

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.313.3

О. Н. Парфенович, канд. техн. наук, доц., А. С. Третьяков

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются вопросы коммутации асинхронных электродвигателей быстродействующими магнитными пускателями нового поколения. Отмечается, что при этом возникают большие перенапряжения на обмотках электродвигателя по причине «дребезга контактов», что может являться основной причиной пробоя изоляции обмоток и отказа в работе электродвигателя. Предлагаются новые схемы тиристорно-контакторных коммутаторов, устраняющие указанные перенапряжения и увеличивающие надёжность работы электродвигателей и самих пускателей.

В процессе прямого контакторного пуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя амплитуда пускового тока I_{mn} в течение первой полуволны может в 1,4–1,7 раз превысить амплитуду установившегося пускового тока:

$$\begin{aligned} I_{mn} &= (1,4 \dots 1,7) \cdot \sqrt{2} \cdot k_I \cdot I_{ном} = \\ &= (14 \dots 17) \cdot I_{ном}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $I_{ном}$ – действующее значение номинального тока; k_I – кратность пускового тока.

Такой ток вызывает относительно большие электродинамические усилия, действующие в направлении размыкания контактов контактора (магнитного пускателя). Одновременно при включении контактов происходит их вибрация, вызываемая соударением. Продолжительность вибрации контактов составляет до 0,005 с. При этом происходят одно-два размыкания цепи с током $(14 \dots 17) \cdot I_{ном}$ при напряжении на контактах, равном напряжению сети U_c (рис. 1).

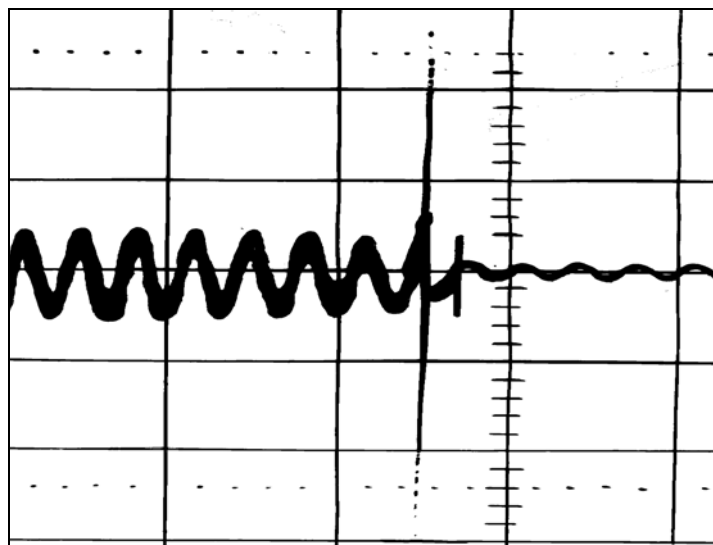


Рис. 1. Коммутационные перенапряжения на обмотках статора

Время разрыва цепи контактами магнитного пускателя может достигнуть 500 мкс, при этом в питающей двигатель сети возможны перенапряжения $E_{mn} \approx 10 \cdot U_c$. Применение же защитных РС-цепочек (с параметрами, принятыми в силовых преобразователях для защиты тиристоров) не устраняет коммутационные перенапряжения, хотя и несколько снижает их уровень.

Следует отметить, что отключение асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, работающего с номинальным и меньшим током, менее опасно, чем включение, поскольку напряжение при этом на контактах определяется разностью мгновенных значений напряжения сети и ЭДС в обмотке статора.

Численные значения импульсов коммутационных перенапряжений – величины случайные (определяются фазой напряжения сети в момент коммутации) [1]. При анализе коммутационных перенапряжений в статорных обмотках асинхронного электродвигателя следует обратить внимание на особенность распределения этих перенапряжений по катушкам (секциям) фазы обмотки. Из-за большой крутизны фронтов перенапряжений проявляется влияние емкостных переходов: катушка (секция) – корпус электродвигателя и секция – секция. При этом на первых от ввода секциях перенапряжения повышены, что следует учитывать при их численной оценке.

