

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 620.9:62-93

ЗАЩИТА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Арифов А. М.¹, Бекиров Э. А.²

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4.

¹arifov.alim@inbox.ru, ²bekirov.e.a@cfuv.ru.

Аннотация. В работе рассмотрено влияние атмосферных электромагнитных импульсов на фотоэлектрических модуль и его компоненты. Предложена разработанная схема защиты от импульсных перенапряжений, позволяющая обеспечить защиту каждого фотоэлектрического модуля в отдельности, а также существенно снизить влияние импульсных перенапряжений на электрически связанное с ними оборудование.

Предмет исследования: индуцированный потенциал поражённого проводника, индукция зарядов на фотоэлектрическом модуле в лидерной стадии заряда, освобождение зарядов проводника и фотоэлектрического модуля в момент главного разряда

Материалы и методы: в работе с целью обеспечения необходимого уровня защиты фотоэлектрических молей рассмотрели способ борьбы с не менее опасными – индуктированными перенапряжениями, которые возникают в проводниках линий электропередачи постоянного тока при ударе молнии вблизи линий и являются следствием быстрого изменения электромагнитного поля, канала молнии в момент главного разряда. Рассмотрен порядок расчета основных характеристик устройства защиты от импульсных перенапряжений для защиты фотоэлектрических модулей от импульсных перенапряжений и наведенных электрических токов на проводниковые материалы, находящиеся в зоне электромагнитных импульсов.

Результаты: впервые предложена схема, обеспечивающая защиту фотоэлектрического модуля и его компонентов (диодов Шоттки) от атмосферных перенапряжений.

Выводы: в статье рассмотрено индуктированное наведение волн напряжения на токопроводы фотоэлектрического модуля вследствие изменения электрического поля при нейтрализации зарядов лидерного канала и освобождение зарядов в электрически связанных проводниках фотоэлектрического модуля в момент главного разряда. Рассмотрен порядок расчета основных характеристик устройства защиты от импульсных перенапряжений для защиты фотоэлектрических модулей от импульсных перенапряжений и наведенных электрических токов на проводниковые материалы, находящиеся в зоне электромагнитных импульсов.

Ключевые слова: индуктированные перенапряжения; фотоэлектрический модуль; электромагнитное поле; лидерный канал; варистор; термистор; самовосстанавливающийся предохранитель.

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько десятилетий количество солнечных электростанций (СЭС) стремительно растет, пропорционально росту потребляемой мощности, также возрастают и используемые площади – это десятки или сотни гектар. Из-за увеличения площади размещения объектов генерации, а также по причине их расположения на открытой местности, существует высокий риск попадания молнии в фотоэлектрические модули, что мгновенно приводит к повреждению дорогостоящего оборудования СЭС (рисунок 1 а, б, с).

На сегодняшний день в Российской Федерации еще не разработаны нормативные документы, которые устанавливают требования к заземляющему устройству для СЭС, по этой причине для правильной организации заземляющих устройств необходимо учитывать требования, содержащиеся в действующем нормативном документе – ПУЭ 7 издание, в соответствии с этим защита СЭС от молнии выполняется по тому же принципу, что и для любого другого энергообъекта [1, 2, 3, 4].

Для начала организации системы заземления необходимо определить к какому классу молниезащиты относится объект, на котором устанавливаются фотоэлектрические модули. Если фотоэлементы установлены на открытой местности, то их можно отнести к II или III категории молниезащиты [4, 5, 6], в зависимости от конструкции и назначения. После чего произвести расчет зоны защиты в соответствии с действующими нормативными документами. В первую очередь опасности поражением молнией подвергаются фотоэлектрические модули и (GCB), установленные на открытой местности. По этой причине для защиты солнечных модулей и (GCB) от прямого удара молнии применяются стержневые активные молниеприемники, которые обеспечивают определенную зону защиты (рисунок 2 а, б), а рамки фотоэлектрических модулей соединены между собой гибкой шиной заземления, которая в свою очередь соединена с контуром заземления (рисунок 2 с).

Устройство сумматорного щита (GCB) также в своем составе имеет защиту от импульсных перенапряжений (далее – УЗИП), которое показано на (рисунок 3)

