



**59032.3—
2020**

3

(IEC/TR 62001-3:2016, NEQ)

**Москва
Стандартинформ
2021**

59032.3—2020

1

« - » (« »)

2

016 « »

3

24 2020 . 1157-

4

IEC/TR 62001-3:2016 «

().

*

3.

»

(IEC/TR 62001*3:2016 «High-voltage direct current (HVDC) systems — Guidance to the specification and design evaluation of AC filters — Part 3: Modelling». NEQ)

5

29

2015 . № 162-

«

26

».

)

«

(

1

»,

—

()

«

».

».

,

—

(www.gost.ru)

©

. 2021

1	.....	1
2	.....	1
3	.....	2
4	.....	2
4.1	.....	2
4.2	.....	3
4.3	.....	3
4.4	.....	5
4.5	.....	9
4.6	.....	15
5	.....	15
5.1	.....	15
5.2	.....	17
5.3	.....	18
5.4	.....	19
5.5	.....	21
5.6	.....	27
5.7	.....	28
6	.....	29
6.1	.....	29
6.2	.....	29
6.3	.....	30
6.4	.....	32
6.5	.....	33
( )	.....	38
( )	.....	40
( )	.....	49
( )	.....	51
( )	.....	53
( )	.....	59
	.....	67

High-voltage direct current power transmission. Guidance to the specification and design evaluation of AC filters.
Part 3. Modelling

— 2021—01—01

1

1.1

1.2

1.3

2

30804.4.7 (IEC 61000-4-7:2009)

IEC 61000-4-30 (). 4-30.

IEC/TR 61000-3-6—2020 (). 3-6.

59032.3—2020

50397 (60050-161:1990)

59032.1—2020

1.

59032.2—2020

2.

—

—

»,

«

»

1

«

-

-

,

-

() .

3

—

—

—

.

—

—

—

—

—

—

4

4.1

59032.1.

(. 4.2)

59032.3—2020

1.

1—

$\eta >$	$/q\alpha + ()$	$/ - ()$
$\% =$	$2 ()$	$0.0 [DC ()]$
$\cdot <$	$\% * ()$	$- ()$
$'DC = 0$	$()$	—
— — ; —		

(),

1 2).

(,)

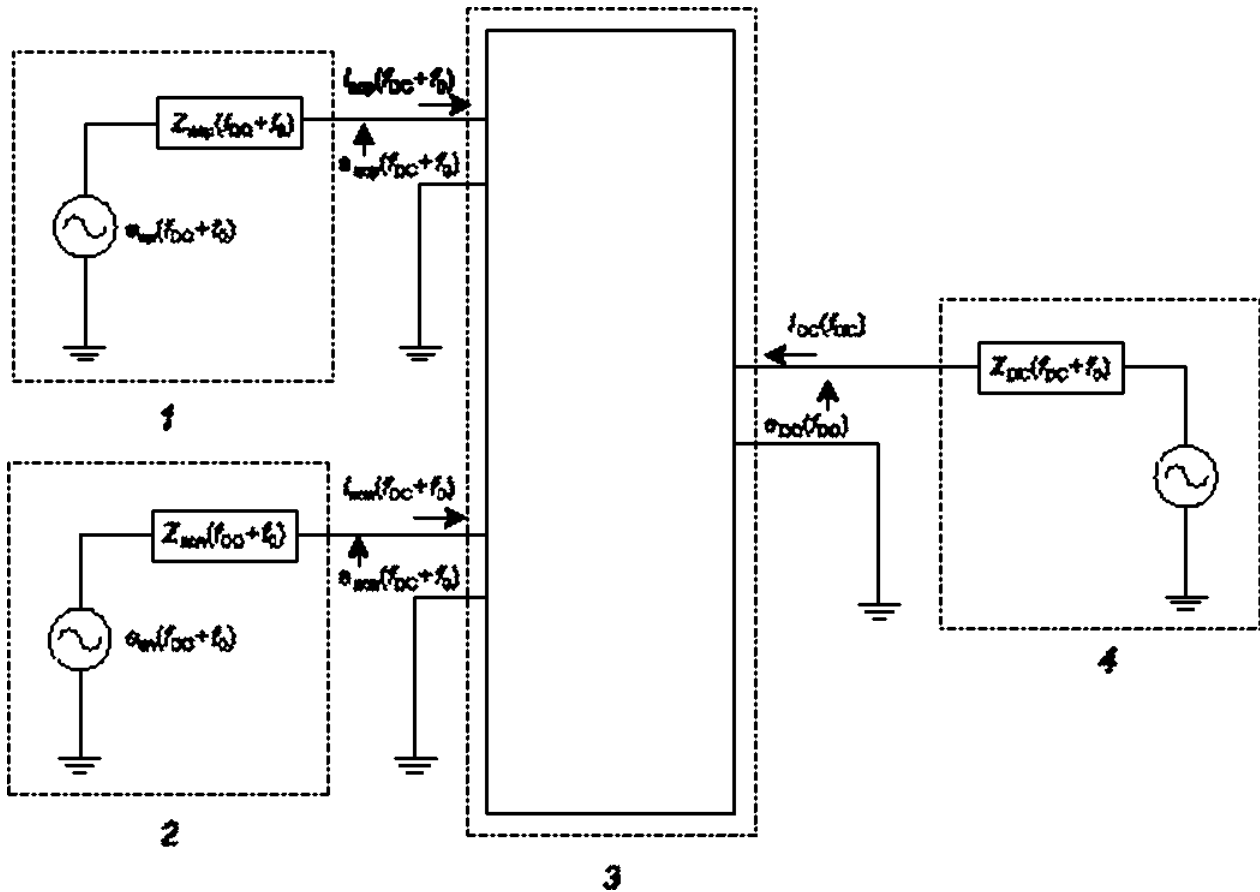
: , 1).

—

1.

(59032.1—2020. 6.2.2).

« »
« »



— $t(y_3 -$
 $Z_a \cdot 2_{actl} -$
 : $\wedge -$
 : for —
 1—

2—

$i_{ant} > \rightarrow$
 : —

: 4—
 : $\wedge, \wedge -$
 . $Z_{qq} -$

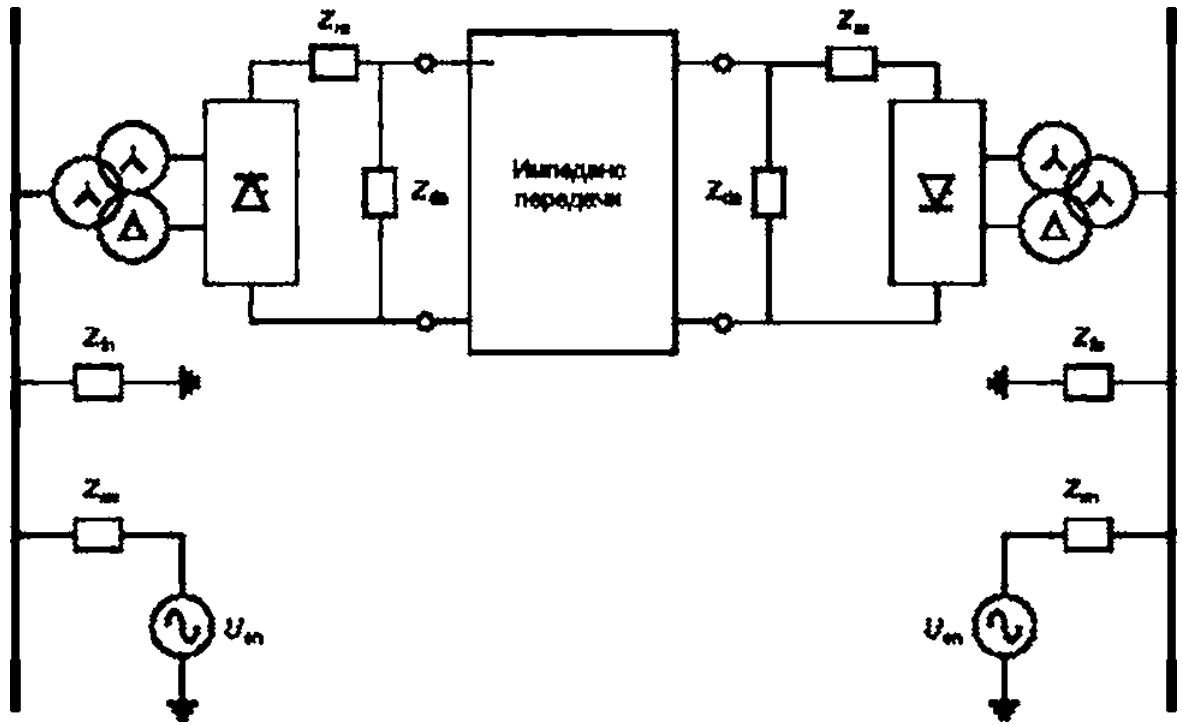
4.4

4.4.1

»

« — —

2.



— ; 2 — ; — . 2^ — : Z —

2 — « — — »

2. « — — ».

• t_{on}

• ;

• $(R_{\text{en}} \pm j$; Z_{sn}

• Z^{\wedge}

()

•

•

- ; -

• Z_m -

• Z^{\wedge} -

• $\{$ -

• $\}$ -

4.4.2 « — — » -

1 -

2 -

EMTP-RV. PSCAD/EMTDC -

(-

(). -

(). -

(. 4.4.3). -

4.4.3 « — — » -

. 8 -

-

-

7

59032.3—2020

), () ()

$R-X$.

