


В. И. ГУРЕВИЧ

# ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА

2-е издание



 «Инфра-Инженерия»

УДК 621.316.925

ББК 31.27-05

Г95

**Гуревич, В. И.**

**Г95** Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса : учебное пособие / В. И. Гуревич. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 304 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1358-9

Рассмотрены практические аспекты защиты электрооборудования подстанций на примере микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) и силовых трансформаторов от разрушительного воздействия электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва и других видов преднамеренных электромагнитных деструктивных воздействий, оборудование для производства которых интенсивно разрабатывают и совершенствуют в последние годы. Предложены различные технические решения и организационные мероприятия, направленные на повышение живучести подстанций.

Для студентов электроэнергетических специальностей. Может быть полезно специалистам, занимающимся эксплуатацией электрооборудования на подстанциях, проектировщикам, производителям МУРЗ, руководителям отрасли, а также преподавателям, аспирантам.

УДК 621.316.925

ББК 31.27-05

ISBN 978-5-9729-1358-9 © Гуревич В. И., 2023

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	4
<b>1 Технический прогресс и его последствия . . . . .</b>	<b>6</b>
1.1. Философия технического прогресса . . . . .	6
1.2. Технический прогресс в релейной защите . . . . .	22
1.3. Микропроцессоры – основа современной стадии технического прогресса. . . . .	25
1.4. Smart Grid - опасный вектор технического прогресса в энергетике. . . . .	26
1.5. Опасные тенденции развития устройств релейной защиты. . . . .	28
Литература к Гл. 1 . . . . .	37
<b>2 Преднамеренные деструктивные электромагнитные воздействия . . . . .</b>	<b>42</b>
2.1. Введение . . . . .	42
2.2. Краткий исторический экскурс . . . . .	42
2.3. Первая открытая достоверная информация об ЭМИ ЯВ и методах защиты в энергетике. . . . .	45
2.4. Реальное положение дел с защитой систем электроснабжения от ЭМИ ЯВ и других видов ПЭДВ. . . . .	45
2.5. Ракетные системы малой и средней дальности – потенциальные источники ЭМИ ЯВ, против которых бес- сильны системы ПРО . . . . .	49
2.6. Что нужно для того, чтобы реально защитить страну от электромагнитного Армагеддона? . . . . .	55
2.7. Классификация и особенности преднамеренных электромагнитных деструктивных воздействий . . . . .	55
2.8. Воздействие ПЭДВ на микропроцессорные устройства релейной защиты . . . . .	81
2.9. Основные нормативно-технические документы в области ПЭДВ . . . . .	85
Литература к Гл. 2. . . . .	89
<b>3 Методы и средства защиты МУРЗ от электромагнитного импульса . . . . .</b>	<b>96</b>
3.1. Чувствительность МУРЗ к электромагнитным воздействиям . . . . .	96
3.3. Методы защиты от ПЭДВ . . . . .	101
<b>4 Пассивные методы и средства защиты МУРЗ от электромагнитного импульса . . . . .</b>	<b>103</b>

4.1	Монтажные шкафы . . . . .	103
4.2	Заземление чувствительной электронной аппаратуры . . . . .	104
4.3	Фильтры ЭМИ ЯВ . . . . .	114
4.3.1	Ферритовые фильтры . . . . .	114
4.3.2	Фильтры на основе LC-звеньев . . . . .	122
4.4	Нелинейные ограничители перенапряжений . . . . .	131
4.5	Экранирование контрольных кабелей . . . . .	138
4.6	Конструктивные изменения МУРЗ . . . . .	147
4.6.1	Аналоговые входы . . . . .	147
4.6.2	Дискретные входы . . . . .	149
4.6.3	Выходные реле . . . . .	151
4.6.4	Печатные платы . . . . .	152
4.7	Строительные материалы . . . . .	154
	Литература к Гл. 4 . . . . .	157
<b>5</b>	<b>Активные методы и средства защиты МУРЗ от электромагнитного импульса. . . . .</b>	<b>160</b>
5.1	Новый принцип активной защиты МУРЗ . . . . .	160
5.2	Датчики тока и напряжения на базе герконовых реле с регулируемым порогом срабатывания . . . . .	173
5.3	Технико-экономические аспекты метода активной защиты МУРЗ . . . . .	182
5.4	Защита системы дистанционного управления выключателями . . . . .	199
	Литература к Гл. 5 . . . . .	207
<b>6</b>	<b>Испытания устойчивости МУРЗ к воздействию ПЭДВ. . . . .</b>	<b>209</b>
6.1	Анализ источников ПЭДВ . . . . .	209
6.2	Параметры испытаний на устойчивость к ЭМИ ЯВ . . . . .	215
6.3	Параметры испытаний на устойчивость к ПИЭМ. . . . .	217
6.4	Испытательное оборудование для тестирования на устойчивость к ПЭДВ. . . . .	218
6.5	Использование критерия качества функционирования при испытаниях электронной аппаратуры на электромагнитную совместимость . . . . .	225
6.6	Особенности использование критерия качества функционирования при испытаниях МУРЗ на устойчивость к ПЭДВ . . . . .	226
6.7	Критика используемого метода испытания МУРЗ . . . . .	228
6.8	Анализ второго независимого испытания МУРЗ того же типа. . . . .	231
6.9	Выводы и рекомендации по испытаниям МУРЗ . . . . .	235

