

СИНХРОННЫЙ БЕЗЫСКРОВОЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ

Н. П. Ряшенцев

Введение

Одним из прогрессивных направлений развития техники является объединение машины-двигателя с машиной-орудием. Наиболее просто решается этот вопрос в электромагнитных механизмах возвратно-поступательного движения, где рабочий орган одновременно является одной из составных деталей машины. В настоящее время все большее распространение находят механизмы с возвратно-поступательным движением рабочего органа (питатели, грохоты, вибраторы, соленоидные приводы, молотки, машины ударно-вращательного бурения и др.). Однако многие электромагнитные механизмы из-за несовершенства конструкции и схем питания до настоящего времени широкого распространения не получили (соленоидные молотки и машины ударно-вращательного бурения).

В работе [1] проф. А. Н. Москвитин указывает, что одна из основных трудностей в создании соленоидных молотков заключается в отсутствии надежно работающего прерывателя. Из-за большой индуктивности катушки молотка при ее выключении на клеммах выключателя образуется дуга, которая при большой частоте выключения вызывает очень быстрое обгорание контактов. Применяемые способы борьбы с возникновением дуги до настоящего времени успеха не имели. Известно, что молоток с отдельно стоящим прерывателем или с прерывателем, управляемым от бойка, давал хорошие результаты, но контакты прерывателя под действием электрической дуги быстро обгорали.

Были попытки создания синхронных переключателей переменного тока. В этих конструкциях переключение тока производилось в момент прохождения его через нуль. При этом обгорание контактов значительно уменьшалось. Однако контакты все же обгорали, так как момент прохождения тока через нуль определяется величиной нагрузки молотка, колебанием ротора относительно поля статора, а время для переключения питания катушек молотка при данной схеме должно быть равно нулю. Улучшение качества контактов, а также уменьшение рабочего напряжения не имели успеха.

Впоследствии были предложены конструкции синхронного соленоидного молотка типа «Синтрон» и К. Н. Шмаргунова [2]. Молотки этих конструкций работали на переменном токе; в качестве переключателей использовались вентили. При такой схеме питания катушек молотка боек делал 3000 ударов в минуту и при существующих конструкциях не создавал достаточной величины энергии удара. Более эффективно молоток работает при пониженной частоте ударов, так как в этих условиях меньше влияет отрицательное действие противоэлектродвижущей силы бойка, токов Фуко, потерь на гистерезис. Чтобы осуществить конструкцию молотка с частотой ударов 1500 в минуту, необходимо найти новую надежно работающую конструкцию переключателя, обеспечивающего безыскровое включение и выключение питания катушек молотка.

Синхронный безыскровой переключатель

Принцип безыскровой работы переключателя основан на включении и отключении питания нагрузки в момент, когда ток в вентиле равен нулю (не считая обратного тока вентилея). Рабочий орган переключателя может быть щеточного или кулачкового типа. Каждый тип переключателя имеет свои достоинства и недостатки. В данной работе мы не ставим своей целью выявление рациональной конструкции переключателя, а хотим показать принцип действия переключателя и определение условия его безыскровой работы. Рассмотрим принцип действия щеточного безыскрового переключателя. Количество щеток (или кулачков) переключателя и их взаимное расположение зависят от схемы питания катушек соленоидного молотка.

При работе переключателя в однополупериодной схеме, приведенной на рис. 1, а, его конструкция будет состоять из следующих основных частей (рис. 1, б)*: синхронного электродвигателя ($n = 1500$ об/мин.) 1, щеток 2 для включения катушки К1, скользящего контакта 3, получающего питание от вентилея (полукольцо из бронзы), скользящего контакта 4 (полукольцо из бронзы), для включения катушек К1 и К2, спая 5, изолирующей основы 6, неспаянных полуколец 7, щеток 8 для включения катушек К2.

При положительной полуволне напряжения U через выпрямитель B , спаянные полукольца переключателя Π и катушку К1 протекает ток i_n . Цепь питания катушки К2 будет разомкнута, так как щетки 8 скользят по неспаянным полукольцам 7. При повороте вала двигателя 1 на 180° питание катушек К1 и К2 изменится на обратное, т. е. катушка К2 получит питание через спаянные полукольца, а цепь питания катушки К1 будет разомкнута.

