

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.И.ГУРЕВИЧ, канд.техн.наук

Научно-техническое предприятие "Инвентор"

Электромеханические реле тока серии РТ-40, разработанные десятки лет тому назад, являются аналогами еще более древних реле ЭТ-520. До сих пор эти устройства — практически единственный тип измерительных защитных реле максимального тока, широко применяемые в электроэнергетике, мощных высоковольтных электроприводах и т.п.

Эти реле материалоемки и требуют значительных затрат ручного труда при производстве и во время эксплуатации (регулировка, зачистка и подгибка контактов и т.п.).

В мощных низковольтных электроприводах применяются не менее древние реле максимального тока серии РЭС, РЭО-401 и др. Это еще более крупные и тяжелые устройства, содержащие большое количество меди, стали, серебра.

В современных экономических условиях эти показатели приобретают первостепенное значение, определяющее низкую конкурентоспособность известных реле.

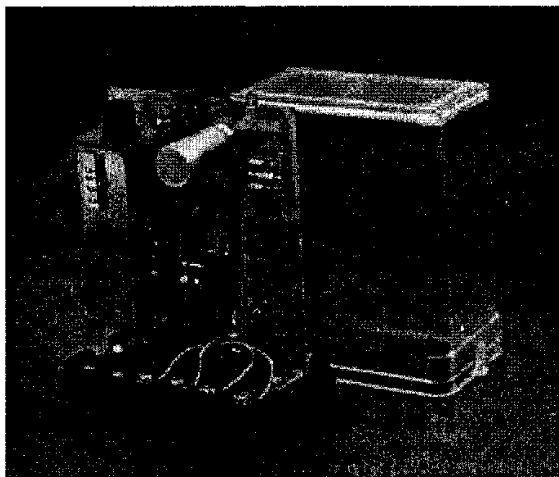


Рис. 1. Внешний вид реле "Квазитрон-1"

Полупроводниковые реле, состоящие из набора покупных радиоэлементов, распаиваемых на

печатную плату, оказываются в этом плане значительно более привлекательными и конкурентоспособными. Однако, опыт эксплуатации статических реле, выполненных на микросхемах, в том числе реле серии РСТ, РТЗ-51 и их аналогов, входящих в комплект защиты ЯРЭ-2201 Чебоксарского электроаппаратного завода, показал наличие у них существенных недостатков, сдерживающих широкое применение, основными из которых являются недостаточная помехоустойчивость и сложность диагностики и наладки [1].

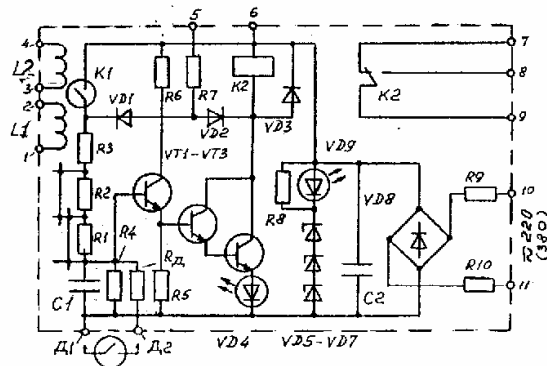


Рис. 2. Базовая электрическая схема реле серии "Квазитрон"

Автором предложен ряд оригинальных технических решений, позволивших удачно совместить в одной конструкции положительные качества электромеханических и статических реле тока. Обоснование этого подхода, теоретические предпосылки и принципы построения таких реле изложены ранее в [1-8].

В статье приведено описание защитных реле максимального тока серии "Квазитрон", выпуск которых начал в 1993 г. научно-техническим предприятием "Инвентор".

Выпускается две серии реле "Квазитрон": "Квазитрон-1" и "Квазитрон-2". Реле "Квазитрон-1" предназначено для замены реле РТ-40 в действующих и во вновь вводимых электроустанов-

ках и выполнено в корпусе, аналогичном корпусу реле РТ-40, с сохранением его габаритных и присоединительных размеров (рис. 1), а также всех исполнений по токам срабатывания в диапазоне от 0,2 до 200 А.

