

# "Я электрик!"

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ



*"Я электрик!"*

*Журнал  
для облегчения жизни  
специалистов-электриков*

[www.electrolibrary.info](http://www.electrolibrary.info)

Редактор журнала: Повный Андрей  
Сайт журнала «Я электрик!»: [www.electrolibrary.info](http://www.electrolibrary.info)

e-mail: [electroby@mail.ru](mailto:electroby@mail.ru)

Выпуск №15

Февраль 2009 г.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Простые способы включения трехфазных двигателей в однофазную сеть	3
Ремонтируем дрель-перфоратор	11
Современные синхронные и асинхронные электродвигатели	16
Вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза	19
Классификация современных контроллеров	20
Надежность автоматики: проблемы и решения	35
Реле времени ЭРКОН-215	39
Типовые применения реле времени	47
Как правильно выбирать датчик положения	56
Датчики положения фирмы Honeywell на основе эффекта Холла	60
Термопреобразователи сопротивления	62
Великий физик Америки	67

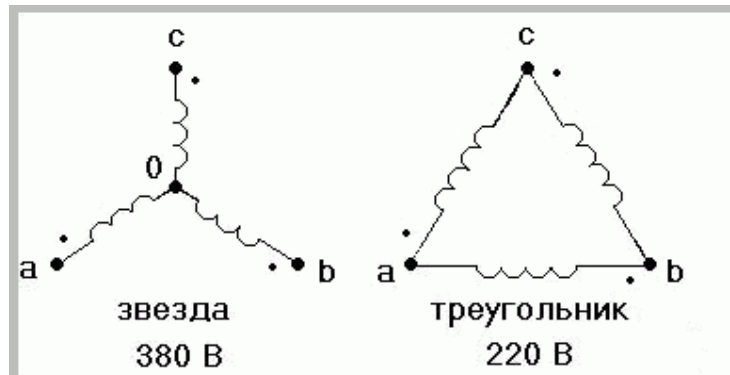
### ПРИМЕЧАНИЕ:

1. Вы имеете право распространять электронный журнал «Я электрик!» совершенно бесплатно!
2. Вы не имеете права продавать выпуски бесплатного электронного журнала «Я электрик!»
3. Вы не имеете право вносить никаких изменений или дополнений в бесплатный электронный журнал «Я электрик!»

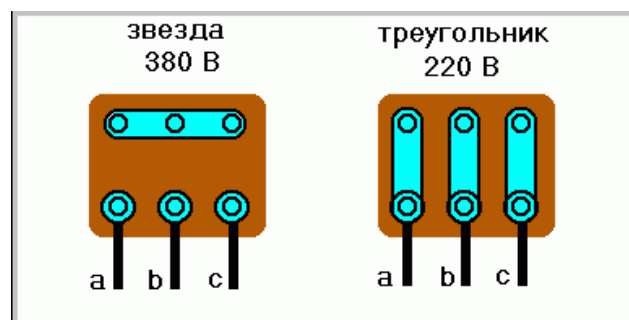
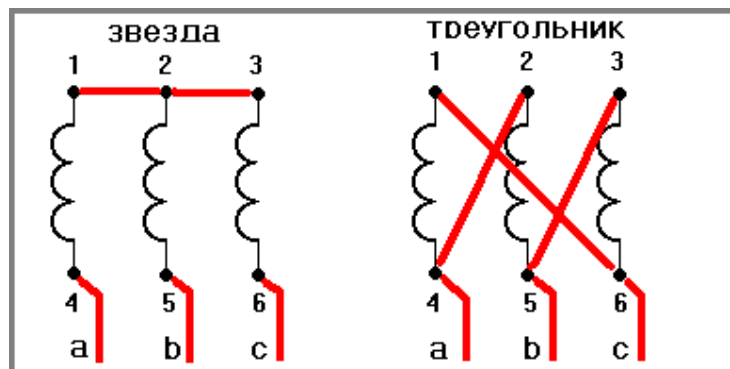


## Простые способы включения трехфазных двигателей в однофазную сеть

Всякий асинхронный трехфазный двигатель рассчитан на два номинальных напряжения трехфазной сети 380 /220 - 220/127 и т. д. Наиболее часто встречаются двигатели 380/220В. Переключение двигателя с одного напряжения на другое производится подключением обмоток «на звезду» - для 380 В или на «треугольник» - на 220 В. Если у двигателя имеется колодка подключения, имеющая 6 выводов с установленными перемычками, следует обратить внимание в каком порядке установлены перемычки. Если у двигателя отсутствует колодка и имеются 6 выводов - обычно они собраны в пучки по 3 вывода. В одном пучке собраны начала обмоток, в другом концы (начала обмоток на схеме обозначены точкой).



В данном случае «начало» и «конец» - понятия условные, важно лишь чтобы направления намоток совпадали, т. е. на примере «звезды» нулевой точкой могут быть как начала, так и концы обмоток, а в «треугольнике» - обмотки должны быть соединены последовательно, т. е. конец одной с началом следующей. Для правильного подключения на «треугольник» нужно определить выводы каждой обмотки, разложить их попарно и подключить по след. схеме:



Если развернуть эту схему, то будет видно, что катушки подключены «треугольником».

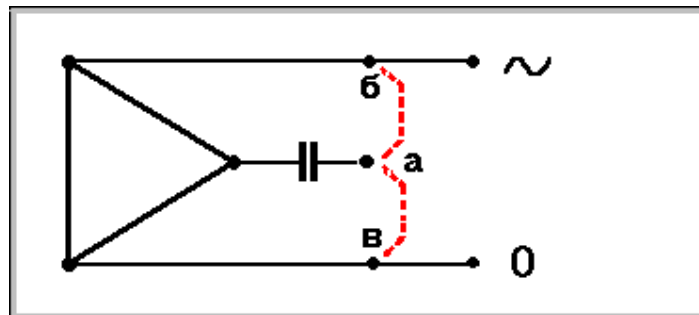
Если у двигателя имеется только 3 вывода, следует разобрать двигатель: снять крышку со стороны колодки и в обмотках найти соединение трёх обмоточных проводов (все остальные провода соединены по 2). Соединение трёх проводов является нулевой точкой звезды. Эти 3 провода следует разорвать, припаять к ним выводные провода и объединить их в один пучок. Таким образом мы имеем уже 6 проводов, которые нужно соединить по схеме треугольника. *Если имеется 6 выводов, но не объединены в пучки и не имеется возможности определить начала и концы.* можно посмотреть здесь.

Трехфазный двигатель вполне успешно может работать и в однофазной сети, но ждать от него чудес при работе с конденсаторами не приходится. Мощность в самом лучшем случае будет не более 70% от номинала, пусковой момент сильно зависит от пусковой емкости, сложность подбора рабочей емкости при изменяющейся нагрузке. Трехфазный двигатель в однофазной сети это компромисс, но во многих случаях это является единственным выходом.

Существуют формулы для расчета емкости рабочего конденсатора, но я считаю их не корректными по следующим причинам:

1. Расчет производится на номинальную мощность, а двигатель редко работает в таком режиме и при недогрузке двигатель будет греться из-за лишней емкости рабочего конденсатора и как следствие увеличенного тока в обмотке.

2. Номинальная емкость конденсатора указанная на его корпусе отличается от фактической +/- 20%, что тоже указано на конденсаторе. А если измерять емкость отдельного конденсатора, она может быть в два раза большей или на половину меньшей. Поэтому я предлагаю подбирать емкость к конкретному двигателю и под конкретную нагрузку, измеряя ток в каждой точке треугольника, стараясь максимально выравнять подбором емкости. Поскольку однофазная сеть имеет напряжение 220 В, то двигатель следует подключать по схеме «треугольник». Для запуска ненагруженного двигателя можно обойтись только рабочим конденсатором.

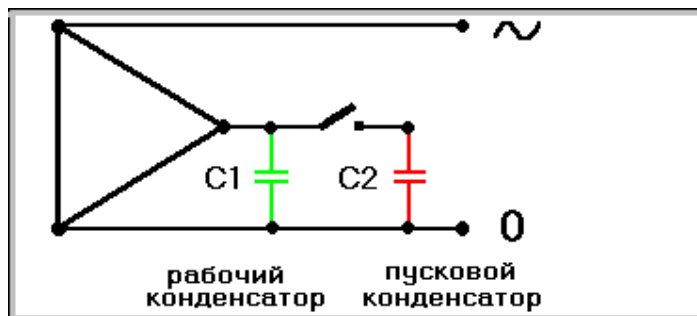


Направление вращения двигателя зависит от подключения конденсатора (точка а) к точке б или в.

Практически ориентировочную ёмкость конденсатора можно определить по сл. формуле:  $C \text{ мкф} = P \text{ Вт} / 10$ , где  $C$  – ёмкость конденсатора в микрофарадах,  $P$  – номинальная мощность двигателя в ваттах. Для начала достаточно, а точная подгонка должна производиться после нагрузки двигателя конкретной работой. Рабочее напряжение конденсатора должно быть выше напряжения сети, но практика показывает, что успешно работают старые советские бумажные конденсаторы рассчитанные на 160В. А их найти значительно легче, даже в мусоре.

У меня мотор на сверлилке работает с такими конденсаторами, расположенными для защиты от хлопка в заземленной коробке от пускателя не помню сколько лет и пока все цело. Но к такому подходу я не призываю, просто информация для размышления. Кроме того, если включить 160и Вольтовые конденсаторы последовательно, вдвое потеряем в емкости зато рабочее напряжение увеличится вдвое 320В и из пар таких конденсаторов можно собрать батарею нужной емкости. Включение двигателей с оборотами выше 1500 об/мин, либо нагруженных в момент пуска, затруднено. В таких случаях следует применить пусковой конденсатор, ёмкость которого зависит от

нагрузки двигателя, подбирается экспериментально и ориентировочно может быть от равной рабочему конденсатору до в 1,5 – 2 раза большей. В дальнейшем, для понятности, все что относится к работе будет зеленого цвета, все что относится к пуску будет красного, что к торможению синего.



Включать пусковой конденсатор в простейшем случае можно при помощи нефиксированной кнопки.

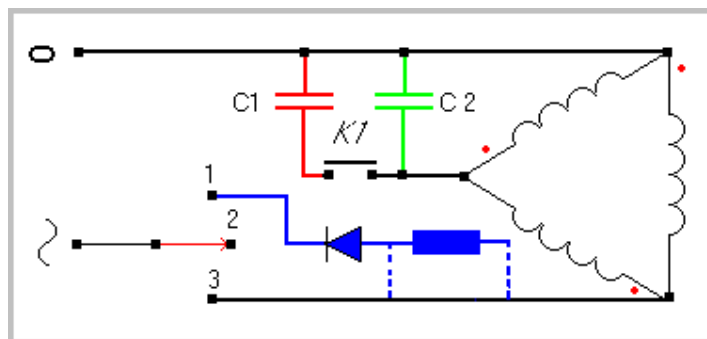
Для автоматизации пуска двигателя можно применить реле тока. Для двигателей мощностью до 500 Вт подойдёт реле тока от стиральной машины или холодильника с небольшой переделкой. Т. к. конденсатор остаётся заряженным и в момент повторного запуска двигателя, между контактами возникает довольно сильная дуга и серебряные контакты свариваются, не отключая пусковой конденсатор после пуска двигателя. Чтобы этого не происходило, следует контактную пластинку пускового реле изготовить из графитовой или угольной щётки (но не из медно-графитовой, т. к. она тоже залипает). Также необходимо отключить тепловую защиту этого реле, если мощность двигателя превышает номинальную мощность реле.

Если мощность двигателя выше 500 Вт, до 1,1кВт можно перемотать обмотку пускового реле более толстым проводом и с меньшим количеством витков с таким расчётом, чтобы реле отключалось сразу же при выходе двигателя на номинальные обороты.

Для более мощного двигателя можно изготовить самодельное реле тока, увеличив размеры оригинального.

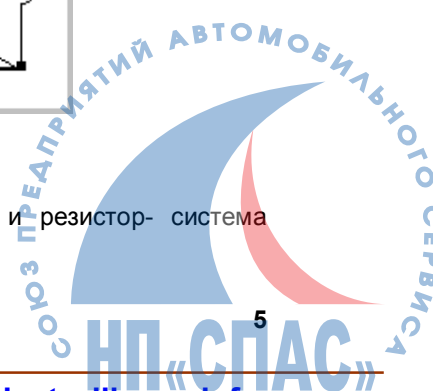
Большинство трехфазных двигателей мощностью до трех кВт хорошо работают и в однофазной сети за исключением двигателей с двойной беличьей клеткой, из наших это серия МА, с ними лучше не связываться, в однофазной сети они не работают.

#### Практические схемы включения

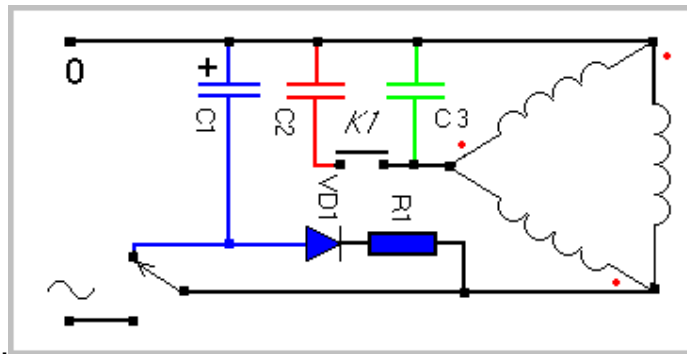


Обобщающая схема включения

C1- пусковой, C2- рабочий, K1- нефиксирующаяся кнопка, диод и резистор- система торможения.



Работает схема следующим образом: при переводе переключателя в положение 3 и нажатии на кнопку K1 происходит пуск двигателя, после отпускания кнопки остается только рабочий конденсатор и двигатель работает на полезную нагрузку. При переводе переключателя в положение 1, на обмотку двигателя подается постоянный ток и двигатель тормозится, после остановки необходимо перевести переключатель в положение 2, иначе двигатель сгорит, поэтому переключатель должен быть специальным и фиксироваться только в положениях 3 и 2, а положение 1 должно быть включено только при удержании. При мощности двигателя до 300Вт и необходимости быстрого торможения, гасящий резистор можно не применять, при большей мощности сопротивление резистора подбирается по желаемому времени торможения, но не должно быть меньше сопротивления обмотки двигателя.



Эта схема похожа на первую, но торможение здесь происходит за счет энергии запасенной в электролитическом конденсаторе C1 и время торможения будет зависеть от его емкости. Как и в любой схеме пусковую кнопку можно заменить на реле тока. При включении переключателя в сеть двигатель запускается и происходит заряд конденсатора C1 через VD1 и R1. Сопротивление R1 подбирается в зависимости от мощности диода, емкости конденсатора и времени работы двигателя до начала торможения. Если время работы двигателя между пуском и торможением превышает 1 минуту, можно использовать диод КД226Г и резистор 7кОм не менее 4Вт. рабочее напряжение конденсатора не менее 350В Для быстрого торможения хорошо подходит конденсатор от фотовспышки, фотовспышек много, а нужды в них больше нет. При выключении переключатель переходит в положение замыкающее конденсатор на обмотку двигателя и происходит торможение постоянным током. Используется обычный переключатель на два положения.

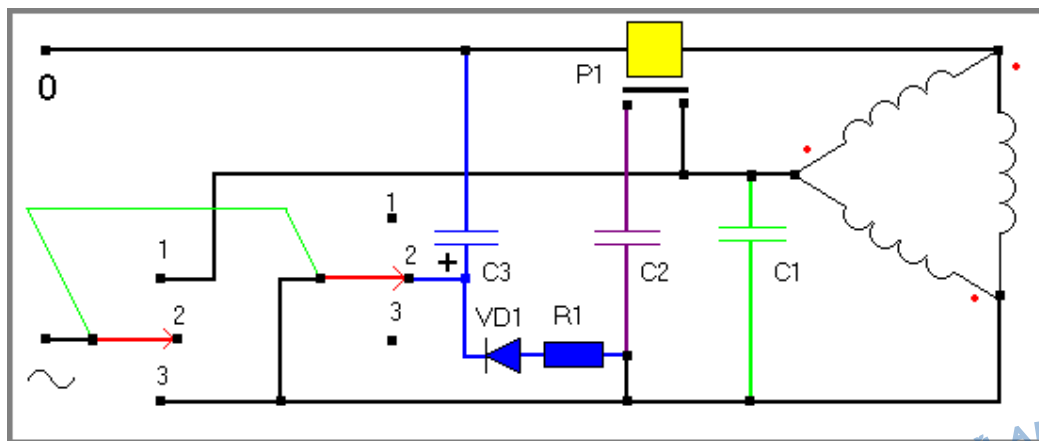
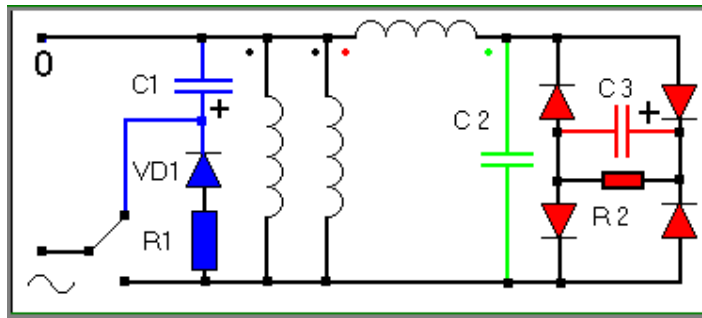


Схема реверсивного включения и торможения

Эта схема развитие предыдущей, здесь автоматически происходит запуск при помощи токового реле и торможение электролитическим конденсатором, а также реверсивное включение. Отличие этой схемы: двояный трехпозиционный переключатель и пусковое реле. Выкидывая из этой схемы лишние элементы, каждый из которых имеет свой цвет, можно собрать схему нужную для конкретных целей. При желании можно перейти на кнопочное включение, для этого

понадобятся один или два автоматических пускателя с катушкой на 220В. Используется двоякий переключатель на три положения.



Еще одна не совсем обычная схема автоматического включения.

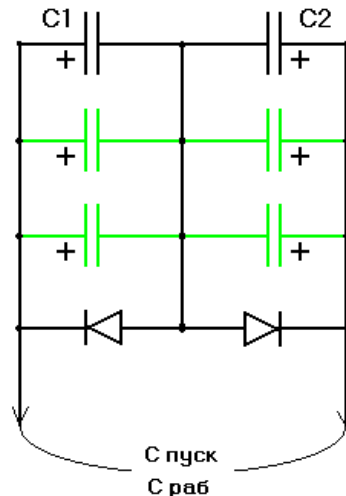
Как и в других схемах здесь есть система торможения, но ее при ненадобности легко выкинуть. В этой схеме включения две обмотки соединены параллельно, а третья через систему пуска и вспомогательный конденсатор, емкость которого примерно в два раза меньше необходимого при включении треугольником. Для изменения направления вращения нужно поменять местами начало и конец вспомогательной обмотки, обозначенной красной и зеленой точками. Запуск происходит за счет зарядки конденсатора C3 и продолжительность запуска зависит от емкости конденсатора, а емкость должна быть достаточно велика, чтобы двигатель успел выйти на номинальные обороты. Емкость можно брать с запасом, так как после заряда конденсатор не оказывает заметного действия на работу двигателя. Резистор R2 нужен для разрядки конденсатора и тем самым подготовки его для следующего пуска, подойдет 30 кОм 2Вт. Диоды Д245 - 248 подойдут любому двигателю. Для двигателей меньшей мощности соответственно уменьшится и мощность диодов, и емкость конденсатора. Хотя и затруднительно сделать реверсивное включение по данной схеме, но при желании и это можно. Потребуется сложный переключатель или пусковые автоматы.

#### Использование электролитических конденсаторов в качестве пусковых и рабочих

Стоимость неполярных конденсаторов достаточно высока, да и не везде их можно найти. Поэтому, если их нет, можно применить электролитические конденсаторы, включенные по схеме не намного сложнее. Емкость их достаточно велика при небольшом объеме, они не дефицитны и не дороги. Но нужно учесть вновь возникшие факторы. Рабочее напряжение должно быть не менее 350 Вольт, включаться они могут только парами, как указано на схеме черным цветом, а в таком случае емкость уменьшается вдвое. И если двигателю для работы нужно 100 мкФ, то конденсаторы C1 и C2 должны быть по 200мкФ.

У электролитических конденсаторов большой допуск по емкости, поэтому лучше собрать батарею конденсаторов (обозначена зеленым цветом), легче будет подбирать фактическую емкость нужную двигателю и кроме того у электролитов очень тонкие выводы, а ток при большой емкости может достигать значительных величин и выводы могут греться, а при внутреннем обрыве вызвать взрыв конденсатора. Поэтому вся батарея конденсаторов должна находиться в закрытой коробке, особенно во время экспериментов. Диоды должны быть с запасом по напряжению и по току, необходимому для работы. До 2кВт вполне подойдут Д 245 - 248. При пробое диода сгорает (взрывается) конденсатор. Взрыв конечно сказано громко, пластмассовая коробка вполне защитит от разлета деталей конденсатора и от блестящего серпантина тоже. Ну вот, страшилки рассказаны, теперь немного конструкции.

Как видно из схемы, минусы всех конденсаторов соединены вместе и, стало быть, конденсаторы старой конструкции с минусом на корпусе можно просто плотно перемотать изолентой и поместить в пластмассовую коробку соответствующих размеров. Диоды нужно расположить на изоляционной пластинке и при большой мощности поставить их на небольшие радиаторы, а если мощность не велика и диоды не греются, то их можно поместить в ту же коробку. Включенные по такой схеме электролитические конденсаторы, вполне успешно работают как пусковыми так и рабочими.



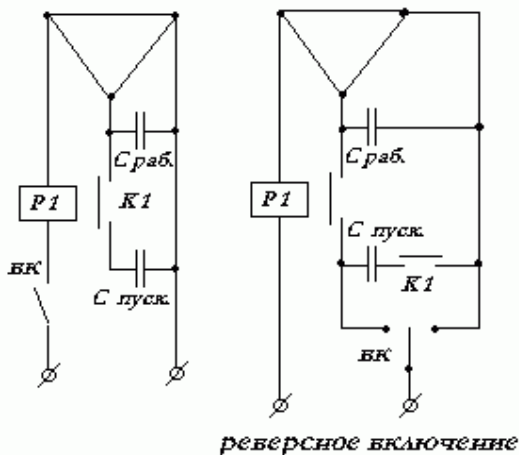
Сейчас в доводке электронная схема включения, но пока она сложна в повторении и настройке.

#### Включение пускового конденсатора при помощи реле тока.

Из теории известно, что пусковой ток в несколько раз превышает номинальный ток рабочего двигателя, поэтому включение пускового конденсатора при включении трехфазного двигателя в однофазную сеть, можно осуществить автоматически, - при помощи реле тока.

Для двигателей до 0,5 кВт подойдёт пусковое реле от холодильника, стиральной машины типа РП-1, с небольшой переделкой. Подвижные контакты надо заменить на графитовую или угольную пластинку, выточенную из щётки коллекторного двигателя, по размерам оригинала. Т. к. при повторном включении, ток заряженного конденсатора даёт большую искру на контактах, и стандартные контакты свариваются между собой. При применении графита, такого явления не наблюдалось. (Кроме того, следует отключить термореле).

Для двигателей до 1 кВт можно перемотать РП-1 проводом  $\Phi 1,2\text{мм}$  до заполнения катушки 40-45 витков.



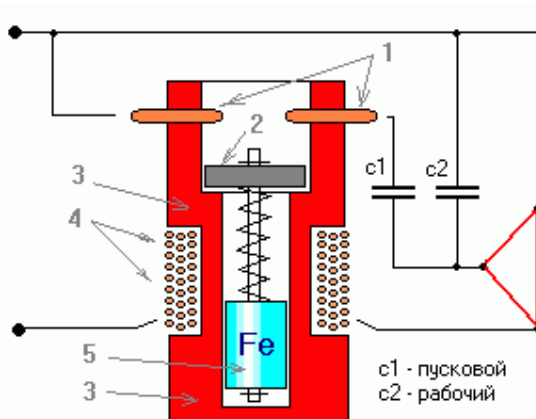
Для более мощных двигателей следует изготовить реле тока по аналогии с РП-1, большего размера.

Моточный провод реле должен соответствовать номинальному току двигателя, из расчёта 5А / 1мм<sup>2</sup>.





Количество витков следует подобрать экспериментально, для чёткого включения реле при запуске и отключения после запуска. Лучше намотать больше витков и отматывать до достижения четкого отключения после пуска.



1- медные стержни из проволоки  $\Phi 2-2,5\text{мм}$  запрессованы в чуть меньшие отверстия или на клею провода к ним просто припаяны 2-диск из графитовой щетки  $\Phi$  на 1,5мм меньше  $\Phi$  корпуса, толщина 1,5-2мм 3- корпус 4- обмотка 5- якорек

Корпус реле можно изготовить из текстолита, гетинакса, эбонита и т. п. Стержень - алюминиевая проволока, магнитный якорь - цилиндр из малоуглеродистой стали выточен в форме стакана.

Чтобы понятнее была конструкция самодельного реле, можно разобрать реле РП-1 и изготовить аналог, пропорционально увеличив детали. Примерный размер корпуса  $\Phi 30\text{мм}$   $h 60\text{мм}$ . Якорек и контактный диск должны свободно перемещаться по стержню. Пружина не должна быть слишком сильной.

### Включение и реверсирование трёхфазного асинхронного двигателя (380/220) в однофазную сеть одним переключателем

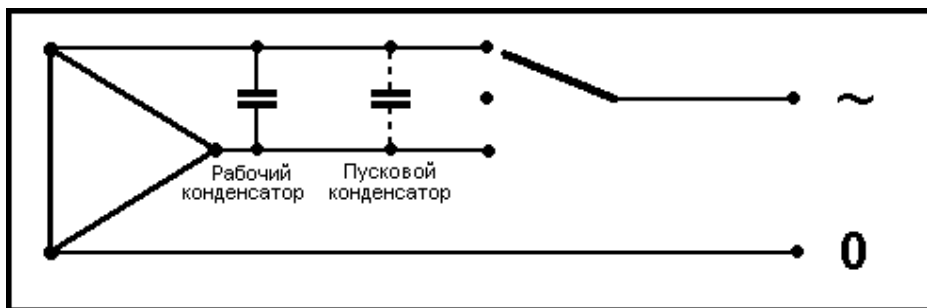
Множество представленных в Интернете схем реверсирования необоснованно усложнены и имеют неоправданно большое количество переключателей.

Предлагается простая схема включения и реверсирования одним переключателем. Подойдёт практически любой переключатель имеющий 3 фиксированных положения, соответствующий мощности двигателя.

При необходимости – данная схема облегчает автоматизацию включения – выключения и реверсирования двигателя.

