

УДК 621.316.925

## Новая релейная база для систем автоматизации электрических сетей

Кандидаты техн. наук В. И. ГУРЕВИЧ, В. В. КРИВЦОВ (Научно-техническое предприятие «Инвертор»)

**Тенденции развития релейной техники.** Реле максимального тока являются базовыми элементами систем релейной защиты и автоматики. Они используются в энергосистемах в массовом количестве, поэтому задача повышения их технико-экономических показателей достаточно актуальна.

Анализ тенденций развития отечественной релейной техники свидетельствует о полном отсутствии у специалистов какой-то однозначной и четкой позиции, касающейся принципиальных направлений совершенствования реле тока. Так, например, ведущие специалисты ВНИИР считают [1], что для развития отдельных видов реле необходимо выпускаемые в настоящее вре-

мя электромеханические реле заменить статическими на интегральных микросхемах. В то же время они утверждают, что простые электромеханические реле (в том числе и реле тока) являются наиболее доступными и дешевыми, вследствие чего они будут и в дальнейшем широко использоваться в массовых комплектных устройствах. Специалисты ВНИИР отмечают также, что такая же тенденция наблюдается и у ведущих зарубежных фирм (ASEA, «AEG—Telefunken», BBC, (GEC—Measurement)).

В то же время специалисты ПО «Чебоксарский электроаппаратный завод» (ЧЭАЗ) внесли изменения в технические условия на широко известные электромеханические реле РТ-40,

объявили их не соответствующими современному техническому уровню и не рекомендовали применять в новых разработках. В настоящее время заводом осваивается выпуск статических реле тока на микросхемах РСТ и РТЗ-51, разработанных ВНИИР еще в 70-х годах [2].

Однако уже имеющийся опыт эксплуатации таких реле свидетельствует об их недостаточной надежной работе. Как показано в [3], статические реле на микросхемах могут ложно срабатывать даже от электромагнитных помех, возникающих при коммутации расположенных рядом электромагнитных реле. К сожалению, вместо поиска путей повышения помехоустойчивости статических реле тока специалисты ВНИИР предлагают [3] комплектовать все остальные (не статические) коммутационные аппараты и промежуточные реле специальными помехоподавляющими узлами.

Естественно, что такие рекомендации не могут вызвать энтузиазма у эксплуатационного персонала энергосистем, который лишь под нажимом предприятия-монополиста, сокращающего объем выпуска реле РТ-40, вынужден применять статические реле. Важно отметить, что реле РТ-40 являются быстродействующими, нечувствительны к импульсным и высокочастотным помехам и перенапряжениям, устойчивы к перегрузкам, имеют удовлетворительный коэффициент возврата. Вместе с тем необходимо признать, что электромеханические реле РТ-40 состоят из множества специально изготовленных высокоточных деталей, трудоемкость изготовления и производство которых в нынешних экономических условиях становятся невыгодными предприятию-изготовителю.

Подвижная измерительная система с открытыми контактами не всегда обеспечивает требуемую надежность реле в условиях запыленности, и загазованности внешней среды, под воздействием вибрации, а необходимость зачистки и регулировки контактов увеличивает трудозатраты эксплуатационного персонала.

Статические реле более просты и технологичны в изготовлении, так как состоят из типовых радиоэлементов, распаяваемых на печатную плату. Они не требуют дополнительного обслуживания в процессе эксплуатации, устойчивы к воздействию климатических и механических факторов.

Однако наличие в таких реле пороговых элементов — триггеров, компараторов, выполненных на интегральных микросхемах, а также трансформатора на входе, через который чувствительные микросхемы подключаются к силовым цепям, обуславливает появление совершенно новых проблем, связанных с обеспечением их помехоустойчивости [4—7]. Пороговые элементы на микросхемах часто оказываются крайне чувствительными к высокочастотным сигналам помех, проникающим на вход, импульсным помехам по цепям питания и т. п. Поэтому весьма трудно обеспечить высокую чувствительность таких элементов к «полезному» сигналу при их полной нечувствительности к сигналам помех.