Определить коммутационные перенапряжения на обмотках статора можно следующим образом:

$$E_{mn} = \frac{x_k}{\omega} \cdot \frac{(1,4...1,7) \cdot \sqrt{2} \cdot k_I \cdot I_{ном}}{t_D}, \quad (2)$$

где x_k – индуктивное сопротивление электродвигателя с короткозамкнутым ротором; t_D – время разрыва коммутируемого тока.

Если принять $t_D < 500$ мкс, то, например для электродвигателя АИРС112М4, $E_{mn} > 9,46 \cdot U_{ном}$, что соответствует экспери-

ментальным данным, а если принять $t_D = 100$ мкс, что не исключается по [1], то $E_{mn} = 47,3 \cdot U_{ном}$. Перенапряжения на статорных обмотках коммутируемых электродвигателей приводят к микропробоям изоляции, что может являться причиной преждевременного выхода их из строя, особенно если электродвигатели работают в режиме частых пуско-реверсивных циклов.

По данным [2] отказы в обмотках статора составляют 85 % всех отказов асинхронных электродвигателей. В [2] приводится и эмпирическая формула для определения вероятности виткового замыкания в обмотке при импульсах коммутационного перенапряжения. В соответствии с этой формулой вероятность выхода из строя обмотки статора асинхронного электродвигателя при отсутствии коммутационных перенапряжений составляет 0,0002, т. е. в этом случае электродвигатель работает практически безотказно. При воздействии же коммутационных перенапряжений (например, при частоте коммутации 20 ч^{-1} , что соответствует средней частоте пускотормозных циклов в приводах лифта) вероятность выхода из строя обмотки статора электродвигателя равна 0,064, т. е. в течение года из каждой тысячи электродвигателей 64 выходят из строя. Эти данные подтверждаются практикой эксплуатации лифтовых электродвигателей.

Более поздние данные, уже по новой серии электродвигателей – АИР, приводятся в [3]. Из материалов указанной статьи следует, что современные электродвигатели работают в среднем не более трех-четырех лет, хотя в соответствии со стандартами должны работать 17 лет.

Таким образом, можно считать, что решение вопроса повышения надежности электродвигателей, как и защиты их от коммутационных перенапряжений, связано с обеспечением бестоковой коммутации, при которой коммутационные перенапряжения отсутствуют.

Промышленностью (в основном за рубежом) выпускаются комплекты устройств для бестоковой коммутации асинхронных электродвигателей типа SIRIUS/SICOSTAR [4]. Общими недостатками указанных бестоковых коммутаторов считаются их относительная сложность, значительно большая по сравнению с магнитными пускателями стоимость, отсутствует также гальваническая развязка сети и коммутируемой нагрузки при отключении электродвигателя.

В известных схемах тиристорно-контакторных устройств очередность переключения тиристоров и последовательно включенных силовых контактов магнитных пускателей реализуется временными задержками. Это увеличивает время включения и отключения коммутируемых электродвигателей, что особенно нежелательно в аварийных защитных режимах при их отключении. Кроме того, применение бестоковых коммутаторов, каждая фаза которых коммутируется отдельно, требует введения дополнительного контроля полнофазного режима работы электродвигателя, который в известных устройствах отсутствует.

В данной статье предлагаются схемы бестоковых коммутаторов, более эффек-

тивно реализующих предъявляемые технические требования. В них введены необходимые блокировки [5]. Схемы обеспечивают:

- бестоковое включение и отключение электродвигателя, благодаря логической последовательности переключений тиристоров и контактов магнитных пускателей без временных задержек;
- контроль подачи напряжения на все фазы обмоток статора (контроль полнофазного режима работы электродвигателя); контроль запираания всех тиристоров при отключении электродвигателя;
- гальваническую развязку обмотки статора электродвигателя от сети при его отключении, а также гальваническую развязку фаз при их переключении для реверса электродвигателя.

