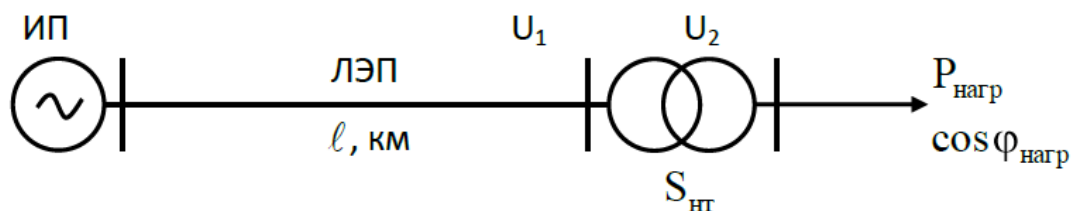


Индивидуальное домашнее задание по дисциплине «Имитационное моделирование в энергетике»

Схема состоит из источника питания (ИП), линии электропередачи (ЛЭП) длиной L км, силового трансформатора номинальной мощностью $S_{нт}$, номинальным напряжением обмоток U_1 и U_2 . К трансформатору подключена нагрузка на напряжении U_2 с мощностью $P_{нагр}$ и коэффициентом мощности $\cos\varphi_{нагр}$.



Исходные данные по вариантам

№	ЛЭП		Трансформатор			Нагрузка	
	Марка провода	$L, \text{ км}$	$S_{тр}, \text{ кВА}$	$U_1, \text{ кВ}$	$U_2, \text{ кВ}$	$P_{н}, \text{ кВт}$	$\cos\varphi_n$
1	АС-95	10	100	10	0,4	80	0,82
2	АС-70	12	160	10	0,4	120	0,8
3	АС-120	9	250	10	0,4	190	0,7
4	АС-70	7	400	10	0,4	310	0,78
5	АС-120	10	630	10	0,4	540	0,9
6	АС-70	15	2500	110	6	1000	0,82
7	АС-95	20	6300	110	6	4000	0,8
8	АС-120	40	10000	110	6	7500	0,7
9	АС-150	24	16000	110	6	10000	0,78
10	АС-70	10	630	35	6	400	0,9
11	АС-70	15	1000	35	6	650	0,82
12	АС-70	26	1600	35	6	1200	0,8
13	АС-70	32	2500	35	6	1600	0,7
14	АС-95	41	4000	35	6	3000	0,78
15	АС-120	12	6300	35	6	5000	0,9
16	АС-95	35	160	35	0,4	110	0,82
17	АС-70	30	250	35	0,4	200	0,8
18	АС-95	35	400	35	0,4	330	0,7
19	АС-70	10	630	35	0,4	520	0,78
20	АС-95	14	100	10	0,4	80	0,9

Требуется:

1. Определить параметры схемы (параметры трансформатора, ЛЭП и т.д.) для создания имитационной модели сети. Расчет предоставить в отчете по ИДЗ.

2. Построить имитационную модель сети в Matlab с помощью блоков библиотек Simulink и Simscape.

3. Измерить напряжение у источника, на выводах ВН и НН трансформатора, все токи в сети, вычислить значения полной, активной и реактивной мощностей в ключевых точках в Simulink, сравнить коэффициенты мощности источника и нагрузки. Моделирование проводить при 100% нагрузки. Результатами моделирования являются осциллограммы мгновенных значений (привести в отчете на белом фоне; в нужном масштабе; хорошо видимыми линиями; отличия нескольких графиков в одном окне должны быть не цветом, а типом линий или маркерами, а также должна быть легенда для подписи каждого отдельного графика из нескольких) и действующие значения (показать на схеме и записать в отдельную таблицу в отчете).

4. Осуществить моделирование из скрипта с автоматическим изменением нагрузки в соответствие с графиком нагрузки (см. рис. Б.1 – Б.20 для своего варианта): запустить при одной мощности нагрузки, дождаться окончания переходного процесса в начале моделирования, сохранить полученные значения в массив, повторить этот процесс автоматически в цикле. В результате нужно построить суточные графики изменения: потребляемой активной мощности на источнике и действующего значения напряжения после ЛЭП. Графики изобразить столбцовыми диаграммами.

Параметры проводников ЛЭП

Марка провода	Удельное активное сопротивление, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$	Погонное индуктивное сопротивление, $\text{Ом}/\text{км}$	Емкостная проводимость линии, $\text{мкСм}/\text{км}$
A 35	0,8502	0,392	-
AC 35	0,7897	0,403	-
A 50	0,5880	0,355	-
AC 50	0,60298	0,39	-
A 70	0,4204	0,341	-
AC 70	0,42859	0,382	2,547
AC 95	0,30599	0,397	2,87
AC 120	0,24917	0,391	2,92
AC 150	0,19919	0,384	2,97