Трансформатор на входе реле, выполняю-

щий роль интерфейса, связывающего высокочувствительную электронную схему с силовыми цепями, почти одинаково передает на схему как «полезный» сигнал, так и сигналы помех. Кроме того, трансформатор и сам может быть источником помех. Для электромеханических реле это обстоятельство не имеет особого значения, поэтому интерфейсы трансформаторного типа получили широкое распространение в релейной защите. Но для электронных реле этот факт очень важен.

Приведенный выше анализ показывает, что несмотря на ряд положительных факторов, присущих каждому из этих видов реле тока, они имеют и существенные недостатки, что, очевидно, и является объективной причиной отсутствия у специалистов четкой позиции по этому вопросу. Один из них — необходимость наличия материалоемкого, громоздкого и дорогого трансформатора тока для присоединения к высоковольтным шинам. Учитывая, что во многих случаях в КРУ отсутствуют технические средства для измерения тока или мощности и такие трансформаторы применяются только лишь для подключения реле тока, становится очевидной актуальность проблемы замены трансформаторов тока более простыми и дешевыми устройствами, не предназначенными для измерения. Более того, по мнению специалистов, в КРУ со встроенными амперметрами последние лучше было бы заменить тремя светозлучающими элементами, сигнализирующими об одном из трех режимов: «холостой ход», «нагрузка в норме», «перегрузка по току». В этом случае также можно было бы исключить применение трансформаторов тока.

**Перспективы построения релейных устройств на основе магнитоуправляемых контактов (МУК).** На основании вышеизложенного были сформулированы новые принципы конструирования реле тока, в которых учитывались положительные факторы, присущие обоим видам реле (электромеханическому и статическому). Эти принципы заключаются в следующем:

пороговый элемент, являющийся фактически измерительным органом реле, для обеспечения его высокой помехоустойчивости должен быть выполнен электромеханическим;

в качестве электромеханического порогового элемента целесообразно использовать геркон, снабженный узлом для перемещения его относительно неподвижного сердечника с обмотками (полностью аналогичным реле РТ-40);

для согласования технических характеристик геркона и выходного коммутационного элемента вместо интегральных микросхем должны быть использованы дискретные полупроводниковые элементы, выбранные с большими запасами по току и напряжению. Количество этих элементов должно быть минимальным, и они не должны образовывать пороговую схему (триггер, компаратор, одновибратор и т. п.).

Специалистам хорошо известны такие свойства герконов, как защищенность от воздействия неблагоприятных факторов внешней среды, высокая надежность, большой коммутационный ресурс, отсутствие необходимости в дополнитель-

ном обслуживании в процессе эксплуатации. Менее известен тот факт, что в магнитном поле переменного тока коэффициент возврата герконов составляет 0,8—0,9, а их порог срабатывания (не путать со статистическим разбросом параметров) достаточно стабилен и имеется множество технических решений, позволяющих его регулировать. Что же касается статистического разброса параметров магнитодвижущей силы срабатывания герконов, то он не имеет принципиального значения ввиду наличия в реле узла перемещения (поворота) геркона. Начальная же точка шкалы реле может быть установлена в процессе его настройки на предприятии — изготовителе.

Использование герконов позволяет реализовать принципиально новый вид бестрансформаторного изолирующего интерфейса, обеспечивающего связь реле с высоковольтными шинами [8].

Следует заметить, что на основе герконов можно построить не только дискретные, но и аналоговые датчики переменного тока. Так, при возбуждении синусоидальной МДС геркон генерирует прямоугольные импульсы, длительность которых зависит от амплитуды возбуждающего тока [9]:

$$t = \left( \pi - 2 \arcsin \frac{I_{cp}}{I_m} \right) \omega^{-1},$$

где  $t$  — длительность генерируемых герконом импульсов;  $I_m$  — амплитудное значение возбуждающего тока;  $I_{cp}$  — значение возбуждающего тока, инициирующее срабатывание геркона;  $\omega$  — угловая частота возбуждающего тока.

