

Оглавление

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	11
1.1. Описательная статистика	11
1.2. Гистограммы суммарных коэффициентов гармоник	15
1.3. Корреляционный анализ.....	19
1.4. Вероятностные характеристики и временные зависимости	22
1.5. Регрессионный анализ	48
Выводы.....	49
2. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ СЭЖД В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ	51
2.1. Моделирование режимов в фазных координатах	51
2.2. Уравнения установившегося режима в фазных координатах	52
2.3. Методы моделирования несинусоидальных режимов в фазных координатах	59
Выводы.....	76
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ	78
3.1. Учет распределенности параметров при моделировании несинусоидальных режимов ...	78
3.2. Учет распределенности параметров при моделировании несинусоидальных режимов тяговых сетей повышенного напряжения.....	82
3.3. Влияние профиля пути на уровень гармонических искажений в системах электроснабжения железных дорог.....	87
3.4. Моделирование несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения с коаксиальным кабелем	91
3.5. Анализ процессов на токоприемниках ЭПС	95
3.6. Определение уровней гармонических искажений в узловых точках электрической сети при дефиците измерительной информации.....	109
3.7. Влияние установок компенсации реактивной мощности на несинусоидальные режимы	115
3.8. Моделирование резонансных процессов на высших гармониках в тяговых сетях переменного тока	121
Выводы.....	131
4. МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ.....	135
4.1. Использование ЭПС с асинхронными тяговыми двигателями	135
4.2. Применение активных кондиционеров гармоник	143
Выводы.....	154
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
Библиографический список	159

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АКГ – активный кондиционер гармоник
АЭД – асинхронный электрический двигатель
БУ – балансирующие узлы
ВГ – высшие гармоники
ДПР – система «два провода – рельс»
ЕС – Европейский союз
ИМ – имитационное моделирование
ИП – источник питания
ИРМ – источник реактивной мощности
КБ – конденсаторная батарея
КЗ – короткое замыкание
КС – контактная сеть
ЛЭП – линия электропередачи
МПЗ – межподстанционная зона
НВ – нейтральная вставка
ОТП – опорная тяговая подстанция
ПК – программный комплекс
ПКЭ – показатели качества электроэнергии
ПС – пост секционирования
РМ – реактивная мощность
РСЗ – решетчатые схемы замещения
РЭС – район электроснабжения нетяговых потребителей
СКО – среднеквадратическое отклонение
СТ – симметрирующий трансформатор
СТЭ – система тягового электроснабжения
СЭЖД – система электроснабжения железной дороги
ТП – тяговая подстанция
ТС – тяговая сеть
УУР – уравнения установившегося режима
ФКУ – фильтрокомпенсирующее устройство
ХХ – холостой ход
ЭДС – электродвижущая сила
ЭПС – электроподвижной состав
ЭЭ – электрическая энергия
ЭЭС – электроэнергетическая система

ВВЕДЕНИЕ

Одним из достаточно емких потребителей электроэнергии является железнодорожный транспорт. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке основная системообразующая электрическая сеть непосредственно связана с тяговыми подстанциями железнодорожных магистралей [1]. Ввиду значительного объема резкопеременной, нелинейной и однофазной тяговой нагрузки [2] показатели качества электроэнергии в этих сетях далеко выходят за допустимые пределы. Поэтому проблема управления качеством электроэнергии приобретает особую актуальность [3, 4].

Цель исследований, результаты которых представлены в монографии, состояла в разработке методов компьютерного моделирования несинусоидальных режимов СЭЖД, применимых при разработке средств устранения гармонических искажений в сетях, питающих тяговые подстанции.

Для реализации сформулированной цели потребовалось решение следующие задачи:

- разработать теоретические основы построения моделей для определения несинусоидальных режимов на основе фазных координат;
- предложить методику моделирования несинусоидальных режимов в СЭЖД различных типов;
- разработать методику применения технических средств, обеспечивающих снижение гармонических искажений в СЭЖД.

Исследования базировались на математическом моделировании СЭЖД с использованием методов численного решения нелинейных уравнений установившегося режима. Для определения несинусоидальных режимов использовался программный комплекс «Fazonord» [5].

Научная новизна представленных результатов определяется следующими положениями:

- компьютерные модели несинусоидальных режимов, отличающиеся от известных построением на базе фазных координат;

- оригинальная технология компьютерного моделирования совокупности режимов СЭЖД при движении поездов, позволяющая определить эффективность применения устройств для снижения гармонических искажений;

- оригинальная методика моделирования режимов систем тягового электроснабжения, оснащенных активными кондиционерами гармоник.

Предложенные в диссертации компьютерные модели реализованы на основе корректного использования математического аппарата. Идеи работы базировались на обобщении передового опыта российских и зарубежных специалистов, работающих в области моделирования режимов СЭЖД. При обработке результатов компьютерного моделирования проводилось их сравнение с данными, имеющимися в практике эксплуатации, а также с замерами показателей несимметрии на некоторых ТП железных дорог Восточной Сибири.

Представленные в работе модели и методы позволяют решать следующие задачи проектирования и эксплуатации устройств электроснабжения:

- моделирование несинусоидальных режимов СЭЖД;
- снижение уровней гармонических искажений на шинах 110-220 кВ тяговых подстанций.

Вопросам анализа, моделирования и управления несинусоидальными режимами ЭЭС и СЭЖД посвящено большое число работ, часть из которых представлена в библиографическом списке.

В первой группе публикаций рассмотрены вопросы анализа несинусоидальных режимов и показателей качества электроэнергии по критерию гармонических искажений. Так, например, в [6] проанализированы финансовые потери потребителей в связи с низким качеством электроэнергии. В статьях [7, 8] сформулированы задачи анализа качества электроэнергии в энергетических системах. Способы контроля и обеспечения качества ЭЭ описаны в книге [9]. Вопросы искажений синусоидального напряжения в сетях электропитания рассмотрены в [10]. Результаты анализа несинусоидальности напряжения приведены в [11]. Влияние ПКЭ на показатели энергоэффективности показано в [12]. Вопросы электромагнитной совместимости по критериям несимметрии и

несинусоидальность напряжения рассмотрены в [13, 14]. Задача оценки несинусоидальности напряжения при анализе качества электроэнергии решена в [15]. Результаты исследований влияния несинусоидальности напряжения в электроустановках на качество электроэнергии приведены в [16]. Задачам повышения качества энергии на тяговых подстанциях дорог переменного тока посвящена монография [17]. Методы исследования влияния высших гармоник на качество электроэнергии представлены в статьях [18, 19]. Вопросы анализа ПКЭ рассмотрены в книге [20]. Анализ качества использования электроэнергии в системах электрической тяги представлен в [21]. Подробное описание режимов электрических систем с тяговыми нагрузками приведено в книге [22]. Текущие проблемы и необходимые решения для улучшения качества электроэнергии в ЕЭС России описаны в [23]. Методы повышения качества энергии в электрических сетях представлены в [24, 25]. Задачи обеспечения надежности электроснабжения и качества электроэнергии сформулированы в [26]. Способы повышения ПКЭ в устройствах электроснабжения железных дорог описаны в [27]. Анализ режимов сетей 0,4 кВ с гармоническими искажениями проведен в [28]. Результаты фундаментальных исследований режимов высших гармоник в системах электроснабжения промпредприятий представлены в книгах [29–31].

Вторая группа работ посвящена вопросам моделирования несинусоидальных режимов ЭЭС и СЭЖД. Способ расчета допустимых уровней несинусоидальности тока нелинейных нагрузок при их подключении к сети предложен в [32]. Результаты определения частотных характеристик фильтрокомпенсирующих установок в тяговой сети переменного тока приведены [33]. Оценка дополнительных потерь мощности от снижения качества электрической энергии в элементах систем электроснабжения дана в [34]. Результаты моделирования параметров фильтров высших гармоник в среде Matlab представлены в [35]. Один из подходов к поиску резонансных режимов на высших гармониках предложен в [36]. Вопросы определения ПКЭ в системах электроснабжения рассмотрены в [37]. Задача учета высших гармоник при исследовании динамической устойчивости узлов электроэнергетических систем с асинхронной нагрузкой решена в

[38]. Методы оценки влияния гармоник тока на силовые масляные трансформаторы и кабельные линии представлены в [39]. Задачи моделирование активных силовых фильтров решены в [40]. Подходы к моделированию несинусоидальных режимов распределительных сетей описаны в [41]. Анализ результатов моделирования высших гармоник в электрических сетях приведен в [42]. Методы определения параметров несинусоидальных режимов приведены в [43].

