**BRZE KOMUNIKACIJSKE MREŽE**

**ZADACI**

**1. zadatak** Razmotrite dva identična četveropola koji su spojeni u serijski spoj (Slika 1).



Slika 1 Serijski spoj dva četveropola

a) Odredite izraz u matričnom obliku za ovisnost izlaznog napona i struje o ulaznom naponu i struji u obliku:



pri čemu je parametre *E*, *F*, *G* i *H* potrebno izraziti pomoću parametara *A*, *B*, *C* i *D* (navedeni naponi, struje, impedancije i parametri četveropola su funkcije frekvencije, ali se zbog kraćeg zapisa to posebno ne ističe).

Rješenje: 

b) Odredite izraz za prijenosnu funkciju serijskog spoja četveropola *H*(*f*) = *V*2(*f*)/*V*1(*f*) te ju izrazite pomoću impedancije *Z*L i parametara *A*, *B*, *C* i *D*.

Rješenje: 

**2. zadatak** Potrebno je analizirati prijenosnu liniju zadanu slikom 2.



Slika 2 Prijenosna linija

Pretpostavke su sljedeće:

1) linija je jako dugačka;

2) na ulazu linije postignut je maksimalni prijenos snage s izvora na liniju.

Za impedancije *Z*S, *Z*0 i *Z*L vrijede sljedeći identiteti: *Z*S = *R*S + *j*⋅*X*S, *Z*L = *R*L + *j*⋅*X*L.

Odredite:

a) izraz za koeficijent refleksije na kraju linije (na opterećenju *Z*L) u ovisnosti o impedancijama *Z*S i *Z*L, odnosno u ovisnosti o njihovim realnim i imaginarnim komponentama;

Rješenje: 

b) izraz za prigušenje reflektiranog vala (eng. *return loss*) u ovisnosti o impedancijama *Z*S i *Z*L, odnosno u ovisnosti o njihovim realnim i imaginarnim komponentama.

Rješenje: 

**3. zadatak** U jednom zajedničkom kabelu nalaze se tri parice raspoređene u pravilnu geometriju jednakostraničnog trokuta pri čemu se parice nalaze u vrhovima tog trokuta. Drugim riječima, udaljenosti svake parice prema ostale dvije su međusobno jednake. Na ulaz svake parice narinut je identičan sinusni signal određene frekvencije *f*0 i srednje snage -10 dBm. Pretpostavimo da prigušenje preslušavanja s jedne parice na bliži kraj druge parice na promatranoj frekvenciji iznosi 60 dB. Sukladno tome, odredite koliko iznosi ukupna srednja snaga preslušana s dvije ometajuće parice na bliži kraj ometane parice na frekvenciji *f*0. Pri tome treba pretpostaviti da su preslušavanja na bliži kraj s ometajućih parica na ometanu dva međusobno neovisna slučajna procesa.

Rješenje: *P*u = 0,2 nW ≈ –67 dBm

**4. zadatak** Promatrajte dio jedne spektralne maske prikazan na slici 3. Spektralna maska određuje srednju snagu izvora signala na nekoj DSL liniji.



Slika 3 Dio maske spektralne gustoće snage

Odredite spektralnu gustoću snage na frekvenciji (*f*1 + *f*2)/2pod pretpostavkom da frekvencija *f*1 iznosi 100 kHz, a nagib prikazane krivulje je 10 dBm/oktava.

Rješenje: *S* = –54,15 dBm/Hz

**5. zadatak** Zadana je maska spektralne gustoće snage u nekom DSL sustavu. U području od 2000 kHz do 2100 kHz maska ima nagib -80 dB/oktava. Odredite koliko dBm/Hz iznosi spektralna gustoća snage na frekvenciji 2050 kHz, ako spektralna gustoća snage na 2000 kHz iznosi –45 dBm/Hz.

Rješenje: *S* = –47,85 dBm/Hz

**6. zadatak** Prijenosnu karakteristiku promatrane prijenosne linije određuju dva sekundarna parametra, konstanta prostiranja *γ* [Np/km] i karakteristična valna impedancija *Z*0 [Ω]. Sekundarni parametri linije određeni su primarnim parametrima linije, *R* [Ω/km], *L* [H/km], *G* [S/km] i *C* [F/km].

a) Promatrajući frekvencijsku ovisnost konstante prigušenja, odredite izraz za njenu minimalnu vrijednost (konstanta prigušenja se strogo povećava s porastom frekvencije).

