C_2^2}{(C_1+C_2)^2} dC_1 + \frac{C_1^2}{(C_1+C_2)^2} dC_2$$

$$\frac{dC}{dT} = -\frac{C}{L}\frac{dL}{dT}$$

$$\frac{1}{C}\frac{dC}{dT} = \cancel{\frac{C_2}{C_1+C_2} \cdot \underbrace{\frac{1}{C_1}\frac{dC_1}{dT}}_{\alpha_{C_1} = 0}} + \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot \underbrace{\frac{1}{C_2}\frac{dC_2}{dT}}_{\alpha_{C_2}}$$

$$\overbrace{-\frac{1}{L}\frac{dL}{dt}}^{\alpha_L} = \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot \alpha_{C_2}$$

$C_1 = (C_1 + C_2) \cdot 0.18$

$C_1(1 - 0{,}18) = 0{,}18 C_2$

$$-18 = \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot (-100) \Rightarrow \frac{C_1}{C_1+C_2} = 0{,}18$$

$$\frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} = 18{,}03 \cdot 10^{-9}$$

$$\boxed{\begin{aligned} C_2 &= 100{,}16 \text{ uF} \\ C_1 &= 21{,}98 \text{ uF} \end{aligned}}$$

05. 12. 2016.

OSCILOSKOPI

- analogni – djelovanje elektronskog snopa u dnu katodne cijevi (elektroni udaraju u zaslon)
- logički analizatori
- mjeri odnos između "plivajućih" vrijednosti, nego kod ima vremenskih koraka

ANALOGNI – frekv. područje do 100 MHz
– pogreška mjerenja reda 2~3 %

DIGITALNI – kompleksniji, podložniji preklapanju spektara (ALIASING)
– frekv. otipkavanja 1–50 GS/s (SAMPLE)

ANALOGNI

- otklanjanje u X-smjeru – PILASTI NAPON
- funkcijski blokovi:
  - vertikalni kanal
  - horizontalni kanal
  - generator vremenske baze
  - sklop za sinkronizaciju
  - katodna cijev
  - (izvor napajanja)

VERTIKALNI KANAL

- dijelovi: BNC – konektor
  N – konektor (veći)

- ukoliko ne uzemljavamo ulazni signal, ga možemo umjesto ulazni stupanj
- prilagodni ATENUATOR (kompenzirani djelitelj)
- RC - filtar = STEP
- CR - filtar =
- linija za kašnjenje - kompenzira kašnjenje koje unosi linija za sinkronizaciju (trigger pojačalo, drugi signal)
- visokonaponsko pojačalo (60 - 70 V)

- 2 načina rada:
- prebacuje sa jednog na drugi (brže od frekvencije osvježavanja) - tromost oka (sve iznad 50 Hz ne vidimo)

→ CHOPPER MODE - može frekvencija odrezati pomak

- ALTERNATING MODE - iscrtava se prvi pa drugi signal

HORIZONTALNI KANAL

GENERATOR VREMENSKE BAZE

- integrator - generira pilasti napon

SKLOP ZA SINKRONIZACIJU

- signal s vertikalnog kanala - INTERNI TRIGGER SIGNALA

- ext. trigger
- vanjski potenciometar za namještanje kašnjenja

SONDE – vhod osciloskopa je vzemljen

– 1 M || 30 pF

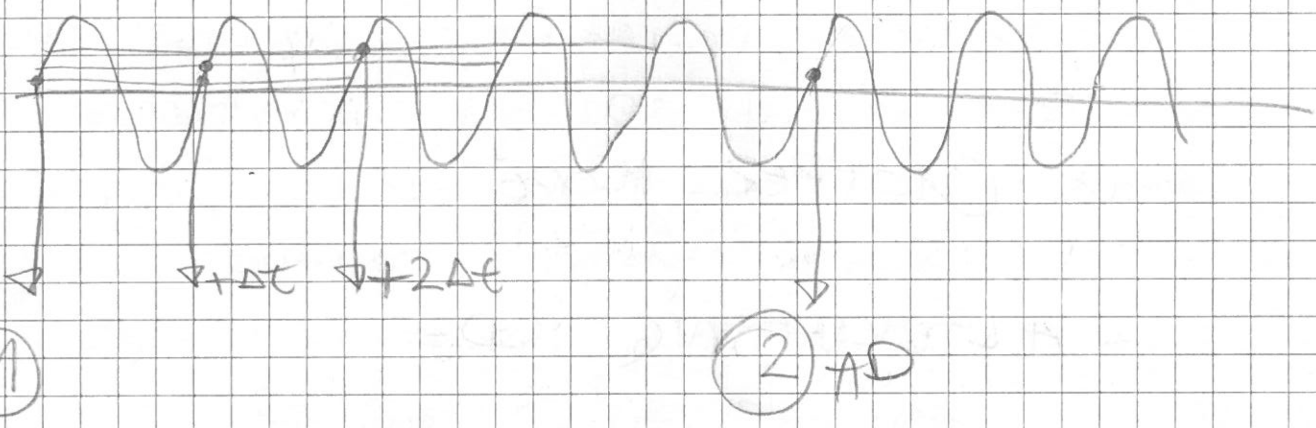
– pasivna sonda – napetostno delilo

– Sonda 10 X (DUŠI 10 krat)

– vhodni C je sonde 12 pF za 10x sonde, 3 pF za 100x sonde ($R_{vh} = 10\,M\Omega$)

<u>Vrijeme porasta</u>

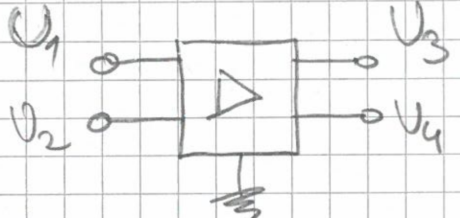
$$t_r = \sqrt{t_{r,g}^2 + t_{r,s}^2 + t_{r,osc}^2}$$



12.01.2017.

3.1.

DIF. P. S SIM. IZLAZOM



$U_3 = k_1 U_1 + k_2 U_2$

$U_4 = k_3 U_1 + k_4 U_2$

diff. $U_1 - U_2 = U_{diff,ul}$

zaj. $\frac{U_1 + U_2}{2} = U_{z,ul}$

$U_3 - U_4 = U_{diff,iz}$

$\frac{U_3 + U_4}{2} = U_{z,iz}$

smetnja

$U_{D,iz} = a_{11} U_{D,ul} + a_{12} U_{z,ul}$

$U_{z,iz} = a_{21} U_{D,ul} \pm a_{22} U_{z,ul}$

$$\begin{bmatrix} U_{D,iz} \\ U_{z,iz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{D,ul} \\ U_{z,ul} \end{bmatrix}$$

FAKTOR POTISKIVANJA H i F

CMRR (common mode rejection ratio)

$$\cancel{CMRR} \quad CMRR = \frac{\left.\frac{U_{diff,izl.}}{U_{diff,ul.}}\right|_{U_{z,ul}=0}}{\left.\frac{U_{diff,izl.}}{U_{z,ul}}\right|_{U_{D,ul}=0}} \Rightarrow \frac{a_{11}}{a_{12}} \Rightarrow \frac{A_D}{A_z}$$

FAKTOR DISKRIMINACIJE F_D

$$F_D = \frac{A_D}{\left.\frac{U_{2,izl}}{U_{2,ul}}\right|_{U_{D,ul}=0}} = \frac{A_D}{a_{22}}$$

$$a_{22} = \frac{U_{2,iz}}{U_{2,ul}}$$

$U_{Diff,ul} = 1\ mV$

$CMRR = 80\ dB = 10^4$

$F_D = 80\ dB = 10^4$

$A_D = 1000$

$A_Z = 0,1$

$a_{22} = 0,1$

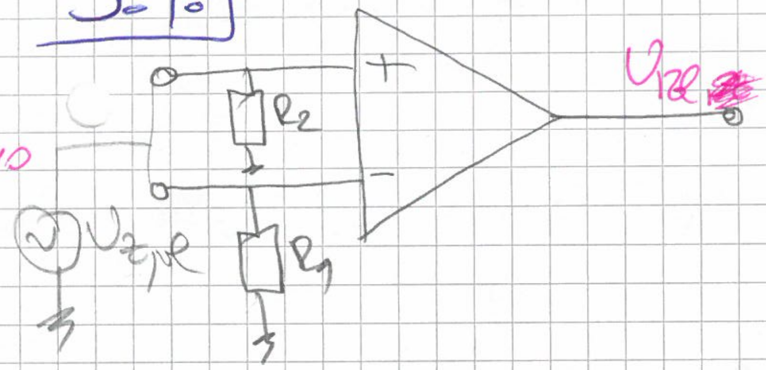
$$U_{D,iz} = A_D \cdot U_{D,ul} \pm A_Z \cdot U_{Z,ul}$$
$$= 1000 \cdot 1\ mV \pm 0,1 \cdot 2\ V$$
$$= 1\ V \pm 0,2\ V$$

$$U_{Z,izl} = a_{22} \cdot U_{Z,ul} = 0,1 \cdot 2\ V = 0,2\ V$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boxed{A_D \quad A_Z} \\ \cancel{\sim 0} \quad a_{22} \end{bmatrix}$$

3.4.

