

Ispitna pitanja i zadaci iz Elektroničkih mjerenja i komponenti (2.dio)

Teorijska pitanja

1. Navesti razliku između idealnih i realnih pasivnih komponenti.

Idealni elementi su linearni i vremenski nepromjenjivi, za razliku od realnih komponenata čija svojstva su podložna starenju te se mijenjaju u ovisnosti o temperaturi i drugim vanjskim čimbenicima. Realne komponente se ne mogu proizvesti tako da budu točno željenog iznosa, nego je njihova stvarna vrijednost u nekom predviđenom intervalu (tolerancije).

2. Opisati Renardov niz te dati E12 primjer.

Renardov niz

Nazivne vrijednosti pasivnih komponente određuju se prema Renardovom nizu opisanom izrazom:

$$N = ar^{n-1}$$

Pri čemu je:

N – nazivna vrijednost

a – prvi član niza

r – gustoća niza

$n = 1, 2, 3...$

Primjer – E12

$$a = 1$$

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

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

$$N = ar^{n-1}$$

$$N = 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2$$

3. Objasniti označavanje otpornika.

Nazivne vrijednosti otpornika označavaju se bojama, pri čemu za E12 niz:

1. oznaka (boja) označava prvu znamenku,
2. oznaka drugu znamenku,
3. oznaka eksponent,
4. oznaka toleranciju.

Kod za prve tri znamenke:

0 – crna

1 – smeđa

- 2 – crvena
- 3 – narančasta
- 4 – žuta
- 5 – zelena
- 6 – plava
- 7 – ljubičasta
- 8 – siva
- 9 – bijela

Za toleranciju:

- ±10% - srebrna
- ±5% - zlatna
- ±2% - crvena
- ±1% - smeđa

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

Stabilnost

Stabilnost (postojanost) je svojstvo komponente da zadrži vrijednost parametara unatoč utjecaju okoline na parametre, odnosno da nakon prestanka utjecaja poprimi jednaku vrijednost kao prije njegova nastanka.

Temperaturna ovisnost

Vrijednosti parametara elektroničkih komponenata mijenjaju se s temperaturom 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 temperature koje te komponente ne smiju prijeći.

Ostale značajke

- **Linearnost** – vrijedi do određene granice
- **Probojni napon** – ako na kondenzator stavimo prevelik napon do proboja dielektrika; električno polje djeluje na građu otpornika
- **VDR efekt** – ovisnost o naponu kod otpornika
- **Temperaturno područje** – donja temperaturna granica $0 \div -55\text{ }^{\circ}\text{C}$, gornja temperaturna granica $40 \div 350\text{ }^{\circ}\text{C}$
- **Vlažnost** – $50 \div 90\%$
- **Pouzdanost** – intenzitet kvara $0,1 \text{ do } 10^7 / 10^9 \text{ h}$

5. Kako se ispituje stabilnost i kako se izražava?

Ispitivanje stabilnosti

Najčešće se provode ispitivanja:

- uz povećanu temperaturu
- uz cikličke promjene temperature (grijanje – hlađenje)
- pod utjecajem ionizirajućeg zračenja

Izražavanje stabilnosti

Stabilnost se izražava kao relativna promjena vrijednosti parametra u postocima (%) ili ppm (*parts per million*), u zadanom vremenskom razdoblju i u zadanim uvjetima.

6. Kako se iskazuje temperaturna ovisnost?

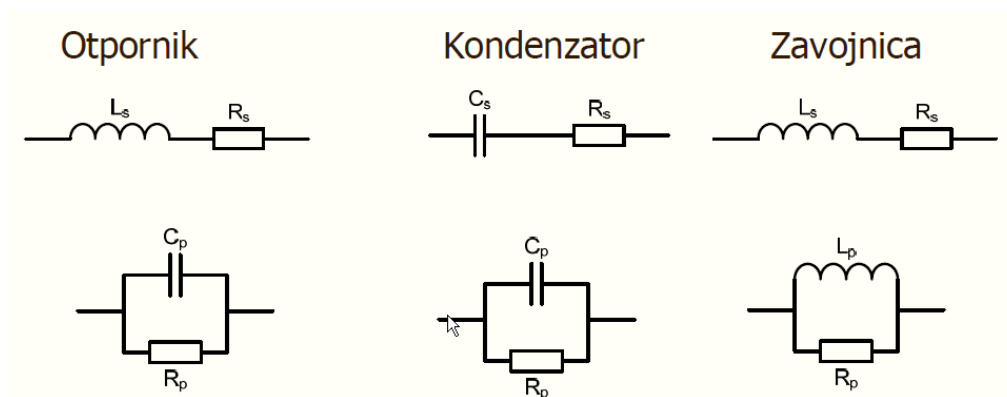
Relativne promjene iznosa iskazuju se kao temperaturni koeficijent, najčešće u % ili ppm / °C. Temperaturni koeficijent dobro opisuje ovisnost samo ako je ona linearna.

