

УДК 629.12.002.001.33

ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В.А. Благинин, И.Е. Кажекин, В.И. Лозовенко

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: kazhekin@mail.ru

Испытывали устройства защитного заземления нейтрали, выполненные в судовой электроэнергетической системе действующего судна. Приводятся результаты регистрации токов однофазных замыканий и дуговых перенапряжений, возникающих в электросистемах с различными режимами нейтрали. Показано преимущество электросистемы с неэффективным заземлением нейтрали в сравнении с изолированной системой.

заземление нейтрали, судовые электросистемы, однофазные замыкания на корпус, дуговые перенапряжения, токи замыкания

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что пожарная аварийность отечественного флота и опасность поражения людей электрическим током на судах, вызываемые однофазными замыканиями на корпус (ОЗ) или однофазными прикосновениями (ОП), определяют уровень опасности бортовых электроустановок и судов в целом [1]. В настоящее время подавляющее большинство судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) защищено от опасных последствий ОЗ и ОП использованием в них режима изолированной нейтрали. Однако практика показывает, что для больших судов этого совершенно недостаточно. Рост емкостей сети, сопровождающий процесс постоянного увеличения электроэнергооборуженности флота, привел к тому, что в нынешних условиях ограниченные возможности этого режима нейтрали по уменьшению токов ОЗ и ОП оказались в значительной степени исчерпанными. Более того, применение изолированной нейтрали является условием, при котором внутренние перенапряжения достигают довольно опасных для изоляции величин.

В последнее время российскими классификационными обществами были допущены к применению на судах иные способы заземления нейтрали, способные обеспечить более высокий уровень защиты электросистем от основных опасностей ОЗ и ОП. Однако ранее принятое техническое решение в виде изолирования электросистем от корпуса судна продолжает повсеместно применяться вне зависимости от его эффективности в условиях, достигнутых на отдельных судах величин токов замыкания на корпус. В результате пункты Правил российских морского и речного регистров, введенные в последних редакциях [2, 3] и допускающие применение в СЭЭС иных режимов нейтрали,

практически не используются, а новые и более безопасные режимы нейтрали в бортовых электросистемах на практике пока не применяются.

Ниже даются результаты испытаний устройства, реализующего указанные режимы нейтрали. Испытания проводились в электросистеме БК «Василий Албанов». Их цель – демонстрация целесообразности перевода СЭЭС из режима изолированной нейтрали в режимы неэффективного заземления нейтрали, разработанные в КГТУ.

ОПИСАНИЕ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ

Электросистема БК «Василий Албанов» имеет единую схему для силовых и бытовых потребителей с линейным напряжением 230 В и частотой 50 Гц. Для выбора параметров устройства защитного заземления нейтрали (УЗЗН) необходимо определить величины емкостей между отдельными фазами электросистемы и корпусом в различных режимах работы судна. Измерения проводились при поочередном замыкании каждой фазы сети на корпус через амперметр РА. Схема включения амперметра приведена на рис. 1.

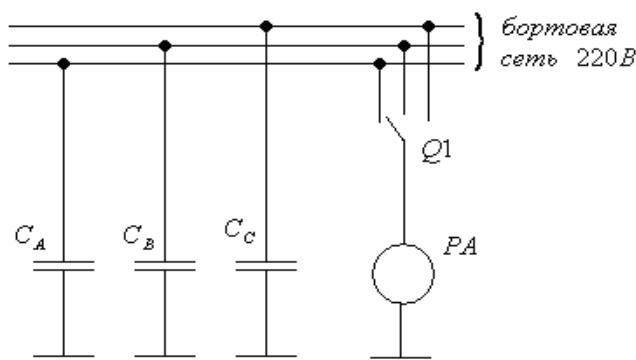


Рис. 1. Схема измерений токов однофазных замыканий на корпус:
 C_A , C_B , C_C – фазные емкости сети по отношению к корпусу судна;
 $Q1$ – переключатель фаз; PA – амперметр

Fig. 1. Scheme of single-phase current measurement circuit to ground:
 C_A , C_B , C_C – phase of the network capacity in relation to the ship;
 $Q1$ – phase switch; PA – ampermetr

Измеренные описанным способом токи ОЗ использовались при вычислении величин фазных емкостей электросистемы. Поскольку несимметрия токов ОЗ оказалась небольшой, расчет емкостей проводился по следующим формулам [4]:

$$\begin{cases} C_A = \frac{I_B + I_C - I_A}{3\omega U_\phi}, \\ C_B = \frac{I_C + I_A - I_B}{3\omega U_\phi}, \\ C_C = \frac{I_A + I_B - I_C}{3\omega U_\phi}. \end{cases} \quad (1)$$

где I_A, I_B, I_C – действующие значения измеренных токов замыканий на корпус; ω – угловая частота тока в сети; U_ϕ – действующее значение фазного напряжения сети.