Очевидно, что эти импульсы можно интегрировать посредством, например, RC-цепи, и по величине суммарного сигнала судить о значении тока в шине. Известно также техническое решение и аналогового герконового датчика постоянного тока [10, 11].

**Практическая реализация релейных устройств нового типа.** Изложенные выше принципы конструирования реле позволили создать целую серию реле, включающую реле максимального тока (аналог реле РТ-40) и максимального напряжения (аналог реле РН-53), с бестрансформаторным интерфейсом (не имеющим аналогов), а также принципиально новое реле, предназначенное для защиты КРУ от повреждения открытой электрической дугой, возникающей при междуфазных КЗ на шинах. Дело в том, что проблема создания высокоэффективной и надежной дуговой защиты КРУ не менее актуальна, чем проблема совершенствования максимальной токовой защиты, так как известные в этой области разработки, выполненные с использованием фотодатчиков или датчиков давления газа, не обеспечивают требуемую надежность и помехоустойчивость релейной защиты.

Для всех упомянутых выше реле базовой является схема, приведенная на рис. 1.

**Реле максимального тока.** Как видно из схемы, реле этого типа не содержит интегральных микросхем; его активный полупроводниковый элемент (транзистор) не образует порогового

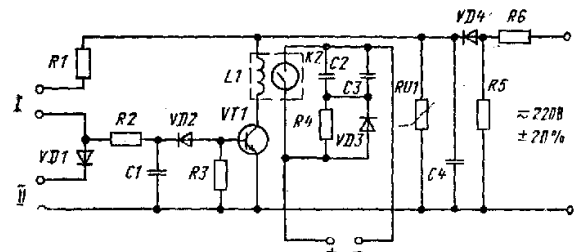


Рис. 1. Схема квазиэлектронного преобразователя

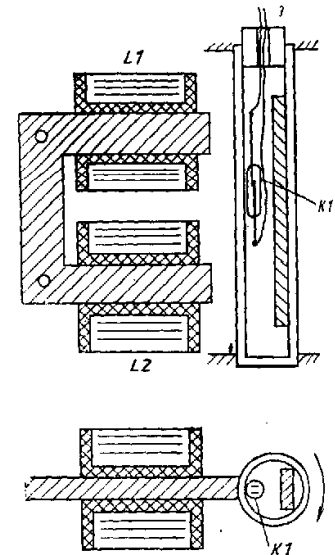


Рис. 2. Изолирующий интерфейс на магнитоуправляемом контакте

элемента, а включен по схеме обычного усилительного каскада; в качестве входного интерфейса, связывающего электронную схему с внешними силовыми цепями, использовано интерфейсное реле (рис. 2), образованное входными обмотками  $L1$  и  $L2$  и герконом  $K1$ , включенным на вход  $I$ . Геркон  $K1$  помещен в пластмассовую ампулу, обеспечивающую изоляцию его от обмоток (т. е. фактически изоляцию электронной схемы реле от входных цепей), которая полностью соответствует рекомендациям МЭК. В этом реле вход  $II$  не используется. Этот же геркон является и пороговым элементом, начинающим вибрировать с частотой 100 Гц при срабатывании реле. Ресурс геркона, работающего без эрозии контактов ( $10^7$ — $10^8$  срабатываний), и кратковременность нахождения реле максимального тока в сработавшем состоянии обеспечивают необходимый коммутационный ресурс реле.

В базовой схеме усилительный каскад на транзисторе  $VT1$  является всего лишь согласующим звеном, связывающим интегрирующую цепочку  $L1C1$  с выходным реле  $K2$  и обеспечивающим надежное удержание этого реле при вибрации геркона  $K1$ .

