

ОБ УЛУЧШЕНИИ КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН  
С ПОМОЩЬЮ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

И. И. ИВАШИН, И. А. МИЛОРАДОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Условия коммутации в значительной степени определяют качество работы машины постоянного тока, ее конструкцию и геометрические размеры. Несмотря на огромное количество работ и широкие исследования в области коммутации, ряд вопросов остается нерешенным ни теоретически, ни практически. Это в первую очередь относится к вопросам устранения искрения на коллекторе, в особенности в машинах, работающих при резко меняющейся нагрузке.

Как известно, одной из основных причин искрения на коллекторе является разрыв остаточного тока коммутации на сбегающем крае щетки. Искрение на набегающем крае щетки наблюдается гораздо реже и его нетрудно устранить.

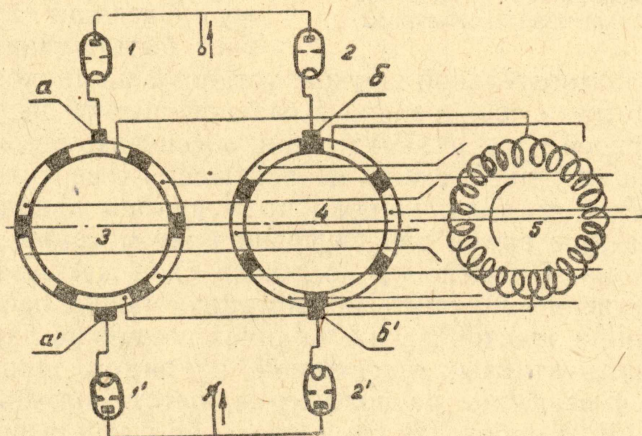


Рис. 1 а. Схема коммутации Е. Эттингера:  
11' 22' — тиратроны, 3—4—коллекторы, 5—якорь.

Условия работы сбегающего края щетки можно значительно облегчить, если бы удалось обесточить сбегающую со щетки коллекторную пластину в завершающий момент коммутации. Этого можно добиться при использовании для коммутации вентильных приборов.

На рис. 1 а представлена схема коммутации машины постоянного тока с использованием вентильных приборов, предложенная Е. Эттингером [1].

Машина имеет два коллектора, при этом щетки на каждом коллекторе не замыкают коллекторных пластин между собой, так как они уже изоляции между ними. Начала секций якоря присоединяются к одному коллектору, концы — к другому. Секции при коммутации замыкаются через две щетки и два вентиля. Принцип действия схемы ясен из рисунка: коммутирующий ток разрывается вентиляем раньше (в момент прохождения его через нуль), чем происходит разрыв контакта коллекторная пластина — щетка. По аналогичному принципу построена схема Климова Н. С., изображенная на рис. 1 б [1]. Каждая щетка машины разделена на две, соединенные между собой через вентили. Ширина щетки меньше толщины изоляции между коллекторными пластинами. Ширина коллекторной пластины и расстояние между щетками выбирается так, чтобы щетки перекрывались одной коллекторной пластиной.

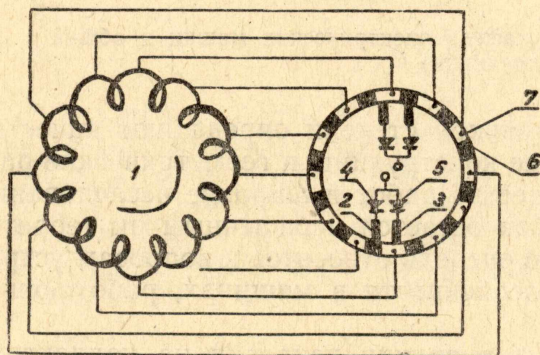


Рис. 1б. Схема коммутации Н. С. Климова:  
1 — якорь, 2—3 — щетки, 4—5 — вентили, 6 — изоляционная пластина, 7 — рабочая пластина коллектора

Схема со вспомогательной щеткой, установленной около сбегающего края главной щетки и соединенной с главной щеткой через вентиль [2], правильная по своей идее, не в состоянии обеспечить безыскровую работу машины. Действительно, схемы искрогашения с вентиляем, шунтирующим электрический контакт, широко применяются в аппаратостроении и применялись в свое время для улучшения коммутации механических выпрямителей тока. Применение подобных схем несомненно даст возможность существенно улучшить коммутацию машин постоянного тока. Но их применение в электрических машинах возможно лишь при выполнении ряда конструктивных требований, например, ширина вспомогательной щетки и взаимное расположение щеток должны быть вполне определенными [3]. В работе [2] эти вопросы ни в какой мере не решены, поэтому приведенная схема не даст ожидаемого эффекта и прежде всего потому, что вспомогательная щетка шире изоляции между ламелями коллектора. Это приводит к тому, что вспомогательная щетка будет замыкать секции якорной обмотки накоротко, поэтому ее безыскровая работа невозможна. Нужно отметить, что объяснение работы схемы, данное в [2], не соответствует реально протекающим процессам.