* В изготовлении переключателя принимал участие студент В. Т. Лопатин.

Для вращения полуколец переключателя установлен однофазный синхронный двигатель 1 на 1500 об/мин. Расположение спаянных полуколец относительно статора и ротора двигателя показано на рис. 1, в. За один оборот вала двигателя 1 в фазе А может пройти два периода тока, но вентилем В пропускаются только положительные полупериоды тока, как показано на рис. 1, г.

Таким образом, если укрепить спаянное полукольцо 3 и щетки переключателя 2 и 8 относительно ротора и статора двига-

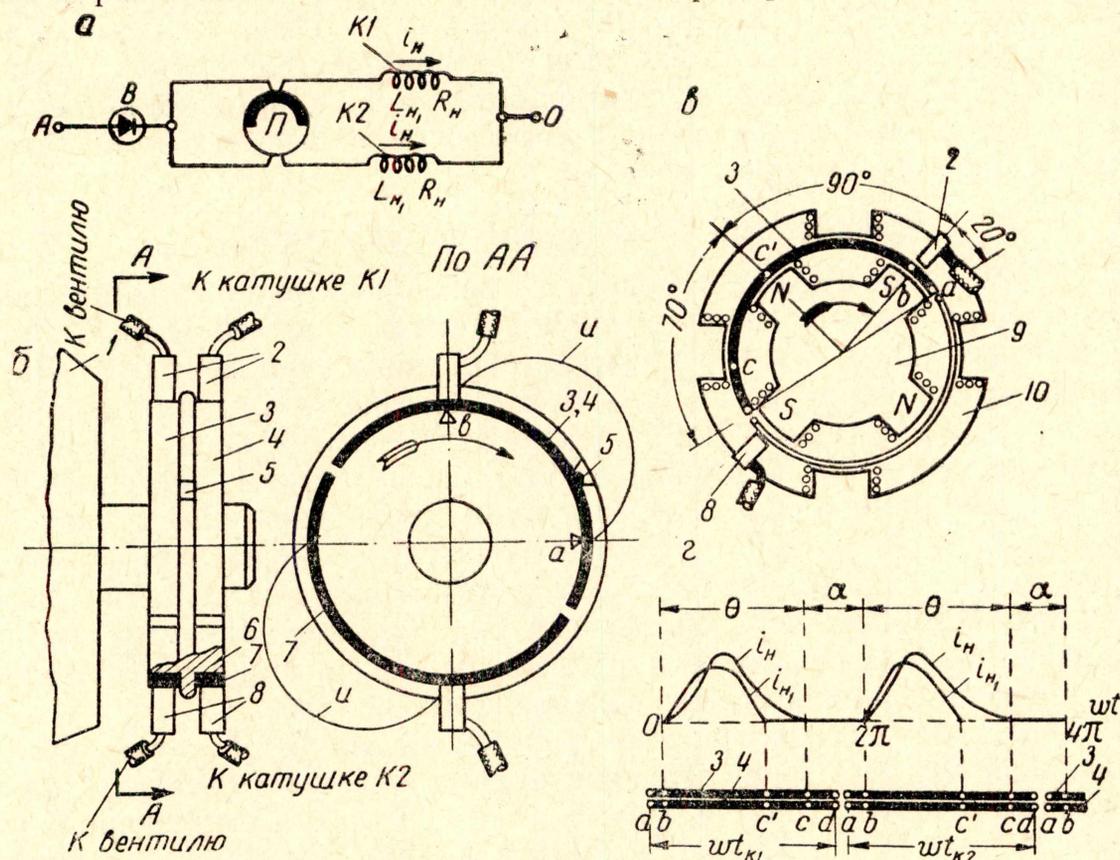


Рис. 1. Безыскровой щеточный переключатель:

а — работа переключателя в однополупериодной схеме; б — конструкция щеточного переключателя; в — расположение полуколец переключателя относительно полюсов двигателя; г — развернутая схема перемещения спаянных полуколец относительно кривых изменения тока.

