

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Диагностирование технических систем по  
спектральным характеристикам вибрации**

Электронные методические указания  
к лабораторным работам

САМАРА  
2010

УДК 629.872.3.004.05

Составители: Киселёв Юрий Витальевич, Киселёв Денис Юрьевич.

Рассмотрены вопросы возбуждения вибрации в технических системах.

Изложены основы описания вибрации временными и частотными характеристиками. Приведены методики идентификации спектральных характеристик вибрации и диагностирования состояния технических систем по этим характеристикам. В исследовательской части лабораторной работы необходимо выполнить два задания. Первое задание требует определения причин повышенных показаний штатной аппаратуры вибрации, второе – определения дефектной шестерни в коробке приводов.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 162300, а также для смежных авиационных специальностей и направлений.

Указания разработаны на кафедре ЭАТ для магистерской программы «Контроль, динамика и испытания систем авиационной техники» по направлению 162300.68 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», в качестве электронного ресурса.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

1.	.....	4
2.	.....	4
3.	.....	4
4.	.....	16
5.	.....	19
6.	.....	22
7.	.....	23
8.	.....	23
9.	1.....	24
10.	2.....	24
11.	3.....	25

1.

2.

1.

2.

3.

4.

3.

(

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-



$$x(t) = x_1(t) + x_2(t), \quad (2)$$

$$(1)$$

[2].

$$F(t) = F_0 \cdot \sin(\omega t), \quad (3)$$

$$m \cdot x''(t) + h \cdot x'(t) + C \cdot x(t) = F_0 \cdot \sin(\omega t). \quad (4)$$

$$x(t) = \frac{F_0}{C} \cdot e^{-\frac{h}{2m}t} \cdot \sin(\omega_1 t), \quad (5)$$

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 + \frac{h^2}{m^2}};$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}}.$$

$m \gg h,$

(...  $\omega_1 \approx \omega_0$ ).

(... 1)

(4)

$$x(t) = X_0 \sin(\omega t), \quad (6)$$

$X_0$  - ;  $\omega$  -

$$X_0 = F_0 \beta. \quad (7)$$

$$\beta = \frac{1}{m \cdot \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4 \cdot \frac{h^2}{m^2} \cdot \omega^2}} \quad (8)$$

$$\omega = \omega_0.$$

(8),

$\infty$

[1].

( ) .

, ) ( , .

- .

. .

, , -

.1, ,

(3),

(6).

S(t).

(6) :

$$S(t) = S_0 \sin(\omega t) = S_0 \sin(2\pi f t) \quad (9)$$

S(t) S<sub>0</sub> -

, - ; f - ,

, , , , ,

(7) (8)

, . 1,

(9).

$$V(t) = \frac{dS(t)}{dt} = S_0 \cdot 2\pi f \cdot \cos(2\pi f t) = V_0 \cos(2\pi f t), \quad (10)$$

V(t) V<sub>0</sub> = 2πf · S<sub>0</sub> -

, - / .



$$W(t) = \frac{dV(t)}{dt} = -V_0 \cdot 2\pi f \cdot \sin(2\pi ft) = -W_0 \cos(2\pi ft), \quad (11)$$

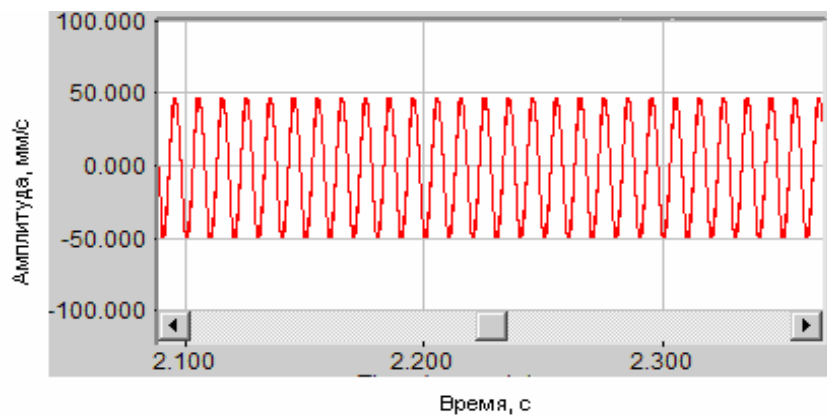
$$W(t) = W_0 = 2\pi f \cdot V_0$$

(9), (10), (11)  $W_0 = 2\pi f \cdot V_0$   $S_0$

$$V_0 = 2\pi f \cdot S_0; \quad W_0 = 2\pi f \cdot V_0 = 4(\pi f)^2 S_0. \quad (12)$$

(10)

.2.



