

УДК 622.311.1 : 658.26

Ю.М. Невретдинов, Г.П. Фастий, В.В. Ярошевич, А.С. Карпов

Анализ результатов мониторинговой регистрации показателей качества электроэнергии

Yu.M. Nevretdinov, G.P. Fastiy, V.V. Yaroshevich, A.S. Karpov

Analysis of monitoring registration of electric power quality indices

Аннотация. Представлен анализ мониторинговой регистрации показателей качества электрической энергии в электрических сетях систем электроснабжения промышленных предприятий, населенных пунктов городского типа. Выявлены проблемы, возникающие при определении степени влияния каждого потребителя на снижение качества электроэнергии.

Abstract. The analysis of monitoring registration of electric power quality indices in power supply schemes of the industrial enterprises and urban-type settlements has been presented. The problems arising at definition of each consumer participation extent in decrease of the electric power quality have been considered.

Ключевые слова: качество электроэнергии, подстанция, измерения в действующей высоковольтной сети, локализация источников искажения, электромагнитная совместимость

Key words: quality of electric power, substation, measurement in operating high-voltage network, localization of distortion sources, electromagnetic compatibility

1. Введение

Центром физико-технических проблем энергетики Севера (ЦФТПЭС) КНЦ РАН с 2007 г. выполнена серия работ по регистрации показателей качества электроэнергии (ПКЭ) и выявлению источников искажений в системах электроснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов городского типа, а также проведен энергоаудит распределительной сети Кольского научного центра. Общая длительность регистрации составила более 2 500 часов; накоплен значительный опыт использования в процессе мониторинговых регистраций сертифицированных приборов серии "Парма".

В настоящее время широкое распространение получили электроприемники с повышенными требованиями к качеству электроэнергии. Развитие промышленности сопровождается увеличением мощности технологических установок и внедрением специфической нагрузки, которая может являться источником искажений напряжения в общих точках подключения потребителей. При обнаружении таких источников возникают трудности, обусловленные незаинтересованностью промышленных предприятий в решении данной проблемы.

2. Регистрация ПКЭ на подстанции 150/110/35/6 кВ

В ходе исследования определялись показатели качества электроэнергии на шинах подстанции (ПС) и источник искажений.

Подстанция, питающая г. Ковдор, является основной в группе подстанций и включает распределительные устройства (РУ) напряжением 150, 110, 35 и 6 кВ (рис. 1). Она обеспечивает распределение электроэнергии и связь сетей 110 и 150 кВ через автотрансформатор АТДТГ 90000/158/121/6,6.

Для рассматриваемого участка сети характерно: 1) значительное удаление (более 200 км) от ближайших электростанций и узла подключения к магистральной сети; 2) гальваническая связь между системами шин 6 кВ через реакторы; 3) смешанный характер нагрузки на каждой из систем шин 6 кВ. Потребителями электроэнергии являются городская сеть, ОАО "Ковдорский ГОК", апатито-бадделейтовая фабрика, ОАО "Ковдорслюда", ТЭЦ, вермикулитовая фабрика, железная дорога и городские предприятия. Задача обнаружения источника искажений возникла в результате предъявления горсовету претензии к поставщику электрической энергии по поводу ее качества.

Сложность исследований на подстанции определяется вероятностью эмиссии искажений со стороны сетей 150 и 110 кВ, а также от нагрузки, подключенной к распределительным устройствам 35 и 6 кВ. Так как городская нагрузка подключена к четырем системам шин 6 кВ, искажающее действие может проявляться по любому из 60 подключений. Установлено, что режим искажающих действий имеет разносторонний и нерегулярный характер. Кроме того, в процессе регистраций менялся режим работы РУ 6 кВ: отключение систем шин, переключения потребителей, изменение графиков нагрузок.

допустимые и предельно допустимые значения за все время регистрации составляет 100 %. На рис. 2 приведены примеры характерных изменений напряжения, зарегистрированных на 2с-6 в течение суток в разные дни.