1°

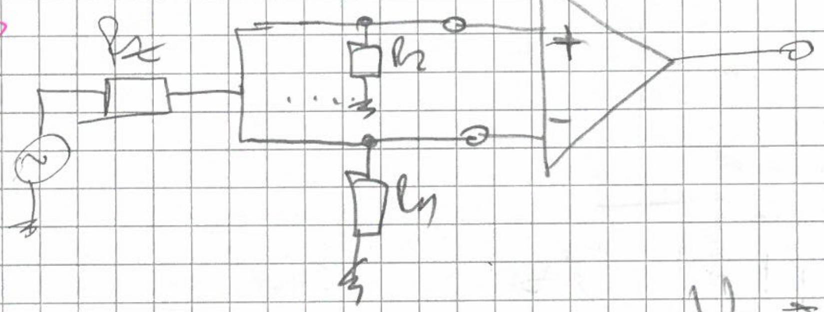


$R_2 = 2\ k\Omega$

$R_1 = 1{,}5\ k\Omega$

– diff (vlorne mup. ~ 1 Ω) pojačalo
↳ radi simetrije – bolje potiskivanje
zajed. pojačala
– plivajuće pojačalo (ul. mup. ~ kΩ)

2°



U_{D1}
U_{Z1}

$$U_{D1} = \left(\frac{R_2}{R_2+R_z} - \frac{R_1}{R_1+R_z}\right) \cdot U_z$$

$$= \frac{(R_2-R_1)R_z}{R_2R_1+(R_1+R_2)R_z+R_z^2} \cdot U_z$$

$$\doteq \frac{(R_2-R_1)R_z}{R_2R_1} \cdot U_z$$

$$U_{Z1} = \frac{1}{2}\left(\underbrace{\frac{R_2}{R_2+R_z}}_{\approx 1} + \underbrace{\frac{R_1}{R_1+R_z}}_{\approx 1}\right) U_z \approx U_z$$

$\approx 1 + \approx 1 = 2$

$$U_{izl} = A_D U_{D1} + \frac{A_D}{F} U_{Z1}$$

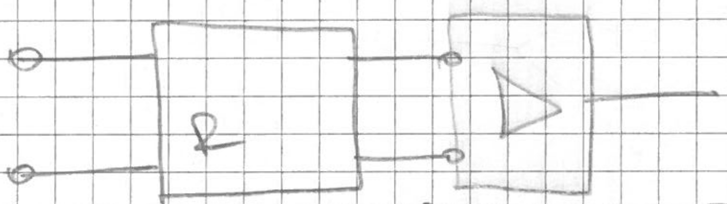
$$F_{uz} = \frac{A_D}{\frac{A_D \cdot U_{D1} + \frac{A_D}{F} \cdot U_{Z1}}{U_z}} = \frac{A_D}{\frac{A_D \cdot U_{D1}}{U_z} + \frac{A_D}{F}}$$

$$\frac{1}{F_{ve}} = \frac{1}{F} + \frac{U_{D1}}{U_z} = \frac{1}{F} + \frac{R_2 - R_1}{R_2 R_1} \cdot R_t$$

$$\frac{1}{F_{ve}} = \frac{1}{F} + \frac{1}{F_R} \longrightarrow$$ faktor potl. odpornosti kazite

$$F_R = \frac{A_{D,R}}{A_{Z,R}} = \frac{1}{\frac{(R_2 - R_1) R_t}{R_2 R_1}}$$

$$F_{ve} = \frac{F \cdot F_R}{F + F_R}$$



$$U_{iz} = \begin{bmatrix} A_{D,P} & A_{Z,P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & A_{Z,R} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{D,ve} \\ U_{Z,ve} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} A_{D,P} & A_{D,T} \cdot A_{Z,R} + A_{Z,P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{D,ve} \\ U_{Z,ve} \end{bmatrix}$$

$$F = \frac{A_{D,P}}{A_{D,P} \cdot A_{Z,R} + A_{Z,P}} = \frac{1}{A_{Z,R} + \frac{A_{Z,P}}{A_{D,P}}}$$

$$\frac{1}{F} = A_{Z,R} + \frac{A_{Z,P}}{A_{D,P}}$$

$$U_{iz2} = \begin{bmatrix} A_{D2} & A_{Z2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{D1} & A_{Z1} \\ 0 & \alpha_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{D,ve} \\ U_{Z,ve} \end{bmatrix}$$

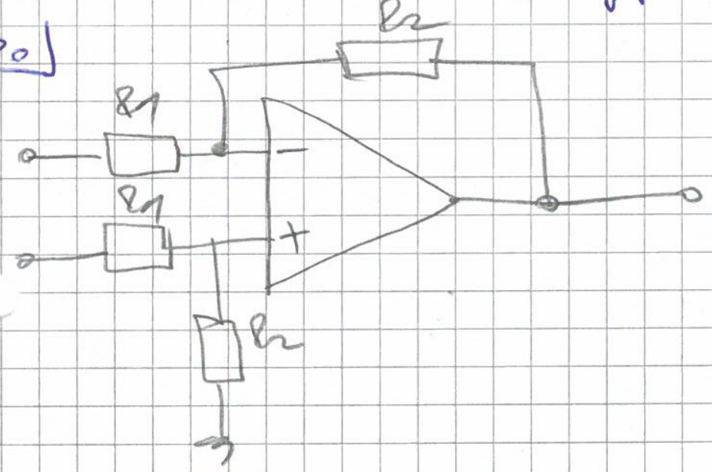
$$= \begin{bmatrix} A_{D1} \cdot A_{D2} & A_{D2} A_{Z1} + A_{Z2} \alpha_1 \end{bmatrix}$$

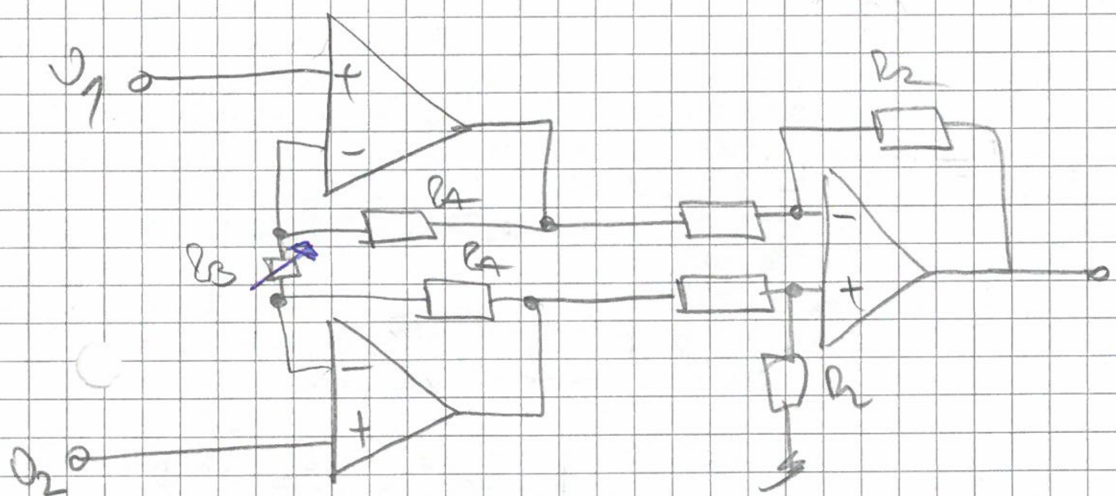
$$F_{re} = \frac{A_{D1} A_{D2}}{A_{D2} A_{Z1} + A_{Z2}\, a_1} = \frac{1}{\frac{A_{Z1}}{A_{D1}} + \frac{A_{Z2}}{A_{D2}} \cdot \frac{a_1}{A_{D1}}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{F_{re}} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} \cdot \frac{1}{F_{D1}}$$

INST. OJAČALO – diff. ojačalo

3.3.)





$$A_D = A_{D1} \cdot A_{D2} = \left(1 + \frac{2 \cdot R_4}{R_3}\right) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{vl,D2} = 22\,k\Omega = 2 R_1$$