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

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

Maksimalne vrijednosti važne su za proračun tranzijentnih pojava i u slučaju nastupanja kvara na nekoj drugoj komponenti.

8. Nacrtati dvoelementne nadomjesne sheme pasivnih komponenti.



Slika 1 Nadomjesne sheme dvopola

9. Što je to faktor kvalitete Q i kako se definira? Dati primjer za serijsku i paralelnu dvoelementnu shemu zavojnice.

Q faktor

Faktor kvalitete (Q faktor) mjera za odstupanje od idealnih elemenata. Definira se kao omjer jalove i radne (disipirane) snage na komponenti.

Primjer

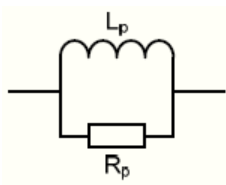
$$Q = \frac{P_L}{P_R}$$

Serijska dvoelementna shema zavojnice:



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

Paralelna dvoelementna shema zavojnice:



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

10. Što je to faktor disipacije D ili tangens kuta gubitaka $\tan \delta$ i kako se definira? Dati primjer za serijsku i paralelnu dvoelementnu shemu kondenzatora.

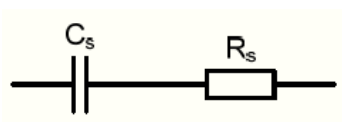
Faktor disipacije

Kod kondenzatora se kao mjera odstupanja stvarnog elementa od idealnog definira faktor disipacije D (tangens kuta gubitaka, $\tan \delta$):

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

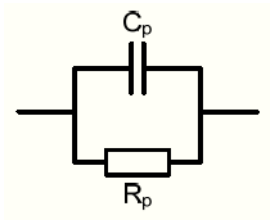
Primjer

Serijska dvoelementna shema kondenzatora:



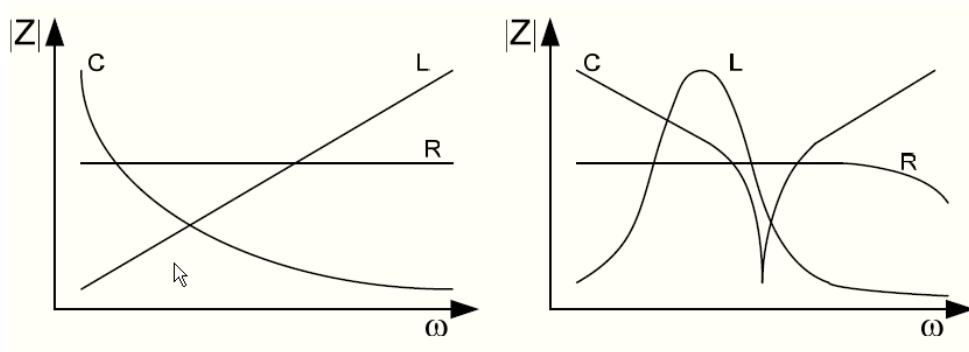
$$D = \omega R_s C_s$$

Paralelna dvoelementna shema kondenzatora:



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

11. Nacrtati frekvencijsku ovisnosti impedancije za idealne i realne pasivne komponente.



Slika 2 Usporedba ovisnosti impedancije o frekvenciji za idealne i realne pasivne komponente

12. Nabrojati koji sve otpornici postoje.

Stalni

- Ugljena masa
- Slojni:
 - Ugljeni
 - Metal-film
 - Metal-oksidi
 - Čip
- Žičani

Promjenjivi

- Položajno
 - Potenciometri
- Temperaturno
 - +PTC (Positive temperature coefficient)
 - -NTC (Negative temperature coefficient)
- Naponski
 - VDR (Voltage dependent resistor)
- Svjetlosno
 - LDR (Light dependent resistor)

13. Nabrojati značajke otpornika i ukratko ih objasniti.

Značajke otpornika:

- Raspon vrijednosti
- Stabilnost
- Tolerancije
- Nominalna snaga
- Veličina
- Maksimalni napon
- Šum
- Linearnost

14. Opisati karakteristike slojnih ugljenih otpornika: raspon vrijednosti, nominalne snage, maksimalni napon, tolerancije, temperaturni koeficijent.