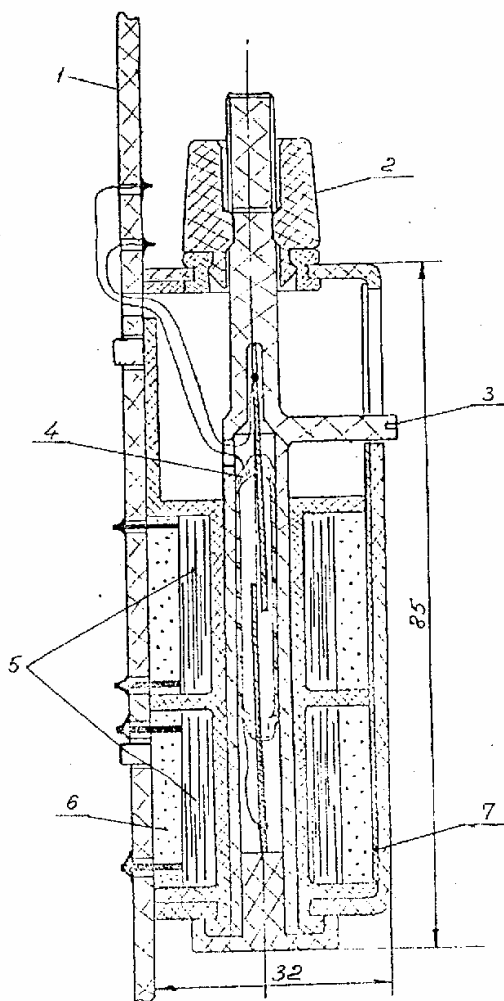


Рис. 3. Конструкция интерфейса катушечного типа: 1 — плата печатания; 2 — ручка регулировки тока срабатывания; 3 — стрелка-указатель; 4 — геркон; 5 — катушка; 6 — заливочная масса (стеарин, эпоксидный компаунд и т.п.); 7 — ферромагнитный экран

Реле "Квазитрон-2" применяется в комплекте со специальными датчиками тока в мощных низковольтных и высоковольтных электроустановках, в частности, вместо реле РЭО-401, РЭВ-571 и других аналогичных в электроприводах мощных механизмов.

Реле обеих серий имеют одинаковую базовую электрическую схему (рис. 2), включающую в себя входной интерфейс [3] ($L1, L2, K1$), время-

задающую цепочку ($R1, R2, R3, C1$), эмиттерный повторитель на транзисторе $VT1$, усилительный каскад на составном транзисторе ($VT2, VT3$), выходное электромагнитное реле $K2$.

Входной интерфейс и выходное электромагнитное реле обеспечивают надежную гальваническую развязку электронной части реле от входных и выходных цепей. Электронная часть реле функционально представляет собой расширитель импульсов, а входной интерфейс ($L1, L2, K1$) является автономным электромагнитным модулем, выполняющим в реле функции измерительного порогового органа, узла. Конструктивно входной интерфейс выполнен в виде отдельного элемента (рис. 3), установленного непосредственно на плате в корпусе реле ("Квазитрон-1", рис. 1) или на отдельной внешней колодке вне корпуса реле ("Квазитрон-2"), снабженной присоединительными элементами, допускающими подключение шин или проводников большого сечения. Такая конструкция позволяет располагать интерфейс в различных местах электроустановки непосредственно в области прохождения шинпроводов. При этом к входу одного электронного исполнительного релейного блока может быть подключено параллельно несколько интерфейсов, контролирующих токи в различных цепях защищаемой электроустановки, причем они могут быть настроены и на различные токи срабатывания. Помимо интерфейса катушечного типа (рис. 3), предназначенного для токов 0,5—50 А, в реле серии "Квазитрон-2" могут быть использованы другие интерфейсы [3] низкого и высокого напряжения (рис. 4), в том числе высокочувствительные интерфейсы с током срабатывания 0,05—5,0 А и изоляцией входа от выхода, выдерживающей напряжение до 25 кВ для систем токовой защиты мощной радиоэлектронной аппаратуры [8, 9], интерфейсы высокого и низкого напряжения, предназначенные для установки непосредственно на токоведущую шину без ее разрыва [2; 4-6]. Такие шинные интерфейсы обеспечивают токи срабатывания реле "Квазитрон-2" в пределах от 50 до 10 000 А.

В реле обеих серий специального исполнения "Д" имеются дополнительные выходные клеммы $Д1$ и $Д2$, к которым может быть подключен внешний интерфейс любого типа. При этом клеммы $Д1, Д2$ образуют запрещающий вход реле, позволяющий реализовать дополнительную функцию дифференциальной защиты [5]. Использование внешних интерфейсов различного типа во многих случаях позволяет по-новому

организовать релейную защиту низковольтных и высоковольтных электроустановок переменного тока без дорогих и металлоемких трансформаторов тока.