$$R_1 = 11\ k\Omega$$

$$A_{D2} = 5$$

$$R_2 = A_{D2} \cdot R_1 = 55\ k\Omega$$

$A_D = 10 \div 100$

$A_{D2} = 5$

$A_{D1} = 2 \div 20$

$R_B = ?$

$A_{D1} = 2$

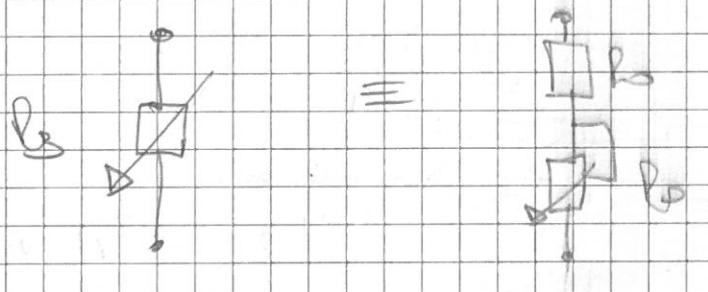
$$2 = 1 + \frac{2R_A}{R_{B,MAX}}$$

$A_{D1} = 20$

$$20 = 1 + \frac{2R_A}{R_{B,MIN}}$$

$\Rightarrow \quad R_{B,max} = 2R_A$

$R_{B,min} = \frac{2}{19} R_A$



$R_B = R_0 + R_P$

$R_0 = \frac{2}{19} R_A$

$R_P = \left(2 - \frac{2}{19}\right) R_A$

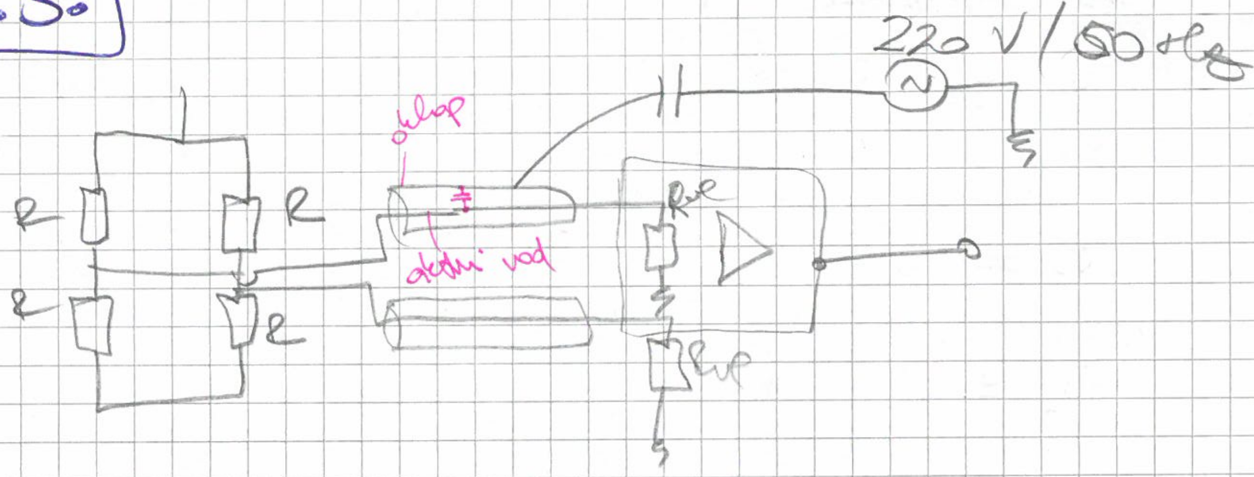
$= \frac{36}{19} R_A$

ODABIR: $R_A = 19\ k\Omega$

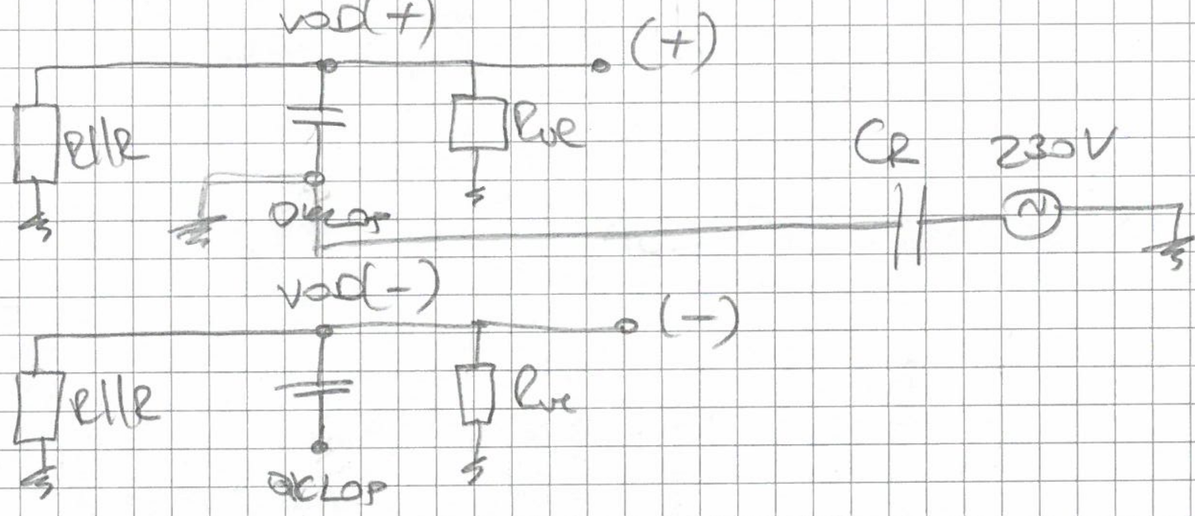
$R_0 = 2\ k\Omega$

$R_{P_{max}} = 36\ k\Omega$

3.5.

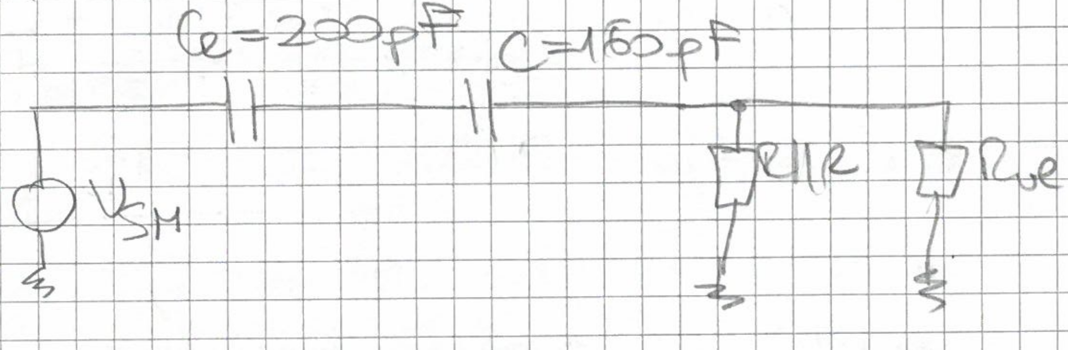


a)



b) $U_{SM} = 0$

c)



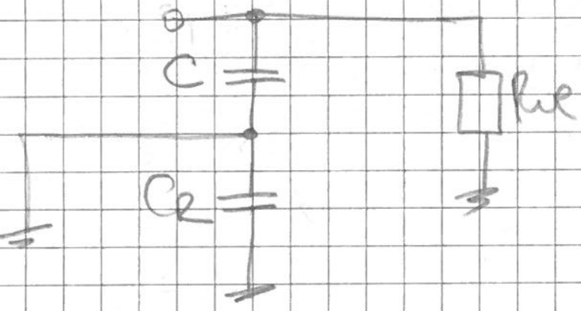
$$C_{uk} = \frac{C_R \cdot C}{C_R + C} = 89 \text{ pF}$$

$$U_2 = \left|\frac{R_{ul} \cdot U_{SM}}{R_{ul} + \frac{1}{j\omega C_{uk}}}\right| = \left|\frac{j\omega C_{uk} R_{ul}}{1 + j\omega C_{uk} R_{ul}} \cdot U_{SM}\right|$$

$$\approx \left| j\omega C_{uk} R_{ul} U_{SM} \right| = 1{,}39 \cdot 10^{-4} \cdot U_{SM}$$

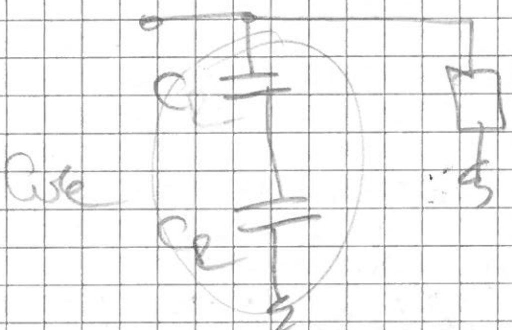
$$U_{izl} = \overset{A_0}{100} \cdot \sqrt{2} \cdot 230\,V \cdot 1{,}39 \cdot 10^{-4} = 4{,}52$$

d) $f = 100$ kHz
SPOJEN OKLOP



$$Z_{ul} = \frac{1}{j\omega C} \| R_{ul} = 9{,}9\ k\Omega$$

ODSPOJEN OKLOP



$$Z_{ul} = \frac{1}{j\omega C_{ul}} \| R_{ul}$$

$$Z_{ul} = 18\ k\Omega$$

– spajanje oklopa: ali unosi nepoželjne smetnje, SMANJUJE F_D (prostorno)

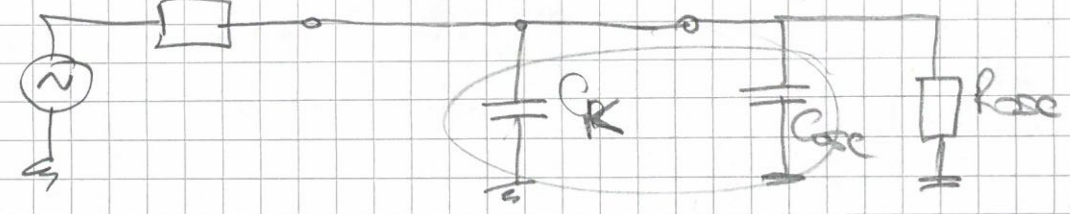
GARD (zaštitna elektroda)
GARDING (guard prigušnice)
– odspajanje oklopa se unosi, a spajanje ne guard
– sprečava smetnje
– unosi nepoželjne guard
– potrebni – zajednički
– ne smanjuje sigurnost spoja potom.

3.6.

$C = C_K + C_{osc}$

$R_{osc} \gg \frac{1}{\omega C_{osc} + C_{kab}}$

X1



$$U_{osc} = U \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = U \cdot \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$\boxed{f = 750\ kHz}$

$$|U_{osc}| = |U| \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}$$

$$= |U| \cdot 0{,}39 \qquad \text{(manji za 60\%)}$$

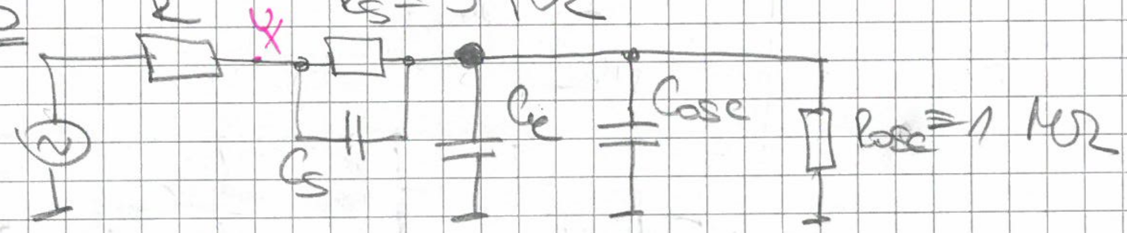
$R_{osc} \gg \frac{1}{\omega C_{osc} + C_K}$