Raspon vrijednosti

$0.1 \Omega \div 10 \text{ M}\Omega$

Nominalna snaga

Nominalna snaga definira se kod neke temperature ($55 \div 70 \text{ }^\circ\text{C}$). Iznad te temperature, dozvoljena snaga na otporniku opada i postaje 0 na maksimalno dozvoljenoj temperaturi, $T_{\text{max}} = 100 \div 150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Maksimalni napon

Ako je otpor otpornika velik, javlja se ograničenje uslijed najvećeg dozvoljenog napona na otporniku i uslijed VDR efekta ($\sim 1\text{-}2\%$)

Tolerancije

Zbog starenja nema smisla raditi precizne ugljene slojne otpornike, te su tipične tolerancije; 20%, 10%, 5%, maksimalno 2%.

Temperaturni koeficijent

Za manje vrijednosti otpora temperaturno koeficijent iznosi $-200 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, za veće otpore raste.

15. Kako stalnost slojnih ugljenih otpornika ovisi o uskladištenju, temperaturi, vlazi? Navesti nekoliko parametara koji dovode do procesa starenja ugljenih slojnih otpornika.

Starenjem ugljena slojni otpornici povećavaju otpor. Otpor raste više što su temperatura, vlaga i početni otpor veći.

Parametri koji dovode do procesa starenja ugljenih slojnih otpornika

- Elektroliza kod prolaza istosmjerne struje
- Apsorpcija plinova

- Oksidacija vodljivog materijala
- Promjena kontaktnog otpora
- Kristalizacija vodljivog materijala
- Otvrđnjavanje
- Hlapljenje veziva

16. Opisati karakteristike metal-film otpornika: temperaturni koeficijent, dimenzije te ovisnost o temperaturi, vremenu uskladištenja, vlazi.

Temperaturni koeficijent

Temperaturni koeficijent α određen je granicama i tipične vrijednosti su:

- 100 ppm / °C
- 50 ppm / °C
- 20 ppm / °C

Dimenzije

Za istu disipaciju manje dimenzije od ugljenih otpornika.

Ovisnost o temperaturi, vremenu skladištenja i vlazi

Najstalniji su otpori između 1k i 100k. Otpor raste proporcionalno s temperaturom, starenjem i skladištenjem.

17. Koje su prednosti a koji nedostaci SMD čip otpornika?

Prednosti

Na pločicu ih mogu automatski slagati roboti jer nemaju problema s npr.:

- nejednakim ili iskrivljenim izvodima,
- jeftiniji su jer je za manju površinu štampe i cijena manja.

Nedostaci

- VDR efekt
- Nelinearnost
- Strujni šum (jer je napareni sloj nehomogen)

18. Kako dijelimo žičane otpornike, koje su im prednosti a koji nedostaci?

Žica podnosi veće temperature.

Podjela

- Precizni otpori
- Otpori snage

Prednosti

Lakirani otpornici rade na temperaturi do 150 °C jer se slabije odvodi toplina, cementirani rade do 350 °C, a porculanski do 500 °C.

Nedostaci

Problem predstavlja induktivitet.

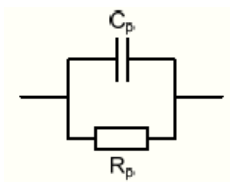
Otpori snage zagrijavaju okolinu pa treba paziti gdje se smještaju u uređajima.

19. Opisati frekvencijsku karakteristiku slojnih otpornika, kako ih nadomještamo za više frekvencije i više vrijednosti otpora, a kako za niže vrijednosti otpora?

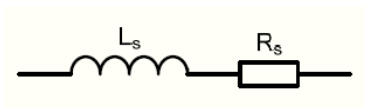
Frekvencijska karakteristika

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

Nadomjesna shema za visoke frekvencije i velike vrijednosti otpora



Nadomjesna shema za male vrijednosti otpora



20. Opisati termički šum kod otpornika. Kako ovisi o frekvenciji, a kako o temperaturi?

Termički šum je posljedica termičkih vibracija nosioca naboja u vodičima. Ne može se izbjeći. Bijeli šum ima gustoću šuma koja je konstantna po svim frekvencijskim područjima (do 1THz). Šum raste proporcionalno s porastom širine frekvencijskog područja i porastom temperature.

$$U = \sqrt{4kTR\Delta f}$$

21. Opisati strujni šum te ga usporediti sa termičkim šumom.

Strujni šum kod loših otpora može biti veći od termičkog šuma. Posljedica je protjecanja struje kroz otpornik, a uzrok mu je nehomogenost materijala od kojeg je građen otpornik. Šum je konstantan unutar jedne dekade, unutar više se mijenja. Na nižim frekvencijama strujni šum je veći od termičkog šuma.

22. Koje otpornike koristimo: za velike iznose otpora, za najmanje tolerancije, za velike snage, za veliku temperaturnu stabilnost, za mali šum, za širok frekvencijski opseg?