2-

( ), ( , ) - .  
, (10)

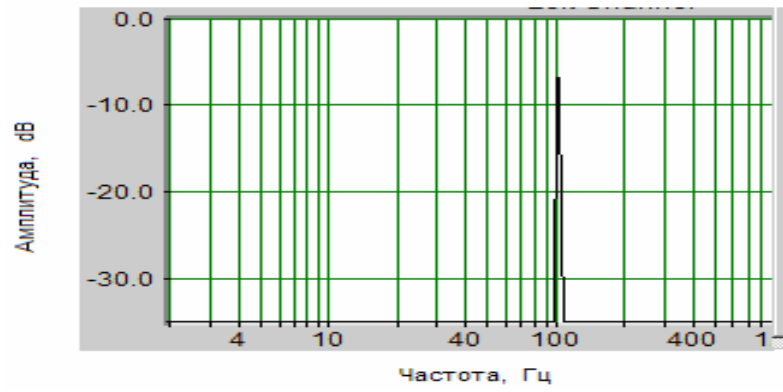
( .3).

L dB /

$$L = 20 \lg \frac{A}{A_T}$$

$A_T$  /

dB,



3-

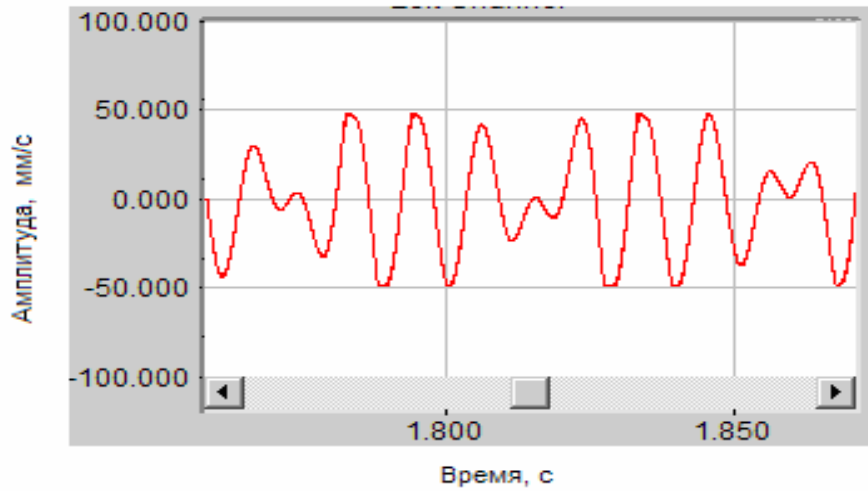
(10)

( ),

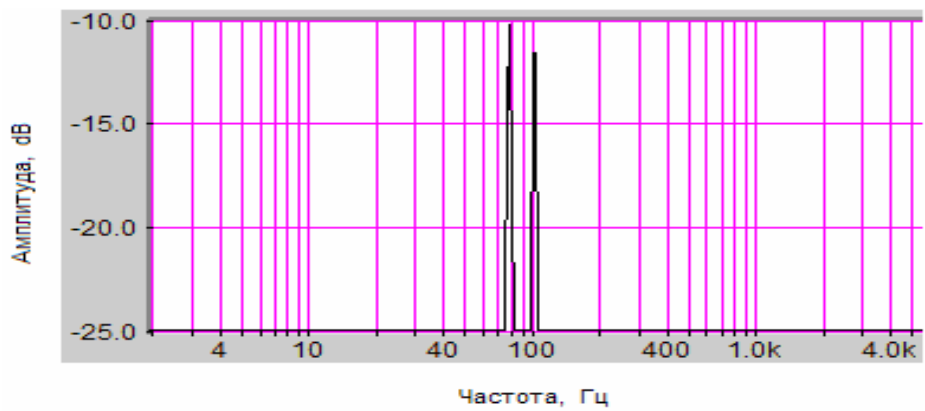
$$V(t) = V_{01} \cos(2\pi f_1 t) + V_{02} \cos(2\pi f_2 t), \quad (13)$$

$V_{01}$   $V_{02}$  -  
( );  $f_1$   $f_2$  -

.4 .5.