$C_{UL} = 25\ pF$

$C_K = 75\ pF$

$C_{UK} = 100\ pF$ @ $750\ kHz \approx 2\ k\Omega$

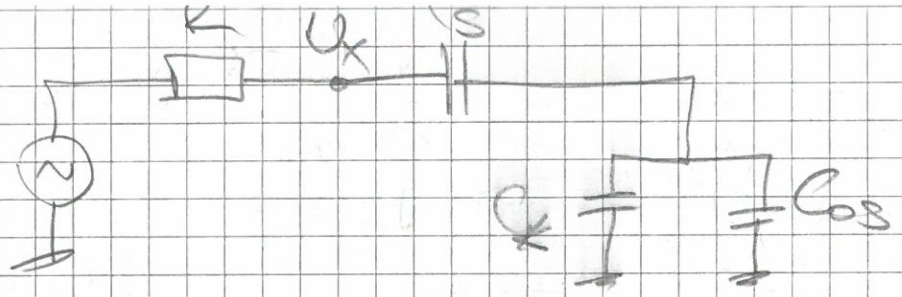
X10



$R_S \cdot C_S = (C_K + C_{osc})\, R_{UL}$

$C_S = 1\ M\Omega \cdot 100\ pF \cdot \frac{1}{9\ M\Omega} = 11{,}1\ pF$

$U_{osc} = \frac{1}{10} \cdot U_X$



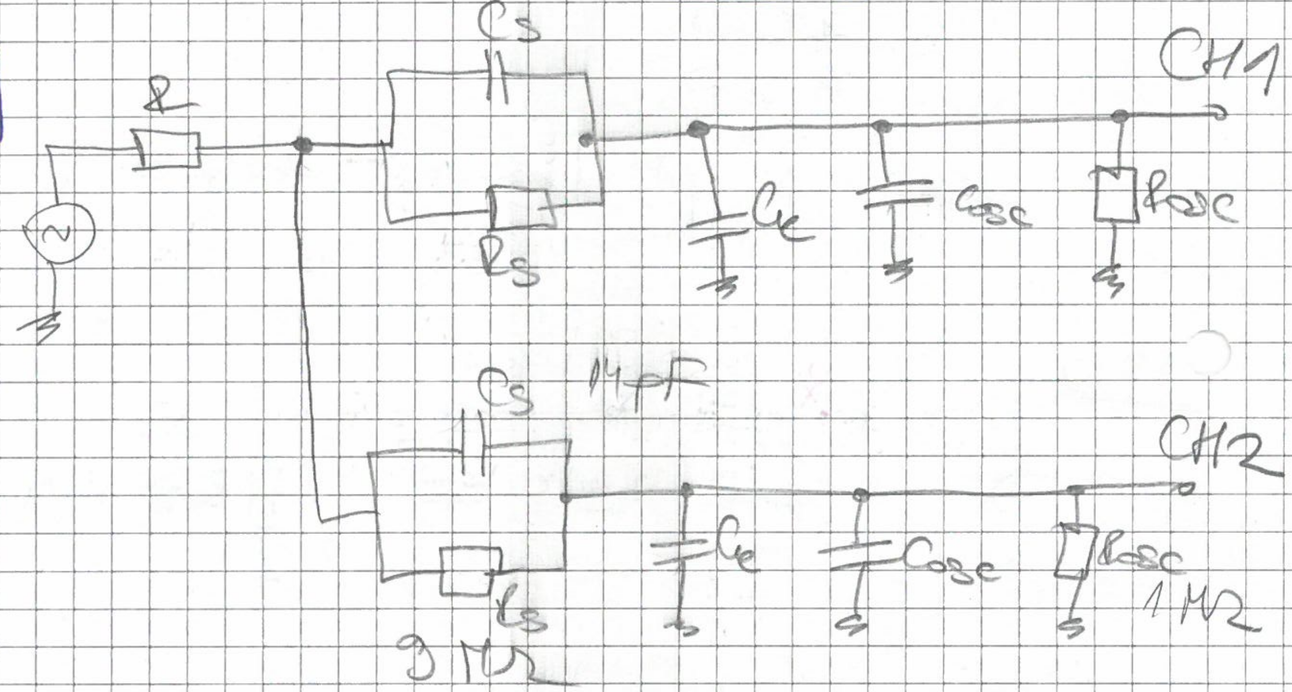
$U_{osc} = \frac{1}{10} \cdot U_x$

$U_x = U \cdot \frac{1}{1+j\omega C_{ue} \cdot R} = 0,973 \ V$

$C_{ue} = \frac{C_S (C_e + C_{osc})}{C_S + C_e + C_{osc}} \approx 10 \ pF$

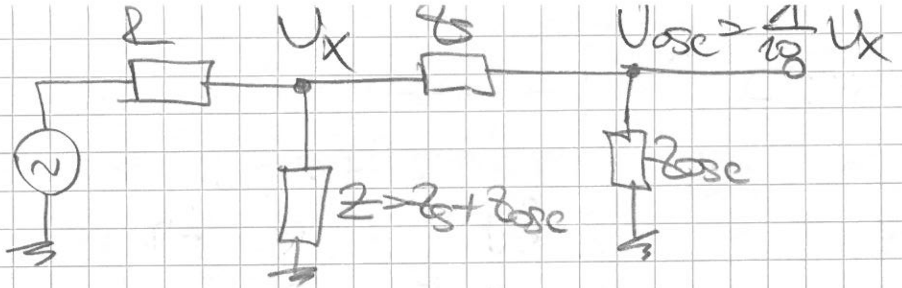
$U_{osc} = 0,0973 \ V$

3.7.



$C_S = \frac{(101 \ pF + 25 pF) \cdot 1 \ M\Omega}{9 \ M\Omega}$

$C_S = 14 \ pF$



SPOJENA SAMO 1 SONDA

$$U_x = U \cdot \frac{Z}{R+Z}$$

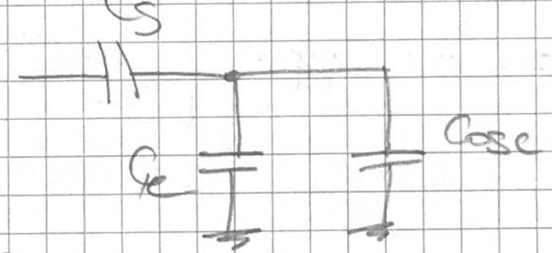
SPOJENE 2 SONDE

$$U_x' = U \cdot \frac{\frac{Z}{2}}{R + \frac{Z}{2}}$$

$$k = \frac{U_x}{U_x'} = \sqrt{2}$$

$$\frac{\frac{Z}{R+Z}}{\frac{\frac{Z}{2}}{R+\frac{Z}{2}}} = \sqrt{2} = \frac{2R+Z}{R+Z}$$

$Z =$



$$C = \frac{C_s(C_k + C_{osc})}{C_s + C_k + C_{osc}} = 12{,}6 \text{ pF}$$

$$Z = \frac{1}{j\omega C} = -j \cdot X$$

$$\left|\frac{2R+Z}{R+Z}\right|^2 = k^2 = 2$$

$$\frac{4R^2 + X^2}{R^2 + X^2} = 2$$

$$R = \frac{X}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}\,\omega C} = 447\ \Omega$$

– Sonda X10
  – smanjuje optrećenje izvora
  – unutarnji frekv. atenuator
    1:10
  – prenosi signala, ali frekv. neovisno
  – prekoz slobodni otpor

3.8.

$$P_1 = 50 \text{ ppm} \cdot 5\,V \text{ (mjerna točnost)}$$ nazivni napon
$$= 250\ \mu V$$

$$P_2 = \frac{300\ \mu V/V \cdot 500\ mV}{5\,V} \text{ (koef. naponske regulacije)}$$

$$= 30 \text{ ppm} = 150\ \mu V$$

$$P_3 = (50\ \mu V/mA \cdot 4\ mA)/5\,V \quad \text{(strujna reg.)}$$
$$= 40 \text{ ppm} = 200\ \mu V$$

$$P_4 = (2 \text{ ppm}/°C \cdot (40°C - 10°C)) = 60 \text{ ppm}$$
$$= 300\ \mu V$$

$$P_5 = 3 \cdot 20 \text{ ppm} = 60 \text{ ppm} \quad \text{(vremenska stabilnost)}$$
$$= 300\ \mu V$$

$$P_6 = 20\ \mu V / 5\,V \quad \text{(ŠUM)}$$
$$= 4 \text{ ppm} = 20\ \mu V$$

$$P_7 = 15 \text{ ppm} \cdot 3 = 45 \text{ ppm} \cdot 5\,V$$
$$= 225\ \mu V$$

c) ukupna točnost

$$P_{TOT} = 50\ \text{ppm} + 30\ \text{ppm} + 40\ \text{ppm} + 60\ \text{ppm} + 60\ \text{ppm} + 4\ \text{ppm} + 45\ \text{ppm}$$
$$= 289\ \text{ppm}$$
$$= \ldots\ V$$

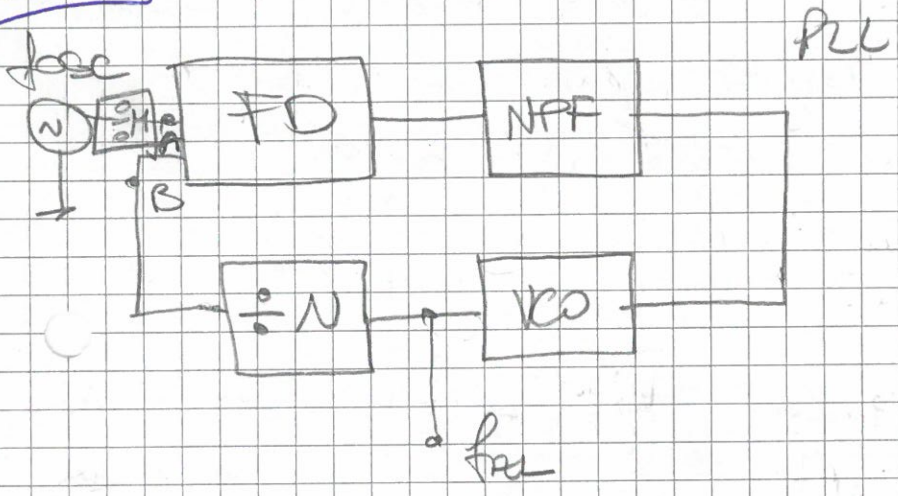
$$U_{REF} \cdot P_{TOT} < \frac{LSB}{2}$$

$$2 U_{REF} \cdot P_{TOT} < LSB = \frac{U_{FS}}{2^N}$$ → razlučivost ; uzmi pune skale $V_{FS} = U_{REF}$

$$\log 2 \cdot P_{TOT} < -N \log 2$$

$$N < -\log_2 2P_{TOT}$$

3.11.



$$A:\ \frac{f_{osc}}{M} = \frac{f_{PLL}}{N}\ :B$$

$$f_{PLL} = \frac{N}{M} f_{osc}$$

$$\Delta f = 1\ \text{kHz} \Rightarrow M = 1$$

$$f_{MIN} = 1\ \text{MHz} \Rightarrow N_{MIN} = 1000$$

$$f_{MAX} = 2\ \text{MHz} \Rightarrow N_{MAX} = 2000$$

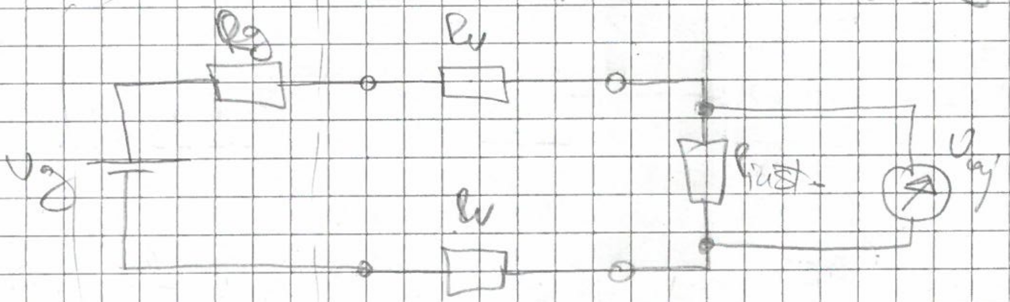
N=1000 $\quad f_{iz} = 1000\,000$ Hz

N=1001 $\quad f_{iz} = 1001\,000$ Hz

N=2000 $\quad 2000\,000$ Hz

ZADACI ZA VJEŽBU (1)

Zad. 1. Mjerimo uređajem vlastitog otpora 1 MΩ i otpora vodova 0,1 Ω vrši se paralelnim spojem napon istosmjernog izvora napona 10 V i izlaznog otpora 10 Ω. Vlastita impedancija i otpor vodova mjernog uređaja ograničava točnost mjerenja. Skicirajte shemu, odredite vrijednosti koje mjeri mjerni instrument kao i sistemsku pogrešku mjerenja.