теля так, как показано на рис. 1, то при вращении ротора спаянное полукольцо 3 замкнет щетки цепи питания катушек К1 в точке а, т. е. раньше, чем начнет протекать ток в фазе А. Опережающее включение нагрузки К1 переключателем, а затем уже вентилем, позволяет избежать искрение на щетках переключателя во время включения катушек молотка.

В точке б через щетки, полукольца и катушку К1 начинает протекать ток. Скорость нарастания и спада тока определяется параметрами цепи. При работе переключателя по схеме, изображенной на рис. 1, скорость изменения тока определяется индуктивной и активной составляющей нагрузки цепи. При опре-

деленных параметрах цепи, выбор которых приводится ниже, выключение активно-индуктивной нагрузки вентилем происходит в точке c , а при активной нагрузке в точке c' , но щетки переключателя сходят со спаянных полуколец только в точке d . Предварительное выключение нагрузки вентилем позволяет обеспечить безыскровое переключение нагрузки щетками. Влияние обратного тока вентилея не учитываем, так как он очень мал и практически влияния на искрообразование не оказывает.

Итак, для безыскровой работы переключателя необходимо, чтобы угол продолжительности работы вентилея был меньше угла продолжительности включения щеток переключателя $\omega t_{к1}$, $\omega t_{к2}$, а также опережающее включение нагрузки выключателем

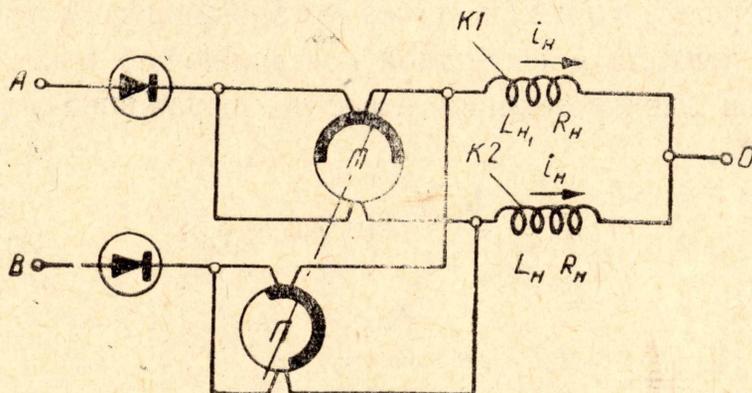


Рис. 2. Работа переключателя в двухполупериодной схеме трехфазного тока с нулевым проводом с раздельным переключением фаз A и B .

($a-b$) и опережающее выключение нагрузки вентилем ($c-d$). Все условия безыскровой работы переключателя наглядно изображены на рис. 1, 2.

При работе переключателя по схеме, показанной на рис. 2, к описанной конструкции переключателя дополнится еще одна пара спаянных полуколец фазы B , которые сдвинуты относительно спаянных полуколец фазы A на 120 электрических градусов.

Влияние параметров нагрузки на период безыскровой работы переключателя и выбор рациональных схем переключателя

Работа переключателя в однополупериодной схеме выпрямления

Для того, чтобы найти зону безыскрового действия переключателя, необходимо найти зависимость угла продолжительности работы вентилея θ от нагрузки.

При работе переключателя и вентилея в однополупериодной схеме выпрямления однофазного тока (рис. 1) процессы при

изменении напряжения по синусоидальному закону описываются дифференциальным уравнением

$$L_H \frac{di_H}{dt} + R_H i_H = u = \sqrt{2}U \sin \omega t, \quad (1)$$

где L_H — индуктивность нагрузки;

i_H — ток нагрузки;

R_H — сопротивление, включенное в цепь нагрузки;

u — мгновенное значение напряжения;

U — максимальное значение напряжения.

Ток нагрузки катушек молотка, протекающий через вентиль и переключатель, для удобства аналитического выражения может быть представлен как сумма установившегося тока i'_H при отсутствии вентиля и свободной составляющей тока i''_H .