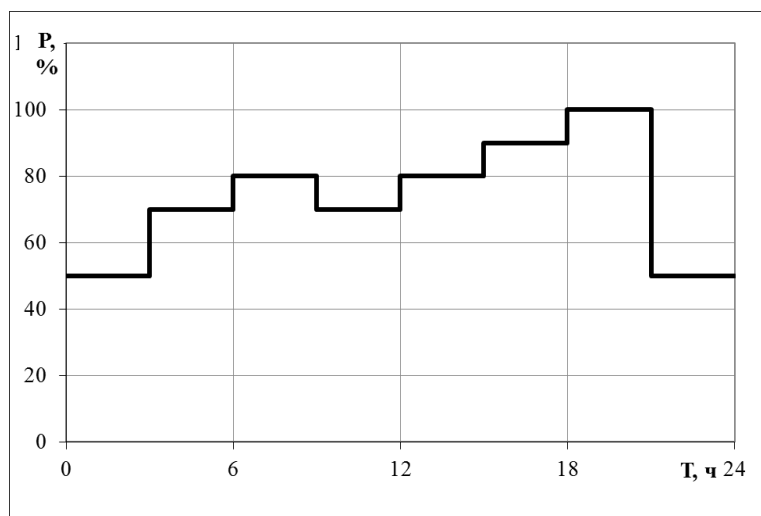


Рис. Б.1. Суточный график нагрузки потребителей 1

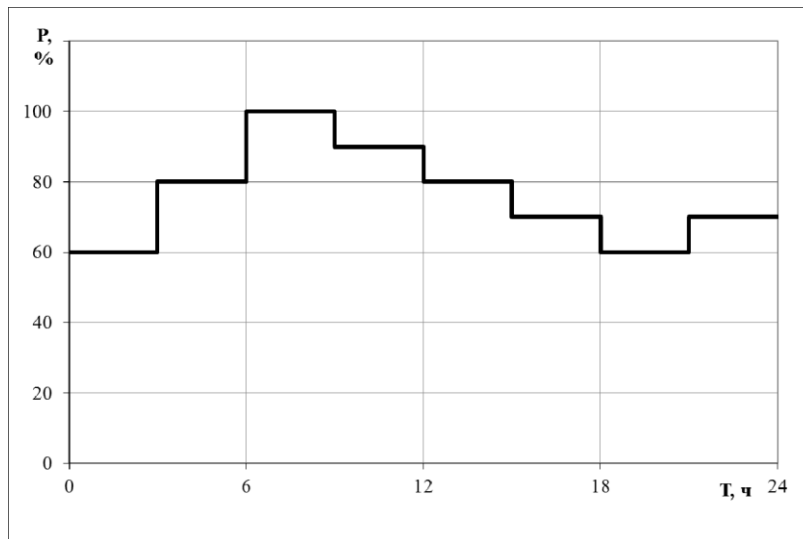


Рис. Б.2. Суточный график нагрузки потребителей 2

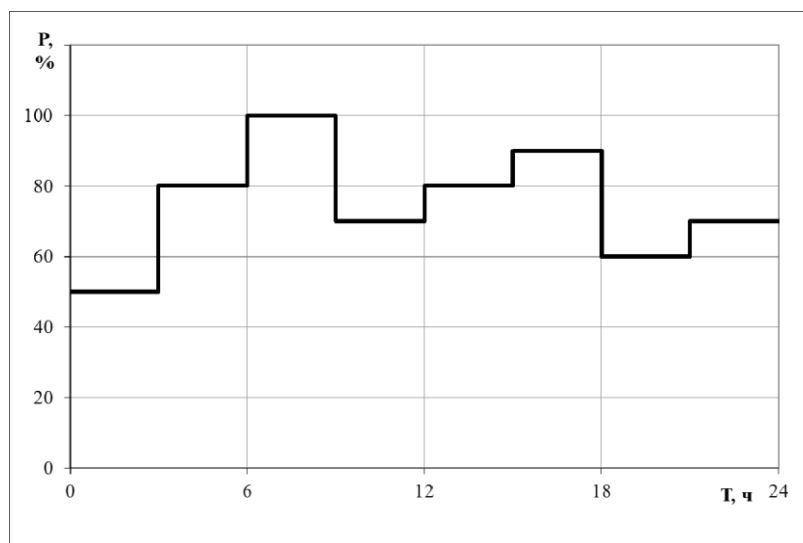


Рис. Б.3. Суточный график нагрузки потребителей 3

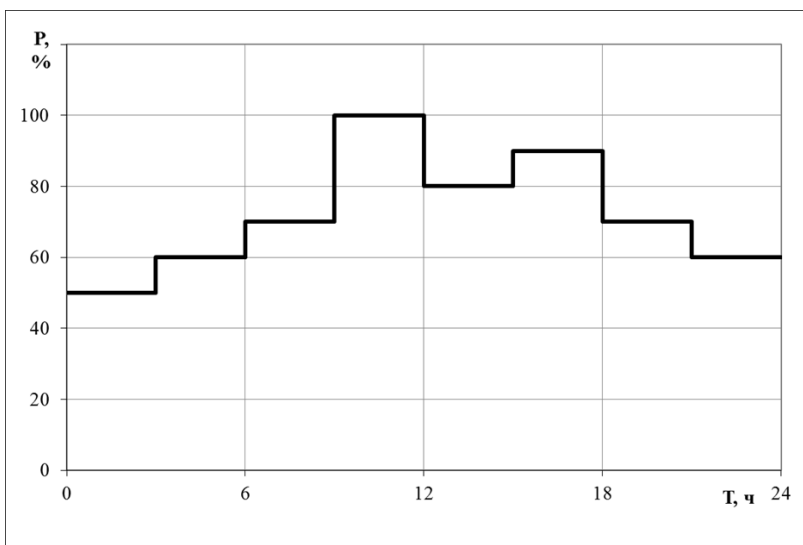


Рис. Б.4. Суточный график нагрузки потребителей 4

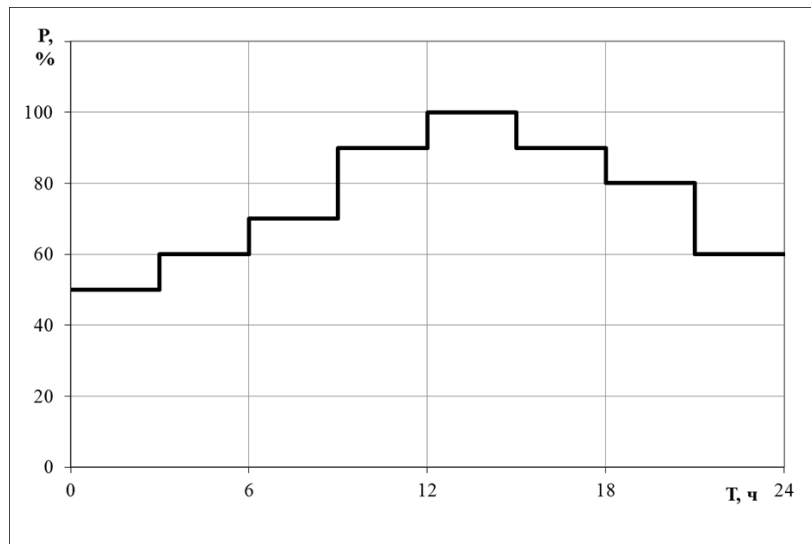


Рис. Б.5. Суточный график нагрузки потребителей 5

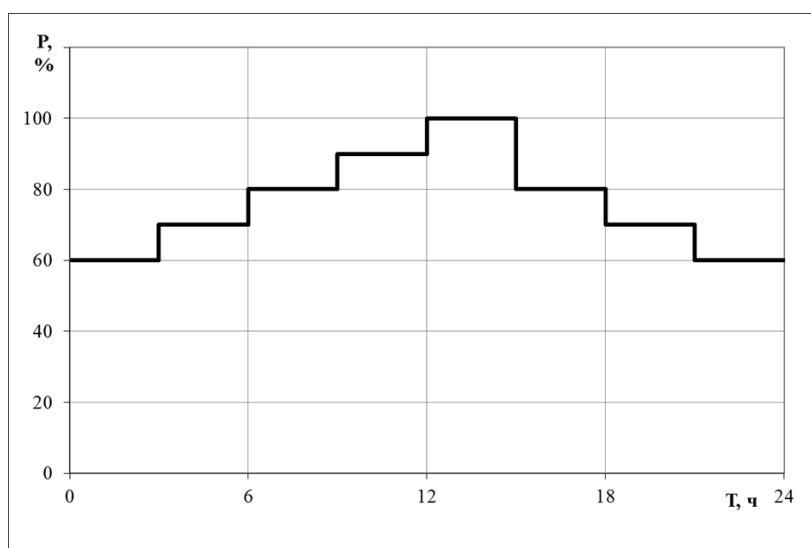


Рис. Б.6. Суточный график нагрузки потребителей 6

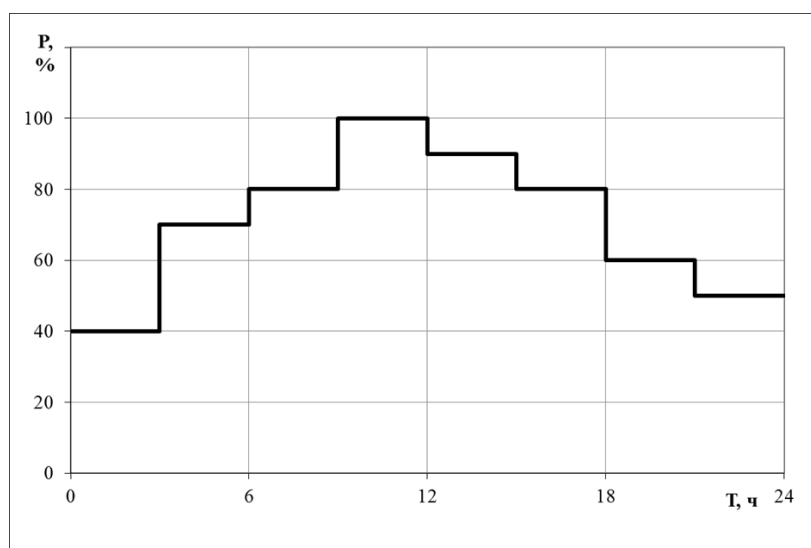


Рис. Б.7. Суточный график нагрузки потребителей 7

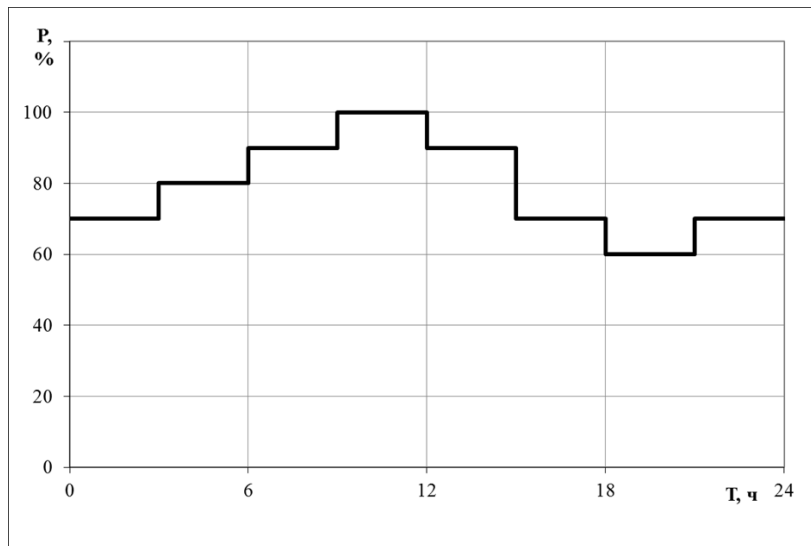


Рис. Б.8. Суточный график нагрузки потребителей 8

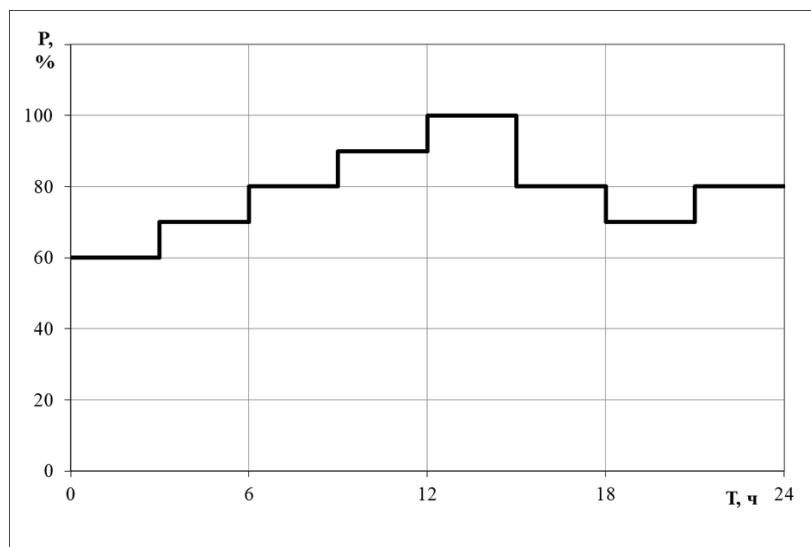


Рис. Б.9. Суточный график нагрузки потребителей 9

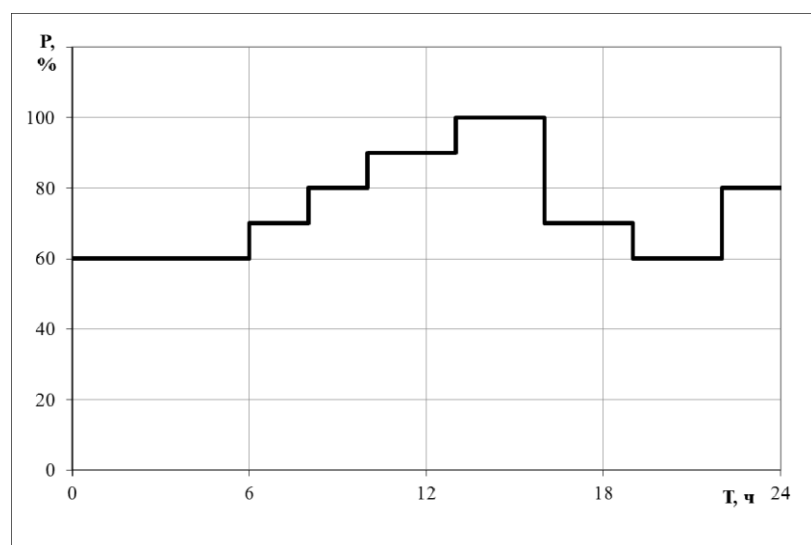


Рис. Б.10. Суточный график нагрузки потребителей 10

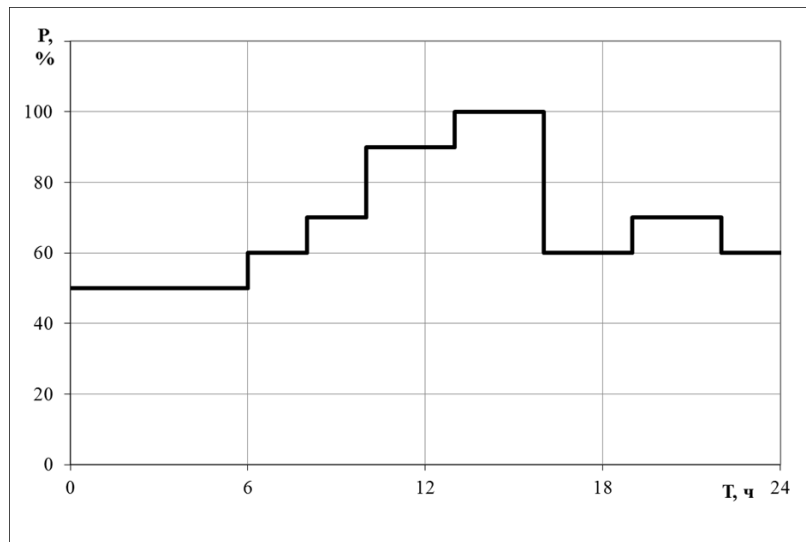


Рис. Б.11. Суточный график нагрузки потребителей 11

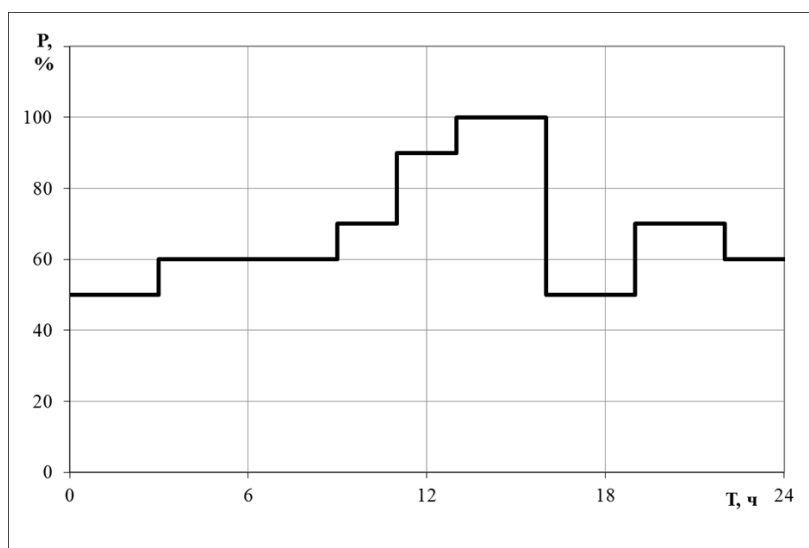


Рис. Б.12. Суточный график нагрузки потребителей 12

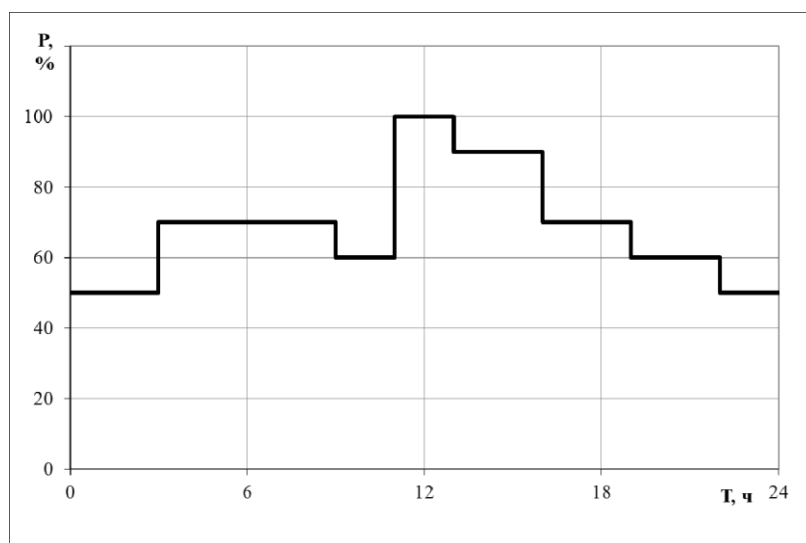


Рис. Б.13. Суточный график нагрузки потребителей 13

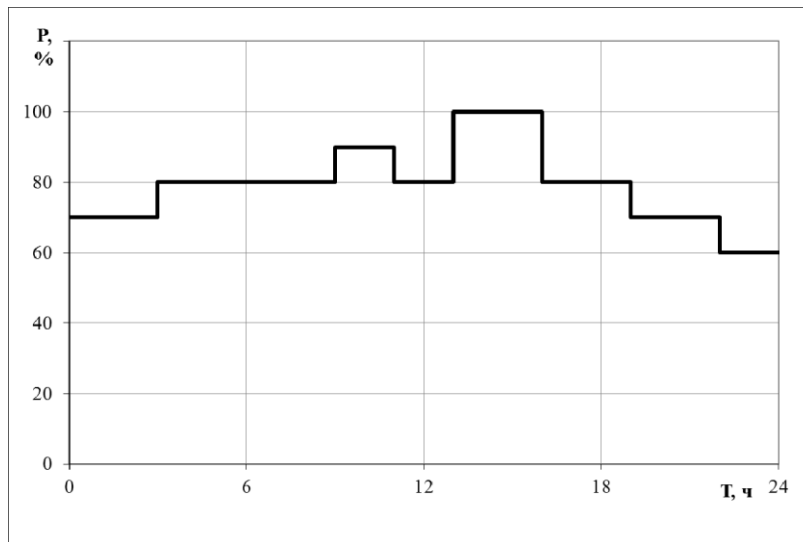


Рис. Б.14. Суточный график нагрузки потребителей 14

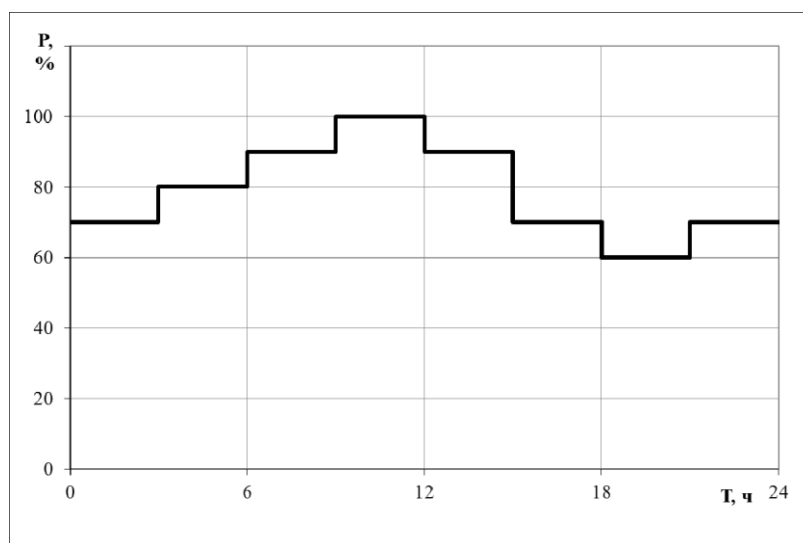


Рис. Б.15. Суточный график нагрузки потребителей 15

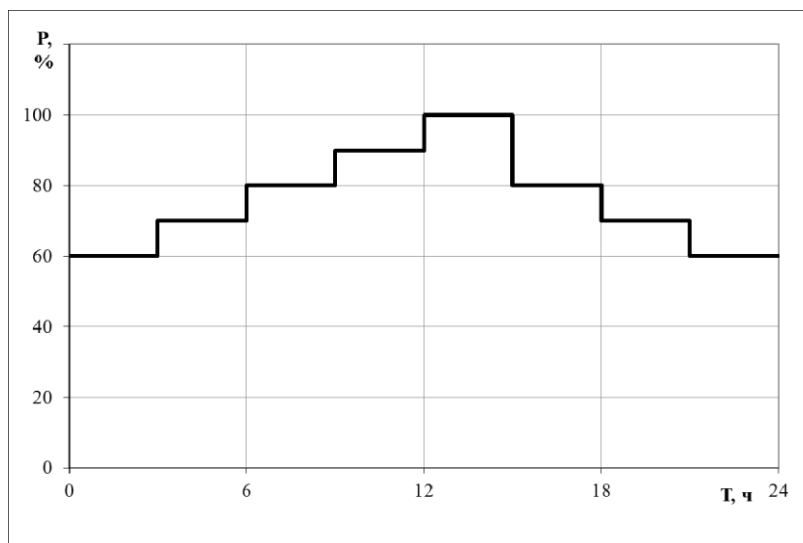


Рис. Б.16. Суточный график нагрузки потребителей 16

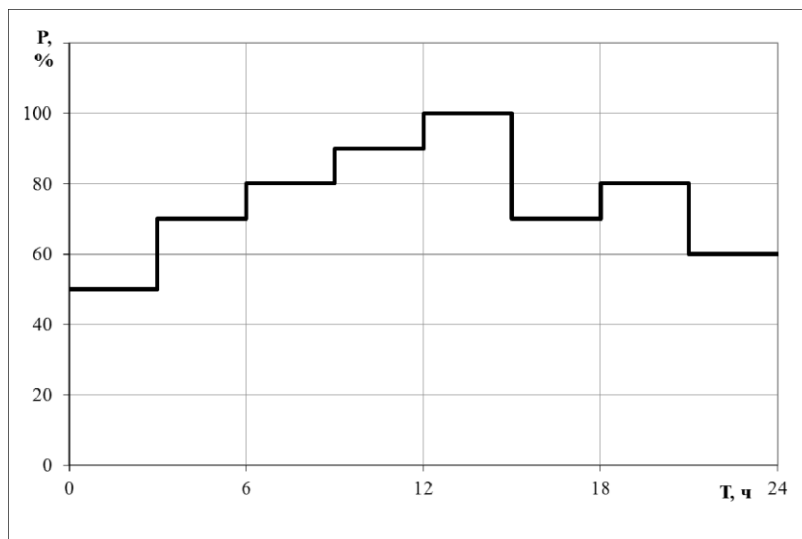


Рис. Б.17. Суточный график нагрузки потребителей 17

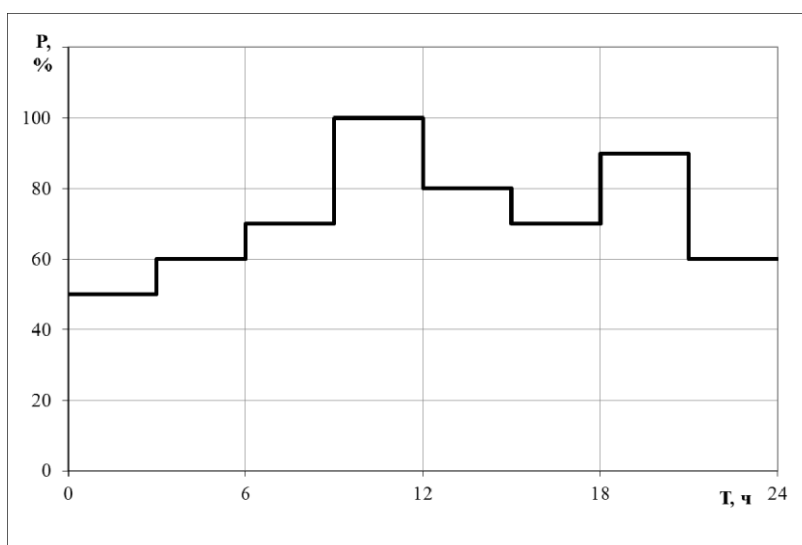