Veliki iznosi otpora

Ugljeni slojni otpornici (do 100 MΩ)

Najmanje tolerancije

Precizni žičani otpornici (do 0.01%)

Velike snage

Metal-oksidi otpornici (do 12 W)

Velika temperaturna stabilnost

Precizni žičani otpornici (± 30 ppm/K)

Mali šum

Precizni žičani i metal-film otpornici ($< 0.1 \mu\text{V/V}$)

Širok frekvencijski opseg

Metal-film otpornici

23. Navesti podjele promjenjivih otpornika (potenciometara) prema tipu, broju okretaja i ovisnosti o kutu, izvedbi, načinu spajanja te ukratko opisati razlike.

Prema tipu

- Standardni
 - Očekuje se česta promjena vrijednosti tokom životnog vijeka
- Trimer
 - Ne očekuje se česta promjena vrijednosti tokom životnog vijeka (100 – 200 okretaja)

Prema broju okretaja

- Jednokretajni
 - Kut zakretanja jednookretajnih potenciometara α najčešće je 270° ili 300°
- Višeokretajni (x10)

Prema ovisnosti o kutu

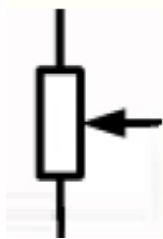
- Linearna ovisnost o kutu zakret klizača α
- Logaritamska ovisnost o kutu zakret klizača α
 - Primjena u audio uređajima

Prema izvedbi

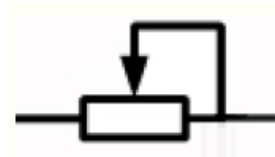
- Slojni
 - Ugljeni sloj na pertinaksu
 - Ugljeni sloj na keramici
 - Metal-film, cermet na keramici
- Žičani
 - Precizni
 - Namijenjeni za velike disipacije

Prema načinu spajanja

- Potenciometarski



- Promjenjivi otpor



24. Nabrojati najčešće tipove kondenzatora te navesti osnovne značajke kondenzatora.

Najčešće upotrebljavani kondenzatori

- Folijski
- Keramički
- Elektrolitski

Osnovne značajke kondenzatora

- Kapacitet
- Gubici
- Radni napon
- Tolerancije
- Temperaturno područje primjene
- Otpornost na vlagu

25. Ako želimo primijeniti kondenzator na višim frekvencijama što moramo učiniti?

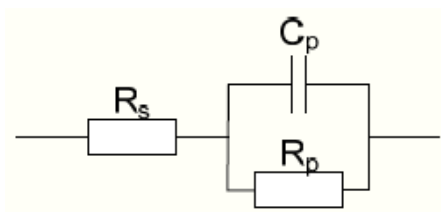
Ako želimo visoku rezonantnu frekvenciju, parazitni induktivitet treba biti što manji (što kraće priključnice). Najmanji induktivitet imaju keramički kondenzatori. Za postizanje veće granične frekvencije koriste se kondenzatori manjeg kapaciteta.

26. Opisati što je to impedancija voda napajanja i kako je otklanjamo blokadnim kondenzatorima.

Kritična impedancija kod izvedbi elektroničkih sklopova je impedancija voda napajanja koja uzrokuje propadanje u napajanju prilikom naglih promjena razina (primjerice kod bistabila). Paralelnim spajanjem blokadnih kondenzatora postiže se frekvencijska karakteristika koja je u širokom frekvencijskom području stalne, niske impedancije.

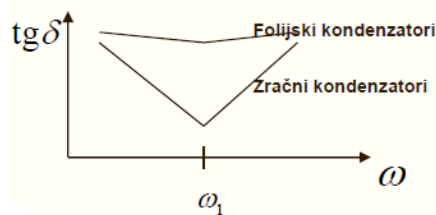
27. Nacrtati nadomjesnu shemu koja najbolje opisuje gubitke kondenzatora, te navesti izraz za faktor disipacije i nacrtati njegovu ovisnost o frekvenciji. Što je to ESR?

Nadomjesna shema koja najbolje opisuje gubitke kondenzatora



Faktor disipacije

$$\tan \delta = \tan \delta_s + \tan \delta_p = \omega R_s C_p + \frac{1}{\omega R_p C_p}$$



$$\omega_1 = \frac{1}{C_p \sqrt{R_s R_p}}$$

ESR

Ekvivalentni serijski otpor, sadrži sve gubitke i ovisan je o frekvenciji.

28. Opisati čime je sve definirano područje sigurnog rada kondenzatora i kako ono ovisi o frekvenciji. Navesti za koje tipove kondenzatora postoje navedena područja.

Područje sigurnog rada kondenzatora ograničeno je najvećim radnim naponom, snagom ili strujom kroz kondenzator.