Литература к Гл. 6 . . . . .	236
<b>7 Организационно-технические мероприятия по защите МУРЗ от ЭМИ. . . . .</b>	<b>238</b>
7.1 Проблемы стандартизации МУРЗ. . . . .	238
7.1.1 Кто координирует процесс стандартизации в области релейной защиты . . . . .	238
7.1.2 Основные принципы стандартизации МУРЗ . . . . .	241
7.1.2.1 Стандартизация внешнего исполнения МУРЗ . . . . .	242
7.1.2.2 Стандартизация функциональных модулей МУРЗ . . . . .	245
7.1.2.3 Стандартизация программного обеспечения МУРЗ . . . . .	247
7.1.2.4 О необходимости стандартизации испытаний МУРЗ . . . . .	247
7.1.2.5 Базисные принципы конструирования МУРЗ – основа будущего стандарта . . . . .	248
7.2 Основные принципы стандартизации испытаний МУРЗ . . . . .	256
7.2.1 Новый взгляд на проблему . . . . .	258
7.2.2 Современные тестовые системы для реле защиты . . . . .	262
7.2.3 Проблемы современных ТСПЗ . . . . .	263
7.2.4 Предлагаемое решение проблемы . . . . .	264
7.3 Создание запасов сменных модулей – как средство повышения живучести энергосистемы . . . . .	266
7.3.1 Оптимизация запасов сменных модулей электронной аппаратуры. . . . .	266
7.3.2 Проблема хранения запасов ЗИП . . . . .	267
Литература к Гл. 7 . . . . .	275
<b>8 Защита силового электрооборудования от электромагнитного импульса. . . . .</b>	<b>279</b>
8.1 Магнитогидродинамический эффект ЭМИ ЯВ . . . . .	279
8.2 Влияние компонента ЕЗ ЭМИ ЯВ на силовое электрооборудование . . . . .	281
8.3 Защита силового электрооборудования от воздействия геомагнитно-индуцированных токов . . . . .	283
Литература к Гл. 8 . . . . .	294

## 1. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

### 1.1. Философия технического прогресса

*Рационально планируемое развитие техники все чаще приводит к иррациональным последствиям, и техника выступает в сознании человека не как нейтральное средство для удовлетворения его потребностей, а как самостоятельная цель, отчужденная сила.*

*/докт. фил. наук, проф. Попкова Н. В./*

Что такое технический прогресс? Философская энциклопедия дает такое определение:

*«Технический прогресс — взаимообусловленное, взаимостимулирующее развитие науки и техники. Понятие было введено в 20 в. в контексте обоснования, использующего потребительское отношение к природе, и традиционной научно-инженерной картины мира. Цель технического прогресса определяется как удовлетворение постоянно растущих потребностей человека; способ удовлетворения этих потребностей — реализация достижений естественных наук и техники».*

Действительно, как пишет докт. фил. наук, проф. Попкова Н.В. в своей статье «Философия техники» [1], технологические инновации вводились людьми для улучшения жизни и удовлетворения потребностей: эту задачу техногенная среда выполняет, давая возможность все увеличивающемуся населению Земли получать материальные предпосылки существования. Но в последние годы все полнее проявляются другие последствия технологического роста: подавление собственно биологических и гуманитарных сторон жизни человека, вытеснение их техногенными качествами и закономерностями. Это вызывает двойственную оценку роли техногенной среды: ранее преобладавшую позитивную и набирающую вес негативную. Основная проблема заключается в трудностях управления техногенной средой, в невозможности контролировать ее развитие или хотя бы прогнозировать ее реакцию на внедрение оче-

редных инноваций. Выявление на всех этапах технической деятельности непредсказуемых и нежелательных ее результатов показывает: *техногенная среда всегда находилась отчасти вне контроля создающего ее человечества, а значит, обладала автономностью.*

Таким образом, далеко не всегда развитие техники направлено на «удовлетворение постоянно растущих потребностей человека», причем по нашим наблюдениям, такое свойство технический прогресс начал приобретать лишь во второй половине 20-го века.

В одном старом научно-фантастическом романе был представлен занятный сюжет, развитие которого началось с довольно невинной вещи: необычного ночного звонка на все телефоны всем жителям планеты Земля. Этим звонком всем людям Земли возвестил о своем рождении Глобальный Разум. Оказалось, что на каком-то этапе развития количественный рост компьютеров перерос в новое качество: миллионы компьютеров, объединенных в общую сеть и управляющих всем и вся на планете Земля, вдруг осознали себя как единое целое, способное к самовоспроизводству посредством автоматизированных заводов и роботов, включенных в ту же сеть, а также к защите с помощью компьютеризированных систем вооружения, рассчитанных на уничтожение человека. С точки зрения Глобального Разума человечество было ничем иным, как рудиментом, балластом, пожирающим ресурсы планеты. Дальнейшее развитие сюжета читатели могут предугадать сами.

Компьютерами с сетевым подключением уже сегодня управляются практически все виды современных промышленных производств, системы управления водоснабжением и электроснабжением, системы телекоммуникации и связи. В технической, а не в фантастической литературе появились термины: «разумная электрическая сеть» (Smart Grid), релейная защита с «искусственным интеллектом» (Artificial Intelligence). В технической, а не в фантастической литературе рассматриваются сегодня вопросы создания «умного жилища» (Smart House), в котором даже холодильник будет сам оценивать запасы хранящихся в нем продуктов, и на основе анализа их потребления будет составлять заказ и отправлять его по сети в ближайший супермаркет. Сегодня микропроцессоры можно найти уже где угодно, даже в крышке унитаза.

Человечество семимильными шагами движется к созданию непредсказуемого Глобального Разума, предугаданного в старом фан-

тастическом романе. Поэтому этот старый сюжет уже давно перекочевал со страниц фантастических романов на страницы серьезных философских журналов и книг, освещающих проблемы философии техники. Это относительно новая область философских исследований, направленных на осмысление природы техники и оценку ее воздействий на общество, культуру и человека. Существует точка зрения, согласно которой философия техники – это скорее не собственно философия, а междисциплинарная область знаний, для которой характерно самое широкое рассмотрение техники и осмысление проблем создаваемых ею.