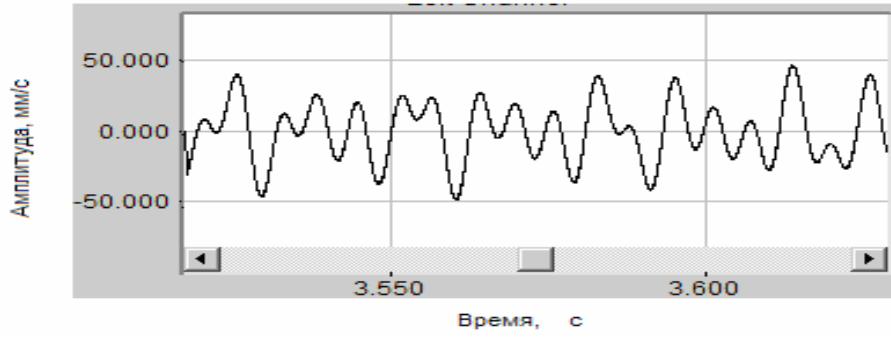


4-

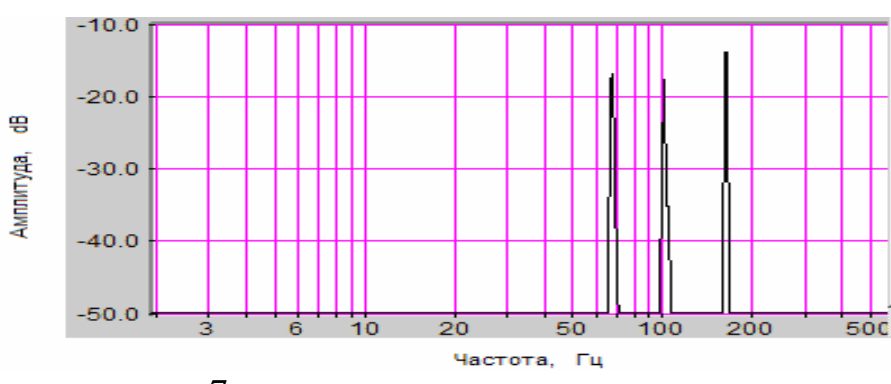


5-

.6 .7.

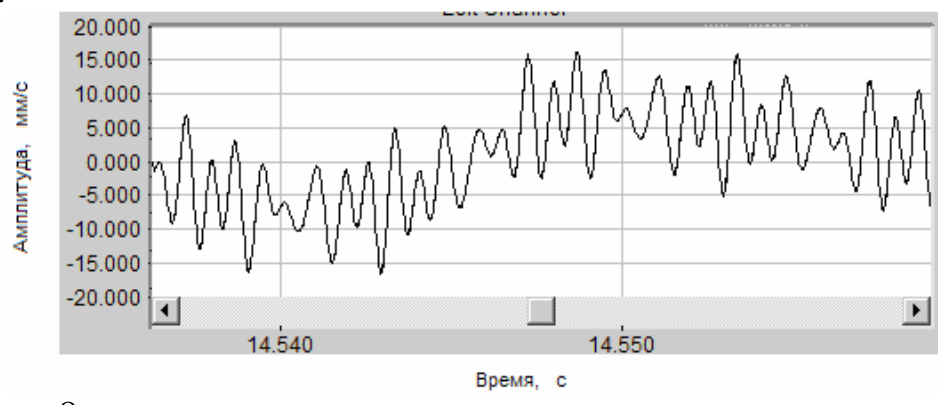


6-



7-

( .8)



8-

.9

.8.



$$f = kf^* \quad , \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

$$n = 6000 \quad / \quad , \quad f = 100 \quad ,$$

$$f_1 = 1 \cdot f = 1 \cdot 100 = 100 \quad , \quad f_2 = 2 \cdot f = 2 \cdot 100 = 200 \quad ,$$