Nominalni napon

Istosmjerni napon koji kondenzator mora izdržati u neprekidnom radu barem 10^3 sati (uz definiranu radnu temperaturu) i koji se u izvedbama sklopova ne smije prijeći, a određen je dielektričnom čvrstoćom izolacijskog materijala.

Najveći izmjenični napon određen je dielektričkom čvrstoćom, pa ako je najveći dozvoljeni napon deklariran kao istosmjerni, tjemena vrijednost izmjeničnog napona na kondenzatoru ne smije prijeći deklariranu vrijednost U_N . Kod sinusnog napona ne smije se prijeći efektivna vrijednost napona na kondenzatoru $U_N/\sqrt{2}$.

Za kondenzatore namijenjene radu u izmjeničnim krugovima, deklarira se najveća vrijednost izmjeničnog napona, kao najveći iznos efektivne vrijednosti sinusnog napona.

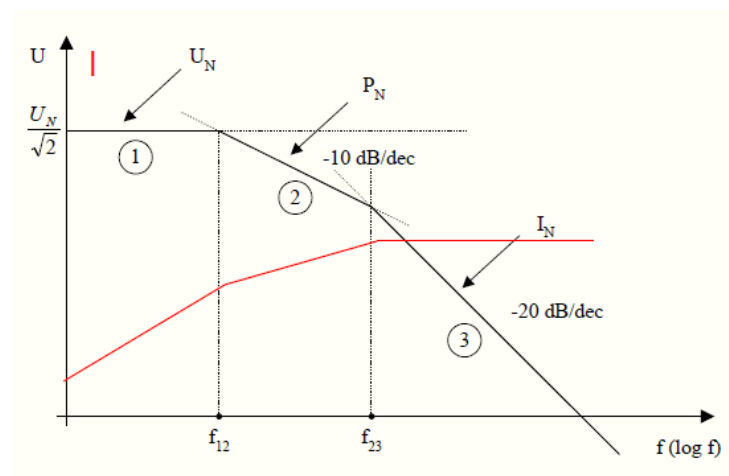
Maksimalna snaga

Na kondenzatorima priključenim na izmjenični napon, razvija se zbog gubitaka u dielektriku radna snaga, odnosno dolazi do njihovog zagrijavanja. Maksimalna snaga (disipacija) na kondenzatoru određuje se pomoću kuta gubitaka, $\tan\delta$ i maksimalne jalove snage na kondenzatoru, P_{cmax} . Kvalitetni kondenzatori imaju mali $\tan\delta$. Što su dimenzije kondenzatora veće, to je bolje odvođenje topline (manji toplinski otpor), pa kondenzator može disipirati veću snagu.

Maksimalna struja

Maksimalna dozvoljena struja kroz kondenzatore ograničena je zbog zagrijavanja na pločama kondenzatora i priključnim vodovima.

Frekvencijska ovisnost



$$f_{12} = \frac{P_{cmax}}{\pi U^2 C}$$

$$f_{23} = \frac{I_{max}^2}{P_{cmax} 2\pi C}$$

Tipovi kondenzatora i frekvencijska područja

Folijski kondenzatori rade u području 1 i 2, a ne na području 3 jer je tu $f \gg f_{rez}$

Keramički kondenzatori rade na sva tri područja.

29. Nabrojati tipove keramičkih kondenzatora te ih ukratko opisati.

TIP 1

Temperaturni koeficijent je konstantan u cijelom radnom području. Dielektrička konstanta ϵ_r kondenzatora tipa 1 je mala i iznosi do 500, a temperaturni koeficijent može doseći i vrijednost $\alpha = -5600$. Temperaturni koeficijent označava se slovima (P – pozitivan, N – negativan) i iznosom koji se deklarira u ppm. Kondenzatori tipa 1 koriste se u sklopovima kod kojih se zahtijeva stalnost iznosa kapaciteta (budući da se konstantni temperaturni koeficijent može sklopovskim rješenjima kompenzirati).

TIP2 i TIP3

Kondenzatori tipa 2 i tipa 3 nemaju konstantni α_T već se on mijenja unutar radnog područja kondenzatora. Što je ϵ_r veći, svojstva kondenzatora su lošija. ϵ_r može poprimiti vrijednosti do ~ 10000 . Iznos faktora gubitaka $\tan\delta$ je u području od 5 do 5×10^{-3} . Mijenjaju kapacitet ovisno o naponu. S obzirom na mali volumen (a veliki kapacitet), koriste se za blokiranje napajanja jer tamo iznos kapaciteta nije bitan. Jeftini su. Dielektrička svojstva kondenzatora tipa 3 su još lošija.

Višeslojni keramički kondenzatori

Građeni su od slijeva keramičkog dielektrika i vodiča koji tijekom sinteriranja poprimaju jedinstveni i neodvojivi oblik. Keramički slojevi moraju biti metalizirani prije sinteriranja, a najčešće se koristi plemeniti metal paladij.

