

# VEZJA PRI VISOKIH FREKVENCAH

## Avditorne vaje

Aleksander Sešek, Drago Strle

[aleksander.sesek@fe.uni-lj.si](mailto:aleksander.sesek@fe.uni-lj.si)

01/4768 727

# VEZJA PRI VISOKIH FREKVENCAH I. VF Sistemi

## Avditorne vaje

Aleksander Sešek, Drago Strle

[aleksander.sesek@fe.uni-lj.si](mailto:aleksander.sesek@fe.uni-lj.si)

01/4768 727

## Iz prosojnic za predavanja

- Šumni faktor in šumno število (VF sistemi prosojnica 24)

$$F = \frac{SnR_i}{SnR_o} = 1 + \frac{N_a}{GN_i}; \quad NF = 10 \cdot \log_{10}(F)$$

- »  $N_a$  = šumna moč na izhodu
- »  $N_i$  = šumna moč na vhodu
- »  $G$  = močnostno ojačanje

- Šumna temperatura (VF sistemi prosojnica 25)

$$T_e = \frac{N_a}{kG\Delta f}; \quad F = 1 + \frac{T_e}{T} \text{ oziroma } T_e = (F - 1) \cdot T$$

- $T$  je temperatura okolice šumnega izvora in je za
  - » zemeljsko anteno  $T=290$  K
  - » anteno na satelitu  $T=$  od 30 K do 50 K
  - » za PIN diodo pa  $T > 290$  K

## Iz prosojnic za predavanja

- Občutljivost sprejemnika  $S_i$  (VF sistemi prosojnica 27)

- Sistem na zemlji

$$S_i(dBm) = -174dBm + NF(dB) + 10\log \Delta f + SNR(dB)$$

- Sistem na satelitu

$$S_i(dBm) = -184dBm + NF(dB) + 10\log \Delta f + SNR(dB)$$

- SNR za različne modulacije pri  $BER=10^{-6}$

- BPSK SNR = 12,5dB
- QPSK SNR = 14dB
- 16QAM SNR = 21dB
- 64QAM SNR = 27dB

## Iz prosojnic za predavanja

- Razmerje moči osnovnega signala in interferenčen komponente  
(FoM - VF sistemi prosojnica 27)

- Osnovna enačba

$$IIP_n = \frac{P_o}{IM_n}; P_o = 10\log(G) + P_i; IM_n = S_i - C$$

»  $P_o$  – moč osnovne komponente,  $IM_n$  – moč interferenčne komponente

- Izpeljani enačbi

$$IIP_n = \frac{nP_i - IM_n}{n-1} \text{ oziroma } IIP_n = \frac{nI_i - (S_i - C)}{n-1}$$

kjer je C meja sprejema,  $I_i$  - moč i-te komponente

## 1. 5GHz brezžični LAN sistem

Imamo sprejemnik z naslednjimi lastnostmi:

- šumno število 6dB,
- QPSK modulacija,
- bit error rate  $10^{-6}$ ,
- in pasovno širino 20MHz.

Izračunaj občutljivost sprejemnika.

## 2. 12GHz satelitski sprejemnik

Imamo sprejemnik z naslednjimi lastnostmi:

- temperatura antene 30K
- šumno število izmerjeno pri 293K je 1dB
- 64QAM modulacija,
- bit error rate  $10^{-6}$ ,
- in pasovno širino 6MHz.

Izračunaj občutljivost sprejemnika.