На рис. 2 приведена принципиальная схема управления асинхронным электродвигателем с обмоткой статора, включенной по схеме «звезда». Схема обеспечивает пуск, реверс и останов электродвигателя при бестоковом переключении магнитных пускателей.

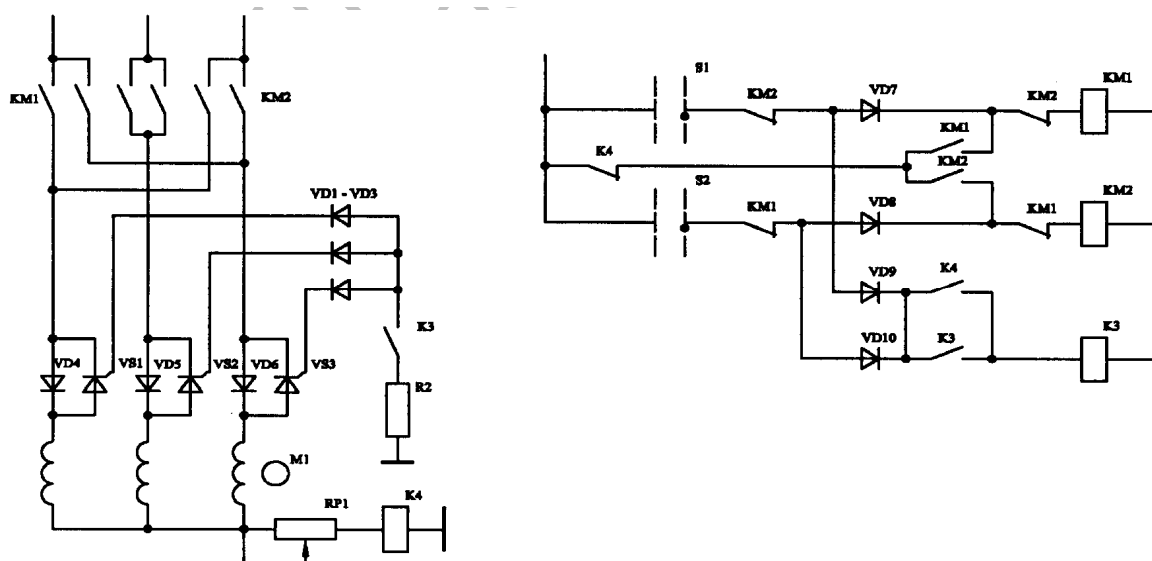


Рис. 2. Схема управления асинхронным электродвигателем с обмоткой статора, включенной по схеме «звезда»

При включении переключателя S1 напряжение подается на катушку магнитного пускателя KM1. При замыкании силовых контактов пускателя KM1 через силовые диоды VD4–VD6, обмотку статора электродвигателя M1 и потенциометр RP1 трехпульсное выпрямленное напряжение поступает на обмотку реле K4, которое с помощью потенциометра RP1 настраивается на срабатывание только при наличии напряжения на всех трех фазах электродвигателя. Замыкающим контактом реле K4 включает реле K3, которое своим контакстом замыкает цепи управляющих электродов силовых тиристоров VS1–VS3. В результате открытия последних на двигатель подается трехфазный переменный ток.

При отключении электродвигателя переключателем S1 размыкаются цепи

обмотки реле K3, контакт которого отключает управляющие электроды тиристоров VS1–VS3, и последние закрываются. Трехпульсное выпрямленное напряжение подается на обмотку реле K4, которое своим размыкающим контакстом размыкает цепь катушки пускателя KM2, в результате чего его силовые контакты, размыкаясь без тока, снимают напряжение со статорных обмоток электродвигателя M1.

Реверс электродвигателя осуществляется переключателем S2 в последовательности, аналогичной описанной выше.