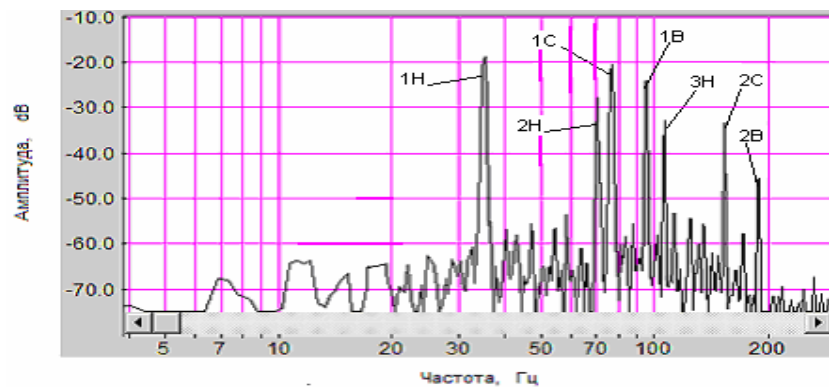
$$f_3 = 3 \cdot f = 3 \cdot 100 = 300 \quad .$$

. 10

$$n = 2100 \quad / \quad ,$$

$$n = 4560 \quad / \quad ,$$

$$n = 5640 \quad / \quad .$$



10 –

$$f_1 = 35, f_2 = 70, f_3 = 105,$$

$$k = f_i / f = 1, 2, 3.$$

1, 2, 3.

$$f_1 = 76, f_2 = 152,$$

$$k = f_i / f = 1, 2.$$

1, 2.

$$f_1 = 94, f_2 = 188,$$

$$k = f_i / f = 1, 2.$$

1, 2.

10

$$kf_z = kZf \quad (k = 2, 3, 4, \dots, f - 1).$$

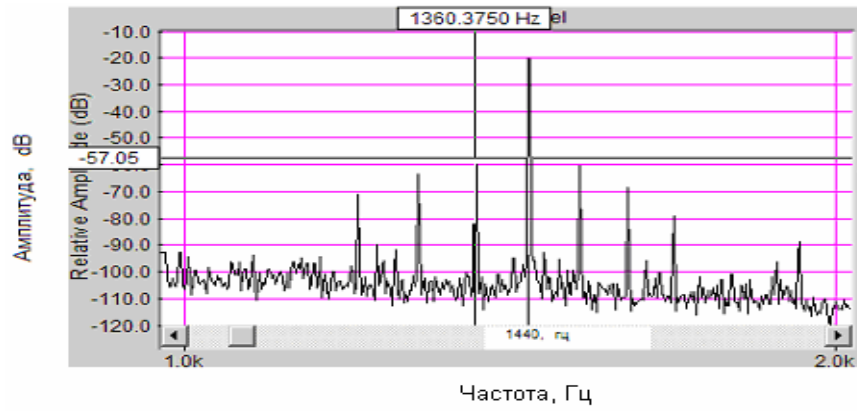
$$f_z = Zf$$

, Z -



$$f_i = f_z \pm i \cdot f_1, \quad i = 1, 2, 3$$

$i = 2 - 1280$        $1600$  ,       $i = 3 - 1360$        $1520$  ( 13).

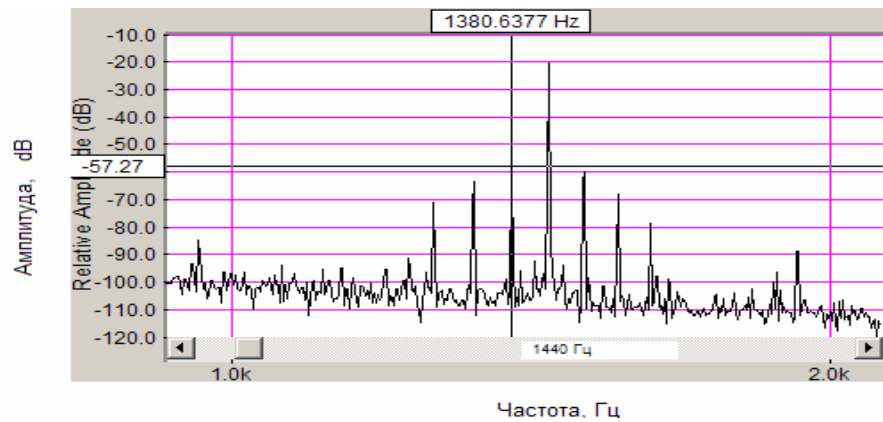


13-

$$f_i = f_z \pm i \cdot f_2, \quad i = 1, 2, 3$$

$i = 2 - 1320$        $1560$  ,       $i = 3 - 1380$        $1500$  ( .14).

