

*А.А. ЧЕПЕЛЮК*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

**АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ С ФИКСИРОВАННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ СРАБАТЫВАНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКИМ ПОВТОРНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЫТОВЫХ ОДНОФАЗНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ НЕДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ**

Проведен анализ функциональных особенностей реле напряжения с фиксированными параметрами срабатывания и автоматическим повторным включением для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети.

**Ключевые слова:** реле контроля напряжения, бытовое электрическое оборудование, защита от перенапряжения и провалов напряжения, автоматическое повторное включение.

**Введение.** Для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети на уровне конечного потребителя (потребителей) на электротехническом рынке Украины предлагается достаточно широкий спектр технических средств защиты. Часть из указанных средств защиты (стабилизаторы напряжения и источники бесперебойного питания) позволяет нормализовать напряжение на нагрузке в случае недопустимых отклонений напряжения в питающей сети. Другая часть из указанных средств защиты представляет собой аппараты защиты от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети, которые осуществляют защиту путем отключения конечного потребителя (его нагрузки в виде бытовых, осветительных и др. электроприборов) от питающей сети с недопустимым отклонением напряжения, сохраняя тем самым дальнейшую работоспособность указанных электроприборов. Такие аппараты, на сегодняшний день, являются достаточно эффективным средством защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в однофазной питающей сети на уровне конечного потребителя особенно в случае аварий, вызванных обрывом (отгоранием) PEN-проводников в распределительной трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью от которой запитываются однофазные потребители (анализ причин и последствий таких аварий проведен в [1, 2]).

Среди аппаратов индивидуальной защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети на электротехнических рынках Украины и России достаточно широко представлены реле напряжения с автоматическим повторным включением (АПВ) с фиксированными порогами срабатывания по напряжению и временем задержки включения, заложенными в конструкциях указанных реле на стадии их производства [3-9].

Такие реле рекомендуется устанавливать на вводе в квартиру, за аппаратом защиты от сверхтоков (токи короткого замыкания и перегрузки), а также они могут устанавливаться в отдельных групповых линиях, питающих наиболее чувствительные к недопустимым отклонениям напряжения бытовые электроприемники (холодильники, стиральные машины, посудомоечные машины, телевизоры и др.).

В технических каталогах производителей эти реле встречаются под названиями: "реле напряжения", "автоматические реле напряжения", "реле контроля напряжения".

Указанные реле имеют определенный ряд конструктивных и технических особенностей, которыми определяется их функциональность, надежность, область применения и которые, по мнению автора, недостаточно раскрыты в технических описаниях производителей реле и практически полностью отсутствуют в технической и учебной литературе по электрическим аппаратам.

**Цель работы** – анализ функциональных особенностей реле напряжения с фиксированными параметрами срабатывания и автоматическим повторным включением для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети.

**Конструктивные особенности реле напряжения.** Конструктивно реле напряжения с фиксированными параметрами срабатывания и автоматическим повторным включением выполнены в не поддерживающих горение корпусах модульного исполнения шириной 3ТЕ из механически прочной и термостойкой пластмассы и монтируются на DIN-рейку. Степень защиты реле – IP20. Номинальное напряжение реле – 220 В (среднеквадратичное значение).

Технически такие реле реализованы, как правило, в виде двухполюсового компаратора с задержкой по включению, который осуществляет контроль напряжения питающей сети (его среднеквадратичного значения –  $T_{\text{true RMS}}$ ) и включает нагрузку при установившемся допустимом напряжении питающей сети посредством встроенного элек-

тромагнитного реле. Задержка включения в таких реле – фиксированная и составляет от 1-2 до 2-3 минут. Она необходима для исключения частых повторных включений нагрузок при кратковременных недопустимых скачках напряжения в питающей сети, приводящих к отключению реле, что влечет за собой сокращение ресурса работы таких нагрузок и может привести к выходу их из строя (холодильники и др.). В случае если после подключения нагрузки к реле измеряемое напряжение выходит за пределы пороговых значений напряжений, реле отключает нагрузку от питающей сети.

В настоящее время такие реле предлагаются в двух исполнениях:

– с двухцветной световой индикацией наличия напряжения на входе – рис. 1 (свечение красного светодиода свидетельствует о недопустимом отклонении напряжения в питающей цепи и отключении нагрузки, свечение зеленого светодиода свидетельствует о том, что напряжение питающей сети находится в норме и оно подано через реле на нагрузку);



Рис. 1. Примеры конструктивных исполнений реле напряжения с двухцветной световой индикацией наличия напряжения на входе: а – серия РН [3] (АсКо-УКРЕМ, Украина), б – серия e.vrg.pro [4] (E-NEXT Украина), в – серия АЗМ [5] (Ресанта, Россия), г – серии Энергия HDP [6] (Энергия, Россия) и HDP [7] (МЕВА Electric, Китай), д – серия 3SL15 [8] (Sassin International Electric, Китай); е – схема подключения реле.

– с дополнительными световыми индикаторами состояния электрической сети (повышенного напряжения, пониженного напряжения, нормального режима, а также индикатором времени задержки) – рис. 2. В таких реле верхний светодиод (красного цвета) загорается при превышении напряжения в питающей сети выше максимально допустимого порога и отключении от сети подключенной через реле нагрузки вследствие недопустимого превышения напряжения в сети; второй сверху светодиод (зеленый) сигнализирует о нормальном напряжении в питающей сети и на нагрузке и светится при подключении нагрузки через реле к питающей сети; третий сверху светодиод (красный) загорается при снижении напряжения в питающей сети ниже минимально допустимого порога и отключении от сети подключенной через реле нагрузки вследствие недопустимого снижения напряжения в сети; нижний светодиод (желтый) сигнализирует об отсчете времени задержки включения нагрузки, подключаемой через реле после нормализации напряжения в питающей сети. Указанные реле являются усовершенствованными моделями реле с двухцветной световой индикацией.



Рис. 2. Примеры конструктивных исполнений реле напряжения с дополнительными световыми индикаторами: а – серия РН-S [3] (АсКо-УКРЕМ, Украина), б – серия e.industrial.vpr [4] (E-NEXT Украина), в – серия Энергия РН [5] (Энергия, Россия), г – серия 3SL15N [9] (Sassin International Electric, Китай).

Два верхних терминала реле на рис. 1-2 – входные (к ним подключается питание: фазный L и нейтральный N проводники), два нижних терминала – выход реле для подключения нагрузки. Коммутация питающей сети в таких реле осуществляется одним контактом встроенного электромагнитного реле, поэтому при их монтаже необходимо следить за правильностью подключения фазного проводника, который должен отключаться от нагрузки при недопустимом отклонении напряжения в питающей сети контактом встроенного электромагнитного реле – рис. 3,е.

**Технические характеристики реле**, представленных на рис. 1-2 сведены в табл. 1-2.

Пороговые напряжения и токи в табл. 1-2 приведены в виде среднеквадратичных значений (True RMS).

Таблица 1. Технические характеристики реле напряжения на рис. 1

Производитель (торговая марка)	AcKo- УКРЕМ			E-NEXT		Ресанта, Энергия, МЕВА Elec- tric			Sassin International Electric		
	РН-20	РН-32	РН-40	e.vpr.pro.25	e.vpr.pro.32	АЗМ-20А, Энергия HDP-20 и HDP-20	АЗМ-32А, Энергия HDP-32 и HDP-32	АЗМ-32А, Энергия HDP-32 и HDP-32	3SL15-20А	3SL15-32А	3SL15-40А
Тип реле	РН-20	РН-32	РН-40	e.vpr.pro.25	e.vpr.pro.32	АЗМ-20А, Энергия HDP-20 и HDP-20	АЗМ-32А, Энергия HDP-32 и HDP-32	АЗМ-32А, Энергия HDP-32 и HDP-32	3SL15-20А	3SL15-32А	3SL15-40А
Максимальная мощность нагрузки AC-1, кВт	4,4	6,5	7,4	4,5	6,6	4,4	6,6	8,8	4,4	6,6	8,8
Максимальный ток нагрузки, А	20	28,5	34	25	32	20	32	40	20	32	40
Время задержки включения, мин	1...2			2...3							
Время отклю- чения, с	0,2...0,4			1...6		1...6			нет данных		
Максимальное пороговое напряжение, В	250±2%			260±5 В		265±5 В					
Минимальное пороговое напряжение, В	170±2%			170±5 В							

В виду того, что часть технических данных по указанным реле, доступных из информационных материалов (каталогов производителей и описаний на интернет-сайтах) отличается от технических данных, нанесенных на оболочки самих реле, при наличии таких отличий в табл. 1-2 были включены данные, нанесенные на оболочках реле.

Также следует отметить, что практически во всех доступных информационных материалах по реле отсутствуют данные по их электрической и механической износостойкости.

Таблица 2. Технические характеристики реле напряжения на рис. 2

Производитель (торговая марка)	AcKo- УКРЕМ			E-NEXT				Энергия			Sassin International Electric		
	РН-S-20	РН-S-32	РН-S-40	e..industrial.vpr.20	e..industrial.vpr.25	e..industrial.vpr.32	e..industrial.vpr.40	Энергия РН-20	Энергия РН-32	Энергия РН-40	3SL15N-20A	3SL15N-32A	3SL15N-40A
Тип реле													
Максимальная мощность нагрузки АС- 1, кВт	4,4	6,5	7,4	4,4	5,3	6,5	7,4	4,4	6,6	8,8	4,4	6,6	8,8
Максималь- ный ток нагрузки, А	20	28,5	34	20	32	28,5	34	20	32	40	20	32	40
Время задер- жки включения, мин	2-3												
Время отклю- чения, с	0,2...0,4			0,1...0,6				1...6			1...6		
Максимальное пороговое напряжение, В	255±2%			260±5 В				255±5 В			265±5 В		
Минимальное пороговое напряжение, В	180±2%			170±5 В				180±2%			170±5 В		

В процессе анализа технических данных рассматриваемых реле были установлены противоречащие данные в описании одной из важнейших характеристик реле – времени отключения реле, которые существенно затрудняют проведение анализа функциональных особенностей реле.

Так в технических каталогах и в описаниях на интернет-сайтах целого ряда производителей рассматриваемых реле приводится диапазон времени отключения реле 1...6 с (см. выделенные ячейки в табл. 1-2). По мнению автора, указанный интервал времени срабатывания реле 1...6 с является ошибочным (опечаткой), поскольку при таких временах отключения реле при аварийном повышении напряжения в однофазной сети в случае обрыва N-проводника в питающей трехфазной

сети с глухозаземленной нейтралью (напряжение у однофазного потребителя при этом может достигать междуфазного – до 380 В) реле не обеспечит своевременного отключения нагрузки, т.е. не выполнит свою основную защитную функцию, что может привести к выходу из строя защищаемых электроприборов.

Доказательством того, что при таких временах отключения реле не обеспечит свою защитную функцию может служить выдержка из [10], а именно в табл. ДЗ ГОСТ 13109-97 [10] указывается, что при коэффициенте временного перенапряжения –  $K_{перU}=1,47$  допустимая длительность такого временного перенапряжения –  $\Delta t_{перU}$  составляет до 1 секунды. Для однофазной сети конечного потребителя временное перенапряжение при указанных коэффициенте временного перенапряжения и допустимой длительности такого временного перенапряжения составит:  $U_{пер}=K_{перU}*U_n=1,47*220=323,4$  В. Таким образом, очевидным является тот факт, что при фиксированном времени срабатывания реле его время отключения с учетом разброса должно быть меньшим одной секунды.

На основании сделанного заключения далее будут проанализированы функциональные особенности реле с диапазонами времени отключения 0,2...0,4 с и 0,1...0,6 с.

**Предельно допустимые уровни провалов напряжения и временных перенапряжений** в зависимости от их длительности приведены в [10].

Провалом напряжения согласно [10] называют внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже  $0,9U_{ном}$ , за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от 10 мс до нескольких десятков секунд.

Временным перенапряжением согласно [10] называют повышенное напряжение в точке электрической сети выше  $1,1U_{ном}$ , продолжительностью более 10 мс считают. Оно характеризуется коэффициентом и длительностью временного перенапряжения. Значения коэффициента временного перенапряжения в точках присоединения электрической сети общего назначения в зависимости от длительности временных перенапряжений не должны превышать значений, указанных в табл. 3.

Таблица 3. Допустимые временные перенапряжения в однофазной сети и их длительность.

Длительность временного перенапряжения $\Delta t_{\text{пер}U}$ , с	до 1	до 20	до 60
Коэффициент временного перенапряжения $K_{\text{пер}U}$ , о. е	1,47	1,31	1,15
Временные перенапряжения в однофазной сети при $K_{\text{пер}U}$ , В	323,4	288,2	253

**Функциональные особенности реле напряжения.** Анализируя данные по пороговым напряжениям и временам отключения реле из табл. 1-2 и данные по временным перенапряжениям в однофазных сетях с их предельно допустимой длительностью из табл. 3, можно сделать вывод, что при фиксированных временах отключения реле в диапазоне  $0,1 \dots 0,6$  с или  $0,2 \dots 0,4$  с (в зависимости от типа используемого защитного реле) наиболее эффективно обеспечивается защита при временных перенапряжениях в защищаемой сети свыше 320 В. Также следует отметить, что при меньших уровнях временных перенапряжений могут иметь место ложные срабатывания реле (например, согласно табл. 3 временное перенапряжение в 288 В длительностью 10 с может не отключиться, а при наличии защитного реле оно будет отключено за время  $0,1-0,6$  с или  $0,2-0,4$  с в зависимости от типа используемого защитного реле).

Также ложные срабатывания могут иметь место и при кратковременных провалах напряжения длительностью более времени отключения реле, но менее предельно допустимого для однофазной сети уровня.

Из-за определенного разброса порогового напряжения в заводских настройках отдельных реле при настройке их максимального порогового напряжения с отклонением в большую сторону они могут оказаться нечувствительны к длительным перенапряжениям в диапазоне  $(1,15-1,2)U_{\text{ном}}=253-264$  В, в то время как указанные длительные перенапряжения могут иметь длительность, превышающую допустимую.

### **Выводы.**

1. В технических описаниях рассмотренных реле встречаются неточности, отсутствуют данные по электрической износостойкости и сроку службы реле, что может поставить под сомнение защитные функции таких реле и не раскрывает в полной мере их функциональных возможностей.

2. Важным достоинством рассмотренных реле является наличие автоматического повторного включения при нормализации входного напряжения.

3. Фиксированные уставки срабатывания реле (пороговые уровни



напряжения и времени отключения), существенно меньшие предельно допустимых уровней отклонения напряжения и допустимой их длительности (особенно при повышенном напряжении), что может приводить к ложным отключениям потребителей при кратковременных отклонениях напряжения в границах предельно допустимых уровней и их длительности, указанных в [10].

4. Наличие в реле фиксированной задержки повторного включения реле (1-3 мин) без возможности принудительного включения нагрузки без выдержки времени при наличии ложных срабатываний реле может вносить определенный дискомфорт потребителям, особенно при частых ложных срабатываниях реле.

**Список литературы:** 1. *Чеплюк А.А., Хлобыстин А.Л.* О влиянии технического состояния внутридомовых распределительных сетей на электробезопасность бытовых однофазных потребителей электрической энергии // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 60. – С. 46-53. 2. *Чеплюк А.А., Хлобыстин А.Л.* Анализ проблемы защиты бытовых однофазных потребителей от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 28. – С. 54-64. 3. Каталог электротехнической продукции электротехнической корпорации АСКО-УКРЕМ 2013 г. ([http://www.acko.ua/upload/iblock/bc6/catalogue2013\\_\\_cd.rar](http://www.acko.ua/upload/iblock/bc6/catalogue2013__cd.rar)). 4. Каталог низковольтного оборудования электротехнической компании E.NEXT.UKRAINE 2013 г. (<http://www.enext.ua/upload/iblock/bf5/mpbmajaenvpqsompsdotsigkj%20ozemuqcvdcfhtjtjcauxmkqq.pdf>). 5. <http://www.resanta.ru/production/others/ustrauz/155-azm.html>. 6. <http://енергия.рф/catalog/nva/modulnoe-oborudovanie/ustr-kontrolya/>. 7. <http://www.power-relay-china.com/HDP-Modular-Over-Under-Voltage-Relay.html>. 8. <http://sassin.bossgoo.com/productimage/3sl15-full-automatic-over-voltage-under-voltage-protector-20127.html>. 9. <http://www.sassin.com/en/productdetail.aspx?id=8DEF311D56E0CEB3&type=3619EFA76A56A74F>. 10. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

*Поступила в редколлегию 15.11.2013*

УДК 621.316

**Анализ функциональных особенностей реле напряжения с фиксированными параметрами срабатывания и автоматическим повторным**

**включением для защиты бытовых однофазных потребителей от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети / Чепелюк А.А. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПИ", 2013. – № 65 (1038). – С. 53-62. Бібліогр.: 10 назв.**

The analysis of the functional characteristics of the voltage relay with fixed parameters of operation and automatic reclosing-eat to protect domestic single-phase electricity consumers from harmful voltage variations in the mains.

**Key words:** over under voltage relay, household electrical equipment, over-voltage and under-voltage protector, automatic reclosing.

Проведено аналіз функціональних особливостей реле напруги з фіксованими параметрами спрацьовування та автоматичним повторним ввімкненням для захисту побутових однофазних споживачів електричної енергії від недопустимих відхилень напруги в мережі живлення.

**Ключові слова:** реле контролю напруги, побутове електричне обладнання, захист від перенапруг та провалів напруги, автоматичне повторне ввімкнення.