На рис. 3 показана принципиальная схема управления асинхронным двигателем с обмоткой статора, включенной по схеме «треугольник».

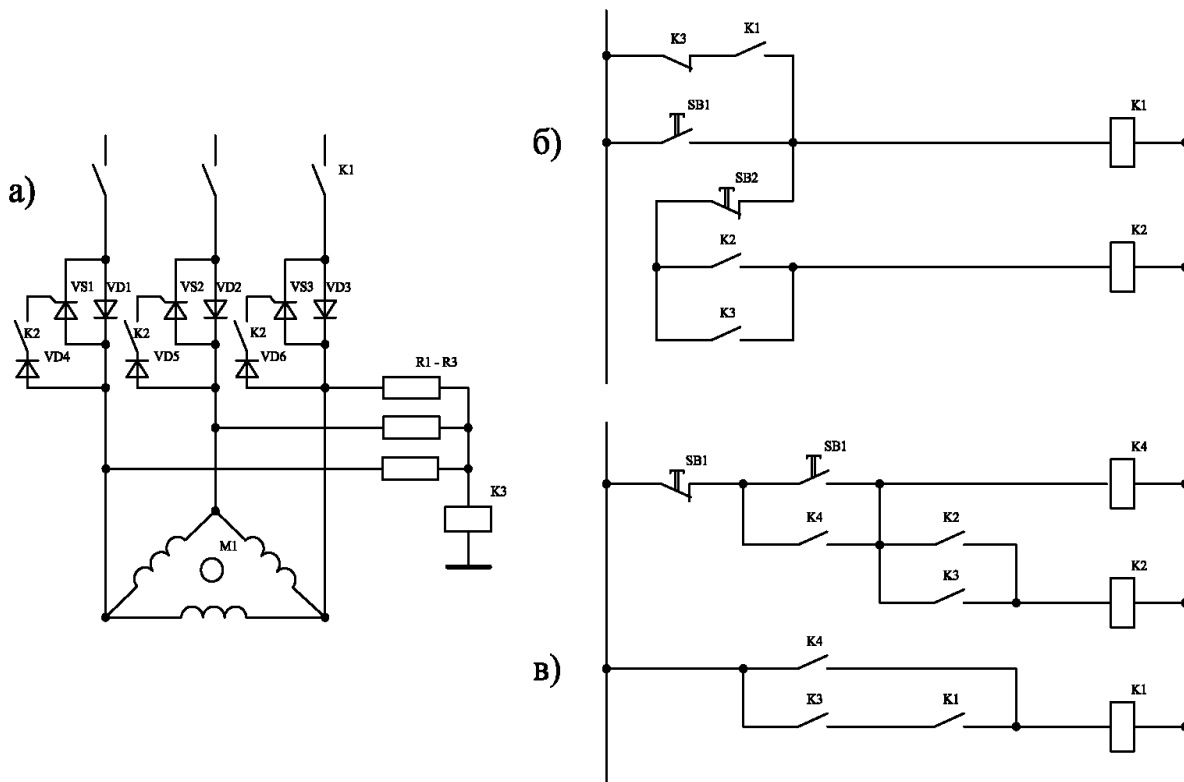


Рис. 3. Схема управления асинхронным двигателем с обмоткой статора, включенной по схеме «треугольник»

Пуск и останов двигателя осуществляются соответственно от кнопок SB1 и SB2. В варианте релейной группы (рис. 3, б) кнопка должна быть нажата до тех пор, пока не сработают реле K2, K3 и не включатся тиристоры VS1–VS2. В варианте релейной группы (рис. 3, в) нажатие кнопки SB1 может быть ограничено временем срабатывания реле K4.

Недостатком устройств, изображённых на рис. 2 и 3, является относи-

тельная сложность системы управления тиристорами коммутатора из-за наличия дополнительного релейно-контакторного аппарата с ограниченной надёжностью по числу срабатываний его контактов.

