

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. С. ТОРАЙГЫРОВА



3'2003



ПМУ хабаршысы
Вестник ПГУ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

В.Г.Сальников, Е.В.Иванова, М.Е. Ордабаев

Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова

*Берілген мақалада Экибастұздағы көмір бассейнінде электрлік тораптардың
электромагниттік сыйыстыру деңгейлерінің бағасы жүзеге асырылады.*

*В данной статье осуществляется оценка уровней электромагнитной совмести-
мости электрических сетей в Экибастузском угольном бассейне.*

*In this article the estimation of levels of electromagnetic compatibility of electrical
networks in Ekibastuz coal field is given.*

1.1. Региональный аспект

Экибастузские каменные угли являются основным топливом крупных районных электростанций (ГРЭС) Казахстана, Сибири и Урала России. Эти угли добываются открытым способом и являются одним из самых дешёвых в СНГ. В приходной части топливно-энергетического баланса Казахстана доля экибастузских углей составляет около 40% [1]. Однако зола их крайне тугоплавка-температура её

жидкоплавного состояния 1650-1750°C и даже выше, вследствие чего очень абразивна, а из-за высокого содержания кремнезёма – до 60% и более вызывает быстрый износ углеразмольного оборудования. Вследствии своих крайне неблагоприятных электрофизических свойств она плохо улавливается в электрофильтрах и выносится в большом количестве в атмосферу, сильно загрязняя окружающую среду весьма силикозоопасной пылью. К тому же высокая зольность экибастузских углей сильно ухудшает условие их зажигания. Но учитывая, что эта зола содержит до 30% глинозёма и ресурсы её огромны, она может служить постоянным сырьём для алюминиевого производства. Учёными Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова О.Г. Сословским и В.Г. Сальниковым изобретён «Энерготехнологический агрегат» [2]. Изобретение относится к энергетике и металлургии, а именно к агрегатам по сжиганию топлива и получению металлов, и может быть использовано для переработки высокозольных углей для получения энергетической и металлургической продукции.

В связи с этим открывается возможность повышения эффективности использования экибастузских каменных углей. Поэтому, по-видимому, никогда не исчезнет потребность Казахстана в добыче и переработке каменных углей. Следовательно, не уменьшится никогда значимость снижения электрической энергии, расходуемой на добычу одной тонны этих углей, так как горнодобывающие комплексы и электровозы, доставляющие из разрезов железнодорожные вагоны с углём на сортировочные станции, имеют электрические приводы.

В то же время достичь оптимальных удельных расходов электрической энергии на единицу продукции, обеспечить высокую производительность горнодобывающую комплексов, а также надёжную и безопасную их работу возможно только при электромагнитной совместимости технических средств в электрических сетях этого обособленного района Казахстана. Поэтому обеспечение электромагнитной совместимости региональных системных электрических сетей и электрических сетей потребителей электрической энергии (угольные разрезы, тяговые подстанции и т.д.) является с научной и практической точек зрения актуальной проблемой [3, 4].

Горнодобывающие предприятия Экибастузского угольного бассейна получают электрическую энергию от двух независимых источников:

- Экибастузской ТЭЦ;
- подстанции «Центральная» ОАО «КЕГОК».

На рис.1. приведена поясняющая схема электрических сетей, на которой изображены подстанции только с одной системой шин, хотя каждая из них имеет две системы шин, междусекционный масляный выключатель и два ввода питающих линий.

В соответствии с обозначенной проблемой экспериментальные исследования уровня электромагнитной совместимости технических средств проводились на подстанции «Центральная» и на Экибастузской ТЭЦ.

1.2. Подстанция «Центральная»

Экспериментальные исследования проводились при нормальной схеме работы подстанции:

- питание осуществлялось по двум ВЛ 220 кВ от Экибастузской ГРЭС-1;
- на Экибастузской ГРЭС-1 секции шин 220 кВ ОРУ объединены (секционный выключатель включен);
- с секций шин 110 кВ ОРУ питались четыре подстанции ведомственной принадлежности – горнодобывающих предприятий Экибастузского угольного бассейна: подстанция «Угольная», тяговые распределительные подстанции ТРП № 5, 6 и 7.