Третья группа работ посвящена вопросам управления качеством электроэнергии в ЭЭС и СЭЖД. В [44] рассмотрены вопросы определения оптимальных мест размещения и диапазонов регулирования корректирующих устройств для управления качеством электроэнергии. Технологии управления ПКЭ в распределительных сетях железнодорожного транспорта представлены в [45]. Способ управления качеством ЭЭ предложен в [46]. Топология систем управления качеством электроэнергии описана в [47]. Задача выбора устройств компенсации реактивной мощности в высоковольтных электрических сетях с мощной нелинейной нагрузкой решена в [48]. Вопросы мониторинга и управления качеством электроэнергии рассмотрены в [49]. Адаптивная система формирования управляющих сигналов для активных фильтров гармоник представлена в [50]. Задача определения управляющего воздействия активного фильтра гармоник решена в [51]. Пассивные фильтрокомпенсирующие устройства для тяговых сетей переменного тока предложены в [52]. Адаптивные алгоритмы управления характеристиками активных фильтрокомпенсирующих устройств описаны в [53]. Гибридные системы управления качеством электроэнергии в распределительных сетях представлены в [54]. Результаты разработки алгоритма определения управляющего воздействия активного фильтра гармоник приведены в [55]. Современные методы регулирования качества электроэнергии электроподвижного состава переменного тока описаны в [56]. Вопросам управления качеством электроэнергии посвящена монография [57]. Особенности компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения с нелинейными нагрузками описаны в [58]. Влияние устройств компенсации на уровень высших гармоник тока и напряжения в тяговой сети переменного тока проанализи-

ровано в [59]. Методы и средства повышения качества электроэнергии описаны в [60]. Эффективность использования силовых фильтров для ограничения высших гармоник в сети проанализирована в [61]. Анализ методов повышения качества электрической энергии в тяговых сетях переменного тока проведен в [62]. Вопросы управления качеством электроэнергии в распределительных сетях железнодорожного транспорта рассмотрены в [63]. Воздействие системы управления качеством электроэнергии на параметры электроснабжения проанализировано в [64]. Система контроля качества электроэнергии представлена в [65]. Задачи управления качеством электроэнергии в электрических сетях рассмотрены в [66]. Новые безтрансформаторные регуляторы переменного напряжения для устройств улучшения качества электроэнергии описаны в [67]. Способы управления качеством электроэнергии представлены в [68]. Использовать продольную компенсацию для повышения качества электроэнергии на участках переменного тока предложено в [69]. Современные задачи управления качеством электроэнергии сформулированы в [70]. Методы управления качеством электроэнергии в системах распределенной генерации с помощью гибридных силовых фильтров рассмотрены в [71]. Применять теорию нечеткой логики при компенсации высших гармоник активным фильтром предложено в [72]. Вопросы управления качеством рассмотрены в книгах [73, 74].

Четвертая группа работ посвящена вопросам мониторинга качества электроэнергии и измерениям ПКЭ. В [75] приведены результаты экспериментальных исследований влияния резкопеременной нагрузки на качество электроэнергии на высоковольтной подстанции. Современные подходы к организации контроля качества электроэнергии в электрических сетях описаны в [76]. Информационно-измерительные системы контроля качества электроэнергии представлены в [77]. Анализ экспериментальных данных о качестве электроэнергии в системе электроснабжения железных дорог переменного тока проведен в [78]. Анализатор качества электроэнергии представлен в [79]. Анализ статистики требований потребителей к качеству электроэнергии выполнен в [80]. Российские приборы для измерения и регистрации качества электрической энергии

описаны в [81]. Задачи мониторинга качества электроэнергии в электрических сетях сформулированы в [82].

На основе представленного обзора можно сделать вывод о том, что многие аспекты, касающиеся анализа несинусоидальных режимов электрических сетей, детально рассмотрены. Это создает фундамент для их дальнейшего изучения. Следует отметить, что задачи моделирования режимов СЭЖД на частотах ВГ, позволяющие корректно учитывать все влияющие факторы, не решены в полном объеме. Поход к их решению может быть основан на применение методов, предложенных в работах [5, 84, 85].

В первой главе представлены результаты экспериментальных исследований [85] несинусоидальных режимов в системах электроснабжения железных дорог. Во второй – описаны принципы моделирования режимов систем электроснабжения железных дорог в фазных координатах. В третьей – представлены результаты моделирования несинусоидальных режимов. В четвертой – приведены результаты моделирования СТЭ, оснащенных средствами для снижения гармонических искажений. В заключении сформулированы основные выводы, полученные в результате проведенных исследований.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

1.1. Описательная статистика

В табл. 1.1 и на рис. 1.1 – 1.7 представлены данные, характеризующие уровни гармонических искажений на шинах 110-220 кВ рассматриваемых подстанций. Данные получены со стационарных измерителей ПКЭ.

Таблица 1.1

Суммарные коэффициенты гармоник напряжений k_U по фазам, %

Параметр	ТП 1			ТП 2			ТП 3			ТП 4		
	ab	bc	ca	ab	bc	ca	ab	bc	ca	ab	bc	ca
X_{\min}	1,57	1,63	1,47	0,90	0,81	0,81	0,90	0,91	1,12	1,37	2,20	1,85
X_{mid}	2,85	3,07	3,06	2,04	2,80	2,46	2,30	3,31	3,02	3,93	5,69	5,06
X_{\max}	4,11	4,81	5,11	4,58	6,33	5,37	5,37	9,06	7,06	8,36	13,57	10,80
σ , %	0,22	0,33	0,43	0,37	0,73	0,80	0,54	1,51	1,35	1,49	2,77	2,34
R , %	2,54	3,17	3,63	3,68	5,52	4,56	4,47	8,15	5,94	6,99	11,37	8,95
E	0,13	0,18	0,33	0,91	0,73	0,48	1,20	0,79	0,72	0,22	0,73	0,76
D	0,38	0,47	0,52	0,48	0,66	0,75	0,56	0,96	0,95	1,00	1,27	1,22
A	0,47	0,58	0,65	0,61	0,85	0,89	0,73	1,23	1,16	1,22	1,67	1,53
V_R	0,89	1,03	1,19	1,80	1,98	1,85	1,95	2,46	1,96	1,78	2,00	1,77
V_σ	0,08	0,11	0,14	0,18	0,26	0,32	0,23	0,46	0,45	0,38	0,49	0,46
V_d	0,14	0,15	0,17	0,23	0,24	0,30	0,24	0,29	0,31	0,25	0,22	0,24

Продолжение таблицы 1.1

Параметр	ТП 5 220 1,2 СШ			ТП 5 220 3,4 СШ			ТП 5 110			ТП 6		
	ab	bc	ca	ab	bc	ca	ab	bc	ca	ab	bc	ca
X_{\min}	2,34	3,90	2,88	5,82	6,64	8,04	2,20	3,13	2,62	1,23	1,98	1,62
X_{mid}	4,73	7,72	6,40	17,84	15,71	18,88	4,66	6,89	6,16	5,24	4,71	5,57
X_{\max}	11,25	20,59	14,99	54,29	48,66	51,65	11,18	19,95	14,62	13,66	11,34	11,67
σ , %	1,45	4,14	4,87	120,9	37,10	60,92	1,35	4,28	4,50	8,06	2,73	5,26
R , %	8,91	16,69	12,11	48,47	42,02	43,61	8,98	16,82	12,00	12,43	9,37	10,05
E	0,94	1,52	0,87	1,24	2,18	0,98	0,93	1,51	0,87	1,05	1,19	0,45
D	0,95	1,48	1,78	9,14	4,24	6,55	0,92	1,51	1,70	2,38	1,28	2,01
A	1,21	2,03	2,21	11,00	6,09	7,81	1,16	2,07	2,12	2,84	1,65	2,29
V_R	1,88	2,16	1,89	2,72	2,67	2,31	1,93	2,44	1,95	2,37	1,99	1,81
V_σ	0,31	0,54	0,76	6,78	2,36	3,23	0,29	0,62	0,73	1,54	0,58	0,95
V_d	0,20	0,19	0,28	0,51	0,27	0,35	0,20	0,22	0,28	0,45	0,27	0,36

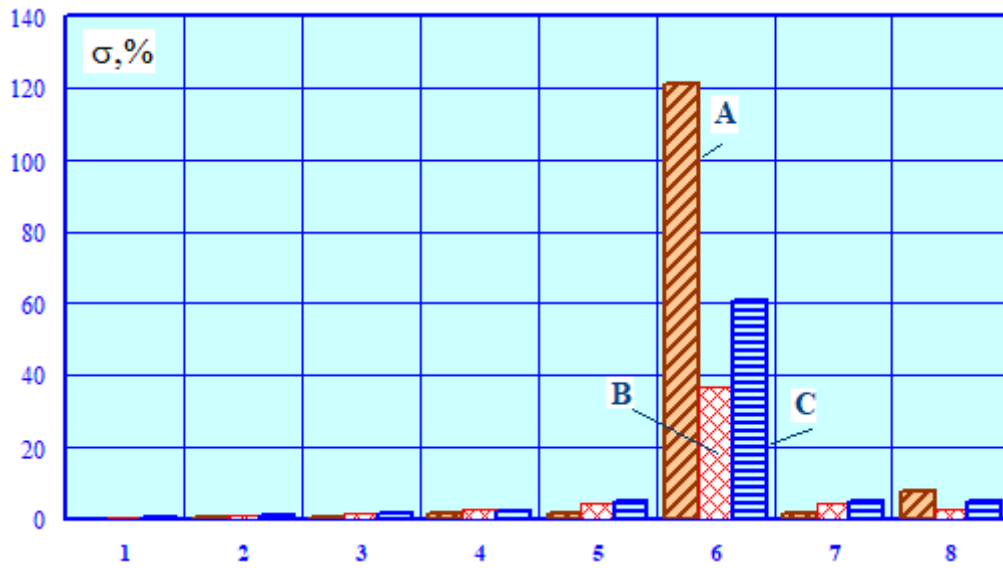


Рис. 1.1. Среднеквадратичные отклонения σ суммарных коэффициентов гармоник:
 1 – ТП 1; 2– ТП 2; 3– ТП 3 220 кВ; 4 – ТП 4 220 кВ; 5 – ТП 5 220 кВ первая система шин (сш); 6 – ТП 5 220 кВ третья сш; ТП 5 110 кВ; ТП 6

