

Способ обеспечения чувствительности защит и улучшения условия ограничения перенапряжений при однофазном замыкании на землю в электрических сетях 6 – 10 кВ с комбинированным заземлением нейтрали

МАНИЛОВ А.М., БАРНА А.А., МЕЛЬНИК Д.А.

Рассмотрен способ заземления нейтрали с использованием двух последовательно соединенных резисторов, которые создают благоприятные условия для ограничения перенапряжений при однофазных замыканиях на землю. При этом обеспечивается чувствительность ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности благодаря низкоомному заземлению нейтрали и возможность ее действия на сигнал в связи с последующим переводом сети в режим с высокоомным сопротивлением нейтрали.

Ключевые слова: электрические сети, однофазное замыкание на землю, заземляющий резистор, ограничение перенапряжений, чувствительность защиты

Наиболее распространенным видом повреждения в электрических сетях напряжением 6–10 кВ являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), которые составляют около 60–80% общего числа всех повреждений. При длительной работе сети в режиме ОЗЗ возрастает вероятность пробоя другой фазы в другой точке сети, что приводит к режиму двойного замыкания на землю (ДЗЗ) и отключению, как правило, одной из линий, в т.ч. при повреждениях в фазах А и С, в которых установлены трансформаторы тока, и равных выдержках времени защит. Неотключенная линия при этом может являться причиной развития аварии, вызывая новые ДЗЗ при последующих пробоях фаз «здоровых» линий. Возможны также многоместные (МЗЗ) и междуфазные короткие замыкания с замыканием на землю (МКЗ). Длительная работа сети с ОЗЗ нежелательна, а во многих случаях — недопустима. При ОЗЗ возможно появление значительных перенапряжений. Эти перенапряжения возникают при изменении тока через канал дуги в процессе ее горения и перезаряда емкости сети. Они могут достигать четырех-пятикратных значений номинального напряжения. Теоретические исследования и опыт эксплуатации сетей показывают, что уменьшить значения дуговых перенапряжений и ограничить ток ОЗЗ можно включением между нулевой точкой обмотки высокого напряжения трансформатора за-

A neutral grounding method with the use of two series-connected resistors is considered. The resistors create favorable conditions for limiting overvoltages arising in case of single-phase ground faults. In addition, with such an arrangement, the sensitivity of nondirectional zero-sequence current protection is ensured owing to low-resistance grounding of the neutral together with the possibility of organizing the protection output to switch an alarm in connection with subsequent shifting of the network to operate with high-resistance grounding of the neutral.

Key words: electric networks, single-phase ground fault, grounding resistor, limitation of overvoltages, protection sensitivity

земления нейтрали и контуром заземления высокоомного резистора и дугогасящего реактора.

Компенсация емкостных токов в сети с комбинированным заземлением нейтрали, уменьшая ток ОЗЗ, создает проблему выполнения защиты от ОЗЗ. Выполнение токовых защит от ОЗЗ, реагирующих на установившиеся токи, не представляется возможным, так как при полной компенсации емкостного тока невозможно отличить поврежденное присоединение от неповрежденных ни по модулям токов, ни по фазовым сдвигам. На отходящих линиях часто отсутствует защита от ОЗЗ. Поиск поврежденного присоединения осуществляется ненадежным способом поочередного отключения присоединений, что может вызывать коммутационные перенапряжения в сети. Внезапное отключение присоединения при отсутствии резервирования во многих случаях не представляется возможным из-за нарушения электроснабжения отдельных районов и предприятий, технологического процесса даже при наличии устройства автоматического включения резервного источника питания.

Действие защиты от ОЗЗ на сигнал предопределяет необходимость ограничения перенапряжений для исключения, в частности, перехода ОЗЗ в ДЗЗ, МЗЗ, МКЗ.