На рис. 4 представлена упрощённая схема пуска асинхронного электродвигателя, но без гальванической развязки с сетью.

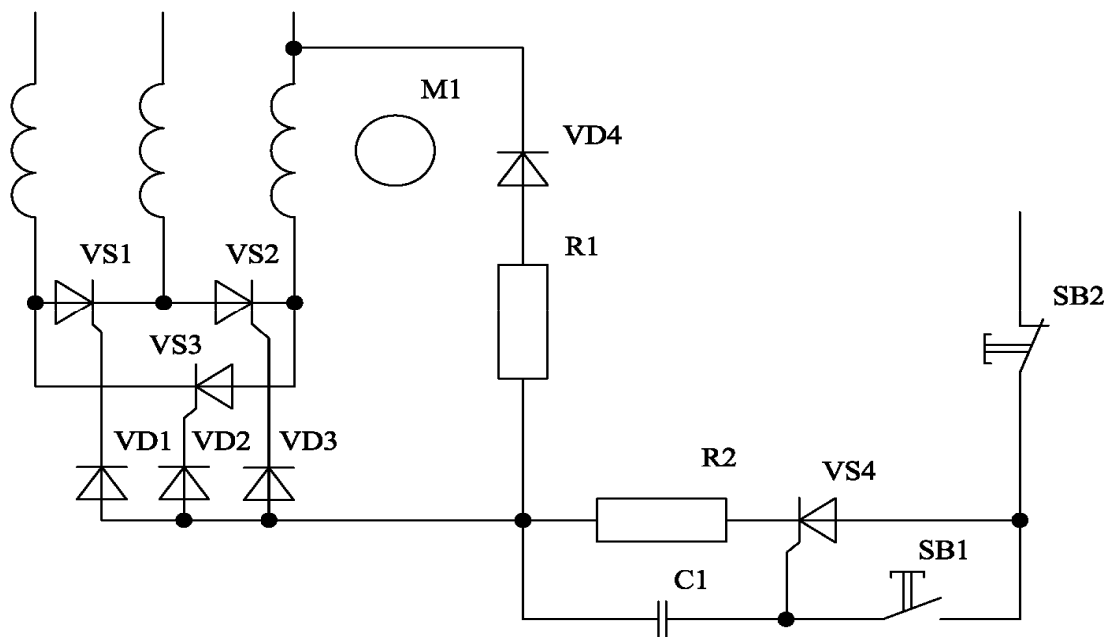


Рис. 4. Упрощённая схема пуска асинхронного электродвигателя, но без гальванической развязки с сетью

Устройство работает следующим образом. При нажатии на кнопку SB1 открывается тиристор управления VS4 и ток управления через разделительные диоды VD1–VD3 подается на управляющие электроды силовых тиристоров VS1–VS3, которые открываются. Таким образом электродвигатель M1 включается, а отключается – нажатием кнопки SB2. Конденсатор C1 своим разрядом через управляющий электрод тиристора управления VS4 и резистор R2 обеспечивает открытое состояние тиристора VS4 на время подачи запирающего тиристора управления VS4 напря-

жения, которое появляется при включении поочередно тиристоров VS1, VS2, VS3. Цепь, состоящая из резистора R1 и диода VD4, обеспечивает заряд конденсатора C1.

По своим размерам данное пусковое устройство вполне может разместиться в слегка увеличенной клеммной коробке асинхронного электродвигателя.

Основным недостатком данной схемы является прямой пуск асинхронного электродвигателя M1. Для регулирования напряжения на обмотке статора необходимо встроить в данное устрой-

ство блок управления углом открытия тиристора управления VS4. Тогда появится возможность не только регулировать напряжение на обмотке статора электродвигателя M1, но и построить замкнутую систему регулирования с обратной связью по скорости. Микропроцессорная система управления углом открытия тиристора управления VS4 по своим размерам мала и может также вестись в слегка увеличенную клеммную коробку асинхронного электродвигателя.