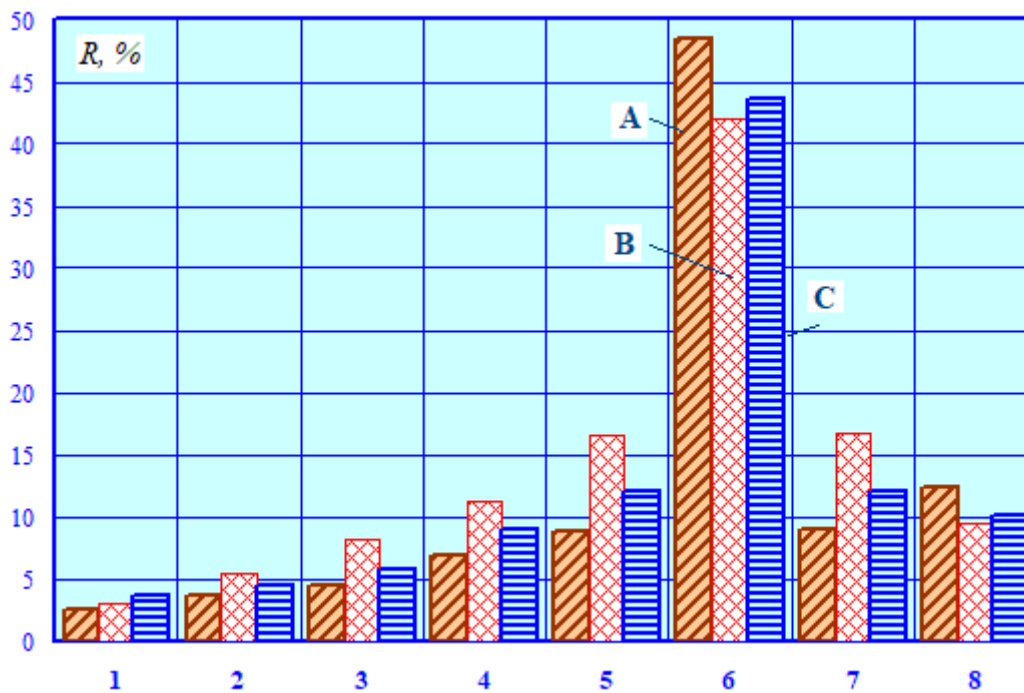


Рис. 1.2. Размах R , %:
 цифровые обозначения аналогичны рис. 1.1

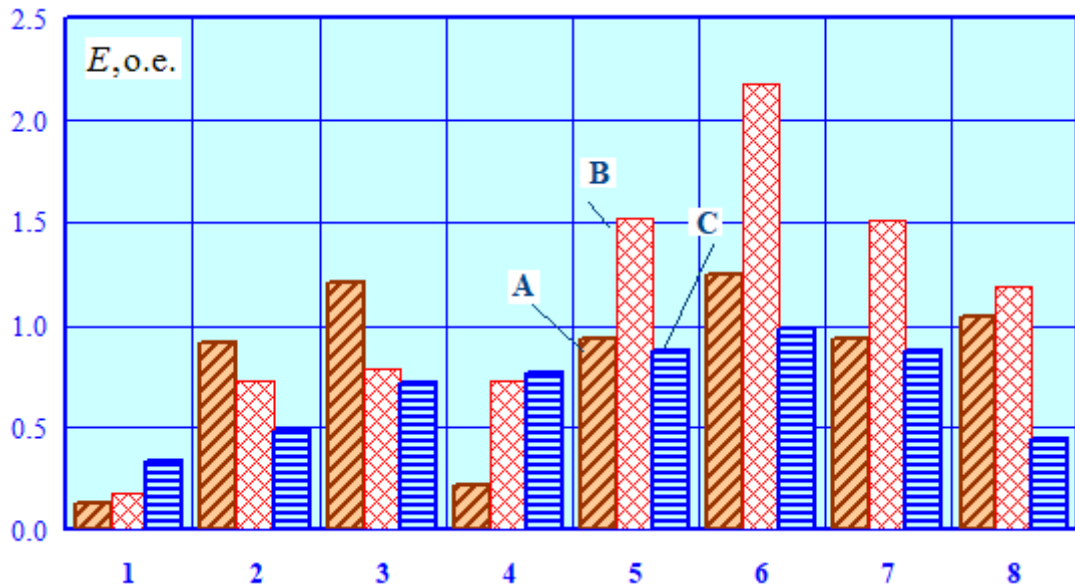


Рис. 1.3. Эксцесс E : цифровые обозначения аналогичны рис. 1.1

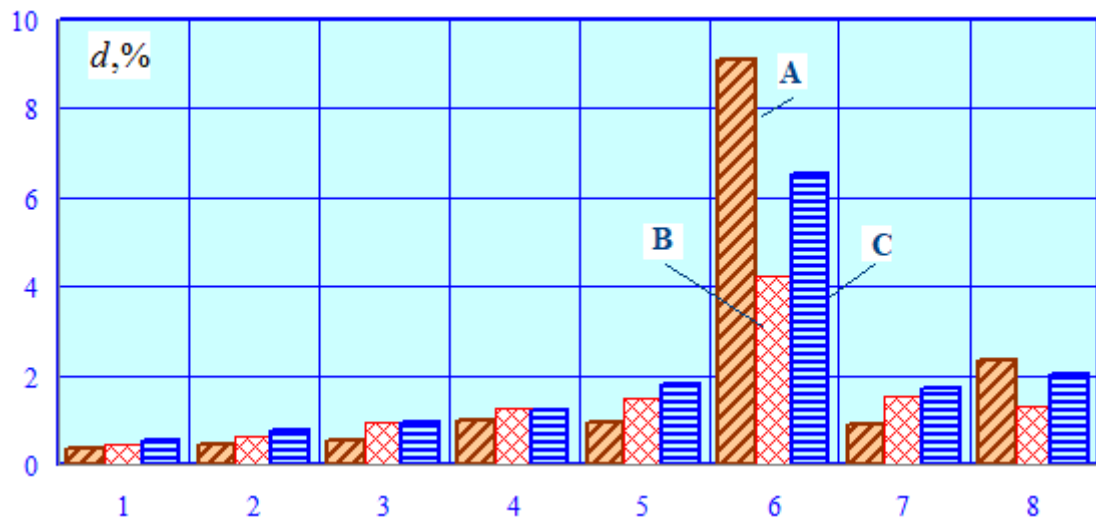


Рис. 1.4. Среднее линейное отклонение d : цифровые обозначения аналогичны рис. 1.1