Напряжение питания на высоковольтном транзисторе  $VT1$  (тип КТ 605БМ) с допустимым рабочим напряжением 250 В не превышает 50—70 В, а ток в обмотке выходного реле при

его срабатывании — 7 мА при допустимом токе коллектора этих транзисторов 100 мА. Такие большие запасы по току и напряжению обеспечивают высокую надежность реле.

Высокочастотные и короткие импульсные сигналы помех на входе реле не могут проникнуть в электронную схему через геркон К1, так как последний принципиально не способен срабатывать от высокочастотных сигналов управления. Состояние этого геркона не может измениться и при воздействии на реле коммутационных помех со стороны цепей питания. Следовательно, реле не может ложно сработать под действием импульсных помех в цепи питания, так как его состояние определяется именно этим герконом.

Что же касается воздействия на герконы магнитных составляющих полей рассеивания, то эта проблема решается путем помещения герконов в ферромагнитные экраны. При толщине стенок экрана около 1 мм геркон не срабатывает даже под воздействием магнитного поля напряженностью, многократно превосходящей напряженность магнитных полей рассеивания в реальных условиях эксплуатации. Выполнение выходного реле К2 также с использованием геркона обусловлено специфическим режимом работы реле защиты, которое может не срабатывать (в нормальных режимах работы оборудования) месяцами.

Отсутствие самозачистки контактов от механической или электрической микроэрозии, а также от воздействия на них влаги, пыли и активных газов, содержащихся в атмосфере, вызывает образование на открытых контактах реле пленок и отложений, резко ухудшающих коммутационную способность реле. Использование геркона позволяет устранить эти явления. Вместе с тем герконы плохо коммутируют индуктивную нагрузку (обмотки промежуточных реле), «свариваясь» даже при возникновении незначительной электрической дуги, сопровождающей такую коммутацию. Поэтому в реле, работающем на постоянном оперативном токе, выходной геркон снабжен высокоэффективной искроподавляющей цепочкой, обеспечивающей коммутацию герконом от 1 до 10 параллельно включенных реле РП-23 при полном отсутствии дуги на контактах. На переменном токе геркон может быть включен в цепь управляющего электрода симистора ТС112-10-7. Принципы выбора параметров интегрирующей цепочки и согласование их с параметрами транзистора и геркона, а также вопросы совместимости параметров геркона выходной цепи и выходного тиристорного ключа рассмотрены в [9].

Регулирование порога срабатывания реле обеспечивается поворотом диэлектрической ампулы с эксцентрично установленным герконом К1 (рис. 2) вокруг своей продольной оси и соответственно изменением расположения геркона относительно полюсов магнитной системы (сердечник и катушки L1, L2 такие, же как и у реле РТ-40). Новое реле размещается в корпусе реле РТ-40.

**Реле максимального напряжения.** Конструкция этого реле полностью идентична описанной

выше, только вместо обмоток тока L1 и L2 используются обмотки напряжения.

**Реле тока с бестрансформаторным интерфейсом.** В реле этого типа вместо обмоток L1 и L2 и геркона К1 используется специальный датчик (так называемый безобмоточный геркотрон), устанавливаемый непосредственно на высоковольтную токоведущую шину вместо трансформатора тока ТТ [9]. Регулировка порога срабатывания реле осуществляется поворотом внутреннего изолятора относительно наружного неподвижного с последующей фиксацией положения первой гайкой. Выводы геркона включены на вход I схемы. Вход II не используется.

**Реле дуговой защиты шкафов КРУ.** На входы I и II базовой схемы параллельно включаются выводы герконов высоковольтных датчиков (рис. 3), установленных соответственно на двух фазах входной цепи КРУ и на всех выходных присоединениях КРУ. При коротких замыканиях, происходящих вне шкафов КРУ, токи КЗ воздействуют как на входные, так и выходные (хотя бы на один) герконы. В результате этого сигналы поступают и на запускаящий вход I и на запрещающий вход II, при этом сигнал на выходе схемы отсутствует.