Рис. Б.18. Суточный график нагрузки потребителей 18

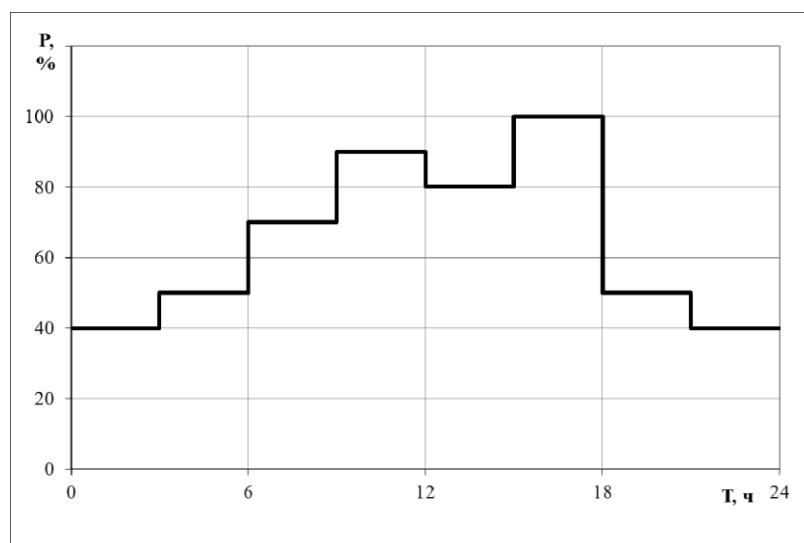


Рис. Б.19. Суточный график нагрузки потребителей 19

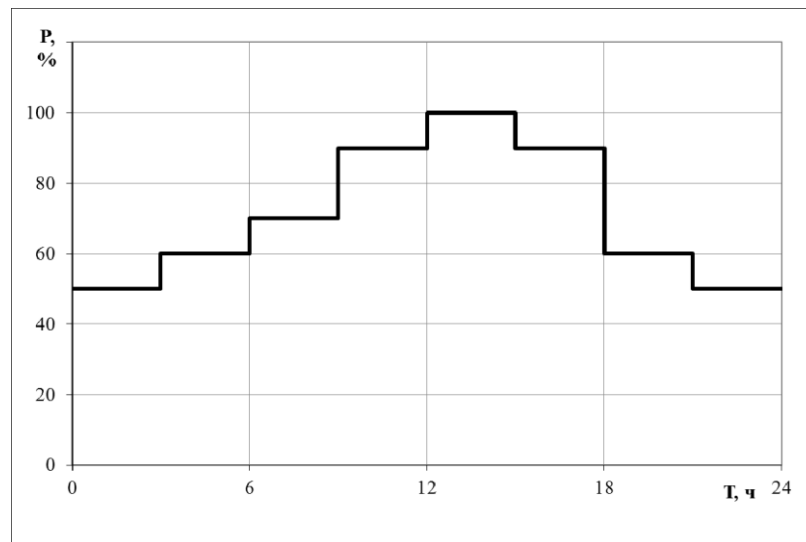


Рис. Б.20. Суточный график нагрузки потребителей 20

Пример выполнения индивидуального домашнего задания:

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ.
В.Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Институт энергетики и электроники

Индивидуальное домашнее задание
по дисциплине «Имитационное моделирование в энергетике»
Вариант – 32

Выполнил:
студент группы Э(ЭА)-_____

Иванов И.И.

Принял:
доц., канд. техн. наук
Прасол Д.А.

Белгород 2025

Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные варианта

№ вар.	ЛЭП		Трансформатор			Нагрузка	
	Марка	L , км	$S_{\text{нт}}$, кВА	U_1 , кВ	U_2 , кВ	$P_{\text{нагр}}$, кВт	$\varphi_{\text{нагр}}$
32	АС-95		0				

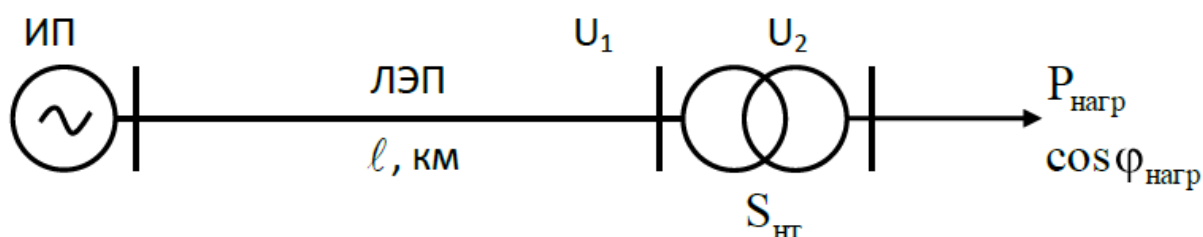


Рис. 1. Однолинейная схема сети.

Определим параметры схемы для создания имитационной модели. Параметры линии электропередачи представлены в следующей таблице.

Таблица 2

Параметры проводников ЛЭП

Марка провода	Удельное активное сопротивление, Ом · мм ² /км	Погонное индуктивное сопротивление, Ом/км	Емкостная проводимость линии, мкСм/км
АС 95	0,30599	0,397	2,87

По варианту марка провода АС 95. Параметры представлены удельными значениями: $r_0 = 0,30599 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$, $x_{L0} = 0,397 \text{ Ом/км}$, $b_{C0} = 2,87 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$. Для выбора схемы замещения ЛЭП необходимо руководствоваться уровнем напряжения (напряжение обмотки высшего напряжения U_1).

