

Перспективы применения гибридной технологии в релейной защите и автоматике

В 70–80 годах прошлого столетия электромеханические устройства релейной защиты (ЭРЗ) западного производства (General Electric, ASEA, BBC) достигли высокого уровня [1]: они были способны выполнять весьма сложные функции и работать по сложному алгоритму, полностью обеспечивая потребности развитой электроэнергетики. Стоимость сложных ЭРЗ доходила до нескольких десятков тысяч долларов, что было связано с ручным производством множества высокоточных деталей, ручной сборкой и ручной регулировкой готовых изделий. Стремление производителей снизить затраты на производство реле защиты привело их в 1970-х годах сначала к полупроводниковым реле, собранным из дешевых компонентов на печатной плате, а затем, в 1980-х годах, и к микропроцессорным реле с полной автоматизацией процесса сборки и проверки отдельных печатных плат, из которых и состоит современное микропроцессорное устройство релейной защиты (МУРЗ) [2].

Владимир ГУРЕВИЧ,
к. т. н.

Полупроводниковые реле защиты, собранные на дискретных электронных компонентах, полностью повторяли функции электромеханических реле, не внося никаких принципиально новых функций в релейную защиту.

Первые микропроцессорные реле тоже повторяли функции электромеханических защит, причем лишь самых простых. Это объясняется тем, что в то время перспективы применения микропроцессорной техники в релейной защите были еще туманны и основным стимулом к поиску альтернативы электромеханическим защитам было снижение затрат ручного труда в процессе производства. Типичным примером конструкций того времени является микропроцессорное реле типа RXIDK-2H и его полный транзисторный аналог — RXIDF-2H (рис. 1).

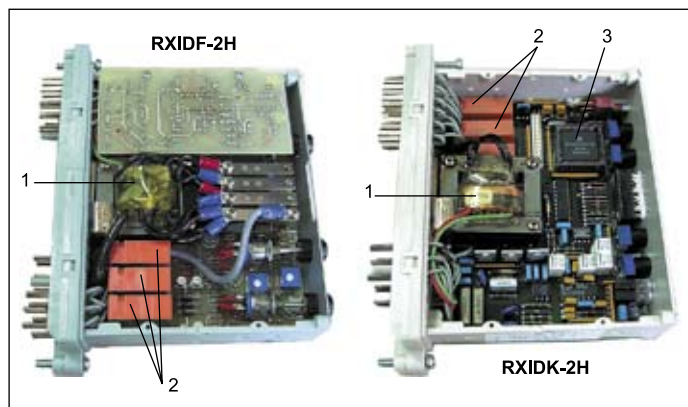


Рис. 1. Два токовых реле с зависимой выдержкой времени, одинаковыми техническими параметрами, характеристиками и размерами, произведенные одной и той же компанией (ABB):

- а) статическое полупроводниковое типа RXIDF-2H;
- б) микропроцессорное RXIDK-2H:
 - 1 — входной трансформатор тока;
 - 2 — выходные электромагнитные реле;
 - 3 — специализированный микропроцессор

В настоящее время МУРЗ достигли высокого уровня развития, тем не менее, за прошедшие десятилетия никакой революции в области релейной защиты не произошло. Ни основные функции релейной защиты, ни ее принципы, выработанные в течение столетия, так и не изменились. Улучшились лишь характеристики реле защиты за счет логических и вычислительных способностей микропроцессоров.

Процесс перехода от электромеханических устройств защиты к микропроцессорным в одних странах начался раньше и идет более интенсивными темпами, в других — начался позднее и идет медленнее, поэтому процент МУРЗ в энергосистемах разных стран существенно различается (от 10 до 70%). Однако во всем мире современные тенденции развития релейной защиты характеризуются повсеместным вытеснением электромеханических устройств релейной защиты и автоматике микропроцессорными. Связано это с множеством причин, основная из которых — это возможность полной автоматизации процесса производства и испытаний реле и получения сверхприбыли. (Стоимость современных МУРЗ производства ведущих западных компаний осталась на уровне ЭРЗ: \$3000–10 000, при очень небольших затратах ручного труда.)

