

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения
Кафедра «Энергетика»

Булеков Ерасыл Ерланович

«Анализ нестационарного режима работы системы электроснабжения
дизелестроительного завода при наличии нелинейной нагрузкой»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07101– «Энергетика»

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения
Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ профессор
НАО «КазНТУ им. К.И.Сатпаева» Е.А.Сарсенбаев
Институт энергетики и машиностроения « 5 » 06 2023г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: " Анализ нестационарного режима работы системы электроснабжения
дизелестроительного завода при наличии нелинейной нагрузкой»

6B07101– «Энергетика»

Выполнил

Булеков Е.Е

Рецензент
канд. техн. наук ассистент профессор

«АО АЛИТ»
А.Т.Егзекова
« 5 » 06 2023г.



Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоц. профессор

Е.А.Сарсенбаев
« 5 » 06 2023г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

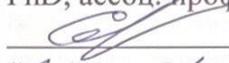
Институт энергетики и машиностроения
Кафедра «Энергетика»

6B07101– "Энергетика"

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Энергетика»

PhD, ассоц. профессор

 Е.А.Сарсенбаев

«16» 01 2023г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающегося Булеков Ерасыл Ерланович

Тема: Анализ нестационарного режима работы системы электроснабжения
дизельстроительного завода при наличии нелинейной нагрузкой

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам

Приказ №434-б от «15» марта 2023г.

Срок сдачи законченной работы «01» июня 2023г.

Исходные данные к работе: Питание может быть осуществлено от
подстанции энергосистемы из которой установлены два трёхобмоточных
трансформатора мощностью по 63МВА, напряжением 230/115/37кВ.
Мощность к.з. на стороне 115 кВ равна 1800 МВА. Трансформаторы
работают раздельно. Расстояние от энергосистемы до завода 25 км. Завод
работает в три смены.

Краткое содержание дипломной работы:

а) расчет электрических нагрузок цехов;

б) распределение трансформаторов по ТП;

в) технико-экономический расчет;

г) выбор защитного оборудования

д) анализ работы системы с нелинейной нагрузкой

Перечень графического материала: представлены 16 слайдов презентации
работы

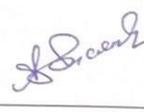
Рекомендуемая литература: из 7 наименований

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

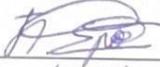
Наименования разделов, перечень рассматриваемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Сведения и расчет электрических нагрузок по предприятию	10.01.2023 - 16.01.2023	нет
Технико-экономический расчет	17.01.2023 - 05.03.2023	нет
Анализ режима работы системы при наличии нелинейной нагрузкой	06.03.2023 - 14.04.2023	нет

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Сведения и расчет электрических нагрузок по предприятию	Е.А. Сарсенбаев, PhD, ассоц. профессор	16.01.2023	
Технико-экономический расчет	Е.А. Сарсенбаев, PhD, ассоц. профессор	05.03.2023	
Анализ режима работы системы при наличии нелинейной нагрузкой	Е.А. Сарсенбаев, PhD, ассоц. профессор	14.04.2023	
Нормоконтроль	А.О. Бердибеков, магистр техн.наук, ст. преподаватель	06.06.2023	

Научный руководитель  Е.А. Сарсенбаев
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся  Е.Е. Булеков
(подпись)

Дата «16» 01 2023г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс сызықтық емес жүктемесі бар дизель зауытының электрмен жабдықтау жүйесінің стационарлық емес жұмыс режимін талдайды. Зерттеу мақсаты-зауыттың тиімділігіне стационарлық емес режимнің әсерін анықтау. Жүктеменің сызықтық емес сипаттамаларын есепке алу үшін математикалық модельдеу әдістері қолданылады. Зерттеу нәтижелері сызықтық емес жүктеме кезінде зауыттың электрмен жабдықтау жүйесін оңтайландыруға көмектеседі. Алынған нәтижелер сызықтық емес жүктеме болған кезде дизель зауытының электрмен жабдықтау жүйесінің тиімділігі мен сенімділігін жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа анализирует нестационарный режим работы системы электроснабжения дизелестроительного завода с нелинейной нагрузкой. Исследование целью является выявление влияния нестационарного режима на эффективность завода. Применяются методы математического моделирования для учета нелинейных характеристик нагрузки. Результаты исследования помогут оптимизировать систему электроснабжения завода при нелинейной нагрузке. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения эффективности и надежности работы системы электроснабжения дизелестроительного завода при наличии нелинейной нагрузки.

ANNOTATION

This thesis analyzes the non-stationary mode of operation of the power supply system of a diesel plant with a nonlinear load. The purpose of the study is to identify the influence of the non-stationary regime on the efficiency of the plant. Mathematical modeling methods are used to account for nonlinear load characteristics. The results of the study will help optimize the plant's power supply system under nonlinear load. The results obtained can be used to improve the efficiency and reliability of the power supply system of a diesel plant in the presence of a nonlinear load.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Сведения и расчет электрических нагрузок по предприятию	8
1.1 Расчет электрических нагрузок по предприятию	9
1.2 Расчет картограммы электрических нагрузок	10
1.3 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ	14
1.4 Расчет электрических нагрузок на шинах	16
2 Техничко-экономический расчет	21
2.1 Расчет суммарных затрат	30
2.2 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания	32
2.3 Выбор оборудования	36
2.4 Выбор силовых кабелей отходящих линий	39
3 Анализ режима работы системы при наличии нелинейной нагрузкой	41
3.1 Этапы для проведения анализа работы	43
3.2 Симуляция работы	44
3.3 Анализ результатов	46
3.4 Расчет коэффициента нелинейных искажений	47
3.5 Решение проблемы	49
Заключение	50
Список используемой литературы	51

ВВЕДЕНИЕ

В современных промышленных предприятиях, включая дизелестроительные заводы, электроснабжение является одним из ключевых аспектов обеспечения непрерывной работы и эффективности производственного процесса. Современное промышленное производство не может обойтись без надежного и эффективного электроснабжения. Особенно важно обеспечить непрерывность работы дизелестроительных заводов, где производится массовое производство двигателей внутреннего сгорания. Надежность и качество электроснабжения оказывают непосредственное влияние на производительность, безопасность и стабильность работы предприятия.

Анализ нестационарного режима системы электроснабжения дизелестроительного завода с нелинейной нагрузкой представляет собой важную задачу, требующую глубокого понимания динамики и влияния различных факторов на работу системы. Нестационарный режим возникает в системе при изменении рабочих условий, включая изменение нагрузки и динамику нагрузочных процессов. Нелинейная нагрузка, которая является типичной для дизелестроительных заводов, вносит особые вызовы, такие как гармонические и, перегрузки и перекосы напряжения, которые могут привести к проблемам в работе оборудования и снижению качества электрической энергии.

Анализ нестационарного режима системы электроснабжения дизелестроительного завода с нелинейной нагрузкой является важной задачей для обеспечения надежности и эффективности работы завода. Понимание динамики системы и ее взаимодействия с нелинейной нагрузкой позволяет принять соответствующие меры по оптимизации работы и улучшению качества электрической энергии.

1. Сведения и расчет электрических нагрузок по предприятию

Имеется возможность получать электроэнергию от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью 63 МВА и напряжением 230/115/37 кВ. Мощность короткого замыкания на стороне 230 кВ составляет 1800 МВА. Трансформаторы работают независимо друг от друга. Расстояние от энергосистемы до дизелестроительного завода составляет 25 км. Завод функционирует в три смены. В таблице 1 представлены сведения о электрических нагрузках по различным цехам завода.

Таблица 1.1 – Электрические нагрузки по цехам

Наименование	Кол-во ЭП, п	Установленная мощность, кВт	№№ п/п
		Одного ЭП, P_n	ΣP_n
2	3	4	5
Штамповочный цех	100	5-120	2500
Арматурный цех	120	1-50	1800
Механический цех №1	150	1-100	2100
Механический цех №2	20	1-30	200
Сборочный цех	50	1-50	1100
Кузнечно-прессовый цех	70	10-100	1700
Отделение кузнечно-прессового цеха:	42	5-175	600
Насосная	10	1-80	400
а) 0,4 кВ			
б) СД 10 кВ	4	1500	6000
Пожарное депо	6	5-20	50
Литейный цех:	120	10-150	3500
а) 0,4 кВ			
б) ДСП 12 т	2	По каталогу	
Заводуправление, ЦЗЛ	60	1-28	900
Склад	10	10-30	140
Термический цех	40	10-100	1950
Электроремонтный цех	25	1-40	450
Компрессорная	8	5-40	320
а) 0,4 кВ			
б) СД 10 кВ	2	630	1260

1.1 Расчет электрических нагрузок по предприятию

Для определения электрических нагрузок напряжением до 1 кВ по различным цехам предприятия также используется метод упорядоченных диаграмм, применяемый в упрощенном виде. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам приведены в таблице 2 - Расчет электрических нагрузок по цехам при напряжении 0,4 кВ.

При проектировании электроснабжения промышленных помещений, первоочередным фактором являются электрические нагрузки. Основываясь на значениях этих нагрузок, производится подбор и проверка электрооборудования для системы электроснабжения, выбираются защитные устройства и компенсационные установки, определяются затраты на электроэнергию и мощность, а также производятся расчеты колебаний и падений напряжения. В рамках дипломной работы эти расчеты проводятся с использованием "метода упорядоченных диаграмм нагрузки". Приведем пример расчета электрической нагрузки для электроремонтного цеха. На планке цеха будет осуществляться подача питания через распределительные шинопроводы (ШРА), распределительные шкафы (ШР) и осветительные щиты (ЩО)

Все электроприемники цеха распределяют узлы питания. При распределении необходимо учитывать:

- 1) Желательно максимально использовать количество подключений к известному узлу питания.
- 2) Стремится минимизировать расстояние между электроприемником и узлом питания с целью экономии металлов и снижения потерь напряжения.
- 3) Необходимо установить радиальное оборудование от электрических шин ТП или РП мощностью свыше 75 кВт.
- 4) Принимаются меры для предотвращения обратного потока мощности внутри цеха.