(),

»

()

4.4.4 « — »

« — »

4.4.5

([1]).

« — ».

59032.3—2020

4.5.8

« »

(59032.1).

4.5.9

4.5.10

$$i_j = i_{<f>} \cos(\varphi_{>_1} + a) + i_{<1>} \cos(2<_1 r f + 4>_1 - a). \quad (1)$$

$i_{<f>}$
 $i_{<1>}$
 t

$$0 \quad -i_{aY}^8$$

$-i_{aY}$

« »

— ;
 — ;
 — ;
 — ;
 • (,) ;
 () ;

59032.3—2020

)

,

—

)

)

,

(

),

—

4.5.11

,

10 % 20 %

(

(

,

,

—

{

)

(

,

—

4.6

4.6.1 (/ ()) -

. 8 -

4.6.2 -

4.6.3 () -

5

5.1 (. 59032.1). -

« -

... (...) ...

... ; ...

... (- ...) ...

* ... (...) ...

... (- 1. - 2 ...) ...

50

... (...) ...

... (...) ...

... (... (2)).

95 %

— 59032.1—2020. 4.2.1.7.

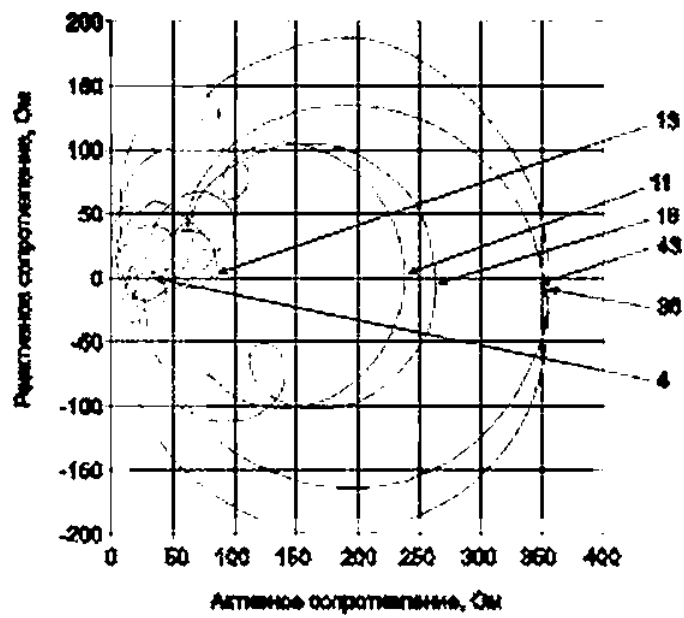
5.2

... ; ...

« ... » ...

5.4

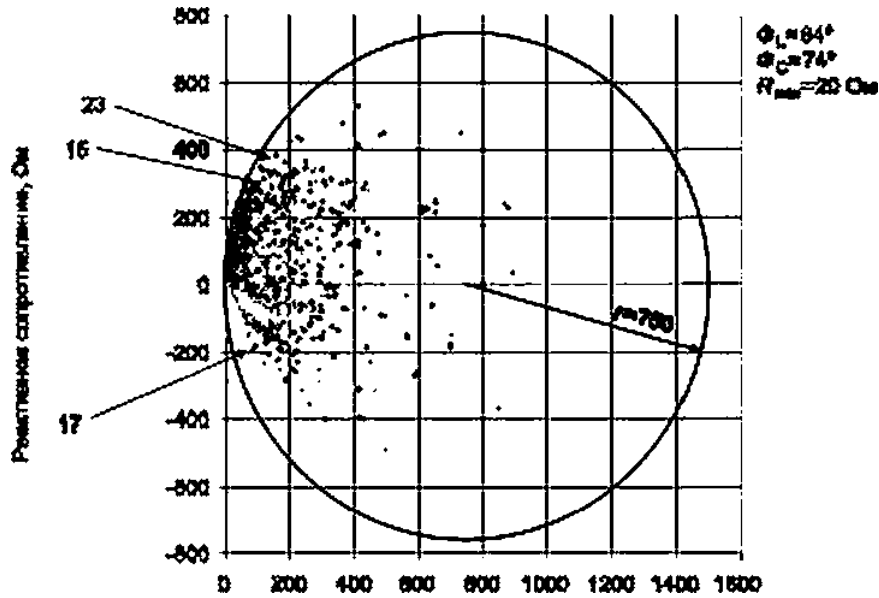
• ;
 - ;
 • ;
 • ;
 4 ;
 , ;
 , ;
 , (;
 , () ;
 , * ;
 , () ;
 , (;
 , ;
 , (1) ;
 , ;
 , ;



4—
 (4...36—)

R—X.

59032.3—2020



$\phi_L = 64^\circ$
 $\phi_C = 74^\circ$
 $R_{max} = 20 \text{ Ом}$
 $r = 700$
 5—

[1)

R—X

5.5

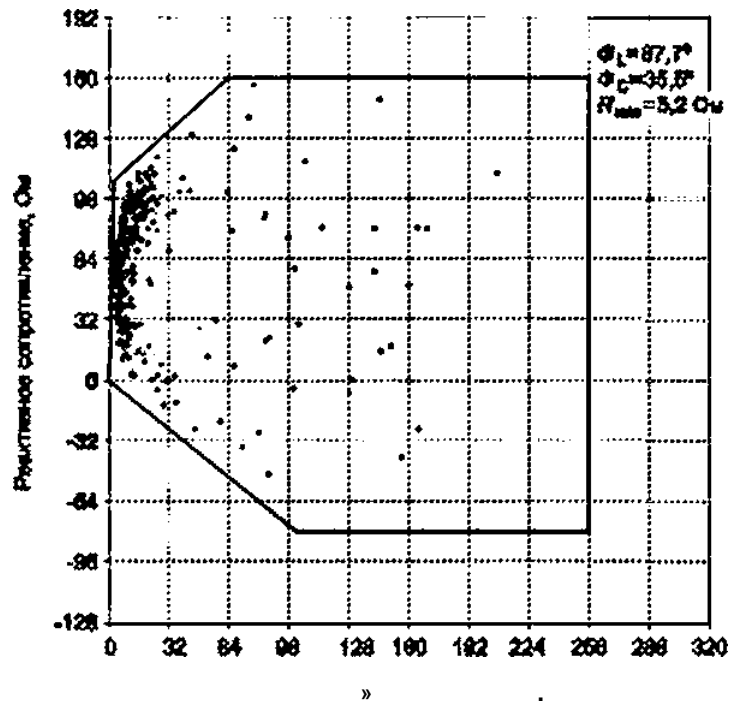
5.5.1

5.5.2

5.5.5

6

ΔP_{L_1} —
:
—
6 —



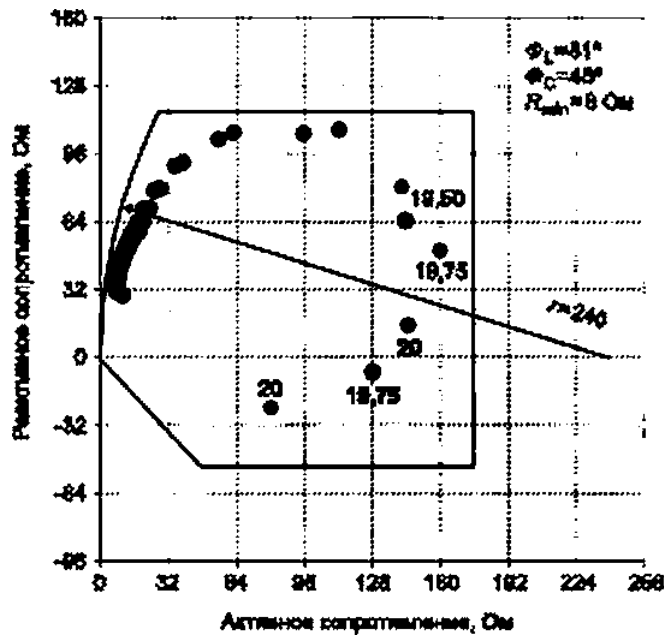
5.5.4

8

12.5 19.5.

9

9



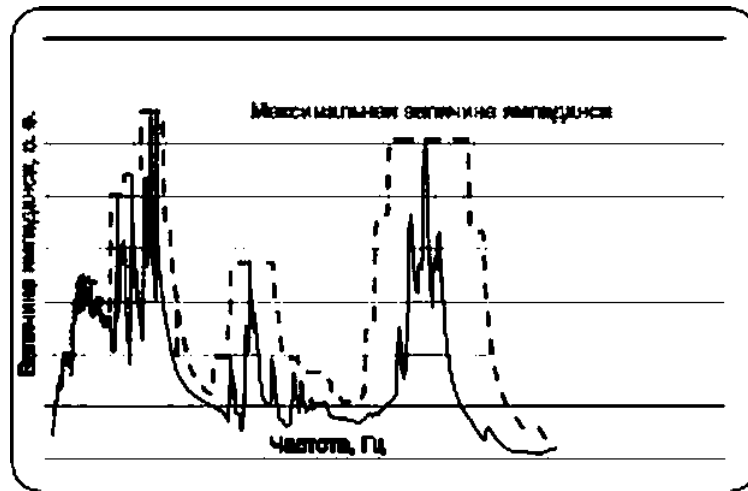
L

9—

59032.3—2020

11

10 60
800 000
1,0 60 3000
 $\pm 10\%$



10 —

660 780 $\pm 10\%$

$\pm 2\%$

11.