С ростом количества применяемых МУРЗ и по мере их старения (некоторые типы МУРЗ находятся в эксплуатации уже 15–20 лет) стали проявляться многочисленные проблемы, связанные с их недостаточной надежностью [2]. Особая проблема возникла в последние годы в связи с развитием компьютерных и сетевых технологий (концепция Smart Grid [3]), а также технологий преднамеренных деструктивных электромагнитных воздействий на электронную аппаратуру [4]. В военных лабораториях всех развитых стран мира сегодня интенсивно разрабатываются методы разрушающего воздействия на электронную аппаратуру энергосистем с помощью компьютерных вирусов [5] и мощных электромагнитных импульсов (ЭМИ) [6]. Чем больше микропроцессорных устройств и систем используется в энергосистеме, тем она более уязвима к этим воздействиям. Таким образом, получается, что современные тенденции развития энергетики, в частности концепция Smart Grid, направлены в сторону увеличения ее уязвимости. Это неприятное последствие технического прогресса.



Рис. 2. Дистанционная защита линий, выполненная на МУРЗ типа MiCOM P437 (внизу) и электромеханических реле типа LZ-31 (вверху), включенных на параллельную работу

са уже начинают замечать специалисты [7], предлагающие для повышения устойчивости энергосистем к указанным выше воздействиям резервировать МУРЗ электромеханическими реле (значительно более устойчивыми к этим воздействиям), например за счет введения двухуровневой РЗА.

Согласно предложению Б. Д. Щедрикова, первый уровень РЗА должен быть образован МУРЗ, а второй — электромеханическими реле тока типа РТ-40 и реле времени типа РВМ-12. Оба комплекта реле (МУРЗ и электромеханика) включены на параллельную работу, причем время срабатывания электромеханической защиты выбрано на 0,1 с больше времени срабатывания МУРЗ. По мнению автора предложения, электромеханика должна подстраховать МУРЗ в случае ее несрабатывания при аварийном режиме (то есть фактически таким включением реализуется логическая функция «ИЛИ»). Следует заметить, что включение МУРЗ и электромеханики на параллельную работу не является чем-то новым и давно используется на практике (рис. 2) [8].

Однако при таком включении не решена проблема ложных срабатываний МУРЗ при воздействии на них ЭМИ, которые могут привести к не менее серьезным проблемам в энергосистеме, чем несрабатывание. В другой работе тот же автор предлагает вместо параллельного включения электромеханики и МУРЗ использовать их включение таким образом, чтобы электромеханическое реле типа КРБ-126 давало разрешение на выполнение операции включения отключающей катушки выключателя микропроцессорным реле (то есть, по сути дела, в этом случае реализуется логическая функция «И»). Такое включение обеспечивает, конечно, гораздо лучшую устойчивость РЗ к ЭМИ, однако

Таблица 1. Параметры современных малогабаритных тиристорov, предназначенных для монтажа на печатной плате

Параметр/Тип тиристора	30TPS 12	25TTS 12	70TPS 16	CS 60-16io1	BTW69-1200	CS 29-12io1C
Тип корпуса	TO-247AC	TO-220AC	SUPER-247	PLUS247	TOP3	ISOPUS 220
Максимальное напряжение, В	1200	1200	1600	1600	1200	1200
Максимальный ток, А	30	25	70	75	50	35
Импульсный ток, А	300	300	1200	1500	580	200
dv/dt, В/мкс	500	500	500	1000	1000	1000
di/dt, А/мкс	150	150	150	150	50	150
Ток утечки, мА (для t = 25 °C)	0,5	0,5	1	0,2	5	2
Ток удержания, мА	100	150	200	200	150	50
Время включения, мкс	0,9	0,9	—	2	—	2

Таблица 2. Параметры современных мощных высоковольтных IGBT-транзисторов

Параметр/Тип транзистора	IXSK35N120AU1	APT35GN120N	FGA25N120ANTD	IXGH25N160	FGA50N100BNTD
Тип корпуса	TO-246AA	TO-247	TO-3P	TO-247	TO-3P
Напряжение коллектор-эмиттер, В	1200	1200	1200	1600	1000
Длительный ток коллектора, А	35	94	25	75	50
Импульсный ток коллектора, А	140	105	90	200	100
Рассеиваемая мощность, Вт	300	379	312	300	156
Напряжение насыщения, В	4	2,5–4,7	2,15	2,5–4,7	2
Время включения, нс	80	24	50	47	140
Время выключения, нс	900	300	190	86	630