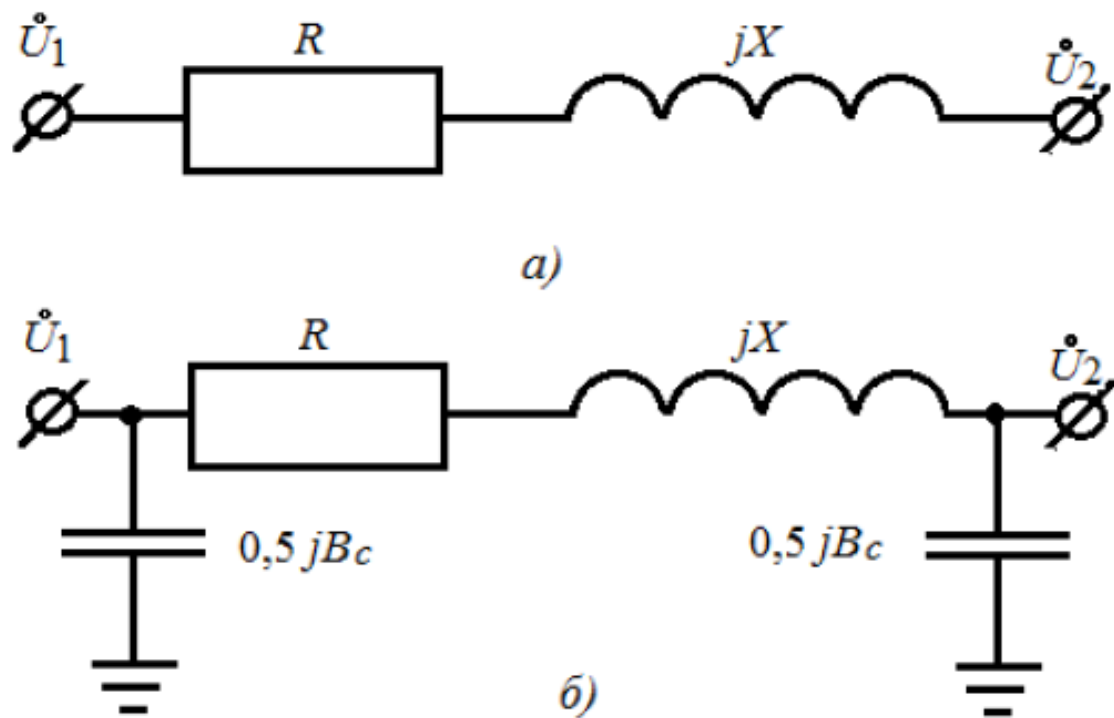


Рис. 2. Схемы замещения ЛЭП:

а) для 0,4 – 35 кВ; б) для 110 – 220 кВ

Рассчитаем сопротивления, индуктивности и емкости для всей линии, но сначала нам потребуется площадь поперечного сечения проводника АС 95, это значение приведено в названии проводника, то есть оно равно 95 мм²:

$$R_{AC-95} = r_0 \cdot L = 0,30599 \cdot 15 = 4,59 \text{ Ом};$$

$$X_{AC-95} = x_{L0} \cdot L = 0,397 \cdot 15 = 5,955 \text{ Ом};$$

$$L_{AC-95} = \frac{X_{AC-95}}{2\pi f} = \frac{5,955}{314} = 0,019 \text{ Гн};$$

$$B_{AC-95} = b_0 \cdot L = 2,87 \cdot 10^{-6} \cdot 15 = 43 \cdot 10^{-6} \text{ См} = 43 \text{ мкСм};$$

$$C_{AC-95} = \frac{B_{AC-95}}{2\pi f} = \frac{43 \cdot 10^{-6}}{314} = 0,137 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0,137 \text{ мкФ} = 137 \text{ нФ}.$$

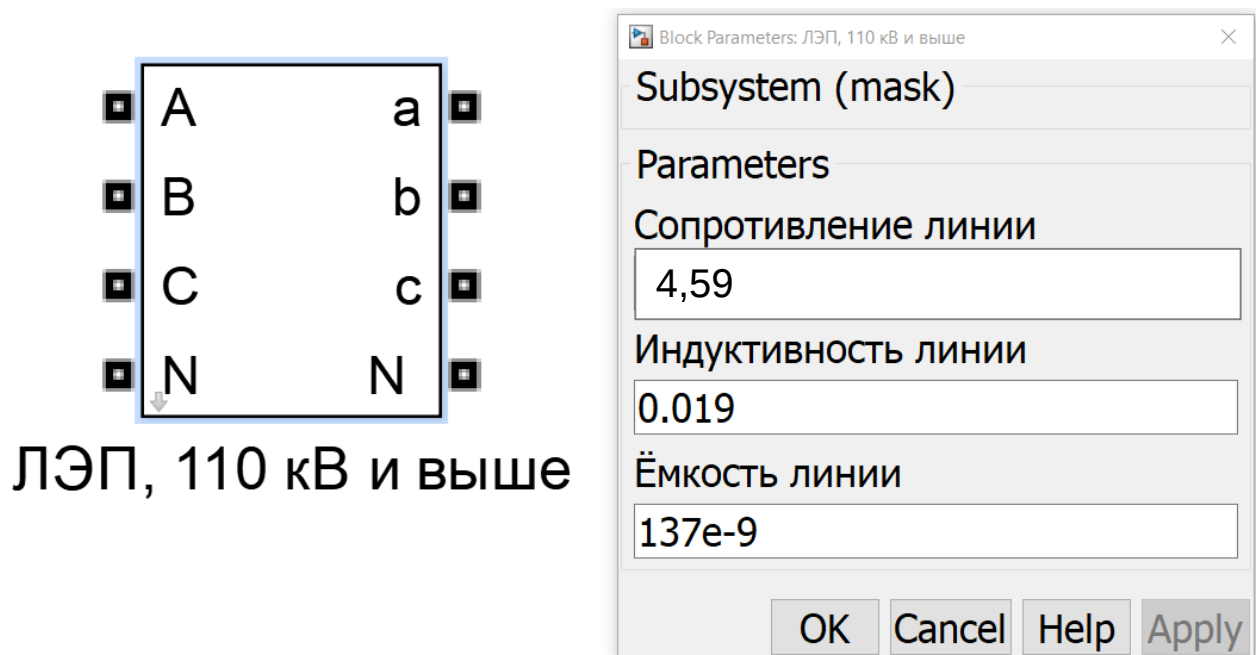


Рис.3. Внешний вид и параметры блока линии электропередачи с учётом ёмкости

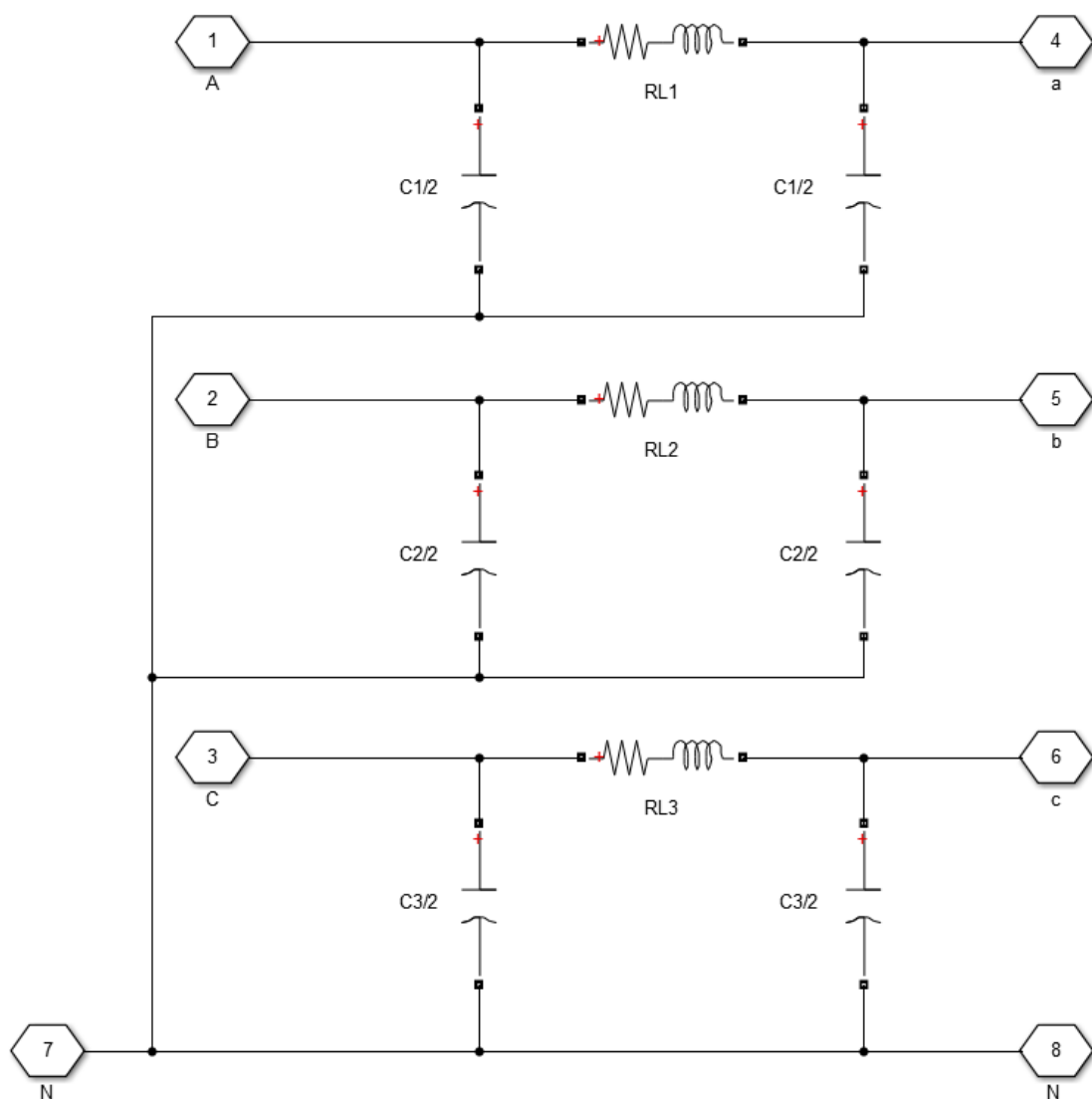


Рис.4. Внутренняя часть модели линии электропередачи

Ищем в справочниках трансформатор по мощности (10000 кВА) и напряжению (110 и 10 кВ), подходит трансформатор ТДН-10000/110.

Таблица 3

Паспортные данные трансформатора

Тип трансформатора	S _{ном} , МВА	Напряжение обмотки, кВ		Потери, кВт		u _к , %	I _х , %	Схема соединения
		ВН	НН	P _х	P _к			
ТДН-10000/110		0						Y _н /Δ-11

Листинг 1

```
f=50;
w=2*pi*f;
m=3;
S1_1=10000e3;
U1_1=110e3;
U2_1=10e3;
U0kz_1=10.5;
Pкz_1=58e3;
Ixx_1=0.2;
Pxx_1=10e3;
S1f_1=S1_1/m;
U1f_1=U1_1/sqrt(3);
I1f_1=S1f_1/U1f_1;
I0_1=Ixx_1*I1f_1/100;
Sxx_1=3*I0_1*U1f_1;
Qxx_1=sqrt(Sxx_1^2-Pxx_1^2);
Rm_1=Pxx_1/(3*I0_1^2);
Xm_1=Qxx_1/(3*I0_1^2);
Lm_1=Xm_1/w;
Uкz_1=U0kz_1/100*U1_1;
Skz_1=S1_1*Uкz_1/U1_1;
Qкz_1=sqrt(Sкz_1^2-Pкz_1^2);
Rкz_1=Pкz_1/(3*I1f_1^2);
Xкz_1=Qкz_1/(3*I1f_1^2);
R1_1=Rкz_1/2;
X1_1=Xкz_1/2;
L1_1=X1_1/(w);
n_1=U1_1/U2_1;
R2_1=R1_1/(n_1^2);
X2_1=X1_1/(n_1^2);
L2_1=X2_1/(w);
Zb_1=U1_1^2/S1_1;
```