С использованием найденных фазных емкостей была проведена количественная оценка степени несимметрии электросети [5]:

$$u_0 = \left| \frac{C_A + a^2 \cdot C_B + a \cdot C_C}{C_A + C_B + C_C} \right| \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ – коэффициент фазного поворота.

Некоторые результаты измерений токов и последующих расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Величины токов ОЗ, фазных емкостей и степени несимметрии в электрораспределительной сети БК «Василий Албанов»

Table 1. Values of current single phase to ground, phase capacities and degree of asymmetry in distribution networks in BC "Vasily Albanov"

Потребители, подключенные при проведении измерений	Ток ОЗ при замыкании соответствующих фаз, А			Емкости отдельных фаз сети по отношению к корпусу судна, мкФ			Степень несимметрии, %
	А	В	С	для фаз А В С			
Все потребители отключены за исключением освещения ГРЩ, подсветки ВРШ и подсветки охлаждения действующих устройств	0,65	0,63	0,65	4,9	4,94	5,1	1,2
К указанным выше потребителям добавлены: электрокомпрессор и пожарный насос, а также потребители, питающиеся от фидеров В1-В10, В12- В14, В18-В25, В27-В29, В30	0,84	0,77	0,81	6,28	5,8	6,59	3,69
К предыдущим потребителям подключены два насоса винта регулируемого шага и вентиляторы приточные	0,87	0,85	0,83	6,98	6,35	6,82	2,8
К предыдущим потребителям добавлены насосы, охлаждающие главный двигатель, включены все мелкие прочие потребители	0,89	0,84	0,82	7,14	6,04	6,98	5,1

Из табл. 1 видно, что емкости отдельных фаз электросистемы БК «Василий Албанов» изменяются в диапазоне значений от 4,9 до 7,14 мкФ, а степень несимметрии от 1,2 до 5,1 %. Исходя из этих данных, было изготовлено УЗЗН.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ

После установки устройства на БК «Василий Албанов» (рис. 2) были проведены его испытания в составе бортовой электросистемы.



Рис. 2. БК «Василий Албанов» и установленное на его борту устройство защитного заземления нейтрали

Fig. 2. Ship "Vasily Albanov" and installed on board the device protective earthing

Испытания заключались в измерениях токов ОЗ и максимальных дуговых перенапряжений в соответствии со схемой, изображенной на рис. 3.

Измерения токов ОЗ проводились при помощи амперметра РА, подсоединяемого через Q1 поочередно к каждой из фаз электросистемы. Регистрация перенапряжений осуществлялась осциллографом PS, подключенным через резистивный делитель напряжения с сопротивлениями R' и R'' к одной из неповрежденных фаз. Другая фаза замыкалась на корпус судна через неустойчивый дуговой или искровой контакт Q3.

Устройство защитного заземления нейтрали было оборудовано дополнительным выключателем Q2. Оно позволяет переводить электрическую сеть в режимы комбинированного или резистированного способов заземления нейтрали. Таким образом, были сопоставлены три режима нейтрали: изолированная (QF1 разомкнут), комбинированная (QF1 и Q2 замкнуты) и резистированная (QF1 замкнут, а Q2 разомкнут).

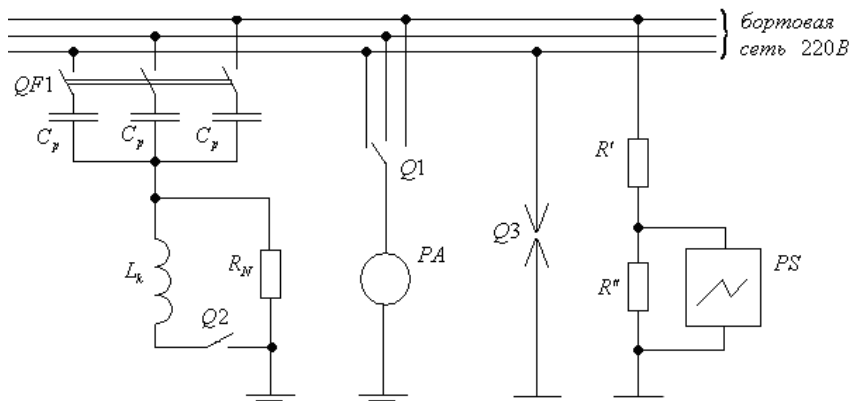


Рис. 3. Схема изменения режима нейтрали и измерения токов замыкания фазы на корпус и дуговых перенапряжений:

$QF1$ – автоматический выключатель; C_p – разделительные конденсаторы; L_k – реактор; R_N – резистор, включенный в нейтраль параллельно реактору; $Q1$ – переключатель фаз; $Q2$ – переключатель режима нейтрали; $Q3$ – контакт между фазой и корпусом, изображающий неустойчивый контакт при возникновении ОЗ; PA – амперметр; R' , R'' – сопротивления делителя; PS – осциллограф

Fig. 3. Scheme of the changes and the neutral current measurement phase to ground fault and arc overvoltage:

$QF1$ – circuit breaker; C_p – coupling capacitors; L_k – reactor; R_N – resistor connected in parallel to the neutral reactor; $Q1$ – phase switch; $Q2$ – switch the neutral; $Q3$ – contact between the phase and the body representing the unstable contact; PA – ampermeter; R' , R'' – the resistance divider; PS – oscilloscope

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ

При испытаниях сети с установленным УЗЗН регистрировались токи ОЗ и максимальные перенапряжения. Они измерялись в режиме обычной эксплуатации судна, когда были включены все обычно действующие потребители и кабельные соединения от ГРЩ к неработающим потребителям.

Примеры зарегистрированных осциллограмм приведены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что при переводе электросистемы из режима изолированной нейтрали в режимы комбинированной и резистированной нейтралей практически полностью исчезают ее смещения, обусловленные формированием постоянного потенциала на фазных емкостях после гашения дуги. Они оказывают определяющее влияние на уровень дуговых перенапряжений. Кроме того, заметно уменьшаются максимальные импульсы напряжения.

Перенапряжения измерялись осциллографом, подключенным через делитель напряжений с коэффициентом деления 1:375. В связи с этим, величины перенапряжений вычислялись по следующей формуле:

$$u_{uml} = 375 \times u_{max}, \quad (3)$$

где u_{max} – максимальное значение напряжения, зафиксированное по экрану осциллографа.