Единственным потребителем электроэнергии на шинах 110 кВ ОРУ являются предприятия Экибастузского угольного бассейна.

Несинусоидальность напряжения

Узел 1. Шины 110 кВ ОРУ

Коэффициенты искажения синусоидальности кривой фазных напряжений изменялись в течение суток от 0 до 6,26 %. Результат экспериментальных исследований представлен на рис.2 - 4 в виде гистограмм коэффициентов искажения синусоидальности кривых фазных напряжений. Результаты математической обработки измерений приведены в таблице 1.

Превышены нормы нормально и предельно допустимых значений коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения для электрических сетей 110 кВ. Требование ГОСТ 13109-97 не выполняется.

В связи с этим не обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 110 кВ ОРУ центра питания и сетей 110 кВ потребителей электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения.

Спектр гармонических составляющих фазного напряжения характеризуется в основном пятой, седьмой, одиннадцатой и тринадцатой гармониками. Однако коэффициенты k -ой гармонической составляющей напряжения не превышали в течение суток нормально и предельно допустимых значений. Требование ГОСТ 13109-97 не нарушены.

В связи с этим обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 110 кВ центра питания и сетей 110 кВ потребителей электрической энергии по коэффициенту k -ой гармонической составляющей напряжения.

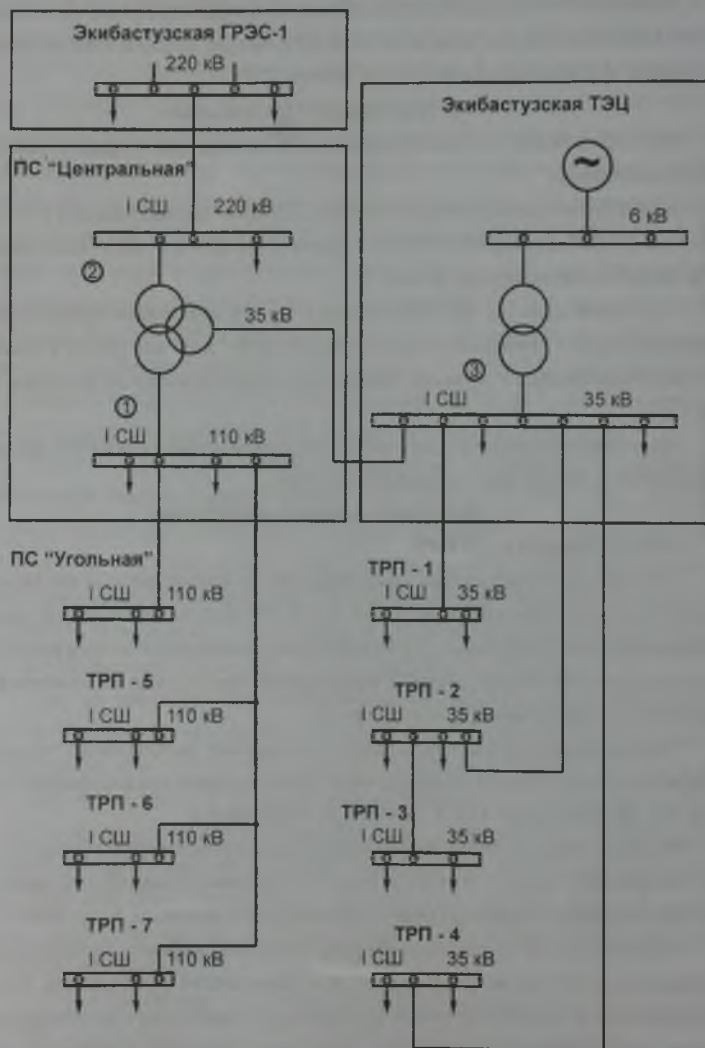


Рисунок 1