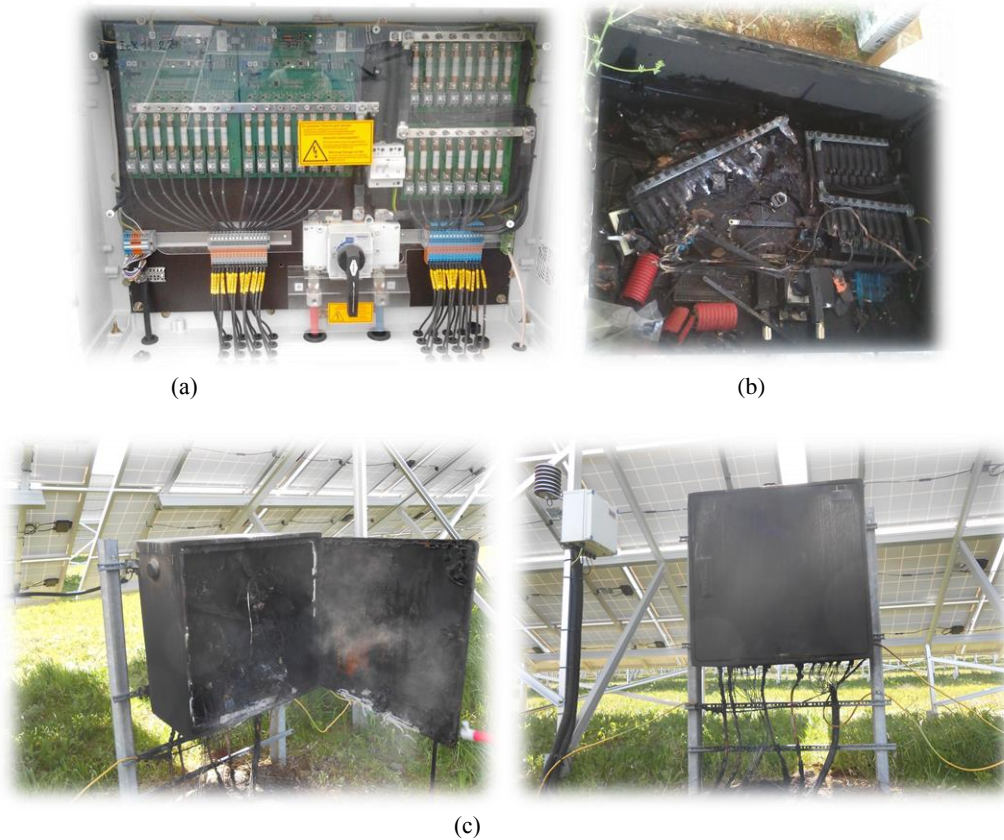


Рис. 1. Сумматорный щит (GCB), расположенный в Республике Крым с. Охотниково СЭС «ОУЗИЛ СОЛАР» при работе в нормальном режиме, до возникновения атмосферных перенапряжений в электрической сети постоянного тока (а). Показаны последствия атмосферных перенапряжений на сумматорном щите GCB, по итогам прохождения грозового фронта 2015 г. (б, с).

Fig. 1. Summation Board (GCB), located in the Republic of Crimea with. Okhotnikovo PPP "OUZIL SOLAR" during normal operation, before the occurrence of atmospheric surges in the DC electrical network (a). The consequences of atmospheric surges on the summing board GCB are shown, based on the results of the passage of the thunderstorm front in 2015. (b, c).

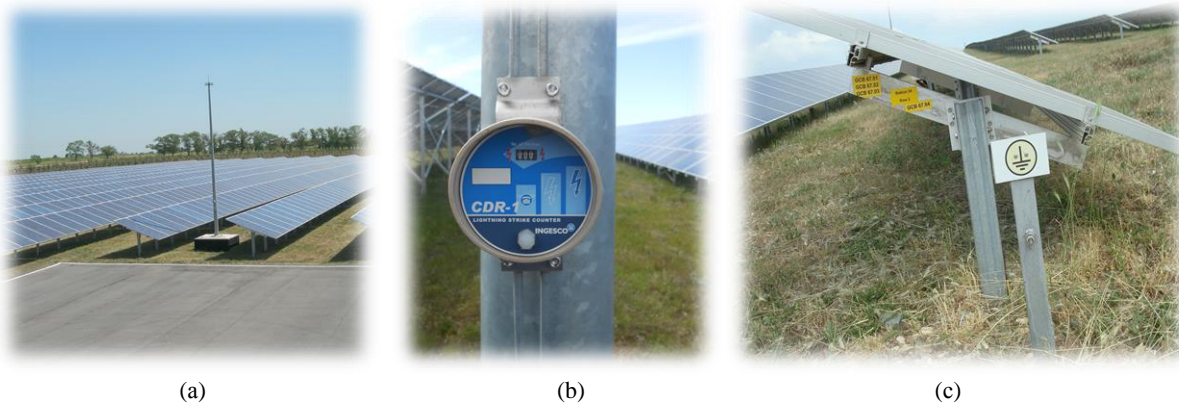


Рис. 2. Сумматорный щит (GCB), расположенный в Республике Крым с. Охотниково СЭС «ОУЗИЛ СОЛАР» при работе в нормальном режиме, до возникновения атмосферных перенапряжений в электрической сети постоянного тока (а). Показаны последствия атмосферных перенапряжений на сумматорном щите GCB, по итогам прохождения грозового сезона 2015г. (б, в).

Fig. 2. Summation Board (GCB), located in the Republic of Crimea with. Okhotnikovo PPP "OUZIL SOLAR" during normal operation, before the occurrence of atmospheric surges in the DC electrical network (a). The consequences of atmospheric surges on the summing board GCB, based on the results of the passage of the thunderstorm season of 2015, are shown. (b, c).