### 3. 60GHz sprejemnik

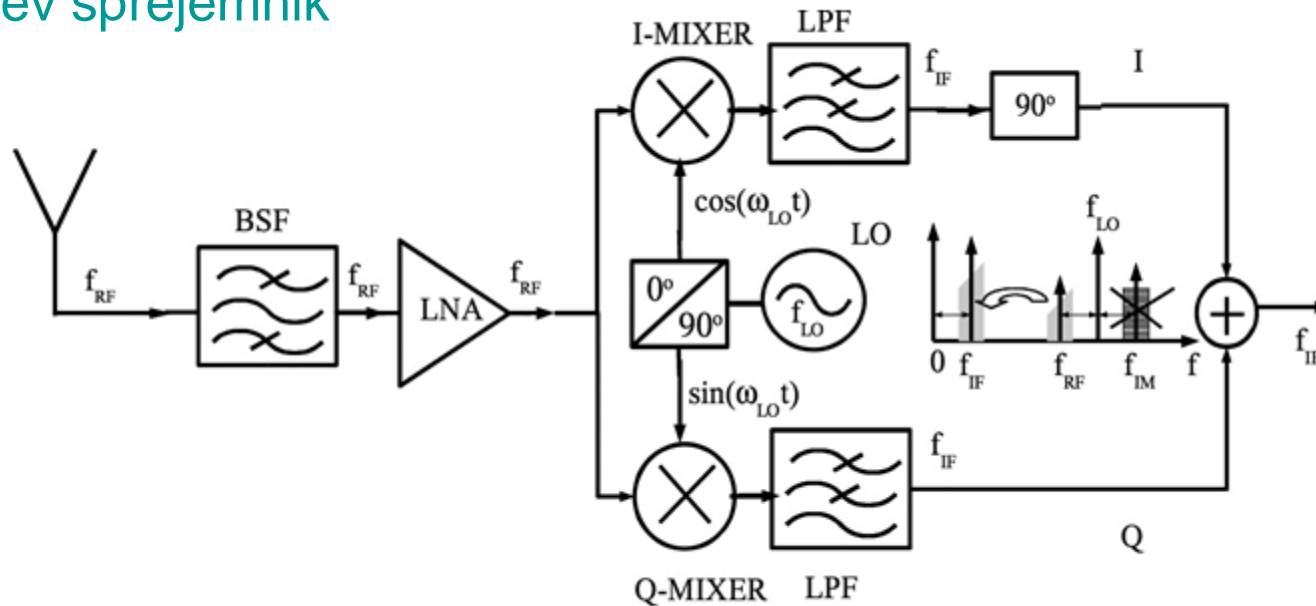
Imamo sprejemnik z naslednjimi lastnostmi:

- pomemben signal je pri 60GHz
- interferenčni komponenti sta pri frekvencah 64GHz in 62GHz,
- moč interferenčnih komponent je -38dBm,
- občutljivost sprejemnika je -60dBm
- meja sprejema pa 14dB.

Izračunaj  $IIP_3$ .



## 4. Hartley-ev sprejemnik



Kako se spremeni ta blok diagram če imamo primer ko je  $f_{IF}$  nižja od  $f_{LO}$  in  $f_{RF}$  višja od  $f_{LO}$ ?

5. Na satelitu, ki deluje na 12GHz in pri temperaturi 29,3K imamo 50Ω GaAs MESFET LNA. Njegove lastnosti so:
- šumno število izmerjeno pri 293K je 2,3dB
  - pasovna širina LNA je 8MHz
  - zahtevano razmerje signal – šum je 6dB

Kakšna je občutljivost sprejemnika?

Kakšna je občutljivost sprejemnika če obstoječi LNA zamenjamo s GaAs p-HEMT LNA z šumnim številom 1dB oziroma 0,6dB?

# VEZJA PRI VISOKIH FREKVENCAH II. Linije

## Avditorne vaje

Aleksander Sešek, Drago Strle

[aleksander.sesek@fe.uni-lj.si](mailto:aleksander.sesek@fe.uni-lj.si)

01/4768 727

## Iz prosojnic za predavanja

- Telegrafske enačbe > ena od rešitev (Linije, prosojnica 4):

$$V(z) = V_0^+ \cdot e^{-\gamma z} + V_0^- \cdot e^{+\gamma z}$$

$$I(z) = I_0^+ \cdot e^{-\gamma z} - I_0^- \cdot e^{+\gamma z}$$

- konstanta širjenja

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)}$$

»  $\alpha$  – slabljenje,  $\beta$  – faza

- karakteristična impedanca

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

## Iz prosojnic za predavanja

- Fazna hitrost in valovna dolžina (Linije, prosojnica 5):

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = f \cdot \lambda \quad \lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{v_p}{f}$$

- $\omega = 2\pi f$

- Brezizgubna linija  $R=G=0$  (Linije, prosojnica 6):

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad ; \quad \lambda = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{LC}} \quad ; \quad v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

## Iz prosojnic za predavanja

- Napetostni odbojni faktor (Linije, prosojnica 8):

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

- pri zaključenih linijah

- Vpadna in odbita moč napredujočega vala (Linije, prosojnica 9):

$$P_{b\_vpadna} = \frac{1}{2} \cdot \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} \quad P_{b\_odbita} = \frac{1}{2} \cdot \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} \cdot |\Gamma|^2$$