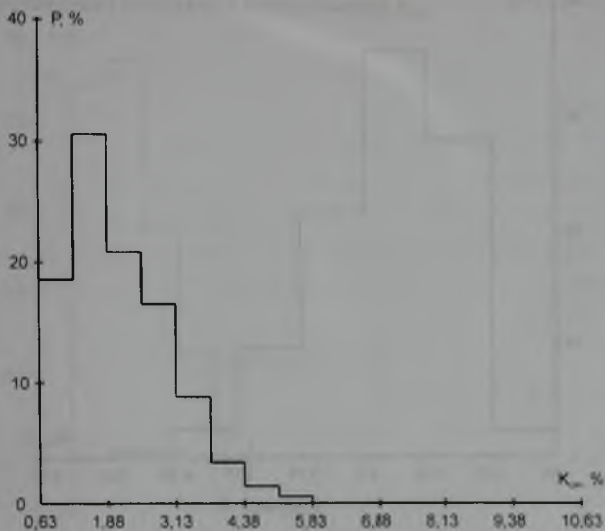


Рисунок 2

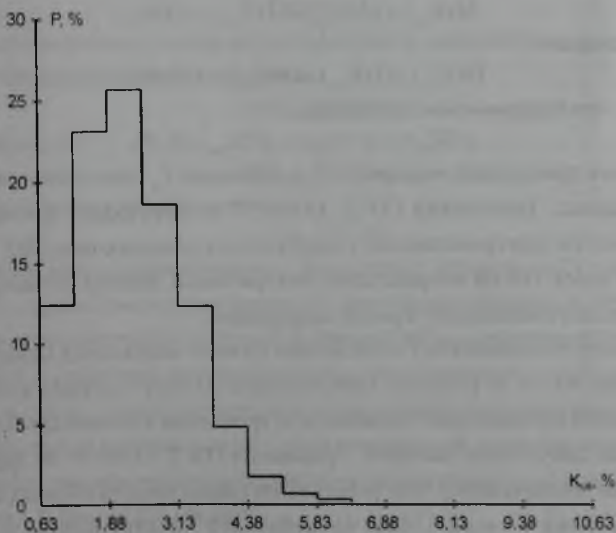


Рисунок 3

Узел 2. Шины 220 кВ ОРУ.

Коэффициенты искажения синусоидальности кривой фазных напряжений изменялись в течение суток от 0 до 2,8%. При этом наблюдались незначительные их различия по фазам.

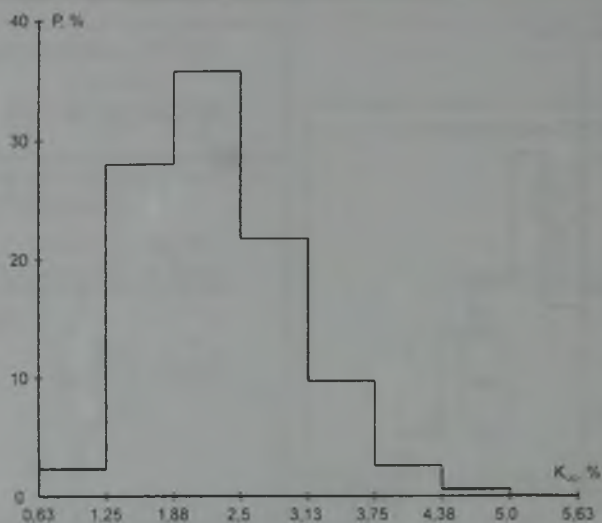


Рисунок 4

Математические ожидания коэффициентов искажения синусоидальности фазных напряжений

$$M(K_{UA}) \approx M(K_{UB}) \approx M(K_{UC}) \approx 1,39\%$$

Дисперсии

$$D(K_{UA}) \approx D(K_{UB}) \approx D(K_{UC}) \approx 0,31(\%)^2$$

Среднеквадратические отклонения

$$\sigma(K_{UA}) \approx \sigma(K_{UB}) \approx \sigma(K_{UC}) \approx 0,1\%$$

Время превышения нормально T_1 и предельно T_2 допустимых значений не зафиксировано. Требования ГОСТ 13109-97 не нарушены. В связи с этим обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 220 кВ центра питания и сетей 110 кВ потребителей электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения.

Спектр гармонических составляющих фазного напряжения характеризуется в основном пятой и седьмой гармониками. Однако коэффициенты k -ой гармонической составляющей напряжения не превышали в течение суток нормально и предельно допустимых значений. Требования ГОСТ 13109-97 не нарушены. В связи с этим обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 220кВ центра питания и сетей 110кВ потребителей электрической энергии по коэффициенту k -ой гармонической составляющей напряжения.