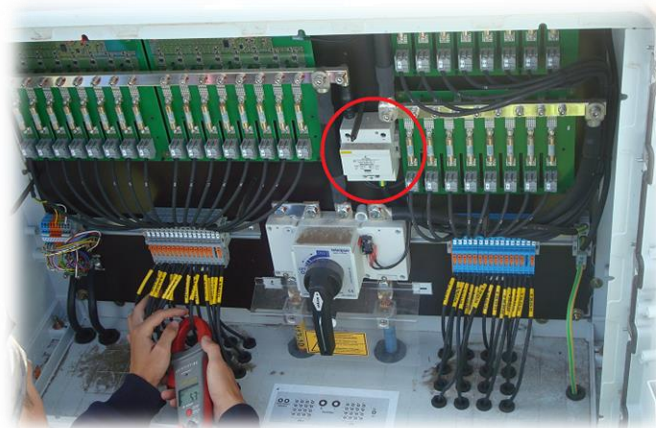


Рис. 3. УЗИП установленный в Сумматорном щите (GCB), расположенный в Республике Крым с. Охотниково СЭС «ОУЗИЛ СОЛАР»

Fig. 3. SPD installed in the GCB, located in the Republic of Crimea with. Okhotnikovo SPP «OUZIL SOLAR».

Как показывает многолетняя практика эксплуатации СЭС на территории Республики Крым, все перечисленные защитные устройства не обеспечивают необходимую степень защиты, непосредственно фотоэлектрических модулей от импульсных перенапряжений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Молния – это электрический разряд в атмосфере между грозовым облаком и фотоэлектрическим модулем. Разряду молнии предшествует интенсивное разделение и накопление

электрических зарядов в грозовых облаках, происходящие под воздействием мощных восходящих потоков воздуха и интенсивной конденсации водяных паров в облаках. Нижняя часть грозового облака, обычно заряженная отрицательно, образует с фотоэлектрическими модулями своеобразный конденсатор облако-модуль (рисунок 4 а). По мере накопления отрицательных зарядов в нижней части облака напряжённость электрического поля конденсатора облако – модуль возрастает и как только в каком либо месте напряжённость достигнет критического значения 25-30 кВ/см, воздух ионизируется, т. е. становится электропроводящим и в земле начинает развиваться заряд (рисунок 4 б).



(a)

(b)

Рис. 4. Этапы развития разряда молнии над фотоэлектрическими модулями, в период прохождения грозового сезона в с. Митяево СЭС ОУЛ СОЛАР май 2018г.:

а – лидерная стадия (0,005-0,01 сек.);

б – главный разряд (50-100 мксек.) и послесвечение (0,03-0,05 сек.).

Fig. 4. Stages of development of a lightning discharge over photovoltaic modules, during the passage of a thunderstorm season in the village. Mityaev SES OUL SOLAR May 2018:

а – leader stage (0.005-0.01 sec.);

б – the main discharge (50-100 microseconds) and afterglow (0.03-0.05 seconds).

Различаются три стадии разряда молнии. Разряд между облаком и фотоэлектрическим модулем начинается с прорастанием к земле слабосветящегося канала, движущегося толчкообразно с относительно небольшой скоростью 100-1000 км/с. Канал несет значительную часть разрядов облака, создающих в

его головке высокие потенциалы, достигающие несколько миллионов вольт. По характеру развития разряд молнии на этой стадии принято называть *первой стадией* – ступенчатым лидером [1,2,3].

Как только лидер достигнет поверхности фотоэлектрического модуля или (GCB), наступает *вторая стадия* разряда – главный разряд молнии, во

время которого от поверхности фотоэлектрического модуля по каналу лидера с большой скоростью (60000 км/с) распространяются положительные заряды модуля (разрядная волна), нейтрализующие отрицательные заряды канала лидера [1, 2, 3].

Главный разряд характеризуется протеканием большого тока в месте удара, который называется током молнии и интенсивным каналом свечения разряда (рисунок 5). Воздух в канале разогревается до температуры порядка 10 000 °С и быстро расширяется, что вызывает распространение ударной звуковой волны.

В *третьей стадии* разряда молнии заканчивается стекание зарядов части облака, откуда начался разряд и свечение канала постепенно прекращается [7, 8].

Внестоящей работе с целью обеспечения необходимого уровня защиты фотоэлектрических молей рассмотрим способ борьбы с не менее опасными - индуктированными перенапряжениями, которые возникают в проводниках линий электропередачи постоянного тока при ударе вблизи линий и являются следствием быстрого изменения электромагнитного поля канала молнии в момент главного разряда. В соответствии с этим различают: электрическую и электростатическую составляющую индуктированных перенапряжений, вызванную быстрым изменением электрического поля и магнитную составляющую, вызванную

быстрым изменением магнитного поля в момент главного разряда молнии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

1. Рассмотрим наведение волн напряжения на токопроводы фотоэлектрического модуля вследствие изменения электрического поля при нейтрализации зарядов лидерного канала.

