

и за восемь месяцев 2021 г. можно выделить три дополнительных класса. А за осенне-летние периоды 2019 и 2020 гг. в структурных моделях суточного электропотребления выделяется два класса (режима).

Литература

1. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
2. Родина, Л. С. Разработка универсальных структурных моделей суточного электропотребления промышленных предприятий / Л. С. Родина, Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков // Изв. вузов. Электромеханика. – 1992. – № 2. – С. 101–104.
3. Токочакова, Н. В. Структурное моделирование суточного электропотребления промышленных предприятий энергосистемы для быстрой оценки электросбережения / Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков, Т. В. Алферова // Энергоэффективность. – 2001. – № 2. – С. 18–21.

УДК 621.317

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Д. И. Зализный, Д. В. Сучков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены современные тенденции развития и принципы работы электронных низковольтных коммутационных аппаратов. Предложено использовать математические модели тепловых процессов для защиты линий электропередачи от перегрузки. Описан макет электронного автоматического выключателя, разработанный на кафедре «Электроснабжение», оснащенный коммутационным модулем на основе симистора.

Электромеханические низковольтные коммутационные аппараты за многолетнюю эксплуатацию зарекомендовали себя как надежные и удобные для эксплуатации устройства. Однако главным их недостатком являются слабые функциональные возможности. Один такой аппарат способен выполнять не более двух-трех операций и почти не имеет возможностей программирования уставок, а также дистанционного управления через цифровые интерфейсы связи. Для устранения этих недостатков в состав электромеханических аппаратов вводят электронные блоки или же дополняют их электроприводами с цифровыми модулями.

В последние десятилетия на рынке все чаще появляются микропроцессорные низковольтные коммутационные аппараты: автоматические выключатели, пускатели, реле. Структурная схема такого устройства показана на рис. 1.

На вход аппарата подается напряжение электрической сети, а его выход, соответственно, подключается к защищаемой или коммутируемой линии электропередачи. Ток нагрузки проходит непосредственно через внутренние цепи аппарата, что позволяет измерить его значение в аналоговом блоке, где осуществляется также и измерение напряжения.

Измеренные величины в виде двоичных кодов записываются в память микроконтроллера, программное обеспечение которого выполняет требуемые математические расчеты, сравнивает полученные значения с уставками, выдает информацию на дисплей, обменивается данными через интерфейсы связи и управляет работой блока коммутации.

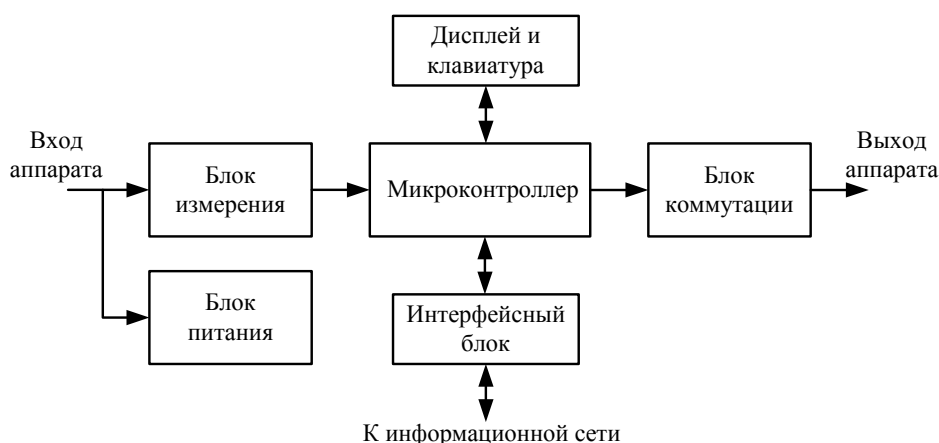


Рис. 1. Структурная схема электронного коммутационного аппарата

Для коммутационных аппаратов защиты обязательной является функция расчета действующего значения тока (*RMS*-значения) по формуле

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2}, \quad (1)$$

где I_{RMS} – действующее значение тока; I_i – мгновенное значение тока на i -м отсчете в процессе дискретизации; n – количество отсчетов мгновенных значений тока за один период.

В электромеханических автоматических выключателях обычно предусматривается зависимая характеристика срабатывания для защиты линий и электроприемников от перегрузки. Она реализуется с помощью нагревающейся биметаллической пластины. В электронных аппаратах такую характеристику можно реализовать тремя способами:

- в табличной форме методом кусочно-линейной аппроксимации;
- в виде аппроксимирующей зависимости;
- на основе непрерывного расчета температуры наиболее нагретой точки защищаемого объекта.