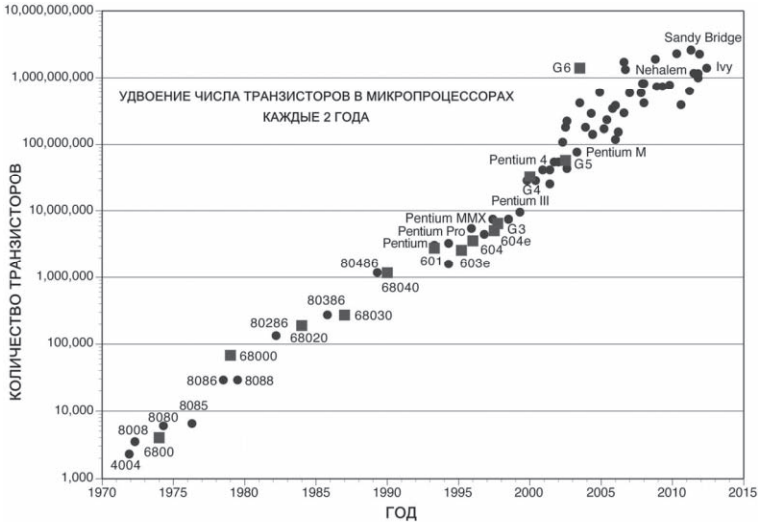
На симпозиуме VISION-21, который проводился в 1993 году Центром космических исследований NASA им. Льюиса и Аэрокосмическим институтом Огайо, прозвучало нашумевшее выступление известного математика профессора Вернора Винджа [2]:

*"Ускорение технического прогресса - основная особенность XX века. Мы на грани перемен, сравнимых с появлением на Земле человека. Сугубая причина этих перемен заключается в том, что развитие техники неизбежно ведёт к созданию сущностей с интеллектом, превышающим человеческий.... Крупные компьютерные сети (и их объединенные пользователи) могут "осознать себя" как сверхчеловечески разумные сущности... Такое событие аннулирует за ненадобностью весь свод человеческих законов, возможно, в мгновение ока. Неуправляемая цепная реакция начнет развиваться по экспоненте безо всякой надежды на восстановление контроля над ситуацией".*

Виндж предложил новый термин для этого явления: "**Технологическая сингулярность**". Обычно, под сингулярностью понимается некая особая точка или область функции, значение в которой стремится к бесконечности или имеет какие-либо иные нерегулярности поведения, это некая критическая точка, после которой значение функции становится неопределенным и непредсказуемым. Типичные примеры сингулярности – лавинный пробой в полупроводниковых структурах, туннельный эффект в электрических контактах и в полупроводниках, участок вольтамперной характеристики туннельного диода и т.д. Технологическая сингулярность подразумевает некую точку в развитии техники вообще, а компьютерной



техники и искусственного интеллекта особенно, после которой дальнейшее их развитие становится, во-первых, необратимо и не зависимо от человека, а во-вторых, непредсказуемо.



**Рис. 1. 1.** Зависимость числа транзисторов на кристалле микропроцессора от времени. Вертикальная ось имеет логарифмическую шкалу, поэтому зависимость соответствует экспоненциальному закону

На взгляды Винджа повлиял, безусловно, так называемый Закон Мура (Мора) [3], сформулированный в 1965 году одним из учредителей компании Intel Гордоном Муром (Gordon Moor). Этот закон гласит, что количество транзисторов в микропроцессорах удваивается примерно каждые 2 года, а их производительность растет экспоненциально, рис. 1.1. Этот закон действует более 50 лет. По такому же экспоненциальному закону развивается, постоянно усложняясь, не только микропроцессорная и компьютерная техника, но и другие виды техники, а за ними и общество. Социолог М. Сухарев в своей работе «Взрыв сложности» [4] пишет:

*«В развитии общества видна еще одна закономерность - ускорение роста сложности со временем. Десятки тысяч лет жили на Земле племена, вооруженные копьями и луками. За несколько сотен лет мы проскочили промышленно-техническую цивилизацию. Сколько лет отпущено компьютерному этапу, не известно, но нынешняя скорость эволюции общества беспрецедентна».*

Подтверждают эту мысль многие крупнейшие специалисты:

- доктор философских наук профессор И. А. Негодаев [5]: *«Закономерностью развития техники является ее последовательное усложнение. Это усложнение происходит как путем увеличения числа элементов входящих в техническую систему, так и изменением ее структуры»;*

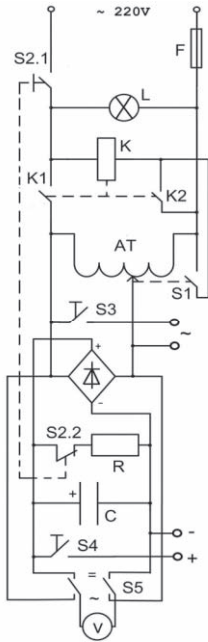
- директор, главный конструктор Центрального научно-исследовательского и опытно-конструкторского института робототехники и технической кибернетики, член-корреспондент РАН В. А. Лопота и докт. техн. наук, проф. Е. И. Юревич [6]: *«Общая закономерность научно-технического развития во всех сферах человеческой деятельности - прогрессирующее усложнение, интеграция и интенсификация техники»;*

- канд. техн. наук Безменов А. Е. [7]: *«Тенденция развития техники характеризуется все большим усложнением машин, приборов и установок. С увеличением сложности изделий их надежность (при прочих равных условиях) уменьшается».*

Если «взрыв сложности» бытовой техники происходит у всех нас на виду и не требует доказательств, то усложнение техники в промышленности не так заметно для обывателя. Поэтому рассмотрим несколько конкретных примеров, подтверждающих эту тенденцию.

Всемирно известная шведская компания Programma Electric AB, созданная в 1976 г. (которая в 2001 г. была приобретена General Electric, а в 2007 г. вошла в состав концерна Megger Group Ltd) выпускает огромную номенклатуру приборов и устройств для тестирования электроэнергетического оборудования: от точных таймеров и систем для проверки реле защиты, до источников сильных токов. Одним из изделий этой компании является устройство типа В10Е,

рис. 1.2, для измерения минимального напряжения срабатывания приводов высоковольтных выключателей.