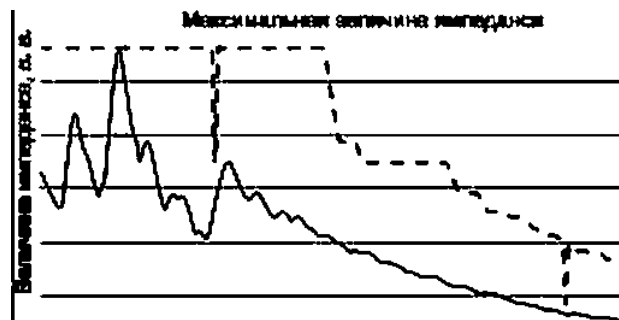
()

()

(12)

$R-X,$

*



11—

11- 13-

5.5.5

$R-X$

12,

$R-X$

5.5.6

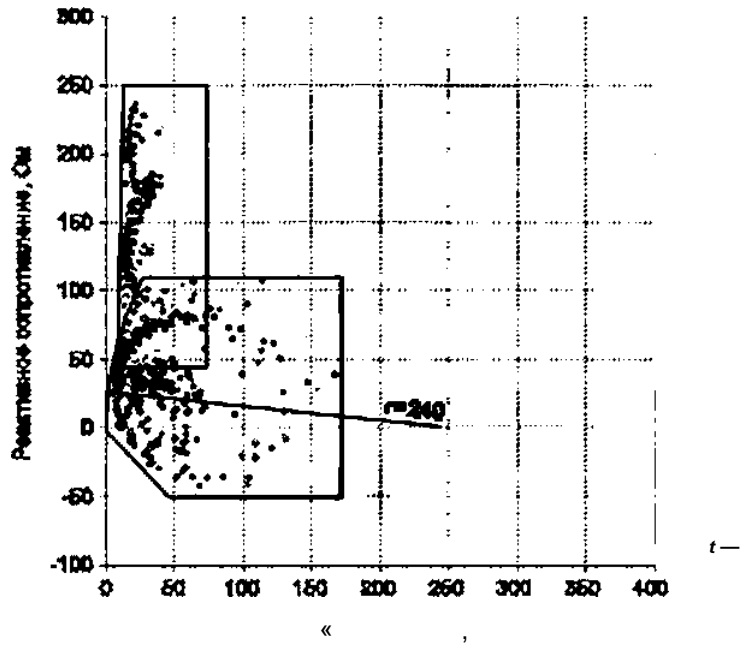
R_{mp}

()

8

R_{max}, X_{max}

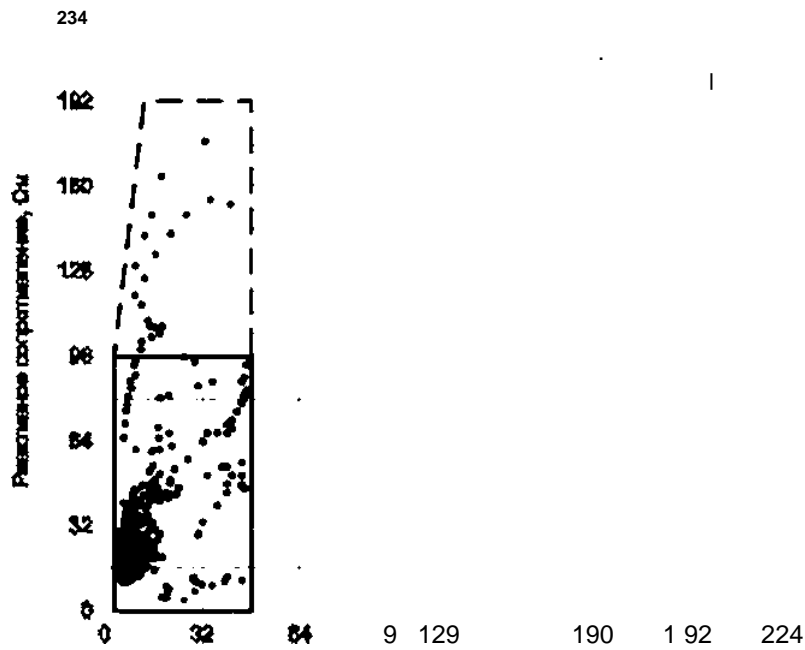
59032.3—2020



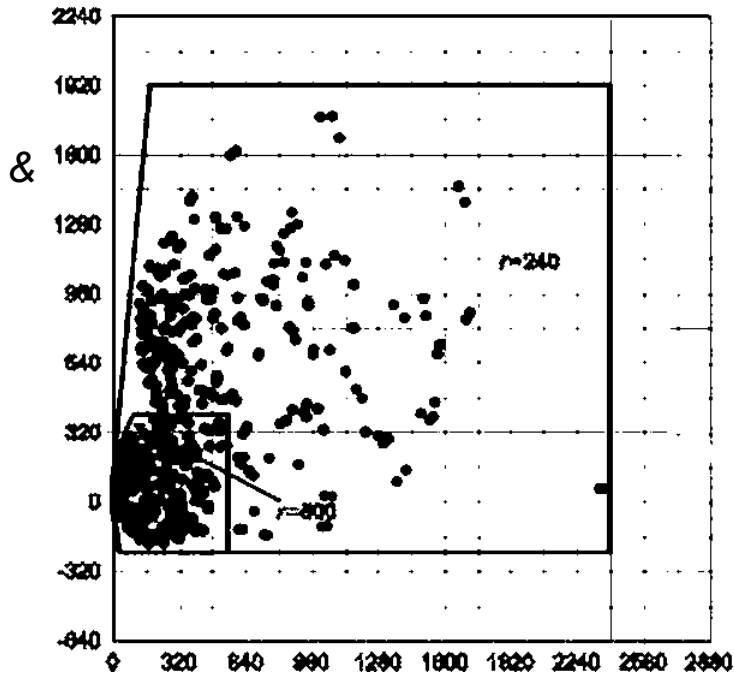
5.5.7

13

14



13 —



14 —

5.6

(. 5.4).

(.)

175 ;

%

2.3 %

/ : 1.37%;

/ :

0.43 %.

59032.3—2020

;

- ,

() ;

-

-

-

-

5.7

;

)

;

)

;

)

()

;

) (5.2);

;

;

)

{ },

()

/

;

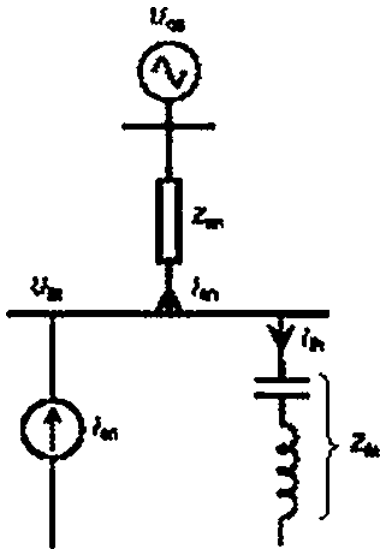
)

;

()

;

59032.3—2020



15 —

6.3

6.3.1

6.3.2

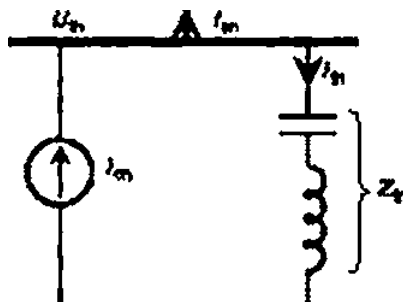
16

15.
)

U_{on} (

МСТСНННК

9



16 —

IEC/TR 61000-3-6—2020.

D.

(. .)

).

2 3 (

D.2.3,

D).

(. IEC/TR 61000-3*6—2020.

6.3.3

IEC/TR 61000-3-6—2020. 9.2.1.

3.

IEC/TR 61000-3-6—2020.

7

17.

59032.3—2020

,
 ,
 ,
 /

6.3.4

/).

6.3.5

6.3.4.

(. . / (. . 15).)
 ,
 /
)

6.4

THFF. TIF

. THFF TIF
 (. [1]):

)
)
 ()

59032.3—2020

6.5.3

50397.

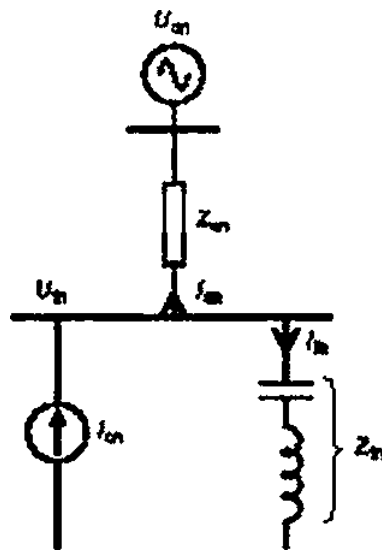
590322—2020 () ,

1EC/TR 61000-3-6—2020 (3).

35

ВhVCBH.

17,



U_m —

; —

; 2^ —

(

; / —

)

17—

()

1/

34

59032.3—2020



U — ; 2^ — -
; 1 —
()

18 — ,

6.5.5

)
- ; , *
- ; , *
= 1.2 « = 2 «

) « — *

) - -

1 , - -

2 - -

3

6.5.6

(.), :
) ;
) , ,
) ;

— « » -

1 , : 70 % (,

2.1 % • = 3%): 15 , 50 % (. 1.5 %).

2 -

6.5.7 / -

6.5.5 6.5.6 . 10 %.

