

УДК 621.311

**О. Г. ГРИБ, С. Ю. ШЕВЧЕНКО, Д. А. ГАПОН, Ю. А. СИРОТИН, Т. С. ИЕРУСАЛИМОВА,  
А. В. ДЯЧЕНКО**

### **ПИТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 330/110 кВ ПРИ НАЛИЧИИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ВЫСШИХ ГАРМОНИК**

Отключение или повреждение воздушных линий высокого и сверхвысокого напряжения (ЛЭП) вызывается разными причинами, среди которых не последнее место занимают как природные факторы – воздействие молний и птиц или ветровые нагрузки, обледенение и загрязнение изоляторов в регионах с неблагоприятными экологическими условиями, так и случайные или преднамеренные действия человека по повреждению подвесной изоляции.

**Ключевые слова:** надежность, изоляция, качество, электроэнергия, напряжение, высшие гармоники.

**Вступление.** Каждое аварийное отключение ЛЭП требует анализа обстоятельств его возникновения, что довольно часто сделать практически не возможно в силу отсутствия видимых причин перекрытия изоляции. В связи с этим, важное значение приобретают методы ранней оперативной диагностики технического состояния высоковольтных линий и, в частности, состояния проводов и изоляции ЛЭП.

**Анализ последних исследований и литературы.** В последнее время при диагностике состояния высоковольтной изоляции значительное внимание уделяется появлению высокочастотных составляющих электромагнитных колебаний, свидетельствующих об ухудшении ее состояния. Появление таких колебаний свидетельствует о наличии в конструкции ЛЭП ослабленных, с точки зрения электрической прочности участков. Это в свою очередь приводит к активизации и разрядных ионизационных процессов на ослабленных участках, которые и являются источником высокочастотных электромагнитных колебаний. Такими источниками могут быть повреждены элементарные проводники, которые составляют провода, дефекты подвесной арматуры, дефектные изоляторы. Подобные дефекты определить визуально, учитывая размеры ЛЭП практически не возможно. С другой стороны известно, что высокочастотные импульсы, влияющие на изоляцию, приводят к ухудшению ее характеристик, так называемому старению (ухудшению диэлектрических характеристик). Появление высокочастотных сигналов существенно ускоряет процесс старения изоляции. Кроме того скорость старения изоляции зависит от напряженности поля в изоляционном материале.

**Цель статьи.** Исследование состояния высоковольтной изоляции при наличии высших гармоник в линиях электропередач.

**Постановка проблемы.** Проблема возникает в том, что при наличии в сети высших гармоник снижается срок службы линии электропередач.

**Материалы исследований.** В работе [1] появление высокочастотных колебаний связывают с наличием частичных разрядов в изоляторах, что приводит к преждевременному старению изоляции. Выполненные в [2] исследования показали, что

источником высокочастотных колебаний могут быть как, изоляторы воздушных линий электропередачи так и провода при наличии короны. Следует отметить, что в этом случае фоном усиливающим ухудшение состояние изоляции могут быть высшие гармоники сгенерированные мощными потребителями электроэнергии (промышленные предприятия). Это обусловлено тем, что в месте дефекта изоляции происходит постоянная поляризация и при перенапряжении в сети в этом месте может произойти пробой изоляции. В [3, 4] рассматриваются способы диагностики изоляторов акустическим и электромагнитным методами. Сравнение этих методов показывает более высокую чувствительность электромагнитного, что позволяет нам сделать вывод о наличии в частотном спектре излучения дефектных изоляторов колебаний с частотами отличными от акустического диапазона.