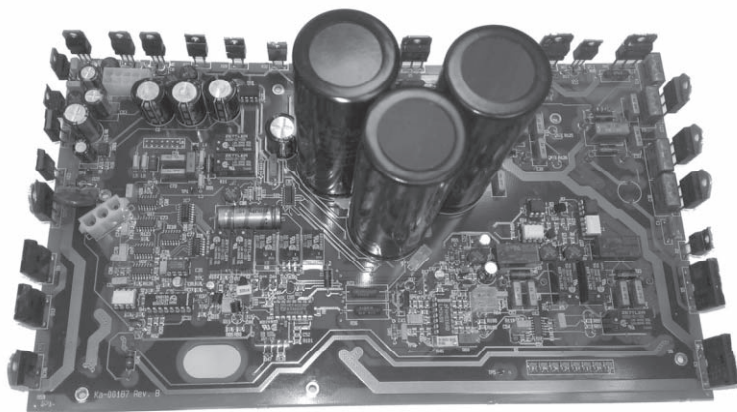
**Рис. 1.2.** Внешний вид устройства типа V10E для проверки минимального напряжения срабатывания приводов высоковольтных выключателей

**Рис. 1.3.** Пример схемы простого устройства для проверки высоковольтных выключателей, реализующей все необходимые функции

В соответствии со стандартом МЭК 62271-100 такие выключатели подлежат проверке на соответствие параметрам производителя по минимальному напряжению срабатывания. В общем-то, речь идет о приборе, выполняющем очень простую функцию: предварительную установку определенного уровня напряжения, контролируемого вольтметром, с последующей подачей этого напряжения на выходные клеммы прибора. Разработать схему устройства, реализующего эту функцию не сложно, рис. 1.3. В этом устройстве выходное напряжение устанавливается лабораторным автотрансформатором АТ типа ЛАТР-9, выпрямляется диодным мостом и сглаживается конденсатором С большой емкости (несколько тысяч микрофард). На одну пару выходных клемм подается регулируемое переменное напряжение, на другую – регулируемое постоянное напряжение. Контроль выходных напряжений осуществляется с помощью вольтметра V. Для предотвращения случайной подачи

высокого напряжения (250 В) с устройства на низковольтную (24-48 В) катушку или на мотор, на автотрансформаторе установлен микропереключатель S1 таким образом, что его контакты замкнуты под действием толкателя, укрепленного на валу, только в нулевом положении движка автотрансформатора. При нажатии кнопки S2 происходит отключение разрядного резистора R от конденсатора С и подача напряжения на вход устройства. Для подачи на катушки выключателя предварительно выставленного с помощью вольтметра и автотрансформатора напряжения, в дополнение к удерживаемой кнопке S2 нажимают одну из кнопок S3 (выход переменного тока) или S4 (выход постоянного тока). Если выключатель не сработал, увеличивают напряжение, удерживая кнопку S2, и опять нажимают одну из кнопок S3 или S4.

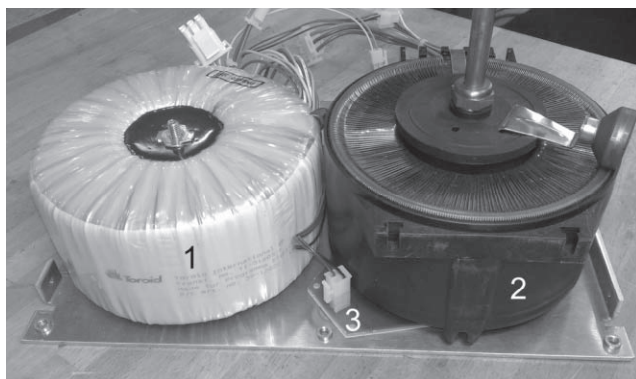
А теперь посмотрим, как этот простейший алгоритм реализован в устройстве В10Е известной фирмы, рис. 1.4а.



**Рис. 1.4а.** Электронный блок устройства В10Е. Полупроводниковые приборы, установленные по краям печатной платы, прижимаются при сборке к радиатору, которым служит корпус устройства

Электронный блок устройства, рис. 1.4а, содержит 13 электромагнитных реле, 14 микросхем различного назначения, 10 выпрямительных диодных мостов на ток 1А и два мощных диода типа 40EPS08 (40А, 800В); 4 мощных транзистора типа ВUX98АР (24А, 1000В); 3 мощных симистора типа ВТА26-400В (25А, 400В); 4

мощных запираемых тиристора – GTO (13.5А, 800В); 2 прецизионных токовых шунта типа РВV, ну и так далее. Признаюсь честно, когда я открыл это устройство с целью его ремонта, то был просто в шоке от увиденного. Особенно меня умилил электронный датчик угла поворота вала автотрансформатора вместо простейшего микропереключателя (как на рис. 3).

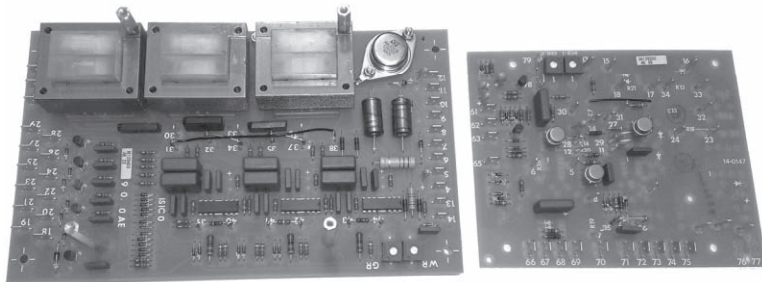


**Рис. 1.46.** Силовой блок устройства V10E: 1 – многообмоточный трансформатор с набором различных выходных напряжений для питания электронных узлов устройства; 2 – регулируемый автотрансформатор; 3 – плата датчика угла поворота вала автотрансформатора