Таблица 3. Параметры быстродействующих вакуумных высоковольтных герконов

Параметр/Тип геркона	MRA5650G	KSK-1A75	HYR2016	HYR1559	MARR-5	KSK-1A85
Тип контакта	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Коммутируемое напряжение, В	1000	1000	1000	1500	1000	1000
Коммутируемый ток, А	1	0,5	1	0,5	0,5	1
Коммутируемая мощность, Вт	100	10	25	10	10	100
Пробивное напряжение, В	1500	1500	2500	1500	2000	4000
Время замыкания, мс	0,6	0,5	0,8	0,4	0,75	1
Время размыкания, мс	0,05	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1
Размеры, мм	D = 2,75 L = 21	D = 2,3 L = 14,2	D = 2,6 L = 21	D = 2,3 L = 14,2	D = 2,66 L = 19,7	D = 2,75 L = 21
Чувствительность, ампервитков	20–60	15–40	15–70	15–50	17–38	20–60

снижает общую надежность РЗА (это неизбежная цена за повышение устойчивости защиты к ЭМИ). Кроме того, производство электромеханических реле неуклонно сокращается, а в странах Запада уже прекращено. ЭМРЗ, производство которых еще «теплится» на ЧЭАЗ, давно морально устарели и являются техникой даже не вчерашнего, а позавчерашнего дня.

Кроме того, проблемы производства ЭМРЗ (большие затраты ручного труда, низкая рентабельность) ведь никуда не делись. В этой связи использование гибридных (герконо-полупроводниковых) реле защиты, выполненных на современных компонентах и не требующих ручного труда в тех объемах, которые требовались при производстве электромеханики, представляются гораздо более перспективным направлением создания специальных и резервных защит, чем традиционные ЭМРЗ.

Принцип повышения устойчивости МУРЗ к мощным ЭМИ путем использования герметичных магнитоуправляемых электромеханических элементов — герконов, решающих действие МУРЗ, был предложен нами в [9] за 15 лет до публикации предложения о двухуровневой РЗА, а идея о необходимости создания гибридного (герконо-полупроводникового) устройства РЗ была предложена нами почти 20 лет тому назад

[10], сразу же, как только возникли первые сомнения относительно помехоустойчивости МУРЗ. Причем уже тогда речь шла об использовании современных герконов, а не устаревших электромеханических реле [11–14]. Сегодня, с созданием новой элементной базы (миниатюрные высоковольтные вакуумные и газонаполненные герконы с электрической прочностью изоляции до 4 кВ, мощные герконы с большими коммутируемыми токами), а также небольших по размерам транзисторов и тиристорov с рабочим напряжением 1200–1800 В и коммутируемыми токами в десятки ампер появились, естественно, и новые возможности по созданию гибридных реле (в качестве самостоятельных реле защиты или пусковых органов для МУРЗ) (табл. 1–3).

Особенности современных герконов — высокая надежность (при соблюдении нормируемых ограничений по току и напряжению), высокое быстродействие (доли и единицы миллисекунд), отличная защита от пыли и влаги, отсутствие необходимости зачистки и регулировки в процессе эксплуатации, малые размеры, полная гальваническая развязка цепи управления (катушка) от выходной цепи (контактов) и возможность очень простыми средствами получить высоковольтную изоляцию между цепью управления и выходной цепью.

магнитное поле кабеля по-прежнему воздействует на него, а компенсирующее магнитное поле катушки, запитанной от трансформатора тока, нет, поскольку постоянная составляющая тока не проходит через трансформатор тока. В результате геркон срабатывает.

Реальная схема реле включает дополнительно усилитель мощности на тиристоре VS, варистор R_U и цепочку R1C1, защищающие тиристор от помех и перенапряжений (рис. 5б). Реле снабжено сплошным электростатическим экраном и ферромагнитным экраном, имеющим окно лишь со стороны кабеля в месте расположения геркона. Реле соединено с цепью отключающей катушки выключателя СВ посредством специального экранированного кабеля с витыми парами и многослойным комбинированным экраном, заземленным с двух концов [3], устойчивым к воздействию электромагнитного импульса [2]. В реле могут использоваться миниатюрные высоковольтные вакуумные герконы, например типа KSK-1A85 (производства компании Meder Electronics), с электрической прочностью изоляции между контактами 4000 В (табл. 3). При необходимости увеличения чувствительности могут быть использованы дополнительные ферромагнитные элементы (концентраторы магнитного поля), расположенные в области геркона (рис. 5в).