Электроприемники, подключенные к определенному узлу питания, классифицируются по группам с одинаковыми режимами работы (Ки) и одинаковыми типами электроприемников. Для каждой группы указывается количество и мощность электроприемников, а для систем с несколькими электромоторами - количество и мощность двигателей. Порядок расчета и заполнения таблицы включает:

- 1) на графе 1 - номер технологического оборудования;
- 2) графа 2-наименование и номер для каждого узла питания, группа и мощность электроприемника;
- 3) на 3 графа - количество электроприемников;
- 4) на 4 графы - максимум для каждой группы электроприемников и минимальная мощность;
- 5) суммарная устойчивая мощность электроприемников, приведенная к 5 графам-ПВ =100%;

б) графа 6 - заполняется в итоговой строке. Число М определяется по формуле

$$m = \frac{P_{H \text{ макс}}}{P_{H \text{ мин}}} \quad (1.1)$$

7) 7 и 8 графа – коэффициент мощности

$$K_u = \frac{\sum P_{\text{ср см}}}{\sum P_{\text{ном}}} \quad (1.2)$$

8) В графе 9-определяется эффективное количество электроприемников;

9) В графах 10 и 11 - рассчитывается средняя активной и реактивная нагрузка в наиболее нагруженной смене для групп электроприемников

$$P_{\text{см}} = K_u \cdot P_H \quad (1.3)$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (1.4)$$

10) Графа 12 коэффициент максимума K_n определяем в зависимости от эффективного числа электроприемников и коэффициента использования K_n

11) Графа 13 максимальная активная нагрузка от силовых электроприемников

$$P_p = K_m \cdot P_{\text{см}} \quad (1.5)$$

12) Графа 14 полная максимальная нагрузка, определяемая по формуле

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (1.6)$$

13) Графа аксимальный расчетный ток записывается следующим образом

$$I_p = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (1.7)$$

1.2 Расчет картограммы электрических нагрузок

Для цехов завода проводится расчет электрических нагрузок с напряжением до 1 кВ с использованием метода упорядоченных диаграмм. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок для каждого цеха приведены в таблице 2 под названием "Расчет силовых нагрузок по цехам завода с напряжением 0,4 кВ".

$$R = \sqrt{\frac{Pp}{m \cdot \pi}} \quad (1.8)$$

$$\alpha = \frac{Ppo}{Pp} \cdot 360^0 \quad (1.9)$$

где, R – радиус круга, см;
 α – угол сектора;
 m – масштаб определения площади круга.

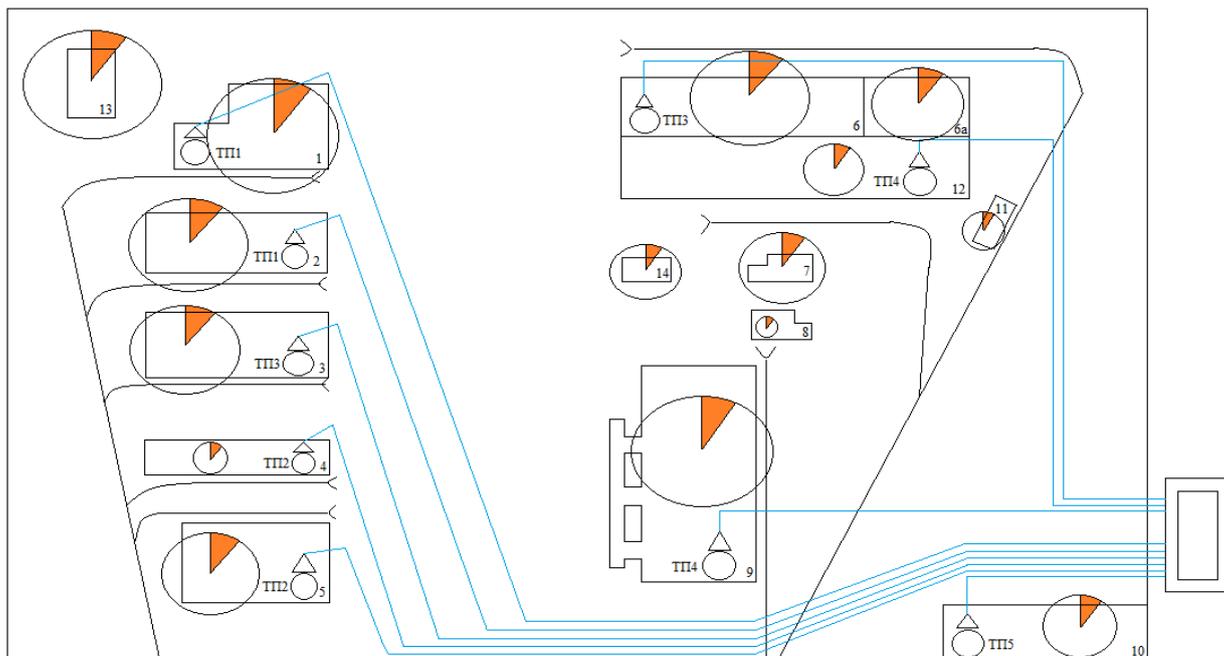
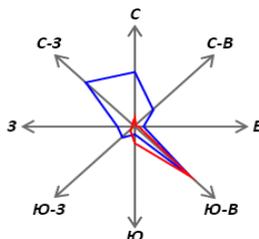


Рисунок 1.1 – Генплан дизелестроительного завода

Таблица 1.2 – Расчет электрических нагрузок по цехам, U = 0,4кВ

№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт			m	Ки	cosφ	tgφ	Средние нагрузки		n _э	Км	Расчетные нагрузки			R
			P _{ми}	P _н max	ΣP _н					P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Штамповочный цех	100	5	120	2500	>3	0,35	0,75	0,88	875	770	42	1,19	1041,2	770		
	а) силовая Итого													1145,4	847	1424,5	19
2	Арматурный цех	120	1	50	1800	>3	0,40	0,6	1,33	720	957,6	72	1,10	792	957,6		
	а) силовая Итого													871,2	1053,3	1366,9	16,36
3	Механический цех №1	150	1	100	2100	>3	0,30	0,65	1,17	630	737,1	42	1,19	749,7	737,1		
	а) силовая Итого													824,67	810,81	1156,5	16,2
4	Механический цех №2	20	1	30	200	>3	0,30	0,70	1,02	60	61,2	14	1,45	87	61,2		
	а) силовая Итого													95,7	67,32	117	5,51
5	Сборочный цех	50	1	50	1100	>3	0,40	0,75	0,88	440	387,2	44	1,14	501,6	387,2		
	а) силовая Итого													551,76	425,92	697,02	13,25
6	Кузнечно-прессовый цех	70	10	100	1700	>3	0,40	0,75	0,88	680	598,4	34	1,17	795,6	598,4		
	а) силовая Итого													875,16	658,24	1095,07	16,69
7	Насосная	10	10	80	400	>3	0,65	0,8	0,75	260	195	10	1,26	327,6	193,9		
	а) силовая Итого													360,36	213,29	418,75	10,71

Продолжение таблицы 1.2

№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт			m	Ки	cosφ	tgφ	Средние нагрузки		n _э	Км	Расчетные нагрузки			R
			P _{ми}	P _н max	ΣP _н					P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
8	Пожарное депо а) силовая	6	5	20	50	>3	0,35	0,8	0,75	17,5	13,125	5	2,0	35	12,02		
	итого													38,5	13,222	40,707	3,5
9	Литейный цех а) силовая	120	10	150	3500	>3	0,35	0,8	0,75	1225	918,75	47	1,17	1433,25	918,75		
	итого													1576,57	1010,2	1872,5	22,4
10	Заводоуправление, ЦЗЛ а) силовая	60	1	28	900	>3	0,25	0,8	0,75	225	168,75	64	1,19	267,75	168,75		
	итого													294,525	185,62	348,14	9,6
11	Склад а) силовая	10	10	30	140	<3	0,5	0,8	0,75	70	52,5	9	1,37	95,9	51,4		
	итого													105,49	56,54	119,7	5,79
12	Электроремонтный цех а) силовая	30	1	50	500	>3	0,3	0,7	1,02	150	153	20	1,34	201	153		
	итого													221,1	168,3	277,9	8,39
13	Термический цех а) силовая	40	10	100	1950	>3	0,6	0,75	1,02	1170	1193,4	39	1,12	1310	1193,4		
	итого													1441	1312,7	1949,3	21,4
14	Компрессорная а) силовая	10	5	40	320	>3	0,65	0,8	0,75	208	156	16	1,20	249,6	156		
	итого													274,56	171,6	323,75	9,35
Освещение территории														826,72	660,24		
<i>Итого на шинах 0,4</i>														9093,12	7289,2	11654,1	

1.3 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ

Для правильного определения количества и мощности цеховых трансформаторов необходимо провести технико-экономические расчеты, учитывая следующие факторы: категорию надежности электроснабжения потребителей, компенсацию реактивных нагрузок при напряжении до 1 кВ, перегрузочную способность трансформаторов в нормальном и аварийном режимах, шаг стандартных мощностей и экономичные режимы работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки. Только с учетом всех этих факторов можно достичь правильного определения необходимых параметров цеховых трансформаторов.

Данные для расчета:

$$P_{p0,4} = 9093,12 \text{ кВт};$$

$$Q_{p0,4} = 7289,29 \text{ квар};$$

$$S_{p0,4} = 11654,12 \text{ кВА}.$$

Рассчитываем $S_{уд}$ для выбора трансформатора:

$$S_{уд} = \frac{11654,12}{40476} = 0,28 \quad (1.10)$$

$$S_H = 1600 \text{ МВА}, K_3 = 0,7$$

$$\text{Тип ТМ-1600/6-10}; S_H = 1600 \text{ МВА}; P_{xx} = 3,3 \text{ кВт}; P_{кз} = 18 \text{ кВт}$$

$$U_{кз} = 5,5\%; I_{xx} = 1\%$$

$$N_{T \min} = \left(\frac{P_{0,4}}{K_3 * S_{H.тр}} \right) + \Delta N_H \quad (1.11)$$

$$N_{T \min} = \left(\frac{9093,12}{0,7 * 1600} \right) + 0,9 = 9 \text{ шт}$$

$$N_{T.э} = 9 + 0 = 9 \text{ тр} \quad (1.12)$$

По выбранному числу трансформаторов определяют наибольшую реактивную мощность Q_1 , которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ, определяется по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{Tэ} * S_{HT} * K_3)^2 - P_{0,4}^2} \quad (1.13)$$

$$Q_1 = \sqrt{(9 * 1600 * 0,7)^2 - 9093,12^2} = 4349 \text{ квар}$$

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определим

Величину $Q_{нбк}$:

$$Q_{нбк1} = Q_{р0,4} - Q_1 \quad (1.14)$$

$$Q_{нбк1} = 7289,29 - 4349 = 2940,29 \text{ кВар}$$

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор:

$$Q_{нбк \text{ тп}} = \frac{Q_{нбк}}{N_{тэ}} \quad (1.15)$$

$$Q_{нбк \text{ тп}} = \frac{Q_{нбк} 2940,29}{N_{тэ} 9} = 326,7 \text{ кВар}$$

$Q=350$ кВар. На основании расчетов, полученных в данном пункте составляется таблица 3.