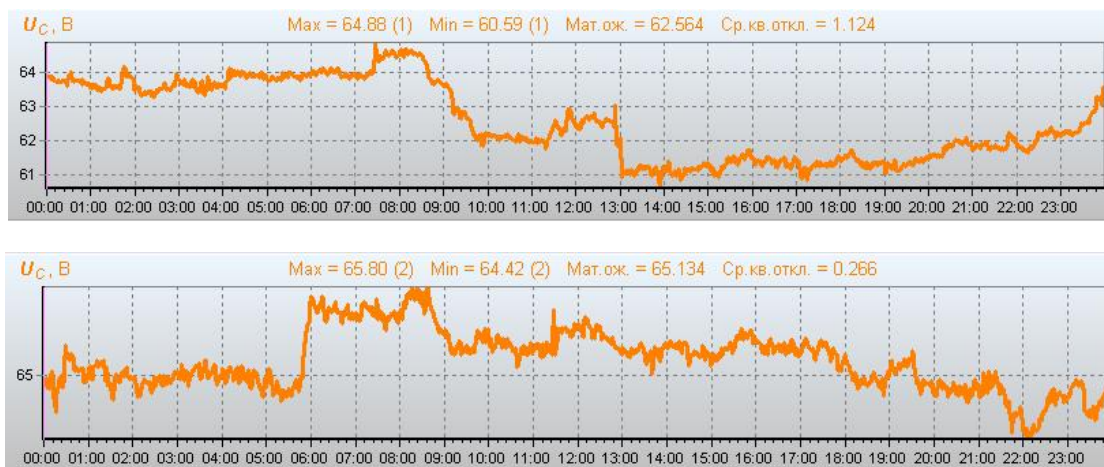


Рис. 2. Изменение напряжений на фазе С (регистрация с помощью "Пармы" РК3.01)

Из рис. 2 видно, что величина отклонения напряжения достаточно велика и достигает $+12 \div +14$ %. Отклонения имеют несистемный характер и вызваны значительными изменениями мощности нагрузки, а также переключениями РПН. Регистрации показали, что между искажающими воздействиями возможны перерывы (более двух суток).

Регистрации в режиме мониторинга позволили установить распределение уровней искажений синусоидальности напряжения на шинах 6 кВ. На 3с-6 зарегистрированы наибольшие систематические искажения с превышением предельно допустимых значений в широком диапазоне четных гармоник (с 6-й по 20-ю), а также превышение нормально допустимых значений на нечетных гармониках (3, 7, 15 и 21-й). Систематизация результатов гармонических искажений приведена в таблице.

Таблица. Результаты измерений гармонических искажений напряжения

№ п/п	Номер гармоники	ГОСТ 13109-97	Изменение коэффициента гармонических составляющих напряжения, %	Система шин
1	3	0,75	0,66÷1,03	2с-150
2		1,5	0,54÷2,09	2с-6
3		1,5	2,35÷4,57	3с-6
4	6	0,3	0,27÷2,29	3с-6
5	7	1,0	0,81÷1,02	2с-150
6		3,0	3,01÷9,79	3с-6
7	8	0,3	0,33÷0,98	3с-6
8	12	0,2	0,05÷0,41	2с-6
9		0,2	0,19÷1,05	3с-6
10	14	0,2	0,13÷0,54	3с-6
11	15	0,3	0,26÷0,32	2с-35
12		0,3	0,19÷0,58	3с-6
13	16	0,2	0,04÷0,48	3с-6
14	18	0,2	0,13÷0,25	2с-35
15		0,2	0,02÷0,58	3с-6
16	20	0,2	0,01÷0,37	3с-6
17	21	0,2	0,24÷0,25	2с-150
18		0,2	0,22÷0,29	2с-35
19		0,2	0,04÷0,91	3с-6

Как видно из таблицы, искажение синусоидальности напряжения на шинах 35 и 150 кВ значительно меньше, чем на шинах 6 кВ. Следовательно, источник искажений подключен к шинам 6 кВ.

На остальных системах шин не выявлено изменений, превышающих нормально допустимые значения (Невретдинов и др., 2008а, б).

Исходя из сопоставления результатов одновременной регистрации на гальванически связанных (через токоограничивающие реакторы) системах шин 3с-6 и 4с-6 (рис. 1, Р-№6 и Р-№8), можно сделать вывод, что искажения присутствуют в основном на 3с-6. В случае эмиссии искажений со стороны 35 и 150 кВ через силовой трансформатор Т-2 искажения на системах шин 3с-6 и 4с-6 при равномерном распределении нагрузки были бы примерно одинаковы.

Искажения синусоидальности напряжения на 3с-6 зарегистрированы как в рабочие, так и в выходные дни. При этом искажения на четных гармониках имеют систематический и длительный характер. На рис. 3 приведены графики изменения четных гармоник напряжения, превышающих нормально допустимое (0,3) и предельно допустимое (0,45) значения для 6-й и 8-й гармоник. Длительность (выходы) предельно допустимых значений достигала 99±100 % в течение суток.

