Серия «Компоненты и Технологии»

В. И. Гуревич

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЛЕ

Устройство, принцип действия и применения

НАСТОЛЬНАЯ КНИГА ИНЖЕНЕРА

Москва
СОЛОН-ПРЕСС
ДМК Пресс
2011

УДК 621.397
ББК 32.94-5
Г 95

В. И. Гуревич

Г95 **Электрические реле.** Устройство, принцип действия и применения. Настольная книга электротехника. Серия «Компоненты и Технологии». — М.: СОЛОН-Пресс, 2011. — 688 с.: ил.

В книге описаны устройство, принцип действия и применение электрических реле всех основных типов, как распространенных, так и мало известных. По широте охвата этой темы книга является уникальной и в этом смысле представляет собой первую иллюстрированную энциклопедию электрических реле.

Значительное внимание уделено истории создания реле различных типов, которая, обычно далеко не всегда известна специалистам, хотя интересна сама по себе, а ее знание почти всегда подчеркивает компетентность специалиста.

При рассмотрении отдельных видов сложных реле, например, электронных, рассматриваются также смежные вопросы устройства и принципа действия компонентов реле (в данном случае вакуумных, газоразрядных и полупроводниковых приборов), что позволяет читателю понять принцип действия описываемых реле без необходимости обращения к дополнительным источникам.

Книга написана понятным и доступным языком, без использования математического аппарата но при этом снабжена большим количеством иллюстраций (свыше 1000), что делает ее привлекательной не только для специалистов в области реле, но и для широкого круга инженеров, техников, студентов, желающих пополнить свои знания об электрических реле. Лекторы курсов и преподаватели университетов найдут в этой книге много ценного материала для своих лекций.

Рекомендуется студентам и преподавателям ВУЗов и ССУЗов, специалистам НИИ, КБ и других предприятий, а также библиотекам предприятий и учебных заведений.

ISBN (СОЛОН-ПРЕСС) 978-5-91359-086-2
ISBN (ДМК Пресс) 978-5-94074-712-3

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из трех способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123001, Москва, а/я 82.
2. Оформить заказ можно на сайте **www.solon-press.ru** в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать по тел. (499) 254-44-10, 252-73-26.

Бесплатно высылается каталог издательства по почте.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно указать дополнительно свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса **www.solon-press.ru/kat.doc**.

Интернет-магазин размещен на сайте **www.solon-press.ru**.

По вопросам приобретения обращаться:
ООО «Альянс-книга КТК»
Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, **www.alians-kniga.ru**

Ответственный за выпуск: В. Митин **Верстка и обложка:** СОЛОН-ПРЕСС

ООО «СОЛОН-ПРЕСС». 103050, г. Москва, Дегтярный пер., д. 5, стр. 2
Формат 70x100/16. Объем 43 п. л. Тираж 1000

ISBN (СОЛОН-ПРЕСС) 978-5-91359-086-2
ISBN (ДМК Пресс) 978-5-94074-712-3

© Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2011
© «ДМК Пресс», 2011
© В. И. Гуревич, 2011

Если мы не найдем здесь ничего приятного,
то, как минимум, найдем что-нибудь новое
Вольтер

1. Истоки

1.1. Реле и лошади

Что такое РЕЛЕ ?

Наверное нет ни одного инженера или техника который мог бы позволить себе признаться коллегам, в том что он не знает что такое реле. Это настолько широко распространенный в технике элемент, что наверное каждому инженеру приходилось иметь с ним дело в той или иной степени. Но вот попробуйте, ради эксперимента, четко сформулировать понятие «реле»...

Думаю, читатель, тебе не удастся сделать это с первого раза. Да и со второго тоже. А если попытаться воспользоваться толковым словарем, то можно запутаться еще больше.

Суди сам:

RELAY

1. Замена лошадей.
2. Смена рабочих.
3. Работать посменно.
4. Спортивная эстафета.
5. Система смен на предприятии.
6. Сменять, обеспечивать замену, передавать.
7. Ретранслировать.
8. Реле, переключатель.