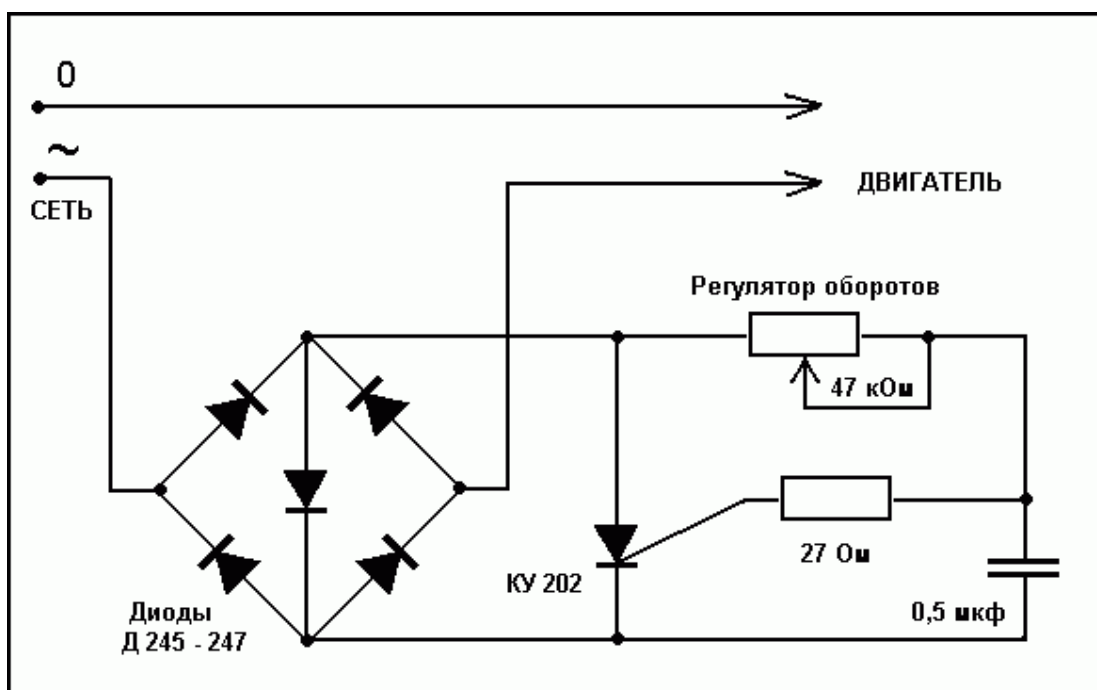
При необходимости пускового конденсатора (включение нагруженного или высокооборотистого двигателя), его можно подключать при помощи пусковой кнопки или реле тока.





**Изменение оборотов трёхфазного асинхронного двигателя (380/220) включённого в однофазную сеть**

Чтобы не применять дорогой и сложный коллекторный двигатель в механизмах требующих изменения оборотов двигателя, можно обойтись асинхронным трёхфазным двигателем, введя в фазовый провод реостат или простейший регулятор мощности.



Переделка двигателя заключается в изменении якоря двигателя.

По образцу якоря, установленного в двигателе изготавливается «массивный якорь» из магнитомягкой малоуглеродистой стали или из серого чугуна (СЧ). (Чугунный работает лучше.) Из старого якоря можно выпрессовать вал и насадить на него массивный якорь.

Источник: <http://icark.narod.ru/>



## Ремонтируем дрель-перфоратор

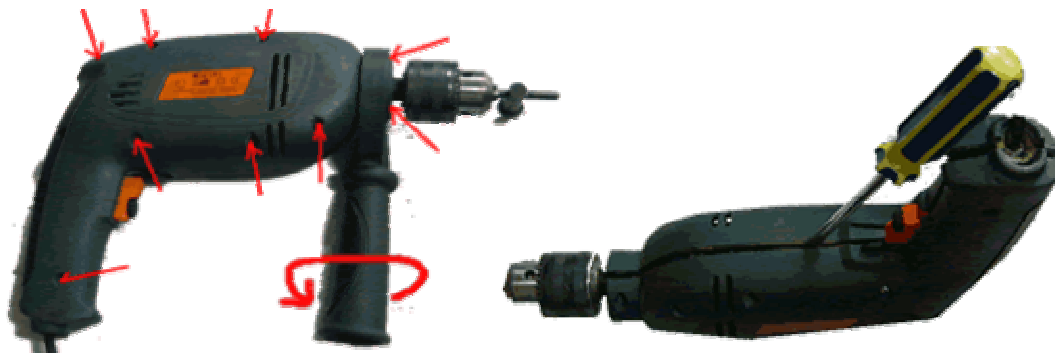
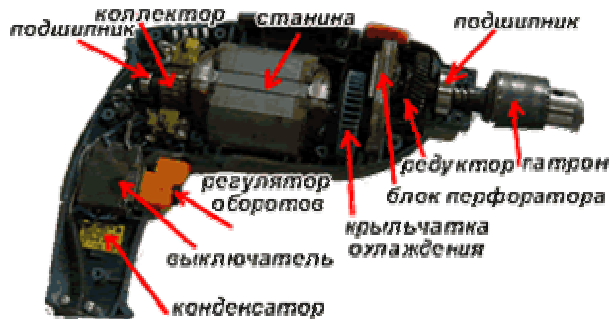
### РЕМОНТ ЭЛЕКТРОДЕЛИ

При симптоме "пошёл дым", разбираемся с причинами, установкой диагноза и ремонтом с профилактикой.

Дрель с перфоратором немецкой фирмы "SHTURM".

Снимаем держатель, расслабляя хомут путём выкручивания рукоятки против часовой стрелки.

Выкручиваем саморезы по периметру корпуса, поддевая отверткой, начинаем от ручки постепенно разделять половинки корпуса.



### ЩЁТКИ

Оттягиваем пружину щётки и возвращаем её мимо щёткодержателя, что бы она оказалась в свободном состоянии.

Теперь можно вытянуть щётки на половину длины, для снятия якоря двигателя или вытащить полностью при необходимости

Вставлять обратно щётки нужно не меняя их первоначального положения, потому что поверхность их притёрта под определённым углом.

Щётки изнашиваются до тех пор, пока пружина не упрётся в щёткодержатель, до такой степени износа доводить инструмент не следует.

Необходимо регулярно следить за износом щёток, за зазором в подшипниках, если вы постоянно пользуетесь дрелью.

Когда инструмент лежит в хозяйстве для «всякого случая», тогда в него можно не заглядывать годами.

Токосъёмные щётки бывают разного типа, но в основном делятся на три группы: угольные, графитовые и угольно-графитовые.

У каждого вида есть свои преимущества и недостатки. Угольные хорошо притираются, за счёт этого больше площадь прилегания, лучше контакт, но быстро изнашиваются.



Графитовые хуже притираются, больше искрят, больше изнашивается коллектор, но долговечны.

Учитывая недостатки предыдущих, наилучший альтернативный вариант, это угольно-графитовые.

Если у Вас возникла необходимость замены щёток, и Вы не можете найти такие же, не расстраивайтесь.

С любого, бытового и не только, коллекторного двигателя можно изготовить самому с помощью напильника.

Обязательными условиями будут:

1. Размер щётки не должен быть меньше требуемого.
2. Контактный вывод должен быть сохранён, при достаточной длине, для нового места использования.
3. Тип щётки значения не имеет, так как это экстренный ремонт для временного пользования. Впоследствии, желательно установить тип щёток в соответствии с данными завода изготовителя.

Далее:

Приподняв статор электродвигателя, вытаскиваем патрон с подшипником и шестернёй редуктора, а затем остатки редуктора вместе с якорем и вторым подшипником.

В редукторе ничего сложного нет, шестерня и червячная передача, износ возможен только из-за перекосов самого корпуса, что редко можно встретить, если его не разломать.

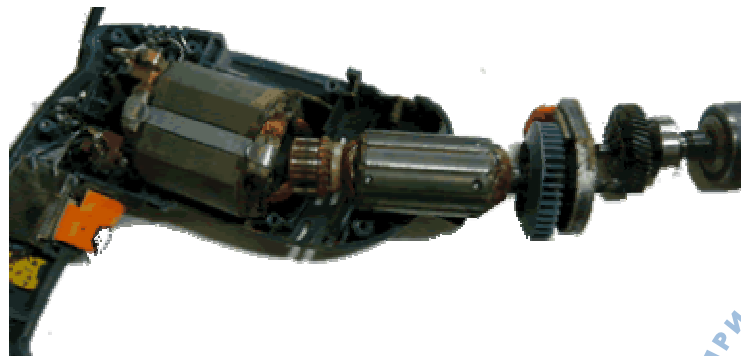
Система перфоратора из трёх частей, тоже простая.

### ПОДШИПНИКИ

Подшипники изнашиваются в зависимости от времени эксплуатации.

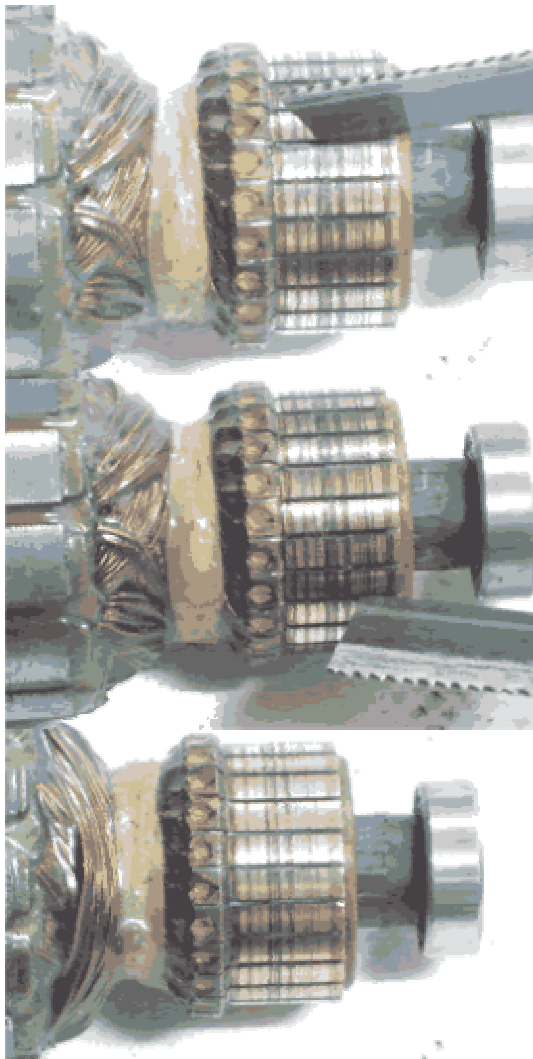
Рассчитывая на долгую работу инструмента, запасайтесь дополнительным комплектом.

При износе, подшипники начинают шуметь, но не всегда это можно услышать, так что проверяйте с периодичностью проверки щёток.





У плохого подшипника появляется зазор, удерживая за вал на котором он стоит, пошевелите внешнюю обойму в стороны направления вала и сразу будет понятно, если болтается миллиметра на два по внешней обойме, нужно подумать о замене.



## ЯКОРЬ

Посмотрим состояние якоря.

Коллектор наиболее уязвимая часть в электродвигателе.

Небольшое потемнение это его рабочий вид, при появлении борозд и выгораний следует обратить внимание на то, из-за чего это происходит.

В первую очередь это работа инструментом в режиме перегрузки, не надо продолжать работать при закусывании, остановке дрели.

Если не можете просверлить или торопитесь, не наваливайтесь всем своим весом на инструмент, а лучше заправьте или смените сверло.

Самой страшной поломкой являются неисправности обмоток. Если обмотку станины ещё можно перемотать, то с якорем никто не будет возиться, и Вам не советую, овчинка выделки не стоит.

Неисправности могут быть двух типов, обрыв обмотки и короткое замыкание витков внутри её. Нередки случаи заводского брака. Обнаружим путём измерения сопротивления обмоток.

Обмотки станины имеют по два вывода каждая.

Замерьте, и Вы узнаете активное сопротивление провода обмоток, оно должно быть около 4 Ом на каждой, если меньше и при этом греется в работе станина, то имеет место межвитковое замыкание

Если у Вас на приборе сопротивление большое, значит обрыв.

Посложнее с якорем.

С помощью мультиметра можно выявить только явное замыкание обмоток, что на якоре, что на станине.

В любом случае замыкание в обмотках сопровождается нагревом электродвигателя.

Замеряем мультиметром обмотку якоря. Касаемся щупом пластины якоря, вторым проходим по каждой, начиная от первого щупа, до противоположной, по диаметру.

У меня получилась разница между соседними пластинами примерно - 0,3 Ома, а сопротивление между первой и противоположной, тринадцатой (всего их 24) -2 Ома, это нормально.

Нужно учитывать, что инструмент может быть другой мощности, тогда величины будут иные, но сориентироваться по соотношению, смекалки должно хватить.

Когда на пластинах якоря наблюдается большое сопротивление, тогда это обрыв. В моём случае всё целёхонько, кроме бороздочек от перегрузок, на коллекторе.

Шлифовать небольшие царапины в домашних условиях можно, например, зажав свободный конец вала в патрон другой дрели и на средних оборотах, прикладывая мелкозернистую наждачную бумагу, обязательно стеклянную (без абразива), равномерным нажатием обработать коллектор.

После этого нужно шлифовать до исчезновения мелких царапин какой-нибудь притирочной пастой типа «ГОЯ». Крупные борозды и выгоревшие участки протачиваются на токарном станке.

При работе коллекторных электродвигателей, в коллекторе между пластин образуется нежелательное скопление отработанной от щёток пыли или продуктов сгорания от искрения коллектора. Эту грязь необходимо удалять. Удалим ( продорожим ) с помощью кусочка ножовочного полотна.

#### **ВНИМАНИЕ!**

Не задевайте пластины коллектора, а то снова придётся шлифовать. Проделав выше сказанное, протрём загрязнённые участки бензином.





**ВНИМАНИЕ КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ!**

ВКЛЮЧАТЬ ДРЕЛЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ:

1. В РАЗОБРАННОМ ВИДЕ
2. ЕСЛИ НА ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТ ПОПАЛА ВОДА
3. ЕСЛИ ПАТРОН НЕ ПРОВОРАЧИВАЕТСЯ ВРУЧНУЮ
4. ПРИ ПОЯВЛЕНИИ ДЫМА ИЗ ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА
5. ПРИ ПОЯВЛЕНИИ "КРУГОВОГО ОГНЯ" НА КОЛЛЕКТОРЕ
6. ПРИ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НАГРЕВА САМОГО ИНСТРУМЕНТА
7. ПРИ ВСЯЧЕСКОМ ПОДОЗРЕНИИ НА НЕИСПРАВНОСТЬ, ДО ВЫЯСНЕНИЯ ПРИЧИН И ИХ УСТРАНЕНИЯ

Источник: <http://www.eleczon.ru/>

## Новый электротехнический проект:

**Интернет-журнал «Электрик  
Инфо» - нескучный  
электротехнический сайт!!!**

<http://elektrik.info/>

**На сайте:**

**Интересные статьи, публикации,  
мнения, новости, интересные  
факты, описание интересных  
электротехнических новинок и  
многое другое!**



## Современные синхронные и асинхронные электродвигатели

Обычно о том, какие электродвигатели стоят на том или ином оборудовании, его владельцы особенно не задумываются, но только до тех пор, пока они не выходят из строя. А уже первые «болезни» этих «скромных тружеников» вызывают коллапс необъятных потоков грузов. На склады России поступает много иностранного подъемно-транспортного оборудования, и читателям будет интересно узнать, какие существуют типы и исполнения электродвигателей, работающих в этих машинах и механизмах.

### ТИПЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Электродвигатели — непременная составляющая подъемно-транспортного и автоматизированного оборудования: конвейеров, автоматизированных складов, штабелеров, упаковочных автоматов и иной складской техники. Обычно эти агрегаты подбирают для своего оборудования сами изготовители, но все чаще бывает так, что покупатели и владельцы машин сами могут выбирать электрические силовые агрегаты для нужд своего предприятия в зависимости, например, от специфики условий работы отдельных его участков. В некоторых случаях компании комплектуют электродвигателями одного типа технику на всех своих складах и предприятиях, чтобы за счет унификации процедур и запчастей сократить расходы на техобслуживание. Иногда электродвигатели выбирают по соображениям невысокой стоимости.



В складском и подъемно-транспортном оборудовании наиболее широко применяют электродвигатели пяти типов:

- электродвигатели постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита;
  - асинхронные электродвигатели переменного тока. Их применяют в оборудовании непрерывного цикла, например, в обычных конвейерах;
  - серводвигатели (сервомоторы). Они работают в машинах, которые должны совершать точные движения, перемещать и позиционировать грузы на строго определенные места: в штабелерах, автоматических складских системах;
- линейные асинхронные двигатели. Используются в оборудовании, для которого важна прежде всего высокая скорость работы, например, в сортировочных машинах;
  - мотор-ролики (или мотор-барабаны), т. е. ведущие герметичные ролики, внутри которых заключены небольшие электродвигатели и редукторы. Используются для привода конвейеров, работающих периодически.

Раньше складское подъемно-транспортное оборудование оснащали электродвигателями постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. В настоящее время машины и автоматы комплектуют асинхронными электродвигателями переменного тока, применение которых постоянно расширяется.

### ПРЕИМУЩЕСТВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Асинхронные двигатели переменного тока проще и дешевле электродвигателей других типов, поэтому в настоящее время их применяют все чаще. При выборе асинхронного двигателя следует учитывать два фактора — к.п.д. преобразования энергии и тип исполнения агрегата.





### К.П.Д.

В ряде стран законодательством установлена минимальная величина к.п.д. для электродвигателей приводов, однако многие производители изготавливают электродвигатели по более жестким стандартам Национальной ассоциации производителей электрооборудования США (NEMA). Если, выбирая электродвигатель, вы видите, что он соответствует стандарту NEMA Premium, то это гарантирует его высокий к.п.д., надежность и экономичность.

К.п.д. электродвигателей обычного качества равен 75...85%, высшего — 85...95%.

Агрегаты с высоким к.п.д. стоят намного дороже обычных, но если электродвигатель будет работать непрерывно, он окупится быстро

У электродвигателей обычного качества к.п.д. равен 75...85%, у агрегатов высшего качества — 85...95%. Как считают специалисты, агрегаты с высоким к.п.д.

стоят намного дороже обычных, но если электродвигатель будет работать непрерывно, он окупится быстро. Кроме того, благодаря экономии энергии улучшается экологическая обстановка, на которую все больше обращают внимание в цивилизованных государствах.

### Тип исполнения

Тип исполнения — важная характеристика при выборе электродвигателя. Существует пять основных исполнений асинхронных электродвигателей:

ODP (Open drip proof) — «каплезащищенный электродвигатель открытого исполнения». Этот тип электродвигателей наиболее широко используют в промышленности. Они не оборудованы вентилятором и имеют проемы в корпусе, через которые внутрь может проникнуть грязь и влага, поэтому использовать такие электродвигатели рекомендуется только в закрытых помещениях;

TEFC (Totally Enclosed FanCooled) — «закрытого типа с вентиляторным охлаждением». Эти двигатели оборудованы вентилятором, создающим поток воздуха через их корпус. Вентилятор герметизирован, и инородные частицы и жидкости не могут проникнуть в электродвигатель извне. Электродвигатели в исполнении TEFC часто применяют в конвейерах;

TENV (Totally Enclosed Non-Ventilated Motor) - «закрытого типа без охлаждения». Эти электродвигатели также используются в подъемно-транспортном оборудовании складов, если есть внешний источник, создающий воздушный поток для охлаждения двигателя;

TEBC (Totally Enclosed Blower-Cooled Motor) — «охлаждаемый обдувом». Эти двигатели комплектуют собственным вентилятором, но расположенным и управляемым снаружи. Электродвигатели типа TEBC обычно применяют в оборудовании высокой мощности: в подъемных кранах, лебедках и т. п. или в оборудовании, работающем с переменной скоростью, где электродвигатель иногда может работать с частотой вращения, близкой к нулю;

EPFC (Explosion Proof Fan Cooled Motor) — «во взрывозащищенном исполнении с вентиляторным охлаждением». Используются в условиях высокого содержания в воздухе горючих и взрывоопасных элементов, например, паров бензина, других нефтепродуктов, аммиака, угольной пыли и проч.

Возможности применения любого асинхронного электродвигателя расширяются благодаря использованию электропривода с частотным регулированием (VFD). Асинхронные электродвигатели традиционной конструкции работают с постоянной частотой. Электропривод с частотным регулированием позволяет менять скорость двигателя и всей машины. В складском подъемно-транспортном оборудовании электроприводы с частотным регулированием позволяют максимально увеличивать скорость в «пиковые» периоды работы и снижать в другое время, благодаря чему экономится энергия и средства.

## СЕРВОДВИГАТЕЛИ

Эти двигатели занимают свою особую нишу - они работают в оборудовании, где требуется точное регулирование положения и скорости движений: в роботизированном оборудовании, штабелерах и подобных складских машинах.



Эти устройства специально разработаны как электродвигатели с якорем малого диаметра, но развивающие высокий крутящий момент. Чем меньше якорь, тем меньше инерция и, следовательно, электродвигатель быстрее разгоняется, и машина работает быстрее.

Серводвигатели оснащают также системами управления по обратной связи: по сигналам тахометра, датчиков линейных перемещений и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Благодаря управлению по сигналам от этих приборов увеличивается точность движений и регулирования скорости машин.

Серводвигатели применяют в оборудовании и системах, где требуется высокая точность движений. Электродвигатели этого типа применяют также в оборудовании и системах, где необходима большая точность синхронизации - в машинах, выполняющих установку (позиционирование) грузов на стеллажах автоматизированных складов.

## ЛИНЕЙНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Линейные асинхронные электродвигатели - новинка в отрасли складского подъемно-транспортного оборудования. Они позволяют значительно увеличить скорость движений машин при замечательной их повторяемости и точности.

Линейный асинхронный двигатель генерирует магнитное поле, которое перемещает ползун (пластину) в двигателе. Обычно ползун прикрепляется к объекту, который должен передвигаться магнитным полем: например, в сортировочных машинах ползун электродвигателя соединен с подвижным лотком распределителя. В такой конструкции нет деталей, подверженных износу.

Линейные электродвигатели	асинхронные
точность движений на 1 м	обеспечивают до 0,0335 мм перемещения.

Для сравнения: толщина человеческого волоса - около 0,09 мм, т. е. в три раза больше!

Линейные асинхронные электродвигатели обеспечивают точность движений до 0,0335 мм на 1 м перемещения, т. е. позволяют выполнять прецизионные работы. Насколько уникальна такая способность устройств, иллюстрирует тот факт, что толщина человеческого волоса составляет около 0,09 мм, т. е. в три раза больше!

Скорость работы линейных асинхронных электродвигателей очень высокая — до 5 м/с, а следовательно, длительность рабочих циклов у них небольшая и производительность на высочайшем уровне. Скорость перемещения ползуна на разных отрезках в течение одного цикла можно менять, а можно задавать пошаговое перемещение — это очень полезное качество для некоторых автоматических машин.

## МОТОР-РОЛИКИ

Линейные асинхронные электродвигатели — не единственная инновация в области электрических силовых агрегатов. В последнее время в конвейерах все шире стали применять мотор-ролики (MDR - Motor Driven Roller). Еще два года назад на выставке оборудования по транспортировке материалов и логистике ProMat в Чикаго лишь несколько фирм представили конвейеры с приводом от мотор-роликов, зато в экспозиции в январе 2007 г. в ассортименте почти каждой фирмы, предлагающей конвейеры, были модели с мотор-роликами.

В Соединенных Штатах конвейеры с приводом от мотор-роликов впервые использовала

почтовая служба. Конструкция их проста. Внутри ведущего ролика устанавливается миниатюрный электродвигатель постоянного тока, работающий от напряжения 24 В, и редуктор. В обычных конвейерах один мотор-ролик приходится на 9 обычных роликов.

По словам специалистов, если конвейер перемещает грузы непрерывным потоком, привод от наружных электродвигателей более экономичен. Конвейеры с мотор-роликами рентабельны и используются в основном в тех случаях, когда надо накапливать поступающие грузы на конвейере, а затем перемещать их дальше либо когда требуется разделять поток грузов на группы и перемещать грузы группами.

У мотор-роликов целый «букет» преимуществ. Уровень шума от конвейеров, оснащенных мотор-роликами, значительно ниже, чем от обычных конвейеров. Они позволяют экономить энергию: не только благодаря более высокому к.п.д. мотор-роликов, но и потому, что конвейер работает только тогда, когда надо. Еще одно преимущество — более высокий уровень систем управления мотор-роликами. В настоящее время выпускаются конвейеры с мотор-роликами, развивающие скорость до 90 м/мин, а если поток грузов уменьшился, можно снизить скорость до 30 м/мин, уменьшив таким образом износ деталей конвейера и энергопотребление. Наконец, мотор-ролик практически не нуждается в техобслуживании. Поскольку он работает лишь тогда, когда надо, его ресурс продлевается на годы. Когда электродвигатель выйдет из строя, мотор-ролик заменяют другим практически без остановки конвейера.

Источник: <http://www.mrmz.ru/>

## Вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза

Автор: Владимир Панкратов, д.т.н.

В статье обсуждается современное состояние теории и практики построения вентильных электроприводов регулируемой скорости на базе синхронных электрических машин с постоянными магнитами: наиболее распространенные виды вентильных электроприводов, принципы и особенности их функционирования, некоторые структуры силовых преобразователей электрической энергии, способы и алгоритмы [[«бездатчикового» управления]].

В самом общем случае вентильным можно назвать любой электропривод, в котором регулирование режима работы электродвигателя производится с помощью управляемых вентильных (полупроводниковых) преобразователей электрической энергии: выпрямителя, импульсного регулятора постоянного тока, преобразователя частоты. В более узком, общепринятом смысле вентильный электропривод (ВЭП) или вентильный двигатель (ВД) представляет собой электромеханотронную систему, в которой объединены синхронная электрическая машина, как правило, с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) (см. рис. 1 и 2), электронный коммутатор (инвертор), посредством которого осуществляется питание обмоток якоря машины, и система автоматического управления инвертором, оснащенная необходимыми измерительными устройствами (датчиками).



Рис. 1. Вентильный двигатель ВД-300 мощностью 7,5 кВт (ОАО «КБ ПА», г. Ковров), используется в качестве исполнительного элемента в быстродействующих следящих приводах специального и общепромышленного назначения

Традиционно управление ключами инвертора ВЭП осуществляется в функции положения ротора синхронного двигателя. Благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам, СДПМ являются наиболее перспективными электрическими машинами в диапазоне малых и средних мощностей, особенно для моментных систем электропривода. СДПМ конструктивно просты, надежны, имеют абсолютно жесткие механические характеристики и не требуют затрат энергии на возбуждение. Эти качества электрической машины обуславливают применение ВД в промышленных системах автоматизации, роботах и манипуляторах, приводах подач и главного движения металлорежущих станков, координатных устройствах,

автоматических линиях по обработке различных материалов или сборке изделий, упаковочных и печатных машинах, принтерах и плоттерах, намоточных и лентопротяжных механизмах, прецизионных системах слежения и наведения, в авиационной и медицинской технике. ВД имеют свою "нишу" в тяговом электроприводе (электровоз ВЛ80ВР), приводах рулевого управления летательных и подводных аппаратов, электромеханических устройствах автомобилей (электромеханические усилители руля, стартер-генераторные устройства гибридных автомобилей, стеклоподъемники и др.), моторколесах аккумуляторных индивидуальных транспортных средствах (электровелосипеды, инвалидные коляски различных разработок), в бытовых устройствах (стиральная машина "Орб-Автомат", проигрыватели компакт-дисков).