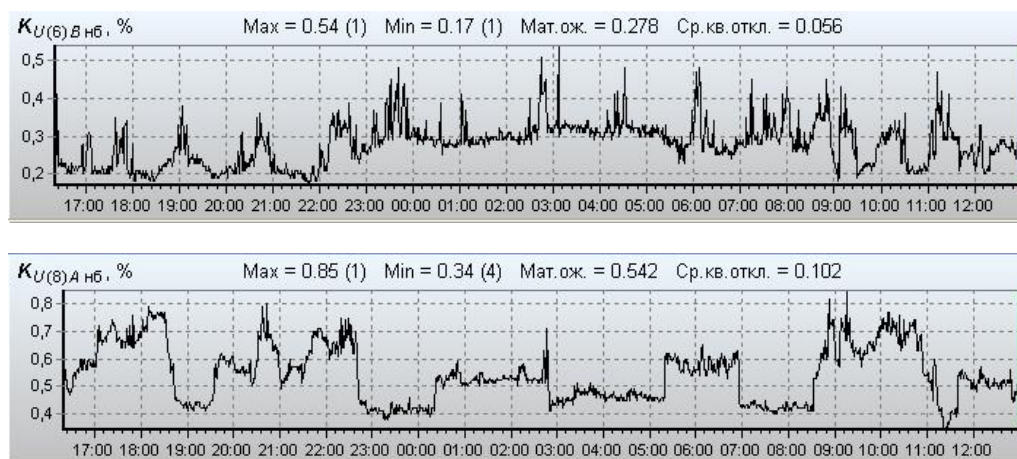


Рис. 3. Изменение 6-й и 8-й гармоник напряжения на 3с-6

Сопоставление спектральных составов напряжения на шинах 6, 35 и 150 кВ подстанции позволило локализовать шины с источниками искажений ПКЭ (в основном систему шин 3с-6).

Для дальнейшей локализации источников искажений с помощью регистрации качества напряжения необходима одновременная регистрация в точках сети, разделенных каким-либо элементом, например, регистрация на шинах 6 кВ и на шинах подстанции потребителя. В связи с невозможностью проведения одновременных (синхронизированных) измерений была выполнена регистрация токов на вводных выключателях и выключателях присоединений в РУ 6 кВ. Гармонический состав тока в сравнении со спектром напряжения непосредственно не позволяет определить источник искажения, т.к. он определяется относительно переменной величины – тока в присоединении. Поэтому локализация источника искажений выполнена по результатам сопоставления гармонических искажений токов в присоединениях и напряжения на шинах с учетом мощности искажающих воздействий: $W_{Гк} \sim (I_{Гк})^2$, где $I_{Гк}$ – ток гармоники. Анализ распределения мощности гармонических искажений также позволил выделить присоединения с наибольшей мощностью четных гармоник.

Результаты сопоставления полученных данных свидетельствуют о том, что изменения напряжения на шинах 150 кВ не могут являться причиной ухудшения ПКЭ в части отклонений напряжения у потребителя. Отклонения напряжения на шинах 35 кВ в основном определяются изменениями нагрузки и также находятся в пределах нормативных требований. Наибольшие установившиеся отклонения напряжения имеются на шинах 6 кВ, что объясняется неравномерностью графика нагрузки ГОК. Преимущественное влияние на отклонения напряжений оказывает нагрузка, подключенная к системам шин 2с-6 и 3с-6.

По результатам энергетического обследования спектра токов, в присоединениях источники гармонических искажений присутствуют на фидерах 42-48 3с-6. Наиболее мощный источник четных гармоник подключен по фидеру 48 3с-6. Таким образом, в результате исследований выявлены характер и наиболее мощный источник искажающих воздействий. Однако результирующее искажение определяется наложением искажающих и нормализующих действий электроустановок всех потребителей и питающей сети. Поэтому объективная оценка виновности конкретного потребителя должна определяться с учетом

степени влияния остальных подключений. Решение этой задачи затруднено вследствие ограниченности возможностей приборов "Парма" и отсутствия соответствующей нормативной базы.

3. Регистрация ПКЭ на подстанции, осуществляющей электроснабжение промышленного предприятия

На подстанции 110/10 кВ, питающей предприятие с мощными установками, обладающими нелинейными характеристиками, которые могут являться источником искажений ПКЭ, обнаружен повышенный расход ресурса силовых трансформаторов.

В ходе проведения данного исследования необходимо было определить степень влияния нагрузок, выявить причины повышенного износа силовых трансформаторов на ПС 110/10 кВ и дать рекомендации по ограничению опасных электромагнитных воздействий.

Основным потребителем подстанции является крупное промпредприятие. По некоторым отходящим фидерам 10 кВ осуществляется электроснабжение городских потребителей.

На момент измерений трансформатор Т-2 был выведен из работы. Системы шин 10 кВ запитаны от трансформатора Т-1, поэтому секционные выключатели находились во включенном состоянии. Системы шин (I-IV с.ш.) были попарно гальванически связаны через секционные (рис. 4, № 5, 6) выключатели (рис. 4), следовательно, регистрация ПКЭ по напряжению на каждой системе шин отдельно была невозможна и не позволила локализовать источник искажений. Для его выявления выполнена регистрация изменения характеристик перетоков энергии и токов. Данные регистрации произведены на трансформаторах токов вводных (рис. 4, № 1-4) и секционных выключателях.