Из основ электротехники известно выражение для этих составляющих

$$i'_H = \frac{\sqrt{2}U}{z_H} \sin(\omega t - \varphi_H), \quad (2)$$

$$i''_H = c e^{-\frac{R_H}{L_H} t} = c e^{-\frac{t}{\tau_H}}, \quad (3)$$

где $\tau_H = \frac{L_H}{R_H}$ — постоянная времени цепи нагрузки.

В уравнении (3) постоянная интегрирования определяется из начальных условий равенства (1) при $t=0$ и $i_H=0$

$$c = \frac{\sqrt{2}U}{z_H} \sin \varphi_H, \quad (4)$$

Тогда

$$i_H = i'_H + i''_H = \frac{\sqrt{2}U}{z_H} \left[\sin(\omega t - \varphi_H) + e^{-\frac{t}{\tau_H}} \sin \varphi_H \right]. \quad (5)$$

На рис. 3, а приведены кривые изменения тока нагрузки и его составляющих i'_H и i''_H при работе переключателя по схеме, изображенной на рис. 1, и синусоидальном напряжении источника питания. Из графического построения (рис. 3) уравнения (5) и осциллограммы (рис. 3, в), снятой во время работы переключателя, видно, что ток нагрузки может протекать через вентиль и переключатель в течение промежутка времени, превышающего полупериод. Увеличение угла продолжительности работы вентиля объясняется наведением положительного значения э. д. с. самоиндукции

$$e_L = -L_H \frac{di_H}{dt}$$

во время убывания тока нагрузки i_H (3), поэтому ток протекает через вентиль и переключатель до тех пор, пока $u + e_L > 0$.

Характер изменения напряжения источника питания u , э. д. с. самоиндукции e_L и напряжения нагрузки (катушек молотка) показаны на рис. 3, б. Из рис. 3 видно, что при $\theta = \omega t$ вентиль запирается ввиду того, что $u + e_L = 0$. При условии $\theta \leq \omega t \leq 2\pi$

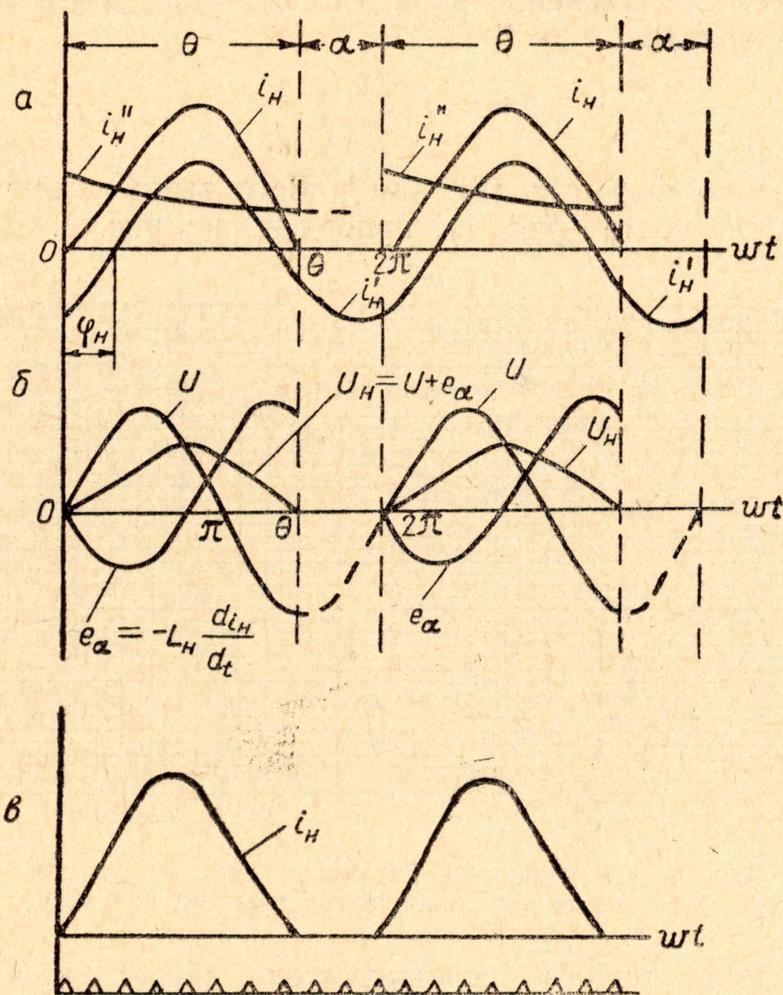


Рис. 3. Работа переключателя в однополупериодной схеме:

a — кривые изменения тока нагрузки и его составляющие; b — кривые изменения напряжения источника питания э. д. с. самоиндукции и напряжения нагрузки; c — осциллограмма изменения тока.