- Izguba odbitega vala (Linije, prosojnica 9):

$$RL = -20 \log |\Gamma| [dB]$$

- Razmerje stojnega valovanja

$$SWR = \frac{(1 + |\Gamma|)}{(1 - |\Gamma|)}$$

## Iz prosojnic za predavanja

- Vhodna impedanca linije (Linije, prosojnica 12):

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \cdot \operatorname{tg}(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \cdot \operatorname{tg}(\beta l)}$$

- Definicija dB in Np (Linije, prosojnica 16):

$$dB > 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad Np > \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1}$$

- Največja moč na bremenu na koncu linije (Linije, prosojnica 27):  
ko velja  $Z_{in} = Z_g^*$

$$P = \frac{1}{2} |V_g|^2 \frac{1}{4R_g}$$

1. Merimo impedanco z  $50\Omega$  koaksialno merilno linijo (slotted line).

- Izhod zaključimo s kratkim stikom in izmerimo naslednje točke

kjer so napetostni minimumi :

$z=0,2\text{cm}, 2,2\text{cm}$  in  $4,2\text{cm}$

razmerje  $V_{\max}/V_{\min} = \infty$

- Nato izhod zaključimo z neznanim bremenom in izmerimo naslednje

točke kjer so minimumi :

$z=0,72\text{cm}, 2,72\text{cm}$  in  $4,72\text{cm}$

razmerje  $V_{\max}/V_{\min} = 1.5$

Izračunaj neznano impedanco bremena!



2. Prenosna linija ima impedanco  $60\Omega$  in  $\Gamma=0,4$  s kotom  $60^\circ$ .

Kakšna je impedanca bremena?

Kakšen je odbojni koeficient  $0,3\lambda$  od bremena?

Kakšna je vhodna impedanca v tej točki?

3.  $100\Omega$  prenosna linija ima dielektrično konstanto 1,65.

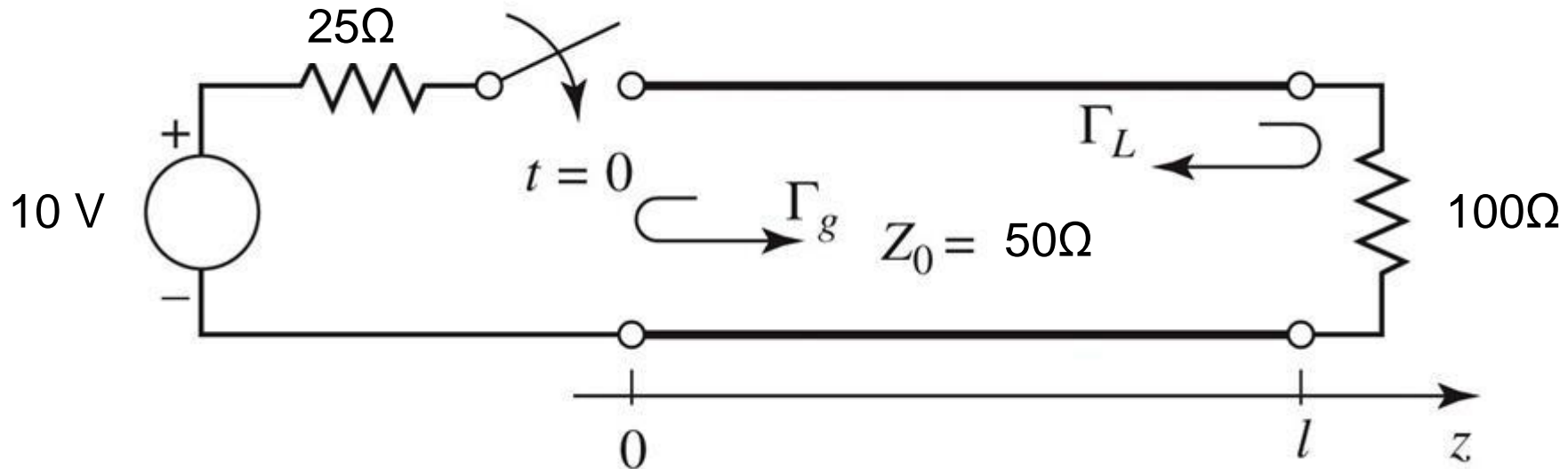
Najdi najbližjo točko odprtih sponk, da se bo obnašala kot kondenzator  $5\text{pF}$  pri  $2,5\text{GHz}$ .