Rješenje: za *ω* = 0 rad/Hz 

b) Odredite izraz za faznu konstantu *β* [rad/km], ako je konstanta prigušenja dana sljedećim izrazom: 

Rješenje: 

c) Promatrajući frekvencijsku ovisnost fazne konstante odredite njenu vrijednost na frekvenciji 0 Hz.

Rješenje: za *ω* = 0 rad/Hz *β* = 0 rad/km

d) Odredite izraze za konstantu prigušenja i faznu konstantu za liniju bez gubitaka.

Rješenje: za *R* = *G* = 0 *α* = 0 Np/km 

U svim potpitanjima tražene izraze prikažite kao funkcije kružne frekvencije *ω* te primarnih parametara *R*, *L*, *G* i *C*. Iako se generalno radi o frekvencijski ovisnim veličinama, u ovom zadatku promatrajte *R*, *L*, *G* i *C* kao konstante neovisne o frekvenciji.

**7. zadatak** Potrebno je analizirati prijenosnu liniju zadanu donjom slikom.



Na stezaljkama *a* i *b* moguće je izmjeriti ulaznu impedanciju linije *Z*u (umjesto izvora na tom mjestu spajamo mjerač impedancije).

a) Odredite matematički izraz za karakterističnu valnu impedanciju *Z*0 koji se temelji na samo dva mjerenja ulazne impedancije linije. Prije početka mjerenja poznate su samo impedancija *Z*L i duljina linije *d*. Napomena: konačni izraz je potrebno izvesti iz izraza za ulaznu impedanciju linije.

Rješenje: za *Z*L = 0 *Z*uk = *Z*0th(*γd*), za *Z*L → ∝ *Z*up = *Z*0/th(*γd*), 

b) Nakon što ste pod a) odredili izraz za *Z*0, koristeći istu metodologiju odredite matematički izraz za određivanje konstante prigušenja *γ*.

Rješenje: 

**8. zadatak**

Zadane su dvije linije jednake duljine koje se u kabelu nalaze jedna blizu druge i međusobno se ometaju preslušavanjem. Razmatrajte slučaj kad linija 1 ometa liniju 2.



Izmjerene su sljedeće srednje snage:

* srednja snaga izvora na početku linije 1, *P*1 = 20 dBm,
* srednja snaga na kraju linije 1, *P*2 = –50 dBm,
* srednja snaga na početku linije 2, *P*3 = **–**80 dBm,
* srednja snaga na kraju linije 2, *P*4 = –100 dBm

Odredite sljedeće veličine:

a) NEXT – prigušenje preslušavanja na bližem kraju linije 2 (na mjestu priključenja impedancije *Z*s),

Rješenje: 100 dB

b) FEXT – prigušenje preslušavanja na daljem kraju linije 2 (na mjestu priključenja impedancije *Z*L),

Rješenje: 120 dB

c) ELFEXT između linija 1 i 2,

Rješenje: 50 dB

d) ACR (Attenuation-to-Crosstalk Ratio) na liniji 2,

Rješenje: 30 dB

e) umetnuto prigušenje linije.

Rješenje: 70 DB

**9. zadatak** Promatrajte teorijski DMT sustav koji koristi *M* potkanala. U svakom potkanalu bitovi se popunjavaju u rasponu od 0 do nekog maksimalnog iznosa, s tim da se svaki podnosilac modulira modulacijom QAM-*n*, pri čemu vrijedi 0 ≤ *n* ≤ *N*. Odredite izraz za maksimalnu brzinu takvog sustava, ako trajanje svakog DMT simbola iznosi *T*S sekundi?

Rješenje: *R*max = *M*⋅log2(*N*)/*T*S [bit/s]

**10. zadatak** Zadana je linija koja je na oba kraja zaključena impedancijom jednakom njenoj karakterističnoj valnoj impedanciji, tj. *Z*0 = *Z*S = *Z*L [Ω]. Neka je Re(*Z*0) neovisan o frekvenciji, a Im(*Z*0) = 0.