При прорастании к земле лидерного канала,двигающегося с относительно небольшой скоростью, под действием электрического поля его зарядов составляющей E_x на (рисунке 5, а), в проводе возникает ток за счет подтягивания положительных зарядов q с дальних участков линии и проводников (соединительных ламелей) фотоэлектрического модуля. По мере приближения лидера к земле суммарный заряд на проводах увеличивается и потенциал их достигает значения U_0

Главный разряд молнии (нейтрализация канала) протекает с большой скоростью и в течение нескольких микросекунд электрическое поле лидера разрушается. В результате этого заряды на проводниках освобождаются и начинают растекаться вдоль линии – возникают две электромагнитные волны с потенциалами $\frac{U_0}{2}$, движущиеся по линии от места возникновения в противоположных направлениях (рисунке 5, б)

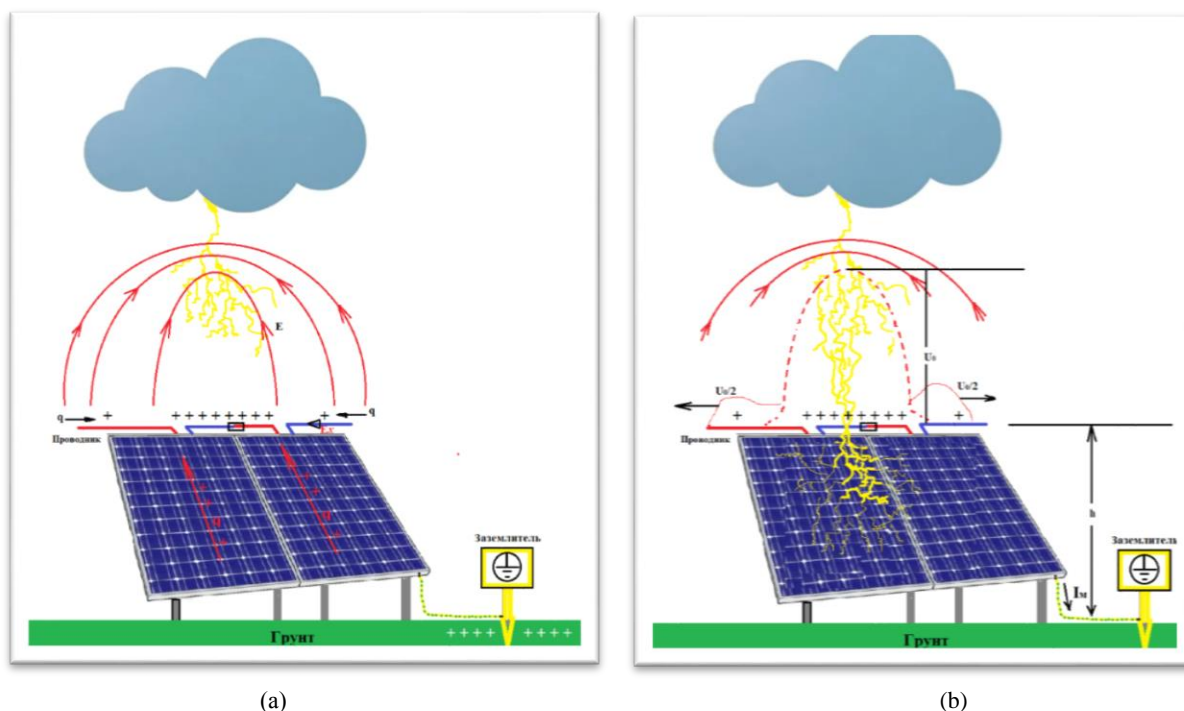


Рис. 5. Индукция волн напряжения на фотоэлектрических модулях и проводниках постоянного тока:

а – индукция зарядов на проводе и фотоэлектрическом модуле в лидерной стадии заряда;

б – освобождение зарядов проводника и фотоэлектрического модуля в момент главного разряда.

Fig. 5. Induction of voltage waves on photovoltaic modules and DC conductors:

а – charge induction on the wire and the photovoltaic module in the leader stage of the charge;

б – is the release of charges of the conductor and the photovoltaic module at the moment of the main discharge.

Индукцированные перенапряжения опасны для шунтирующих диодов Шоттки, расположенных в клеммных коробках (рисунок 6) фотоэлектрического модуля, а также для полупроводниковых материалов из которых выполнены фотоэлементы и для изоляции проводниковых материалов.

Для примера рассмотрим грозовой разряд, который попал в активный молниеотвод на расстоянии $S = 150$ м от кабельной линии постоянного тока, с рабочим напряжением $U_{л.} = 700$ в. Величина тока молнии $I_{л.} = 150$ кА. Определим величину индуктированного перенапряжения на кабельной линии, если высота прокладки кабельной линии $h_{л.} = 2$ м от уровня земли.

Максимальный индуктированный потенциал проводника, поражённой кабельной линии фотоэлектрического модуля определяем по формуле (1) [9]:

$$U_{инд} = 30 * \frac{I_{л.} * h_{л.}}{s} = 30 * \frac{150 * 2}{150} = 60 \text{ (кВ)}, \quad (1)$$

где $U_{инд}$ – максимальный индуктированный потенциал (кВ);

$I_{л.}$ – величина тока молнии (кА);

$h_{л.}$ – расстояние от проводника до поверхности земли (или высота подвеса проводов) (м);

s – расстояние от кабельной линии до молниеотвода или места попадания молнии (м).