( )



14-

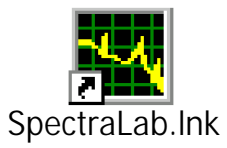
#### 4.

SpectraLAB. SpectraLAB -  
Windows.



1.

2.



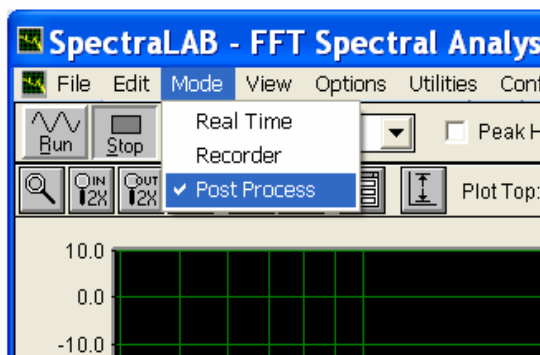
SpectraLAB

SpectraLAB.

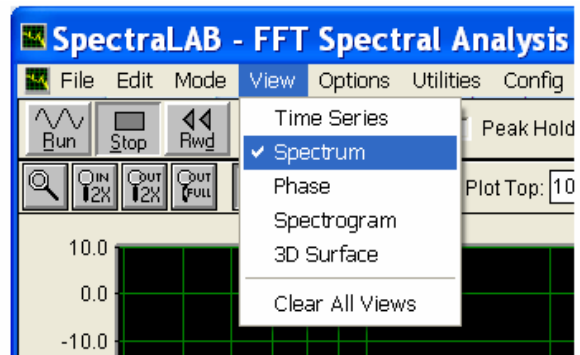
( )  
 ( )  
 ) ( .15, )