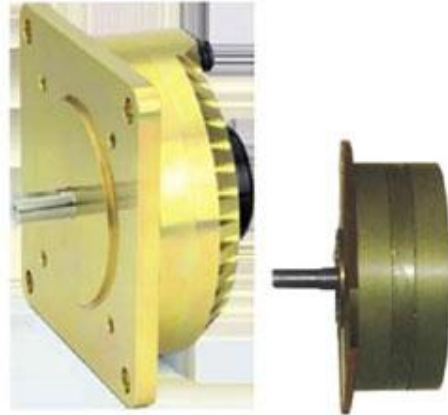


Рис. 2. Дисковые СДПМ (ЗАО «СЭЗМО», Санкт-Петербург)

Для изготовления ротора СДПМ могут использоваться ферритовые магниты. Они относительно дешевы, но обеспечивают невысокий уровень индукции магнитного поля. Поэтому в последние десятилетия предпочтение отдается высокоэнергетическим магнитам на основе сплавов редкоземельных металлов, обладающих большой коэрцитивной силой. Это позволяет значительно улучшить массогабаритные показатели ВЭП и получить более высокий вращающий момент в том же габарите статора двигателя. "Самарий-кобальт" (Sm-Co) и "неодим-железо-бор" (Nd-Fe-B) - наиболее распространенные материалы современных редкоземельных магнитов.

В настоящей статье обсуждается современное состояние теории и практики построения вентильных электроприводов регулируемой скорости на базе синхронных электрических машин с постоянными магнитами: наиболее распространенные виды вентильных электроприводов, принципы их построения и особенности функционирования, некоторые структуры силовых преобразователей электрической энергии (коммутаторов), основные способы и алгоритмы автоматического управления ВЭП при отсутствии на валу двигателя датчика положения ротора.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Постоянное удешевление магнитных материалов, а также ускоряющееся развитие аппаратной базы систем управления и устройств силовой электроники сделали возможным применение ВД в тех областях техники, где традиционно применялись только машины постоянного тока или специальные асинхронные двигатели.

Это объясняется целым рядом конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ СДПМ по сравнению с другими существующими типами электрических машин, к числу которых можно отнести следующие [1, 2]:

- бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания. Отсутствие у вентильных электродвигателей скользящих электрических контактов существенно повышает их ресурс и надежность по сравнению с электрическими машинами постоянного тока или асинхронными двигателями с фазным ротором, расширяет диапазон достижимых частот вращения. Обмотка якоря СДПМ может быть запитана более высоким номинальным напряжением, поэтому конструктивная постоянная момента  $C_m$  ВД существенно превышает аналогичную величину классических машин постоянного тока, что позволяет использовать при подключении ВЭП кабели меньшего сечения и преобразователи электрической энергии на меньшие токи;

- большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно допустимый момент и ток СДПМ могут превышать номинальные значения в 5 и более раз);

- высокое быстродействие в переходных процессах по моменту;

- абсолютно жесткая механическая характеристика и практически неограниченный диапазон

регулирования частоты вращения (1:10000 и более). Возможность регулирования частоты вращения как вниз от номинальной (с постоянством длительно допустимого и максимального моментов), так и вверх (с постоянством мощности);

- наилучшие энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности). КПД вентильных двигателей превышает 90% и незначительно отклоняется от номинального при вариациях нагрузки, в то время как у серийных асинхронных двигателей мощностью до 10 кВт максимальный КПД составляет не более 87,5% и существенно зависит от момента. Так, уже при половинной нагрузке на валу он может упасть до 60-70%;

- минимальные токи холостого хода;

- минимальные массогабаритные показатели при прочих равных условиях.

Так как основные электрические и магнитные потери в роторе СДПМ отсутствуют, а современные редкоземельные постоянные магниты, например, на основе соединения "неодим-железо-бор" способны обеспечить максимальную индукцию в воздушном зазоре даже без концентрации потока на уровне асинхронных машин (до 0,8 Тл.), в СДПМ может быть значительно повышена линейная нагрузка при сохранении суммарных потерь в машине на постоянном уровне, что и объясняет более высокую электромеханическую эффективность вентильных двигателей по сравнению с другими типами бесконтактных электродвигателей переменного тока. Именно благодаря этим преимуществам ВД занимают ведущие позиции в каталогах продукции ведущих зарубежных электротехнических фирм - Siemens AG, General Electric, Bosch Rexroth AG, Ansaldo, Fanuc и др. В России вентильные электроприводы и специализированные СДПМ производятся серийно с 1980-х гг. Примерами тому являются комплектный электропривод ЭПБ1 и двигатели серий ДБМ, ДВ (ЗАО "Машиноаппарат", г. Москва).

В последние годы работы по созданию современных ВЭП вновь приобрели былую интенсивность. В частности, комплексом электротехнических предприятий, объединенным Чебоксарским электроаппаратным заводом (ОАО "ЧЭАЗ"), на базе электрических машин серий ДВФ и ДВМ спроектирована новая серия современных отечественных вентильных двигателей 5ДВМ, а также тяговый вентильный электродвигатель ВМЭД-01 мощностью 120 кВт для специальных транспортных средств (городской автотранспорт, электромобиль) и автомобилей [1]. В электрических машинах новой серии применены термостабильные отечественные постоянные магниты из материала "неодим-железо-бор" со специальными легирующими добавками, которые способствуют повышению коэрцитивной силы и сохранению свойств магнитов при нагреве до +170°C и пятикратной кратковременной перегрузке двигателя по моменту и току якоря.

Это обеспечивает снижение расхода дорогостоящих магнитных материалов и улучшению массогабаритных показателей машины. Проектированием и изготовлением ВД также занимаются: ОАО "КБ ПА", г. Ковров; лаборатория спецмашин (ЛСМ) ЗАО "СЗЭМО", г. Санкт-Петербург (дисковые СДПМ); конструкторское бюро мехатроники, г. Златоуст Челябинской области; отдел электромеханических систем воспроизведения движений (ОЭСВД) и лаборатория электромеханики Новосибирского государственного технического университета, а также многие другие предприятия.

## ВИДЫ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В зависимости от конструктивных особенностей СДПМ различают два основных вида вентильных двигателей [3, 4]:

1. Бесконтактные (бесщеточные) двигатели постоянного тока (БДПТ), в англоязычной литературе называемые "brushless DC motors", в которых конструкция синхронной машины магнитоэлектрического возбуждения, т.е. геометрическое расположение витков обмотки якоря на статоре и постоянных магнитов на роторе, обуславливает фазные ЭДС вращения трапецеидальной формы (рис. 3).

2. Бесконтактные двигатели переменного тока - "permanent-magnet brushless AC motors", фазные ЭДС, вращения которых имеют синусоидальный характер. Именно такие системы чаще всего называют вентильными двигателями - ВД.

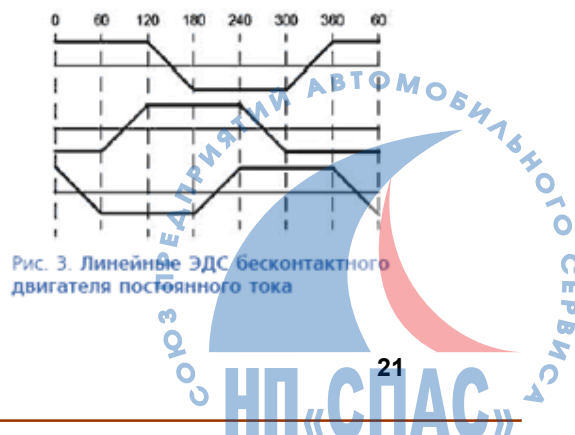


Рис. 3. Линейные ЭДС бесконтактного двигателя постоянного тока

## БЕСКОНТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

По принципу действия БДПТ представляет собой обращенную машину постоянного тока с магнитоэлектрическим индуктором на роторе и обмоткой якоря на статоре, функции щеточно-коллекторного узла в которой выполняет полупроводниковый коммутатор, питающий обмотку якоря и переключающийся в функции положения ротора.

Наиболее часто используются БДПТ с трехфазной обмоткой на статоре. Статор трехфазного БДПТ идентичен статору асинхронного двигателя (рис. 4) [5], и его обмотка, как правило, соединена в звезду. Возможные варианты конструкции ротора двигателя и расположения постоянных магнитов иллюстрируются на рис. 5 [4]. Момент БДПТ образуется вследствие реакции двух магнитных потоков - статора и ротора. Магнитный поток статора всегда стремится так развернуть ротор с постоянными магнитами, чтобы поток последнего совпал с ним по направлению. Так же действует магнитное поле Земли на стрелку компаса. При этом с помощью датчика положения ротора электрический угол между двумя потоками в БДПТ всегда сохраняется в диапазоне  $90 \pm 30^\circ$ , что соответствует максимальному вращающему моменту.



Рис. 4. Статор БДПТ

Для питания обмотки якоря БДПТ принципиально может применяться любой управляемый полупроводниковый преобразователь, реализующий жесткий алгоритм 120-градусной коммутации токов или напряжений трехфазной нагрузки, как показано на рис. 6 [5].

В качестве примера на рис. 7 приведена функциональная схема силовой части двухзвенного преобразователя напряжений электропривода "Триол ВТ04" (производство корп. "Триол", г. Москва), построенной на базе транзисторного IGBT инвертора с амплитудно-импульсной модуляцией выходных напряжений, которая осуществляется посредством широтно-импульсного регулирования напряжения в звене постоянного тока преобразователя.

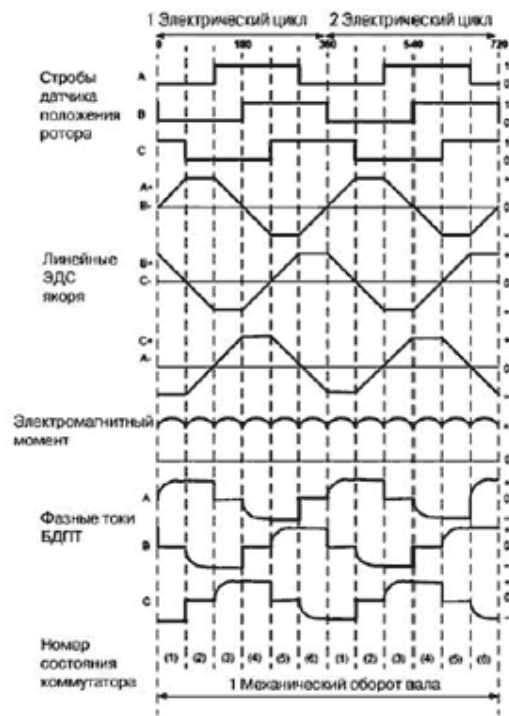


Рис. 6. Временные диаграммы работы БДПТ с двумя парами полюсов

Здесь: ВП - полупроводниковый выпрямитель (вентильный преобразователь), предназначенный для обеспечения плавного предзаряда емкости входного фильтра преобразователя Ф1; КРН - ключ регулятора напряжения на емкости

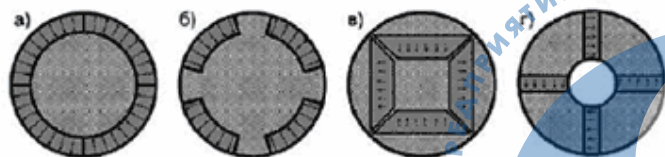


Рис. 5. Различные конструкции ротора БДПТ

выходного фильтра Ф2; РК - разрядный ключ, предназначенный для реализации режимов генераторного торможения двигателя; АИН - транзисторный автономный инвертор напряжения; ДТ - датчик тока двигателя. Могут использоваться и другие двухзвенные преобразователи частоты (ПЧ) трехфазного электропривода переменного тока:

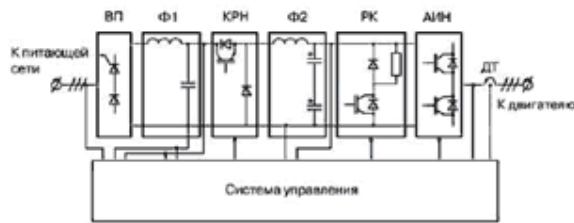


Рис. 7. Функциональная схема силовой части электрического преобразователя БДПТ

модуляции или прямого разрывного (релейного) регулирования выходного тока (см. ниже силовую схему ВД).

Механические и электромеханические (скоростные) характеристики БДПТ полностью аналогичны характеристикам классической машины постоянного тока с независимым или магнетозлектрическим возбуждением.

Поэтому и системы автоматического управления скоростью БДПТ обычно строятся по классическому принципу подчиненного регулирования координат электропривода постоянного тока с контурами тока якоря и частоты вращения.

В качестве датчика собственных нужд, необходимого для реализации алгоритма переключения коммутатора БДПТ, могут использоваться согласованные с двигателем по числу пар полюсов индуктивные или емкостные дискретные датчики положения, а также системы на базе датчиков Холла и постоянных магнитов.

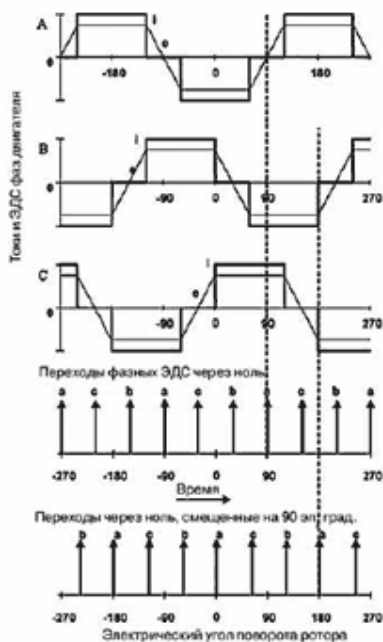


Рис. 8. К принципу «бездатчикового» управления коммутатором БДПТ

«бездатчикового» управления БДПТ основан на косвенном измерении (вычислении оценки) ЭДС одной из фаз двигателя, на данном интервале времени

Однако любой из вышеперечисленных видов датчиков существенно усложняет конструкцию электрической машины и снижает надежность электропривода в целом. Кроме того, существует широкий круг технологических механизмов, где в силу удаленности двигателя от коммутатора использование датчиков положения практически невозможно. В этой связи часто применяются так называемые "бездатчиковые" (sensorless) алгоритмы управления БДПТ, основанные на анализе поведения электромагнитных переменных СДПМ, которые могут быть измерены непосредственно на выходных клеммах полупроводникового преобразователя, и текущей частоты вращения (питания) двигателя.

Наиболее распространенный алгоритм "бездатчикового"



Рис. 10. Внешний вид преобразователя ЗРАТОX-M5

отключенной от источника питания. Коммутация токов двигателя осуществляется путем фиксации момента перехода через ноль ЭДС отключенной фазы, который со сдвигом на 90 электрических градусов определяет середину соответствующего импульса тока [4] (рис.8). К преимуществам данного способа управления следует отнести его простоту, но очевидны и следующие недостатки:

- сложность определения момента перехода ЭДС через ноль на малых скоростях;
- задержку на включение очередного состояния коммутатора удается точно сформировать лишь при постоянной частоте вращения ротора.

Дабы избежать работы с малыми сигналами и не формировать программное запаздывание, можно использовать более сложные методы косвенного оценивания положения ротора [4]:

- по третьей гармонике ЭДС вращения;
- по изменениям индуктивностей фаз двигателя;
- по оценкам потокосцеплений фаз.

Причем алгоритмы оценивания потокосцеплений, в свою очередь, базируются на наблюдателях Люенбергера, расширенных фильтрах Калмана или нейросетевых моделях электромагнитных процессов в БДПТ. Один из вариантов построения наблюдателей потокосцеплений ВД рассмотрен ниже.

Известно (см. рис. 6), что при прямоугольных напряжениях на фазах статора электромагнитный момент БДПТ существенно пульсирует (амплитуда пульсаций может достигать до 25% от номинального момента двигателя [6]), что вызывает неравномерность вращения, ограничивающую диапазон регулирования скорости снизу. Поэтому целесообразно формировать в фазах статора близкие к прямоугольным токи, для чего используются замкнутые контуры регулирования.

### ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Синхронные двигатели с синусоидальной формой ЭДС вращения и, соответственно, с синусоидально распределенными по расточке статора трехфазными обмотками якоря сложнее в изготовлении, имеют значительные лобовые части обмоток и требуют, таким образом, большего расхода меди. Однако они превосходят БДПТ по массогабаритным показателям, обеспечивают минимальные пульсации вращающего момента и поэтому используются в глубоко регулируемых и прецизионных системах электропривода, приводах подач металлорежущих станков и измерительных установках. В отличие от БДПТ, питание обмотки якоря ВД переменного тока осуществляется трехфазно-симметричной системой токов (напряжений), при этом используется ставшая уже стандартной силовая схема преобразователя электрической энергии на базе транзисторного IGBT-инвертора напряжения (рис. 9, 10). Благодаря управлению транзисторами инвертора в режиме модифицированной синусоидальной или пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с относительно высокими частотами (для двигателей малой и средней мощности с номинальной частотой питания 50 Гц частоты ШИМ могут составлять от 1 до 20 кГц) обеспечивается близкая к синусоидальной форма токов ВД.

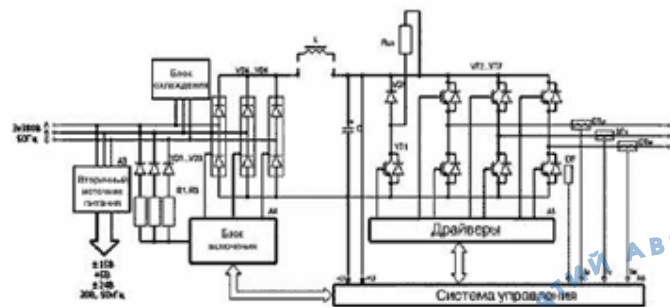
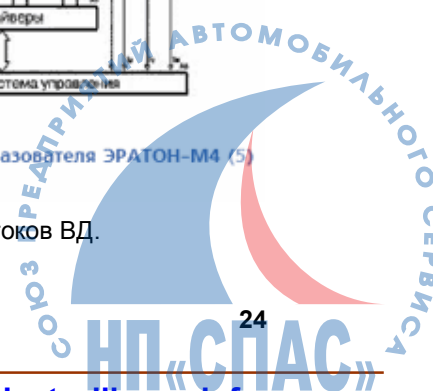


Рис. 9. Функциональная схема силовой части преобразователя ЭРАТОН-М4 (5) производства ЗАО «ЭРАСИБ» (Новосибирск)





В настоящее время в ВЭП переменного тока используются так называемые "векторные" или как их частный случай - частотно-токовые алгоритмы автоматического управления моментом и частотой вращения СДПМ. При этом управляющие воздействия на выходные переменные трехфазного инвертора напряжения - средние за период ШИМ значения фазных токов и напряжений двигателя формируются во вращающейся декартовой системе координат (d, q), ось абсцисс которой (d) ориентирована по направлению продольной оси ротора СДПМ или, в некоторых случаях, по направлению волны магнитного поля в воздушном зазоре двигателя. Значение тока якоря СДПМ по поперечной оси q, пропорциональное электромагнитному моменту (это утверждение строго выполняется для неявнополюсных машин с одинаковыми индуктивностями обмотки якоря по продольной и поперечной осям), задается аналогично току якоря классической машины постоянного тока, как правило, с выхода регулятора скорости. Таким образом, в системе регулирования ВЭП также реализуется общеизвестный принцип подчиненного регулирования координат.

Значение тока якоря по продольной оси d, аналогично току возбуждения машины постоянного тока, позволяет оптимизировать процесс электромеханического преобразования энергии и осуществлять регулирование частоты вращения СДПМ выше основной с постоянством мощности (во второй зоне). В ВЭП на базе СДПМ используются довольно сложные законы управления током по продольной оси машины, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, ограничивающие предметную область: управление с поперечным током якоря, с

единичным коэффициентом мощности ( $\cos \Phi$ ), с постоянством магнитного потока в воздушном зазоре [7].

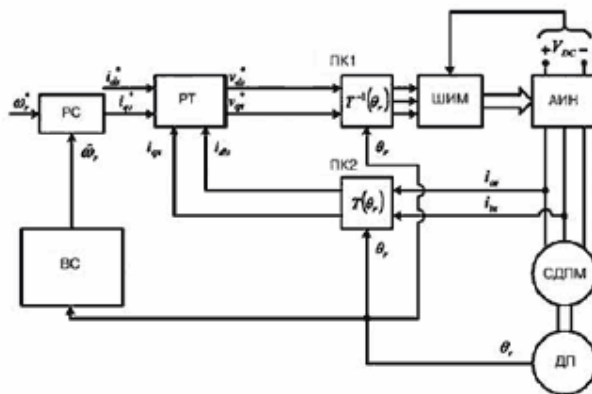


Рис. 11. Функциональная схема ВЭП переменного тока с датчиком положения ротора



Рис. 12. Структурная схема вычислителя положения ротора ВД

необходимо не только обеспечить синусоидальную форму токов двигателя, но и скомпенсировать пульсации момента, возникающие, в частности, в связи с модуляцией магнитного потока зубцами статора и явлением "тяжения" полюсов ротора к положениям максимальной магнитной проводимости для потока постоянных магнитов [8].

В качестве примера на рис. 11 приведена укрупненная функциональная схема системы управления ВЭП переменного тока с непосредственной ориентацией вращающейся системы координат по положению ротора двигателя. На рисунке: РС и РТ - регуляторы скорости и токов двигателя; ВС - вычислитель скорости; ПК1 и ПК2 - преобразователи координат; ДП - датчик положения ротора. Источник уставки по току  $i_{sd}$  на рисунке не указан. В такой системе могут быть достигнуты максимальные диапазоны регулирования частоты вращения (до  $10^5$ ) и наивысшее быстродействие, которое характеризуется полосой пропускания частот контура регулирования скорости, составляющей до 500 Гц. Время реакции момента двигателя на скачек задания тока  $i_{sq}$  может составлять величину порядка  $10^{\sup-5} \dots 10^{\sup-4}$  с.

Чтобы достичь максимальных диапазонов регулирования ВЭП,



Направлением наиболее динамичного развития ВЭП является создание "бездатчиковых" систем, не содержащих датчика положения ротора, в качестве которого традиционно применяются фотоэлектрические инкрементальные энкодеры.

Подробный обзор основных алгоритмических решений "бездатчикового" векторного управления СДПМ приведен в сборнике статей [9]. Абсолютное большинство из них основаны на косвенном определении электрического положения ротора двигателя по направлению изображающего вектора составляющей магнитного потокосцепления якоря, обусловленной постоянными магнитами. Для вычисления этого вектора или непосредственно связанного с ним положения ротора двигателя на практике наиболее часто используются классические методы оценивания: наблюдатели состояния (наблюдатели Люенбергера) полного или пониженного порядка (Full Order and Reduced Order State Observers), расширенный фильтр Калмана (Extended Kalman Filter (EKF)), адаптивные системы с задающей моделью (Model Reference Adaptive System (MRAS)), а также специальные наблюдатели, функционирующие в реальных скользящих режимах [2]. Все эти методы связаны с большим объемом вычислений, что вызывает определенные трудности при их реализации в реальном масштабе времени даже на базе современных предметно-ориентированных цифровых сигнальных процессоров (DSP). В специальной литературе также можно найти примеры применения для этих целей математического аппарата нечеткой логики и искусственных нейронных сетей. Одна из возможных структур вычислителя положения ротора СДПМ по измерениям токов и напряжений двигателя приведена на рисунке 12 [4]. В свою очередь, наблюдатель потокосцепления имеет структуру рисунка 13, соответствующую векторному уравнению равновесия напряжений статора:

$$\frac{d\Psi}{dt} = U - R_s I - L_\sigma \frac{dI}{dt},$$

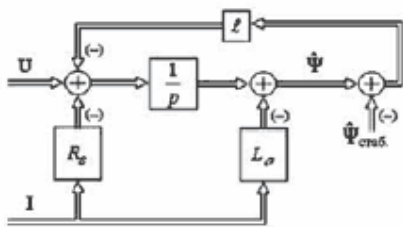


Рис. 13. Структурная схема наблюдателя потокосцепления

где  $R_s$ ,  $L_\sigma$  - активное сопротивление и индуктивность рассеяния обмотки якоря, причем обратная связь с коэффициентом  $I$  и стабилизирующая оценка потока призваны обеспечить асимптотическую устойчивость наблюдателя и синтезируются дополнительно.

Работоспособность "бездатчиковых" электроприводов напрямую зависит от точности располагаемой информации о параметрах электромагнитных процессов, которые могут изменяться, например, с температурой или степенью насыщенности участков магнитопровода машины. Для адаптации ВЭП к изменениям параметров двигателя применяются алгоритмы предварительной ("offline") и текущей ("on-line") параметрической идентификации. Алгоритмы текущей идентификации используются для адаптации наблюдателя потокосцепления в процессе работы привода и синтезируются, как правило, на основе второго (прямого) метода А.М. Ляпунова [9]. Алгоритмы предварительной идентификации автоматически определяют параметры СДПМ перед запуском электропривода, настраивая систему управления ВЭП и задавая начальные приближения параметров для алгоритмов текущей идентификации. Разработка и реализация устойчивых и достаточно точных процедур предварительной и текущей параметрической идентификации, превращающих ВЭП в "интеллектуальную" систему, составляет основу содержания большого числа проводимых в настоящее время



Рис. 14. Внешний вид силового преобразователя ВЭП «ЭРАТОН-В»

исследований [10].

## РЕАЛИЗАЦИЯ ВЭП НА БАЗЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Принципиально вентильный электропривод с векторным управлением может быть построен и на базе довольно мощных синхронных двигателей с электромагнитным возбуждением. Ярким примером тому является высоковольтный "бездатчиковый" электропривод "ЭРАТОН-В" разработки ЗАО "ЭРАСИБ" (Новосибирск).