Neka napon izvora ima oblik *V*S(*t*) = Im{*V*0·ej*ωt*} = 5·sin(*ωt*) [V].

a) Napon se prostire linijom pomoću EM vala. Neka fazna brzina u liniji na promatranoj frekvenciji iznosi 2·105 km/s. Pretpostavimo da na udaljenosti 2 km od početka linije (početkom linije smatramo stezaljke a i b) ima fazu jednaku naponu na početku linije. Odredite minimalnu frekvenciju *f*m (*ω* = 2π*f*), različitu od nule, za koju je ostvarena spomenuta jednakost faze.

Rješenje: 105 Hz

b) Pod pretpostavkom da izvor generira napon frekvencije *f*m, odredite izraz za vremensku ovisnost napona u točki koja je od početka linije udaljena za 1 km, ako umetnuto prigušenje linije na frekvenciji *f*m iznosi 5 dB.

Rješenje: -4,457⋅sin(2π⋅105⋅*t*) [V]

c) Ako je linija dugačka 5 km, koliko će EM valu napona frekvencije *f*m trebati da pređe put od izvora do prijemnika, tj. od stezaljki a i b do stezaljki c i d.

Rješenje: 25 μs

d) Uz uvažavanje svih prethodno zadanih parametara linije, odredite omjer srednje snage sinusnog napona na stezaljkama c i d u odnosu na srednju snagu na stezaljkama izvora (napomena: to nisu stezaljke a i b). Pretpostavite da vrijedi 10log10(2) = 3 dB.

Rješenje: 0,158

e) Pretpostavite da se u okolini frekvencije *f*m fazna konstanta mijenja linearno u ovisnosti o frekvenciji, *β* = *af* [rad/km], pri čemu je *a* realna konstanta. Koliko mora iznositi *a* pa da grupno kašnjenje iznosi 1 μs/km?

Rješenje: 2π rad/km

**11. zadatak** Razmatrajte liniju od koje se u nekoj točki odgranjava premošteni odvojak.



Linija ukupne duljine *l* = *l*1 + *l*2 [km] ima zadanu karakterističnu valnu impedanciju *Z*0 [Ω]. Premošteni odvojak duljine *d* [km] ima zadanu karakterističnu impedanciju *Z*P [Ω]. Linija i premošteni odvojak imaju jednaku konstantu prostiranja *γ* [Np/km]. Odredite:

a) Izraz za napon i struju na početku premoštenog odvojka, *V*(0) i *I*(0), u ovisnosti o naponu i struji na kraju premoštenog odvojka, *V*(d) i *I*(d), u matričnom obliku. Početkom premoštenog odvojka smatramo točku u kojoj se odvojak veže na liniju, a njegov kraj se nalazi tamo gdje su otvorene stezaljke. Članovi matrice premoštenog odvojka moraju biti napisani kao funkcije od zadanih veličina *γ*, *d* i *Z*P.

Rješenje: 

b) Na temelju rezultata izvoda ostvarenog pod a) odredite izraz za ulaznu impedanciju premoštenog odvojka. Ulaznu impedanciju premoštenog odvojka promatramo na njegovom početku, tj. u točki spajanja na liniju. Izraz za ulaznu impedanciju premoštenog odvojka mora biti prikazan kao funkcija od zadanih veličina *γ*, *d* i *Z*P.

Rješenje: *Z*u = *Z*pcth(*γd*)

c) Odredite izraz za ulaznu impedanciju premoštenog odvojka ako na njegovom kraju kratko spojimo otvorene stezaljke. Izraz za ulaznu impedanciju premoštenog odvojka mora biti prikazan kao funkcija od zadanih veličina *γ*, *d* i *Z*P.

Rješenje: *Z*u = *Z*pth(*γd*)

d) Napišite izraz za napon i struju na početku linije, V(a-b) i I(a-b), u ovisnosti o naponu i struji na kraju linije, V(c-d) i I(c-d), u matričnom obliku. Izraz mora u sebi sadržavati sekcije linije duljine *l*1 i *l*2 te premošteni odvojak i mora biti prikazan kao funkcija zadanih veličina *l*1, *l*2, *γ*, *Z*0 te ulazne impedancije premoštenog odvojka *Z*up.

Rješenje: 

e) Pod pretpostavkom da premošteni odvojak nema gubitaka (za parametre odvojka vrijedi *R* = *G* = 0, tj. *α* = 0), odredite koji uvjet mora zadovoljavati njegova fazna konstanta *β* pa da odvojak djeluje kao kratki spoj, odnosno kao otvorene stezaljke.

Rješenje: za kratki spoj , za otvorene stezaljke 