В настоящее время нет достаточно надежных схем защиты от ОЗЗ в сетях с нейтралью трансформатора, присоединенного к заземляющему устрой-

ству через резистор и/или дугогасящий реактор. Для обеспечения чувствительности защиты от ОЗЗ необходимо увеличить ток в месте ОЗЗ. Увеличение тока в месте ОЗЗ осуществляется, например, кратковременным подключением низкоомного резистора к вторичной обмотке ДГР. Такой способ увеличения тока в месте повреждения при ОЗЗ применяется во многих странах [1]. При этом не решается проблема ограничения перенапряжений. В случае, если схема автоматического подключения резистора откажет в действии, поврежденное присоединение, которое требуется отключить по условиям электробезопасности, а также двигатели и генераторы не отключатся.

Существуют также схемы, в которых искусственно создается однофазное КЗ [2–4] или МКЗ [5, 6].

При комбинированном заземлении нейтрали сопротивление высокоомного резистора, определенное в соответствии с [7], приводит к полному устранению биений напряжения на фазах после погасания дуги и к снижению перенапряжений при повторных пробоях до уровня $U_{\max} = 2,41U_{\phi \max}$ [8]. Однако при выборе сопротивления в соответствии с [7] ток через трансформатор тока нулевой последовательности может оказаться недостаточным для обеспечения чувствительности простой ненаправленной токовой защиты.

Предлагаемый способ заземления нейтрали отличается от известного способа комбинированного заземления нейтрали включением вместо одного высокоомного резистора двух последовательно соединенных резисторов, причем один из них (R_{N1}) создает кратковременный активный ток для обеспечения чувствительности защиты от ОЗЗ и ограничивает перенапряжения, а второй – R_{N2} , зашунтированный до возникновения ОЗЗ, дешунтируется через время, необходимое для срабатывания токовой защиты от ОЗЗ с действием на сигнал или на отключение (см. рис. 1), ограничивая ток ОЗЗ.

Такой способ заземления нейтрали является соединением положительных сторон низкоомного и высокоомного заземления нейтрали. Подключение резистора R_{N1} создает только в поврежденном фидере активный ток $3I_0$, значение которого определяется сопротивлением этого резистора:

$$R_{N1} = \frac{U_{\phi}}{K_3 K_{\min} I_{с.з \max}}, \quad (1)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение; $I_{с.з \max}$ – максимальный ток срабатывания защиты, выбранный по условию отстройки от собственного емкостного тока присоединения; K_{\min} – минимальный коэф-

фициент чувствительности защиты; K_3 – коэффициент запаса ($K_3 = 1,1$).

Сопротивление резистора R_{N2} определяется из выражения [7]:

$$R_{N2} = \frac{U_{\phi}}{DI} \cdot R_{N1},$$

где DI – ток расстройки дугогасящего реактора.

После дешунтирования сеть переходит в режим с высокоомным заземлением нейтрали, состоящим из двух последовательно соединенных резисторов R_{N1} и R_{N2} . При таком режиме заземления нейтрали ОЗЗ можно не отключать [1] за исключением случаев, когда отключение необходимо по условиям электробезопасности [9], а также при ОЗЗ в цепи генератора, электродвигателя, конденсаторной установки.

Схема работает следующим образом.

При ОЗЗ, например в точке $K1$, срабатывает реле $KA1$ защиты от ОЗЗ присоединения с действием реле $KT1$ на сигнал или на отключение выключателя $Q2$. Действие защиты на сигнал фиксируется, например, указательным реле. Реле $KT1$ действует с выдержкой времени от 0,1 до 0,5 с для отстройки от переходных процессов [1]. Реле $KT2$ действует на отключение выключателя Q с выдержкой времени, которая на 0,2–0,3с больше выдержки времени реле $KT1$. Реле $KT3$ действует на отключение выключателя $Q2$ – $Q4$ в случае отказа в срабатывании выключателя Q с выдержкой времени больше выдержки времени $KT2$ на 0,2–0,3 с. Возврат схемы в нормальный режим после устранения ОЗЗ осуществляется дежурным персоналом.