Таблица 1.3 – Распределение низковольтной нагрузки по цеховым

№ТП, Sn.тр, Qнбк	№ цехов	Pp0,4, кВт	Qp0,4, квар	Sp0,4, кВА	Кз
ТП1 (2×1600) кВА ТП2 (2×1600) кВА	1	1145,4	847		
	2	871,2	1053,36		
	4	95,7	67,32		
	5	551,76	425,92		
	13	1441	1312,74		
Qнбк=4×2×175=1400 квар			-1400		
<i>Итого</i>		<i>4103</i>	<i>2304</i>	<i>4705</i>	<i>0,75</i>
ТП3 (2×1600) кВА	3	824,67	810,81		
	6	875,16	658,24		
	14	274,56	171,6		
Qнбк=2×2×175=700 квар			-700		
<i>Итого</i>		<i>1973</i>	<i>939</i>	<i>2185</i>	<i>0,68</i>
ТП4 (2×1600) кВА ТП5 (1×1600) кВА	6а	417,12	268,07		
	7	360,36	213,29		
	8	38,5	13,22		
	9	1576,5	1010,2		
	10	294,5	185,62		
	11	105,5	56,54		
Освещение		826	660		
Qнбк=3×2×175=1050			-1050		
<i>Итого</i>		<i>3837</i>	<i>1523</i>	<i>4128</i>	<i>0,86</i>

1.4 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ

Определим расчетные активные потери мощности:

$$\sum \Delta P_{mp} = N \cdot (\Delta P_{xx} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K^2) \quad (1.16)$$

Определим расчетные реактивные потери мощности:

$$\sum \Delta Q_{mp} = N \left(\frac{I_{xx} \cdot S_{н.тр}}{100} + \frac{U_{кз} \cdot S_{н.тр} \cdot K_3^2}{100} \right). \quad (1.17)$$

Технические характеристики трансформатора указана в таблице 1.4

Таблица 1.4 – Технические характеристики трансформатора

Тип Трансформатор	Напряжение, кВ		Потери, Вт		Напряжение Кз, %	Ток хх, %
	ВН	НН	хх	Кз		
ТМ-1600/6-10	6-10	0,4; 0,69	3300	18000	5,5	1

Находим потери активной и реактивной мощности для: ТП1, ТП2
Кз = 0,75; N = 4

$$\Delta P_{mp1,2} = (3300 + 18000 \cdot 0,75^2) \cdot 4 = 53700 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q_{mp1,2} = \left(\frac{1}{100} \times 1600 + \frac{5,5}{100} \times 1600 \times 0,75^2 \right) \times 4 = 262 \text{ квар}$$

ТП3

Кз=0,68; N=2

$$\Delta P_{mp3} = (3300 + 18000 \cdot 0,68^2) \cdot 2 = 23256 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q_{mp3} = \left(\frac{1}{100} \times 1600 + \frac{5,5}{100} \times 1600 \times 0,68^2 \right) \times 2 = 113 \text{ квар}$$

ТП4, ТП5

Кз=0,86; N=3

$$\Delta Q_{mp4,5} = \left(\frac{1}{100} \times 1600 + \frac{5,5}{100} \times 1600 \times 0,86^2 \right) \times 3 = 243,25 \text{ квар}$$

Суммарные потери во всех трансформаторах:

$$\sum P_{mp} = \Delta P_{mp\ 1,2} + \Delta P_{mp\ 3} + \Delta P_{mp\ 4,5} = 53700 + 23256 + 49838,4 = 12,67 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_{mp} = \Delta Q_{mp\ 1,2} + \Delta Q_{mp\ 3} + \Delta Q_{mp\ 4,5} = 262 + 113 + 243,25 = 617,25 \text{ квар}$$

Определение расчетной мощности ДСП

По емкости печи, согласно заданию из справочника выбирается тип печного трансформатора ЭТЦ ПК-2500/10-74УЗ и его параметры:

$$S_H = 5000 \text{ кВА}; \cos\varphi = 0,82; N_{дсп} = 2; K_3 = 0,6$$

Определение расчетных активных и реактивных мощностей ДСП

$$P_{pдсп} = S_H \cdot \cos\varphi \cdot N_{дсп} \cdot K_3 \quad (1.18)$$

$$P_{pдсп} = 5000 \cdot 0,82 \cdot 2 \cdot 0,6 = 4920$$

Определим потери в печных трансформаторах

$$\Delta P_{трдсп} = 2\% \times S_H \quad (1.19)$$

$$\Delta P_{трдсп} = 0,02 \times 2500 = 50 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{трдсп} = 10\% \times S_H \quad (1.20)$$

$$\Delta Q_{трдсп} = 0,1 \times 2500 = 250 \text{ квар}$$

Расчет компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП.
Составим схему замещения, показанную на рисунке 1.2

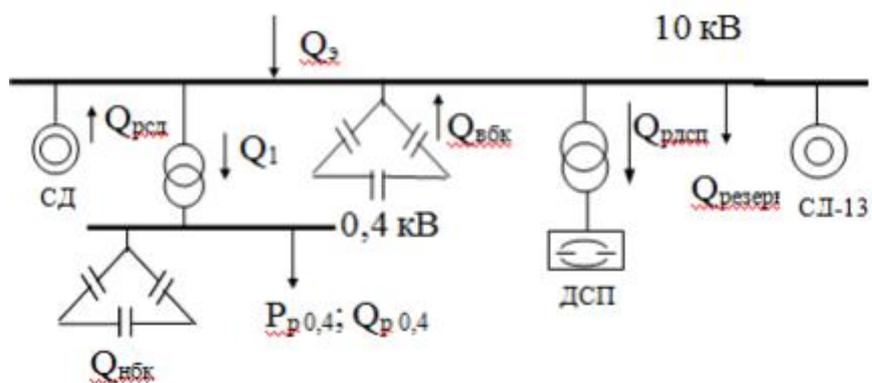


Рисунок 1.2 – Схема замещения к расчету $Q_{нбк}$

Выбираю 2х УК-6/10Н-900 Л.П

$Q_H = 900$ квар, $\Sigma Q_H = 1800$ квар

Уточненный расчет мощности по промышленному предприятию указан в таблице 5.

Таблица 1.5 – Уточненный расчет мощности по промышленному предприятию

№ ТП	№ цеха	n	P _n min	P _n max	□P _n	Ки	Средняя мощность		n _с	Км	Расчетные мощности			Кз
							P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП1 (2×1600) кВА ТП2 (2×1600) кВА	1	100	5	120	2500		875	770						
	2	120	1	50	1800		720	957,6						
	4	20	1	30	200		60	61,2						
	5	50	1	50	1100		440	387,2						
	13	40	10	100	1950		1170	1193,4						
Силовая		330	1	120	7550	0,25	3265	3369,4	211	1,15	3731,8	3369,4		
Осветительная											373,26	336,94		
QHБК												-1400		
<i>Итого</i>											<i>4105,06</i>	<i>2306,04</i>	<i>4708,43</i>	<i>0,73</i>
ТП3(2x1600)кВА	3	150	1	100	2100		630	737,1						
	6	70	10	100	1700		680	598,4						
	14	10	5	40	320		208	156						
Силовая		230	1	240	4120	0,45	1518	1491,4	92	1,1	1776,9	746,85		
Осветительная											177,69	74,685		
QHБК												-700		
<i>Итого</i>											<i>1954,64</i>	<i>121,54</i>	<i>1958,41</i>	<i>0,61</i>

Продолжение таблицы 1.5

№ ТП	№ цеха	n	P _n min	P _n max	□ P _n	Ки	Средняя мощность		n _э	Км	Расчетные мощности			Кз
							P _{см} ,кВ	Q _{см} ,квар			P _p , кВт	Q _p ,квар	S _p , кВА	
ТП1 (2×1600) кВА ТП2 (2×1600) кВА	6а	42	5	175	600		240	224,8						
	7	10	10	80	400		260	195						
	8	6	5	20	50		17,5	13,125						
	9	120	10	150	3500		1225	918,75						
	10	60	1	28	900		225	168,75						
	11	10	10	30	140		70	52,5						
	12	30	1	50	500		150	153						
Силовая		278	1	175	6090	0,45	2787,5	1725,92	162	1,09	2685,2	1741,52		
Осветительная											268,52	174,152		
Освещение тер-рии											826	660		
QНБК												-1050		
<i>Итого</i>		3779,7	1525,	4075,	0,84									
ДСП											4920	3394		
ΔP _{тр} ДСП, ΔQ _{тр} ДСП											50	250		
QВБК												-847,76		
<i>Итого по заводу</i>		20950	4425,	2141										
			4	2,30										

2 Техничко-экономический расчет

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы из которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 63МВА, напряжением 230/115/37кВ. Мощность к.з. на стороне 115 кВ равна 1800 МВА. Трансформаторы работают раздельно. Расстояние от энергосистемы до завода 25 км. Завод работает в три смены.

Для технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения завода рассмотрим два варианта:

I вариант – ТДН-1600-110/10 кВ;

II вариант – ТДНС-16000/35 кВ;

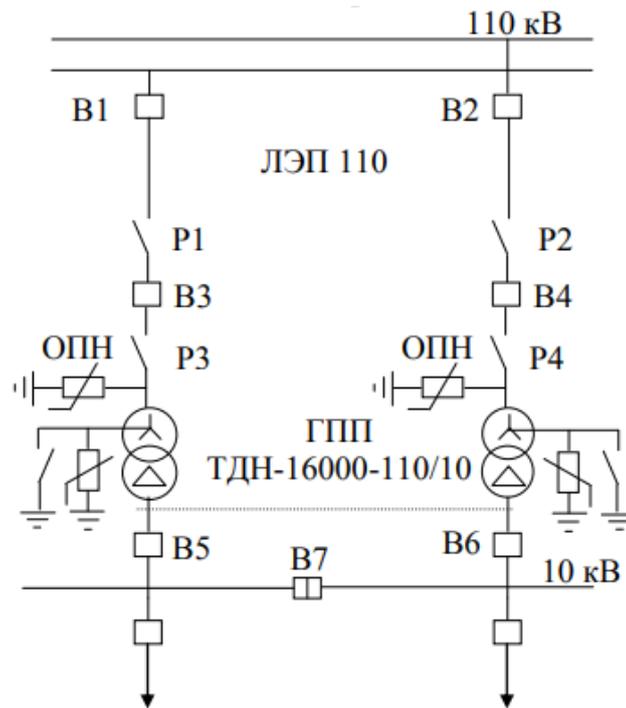


Рисунок 2.1 – Первый вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по 1 варианту

Выбираем трансформаторы ГПП

$$S_{p.гпп} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} \quad (2.1)$$

$$S_{p.гпп} = \sqrt{20950^2 + 4848^2} = 21503 \text{ кВА}$$

$$S_{ном} = 21503 \cdot 0,7 = 15052,1$$

Выбираем два трансформатора мощностью 16000 кВА:

$$K_3 = \frac{S_{p.гпп}}{2 \cdot S_{ном.тр}} \quad (2.2)$$

$$K_3 = \frac{21503}{2 \cdot 16000} = 0,67 \leq 0,85$$

Технические характеристики трансформатора указаны в таблице 6.