Силовая часть электропривода (рис. 14) построена на транзисторных однофазных H-мостах. В зависимости от номинального напряжения двигателя это может быть так называемый трех- или пятиуровневый инвертор. Управление инвертором осуществляется в соответствии с описанным выше принципом ориентации управляющих воздействий по магнитному потоку ротора. Аналогичные в преобразовательной части системы имеются в арсенале многих зарубежных фирм, в частности Mitsubishi и Toshiba.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вентильный электропривод на базе СДПМ является универсальным средством электромеханического преобразования энергии и автоматизации технологических процессов. Принципы построения силовой части ВЭП уже устоялись и остаются неизменными в течение нескольких последних десятилетий, что не исключает их развитие в части улучшения электромагнитной совместимости электроприводов с питающей сетью. Главным направлением совершенствования ВЭП в ближайшей перспективе будет разработка и оптимизация адаптивных "бездатчиковых" алгоритмов управления, ориентированных на микропроцессорную реализацию и обеспечивающих диапазоны регулирования с постоянством момента 1:150...200.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вентильный электропривод: шанс для российских производителей//Оборудование: рынок, предложение, цены. - 2004. - №1.
2. Корельский Д.В., Потапенко Е.М., Васильева Е.В. Обзор современных методов управления синхронными двигателями с постоянными магнитами// Научный журнал "Радиоэлектроника. Информатика. Управление", 2001. - с. 155-159.
3. Matsui N. Sensorless PM Brushless DC Motor Drives//IEEE Trans. Ind. Electron.- Vol. 43, No. 2, P. 300-308, Apr. 1996.
4. Acarnley P.P., Watson J.F. Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines// IEEE Trans. Ind. Electron. - Vol. 53, No.2, P. 352-362, Apr. 2006.
5. Padmaraja Yedamale. Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals (AN885). - Microchip Technology Inc., 2003.
6. J. Cros et al. A novel current control strategy in trapezoidal EMF actuators to minimize torque ripples due to phase commutation// EPE Eur. Conf. Power Electron., Applicat. (EPE): Brighton, U.K. -Vol. 4, 1993, P. 266-271.
7. Morimoto S., Takeda Y., Hirasu T. Current Phase Control Methods for Permanent Magnet Synchronous Motors// IEEE Trans. Pow. Electron.-Vol. 5, No. 2, P. 133-139, Apr. 1990.
8. Holtz J., Springob L. Identification and Compensation of Torque Ripple in High-Precision Permanent Magnet Motor Drives//IEEE Trans. Ind. Electron. Vol. 43, No. 2, P. 309-320, Apr. 1996.
9. Sensorless Control of AC Motor Drives. Speed and Position Sensorless Operation/Ed. by Kaushik Rajashekara, Atsuo Kawamura, Kouki Matsuse. New York: IEEE Press, 1996.
10. Панкратов В.В. Тенденции развития общепромышленных электроприводов переменного тока на основе современных устройств силовой электроники// Силовая интеллектуальная электроника. Специализированный информационно-аналитический журнал. 2005, №2, с. 27-31.

Источник: <http://www.russianelectronics.ru/>



# Классификация современных контроллеров

*Дмитрий Громов, Главный инженер*

## Введение

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) уже давно и прочно заняли свою нишу на рынке средств автоматизации. Развитие полупроводниковой элементной базы, разработка новых средств информационного обмена, развитие алгоритмов управления способствует тому, что линейка ПЛК непрерывно расширяется. Многообразие ПЛК с различными функциональными и техническими, конструктивными характеристиками настолько велико, что разработчики систем автоматизации зачастую оказываются перед нелегким выбором: какой контроллер наилучшим образом подойдет для решения той или иной задачи.

В данной статье мы попытаемся всё множество контроллеров классифицировать по ряду признаков, которые, как нам кажется, наиболее важны для потребителя. Определение для каждого контроллера его классификационных особенностей, его места среди прочих контроллеров позволит с большей точностью сказать, подходит ПЛК для решения данной конкретной задачи или нет.

## Классификация

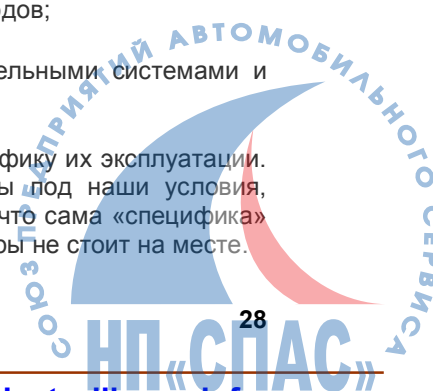
### Страна-производитель

Некоторое время назад это был очень важный классификационный признак. Считалось, что контроллеры, произведённые в Европе, Америке и Японии, гораздо надежнее, обладают гораздо большим функционалом, чем их «коллеги» из Юго-Восточной Азии и России. В настоящее время этот классификационный признак, скорее всего, потерял актуальность. Российские предприятия набрались опыта и схемотехнические решения у нас подчас даже лучше, чем у западных аналогов. По характеристикам контроллеры-аналоги различных стран-производителей почти не отличаются. Системное и прикладное программное обеспечение либо очень похоже, либо вообще используются стандартизированные продукты (к примеру OS Linux широко используется как на отечественных контроллерах, так и на импортных). Элементная база и в импортных, и в российских контроллерах применяется одна и та же. Кроме того, и отечественные, и европейские, и американские разработчики контроллеров (да и не только контроллеров) в последние годы все чаще размещают производство на одних и тех же площадках в Юго-Восточной Азии. По сути, границы между производителями электроники постепенно исчезают вообще.

На что действительно следует обратить внимание, так это на то, учтена ли при разработке контроллера российская специфика его эксплуатации. К российской специфике можно отнести:

- высокий уровень промышленных помех;
- широкий диапазон изменения параметров атмосферной и промышленной сред;
- возможность информационной связи с рядом морально устаревших, но ещё находящихся в эксплуатации средств автоматизации выпуска российских предприятий 80-х годов;
- возможность информационной связи с рядом морально устаревших, но ещё находящихся в эксплуатации средств автоматизации выпуска российских предприятий 80-х годов;
- низкую культуру оперативного персонала в части общения с вычислительными системами и дисплейными рабочими станциями.

Контроллеры российского производства учитывают российскую специфику их эксплуатации. Но и зарубежные производители также стали адаптировать свои приборы под наши условия, пытаясь занять часть российского рынка. И, справедливости ради, заметим, что сама «специфика» постепенно сходит на нет, развитие персонала, производства и инфраструктуры не стоит на месте.



Вывод: страну производитель, как серьезный фактор классификации рассматривать не стоит.

### **Мощность**

Под обобщённым термином «мощность» понимается разрядность и быстродействие центрального процессора, объём разных видов памяти, число портов и сетевых интерфейсов. Очень часто основным показателем, косвенно характеризующим мощность контроллера и, одновременно, являющимся важнейшей его характеристикой, является число входов и выходов (как аналоговых, так и дискретных), которые могут быть подсоединены к контроллеру. По этому показателю контроллеры подразделяются на следующие классы:

- наноконтроллеры (часто с встроенными функциями), имеющие до 15 входов/выходов;
- малые контроллеры, рассчитанные на 15-100 входов/выходов;
- средние контроллеры, рассчитанные примерно на 100-300 входов/выходов;
- большие контроллеры, рассчитанные примерно на 300-2000 входов/выходов;
- сверхбольшие контроллеры, имеющие примерно от 2000 и более входов/выходов.

Очень важно отметить, что с ростом мощности контроллера растёт его цена. Причем при переходе разница по цене между различными классами контроллеров очень значительна. Одна из задач при разработке системы управления – это чётко зафиксировать число входных и выходных сигналов объекта управления, чтобы избежать лишних затрат при выборе контроллера.

### **Область применения**

Область применения – один из наиболее важных признаков классификации. Область применения контроллера накладывает целый ряд требований к контроллерам и очень сильно сужает круг поиска при разработке систем управления.

### ***Специализированный контроллер со встроенными функциями***

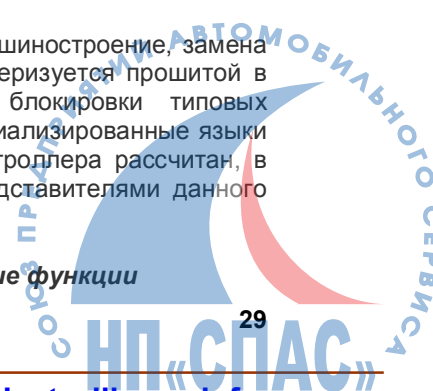
Обычно им является минимальный по мощности контроллер, программа действия которого заранее прошита в его памяти, а изменению при эксплуатации подлежат только параметры программы. Число и набор модулей ввода/вывода определяется реализуемыми в нем функциями. Часто такие контроллеры реализуют различные варианты функций регулирования. Основные области применения: локальное управление какой-либо малой технологической установкой или механизмом.

Так, например, управление нагревом муфельной печи имеет смысл осуществить при помощи отдельного температурного контроллера. Во-первых, контроллер можно будет расположить возле самой печи, что избавит от необходимости далеко вести провода от датчиков, а во-вторых, температурные контроллеры, как правило, имеют органы индикации, которые позволяют видеть текущее значение температуры.

### ***Контроллер для реализации логических зависимостей (коммандоаппарат)***

Главные сферы применения такого контроллера: станкостроение, машиностроение, замена релейно-контактных шкафов во всех отраслях промышленности. Он характеризуется прошитой в его памяти развитой библиотекой логических функций и функций блокировки типовых исполнительных механизмов. Для его программирования используются специализированные языки типа релейно-контактных схем. Набор модулей ввода/вывода у такого контроллера рассчитан, в основном, на разнообразные дискретные каналы. Наиболее простыми представителями данного класса контроллеров являются интеллектуальные реле.

### ***Контроллер, реализующий любые вычислительные и логические функции***



Наиболее распространённый универсальный контроллер, не имеющий ограничений по области применения. Центральный процессор контроллера имеет достаточную мощность, разрядность, память, чтобы выполнять как логические, так и математические функции. Иногда, для усиления его вычислительной мощности, он снабжается ещё и математическим сопроцессором (во многих современных процессорах математический сопроцессор интегрирован в сам кристалл). Инструментальные средства для программирования таких контроллеров, как правило, поддерживают несколько языков программирования, таких как язык релейно-контактных схем, функционально-блоковых диаграмм, язык C, Basic, Pascal и тому подобные. Как правило, также предоставляется большая библиотека уже реализованных логических, математических и коммуникационных функций. В состав модулей ввода/вывода входят модули на всевозможные виды и характеристики каналов (аналоговых, дискретных, импульсных и т. д.).

#### ***Контроллер противоаварийной защиты***

**Он должен отличаться от контроллеров других классов:**

- особенно высокой надёжностью, достигаемой различными вариантами диагностики и резервирования (например, диагностикой работы отдельных компонентов контроллера в режиме реального времени, наличием основного и резервного контроллеров с одинаковым аппаратным и программным обеспечением и с модулем синхронизации работы контроллеров, резервированием блоков питания и коммуникационных шин);
- высокой готовностью, т. е. высокой вероятностью того, что объект находится в рабочем режиме (например, не только идентификацией, но и компенсацией неисправных элементов; не просто резервированием, но и восстановлением ошибок программы без прерывания работы контроллеров);
- отказоустойчивостью, когда при любом отказе автоматизируемый процесс переводится в безопасный режим функционирования.

Контроллер цепи противоаварийной защиты должен иметь сертификат, подтверждающий безопасность его работы в цепях противоаварийной защиты.

#### ***Контроллер телемеханических систем автоматизации***

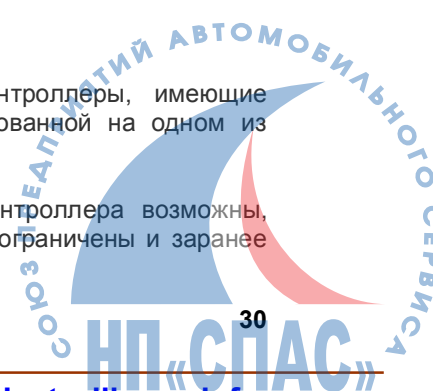
Данный класс универсальных контроллеров удобен для создания систем диспетчерского контроля и управления распределёнными на местности объектами. В контроллерах данного класса повышенное внимание уделяется программным и техническим компонентам передачи информации на большие расстояния беспроводными линиями связи. В качестве таких линий часто используются УКВ-радиоканалы с обычными или транковыми радиостанциями. При этом возможна передача информации от каждого контроллера в диспетчерский центр, а также эстафетная передача информации по цепи от одного контроллера к другому до достижения диспетчерского центра.

В настоящее время, в связи с большим скачком в развитии сотовой связи, всё большее распространение получает передача информации через сети GSM. По сравнению с транковыми сетями сети GSM имеют ряд достоинств и недостатков, обсуждение которых выходит за рамки данной статьи. Тем не менее отметим, что всё большее количество производителей контроллеров для телемеханических систем автоматизации предлагают коммуникационные модули со встроенными GSM-модемами.

#### **Открытость архитектуры**

По структуре контроллеры подразделяются на два класса: контроллеры, имеющие фирменную закрытую структуру, и контроллеры открытой структуры, основанной на одном из магистрально-модульных стандартов.

При закрытой фирменной структуре изменения (модификации) контроллера возможны, обычно, только компонентами производителя. Сами изменения достаточно ограничены и заранее оговорены производителем.



При открытой магистрально-модульной структуре, имеющей стандартный интерфейс для связи центрального процессора с другими модулями контроллера, ситуация кардинально меняется:

- открытость и широкая доступность стандарта на шину, соединяющую модули разного назначения, даёт возможность выпускать в данном стандарте любые модули разным производителям, а разработчикам контроллеров даёт возможность компоновать свои средства из модулей разных фирм;
- возможность любой модификации и перекомпоновки средств путем замены в них отдельных модулей, а не замены самих средств, удешевляет эксплуатацию средств;
- сборка контроллеров из готовых модулей позволяет точнее учитывать конкретные технические требования и не иметь в них лишних блоков и элементов, не нужных для данного конкретного применения;
- широкая кооперация разных фирм, поддерживающих данный стандарт на шину и работающих в этом стандарте, позволяет пользователям модулей не быть привязанными к конкретному поставщику и иметь широкий выбор необходимой ему продукции.

В качестве примера распространённого стандартного интерфейса для обмена информацией внутри контроллера можно привести интерфейс VME. Эта шина была разработана фирмой Motorola и впоследствии была стандартизирована IEC как ANSI/IEEE 1014-1987 (отечественный аналог – ГОСТ Р МЭК 821-2000).

### PC-совместимость

По этому признаку все контроллеры можно разделить на два класса: PC-совместимые и PC-несовместимые. Каждый из этих классов имеет свои достоинства и недостатки.

PC-совместимые контроллеры можно охарактеризовать следующими особенностями:

- они имеют классическую открытую архитектуру IBM PC;
- в них используется элементная база, та же, что и у обычных PC;
- они работают под управлением тех же операционных систем, которые широко используются в персональных компьютерах, например Windows, Unix, Linux, QNX;
- программируются они теми же языками, которые используются для разработки ПО для PC;
- на них, как правило, возможна работа программного обеспечения, разработанного для персональных компьютеров, при наличии требуемых для ПО аппаратных ресурсов.

PC-несовместимые контроллеры можно охарактеризовать так:

- архитектура контроллеров закрыта, она, как правило, является ноу-хау разработчика;
- элементная база, на которой строятся контроллеры, существенно отличается от используемой в PC, она разная у разных производителей;
- операционные системы, под управлением которых работают контроллеры, совершенно другие, нежели те, которые используются в PC, они часто разрабатываются самими производителями именно для данного типа или линейки контроллеров;
- так как в таких контроллерах практически не используются стандарты, предлагаемые разработчиками распространённых операционных систем для PC, то работа PC-программ на этих контроллерах оказывается невозможной.

Из рассмотренных выше характеристик можно сделать вывод о сравнительных достоинствах и недостатках PC-совместимых и несовместимых контроллеров. PC-совместимые контроллеры по сравнению с PC- несовместимыми контроллерами в целом обладают большей мощностью, легче стыкуются с различными SCADA, MES, ERP системами, системами управления базами данных, открыты для большинства стандартов в областях коммуникаций и программирования, они в среднем дешевле, проще обслуживаются и ремонтируются.

В то же время PC-несовместимые контроллеры лучше учитывают требования промышленной автоматизации; их операционные системы гарантируют отклик контроллера на внешнее событие через заданное время (операционные системы реального времени). Они в целом более надежны, так как больше используют наработанные в промышленности способы диагностики и горячего резервирования, обеспечивающие отказоустойчивость системы в целом. В них шире используются возможности связи с различными полевыми шинами.

**Достоинства и недостатки каждого из этих видов контроллеров определяют их области использования.** PC- несовместимые контроллеры целесообразно применять на нижних уровнях автоматизации, «поближе» к технологическому объекту. Здесь необходимы связь с периферийными устройствами по полевым шинам, исполнение в реальном времени (с гарантированным временем отклика на внешние воздействия) и надёжность. А открытость контроллера для связи со SCADA, MES или СУБД, как правило, не требуется. PC-совместимые же контроллеры целесообразнее применять на верхних уровнях автоматизации, где требования к реальному времени и связи по полевым шинам отсутствуют, зато становятся строже требования по информационной совместимости контроллеров с корпоративными сетями.

#### **Конструктивное исполнение**

По конструктивному исполнению контроллеры можно разделить на несколько групп, мы их условно назовем так:

- встраиваемые;
- размещаемые в общий конструктив;
- модульного типа;

#### ***Встраиваемые контроллеры***

Как правило не имеют корпуса, часто конструкция просто крепится на раме. Требованиям к защитным оболочкам таких контроллеров не предъявляются, поскольку контроллеры встраиваются в общий корпус оборудования и являются неотъемлемой частью этого оборудования. Пример встраиваемого контроллера приведен на рис. 1.



Рис.1



**Контроллеры, размещаемые в общий конструктив**

Такие контроллеры характеризуются тем, что все модули – процессорный, коммуникационные, модули ввода-вывода – размещаются в одном конструктиве. В таких контроллерах, как правило, предусматривается некая «материнская» плата с разъёмами, в которые вставляются все модули контроллера.

Конструктивы таких контроллеров бывают как оригинальными, разрабатываемыми производителями, так и стандартизированными. Одним из примеров стандартизированных конструктивов является конструктив Евромеханика (DIN 41494 / IEC 297-1). Стандарт Евромеханика регламентирует ширину, высоту и глубину рамы контроллера. Пример контроллера в конструктиве Евромеханика приведён на рис. 2.



Рис.2

На рис. 3 приведён пример контроллера в нестандартизированном конструктиве.

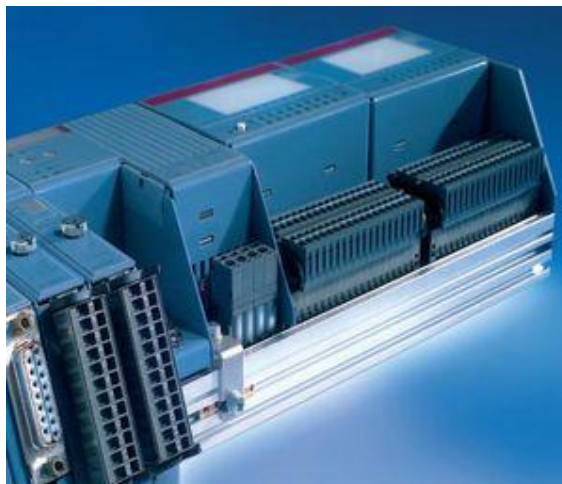
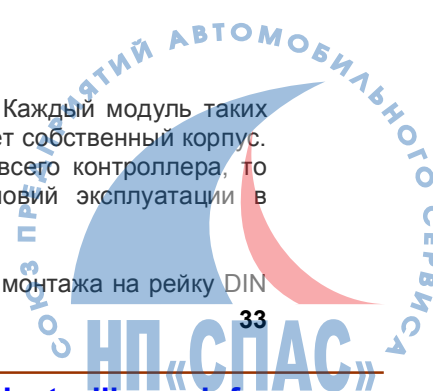


Рис.3

**Контроллеры модульного типа**

Контроллеры модульного типа не используют общего конструктива. Каждый модуль таких контроллеров, будь то процессорный модуль или модуль ввода-вывода, имеет собственный корпус. Так как защитную оболочку для каждого модуля сделать проще, чем для всего контроллера, то именно этот тип контроллеров чаще всего выпускают для жёстких условий эксплуатации в исполнениях IP 67 и выше.

Контроллеры модульного типа очень часто выпускают в корпусе для монтажа на рейку DIN



NS 35/7,5. Можно выделить две разновидности контроллеров: с внутренней межмодульной шиной и с внешней шиной.

Модули контроллеров с внутренней межмодульной шиной на боковых поверхностях имеют контакты для подключения соседних модулей. А модули контроллеров с внешней шиной, как правило, используют для связи между модулями какую-нибудь скоростную полевую шину, например CAN.

В качестве примера на рис. 3 показан контроллер с внутренней шиной, а на рис. 4 и рис. 5 показаны модули контроллера с внешней шиной, приспособленные для эксплуатации в жёстких условиях.



Рис.4



Рис.5

### Заключение

Для правильного выбора контроллера применительно к той или иной задаче, конечно, не будет достаточно классифицировать его по тем или иным признакам. Разработчикам АСУ приходится изучать горы литературы и технической документации. Но тем не менее классификация контроллеров позволяет лучше понять их рынок в целом и сократить время на поиск и выбор наиболее подходящей модели.

Источник: <http://contravt-metodichka.ru/>



## Школа для электрика

<http://www.electricalschool.info/>

Информационный электротехнический сайт.  
Устройство, проектирование, монтаж, наладка,  
эксплуатация и ремонт электрооборудования.

Статьи, советы, полезная информация



## Надежность автоматики: проблемы и решения

Автор: Игорь ШЕЛЕСТОВ, инженер компании ОВЕН

Надёжность электронных и электротехнических устройств во многом определяется надёжностью применяемых коммутирующих элементов. О надёжности самих коммутирующих элементов пойдёт речь в этой статье.

Как известно, значительная часть неисправностей в электронных устройствах связана либо с отсутствием электрического контакта, либо с наличием там, где быть его не должно. Среди разных видов электрических коммутаторов почётное место занимают электромагнитные реле. В электротехнике и электронике они используются для коммутации цепей прохождения сигналов, а в простейшей автоматике служат для организации логики управления и включения исполнительных устройств.

### История развития

Первые компьютеры изготавливались релейными. В 1931 году американская корпорация IBM первой в мире выпустила релейную вычислительную машину модели IBM-601. За период до 1935 г. их было продано более 1500. Несмотря на большие габариты устройства (см. <http://www.columbia.edu/acis/history/601.html>), представители бизнеса, инженеры и учёные были очень довольны его работой. Просто альтернативы реле в то время не было. Найдутся ли сегодня желающие постоянно пользоваться релейным вычислителем? Первые электромагнитные реле (от английского relay – смена, передача) появились в телеграфных аппаратах, затем их стали использовать в телефонии, где они до недавнего времени составляли основу элементной базы АТС. Реле совершенствовались и вскоре стали неотъемлемой частью большинства электронных и электротехнических устройств. До изобретения активных полупроводниковых компонентов на электромагнитных реле выполнялась вся промышленная автоматика. Начиная с 60-х годов

электромагнитные реле начали постепенно вытесняться электронными коммутаторами. Широкому распространению электромагнитных реле в автоматике способствовало наличие у них ряда полезных свойств, основные из которых – хорошая электроизоляция между коммутируемыми цепями (количество которых может превышать десятков) и малое контактное сопротивление. К недостаткам, ограничивающим область применения реле, а в некоторых случаях сводящим к нулю все достоинства, относятся износ подвижных частей и самих контактов (окисление, залипание или сваривание), а также дребезг соединения при переключении (он создаёт помехи и тоже ускоряет износ). Попробуем разобраться в причинах этих недостатков.

### О контактах электромагнитных реле

Любая поверхность характеризуется наличием неровностей, препятствующих полному её контакту с другой поверхностью. Вследствие этого электрическое соединение при замыкании контактов реле образуется на небольших площадках, как это показано на рис. 1. В результате получается неравномерное распределение тока по поверхностям. Плотность тока в местах контактирования может достигать больших значений, что приводит к нагреву и коррозии материала контактов (рис. 2).

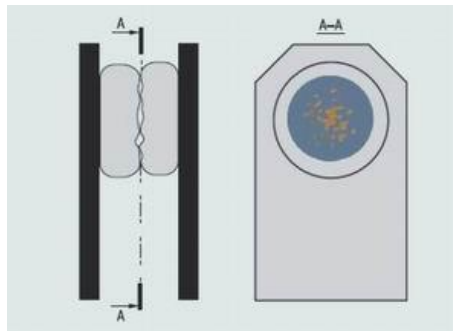


Рис. 1 – Условное изображение замкнутых контактов реле (увеличено)



Рис. 2 - Вид контактов электромагнитного реле, проработавшего некоторое время

Немало проблем создаёт и электрический разряд, возникающий при механической коммутации цепей. При разряде материал контактов испаряется и разбрызгивается, а поверхности окисляются. Следует отметить, что при коммутации реактивной нагрузки контакты разрушаются быстрее из-за большей энергии разряда.

Наиболее наглядно перечисленные недостатки проявляются при больших коммутируемых токах – увеличение тока увеличивает износ контактов. При токовой перегрузке они могут просто привариться друг к другу – именно по этой причине по правилам техники безопасности требуется неисправную аппаратуру отключать от сети отсоединением питающего кабеля (даже у обычного механического выключателя контакты могут привариться и не разомкнуть цепь). Не вникая глубоко в теорию коммутационных процессов, обратимся к практике.



Ненадёжность большинства типов реле может подтвердить любой электрик, имеющий опыт обслуживания промышленного оборудования. В качестве примера вспоминается случай из жизни, свидетелем которого автору довелось стать на одном небольшом предприятии.

В цеху работала бригада электриков, состоявшая из трёх человек. Скучно им никогда не было из-за этих самых электромагнитных реле. Дело в том, что на производственном оборудовании использовалось много электронагревателей для превращения гранул сырья в текучую пластическую массу. По технологии экструдер пресса во всех зонах прогревался до определённых температур – везде разных. Для поддержания нужной температуры в зонах были установлены датчики на основе термопар и терморегуляторы с релейным выходом, которые автоматически коммутировали нагреватели при помощи мощных промежуточных реле. Их контакты периодически приходилось зачищать (занятие хлопотное, да и помогает не надолго), а оборудование при этом простаивало. К тому же неисправные цепи надо было ещё найти, что тоже требовало дополнительного времени.

Когда электрикам окончательно надоело выполнять эту малоэффективную работу, в перерывах между ремонтами они начали самостоятельно, из подручных материалов, собирать электронные коммутаторы для замены электромагнитных реле. Выглядит такое устройство очень просто: на диэлектрическом основании закрепляются на радиаторах два тиристора и один резистор (рис. 3).