$V_g = 10$ V

$R_v = 0{,}1\ \Omega$

$R_{inst.} = 1\ M\Omega$

$R_g = 10\ \Omega$

$V_{mj} = ?$

$P_{mj} = ?$

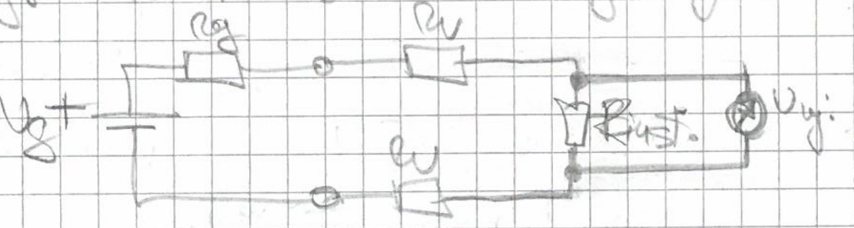
$$V_{mj.} = V_g \cdot \frac{R_{inst.}}{R_g + 2R_v + R_{inst.}}$$

$$\boxed{V_{mj.} = 9{,}99898\ V}$$

$$P_{mj.} = \frac{V_{mj.} - V_g}{V_g}$$

$$= -0{,}00102\ \%$$

Zad. 2. Mjerimo instrumentom ulaznog otpora 1 Ω i otpora vodova 0,1 Ω vezanim sa serijskim spojem struje istosmjernog izvora napona 10 V i izlaznog otpora 10 kΩ. Ulazna impedancija i otpor voda mjernog uređaja ograničava točnost mjerenja.



$R_{inst.} = 1\ \Omega$

$R_v = 0{,}1\ \Omega$

$U_g = 10\ V$

$R_g = 10\ k\Omega$ $\Big\}$ $I = 1\ mA$

$$I_{mj.} = U_g \cdot \frac{1}{R_g + 2R_v + R_{inst.}}$$

$$I_{mj.} = 0{,}99988\ mA$$

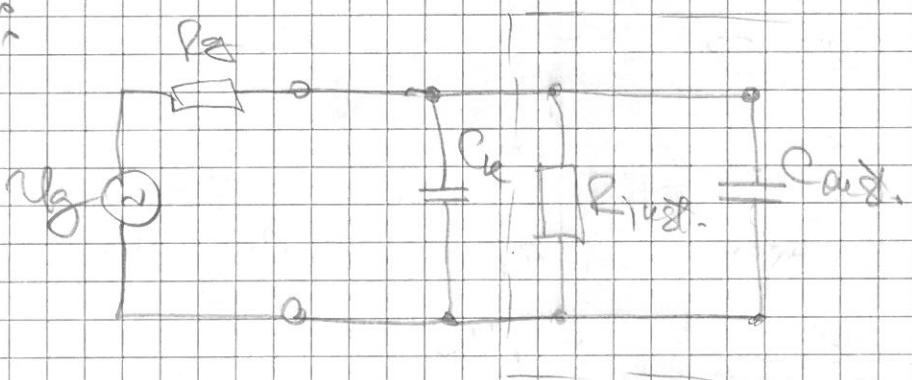
$$p = \frac{I_{mj.} - I}{I} \cdot 100\,\% = -0{,}012\,\%$$

Zad. 3. Mjerni se uređaj može nadomjestiti sa $1\ M\Omega \parallel 30\ pF$. Uređaj paralelnim spojem mjeri napon izmjeničnog sinusnog izvora amplitude 10 Vpp, frekv. 50 kHz i izlazne impedancije 10 Ω. Ulazna impedancija i ulazni otpor mjernog izvora ograničavaju točnost mjerenja. Skicirajte shemu, odredite mjesto koju ... mjerni instrument kao i graničnu frekvenciju ulaznog uređaja i sustava pogrešku mjerenja u slučaju:

a) oklopljenog kabela duljine 2 m i kapacitivnosti 50 pF/m

b) neoklopljenog kabela duljine 2 m i kapacitivnosti 5 pF/m

Rj:



osciloskop

$U_g = 10\ V_{pp}$

$f = 50\ kHz$

$R_g = 10\ \Omega$

$R_{ulaz} = 1\ M\Omega$

$C_{ulaz} = 30\ pF$

a) $l = 2\,m\ ;\ C' = 50\ pF/m \Rightarrow C_k = 100\ pF$

b) $l = 2\,m\ ;\ C' = 5\ pF/m \Rightarrow C_k = 10\ pF$

$$Z_{ul} = R_{ulaz} \| C_{ulaz} = 1\ M\Omega \| 30\ pF = R_{ulaz.} \| \frac{1}{j\omega C_{ulaz.}}$$

$$= \frac{R_{ulaz} \cdot \frac{1}{j\omega C_{ulaz.}}}{R_{ulaz} + \frac{1}{j\omega C_{ulaz}}} = \frac{\frac{R_{ulaz}}{\cancel{j\omega C_{ulaz}}}}{\frac{j\omega R_{ulaz} C_{ulaz} + 1}{\cancel{j\omega C_{ulaz}}}}$$

$$= \frac{R_{ulaz.}}{1 + j\omega R_i C_i} \cdot \frac{1 - j\omega R_i C_i}{1 - j\omega R_i C_i}$$

$$Z_{ue} = \frac{R_{ue}\left(1 - j\omega R_{inst.} C_{inst.}\right)}{1 + \left(\omega R_{inst.} C_{inst.}\right)^2}$$

$$|Z_{ue}| = \frac{R_{ue}}{1 + (\omega R_{inst.} C_{inst})^2} \cdot \sqrt{1 + (\omega R_{inst} C_{inst})^2}$$

$$= \frac{R_{ue}}{\sqrt{1 + (\omega R_{inst} C_{inst})^2}}$$

$$= 105{,}51 \ k\Omega$$

$$Z = Z_{e} \| C_{e} = \frac{Z_{inst} \cdot \frac{1}{j\omega C_e}}{Z_{inst} + \frac{1}{j\omega C_e}} = \frac{Z_{ue}}{1 + j\omega C_e Z_{ue}}$$

$$= \frac{Z_{e}\left(1 - j\omega C_e Z_{ue}\right)}{1 + (\omega Z_{ue} C_e)^2}$$

$$|Z| = \frac{Z_{ue}}{\sqrt{1 + (\omega Z_{ue} C_e)^2}}$$

a) $|Z| = 545{,}08 \ k\Omega$

$$U_{izj.} = 10 \cdot \frac{|Z|}{R_g + |Z|} = 9{,}998 \ V$$

$$p = \frac{U_{izj} - U_g}{U_{izj}} \cdot 100\% = -0{,}0183 \ \%$$

b) $|Z| = 105{,}510 \ k\Omega$

$$U_{izj.} = 9{,}99905 \ V$$

$$p = -0{,}00947 \ \%$$

$f_g = ?$

$$f_g = \frac{1}{2\pi (R_g || R_{ulst})(C_g + C_{ulaz})}$$

a) $f_g = 122,4$ MHz

b) $f_g = 397,8$ MHz

Zad. 4.) Digitalnim multimetrom načinjeno je automatizirano mjerenje otpora. Načinjeno je 1000 mjerenja. Multimetar je pokazivao sljedeće vrijednosti:

IZMJERENI OTPOR	BROJ MJERENJA
109,27	3
109,28	60
109,29	260
109,30	392
109,31	235
109,32	47
109,33	3

U mjerenju je unesena sustavna pogreška mjerenja, s otporom kabela od 10 Ω.

a) Razlučivost multimetra?

b) Nakon otklanjanja sustavne pogreške potrebno je iskazati izmjerenu vrijednost i mjernu nesigurnost za tri razine pouzdanosti: 68,3 %, 95 %, 99,7 %

c) Koliko je prvih znamenki multimetra značajno?

$N = 1000$

$R_e = 10\ \Omega$

a) razlučivost ?

R_i - pogreške	N
99,27	3
99,28	60
99,29	260
99,30	392
99,31	235
99,32	47
99,30	3

RAZLUČIVOST = 0,01 Ω

b)

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{7} N_i R_i}{\sum_{i=1}^{7} N_i} = 99{,}30\ \Omega$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{7} N_i (R_i - \overline{R})^2} = 0{,}01\ \Omega$$

68,3% $\Rightarrow$ $99{,}30 \pm 0{,}01\ \Omega$

95% $\Rightarrow$ $99{,}30 \pm 0{,}02\ \Omega$

99,7% $\Rightarrow$ $99{,}30 \pm 0{,}03\ \Omega$

c) pare 3

Zad. 5.) Pri mjerenju otpora voltmetrom pokazuje vrijednost 99,3 Ω. Dane su specifikacije proizvođača u pogledu točnosti:

MJERNI OPSEG	RAZLUČIVOST	TOČNOST
200 Ω	0,1 Ω	±(0,8% + 3 digita)
2 kΩ	1 Ω	±(0,8% + 1 digit)
20 kΩ	10 Ω	
200 kΩ	100 Ω	
2 MΩ	1 kΩ	±(1% + 2 digita)

a) interval pouzdanosti uz razinu pouzdanosti 100%?

b) Konačni rezultat koji uključuje i vrijednost nesigurnosti

c) Koliko iznosi relativna pogreška mjerenja ako je stvarna vrijednost mjerenog otpora 100 Ω.