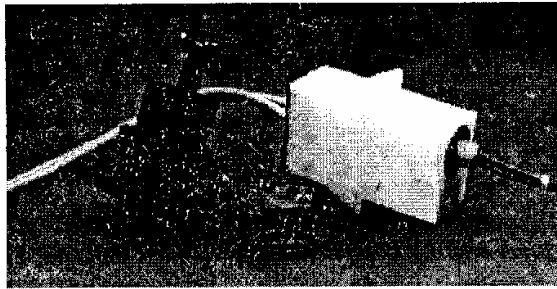


Рис. 4. Внешние интерфейсы реле типа "Квизитрон-2".

1 — высококачественный катушечный интерфейс высокого напряжения для мощной радиоэлектронной аппаратуры; 2 — безобмоточный интерфейс низкого напряжения для электроприводов; 3 — безобмоточный интерфейс для непосредственной установки на шины 6-10 кВ высоковольтных электроустановок

Порог срабатывания реле "Квизитрон-1" регулируется вращением ручки настройки интерфейса. При этом перемещаются пластмассовая ампула с герконом относительно катушки и указатель вдоль шкалы.

Порог срабатывания интерфейсов шинного типа регулируется поворотом их вокруг своей оси с последующей фиксацией положения.

Обе серии реле снабжены светодиодами красного (VD4) и зеленого (VD9) цвета, обеспечивающими визуальную индикацию состояния реле в процессе его работы, а также при настройке и проверке работоспособности. Последнее может осуществляться без отсоединения реле от внешних цепей путем замыкания (перемычкой или внешней кнопкой) выходных клемм 5 и 6. При этом имитируется поступление входного сигнала и одновременно блокируется прохождение выходного сигнала. Зеленый светодиод гаснет, а красный загорается.

Для обеспечения оптимального соответствия параметров реле условиям его эксплуатации (отстройка от апериодической составляющей, бросков тока при срабатывании разрядников в электрических сетях, механических ударов по корпусу реле) предусмотрена возможность выбора номинального (при $I=1,1 I_{сраб}$) значения времени срабатывания реле: 50, 150 или 300 мс и работы его на соответствующей время-токовой характеристике (рис. 5). Номинальное время срабатывания изменяется удалением одной или

двух навесных проволочных перемычек, шунтирующих резисторы R1 и R2.

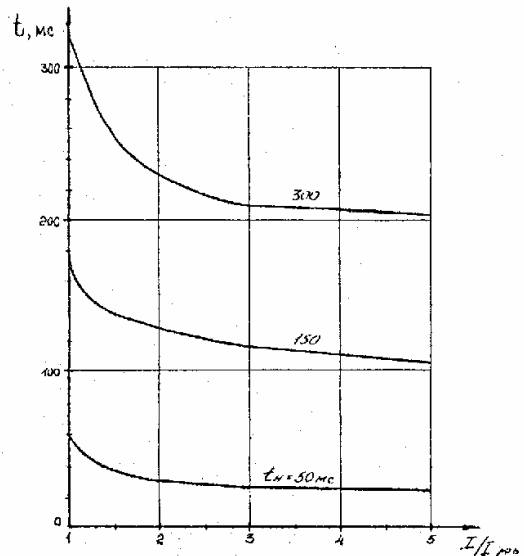


Рис. 5. Время-токовые характеристики реле:

1 — при поставке реле; 2 — с удаленной перемычкой № 1; 3 — с удаленными обеими перемычками

Такой способ изменения времени срабатывания реле, а также отсутствие встроенного коммутационного элемента для проверки работоспособности реле и выбор выходного реле К2 герметичным позволили хорошо защитить электронную часть реле от воздействия пыли и влаги путем двухслойного покрытия платы водостойким лаком методом полного ее погружения.

В схеме реле применены высоконадежные элементы, выбранные с многократными запасами по току и напряжению. Например, при величине питающего напряжения, ограниченного стабилитронами VD5 — VD7 на уровне 45 В, в реле используются транзисторы КТ6056М и диоды КД102А с допустимым напряжением 250 В. При допустимом токе коллектора этих транзисторов 100 мА реальная токовая нагрузка не превышает 10 мА; с десятикратным запасом по рассеиваемой мощности работают в схеме и сами стабилитроны.

Благодаря применению входного каскада на транзисторе VT1, включенном по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель), удалось уменьшить ток, коммутируемый герконом KI до столь малого уровня, при котором полностью исключены какие-либо виды электрической эрозии контактов (так называемая "сухая цепь").