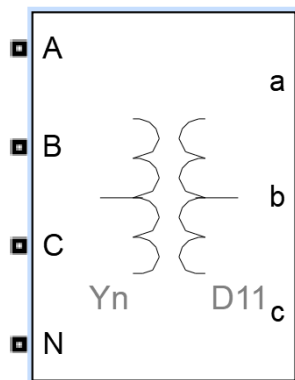
Workspace	
Name ▲	Value
L1_1	0.2019
L2_1	0.0017
Lm_1	1.6678e+03
m	3
n_1	11
Pkz_1	58000
Pxx_1	10000
Qkz_1	1.0484e+06
Qxx_1	1.7321e+04
R1_1	3.5090
R2_1	0.0290
Rkz_1	7.0180
Rm_1	3.0250e+05
S1_1	10000000
S1f_1	3.3333e+06
Skz_1	1050000
Sxx_1	2.0000e+04
U0kz_1	10.5000
U1_1	110000
U1f_1	6.3509e+04

Рис. 5. Результаты параметров трансформатора вычислений

Таблица 4

Расчётные данные трансформатора

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_m , Ом	L_1 , Гн	L_2 , Гн	L_m , Гн
3,509	0,029	302500	0,2019	0,0017	1668



Three-Phase
Transformer
(Two Windings)

Block Parameters: Three-Phase Transformer (Two Windings)

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters Advanced

Winding 1 connection (ABC terminals):
Yn

Winding 2 connection (abc terminals):
Delta (D11)

Core
Type: Three single-phase transformers

☐ Simulate saturation

Measurements
None

OK Cancel Help Apply

Рис.6. Внешний вид и параметры блока
трехфазного трансформатора (вкладка Configuration)

Block Parameters: Three-Phase Transformer (Two Windings)

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters Advanced

Units SI

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)]
[10e06 , 50]

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(Ohm) , L1(H)]
[110e03 3.5 0.2]

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(Ohm) , L2(H)]
[10e3 0.029 0.00166]

Magnetization resistance Rm (Ohm)
302e3

Magnetization inductance Lm (H)
1669

Saturation characteristic [i1(A) , phi1(V.s) ; i2 , phi2 ; ...]
[0 0.0 38482 3308 7.160 34 4191]

OK Cancel Help Apply

Рис.7. Параметры блока трехфазного трансформатора (вкладка Parameters)

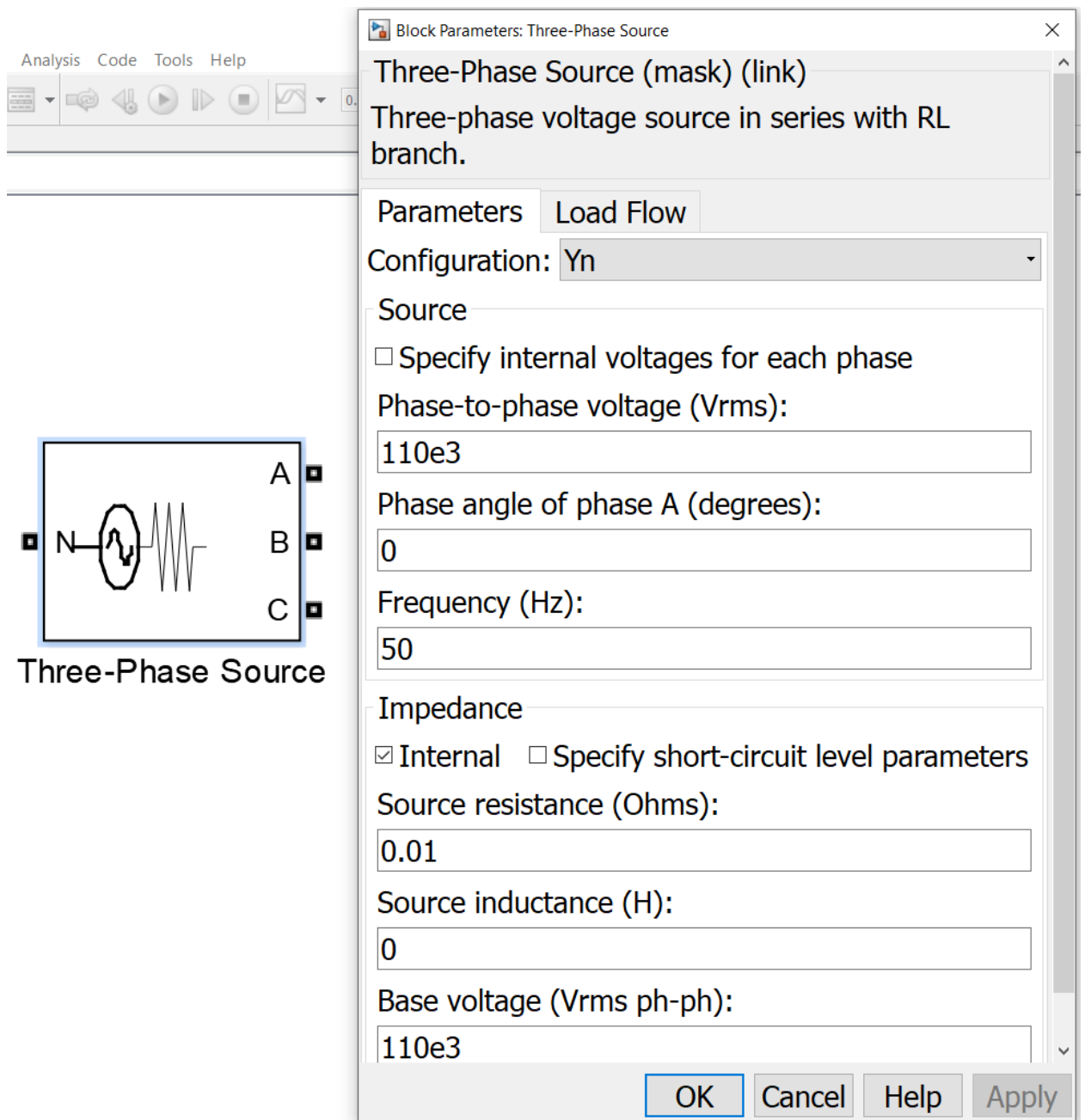


Рис.8. Внешний вид и параметры блока трехфазного источника

Рассчитаем полную мощность нагрузки:

$$S_{\text{нагр}} = \frac{P_{\text{нагр}}}{\cos \varphi} = \frac{8 \cdot 10^6}{0,8} = 10 \cdot 10^6 \text{ ВА.}$$

Реактивная мощность нагрузки:

$$Q_{\text{нагр}} = \sqrt{S_{\text{нагр}}^2 - P_{\text{нагр}}^2} = \sqrt{(10 \cdot 10^6)^2 - (8 \cdot 10^6)^2} = 6 \cdot 10^6 \text{ ВАр.}$$

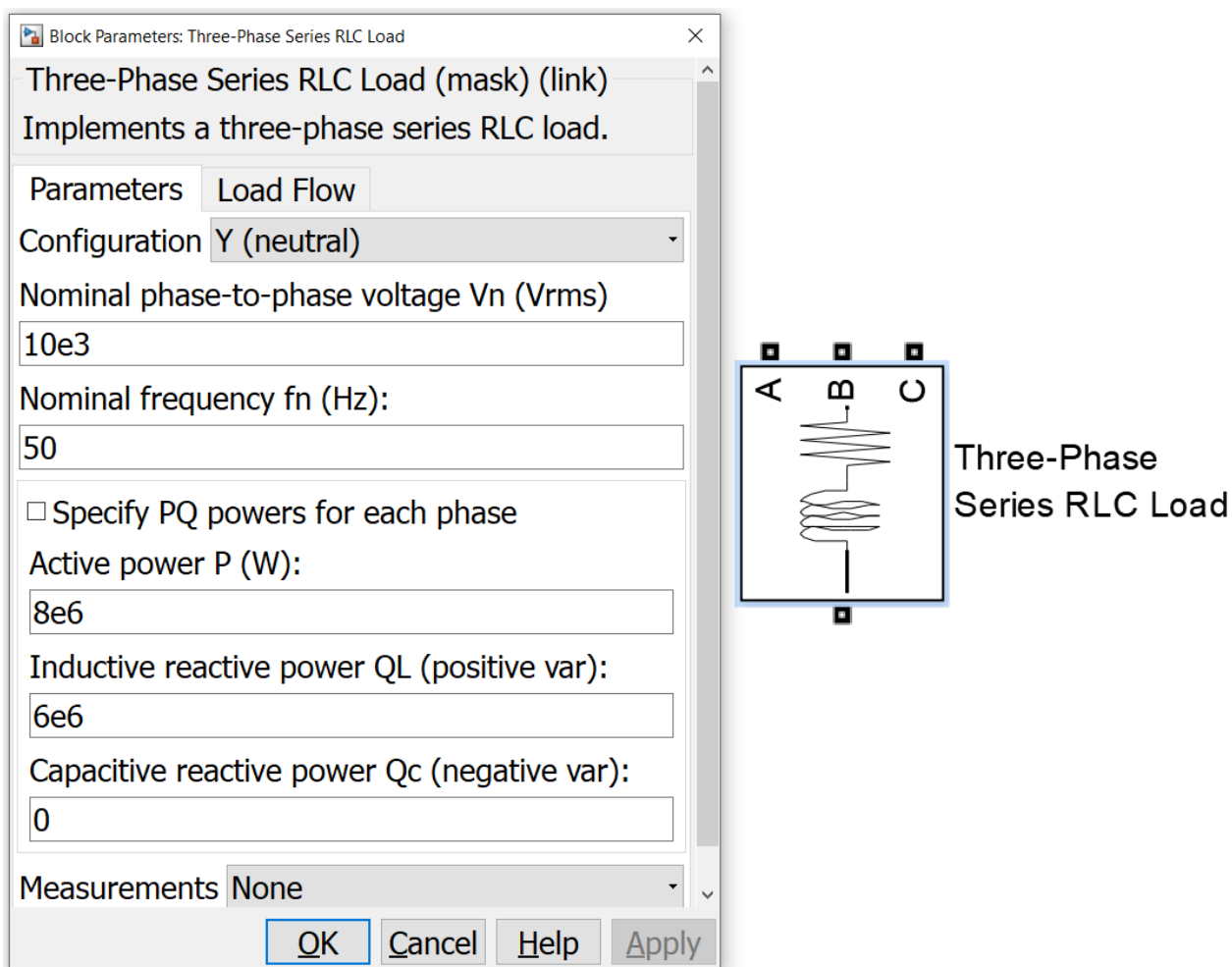


Рис.9. Внешний вид и параметры блока трехфазной нагрузки

Была построена имитационная модель системы электроснабжения, которая представлена на рис. 10. Результаты моделирования в виде действующих значений напряжения, тока и мощности приведены в табл. 5. Так как нагрузка симметрична, параметры фаз аналогичны друг другу. Осциллограммы напряжения и тока представлены на рис. 11-16.