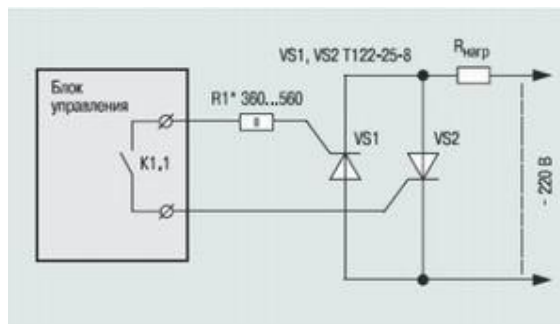


Рис. 3 - Схема электронного коммутатора для цепи переменного тока

Коммутатор выполнен на двух встречно включенных тиристорах, но на каждой полуволне сетевого напряжения будет работать только один – соответствующий. При замыкании управляющих контактов K1.1 в нагрузку будет поступать почти неискаженный синус, ведь тиристоры открываются практически в самом начале полуволны напряжения. Для управления включением нагрузки используется особенность внутренней структуры тиристорov, обеспечивающая протекание управляющего тока при замкнутых контактах промежуточного реле (K1). Резистор R1 ограничивает этот ток и имеет номинал 360...560 Ом (мощность не менее 2 Вт). Контакты K1.1 в цепи управления тиристорov могут быть низковольтными и слаботочными (150...250 мА), что практически обеспечивает любое миниатюрное реле из используемых в стандартных электронных блоках управления. Тиристоры выбираются в зависимости от нужного тока в нагрузке.

#### О других вариантах замены силового реле

Для коммутации цепей переменного тока лучше подходят симисторы, которых требуется в два раза меньше, чем тиристорov. Многими из них также можно управлять при помощи контактов маломощного реле, например, как это показано на рис. 4.



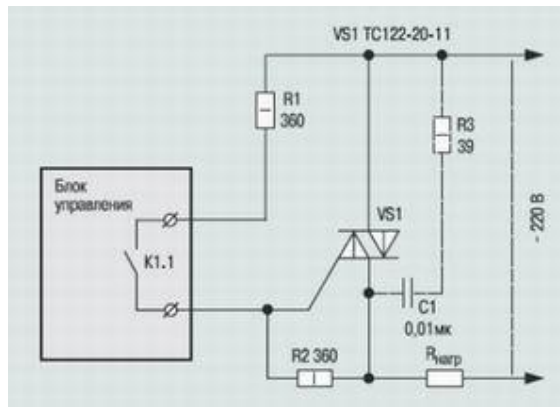


Рис. 4 - Схема силового коммутатора на симисторе

Довольно простой получается схема управления для коммутации небольшой мощности (100...150 Вт) с использованием симистора КУ208Г (Г1) (рис. 5).

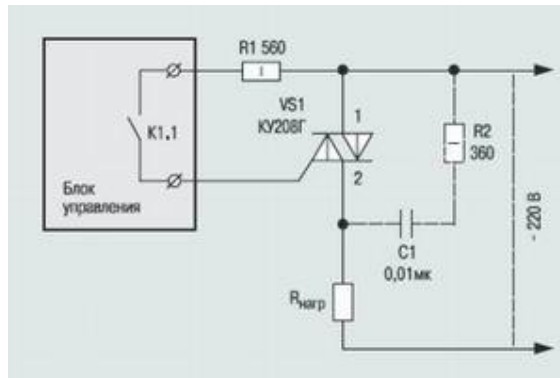
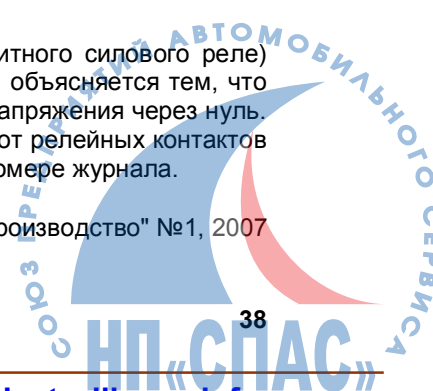


Рис. 5 - Схема коммутатора на симисторе КУ208Г

Этот симистор, однако, не рекомендуется применять в промышленной автоматике из-за низкого рабочего напряжения (всего 400 В). Силовые тиристоры и симисторы выбираются так, чтобы номинальный рабочий ток для них был всегда больше, чем проходит в цепи нагрузки, а класс рабочего напряжения (последняя цифра в обозначении промышленных коммутаторов) по возможности выше. Это обеспечит надёжную работу коммутатора даже в условиях высоковольтных импульсных помех. Импульсные помехи не редкость при включении и выключении мощных электромоторов и других потребителей энергии на производстве. Показанные на схемах пунктиром RC-цепи из последовательно включенных резистора и конденсатора рекомендуется применять для защиты электронных ключей от высоковольтных выбросов напряжения в сети в момент коммутации индуктивной нагрузки. Конденсатор для этих целей лучше использовать типа К42У-2 или К73-11 с номиналом 0,01...0,1 мкФ и рабочим напряжением не менее 630 В. Вместо этих цепей можно также использовать варисторы на рабочее напряжение 630 В. Тиристоры и симисторы исключают возникновение разряда при переключении и отличаются высокой надёжностью, так как выдерживают значительные кратковременные перегрузки по току.

Общим недостатком приведённых выше схем (как и у электромагнитного силового реле) является появление в сети импульсных помех при коммутации нагрузки. Это объясняется тем, что момент замыкания силовой цепи не синхронизирован с переходом сетевого напряжения через нуль. Чтобы избавиться от коммутационных помех придётся полностью отказаться от релейных контактов и во вспомогательных цепях управления, о чём и пойдёт речь в следующем номере журнала.

Источник: журнал "Автоматизация и производство" №1, 2007



## Реле времени ЭРКОН-215

Назаров Андрей, старший инженер

Реле времени ЭРКОН-215 представляет собой одноканальный программируемый автомат и предназначено для автоматического замыкания-размыкания внешних цепей посредством группы переключающих контактов встроенного электромеханического реле с индикацией временного отсчёта.

Прибор может использоваться во всех процессах коммутации, управления, пуска-защиты и различных схемах регулирования, где требуется выдержка времени.

Применение реле времени возможно в пищевой, химической и нефтехимической промышленности, в производстве пластмасс и термической обработке материалов, в машиностроении и других отраслях промышленности для управления установками и технологическими процессами.

### ЭРКОН-215 и ЭРКОН-214

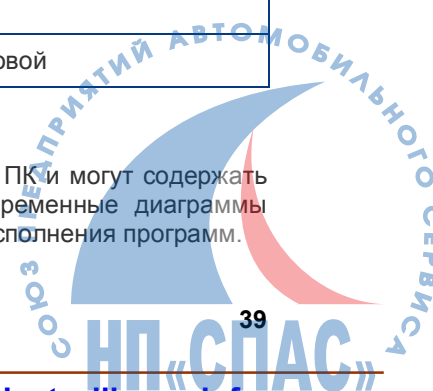
Реле времени ЭРКОН-215 продолжает линейку счётно-временных устройств, производимых НПФ КонтрАвт. В номенклатуре продукции НПФ КонтрАвт ближайшим по функциональности устройством является одноканальное реле времени ЭРКОН-214. Но, как и вся вновь разрабатываемая продукция, ЭРКОН-215 приобрёл ряд преимуществ по отношению к своему прототипу. Сравнительная характеристика ЭРКОН-214 и ЭРКОН-215 представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Функциональная характеристика	ЭРКОН-224	ЭРКОН-225
Цифровой дисплей	+	+
Светодиодная индикация состояния выходных реле	+	+
Релейный выход (синхронная группа контактов)	+	+
Разъёмный клеммный соединитель	-	+
Сохранение параметров при отключении питания	+	+
Защита параметров паролем	-	+
Необходимость переключения ДИП-переключателей для конфигурирования	+	-
Гальваническая изоляция цепей входных сигналов	-	+
Встроенный изолированный источник +24В	-	+
Расширенный диапазон напряжений питания	-	+
Изолированный интерфейс EIA/TIA-485 (RS-485)	-	+
Монтаж	DIN-рельс	щитовой

О некоторых функциях реле ЭРКОН-215 расскажем подробнее:

**Временные диаграммы** программируются с передней панели или с ПК и могут содержать до 99 шагов различной длительности, что позволяет программировать временные диаграммы высокой сложности. Еще большую гибкость дает возможность циклического исполнения программ.



**Цифровой дисплей** облегчает контроль прохождения временных диаграмм, позволяет программировать реле с передней панели. Яркая цифровая индикация хорошо видна даже в условиях плохой освещённости.

**Интерфейс RS-485** позволяет удалённо контролировать и управлять работой реле, программировать временные диаграммы и т. п. Поддержка протокола MODBUS RTU на этой полевой шине даёт возможность использовать ЭРКОН-215 в SCADA-системах, реализуя, таким образом, сложные алгоритмы управления.

**Гальваническая изоляция цепей входных сигналов от цепей питания и интерфейса** значительно повышает надёжность ЭРКОН-215 и улучшает безопасность работы с ним.

**Разъёмный клеммный соединитель** позволяет производить монтаж-демонтаж реле без пайки или переподключения монтажных проводов. Кроме того, это снижает риск неправильного подключения сигнальных и сетевых контактов.

**Полный доступ к функциям управления реле с лицевой панели** также облегчает работу с прибором, ибо не требует вскрытия приборного шкафа для доступа к ДИП-переключателям и другим скрытым органам управления.

**Встроенный изолированный источник +24 В** позволяет подключать внешние датчики или органы управления (кнопки, концевые выключатели и т. п.) без дополнительных источников питания.

**Два уровня защиты параметров паролем** исключают возможность случайного или намеренного изменения конфигурации.

**Сервисное программное обеспечение** существенно облегчает настройку реле при помощи компьютера.

### Конструктив

Конструктивно прибор выполнен в пластмассовом корпусе щитового крепления. Клавиатура для управления и цифровой дисплей для визуального контроля вводимых данных находятся на лицевой панели прибора. Подключение внешних устройств осуществляется через клеммный соединитель, находящийся на задней стенке прибора. Настройка всех параметров реле времени производится только со стороны лицевой панели и доступ к клеммному соединителю необходим только на стадии монтажа устройства.

### Функциональная блок-схема

Функциональная блок-схема реле времени ЭРКОН-215 приведена на рис. 1.

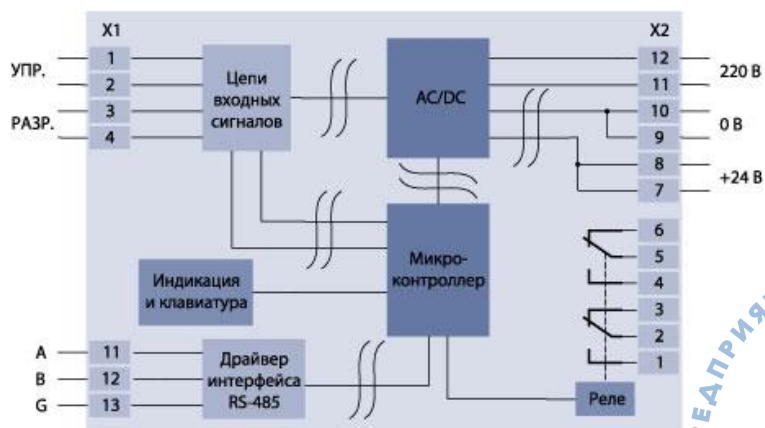


Рис. 1.





### Временные диаграммы

Коммутирование внешних цепей реле времени ЭРКОН-215 производит по программе, заданной пользователем, при помощи синхронной группы контактов встроенного электромеханического реле. Программа представляет собой последовательность замкнутых и разомкнутых состояний исполнительного устройства и для каждого из этих состояний задано значение выдержки времени, в течение которого это состояние должно поддерживаться. Замкнутое или разомкнутое состояние исполнительного устройства и соответствующая ему выдержка времени называются временным интервалом. Пример временного интервала приведён на рис. 2. ЭРКОН-215 позволяет пользователю задавать до 99 временных интервалов включительно, причём нечётным номерам интервалов соответствует разомкнутое состояние исполнительного устройства, а чётным номерам – замкнутое.

Задание значений временных интервалов осуществляется в меню оперативного управления, вход в которое имеет пароль для защиты вводимых данных от несанкционированного изменения. Количество временных интервалов, для которых пользователь может задавать значения, устанавливается соответствующим параметром в меню конфигурирования прибора. Вход в это меню также защищён паролем.

Запрограммированная последовательность временных интервалов называется временной диаграммой, и её исполнение всегда начинается с наименьшего номера временного интервала, для которого задано ненулевое значение выдержки времени.

Пример временной диаграммы приведён на рис. 2.



Рис. 2.

На графиках состояние сигналов показано условно – замкнутому выходному контакту поставлен в соответствие высокий уровень, а разомкнутому – низкий.

По окончании выдержки времени одного временного интервала реле времени автоматически переходит к обработке следующего интервала, для которого задано ненулевое значение и т. д. Номер временного интервала и его значение, а также состояние исполнительного устройства, постоянно выводятся на цифровой дисплей и светодиодную индикацию лицевой панели прибора и во время задания выдержек времени пользователем, и во время исполнения заданной программы (временной диаграммы). Параметр индикации предпочтительного направления отсчёта, находящийся в меню конфигурирования прибора, позволяет выбрать, какой временной отсчёт будет выведен на цифровой дисплей во время исполнения временной диаграммы: время, отсчитанное с начала текущего временного интервала, или время, оставшееся до окончания текущего временного интервала. Можно так же проконтролировать время, прошедшее с начала интервала или оставшееся до его окончания, нажатием и удержанием одной из кнопок на лицевой панели прибора. После отпущения кнопки показания цифрового дисплея вернутся к значению, определённому вышеописанным параметром индикации. Эти возможности делают процедуру программирования и дальнейшего визуального контроля работы прибора простой и интуитивно понятной.

Во время исполнения временной диаграммы возможно изменение значения любого ранее запрограммированного временного интервала. Причем, если производится изменение значения временного интервала, обрабатываемого в данный момент, то в случае ввода нового значения меньшего, чем уже отработанный временной промежуток от начала текущего интервала, данный интервал считается оконченным и происходит переход к отсчёту следующего интервала. В случае ввода нового значения большего, чем уже отработанный временной промежуток от начала текущего интервала, данный интервал продолжает обрабатываться, но длительность его будет определяться вновь введенным значением.

Все параметры и значения временных интервалов, введённые пользователем, сохраняются в энергонезависимой памяти прибора и отключение питания не приводит к их потере.

Реле времени ЭРКОН-215 может формировать выдержки времени в трёх различных диапазонах: 0,1 с – 999,9 с, 0,1 мин – 999,9 мин, 0,1 ч – 999,9 ч. Диапазон, необходимый для исполнения временной диаграммы, должен выбираться пользователем на стадии настройки параметров прибора (конфигурирования) под конкретную задачу, так как, в отличие от значений временных интервалов, выбранный диапазон нельзя изменить, не прерывая исполнения временной диаграммы. Данный параметр находится в меню конфигурирования прибора.

### **Управление внешними дискретными сигналами**

Для подключения внешних сигналов управления исполнением временной диаграммой пользователя ЭРКОН-215 имеет два входа, гальванически изолированных от всех других электрических цепей устройства. С помощью сигнала одного из входов производится запуск исполнения временной диаграммы, с помощью другого – разрешение-блокировка исполнения временной диаграммы. К входам могут быть подключены элементы или устройства, имеющие «сухой контакт» – кнопки, выключатели, герконы, реле и т. д.; бесконтактные оптические, индуктивные или емкостные датчики, имеющие на выходе транзисторные ключи п-р-п типа – для питания датчиков на клеммник прибора выведено напряжение питания +24 В, которое гальванически изолировано от всех других электрических цепей устройства; другие типы датчиков с выходным напряжением высокого уровня, не превышающим 30 В, и низкого уровня, не превышающим 2 В. К разным входам могут быть подключены разные типы датчиков.

Исполнение временной диаграммы возможно только в случае наличия активного уровня управляющего сигнала на входе разрешения-блокировки работы реле времени, а именно: замкнутого «сухого контакта», или открытого состояния транзисторного ключа п-р-п типа, или низкого уровня выходного сигнала с подключенного устройства управления. Если уровень управляющего сигнала на входе разрешения-блокировки не активный, то исполнение временной диаграммы в этом случае невозможно и исполнительное устройство всегда находится в разомкнутом состоянии.

Начало исполнения временной диаграммы может быть инициировано не только активным уровнем сигнала управления на входе запуска временной диаграммы – так называемое потенциальное управление, но и изменениями состояния уровня с неактивного на активный – передний фронт сигнала управления, и с активного на неактивный – задний фронт сигнала управления. Однако, так как определение условий запуска предусматривает постоянное сканирование входных сигналов управляющим микроконтроллером прибора, минимальная длительность измененного состояния входного сигнала ограничена значением 0,3 мс. При меньших значениях длительности нельзя гарантировать правильное определение наступления условий для запуска диаграммы. Выбор условия запуска временной диаграммы осуществляется соответствующим параметром меню конфигурирования при подготовке реле времени к работе.

Если реле времени ЭРКОН-215 сконфигурировано на запуск диаграммы по переднему или заднему фронту сигнала управления, то во время исполнения временной диаграммы повторное появление условий для её запуска никак не повлияет на ход выполнения программы пользователя. Причём, запуск диаграммы по одному из фронтов сигнала управления возможен лишь в том случае, если на момент возникновения условий запуска сигнал на входе разрешения-блокировки уже имеет активный уровень. Примеры запуска исполнения временной диаграммы передним и задним фронтом сигнала управления приведены на рис. 3 и рис. 4. соответственно.

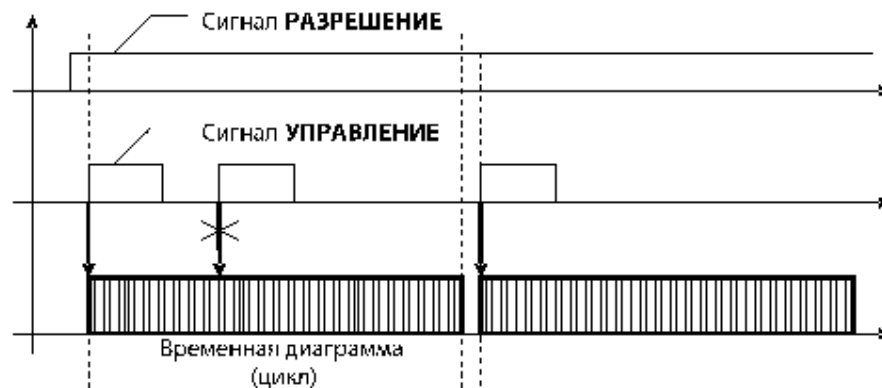


Рис. 3.

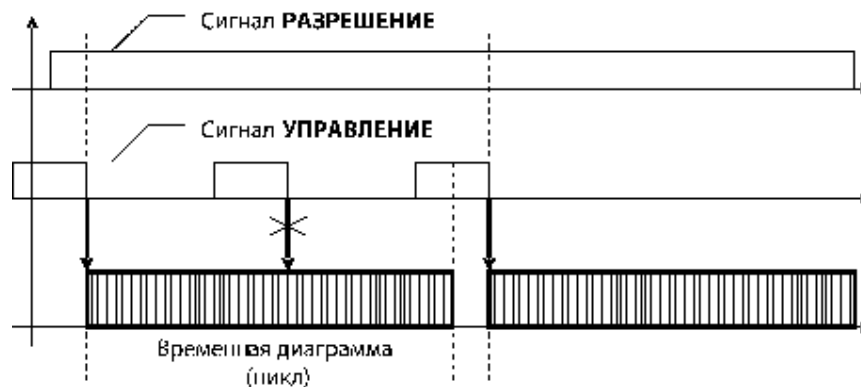
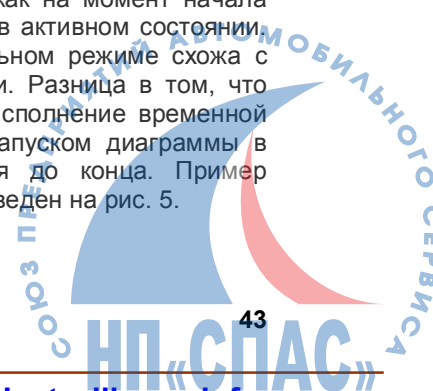


Рис. 4.

На графиках состояние сигналов показано условно – замкнутому сухому контакту на входе поставлен в соответствие высокий уровень.

Иная ситуация будет, когда параметр запуска временной диаграммы установлен на потенциальное управление. В отличие от запуска диаграммы фронтами сигнала управления, в данном случае необходимо лишь одновременное наличие активного уровня управляющего сигнала на входе запуска временной диаграммы и на входе разрешения-блокировки работы реле времени, причем не важно, какой из сигналов появился раньше по времени. Кроме того, если во время исполнения временной диаграммы уровень сигнала управления запуском будет менять свое состояние с активного на неактивный произвольное количество раз, то возможны два варианта: сигнал управления становится неактивным и остается в таком состоянии вплоть до окончания текущего временного интервала, или вновь принимает активное состояние в пределах того же временного интервала, в котором начал меняться.

В первом случае временной интервал будет отработан до конца и дальнейшее исполнение диаграммы будет прекращено. Прибор будет находиться в ожидании возникновения следующих условий запуска диаграммы в соответствии со значениями своих параметров конфигурации. Во втором случае исполнение временной диаграммы будет продолжено, так как на момент начала следующего временного интервала сигнал управления запуском находился в активном состоянии. Реакция прибора на сигнал управления запуском диаграммы в потенциальном режиме схожа с реакцией прибора на сигнал разрешения-блокировки работы реле времени. Разница в том, что после перехода сигнала разрешения-блокировки в неактивное состояние исполнение временной диаграммы прекращается сразу, а после перехода сигнала управления запуском диаграммы в неактивное состояние ранее начатый временной интервал исполняется до конца. Пример исполнения временной диаграммы в режиме потенциального управления приведен на рис. 5.



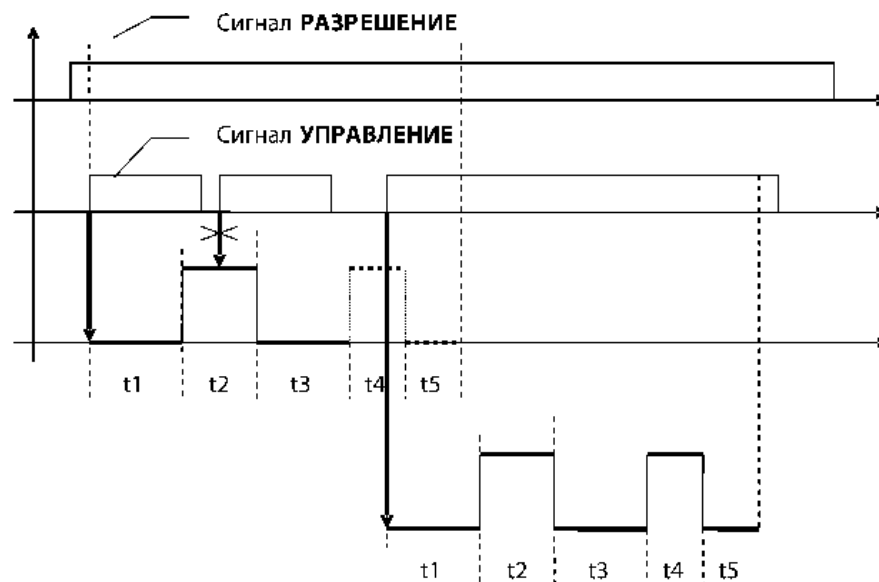


Рис. 5.

На графиках состояние сигналов показано условно – замкнутому сухому контакту на входе и замкнутому выходному контакту поставлен в соответствие высокий уровень.

На рис. 5 интервал  $t3$  будет выполнен до конца, так как в момент его начала сигнал на входе управления имеет активный уровень, а временные интервалы  $t4$  и  $t5$  выполнены не будут, так как в момент их начала сигнал на входе управления неактивен – выполнение временной диаграммы прерывается. Если выполнение диаграммы прервалось, то появление сигнала на входе управления запускает выполнение временной диаграммы заново. Однако, несмотря на то, что во время исполнения интервала  $t2$  сигнал прерывался, диаграмма продолжает выполняться, так как прерывание не захватило начало следующего интервала  $t3$ .

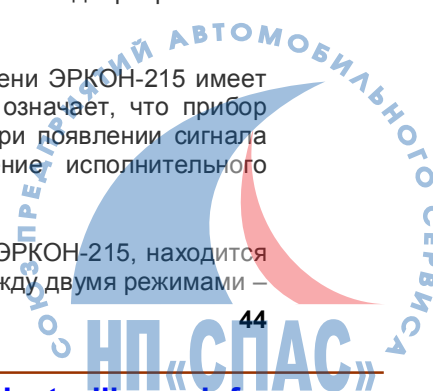
### Режимы работы

Выполнение запрограммированной последовательности замкнутых и разомкнутых состояний исполнительного устройства – временной диаграммы – возможно в двух режимах. Один из режимов – однократный – предусматривает остановку исполнения временной диаграммы после достижения максимально допустимого значения номера временного интервала, установленного в меню конфигурирования, и ожидания возникновения следующих условий для запуска диаграммы. При этом номер временного интервала устанавливается на наименьшее значение, для которого задана ненулевая выдержка времени. Другой режим – циклический – предусматривает автоматический перезапуск диаграммы при достижении максимально допустимого значения номера временного интервала, независимо от того, возникали условия запуска или нет. Параметр режима повторения временной диаграммы доступен в меню конфигурирования прибора.

Так как при циклическом режиме работы происходит автоматический перезапуск исполнения временной диаграммы в момент ее окончания, то остановить процесс отработки программы пользователя возможно лишь переводом уровня управляющего сигнала на входе разрешения-блокировки в неактивное состояние.

Кроме формирования временных диаграмм пользователь реле времени ЭРКОН-215 имеет функцию временной трансформации сигнала управления. Фактически это означает, что прибор может формировать задержку на включение исполнительного устройства при появлении сигнала управления запуском временной диаграммы, и задержку на выключение исполнительного устройства при пропадании сигнала управления.

Параметр, отвечающий за активизацию этой функции реле времени ЭРКОН-215, находится в меню конфигурирования и осуществляет переключение работы прибора между двумя режимами –



режимом формирования временной диаграммы, запрограммированной пользователем, и режимом временной трансформации сигнала управления.

При включении режима временной трансформации сигнала управления максимальное количество временных интервалов, значение которых можно задавать в режиме оперативного управления, автоматически становится равным двум. Значение временного интервала с номером один определяет выдержку времени при задержке на включение, а значение временного интервала с номером два – выдержку времени на выключение. Так же запрещается и циклический режим работы.

Запуск исполнения диаграммы происходит по переднему фронту сигнала управления. Если в течение всей выдержки времени первого временного интервала – задержки на включение – сигнал управления находился в активном состоянии, то после отработки этого интервала реле времени начнет обрабатывать второй временной интервал – задержку на выключение. Если же сигнал управления пропал в течение первого временного интервала, то по его окончании перехода к отработке второго временного интервала не произойдет, и прибор будет ожидать следующего перехода сигнала управления в активное состояние для запуска нового цикла временной трансформации сигнала управления.