Таблица 2.1 – Технические характеристики трансформатора

Тип трансформатора	Напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение кз, %	Ток хх, %
	ВН	НН	хх	кз		
ТДН-16000/110	115	11	13	85	10,5	0,4

Определим потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{тр.гпп} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) \quad (2.3)$$

$$\Delta P_{тр.гпп} = 2 \cdot (13 + 85 \cdot 0,67^2) = 102,313 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр.гпп} = 2 \cdot \left(\frac{I_x \cdot S_H}{100} + \frac{U_k \cdot S_H \cdot K_3^2}{100} \right) \quad (2.4)$$

$$\Delta Q_{тр.гпп} = 2 \cdot \left(\frac{0,4 \cdot 16000}{100} + \frac{10,5 \cdot 16000 \cdot 0,67^2}{100} \right) = 1636 \text{ квар}$$

Определим потери электрической энергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_{Т ГПП} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} \cdot T_{вкл} + \tau \cdot \Delta P_{кз} \cdot K^2) \quad (2.5)$$

$$\Delta W_{Т ГПП} = 2 \cdot (13 \cdot 6000 + 2405 \cdot 85 \cdot 0,67^2) = 247776$$

где $T_{вкл}$ – число часов включения, для трехсменной работы $T_{вкл} = 6000$ ч;

τ – число часов использования максимума потерь и зависит от числа часов использования максимума нагрузки:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \quad (2.6)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 + 8760 = 2405 \text{ ч}$$

где, $T_M = 4000$ ч. – число часов использования максимума.

Выбираем сечение проводов ЛЭП 110 кВ: Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{тр.гпп}})^2 + Q_3^2} \quad (2.7)$$

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(20950 + 102,313)^2 + 4848^2} = 21603 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot 2} \quad (2.8)$$

$$I_p = \frac{21603}{1,735 \cdot 2} = 54 \text{ А}$$

$$I_{\text{ав}} = I_p \cdot 2 \quad (2.9)$$

$$I_{\text{ав}} = 54 \cdot 2 = 108 \text{ А}$$

а) определим сечение по экономической плотности тока ($j_э$):

$$F_3 = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{54}{1,3} = 41,09 \quad (2.10)$$

$$F_3 = \frac{54}{1,3} = 41,09$$

где, $j_{\text{эк}}=1,3$ А/мм²- плотность тока для воздушных линий;

Принимаем стандартное ближайшее сечение $F_3=70$ мм², $I_{\text{доп}}= 265$ А

б) по условию потерь на «корону»

Так как для ВЛ 110 кВ минимальное сечение 70 мм², то принимается провод марки АС 70, $I_{\text{доп}}=265$ А.

в) на нагрев рабочим током:

$$I_{\text{доп.пров.}} > I_p, \quad (265 \text{ А} > 54 \text{ А})$$

г) по аварийному режиму:

$$1,3 \times I_{\text{доп.пров.}} > I_{\text{ав.}}, \quad (345 > 108 \text{ А})$$

Окончательно принимаем провод марки АС-70, $I_{\text{доп}} = 265$ А

Определим потери электрической энергии в ЛЭП 110 кВ:

Выбор оборудования на $U=110$ кВ.

Перед выбором аппаратов составим схему замещения внешней системы электроснабжения рисунок 4 рассчитаем ток короткого замыкания.

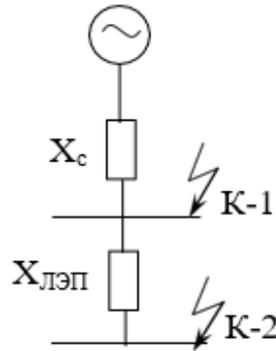


Рисунок 2.2 – Схема замещения ВСЭ

Определяем базисные токи:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} \quad (2.11)$$

$$I_6 = \frac{1000}{1,73 \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

Определяем сопротивления системы:

$$X_c = \frac{S_6}{S_{кз}} \quad (2.12)$$

$$X_c = \frac{1000}{1800} = 0,56 \text{ о. е}$$

Определяем сопротивление ЛЭП:

$$X_{лэп} = \frac{x_0 \cdot L \cdot S_6}{U_{ср}^2} = \frac{0,341 \cdot 25 \cdot 1000}{115^2} = 0,64 \quad (2.13)$$

$$X_{лэп} = \frac{0,341 \cdot 25 \cdot 1000}{115^2} = 0,64$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-1:

$$I_{к-1} = \frac{I_6}{X_c} = \frac{5,02}{0,56} = 9,04 \text{ кА} \quad (2.14)$$

$$I_{k-1} = \frac{5,02}{0,56} = 9,04 \text{ кА}$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-2:

$$I_{k-2} = \frac{I_6}{X_c + X_{лэп}} \quad (2.15)$$

$$I_{k-2} = \frac{5,02}{0,56 + 0,64} = 4,18 \text{ кА}$$

Определяем ударный ток в точке К-1:

$$i_{уд} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k-1} \quad (2.16)$$

$$i_{уд} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,04 = 23 \text{ кА}$$

Определяем ударный ток в точке К-2:

$$i_{уд} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k-2} \quad (2.17)$$

$$i_{уд} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,18 = 10,65 \text{ кА}$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{k-1} = \sqrt{3} \cdot I_{k-1} \cdot U_H \quad (2.18)$$

$$S_{k-1} = 1,73 \cdot 9,04 \cdot 115 = 1800 \text{ МВА}$$

$$S_{k-2} = \sqrt{3} \cdot I_{k-2} \cdot U_H \quad (2.19)$$

$$S_{k-2} = 1,73 \cdot 4,18 \cdot 115 = 833,22 \text{ МВА}$$

После расчета токов КЗ произведем выбор: выключатели В1, В2, В3, В4;
ВГП-110 У1

$$I_{ном} \geq I_{ав} \quad 2500 \geq 108 \text{ А}$$

$$I_{откл} \geq I_{кз} \quad 40 \text{ кА} \geq 4,18 \text{ кА}$$

$$I_{дин} \geq i_{уд} \quad 102 \geq 23 \text{ кА}$$

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр.гпп} = 2 \cdot 125 = 250 \text{ млн.тг.}$$

Затраты на ЛЭП-110 кВ:

$$K_{ЛЭП-110} = 1 \times K_{ЛЭП} = 25 \cdot 4 = 100 \text{ млн.тг.}$$

Затраты на выключатель ВГП-110 У1:

$$K_{ВГП} = 4 \cdot 12 = 48 \text{ млн.тг.}$$

Технико-экономический расчет второго варианта

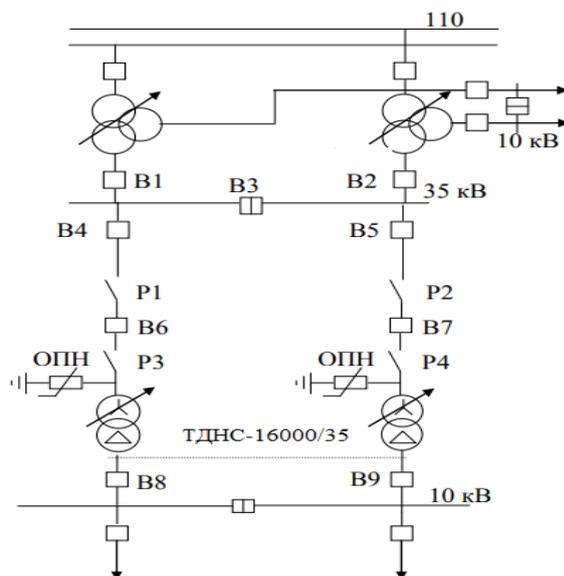


Рисунок 2.3 – Второй вариант схемы электроснабжения

Таблица 2.2 – Технические характеристики трансформатора

Тип трансформатора	Напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение кз, %	Ток хх, %
	ВН	НН	хх	кз		
ТДНС-16000/35	36,75	10,5	13	85	10	0,3

Определим потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{тр.гпп} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) \quad (2.20)$$

$$\Delta P_{тр.гпп} = 2 \cdot (13 + 85 \cdot 0,67^2) = 102,313 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр.гпп} = 2 \cdot \left(\frac{I_x \cdot S_H}{100} + \frac{U_k \cdot S_H \cdot K_3^2}{100} \right) \quad (2.21)$$

$$\Delta Q_{тр.гпп} = 2 \cdot \left(\frac{0,3 \cdot 16000}{100} + \frac{10,5 \cdot 16000 \cdot 0,67^2}{100} \right) = 1604 \text{ квар}$$

Определим потери электрической энергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_{Т ГПП} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} \cdot T_{вкл} + \tau \cdot \Delta P_{кз} \cdot K^2) \quad (2.22)$$

$$\Delta W_{T_{\text{гпп}}} = 2 \cdot (13 \cdot 6000 + 2405 \cdot 85 \cdot 0,67^2) = 247776$$

где $T_{\text{вкл}}$ – число часов включения, для трехфазной работы $T_{\text{вкл}} = 6000$ ч;
 τ – число часов использования максимума

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot 8760 \quad (2.23)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2405$$

где $T_M = 4000$ ч. – число часов использования максимума.