Так как индуктированное напряжение можно принять одинаковым для двух проводников и учитывая, что оно действует на оба проводника кабельной линии постоянного тока, определим кратность перенапряжения по формуле (2):

$$C = \frac{U_{инд}}{U_{л.}} = \frac{60 \text{ 000}}{700} = 85,7, \quad (2)$$

где C – величина кратности напряжения в кабельной линии;

$U_{л.}$ – напряжение кабельной линии постоянного тока (В);

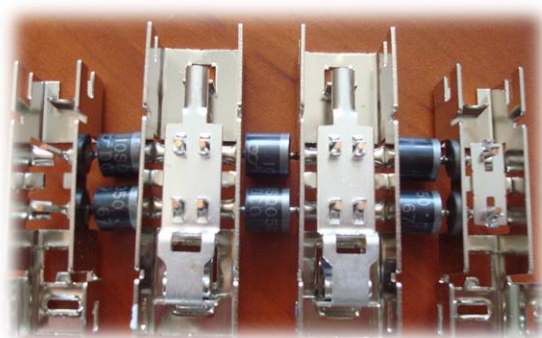


Рис. 6. Полупроводниковые диоды, расположенные в клеммной коробке и используемые в фотоэлектрических модулях для защиты от затенения (общее количество установленных в модуле 6 единиц).

Fig. 6. Semiconductor diodes located in the terminal box and used in photovoltaic modules for protection against shading (the total number of installed in the module is 6 units).

2. Рассмотрим схему замещения молнии поразившую кабельную линию фотоэлектрического модуля.

Количественная оценка перенапряжений при прямом поражении молний основана на замене действительного процесса прямого удара молнии процессом в виде электромагнитной волны, движущийся к месту поражения по некоторой условно однородной линии без потерь с волновым сопротивлением 50-100 Ом. Под волновым сопротивлением линии принимаем величину (3) [10]:

$$Z = \sqrt{L/C}, \quad (3)$$

где Z – волновое сопротивление кабельной линии;

L – индуктивность;

C – емкость кабельной линии.

Если бегущая по участку линии А – Б волна напряжения произвольной формы $U_{п}(t)$, которую назовем падающей волной, встречает в узле Б некоторое сопротивление $Z_{к}$ (рисунок 7, а), то от узла Б к началу линии распространяется отраженная волна $U_{о}(t)$. Напряжение и ток прямой и соответственно отраженной волн связаны законом Ома (4) [10]:

$$\frac{U_{п}}{i_{п}} = \frac{U_{о}}{i_{о}} = Z_{к}, \quad (4)$$

где $Z_{к}$ – волновое сопротивление канала молнии;

$i_{п}$ – ток падающей волны; $i_{о}$ – ток отраженной волны;

$U_{о}$ – напряжение отраженной волны;

$U_{п}$ – напряжение падающей волны.

Для узла Б можно написать следующие уравнения (5):

$$U_{\text{п}} + U_0 = U_2 \text{ и } i_{\text{п}} - i_0 = i_2, \quad (5)$$

Кроме того, ток падающей волны можно определить из формулы (6) [26]:

$$i_{\text{п}} = \frac{U_{\text{п}}}{Z_{\text{к}}}, \quad (6)$$

ток отраженной волны рассчитываем из формулы (7) [10]:

$$i_0 = \frac{U_0}{Z_{\text{к}}}. \quad (7)$$

Исключая из этих уравнений $i_{\text{п}}$, i_0 и U_0 получаем выражение (8):

$$2U_{\text{п}} = i_2 Z_{\text{к}} + U_2 = i_2 (Z_{\text{к}} + Z_{\text{х}}). \quad (8)$$

Из структуры этого выражения вытекает правило замены действительной схемы узла Б с волновым сопротивлением $Z_{\text{к}}$, активным сопротивлением заземляющего устройства $Z_{\text{х}}$ (рисунок 7, а) эквивалентной схемой замещения с сосредоточенными параметрами (рисунок 7, б), в которой линия с волновым сопротивлением $Z_{\text{к}}$ заменена сосредоточенным активным

сопротивлением той же величины, падающая волна $U_{\text{п}}(t)$ заменена э. д. с. $e(t) = 2U_{\text{п}}(t)$, приложенной к схеме из последовательно соединённых $Z_{\text{к}}$ и $Z_{\text{х}}$.

Таким образом смысл такой замены состоит в том, что цепь с распределенными постоянными, замещается цепью с сосредоточенными постоянными, которую можно применить при исследовании переходных процессов и расчетах перенапряжений.

В качестве исходной величины в расчетах УЗИП принимаем амплитуду тока молнии $I_{\text{м}}$ на (рисунке 7, с), измеренную в естественных условиях при поражении объектов с малым сопротивлением заземляющих устройств, т.е. при $Z_{\text{х}} = 0$. Тогда расчетная амплитуда волны напряжения при заданном расчетном токе определится из схемы замещения выражением (9):

$$U_{\text{п}} = \frac{I_{\text{м}} * Z_{\text{к}}}{2}, \quad (9)$$

где $I_{\text{м}}$ – амплитуда расчетного тока молнии; $U_{\text{п}}$ – амплитуда падающей волны.