Таблица 5

Результаты моделирования схемы

$U_{ист},$ кВ	$I_{ист},$ А	$P_{ист},$ кВт	$Q_{ист},$ квар	$U_{вн},$ кВ	$I_{вн},$ А	$P_{вн},$ кВт	$Q_{вн},$ квар	$U_{нагр},$ кВ	$I_{нагр},$ А	$P_{нагр},$ кВт	$Q_{нагр},$ квар
110	48,55	7340	5630	109,7	50,25	7339	6105	9,531	550,3	7267	5450

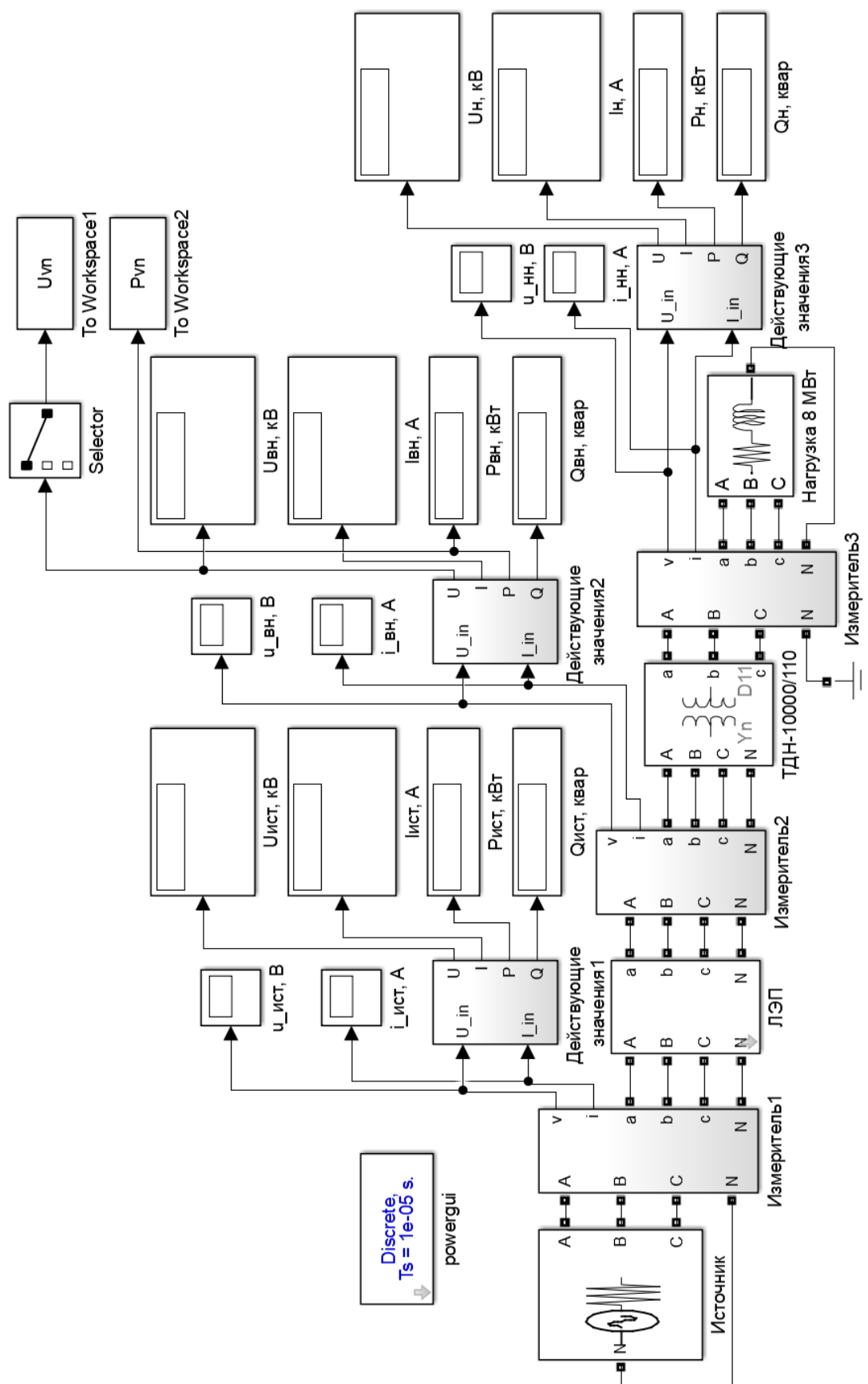


Рис.10. Модель системы электроснабжения

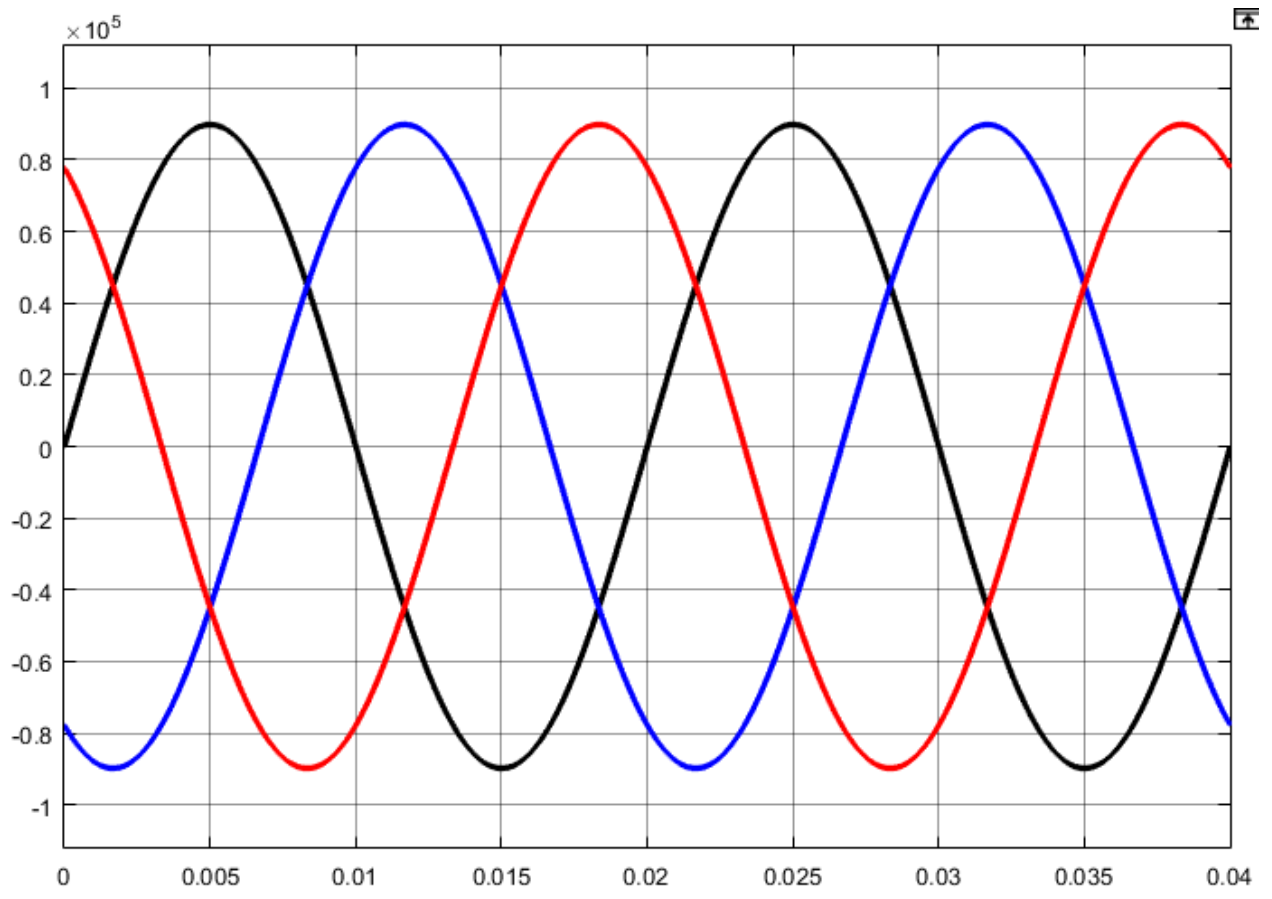


Рис.11. Осциллограмма напряжения источника

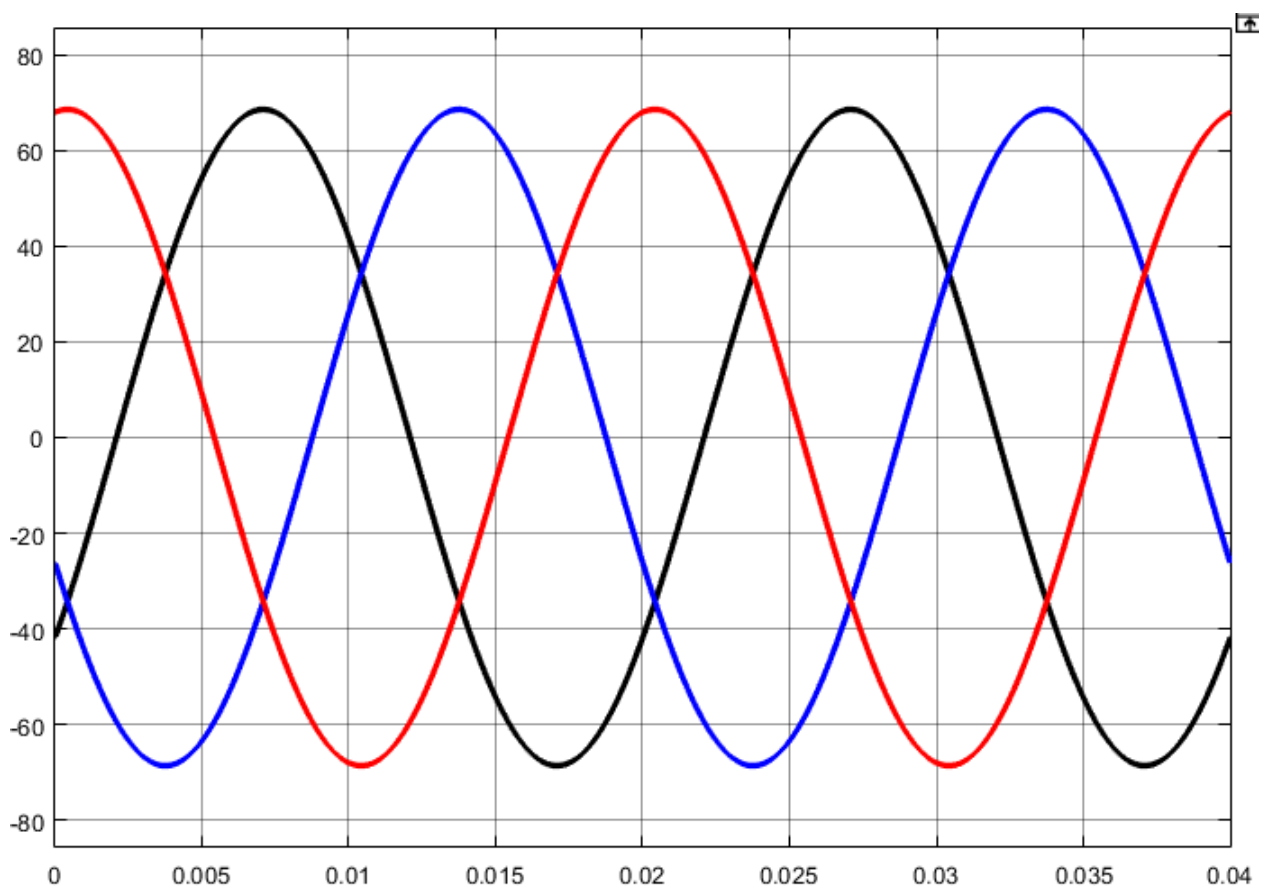