Выбираем сечение проводов ЛЭП 110 кВ:
 Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{тр.гпп}})^2 + Q_3^2} \quad (2.24)$$

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(20950 + 102,313)^2 + 4848^2} = 21603 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot 2} \quad (2.25)$$

$$I_p = \frac{21603}{1,73 \cdot 37 \cdot 2} = 168 \text{ А}$$

$$I_{\text{ав}} = I_p \cdot 2 \quad (2.26)$$

$$I_{\text{ав}} = 168 \cdot 2 = 336$$

а) определим сечение по экономической плотности тока ($j_э$)

$$F_э = \frac{I_p}{j_э} \quad (2.27)$$

$$F_э = \frac{168}{1,3} = 129,2$$

где $j_э = 1,3$ А/мм² – плотность тока для воздушных линий; принимаем стандартное ближайшее сечение $F_э = 150$ мм², $I_{\text{доп}} = 445$ А

б) на нагрев рабочим током:

Идоп.пров.> (Iр 445 А > 168 А)

в) по аварийному режиму:

1,3 × Идоп.пров.> Iав (578,5 > 336 А)

Окончательно принимаем провод марки АС-150, I доп= 445 А

Определим потери электрической энергии в ЛЭП 35 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп35}} = N \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot \frac{R}{2} \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.28)$$

150 где $R=r_0 \times L$, Ом; $r_0= 0,21$ Ом/км - удельное активное сопротивление АС-

$$\Delta W_{\text{лэп 35}} = 2 \cdot 3 \cdot 168^2 \cdot \frac{0,21 \cdot 25}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 1069089 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Перед выбором аппаратов составим схему замещения внешней системы электроснабжения и рассчитаем токи короткого замыкания

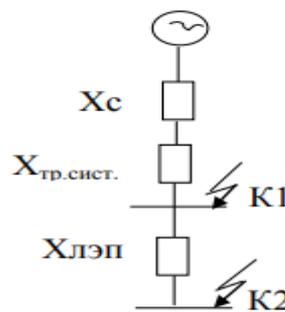


Рисунок 2.4 – Схема замещения ВЭС

Определяем базисные токи:

$$I_б = \frac{S_б}{1,73 \cdot U_б} \quad (2.29)$$

$$I_б = \frac{1000}{1,73 \cdot 35} = 15,6 \text{ кА}$$

Определяем сопротивление трансформатора системы

$$X_{\text{тр.с}} = \frac{S_б \cdot U_{\text{вс}}}{100 \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 63} = 1,67 \text{ о. е} \quad (2.30)$$

$$X_{\text{тр.с}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 63} = 1,67 \text{ о. е}$$

Определяем сопротивление ЛЭП:

$$X_{\text{лэп}} = \frac{x_0 \cdot L \cdot S_6}{U_{\text{ср}}^2} \quad (2.31)$$

$$X_{\text{лэп}} = \frac{0,341 \cdot 25 \cdot 1000}{37^2} = 5,48 \text{ о.е}$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-1

$$I_{k-1} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{тр.с}}} \quad (2.32)$$

$$I_{k-1} = \frac{15,6}{0,56} = 6,9 \text{ кА}$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-2:

$$I_{k-2} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{лэп}} + X_{\text{тр.с}}} \quad (2.33)$$

$$I_{k-2} = \frac{15,6}{0,56 + 5,48 + 1,67} = 2,02 \text{ кА}$$

Определяем ударный ток в точке К-1

$$i_{\text{уд}} = K_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k-1} \quad (2.34)$$

$$i_{\text{уд}} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,9 = 17,6 \text{ кА}$$

Определяем ударный ток в точке К-2:

$$i_{\text{уд}} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,02 = 5,14 \text{ кА}$$

$$S_{k-1} = \sqrt{3} \cdot I_{k-1} \cdot U_{\text{н}} \quad (2.35)$$

$$S_{k-1} = 1,73 \cdot 6,9 \cdot 37 = 442 \text{ МВА}$$

$$S_{k-1} = 1,73 \cdot 2,02 \cdot 37 = 129,3 \text{ МВА} \quad (2.36)$$

После расчета токов КЗ произведем выбор: выключателя ВР35НСМ

$$\begin{aligned} I_{\text{НОМ}} &\geq I_{\text{ав}} & 1600 \text{ А} &\geq 336 \text{ А} \\ I_{\text{откл}} &\geq I_{\text{кз}} & 20 \text{ кА} &\geq 6,9 \text{ кА} \\ I_{\text{дин}} &\geq i_{\text{уд}} & 20 \text{ кА} &\geq 17,6 \text{ кА} \end{aligned}$$

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

Затраты на трансформаторы ГПП: $K_{\text{тр.гпп}} = 200$ млн.тг.

Затраты на ЛЭП-110 кВ: $K_{\text{лэп-110}} = 175$ млн.тг.

Затраты на выключатель ВР35НСМ: $K_{\text{вгп}} = 24$ млн.тг.

2.1 Расчет суммарных затрат

Вариант – 1

Суммарные затраты:

$$\Sigma K = K_{\text{тр.гпп}} + K_{\text{лэп110}} + K_{\text{вгп}} = 250 + 200 + 48 = 498 \text{ млн. тг}$$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$И = 0,063 \cdot 298 = 18,77 \text{ млн.тг}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$И_{\text{лэп}} = 0,028 \cdot 200 = 5,6 \text{ млн.тг}$$

Суммарные амортизационные отчисления:

$$И_{\text{а}} = И + И_{\text{лэп}} = 24,37 \text{ млн.тг}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$И_{\text{экс}} = 1\% \cdot 298 = 2,98 \text{ млн. тг}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$И_{\text{экс.лэп}} = 0,4\% \cdot 200 = 800 \text{ тыс.тг}$$

Суммарные издержки на эксплуатацию:

$$И_{\text{э}} = И_{\text{экс}} + И_{\text{экс.лэп}} = 3,78 \text{ млн.тг}$$

Стоимость потерь электроэнергии: $C_0 = 8 \text{ тг} \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$

Определим издержки на потери электроэнергии:

$$И_{пот} = C_0(\Delta W_{тр.гпп} + \Delta W_{лэп110}) = 8 \cdot (247776 + 241947) = 3,917784 \text{ млн. тг}$$

Определим суммарные издержки:

$$\sum И = И_{п} + И_{э} + И_{а} = 32,067784 \text{ млн. тг}$$

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости:

$$З = E \cdot \sum K + \sum И = 0,12 \cdot 498 + 32067784 = 91,827,784 \text{ млн. тг}$$

Вариант – 2

Суммарные затраты:

$$\sum K = K_{тр.гпп} + K_{лэп110} + K_{вгп} = 200 + 175 + 24 = 399 \text{ млн. тг}$$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$И = 0,063 \cdot 224 = 14,112 \text{ млн. тг}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$И_{лэп} = 0,028 \cdot 175 = 4,9 \text{ млн. тг}$$

Суммарные амортизационные отчисления:

$$И_{а} = И + И_{лэп} = 19,012 \text{ млн. тг}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$И_{экс} = 1\% \cdot 224 = 2,24 \text{ млн. тг}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$И_{экс.лэп} = 0,4\% \cdot 175 = 700 \text{ тыс. тг}$$

Суммарные издержки на эксплуатацию:

$$И_{э} = И_{экс} + И_{экс.лэп} = 2,94 \text{ млн. тг}$$

3. Стоимость потерь электроэнергии: $C_0 = 8 \text{ тг} \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$

Определим издержки на потери электроэнергии:

$$I_{\text{пот}} = C_0(\Delta W_{\text{тр.гпп}} + \Delta W_{\text{лэп35}}) = 8 \cdot (247776 + 1069089) = 10,534920 \text{ млн. тг}$$

Определим суммарные издержки:

$$\sum I = I_{\text{п}} + I_{\text{э}} + I_{\text{а}} = 32,486920 \text{ млн. тг}$$

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости:

$$З = E \cdot \sum K + \sum I = 0,12 \cdot 399 + 32486920 = 80,366920 \text{ млн. тг}$$

2.2 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания $U > 1 \text{ кВ}$

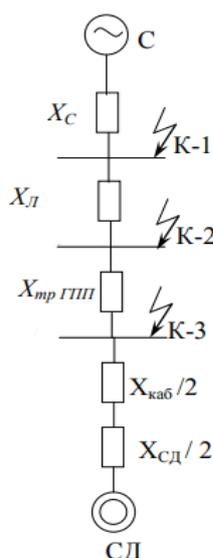


Рисунок 2.5 – Схема замещения электроснабжения ГПП

Рассчитаем ток подпитки от СД. В дизелестроительном заводе установлено 4 синхронных двигателя типа СДН-2-17-51-10У3 в насосной и 2 синхронных двигателя типа СДН-2-16-36-10У3 в компрессорной. Данные синхронных двигателей указаны в таблице 8.

Таблица 2.3 - Характеристики синхронных двигателе

ТИП	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$f, \text{об/мин}$
СДН-2-17-51-10У3	1600	10	600
СДН-2-16-36-10У3	630	10	600

Находим полную мощность СД:

$$S_{н.сд7} = \frac{P_{н.сд7}}{\cos\varphi} \quad (2.37)$$

$$S_{н.сд7} = \frac{4 \cdot 1600}{0,9} = 7111 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток СД:

$$I_{р.сд7} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} \quad (2.38)$$

$$I_{р.сд7} = \frac{1600}{1,73 \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 98 \text{ А}$$

$$I_{р.сд13} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} \quad (2.39)$$

$$I_{р.сд13} = \frac{630}{1,73 \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 39 \text{ А}$$

Выбираем марку и сечения кабеля к СД

а) по экономической плотности тока

$$F_{э.7} = \frac{I_{р.сд7}}{j_{эк}} \quad (2.40)$$

$$F_{э.7} = \frac{98}{1,3} = 75 \text{ мм}^2$$

$$F_{э.13} = \frac{39}{1,3} = 30 \text{ мм}^2$$

б) по минимальному сечению

$$F_{э.min.7/13} = \alpha \cdot I_{k-3} \cdot \sqrt{t_{привед}} \quad (2.41)$$

$$F_{э.min.7/13} = 12 \cdot 4,47 \cdot \sqrt{0,4} = 34 \text{ мм}^2$$

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3х95) для СД 7

Данные кабеля: $r_0 = 0,320$ Ом/км $x_0 = 0,092$ Ом/км

$$X_{\text{каб.сд7}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср}}^2} \quad (2.42)$$

$$X_{\text{каб.сд7}} = \frac{0,641 \cdot 25 \cdot 1000}{10,5^2} = 20$$

$$X_{\text{сд7}} = \frac{x_d'' \cdot S_6}{S_{\text{н.сд7}}} \quad (2.43)$$

$$X_{\text{сд7}} = \frac{0,21 \cdot 1000}{7111} = 0,029$$

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3х35) для СД 13
Данные кабеля: $r_0 = 0,641$ Ом/км $x_0 = 0,104$ Ом/км

$$X_{\text{каб.сд7}} = \frac{0,104 \cdot 25 \cdot 1000}{10,5^2} = 23$$

$$X_{\text{сд13}} = \frac{0,18 \cdot 1000}{1400} = 0,128$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-3