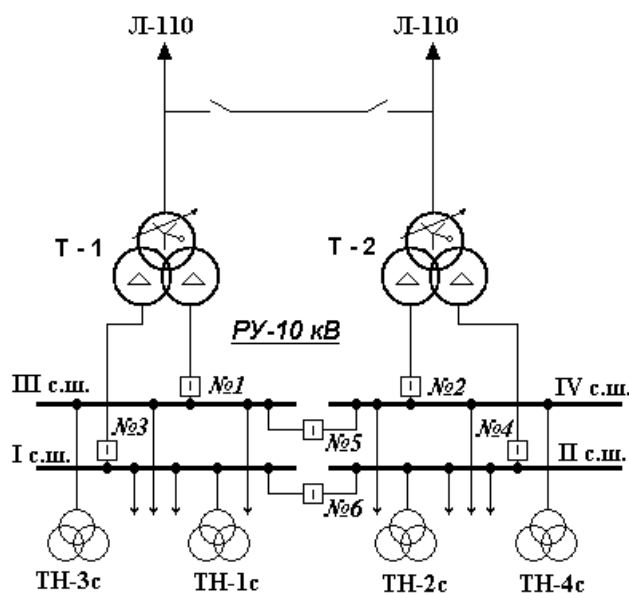


Рис. 4. Принципиальная схема подстанции, осуществляющей электроснабжение промышленного предприятия

В режиме мониторинга систематически регистрировались искажения синусоидальности напряжения с появлением большого числа четных и нечетных гармоник. Так, на объединенных III и IV системах шин зарегистрировано постоянное наличие гармоник до 40-й. Величина гармоник составила десятые или сотые (26-я гармоника и выше) доли процента. Превышали величину 1 % 3, 5 и 7-я гармоники. Превышение нормально допустимого уровня зарегистрировано для 15-й и 21-й гармоник с выходом менее 2 % от времени регистрации. Превышений предельно допустимого уровня не отмечено.

По данным длительной регистрации, после разделения шин гармонический состав искажений напряжения на III и IV системах шин не изменился.

В режиме раздельной работы регистрация на I системе шин показала повышение суммарного коэффициента искажения синусоидальности напряжения до 3 %. Однако выход превышений нормально допустимого уровня для всех гармоник равен нулю.

Регистрация на II системе шин также показала увеличение суммарного коэффициента искажения синусоидальности напряжения до 3 %. В распределении искажений по гармоникам зафиксировано

превышение нормально допустимого уровня для 28-й (выходы более 5 % от времени регистрации) и 30-й гармоник (выходы до 1,5 %).

Таким образом, гармонические искажения напряжения, превышающие нормально допустимые уровни, зарегистрированы для 15-й и 21-й гармоник на III и IV системах шин и для 28-й и 30-й гармоник – на II системе шин. Выходы превышений составляют 2-5 % от времени регистрации.

Регистрации токов нагрузки выполнены в цепях трансформаторов тока вводных (полный ток нагрузки на одну из обмоток 10 кВ силового трансформатора) и секционных выключателей (в ремонтном режиме работы с одним силовым трансформатором), а также выключателей присоединений к каждой из систем шин 10 кВ. Результаты регистрации показали, что токи нагрузки I и II систем шин имеют медленно меняющийся характер и достигают 780±60 А. Токи III и IV систем шин достигали 500 А и более. Зарегистрированы резкие повышения тока нагрузки III и IV систем шин (до 600 А). По данным регистратора "Парма" РК6.05, ударные изменения повторялись с высокой интенсивностью и сопровождались значительным увеличением колебательных отклонений частоты.

Появление ударных токов происходит преимущественно после 17 часов и в ночное время. Отсутствие таких воздействий отмечено в выходные дни. Это свидетельствует о нахождении источника искажений на промышленном предприятии. Проведенные регистрации позволили исключить нагрузку, подключенную к I и II системам шин, из состава источников интенсивной ударной нагрузки.

Зарегистрированные искажения синусоидальности вызывают увеличение потерь намагничивания и некоторое увеличение потерь электроэнергии, но не являются опасными для силовых трансформаторов. Поэтому проведение специальных мероприятий по снижению гармонических искажений с целью уменьшения негативных влияний на силовые трансформаторы, а также локализация источников искажений синусоидальности в связи с отсутствием опасности для силовых трансформаторов не требуются. Следует отметить, что источники искажений подключены к II-IV системам шин 10 кВ.

В результате регистрации выявлено, что при относительно небольших отклонениях ПКЭ по напряжению возможны опасные токовые воздействия, повышающие износ силового оборудования, в том числе ударные изменения силы тока, а также изменения частоты и синусоидальности тока.

4. Измерения ПКЭ на подстанциях, осуществляющих электроснабжение городов и поселков городского типа

В процессе обследования нагрузки потребителей, подключенных к подстанциям, были определены варианты ее перераспределения и контроля ПКЭ.

