

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **17549**

(13) **С1**

(46) **2013.10.30**

(51) МПК

H 02H 9/04 (2006.01)

H 02H 7/09 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

(21) Номер заявки: а 20110860

(22) 2011.06.17

(43) 2013.02.28

(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный аграрный
технический университет"
(ВУ)

(72) Авторы: Протосовицкий Иван Ва-
сильевич; Шевчик Николай Евгень-
евич; Протосовицкий Дмитрий Ива-
нович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государственный
аграрный технический универси-
тет" (ВУ)

(56) RU 2337449 C1, 2008.

ВУ 6991 U, 2011.

ВУ 8922 C1, 2007.

RU 2208888 C1, 2003.

RU 2257654 C1, 2005.

SU 1078530 A, 1984.

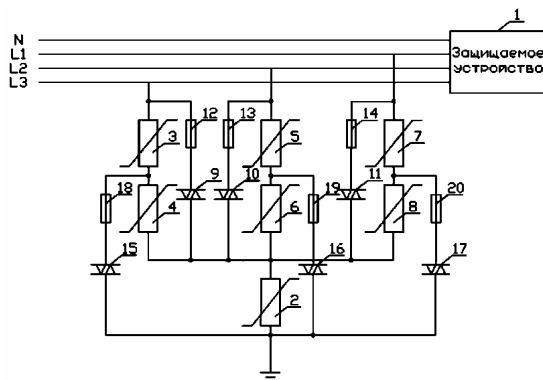
SU 1274069 A1, 1986.

CA 1288463 C, 1991.

DE 3820807 A1, 1989.

(57)

Устройство для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений в низковольтных электрических сетях, содержащее группы ограничителей перенапряжения, каждая из которых соединена входом с одним из проводов линии электропитания защищаемого электрооборудования, а выходы групп соединены между собой в "звезду", общая точка которой соединена с выводом заземления, при этом каждая группа ограничителей перенапряжения содержит по два последовательно соединенных варистора; к каждой группе ограничителей перенапряжения подключено по два двунаправленных ограничительных диода, один из которых подключен входом через предохранитель с токоограничением ко входу первого варистора группы и выходом - к выходу второго варистора группы, а второй - входом через предохранитель с токоограничением ко входу второго



Фиг. 1

варистора группы и выходом - к выпуску заземления, общая точка "звезды" соединена с выпуском заземления через варистор, причем двунаправленные ограничительные диоды и варисторы выбраны в соответствии с выражениями:

$$U_d = 0,6U_{\text{раб.}}, U_{\text{вар.}} = 0,5U_{\text{раб.}}, U_{\text{вар. заземл.}} = 0,5U_{\text{раб.}},$$

где U_d - напряжение открытия двунаправленных ограничительных диодов; $U_{\text{раб}}$ - рабочее напряжение сети, питающей защищаемое оборудование; $U_{\text{вар}}$ - напряжение открытия варисторов, входящих в группы ограничителей перенапряжения; $U_{\text{вар. заземл.}}$ - напряжение открытия варистора, соединяющего нулевую точку звезды и вывод контура заземления.

Заявляемое изобретение предназначено для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений и может быть использовано в электроэнергетике, а именно в низковольтных электрических сетях.

Известно устройство для защиты от коммутационных перенапряжений, содержащее подключенные между защищаемым объектом и землей последовательно соединенные высоконелинейные резисторы, параллельно части которых подключены пары последовательно включенных блоков искровых промежутков, параллельно одному из которых в каждой паре подключена цепочка из последовательно соединенных коммутатора и первого резистора, общая точка которых соединена через второй резистор с высоконелинейными резисторами, причем отношение сопротивлений высоконелинейных резисторов пропорционально отношению пробивных напряжений шунтирующих их искровых промежутков, которые параллельно коммутаторам подключены конденсаторы [1].

Недостатками этого устройства являются недостаточно высокое быстродействие, низкая эффективность для защиты бытового и электронного оборудования и неэффективное использование входящих в его состав нелинейных резисторов. Следует учитывать, что при кратковременных импульсах перенапряжений в линии электропитания защищаемое электронное оборудование может выйти из строя до того, как сработает данный вид защиты.

Известен также ограничитель внутренних перенапряжений в трехфазных сетях с изолированной и компенсированной нейтралью, содержащей первые три оксидноцинковых резистора, подключенные первыми выводами к соответствующим фазам сети, вторые выводы соединены в первую "звезду". При этом в него введены вторые три оксидноцинковых резистора, первые выводы которых подключены к фазам сети, вторые выводы соединены во вторую "звезду", нейтрали первой и второй "звезд" заземлены соответственно через третий и четвертый оксидноцинковые резисторы, шесть диодов, причем второй вывод резистора фазы А первой "звезды" подключен к аноду первого диода, второй вывод резистора фазы В первой "звезды" подключен к катоду первого диода и аноду второго диода, второй вывод резистора фазы С первой "звезды" подключен к катоду второго диода и аноду третьего диода, катод которого подключен к первому выводу третьего резистора, второй вывод которого заземлен, второй вывод фазы А второй "звезды" подключен к катоду четвертого диода, второй вывод резистора фазы В второй "звезды" подключен к аноду четвертого диода и катоду пятого диода, второй вывод резистора фазы С второй "звезды" подключен к аноду пятого диода и катоду шестого диода, анод которого подключен к первому выводу четвертого резистора, второй вывод которого заземлен [2].

Недостатками данного устройства являются недостаточно эффективное использование входящих в его состав нелинейных резисторов и относительная сложность монтажа схемы защитного устройства.

Известно устройство для защиты от перенапряжений, содержащее подключенные между защищаемым объектом и землей, соединенные последовательно нелинейные резисторы, а также искровые промежутки, шунтирующие часть нелинейных резисторов, которые объединены в нечетное количество модулей, к каждым соединенным последовательно

трем модулям подключены два искровых промежутка, при этом в каждой тройке модулей первый искровой промежуток подключен параллельно соединенным последовательно верхнему и среднему модулям, а второй искровой промежуток подключен параллельно соединенным последовательно среднему и нижнему модулям [3].

Недостатками известной схемы являются достаточно высокий уровень ограничения напряжения и значительная величина остаточного напряжения, обусловленные количеством последовательно включенных резисторов, делающие данное устройство неэффективным для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений. Также нецелесообразно использование искровых промежутков для шунтирования нелинейных резисторов, т.к. в случае отсутствия пробоя искровых промежутков через каждый последовательно соединенный резистор будет протекать значительный импульсный ток при коммутационных или грозовых перенапряжениях, что негативным образом сказывается на нелинейных резисторах.

Прототипом заявляемого устройства для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений в низковольтных электрических сетях является устройство защиты оборудования от перенапряжений, содержащее группу токоограничивающих элементов, каждый из которых последовательно включен в один из проводов линий защищаемого оборудования, группу ограничителей перенапряжений, каждый из которых соединен входом с одним из проводов линий защищаемого оборудования, причем выходами ограничители перенапряжений соединены между собой "звездой", общая точка которой связана с выводом заземления, отличающееся тем, что общая точка "звезды" связана с выводом заземления через конденсатор, емкость которого выбирается из условия: постоянная времени цепи заряда конденсатора через токоограничивающие элементы должна быть больше минимальной длительности перенапряжений, причем параллельно конденсатору включен дополнительный ограничитель перенапряжения, причем напряжение срабатывания дополнительного ограничителя перенапряжений выбирается большим напряжения измерительного прибора, используемого для измерения сопротивления изоляции или прибора контроля наличия замыкания, а напряжение срабатывания остальных ограничителей перенапряжения выбирается меньшим напряжения указанного измерительного прибора, причем оно содержит токоограничивающие элементы из состава: резистор, катушка индуктивности, их комбинация, причем оно содержит ограничители перенапряжения из состава: разрядники, варисторы, комбинация разрядников и варисторов, полупроводниковые ограничители перенапряжений, причем дополнительный ограничитель перенапряжения выполнен в виде разрядника [4].

Недостатки прототипа состоят в следующем.

В известном устройстве в качестве токоограничивающих элементов используются: резистор, катушка индуктивности, их комбинация, каждый из которых последовательно включается в один из проводов линий защищаемого оборудования, это предполагает включение дополнительных элементов в силовую цепь, что не всегда допустимо с точки зрения эксплуатации. При этом включение в цепь реактивных элементов, таких как катушки индуктивности, может негативно сказаться на электромагнитной совместимости защищаемого оборудования.

Подключение к устройству заземления через конденсатор, за исключением случаев, связанных с необходимостью в периодическом (или постоянном) измерении сопротивления изоляции измерительными приборами с высоким значением измерительного напряжения, не является обоснованным в связи с тем, что при перенапряжениях больших амплитуд и скорости нарастания фронта импульса конденсатор, вследствие пробоя обкладок, выйдет из строя, что в свою очередь скажется на надежности работы устройства и уровне ограничения перенапряжения.

Кроме того, включение в качестве дополнительного ограничителя разрядника предполагает увеличение остаточного напряжения, снижение скорости срабатывания и эффек-

тивности защиты устройства при значительных амплитудах перенапряжения, в связи с тем, что быстроедействие разрядников может быть значительно меньше фронтов нарастания импульса напряжения, а также следует учитывать, что вследствие рабочих свойств разрядника данный параметр не стабилен. В результате из-за значительного времени их срабатывания не решается проблема защиты электрооборудования на базе микроэлектронной, микропроцессорной и силовой полупроводниковой техники, имеющей повышенную чувствительность к импульсным перенапряжениям, в результате чего вероятность и частота возникновения аварийных ситуаций резко возрастают.

Технической задачей заявляемого изобретения является повышение надежности, долговечности и эффективности устройства защиты от коммутационных перенапряжений в низковольтных электрических сетях, а также расширение арсенала устройств защиты от перенапряжения.

Поставленная задача достигается устройством для защиты от коммутационных перенапряжений в низковольтных электрических сетях, которое содержит группы ограничителей перенапряжения, каждая из которых соединена входом с одним из проводов линии электропитания защищаемого электрооборудования, а выходы групп соединены между собой в "звезду", общая точка которой соединена с выводом заземления, при этом каждая группа ограничителей перенапряжения содержит по два последовательно соединенных варистора; к каждой группе ограничителей перенапряжения подключено по два двунаправленных ограничительных диода, один из которых подключен входом через предохранитель с токоограничением ко входу первого варистора группы и выходом - к выходу второго варистора группы, а второй - входом через предохранитель с токоограничением ко входу второго варистора группы и выходом - к выпуску заземления, общая точка "звезды" соединена с выпуском заземления через варистор, причем двунаправленные диоды и варисторы выбраны в соответствии с выражениями:

$$U_d = 0,6U_{\text{раб.}}; U_{\text{вар.}} = 0,5U_{\text{раб.}}; U_{\text{вар. заземл.}} = 0,5U_{\text{раб.}},$$

где U_d - напряжение открытия двунаправленных ограничительных диодов; $U_{\text{раб.}}$ - рабочее напряжение сети, питающей защищаемое оборудование; $U_{\text{вар.}}$ - напряжение открытия варисторов, входящих в группы ограничителей перенапряжения; $U_{\text{вар. заземл.}}$ - напряжение открытия варистора, соединяющего нулевую точку "звезды" и вывод контура заземления.

В результате использования для ограничения напряжения неинертных элементов с малым временем срабатывания, таких как двунаправленные ограничительные диоды и варисторы, при возникновении импульса перенапряжения вне зависимости от скорости его нарастания и амплитуды происходит срабатывание устройства, что позволяет сократить время срабатывания до нескольких десятков наносекунд.

Включение в схему заявляемого устройства двунаправленных ограничительных диодов, параллельно части варисторов, позволяет снизить уровень ограничения напряжения сети, токовую нагрузку на варисторы и уровень остающегося на варисторах напряжения.

Таким образом, низкий уровень ограничения напряжения и высокая скорость срабатывания устройства позволяют обеспечить защиту электрооборудования от импульсов коммутационных напряжений на уровне напряжения питания.

Применение предохранителей с токоограничением позволяет ограничить величину тока, протекающего от линии через двунаправленные ограничительные диоды, до значения, максимально допустимого для диодов, что гарантирует сохранность устройства при протекании больших импульсных токов.

Напряжение срабатывания двунаправленных ограничительных диодов и варисторов выбирается из условия:

$$U_d = 0,6U_{\text{раб.}}; U_{\text{вар.}} = 0,5U_{\text{раб.}}; U_{\text{вар. заземл.}} = 0,5U_{\text{раб.}},$$

где U_d - напряжение открытия двунаправленных ограничительных диодов; $U_{\text{вар.}}$ - напряжение открытия варисторов, входящих в группы ограничителей перенапряжения; $U_{\text{вар. заземл.}}$ - на-

пряжение открытия варистора, соединяющего нулевую точку "звезды" и вывод контура заземления; $U_{\text{раб.}}$ - рабочее напряжение сети, питающей защищаемое оборудование.

При появлении в фазах сети повышенного напряжения (более $1,1U_{\text{раб.}}$, но менее $1,5U_{\text{раб.}}$) варисторы и двунаправленные ограничительные диоды соответствующих фаз открываются, в результате к фазам, имеющим отклонения по напряжению, подключаются по две параллельно соединенные защитные цепочки из последовательно соединенных диода и варистора (фиг. 2). После снятия перенапряжения ток через защитное устройство протекать не будет, т.к. к диодам и варисторам не будет приложено напряжение, необходимое для их открытия. Снятие перенапряжения через две параллельные ветви дает возможность снизить токовую нагрузку на каждый элемент устройства в 2 раза и снизить остающееся напряжение на варисторах более чем в 2 раза.

При возникновении в фазах сети защищаемого оборудования значительных импульсов перенапряжений (более $1,5U_{\text{раб.}}$) в результате частичного шунтирования двунаправленными ограничительными диодами варисторы, входящие в состав групп ограничителей перенапряжения, и варистор, соединяющий общую точку "звезды" и вывод заземления, соединяются параллельно (фиг. 2), что позволяет снизить токовую нагрузку на каждый в отдельности взятый варистор, так как при параллельном соединении ток равномерно распределяется между всеми ветвями цепи, в результате чего достигается достаточный уровень защиты по току не только при коммутационных, но и при атмосферных перенапряжениях.

Также благодаря конструктивным особенностям устройства варисторы могут иметь максимально длительное допустимое напряжение меньше, чем рабочее напряжение сети, так как в нормальном режиме работы практически все рабочее напряжение сети приложено к двунаправленным ограничительным диодам.

Дополнительным преимуществом является то, что в нормальном режиме варисторы не включены под напряжение сети, вследствие чего не происходит их деградация и ухудшение их защитных характеристик, что повышает надежность и долговечность устройства.

Ток плавкой вставки предохранителя с токоограничением выбирается равным максимальному импульсному току ограничения двунаправленного ограничительного диода $I_{\text{ррт}}$, принимаемым из паспортных данных диода.

Подобная защита двунаправленных ограничительных диодов оправдана, т.к. замена предохранителей технически и экономически целесообразнее замены ограничительных диодов, которые при высокой стоимости являются достаточно чувствительными элементами. В случае перегорания предохранителей возможна их оперативная замена и повторное включение устройства в работу в кратчайшие сроки.

Даже в случае перегорания всех предохранителей и исключения из цепи заявляемого устройства двунаправленных ограничительных диодов электрооборудование остается защищено последовательно соединенными группами ограничителей перенапряжения и варистором, соединяющим общую точку "звезды" с выводом заземления, что гарантирует надежность защиты при любых условиях.

В итоге благодаря низкому уровню ограничения перенапряжения, снижению скорости срабатывания, применению комбинации защитных неинертных элементов, таких как варисторы и диоды, а также возможности перераспределения токовой нагрузки между всеми элементами устройства и наличию встроенной защиты по току достигается необходимый уровень надежности и эффективности.

Предложенное устройство для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений в низковольтных электрических сетях, по сравнению с прототипом, обладает следующими преимуществами: ограничение импульсов коммутационных перенапряжений на уровне напряжения сети; высокая аппаратная надежность, обусловленная конструктивными особенностями, улучшенные эксплуатационные характеристики (снижение остаточного напряжения на варисторах более чем в 3 раза при атмосферных и в 2

раза при коммутационных перенапряжениях, увеличение пропускной способности по току примерно в 3 раза при атмосферных и в 2 раза при коммутационных перенапряжениях); сокращение времени срабатывания, по сравнению с прототипом, с нескольких сотых долей секунд до десятков микросекунд.

На фиг. 1 приведен общий вид заявляемого устройства; на фиг. 2 приведена принципиальная электрическая схема устройства.

Устройство для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений в низковольтных электрических сетях состоит из группы ограничителей перенапряжения, каждая из которых соединена входом с одним из проводов линии, питающей защищаемое электрооборудование 1, а выходами соединены между собой "звездой", общая точка которой связана с выводом заземления через варистор 2, группы ограничителей перенапряжения включают два последовательно соединенных варистора 3 и 4 для фазы L1, 5 и 6 для L2, 7 и 8 для L3, при этом к каждой группе ограничителей перенапряжения подключено по два двунаправленных ограничительных диода, один из которых 9 для L1, 10 для L2, 11 для L3 подключен входом через предохранитель с токоограничением 12 для L1, 13 для L2, 14 для L3 ко входу первого варистора 3 для L1, 5 для L2, 7 для L3 и выходом к выходу второго варистора 4 для L1, 6 для L2, 8 для L3, а второй двунаправленный ограничительный диод 15 для L1, 16 для L2, 17 для L3 подключен входом через предохранитель с токоограничением 18 для L1, 19 для L2, 20 для L3 ко входу второго варистора 4 для L1, 6 для L2, 8 для L3 и выходом к выпуску заземления.

В соответствии с предложенной схемой устройство работает следующим образом: в установившемся режиме (при отсутствии импульсного напряжения, постоянных значениях напряжения питания и тока нагрузки) в фазах сети равно номинальному, варисторы 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и двунаправленные ограничительные диоды 9, 10, 11, 15, 16, 17 заперты, ток через в цепи защитного устройства не протекает, так как к варисторам и диодам не приложено достаточного для их открытия напряжения.

При появлении повышенного напряжения в фазе L1 (относительно земли или остальных фаз) выше $1,1U_{\text{раб.}}$, но менее $1,5U_{\text{раб.}}$ происходит открытие варисторов 2, 3 и диодов 9, 15, после чего через две параллельно соединенные цепи защитного устройства (первая цепь: последовательно соединенные диод 9 и варистор 2; вторая цепь: последовательно соединенные варистор 3 и диод 15) снимается возникшее перенапряжение.

При превышении напряжением величины $1,5U_{\text{раб.}}$ открываются варисторы 3, 4 группы ограничителей перенапряжения, подключенной в фазу L1, двунаправленные ограничительные диоды 9, 15, а также варистор 2, в результате открытия всех элементов схемы относящихся к фазе L1, варисторы 2, 3, 4 оказываются параллельно соединенными, и через них снимается возникшее перенапряжение относительно земли или фаз L2 и L3.

После снижения напряжения до номинального значения ток через ограничительные диоды и варисторы, вследствие их нелинейных характеристик, протекать не будет.

В случае достижения импульсным током, протекающим по защитному устройству через двунаправленные ограничительные диоды, значений больших I_{ppm} плавкая вставка предохранителей с токоограничением 12, 18 перегорает, разрывая цепь, до достижения током значений опасных для ограничительных диодов, что предохраняет их от разрушения.

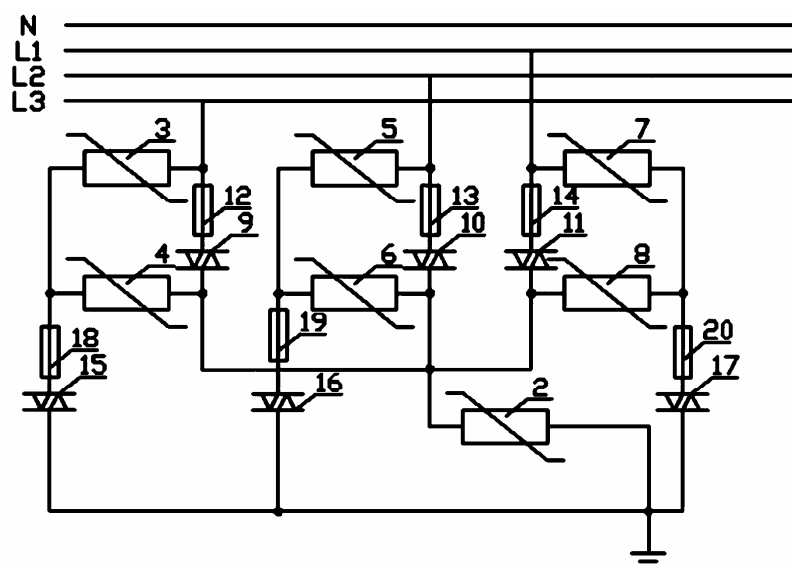
Аналогично происходит процесс снятия перенапряжения в фазах L1 и L2.

Технический результат, достигаемый при этом, заключается в повышении надежности, долговечности и эффективности устройства для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений в низковольтных электрических сетях за счет снижения токовой нагрузки на варисторы и двунаправленные ограничительные диоды (увеличение пропускной способности по току примерно в 3 раза при атмосферных, и в 2 раза при коммутационных перенапряжениях), уменьшение остаточного на варисторах напряжения (более чем в 3 раза при атмосферных и в 2 раза при коммутационных перенапряжениях) благодаря конструктивным особенностям заявляемого устройства, снижение возможности

выхода защитного устройства из строя путем применения токоограничивающих элементов, ограничения импульсов коммутационных перенапряжений на уровне напряжения сети и сокращения времени срабатывания устройства, в результате применения устройств с устойчивой вольт-амперной характеристикой, не зависящей от окружающей среды и скорости нарастания импульса напряжения.

Источники информации:

1. Патент RU 2009596 C1, МПК Н 02Н 9/06, Н 02Т 4/00, 1994.
2. Патент RU 2085002 C1, МПК Н 02Н 9/06, Н 02Н 9/04, 1997.
3. Патент RU 2292617 C1, МПК Н 02Н 9/06, Н 02Т 4/00, 2007.
4. Патент RU 2337449 C1, МПК Н 02Н 9/06, 2008 (прототип).



Фиг. 2