Любое из значений выдержек времени – на включение или на выключение – может принимать нулевое значение. Пример работы реле времени в режиме временной трансформации сигнала приведен на рис. 6.

Функция задержки на включение может быть использована для подавления импульсов помех или для ступенчатого запуска двигателей, чтобы не перегружать сеть. Задержка на выключение может быть использована для генерирования функции слежения после отключения управляющего напряжения, например – контроль выбега вентиляторов, для аварийного отключения или для приведения установки в заданное состояние, несмотря на исчезновение питающего напряжения. Так же можно использовать данную функцию для предотвращения фазного замыкания при переключении двигателей со звезды на треугольник.

На графиках состояние сигналов показано условно – замкнутому сухому контакту на входе и замкнутому выходному контакту поставлен в соответствие высокий уровень.

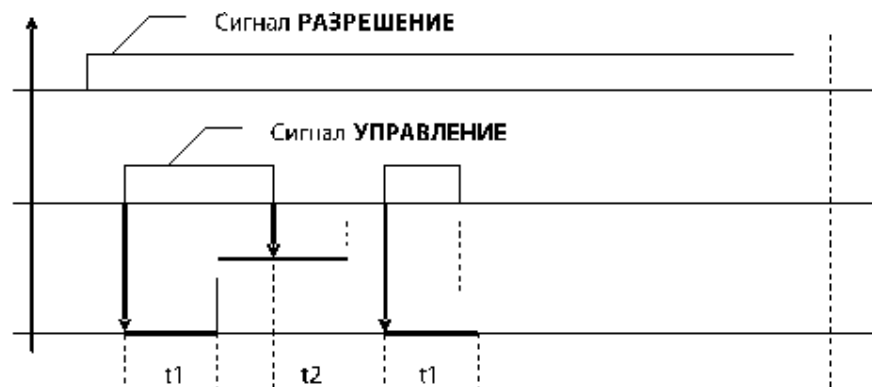


Рис. 6.

### Интерфейс RS-485

Кроме контактов входных и выходных сигналов на клеммный соединитель реле времени ЭРКОН-215 выведены контакты для подключения последовательного сетевого интерфейса EIA/TIA-485, более известного как RS-485. Интерфейс гальванически изолирован от всех других электрических цепей устройства, что обеспечивает защиту не только самого реле времени, но и различных устройств, подключаемых с ним в одну информационную сеть.

Наличие интерфейса увеличивает универсальность использования реле и уменьшает время, необходимое для подготовки реле времени к исполнению новых задач, так как изменение

всех параметров меню оперативного управления и меню конфигурирования прибора можно производить дистанционно, посредством последовательной линии связи.

ЭРКОН-215 поддерживает два протокола связи через последовательный интерфейс – Modbus RTU и RNet – на скорости до 115200 бит/с включительно. Оба протокола являются открытыми. Кроме того, используемый в приборе драйвер интерфейса RS-485 обладает повышенной нагрузочной способностью и позволяет подключать в одну сеть до 128 однотипных устройств без использования повторителей.

Параметры выбора протокола и скорости обмена для связи по последовательному интерфейсу находятся в меню конфигурирования прибора и сохраняются в энергонезависимой памяти реле времени, как и все остальные параметры.

### Питание

Последняя группа контактов, выведенная на клеммный соединитель реле времени, предназначена для подключения питания. Допустимый диапазон напряжений питания ЭРКОН-215, внутри которого обеспечивается сохранение полной функциональности, составляет 85...265 В переменного напряжения промышленной частоты.

### Технические характеристики реле времени ЭРКОН-215

Диапазоны временных уставок (задаются программно)	0,1 с до 999,9 с
	0,1 мин до 999,9 мин
	0,1 час до 999,9 час
Количество временных интервалов	до 99
Входные сигналы	сухой контакт
	NPN-транзистор с открытым коллектором
	логический с инверсной логикой
Выходной сигнал	2 группы контактов на переключение
Внутренний источник питания	+24 В, 50 мА max
Нагрузочная способность реле:	
переменное напряжение	250 В, 5 А
постоянное напряжение	120 В, 3 А
Интерфейс RS-485:	
протокол	Modbus, RNet
скорость	до 115200 бит/с
число приборов в сети без повторителей	до 128
Гальваническая изоляция цепей питания/входов/выходов/RS-485	1500 В, 50 Гц
Напряжение питания	~ 85 В ... 265 В, 50 Гц
Условия эксплуатации	температура: 0...50 °С
	влажность: 80 % при 35 °С
Габариты	96 x 48 x 132 мм
Гарантия	36 месяцев



## Типовые применения реле времени

*Андрей Назаров, старший инженер НПФ КонтрАвт*

### Введение

Реле времени – это одно из самых простых современных устройств автоматики. В силу своей простоты и интуитивной понятности они до сих пор находят многочисленные применения в различных схемах автоматизации технологических процессов. Несмотря на все большее распространение программируемых логических контроллеров, способных решать задачи реле времени, рынок последних по-прежнему обширен. И они, как нам кажется, всегда будут востребованы.

Пик применения реле времени пришелся на середину прошлого века, во времена расцвета релейной автоматики. С тех пор реле времени значительно изменились, усложнились. Современное реле времени – это уже в некотором смысле «временной контроллер», программируемый под конкретную задачу. Соответственно и областей применения реле времени стало больше.

В данной статье мы расскажем, как настроить реле времени ЭРКОН-215 и ЭРКОН-225 на решение некоторых, с нашей точки зрения достаточно распространенных задач. ЭРКОН-225 – это два реле ЭРКОН- 215, реализованные в одном корпусе. Единственная особенность такой реализации – возможность независимого режима работы каналов друг от друга.

### «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК»

Реле переключения «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК», или пусковые реле, предназначены для обеспечения плавного пуска мощных трёхфазных асинхронных электродвигателей. Их задача - уменьшение пусковых токов при включении двигателей. Это позволяет использовать в цепи пуска двигателя автоматы защиты на меньший ток срабатывания, что в свою очередь значительно повышает надёжность защиты двигателя от перегрузок или аварий электропитания. Многие производители изготавливают отдельные устройства, которые называются «пусковое реле» и выполняют только эту функцию.

Двухканальные реле времени ЭРКОН могут быть настроены для выполнения функций пусковых реле.

Сначала несколько слов о функционировании пусковых реле. В момент своего пуска трехфазный асинхронный двигатель потребляет ток в три – пять раз превышающий номинальный рабочий. Это обусловлено отчасти тем, что для разгона любого тела необходима мощность большая, чем для поддержания равномерного движения. Кроме того, пуск обычно происходит при холодном двигателе. Больше вязкость смазывающих материалов или перегоняемых жидкостей, если речь идет о насосах. Как уменьшить пусковой ток? Решение просто – уменьшить пусковое напряжение. Когда двигатель включен по схеме «звезда», на каждой его обмотке напряжение – 220 В (между фазой и нулем). В схеме «треугольник» - 380 В (напряжение между фазами).

Когда двигатель разгонится, можно включать его на полную мощность, то есть по схеме «треугольник». Но есть еще одна проблема. Если вдруг пускатель, включающий двигатель по схеме «звезда» еще не успеет разомкнуться, а пускатель схемы «треугольник» уже замкнется, то произойдет короткое замыкание в силовой цепи. Значит, необходимо гарантировать отсутствие одновременного срабатывания пускателей. Для этого между их переключениями делают выдержку 50 – 100 мс.

Теперь перейдем к методике настройки двухканального реле ЭРКОН-225 для работы в качестве пускового. Схема включения реле времени приведена ниже.

Для конфигурирования реле времени ЭРКОН-225 в качестве пускового реле, необходимо проделать следующие операции.

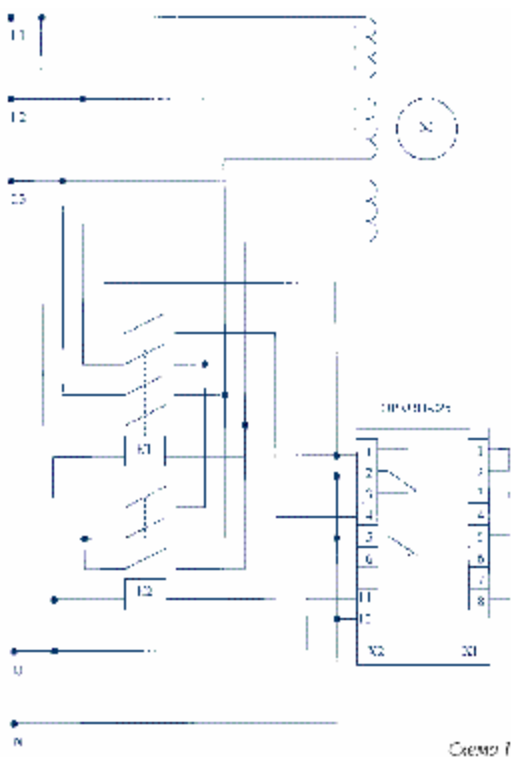


Подключить реле ЭРКОН-225 к напряжению питания.

Параметры реле после конфигурирования должны быть выставлены следующие:

- на обоих каналах временной диапазон Диапазон 1 (секунды);
- на обоих каналах временная функция – Временная диаграмма;
- на обоих каналах Максимальное количество временных интервалов равно 2;
- на обоих каналах Однократный режим работы;
- на обоих каналах Потенциальный режим запуска временной диаграммы;
- Независимая работа каналов;
- на канале 2 уставка первого временного интервала равна нулю;
- на канале 2 уставка второго временного интервала равна времени разгона двигателя до номинальных оборотов;
- на канале 1 уставка первого временного интервала равна уставке второго временного интервала канала 2 плюс 0,1 с (это как раз те 100 мс, которые сэкономят схему от короткого замыкания в силовых цепях). Например, если уставка второго временного интервала канала 2 (время разгона двигателя) была задана 5,0 с, то уставку первого временного интервала канала 1 следует задать равной 5,1 с;
- на канале 1 уставка второго временного интервала равна 10 сек, этого времени хватит для того, чтобы пускатель «треугольник» включился на самопитание;

Подключить реле ЭРКОН-225 по схеме 1.





При подаче напряжения питания U реле времени включит электромагнитный пускатель K2 на время, определяемое уставкой второго временного интервала канала 2. В течение этого времени двигатель будет подключен по схеме «звезда». После отработки уставки второго временного интервала канала 2 пускатель K2 будет отключен и с паузой 0,1 с будет включен пускатель K1, который уже включит двигатель по схеме «треугольник».

#### «СТОРОЖЕВОЙ ТАЙМЕР»

Одно из наиболее многочисленных применений реле времени – в цепях защиты. И сейчас дополнительные цепи защиты продолжают выполнять на релейной логике. Смысл этого таков: даже когда все вычислительные системы постиг крах (например, в результате мощного выброса напряжения или электромагнитной помехи), релейная система защиты продолжает действовать и вернет объект в безопасное состояние.

В данном примере мы, конечно, не будем рассматривать сложные системы защиты, которые применяют на ТЭЦ и дожимных насосных станциях, а рассмотрим очень простой случай – защита термoplastавтомата от детали, которая по каким-то причинам после отливки не покинула зону прессования. При повторном прессовании такая деталь не даст сомкнуться прессформе. Во-первых, можно повредить саму пресс-форму. Во-вторых, гидронасос изо всех сил будет стараться сомкнуть пресс-форму. В лучшем случае его двигатель перегреется и сработает тепловое реле. В худшем – он сгорит или будет повреждена гидравлическая система.

Идея защиты в этом случае такова: необходимо ввести устройство, которое бы измеряло бы время смыкания пресс-формы. Когда время превысит критическое, прекратить работу гидравлики. Такое устройство напоминает «сторожевой таймер» компьютера: если программа «зависает» где-то на определенном участке, ее выполнение прекращается.

Итак, настроим реле времени ЭРКОН-215 для использования его в качестве подобного «сторожевого таймера».

На подвижной части пресс-формы закреплены два концевых выключателя «пресс-форма замкнута» и «пресс-форма разомкнута». Оба концевых выключателя имеют нормально замкнутые контакты. Эти концевые выключатели подают сигналы нашему реле времени и контроллеру, управляющему технологическим процессом. Сигнал с концевых выключателей «пресс-форма разомкнута» будет поступать на вход управления реле, а сигнал с концевых выключателей «пресс-форма замкнута» – на вход разрешения реле (см. схему 2).

Отсчет времени начинается, когда пресс-форма сойдет с концевых выключателей «пресс-форма разомкнута». Если реле времени успеет сработать до того момента, как сработает концевой выключатель «пресс-форма замкнута», то своим контактом оно выключит пускатель двигателя насоса и все остановится. Если же концевой выключатель «пресс-форма замкнута» успевает сработать раньше, то пропадает сигнал разрешения для реле и счет прекращается. Смыкание прошло успешно.

На схеме 2 схематично показан вышеописанный принцип действия.



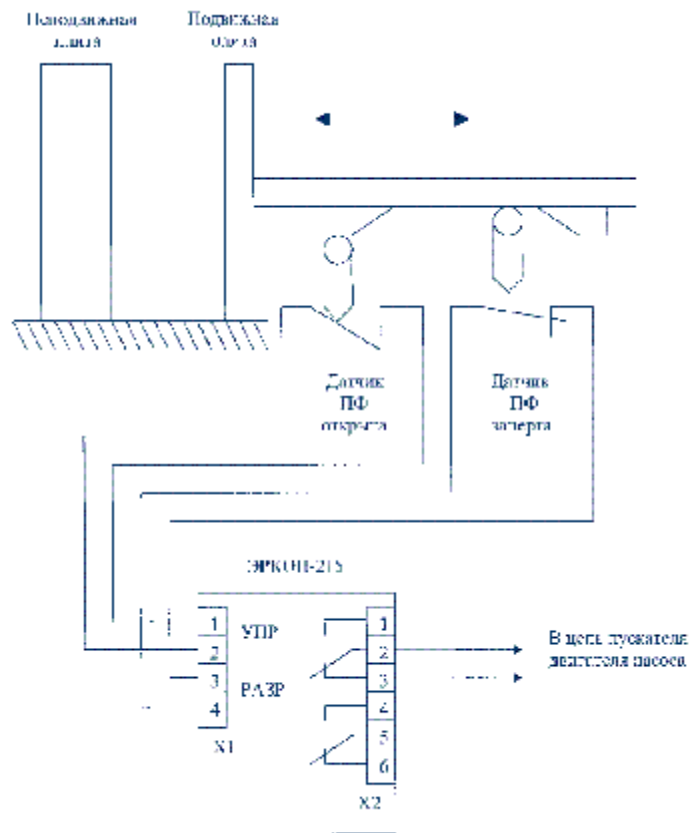


Схема 2.

Для работы реле должно быть настроено следующим образом:

- временной диапазон Диапазон 1 (секунды);
- временная функция Временная диаграмма;
- Максимальное количество временных интервалов равно 2;
- Однократный режим работы;
- режим запуска временной диаграммы передним фронтом;
- уставка первого временного интервала должна быть равной времени ожидаемого смыкания пресс-формы (обычно не более 15 сек);
- уставка второго временного интервала равна 10 сек (вполне достаточно, чтобы разомкнуть пускатель двигателя).

### ЭРКОН-215 и МЕТАКОН

Есть огромное множество задач, в которых заданная температура должна поддерживаться определенное время. После этого совершаются какие-либо действия. Например, выпекание хлеба, обжиг кирпича, закалка стальных деталей. Для решения таких задач есть программные регуляторы (Метакон 613, Метакон-614). Но в некоторых случаях может оказаться более красивым или более дешевым применение обычного регулятора и реле времени.

Например, имеется электрическая печь для закалки деталей. Все операции по закладке деталей в печь, выемки из печи совершаются термистом вручную. Выдержка деталей при

температуре 750 плюс-минус 15 градусов Цельсия производится в течение 10 часов. Отсчет времени должен начинаться с момента достижения температурой уставки (то есть 750 град), так как при помещении детали в печь, последняя успевает остыть ниже допустимого уровня. Через 10 часов термисту необходимо подать звуковой и световой сигнал.

Как эту задачу решить при помощи прибора МЕТАКОН-512 и ЭРКОН-215 проиллюстрировано на схеме 3.

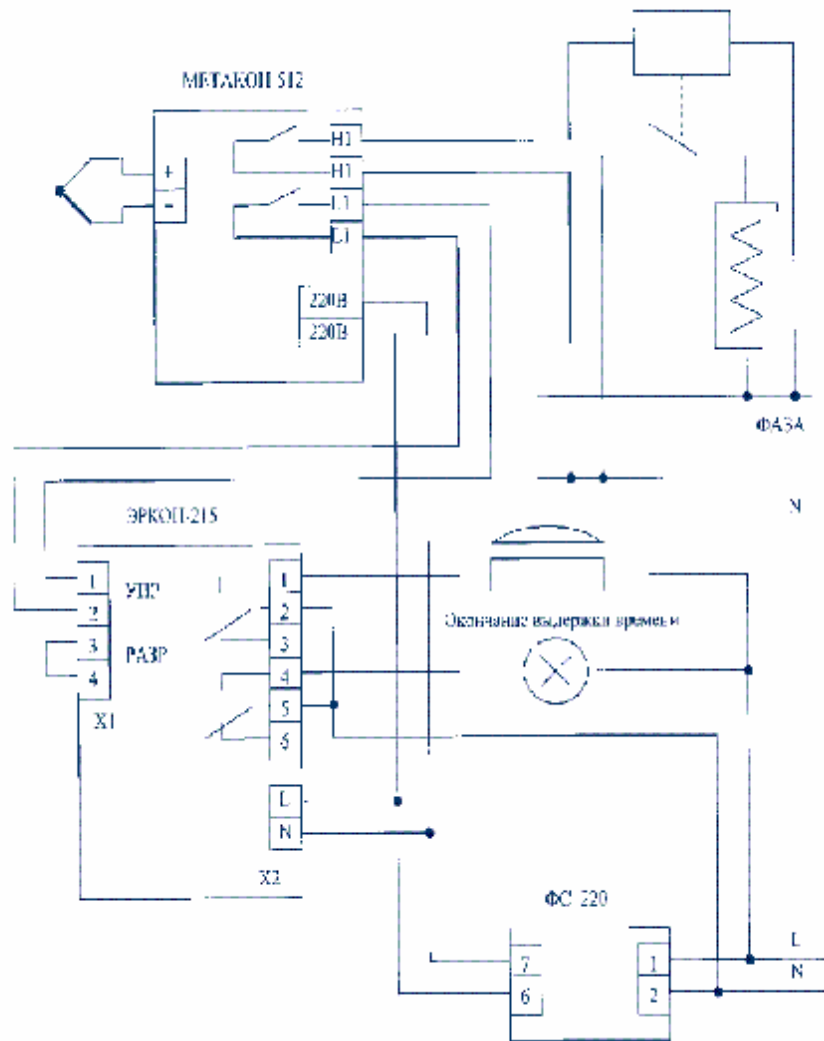


Схема 3

Для решения этой задачи прибор ЭРКОН-215 должен быть настроен следующим образом:

- временной диапазон Диапазон 2 (минуты);
- временную функцию Временная диаграмма;
- Максимальное количество временных интервалов равно 2;
- однократный режим работы;
- режим запуска временной диаграммы передним фронтом;



- уставка первого временного интервала равна времени выдержки детали (в нашем случае 600 мин);
- уставка второго временного интервала равна времени работы светозвуковой сигнализации (например 000,5 мин).

### Управление реверсивными механизмами

Часто встречается задача управления некими механизмами таким образом, чтобы они двигались сначала в одну сторону, затем в другую и так до бесконечности. Можно вспомнить, например, старые стиральные машины активаторного типа. Активатор в них сначала вращался в одну сторону несколько секунд, после паузы – в другую и так далее. Другой пример – инкубаторы. В них яйца периодически переворачиваются сначала на один бок, потом на другой и так далее.

Эта задача вполне решаема при помощи одного реле времени ЭРКОН-225 или двух реле времени ЭРКОН 215 (или ЭРКОН-214) и прибора БКР.

Допустим нам необходимо через один час после запуска системы включить двигатель на шесть секунд. При этом он вращается по часовой стрелке. После часовой паузы двигатель включается на шесть секунд и вращается против часовой стрелки. Наконец, еще одна часовая пауза, и цикл повторяется. Похожие задачи возникают в инкубаторах.

Как решить подобную задачу проиллюстрировано на схемах 4 и 5.

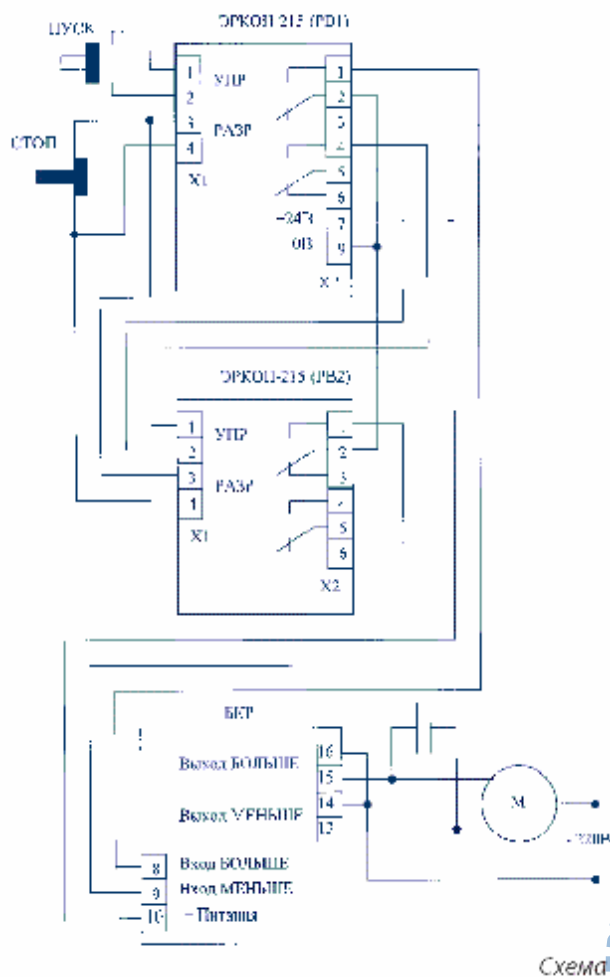


Схема 4



Настройки реле времени в данной схеме следующие.

Для РВ1:

- временной диапазон Диапазон 2 (минуты);
- временная функция Временная диаграмма;
- Максимальное количество временных интервалов **равным 5**;
- Циклический режим работы;
- режим запуска временной диаграммы передним фронтом;
- уставка 1 – 60 мин;
- уставка 2 – 0,1 мин;
- уставка 3 – 120,1 мин;
- уставка 4 – 0,1 мин;
- уставка 5 – 60,1 мин;

Для РВ2:

- временной диапазон Диапазон 2 (минуты);
- временная функция Временная диаграмма;
- Максимальное количество временных интервалов равно 2;
- Однократный режим работы;
- режим запуска временной диаграммы задним фронтом;
- уставка 1 – 60 мин;
- уставка 2 – 0,1 мин;

Кстати, как видно из схемы, встроенный источник питания ЭРКОН-215 оказался очень полезным. От него питается БКР, нет необходимости приобретать внешний источник питания.

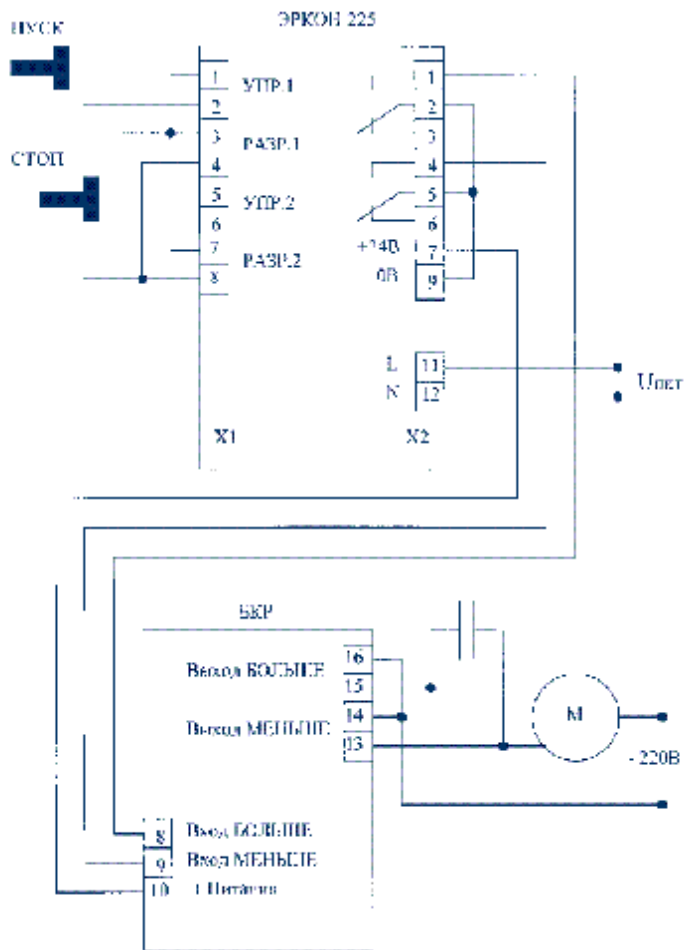


Схема 5

Схема 5 показывает, как решить ту же задачу при помощи одного реле ЭРКОН-225. Его параметры необходимо задать следующим образом:

Для первого канала:

- временной диапазон Диапазон 2 (минуты);
- временная функция Временная диаграмма;
- Максимальное количество временных интервалов равно 5;
- Циклический режим работы;
- режим запуска временной диаграммы передним фронтом;
- уставка 1 – 60 мин;
- уставка 2 – 0,1 мин;
- уставка 3 – 120,1 мин;
- уставка 4 – 0,1 мин;

- уставка 5 – 60,1 мин.

Для второго канала:

- Зависимый режим работы;
- временной диапазон Диапазон 2 (минуты);
- временная функция Временная диаграмма;
- Максимальное количество временных интервалов равно 2;
- Однократный режим работы;
- уставка 1 – 60 мин;
- уставка 2 – 0,1 мин;

Источник: <http://contravt-metodichka.ru/>

### «Интернет для электрика» - <http://povny.blogspot.com/>

Он-лайн путеводитель по электротехническому Интернету. С чего начать свое путешествие по просторам Интернета специалисту-электрику? Где и как максимально быстро и эффективно искать узкоспециализированную информацию? Тематический каталог полезных и часто мной посещаемых информационных и тематических электротехнических сайтов и многое другое...