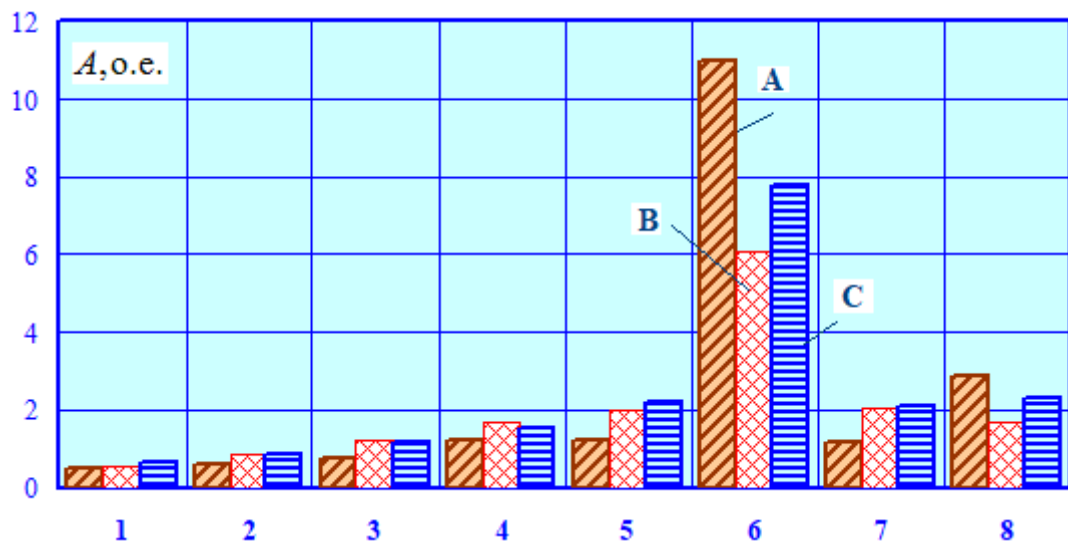


Рис. 1.5. Асимметричность A : цифровые обозначения аналогичны рис. 1.1

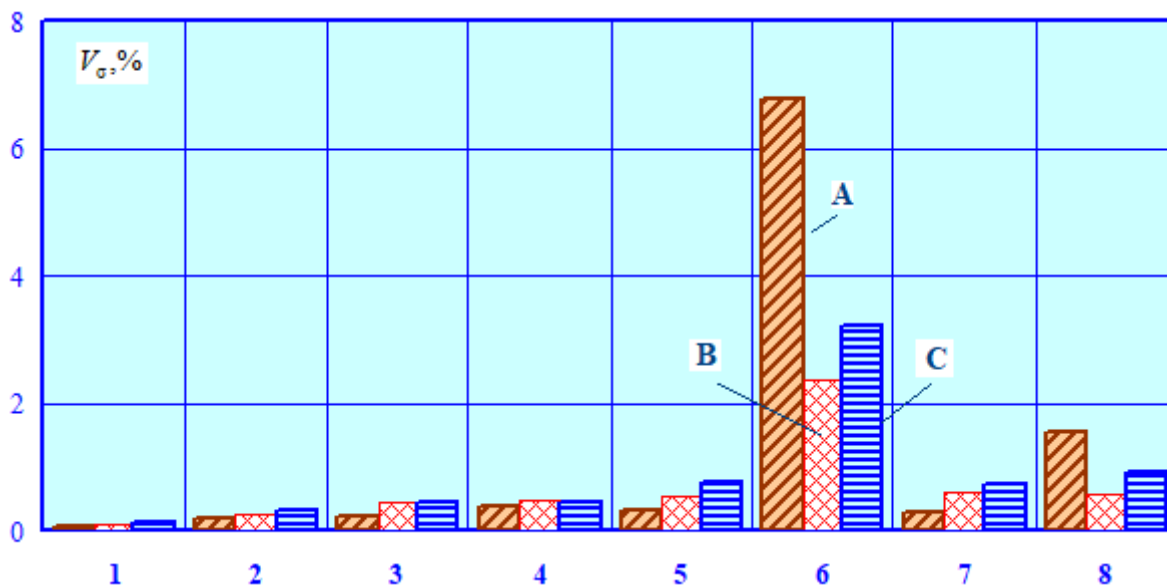


Рис. 1.6. Коэффициент вариации V_{σ}

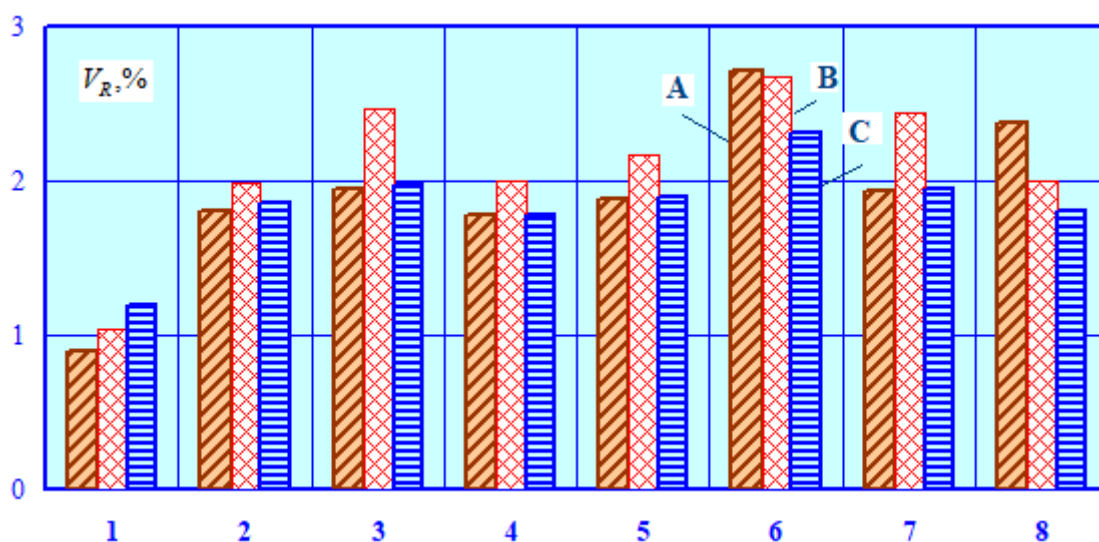


Рис. 1.7. Коэффициент осцилляции V_R

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Из-за резкопеременных нелинейных тяговых нагрузок, перемещающихся в пространстве, наблюдается значительная вариабельность временных рядов, характеризующих несинусоидальность.

2. Наибольшая величина СКО наблюдается на восточных шинах ТП 5, что связано с особенностями режимов работы вставки постоянного тока. Данный вывод справедлив и для других показателей, кроме V_R , представленных в табл. 1.1. Величина V_R остается относительно стабильной для всех подстан-

ций, кроме ТП 1, где значение этого параметра вдвое ниже, чем у других подстанций.

1.2. Гистограммы суммарных коэффициентов гармоник

На рис. 1.8 – 1.31 представлены гистограммы коэффициента k_U , позволяющие сделать вывод о несоответствии рассматриваемых выборок нормальному распределению.