через переключатель ток нагрузки не протекает, так как к вентилю приложено обратное напряжение.

Промежуток времени, когда ток нагрузки i_H вентиля равен нулю (не считая обратного тока вентиля), назовем периодом безыскрового переключения α . При работе переключателя по схеме (рис. 1) период безыскрового переключателя α выразится зависимостью $\alpha = 2\pi - \theta$. В этот промежуток времени и должно производиться переключение питания катушек молотка. С начала следующего периода цикл повторяется.

Зависимость угла продолжительности работы вентиля от отношения индуктивной составляющей нагрузки к активной находится из уравнения (5) при $i_H = 0$.

$$\sin(\Theta - \varphi_H) + e^{-\frac{R_H}{L_H}\Theta} \sin \varphi_H = 0. \quad (6)$$

Графическое выражение зависимости угла продолжительности работы вентиля

$$\Theta = f\left(\frac{\omega L_H}{R_H}\right),$$

вычисленное по формуле (6) при работе выпрямителя в однополупериодной схеме (рис. 1), приведено на рис. 4.

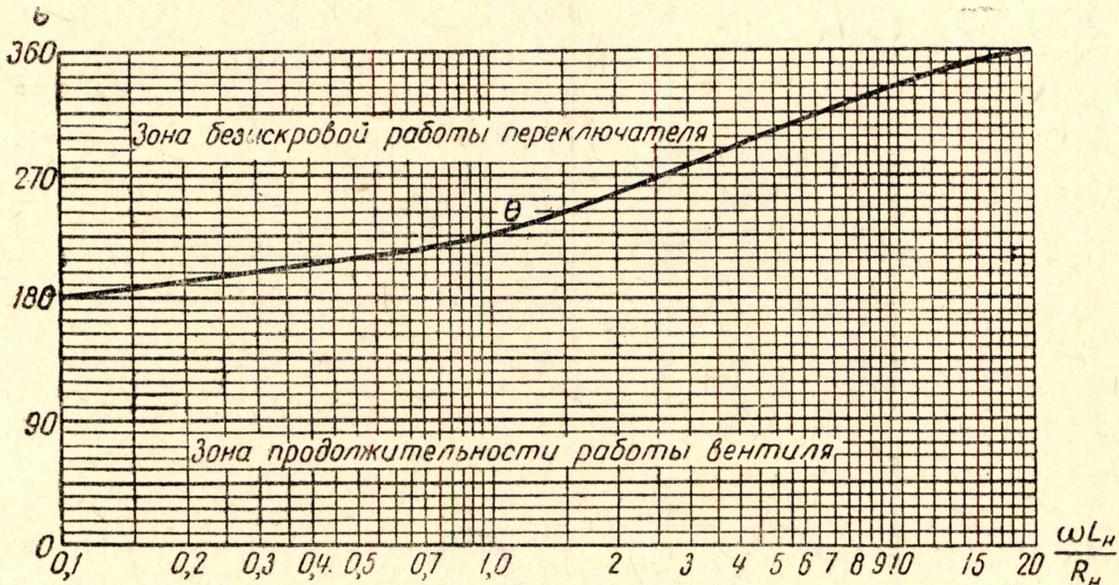


Рис. 4. Зависимость угла продолжительности работы вентиля в однополупериодной схеме при активно-индуктивной нагрузке.