SpectraLAB Mode

Post Process ( .wav



a



b

15 –

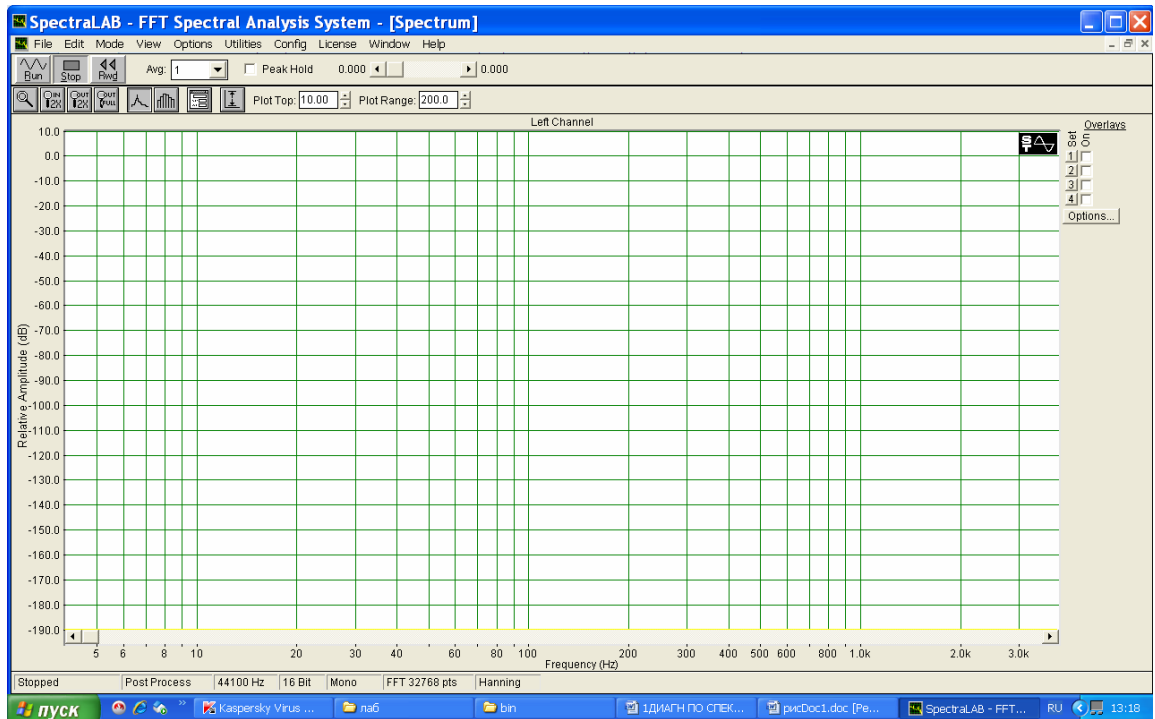
SpectraLAB

SpectraLAB

View

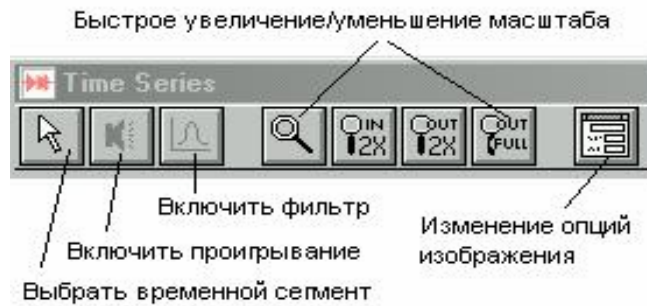
( )  
 ( ) **Spectrum** – ( .15, ).

: ( .16).



16 –

/ ( .17).

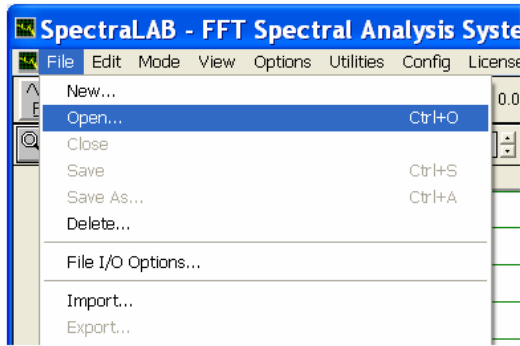


17 –

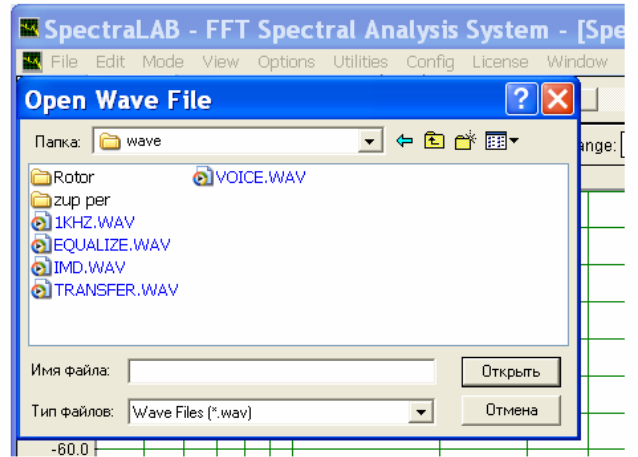
SpectraLAB  
 ( .18, ).

**File** ( )  
**Open** ( ).

**rotor,**  
**zup per** ( .18, ).



a



б

18 – File

1r.wav, 2r.wav 3r.wav

t0 –  
t1000v1, t1000v2 t1000v3 -

SpectraLAB

Open ( ).  
**RUN.**

5.