10 % , 10 % -

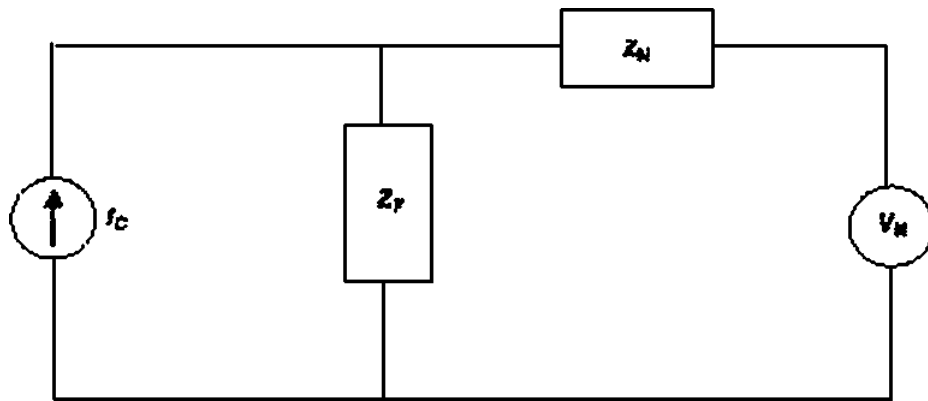
46 % -

59032.3—2020

()

if.

V_p



V_N

Z_N

I

V_N

.1—

$$Z^* Z^* \quad (.1)$$

Z_H ;

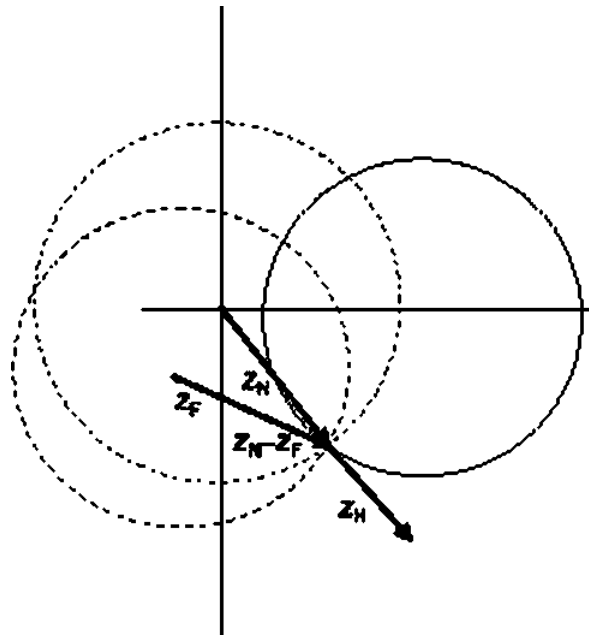
$$z = 2 / \quad (.2)$$

$$1 = / \quad (.)$$

$$Z_N^* Z_H \quad Z_N + Z_p \quad Z_p \quad Z_n$$

Z_N $Z\#$ Z^* Z^*

2
 Z^{\wedge} (Z^{\wedge}),
 R Z_N
 « »



2 — $Z_F \cdot Z_N \cdot Z_H$

(.) Z_N (.4)

I_F (.5)

$Z_N \cdot Z_H$ $Z^{\wedge} \cdot 2$ $\cdot 2 \cdot | \cdot | \cdot |$ (.)

$Z_N - i_F$

$Z_N + \frac{Z_N}{Z_I}$

2^

59032.3—2020

()

.1

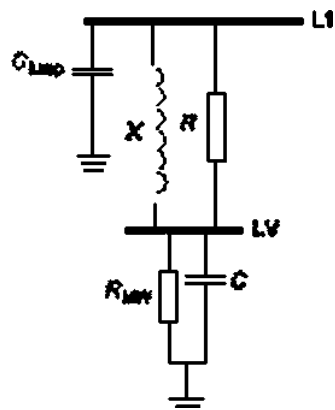
5.2

(, , , .)
 (CiGRE) (IEEE — Institute
 of Electrical and Electronics Engineers),

.2

5.3.

.1



L1 - ; LV - ; X -
 R - ; - ;
 .1 -

$R,$ Cj^{\wedge} X
 (-
)
 400 415 X

59032.3—2020

6.

.3.1

± 7.5 %
± 10 %

2.5 %

7,5 %

10 %

40 %

130 %.

±15%.

.3.2

.3.2.1

(, = 2 49).

.3.2.2

$$= I^2 R + P_4 [W + (1 - W) n^p], \quad (1)$$

— ;
/ — ;
— ;
— ;
q — ;
IV — ;
1 - W — ;
— ;
— ;

IV = 0,25,
q = 1.9.
= 1.4.

IEEE

()

$W = 0.25$ 0.38 0.694
 $q = 2$
 -1 1.4 ()

PR.

PR

75 %.

R_n ()

(.1):

- R_n $W = 0.25, q = 1.9 = 1$.
- $W = 0.38, q = 2 = 1.4$.

100 MVA

12 %

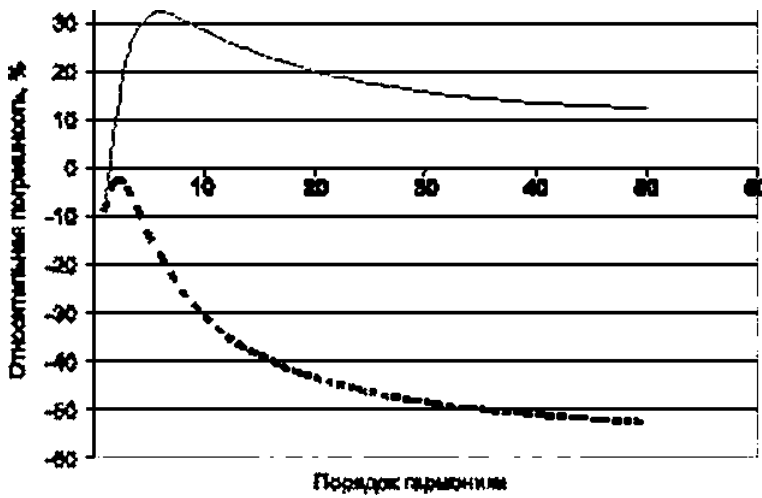
tg

(XZR).

32.

CIGRE

.2



.2—

(.1)

CIGRE

R_n

3.2.3

([2])

(.2)

' <

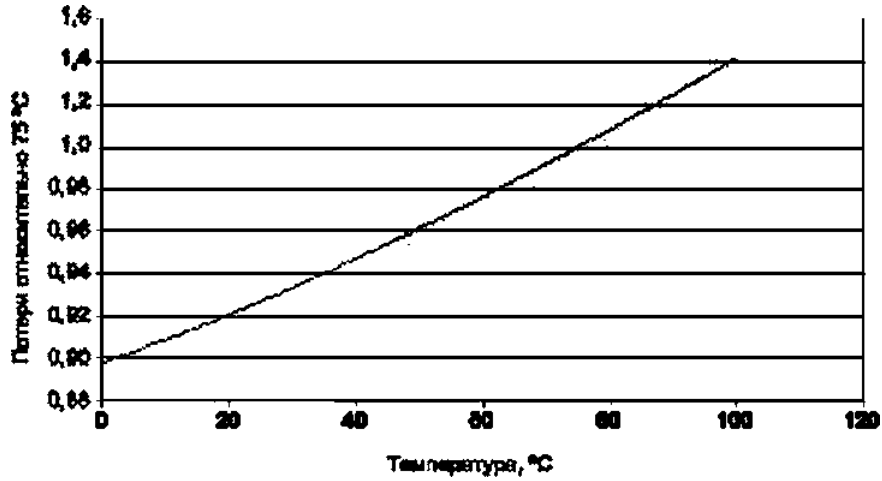
. +

' * <

(.)

59032.3—2020

234.5
225



.4

(CEGB)

(CERL) 1970-

Ry

) 400 275 :

$$R_n = \left(0.806 + \frac{3.4 S n}{192.0 \cdot 2.77 n^2} \right) f_{qq} i < 4.21; \quad (.4)$$

$$R_n = \left(0.806 + 0.105 \right) 4.21 S < 7.76. \quad (.5)$$

$$R_n = \left(0.267 + 0.485 / n \right) 7.76 S n: \quad (.6)$$

) 132 :

$$R_n = \left(1.0 + \frac{0.646}{1920 + 0.518 n} \right) 0.646 \cdot 2 \cdot 1 \quad (.7)$$