30. Nabrojati vrste folijskih kondenzatora te im opisati svojstva.

Dijele se s obzirom na vrstu korištenog dielektrika

Papir

Kondenzatori s papirom kao dielektrikom brzo stare jer je papir higroskopan, zato ih moramo hermetički zatvoriti. Koriste se za veće snage i napone.

Plastične mase

- Poliester
 - $\alpha = +300 \pm 800 \text{ ppm}$
 - tolerancija 10 - 20%
 - najjeftiniji, najlošija svojstva, najrašireniji
- Polikarbonat
 - $\alpha = \sim 0$
- Polipropilen
 - $\alpha - 200 \text{ ppm}$
 - veliki izolacioni , dobro podnosi $\frac{du}{dt}$
- Stirofleks
 - $\alpha = 50 \text{ ppm}$

- starenje $\ll 0,5\%$ godišnje
- najmanje $\text{tg}\delta$
- jedini koji se radi u tolerancijama užim od 1%.

Tinjac

Staklo

32. Nabrojati vrste elektrolitskih kondenzatora, opisati im svojstva te nacrtati nadomjesnu shemu, pojednostavljenu nadomjesnu shemu i ovisnost impedancije o frekvenciji.

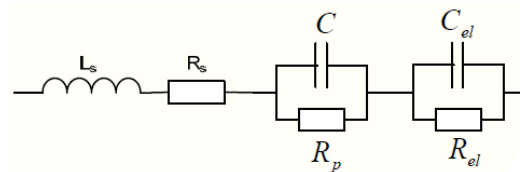
Vrste

Dijele se prema vrsti elektrolita (oksidi tantala i aluminijski).

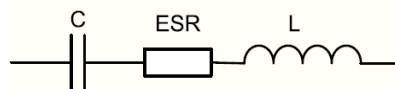
Svojstva

Metalni oksidi su dobri izolatori s vrlo visokim probojnim naponom. Dio metalnih oksida ispoljava svojstvo da u jednom smjeru dobro drži napon, a u drugom ga propušta. Elektrolitski kondenzatori imaju velik kapacitet po jedinici volumena pa se proizvode s velikim vrijednostima nazivnog kapaciteta, u rasponu od $0,1\mu\text{F}$ do 1F . Tolerancije elektrolitskih kondenzatora su velike, često $\pm 20\%$, $\pm 50\%$, ili -10% , $+20\%$. Osim toga, elektrolitski kondenzatori imaju svojstvo da i za vrlo male debljine izolacijskog sloja mogu izdržati visoke probojne napone.

Sheme

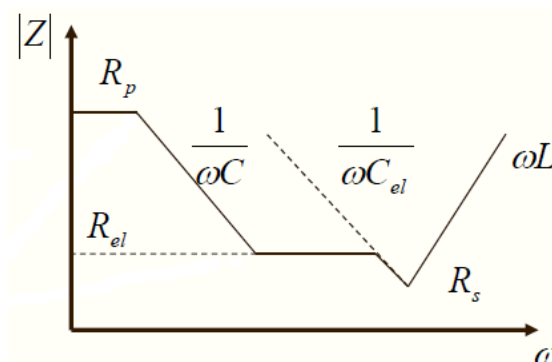


Slika 3 Nadomjesna shema elektrolitskog kondenzatora



Slika 4 Pojednostavljena nadomjesna shema elektrolitskog kondenzatora

Ovisnost impedancije o frekvenciji



33. Opisati kako se elektrolitski kondenzator ponaša u slučaju okrenutog polariteta, te što se događa prilikom uključanja na napon napajanja.

Spoj Al-Al₂O₃ se ponaša kao dioda. Mora se paziti na polaritet kod spajanja; ako se elektrolitski kondenzator spoji sa suprotnim polaritetom, može poteći velika struja i dovesti do uništenja kondenzatora. Kod uključivanja sklopa, pogotovo ako je kondenzator spojen na napon napajanja ili u ispravljaču kao filter, javi se velika udarna struja, koju kondenzator mora moći podnijeti.

34. Opisati karakteristike kondenzatora sa tantalovim elektrolitom.

Dielektrik je tantal oksid. Danas su najčešći suhi kondenzatori – dielektrik se sastoji od niza slijepljenih kuglica (velika površina). Suhi kondenzatori imaju bolju frekvencijsku karakteristiku i slabije starenje, ali ne podnose velike udarne struje.

Tipične primjene su filteri u ispravljačima i stabilizatorima te blokada napajanja na ulazu tiskanih pločica.