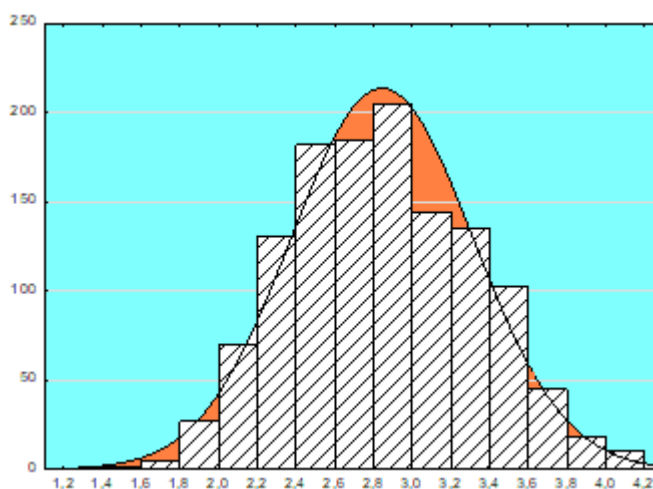


Рис. 1.8. Гистограмма k_U для фазы А ТП 1

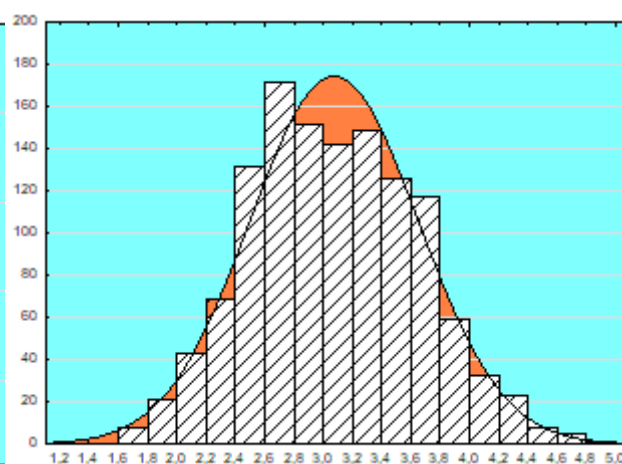


Рис. 1.9. Гистограмма k_U для фазы В ТП 1

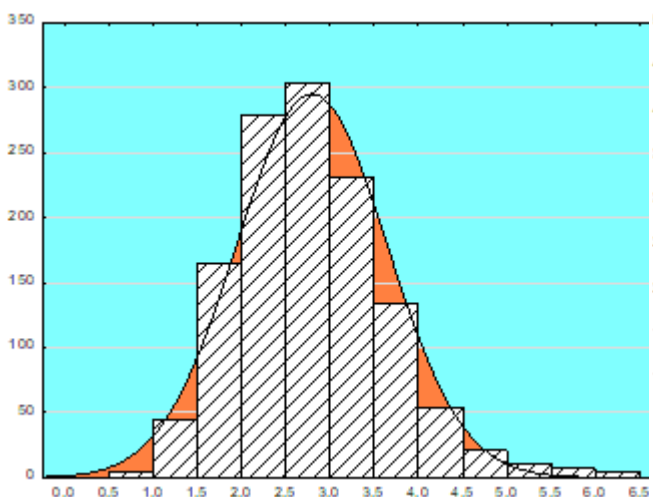


Рис. 1.10. Гистограмма k_U для фазы С ТП 1

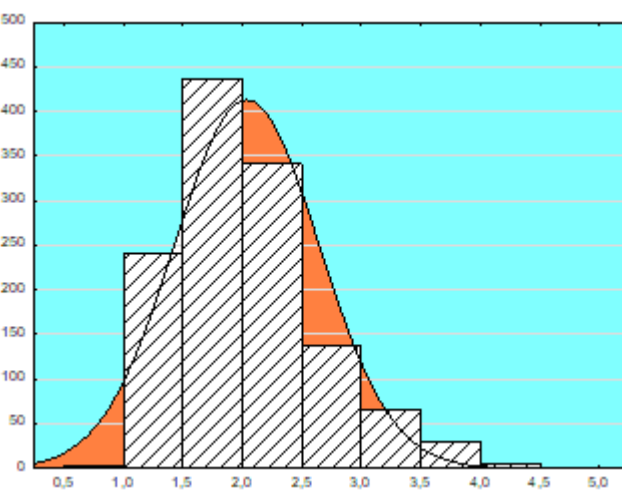
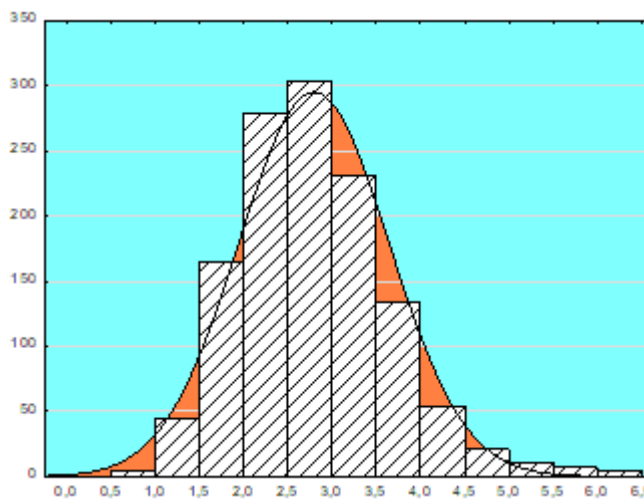
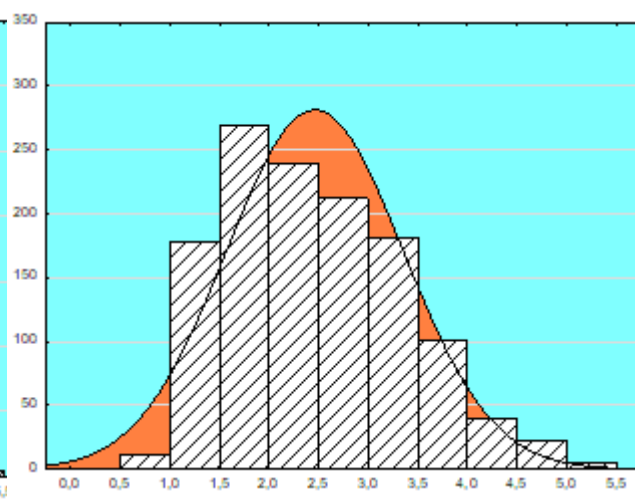


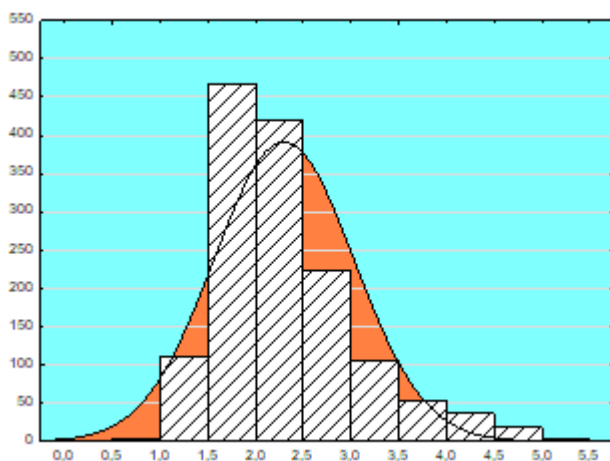
Рис. 1.11. Гистограмма k_U для фазы А ТП 2



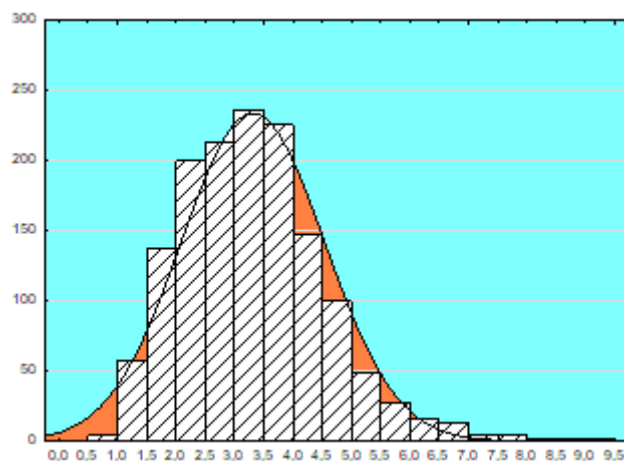
**Рис. 1.12. Гистограмма k_U для фазы В
ТП 2**



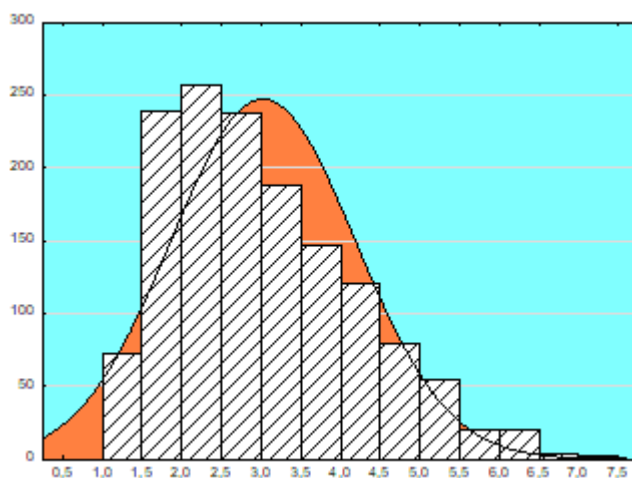
**Рис. 1.13. Гистограмма k_U для фазы С
ТП 2**



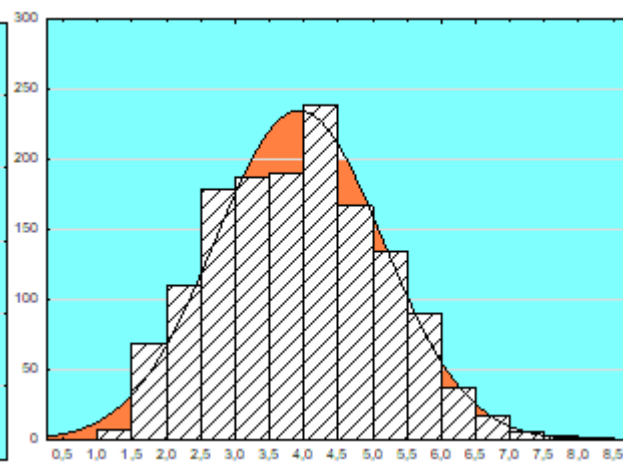
**Рис. 1.14. Гистограмма k_U для фазы А
ТП 3 220 кВ**



**Рис. 1.15. Гистограмма k_U для фазы В
ТП 3 220 кВ**



**Рис. 1.16. Гистограмма k_U для фазы С
ТП 3 220 кВ**



**Рис. 1.17. Гистограмма k_U для фазы А
ТП 4 220 кВ**

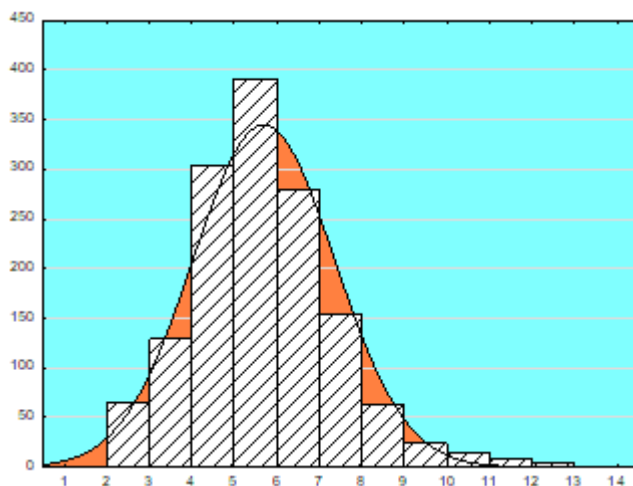


Рис. 1.18. Гистограмма k_U для фазы В
ТП 4 220 кВ

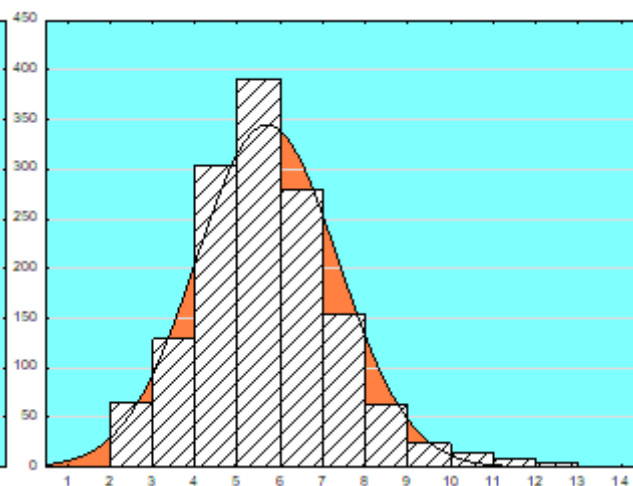


Рис. 1.19. Гистограмма k_U для фазы С
ТП 4 220 кВ

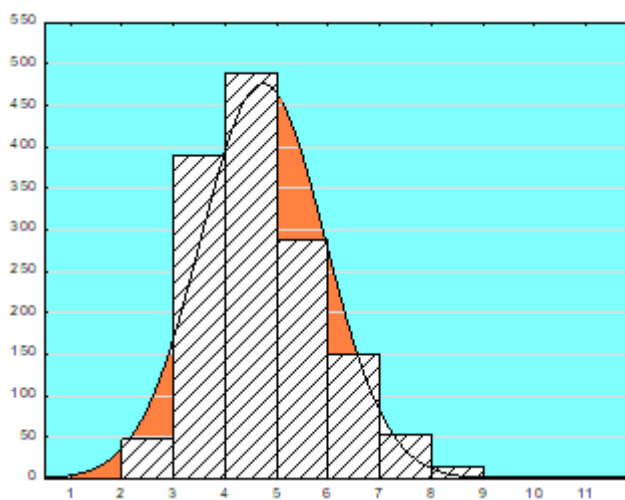


Рис. 1.20. Гистограмма k_U для фазы А
ТП 5 220 кВ 1,2 с.ш.