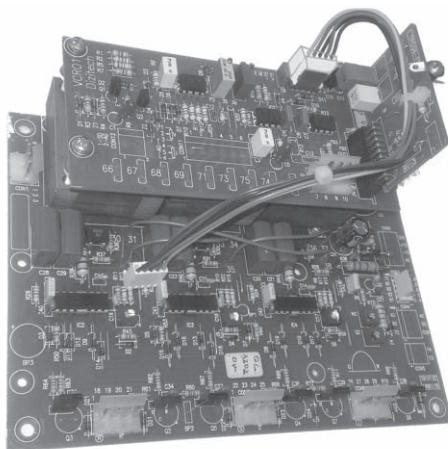
Налицо полное несоответствие простейших функций, выполняемых устройством, с его технической реализацией. Интересно, какое оправдание всему этому нагромождению электроники дали бы разработчики этого устройства?

А вот еще один пример из области выпрямительных зарядно-подзарядных агрегатов (ВЗПА), широко применяемых на электростанциях и подстанциях в системах оперативного постоянного тока. Такой агрегат состоит из следующих основных узлов: силового трансформатора, блока силовых тиристоров и электронного блока управления тиристорами. В начале 70-х годов прошлого века фирмой АЕГ был разработан электронный блок управления тиристорами ВЗПА, рис. 1.5, который оказался настолько удачным, что применяется вот уже более сорока лет различными производителями в

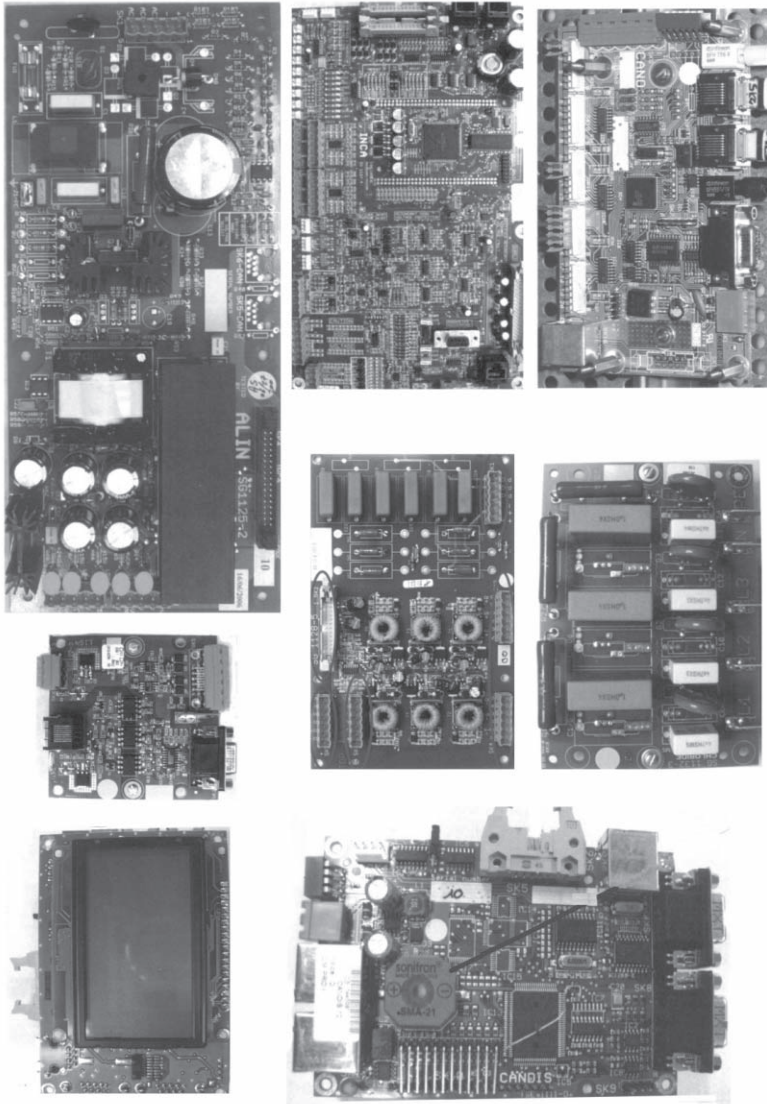
различных моделях ВЗП. Причем, некоторые производители просто полностью скопировали этот блок управления, а некоторые перевели его на современную элементную базу, рис. 1.6, что, конечно, не меняет сути.



**Рис. 1.5.** Два модуля блока управления тиристорами ВЗПА, разработанные и выпускавшиеся в массовом количестве с 70-х годов прошлого столетия компанией АЕГ. Справа – аналоговый модуль, контролирующий выходной ток ВЗПА и выдающий сигнал на импульсный модуль (слева), формирующий импульсы управления тиристорами



**Рис. 1.6.** Блок управления тиристорами ВЗПА, выполненный на современной элементной базе по схеме, разработанной АЕГ в 70-х годах прошлого века



**Рис. 1.7а.** Комплект основных модулей микропроцессорного ВЗПА серии Apodys фирмы Chloride France S.A.



**Рис. 1.7б.** ВЗПА серии Apodys фирмы Chloride France S.A., входящей в концерн Emerson

К сожалению, как ни хорошо зарекомендовала себя аналоговая техника в системе управления ВЗПА на протяжении почти 45 лет, и по надежности и по ремонтпригодности, к настоящему времени можно констатировать, что она уже почти полностью вытеснена цифровыми устройствами на базе микропроцессоров. Какие же новые качества приобрели современные ВЗПА с микропроцессорным управлением, рис. 1.7б.

Да вот какие: «ветвистое» меню в котором не так-то просто разыскать нужную функцию вместо трех потенциометров регулирования выходного напряжения и переключателя режимов работы; IP-адрес и сетевое подключение, позволяющее вмешиваться в работу ВЗПА хакерам; модемная связь между внутренними модулями вместо обычных медных проводов и так далее.