Неправда ли, довольно неожиданные толкования такого распространенного в технике слова. В чем же здесь дело?

Начинать придется издалека...

В 1830 в Америке был построен первый «железнодорожный» путь из Балтимора до фабрики Элликота, протяженностью 13 миль. Первые поезда состояли из нескольких фургонов, на деревянных колесах которые тащила по деревянным рельсам упряжка лошадей. Постепенно такие поезда стали применяться для поездок между городами отстоящими друг от друга на значительно большие расстояния. При этом, нужно было дать лошадям возможность поесть и отдохнуть, что слишком затягивало путешествие. И вот, кому-то пришла в голову счастливая мысль менять упряжку лошадей в средней точке трассы так, чтобы путешествие можно было продолжать практически без остановки. Эту новую упряжку лошадей и назвали «реле» от французского





Рис. 1.1. Железнодорожная станция «Отель Виадука» и городская ратуша города Реле

«relais» — смена, замена. Это же имя получил вскоре и небольшой городок, в котором впервые была осуществлена такая смена лошадей.

И несмотря на то, что такую дорогу скорее можно назвать «деревяннодорожный путь», чем железнодорожный, началом эры железных дорог в США считается именно 28 августа 1830 — начало регулярного движения конных поездов через станцию Реле. В 1872 году в Реле была построена железнодорожная станция пересадок (ретрансляционная станция) с комнатами для отдыха пассажиров с видом на виадук — Отель Виадука, а затем ратуша города Реле

В то же время в той же Америке происходят не менее удивительные события и в совершенно в другой области человеческой деятельности.

1.2. От Эрстэда до Генри

В 1820 году датский физик Ганс Христиан Эрстед (Hans Christian Oersted) впервые демонстрирует взаимосвязь магнитного поля и электрического тока, показывая слабое влияние одиночного проводника с током на стрелку кампаса. Всего лишь через несколько месяцев после этого, экспериментируя с компасом, немецкий ученый Швейгер (S. C. Schweigerr), профессор химии университета Halle обратил внимание на то, что усилить это влияние удлиняя проводник с током нельзя, так как компас может взаимодействовать только с ближайшим к нему участком провода. И тогда ему в голову приходит счастливая идея некоей конструкции, в которой все участки длинного провода будут взаимодействовать со стрелкой компаса. Он просто намотал длиннный провод на оправку из двух деревянных брусков Aa и Cc с прорезями t и d в виде нескольких витков, подключил выводы K и Z к гальванической батарее и вставил в образовавшуюся катушку компас. Называлось это устройство «гальваническим умножителем», рис. 1.2.

Так появился на свет первый прообраз электромагнита (Diagram of Schweigger's multiplier. — Journal fur Chemie und Physik 31, Neue Reihe, Bd. I, 1821). А если в область «B» на рисунке поместить компас, как это и делал Швейгер, то получится самый настоящий гальванометр, которым можно измерять и ток и напряжение. Но тогда этого еще никто не знал, включая и самого автора этой идеи.

Частично оценить эту идею удалось выдающемуся французскому физику Андре-Мари Амперу (Andre-Marie Ampere), который предложил использовать, умножитель Schweigger, в телеграфной системе, в которой каждая буква и цифра передавалось по отдельной цепи, а поворачивающаяся игла компаса была индикатором наличия тока в той или иной цепи, соответствующей той или иной букве. Ампер сообщил, что его эксперименты были полностью успешными, хотя и не дал никаких дополнительных пояснений. Очевидно, никаких дополнительных пояснений и не требовалось. Во всяком случае английский ученый Питер Барлоу (Peter Barlow) писал об опытах Ампера в 1824 году: «...детали такого устройства так очевидны, а принцип на котором оно основано так хорошо понятен, что единственным открытым остался вопрос о том, сможет ли электрический ток отклонить иглу после прохождения по длинному проводу. К великому разочарованию обнаруживается такое значительное уменьшение отклонения иглы уже через 200 футов проволоки, которое достаточно для того, чтобы убедить меня в непригодности схемы».