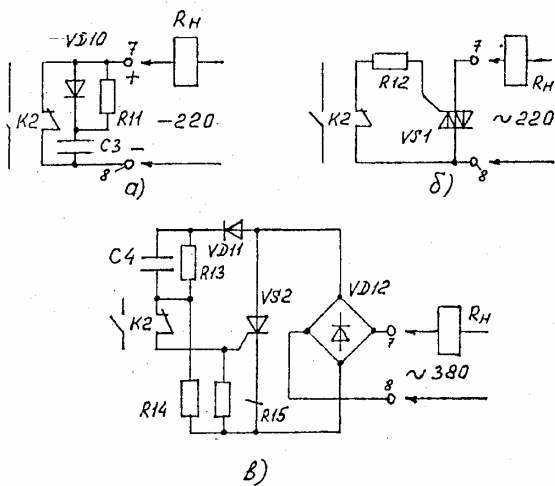


Рис. 6. Варианты выполнения выходного коммутационного узла реле:
 а — с искрозащитной цепью для коммутации индуктивной нагрузки на постоянном токе; б — с симистором для коммутации мощной нагрузки на переменном токе; в — для коммутации нагрузок с номинальным напряжением 380 В переменного тока

Конденсатор $C2$ обеспечивает работоспособность реле при провалах питающего напряжения длительностью до 10 с, а стабилизатор на элементах $VD5 - VD7$ при отклонениях питающего напряжения в пределах от 170 до 270 В. Эти же элементы защищают электронную часть реле от проникновения импульсных перенапряжений из питающей сети. Мощность, потребляемая от сети не превышает 4 Вт. Для повышения коммутационной способности реле обеих серий предусмотрены исполнения выходного коммутационного элемента на основе высокоэффективной искрогасительной цепочки (рис. 6, а), симистора (рис. 6, б) и диодно-тиристорного ключа (рис. 6, в, таблица). Последнее исполнение применяется в реле "Квазитрон-2", предназначенном для работы в сетях с напряжением 380 В. Схема, изображенная на рис. 6, в может с помощью относительно низковольтного контакта

Исполнения реле серии "Квазитрон" по виду выходного коммутационного элемента

Номер исполнения реле серии "Квазитрон"	Вид выходного элемента	Режим коммутации			Вид нагрузки	Род тока
		Ток, А	Напряжение, В	Мощность, Вт		
1	Переключающий контакт	0,001-0,3	0,5-120	10	Активная	Постоянный, переменный
2	Замыкающий контакт с искрозащитной цепью	0,01-0,1	10-220	15	Активная, индуктивная, $\tau \leq 0,01c$	Постоянный
3	Размыкающий контакт с искрозащитной цепью	0,01-0,1	10-220	15	Активная, индуктивная, $\tau \leq 0,01c$	Постоянный
4	Симистор, эквивалентный замыкающему контакту	0,05-2,0* 3-10**	10-220	500	Активная, индуктивная, $\cos\phi \geq 0,4$	Переменный
5	Симистор, эквивалентный размыкающему контакту	0,05-1	10-220	200	Активная, индуктивная, $\cos\phi \geq 0,4$	Переменный
6	Диодно-тиристорный ключ, эквивалентный замыкающему контакту	0,05-2* 3-10**	10-380	600	Активная, индуктивная, $\cos\phi \geq 0,4$	Переменный
7	Диодно-тиристорный ключ, эквивалентный размыкающему контакту	0,05-1	10-380	300	Активная, индуктивная, $\cos\phi \geq 0,4$	Переменный

* Длительный.

** Кратковременный ($t \leq 3c$).

миниатюрного реле *K2* управлять достаточно мощной нагрузкой с номинальным напряжением 380 В (обмотки мощных контакторов и пускателей).

Термическая стойкость обмоток катушечного интерфейса *L1* и *L2* соответствует реле РТ-40, а большая чувствительность интерфейса на герконе по сравнению с реле РТ-40 позволила значительно уменьшить затраты стали (в пять раз) и меди (в три раза). Помимо экономии активных материалов, стало возможным на 60% снизить мощность, потребляемую реле от измерительного трансформатора тока в электроэнергетических установках. А по сравнению с тяжелыми и крупными реле серий РЭО и РЭВ экономия активных материалов составляет десятки и сотни раз.