Рассмотрим возникновение таких колебаний при подаче высокого напряжения к подвесному изолятору. Известно, что основными диэлектрическими материалами при изготовлении изоляторов являются стекло и фарфор (фарфор). Дефекты фарфоровых изоляторов могут быть обнаружены по наличию тепловых аномалий, в случае присутствия развитой продольной трещины в условиях повышенного увлажнения или загрязнения поверхности изолятора, или дефектов цементного заложения, а также за наличием коронного разряда в зонах с повышенным уровнем напряженности поля. Стекланные изоляторы, в отличие от фарфоровых, всегда считались «самодефектирующимися», то есть закаленное стекло при повреждениях разрушается под действием механических напряжений. Однако возможно существенное ухудшение изолирующих свойств стекланных изоляторов при появлении на их поверхности скользящих разрядов. Источником скользящих разрядов, в этом случае, может быть изоляционная конструкция между стержнем и шапкой тарельчатого изолятора, которая состоит из последовательного электрического соединения элементов: цементной заделки стержня – тело диэлектрика (стекла) – цементная заделка шапки. Последнюю не будем брать во внимание, поскольку напряженность электрического поля в ней

практически на порядок меньше в сравнении с цементным заделкой стержня.

Как было отмечено, выше изоляторы могут быть источником высокочастотных колебаний на линии электропередачи, которые способствуют аварийных отключений. Для подтверждения этого были выполнены экспериментальные исследования. При проведении экспериментов были использованы 2 изолятора типа ПС 120Б из гирлянды, которая имела перекрытие из участка ВЛ-330 (из них изолятор с условным номером 1 является первым в гирлянде от траверсы, и 2-й – следующий за ним в гирлянде). Для 1-го изолятора характерным является наличие устойчивого поверхностного загрязнения цвета ржавчины, которое может быть объясним стечением

ржавчины с поверхностей траверсы. Поверхность 2-го изолятора является сравнительно чистой. Внешний осмотр видимого края цементной заделки стержня показывает наличие в нем крупных пор и отсутствие защитного покрытия.

**Результаты исследований.** Ниже приведены результаты исследования качества электрической энергии в энергосистеме.

Высшие гармоники характеризуются коэффициентом *n*-ой гармонической составляющей. Коэффициент *n*-ой гармонической составляющей выходит за границы нормально и предельно допустимых значений, что отрицательно сказывается на работе высоковольтной изоляции [5-7].

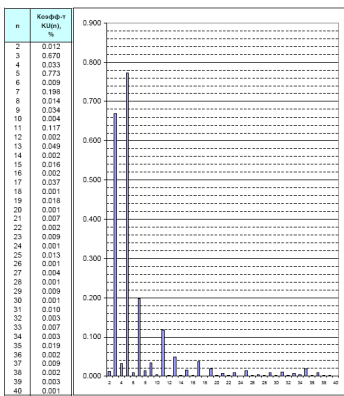


Рис. 1 – График коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения в фазе "А"

Гармоника, №	Допустимое значение		Коеф-т измерения	Коеф-т выходящий за пределы допустимого значения		Границь
	Нормально, %	Предельно, %		за нормально допустимое значение	за предельно допустимое значение	
2	0,50	0,75	28,900	0	0	1,000
3	1,50	2,25	28,900	0	0	1,000
4	0,30	0,45	28,900	0	0	1,000
5	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
6	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
7	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
8	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
9	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
10	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
11	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
12	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
13	0,70	1,05	28,900	0	0	1,000
14	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
15	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
16	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
17	0,50	0,75	28,900	0	0	1,000
18	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
19	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
20	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
21	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
22	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
23	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
24	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
25	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
26	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
27	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
28	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
29	0,37	0,56	28,900	0	0	1,000
30	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
31	0,36	0,54	28,900	0	0	1,000
32	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
33	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
34	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
35	0,30	0,45	28,900	0	0	1,000
36	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
37	0,33	0,50	28,900	0	0	1,000
38	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
39	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
40	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000

Рис. 2 – Протокол измерений коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения в фазе "А"

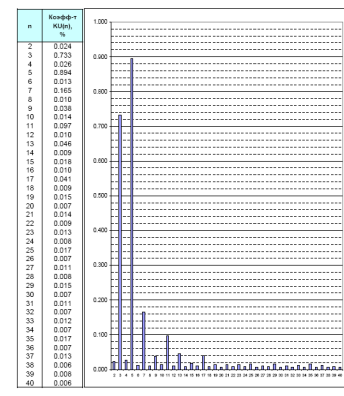


Рис. 3 – График коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения в фазе "В"