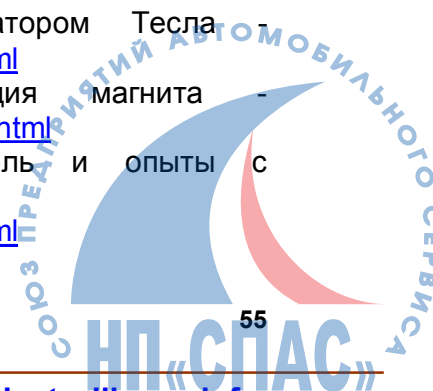


### Видео:

Видеоролики экспериментов и фокусов с трансформатором Тесла  
[http://feeds.feedburner.com/~r/povny/~3/539071838/blog-post\\_13.html](http://feeds.feedburner.com/~r/povny/~3/539071838/blog-post_13.html)

Трюки с электромагнитами на видео - левитация магнита  
[http://feeds.feedburner.com/~r/povny/~3/538320990/blog-post\\_7675.html](http://feeds.feedburner.com/~r/povny/~3/538320990/blog-post_7675.html)

Про намагничивание спичек, простейший электродвигатель и опыты с микроволновкой –  
[http://feeds.feedburner.com/~r/povny/~3/538295807/blog-post\\_12.html](http://feeds.feedburner.com/~r/povny/~3/538295807/blog-post_12.html)



## Как правильно выбирать датчик положения

Невозможно представить область, где бы не применялись датчики положения и перемещения, являясь важным связующим звеном между электронной и механической частями приборов. Неудивительно, что многие инженеры-электронщики испытывают определённые трудности в выборе типа датчиков положения, оптимальных для конкретной задачи управления объектом. Попробуем им в этом помочь.

Выбирая датчик, прежде всего, необходимо правильно определить приоритеты по следующим критериям:

- разрешение и точность;
- линейность;
- скорость измеряемого процесса;
- условия применения и класс защиты;
- надёжность;
- габаритные размеры;
- стоимость.

Теперь, расставив приоритеты, необходимо учесть, что датчик может определять абсолютное или относительное положение контролируемого объекта. Исходя из этого, существуют два основных метода определения положения и измерения перемещений. В первом методе датчик вырабатывает сигнал, являющийся функцией положения одной из его частей, связанных с подвижным объектом, а изменения этого сигнала отражают перемещение. Такие датчики положения называются абсолютными. К ним относятся:

- резистивные (потенциометрические) датчики;
- индуктивные датчики с подвижным сердечником;
- ёмкостные датчики с подвижными обкладками;
- цифровые кодовые датчики абсолютных значений.

Во втором методе датчик генерирует единичный импульс на каждом элементарном перемещении, а положение определяется подсчётом суммы импульсов в зависимости от направления перемещения. Такие датчики положения называются относительными. Достоинством таких датчиков, по сравнению с абсолютными, является простота и низкая стоимость, а недостатком — необходимость периодической калибровки и дальнейшей микропроцессорной обработки. Датчики также делятся на контактные и бесконтактные. В бесконтактных датчиках связь между подвижным объектом и датчиком осуществляется посредством магнитного, электромагнитного или электростатического полей, а также оптоэлектронным способом.

### Резистивные (потенциометрические) датчики

Резистивные датчики основаны на простом принципе действия, что приводит к конструкциям умеренной стоимости; измеряемый сигнал может иметь достаточно высокий уровень и линейность и не требует специальной электрической схемы обработки. Однако, такой датчик обладает внутренним трением, которое влияет на его точность, являясь источником шумов и причиной износа, что влечёт за собой ухудшение характеристик (линейности, точности) и устанавливает предел количества измерений, которое датчик может выдержать. Кроме этого, на его



функционирование заметно влияет окружающая атмосфера (влажность, пыль, температура...). Средствами борьбы с этими дестабилизирующими факторами являются:

- использование новейших резистивных покрытий и компаундов заполнения на основе пластиков;
- применение фоторезистивных покрытий;
- использование магнитоинвариантных резисторов — для бесконтактного считывания положения;
- использование встроенных в резистор редукторов — для улучшения разрешения.

Из перечисленного выше ясно, что датчики подобного типа не могут отображать быстрые, повторяющиеся движения и применяться там, где есть сильные вибрации. Резистивные датчики подразделяются на однооборотные и многооборотные, с упором или без, проволочные и пластиковые.

Производством широкой номенклатуры резистивных датчиков, выполненных по различным технологиям (проволочные, пластиковые, магнитоинвариантные и др.) для широкого спектра применений, занимается фирма Bourns (<http://www.bourns.com/html/datasheets.htm>). Лучшие образцы, производимые этой фирмой, имеют разрешение до 0,009% (от полного сопротивления), ресурс — до 25 миллионов оборотов и расширенный рабочий температурный диапазон.

#### **Индуктивные датчики с подвижным сердечником (LVDT)**

Принцип действия индуктивных датчиков основан на том, что в перемещение, которое предполагается измерить, вовлекается один из элементов магнитного контура, который вызывает тем самым изменение потока через измерительную обмотку и соответствующий электрический сигнал.

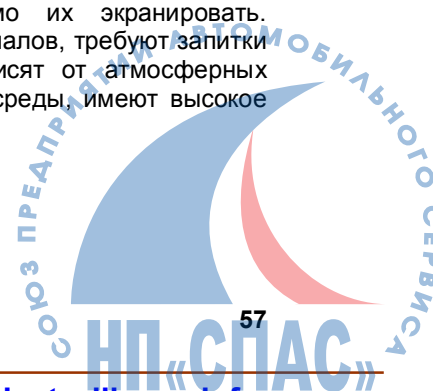
Если подвижным элементом является ферромагнитный сердечник, то его перемещение проявляется:

- а. в изменении коэффициента самоиндукции катушки (переменная индуктивность);
- б. в изменении коэффициента связи между первичной и вторичной обмотками трансформатора (дифференциальный трансформатор), что приводит к изменению вторичного напряжения.

В трансформаторе с переменной связью одна обмотка может вращаться относительно другой, закрепленной (одна из них играет роль источника, а другая — приёмника). Первичная обмотка образует индуктор, а вторичная обмотка с наведённым током даёт напряжение в функции угла вращения (индуктивный потенциометр, резольвер).

Индуктивные датчики подключаются в цепь, питаемую источником синусоидального напряжения с частотой нескольких кГц и могут измерять непосредственно линейное или угловое перемещение.

Датчики этого типа, с одной стороны, чувствительны к внешним электромагнитным полям, а с другой — способны сами их индуцировать. Поэтому необходимо их экранировать. Индуктивные датчики довольно дороги и сложны в обработке снимаемых сигналов, требуют запитки стабильным синусоидальным напряжением, но зато практически не зависят от атмосферных условий, пригодны к использованию в условиях чрезвычайно агрессивной среды, имеют высокое время наработки на отказ, дают очень высокую точность и линейность.





Практическим примером определения положения или перемещения (линейного или углового) в тяжелых промышленных условиях и агрессивных средах при температуре  $-55...+150^{\circ}\text{C}$  могут служить LVDT фирмы Lucas Schaevitz (<http://www.schaevitz.com/products/index.html>) или Harowe (<http://www.apiharowe.com/Subpages/API-HAROWE.HTM>). При этом надо понимать, что точность таких преобразователей можно увеличить в 4–6 раз, применяя специальные переключающие схемы включения, по сравнению с типовой схемой включения (“Высокоточные преобразователи угловых перемещений”, под ред. А.А. Ахметжанова. — Москва: “Энергоатомиздат”).

Для облегчения обработки сигналов можно использовать стандартные специализированные микросхемы, подключаемые непосредственно к LVDT и имеющие на выходе параллельный двоичный код (11, 12, 13, 14 разрядов). Например, AD2S80A фирмы Analog Devices.

#### **Ёмкостные датчики с подвижными обкладками**

Ёмкостные датчики представляют собой плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает подвергаемое контролю перемещение, вызывая изменение ёмкости. Они замечательны своей простотой, что позволяет создавать прочные и надежные конструкции. Диэлектриком обычно служит воздух, так что параметры конденсатора зависят только от геометрических характеристик и не зависят от свойств используемых материалов. Если материалы правильно подобраны, то можно сделать пренебрежимо малым влияние температуры на изменения площади поверхности и расстояния между обкладками. С другой стороны, необходимо защищать датчик от тех факторов окружающей среды, которые могут ухудшить изоляцию между обкладками — от пыли, влажности, коррозии, ионизирующей радиации.

#### **Цифровые кодовые датчики**

Измерительную информацию, получаемую в аналоговом виде, часто можно обрабатывать с помощью цифровых схем, что создает дополнительные удобства. Это становится возможным при использовании аналогово-цифровых преобразователей. В случае перемещений можно создать датчик, измеряющий положение — линейное или угловое — и выдающий его сразу в цифровой форме. Как и во всех приборах с цифровым преобразованием, информация оказывается квантованной и, следовательно, разрешение всегда конечно. Такие датчики могут надёжно передавать информацию об измеряемом положении по последовательному интерфейсу на достаточно большие расстояния от нескольких датчиков по одной линии связи.

#### **Абсолютные цифровые датчики**

Абсолютные цифровые датчики — это рейки для линейных перемещений или диски для угловых перемещений, разделённые на  $N$  равновеликих площадок (полос в случае рейки, секторов в случае диска), на которых записаны бинарные слова, соответствующие определённому положению. Поэтому при сбоях в работе, включении, прерывании питающих напряжений или предельной частоты работы прибора в распоряжении пользователя имеется точная позиция положения как двоичного бита. Чаще всего используют помехозащищённую двоичную Грей-кодировку, при которой за каждый шаг измерения изменяется лишь один знак кодовой информации и при этом легко контролируются ошибки передачи сигнала. Распространено также двоичное и двоично-десятичное кодирование. Имеются датчики с механическим и бесконтактным съёмом информации.

#### **Инкрементальные цифровые датчики**

Инкрементальные цифровые датчики отображают измеряемое положение количеством импульсов, которые затем подсчитываются микропроцессором с учетом направления перемещения

по сдвигу фаз между двумя каналами. При использовании специальных микросхем можно удвоить или даже учетверить разрешающую способность. Такие датчики требуют время от времени калибровки по нулевому отсчёту и при сбоях. Имеются датчики с механическим и бесконтактным съёмом информации.

Механические цифровые (абсолютные или инкрементальные) датчики — низкая цена, невысокая разрешающая способность (до 200 делений на 360о), небольшая продолжительность эксплуатации (до 106 циклов поворота у лучших образцов), ограниченная частота вращения, выходные сигналы должны быть пропущены через подаватели дребезга. Бесконтактные цифровые (абсолютные или инкрементальные) датчики — на основе оптоэлектроники или магниторезистивного эффекта. Датчики этого типа менее всех подвержены дестабилизирующим факторам окружающей среды, имеют очень большую долговечность, очень высокую точность (до 104 делений на 360о для абсолютных и 128000 для инкрементальных) и относительно высокую стоимость. Их применение оправдывается там, где нужны точность и надёжность.

Практическим примером оптических датчиков может служить продукция компания British Encoder Products Co., которая производит оптические инкрементальные и абсолютные датчики положения с достаточно хорошим соотношением цена–качество. В их числе инкрементальные квадратные и одиночные датчики с разрешением от 100 до 6000 риск на оборот, а также абсолютные с 10–12 разрядами точности датчики “800-ой серии”. Они выпускаются в коммерческом и промышленном исполнении с различными степенями защиты для автоматизации различных типов производства. Более подробную информацию можно получить на сайте <http://www.brit-encoder.com/4/16/index.htm>.

Таблица

Технологические требования при измерительном процессе	Типы датчиков									
	Поциометрический, проволока	Поционметрический, проводящий пластик	Емкостной	Индуктивный LVDT	Инкрементальный			Абсолютный		
					Оптоэлектрический	Магниторезистивный	Механический	Оптоэлектрический	Магниторезистивный	Механический
Очень высокое разрешение	нет	нет	нет	Некоторые модели	да	нет	нет	да	нет	нет
Высокое разрешение	нет	да	да	да	да	нет	нет	да	нет	нет
Низкое разрешение	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да
Скорость процесса >5 м/с	нет	Некоторые модели	да	Некоторые модели	нет	нет	нет	да	нет	нет
Малые размеры	да	да	нет	Некоторые модели	Некоторые модели	Некоторые модели	да	Некоторые модели	Некоторые модели	Некоторые модели
Высокий класс защиты (IP65)	да	да	нет	да	Некоторые модели	Некоторые модели	нет	Некоторые модели	Некоторые модели	нет



Использование в э/магнитном поле	да	да	нет	нет	да	нет	да	да	нет	да
Требуется дальнейшая цифровая обработка	нет	нет	нет	нет	да	да	да	нет	нет	нет
* Сильно осциллирующие движения	нет	Некоторые модели	да	да	да	да	нет	да	да	нет
Стоимость	низкая	низкая	средняя	высокая	Зависит сильно от разрешения	средняя	низкая	высокая	средняя	средняя

\* Возможность работы в режиме измерения частых, повторяющихся движений малой амплитуды.

Для автоматизации офисных и медицинских процессов, а также в лёгкой промышленности целесообразно применять оптические датчики от Hewlett-Packard (<http://www.hp.com/HP-COMP/motion/>) и датчик A22 от API-Portescap <http://www.apiportescap.com/news/cod-a22-2.htm>, причём он может поставляться отдельно, либо в составе двигателя постоянного тока. На основании изложенного составлена сводная таблица, облегчающая выбор оптимального типа датчика положения.

Источник: <http://www.chipnews.ru/>

## Датчики положения фирмы Honeywell на основе эффекта Холла

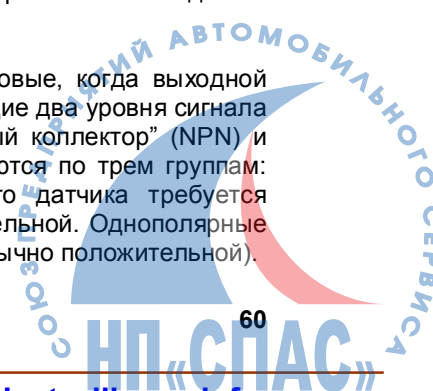
ООО ЕвроСтандарт

Принцип действия датчиков основан на эффекте Холла. Основные преимущества этих датчиков заключается в отсутствии механических движущихся частей и высоком быстродействии (до 100 кГц). Благодаря этому датчики Холла отличаются высокой надёжностью, долговечностью и не требуют физического контакта с измеряемой средой.

Датчики Холла широко используются там, где требуются высокая точность и надёжность. Они находят применение в бесколлекторных двигателях, измерителях различных величин, сварочном оборудовании, бытовых приборах, компьютерах и т.д.

Эффект Холла заключается в возникновении напряжения в проводнике с током в магнитном поле. Возникающее напряжение перпендикулярно протекающему току и пропорционально магнитному потоку. После усиления это напряжение используется для управления выходными каскадами датчиков и внешними схемами.

Выходные каскады датчиков могут быть различных типов – аналоговые, когда выходной сигнал пропорционален магнитному потоку через датчик, и цифровые, имеющие два уровня сигнала на выходе. Аналоговые каскады могут быть выполнены по схеме "открытый коллектор" (NPN) и "источник тока" (PNP). По реакции на магнитное поле датчики распределяются по трем группам: биполярные, однополярные и униполярные. Для включения биполярного датчика требуется воздействие поля положительной полярности, а для выключения – отрицательной. Однополярные датчики измеряют поля любой полярности, а униполярные – только одной (обычно положительной).



Магнитное поле может быть сформировано постоянными магнитами или электромагнитами. Изменение напряженности поля достигается путем перемещения магнита, изменения тока электромагнита или внесением магнитного материала в зазор между датчиком и магнитом. Выпускаются датчики, в которых используются внешние или встроенные в корпус магниты. В последнее время в выходные каскады датчиков Холла вводятся специальные схемы снижения температурной нестабильности датчиков и магнитов, а также схемы линеаризации аналоговых выходов. Для достижения высокой повторяемости параметров от датчика к датчику в процессе производства используется лазерная калибровка элементов схем. Это позволяет производить замену вышедших из строя приборов без последующих подстроек.

Для иллюстрации возможных вариантов исполнения датчиков Холла приводится описание серийных цифровых и аналоговых датчиков фирмы Хонейвелл (Honeywell).

Фирма Хонейвелл выпускает несколько базовых серий цифровых датчиков.

Это специальная высокочувствительная серия 2SSP-датчиков, использование которых позволяет располагать магнит на расстоянии 2 см и более от датчика. Датчики выполнены в пластиковом корпусе с размерами 4,5x4,5x1,5 мм. Выпускаются модификации для поверхностного монтажа с короткими формованными выводами – серия 2SSP-S.

Две серии биполярных цифровых датчиков SS41 и SS11 изготавливаются в миниатюрных корпусах, имеющих размеры 4x3x1,5 мм. Датчики серии SS11 выпускаются в корпусах типа SOT89, предназначенных для поверхностного монтажа (SMD – Surface Mount Device). Все датчики имеют защиту от неправильного подключения и диапазон быстродействия от 0 до 100 кГц.

Датчики серий SS400 и SS100 представляют собой приборы, состоящие из собственно датчиков поля и выходных усилителей, и имеющие выход типа "открытый коллектор". Они выпускаются в миниатюрных пластиковых корпусах с тремя выводами. Специальная конструкция корпуса (Quad-Hall-дизайн) позволяет полностью исключить внутренние механические напряжения. Для компенсации температурного дрейфа параметров предусмотрена специальная схема коррекции. Датчики предусматривают различные варианты работы:

- под действием одного полюса магнита (SS411A, SS413A, SS111A, SS113A);
- обоих полюсов (SS441A, SS443A, SS449A, SS141A, SS143A, SS149A)
- и триггер (SS461A, SS466A, SS161A, SS166A).

Серия SS400 (с индексом S) имеет корпус с формованными для поверхностного монтажа выводами, а серия SS100 – миниатюрный безвыводной SMD-корпус.

Приборы серий 103SR и SR3 представляют собой полностью закрытые датчики в алюминиевом или пластиковом корпусе (диаметр 12 мм, длина 25 мм с резьбой), имеющие защиту от неправильного включения. Внутри серии датчики отличаются друг от друга величиной измеряемого поля и типами выхода.

#### **Аналоговые датчики Холла**

Фирма Хонейвелл использует лазерную подгонку при изготовлении аналоговых датчиков Холла, что позволяет получать идентичные параметры от образца к образцу и производить замены вышедших из строя приборов без последующих подстроек. Аналоговые датчики представлены сериями SS49, SS19, SS495, SS94 и 103SR.

Датчики серий SS49 и SS19 имеют параметрический линейный выход. Они изготавливаются в миниатюрных корпусах с выводами (серия SS49) и для поверхностного монтажа (SMD) – серия SS19.



Приборы серии SS495 имеют размеры корпуса 3x4 мм. Эти датчики отличаются низким энергопотреблением (7 мА при напряжении питания 5 В) и линеаризованным выходом. Температурная ошибка для разных датчиков этой серии составляет:

- **SS495A – ± 0,06 %;**
- **SS495A1 – ± 0,04 %;**
- **SS495A2 – ± 0,07 %.**

Датчики серии SS94 имеют специальные встроенные схемы для увеличения температурной стабильности.

Серию аналоговых датчиков Холла 103SR отличает исполнение последних в алюминиевом корпусе с резьбой.

Автор: [arcos@orc.ru](mailto:arcos@orc.ru) Источник: <http://stock.planar.ru/>

## Термопреобразователи сопротивления

В данной статье приведены основные технические характеристики термопреобразователей сопротивления (далее ТС), ГОСТ 6651-94 (Общие технические требования и методы испытаний) и преобразователей термоэлектрических (далее ТП), ГОСТ 6616-94 (Общие технические условия, а также рекомендации по правильному выбору термопреобразователей, их установке, подключению и обслуживанию).

### Термины и определения

Термоэлектрический эффект - генерирование термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС), возникающей из-за разности температур между двумя соединениями различных металлов или сплавов, образующих часть одной и той же цепи.

Термопара - два проводника из разнородных материалов, соединенных на одном конце и образующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры.

Соединение при измерении (рабочий конец для ТП) - соединение, подлежащее воздействию температуры, которую необходимо измерить.

Соединение при контроле (свободный конец для ТП) - соединение термопары, находящееся при известной температуре, с которой сравнивают измеряемую температуру.

Длина монтажной части -

*для ТС и ТП с неподвижным штуцером или фланцем* - расстояние от рабочего конца защитной арматуры до опорной плоскости штуцера или фланца;

*для ТС и ТП с подвижным штуцером или фланцем*, а также без штуцера или фланца - расстояние от рабочего конца защитной арматуры до головки, а при отсутствии ее - до мест заделки выводных проводников.

Длина наружной части - расстояние от опорной плоскости неподвижного штуцера или фланца до головки.

Длина погружаемой части - расстояние от рабочего конца защитной арматуры до места возможной эксплуатации при температуре верхнего предела измерения.

Диапазон измеряемых температур - интервал температур, в котором выполняется

регламентируемая функция термопреобразователя по измерению.

Рабочий диапазон - интервал температур, измеряемых конкретным термопреобразователем и находящийся внутри диапазона измеряемых температур.

Номинальное значение температуры применения - наиболее вероятная температура эксплуатации, для которой нормируют показатели надежности и долговечности.

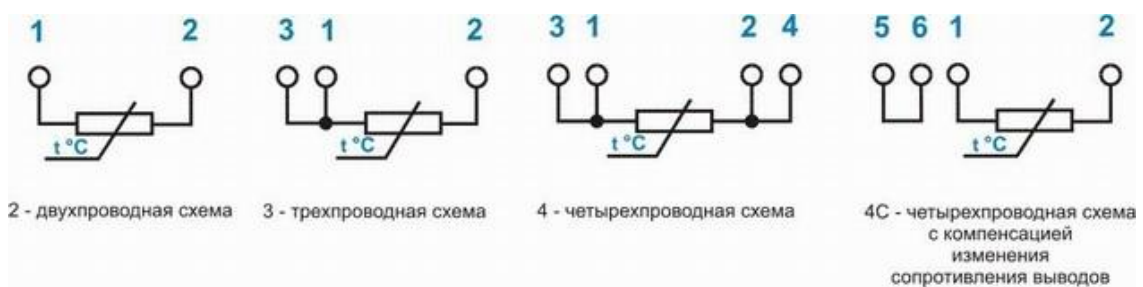
Показатель тепловой инерции - время, необходимое для того, чтобы при внесении ТС или ТП в среду с постоянной температурой разность температур среды и любой точки внесенного в нее преобразователя стала равной 0,37 того значения, которое будет в момент наступления регулярного теплового режима.

Допуск - максимально допустимое отклонение от номинальной зависимости сопротивления (ТС) или ЭДС (ТП) от температуры, выраженное в градусах Цельсия.

Чувствительный элемент (ЧЭ) - элемент термопреобразователя, воспринимающий и преобразующий тепловую энергию в другой вид энергии для получения информации о температуре.

Измерительный ток ТС - ток, вызывающий изменение сопротивления ТС при 0°C не более 0,1% его номинального значения.

Схемы соединений внутренних проводников ТС с ЧЭ и их условные обозначения



При использовании схемы 2 (двухпроводная схема) сопротивление соединительных проводов ТС не должно превышать 0,1% номинального значения сопротивления термопреобразователя при 0°C.

В двухпроводной схеме к сопротивлению ЧЭ добавлено сопротивление соединительных проводников, что приводит к сдвигу характеристики при 0°C и уменьшению W100.

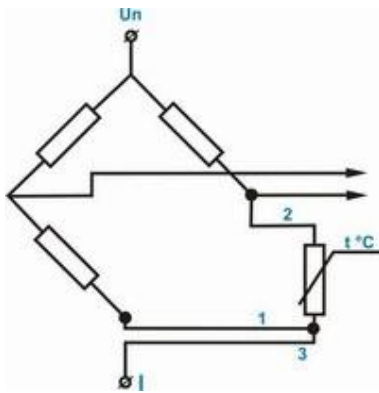
На практике эта проблема решается за счет измерительного прибора, к которому подключается ТС, путем задания соответствующих корректировок по смещению и наклону характеристики.

Термопреобразователь с двухпроводной схемой подключения внутренних проводников может подключаться к прибору по трехпроводной схеме с использованием трехжильного кабеля.

При использовании термопреобразователей сопротивления с трехпроводной схемой подключения, прибор автоматически вычитает из сопротивления полной цепи сопротивление соединительных проводов. Сопротивление внутренних проводов и жил кабеля при этом должны быть между собой одинаковы.

Если входная электрическая схема прибора представляет собой мост, в одно плечо которого подключается ТС, то достаточно, чтобы были одинаковы сопротивления двух проводов: 1 и 2.





Мостовая схема подключения ТС

Наиболее точные ТС имеют четырехпроводную схему подключения. Для этой схемы не требуется равенство в сопротивлениях проводников. Каждый конкретный тип термопреобразователя имеет свой более узкий по сравнению с приведенным в таблице основных характеристик диапазон измеряемой температуры. Это связано с технологией сборки ТС и применяемыми при этом материалами.

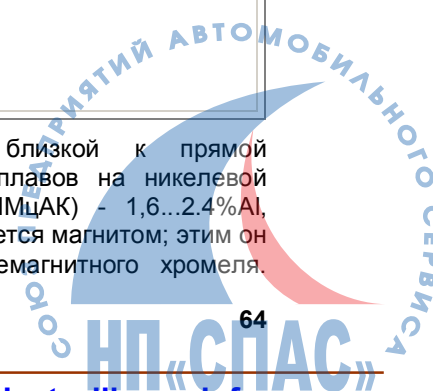
Необходимо помнить, что для точного измерения температуры вся погружаемая часть ТС должна находиться в измеряемой среде.

### Преобразователи термоэлектрические

#### Основные технические характеристики

Тип ТП	Класс допуска	Диапазон измеряемых температур, °С	Предел допускаемого отклонения от НСХ, °С
Хромель-копелевый ХК (L)	2	-40...+300 +300...+800	±2,5 ±0,0075  t
	3	-200...-100 -100...+100	±0,015  t  ±2,5
Хромель-алюмелевый ХА (К)	1	-40...+375 +375...+1000	±1,5 ±0,004 t
	2	-40...+333 +333...+1200	±2,5 ±0,0075  t
	3	-200...-167 -167...+40	±2,5 ±0,0075  t

**Термопара хромель-алюмель ХА(К)** обладает наиболее близкой к прямой термоэлектрической характеристикой. Термоэлектроды изготовлены из сплавов на никелевой основе. Хромель (НХ9,5) содержит 9...10%Сг; 0,6...1,2%Со; алюмель (НМцАК) - 1,6...2,4%Аl, 0,85...1,5%Si, 1,8...2,7%Mn, 0,6...1,2%Со. Алюмель светлее и слабо притягивается магнитом; этим он отличается от более темного в отожженном состоянии совершенно немагнитного хромеля.





Благодаря высокому содержанию никеля хромель и алюмель лучше других неблагородных металлов по стойкости к окислению. Учитывая почти линейную зависимость термо-ЭДС термопары хромель - алюмель от температуры в диапазоне 0...1000°C, ее часто применяют в терморегуляторах.