Представляется целесообразным при ОЗЗ в точке $K1$ для обеспечения бесперебойного электрообеспечения до отключения поврежденного присоединения включить секционный выключатель $Q7$ на приемной подстанции после срабатывания реле $KT1$, а затем отключить вводной выключатель $Q6(Q8)$ поврежденной линии и выключатель $Q2$ присоединения. Для осуществления данной схемы необходим канал связи.

Для исключения прокладки канала связи представляется целесообразным на вводах $Q6$ и $Q8$ предусмотреть направленную защиту от ОЗЗ на приемной подстанции (реле $KA4(KA5)$), действующую от собственного емкостного тока присоединений.

При ОЗЗ в точке $K1$ сработает реле $KA4$, а затем токовое реле $KA6$, фиксирующее отсутствие тока на линии после отключения выключателя $Q2$. При замыкании контактов $KA4$ и $KA6$ при наличии напряжения на другом вводе, контролируемом реле напряжения $2KV$, отключается без выдержки времени выключатель $Q6$ и включается секционный выключатель $Q7$.

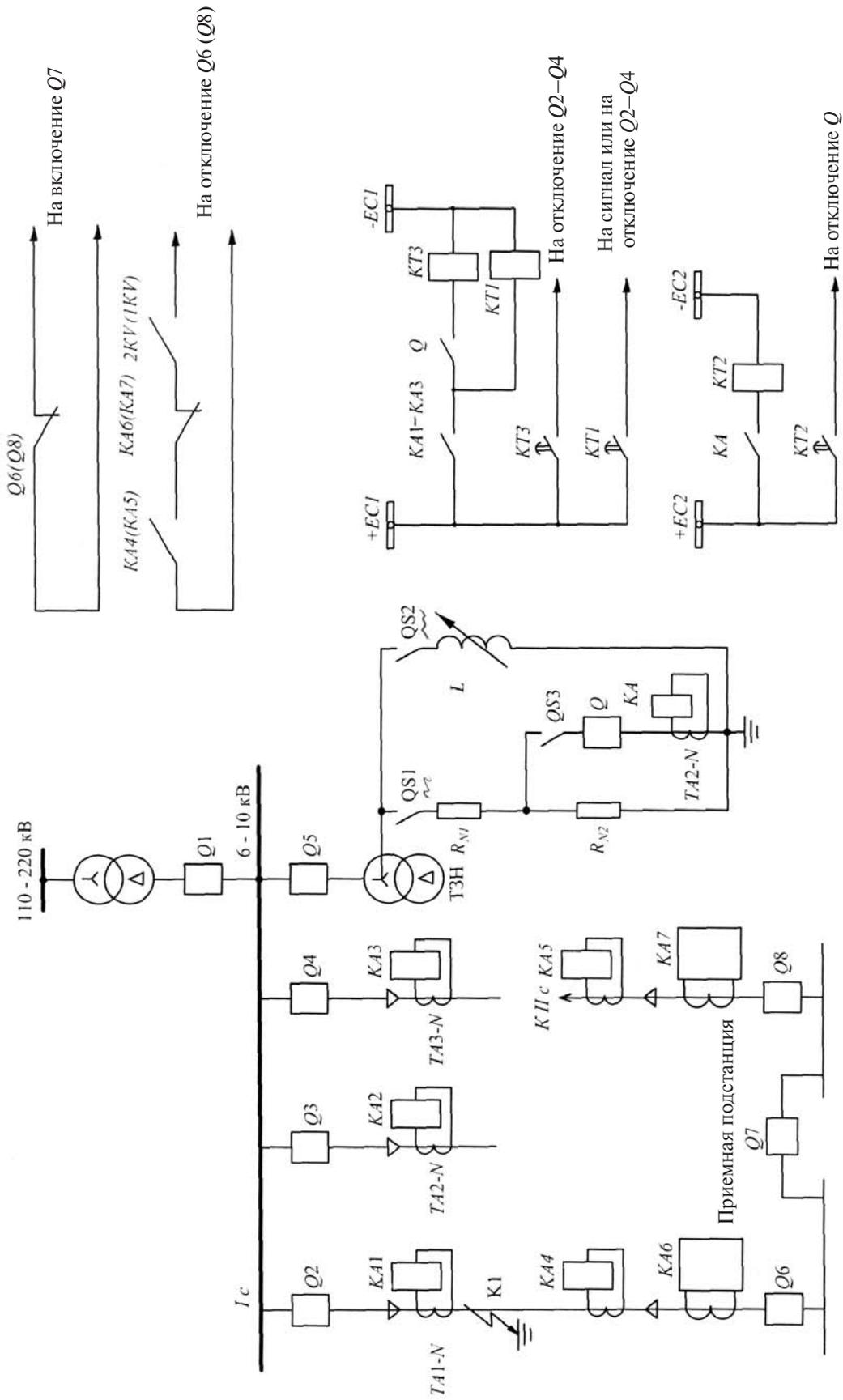


Рис. 1. Схема замещения нейтрали, дещунтирования резистора R_{N2} при O33 и автоматики на приемной подстанции