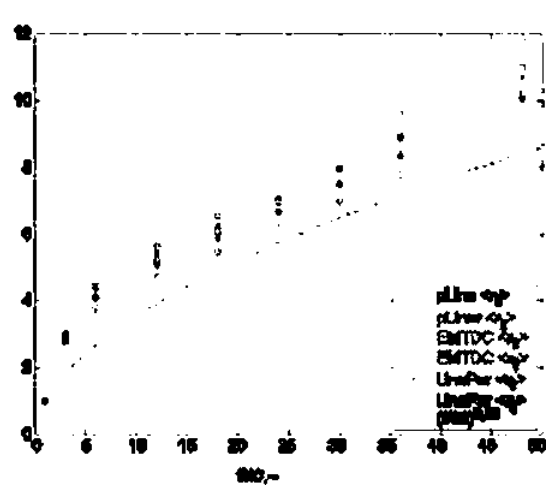
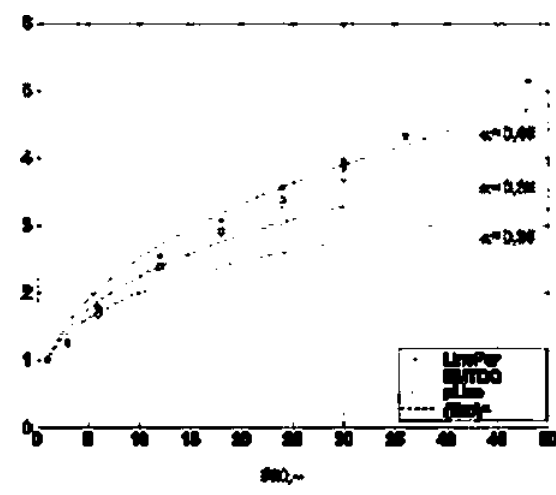
) 400 275 :

$$R_n = \left(0.198 + 0.794 J_0 \right) > 1.5: \quad (.8)$$

) 132 :

$$R_n = \left(0.187 + 0.532 J_0 \right) 2.35. \quad (.9)$$

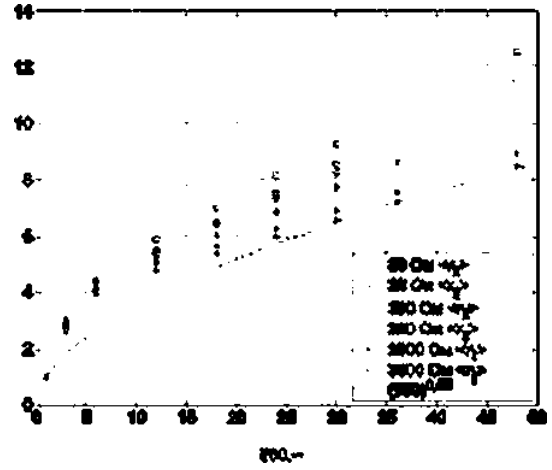
() .



.4 —
Z:

LinePar. EMTDC. Pirae

59032.3—2020



.5 —

Z

.5

0.1 X"d.

Jn.

).

.6

.7.

370 MBA.

9 %

600 %.

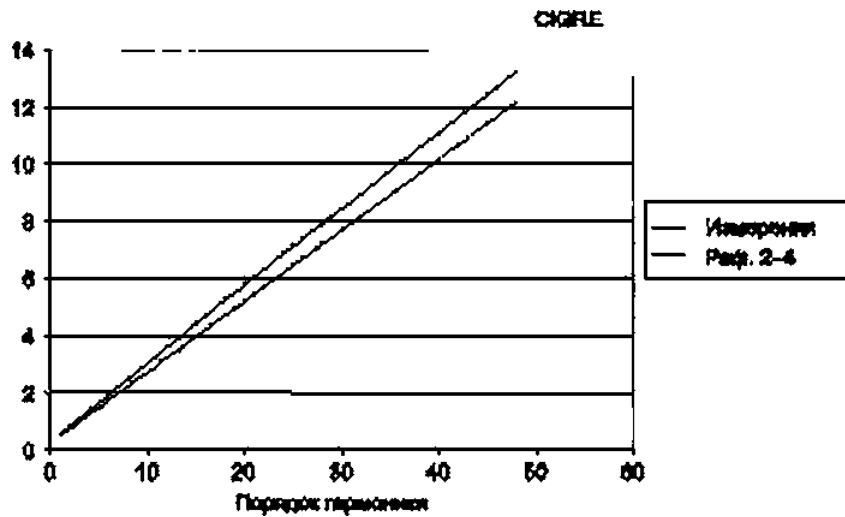
CIGRE

IEEE

0.5

1.5.

CIGRE



.6 —

CIGRE

370 MBA

59032.3—2020

3

.1

.1—

				8	
	0.731	0.715 8	-1,243	1.549	0.6
	1.909	1.5	0.143 1	-0.081 21	0.91
	0.880 2	0.8069	-0.822 2	1.37	0.6

.8))

.8

100

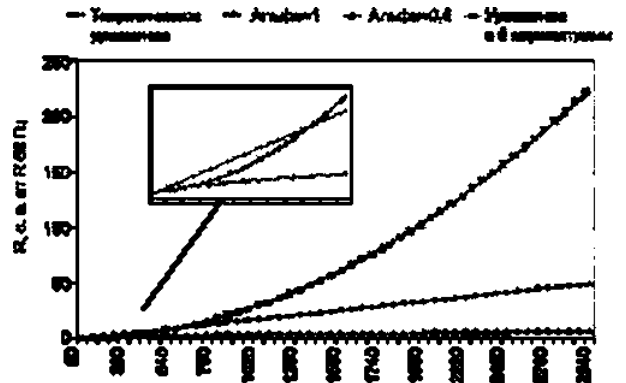
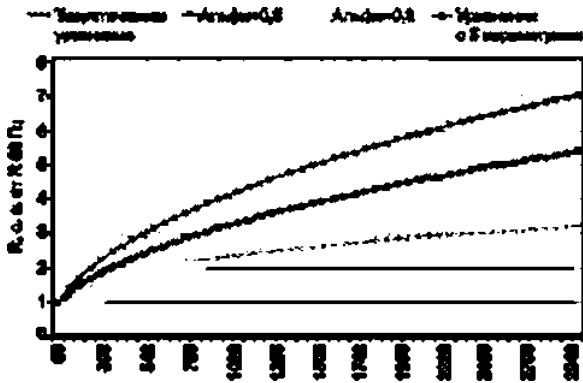
[

.86)].

500

300

(-



)

500 . 300

)

100 MVA

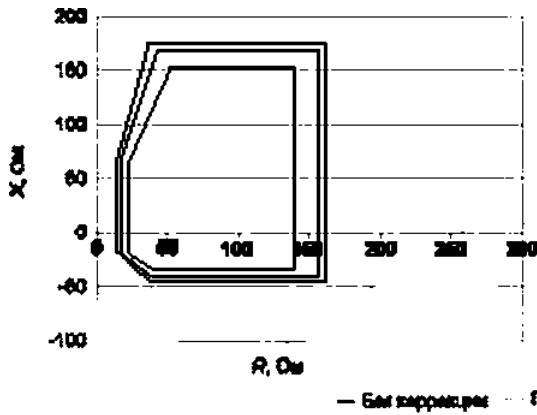
.8—

[. 9))
Araraquara

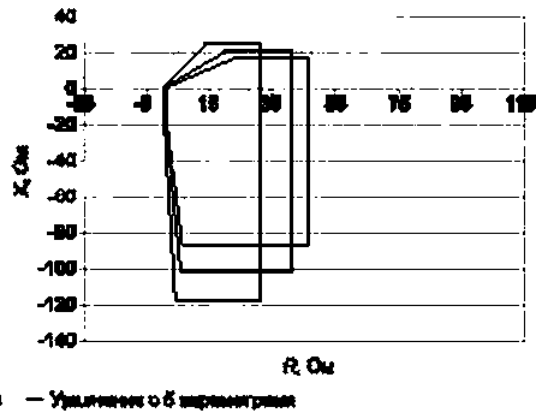
[. 96)].

Rio Madeira.

(. 10)



(. 11).



)

6)

.9—

Araraquara

59032.3—2020

- U_n vs $U_{h\ ve}$ 95 % (61000-4-30:);
- « » U_h 99 % ();
- U_h 99 % (, 1.25 2),

()

.2

500

400 50

• 106

• 106 12/24.

40 66 12/24:

20 %

1 % . 2 % . , 4 %.

1 %.

{ + HP12Z24)

(1 %)

20 %

1 %.

3-

{ + 12/24).

20 %,

20 %.

1980-

600

10 %

1990-

()

.1

Z_m

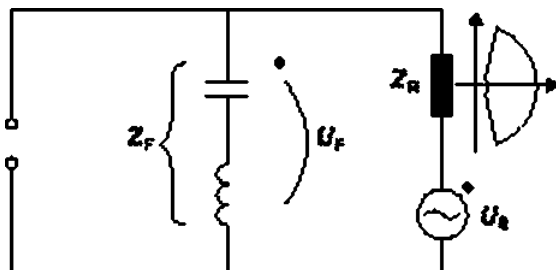
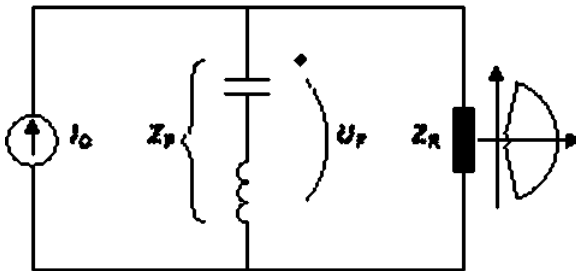
.1.

Z_F Z_p

.2.