В итоге получаем асинхронный электродвигатель в электромехатронном исполнении, который уже содержит преобразователь напряжения и систему управления им, размещённые в клеммной коробке. Таким электродвигателем можно управлять как с пульта управления, расположенного на клеммной коробке, так и с пульта управления, расположенного на некотором расстоянии от него, посредством дистанционного управления (например, через интерфейс).

Такой электродвигатель (или элек-

тропривод) не только защищён от коммутационных перенапряжений, но и обладает возможностями управления переходными процессами и регулирования; также повышается надёжность работы и увеличивается период времени безаварийной работы до капитального ремонта.

Предлагаемый электропривод может быть рекомендован для применения в регулируемом электроприводе машин и механизмов, а также наиболее целесообразно его использование в электроприводе различного рода нагнетателей, в подъемно-транспортных машинах, работающих в режиме частых управляемых пускотормозных циклов.

Весьма эффективно применение тиристорно-контакторного управления для электропривода лифта.

На рис. 5 представлена принципиальная схема управления пуском и реверсом двухскоростного асинхронного лифтового электродвигателя при его бестоковой коммутации.

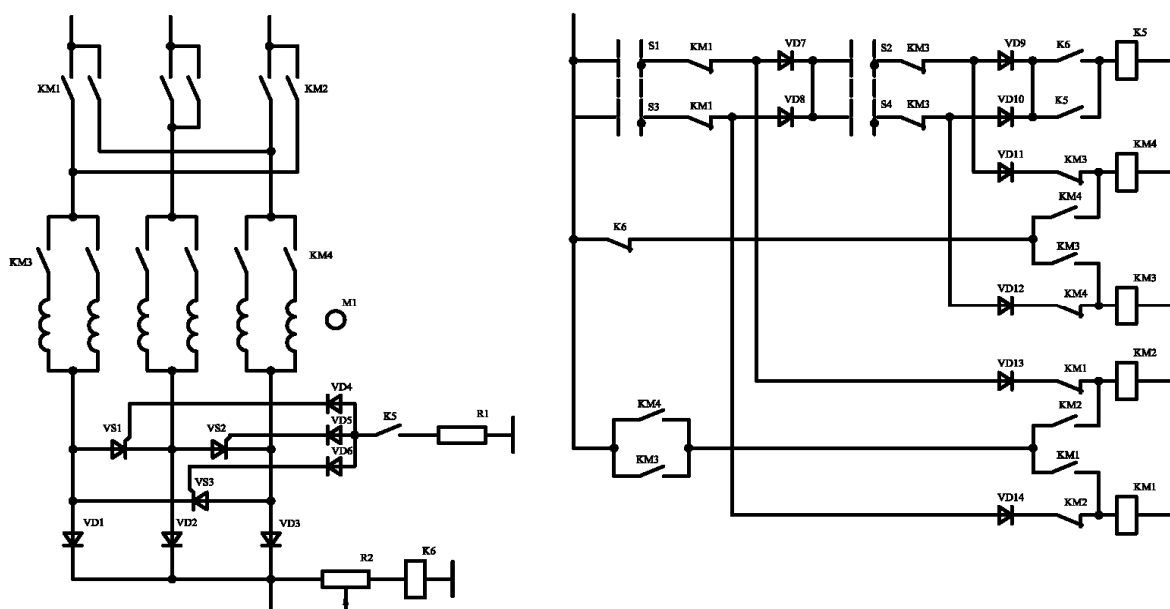


Рис. 5. Схема управления пуском и реверсом двухскоростного лифтового асинхронного электродвигателя при его бестоковой коммутации

Включение силового тока электродвигателя осуществляется тиристорными элементами VSI-VS3 (включен в треугольник), соединяющим концы статорных обмоток. Схема обеспечивает:

- прямой пуск электродвигателя на повышенную частоту вращения (включены переключатели S1 и S2);
- обратный пуск электродвигателя на повышенную частоту вращения (включены переключатели S3 и S2);

- прямой пуск электродвигателя на пониженную частоту вращения (включены переключатели S1 и S4);
- обратный пуск электродвигателя на пониженную частоту вращения (включены переключатели S3 и S4).