Для первых двух способов необходимо использовать заранее известную характеристику срабатывания, которая, в основном, должна соответствовать аналогичной характеристике электромеханического теплового расцепителя. Необходимо отметить, что форма кривой данной характеристики не оговаривается в нормативных документах МЭК и ГОСТ [1]. Это значит, что она может корректироваться разработчиками по их усмотрению, а это, в свою очередь, означает, что характеристика может оказаться неподходящей для защищаемой линии. Цель зависимых характеристик срабатывания – допустить в течение некоторого времени работу линии с перегрузкой до тех пор, пока температуры в наиболее нагретых ее участках не превысит допустимых значений. Отсюда становится очевидным, что главным параметром, который необходимо контролировать в процессе защиты линии от перегрузки, является температура.

Температуры внутренних частей проводов и кабелей могут быть получены расчетным путем на основе математических моделей тепловых процессов [2]. Алгоритм для определения этих температур включает следующие этапы:

- 1) расчет тепловых сопротивлений и теплоемкостей линии;
- 2) расчет потерь активной мощности в токопроводящих жилах линии;
- 3) расчет мгновенных значений температур на каждом интервале.

Для реализации указанного алгоритма автоматический выключатель должен непрерывно измерять ток нагрузки и рассчитывать его действующие значения по формуле (1), а также измерять температуру окружающей среды.

Кроме стандартных функций защит от токов короткого замыкания и перегрузки электронный автоматический выключатель может выполнять множество дополнительных функций. Основными из них являются:

- отображение на дисплее измеренных величин;
- возможность программировать значения уставок защит;
- защита от максимальных и минимальных напряжений;
- защита от высших гармонических составляющих напряжений и токов;
- защита по дифференциальному току (функция УЗО);
- расчет мощности и энергии;
- передача измеренных величин на расстояние, в том числе посредством беспроводных интерфейсов связи;
- возможность дистанционного (в том числе с помощью смартфона) управления электроприемниками.

На кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого разработан и собран макет электронного автоматического выключателя на базе микроконтроллера Atmega32. Выключатель содержит на лицевой панели жидкокристаллический дисплей, кнопки управления и сигнальные светодиоды (рис. 2, а). Также собран стенд для испытаний этого аппарата (рис. 2, б).



а)



б)

Рис. 2. Макет электронного автоматического выключателя:
а – лицевая панель; б – стенд для испытаний

Разработанный выключатель отличается тем, что имеет электронный коммутационный блок на основе электронного ключа – симистора. В подавляющем большинстве промышленных электронных автоматических выключателей для этой цели применяются механические контакты. Наличие симистора позволяет использовать аппарат там, где необходимы частые коммутации нагрузки. Кроме этого электронный ключ способен работать синхронно с кривыми напряжения и тока, что снижает вероятность перенапряжений на электроприемниках в процессе их отключения от сети.

Промышленное применение разработанного устройства обеспечит повышение уровня защиты электроприемников и линий электропередачи, а также увеличит удобство и функциональность в эксплуатации систем электроснабжения.

Литература

1. ГОСТ IEC 60898-1–2020. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. – М. : Стандартинформ. – 2020. – 121 с.
2. Зализный, Д. И. Математическая модель тепловых процессов одножильного силового кабеля / Д. И. Зализный, С. Н. Прохоренко // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ – Энергетика. – 2012. – № 5. – С. 25–34.

УДК 543.07

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ

И. И. Злотников, П. А. Хило

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

На основе электромагнитной теории взаимодействия конденсированных тел проанализирован механизм молекулярного взаимодействия между компонентами полимерных смесей. Установлено, что если величины диэлектрических проницаемостей полимеров в смеси максимально отличаются друг от друга, то это обеспечивает получение композиционных материалов с максимальной механической прочностью. Проведено сравнение полученных теоретических результатов с экспериментальными данными.

Полимерные смеси используют для изготовления композиционных материалов с комплексом улучшенных свойств и расширения областей их применения. Благодаря смешению полимеров можно улучшать многие свойства получаемых композитов, в первую очередь механическую прочность. При этом смеси полимеров не только сохраняют свойства исходных компонентов, но могут приобретать и новые [1]. Особую актуальность изучение свойств полимерных смесей приобретает в связи с проблемой вторичной переработки полимерных отходов. Это связано, во-первых, с тем, что многие полимерные отходы представляют собой смеси, полное разделение которых невозможно, а во-вторых, такие смеси получают целенаправленно добавлением первичного полимера во вторичный для улучшения технологических и эксплуатационных свойств последнего.

Особенностью большинства полимерных смесей является их термодинамическая несовместимость и неспособность образовывать однофазные смеси. Термодинамическая совместимость определяется термодинамическим потенциалом G системы при смешении полимеров: $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, где ΔH и ΔS – изменение соответственно энтальпии и энтропии при смешении полимеров, T – абсолютная температура. Взаимная растворимость двух полимеров возникает только при $\Delta G < 0$. При $\Delta G > 0$ смесь полимеров представляет собой двухфазную коллоидную систему. Но с практической точки зрения добиваться термодинамической совместимости для полимерных смесей нет необходимости, так как повышение их механических свойств можно добиться усилением адгезионного взаимодействия между компонентами смеси. В частности, для этого в полимерную смесь иногда вводят различные