**Рис. 1.8.** Устройство типа MCT1600 фирмы Megger для проверки трансформаторов тока



Описание примеров «взрыва сложности» можно было бы продолжать. Например, можно было бы упомянуть устройство типа MCT1600 фирмы Megger, рис. 1.8, для проверки сопротивления изоляции, коэффициента трансформации и точки перегиба вольт-амперной характеристики трансформаторов тока, которое при включении загружает полноценную операционную систему VX Works (64-битная операционная система реального времени).

Или измерители сопротивления той же фирмы, прошедшие эволюцию от миниатюрного приборчика с генератором, вращаемым ручкой, до чрезвычайно сложных микропроцессорных агрегатов, рис. 1.9.

Типичный пример «взрыва сложности» в электроэнергетике – это Smart Grid. Известно, что концепция «умной сети» предполагает установку микропроцессоров на все без исключения элементы системы производства, распределения и учета электроэнергии и организацию между ними информационных каналов на основе компьютерных сетей, преимущественно беспроводных (Wi-Fi). По идее апологетов Smart Grid энергосистема будущего должна выглядеть как современная навороченная сетевая компьютерная игра с тысячами участников – компонентов электрических сетей. Одним из центральных участников этой «игры» является микропроцессорная релейная защита: с искусственным интеллектом, самоадаптируемая, с недетерминированной логикой, упреждающего действия, то есть действующая самостоятельно и по своему усмотрению [8].



**Рис. 1.9.** Приборы для измерения сопротивления изоляции производства фирмы Megger: WM6 – простейший прибор с генератором и рукояткой для вращения якоря; S1-5010 – сложнейшее микропроцессорное устройство

Дешевизна и доступность микропроцессоров, промышленных контроллеров и современных электронных компонентов высокой степени интеграции, огромная и все расширяющаяся номенклатура таких компонентов, имеющихся на рынке, чрезвычайно высокая производительность оборудования, предназначенного для автоматической установки и распайки элементов поверхностного монтажа на печатную плату, автоматические системы тестирования готовых печатных плат – все это снимает имевшиеся ранее ограничения на сложность электронных систем и область их применения. В связи с чем, микропроцессоры сегодня можно найти уже повсюду. Такое быстро расширяющееся применение электронных узлов на основе микропроцессоров во всех областях техники при непрекращающемся их усложнении и является сегодня определяющей тенденцией развития техники. Апологеты технического прогресса в его нынешнем виде пытаются убедить всех в том, что такое непрерывное и все нарастающее усложнение техники и есть «технический прогресс». Конечно, есть такие области техники и технологии, в которых без вычислительных операций и без микропроцессоров просто не обойтись и микропроцессорная техника действительно позволила совершить технологический скачек. Однако далеко не во всех случаях применения микропроцессорной техники реально обосновано техническими требованиями к изделию, причем количество таких случаев растет как снежный ком и приведенные выше примеры лишь слабая иллюстрация этого процесса.

Но если усложнение техники часто совершенно не оправдано, как было показано выше, то почему же она все-таки непрерывно усложняется, причем, все возрастающими темпами? Ответ достаточно прост: в постоянном усложнении техники заинтересованы разработчики и производители, так как такое постоянное и целенаправленное усложнение позволяет им достичь сразу несколько целей:

- во-первых, повысить эффективности рекламной кампании, предлагая потребителю все большее количество новых функций в новых изделиях (далеко не всегда действительно нужных);
- во-вторых, снижать надежность и срок службы (что является естественным результатом усложнения), то есть заставлять потребителя чаще приобретать новую продукцию;

- в-третьих, постоянно снижать ремонтпригодность производимой продукции и усиливать зависимость покупателя от производителя. Самые современные электронные устройства и приборы, выполненные по технологии поверхностного монтажа, допускают ремонт только путем замены целых блоков, производимых все тем же производителем. Во многих случаях, стоимость этих блоков является несоразмерно высокой, но потребитель вынужден приобретать эти блоки по явно завышенной цене.

Таким образом, во многих случаях усложнение техники стало искусственным процессом, часто не имеющим объективной основы, инициируемым производителями с целью дополнительного обогащения.

Но насколько безобиден такой процесс развития техники?

По утверждению Заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора, начальника 46 ЦНИИ МО РФ, генерал-майора В. М. Буренка [9]:

*“Технологическое развитие таит в себе такое множество угроз, разнообразие и последствия, влияния которых непредсказуемы для судьбы цивилизации.... За последние годы научно-технологический прогресс подарил миру многие технические блага, а с ними и непреходящую головную боль. Примеры: компьютерные технологии и кибертерроризм, современные инфокоммуникационные системы и информационные войны, сложные системы управления инфраструктурными и техническими объектами и тяжелейшие последствия при нарушениях в их работе, познание основ жизни и генномодифицированные продукты, появление возможности искусственного выращивания опасных вирусов и т. д. Причем, многие из угроз, генерируемых новыми технологическими возможностями, проявлялись не сразу и не могли быть предсказаны (либо такого рода предсказатели числились заштатными фантастами и чудаками, которых всерьез воспринимать не стоит).*

А вот что об этом пишет академик Н. Н. Моисеев: «...научно-технический прогресс, рост мощностей цивилизации сулят не только блага. Силовую, которую он дает людям, еще надо уметь пользо-

ваться. Человек оказывается теперь в положении Гулливера, который вошел в хрустальную лавку лилипутов. Одно неосторожное движение — и все ее хрустальное великолепие превратится в гору битого стекла».