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} \quad (2.44)$$

$$I_6 = \frac{1000}{1,73 \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}$$

$$X_{\text{тр.гпп}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_6}{100 \cdot S_{\text{нт}}} \quad (2.45)$$

$$X_{\text{тр.гпп}} = \frac{10 \cdot 1000}{100 \cdot 16} = 6,25$$

$$I_{k-3} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{лэп}} + X_{\text{тр.с}}} \quad (2.46)$$

$$I_{k-3} = \frac{55}{0,56 + 5,48 + 6,25} = 4,47 \text{ кА}$$

Тогда ток короткого замыкания от двигателей будет равен:

$$I_{\text{кз.сд7}} = \frac{E_{\text{сд}} \cdot I_6}{X_{\text{каб}} + X_{\text{сд7}}} \quad (2.47)$$

$$I_{\text{кз.сд7}} = \frac{1,04 \cdot 55}{20 + 0,029} = 2,85 \text{ кА}$$

$$I_{\text{кз.сд13}} = \frac{E_{\text{сд}} \cdot I_6}{X_{\text{каб}} + X_{\text{сд13}}} \quad (2.48)$$

$$I_{\text{кз.сд13}} = \frac{1,04 \cdot 55}{23 + 0,128} = 2,48 \text{ кА}$$

Суммарный ток КЗ в точке К-3 на 10 кВ с учетом подпитки от двигателей насосной будет равен

$$I_{\Sigma \text{кз}} = I_{\text{кз.сд7}} + I_{\text{к-3}} \quad (2.49)$$

$$I_{\Sigma \text{кз}} = 2,85 + 4,47 = 7,32 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд}\Sigma \text{к}} = K_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\Sigma \text{кз}} \quad (2.48)$$

$$i_{\text{уд}\Sigma \text{к}} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,32 = 18,6 \text{ кА}$$

$$S_{\Sigma \text{кз}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot I_{\Sigma \text{кз}} \quad (2.49)$$

$$S_{\Sigma \text{кз}} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 7,32 = 133 \text{ МВА}$$

$$B_{\text{к}} = I_{\Sigma \text{кз}}^2 \cdot (t_{\text{привед}} + T_{\text{а}}) \quad (2.50)$$

$$B_{\text{к}} = 7,32 \cdot (0,4 + 0,02) = 9,07 \text{ кА}^2$$

Суммарный ток КЗ в точке К-3 на 10 кВ с учетом подпитки от двигателей компрессорной будет равен

$$I_{\Sigma \text{кз}} = I_{\text{кз.сд13}} + I_{\text{к-3}} \quad (2.51)$$

$$I_{\Sigma \text{кз}} = 2,48 + 4,47 = 6,95 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд}\Sigma \text{к}} = K_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\Sigma \text{кз}} \quad (2.52)$$

$$i_{уд\Sigma K} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,95 = 17,7 \text{ кА}$$

$$S_{\Sigma K3} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\Sigma K3} \quad (2.53)$$

$$S_{\Sigma K3} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 6,95 = 126 \text{ МВА}$$

$$B_K = I_{\Sigma K3}^2 \cdot (t_{привед} + T_a) \quad (2.54)$$

$$B_K = 6,95 \cdot (0,4 + 0,02) = 8,91 \text{ кА}^2$$

2.3 Выбор оборудования

Выбор выключателей

$$S_{лэп} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} \quad (2.55)$$

$$S_{лэп} = \sqrt{20950^2 + 4848^2} = 21503 \text{ кВА}$$

Расчетный ток

$$I_{р.зав} = \frac{S_{р.зав}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.56)$$

$$I_{р.зав} = \frac{21503}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 591 \text{ А}$$

$$I_{ав} = I_{р.зав} \cdot 2 \quad (2.57)$$

$$I_{ав} = 591 \cdot 2 = 1182 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа ВВ/TEL-10-20/1250У2

$$U_H = 10 \text{ кВ} > U = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1250 \text{ А} > I_{ав} = 1182 \text{ А}$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{кз} = 6,95 \text{ кА}$$

Через секционный выключатель проходит половина мощности, проходящей через вводные выключатели. Следовательно, расчетный ток, проходящий через секционный выключатель:

$$I_p = \frac{I_{ав}}{2} = 591 \text{ A} \quad (2.58)$$

$$I_p = 591 \text{ A}$$

Принимаем выключатель типа ВВ/TEL-10-20/630У2

$$U_H = 10 \text{ кВ} > U = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 630 \text{ A} > I_{ав} = 591 \text{ A}$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{кз} = 6,95 \text{ кА}$$

Линия ГПП - (ТП1-ТП2):

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(P_{pТП1,2} + \Delta P_{тр})^2 + (Q_{pТП1,2} + \Delta Q_{тр})^2} \quad (2.59)$$

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(4103 + 53,7)^2 + (2304 + 262)^2} = 4884 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_{pТП1,2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.60)$$

$$I_p = \frac{4884}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 134$$

$$I_{ав} = 268 \text{ A}$$

Линия ГПП - (ТП3):

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(P_{pТП1,2} + \Delta P_{тр})^2 + (Q_{pТП1,2} + \Delta Q_{тр})^2} \quad (2.61)$$

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(1954,64 + 23,2)^2 + (939 + 131)^2} = 2248 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_{pТП1,2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.62)$$

$$I_p = \frac{2248}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 61,8$$

$$I_{ав} = 123,6 \text{ A}$$

Линия ГПП - (ТП4-ТП5):

$$S_{p\text{ТП1,2}} = \sqrt{(P_{p\text{ТП1,2}} + \Delta P_{\text{тр}})^2 + (Q_{p\text{ТП1,2}} + \Delta Q_{\text{тр}})^2} \quad (2.63)$$

$$S_{p\text{ТП1,2}} = \sqrt{(3837 + 49,8)^2 + (1523 + 243,25)^2} = 4269 \text{ kVA}$$

$$I_p = \frac{S_{p\text{ТП1,2}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.64)$$

$$I_p = \frac{4269}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 117$$

$$I_{\text{ав}} = 234 \text{ A}$$

Линия ГПП – ДСП

$$S_{p\text{ДСП}} = \sqrt{(P_{p\text{ДСП}} + \Delta P_{\text{ДСП}})^2 + (Q_{\text{ДСП}} + \Delta Q_{\text{ДСП}} - Q_{\text{ВБК}})^2} \quad (2.65)$$

$$S_{p\text{ДСП}} = \sqrt{(4970 + 50)^2 + (3394 + 250 - 847)^2} = 5702 \text{ kVA}$$

$$I_{p.\text{дсп}} = \frac{S_{\text{ДСП}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.66)$$

$$I_{p.\text{дсп}} = \frac{5702}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 156,7 \text{ A}$$

2.4 Выбор силовых кабелей отходящих линий

Выбор кабелей производится по следующим условиям:

по экономической плотности тока: $F_3 = I_p / j_3$;

по аварийному режиму $I_{доп.ав} \geq I_{ав}$

Выбираем кабель ГПП-ТП1-ТП2:

$$S_{р\text{ТП}1,2} = 4884 \text{ кВА}$$

$$I_p = 134 \text{ А}$$

$$I_{ав} = 268 \text{ А}$$

$$F_3 = \frac{I_p}{j_{3к}} \quad (2.67)$$

$$F_3 = \frac{134}{1,3} = 103 \text{ мм}^2$$

Принимаем кабель марки ААШв-10-(3x120), $I_{доп} = 260 \text{ А}$.

в) проверка по аварийному току:

$$I_{доп.ав} = 1,3 \times I_{доп}$$

$$I_{доп.ав} \geq I_{ав} \quad (338 \geq 260)$$

Все расчетные данные выбора остальных кабелей занесены в таблицу 15

Таблица 2.4 – кабельный журнал

Наименов. участка	S _p , кВА	Кол-во каб. в траншее	Нагрузка		По экономич. плот. тока		По току короткого замыкания		По аварийному режиму		Выбранный кабель	I _{доп} , А
			I _p , А	I _{ав} , А	j _э	F _э , мм ²	I _к , кА	S, мм ²	1,3I _{доп}	I _{ав} , А		
ГПП-ТП1-ТП2	4884	4	134	268	1,3	103,7	6,95	120	338	268	ААШВ-10-(3x120)	260
ГПП-ТП3	2248	4	61,8	123	1,3	47,53	6,95	120	223,6	123,6	ААШВ-10-(3x50)	172
ГПП-ТП4-ТП5	4269	4	117	234	1,3	90,2	6,95	120	302,9	234,6	ААШВ-10-(3x95)	233
ГПП-СД7	7111	4	98	-	1,3	75,38	6,95	120	302,9	196	ААШВ-10-(3x95)	233
ГПП-ДСП	5702	4	156	-	1,3	120	6,95	120	338	313,4	ААШВ-10-(3x120)	260
ГПП-СД13	1400	4	39	-	1,3	30	6,95	120	202,8	78	ААШВ-10-(3x35)	156

3 Анализ режима работы системы при наличии нелинейной нагрузкой

Нелинейная нагрузка это тип нагрузки, который не имеет линейной зависимости между током и напряжением, что приводит к появлению гармонических искажений в системе электроснабжения. Такие нагрузки характеризуются тем, что их сопротивление изменяется в зависимости от приложенного напряжения.

Примерами нелинейных нагрузок являются электронные приборы, такие как компьютеры, телевизоры, сварочные аппараты и т.д. Эти приборы используют силовые электронные устройства, которые могут изменять форму и амплитуду напряжения, потребляемого от источника питания. Это может приводить к искажениям синусоидальной формы напряжения в системе.

Нелинейные нагрузки также могут вызывать потери мощности в системе, что приводит к снижению коэффициента мощности и увеличению реактивной мощности. Это может привести к перегрузке системы электроснабжения и повреждению оборудования. Для анализа нелинейных нагрузок используются различные методы, включая спектральный анализ и моделирование системы электроснабжения. Для компенсации потерь мощности и улучшения коэффициента мощности в системах с нелинейными нагрузками используются компенсационные устройства, такие как активные фильтры и статические компенсаторы реактивной мощности.

В заключение, нелинейные нагрузки являются распространенной проблемой в системах электроснабжения. Понимание и анализ таких нагрузок являются важными шагами для оптимизации работы системы, снижения потерь мощности и повышения надежности работы оборудования.

Гармонические искажения – это нежелательные искажения в электрических сигналах, которые возникают при передаче электроэнергии через системы электроснабжения. Эти искажения являются результатом наличия нелинейных элементов в системе, таких как выпрямители, силовые электронные устройства и нелинейные нагрузки. Гармонические искажения могут приводить к различным проблемам в электрических системах, таким как перегрев оборудования, неисправность приборов измерения, а также приводить к неэффективному использованию энергии и повышению затрат на электроэнергию. Для оценки гармонических искажений используется показатель, называемый коэффициентом гармоник (THD - Total Harmonic Distortion), который определяет отношение суммарной мощности гармоник к суммарной мощности основной гармоники. Другими словами, THD показывает, какую долю сигнала составляют гармоники от общей мощности сигнала. Существует несколько способов борьбы с гармоническими искажениями, включая применение фильтров, использование нелинейных компенсаторов реактивной мощности и установку специальных преобразователей частоты. Также важно правильно проектировать системы электроснабжения с учетом

возможности появления гармонических искажений.

В современных электрических системах гармонические искажения стали еще более актуальной проблемой, так как все больше устройств, используемых в нашей жизни, содержат нелинейные элементы и потребляют несинусоидальные токи. Поэтому понимание и борьба с гармоническими искажениями являются важными задачами в области электроэнергетики и электротехники.