Ресурс реле, а следовательно, и область их применения определяется, в основном, ресурсом, геркона *K1*, вибрирующим с частотой 100 Гц при срабатывании реле. Специальные испытания герконов, применяемых в реле, показали, что при режимах, существующих в реле "Квазитрон", эти герконы свободно выдерживают 10 млн. циклов срабатывания и после этого продолжают нормально функционировать в составе реле. При испытаниях двух партий герконов по 50 штук в каждой не было зафиксировано ни одного случая залипания герконов. Простейшие расчеты показывают, что при питании обмоток *L1* и *L2* переменным током частотой 50 Гц, при срабатывании реле два раза в сутки с отработкой каждый раз выдержки времени 5с ресурс реле составит не менее 27 лет. Как показали проведенные исследования, коэффициент возврата реле также определяется типом применяемого геркона (его герметическими размерами, жесткостью контакт-деталей и т.п.) и может быть реализован в пределах от 0,70 до 0,99. По мнению многих известных специалистов, коэффициент возврата защитных токовых реле должен быть как можно ближе к 1 [10—12]. В процессе разработки были созданы опытные образцы реле с коэффициентом возврата 0,99. Однако, после испытания их в ПЭО "Харьковэнерго" и ПЭО "Донбассэнерго" эксплуатационники пришли к мнению о чрезмерности столь высокого коэффициента возврата, при котором снижается устойчивость работы реле, и целесообразности его уменьшения.

С учетом этих пожеланий для использования в реле "Квазитрон-1" выбраны герконы, обеспечивающие коэффициент возврата в пределах 0,85—0,95, а для реле "Квазитрон-2" — 0,70—0,85. По отдельному заказу возможно изготовление реле с коэффициентом возврата 0,98—0,99.

Порог срабатывания геркона входного интерфейса оказался не чувствительным к форме контролируемого тока, благодаря чему ток срабатывания реле "Квазитрон-1", включаемого обычно через трансформатор тока, не изменяется при погрешностях трансформатора тока до 78% и более.

Время возврата реле во всех режимах не превышает 50 мс, а время выхода на номинальный режим работы после включения питания от оперативной сети — не более 0,5 с.

Электрическая прочность изоляции входного интерфейса не менее 5 кВ переменного тока. Цепи реле выдерживают без повреждения воздействие в течение 1 с повышенных напряжений переменного тока: с амплитудой 1 кВ — на клеммах цепи питания, с амплитудой 2,5 кВ — между выводами различных цепей.

В настоящее время принято решение о широком применении этих реле в электроэнергетике Украины вместо реле РТ-40, в том числе для комплектования распределительных устройств класса 10 кВ, производимых рядом украинских заводов. Нижегородским филиалом института "Сельэнергопроект" предусматривается использование реле с высоковольтными датчиками шинного типа в установках для плавки гололода. Национальной программой развития краностроения на Украине предусматривается широкое применение реле серии "Квазитрон-2" в панелях управления электроприводов мощных крановых механизмов всех типов. В объединении "Харьковэнерго" ряд подстанций оборудован дуговой защитой на базе реле "Квазитрон-2Д". Таким образом, реле серии "Квазитрон" являются действительно универсальными и могут найти самое широкое применение в электроустановках различного назначения.

Список литературы

1. Гуревич В.И. Принципы повышения помехоустойчивости статических реле тока//Энергетика и электрификация. 1992. № 2. С. 16-16.
2. Гуревич В.И. О концепции развития средств релейной защиты электросетей 6-10 кВ//Энергетика и электрификация. 1993. № 2. С. 40-43.
3. Гуревич В.И., Кривцов В.В., Савченко П.И. Интерфейсные реле// Электротехника. 1990. № 6. С. 71-75.
4. Кривцов В.В., Гуревич В.И. Новые принципы построения устройств максимальной токовой защиты на магнитоуправляемых контактах// Изв.вузов. Энергетика. 1991. № 6. С. 38-43.

5. **Гуревич В.И., Кривцов В.В.** Новая релейная база для систем автоматизации электрических сетей 6-10 кВ// Энергетическое строительство. 1992. № 4. С.41-45.
6. **Пат. 4925494/07 РФ.** Высоковольтный датчик тока/ В.И.Гуревич. 1992.
7. **Пат. 5000142/06 РФ.** Устройство для токовой защиты высоковольтной электроустановки/ В.И.Гуревич. 1992.
8. **А.с. 1379827 СССР.** Реле на герконе /В.И.Гуревич //Открытия. Изобретения. 1988. № 9.
9. **Гуревич В.И., Савченко П.И.** Высокоэффективная защита мощных электровакуумных приборов// Электронная техника. Сер. 4. 1987. Вып.1(116). С.70-73.
10. **Дорогушцев В.Г., Овчаренко Н.И.** Элементы устройств автоматики энергосистем. М.: Энергия, 1970.
11. **Федосеев А.М.** Релейная защита электрических систем. М.-Л.: Энергия, 1976.
12. **Паперно Л.Б.** Бесконтактные токовые защиты электроустановок. М.: Энергоиздат, 1983.

Поступила 08.10.93