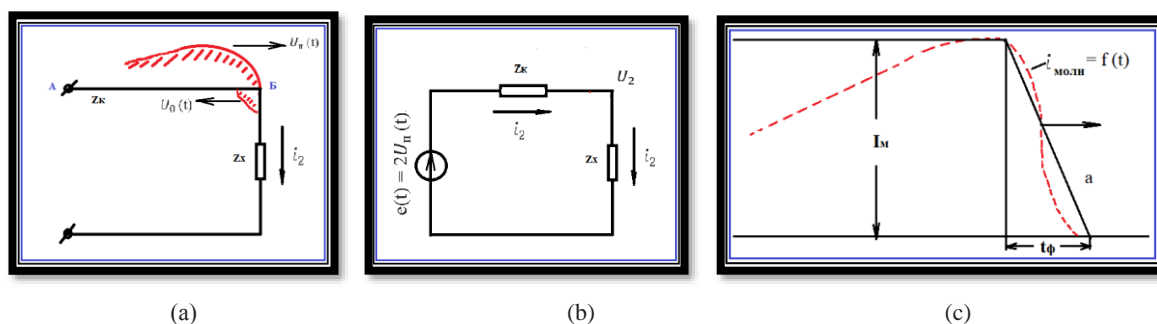


Рис. 7. Схема замещения с сосредоточенными параметрами:

а – волна в линии с волновым сопротивлением $Z_{\text{к}}$ приходит в точку Б (место соединения с заземляющим устройством $Z_{\text{х}}$);

б – схема замещения для расчета напряжения в место удара молнии;

с – расчетный ток молнии; $I_{\text{м}}$ -амплитуда; а –средняя крутизна фронта тока молнии; i_{ϕ} –длина фронта тока молнии.

Fig. 7. Equivalent circuit with lumped parameters:

a – wave in a line with wave impedance $Z_{\text{к}}$ comes to node B;

b – equivalent circuit for calculating the voltage at the place of a lightning strike;

c – calculated lightning current; $I_{\text{м}}$ -amplitude; a is the average steepness of the lightning current front; i_{ϕ} is the length of the front of the lightning current.

В расчетах защиты на ряду с амплитудой тока молнии $I_{\text{м}}$ большое значение имеет крутизна фронта (9) [10]:

$$\left(\frac{di_{\text{м}}}{dt}\right) = a_{\text{макс}} \cdot \quad (9)$$

где $a_{\text{макс}}$ – максимальная крутизна фронта.

Так как $a_{\text{макс}}$ определяет величины индуцированных перенапряжений и индуктивного падения напряжения в цепях, по которым проходит ток молнии, в расчете можно принять «косоугольный» фронт волны тока со средней крутизной (а) (рисунок 8, в). Средняя крутизна фронта меньше $a_{\text{макс}}$. Вероятность появления величин $a_{\text{макс}}$ и $I_{\text{м}}$ при грозовых поражениях определена на основании многолетних измерений и исследований [11,16,17]. Амплитуды токов молнии не превышают 200-230 кА, при этом токи 100 кА наблюдаются очень редко (по статистике

приблизительно в 2 % разрядов молнии). По этой причине при расчетах защищаемого объекта принимаем токи 50-100 кА [10, 18, 19, 26]. Максимальная крутизна фронта токов молнии не превышает 50 кА/мкс. При больших амплитудах токов молнии наблюдается и большие величины крутизны фронта. По этой причине при расчетных токах молнии 100 кА и выше, среднюю крутизну фронта тока принимаем 30 кА/мксек, а при расчетных токах менее 100 кА – порядка 10 кА/мкс [18, 26].

3. Последствия атмосферных перенапряжений на фотоэлектрические модули.

Основная проблема заключается в импульсных перенапряжениях, которые приводят к пробое р-п перехода шунтирующих диодов Шоттки в фотоэлектрических модулях. Эта проблема носит

массовый характер т.к. при возникновении лидерного канала, о котором говорилось ранее в проводниках, соединяющих между собой фотоэлектрические модули, появляется наведенный импульсный ток, а также увеличивается потенциал, который достигает значения выше постоянного прямого напряжения диода или импульсного обратного напряжения и как следствие во всей цепи последовательно соединенных модулей выходят из строя шунтирующие диоды. Это повреждение носит сугубо скрытый характер, потому что оперативно выявить данный дефект практически невозможно, дефект проявляет себя в процессе эксплуатации СЭС. При экстремально высоких температурах окружающей среды и массовых затенениях, начинается процесс масштабного перегрева фотоэлементов, температура достигает значения до 100 °С. Данные перегревы приводят к ускоренному процессу деградации (износу) и массовой недовыработки электрической энергии, а выявить неисправность возможно только при детальном сравнительном анализе выработки каждого стринга в отдельности или при проведении телевизионного мониторинга. Процесс замены фотоэлектрических модулей из-за повреждения диодов является дорогостоящим, а процесс поиска и замены поврежденных диодов очень трудоемкий, практически занимает большое количество времени и человеческих ресурсов. Для исключения влияния атмосферных перенапряжений в фотоэлектрических модулях предлагается обеспечить дополнительной защитой каждый модуль в отдельности, не зависимо от их общего числа на объекте СЭС.