Обследуемые участки сети 6 кВ (рис. 5) и 10 кВ (рис. 6), подключенные к ПС-1 и ПС-2, содержат 43 трансформаторные подстанции (ТП) и 32 комплектные трансформаторные подстанции (КТТП) и имеют сложную структуру, включающую несколько закольцованных участков. В сети имеется большое число узлов с возможностью перераспределения потоков энергии. Тщательное обследование этих участков сети с регистрацией распределения потоков энергии в режиме мониторинга (непрерывная регистрация в течение недели на каждом присоединении) на протяжении одного года практически невозможно даже с использованием нескольких измерительных комплексов. Поэтому была разработана методика одновременной регистрации потоков электроэнергии и ПКЭ в нескольких точках сети и в первую очередь проведены регистрации на присоединениях к шинам подстанций, а затем выполнены выборочные регистрации на подключенных ТП.

Подстанция ПС-1 включает РУ 110, 35, 6 кВ и два силовых трансформатора. Сеть 6 кВ секционирована на два участка, к которым подключены разнообразные потребители (рис. 5).

Подстанция ПС-2 включает РУ 35, 10 кВ и два силовых трансформатора. К шинам РУ 10 кВ подключены разнообразные потребители (рис. 6).

Общий объем регистраций составил более 1000 часов. При этом регистрации выполнялись одновременно в трех точках (на трех присоединениях или на вводе и двух присоединениях). Это позволило повысить точность контроля распределения электроэнергии.

Контроль показателей качества электроэнергии в режиме мониторинга выявил наличие искажений напряжения (на обеих подстанциях) по ряду показателей: отклонению установившегося напряжения и искажению синусоидальности (коэффициентам синусоидальности и гармонических составляющих).

По показателю отклонения установившегося напряжения нарушения зарегистрированы на обеих подстанциях. На I и II системах шин 10 кВ ПС-2 зарегистрированы только систематические нарушения нормально допустимого уровня напряжения с выходом до 100 %. Наиболее длительные отклонения зарегистрированы на II системе шин 10 кВ с выходом не менее 38 %. Нарушений предельно допустимого уровня не зарегистрировано.