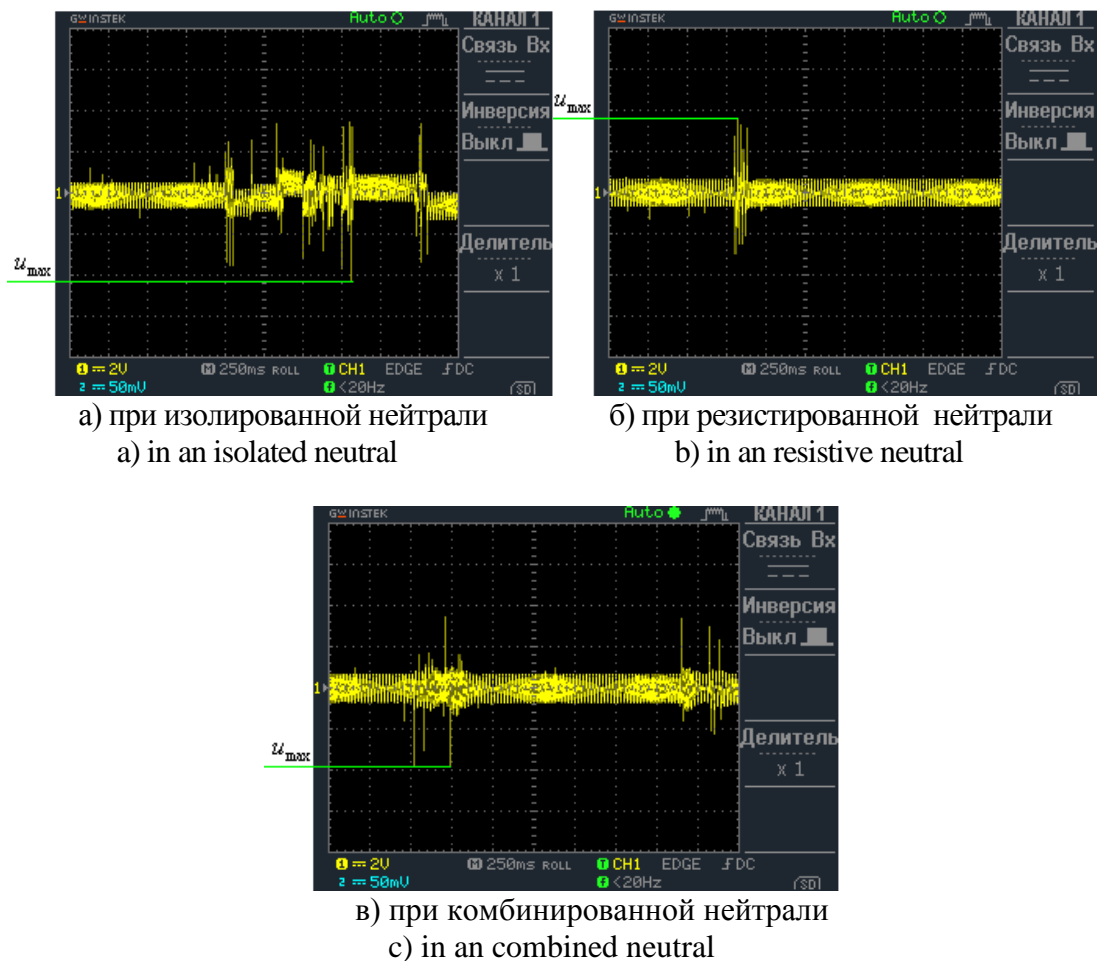


Рис. 4. Напряжение на неповрежденной фазе при неустойчивом ОЗ в СЭЭС с различными режимами нейтрали (а, б, в)
Fig. 4. Voltage intact phase with intermittent ground in the SEPS with different modes of neutral (a, b, c)

Значения зарегистрированных токов ОЗ и максимальных перенапряжений приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты регистрации токов и перенапряжений при ОЗ в электросистеме БК «Василий Албанов»
Table 2 . Results of registration current and overvoltage in the electrical system on faults in ship "Vasily Albanov"

Режим нейтрали в судовой электросистеме	Результаты измерений			
	Токи однофазных замыканий, А			Максимальные дуговые перенапряжения, В
	А	фазы В	С	
Изолированная нейтраль	0,92	0,89	0,82	1650
Комбинированная нейтраль	0,31	0,32	0,22	1350
Резистированная нейтраль	0,92	0,89	0,82	1350

Как видно из табл. 2, при переводе электросистемы из режима изолированной в режим резистированной нейтрали ток ОЗ практически не изменился. При этом, перенапряжения в изолированных СЭЭС оказались более чем на 22 % выше, чем в СЭЭС с резистированной нейтралью. В электросистеме с комбинированной нейтралью ток ОЗ в фазах уменьшился в 3,0, 3,7 и 2,7 раз, а перенапряжения в них оказались такими же, как и в системе с резистированной нейтралью.

ВЫВОДЫ

Испытания устройства защитного заземления нейтрали показали следующее:

1. В системе БК «Василий Албанов» с изолированной нейтралью величины токов ОЗ изменяются в довольно узком диапазоне. Для их компенсации достаточно одного УЗЗН с реактором, обладающим постоянной индуктивностью.

2. В сети с комбинированной нейтралью наибольший ток ОЗ при подключении максимального количества фидеров и потребителей в 2,7 раз меньше максимального тока в изолированной сети; в сети с резистированной нейтралью токи ОЗ характеризуются такими же величинами, как и в изолированной сети.

3. Дуговые перенапряжения в системе с комбинированной и резистированной нейтралью оказались существенно сниженными по сравнению с максимальными перенапряжениями в сети с изолированной нейтралью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Благинин, В.А. Профилактика аварийности отечественного рыбопромыслового флота / В.А. Благинин, И.Е. Кажекин // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 3. – С. 40-47.

2. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания (ПСВП): в 4-х т. // Российский речной регистр. – М., 2008. – Т. 3. – 432 с.

3. Правила классификации и постройки морских судов: в 3-х т. // Российский морской регистр судоходства. – СПб., 2007. – Т. 2. – С. 680.

4. Ксенофонтов, А.П. Защитные устройства в судовых и береговых электроустановках рыбной промышленности / А.П. Ксенофонтов, Ю.А. Шестопалов, В.Я. Островский. – М., 1984. – 255 с.

5. Лихачев, Ф.С. Защита от внутренних перенапряжений установок 3-220 кВ / Ф.С. Лихачев. – М.: Энергия, 1968. – 105 с.

TEST EQUIPMENT PROTECTIVE EARTH NEUTRAL IN SHIP ELECTRIC POWER SYSTEM

V.A. Blaginin, I.E. Kazhekin, V.I. Lozovenko

The article is devoted to testing the protective earthing device, made in the ship power system existing the ship. The paper presents the results of registration phase fault current and arc voltage surge occurring in electrical systems with different modes of neutral. The advantage of the electrical system with an ineffective neutral ground in comparison with the isolated system.

neutral grounding, ship electrical systems, single-circuit to ground, arc voltage, fault currents

Благинин Владимир Анатольевич +7 909 778 76 54
Кажекин Илья Евгеньевич +7 921 268 28 25