Безыскровая работа переключателя будет при условии $\alpha \geq 20^\circ$, где 20° берется из конструктивных данных щеточного переключателя и определяется типом синхронного двигателя и выбором конструкции рабочего органа переключателя. Из диаграммы, приведенной на рис. 4, видно, что при $\alpha \geq 20^\circ$ для безыскровой работы переключателя, работающего по схеме, приведенной на рис. 1 и 2, необходимо, чтобы отношение индуктивной составляющей нагрузки к активной было не более 12,5, т. е.

$$\frac{\omega L_H}{R_H} \leq 12,5.$$

При работе переключателя по схеме питания катушек молотка, представленной на рис. 5, период безыскрового переключения выразится

$$\alpha = 2\pi - \frac{3}{4}\pi - \Theta = \frac{5}{4}\pi - \Theta.$$

При этом условии безыскровая работа переключателя обеспечивается при отношении

$$\frac{\omega L_H}{R_H} \leq 1.$$

Работа переключателя в двухполупериодной схеме трехфазного тока с нулевым проводом

Для эффективного использования меди и магнитопровода молотка, а также для уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи лучшей схемой питания катушек молотка будет схема, обеспечивающая максимум среднего значения выпрямленного тока за период при минимальной амплитуде тока для заданной мощности нагрузки.

Наиболее полно удовлетворяет этим условиям схема питания, приведенная на рис. 5, а. На рис. 5, б показана осцилло-

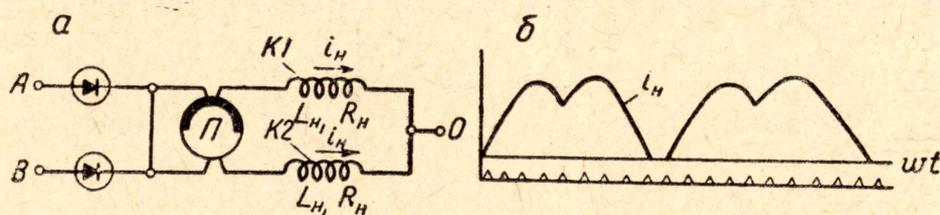


Рис. 5. Работа переключателя в двухполупериодной схеме трехфазного тока с нулевым проводом при совместном переключении фаз А и В:

а — схема; б — осциллограмма изменения тока.

грамма изменения тока для данной схемы. При такой схеме питания катушек молотка безыскровая работа переключателя обеспечивается при переключении нагрузки 200—300 вт (при напряжении 220 в).

Чтобы обеспечить безыскровую работу переключателя при значительном увеличении нагрузки (в несколько десятков раз), необходимо каждую фазу включать и выключать независимо от других. Для этого необходимо, чтобы переключатель работал по схеме питания катушек, изображенной на рис. 2. Предлагаемая схема обеспечивает максимум среднего значения выпрямленного тока и безыскровую работу переключателя. При этом конструкция переключателя будет иметь большее количество щеток и спаянных бронзовых полуколец (скользящих контактов). Условия безыскровой работы переключателя, работающего по схеме, изображенной на рис. 1, полностью соответствуют работе по схеме, приведенной на рис. 2.

ВЫВОД

Из вышеизложенного видно, что предложенный синхронный безыскровой переключатель работает надежно и продолжитель-

но при вполне определенных параметрах для каждой схемы питания катушек. Из анализа схем работы переключателя для питания катушек молотка (рис. 1, 2, 5) видно, что лучшими безыскровыми свойствами переключения при максимальном значении выпрямленного тока и минимальной амплитуде обладает схема, приведенная на рис. 2.

Предложенный переключатель позволяет создать ряд новых конструкций соленоидных молотков с частотой ударов 1500 уд/мин. и менее, что очень важно для увеличения к. п. д. и энергии удара молотка.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Москвитин. Электрические машины возвратно-поступательного движения. АН СССР, 1950.
 2. К. Н. Шмаргунов. Электрические молотки. Машгиз, 1950.
 3. М. А. Розенблат. Магнитные усилители. Изд. Советское радио, 1956.
 4. В. Г. Комар. Работа полупроводниковых выпрямителей в цепях управления. Госэнергоиздат, 1952.
 5. М. А. Каганов. Электронные и ионные преобразователи. Госэнергоиздат, 1955.
-