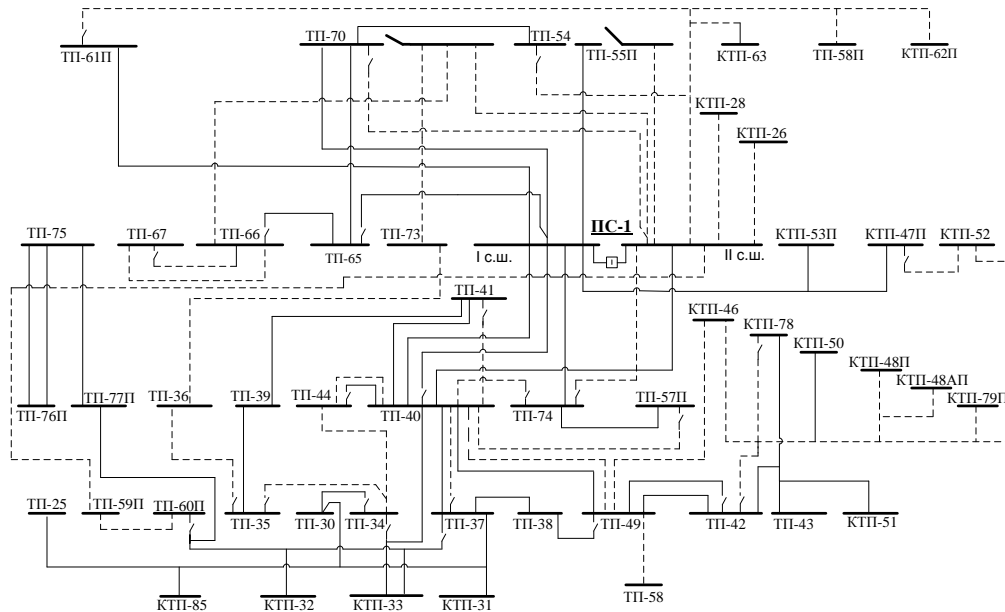


Рис. 5. Схема распределительной сети 6 кВ, подключенной к подстанции ПС-1

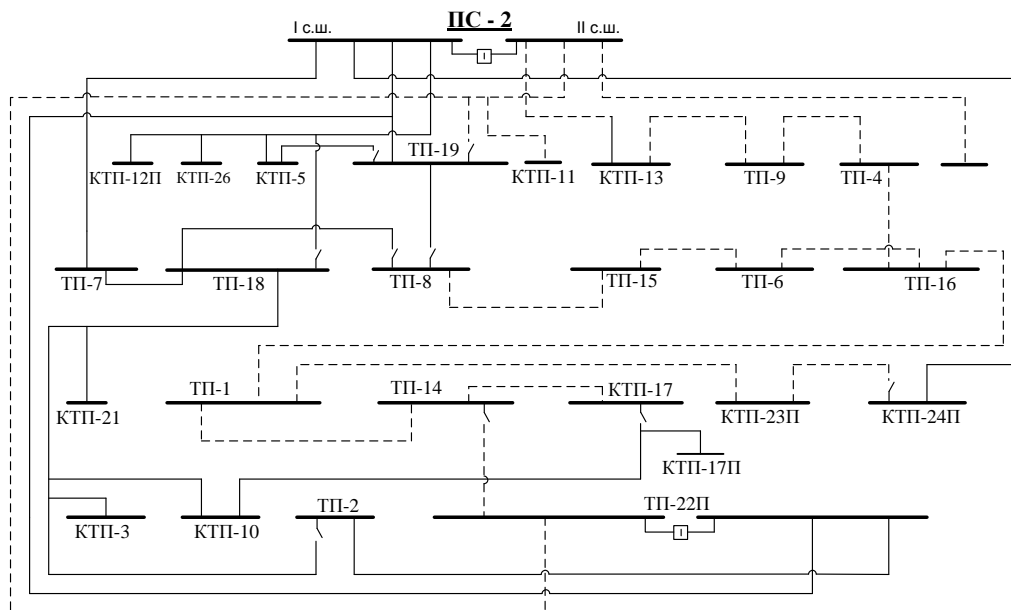


Рис. 6. Схема распределительной сети 10 кВ, подключенной к подстанции ПС-2

Нарушения коэффициента искажений синусоидальности напряжения зарегистрированы на I и II системах шин 6 кВ с превышением как нормально допустимых, так и предельно допустимых уровней. Коэффициент искажений синусоидальности превышал 9 %.

При этом коэффициент гармонических составляющих напряжения на I системе шин 6 кВ превышал предельно допустимый уровень для 14 гармоник. В том числе многократные нарушения зарегистрированы на пяти гармониках: на 15-й – почти в 10 раз; на 9-й – в 8 раз; на 12-й – в 6 раз; на 10-й и 11-й – в 3 раза.

Коэффициент гармонических составляющих напряжения на II системе шин 6 кВ превышал предельно допустимый уровень для 10 гармоник. В том числе многократные нарушения зарегистрированы на 9-й гармонике. Предельно допустимый уровень превышался более чем в пять раз.

Нарушения коэффициента искажений синусоидальности напряжения зарегистрированы на I и II системах шин 10 кВ с превышением нормально допустимого уровня. На II системе шин 10 кВ также

зарегистрированы нарушения предельно допустимых уровней. Коэффициент искажений синусоидальности превышал 8 %.

При этом коэффициент гармонических составляющих напряжения на I системе шин 10 кВ превышал предельно допустимый уровень для 13 гармоник. В том числе многократные нарушения зарегистрированы на четырех гармониках: на 9-й – почти в 9 раз; на 15-й – почти в 8 раз; на 3-й и 21-й – в 3 раза.

Коэффициент гармонических составляющих напряжения на II системе шин 10 кВ превышал предельно допустимый уровень для 11 гармоник. В том числе многократные нарушения зарегистрированы на четырех гармониках: на 6-й и 9-й – около 6 раз; на 3-й и 21-й – немногим менее 3 раз. Искажения синусоидальности напряжения на шинах 10 кВ несколько ниже, чем на шинах 6 кВ.

В результате проведенных регистраций были выявлены нарушения ПКЭ и несколько источников искажений. В связи с этим определение ответственности искажающих потребителей должно базироваться на степени участия каждого потребителя в снижении качества электроэнергии.

5. Измерения ПКЭ на ТП КНЦ РАН

Регистрация показателей качества электроэнергии была проведена в процессе энергоаудита организации.

Схема распределительной сети 10 кВ, снабжающая электроэнергией потребителей КНЦ РАН, приведена на рис. 7. Точки подключения регистраторов "Парма" РК 3.01 выбирались произвольно с учетом загруженности трансформаторов.

Регистрации проводились на выводах трансформаторов (со стороны подключения потребителей 220 В) трансформаторных подстанций ТП-63 (Т-2), ТП-70 (Т-1 и Т-2). Зарегистрированы искажения напряжения по ряду показателей: отклонению установившегося напряжения и искажению синусоидальности (коэффициентам синусоидальности и гармонических составляющих).

На шинах ТП зарегистрированы отклонения уровня напряжения как в сторону снижения, так и в сторону увеличения. Длительность отклонений напряжения всегда превышала нормально допустимые значения и не превышала предельно допустимые нормативные требования ГОСТ 13109-97.