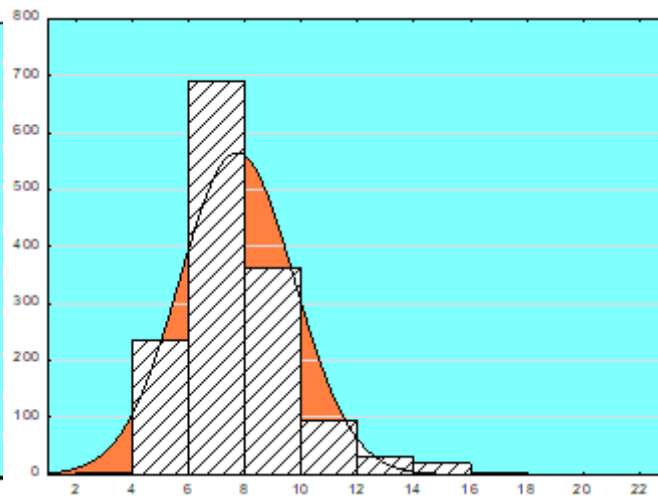


Рис. 1.21. Гистограмма k_U для фазы В
ТП 5 220 кВ 1,2 с.ш.

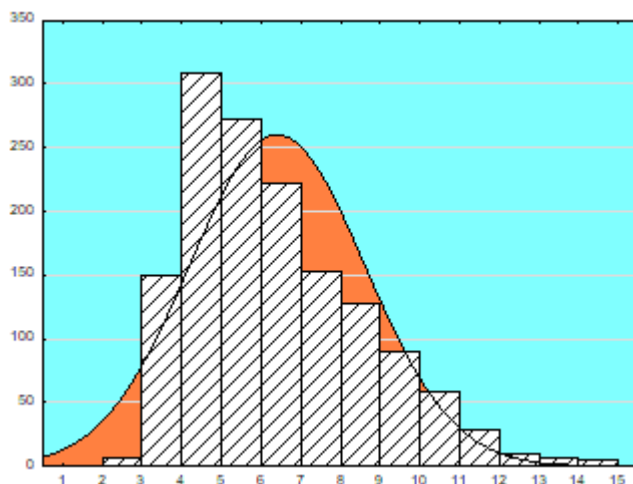


Рис. 1.22. Гистограмма k_U для фазы С
ТП 5 220 кВ 1,2 с.ш.

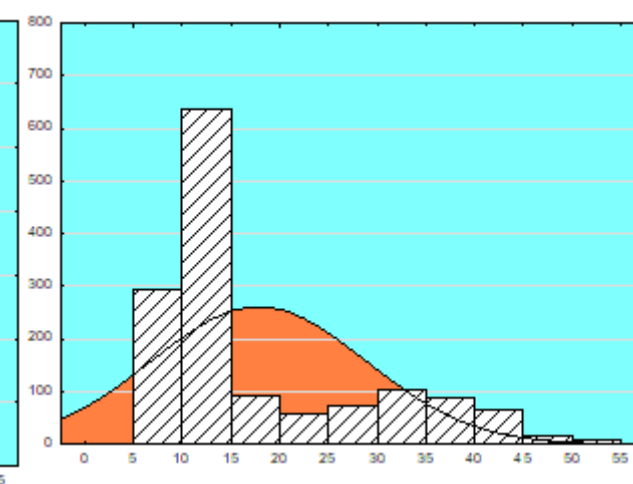


Рис. 1.23. Гистограмма k_U для фазы А
ТП 5 220 кВ 3,4 с.ш.

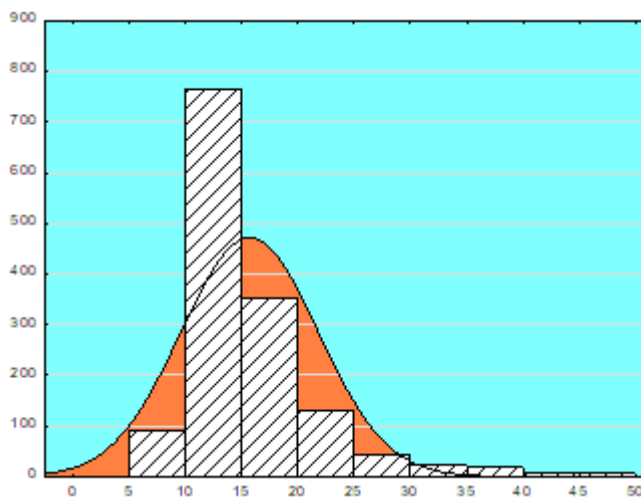


Рис. 1.24. Гистограмма k_U для фазы В
ТП 5 220 кВ 3,4 с.ш.

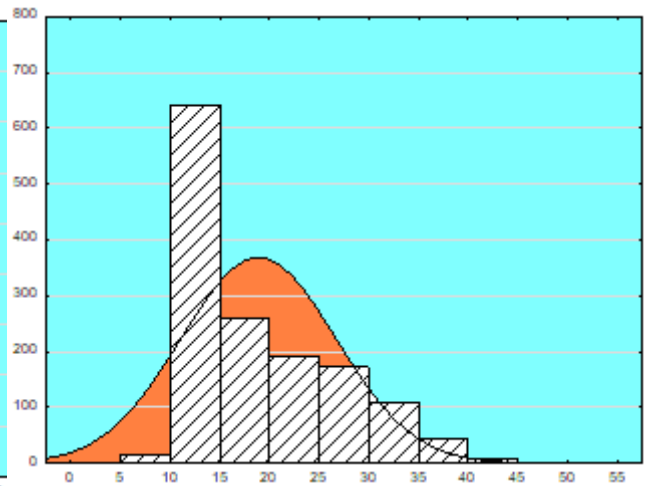


Рис. 1.25. Гистограмма k_U для фазы С
ТП 5 220 кВ 3,4 с.ш.