ВЫВОДЫ

В этой статье рассмотрено индуцированное наведение волн напряжения на токопроводы фотоэлектрического модуля вследствие изменения электрического поля при нейтрализации зарядов лидерного канала и освобождение зарядов в электрически связанных проводниках фотоэлектрического модуля в момент главного разряда. Рассмотрен порядок расчета основных характеристик устройства защиты от импульсных перенапряжений для защиты фотоэлектрических модулей от импульсных перенапряжений и наведенных электрических токов на проводниковые материалы, находящиеся в зоне электромагнитных импульсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 50571.26–2002. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений.
- Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех / РД 34.20.116–93. – М.: РАО "ЕЭС России", 1993. – 56 с.
- Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок / РД 153–34.0–20.525–00. – М.: РАО «ЕЭС России», 2000. – 44 с.
- ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7, утв. Приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. № 204. – 462 с.
- РД 34.21.122–87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений утв. Минэнерго от 12.10.1987 (ред. от 20.06.2003). – 37с.
- СО-153.34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций, утв. приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280 -29 с.
- Алиев Ф.Г., Злобинский В.Я., Халилов Ф.Х. Проблемы защиты от перенапряжений в системах электроснабжения. Екатеринбург, Издательство «Терминал Плюс», 2001. – 154 с.
- РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений Санкт-Петербург Издательство ПЭИПК, 1999. – 188 с.
- СТО 56947007-29.240.02.001-2008. Методические указания по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ от грозových перенапряжений. утв. Протоколом N 2 заседания Постоянно действующей комиссии по нормативно-техническому обеспечению деятельности ОАО «ФСК ЕЭС» от 30.11.2004 – 66 с.
- Электрические сети и станции Л.Н. Баптиданова государственное энергетическое издательство Энергоиздат Москва, 1963. – 463с.
- ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 декабря 2011 г. N 699-ст.
- ГОСТ 1147-569. Разрядники трубчатые для защиты изоляции электрооборудования переменного тока напряжения от 3 до 220 кВ. Технические требования. Государственный Комитет СССР по стандартам. Издательство стандартов, 1976 г. – 33 с.
- ГОСТ Р 54986 Устройства защиты от импульсных перенапряжений в системах телекоммуникации и сигнализации (информационных системах) утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 сентября 2012 г. № 311-ст -49 с.
- ГОСТ Р 55630-2013. Перенапряжения импульсные и защита от перенапряжений в низковольтных системах переменного тока утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 сентября 2013 г. N 982-ст -59 с.
- Дульзон А.А., Каляцкий И.И. Грозозащита подстанций. – Томск: Изд-во Томского университета, 1970. – 220 с.

16. Зоричев А.Л. Молниезащита: зонавая концепция // Новости электротехники. 2004. №3(27). С.64-67.

17. Зоричев А.Л. Молниезащита: зонавая концепция // Новости электротехники. 2004. №4(28). С.78-81.

18. Зоричев А.Л. Устройства защиты от импульсных перенапряжений до 1 кВ // Новости электротехники. 2005. №3(33). С.80-84.

19. ГОСТ Р 51992–2002 (МЭК 61643–1–98). Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Часть 1. Требования к работоспособности и методы испытаний.

20. IEC–61643–12 (2002). Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Часть 12. Выбор и принципы применения.

21. Коструба С.И. Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 166 с.

22. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 86 с.

23. Рябкова Е.Я. Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978. – 224 с.

24. Ослон А.Б. Некоторые вопросы теории заземлений. – М.: Энергия, 2003. – 74 с.

25. ГОСТ 464-79 Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов проводного вещания и антенн систем коллективного приема телевидения. Нормы сопротивления. Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29.01.79 N 304. – 37с.

26. РД 45.083-99 Рекомендации по обеспечению стойкости аппаратурных комплексов объектов проводной электросвязи к воздействию дестабилизирующих факторов. утв. письмом Минсвязи России от 7 декабря 1999 г. N 7481.

REFERENCES

1. GOST R 50571.26–2002. Electrical installations of buildings. Part 5. Selection and installation of electrical equipment. Section 534 Surge Protective Devices.

2. Guidelines for the protection of secondary circuits of power stations and substations from impulse noise / RD 34.20.116–93. - М.: RAO "UES of Russia", 1993. – 56 p.

3. Guidelines for monitoring the condition of grounding devices in electrical installations / RD 153-34.0-20.525-00. - М.: RAO "UES of Russia", 2000. – 44 p.

4. PUE. Rules for the installation of electrical installations. Edition 7, approved. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of July 8, 2002 N 204. – 462 p.

5. RD 34.21.122-87 Instructions for the installation of lightning protection of buildings and structures approved. Ministry of Energy of 10/12/1987 (as amended on 06/20/2003). – 37 p.

6. SO-153.34.21.122-2003 Instructions for lightning protection of buildings, structures and industrial communications, approved. by order of the Ministry of Energy of Russia dated June 30, 2003 № 280. – 29 p.

7. Aliev F.G., Zlobinsky V.Ya., Khalilov F.Kh. Problems of surge protection in power supply systems. Yekaterinburg, Terminal Plus Publishing House, 2001. – 154 p.

8. RD 153-34.3-35.125-99 Guidelines for the protection of electrical networks 6-1150 kV from lightning and internal surges St. Petersburg PEIPC Publishing House 1999. – 188 p.