()

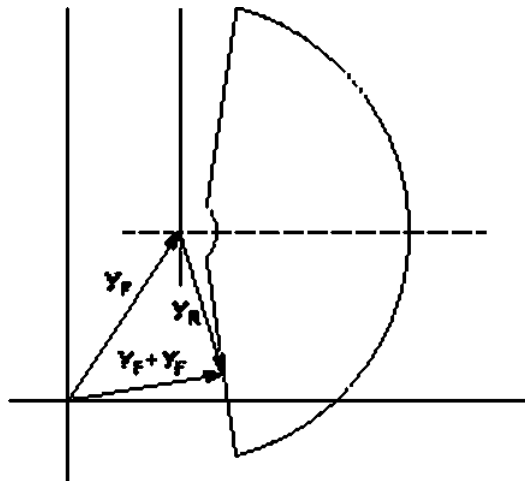
Параллельный преобразователь



Z_p $Z_p - U_0$

.1 —

59032.3—2020



Y_p, Y_R — проводимости фильтра и сети

.2—

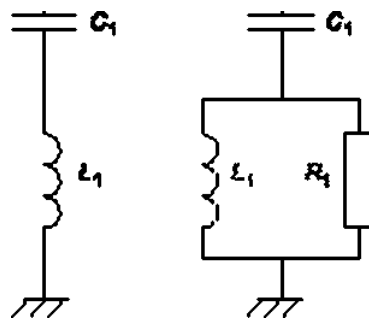
.2

.2.1 1—

1 %

(- 2.4 %)

. 1



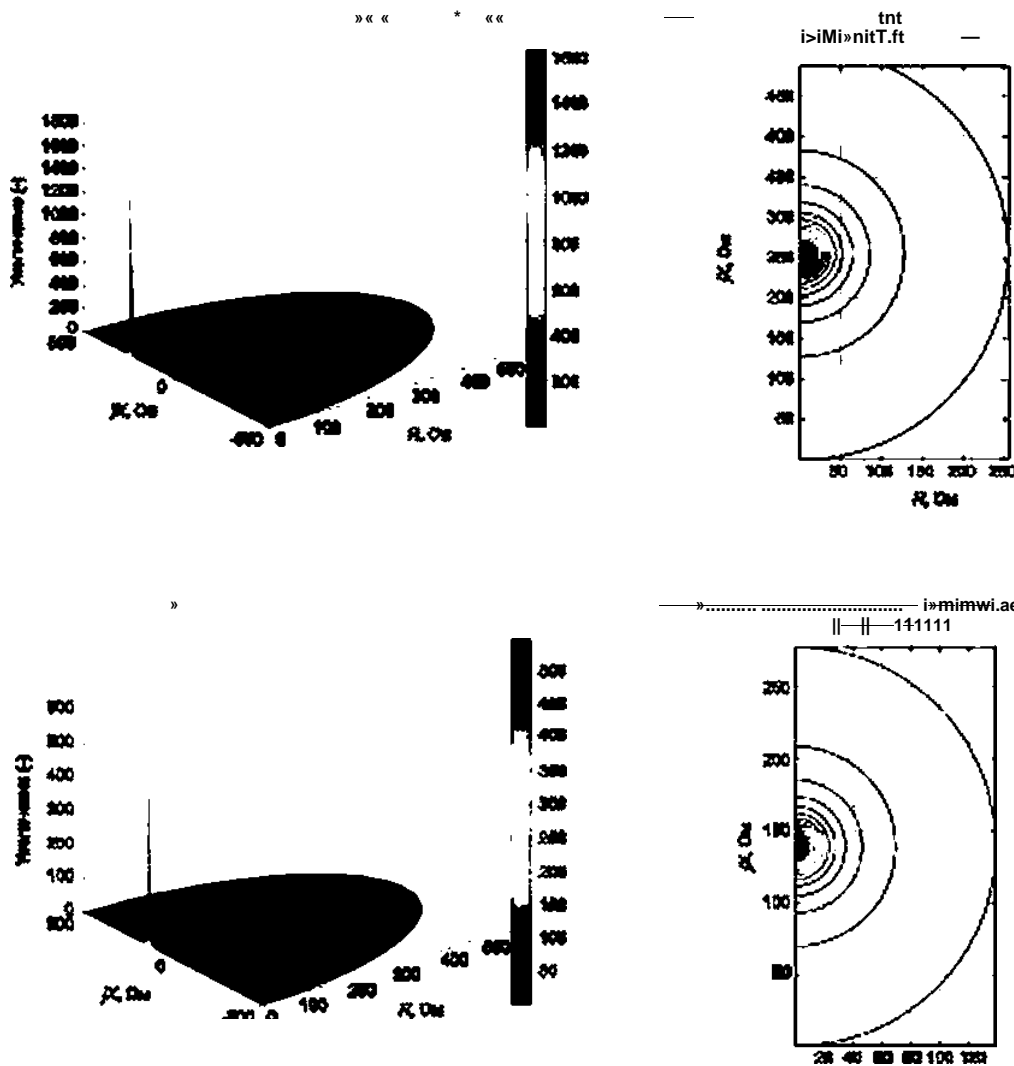
C_1, R_1 —

.1—

.3

		24			24
Q.	100	100	C_1 .	1.973	1.986
	10.95	24	L1.	42.83	8,857
	200'	5		—	334
*					

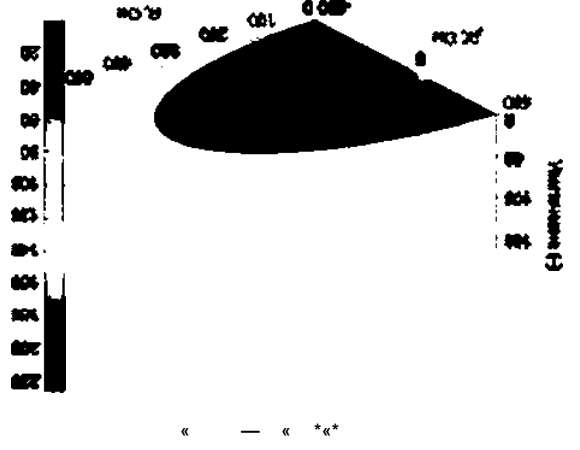
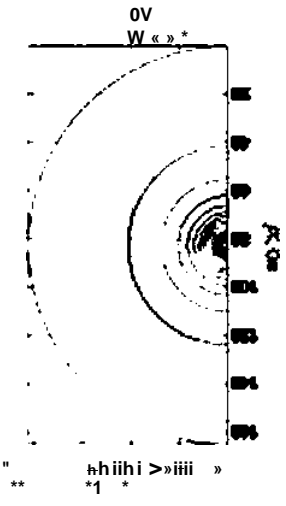
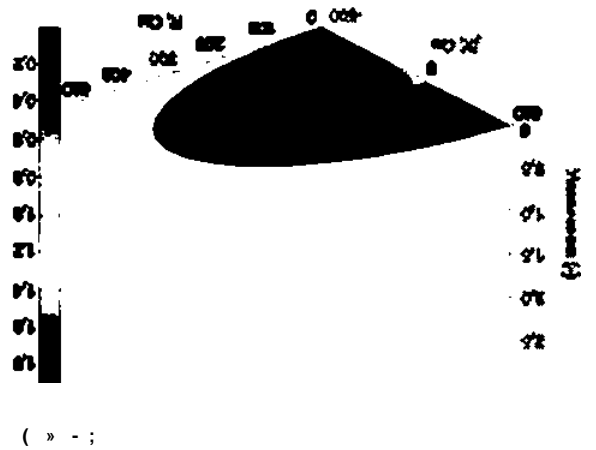
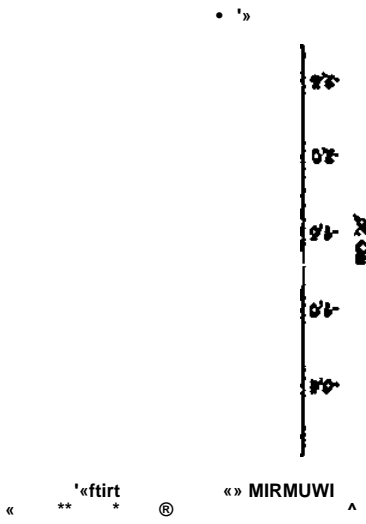
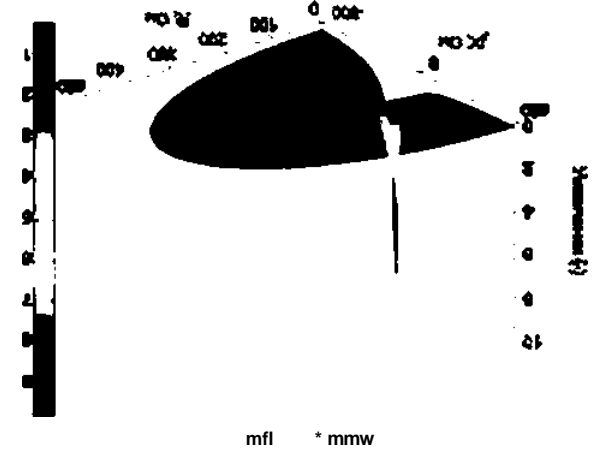
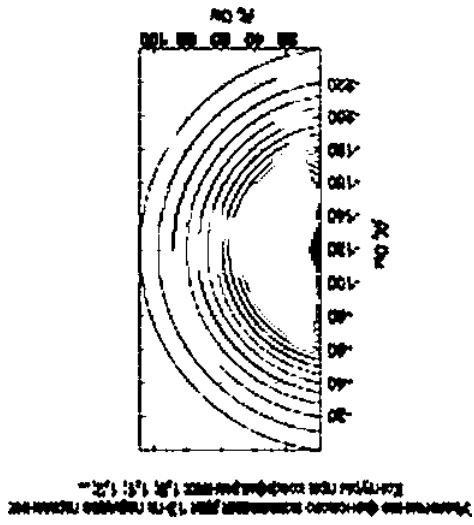
) (50 ± 0.1) ;
) (400 ± 20) ;
) ;
 • 11 , -2.1 % 1.2 % (-
 0.5 % . 0.3 % (. .) ;
 • 24 , -4.1 % 3.2 % (-
). $\pm 2\%$.
 .4
 Z_N $(2^\wedge) > 0$
 $Z_N \pm 90^\circ$.