Зарегистрированы также отклонения (в сторону увеличения) установившегося напряжения прямой последовательности. Диапазон максимальных отклонений составил 223,00-241,56 В, т.е. $+1,4 \div +9,8$ %. Наибольшие и наиболее длительные искажения установившегося напряжения зафиксированы на фазе С.

Коэффициент несимметрии по нулевой последовательности достигал 6,61 %, что превышает предельно допустимые значения. Несимметрия имела систематический характер, искажения зафиксированы только в рабочее время в будние дни. Коэффициент несимметрии по обратной последовательности не превышал 0,91 %, т.е. превышений нормативных требований по ГОСТ не зафиксировано.

Значения коэффициентов гармонической составляющей напряжения имеют превышения нормально и предельно допустимых значений для гармоник с 3-й по 33-ю (превышения зафиксированы для 15 гармоник). Наибольшие превышения искажений зафиксированы для гармоник кратных трем (3, 9, 15, 21, 27-й).

Таким образом, в результате регистраций выявлены систематические искажения ПКЭ. Полученные данные являются основой для разработки мероприятий по обеспечению потребителей электроэнергией надлежащего качества.

6. Заключение

Анализ результатов мониторинговых регистраций показателей качества электроснабжения крупного энергорайона, промышленных предприятий, населенных пунктов городского типа и разветвленной распределительной сети позволил сделать следующие выводы:

1. Проблема качества электроэнергии является актуальной для распределительных сетей 6-35 кВ и 0,4 кВ в связи с недостаточностью нормативной базы, методических разработок и технических средств контроля, а также ограниченностью средств защиты от искажающих факторов.

2. Значительные трудности возникают при выявлении источников искажений и обеспечении доказательной базы для судебных разбирательств с виновниками искажений.

3. Возможности сертифицированных регистраторов показателей качества не позволяют проводить комплексное обследование мощных распределительных подстанций с целью обнаружения источников искажения.

4. Контроль ПКЭ по напряжению в ряде случаев не дает полной информации об опасных искажениях качества электроэнергии.