35. Opisati karakteristike zračnih kondenzatora te dati primjere njihove primjene.

Kod zračnih kondenzatora, dielektrik je zrak. Temperaturni koeficijent $20 \cdot 10^{-3}$. Veoma su stabilni, ne podliježu starenju. Izvode se i kao trimmer kondenzatori. Danas se sve rjeđe koriste. Raspon vrijednosti im je do 500 pF, trimmer kondenzatori oko 30pF. Ne proizvode se promjenljivi kondenzatori velikog kapaciteta. Najčešća primjena je im je u sklopovima gdje je potrebno linearno mijenjati frekvenciju, npr. u radio-prijamnicima. Kod mjernih sondi (kompenziranih dijelila napona, npr. kompenzacije osciloskopskih sondi) podešava se manji kondenzator iz praktičnih razloga, teoretski je svejedno.

36. Opisati općenito svojstva zavojnica, raspone vrijednosti, proračun induktiviteta za zavojnicu namotanu na toroidnu jezgru te opisati kakva treba biti zavojnica za dobivanje velikog induktiviteta. Od kojih se materijala izgrađuju jezgre? Kako se koriste s obzirom na frekvenciju i gdje su nezamjenjive?

Svojstva

Zavojnice su elementi velikog vlastitog induktiviteta (svojstvo vodiča da se protivi prolasku struje kroz njega).

Rasponi vrijednosti

- 1μH do 1mH za zavojnice sa žičanim izvodima
- od 10nH za zavojnice izvedene u SMD tehnologiji

Proračun induktiviteta za zavojnicu namotanu na toroidnu jezgru

$$L = n^2 \mu_0 \mu_r \frac{S}{l_m}$$

n – broj zavoja namotanih na jezgru

μ_0 – permeabilnost ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)

μ_r – relativna permeabilnost
 S – površina presjeka jezgre (m^2)
 l_m – duljina magnetskog puta (m)

Opis zavojnice velikog induktiviteta

Za postizanje velikih iznosa induktiviteta, jezgra zavojnice treba biti velikog presjeka, i malog promjera (kako bi magnetski put bio što kraći). S obzirom da namotaj zahtijeva određeni prostor, otvor u središtu jezgre treba biti dovoljno velik da namotaj u njega stane.

Materijali od kojih se izrađuju jezgre

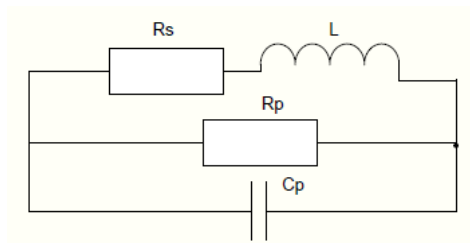
Za izradu zavojnica se, gdje god je to moguće, koriste jezgre od feritnih materijala, koje imaju visoku relativnu permeabilnost, ali nisu vodljive.

Korištenje zavojnica s obzirom na frekvenciju i važne primjene

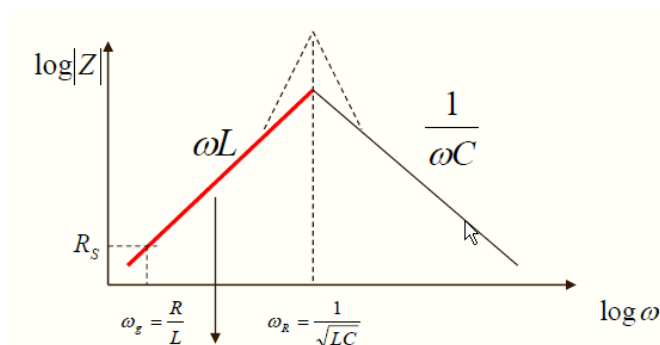
Zavojnice se u niskofrekvencijskim sklopovima, gdje god je to moguće, nastoje funkcijski zamijeniti drugim reaktivnim komponentama, tj. kondenzatorima, zbog cijene i kontrole tolerancija značajki sklopa. Na višim frekvencijama, zavojnice se koriste najčešće u rezonantnim i selektivnim krugovima i filtrima. Na mikrovalnim frekvencijama, induktivitet se postiže vodljivim likovima na tiskanim pločicama i integriranim krugovima. Zavojnice su nezamjenjive u sklopovima/izvorima napajanja s prekidanjem struje.

37. Nacrtati nadomjesnu shemu zavojnice, ovisnost impedancije o frekvenciji te objasniti kako je moguće povećati induktivitet zavojnice.