На рис. 2а представлена схема вентильно-механической коммутации, лишенная некоторых недостатков, присущих описанным выше схемам. Идея схемы заключается в том, что функции пропуска тока и разрыва его, выполняемые при обычной схеме коммутации щеткой, разделены между щеткой и вспомогательным вентиляем, включенным па-

Обе схемы могут быть настроены таким образом, что машина не будет искрить в широком диапазоне нагрузки вплоть до короткого замыкания, для чего достаточно обеспечить режим сильной перекоммутации при номинальном токе.

Недостатки приведенных схем:

1. Вентили должны быть рассчитаны на полный ток машины.

2. При замыкании щеток коллекторными пластинами переход тока из щетки в щетку происходит броском, что может быть причиной искрения.

раллельно главной щетке. Коммутация тока из главной щетки в цепь вспомогательного вентиля осуществляется принудительно с помощью трехобмоточного дросселя насыщения.

Дроссель насыщения  $D_2$ , включенный последовательно с главной коллекторной пластиной, и дроссель  $D_1$ , с помощью которого осуществляется перевод тока во вспомогательную цепь с вентилем, выполнены из магнитомягкой стали с прямоугольной петлей гистерезиса и малыми потерями на перемагничивание.

Главная коллекторная пластина, вспомогательная коллекторная пластина, дроссели  $D_1$  и  $D_2$  размещены на вращающейся части машины, главная щетка, вспомогательная щетка и вентиль — на неподвижной части машины.

На дросселе  $D_1$  размещены три обмотки: основная  $W_1$ , добавочная  $W_2$  и обмотка подмагничивания.

Схема работает следующим образом: предположим, что ток в катушке коллекторной пластины уменьшается от своего максимального значения до нуля. Если бы щетка разрывала цепь тока в момент прохождения его через нуль, то искрение бы не возникало. Но, как известно, всегда существует ток пере- или недокоммутиации, который на самом деле щетка и разрывает, что и является одной из главных причин искрения.

Если подмагнитить дроссель  $D_1$  так, чтобы при токе  $i_1 = I_1$  (рис. 2 б) в обмотке  $W_1$  он начал перемагничиваться, то на обмотке  $W_2$  будет индуцироваться напряжение  $U_2$ , которое прикладывается к вентилю в прямом направлении. При этом обмотка замыкается через вспомогательную коллекторную пластину, вспомогательную щетку, вентиль, главную коллекторную пластину, главную щетку и дроссель  $D_2$ .

В первом приближении можно считать, что обмотка  $W_2$  замкнута накоротко, т. е. ее потокосцепление должно оставаться постоянным, а это значит, что дроссель  $D_1$  временно прекращает перемагничиваться.

В цепи обмотки  $W_2$  в это время течет ток  $i_в$ , под воздействием которого ток  $i_1$  через главную щетку уменьшается от величины  $I_1$  до нуля (промежуток времени  $t_2 - t_1$ ). Если бы последовательно с главной коллекторной пластиной не был включен насыщающийся дроссель  $D_2$ , то ток  $i_1$  через главную щетку не только уменьшился бы до нуля, но и изменил бы направление.

Но дроссель  $D_2$  перемагничивается при нулевом токе и, следовательно, ток через него и главную коллекторную пластину не может изменить направление, пока магнитопровод дросселя  $D_2$  не перемагнитился.

Вместе с изменением тока в главной коллекторной пластине от  $I_1$  до нуля ток в вентилю и вспомогательной коллекторной пластине увеличивается от нуля до  $I_2$ . В момент времени  $t_2$  начинает перемагничиваться дроссель  $D_2$  и продолжает перемагничиваться дроссель  $D_1$ , так как в этот момент обрывается цепь, замыкающая витки  $W_2$  накоротко.

В течение промежутка  $t_4 - t_2$  главная коллекторная пластина обесточена, так как дроссель  $D_2$  перемагничивается и главная щетка может разорвать цепь без искры.

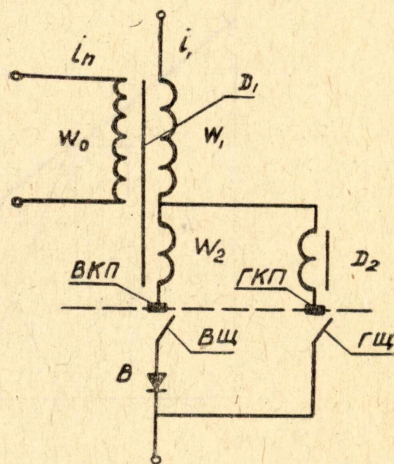


Рис. 2а. Схема коммутации с дросселями насыщения. ВКП — вспомогательная коллекторная пластина, ВЩ — вспомогательная щетка, ГКП — главная коллекторная пластина, ГЩ — главная щетка, В — вентиль.