Для получения реле с более низкой чувствительностью и более высоким порогом срабатывания продольная ось геркона должна образовывать угол, отличный от 90° , с осью кабеля, на котором он установлен. Тиристор тоже миниатюрный, высоковольтный, типа SKT50/18E (производства компании Semicon), с максимальным напряжением 1800 В и максимальным длительным током 75 А, выдерживающий высокие скорости нарастания напряжения (1000 В/мкс) и широкий диапазон рабочих температур ($-40...+130^\circ\text{C}$). Цепь питания отключающей катушки снабжена накопительным конденсатором C3, обеспечивающим срабатывание выключателя даже при пропадании оперативного напряжения. Цепочка R2C2 предназначена для дополни-

тельного повышения помехоустойчивости устройства. Конденсатор C2 обеспечивает некоторую задержку включения тиристора, предотвращая его отпирание под действием мощной импульсной помехи.

Применение в этом реле дискретных высоковольтных компонентов вместо традиционной микроэлектроники позволяет обеспечить его высокую надежность в условиях воздействия мощных электромагнитных помех и перенапряжений, характерных для солнечных бурь и электромагнитного импульса.

Заключение

Еще раз подчеркнем, что описанная в статье технология предназначена для использования не вместо МУРЗ, а вместо ЭМРЗ; в тех случаях, когда использование МУРЗ экономически или технически не оправдано; в качестве резервной защиты; в качестве пусковых органов для МУРЗ, а также в специальных случаях, когда использование микроэлектроники недопустимо.

Описанная технология уже прошла «проверку временем». Разработанное автором гибридное реле тока «Квазитрон-2» [12] с выносными датчиками на герконах вошло в состав «Панелей защитных крановых» типов ПЗКМ-160, ПКЗМ-250, ПКЗМ-400, выпускаемых по ТУ 16-92ХИ-621.001. ■

Литература

1. Гуревич В. И. Электрические реле. Устройство, принцип действия и применения. Настольная книга электротехника. Серия «Компоненты и технологии». М.: Солон-Пресс, 2011.
2. Гуревич В. И. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы. Учебно-практическое пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2011.
3. Гуревич В. И. Интеллектуальные сети — новые перспективы или новые проблемы? // Электротехнический рынок. 2010. № 6. 2011. № 1–2.
4. Гуревич В. И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты // Компоненты и технологии. 2010. № 2–4.
5. Гуревич В. И. Кибероружие против энергетики // PRO Электричество. 2011. № 1.
6. Гуревич В. И. Проблема устойчивости микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики к преднамеренным деструктивным электромагнитным воздействиям // Компоненты и технологии. 2011. № 4. 2011. № 5.
7. Щедриков Б. Д. Электромеханические устройства релейной защиты и автоматики в энергетике: настоящее и будущее // Релейная защита и автоматизация. 2010. № 1.
8. Гуревич В. И. О некоторых путях решения проблемы электромагнитной совместимости релейной защиты в электроэнергетике // Промышленная энергетика. 1996. № 3.
9. Гуревич В. И. Принципы повышения помехоустойчивости статических реле тока // Энергетика и электрификация. 1992. № 2.
10. Гуревич В. И. Пути повышения электромагнитной совместимости релейной защиты в электроэнергетике // Промышленная энергетика. 1995. № 2.
11. Гуревич В. И. О развитии средств релейной защиты электрических сетей // Энергетическое строительство. 1994. № 1.
12. Гуревич В. И. Универсальные защитные реле максимального тока нового поколения // Электротехника. 1994. № 1.
13. Гуревич В. И. Гибридные герконо-полупроводниковые устройства — новое поколение реле защиты // Проблемы энергетики. 2007. № 9–10.
14. Гуревич В. И. Высокостабильное герконо-полупроводниковое реле тока с повышенным быстродействием // Энерго-Инфо. 2007. № 2.
15. Гуревич В. И. Высоковольтные устройства автоматики на герконах. Хайфа, 2000.
16. Gurevich V. Protection Devices and Systems for High-Voltage Applications. New York — Basel: Marcel Dekker Inc., 2003.
17. Gurevich V. Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering // CRC Press (Taylor & Francis Group), 2008.
18. Гуревич В. И. Силовые трансформаторы тоже подвержены влиянию Солнца // Электротехнический рынок. 2011. № 5.