Ponovi isto vajo da se bo obnašala kot  $5\mu\text{H}$  tuljava pri enaki frekvenci kot zgoraj.

4. Brezigubna linija je zaključena z bremenom  $100\Omega$ . SWR je 1,5.

Najdi obe možni točki za karakteristično impedanco.

5. Nariši odbojni diagram za vezje na sliki za najmanj tri odboje. Kakšna je skupna napetost na sredini linije ob času  $t=3l/v_p$ ?



## VEZJA PRI VISOKIH FREKVENCAH

Navodila za laboratorijske vaje

A. Sešek, D.Strle

December 2013

## 1. vaja

### Merjenje z analizatorjem vezij

(Gradivo skripta Poglavlja iz mikrovalov, poglavje Merjenje parametrov S in zgled 21)

Merilnik kalibriraj s kratkim stikom v frekvenčnem področju od 8 do 12 GHz. Opazuj parametre S izolatorja v tem frekvenčnem področju.

1.) Določi frekvenčno področje uporabnosti izolatorja (neubranost na obeh vseh vhodih manjša od 1,5)

- Izmeri in vriši v Smithov diagram parameter  $S_{11}$  v tem frekvenčnem področju.

- Izmeri  $|S_{21}|$  in  $|S_{12}|$  v frekvenčnem področju od 8 do 12 GHz v korakih po 0,5 GHz in podaj meritev v tabeli.

2.) Z analizatorjem vezij opazuj vhodno odbojnost v drsno breme v odvisnosti od lege bremena pri frekvenci 9 GHz. Oцени smernost merilnega sistema pri tej frekvenci! (Ker je absolutna vrednost odbojnosti drsnega bremena približno 0, z merjenjem odbojnosti izmeriš pravzaprav smernost merilnega sistema in ne odbojnosti bremena!)

## 2. vaja

### Merjenje moči kolebnega oscilatorja.

**(Gradivo skripta Poglavlja iz mikrovalov / Merjenje moči)**

Izmeri moč, ki jo daje kolebni oscilator v frekvenčnem področju od 8 do 12 GHz v korakih po 1 GHz v prilagojeno breme.

### **Postopek:**

Moč merimo z wattmetrom s termočlenom in z wattmetrom s termistorjem s temperaturno kompenziranim mostičem. Vsak merilnik pred meritvijo kalibriramo, pri posameznih frekvencah poskrbimo za pravilen kalibracijski faktor.

Ocenimo tudi meje pogreška, nastalega zaradi neprilagoditev ! **(Vsi potrebni podatki so v prilogi Podatki za vajo Merjenje moči!)**

## 3. vaja

### Merjenje šumnega števila

(Gradivo skripta Poglavlja iz mikrovalov / Merjenje šumnega števila)

**Kalibriraj merilnik šumnega števila v frekvenčnem področju od 100 MHz do 1,5 GHz v korakih po 100 MHz.**

**Postopek:**

**(Prikluči šumni izvor brez ojačevalnika**

**START FREQ 100 ENTER**

**STOP FREQ 1500 ENTER**

**STEP SIZE 100 ENTER**

**izberi primerno število ponavljanj meritev (med 32 in 128)**

**CALIBRATE**

## 3. vaja

### Merjenje šumnega števila

(Gradivo skripta Poglavlja iz mikrovalov / Merjenje šumnega števila)

**1. Izmeri šumno število in ojačenje ojačevalnika v tem frekvenčnem področju in podaj rezultate v tabeli**

**Postopek:**

**Priključi ojačevalnik**

**FREQUENCY 100 ENTER**

**FREQ INCR 100 ENTER**

**Corrected NOISE FIGURE AND GAIN**

**s puščicama gor in dol se sprehajaš po frekvencah**

**2. V tem frekvenčnem področju določi ekvivalentno šumno temperaturo ojačevalnika.**

### 3. vaja

#### Merjenje šumnega števila

(Gradivo skripta Poglavlja iz mikrovalov / Merjenje šumnega števila)

3. V tem frekvenčnem področju določi

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{vh}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{izh}}$$

v dB za  $T = 50$  K.