Несимметрия напряжения

Узел 1. Шины 110 кВ ОРУ

Коэффициент несимметрии напряжения 110кВ по обратной последовательности напряжения в течение суток изменялся в пределах от 0 до 3,44%.

На рис.5. приведена гистограмма коэффициента K_{2U} .

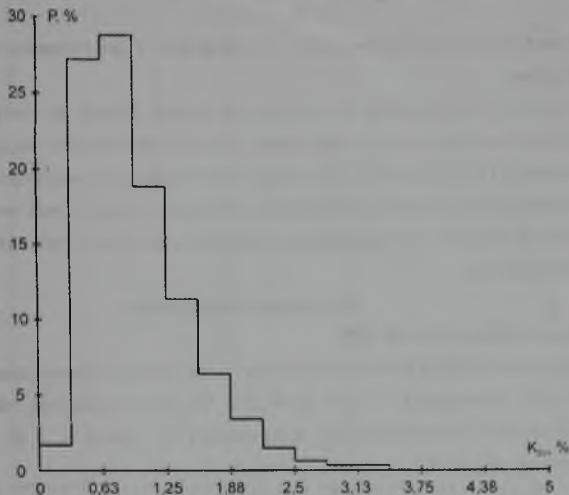


Рисунок 5

Математическое ожидание коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности составило

$$M(K_{2U})=0,95\%$$

Дисперсия

$$D(K_{2U})=0,25(\%)^2$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma(K_{2U})=0,5\%.$$

Время превышения нормально допустимого значения за 24 час составило $T_1=5,14\%$, а время превышения предельно допустимого значения $T_2=0\%$.

Качество электрической энергии на шинах 110кВ по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97. В связи с этим не обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 110кВ центра питания и сетей 110кВ потребителей электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения обратной последовательности.

Узел 2. Шины 220 кВ ОРУ

Коэффициент несимметрии напряжения 220кВ по обратной последовательности напряжения в течение суток изменялся в пределах от 0 до 0,94%.

Математическое ожидание:

$$M(K_{2U})=0,17\%$$

Дисперсия

$$D(K_{2U})=0,01(\%)^2$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma(K_{\text{н}}) = 0,1\%$$

Время превышения нормально T_1 и предельно T_2 допустимых значений не зафиксировано.

Качество электрической энергии на шинах 220кВ по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности соответствует требованиям ГОСТ 13109-97. Поэтому обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 220кВ центра питания и сетей 110кВ потребителей электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности.

Отклонение напряжения

Узел 2. Шины 220 кВ ОРУ

На шинах 220кВ ОРУ установившееся отклонение фазного напряжения в течение суток изменялось от 3,75 до 8,75%. На рис.6 приведена гистограмма установившегося отклонения dU_A напряжения U_{AO} фазы А, а на рис.7 и 8 соответственно dU_B и dU_C .

Таблица 1

Коэффициенты искажения синусоидальности кривой фазного напряжения 110кВ на подстанции «Центральная»

Параметры распределения коэффициента искажения синусоидальности напряжения по фазам	Напряжение		
	U_{AO}	U_{BO}	U_{CO}
Математическое ожидание, $M(K_{U_i}), \%$	2,08	2,32	2,31
Дисперсия $D(K_{U_i}), (\%)^2$	0,83	0,92	0,48
Среднеквадратическое отклонение $\sigma(K_{U_i}), \%$	0,91	0,96	0,69
Время превышения нормально допустимого значения за сутки, $T_1, \%$	46,76	59,06	62,98
Время превышения предельно допустимого значения за сутки, $T_2, \%$	3,64	5,68	2,02

Результаты математической обработки измерений приведены в таблице 2.

Анализ этих результатов показал, что качество электрической энергии на шинах 220кВ по установившемуся значению отклонения напряжения не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97. Из-за этого не обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 220кВ центра питания и сетей 110кВ потребителей электрической энергии по установившемуся значению отклонения напряжения.