9. STO 56947007-29.240.02.001-2008 Guidelines for the protection of electrical distribution networks with a voltage of 0.4-10 kV from lightning surges. approved Minutes No. 2 of the meeting of the Standing Commission for Regulatory and Technical Support of the Activities of JSC FGC UES dated November 30, 2004. – 66 p.

10. Electric networks and stations L.N. Baptdanov state energy publishing house Energoizdat Moscow 1963. – 463 p.

11. GOST R IEC 61643-12-2011 Surge protection devices in low-voltage power distribution systems. approved Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 6, 2011 N 699-st. – 42 p.

12. GOST 1147-569. Tubular arresters for protection of isolation of electric equipment of alternating current of voltage from 3 to 220 kV. Technical requirements. USSR State Committee for Standards. Standards Publishing House, 1976. – 33 p.

13. GOST R 54986 - Surge protection devices in telecommunications and signaling systems (information systems) approved. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 17, 2012 No. 311-st. – 49 p.

14. GOST R 55630-2013 Impulse surges and surge protection in low-voltage AC systems approved. by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 6, 2013 N 982-st -59 p.

15. Dulzon A.A., Kalyatsky I.I. Lightning protection of substations. – Tomsk: Publishing House of Tomsk University, 1970. – 220 p.

16. Zorichev A.L. Lightning protection: zone concept // News of electrical engineering. 2004. № 3(27). Pp.64-67.

17. Zorichev A.L. Lightning protection: zone concept // News of electrical engineering. 2004. № 4(28). Pp.78–81.

18. Zorichev A.L. Surge protection devices up to 1 kV // News of electrical engineering. 2005. № 3(33). Pp.80-84.

19. GOST R 51992–2002 (IEC 61643–1–98). Devices for surge protection in low-voltage power distribution systems. Part 1: Performance requirements and test methods.

20. IEC-61643-12 (2002). Surge protection devices for low-voltage power distribution systems. Part 12. Choice and principles of application.

21. Kostruba S.I. Measurement of electrical parameters of the earth and grounding devices. – M.: Energoatomizdat, 1983. – 166 p.

22. Burgsdorf V.V., Jacobs A.I. Grounding devices of electrical installations. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 86 p.

23. Ryabkova E.Ya. Grounding in high voltage installations. – M.: Energy, 1978. – 224 p.

24. Oslon A.B. Some questions of the theory of groundings. – M.: Energy, 2003. – 74 p.

25. GOST 464-79 Grounding for fixed installations of wire communication, radio relay stations, radio

broadcasting nodes of wire broadcasting and antennas of collective television reception systems. Resistance standards. Approved Decree of the USSR State Committee for Standards dated 29.01.79 N 304. – 37 p.

26. RD 45.083-99 Recommendations for ensuring the resistance of hardware complexes of wired telecommunication objects to the effects of destabilizing factors. approved letter of the Ministry of Communications of Russia dated December 7, 1999 N 7481.

PROTECTION OF PHOTOELECTRIC MODULES FROM ATMOSPHERIC PULSE OVERVOLTAGE

Arifov A.M.¹, Bekirov E.A.²

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
295007, Republic of Crimea, Simferopol, p. Vernadsky, 4,
¹arifov.alim@inbox.ru, ²bekirov.e.a@cfuv.ru

Abstract. The paper considers the influence of atmospheric electromagnetic pulses on the photovoltaic module and its components. A developed surge protection circuit is proposed, which makes it possible to protect each photovoltaic module separately, as well as significantly reduce the impact of surge voltages on the equipment electrically connected to them.

Subject of study: induced potential at the affected conductor, induction of charges on the photovoltaic module in the leader stage of the charge, release of the charges of the conductor and the photovoltaic module at the moment of the main discharge.

Materials and methods: in order to ensure the necessary level of protection for photoelectric modules, we considered a way to deal with no less dangerous - induced overvoltages that occur in the conductors of DC power lines during a lightning strike in the vicinity of the lines and are the result of a rapid change in the electromagnetic field, the lightning channel in moment of the main discharge. Studies have been carried out on the stages of a lightning discharge and, as a result, induced overvoltages that affect photovoltaic modules and their conductors.

Results. For the first time, a circuit was proposed that provides protection for a photovoltaic module and its components (Schottky diodes) from atmospheric overvoltages.

Conclusions: the article considers the induced induction of voltage waves on the conductors of a photovoltaic module due to a change in the electric field during the neutralization of the charges of the leader channel. The algorithm of operation of protecting photovoltaic modules from surges and induced electric currents on conductor materials located in the zone of electromagnetic pulses is considered. A developed scheme has been proposed that will ensure the protection of photovoltaic modules directly from the effects of surge voltages, as well as the protection of semiconductor elements (Schottky diodes) that are included in the module circuit. An important aspect of this work is that the introduction of such schemes reduces the risk factor for failure from impulse overvoltages of module elements that are not in the zone of electromagnetic radiation, but have an electrical connection with them.

Key words: induced overvoltages; photovoltaic module; electromagnetic field; leader channel; varistor; thermistor; resettable fuse.