$R_{mj} = 99{,}3\ \Omega$

mjerni opseg $= 200\ \Omega$

$r = 0{,}1\ \Omega$

točnost $= \pm(0{,}8\% + 3$ digita$)$

a) $a = \frac{x}{100} \cdot R_{mj} + 3 \cdot r = 1{,}1\ \Omega$

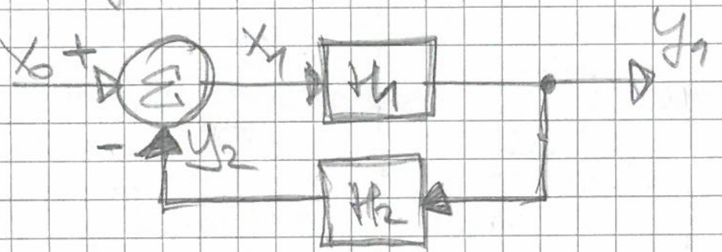
b) $(99{,}3 \pm 1{,}1)\ \Omega$

c) $p = \frac{R_{mj} - R_{stvarno}}{R_{stvarno}} \cdot 100\% = -0{,}7\%$

Zad. 7.) Mjerno pojačalo izvedeno je s povratnom vezom. Pojačalo daje pojačanje u glavnoj grani $H_1 = 100$, a u grani povratne veze $H_2 = 100$.

a) Kolika je pogreška mjerenja koju unosi pojačalo?

b) Kolika je najveća moguća pogreška ovakvog pojačala ako pojačanje u pojedinim granama zbog nesavršenosti mogu odstupati $\pm 10\%$ od nazivne vrijednosti



$$Y_2 = H_2 Y_1$$
$$Y_1 = H_1 X_1$$
$$X_1 = X_0 - Y_2$$
$$Y_2 = H_1 H_2 (X_0 - Y_2)$$

a) $$p = \frac{Y_2 - X_0}{X_0} \cdot 100\%$$

$$Y_2 = H_1 H_2 X_0 - H_1 H_2 Y_2$$
$$Y_2 (1 + H_1 H_2) = H_1 H_2 X_0$$
$$Y_2 = X_0 \cdot \frac{H_1 H_2}{1 + H_1 H_2}$$

$$p = \left(\frac{H_1 H_2}{1 + H_1 H_2} - 1 \right) \cdot 100\% = \frac{-1}{1 + H_1 H_2} \cdot 100\%$$

$$\boxed{p = -0{,}01\%}$$

b)

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 = 10\%$$

$$H_{1,min} = 90$$
$$H_{2,min} = 90$$
$$H_{1,max} = 110$$
$$H_{2,max} = 110$$

$$p = -\frac{1}{1 + H_{1,min} H_{2,min}} \cdot 100\%$$

$$\boxed{p = -0{,}000123\,\%}$$

Zad. 8.

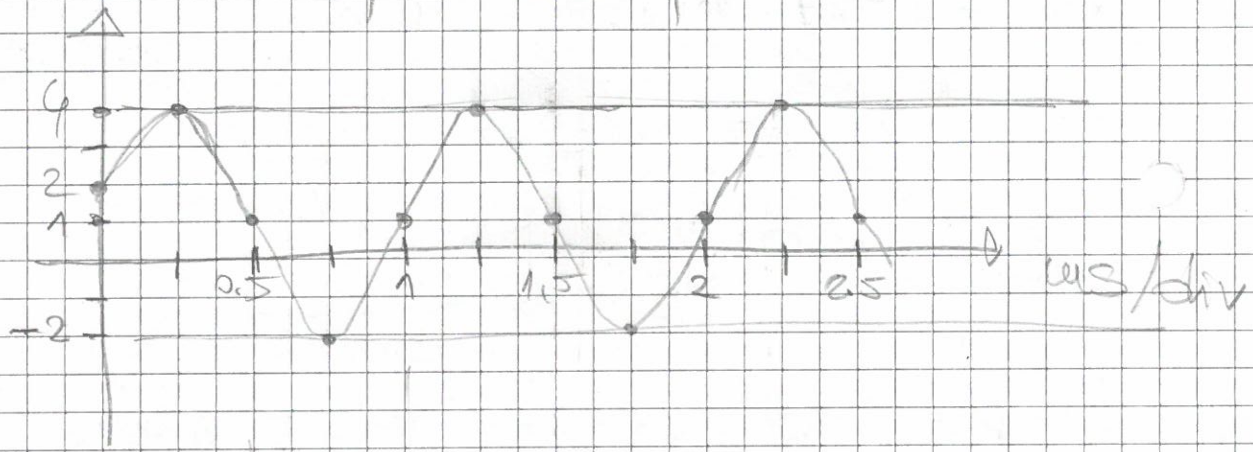
Na y-ulaz osciloskopa priključen je napon:

$$U_y = 1 + 3\sin(2\pi 1000 t) \; [V]$$

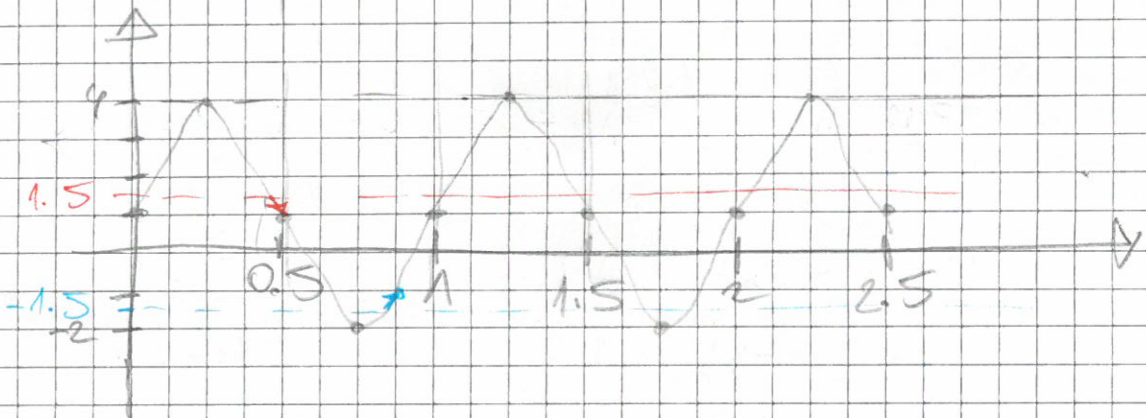
Nacrtajte sliku koja će se dobiti na zaslonu osciloskopa ako se izaberu dolje navedene vremenske baze te jedinice otklona $F_x = 0,1$ ms/div, $F_y = 1$ V/div

	a	b	c
VEZA Y-POJAČALA	DC	AC	DC
TRIGGER SOURCE	INT	INT	INT
TRIGGER LEVEL	+1 V	+1,5 V	-1,5 V
SLOPE (nagib)	+	−	+
TRIGGER COUPLING	DC	DC	AC
NORM / INV	NORM	NORM	NORM
NULTA RAZINA NAPONA	0 DIV	0 DIV	0 DIV

DC

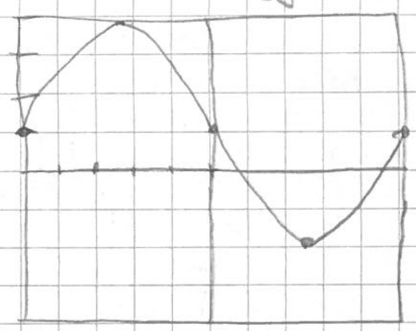


AC



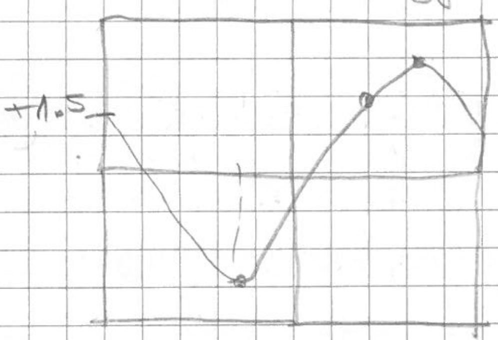
a) DC signal + DC coupling

+1 V trigger ; + slope



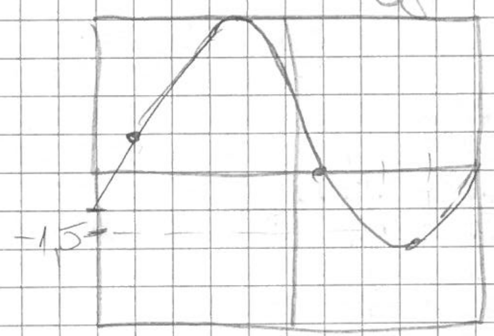
b) AC signal + DC coupling → ugy láttam, aho jó AC rese

+1,5 V trigger ; − slope



c) DC signal + AC coupling

−1,5 V trigger ; + slope

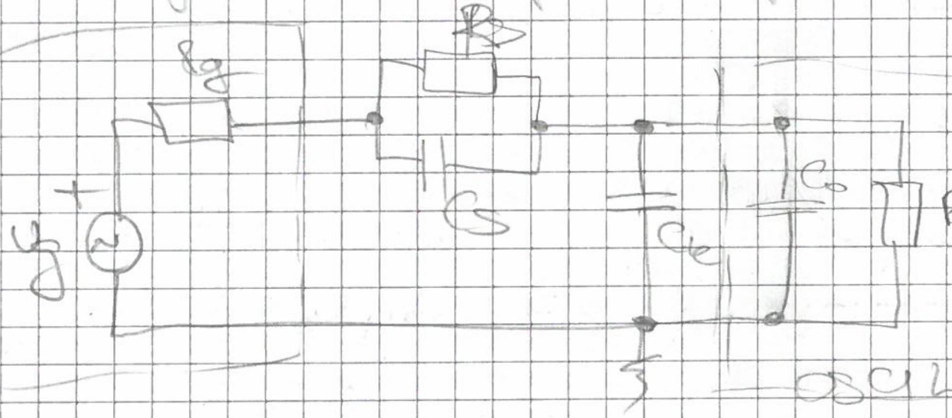


Zad. 9. Na ulaz osciloskopa kojem je ulazna impedancija dana podatkom $1\ M\Omega || 22\ pF$, priključen je koaksijalni kabel jediničnog kapaciteta $40\ pF/m$. Kabel duljine 1,5 m izveden je kao kompenzirana pasivna naponska sonda X10. S pomoću takve sonde mjeri se napon izvora sinusoidalnog valnog oblika kojem je unutarnji otpor $1\ k\Omega$.