Рис.12. Осциллограмма тока источника

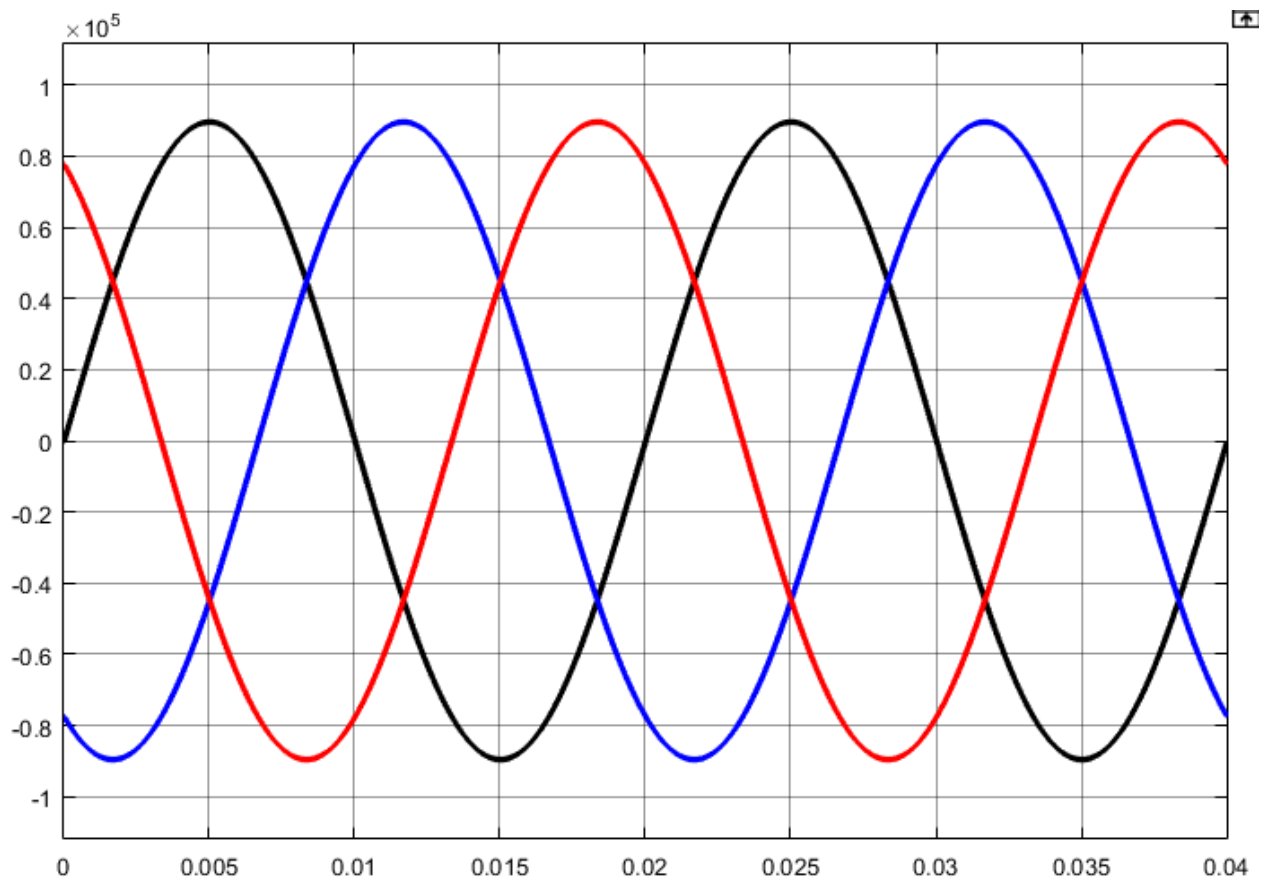


Рис.13. Осциллограмма напряжения на ВН

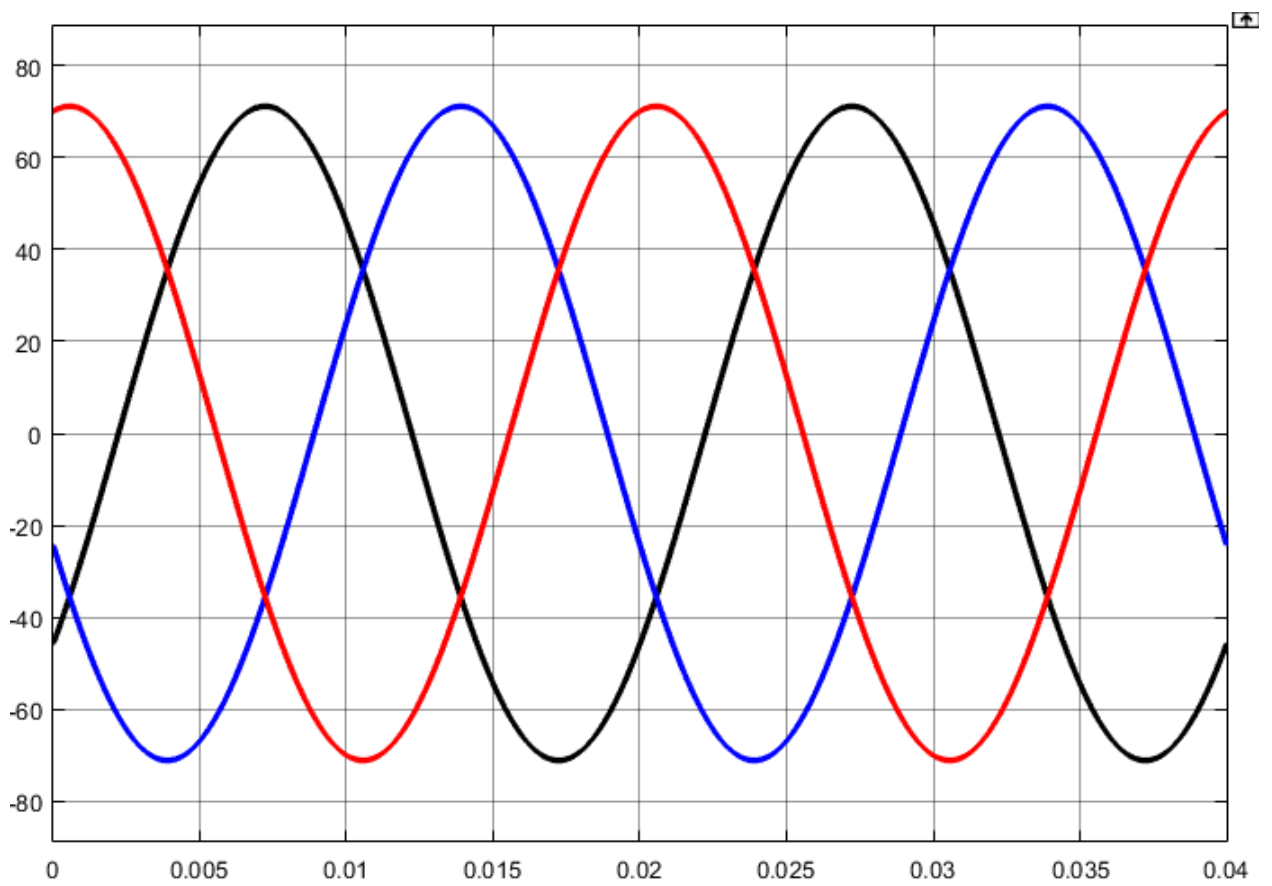


Рис.14. Осциллограмма тока источника на ВН

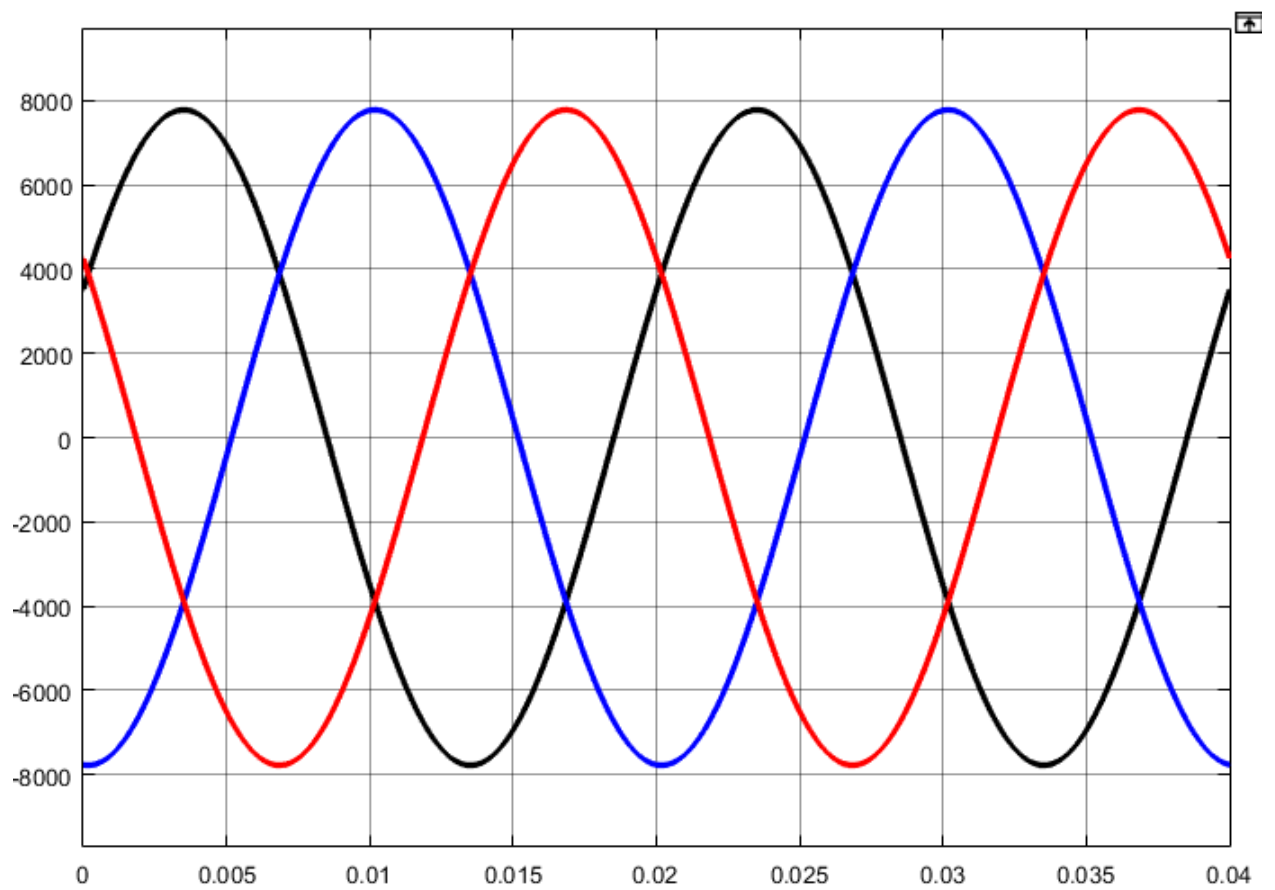


Рис.15. Осциллограмма напряжения на нагрузке

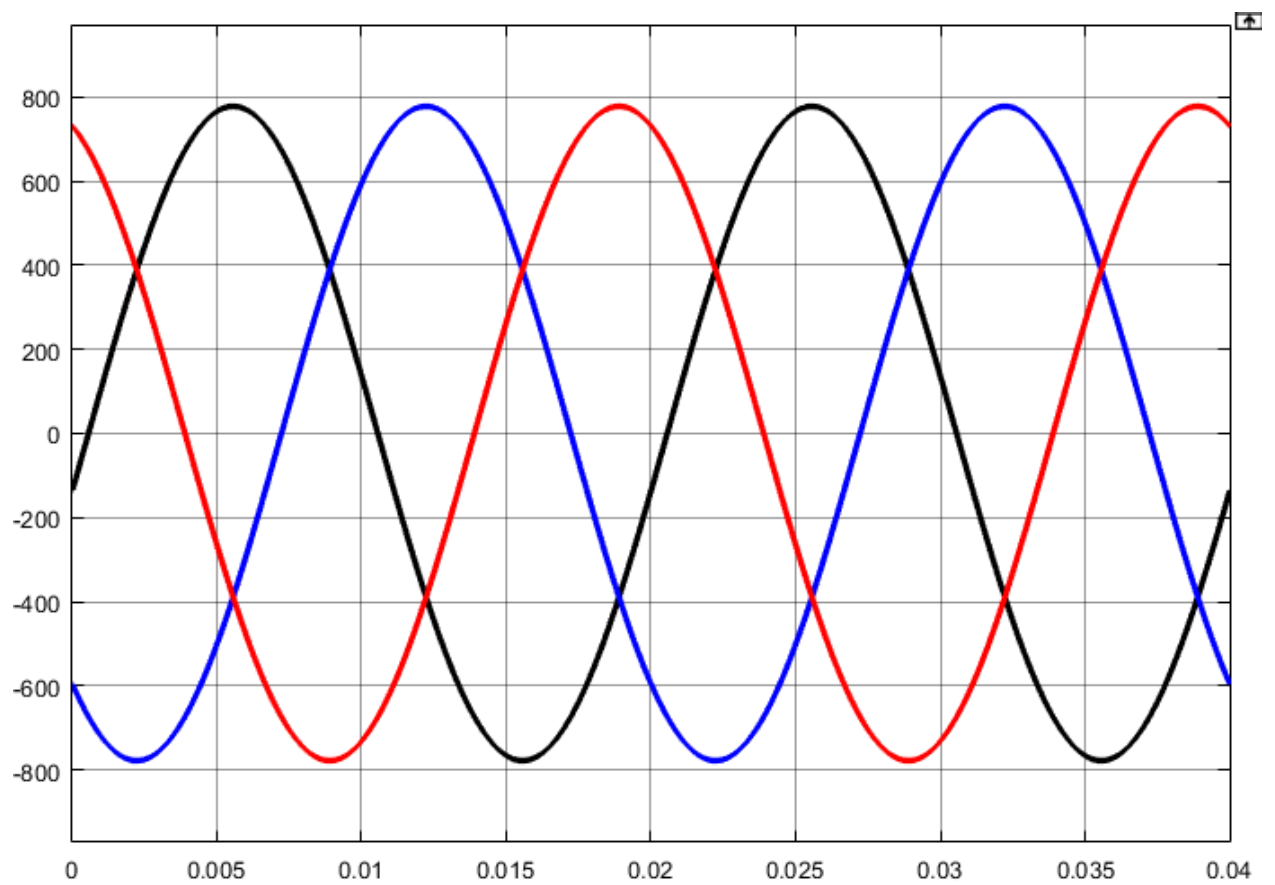


Рис.16. Осциллограмма тока источника на нагрузке

Необходимо изменять нагрузку в модели согласно требуемому графику нагрузки, представленному на рис. 17.