При дуговом замыкании на шинах КРУ ток КЗ воздействует только на входные герконы (вход I). Сигналов на запрещающем входе (II) нет. В результате этого срабатывает выходной коммутационный элемент схемы с выдержкой времени около 0,1 с, который влияет непосредственно на отключающий аппарат или блокирует реле времени максимальной токовой защиты КРУ.

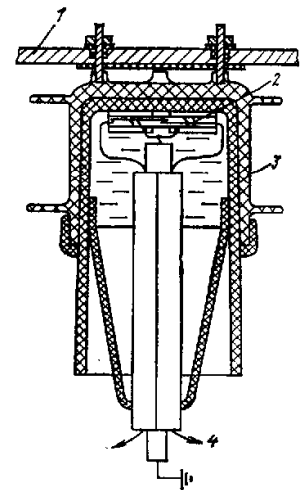


Рис. 3. Высоковольтный датчик для реле дуговой защиты шкафов КРУ:  
1 — шина электроустановки;  
2 — геркон (К1); 3 — корпус интерфейса; 4 — релейный выход

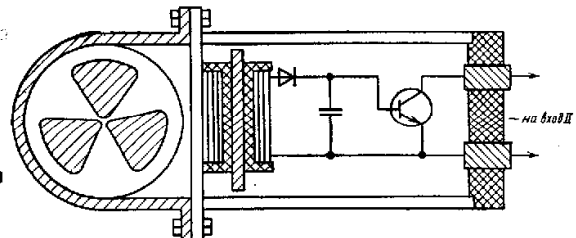


Рис. 4. Модифицированный датчик для дуговой защиты кабельных воронок

Для включения в зону дуговой защиты соединений, выполненных кабелем (кабельных воронок), разработана модификация датчика, устанавливаемого на трехфазный кабель с удаленной броней (рис. 4).

Описанные выше реле и релейные устройства готовятся к производству на Научно-техническом предприятии «Инвертор» (г. Харьков).

В заключение следует отметить, что внедрение новых реле и релейных устройств в системы автоматизации электрических сетей низкого и среднего классов напряжений позволит значительно повысить надежность их работы.

#### Список литературы

1. Алимов Ю. Н., Сушко В. А. Состояние и перспективы развития устройств релейной защиты и автоматки энергосистем// Электротехника. 1985. № 8. С. 2—5.
2. Нудельман Г. С. Измерительные реле тока на операционных усилителях// Электротехн. пром-сть. Сер. Аппараты низкого напряжения. 1979. Вып. 6(82). С. 8—11.
3. Нудельман Г. С., Поляков В. Г. Особенности выполнения и методы обеспечения помехоустойчивости реле РТЗ-51 в условиях эксплуатации// Электрические станции. 1990. № 3. С. 74—76.
4. Паперно Л. Б. Бесконтактные токовые защиты электроустановок. М.: Энергоиздат. 1983.
5. Межалс Л. В. Помехоустойчивость полупроводниковых реле защиты// Известия вузов. Энергетика. 1977. № 7. С. 12—16.
6. Reason J. B. Evaluating Digital Relays: Why reliability is a red herring// Elec. World. 1989. Vol. 203. N 5. P. 52—52.
7. Baer W. J. Storeffekte in elektronischen systemen und deren beherrschung// Schweiz. techn. 1989. Vol. 86. P. 29—32.
8. Гуревич В. И., Кривцов В. В. Интерфейсные реле// Электротехника. 1990. № 6. С. 71—75.
9. Кривцов В. В., Гуревич В. И. Новые принципы построения устройств максимальной токовой защиты на магнитоуправляемых контактах// Изв. вузов. Энергетика. 1991. № 6. С. 38—43.
10. А. с. 1436755. Устройство для преобразования напряженности магнитного поля в электрическую величину// В. И. Гуревич, П. В. Гаврилов, С. Н. Пряничков// Открытия. Изобретения. 1987. № 17.
11. А. с. 1529135 СССР. Устройство для измерения тока/ В. И. Гуревич// Открытия. Изобретения. 1989. № 46.