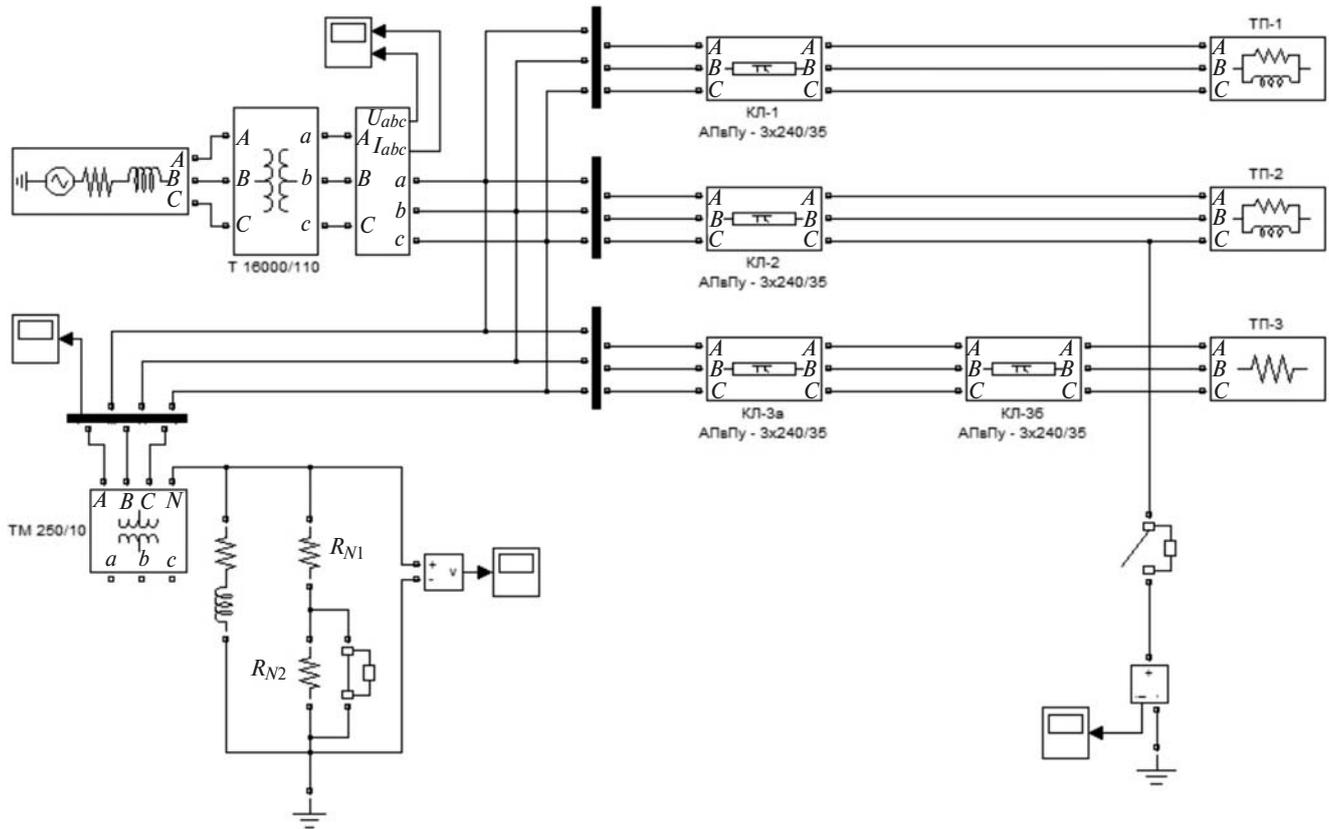


Рис. 2. Схема сети

В отличие от существующего применения низкоомного заземления нейтрали, предназначенного для создания активного тока в месте повреждения, необходимого для обеспечения чувствительности защиты от ОЗЗ, действующей на отключение, предлагаемый способ дает возможность выполнения токовой защиты с действием на сигнал.

Защита при применении данного способа может действовать не только на сигнал, но и на отключение поврежденного присоединения в зависимости от требований надежности электроснабжения и условий электробезопасности в соответствии с требованиями [9] и других нормативных документов.

На рис. 2 представлена схема сети 10 кВ для расчета тока и напряжения при ОЗЗ с помощью программного комплекса Matlab. В качестве понижающего трансформатора принят ТДН-16000/110, заземляющего — ТМ-250/10, дугогасящей катушки — РУОМ-190/11/ $\sqrt{3}$. Кабельные линии выполнены одножильными кабелями марки АПвПу — 3x240/35, длина каждой линии КЛ-1, КЛ-2, КЛ-3а и КЛ-3б равна 3 км. Нагрузки трансформаторных пунктов (ТП): $S_{ТП-1} = 1+0,5j$ МВА, $S_{ТП-2} = 2+0,1j$ МВА, $S_{ТП-3} = 3+0j$ МВА. Сопротивление резисторов $R_{N1} = R_{N2} = 500$ Ом.