## 4. vaja

### Dielektrična konstanta snovi.

### (Gradivo skripta Poglavlja iz mikrovalov / Merjenje snovnih lastnosti)

S pomočjo meritve premika minimuma stojnega vala **določi relativno dielektrično konstanto** teflona.

#### Postopek:

Premik minimuma merimo z merilno linijo. Kot vmesni rezultat meritve dielektričnosti **določi odbojnost** v dielektrično ploščico, zaključeno z odprtimi sponkami!

Zbirka potrebnih formul:

$$f = c \sqrt{\frac{1}{\lambda_1^2} + \frac{1}{\lambda_k^2}}$$

$l_1$  je premik minimuma,  
 $d$  je debelina ploščice

$$(\beta_1 d) \operatorname{ctg}(\beta_1 l_1) = (\beta_2 d) \operatorname{tg}(\beta_2 d)$$

$$\frac{2\pi d}{\lambda_1} \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi l_1}{\lambda_1}\right) = (\beta_2 d) \operatorname{tg}(\beta_2 d)$$

$$A = x \operatorname{tg} x, \quad x = \beta_2 d, \quad A = \frac{2\pi d}{\lambda_1} \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi l_1}{\lambda_1}\right)$$

$$x_{i+1} = \operatorname{arctg}\left(\frac{A}{x_i}\right) \quad \lambda_2 = \frac{2\pi d}{x} \quad \varepsilon_r = \lambda_0^2 \left(\frac{1}{\lambda_2^2} + \frac{1}{\lambda_k^2}\right) \quad \lambda_0 = \frac{c}{f}, \quad \lambda_k = 2a$$

Z  $\lambda_0$  smo označili valovno dolžino za TEM val v zraku, z  $\lambda_1$  valovno dolžino v valovodu (za  $TE_{10}$  rod), z  $\lambda_2$  valovno dolžino v merjenem dielektriku in z  $\lambda_k$  kritično valovno dolžino.

## 5. vaja

### Optimiraj filter s programom MicroOpt

#### (Gradivo skripta Poglavlja iz mikrovalov / Mikrovalovna pasivna vezja)

Realiziraj Čebiševo nizko sito z naslednjimi lastnostmi

Karakteristična impedanca je  $Z_k = 50$  ohmov

Mejna frekvenca prepustnega področja je  $f_0 = 1,5$  GHz

V prepustnem področju naj bo vhodna neprilagoditev  $\rho \leq 1,45$  ( $|S_{11}| \leq 0,184$  ;  
 $|S_{11}|$  [dB]  $\leq -14,7$  dB)

V zapornem področju naj bo od frekvence  $f_1 = 2,4$  GHz naprej dušenje sita večje od 40 dB

## 5. vaja

### A) LC sito

#### Postopek:

Iz vhodne neprilagoditve določimo maksimalno valovitost (ripple) filtra ( $|S_{21}|^2 = 1 - |S_{11}|^2$ , v tablicah in nomogramu nastopa ta vrednost v dB!) in skupaj s podatkom o zapori filtra izberemo red filtra. Parameter v nomogramu je označen z

$$\left| \frac{\omega'}{\omega_1'} \right|^{-1}$$

v skladu z oznakami iz naših podatkov je podan z:  $(f_1/f_0 - 1)$ . (za kontrolo vaše odločitve:  $n=7$ )

Iz tabele določimo vrednosti elementov prototipa. Ti elementi so podani za  $g_0=1$  in mejno frekvenco prepustnega področja  $\omega_1'=1$ , zato jih je treba še impedančno in frekvenčno skalirati:  $L = g_i Z_k / \omega_0$   $C = g_i / (Z_k \omega_0)$

(Postopek skaliranja je opisan v skriptah **J. Mlakar, Linearna vezja in signali**, poglavje **Izmenična analiza/Transformacije vezij RLC**)

S programom Microopt preverimo frekvenčni potek parametrov  $S_{21}$  in  $S_{11}$  v frekvenčnem območju od 0,02 do 7 GHz v korakih po 0,02 GHz.