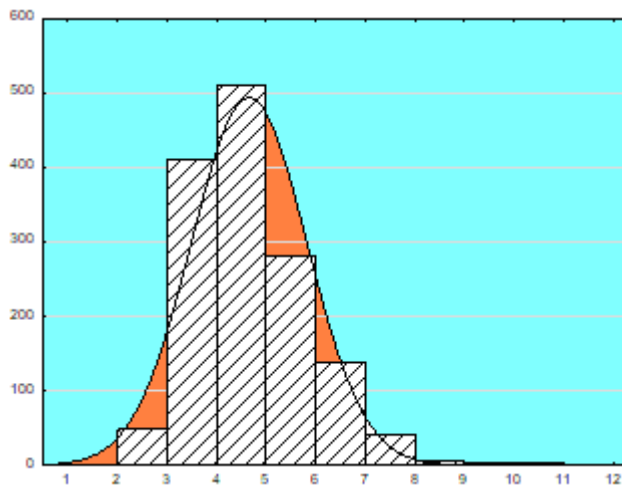


Рис. 1.26. Гистограмма k_U для фазы А
ТП 5 110 кВ

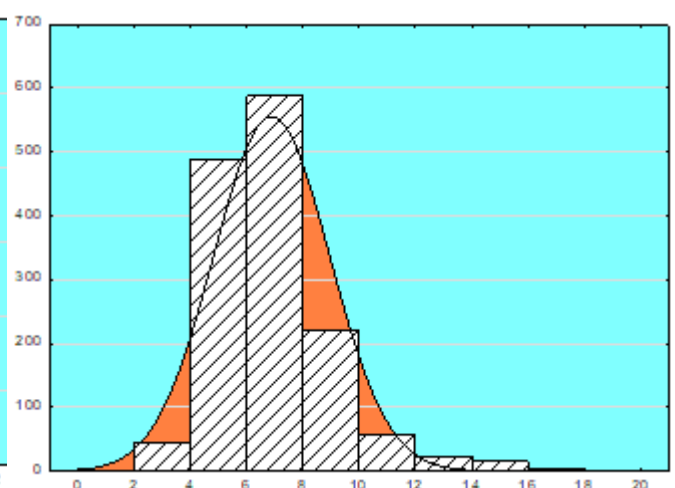


Рис. 1.27. Гистограмма k_U для фазы В
ТП 5 110 кВ

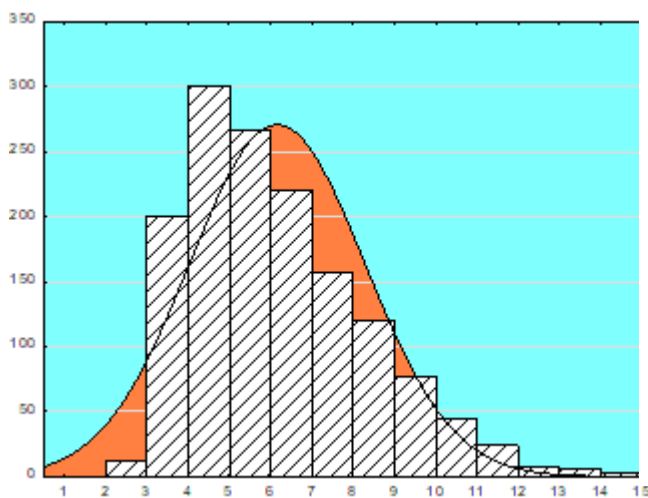


Рис. 1.28. Гистограмма k_U для фазы С
ТП 5 110 кВ

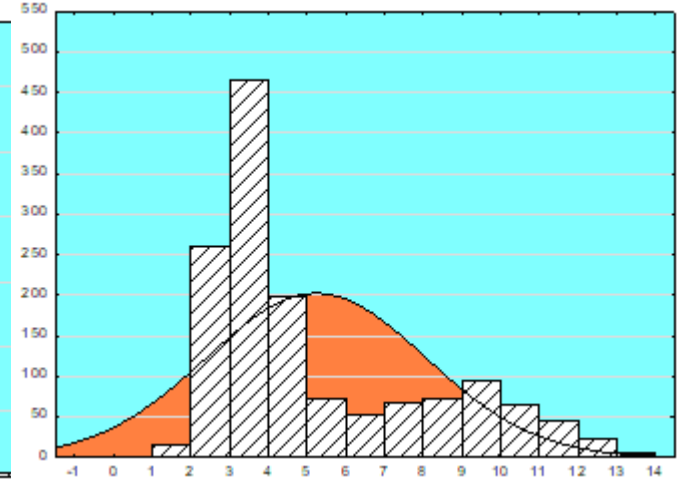


Рис. 1.29. Гистограмма k_U для фазы А
ТП 6

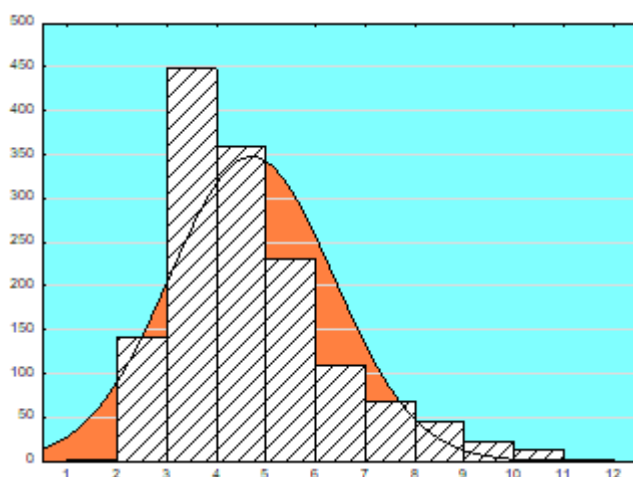


Рис. 1.30. Гистограмма k_U для фазы В
ТП 6

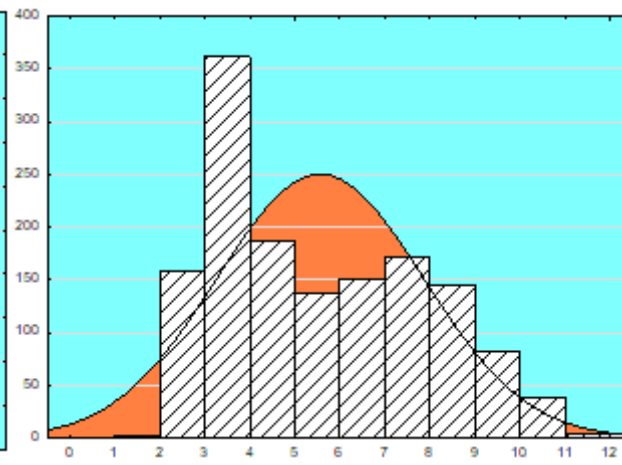


Рис. 1.31. Гистограмма k_U для фазы С
ТП 6

1.3. Корреляционный анализ

Для анализа корреляционных связей между коэффициентами k_U отдельных подстанций выполнен разведочный анализ временных рядов путем построения матричных графиков суммарных коэффициентов гармоник напряжений 220 кВ (рис. 1.32 – 1.34) и определена корреляционная матрица (табл. 1.2 – 1.4). Представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что наблюдается заметная корреляция между показателями несинусоидальности на ТП 1 и ТП 2, ТП 3 и ТП 4, ТП 5 и ТП 6.

Таблица 1.2

Корреляционная матрица суммарных коэффициентов гармоник напряжений фазы А

ПС	ТП 1	ТП 2	ТП 3 220	ТП 4 220	ТП 5 220 1, 2 СШ	ТП 5 220 3, 4 СШ	ТП 5 110	ТП 6
ТП 1	1,00							
ТП 2	0,79	1,00						
ТП 3 220	0,15	0,15	1,00					
ТП 4 220	0,05	0,09	0,70	1,00				
ТП 5 220 1,2 СШ	-0,01	0,07	0,50	0,67	1,00			
ТП 5 220 3,4 СШ	0,32	0,39	0,21	0,39	0,22	1,00		
ТП 5 110	-0,02	0,07	0,45	0,65	0,99	0,21	1,00	
ТП 6	0,33	0,37	0,13	0,32	0,18	0,96	0,18	1,00