На рис. 3 приведен график тока в месте ОЗЗ, на котором показаны моменты первого ОЗЗ при

$t = 0,02$ с и дешунтирования сопротивления R_{N2} спустя 0,32 с. Из рис. 3 следует, что амплитуда тока после дешунтирования резистора R_{N2} уменьшается с 19 до 11 А.

На рис. 4 приведен график линейного тока и фазного напряжения на шинах 10 кВ при ОЗЗ. Перенапряжение при ОЗЗ в начальный момент составило 2,25 отн.ед., в момент дешунтирования R_{N2} перенапряжения отсутствуют.

Кратковременное увеличение тока для обеспечения чувствительности защиты от ОЗЗ и улучшения условий ограничения перенапряжений при резистивном может применяться в комбинированных сетях 6–10 кВ различного состава и различной длины (воздушные, кабельные, смешанные сети) и на-

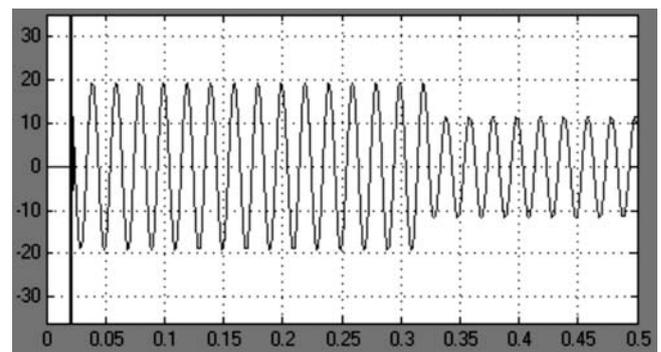


Рис. 3. Ток в месте ОЗЗ (А)

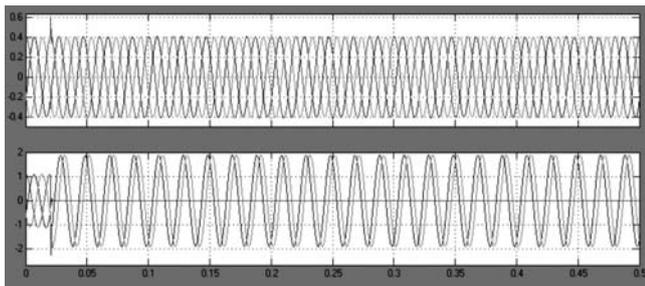


Рис. 4. Линейный ток и фазное напряжение на шинах 10 кВ при ОЗЗ (отн.ед.)