Гармоника, №	Допустимое значение		Коеф-т измерения	Коеф-т выходящий за пределы допустимого значения		Границь
	Нормально, %	Предельно, %		за нормально допустимое значение	за предельно допустимое значение	
2	0,50	0,75	28,900	0	0	1,000
3	1,50	2,25	28,900	0	0	1,000
4	0,30	0,45	28,900	0	0	1,000
5	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
6	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
7	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
8	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
9	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
10	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
11	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
13	0,70	1,05	28,900	0	0	1,000
14	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
15	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
16	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
17	0,50	0,75	28,900	0	0	1,000
18	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
19	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
20	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
21	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
22	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
23	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
24	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
25	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
26	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
28	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
29	0,37	0,56	28,900	0	0	1,000
30	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
31	0,36	0,54	28,900	0	0	1,000
32	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
33	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
34	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
35	0,34	0,51	28,900	0	0	1,000
36	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
37	0,33	0,50	28,900	0	0	1,000
38	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
40	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000

Рис. 4 – Протокол измерений коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения в фазе "В"

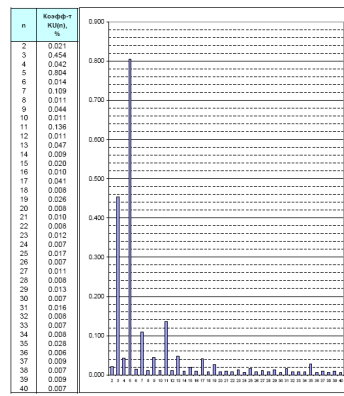


Рис. 5 – График коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения в фазе "С"

Гармоника, №	Допустимое значение		Коеф-т измерения	Коеф-т выходящий за пределы допустимого значения		Границь
	Нормально, %	Предельно, %		за нормально допустимое значение	за предельно допустимое значение	
2	0,50	0,75	28,900	0	0	1,000
3	1,50	2,25	28,900	0	0	1,000
4	0,30	0,45	28,900	0	2	0,000
5	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
6	0,20	0,30	28,900	1	0	1,000
7	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
8	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
9	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
10	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
11	1,00	1,50	28,900	0	0	1,000
12	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
13	0,70	1,05	28,900	0	0	1,000
14	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
15	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
16	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
17	0,50	0,75	28,900	0	0	1,000
18	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
19	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
20	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
21	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
22	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
23	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
24	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
25	0,40	0,60	28,900	0	0	1,000
26	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
27	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
28	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
29	0,37	0,56	28,900	0	0	1,000
30	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
31	0,36	0,54	28,900	0	0	1,000
32	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
33	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
34	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
35	0,34	0,51	28,900	0	0	1,000
36	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
37	0,33	0,50	28,900	0	0	1,000
38	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000
40	0,20	0,30	28,900	0	0	1,000

Рис. 6 – Протокол измерений коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения в фазе "С"

На рис. 1–6 представлены графики и протоколы измерений коэффициентов *n*-й гармонической составляющей напряжения в фазах "А", "В", "С" на ТП 330/110 кВ, которые проводились на границе балансовой принадлежности снабжающей организации и потребителя электроэнергии.

В фазе А присутствует четная четвертая гармоника, которая выходила за нормально допустимое значение (0,30) в пределах 0,37; 0,39; 0,31; 0,43; 0,32.

В фазе В присутствует нечетная третья гармоника, которая выходила за нормально

допустимое значение (1,50) в пределах 1,55; 1,90.

В фазе С присутствует четная четвертая гармоника, которая выходила за нормально допустимое значение (0,30) в пределах 0,30; 0,42; 0,33; 0,37; 0,43; 0,35. А за предельно допустимое значение (0,45) в пределах 0,46; 0,54. А также присутствует шестая четная гармоника, которая выходила за нормально допустимое значение (0,20) в пределах 0,21.