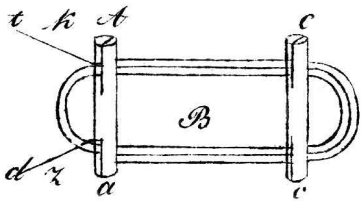


Рис. 1.2. Гальванический умножитель Швейгера

Тогда казалось, что этот безжалостный приговор Барлоу ставит крест на новой системе дальней связи, предложенной Ампером.

К счастью, об этом мнении Барлоу не знал англичанин Вильям Стьюржен (William Sturgeon) и не стал бросать своих исследований по электромагнетизму, а наоборот, направил свои усилия на решение проблемы увеличения силы электромагнита. Успех не заставил себя долго ждать. В том же 1824 году Стьюржен публикует статью, в которой описывает свой новый электромагнит, содержащий железный сердечник и катушку, выполненную из неизолированной металлической проволоки. Для того, чтобы намотать большое количество витков Стьюржен изолировал поверхность согнутого в виде подковы железного сердечника лаком и намотал катушку с зазором между витками (Sturgeon's electromagnet. — Transactions of the Society for the Encouragement of the Arts, 1824, v. 43).

Как следует из этой публикации, электромагнит Стьюржена содержал уже 18 витков неизолированной проволоки и был уже самым настоящим электромагнитом, рис. 1.3.

Далее, в нашей истории появляется новое действующее лицо: профессор математики и натуральной философии академии Элбани в Нью-Йорке Джозеф Генри (Josef Henry), рис. 1.4.

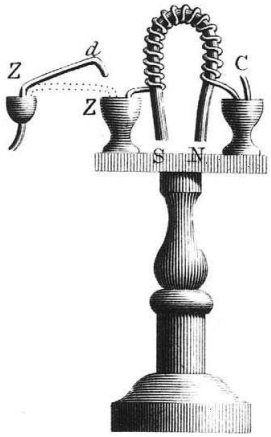


Рис. 1.3. Электромагнит Стьюржена. Подковообразный сердечник с обмоткой расположен в верхней части конструкции



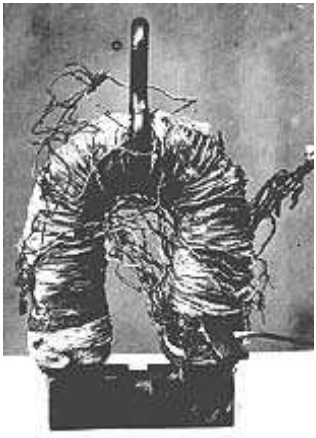


Рис. 1.4. Профессор Джозеф Генри и его первый многовитковый магнит, намотанный проводом, изолированным шелковой нитью

Ему удалось сделать красивый, даже с уровня сегодняшних представлений, изобретательских ход: он предложил сделать саму проволоку для электромагнита изолированной и успешно реализовал эту идею, обмотав проволоку шелковой нитью. Так появился на свет и первый электрический провод. После этого на катушки электромагнитов мотали уже сотни витков изолированного провода и электромагниты стали мощными устройствами, которые стали широко применяться в различных физических экспериментах.

Вскоре, пользуясь своей новой технологией, Генри строит самый мощный в мире электромагнит, который удерживал металлический брусок весом в 750 фунтов, рис. 1.5. Быстро описав свои эксперименты, он отсылает их Бенджамину Силлиману (Benjamin Silliman) профессору химии и естественной истории колледжа Yale и редактору Американского Журнала Науки. Б. Силлиман дает этим работам Генри восторженную оценку и в январе 1831 года в журнале «American Journal of Science» выходит статья: Henry's Albany magnet with its battery and apparatus for measuring its strength.

Дополнительно к своему отчету, Генри послал Б. Силлиману предложение построить для его экспериментов и лекций демонстрационный магнит, который удерживал бы уже 1000 или 1200 фунтов.