a) $H(j\omega)$, $|H(j\omega)|$, φ, $H(j\omega)$ - graf

b) Objasniti prednosti i nedostatke pasivne naponske sonde X10 u odnosu na mjernu sondu X1

c) odrediti parametre sonde te graničnu frekvenciju mjernog kruga



$C_o = 22\ pF$

$R_o = 1\ M\Omega$

$C_k = 40\ pF \cdot 1{,}5 = 60\ pF$

kabel = sonda · 10

$\tau_S = \tau_{osc}$,

$R_S C_S = R_{osc}(C_{osc} + C_e)$

$\underline{R_S = 9 R_{osc}}$

$$\boxed{R_S = 9\ M\Omega}$$

$R_S C_S = R_{osc}(C_{osc} + C_e)$

$C_S = \frac{1}{9} \cdot (81\ pF)$

$$\boxed{C_S = 9\ pF}$$

$$\boxed{R_{X10} = R_S + R_{osc} = 10\ M\Omega}$$

$$C_{X10} = \frac{1}{\frac{1}{C_S} + \frac{1}{C_{os} + C_e}} = \frac{1}{\frac{1}{9p} + \frac{1}{81p}}$$

$$\boxed{C_{X10} = 8{,}1\ pF}$$

$$f_S = \frac{1}{2\pi (R_{X10} \| R_g) C_{X10}}$$

$$\boxed{f_g = 19{,}62\ MHz}$$

$$H(s) = \frac{Z_2}{R_g + Z_1 + Z_2} \quad ; \quad Z_2 = R_o \| \underbrace{C_o \| C_e}_{C = C_o + C_e =}$$

$$Z_1 = R_S \| \frac{1}{sC_S} = \frac{R_S \cdot \frac{1}{sC_S}}{R_S + \frac{1}{sC_S}} = \frac{R_S}{1 + sC_S R_S}$$

$$Z_2 = \frac{R_o \cdot \frac{1}{sC}}{R_o + \frac{1}{sC}} = \frac{R_o}{1 + sCR_o}$$

$$H(s) = \frac{\frac{R_o}{1+sC_o}}{R_g + \frac{R_S}{1+sC_S R_S} + \frac{R_o}{1+sCR_o}}$$

SONDA X10

- prednosti:
  - 10 puta viša f_g za X10 sondu:

    $\omega_{g x1} \approx \frac{1}{R_g C_2}$; $\omega_{g x10} \approx \frac{10}{R_g C_2}$
  - mogućnost mjerenja x10 viših napona
  - povećanje vlastitog otpora 10x
- nedostaci:
  - atenuacija x10
  - odnos signal / šum
  - cijena sonde
  - sonde moraju uvijek biti kompenzirane prema svakom kanalu

$\boxed{\text{DIFF. AMP.}}$

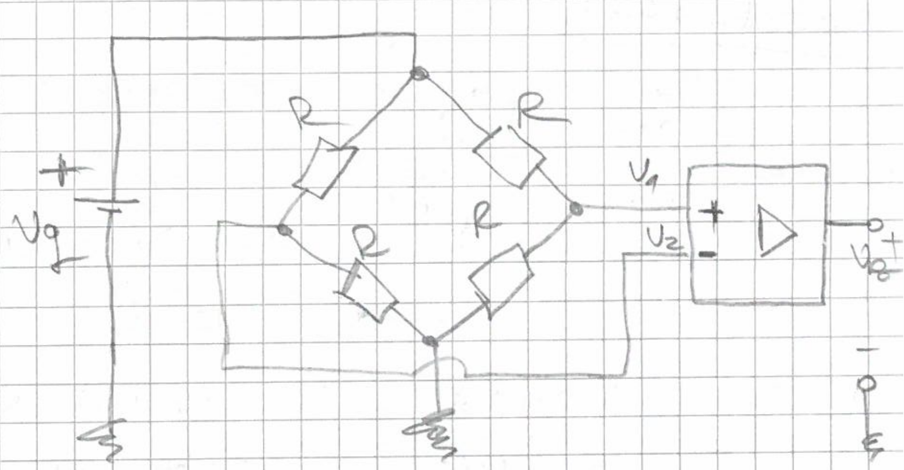
Zad. 11. Diferencijalnim pojačalom s asimetričnim izlazom i pojačanjem A=1000 mjeri se napon dijagonale tenzometarskog mosta izvedenog s jednakim otpornicima. Uslijed djelovanja sile, napon na dijagonali mosta iznosi 1 mV. Napajanje mosta izvedeno je istosmjernim naponom iznosa 10 V. Ako je faktor diskriminacije diff. amp. F=80 dB, koliki je napon na izlazu pojačala?

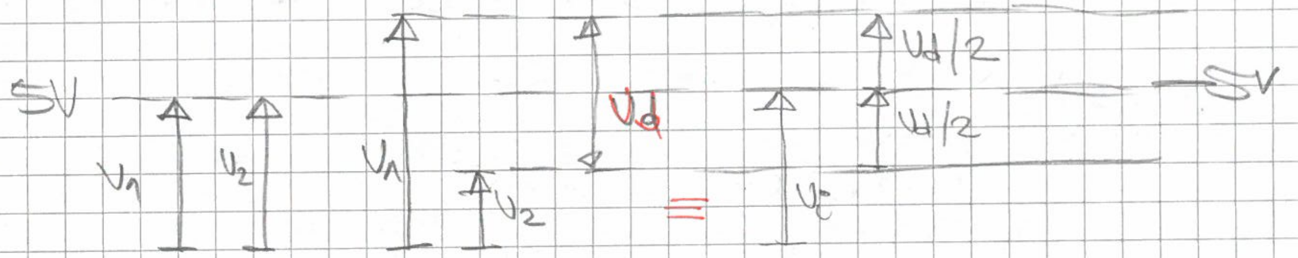
$A = 1000$

$U_d = 10^{-3}$ V

$U_g = 10$ V

$F = 80$ dB





RAVNOTEŽA   RAZGOĐENJE   NADOMJESNI PRIKAZ

$U_d = U_1 - U_2 = 10^{-3}$ V

$\begin{cases} U_1 + U_2 = 10 \text{ V} \\ U_1 - U_2 = 10^{-3} \text{ V} \end{cases}$ +

$2U_1 = 10{,}001$

$U_1 = 5{,}0005$ V

$\Rightarrow U_z = \dfrac{U_1 + U_2}{2} = \dfrac{5{,}0005 + 4{,}9995}{2} = 5$ V

$F = \dfrac{A_d}{A_z}$; $A_d = 1000$ $\Rightarrow A_z = \dfrac{A_d}{F}$

$F = 10^{80/20} = 10^4$

$A_z = 0.1$

$U_{iz,d} = A_d \cdot U_d = 1$ V

$U_{iz,z} = A_z \cdot U_z = 0{,}5$ V

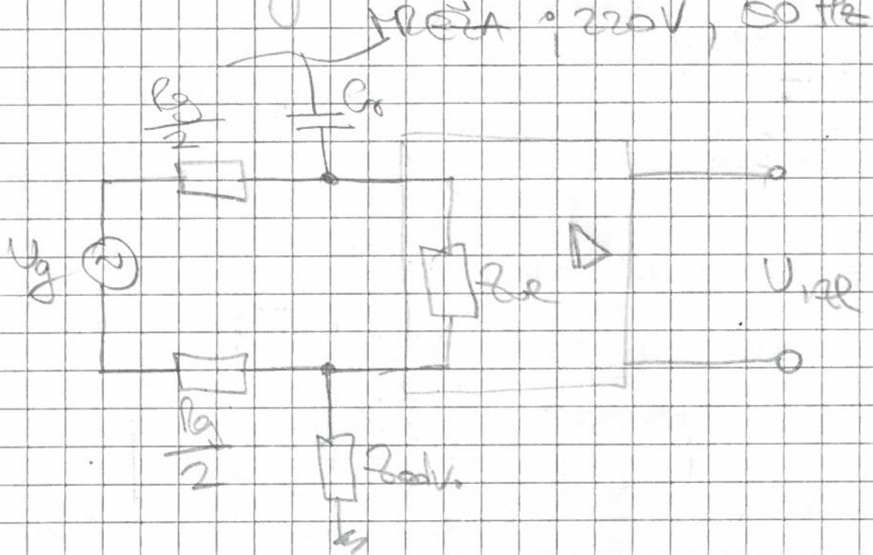
$U_{iz} = U_{iz,d} \pm U_{iz,z} = (1 \pm 0{,}5)$ V

$\Rightarrow U_{iz} \in [0{,}5 ; 1{,}5]$ V

Zad. 12.) Pojačalo ulazne impedancije 1 MΩ||15 pF i pojačanja 100 priključeno je na izvor napona čiji je unutarnji otpor jednak na "+" (HIGH) i na "−" (LOW) ulazu i iznosi 500 Ω. Odvodna impedancija "−" (LOW) stezaljke prema masi je $10^8\ \Omega$. Stezaljka "+" (HIGH) spregnuta je s vodovima gradske mreže preko zapornog kapaciteta C_r.

a) nacrtajte shemu nadomjeska za opisani slučaj

b) izračunajte najveću dopuštenu vrijednost zapornog kapaciteta C_r ako napon smetnje na izlazu pojačala mora biti manji od 1 mV.



$R_g = 1\ k\Omega$

$R_{odv} = 10^8\ \Omega$

$R_{ul} = 1\ M\Omega || 15\ pF$

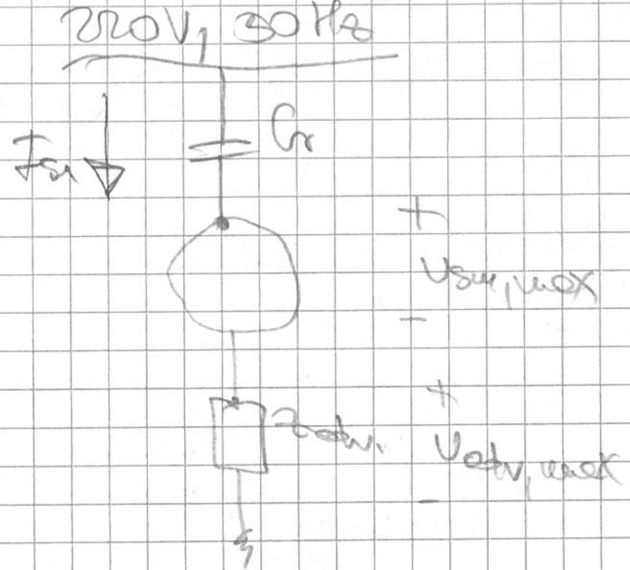
$A = 100$

$U_{sm,iz} < 10^{-3}$

$$U_{sm} = \frac{U_{sm,iz}}{A} = 10^{-5}\,V = 10\,\mu V$$

$$I_{sm} = \frac{U_{sm}}{R_g \| Z_{ul}} \approx \frac{U_{sm}}{R_g} = 10^{-8}\,A$$

$$Z_{ul} \gg R_g$$



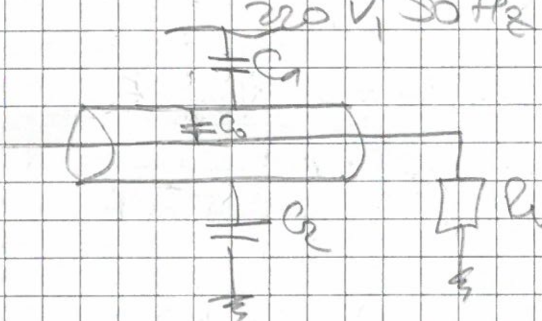
$$V_{odv,max} = I_{sm} \cdot R_{odv} = 1\ V$$

$$I_{sm} = \frac{220\,V}{\frac{1}{2\pi f C_r}} = 2\pi \cdot 220 f C_r$$

$$\Rightarrow C_r = \frac{I_{sm}}{2\pi \cdot 220 \cdot f}$$

$$\boxed{C_r = 0{,}14468\ pF}$$

Zad. 13. Na elektronski voltmetar ulaznog otpora 1 MΩ priključen je jednim svojim krajem koaksijalni kabel. Taj je kabel s vodom gradske mreže spregnut preko svojih kapaciteta $C_1 = C_2 = 5$ pF. C_1 je koncentrirani kapacitet između voda gradske mreže i plašta kabela, C_2 je koncentrirani kapacitet između plašta kabela i zemlje, dok je konc. kapacitet između plašta kabela i vodiča kabela $C_0 \gg C_1 + C_2$. Koliki će se napon smetnje zbog ove kapacitivne sprege pojaviti na ulazu elektroničkog voltmetra?