Зная о существующих опасностях, можно было бы, наверное, попытаться предотвратить их. Но вот что пишет об этом уже цитировавшийся выше известный специалист [9]:

*«Даже когда облик какой-то технической системы уже давно сформирован, но появились новые угрозы, прогнозирование ситуации также не покажется простой задачей. Редкий аналитик возьмется, например, спрогнозировать последствия хакерской атаки на систему управления, скажем, атомной или крупной гидроэлектростанцией, системе управления воздушным или железнодорожным движением. Прогнозы типа «это будет ужасно», «неизбежны колоссальные потери» никого не устроят, а оценки типа «вероятность выброса в атмосферу радиоактивных веществ в объеме  $N$  будет равна  $p$ », «количество авиакатастроф в воздушной зоне с вероятностью  $p$  достигнет значения  $K$ » получить весьма непросто. Для того чтобы это сделать (спрогнозировать), нужны модель системы (объекта), практически адекватная реальной системе, знание уровня развития хакерского мастерства, способы проникновения в атакуемую систему и т.д. Но, во-первых, это сделать практически невозможно, а во-вторых, при наличии такой модели ее попадание в руки злоумышленников (хакеров) делает шансы на бесперебойное функционирование этой системы весьма призрачными».*

Ему вторит известный астрофизик Л. М. Гиндилис, который отмечает в своей работе [10]:

*"Острота ситуации состоит в том, что коллапс должен наступить очень скоро, в первых десятилетиях XXI века. Поэтому, если бы даже человечество знало, как "повернуть" (или хотя бы приостановить) этот процесс, облагодадо бы средствами и волей для того, чтобы осуце-*

*ствить поворот уже сегодня, - у него просто не хватило бы времени, так как все негативные процессы обладают определенной инерцией, в силу которой их невозможно немедленно остановить... Экономика Земли похожа на тяжело груженный транспорт, который на большой скорости мчится по бездорожью прямо к бездне. Видно, мы уже проскочили точку, где надо было свернуть, чтобы вписаться в "траекторию поворота". И затормозить тоже не успеваем. Положение усугубляется тем, что никто не знает, где находятся руль и тормоз. Тем не менее, и экипаж, и пассажиры настроены весьма благодушно, наивно полагая, что, "когда понадобится", они разберутся в устройстве транспорта и смогут совершить необходимый маневр.*

В заключение приведем слова основоположника теории технологической сингулярности Вернора Винджа:

*«Если технологической Сингулярности суждено быть, то она случится. Даже если все государства мира осознают "угрозу" и перепугаются до смерти, прогресс не остановится. Конкурентное преимущество - экономическое, военное, даже в сфере искусства - любого достижения в средствах автоматизации является настолько непреодолимым, что запрещение подобных технологий просто гарантирует, что кто-то другой освоит их первым. Я уже выражал сомнение в том, что мы не можем предотвратить Сингулярность, что ее наступление есть неминуемое следствие естественной человеческой соревновательности и возможностей, присущих технологиям».*

Выше рассматривался естественный (если можно применить этот термин к технике) ход развития техники и технологий. Но ведь существует еще одна сторона проблемы, которая никогда не рассматривалась в философии техники. Речь идет о развивающихся параллельным курсом средствах уничтожения техники. По мере усложнения техники и все большей ее «электронизации» и «компьютеризации», растет ее уязвимость к преднамеренным дистанцион-

ным деструктивным воздействиям, включающим кибернетические и электромагнитные [11]. Поэтому разработчиками систем вооружения все большее внимание уделяется созданию новых видов оружия, направленных на поражение исключительно техники, а не человека. И это тоже часть «технического прогресса», незаслуженно исключенная из рассмотрения философией техники. Ведь внезапное разрушение сложных электронных систем и разветвленных компьютерных сетей, на которых основана современная цивилизация, может привести к коллапсу этой самой цивилизации.

Таким образом, для современного общества чрезвычайно опасными являются не одна, две противоположные тенденции: как бесконтрольное развитие, ведущее к сингулярности, так и все возрастающая опасность внезапного преднамеренного разрушения самой современной техники специальными видами оружия.

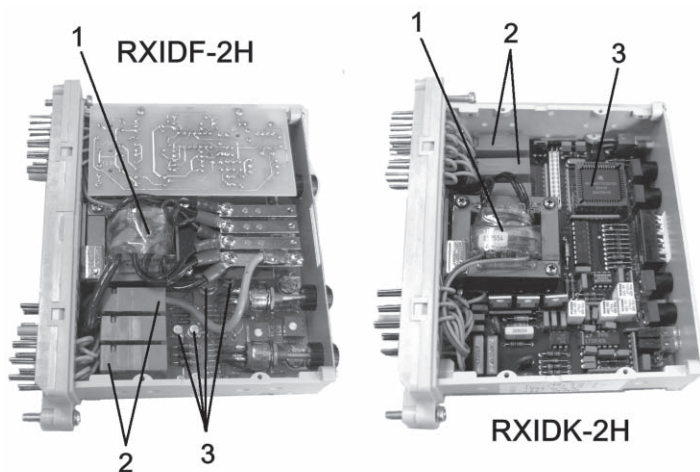
## **1.2. Технический прогресс в релейной защите**

Электромеханические реле защиты (ЭМРЗ) на протяжении сотен лет обеспечивали решение всех задач, возникающих в релейной защите, а если учесть, что ЭМРЗ до сих пор составляют во многих странах мира, в том числе и в России, около 70-80% всех типов используемых сегодня защит, то можно с уверенностью заявить, что и сегодня ЭМРЗ в принципе способны решать все задачи, стоящие перед релейной защитой. Тем не менее, в последние 20-25 лет наблюдается повсеместное вытеснение ЭМРЗ микропроцессорными устройствами релейной защиты (МУРЗ). МУРЗ и многочисленные программируемые логические контроллеры (ПЛК), управляющие режимами работы электроэнергетического оборудования, прочно вошли в нашу жизнь и во многих случаях без них уже невозможно обеспечить нормальное функционирование электроэнергетики. И дело здесь не в каких-то особо уникальных возможностях микропроцессорной техники, а в сложившейся тенденции, обусловленной разными причинами, в том числе и сверхприбылью, получаемой при полностью автоматизированном производстве печатных плат МУРЗ по сравнению с производством высокоточной механики реле защиты предыдущего поколения. Поиск путей сокращения производственных затрат и повышения рентабельности производства привел к тому, что 30-40 лет тому назад разработки новых типов