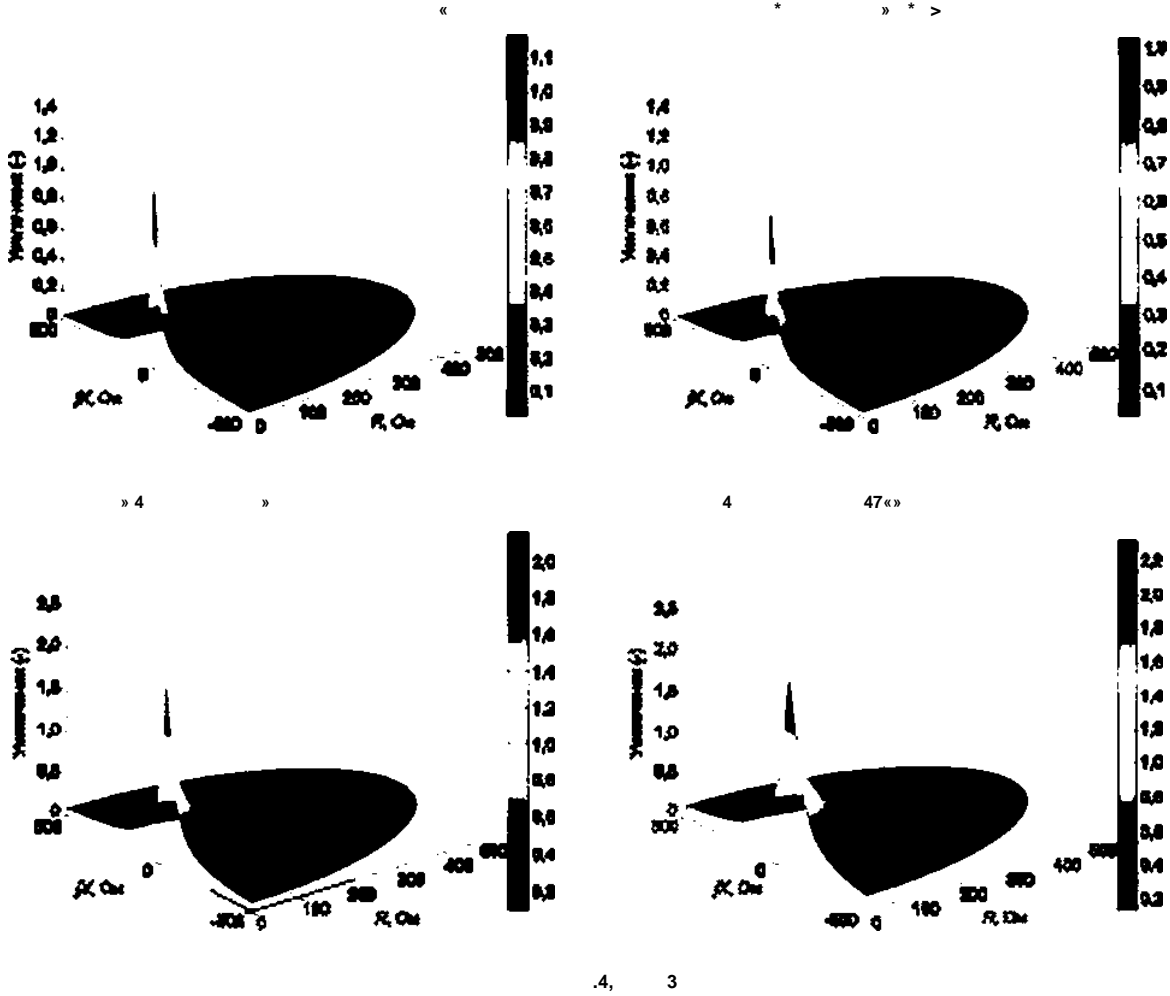
X— . R—

.4, 1— ,

Z 'fr'tf ^



— d iooj



.2.2

- Z_{mn} ();
- Z^{\wedge} (1000);
- \pm ().

1 %

(= 2.4 %) -

$I_1 = 440 - (/ - 400) * 0.6$

- $Z_{mn} = 1$ (. . . .2):
- $\pm \pm 85'$ Z^{\wedge} (. . . .).

.2—

$Z_{min} = 1$

	185*		i 75'		1 85*		k 55*		145*	
	UPCC, %	IU NE. %	UP %	(LINE. %	UPCC. %	IU NE. %	UP cc. %	tIU NE. %	UP CC. %	IU NE. %
	18.1	448.8	7.0	373.2	4.7	325.9	3.7	291.3	3.1	264.5
5	11.8	29.8	4.0	10,5	2.5	6.4	1.8	4.8	1.5	3.9

59032.3—2020

. 2

			i 75*		165*		1 55*		4 45'	
	UP .	IUNE. %	UPCC. %	IU NE. %	UP . %	(LINE. %	UP .	ILt NE.	UPCC.	IU NE. %
7	11.5	48.7	4.0	17.5	2.5	10.8	1.8	8.0	1.5	6.5
11	3.2	444.0	2.1	370.0	1.7	322.8	1.4	288.2	1.2	261.4
13	6.4	22.9	3J	9.3	2.1	6.4	1.7	5.0	1.4	4.2
23	1.4	28.1	1.2	26.9	1.1	25.9	1.1	25.6	1.0	25.3
25	1.0	28.1	1.0	27,3	1.0	27.0	1.0	26.7	1.0	26.4

.3 —

= ±85'

	2		4		6		!6 0m		32	
	UP CC	IUNE. 4	UPCC	ILINE.4	UP CC	(LINE. %	UP CC	IUNE, %	UP CC	IUNE. 4
	18.1	428.3	17.9	332.2	17.8	120.1	17.8	75.8	17.7	66.1
5	11.8	29.8	11.8	31.6	11.8	31.6	11.8	31.6	11.8	29.7
7	11.5	48.6	11.5	52.0	11.5	52.0	11.5	52,0	11.5	48.4
11	3.2	422,0	1.9	324.4	0.6	95.7	0.2	32.2	0.1	13.0
13	6.4	23,9	6.4	11.6	6.4	11.6	6.4	11.6	6.4	24.8
23	1.4	28.1	1.4	29.1	1.4	27,1	1.3	20.5	0.7	15.4
25	1.0	27.9	1.0	26.6	0.9	26,2	0.7	21.4	0.4	10.9

()

.1

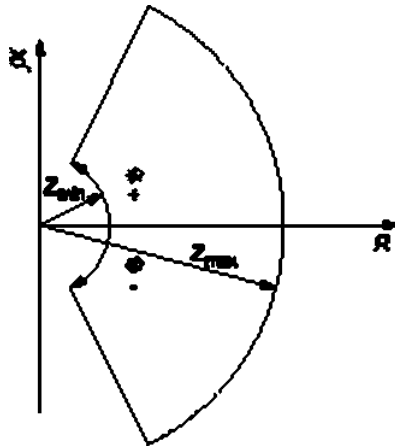
- 1 — ;
- 2 — , . 5.4;
- 3 — (). . 6.5.5;
- 4 — KJ. . 6.5.6:
- 5 — , . 6.5.7.

600 . 50 . 400 1 500 MBA 15 000 MBA.

.1. :

- Zfron go S Z_n S n so. — . Z[^]* 50 Z[^])n 50 —

0*	80'	2...4
-75°S<p _n S	75'	= 5...10
-70'	70'	11...50



« . —

.1—

11/13

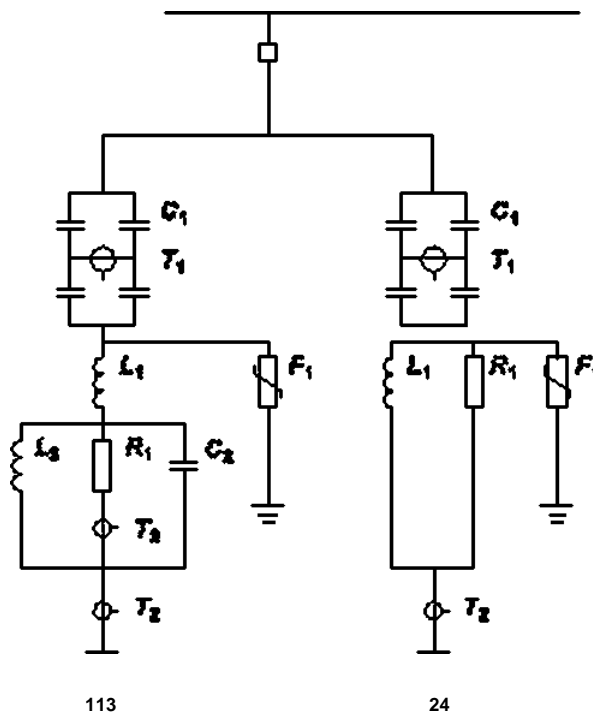
.1.