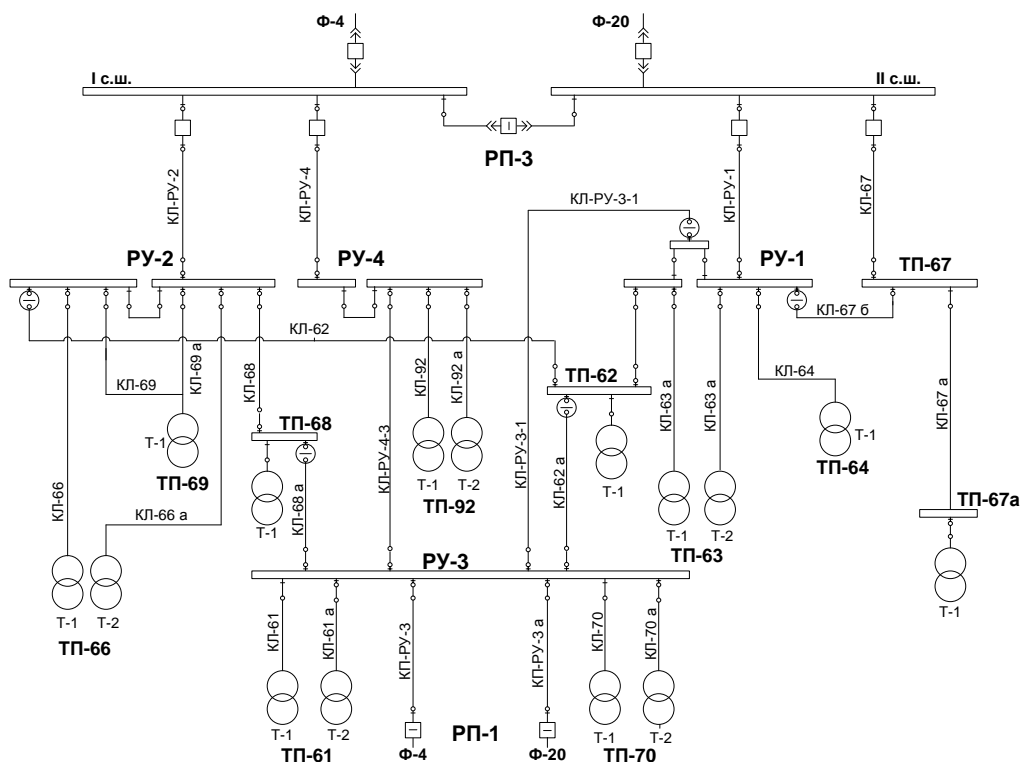


Рис. 7. Схема распределительной сети 10 кВ КНЦ РАН

Литература

- Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97. Введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 28 августа 1998 г. № 338. URL: www.so-ups.ru, 1998.
- Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии. РД 153-34.0-15.502-2002. www.complexdoc.ru/ntdtext/545129/1, 2002.
- Невретдинов Ю.М., Фастий Г.П., Ярошевич В.В.** Анализ регистрации показателей качества электроэнергии на шинах питающих подстанций. *Вестник МГТУ*, т. 12, № 1, с. 58-64, 2009.
- Невретдинов Ю.М., Фастий Г.П., Ярошевич В.В.** Исследование возможности локализации источника гармонических искажений напряжения на питающих подстанциях. *Моделирование переходных процессов и установившихся режимов высоковольтной сети. Сборник научных трудов ЦФТПЭС КНЦ РАН, Апатиты*, с. 140-147, 2008а.
- Невретдинов Ю.М., Фастий Г.П., Ярошевич В.В.** Проблемы локализации источника искажений качества электроэнергии. *ЭМС-2008. Сборник докладов X-й Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности, Санкт-Петербург, ВИТУ*, с. 138-142, 2008б.

References

- Elektricheskaya energiya. Sovmestimost tehnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normyi kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya obschego naznacheniya [Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Quality standards of electrical energy in power systems of general purpose]. Mezhgosudarstvennyiy standart GOST 13109-97. VvedYon v deystvie postanovleniem Gosstandarta RF ot 28 avgusta 1998 g. N 338. URL: www.so-ups.ru, 1998.
- Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu i analizu kachestva elektricheskoy energii v sistemah obschego naznacheniya. Chast 2. Analiz kachestva elektricheskoy energii [Methodological guidelines for

monitoring and analysis of electric power quality in general purpose applications. Part 2. Analysis of quality of electric energy]. RD 153-34.0-15.502-2002. www.complexdoc.ru/ntdtext/545129/1, 2002.

Nevretdinov Yu.M., Fastiy G.P., Yaroshevich V.V. Analiz registratsii pokazateley kachestva elektroenergii na shinah pitayuschih podstantsiy [Analysis of registration of electricity supply quality indices on substations tires]. Vestnik MGTU, v. 12, N 1, p. 58-64, 2009.

Nevretdinov Yu.M., Fastiy G.P., Yaroshevich V.V. Issledovanie vozmozhnosti lokalizatsii istochnika garmonicheskikh iskazheniy napryazheniya na pitayuschih podstantsiyah [Investigation of possibility to localize the source of harmonic distortion voltage between power substations]. Modelirovanie perehodnykh protsessov i ustanovivshihsy rezhimov vyisokovoltnoy seti. Sbornik nauchnykh trudov TsFTPES KNTs RAN, Apatityi, p. 140-147, 2008a.

Nevretdinov Yu.M., Fastiy G.P., Yaroshevich V.V. Problemy lokalizatsii istochnika iskazheniy kachestva elektroenergii [Problems of source localization of power quality distortion]. EMS-2008. Sbornik dokladov X-y Rossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii po elektromagnitnoy sovmestimosti tehnicheskikh sredstv i elektromagnitnoy bezopasnosti, Sankt-Peterburg, VITU, p. 138-142, 2008b.

Информация об авторах

Невретдинов Юрий Масумович – Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, доцент кафедры электроэнергетики; e-mail: nevretdinov@ien.kolasc.net.ru

Nevretdinov Yu.M. – Centre for Physical and Technological Problems of Energy in Northern Areas of KSC RAS, Cand. of Tech. Sci., Leading Researcher; Associate Professor of Power Energy Department of MSTU Apatity Branch; e-mail: nevretdinov@ien.kolasc.net.ru

Фастий Галина Прохоровна – Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, стар. преподаватель кафедры электроэнергетики; e-mail: fastiy@ien.kolasc.net.ru

Fastiy G.P. – Centre for Physical and Technological Problems of Energy in Northern Areas of KSC RAS, Research Associate; Senior Lecturer of Power Energy Department of MSTU Apatity Branch; e-mail: fastiy@ien.kolasc.net.ru

Ярошевич Вера Васильевна – Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, стар. преподаватель кафедры электроэнергетики; e-mail: yroshevich@ien.kolasc.net.ru

Yaroshevich V.V. – Centre for Physical and Technological Problems of Energy in Northern Areas of KSC RAS, Junior Research Associate; Senior Lecturer of Power Energy Department of MSTU Apatity Branch; e-mail: yroshevich@ien.kolasc.net.ru

Карпов Алексей Сергеевич – Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, канд. техн. наук, науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, доцент кафедры электроэнергетики; e-mail: info@ien.kolasc.net.ru

Karpov A.S. – Centre for Physical and Technological Problems of Energy in Northern Areas of KSC RAS, Research Associate; Associate Professor of Power Energy Department of MSTU Apatity Branch; e-mail: info@ien.kolasc.net.ru