$R_V = 10^6\ \Omega$

$C_1 = C_2 = 5$ pF

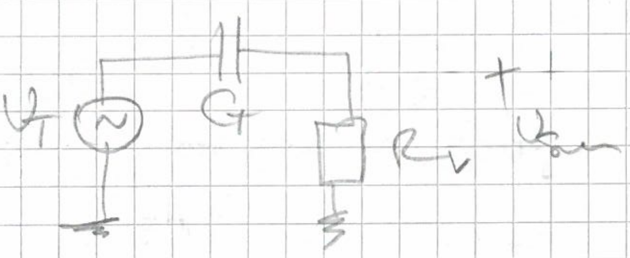
$C_0 \gg C_1 + C_2$

$\boxed{C_1 = C_2}$

$$U_T = U_{mreža} \cdot \frac{1}{C_1 + C_2} \approx \frac{U_{mreža}}{2}$$

$$C_T = \frac{C_0 (C_1 + C_2)}{C_0 + C_1 + C_2} = \frac{\cancel{C_0} \cdot 2C}{\cancel{C_0} + 2C} \approx 2C = 10\ pF$$

$C_0 \gg 2C$



$$U_{sm} = U_T \cdot \frac{R_V}{R_V + \frac{1}{j\omega C_T}} = \frac{220}{2} \cdot \frac{j R_V \omega C_T}{1 + j\omega C_T R_V}$$

$$= 110 \cdot \ldots$$

$$U_{sm} = 0{,}345 \angle 1{,}57^\circ \ \text{V}$$

$$|U_{sm}| = 345 \ \text{mV}$$

VJEŽBE 2

Zad. 1. U stabilizatoru napona koristi se zener dioda sljedećih svojstava:

$U_{Z0} = 15\ \text{V}$, $\Delta U_{Z0} = \pm 0{,}1\, U_{Z0}$, $I_{Zmin} = 5\ \text{mA}$,

$r_Z = 10\ \Omega$, $P_{max} = 0{,}5\ \text{W}$.

a) odredite najveću vrijednost otpora serijskog otpornika R_S u stabilizatoru tako da stabilizator ispravno radi uz ulazni napon $U_1 = 20\ \text{V}$ i priključeno trošilo $R_P = 3\ \text{k}\Omega$

b) uz tako odabran serijski otpor, koliki se najveći istosmjerni napon U_1 smije priključiti na ulaz stabilizatora, a da ne dođe do pregrijavanja diode?

c) odredite faktor naponske i strujne stabilizacije uz uvjete iz a) dijela zadatka

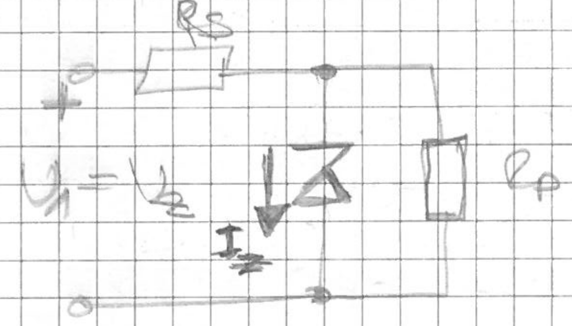
$U_{Z0} = 15\ V$

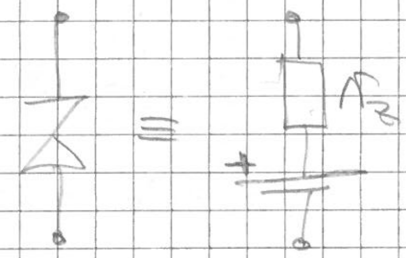
$\Delta U_{Z0} = \pm 0{,}1\, U_{Z0}$

$I_{Z\,min} = 5\ mA$

$r_Z = 10\ \Omega$

$P_{max} = 0{,}5\ W$



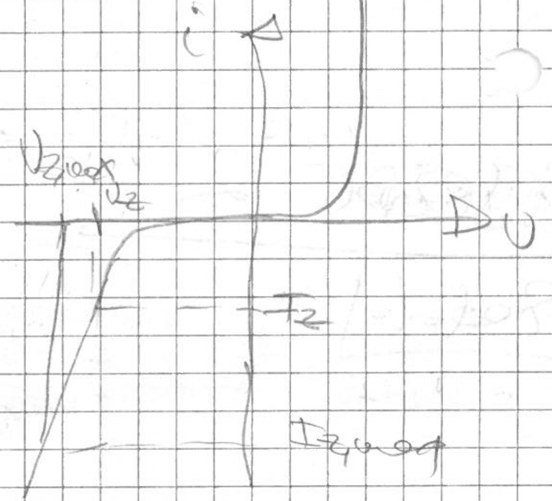


a) $U_1 = 20\ V$

$R_P = 3\ k\Omega$

$$U_Z = U_{Z0} + r_Z I_Z$$

$$I_Z = \frac{P_Z \cdot 80\%}{U_Z}$$



$R_{S,max} = ?$

↓ določen

s $I_{Z,min}$ da

la zener diode [illegible] possible

$$U_{1,min} = R_{S\,max}(I_{Z,min} + I_{P,max}) + U_{Z0,max}$$

$$R_{S\,max} = 0{,}333\ k\Omega$$

b) $U_Z = U_{Z0} + r_Z(I_Z - I_{Z\,min})$

$$\begin{cases} P_{max} = I_{Z\,max} U_{Z\,max} \\ U_{Z\,max} = U_{Z0\,max} + r_Z(I_{Z\,max} - I_{Z\,min}) \end{cases}$$

$$P_{max} = I_{Zmax}\left[U_{Z0max} + r_Z(I_{Zmax} - I_{Zmin})\right]$$

$$P_{max} - I_{Zmax}U_{Z0max} - I_{Zmax}^2 r_Z + r_Z I_{Zmin} I_{Zmax} = 0$$

$$\boxed{I_{Zmax} = 29{,}85 \text{ mA}}$$

$$U_{Zmax} = \frac{P_{Zmax}}{I_{Zmax}} = 16{,}75 \text{ V}$$

$$U_{1,max} = U_{Z,max} + I_{Z,max} R_S$$
$$= 26{,}7 \text{ V}$$

LINE REGULATION $k_u = \dfrac{\frac{\Delta U_{ul}}{U_{ul}}}{\frac{\Delta U_{iz}}{U_{iz}}} = \dfrac{\Delta U_{ul}}{\Delta U_{iz}} \cdot \dfrac{U_{iz}}{U_{ul}} = 25{,}84$

LOAD REGULATION $k_i = \dfrac{\frac{\Delta R_p}{R_p}}{\frac{\Delta U_{iz}}{U_{iz}}} = 310$

Zad. 2. U stabilizatoru napona koristi se Zenerova dioda sljedećih značajki:
$U_{Z0} = 20$ V, $I_{Zmin} = 10$ mA, $r_Z = 10\,\Omega$
$P_{max} = 1$ W.

a) $R_S = ?$, $U_1 = 25$ V, $R_p = 1$ kΩ

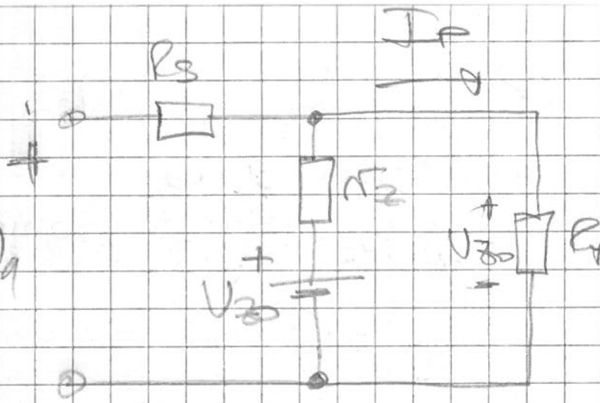
b) $U_{1,max} = ?$ da ne dođe do pregrijavanja diode

$U_{Z0} = 20\ V$

$I_{Zmin} = 10\ mA$

$r_Z = 10\ \Omega$

$P_{max} = 1\ W$



a) $U_1 = 25\ V$

$R_P = 1\ k\Omega$

$U_1 = R_S(I_{Zmin} + I_{Pmax}) + U_{Z0}$

$R_S = \dfrac{U_1 - U_{Z0}}{I_{Zmin} + \dfrac{U_{Z0}}{R_P}}$

$R_S = 166{,}67\ \Omega$

b) $U_{1,max} = ?$

$U_{Z,max} = U_{Z0,max} + r_Z (I_{Z,max} - I_{Z,min})$

$P_{max} = U_{Z,max} \cdot I_{Z,max}$

$P_{max} = U_{Z0} I_{Z,max} + r_Z I_{Z,max}^2 - r_Z I_{Z,min} I_{Z,max}$

$I_{Z,max} = -0{,}995 \pm 1{,}044$

$\Rightarrow I_{Z,max} = 0{,}049\ A$

$U_{Z,max} = \dfrac{P_{max}}{I_{Z,max}} = 20{,}39\ V$

$U_{1,max} = U_{Z,max} + I_{Z,max} R_S$

$= 28{,}564\ V$