Б. Силлиман быстро согласился и через несколько месяцев уже был готов магнит, который превзошел даже собственные ожидания Генри.

Этот «магнит Yale» с сердечником, весящем 59 фунтов, удерживал беспрецедентный вес 2,063 фунтов, рис.1.5. В благодарность, Б. Силлиман опубликовал подробное описание этого самого последнего и наиболее продвинутого электромагнита Генри и в примечании редактора отметил, что Генри удалось создать электромагнит, в 8 раз более мощный из когда-либо известных (Henry's Yale magnet, mounted in frame constructed under Silliman's direction. N.M.A.H. Cat. No. 181,343. Smithsonian neg. no. 13,346).

Чуть позже Генри прозрачно намекает в одной из своих статей на посетившую его идею создания машины, которая могла бы перемещатся элект-

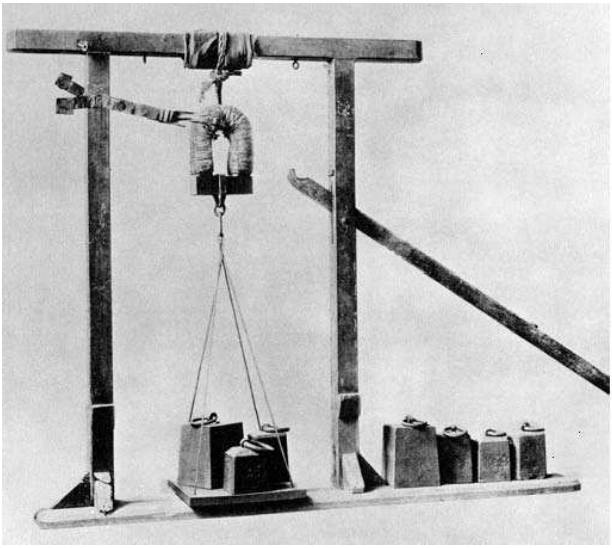


Рис. 1.5. Самый мощный в то время электромагнит, построенный Д. Генри по заказу Б. Силлимана

ромагнитом и идею передачи энергии на расстояние с помощью электромагнита.

Летом 1831 Генри уже описывает конкретные технические решения для этих идей в короткой статье «О поршневом движении, произведенном магнитным притяжением и отталкиванием» («On a Reciprocating Motion Produced by Magnetic Attraction and Repulsion»). Это было простое устройство, в котором прямой электромагнит мог качаться в вертикальной плоскости, рис. 1.6.

Гальванические элементы, установленные с двух сторон устройства были развернуты таким образом, что полярность питания качающегося электромагнита изменялась в зависимости от того, к какому гальваническому элементу в данный момент прикасались выводы электромагнита. Два вертикальных постоянных магнита C и D поочередно притягивали и отталкивали концы элек-

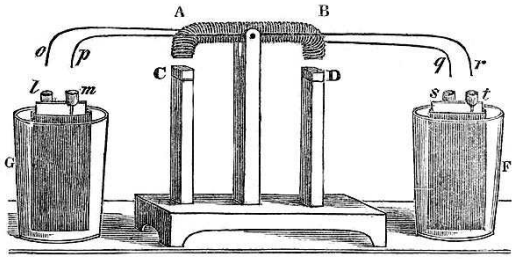


Рис. 1.6. Электро-поршневой движитель Генри

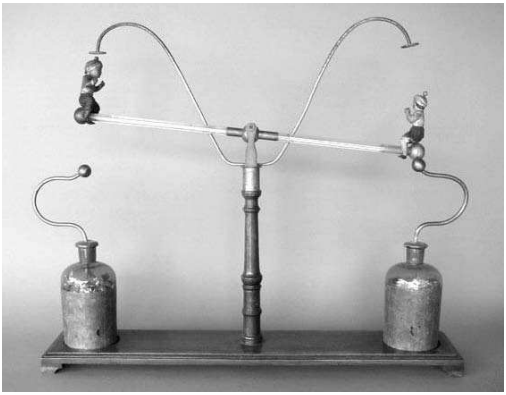


Рис. 1.7. Игрушка того времени,
использующая принцип электро-поршневого движителя Генри