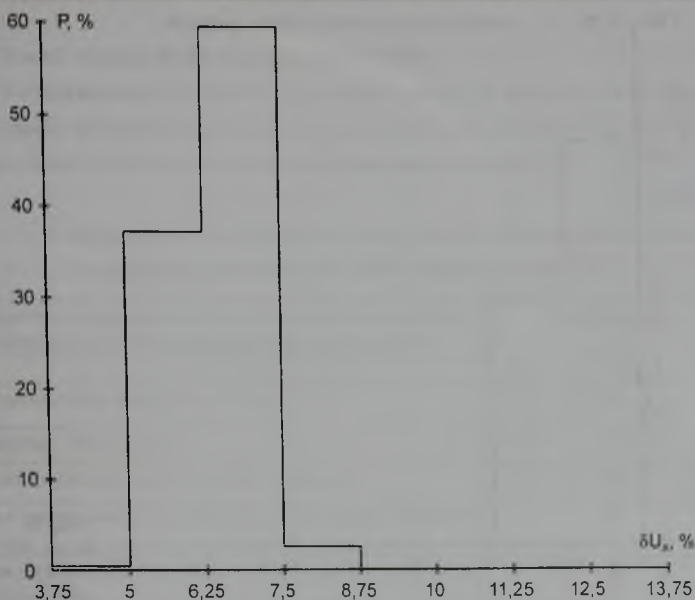


Рисунок 6

Таблица 2

Установившееся отклонение фазного напряжения 220кВ на подстанции «Центральная»

Параметры распределения установившегося отклонения фазного напряжения	Напряжение		
	U_{AO}	U_{BO}	U_{CO}
Математическое ожидание установившегося отклонения фазного напряжения, $M(\delta U_i), \%$	6,44	6,11	6,44
Дисперсия, $D(\delta U_i), (\%)^2$	0,45	0,37	0,38
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma(\delta U_i), \%$	0,67	0,61	0,62
Время превышения нормативно допустимого значения за сутки, $T_1, \%$	99,8	100	99,5
Время превышения предельно допустимого значения за сутки, $T_2, \%$	0	0	0

Узел 1. Шины 110 кВ ОРУ

Качество электрической энергии на шинах 110кВ по установившемуся значению отклонения напряжения не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97. Поэтому также не обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 110кВ центра питания и сетей 110кВ потребителей электрической энергии по установившемуся значению отклонения напряжения.