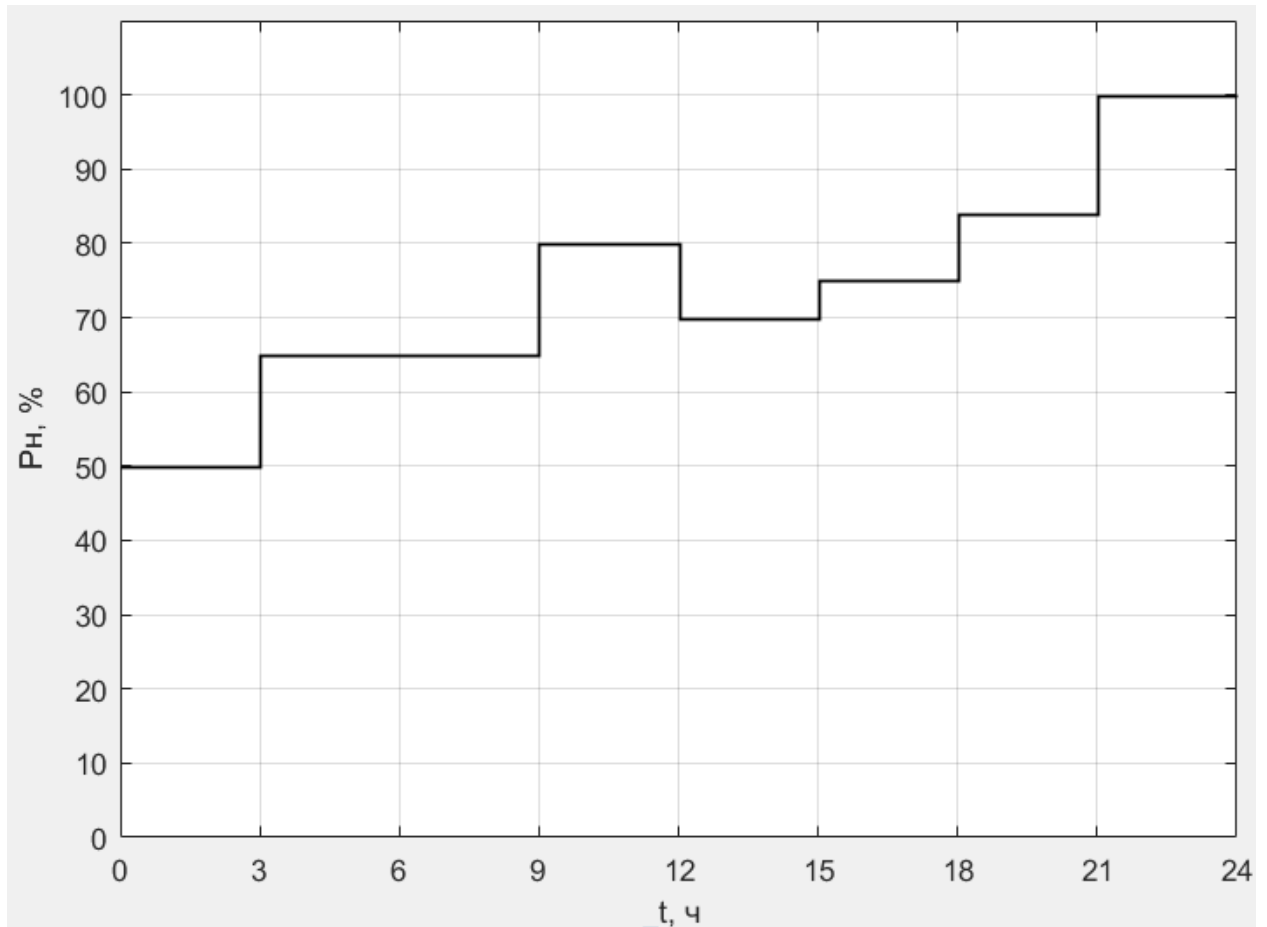


Рис. 17. Требуемый график нагрузки

Для получения требуемого графика нагрузки необходимо изменять активную мощность, потребляемую нагрузкой. Для этого запустим моделирование в цикле, в каждой итерации которого будут изменяться параметры нагрузки, производиться моделирование и записываться данные напряжения и мощности в установившемся режиме. Код скрипта для этого представлен в листинге 2.

```

clear all;
open('IDZ.slx');
Pin=[50 65 65 80 70 75 84 100 100];
time = [0 3 6 9 12 15 18 21 24];
Pin2 = Pin/100 * 8000e3;
for i=1:9
    set_param('IDZ/Нагрузка 8
MBT','ActivePower','Pin2(i)');
    sim('IDZ');
    P_out=[Pvn.signals.values];
    P(1,i)=P_out(end , 1);
    U_out=[Uvn.signals.values];
    U(1,i)=U_out(end , 1);

endfigure;
stairs(time,P,'Color','black','LineStyle','-','LineWidth',1);
grid on;
axis ([0,24,0,8000]);
set(gca, 'XTick',0:3:24, 'YTick',0:1000:8000);
xlabel('t,ч');
ylabel('P,кВт');
figure;
stairs(time,U,'Color','black','LineStyle','-','LineWidth',1);
grid on;
set(gca, 'XTick',0:3:24);
xlim([0,24]);
xlabel('t,ч');
ylabel('U,кВ');

```

В результате построим графики зависимости мощности и напряжения на ВН от времени (см. рис.18-19).

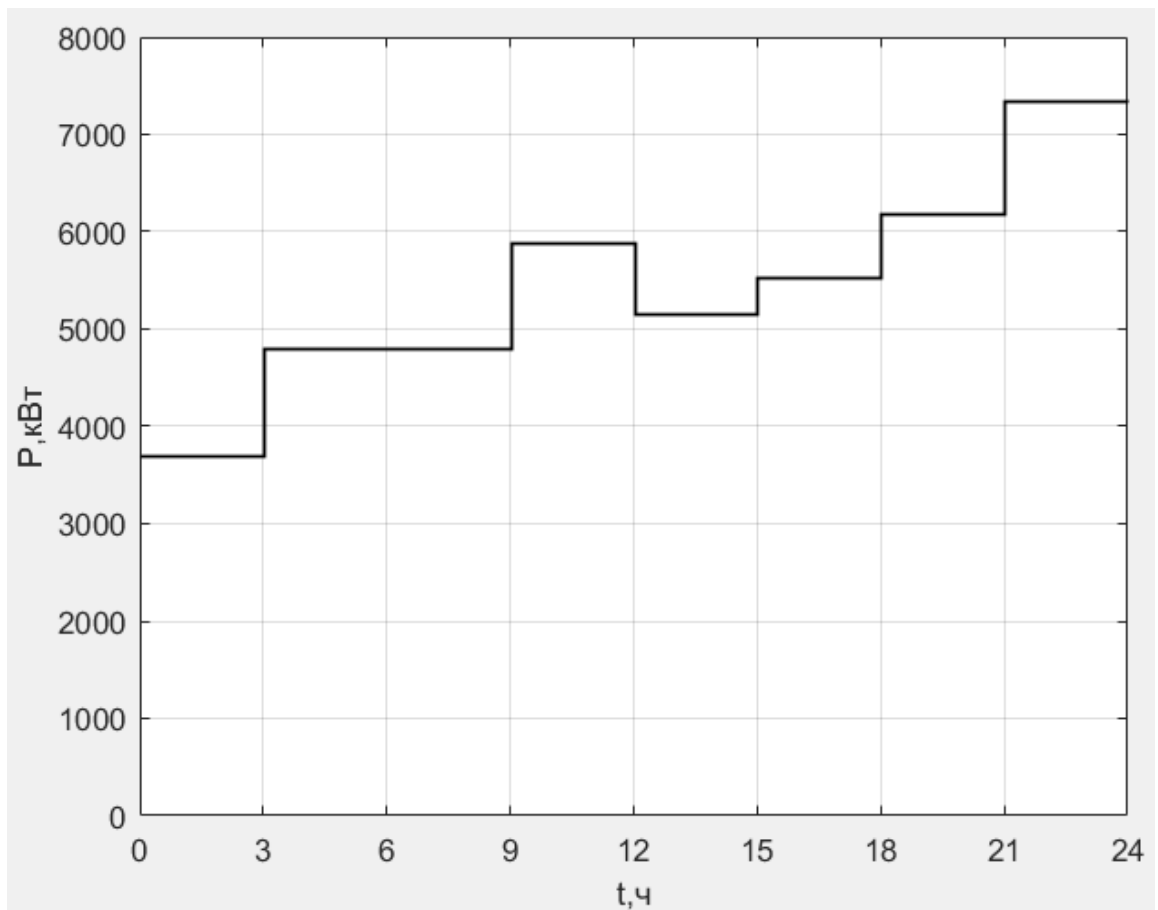


Рис. 18. Полученный график нагрузки

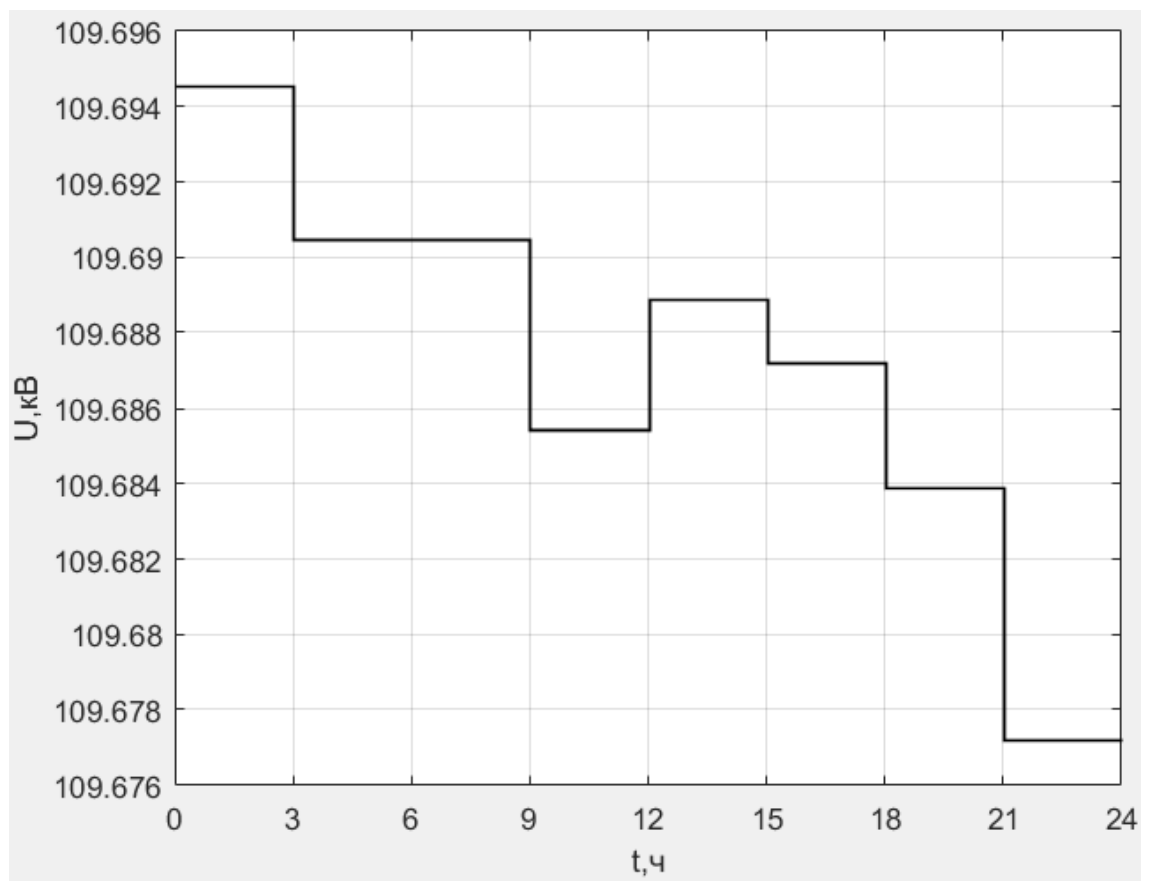


Рис. 19. Изменения напряжения ВН под нагрузкой