Габаритные размеры тиристорно-контакторного коммутатора, выполненного по данной схеме для двигателя мощностью до 8 кВт, составляют 320×320×150 мм (рис. 6).

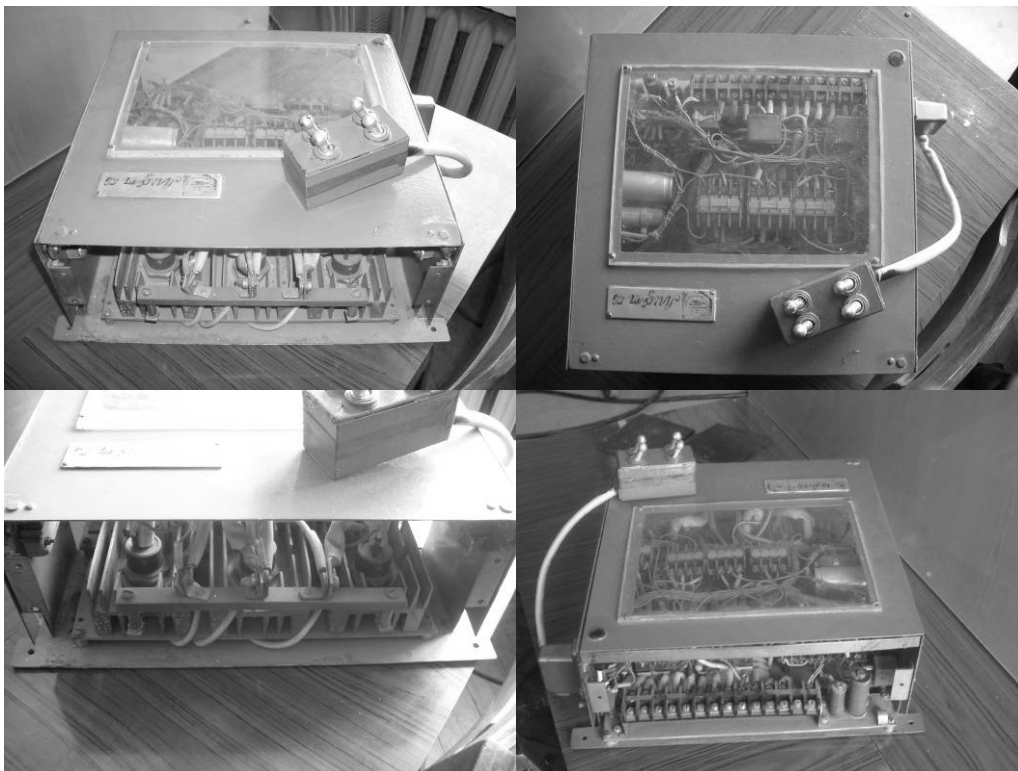


Рис. 6. Тиристорно-контакторный коммутатор

Бестоковое включение и отключение двигателей позволяет использовать для их коммутации магнитные пускатели меньших типоразмеров. Такой вывод можно сделать на основании сравнительного исследования температурного режима силовых контактов магнитного пускателя, работающего при токовой и бестоковой коммутации асинхронного двигателя.

На рис. 7 показаны кривые нагрева силового контакта магнитного пускателя

типа ПМЛ-1, работающего в режиме токовой коммутации асинхронного двигателя типа АИРС112М4 при 1200 включениях в час (категория применения АС-4) с дугообразованием на контактах (кривая 1) и в режиме бестоковой коммутации без дугообразования на контактах (кривая 2).