значения (городские, сельскохозяйственные, сети промышленных предприятий и др.) с разным суммарным емкостным током сети, что подтверждается опытом эксплуатации.

Применение вместо ненаправленных токовых защит от ОЗЗ других более чувствительных защит, исключающих необходимость выполнения заземления нейтрали предложенным способом, может оказаться более затратным мероприятием.

Сопротивление заземляющего устройства подстанции должно удовлетворять требованиям к допустимому току и напряжению прикосновения, которое состоит из максимально допустимого напряжения на теле человека и напряжения на сопротивлении от поверхности земли к стопам ног человека [11].

Вывод. Для обеспечения чувствительности защит от ОЗЗ представляется целесообразным вместо одного высокоомного резистора установить два последовательно соединенных резистора, один из которых создает в поврежденном присоединении кратковременный активный ток, достаточный для обеспечения чувствительности и ограничения перенапряжений, а второй, который нормально зашунтирован, переводит после дешунтирования при ОЗЗ сеть в режим с высокоомным сопротивлением нейтрали, ограничивая ток в месте ОЗЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титенков С.С., Пугачев А.А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю. — Энергоэксперт, 2010, № 2.

2. Кужекков С.Л., Хнычев В.А., Корогот А.А. и др. Предотвращение множественных повреждений кабельных линий 6–10 кВ средствами релейной защиты и электроавтоматики. — Сб. докладов XX конференции «Релейная защита и электроавтоматика энергосистем». — М.: Научно-инженерное информационное агентство, 2010.

3. Кужекков С.Л., Хнычев В.А. Предотвращение множественных повреждений КЛ 6–10 кВ. Автоматизация отключений при однофазных замыканиях на землю. — Новости электротехники, 2010, № 3(63).

4. Кужекков С.Л., Хнычев В.А. Предотвращение множественных повреждений КЛ 6–10 кВ. Автоматизация отключений при однофазных замыканиях на землю. — Новости электротехники, 2010, № 4(64).

5. Георгиевский В.Л. Оптимизация режима нейтрали электрической сети: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. — Новосибирский государственный технический университет, 1975.

6. Чэнь Вэй-сянь, Чэнь Хо. Новый способ гашения дуги однофазного короткого замыкания в сетях с изолированной нейтралью. — Электричество, 2009, № 1.

7. Евдокунин Г.А., Корепанов А.А. Выбор способа заземления нейтрали в сетях 6–10 кВ. — Электричество, 1998, № 12.

8. Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6–10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром». — СТО ГАЗПРОМ 2-1.11-070-2006.

9. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. — М.: ЗАО «Изд-во НЦ ЭНАС», 2002.

10. Манилов А.М. Повышение надежности электроснабжения и электробезопасности при однофазном замыкании на землю в сети 6–10 кВ. — Энергетик, 2010, № 2.

11. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. — М.: Госкомстандарт, 1982 (Изменения: 1988).

[29.04.13]

Авторы: Манилов Альфред Михайлович окончил электроэнергетический факультет Киевского политехнического института в 1961 г. Главный инженер-проектировщик ПАО «ПТИ «Киеворгстрой».

Барна Андрей Александрович окончил Институт энергоснабжения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» в 2012 г. Ведущий инженер-проектировщик ПАО «ПТИ «Киеворгстрой».

Мельник Дмитрий Анатольевич окончил факультет электроэнерготехники и автоматики Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» в 2010 г. Ведущий инженер Центра энергетического консалтинга ООО «Метрополия».