тромагнита, заставляя его качаться взад и вперед 75 раз в минуту. Фактически, это устройство уже содержало все основные элементы электрического устройства, называемого теперь поляризованным электромагнитным реле: катушка с обмоткой, ферромагнитный сердечник, постоянный магнит, контакты, коммутирующие электрическую цепь. К сожалению, Генри не смог сразу рассмотреть в этом устройстве прообраза современого реле и считал это устройство всего лишь «философской игрушкой», хотя и хорошим демонстрационным макетом, помогавшим объяснять студентам принципы магнетизма, и продолжает ссовершенствовать его.

В частности, вместо железного сердечника и двух вертикальных магнитов он использовал в своем движителе один прямой магнит на котором была намотана обмотка. Описание этого устройства не было опубликовано, но сохранились макеты его наглядных пособий, работающих на этом принципе, рис. 1.8.

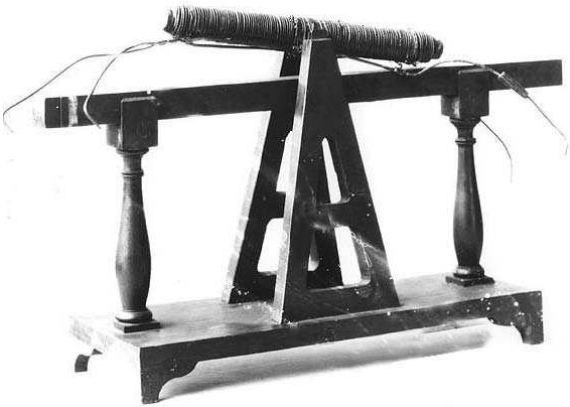


Рис. 1.8. Один из последних движителей Генри с колеблющимся электромагнитом

Вскоре Генри обнаруживает, что увеличить силу электромагнита за счет дальнейшего увеличения количества витков провода уже не удается из-за возрастания сопротивления обмотки. Тогда он разделяет обмотку электромагнита на отдельные катушки и изучает влияние на силу электромагнита последовательного и параллельного соединения катушек, рис. 1.9. Он устанавливает важную взаимосвязь между наилучшим соединением между собой катушек электромагнита и количеством последовательно включенных гальванических элементов.

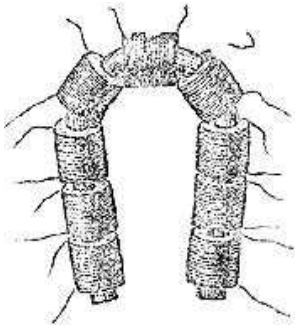


Рис. 1.9. Электромагнит Генри с раздельными обмотками, соединяемыми последовательно или параллельно

Однако, некоторые из описанных им опытов были весьма странны и совершенно не объяснимы. Например, если первые опыты, фактически подтверждали выводы Барлоу о резком снижении чувствительности магнитной стрелки при увеличении длины проволоки, соединяющей гальваническую батарею с электромагнитом, то последующие опыты обнаруживали совершенно аномальное возрастание чувствительности магнитной стрелки к электромагниту, подключеннному не к одной, а к группе из 25 последовательно соединенных гальванических элементов.

При этом удавалось передать хорошо различимый сигнал через проволоку длиной в тысячи футов. Генри посчитал, что все дело в изменении химических свойств гальванических элементов при таком соединении, но сделал правильный вывод о том, что последовательным соединением гальванических батарей можно компенсировать увеличение длины провода, соединяющего электромагнит с батареей и таким образом можно создать практически действующий телеграф.