Nadomjesna shema zavojnice



Ovisnost impedancije o frekvenciji



Povećanje induktiviteta zavojnice

Ako se želi povećati induktivitet zavojnice treba:

- Smanjiti kapacitet većim razmakom između zavoja → smanji se i induktivitet)
- Kod većih induktiviteta, zavojnica se mota križno
- Za jako velike induktivitete zavojnica se mota u segmentima

38. Opisati zračne zavojnice, njihov efektivni serijski otpor, te načine optimiranja izvedbe.

Zračne zavojnice su zavojnice bez jezgre od feromagnetskog materijala

Efektivni serijski otpor

Može se prikazati s četiri elementa:

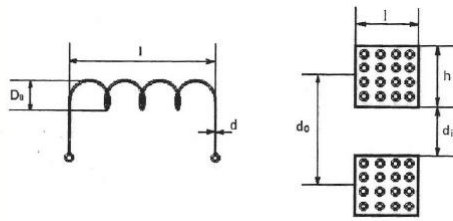
$$ESR = R_0 + R_S + R_B + R_D$$

Gdje je:

- R_0 - Omski otpor zavojnice
 - Proporcionalan je duljini žice kojom je namotana i obrnuto proporcionalan površini presjeka žice.
- R_S – Otpor dolazi do izražaja uslijed skin-efekta $\uparrow \sqrt{\omega}$
 - Povećanjem frekvencije R_S raste, struja teče bliže rubovima, raste otpor žice, a time i gubici. Za smanjenje R_S koristimo više malih žica međusobno izoliranih umjesto jedne velike (tzv. licna).
- R_B – Otpor uslijed efekta blizine
 - R_B smanjuje površinu kojom struja teče, jer se 2 vodiča protjecana strujom odbijaju.
- R_D – Gubici u dielektriku
 - Gubici u dielektriku naglo rastu porastom frekvencije

Optimiranje izvedbe

optimalni promjer žice	
jednoslojna zavojnica	0,2 – 0,6 mm
višeslojna zavojnica	0,08 – 0,2 mm



područje vrijednosti L	vrsta zavojnice	dimenzije	
1,8 – 30 μH	jednoslojna s proredom	$D_0 \approx 6 - 25 \text{ mm}$	$\frac{l}{d} \approx 0,4 - 0,6$ - neoklopljena zavojnica
30 – 500 μH	jednoslojna, zavoj do zavoja	$D_0 \approx 10 - 50 \text{ mm}$	$\frac{l}{d} \approx 0,8 - 1,2$ - oklopljena zavojnica
> 500 μH	višeslojna	$\frac{h}{d_i} \approx 0,25 - 1,0$	$\frac{l}{d_0} \approx 0,3 - 0,4$

39. Objasniti korištenje jezgre od feromagnetskog materijala i efektivni serijski otpor za iste zavojnice.

Korištenjem jezgre od feromagnetskog materijala, povećava se magnetski tok u jezgri, a time i induktivitet L.

$$L = \mu_p L_0$$

L_0 – induktivitet zračne zavojnice

μ_p – prividna permeabilnost; ovisi o obliku jezgre i položaju namotaja

- $\mu_p \neq \mu_{\text{jezgre}}$ jer se dio toka zatvara i kroz zrak

$$L = \frac{\mu \mu_{ef} N^2}{\sum \frac{l}{S}} = A_L N^2$$

Σ – oblik jezgre

l/s – magnetski put kojim prolaze silnice

A_L – induktivitet po jednom zavoju žice, definira ga proizvođač [nH/zav^2]

ESR

Za zavojnice s jezgrom od feromagnetskog materijala, efektivni serijski otpor zavojnice ESR može se prikazati s dva nadomjesna elementa:

$$R_{ESR} = R_Z + R_J$$

gdje su R_Z gubici namotaja, a R_J gubici jezgra.

$$R_J = R_H + R_R + R_{VS}$$

R_H – Otpor histereze $\rightarrow R_H = kLHf$

R_R – Otpor uslijed remanentnog magnetizma nastaje zato što magnetizacija jezgre kasni za uzbuđenjem $\rightarrow R_R = kLf$

R_{VS} – Otpor uslijed vrtložnih struja $\rightarrow R_{VS} = kLf^2$

- R_{VS} se smanjuje:
 - smanjenjem presjeka (jezgra od izoliranih limova) vodiča,
 - povećanjem otpora jezgre

40. Objasniti što su to feritne jezgre, gdje i zašto se koriste. Objasniti da li je moguće ugađanje induktiviteta.

Na vrlo visokim frekvencijama koriste se feritne jezgre (spoj oksida metala i oksida željeza). Njima je otpor puno veći nego željezu (vrtložne struje puno manje, permeabilnost je vrlo visoka).

Primjene zavojnica u elektroničkim izvorima napajanja: LC filter u DC/DC pretvorniku.

Ugađanje vrijednosti induktiviteta zavojnice moguće je s pomoću feritnog vijka koji se postavlja na odgovarajuću dubinu u jezgru.