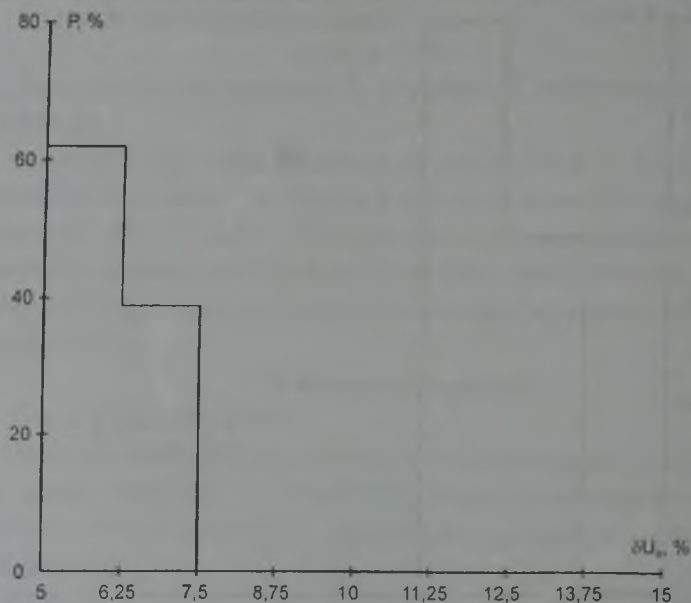


Рисунок 7

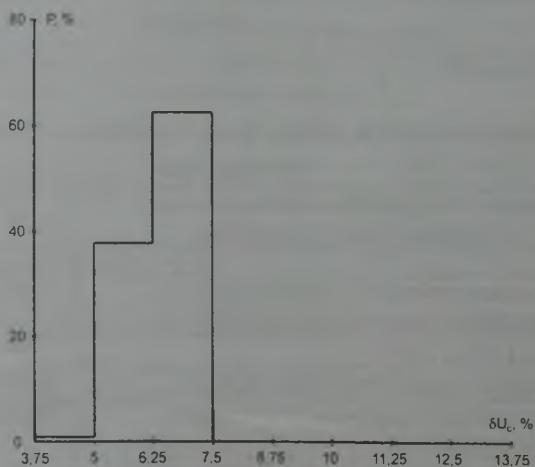


Рисунок 8

1.3. Экибастузская ТЭЦ

Экспериментальные исследования проводились на шинах 35кВ ОРУ и шинах 6кВ ЗРУ. С шин 35кВ ОРУ питались тяговые распределительные подстанции ТРП № 1, 2, 3, 4 ведомственной принадлежности - горнодобывающих предприятий, а также водоочистные сооружения, аэропорт, пищекомплекс и угольный разрез Майкаинский.

Несинусоидальность напряжения

Узел 3. Шины 35кВ Экибастузской ТЭЦ

Коэффициент искажения синусоидальности кривой междуфазных напряжений изменялся в течение суток в пределах от 0 до 5%. Результаты математической обработки измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты искажения синусоидальности кривой междуфазных напряжений на шинах 35кВ ОРУ Экибастузской ТЭЦ

Параметры распределения коэффициента искажения синусоидальности междуфазных напряжений	Напряжение		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
Математическое ожидание, $M(K_{ин}), \%$	3,16	3,2	2,93
Дисперсия, $D(K_{ин}), (\%)^2$	0,61	0,75	0,56
Среднеквадратичное отклонение, $\sigma(K_{ин}), \%$	0,78	0,87	0,75
Время превышения нормально допустимого значения за сутки, $T_1, \%$	0	0	0
Время превышения предельно допустимого значения за сутки, $T_2, \%$	0	0	0

Превышения нормально и предельно допустимых значений этого коэффициента не отмечено. Качество электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения соответствует требованиям ГОСТ 13109-97.

В связи с этим обеспечивается электромагнитная совместимость по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения сетей 35кВ, подключенных к Экибастузской ТЭЦ, и сети 6кВ собственных нужд этой электростанции. Проведённые измерения коэффициентов искажения синусоидальности кривых междуфазных напряжений в сети 6кВ показали, что они значительно меньше подобных коэффициентов на шинах 35кВ. Это подтверждает электромагнитную совместимость сетей 35 и 6кВ.

Спектр гармонических составляющих напряжения 35кВ представлен в основном пятой, седьмой и одиннадцатой гармониками. В таблице 4. приведены максимальные измеренные действующие значения фазных напряжений и их гармонические составляющие.

Таблица 4

Максимальные измеренные действующие значения фазных напряжений и их гармонических составляющих на шинах 35 кВ ОРУ Экибастузской ТЭЦ

Номер гармоники	Значения гармонических составляющих фазных напряжений					
	U_{AO}		U_{BO}		U_{CO}	
	кВ	%	кВ	%	кВ	%
1	20,72	100,00	20,62	100,00	20,8	100,00
5	0,21	1,01	0,21	1,02	0,14	0,67
7	0,04	0,34	0,7	0,68	0,7	0,34
11	0,07	0,68	0,7	0,68	0,7	0,34

Коэффициенты k -ой гармонической составляющей фазных напряжений $K_{U_{(5)}}$, $K_{U_{(7)}}$ и $K_{U_{(11)}}$ не превышают нормально и предельно допустимых значений. Требования ГОСТ 13109-97 не нарушены.

В связи с этим обеспечивается электромагнитная совместимость по коэффициенту k -ой гармоники составляющей напряжения сетей 35кВ, подключенных к Экибастузской ТЭЦ, и сети 6кВ собственных нужд электростанции. Проведённые измерения гармонических составляющих фазных напряжений в сети 6кВ подтверждают этот вывод.

Несимметрия напряжения

Узел 3. Шины 35 кВ Экибастузской ТЭЦ

Коэффициент несимметрии напряжения 35кВ по обратной последовательности напряжения в течение суток изменялся в пределах от 0 до 1,88%.