Сравнение этих кривых показывает, что токовая нагрузка на контактах пускателя ПМЛ-1 при работе его в ре-

жиме бестоковой коммутации может быть увеличена на 60–65 %, так как при этом отсутствует нагрев контактов, обусловленный многократным воздействием дуги.

Исследовалась также электрическая износостойкость силовых контактов пускателей ПМЛ–1, работающих в режиме бестоковой коммутации двигателя типа 4АС 132М4. Исследования показали, что

электрическая износостойкость в данном режиме может быть приравнена к их механической износостойкости, которая для пускателей серии ПМЛ составляет до 16 млн циклов, в то время как электрическая износостойкость этих пускателей при токовой коммутации в зависимости от категории применения составляет от 0,3 до 1 млн циклов.

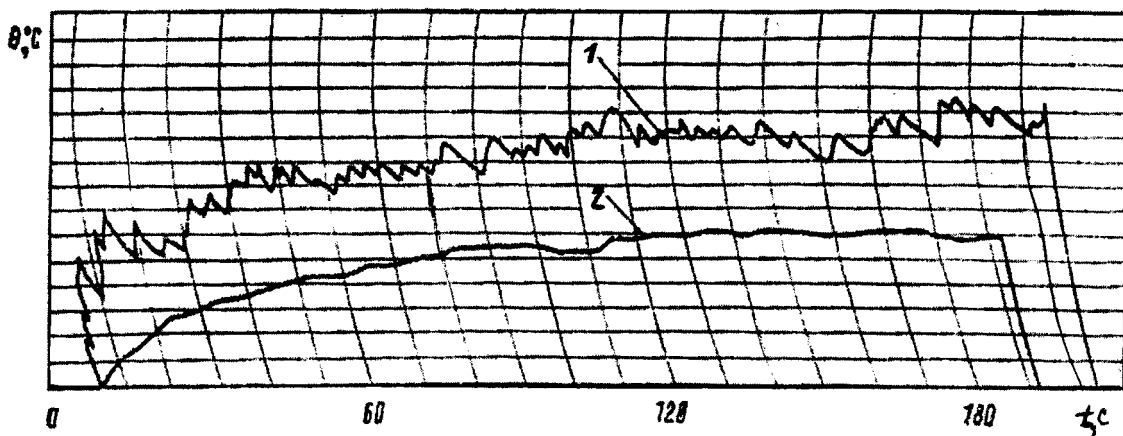


Рис. 7. Кривые нагрева силового контакта магнитного пускателя типа ПМЛ–1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдберг, О. Д. Влияние коммутационных перенапряжений на надежность низковольтных асинхронных двигателей / О. Д. Гольдберг // Электротехника. – 1968. – № 5. – С. 5–8.
2. Асинхронные двигатели общего назначения / Е. П. Бойко [и др.] ; под ред. В. М. Петрова и А. Э. Кравчика. – М. : Энергия, 1980. – 488 с.
- 3 Палтерович, Д. Н. Куда исчезают двигатели / Д. Н. Палтерович // Экономика и организа-

ция промышленного производства. – 1985. – № 3. – С. 5–10.

4. Низковольтные коммутирующие аппараты : Siemens LV.10.2004 [Электронный ресурс]. – М., 2004. – Режим доступа : [http : // siemens.ru](http://siemens.ru).

5. Парфенович, О. Н. Тиристорно-контакторное управление асинхронными двигателями / О. Н. Парфенович // Промышленная энергетика. – 1989. – № 8. – С. 29–32.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 23.01.2008

O. N. Parfenovich, A. S. Tretiacov
To a question on increase of reliability of work of asynchronous electric motors while in service

Questions of switching of asynchronous electric motors by high-speed magnetic actuators of new generation are considered in the article. It is noticed, that big overstrains on electric motor windings for the reason of «chatter of contacts» arise that can be a principal cause of breakdown of windings isolation and electric motor failure. New schemes of thyristor-contactor switchboards, eliminating specified overstrain and works of electric motors increasing reliability and actuators are offered.