-) (50 ± 0.1) ;
-) (400120) :
-) :

- 1113 , -2,1 % 1.2 %
- (0,5%. 0.3% (. .)):

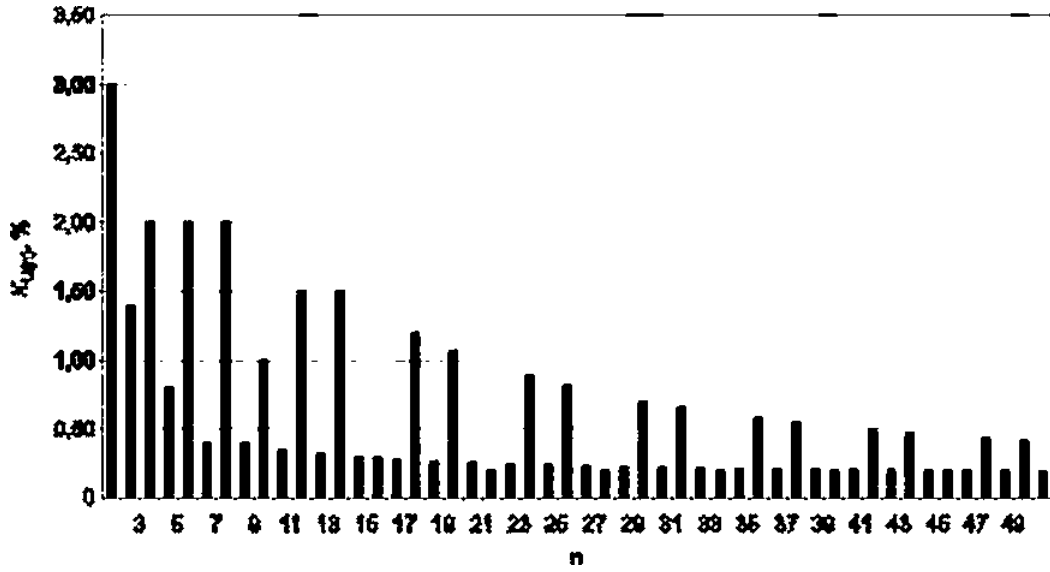
59032.3—2020

* 24) . -4,1 % 3.2 % (± 2 %. (. .).



C_j, L_r, L_f, R_s —
 T_j, T_j —
 .2 —

	1113	24
Q.MBAp	43	47
0	11 13	24
C_v	0,85	0,94
L_v	84,2	18,7
2	30,4	—
.	2,3	—
R_v	250	250



() " n-

RSS. qRSS SUM,

(RSS). / = :

(qRSS). = U_k—

(SUM), U = εI/n-

.2. (1—5)

.2

.2

600

1.9 %.

.2.

59032.3—2020

.2—

	*	1	2	3	4	S	-	'	
1113									
<i>UCy</i>		74	157	63	64	50	36	246	
		223	269	170	120	134	61	299	1
<i>iCy*L_t</i>		194	487	180	182	96	106	120	<i>•toi</i>
<i>I₂</i>		1 000	2 780	999	1 000	129	573	573	—
		1 030	2 890	1 020	1 030	211	606	609	—
<i>I₁</i>		35	98	35	35	6	21	21	—
24									
<i>U</i>		36	16	24	28	35	5	243	
		140	82	104	62	90	20	261	
<i>1</i>		96	80	80	72	64	25	77	
<i>ILy</i>		89	70	71	69	63	22	76	—
<i>I₁</i>		36	39	35	23	11	12	12	—
<p>1 1: 2 2: 3 3: 4 4: 5 5:</p> <p style="text-align: center;">. 6.5.4. . 6.5.5. . 6.5.6.</p> <p>10 %</p> <p>. 6.5.7.</p>									

1—

14.4 % ()

2.

4 2— (. 6.5.4)

5.6 % .2

5 3— () (. 6.5.5)

() . 2

1.2

1113.

3 1113 1

1113 / ,	* () < * *	* () * <-	4> «	1»
	—	—	193.62	179.23
2	1.82	2.80	2.37	2.37
3	4.21	4.00	8.53	8.11
4	4,57	1.60	13.06	4.57
5	7.66	4.00	29.45	15.38
6	1.52	0.80	7.77	4.08
7	7.55	4.00	51.47	27.26
8	1.50	0.80	14.03	7.51
9	3.68	2.00	51.08	27.73
10	1.24	0,70	30.50	17.25
11	1.11	1.80	139.44	139.44
12	0.30	0.64	4.16	4.16
13	1.00	1.80	96.82	96.82
14	0.60	0.59	22.99	22.62
15	0.41	0.60	8.51	8.51

, (. .2) . -
 , , -
 .6 4— (.6.5.6)
 , , ,
 , , ,
 , .4 .5
 1113 2 24 R, -
 , ,
 (Cj R^)
 ,
 ()
 :
 • 3.0 % ():
 • 70 % . . . \$ 2.1 % (KJ 3.5.7):
 • 50 % . . . \$ 1.5% (KJ 2 15).
 Jnonpae.
 (^)-
 .4 24 R^ -
 , , ,
 h 2 15.
 63

59032.3—2020

h 3.5,7. = 3 %

25.5 13

35,27 23,25

56 %.

.5

1113 2

KJ.

3 %.

3

4

.2.

.4 — 3 24 R,

24 IR,	* < | %	KU(n)- 3.5.7.%	315. %) %	%			*) %
19	1.07	—	1.07	—	1.07	13.33	13.33	1.28
23	0.89	—	0.89	—	1.39	13.02	13,02	0.80
25	0.82	—	0.56	—	1.50	11.16	7.62	0.43
17	1.20	—	—	—	—	11.10	—	—
29	0.70	—	—	—	—	8.87	—	—
31	0.66	—	—	—	—	8,40	—	—
35	0.58	—	—	—	—	7.37	—	—
37	0.55	—	—	—	—	6.87	—	—
7	2.00	2,00	—	—	2.50	6.68	6,68	7.53
41	0.50	—	—	—	—	6.00	—	—
9	1.00	—	—	1,00	2.69	5.64	5.64	3,67
43	0.47	—	—	—	—	5.62	—	—
47	0.43	—	—	—	—	4,97	—	—
49	0.42	—	—	—	—	4.69	—	—
22	0.25	—	—	—	—	3.66	—	—
20	0.26	—	—	—	—	3.48	—	—
24	0.24	—	—	—	—	3.40	—	—
5	2.00	0,64	—	—	2.77	3.34	1.07	2.45
26	0.23	—	—	—	—	3.05	—	—
18	0.27	—	—	—	—	2.92	—	—
21	0.20	—	—	—	—	2.91	—	—

.4

24 IR,	* (> 0 ' %	« 3.5. 7. %	*U(nr 15. %	( | . %	%	Spec*	4	xU(ni % **
30	0.22	—	—	—	—	2.84	—	—
28	0,23	—	—	—	—	2.84	—	—
32	0.22	—	—	—	—	2.80	—	—
34	0,22	—	—	—	—	2.74	—	—
36	0.21	—	—	—	—	2.67	—	—
38	0.21	—	—	—	—	2.60	—	—
14	0.30	—	—	0.30	2.78	2.59	2,59	0.58
33	0,20	—	—	—	—	2.55	—	—
40	0.21	—	—	—	—	2.52	—	—
27	0,20	—	—	—	—	2.51	—	—
39	0.20	—	—	—	—	2.45	—	—
42	0,21	—	—	—	—	2.45	—	—
44	0.20	—	—	—	—	2.39	—	—
10	0.35	—	—	0.35	2.81	2.38	2.38	1.22
45	0.20	—	—	—	—	2.33	—	—
46	0.20	—	—	—	—	2,32	—	—
48	0.20	—	—	—	—	2.27	—	—
50	0.20	—	—	—	—	2.21	—	—
16	0,28	—	—	—	—	1.92	—	—
8	0.40	—	—	0.40	2.83	1.77	1.77	1.49
15	0,30	—	—	—	—	1.77	—	—
13	1,50	—	—	0.98	3.00	1,58	1.04	0.28
4	0.80	—	—	—	—	1.26	—	—
12	0.32	—	—	—	—	1.03	—	—
6	0.40	—	—	—	—	0,97	—	—
11	1,50	—	—	—	—	0.94	—	—
3	2.00	—	—	—	—	0,67	—	—
2	1,40	—	—	—	—	0.12	—	—
—		2.10	1,50	1.53	3.00	—	—	9.10
—	U/h ²	—	—	—	—	35.27	22.35	—

59032.3—2020

.5—

4 1113 1

1113 1 2	%	« . 5.7.%	5. %	(> ' %	Исчтв- %		*	* () - %
13	1.50	—	—	1,50	1.50	790.18	790.18	1.00
11	1.50	—	—	1.50	2.12	593.03	593.03	1.11
14	0.30	—	—	0.30	2.14	95.23	95.23	0.60
12	0.32	—	—	0.32	2.17	83.08	83.08	0.30
10	0.35	—	—	0.35	2.19	61.93	61.93	1.24
9	1,00	—	—	1.00	2.41	60.70	60.70	3.68
17	1,20	—	120	—	2.69	34.48	34.48	1.44
7	2.00	1,32	—	—	3.00	25.19	16.66	4.99
15	0.30	—	—	—	—	25.12	—	—
19	1.07	—	—	—	—	18.82	—	—
...	—	—	—	—	—	...	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	«	1.32	1.20	2.41	3.00	—	—	6.69
—		—	—	—	—	1 001.38	1 000.51	—

.7 5 — , 10 %
(. 6.5.7)

« / » 10 % , -
, (. 6.5.7). 2. « -
/ » , -
1). — 14 % (

- [1] IEEE 1124-2003 -
(Guide for Analysis and Definition of DC Side Harmonic Performance of HVDC Transmission Systems)
- [2] IEEE C57.12.90-2015 -
(Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers)
- [3] IEC/TR 61869-103:2012 -
103. (Instrument transformers — The use of instrument transformers for power quality measurement)

59032.3—2020

621.316.1:006.354

29.240.01

: , , , -
,