При прохождении тока через нуль, т. е. в момент времени  $t_4$  вентиль запирает цепь, после чего вспомогательная щетка разрывает контакт вспомогательная щетка — вспомогательная коллекторная пластина, т. е. когда эта цепь уже практически разомкнута вентилем.

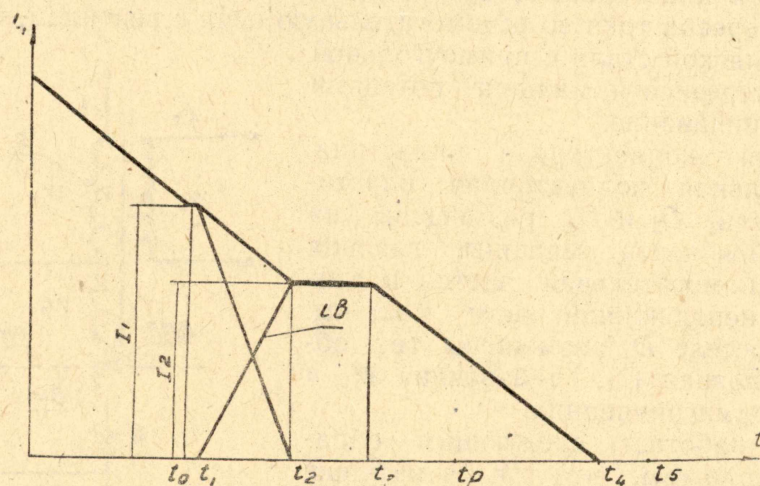


Рис. 26. Изменение тока при коммутации по схеме рис. 2а

Таким образом, процесс коммутации разбивается на ряд периодов:

1. Ток проходит через обмотку  $W_1$  дросселя  $D_1$ ; дроссель  $D_2$  и главную щетку,  $t < t_0$ .

2. Ток проходит так же, как и при  $t < t_0$ , но начинает перематничиваться дроссель  $D_1$ ,  $t_0 < t < t_1$ .

3. Ток проходит и через главную и через вспомогательную щетки,  $t_1 < t < t_2$ .

4. Ток проходит через обмотки  $W_1$  и  $W_2$  дросселя  $D_1$ , вспомогательную щетку и вентиль. Перематничиваются оба дросселя,  $t_2 < t < t_3$ .

5. Ток проходит так же, как и при  $t_2 < t < t_3$ , но дроссель  $D_1$  закончил перематничивание, цепь главной щетки обесточена и готова к безысровому выключению,  $t_3 < t < t_4$ . При  $t = t_p$  контакт «главная щетка — главная коллекторная пластина» разрывается.

6. При  $t = t_4$  вентиль запирает цепь; вспомогательная щетка и вспомогательная коллекторная пластина обесточены. При  $t = t_5$  вспомогательная щетка разрывает обесточенную вентиляющую цепь.

При размыкании главной цепи к контактному промежутку «главная щетка — главная коллекторная пластина» приложено напряжение, равное сумме падений напряжения на активном сопротивлении обмотки  $W_2$ , на вспомогательной щетке и вентиле. Все эти напряжения весьма малы по величине, имеют активный характер и не могут привести к искрению под главной щеткой.

Для осуществления коммутации по приведенной схеме необходимо два коллектора. Основной коллектор рассчитывается на токовую нагрузку порядка 85—90%; вспомогательный коллектор на нагрузку 10—15%. Очевидно, что и вентиль должен быть рассчитан на нагрузку в 10—15% от номинальной. Число вентиля и вспомогательных щеток (для нереверсивных машин) равно числу полюсов машины. На полюсах разных полярностей схема отличается включением вентиля и обмотки подматничивания дросселя  $D_1$ .

Схемы вентильно-механической коммутации позволяют значительно увеличить реактивную э. д. с. коммутации, а так как машина не будет искрить практически во всех режимах работы, то и напряжение между коллекторными пластинами может быть увеличено.

Увеличение реактивной э.д.с. и допустимого напряжения между коллекторными пластинами позволит повысить предельную мощность, уменьшить габариты и упростить конструкцию машин постоянного тока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Климов. Об улучшении условий коммутации в машинах постоянного тока. «Электричество», 1959, № 8.
2. И. А. Дидоренко, И. М. Ковтун. Расширение безыскровой зоны коммутации электрических машин постоянного тока, «Вестник электропромышленности», 1957, № 10.
3. Г. Г. Васильева. Электрическая машина. Авторское свидетельство СССР, № 79604, кл. 21 d<sup>1</sup>, 39.