## 5. vaja

### B) Sito z mikrotrakasto linijo

#### Postopek:

V naslednjem koraku realiziramo filter z odseki zračnih linij. Paralelne kapacitivnosti realiziramo z linijo z  $Z_k = 20$  ohmov, serijske induktivnosti pa z linijo z  $Z_k = 150$  ohmov. Veljajo približne formule:

$$l = \frac{Lv_f}{Z_k} \quad , \quad l = Cv_f Z_k$$

Spet s programom Microopt preverimo frekvenčni potek parametrov  $S_{21}$  in  $S_{11}$  v frekvenčnem območju od 0,02 do 7 GHz v korakih po 0,02 GHz. Z optimiranjem uskladimo lastnosti filtra z zahtevanimi.

#### Postopek:

Specificiramo zahteve (ukaz SPEC v vhodni datoteki)

Variramo dolžine linij (menu Optim/Set Variables)

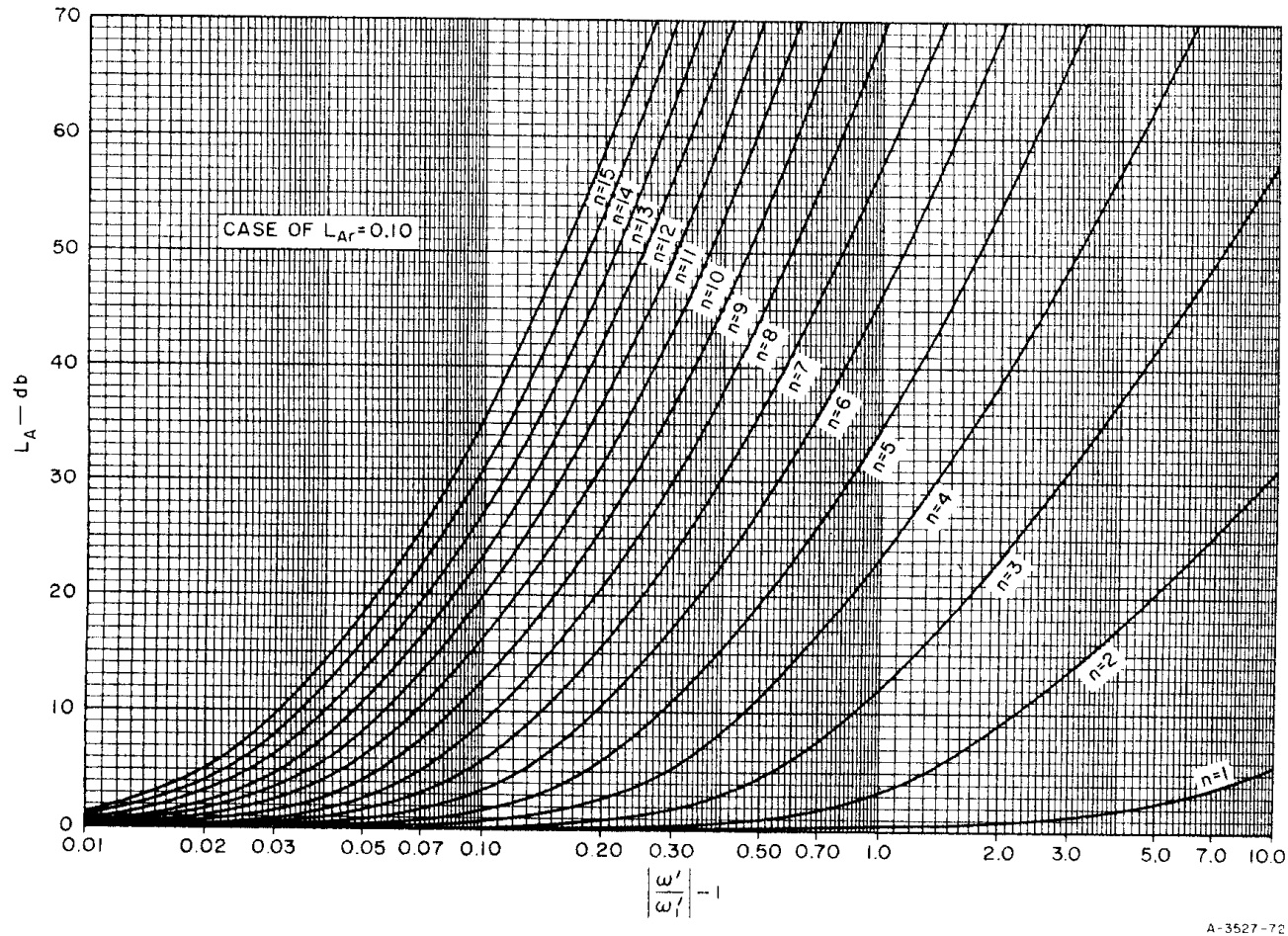


FIG. 4.03-5 0.10-db-RIPPLE TCHEBYSCHIEFF FILTER CHARACTERISTICS

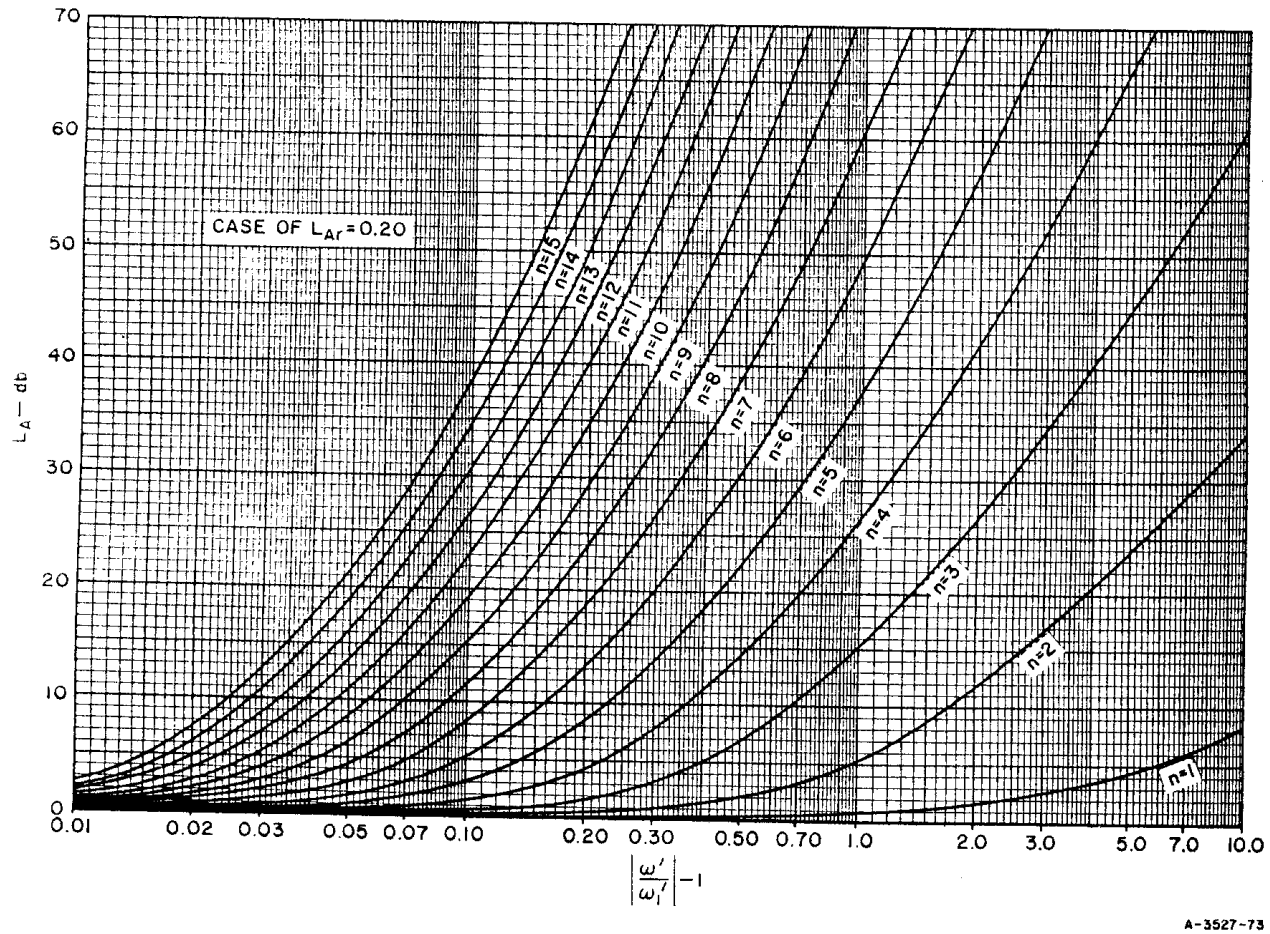


FIG. 4.03-6 0.20-dB-RIPPLE TCHEBYSCHIEFF FILTER CHARACTERISTICS

Table 4.05-2(a)  
 ELEMENT VALUES FOR TCHEBYSCHIEFF FILTERS HAVING  $\epsilon_0 = 1$ ,  $\omega_1' = 1$ , AND RESPONSES  
 OF THE FORM IN FIG. 4.03-3 WITH VARIOUS db RIPPLE  
 Cases of  $n = 1$  to 10