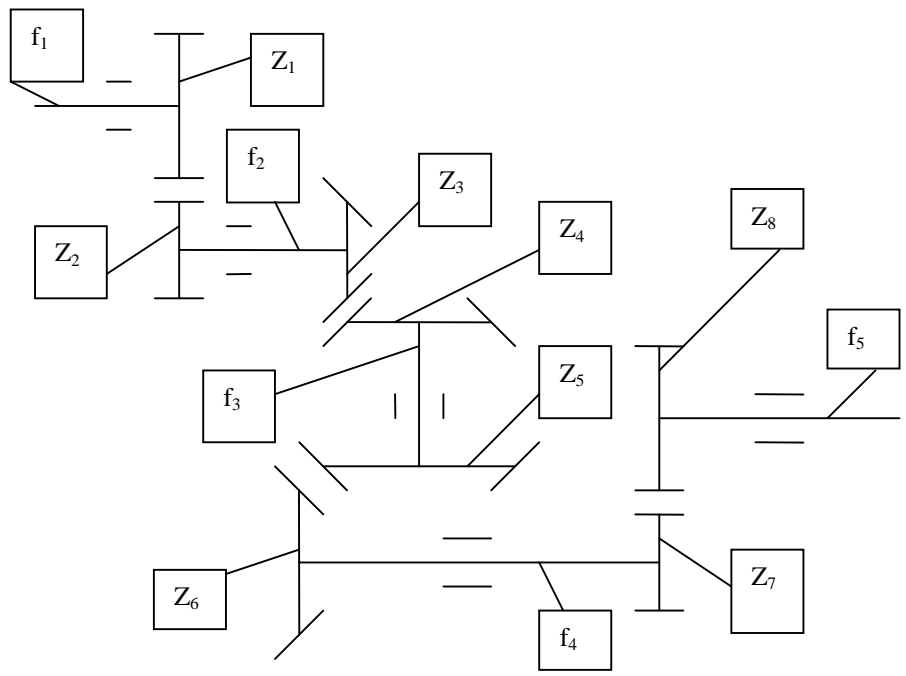
1

(40 / ).



$20\text{dB} = 0,1679.$   
 $\therefore$   
 $= *0,1679*0,01.$   
 $L$   
 $-100\text{dB} < L < -80 \text{ dB}$   
 $0,001 \quad 0,0001$   
 $-80\text{dB} < L < -60 \text{ dB}$

$2$   
 $t = 0$



$f_1$ /	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$
12000	61	45	29	47	27	34	24	22

- 1: 0  
50 / ;
- 2: 0  
100 / ;
- 3: 0  
150 / .

1000  
( )

$$f_1 = 12000 / .$$

**6.**

- );
- ;
- ;
- ;
- ( );
- ( );

7.

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.

?

?

,

?

?

?

?

?

1.

..

:

/

..

-

:

, 2010 (

)

1-

n, /	f,	n, /	f, f	n, /	f,

2-

f .	L, dB	, /	f .	L, dB	, /	f .	L, dB	, /
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		

3-

	1	2	3	4
f <sub>Z</sub> ,				
L, dB				
, /				

4-

	1	2	3	4	5
f <sub>i</sub> ,					

5

	-3	-2	-1	+1	+2	+3
. .						
F,						
L, dB						
, /						



-L,dB	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
K <sub>T</sub>	1	0,977	0,955	0,933	0,912	0,891	0,871	0,851	0,832	0,813	0,794	0,776

-L,dB	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4
K <sub>T</sub>	0,759	0,741	0,724	0,708	0,692	0,676	0,661	0,646	0,631	0,617	0,603

-L,dB	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6
K <sub>T</sub>	0,589	0,575	0,562	0,550	0,537	0,525	0,513	0,501	0,490	0,479	0,468

-L,dB	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8
K <sub>T</sub>	0,457	0,447	0,437	0,427	0,417	0,407	0,398	0,389	0,380	0,372	0,363

-L,dB	9,0	9,2	9,4	9,6	9,8	10,0	10,2	10,4	10,6	10,8	11,0
K <sub>T</sub>	0,355	0,347	0,339	0,331	0,324	0,316	0,309	0,302	0,295	0,288	0,282

-L,dB	11,2	11,4	11,6	11,8	12,0	12,2	12,4	12,6	12,8	13,0	13,2
K <sub>T</sub>	0,275	0,269	0,263	0,257	0,251	0,246	0,240	0,234	0,229	0,224	0,219

-L,dB	13,4	13,6	13,8	14,0	14,2	14,4	14,6	14,8	15,0	15,2	15,4
K <sub>T</sub>	0,214	0,209	0,204	0,199	0,195	0,190	0,186	0,182	0,178	0,174	0,170

-L,dB	15,6	15,8	16,0	16,2	16,4	16,6	16,8	17,0	17,2	17,4	17,6
K <sub>T</sub>	0,166	0,162	0,159	0,155	0,151	0,148	0,145	0,141	0,138	0,135	0,132

-L,dB	17,8	18,0	18,2	18,4	18,6	18,8	19,0	19,2	19,4	19,6	19,8
K <sub>T</sub>	0,129	0,126	0,123	0,120	0,118	0,115	0,112	0,110	0,107	0,105	0,102

-L,dB	20,0	20,2	20,4	20,6	20,8	21,0	21,2	21,4	21,6	21,8	22,0
K <sub>T</sub>	0,1	0,098	0,096	0,093	0,091	0,089	0,087	0,085	0,083	0,081	0,079