Математическое ожидание коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

$$M(K_{2U})=1,16\%$$

Дисперсия

$$D(K_{2U})=0,02(\%)^2$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma(K_{2U})=1,16\%$$

Превышение нормально и предельно допустимых норм этого коэффициента не отмечено. Поэтому качество электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения 35кВ по обратной последовательности соответствует требованиям ГОСТ 13109-97. В связи с этим обеспечивается электромагнитная совместимость сетей 35кВ, подключенных к Экибастузской ТЭЦ, и сетей 6кВ собственных нужд этой электростанции. Проведённые измерения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности 6кВ этой ТЭЦ подтвердили этот вывод.

Отклонения напряжения

Узел 3. Шины 35 кВ Экибастузкой ТЭЦ

Установившееся значение отклонения фазного напряжения 35кВ изменялось в течении суток от 0 до 7,5%.

Математическое ожидание установившегося значения отклонения фазного напряжения (наибольшее из трёх фаз)

$$M(U_c)=4,56 \%$$

Дисперсия

$$D(U_c)=0,88 (\%)^2$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma(U_c)=0,94 \%$$

Превышения нормально и предельно допустимых значений установившегося отклонения напряжения не отмечено. Поэтому качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения соответствует требованиям ГОСТ 13109-97.

В связи с этим обеспечивается электромагнитная совместимость по установившемуся значению отклонения напряжения сетей 35кВ, подключённых к Экибастузской ТЭЦ, и сетей 6кВ собственных нужд этой электростанции. Проведённые измерения установившегося отклонения напряжения в сети 6кВ подтверждают этот вывод [5].

Оценка уровней электромагнитной совместимости электрических сетей в Экибастузском угольном бассейне

Проведённые экспериментальные исследования уровней электромагнитной совместимости региональных электрических сетей и сетей потребителей Экибастузского угольного бассейна позволяют сделать следующие выводы:

1. Качество электрической энергии на шинах 110кВ ОРУ подстанции «Центральная» по установившемуся значению отклонению напряжения, по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности не соответствует требованию ГОСТ 13109-97. Из-за этого не обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 110кВ центра питания и сетей 110кВ потребителей электрической энергии.

2. Качество электрической энергии на шинах 220кВ ОРУ подстанции «Центральная» по установившемуся значению отклонения напряжения не соответствует требованию ГОСТ 13109-97. Из-за этого не обеспечивается электромагнитная совместимость сборных шин 220кВ центра питания и сетей 110кВ потребителей электрической энергии по установившемуся значению отклонения напряжения.

3. Значения коэффициентов искажения синусоидальности кривой напряжения 110кВ коэффициента несимметрии напряжения 110кВ по обратной

последовательности значительно превышает аналогичные показатели на стороне 220кВ. Это наглядно показывает, что источник искажений находится на стороне 110кВ, т.е. источником искажений является нагрузка подстанций ТРП - 5, 6, 7 и подстанции «Угольная». Если бы искажения исходили со стороны высокого напряжения, то за счёт сглаживающего эффекта индуктивности трансформатора на низкой стороне они были бы меньше по величине.

4. Повышенные значения напряжения в воздушных линиях ВЛ 220кВ и ВЛ 110кВ Экибастузского угольного бассейна обусловлены по-видимому не оптимальными режимами их работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чокин Ш.Ч. Энергетика и водное хозяйство Казахстана. – Алматы: Казахстан, 1975. – 304 с.
2. А.с. 1576777 СССР. Энерготехнологический агрегат /Сосновский О.Г., Сальников В.Г. (СССР). Опубл. 30.03.90. Бюл. № 12. – С.4
3. Горюнов И.Т. Проблемы обеспечения качества электрической энергии / Горюнов И.Т., Мозгалев В.С., Богданов В.А. – Электрические станции. – 2011. – № 1. – С.16-20.
4. Литвак В.В. Электроэнергия: экономия, качество: Учеб. Пособие. /Литвак В.В., Маркман Г.З., Харлов Н.Н. – Томск: Изд-во STT, 2001. – 196 с.
5. Иванова Е.В. Высшие гармоники в электрической сети производства водорода /Иванова Е.В., Пакиж О.Ю. //Энергоресурсосберегающие технологии Прииртышья: Сб. тр. Междн. Научно-прак. Конф. – Павлодар: Изд-во Павл. Универс., 2001. – С. 26-28.