VALUE OF $n$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_8$	$\epsilon_9$	$\epsilon_{10}$	$\epsilon_{11}$
0.01 db ripple											
1	0.0960	1.0000									
2	0.4488	0.4077	1.1007								
3	0.6291	0.9702	0.6291	1.0000							
4	0.7128	1.2003	1.3212	0.6476	1.1007						
5	0.7563	1.3049	1.5773	1.3049	0.7563	1.0000					
6	0.7813	1.3600	1.6896	1.5350	1.4970	0.7098	1.1007				
7	0.7969	1.3924	1.7481	1.6331	1.7431	1.3924	0.7969	1.0000			
8	0.8072	1.4130	1.7824	1.6833	1.8529	1.6193	1.5554	0.7333	1.1007		
9	0.8144	1.4270	1.8043	1.7123	1.9037	1.7123	1.8043	1.4270	0.8144	1.0000	
10	0.8196	1.4369	1.8192	1.7311	1.9362	1.7590	1.9055	1.6527	1.5817	0.7446	1.1007
0.1 db ripple											
1	0.3052	1.0000									
2	0.8430	0.6220	1.3554								
3	1.0315	1.1474	1.0315	1.0000							
4	1.1088	1.3061	1.7703	0.8180	1.3554						
5	1.1468	1.3712	1.9750	1.3712	1.1468	1.0000					
6	1.1681	1.4039	2.0562	1.5170	1.9029	0.8618	1.3554				
7	1.1811	1.4228	2.0966	1.5733	2.0966	1.4228	1.1811	1.0000			
8	1.1897	1.4346	2.1199	1.6010	2.1599	1.5640	1.9444	0.8778	1.3554		
9	1.1956	1.4425	2.1345	1.6187	2.2033	1.6167	2.1345	1.4425	1.1956	1.0000	
10	1.1999	1.4481	2.1444	1.6255	2.2233	1.6418	2.2046	1.5821	1.9628	0.8853	1.3554
0.2 db ripple											
1	0.4342	1.0000									
2	1.0378	0.6745	1.5386								
3	1.2275	1.1525	1.2275	1.0000							
4	1.3028	1.2844	1.9761	0.8468	1.5386						
5	1.3394	1.3370	2.1660	1.3370	1.3394	1.0000					
6	1.3598	1.3632	2.2394	1.4555	2.0974	0.8838	1.5386				
7	1.3722	1.3781	2.2756	1.5001	2.2756	1.3781	1.3722	1.0000			
8	1.3804	1.3875	2.2963	1.5217	2.3413	1.4925	2.1349	0.8972	1.5386		
9	1.3860	1.3938	2.3093	1.5340	2.3728	1.5340	2.3093	1.3938	1.3860	1.0000	
10	1.3901	1.3983	2.3181	1.5417	2.3904	1.5536	2.3720	1.5066	2.1514	0.9034	1.5386
0.5 db ripple											
1	0.6986	1.0000									
2	1.4029	0.7071	1.9841								
3	1.5963	1.0967	1.5963	1.0000							
4	1.6703	1.1926	2.3661	0.8419	1.9841						
5	1.7058	1.2296	2.5408	1.2296	1.7058	1.0000					
6	1.7254	1.2479	2.6064	1.3137	2.4758	0.8696	1.9841				
7	1.7372	1.2583	2.6381	1.3444	2.6381	1.2583	1.7372	1.0000			
8	1.7451	1.2647	2.6564	1.3590	2.6964	1.3389	2.5093	0.8796	1.9841		
9	1.7504	1.2690	2.6678	1.3673	2.7239	1.3673	2.6678	1.2690	1.7504	1.0000	
10	1.7543	1.2721	2.6754	1.3725	2.7352	1.3806	2.7231	1.3485	2.5239	0.8842	1.9841