Дуговые сталеплавильные печи – это современное оборудование для выплавки стали, которое широко используется в металлургической промышленности. Основным преимуществом дуговых печей является их высокая производительность и возможность использования различных материалов для выплавки стали. Дуговые сталеплавильные печи состоят из многих элементов, каждый из которых играет важную роль в процессе, выплавки стали. Наиболее важные из них – это электроды, электрододержатели, шины, трансформаторы, реакторы, система водяного охлаждения и система контроля. Принцип работы дуговой сталеплавильной печи: процесс выплавки стали в дуговой печи основан на использовании электрического тока, который проходит через электроды, находящиеся внутри печи. При прохождении тока между электродами возникает дуга, которая нагревает материалы внутри печи до очень высокой температуры. При этом материалы плавятся и смешиваются, образуя сталь.

Применение дуговых сталеплавильных печей:

Дуговые сталеплавильные печи широко используются в металлургической промышленности для выплавки стали. Они позволяют выплавлять сталь из многих различных материалов, включая отходы металла, их переработка и переработка отходов других отраслей промышленности.

Преимущества и недостатки дуговых сталеплавильных печей:

Среди основных преимуществ дуговых сталеплавильных печей можно отметить высокую производительность, возможность использования различных материалов, а также возможность выплавки мелкосортного металла. Кроме того, дуговые печи требуют меньше энергии, чем традиционные печи для выплавки стали.

Однако дуговые сталеплавильные печи также имеют недостатки. Например, они могут создавать большое количество шума и вибраций, что может быть вредным для работников. Дуговые сталеплавильные печи являются нелинейной нагрузкой в электрической сети, так как их электрическое сопротивление меняется в зависимости от температуры и характеристик расплавленного металла. Во время работы дуговая печь потребляет электрическую энергию не синусоидальным образом, что приводит к возникновению гармонических искажений в сети. Дуговые сталеплавильные печи используются для переплавки и формовки различных металлических материалов. В процессе работы электрический ток проходит через металлический предмет, который находится внутри печи, создавая высокотемпературную дугу. В результате температура предмета

повышается, и он начинает расплавляться. Дуговая печь является одним из наиболее энергоемких устройств в электрической сети, и ее использование может привести к нестабильности в работе сети. Поэтому, для минимизации негативного влияния дуговых сталеплавильных печей на сеть, необходимо применять фильтры, компенсационные устройства, а также другие методы управления электроэнергетическими системами.

3.1 Этапы для проведения анализа работы

Анализ нестационарного режима работы системы электроснабжения дизелестроительного завода с нелинейной нагрузкой можно провести в несколько этапов:

1) Сбор данных. Необходимо собрать данные о нагрузке на систему электроснабжения, включая информацию о мощности, коэффициентах гармоник, факторах мощности и мощности реактивной нагрузки. Также необходимо собрать данные о параметрах генераторов и трансформаторов, а также о параметрах дизельного завода.

2) Моделирование системы. Необходимо создать модель системы электроснабжения и импортировать данные из первого этапа. Модель должна включать все компоненты системы, такие как генераторы, трансформаторы, дизельный завод и нелинейную нагрузку.

3) Симуляция работы системы в нестационарном режиме. Необходимо провести симуляцию работы системы в нестационарном режиме с помощью выбранного программного обеспечения. Симуляция должна включать различные сценарии работы системы, включая переходные процессы, изменение нагрузки и т.д.

4) Анализ результатов. После проведения симуляции необходимо проанализировать полученные результаты. В частности, следует обратить внимание на изменение напряжения и тока в системе, а также на мощность, коэффициенты гармоник, факторы мощности и мощность реактивной нагрузки. Если результаты показывают, что система неспособна обеспечить необходимую мощность и стабильность напряжения, следует рассмотреть варианты усиления системы, такие как добавление генераторов или трансформаторов.

5) Сбор данных: когда мы говорим о сборе данных, мы имеем в виду сбор информации о параметрах системы электроснабжения и нелинейной нагрузки дизельного завода.

Следующие параметры могут быть полезными для сбора данных:

1) Мощность нелинейной нагрузки. Это поможет оценить общую нагрузку на систему электроснабжения и определить, насколько критично наличие нелинейных нагрузок для работы системы.

2) Коэффициенты гармоник. Эти коэффициенты показывают, насколько интенсивно генерируются гармонические составляющие тока и напряжения в

системе, что может приводить к перенапряжениям и перегрузкам оборудования.

3) Факторы мощности. Они показывают, насколько эффективно используется электроэнергия в системе. Низкие факторы мощности могут приводить к неэффективному использованию энергии и повышенным затратам на электроэнергию.

4) Мощность реактивной нагрузки. Она показывает, насколько большой процент мощности используется для создания магнитного поля, не участвующего в работе устройства. Высокая мощность реактивной нагрузки может приводить к недостатку электроэнергии и повышенным затратам.

5) Параметры генераторов и трансформаторов, такие как мощность, номинальное напряжение и ток, коэффициент трансформации, сопротивление обмоток и т.д. Эти параметры помогут оценить, насколько эффективно используется оборудование и какие мощности и токи оно может выдержать.

3.2 Симуляция работы

Я провел симуляцию системы электроснабжения дизель-электростанции с нелинейной нагрузкой в приложении MATLAB. Для этого была разработана и реализована модель системы, учитывающая основные компоненты и параметры системы электроснабжения, включая дизель-генераторы, электрические нагрузки и элементы управления. В модели были заданы характеристики дизель-генераторов, такие как мощность, КПД, инерционность и динамические свойства. Также были определены нелинейные нагрузки с учетом их спецификации и характеристик, включая гармонические составляющие и искажения сигнала.

Для начала была создана модель системы электроснабжения дизель-строительного завода, как показана на рисунке 5. Затем в систему была добавлена нелинейная нагрузка в виде дуговой сталеплавильной печи. Как показано на рисунке 6. Далее для сравнительного анализа были сняты результаты работы сети с нелинейной нагрузкой и без нее, результаты на рисунке 8. На верхней осциллограмме показаны напряжения сети, далее — ток сети. На последующей осциллограмме — искажение тока и напряжение после появления нелинейной нагрузки, на последней осциллограмме показаны изменение тока и напряжения после добавления активного фильтра. Сняв результаты, в модель системы электроснабжения добавляется компенсирующее устройство в виде активного фильтра, как показано на рисунке 7.

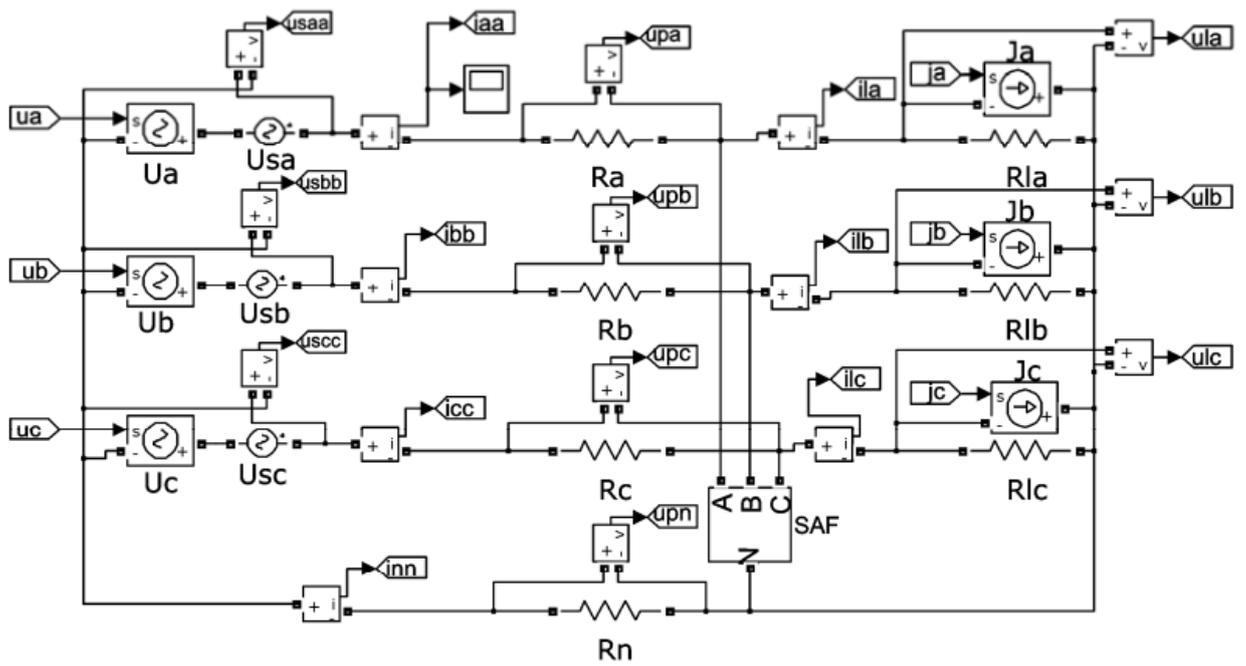


Рисунок 3.1 – Модель системы электроснабжения дизелестроительного завода

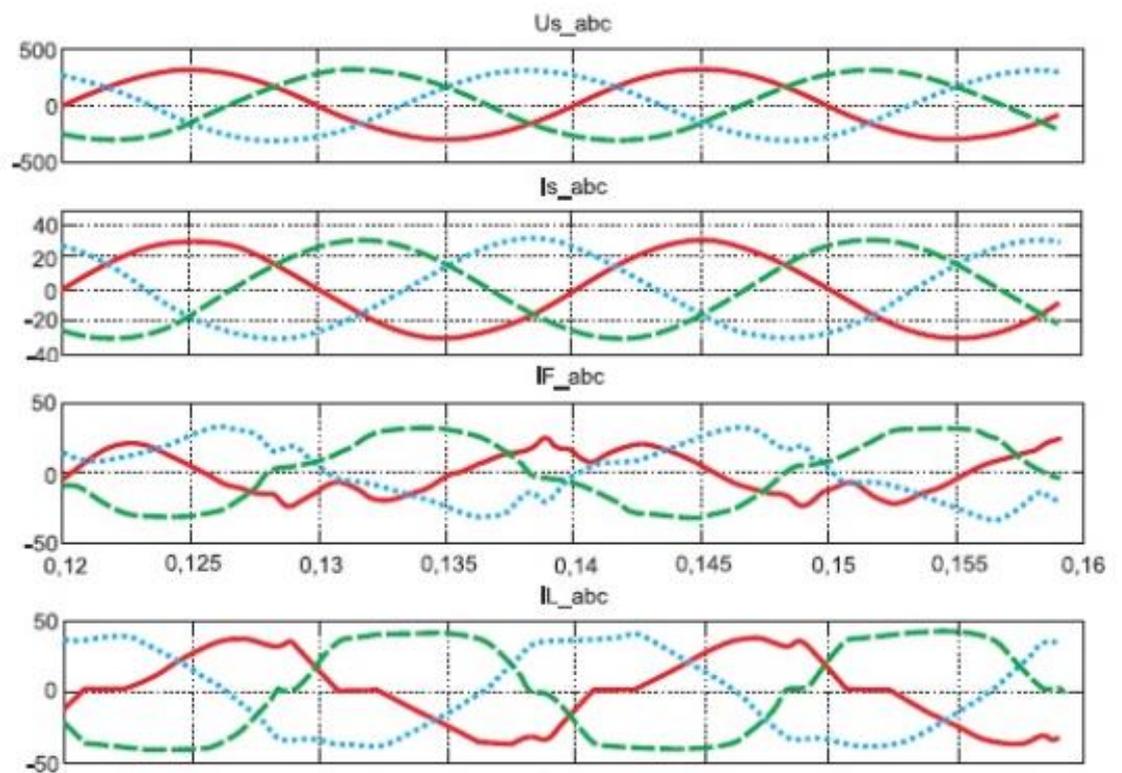


Рисунок 3.2 – Результаты процессов в системе

3.3 Анализ результатов

После проведения анализа результатов симуляции работы системы с нелинейной нагрузкой можно сделать следующие основные заключения:

1) Стабильность системы: Система демонстрирует устойчивую работу при воздействии нелинейной нагрузки. Не наблюдается нежелательных колебаний, осцилляций или неустойчивости.