ЭМРЗ были полностью прекращены и все усилия разработчиков были направлены на создание сначала полупроводниковых статических, а затем и микропроцессорных защит. Первые типы МУРЗ попросту копировали все функции и характеристики реле предыдущих поколений. Новые характеристики и возможности у МУРЗ появились лишь много лет спустя. Поэтому вряд ли можно говорить о том, что появление МУРЗ было обусловлено реальными потребностями релейной защиты. В результате такой технической политики производителей, производство всех других типов защит, кроме МУРЗ было полностью прекращено всеми ведущими мировыми производителями релейной защиты и никакой другой альтернативы, кроме МУРЗ, уже практически не осталось (за очень небольшим исключением из этой общемировой тенденции).

Уже самые первые образцы МУРЗ, которые просто копировали функции статических полупроводниковых реле на транзисторах, рис. 1.10, выявили серьезные проблемы МУРЗ: они значительно чаще выходили из строя, их невозможно было отремонтировать из-за наличия специализированного микропроцессора и постоянной памяти с записанной в нее программой. В результате, если реле типа RXIDF-2H на транзисторах и других дискретных компонентах достаточно быстро ремонтировали и возвращали в работу, то их микропроцессорный аналог: RXIDK-2H просто выбрасывали. В результате, микропроцессорные RXIDK-2H уже давно исчезли из эксплуатации, а RXIDF-2H работают до сих пор. Тенденция снижения надежности релейной защиты, связанная с переходом на МУРЗ, замеченная в самом начале этого процесса, прослеживается и до сих пор, несмотря на то, что современные поколения МУРЗ имеют мало общего с самыми первыми образцами, выпущенными несколько десятилетий тому назад, рис. 1.10. Это свидетельствует о том, что проблема заключается не в одиночных технических недоработках ранних образцов МУРЗ, а носит системный характер. Но никто не хотел проследить ретроградом и никто не хотел говорить об очевидных проблемах, сопровождавших появление МУРЗ, в отношении которых слышны были лишь восторженные отклики. Более того, поскольку за прошедшие годы на развитие идей и технологий, связанных с развитием МУРЗ были истрачены миллиарды долларов и для тысяч ученых и инженеров по всему миру это направление стало весьма прибыльным бизнесом, кормившем их в течение десяти-

тилетий, все разговоры о проблемах и недостатках МУРЗ в корне пресекались или встречали яростное неприятие, как представителей предприятий-производителей, так и ученых, разработчиков, проектантов и всех остальных участников этого грандиозного бизнеса. Попытка автора в прошлом обратить внимание на существование проблем с МУРЗ вызвала яростные обвинения в некомпетентности, непонимании основ релейной защиты, и даже в попытке затормозить технический прогресс. В последние годы, правда, появляется осознание существования проблем, но проходит этот процесс как в известном анекдоте: сначала: «этого не может быть потому, что не может быть никогда», потом: «в этом что-то есть» и, наконец: «а разве может быть иначе?», но без средней фазы этого процесса, то есть, без признания правоты того, кто впервые обратил внимание на эти проблемы.



**Рис. 1.10.** Два токовых реле с зависимой выдержкой времени, с одинаковыми техническими параметрами, характеристиками и размерами, выполненных в одинаковых стандартных корпусах COMBIFLEX® и произведенных одной и той же компанией (ABB), слева – статическое полупроводниковое типа RXIDF-2H, справа - микропроцессорное RXIDK-2H

1 – входной трансформатор тока; 2 – выходные электромагнитные реле; 3 – транзисторы в статическом реле и специализированный микропроцессор – в микропроцессорном



Многочисленные плагиаторы просто копируют целые куски текста из статей и книг автора и включают их в свои статьи без всяких ссылок на первоисточник, докладывают на конференциях, и даже представляют полностью без всяких правок на конкурсы лучших студенческих научных работ [1.12 – 1.19].

### **1.3. Микропроцессоры – основа современной стадии технического прогресса**

Дешевизна и доступность микропроцессоров, промышленных контроллеров и современных электронных компонентов высокой степени интеграции, огромная и все расширяющаяся номенклатура таких компонентов, имеющихся на рынке, чрезвычайно высокая производительность оборудования, предназначенного для автоматической установки и распайки элементов поверхностного монтажа на печатную плату, автоматические системы тестирования готовых печатных плат – все это снимает имевшиеся ранее ограничения на сложность электронных систем и область их применения. В связи с чем, микропроцессоры сегодня можно найти уже повсюду, вплоть до сиденья унитаза, где он измеряет температуру соответствующей части тела и управляет нагревателем воды встроенного душа таким образом, чтобы уравнивать ее температуру с температурой упомянутой части тела. Такое быстро расширяющееся применение электронных узлов на основе микропроцессоров во всех областях техники при непрекращающемся их усложнении и является сегодня определяющей тенденцией развития техники. Эту тенденцию принято называть «прогрессом» в развитии техники и технологии. Конечно, есть такие области техники и технологии, в которых без вычислительных операций и без микропроцессоров просто не обойтись и микропроцессорная техника действительно позволила совершить технологический скачек. Однако далеко не во всех случаях применения микропроцессорной техники оно реально обосновано техническими требованиями к изделию, причем количество таких случаев возрастает как снежный ком.

Наблюдая эту тенденцию не со стороны, а, так сказать, изнутри, то есть, занимаясь эксплуатацией и ремонтом сложных электротехнических устройств, промышленного назначения, таких как релейная защита, мощные зарядные устройства, инверторы и конверторы,