**Термопара хромель-копель ХК(L)** обладает большей термо-ЭДС, чем термопара ХА(К), но уступает по жаростойкости и линейности характеристики. Копель (МНМц 43-0,5) - серебристо-белый сплав на медной основе, содержит 42,5-44,0%(Ni+Co), 0,1-1,0%Mn. Даже в сухой атмосфере при комнатной температуре на его поверхности быстро образуется окисная пленка, в дальнейшем удовлетворительно предохраняющая сплав от дальнейшего окисления.

Номинальные статические характеристики термопар приведены в ГОСТ Р 8.585-2001.

#### **Схемы включения**

Рабочий конец термопары погружается в среду, температуру которой требуется измерить. Свободные концы подключаются к вторичному прибору. Если температура свободных концов постоянна и известна, то подключение может быть сделано медным проводом, а если не постоянна и неизвестна, то оно выполняется специальными удлинительными (компенсационными) проводами. В качестве последних используются два провода из различных материалов. Провода подбираются так, чтобы в паре между собой они имели такие же термоэлектрические свойства, как и рабочая термопара. При подсоединении к термопаре компенсационные провода удлиняют ее и дают возможность отвести холодный спай до измерительного прибора.

#### **Удлинительные провода**

Стандартные удлинительные провода маркируются. При включении этих проводов в цепь ТП необходимо соблюдать полярность, иначе при измерениях возникает погрешность, равная удвоенной погрешности, которую старались устранить с помощью удлинительных проводов. Промышленность выпускает удлинительные провода в виде скомплектованного (двужильного) кабеля с жилами различных цветов.

В связи с высокой стоимостью термопарных кабелей по сравнению, например, с медными при значительной удаленности прибора от датчика более целесообразно в ряде случаев присоединение датчика к прибору осуществлять четырехжильным медным кабелем. При этом две жилы кабеля подключаются к термоэлектродам термопары, а две - к термосопротивлению, контролирующему температуру свободных концов термопары. Как в этом случае, так и при подключении термопары непосредственно к зажимам прибора, необходимо обеспечить хороший тепловой контакт термосопротивления с выводами термопары.

При измерении температуры до +600°C более предпочтительным является использование термопары ХК(L), имеющей в 1,5...2 раза большую термо-ЭДС, чем ХА(К).

С другой стороны, для ТП ХК(L) не существует недорогого термокомпенсационного провода. Поэтому при большой удаленности датчика от прибора лучше применять ТП ХА(К) и удлинительный провод МК.

#### **Сравнительные характеристики ТП и ТС**

В данной таблице приведены сравнительные эксплуатационные характеристики термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей («+» - преимущество, «-» - недостаток).



Тип преобразователя	Характеристики				
	Диапазон измеряемой температуры	Точность измерения	Инерционность	Цена преобразователя	Цена подсоединения преобразователя
ТП	+	-	+	+	-
ТС	-	+	-	-	+

Источник: <http://www.relsib.com/>

## Великий физик Америки

*Ян Шнейберг*



Известный американский писатель М. Уилсон в своей книге «Американские ученые и изобретатели» писал о Джозефе Генри: «Век с четвертью и целая эпоха в области знаний отделяли электростатику Франклина и электродинамику Максвелла. И большая часть этих знаний была добыта одним человеком – Дж. Генри...

Большинство современников не могло оценить как следует и малой доли его огромного вклада в науку». Теперь его исследования «... стоят в ряду великих научных открытий». Выдающимся вкладом Дж. Генри в исследование электромагнетизма считается открытие им (почти одновременно с Фарадеем) явления электромагнитной индукции. Не случайно его называют «американским Фарадеем». Генри первым обнаружил колебательный характер искрового разряда конденсатора, что по достоинству было оценено лишь полвека спустя при зарождении электросвязи и радиотехники.

### На пути к знаниям

Джозеф Генри родился 17 декабря 1797 года в бедной семье возчика в г. Олбани (штат Нью-Йорк). Мальчиком был отправлен к бабушке, где учился в сельской школе, помогал на ферме и работал в лавке.

Среди немногих его развлечений была охота на кроликов. Погнавшись однажды за одним из них, он через подземный ход попал в церковный подвал, заставленный шкафами с книгами. Едва умея читать, начал листать все книги подряд. Подвал-библиотека стал местом его постоянных самостоятельных занятий. Вспоминая свою юность, Генри подчеркивал, что он был «главным образом самоучкой».

Поразительно схожими бывают людские судьбы. М. Фарадей (1791–1867), живший в Англии почти одновременно с Генри, был сыном лондонского кузнеца. За неимением средств для получения начального образования был отдан в ученики к владельцу переплетной мастерской, где случайно познакомился с содержанием многотомной «Британской энциклопедии». Он необычайно увлекся статьей об электричестве, еще не догадываясь, что исследованию этой «таинственной силы природы» посвятит всю свою жизнь и станет всемирно известным ученым.

Одной из первых книг, вызвавших у Генри неодолимое стремление к овладению знаниями, было сочинение английского натурфилософа Дж. Грегори «Лекции по экспериментальной физике,

астрономии и химии», изданное в Лондоне в 1808 г. Будучи уже знаменитым ученым, Дж. Генри подарил эту книгу своему пятилетнему сыну с надписью: «Это неглубокое сочинение оказало удивительное влияние на мою жизнь и было самой первой из книг, прочитанных с большим вниманием». Эта книга открыла для него новый мир и наделила «огромной привлекательностью вещи, почти незамечаемые прежде, направившие... ум на изучение природы».

Пробыв на ферме до 1811 г., Генри возвращается в Олбани, устраивается учеником к часовщику, но карьера ремесленника не привлекает его, он все больше увлекается литературой и театром. Олбани становится весьма процветающим городом, известным своей богатой библиотекой. С юных лет книги были одним из главных увлечений Генри, его личная библиотека уже в томов.

С 1819 г. Генри – вольнослушатель Олбанской академии (среднее учебное заведение повышенного типа), по бедности он был освобожден от платы за обучение. В академии значительное внимание уделялось преподаванию естественно-научных дисциплин. Будущего ученого увлекла книга Т. Юнга «Курс лекций по физике и механике», на форзаце которой Генри написал запомнившиеся ему строки, совпадавшие, по-видимому, с его мечтой: Порой в великой книге тайн природы Мне удается кое-что прочесть!

Смолоду Генри преклонялся перед математикой. «Ясно, – писал он, – что из всех наук, которые призваны будить и поддерживать дух пытливости и предприимчивости, нет более действенной, чем математика».

В 1822 г. Генри был оставлен в Академии в должности ассистента и в течение трех лет участвовал в демонстрации опытов на лекциях по химии. Вскоре Генри становится одним из самых образованных людей города и избирается членом Ученого общества Олбани. Он принимает активное участие в основании Института натуральной истории (его нередко называли Олбанской академией наук), где работал в отделении физико-математических наук. Вскоре он становится «куратором» отделения природоведения, занимается геологическими исследованиями.

Во время одной из геодезических экспедиций он посетил известную Военную академию в Уэст-Пойнте, где впервые узнал об опытах Эрстеда, открывшего в 1819 г. действие электрического тока на магнитную стрелку. Будучи в Нью-Йорке, он ознакомился со способами изготовления подковообразных магнитов. Вряд ли он мог тогда предполагать, что почти вся его жизнь будет связана с исследованиями электромагнетизма.

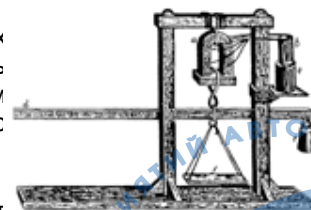
В 1826 г. Генри назначается на должность профессора математики и физики Олбанской академии. В своей первой речи, ставшей «официальным событием» в карьере ученого и педагога, он проявил удивительную осведомленность в развитии точных наук. Интересно его утверждение о том, что «шекспир в науке встречаются так же редко, как и в литературе».

В 1826–1832 гг. Генри преподавал в академии алгебру, высшую математику, физику и геометрию, руководил естественно-научным факультетом.

### Создатель первых мощных электромагнитов

Генри узнал об опытах Эрстеда спустя семь лет после их опубликования, но, увлекшись «тайнами» электромагнетизма, очень скоро сумел добиться успехов, сделавших его имя широко известным далеко за пределами Америки. Это прежде всего относится к созданику уникальных мощнейших электромагнитов.

В течение 1826–1827 гг. Генри внимательно изучает исследования в области электромагнетизма, проведенные Эрстедом, Араго, Ампером и Фарадеем. Предметом своих изысканий он выбрал электромагнит, предвидя возможность его практического применения. Первый подковообразный электромагнит, способный поднимать груз более 3 кг, что существенно превышало его собственный вес, был создан в 1825 г. англичанином В. Стердженом. Магнит представлял собой сердечник который была намотана неизолированная медная проволока. Один из ученых, впервые увидевший электромагнит, писал: «Дивисься ему, как чуду». Генри решил



«добиться сильных электромагнитных эффектов путем малой затраты электрохимической энергии» (гальванических батарей).

С присущим ему мастерством он создает многовитковые электромагниты, названные «уплотненными»: на сравнительно небольшой площади электромагнита он размещал до 400 витков изолированной шелком медной проволоки, подключаемых к отдельной батарее. Если соединить эти «пряди» обмотки параллельно, то сила тока заметно возрастает.

Генри изобрел «многокатушечную» обмотку, позволившую заметно увеличить подъемную силу электромагнита. Он предложил размещать на электромагните до десяти подобных обмоток – так появились первые в мире технические образцы катушек (называвшиеся «бобинами»). В процессе многочисленных экспериментов он изменял количество и схему подключения катушек к двум гальваническим батареям и сумел создать «силовые» электромагниты с фантастической подъемной силой – от 30 до 325 кг при собственном весе магнита 10 кг

Разработка уникальных магнитов потребовала от Генри немало изобретательности, времени и сил. Он вспоминал о первых своих работах: «Всю ночь я просидел у стола, заваленного кусками железа и проволоки. Три раза пришлось наливать мою маленькую лампу... Снова и снова я включал ток, притягивал к магниту куски железа и потом отрывал их. Магнит держал их так крепко, что я смеялся от радости». Методики расчета напряженности магнитного поля еще не существовало, и Генри определял подъемную силу электромагнита, пользуясь гириями.

В 1831 г. Генри создал для Йельского колледжа большой электромагнит с силой тяги 1000 кг (он хранится в Смитсоновском институте в Вашингтоне. Название института происходит от имени ученого Смита, завещавшего свое состояние для учреждения центра научных знаний). Успешные эксперименты Генри привлекли внимание европейских ученых. В частности, петербургский академик Б.С. Якоби полагал, что «построить постоянный стальной магнит с подобным соотношением масс практически невозможно». Высокую оценку работам Генри дали Фарадей и Ленц. Впоследствии мало кому удалось превзойти результаты, достигнутые Генри.

Вскоре электромагниты Генри получили практическое применение в промышленности. Так, в 1831 г. на одном из металлургических заводов в штате Нью-Йорк электромагнит использовался для сепарации железной руды.

Поразителен диапазон научных экспериментов Генри. После известных опытов Фарадея, доказавшего еще в 1821 г. вращение проводника вокруг магнита и магнита вокруг проводника, в 1831-м им была создана модель электродвигателя с качающимся движением «электромагнит-коромысла», совершавшего 75 равномерных качаний в минуту. И хотя Генри считал свое изобретение лишь «физической игрушкой», он надеялся, что при дальнейшем усовершенствовании это изобретение «может быть использовано для некоторой цели, созданные в 30–70-х годах XIX в. в разных странах, также не могли получить практического применения из-за отсутствия экономичного источника тока.

И даже в наше время нет «электрохода», а есть дизельэлектроход, турбоэлектроход, атомоход.

### Звездный час Генри

Главный научный подвиг Генри – открытие им явления электромагнитной индукции. В истории науки есть немало примеров, когда выдающиеся открытия и изобретения делались почти одновременно учеными разных стран, ничего не знавших друг о друге. Но то, что произошло осенью 1831 года в Лондоне и в главном городе штата Нью-Йорк Олбани, случается, может быть, раз в столетие.



В дневнике Фарадея записана дата исторического открытия явления электромагнитной индукции: 29 августа 1831 года. Почти через три месяца, 24 ноября 1831 г., он сообщил об этом Лондонскому Королевскому обществу, а 17 февраля 1832-го выступил с докладом о своем открытии в Королевском институте.

Статья Фарадея с подробным изложением экспериментов была опубликована в 1832 г. в журнале «Philosophical Transactions», а затем в крупнейших физических журналах континента. Профессор физики Олбанской академии Джозеф Генри, много лет занимавшийся исследованием электромагнитных явлений и ничего не знавший о работах Фарадея, 16 ноября 1831 г. пишет в письме одному из своих коллег: «Недавно я отковал большую подкову весом 101 фунт, которую намерен использовать для некоторых поучительных экспериментов, касающихся тождественности электричества и магнетизма», т. е. индуцировать электричество с помощью магнетизма. (Напомним, что Фарадей, сделав свое открытие, добился того, о чем мечтал – «превратить магнетизм в электричество».)

Никому из биографов не удалось выяснить, по какой причине Генри прекратил начатые в сентябре эксперименты и продолжил их лишь девять месяцев спустя.

Неоспоримо установлено, что электромагнитную индукцию Генри открыл в промежутке между 14 и 28 июня 1832 г. В письме своему коллеге от 28 июня Генри сообщил, что некоторое время был очень занят, но «на днях... добился успеха в очень интересном эксперименте по получению электрических искр из магнита».

Открытие Генри было опубликовано в июле 1832 г., одновременно вышли в свет рефераты первых двух серий «Экспериментальных исследований по электричеству» Фарадея, с которыми Генри ознакомился только осенью того же года. Как пишет один из биографов Генри Г. Цверав, «ничто в жизни Генри не вызвало столь тягостных переживаний, как этот сакраментальный перерыв в его занятиях наукой».

Из статьи Фарадея известно, что вначале он открыл «индукцию токов» и только в конце экспериментов получил эффект индукции, применив электромагнит.

Генри, много лет занимавшийся электромагнитами, сразу поставил эксперимент с электромагнитом и катушкой, подключенной к гальванометру. Первый эксперимент был проведен с подковообразным магнитом грузоподъемностью 360–380 кодключенная к гальванометру, удаленному (во избежание помех) примерно на 12 м.

Поразительны интуиция и мастерство экспериментатора Генри: он не повторил ошибки, допущенной европейскими учеными. Свои опыты производил вместе с помощником, который, будучи в другой комнате, включал и отключал батарею (при этом возникало и исчезало магнитное поле), и Генри наблюдал отклонение стрелки гальванометра. Швейцарский физик Колладон, исследовавший явления электромагнетизма еще раньше Фарадея и Генри, стоял у порога открытия электромагнитной индукции, но... Включая батарею, он спешил в другую комнату, где находился гальванометр, однако к этому времени устанавливался стационарный процесс и стрелка гальванометра оставалась неподвижной. До конца своих дней Колладон, проживший 90 лет, упрекал себя за то, что допустил такую досадную ошибку.

Во время исследования электромагнитной индукции Генри производил несколько различных экспериментов. Схема одного из них изображена на рис. 2. Большая катушка подключена к гальванометру (слева). При опускании внутрь катушки электромагнита, подключенного к батарее (справа), стрелка гальванометра отклонялась (то же происходило и при поднятии электромагнита из катушки). Эта схема напоминает рисунок из лабораторного журнала Фарадея. Удивительно, как схожи оказались эксперименты двух великих физиков, работавших независимо друг от друга на разных континентах! В своей статье, написанной уже после знакомства с опытом Фарадея, Генри, отдавая должное английскому физическому, подчеркнул, что он шел к открытию собственным, отличным от Фарадея путем и, как пишет один из биографов, «...очень краткими намеками указал, что первооткрывателем был все-таки он».

Конечно, никто не оспаривает приоритет Фарадея, но если бы Генри не пришлось прервать свои эксперименты, он разделил бы славу открытия с Фарадеем. Научный подвиг Генри должен быть оценен еще и потому, что условия его деятельности резко отличались от тех, в которых находился Фарадей. Он был знаком с известными учеными, работал в одной из лучших лабораторий Королевского института. У Генри не было даже «компетентных друзей», он не мог печататься в ведущих журналах Европы. «Талант Генри мужал в одиночку, духовное одиночество тяготило Генри, тормозило его творческие порывы».

В апреле 1832 г. Генри первым сделал еще одно важное открытие – обнаружил явление самоиндукции. Фарадей исследовал это явление лишь спустя два года.

Генри впервые создает и использует в физических экспериментах плоские катушки индуктивности, изготовленные из «полосовой меди», что позволяет ему добиваться больших эффектов, чем от обычных проволочных соленоидов. С помощью таких катушек Генри удалось исследовать еще одно ранее неизвестное явление – взаимную индукцию. Весь этот цикл исследований Генри отразил в трех статьях «Об электрической индукции» в 1838–1840 гг.

Последние эксперименты Генри проводил уже в Принстонском колледже (штат Нью-Джерси), куда был приглашен «ом натуральной философии». В этом колледже, ставшем в 1896 г. университетом, Генри весьма плодотворно работал в течение 14 лет.

В Принстоне Генри установил, что индукция проявляется в таких поразительных явлениях, которые «...не имели места во всем течении науки... суть их в том, что индукция проявляется через кирпичную стену, разделяющую смежные комнаты». Для того времени это было сенсацией.

### У истоков электросвязи

Исключительно важным для науки, в частности для электросвязи и радиотехники, стало открытие Генри в 1840–1842 гг. колебательного характера искрового разряда лейденской банки (конденсатора). Это был прообраз первого осциллятора. Генри впервые дал описание открытых им «сильно затухающих электрических колебаний» и предложил способ их возбуждения. Он утверждал, что «волны электричества», возникающие при разряде, «пробегают по поверхности проводника, а не внутри его, как это происходит при прохождении гальванического тока».

Открытие Генри было по достоинству оценено полвека спустя на заре радиотехники. В 1844 г. Генри провел еще один важный эксперимент: в физическом корпусе колледжа на шелковых нитях был подвешен медный провод, образующий прямоугольник со сторонами 9 и 15 м. Прямо под ним в подвале был подвешен такой же прямоугольный контур.

Когда верхний провод присоединялся к искрящей магнитоэлектрической машине, в нижнем проводе возникал ток, способный намагнитить иглу. Эти исследования Генри позволяют считать его одним из пионеров, заложивших основы учения об электромагнитных волнах. Заметим, что известный исследователь электромагнитных волн немецкий физик Г. Герц родился 15 лет спустя после открытия Генри колебательного характера искрового разряда.

Следующей областью приложения его талантов стала электросвязь. В то время в США использовался примитивный семафорный телеграф, не отвечавший потребностям в быстрой и надежной дальней связи. Первый электромагнитный аппарат, созданный Генри, был способен передавать информацию, по словам ученого, «...с быстротой мысли».

Эксперимент проводился в большой аудитории Олбанской академии. Вдоль стен был подвешен медный провод длиной 350 м, соединявший гальваническую батарею из 25 элементов с «уплотненным» электромагнитом. Приемное устройство состояло из настольного колокольчика и стержневого постоянного магнита, насаженного на вертикальную ось «якоря». Один конец «якоря» располагался между полюсами подковообразного магнита, а другой мог касаться колокольчика, что происходило при включении батареи (рис. 3).



Характеризуя свой эксперимент, Генри писал: «Это позволило впервые установить тот факт, что ток, создаваемый гальванической батареей, может возбуждать магнитное поле в электромагните, находящемся на расстоянии, и создавать в нем механические силы, а также то, что с помощью этого способа можно обеспечить передачу сигнала» (курсив наш. – Я.Ш.). В последующем Генри телеграфами, но сам конструированием телеграфов не занимался.

Однако известно, что один из изобретателей телеграфа С. Морзе в 1837 г., когда у него «...все валилось из рук», неоднократно приезжал к Генри и что он надомнил Морзе, «как действовать дальше». Генри, «ничего не тая», показал ему в действии свои схемы с

электромагнитами. Позднее Морзе использовал полученные сведения в своих патентах без указания источника.

Заметим, что Генри не патентовал свои открытия, чем нередко пользовались недобросовестные люди.

В 1835 г. Генри изобрел устройство, внедрение которого в практику имело важнейшее значение для развития телеграфа и обусловило возникновение техники телеуправления. Он разработал схему дистанционного управления действием основного электромагнита с помощью электромагнитного реле.

Имя Генри не упоминалось и в патенте на изобретение телеграфа, действовавшего на индукционном принципе, полученном в 1891–1892 гг. американским изобретателем Эдисоном. Правда, позднее Эдисон отметил, что он «не исследовал законы природы и не сделал крупных научных открытий ... не изучал их так, как изучали Ньютон, Фарадей и Генри». Один из биографов писал: «Будь Генри жив, он остался бы доволен этой сентенцией в устах человека, скупого на похвалы».

### Президент Американской академии наук

К середине 30-х годов научный авторитет Генри необычайно возрос, он становится общепризнанным лидером американской науки.

В 1836 г. в качестве поощрения научных заслуг Генри ему была предоставлена возможность посетить центры европейской науки. В своем «Европейском дневнике» Генри подробно описал каждый день незабываемого путешествия.

После 20 (!) суток плавания через океан парусный пакетбот бросил якорь в Плимуте, откуда Генри приехал в Лондон. Он давно мечтал побывать в Королевском институте, известном научном центре страны, и познакомиться с великим Фарадеем, возглавлявшим лабораторию этого института.

Встреча с Фарадеем запомнилась Генри на всю жизнь. Как писал один из биографов, Фарадей и Генри с первых дней нашли общий язык и «чувствовали себя братьями. В их общении друг с другом не было видно и тени зависти или недоброжелательства, что говорит о благородстве их характеров».

Английский физик Ч. Уитстон продемонстрировал Генри созданный им электромагнитный телеграф с использованием «вторичной гальванической цепи». «Я осведомил его, – писал позднее Генри, – что мною разработан другой метод, приводящий к схожим результатам». Уитстон ознакомил Генри с содержанием брошюры с изложением «теории г. Ома», опубликованной в 1827 году. Генри был «...наслышан (об этом законе. – Я.Ш.) еще дома», но после этого стал первым американцем, признавшим «непреодолимую ценность» открытия немецкого ученого.

Генри продемонстрировал Фарадею и Уитстону несколько своих экспериментов, удостоенных высокой оценки ученых. Признавая вклад Генри в исследование электромагнетизма, Фарад Копли. К сожалению, получить эту медаль Генри не удалось.

Интересными были встречи Генри с учеными Франции и Бельгии. Поездка по европейским странам продолжалась в течение восьми месяцев. Ему также удалось заказать крупнейшим приборостроительным фирмам новейшие физические приборы и устройства.

В 1846 г. Генри был единогласно избран «секретарем-директором» крупнейшего научного центра Америки – Смитсоновского института. Особое внимание он уделял физическому (одному из трех) отделу института. Но у него уже не было времени заниматься электромагнитными исследованиями, и он возглавил работы по геофизике и метеорологии. Федеративные власти считали, что прогнозы погоды, необходимые для нужд сельского хозяйства, были более важными, чем «туманные обещания» физиков-теоретиков.

Для ускорения передачи информации о состоянии погоды на огромной территории США сооружали протяженные телеграфные линии, общая длина которых к 1848 г. достигла 8 тыс. км. Надежность эксплуатации этих линий обеспечивалась созданным Генри электромагнитным реле для дистанционного управления. Ученый по праву считается пионером в применении телеграфа в метеорологии. Не всем известно, что американские метеорологи в 40–80-х годах XIX в. поддерживали тесные связи с научными учреждениями России по проблемам метеорологии. Особенно высоко Генри ценил труды известного русского ученого-метеоролога А.И. Воейкова.

В 1863 г. президент США А. Линкольн подписал билль об основании Национальной Академии наук. В числе первых 50 академиков был и Дж. Генри. В 1868 г. после смерти первого президента Академии наук Генри был избран на этот пост. Он подчеркивал, что право на членство в Академии должны давать «...только и только подлинно научные открытия». В 1870 г. уже в качестве официального лидера американской науки он вновь посетил Европу. Ученые его поколения либо уже скончались, либо «сошли со сцены», а молодые физики смотрели на Генри «...как на почтенную, но все же историческую личность».

В 1876 г. в Филадельфии проходила Международная выставка в честь 100-летия США. Генри, возможно, лучше других посетителей выставки понимал, что человечество оказалось на пороге «царства электричества».

Несмотря на выдающиеся научные заслуги, Генри был удивительно скромным человеком.

Весьма характерно его высказывание незадолго до смерти: «Моя жизнь в основном была посвящена науке, и мои исследования в различных областях физики создали мне известную репутацию по части фундаментальных открытий. Я ... не домогался вознаграждения за свои труды, довольствуясь лишь радостным сознанием, что мои работы дополнили сумму человеческих знаний.

Единственная награда для меня – прогресс науки, счастье от открытия новых истин и научная репутация, на которую дают права мои исследования».

Весной 1878 г. ученый тяжело заболел, 13 мая Генри не стало. Его похоронили на кладбище в пригороде Вашингтона Джорджтауне. В 1883 г. перед зданием Смитсоновского музея во весь рост украшает главный читальный зал библиотеки Конгресса; памятник знаменитому земляку установили жители Олбани. Были изданы «Научные труды» Генри.

Один из американских ученых с горечью писал: «Хотя тысячи людей каждый погожий день на Молл-сквере в Вашингтоне задерживаются перед памятником Джозефу Генри, установленным перед старым зданием Смитсоновского института... может показаться неправдоподобным, но это именно так, что лишь немногие из них твердо знают, кто он и что он сделал».

Научный вклад Генри в сокровищницу знаний получил высочайшую оценку: в 1893 г. на Электротехническом Конгрессе в Чикаго единица индуктивности была названа «генри». Как заметил М. Уилсон, «...наука воздала ему должное и возвела на самый почетный пьедестал, написав его имя с маленькой буквы: Генри стал генри наряду с ампером, вольт, фарадой».

Источник: <http://www.connect.ru/>







Редактор бесплатного электронного  
журнала «Я электрик!»

Повный Андрей

Надеюсь 15-й номер журнала «Я электрик!»  
Вам понравился, и Вы открыли что-то новое  
для себя!

WWW: <http://electrolibrary.info>

Email: [electroby@mail.ru](mailto:electroby@mail.ru)

Гомель, Беларусь

#### Мои проекты:

<http://electrolibrary.info> – «Электронная электротехническая библиотека»

<http://electrik.info/> - Интернет-журнал «Электрик.Инфо»

<http://www.electricalschool.info/> - Школа для электрика

<http://electrolibrary.info/electrik.htm> - Электронный журнал «Я электрик!»

<http://electrolibrary.info/bestbooks/> - Электротехническая литература по почте

Почтовая рассылка «Электротехническая энциклопедия» -

<http://electrolibrary.info/subscribe/>