2) Воздействие нагрузки на систему: Нелинейная нагрузка оказывает существенное влияние на различные параметры системы, включая напряжение, ток и частоту. Параметры системы изменяются в определенном диапазоне в зависимости от характеристик нелинейной нагрузки.

3) Эффективность системы: Работа системы с нелинейной нагрузкой эффективна в достижении поставленных задач и целей. Возможно, некоторые параметры системы не оптимальны и требуют оптимизации, но в целом система успешно справляется с нелинейной нагрузкой.

4) Гармоники и искажения: Обнаружены гармоники и искажения сигнала, вызванные нелинейной нагрузкой. Уровень искажений требует дополнительного внимания и возможных мер по снижению их воздействия на систему.

5) Потребляемая мощность: Потребление мощности системой при работе с нелинейной нагрузкой требует оценки и оптимизации. Идентифицированы потенциальные области снижения потребляемой мощности для повышения энергетической эффективности системы.

Таблица 3.1 Сравнение THD при трех разных режимах работы

k_b	THD	THD	THD
0.1	0.047	10.04	1.16
0.2	0.094	10.12	1.43
0.3	0.141	11.53	1.79
0.4	0.188	11.98	2.01
0.5	0.235	12.77	2.48
0.6	0.282	13.63	2.79
0.7	0.329	13.91	3.16
0.8	0.367	14.59	3.87
0.9	0.423	14.86	4.05
1.0	0.47	15.61	4.14

3.4 Расчет коэффициента нелинейных искажений

3-ая гармоника:

$$I_{m1} = \frac{S_{n \cdot m1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (3.1)$$

$$I_{m1} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 275,25 \text{ A}$$

$$I_{max3} = \frac{I_{n \cdot m1}}{V^2} \quad (3.2)$$

$$I_{m1} = \frac{275,25}{3^2} = 30,58 \text{ A}$$

$$I_{гр3} = 30,58 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot \left(\frac{2500}{5000}\right) + \frac{5000}{5000}} = 38,45 \text{ A}$$

$$U_{v3} = 38,45 \cdot 3 \cdot 10,5 \cdot \frac{10,5}{1800} = 7,06 \text{ B}$$

2-ая гармоника:

$$I_{гр2} = I_{гр3} = 38,45 \text{ A}$$

$$U_{v2} = 38,45 \cdot 2 \cdot 10,5 \cdot \frac{10,5}{1800} = 4,71 \text{ B}$$

4-ая гармоника:

$$I_{max4} = \frac{I_{n \cdot m1}}{V_4^2} \quad (3.3)$$

$$I_{max4} = \frac{275,25}{4^2} = 17,2 \text{ A}$$

$$I_{гр4} = 17,2 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot \left(\frac{2500}{5000}\right) + \frac{5000}{5000}} = 21,62 \text{ A}$$

$$U_{v4} = 21,62 \cdot 4 \cdot 10,5 \cdot \frac{10,5}{1800} = 5,29 \text{ В}$$

5-ая гармоника:

$$I_{max5} = \frac{I_{n \cdot m1}}{V_5^2} \quad (3.4)$$

$$I_{max5} = \frac{275,25}{5^2} = 11,01 \text{ А}$$

$$I_{гр5} = 11,01 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot \left(\frac{2500}{5000}\right) + \frac{5000}{5000}} = 13,84 \text{ А}$$

$$U_{v5} = 13,84 \cdot 5 \cdot 10,5 \cdot \frac{10,5}{1800} = 4,23 \text{ В}$$

6-ая гармоника:

$$I_{max6} = \frac{I_{n \cdot m1}}{V_6^2} \quad (3.5)$$

$$I_{max6} = \frac{275,25}{6^2} = 7,64 \text{ А}$$

$$I_{гр6} = 7,64 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot \left(\frac{2500}{5000}\right) + \frac{5000}{5000}} = 9,6 \text{ А}$$

$$U_{v6} = 9,6 \cdot 6 \cdot 10,5 \cdot \frac{10,5}{1800} = 3,52 \text{ В}$$

7-ая гармоника:

$$I_{max7} = \frac{I_{n \cdot m1}}{V_7^2} \quad (3.6)$$

$$I_{max7} = \frac{275,25}{7^2} = 5,61 \text{ А}$$

$$I_{\text{гр}7} = 5,61 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot \left(\frac{2500}{5000}\right) + \frac{5000}{5000}} = 7,05 \text{ A}$$

$$U_{v7} = 7,05 \cdot 7 \cdot 10,5 \cdot \frac{10,5}{1800} = 3,02 \text{ B}$$

Коэффициент нелинейных искажений:

$$K_{\text{нс}} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum U_v}}{U_n \cdot 1000} \quad (3.7)$$

$$K_{\text{нс}} = 100 \cdot \frac{\sqrt{(7,06^2 + 4,71^2 + 5,29^2 + 4,23^2 + 3,52^2 + 3,02^2)}}{10,5 \cdot 1000} = 4,14\%$$

3.5 Решение проблемы

Проблема нелинейной нагрузки в электрических системах может приводить к различным проблемам, таким как искажение синусоидальной формы напряжения и тока, увеличение гармонических искажений, падение фактора мощности, перегрузке оборудования и т.д. Решение этой проблемы может быть достигнуто путем принятия различных мер. Одним из способов решения проблемы нелинейной нагрузки является использование фильтров. Фильтры могут быть использованы для снижения гармонических искажений и улучшения качества электрической энергии. Фильтры могут быть различных типов, таких как пассивные, активные и гибридные фильтры. Выбор типа фильтра зависит от конкретных условий и требований системы. Фильтры гармонических искажений (ФГИ) представляют собой устройства, которые используются для снижения уровня гармонических искажений в электрических сетях. Они применяются для уменьшения эффектов, связанных с наличием гармонических искажений, таких как перегрузки, снижение качества электроэнергии, нагрев оборудования и прочие.

ФГИ делятся на активные и пассивные. Пассивные фильтры являются простейшими, они состоят из резисторов, конденсаторов и катушек. Эти элементы фильтруют гармонические составляющие по частоте. Недостатком пассивных фильтров является то, что они имеют фиксированную характеристику и не могут корректировать смещение фазы гармонических компонент. Активные фильтры, с другой стороны, способны подавлять гармонические искажения более эффективно, чем пассивные фильтры, за счет управляемого источника тока и вычислительной электроники. Они способны корректировать смещение фазы и работать в реальном времени для регулирования гармонических компонент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние нелинейных нагрузок: был подробно изучен вопрос о влиянии нелинейных нагрузок на работу системы электроснабжения дизелестроительного завода. Выявлено, что нелинейные нагрузки оказывают значительное воздействие на различные параметры системы, такие как напряжение, ток, частота и мощность. Их присутствие вызывает гармонические искажения и потребление реактивной мощности. Стабильность системы: проведенный анализ позволил установить, что система электроснабжения дизелестроительного завода справляется с работой в нестационарном режиме и под воздействием нелинейных нагрузок. Наблюдаемая стабильность работы системы и ее способность поддерживать требуемые параметры, такие как напряжение и частота, свидетельствуют о ее надежности и эффективности.

Гармоники и искажения: в результате анализа было обнаружено, что нелинейные нагрузки вызывают гармонические искажения сигнала. Уровень гармоник и искажений был оценен с использованием соответствующих методов анализа, таких как спектральный анализ. Полученные результаты позволяют определить потенциальные проблемные области и разработать меры по снижению уровня гармоник и искажений для обеспечения более качественной работы системы.

Оптимизация системы: В свете полученных результатов рекомендуется провести оптимизацию системы электроснабжения дизелестроительного завода с нелинейной нагрузкой. Это может включать настройку параметров компонентов системы, применение фильтров и других методов обработки сигнала для снижения уровня гармоник.

В целом, проведенный анализ нестационарного режима системы электроснабжения дизелестроительного завода с нелинейной нагрузкой позволяет сделать вывод о важности учета и анализа таких нагрузок при проектировании и эксплуатации системы. Полученные результаты подтверждают возможность стабильной работы системы при наличии нелинейных нагрузок, однако требуют оптимизации и внедрения мер для снижения гармоник и искажений. Эта работа предоставляет базу для дальнейших исследований и разработок в области электроснабжения дизелестроительного завода с нелинейной нагрузкой с целью повышения эффективности, надежности и качества работы системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Багиров Ф. Г., Замлинский В. М. Нелинейные электрические нагрузки и их влияние на электроэнергетическую систему. - М.: Энергоатомиздат, 2016.
- 2 Фролов А. П., Мирошников В. Л. Динамическое моделирование систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 2018.
- 3 Власов С. Н., Козлов С. М., Максимов С. В. Методы анализа нестационарных режимов работы систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 2014.
- 4 Грязнов В. П., Завьялов М. Ю., Николаева Л. А. Анализ электроэнергетических систем: нестационарные режимы. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- 5 Гаврилов А. В., Семенов А. М. Электрические системы и сети: нестационарные режимы и гармоники. - М.: Лань, 2013.
- 6 Saravanan P., Padmanaban S., Blaabjerg F. Analysis and Control of Electric Power Systems with Non-linear Loads. - Academic Press, 2018.
- 7 Grady W. M. Power System Analysis. - CRC Press, 2018.
- 8 СТ КазНИТУ – 09 – 2023 Работы Учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.