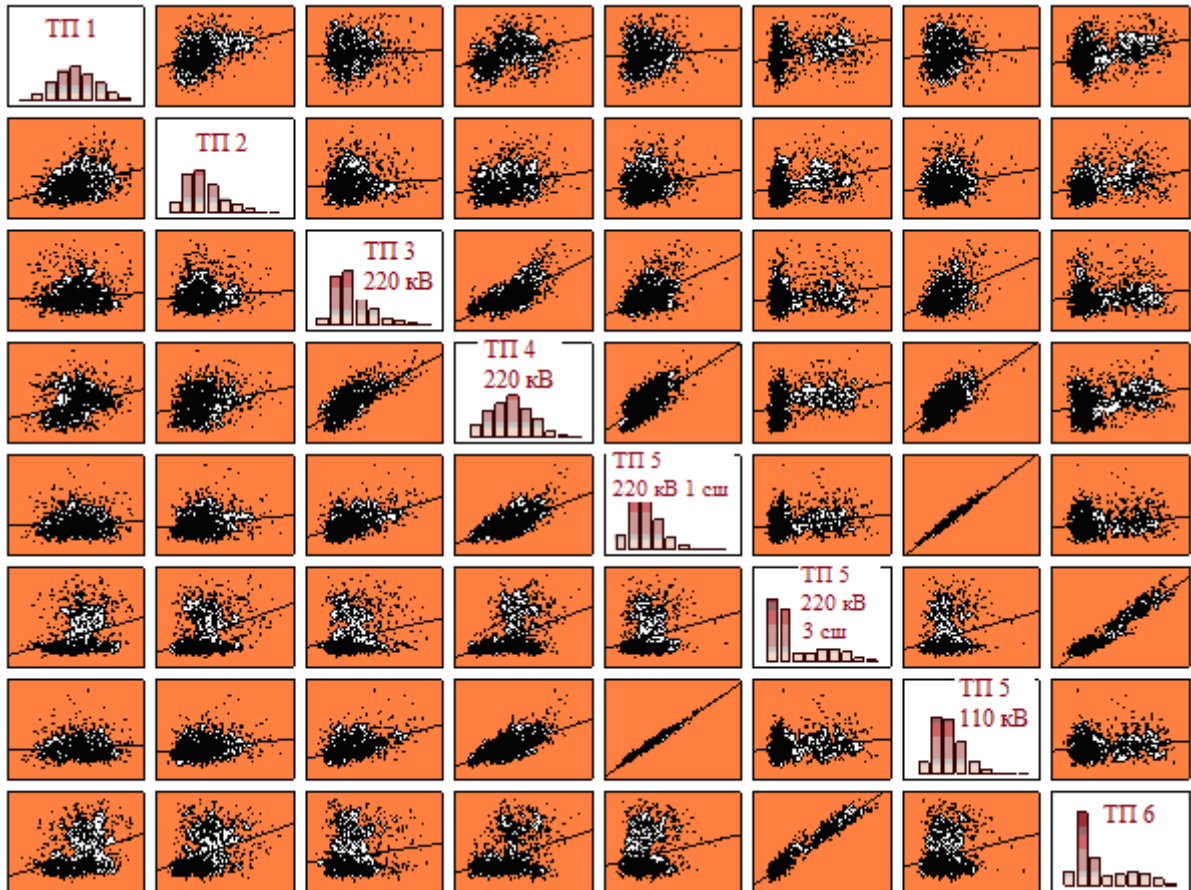


Рис. 1.32. Матричный график коэффициентов несинусоидальности по фазе А

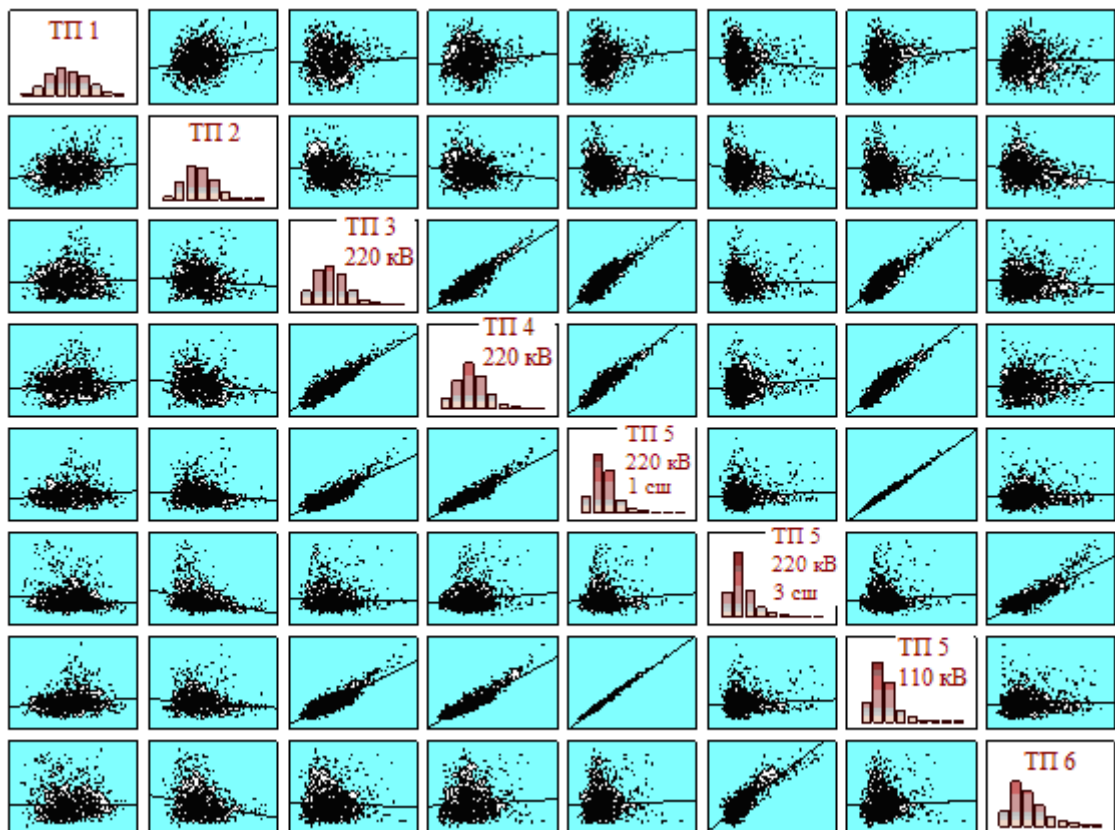


Рис. 1.33. Матричный график коэффициентов несинусоидальности по фазе В

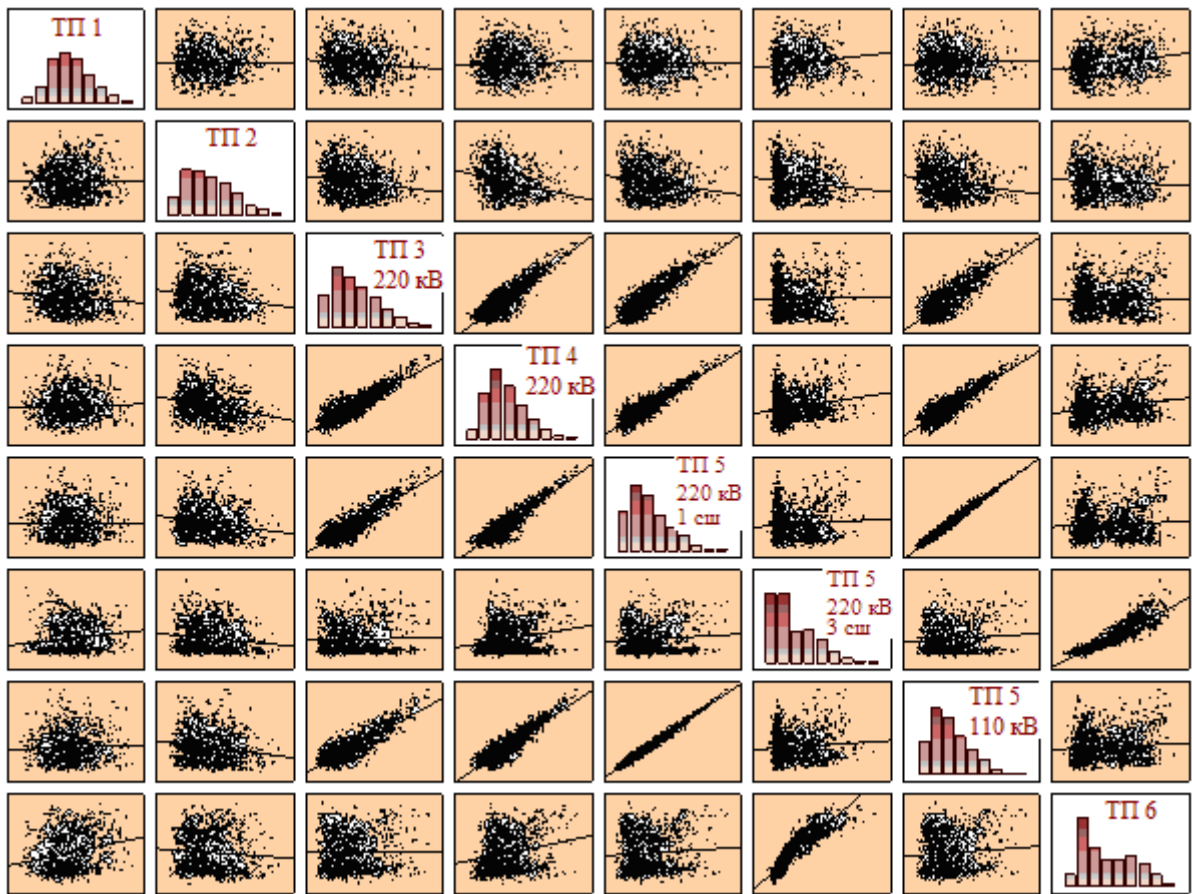


Рис. 1.34. Матричный график коэффициентов несинусоидальности по фазе С

Таблица 1.3

Корреляционная матрица суммарных коэффициентов гармоник напряжений фазы В

ПС	ТП 1	ТП 2	ТП 3 220	ТП 4 220	ТП 5 220 1, 2 СШ	ТП 5 220 3, 4 СШ	ТП 5 110	ТП 6
ТП 1	1,00							
ТП 2	0,73	1,00						
ТП 3 220	0,23	0,13	1,00					
ТП 4 220	0,22	0,07	0,88	1,00				
ТП 5 220 1,2 СШ	0,27	0,12	0,85	0,92	1,00			
ТП 5 220 3,4 СШ	-0,07	-0,19	-0,02	0,11	0,08	1,00		
ТП 5 110	0,29	0,13	0,85	0,91	0,99	0,07	1,00	
ТП 6	-0,10	-0,21	-0,05	0,06	0,03	0,86	0,03	1,00

Таблица 1.4

Корреляционная матрица суммарных коэффициентов гармоник напряжений фазы С

ПС	ТП 1	ТП 2	ТП 3 220	ТП 4 220	ТП 5 220 1, 2 СШ	ТП 5 220 3, 4 СШ	ТП 5 110	ТП 6
ТП 1	1,00							
ТП 2	0,60	1,00						
ТП 3 220	0,18	0,07	1,00					
ТП 4 220	0,23	-0,01	0,87	1,00				
ТП 5 220 1,2 СШ	0,25	0,08	0,89	0,91	1,00			
ТП 5 220 3,4 СШ	0,19	0,00	0,02	0,22	0,08	1,00		
ТП 5 110	0,28	0,09	0,84	0,89	0,99	0,09	1,00	
ТП 6	0,16	-0,01	0,00	0,21	0,07	0,91	0,08	1,00

1.4. Вероятностные характеристики и временные зависимости

В табл. 1.5 и на рис. 1.35 – 1.37 представлены данные, характеризующие времена превышения коэффициентом k_U допустимых значений; при этом Т1 отвечает нормально допустимым пределам, а Т2 – предельным, превышение которых не допускается.

Таблица 1.5

Величины превышения нормально и предельно допустимых значений суммарных коэффициентов гармоник напряжений

Параметр	ТП 1			ТП 2			ТП 3220 кВ			ТП 4 220 кВ		
	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА
Т1, %	61	45	45	38	46	36	45	29	34	20	5	5
Т2, %	36	53	51	8	37	28	15	58	44	75	95	95

Продолжение таблицы 1.5

Параметр	ТП 5 220 кВ 1,2 с.ш			ТП 5 220 кВ 3,4 с.ш.			ТП 5 110 кВ			ТП 6		
	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА
Т1, %	3	0	0	0	0	0	3	0	1	18	10	11
Т2, %	97	100	100	100	100	100	97	100	99	81	90	89

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru