

нительных побочных дискретных составляющих из-за специфики работы ЦСО, особенно вблизи целых значений эквивалентного коэффициента деления.

4. В целом полученные результаты позволяют сделать вывод о больших потенциальных возможностях предложенной схемы синтезатора частот по реализации высокого быстродействия при мелком шаге сетки выходных частот.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Р а з р а б о т к а методов построения и анализ источников колебаний дискретного множества частот: отчет № 3. – Т. II. Инв. номер Б864907 Минск, 1979.

2. С и н т е з а т о р с дробно-рациональной аппроксимацией произвольных значений частоты / В. В. Бодряков [и др.] // Стабилизация частоты: материалы межотраслевых науч.-техн. конф., совещаний, семинаров и выставок. – М., 1978 (ВИМИ).

3. F r e q u e n c y synthesis: Techniques and application. – Edited by J. Gorsky-Popiel-IEEE PRESS, 1975. – P. 174.

Поступила 6.06.2007

УДК 614.841.315

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Докт. техн. наук, проф. КУЛАКОВ Г. Т.,  
магистрант КУХОРЕНКО А. Н.**

*Белорусский национальный технический университет,  
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь*

Пожары в жилом секторе (свыше 45 % от всего их количества) наносят большой экономический ущерб как населению, так и экономике Республики Беларусь в целом. В 2006 г. в стране произошло более 11 тыс. пожаров, общий экономический ущерб от которых составил более 51 млрд р. Десятая часть от всего числа пожаров по республике обусловлена аварийными режимами работы электрооборудования, электроприборов и электросетей [1]. Ветхие электросети, установка в электрощитах так называемых «жучков», неисправные электронагревательные приборы, применение «холодных скруток» при соединении проводов – основные причины возгораний.

Электрический ток – один из распространенных источников пожара в жилых зданиях. Источником зажигания является теплота, выделяемая электрическими сетями и приборами при аварийных режимах работы. Короткое замыкание, перегрузка, переходные сопротивления – все это характерные проявления аварийных режимов работы. Согласно [2–7] неисправности и несоблюдение правил технической эксплуатации электро-технических устройств в электрических сетях зачастую приводят к возникновению пожароопасных аварийных режимов работы.

Защите от аварийных режимов работы подлежат все электросети и отдельные их элементы. При этом к аппаратам защиты предъявляется ряд

требований по быстрдействию, селективности и обеспечению отключения аварийного участка. Наиболее распространенными аппаратами защиты от перегрузок и короткого замыкания в электросетях с напряжением до 1 кВ в большинстве случаев являются плавкие предохранители и автоматические выключатели. Одноэтажные дома сельского типа, дачи и другие аналогичные жилые постройки послевоенного периода сосредоточены на территории Республики Беларусь в основном в деревнях, садовых товариществах, районных центрах и поселках городского типа. Дефицит материальных средств отразился на защите электрических сетей данной категории зданий. Поэтому в подобных зданиях наибольшее распространение в качестве аппарата защиты получил плавкий предохранитель марки ПРС с плавкой вставкой ПВД на величину тока 10; 16 и 25 А. Это дешевое и относительно надежное средство защиты электросети от токов короткого замыкания. В сельских домах плавкие предохранители установлены для обслуживания жилых помещений, как правило, неквалифицированным персоналом. Их действие основано на выделении в плавкой вставке теплоты при протекании через нее электрического тока, а в случае превышения допустимого тока – на расплавление данной вставки и размыкание цепи. Плавкие предохранители являются, таким образом, однофазными аппаратами защиты, предназначенными для быстрого отключения тока при коротком замыкании (КЗ), а также для защиты проводов от перегрузок.

Согласно [1], в 2006 г. в жилом секторе Республики Беларусь произошло 1142 пожара от короткого замыкания и 104 пожара в результате изменения переходных сопротивлений в электрических сетях. Из этого следует, что данные аппараты защиты не смогли обеспечить своевременное отключение сети при аварийной работе, из-за чего и произошли недопустимый нагрев и дальнейшее возгорание. Показатели г. Минска не учтены, поскольку в столице как в частном жилом секторе, так и в городских квартирах в качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели серий А, АЕ, АП, ВА и другие, а наличием плавких предохранителей можно пренебречь.

В связи с этим актуальность приобретают исследования аппаратов защиты (предохранитель марки ПРС) при аварийных режимах работы электросети. Для решения этой задачи используем схему имитации заданной величины токовой перегрузки, приведенную на рис. 1, которая содержит: однофазное переменное напряжение электрической сети 220 В с номинальной частотой 50 Гц; 1 – аппарат включения питания установки; 2 – вольтметр; 3 – исследуемый аппарат защиты; 4 – амперметр; 5 – реостат; 6 – датчик регистратора температуры на клемме аппарата защиты.

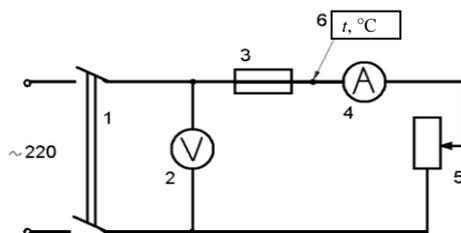


Рис. 1. Схема имитации заданной величины токовой перегрузки

В качестве исследуемого аппарата защиты использовались предохранитель ПРС с плавкой вставкой ПВД на номинальный ток 25 А (эксперимент № 1) и предохранитель автоматический резьбовой ПАР на номинальный ток 25 А (эксперимент № 2). В обоих случаях применялась электропроводка марки АВВГ 2×2,5 длиной 3 м. Задание величины токовой нагрузки осуществлялось при помощи реостата.

**Эксперимент № 1.** Так как допустимая токовая нагрузка на провода с алюминиевыми жилами в поливинилхлоридной изоляции на сечение 2,5 мм составляет 24 А, максимально потребляемую мощность для провода марки АВВГ 2×2,5 определяем по формуле [2]

$$P_{\text{п}} = U_{\text{ф}} I_{\text{р}} \cos\varphi = 220 \cdot 24 \cdot 0,96 = 5068,8 \text{ Вт},$$

где  $U_{\text{ф}}$  – фазное напряжение (фаза – нуль), 220 В;  $P_{\text{п}}$  – максимальная мощность потребителя, Вт;  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности электросети;  $I_{\text{р}}$  – рабочий ток, А.

После расчета значения максимальной потребляемой мощности, на которую рассчитана исследуемая электросеть, на установку подается переменное напряжение 220 В, фиксируемое вольтметром. При помощи реостата происходит нагружение цепи до требуемой величины. Результаты эксперимента № 1 сводим в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента № 1

№ п/п	Ток в сети, А	Напряжение в сети, В	Нагружаемая мощность, Вт	Температура токоведущей жилы в месте соединения контактов, °С	Поведение аппарата защиты
1	10	230	2208	40	Не сработал
2	15	225	3240	75	Не сработал
3	17	230	3753,6	90	Не сработал
4	20	220	4224	95	Не сработал
5	23	225	4968	120	Не сработал
6	25	235	5640	142	Не сработал
7	27	225	5832	148	Не сработал
8	30	230	6624	150	Сработал

Плавкая вставка ПВД предохранителя ПРС, рассчитанная на ток 25 А, перегорает при величине тока 30 А. Аналогичные исследования были проведены относительно 100 предохранителей ПРС. В 40 случаях плавкая вставка, рассчитанная на ток 25 А, перегорала при величине тока 28–30 А, в пяти случаях плавкая вставка перегорала при величине тока менее 25 А. При этом температура токоведущей жилы в месте соединения контакта возрастает до 150 °С. График зависимости величины тока от температуры токоведущей жилы приведен на рис. 2.

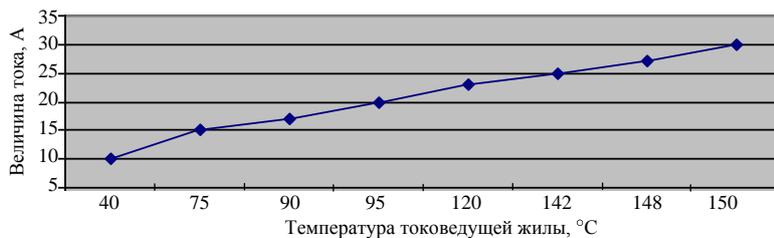


Рис. 2. График экспериментальных данных нагрева токоведущей жилы при перегрузке электросети в эксперименте № 1

**Эксперимент № 2.** Аналогичным образом проводим эксперимент с предохранителем автоматическим резьбовым ПАР-25 на номинальный ток 25 А. Результаты эксперимента сводим в табл. 2, зависимость величины тока от температуры токоведущей жилы приведена на рис. 3.

Таблица 2

Результаты эксперимента № 2

№ п	Величина тока, А в сети, А	Напряжение в сети, В	Нагружаемая мощность, Вт	Температура токоведущей жилы в месте соединения контактов, °С	Поведение аппарата защиты
1	15	230	3312	40	Не сработал
2	20	225	4320	65	Не сработал
3	21	230	4636,8	80	Не сработал
4	22	220	4646,4	85	Не сработал
5	23	225	4968	110	Не сработал
6	24	230	5299,2	132	Не сработал
7	25	225	5400	138	Не сработал
8	26	230	5740,8	140	Сработал

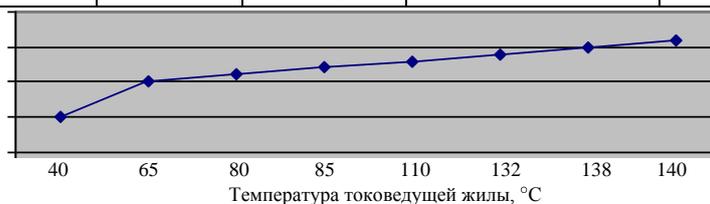


Рис. 3. График экспериментальных данных нагрева токоведущей жилы при перегрузке электросети в эксперименте № 2

Видно, что при перегрузке сети температура токоведущей жилы электропровода марки АВВГ 2×2,5 в месте соединения контактов возрастает до 140 °С, предохранитель автоматический ПАР, рассчитанный на ток 25 А, срабатывает при величине тока в 25–26 А, что является нормальной работой автоматического предохранителя.

Эксперименты проводились в аккредитованной лаборатории НПЦ МГУ МЧС Республики Беларусь. Аттестат аккредитации № ВУ / 112.02.1.0.0284 от 24 января 2005 г. Дата проведения испытаний 5 февраля 2007 г.– 2 марта 2007 г.

Испытательное оборудование и средства измерений, применяемые при проведении испытаний, представлены в табл. 3

Таблица 3

№ п/п	Наименование испытательного оборудования, средств измерений	Дата прохождения метрологической аттестации, поверки
1	Вольтметр В7-77	Свидетельство № 05 от 18.01.07 (до 18.01.08)
2	Амперметр Э-365 (0-50) А	Клеймо 10.2006 г. (до 11.2007 г.)
3	Измеритель-регулятор «Сосна-002»	Свидетельство № 75570-49 от 18.12.06 (до 18.12.07)
4	Преобразователь термоэлектрический ТХК	Свидетельство № 84391-49 от 10.10.05

		(до 10.10.07)
5	Газовая горелка Бунзена	Свидетельство о калибровке № 51 от 29.11.06 г. (до 29.11.2007 г.)
6	Линейка металлическая, ГОСТ 427–75	Клеймо 10.2006 г. (до 11.2007 г.)
7	Секундомер СОПрр 2а-3-000	Свидетельство № 5158/4-43 от 26.10.06 (до 26.10.07)
8	Гигрометр психрометрический ВИТ-1	Клеймо 10.2006 г. (до 11.2008 г.)
9	Барометр лабораторный БАММ-1	Свидетельство № 994/1 от 27.10.06 (до 27.10.07)
10	Реостат	Лабораторный автотрансформатор регулируемый ЛАТР-1М (220 В, 30 А ТУ1Б-517.21Б-69)
11	Выключатель автоматический	АП-50-2МТ (50 А)
12	Испытательная установка	Модель электроснабжения жилого помещения

Условия проведения испытаний:

температура, °С: 17–22  
атмосферное давление, кПа: 98,1–100,2  
относительная влажность, %: 54–68

#### **ВЫВОДЫ**

1. Результаты проведенных исследований показали, что предохранитель ПРС с плавкой вставкой ПВД на номинальный ток 25 А имеет некоторую инертность и не в полной мере защищают электрическую сеть от аварийного режима работы (перегрузка сети), что в итоге может привести к возгоранию. Серийно выпускаемые и реализуемые через торговую сеть плавкие вставки ПВД предохранителя ПРС не всегда соответствуют по своим характеристикам требованиям норм (номинальному току плавкой вставки). Хотя часть испытывавшихся предохранителей и укладывалась в нормативные требования, в 40 случаях было зафиксировано превышение значения номинального тока. При максимальной нагрузке сети был отмечен нагрев контактов у данных предохранителей. Предохранители марки ПРС, как правило, устанавливаются в частных домах сельской местности, где реальная защита электрических сетей часто не обеспечивается, несмотря на их наличие. К тому же частое перегорание плавкой вставки ПВД приводит к тому, что население устанавливает в предохранитель ПРС не новую плавкую вставку ПВД, а так называемый «жучок».

2. Автоматические выключатели (предохранители) серии ПАР предназначены для защиты бытовых и производственных осветительных электрических сетей переменного тока частотой 50–60 Гц и номинальным напряжением до 380 В от недопустимых токов перегрузки и короткого замыкания, а также для нечастых оперативных включений и отключений этих сетей при номинальном токе и без тока. Исследования показали, что предохранитель ПАР защищают электрическую сеть от аварийных режимов работы в лучшей степени, чем предохранитель ПРС. К тому же замена предохранителя ПРС на предохранитель автоматический ПАР не требует изменений конструкции электроустановки и сводится к выкрутке предохранителя ПРС и вкручиванию на его место автоматического предохранителя

ПАР. Данную работу сможет сделать человек, не имеющей специальной квалификации.

3. Таким образом, замена предохранителя ПРС на предохранитель ПАР позволит исключить одну из основных причин возникновения пожара в жилом секторе (перегрузка сети) и предотвратить экономический ущерб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э л е к т р о н н а я база карточек учета пожаров по Республике Беларусь за 2006 год // База данных МЧС Республики Беларусь, версия 5.45.
2. П р а в и л а устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1985. – 640 с.
3. С м е л к о в, Г. И. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах / Г. И. Смелков, А. А. Александров, В. А. Пехотиков. – М.: Стройиздат, 1980. – 58 с.
4. Ч е ш к о, И. Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие / И. Д. Чешко. – М.: ВНИИПО России, 2002. – 330 с.
5. П е л е в и н, Б. В. Предупреждение пожаров от электроустановок на промышленных предприятиях / Б. В. Пелевин. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1982. – 80 с.
6. М е г о р с к и й, Б. В. Методика установления причин пожаров / Б. В. Мегорский. – М.: Стройиздат, 1966. – 348 с.
7. Э к с п е р т н о е исследование устройств электрозащиты: учеб. пособие / А. Г. Жданов [и др.]; под общ. ред. А. Г. Жданова. – М.: Стройиздат, 1987. – 52 с.

Представлена кафедрой тепловых  
электрических станций

Поступила 26.04.2007