Результаты своих исследований Генри опубликовал в 1831 году в Американском Журнале Науки и сразу же сделал демонстрационный макет телеграфа, который показывал студентам на лекциях вплоть до 1832 года. В этом учебном макете Генри использовал электромагнит с подковообразным железным сердечником и с катушкой, оптимально сочетающейся по количеству витков с гальваническим элементом. Между концами подковы он установил на оси постоянный магнит, который поворачивался при возбуждении катушки электромагнита. Фактически, это был тот же «умножитель Швейгера», но значительно более мощный. Кроме того, Генри расположил рядом с поворотным магнитом небольшой офисный звонок, который издавал звук всякий раз, когда магнит ударял по нему своим концом. Электромагнит соединялся с батареей посредством медной проволоки длинной около мили, натянутой в лекционной аудитории.

Д. Генри становится все более популярным в научных кругах Америки. В 1832 г. Принстонский университет предлагает Генри должность профессора естественной философии, которую он с удовольствием принимает. Первым делом Генри восстанавливает демонстрационную модель своего телеграфа, но на этот раз, провод прокладывается не в лекционном зале, а между кампусами университетского городка. Считая преподавательскую работу приоритет-

ной, Генри направляет все свои усилия на работу со студентами, продолжая попутно создавать все новые и новые демонстрационные макеты для своих лекций.

В 1835 году он решает объединить свой чувствительный телеграфный электромагнит, хорошо работающий при подаче на него питания от удаленной батареи, со своим сверхмощным магнитом, способным удерживать рекордный вес при питании его от мощной батареи. В этой новой конструкции поворачивающиийся постоянный магнит вместо звонка, как это было в его телеграфе, замыкал контакт и включал цепь питания мощного электромагнита.

Как ты догадался читатель, это и было ПЕРВОЕ В МИРЕ РЕЛЕ. Но ни сам Генри, и ни один человек в мире еще не догадывались о том что это РЕЛЕ. Профессор Генри с увлечением продолжал демонстрировать студентам свою новую «игрушку»: сначала он включал всю свою систему и подвешивал тяжелый груз к мощному электромагниту, а затем с большого расстоянии выключал чувствительнный телеграфный электромагнит. При этом поворачивающийся электромагнит разрывал цепь питания мощного электромагнита и тяжелый груз с шумом летел вниз под восторженные крики студентов. Далекий от практики профессор Генри рассказывал студентам о перспективах применения своего нового устройства для управления звоном колоколов в удаленных церквях.

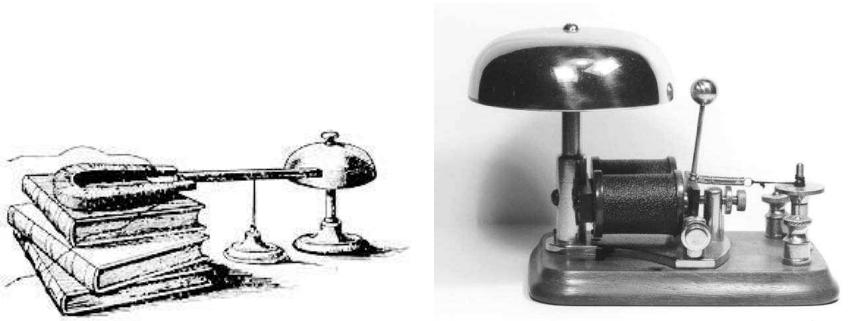


Рис. 1.10. Демонстрационный макет и более поздний образец приемного устройства телеграфа, построенного Генри в 1831 г.

Но о достижениях Генри знали не только его студенты. Другие известные и не очень ученые и инженеры шли за ним буквально по-пятам используя его идеи для решения собственных научных и технических задач.

В 1933 году, всего лишь через два года после публикации Д. Генри описания его движителя с колеблющимся электромагнитом, никому не известный до того священних из Англии Вильям Ритче (William Ritchie) публикует в «Философских Записках» свою статью «Экспериментальные исследования электромагнетизма и магнитоэлектричества» (Experimental researches in electro-magnetism and magneto-electricity. — Philosophical Transactions, 1833, v. 123), в которой описывает устройство с непрерывно вращающимся электромагнитом, рис. 1.11.