**Выводы.** Из протоколов измерений показателей коэффициентов *n*-й гармонической составляющей на ТП 330/110 кВ по фазам А, В в течении 24-х часов видно, что коэффициент *n*-ой гармонической составляющей

напряжения соответствует нормам по ГОСТу 13109-97, а по фазе С не соответствует. При диагностике состояния высоковольтной изоляции значительное внимание необходимо уделять появлению высокочастотных составляющих электромагнитных колебаний, свидетельствующих об ухудшении ее состояния.

**Список литературы:** 1. Колецицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения / Колецицкий Е.С. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с. 2. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. Т. 2 / Под ред. Ю.В. Корицкого и др. - 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с. 3. ГОСТ 27661-88 Изоляторы линейные подвесные. Типы, параметры и размеры. – Введ. 01.01.89. 4. Su C. Overview of Electromagnetic Modeling Software / C. Su, H.Ke, T. Hubing // 25th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics, 8-12 March 2009 – P. 736-741. 5. Кучинский Г.С. Изоляция установок высокого напряжения: Учебник для вузов / Г.С. Кучинский, В.Е. Кизеветтер, Ю.С. Пинталь; под общ. ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с. 6. Техника высоких напряжений /. Под общей ред. Д.В. Разигова. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 488с. 7. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия.

Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск.: ИПК Изд-во стандартов. – 1998. – 30 с.

**Bibliography(translation):** 1. Kolechicky E. S. Calculation of electric fields of high voltage devices. Kolechicky E. S. – Moscow: Energoatomizdat, 1983. – 168 p. 2. Handbook of electrical materials: V 3 t. T. 2 Under the editorship of Yu. Korickij, etc. – 3rd ed., Rev. – Moscow: Energoatomizdat, 1987. – 464 p. 3. GOST 27661-88 line suspended Insulators. Types, parameters and dimensions. – Introductio. 01.01.89. 4. Su C. Overview of Electromagnetic Modeling Software / S. Su, H. Ke and T. Hubing. 25th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics, March 8-12 2009. 736-741. 5. Kuchinsky G.S. Insulation systems of high voltage: a Textbook for universities. G.S. Kuchinsky, V.E. Kiesewetter, J.S. Pental; ed. by G.C. Kuczynski. – Moscow: Energoatomizdat, 1987. – 368 p. 6. High voltage equipment under the General editorship of D. V. Razevig. – ed. 2nd, revised and enlarged extra – Moscow: Energy, 1976. 7. GOST 13109-97. The electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Norms of quality of electric energy in power supply systems of General purpose. – Minsk: IPK Publishing house of standards. – 1998. 30 p.

Поступила (received) 08.10.2015



**Гриб Олег Герасимович** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", заведующий кафедрой автоматизации энергосистем.

**Gryb Oleg Gerasimovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department automation of electric power systems.



**Шевченко Сергей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры передачи электрической энергии

**Shevchenko Sergey Yurievich** – Candidate of technical Sciences, associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of Department transmitting electrical energy



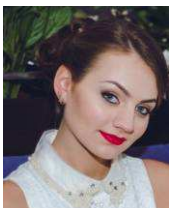
**Гапон Дмитрий Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры автоматизации энергосистем

**Gapon Dmitry Anatolyevich** – candidate of technical Sciences, associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate Professor of Department of automation of electric power systems



**Сиротин Юрий Александрович** – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры автоматизации энергосистем

**Siroтин Yuriy Aleksandrovich** – doctor of technical Sciences, associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of Department of automation of electric power systems



**Иерусалимова Татьяна Сергеевна** – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", ассистент кафедры автоматизации энергосистем.

**Ierusalimova Tatiana Sergeevna** – National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", assistant of the Department of automation of power systems



**Дяченко Александр Васильевич** – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", аспирант кафедры автоматизации энергосистем.

**Diachenko Alexander Vasilevich** – National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", post graduate student of Department of automation of electric power systems