

## О ВЕНТИЛЬНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

В. В. ИВАШИН, И. А. МИЛОРАДОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

В машинах постоянного тока причинам искрообразования электромагнитного характера нередко принадлежит ведущее место.

Относительно слабые коммутационные свойства щеток зачастую не в состоянии обеспечить хорошую коммутацию. Они проявляются тем слабее, чем больше напряжения в коммутационном контуре, то есть чем больше мощность машины и чем больше ее нагрузка.

Применение вентильных приборов дает возможность в значительной степени подавить искрообразование электромагнитной природы и, следовательно, повысить коммутационную устойчивость машин постоянного тока.

Излагаемый ниже способ коммутации с использованием полупроводниковых диодов свободен от ряда недостатков, присущих известным схемам [1, 2, 3] и позволяет простым способом существенно улучшить коммутацию электрических машин.

Со стороны сбегающего края главной щетки 1 (рис. 1а), которая осуществляет короткое замыкание секции и проводит основной ток, установлена вспомогательная щетка 2. Вспомогательная щетка набегает на коллекторную пластинку тогда, когда главная щетка с нее сбегает, то есть обе щетки перекрыты одной пластиной коллектора.

Вспомогательная щетка соединена с главной через полупроводниковый вентиль 3.

Допустим, что коммутация имеет замедленный характер, то есть к моменту сбегающей главной щетки с коллекторной пластины ток в секции не успел измениться до величины тока параллельной ветви.

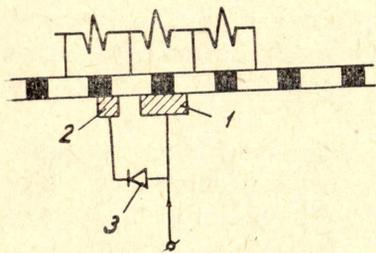


Рис. 1а. Схема коммутации

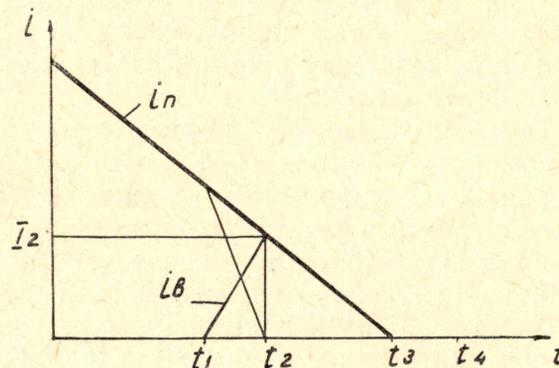


Рис. 1б. Изменение тока пластины коллектора во времени.

Это значит, что через пластину коллектора в этот момент времени ( $t_2$  на рис. 1 б) протекает ток  $I_2$ . В нормальной машине это неизбежно вело бы к искрению. Но в момент  $t_1$  вспомогательная щетка набегает на коллекторную пластину и ток под действием падения напряжения на сбегавшем крае щетки переходит в вентиль и во вспомогательную щетку, которые в это время шунтируют главную щетку.

При этом ток в сбегавшем крае главной щетки уменьшается до нуля и становится равным нулю как раз в момент размыкания главной щеткой коммутирующего контура.

Ток в вентиле и вспомогательной щетке одновременно нарастает до величины, равной току  $I_2$ , т. е. до той величины тока, которую была бы вынуждена рвать главная щетка при отсутствии вспомогательной ветви.

Начиная с момента  $t_2$ , вентиль оказывается включенным последовательно с пластиной коллектора.

В дальнейшем ток пластины, изменяясь по естественному закону, проходит через нуль (момент времени  $t_3$ ), и вентиль разрывает коммутирующий контур. Вспомогательная щетка сходит с коллекторной пластины несколько позже момента запираения вентиля (точка  $t_4$  на рис. 1 б).

Таким образом, и главная и вспомогательная щетки выключают уже обесточенные цепи.

Если пренебречь коммутирующими свойствами щетки, то безыскровая работа машины обеспечивается при всех значениях коммутирующей э.д.с., при которых момент прохождения тока пластины коллектора через нуль расположен в интервале  $t_2-t_4$ .

Таким образом, ширина зоны безыскровой работы определяется в первую очередь рядом конструктивных параметров: размерами щеток и их взаимным расположением.

Если применяемые щетки обладают хорошими коммутирующими свойствами, то это должно лишь еще более улучшать коммутацию.

Очевидно, что для нормальной работы схемы необходимо, чтобы вспомогательная щетка была уже ширины изоляции между пластинами коллектора, так как в противном случае эта щетка будет в свою очередь замыкать секции накоротко и нормальная работа машины станет невозможной.

Практическое осуществление коммутации по излагаемой схеме возможно только при изменении щеточно-коллекторного узла. Коллектор должен иметь широкие изоляционные промежутки, в качестве которых могут быть использованы холостые коллекторные пластины, или же пластины коллектора должны быть более сложной формы, чем обычно. Возможно применение второго, вспомогательного коллектора, электрически связанного с главным, но имеющего более широкие изоляционные промежутки.

При этом очевидно, что суммарная мощность двух коллекторов в случае применения данной схемы коммутации в общем случае равна мощности коллектора при обычном способе коммутации, т. е. габариты машины не увеличатся.

Вспомогательный коллектор может быть выполнен с тем же числом пластин, что и главный, а также и с меньшим числом пластин, если стремиться к улучшению условий коммутации только тех секций, которые коммутируют в пазу последними.

Так как величина коммутирующей э.д.с. в данном случае не определяет коммутацию в той степени, как в нормальных машинах, то число пластин обоих коллекторов может быть значительно уменьшено, что сильно упростит конструкцию и технологию изготовления машины.

Эксперименты и расчеты показывают, что для получения удовлетворительной зоны безыскровой работы (15—20 проц.) мощность вентилей

лей и вспомогательного коллектора (в случае двухколлекторного исполнения) составляет не более 5—10 проц. мощности машины. Остальные 90—95 проц. токовой нагрузки несет главный коллектор и главные щетки.

Экспериментальная проверка изложенной выше схемы коммутации проводилась на двигателе серии П мощностью 4,7 квт, 1500 об/мин, 26 а. Обмотка якоря — волновая.  $2p=4$ .

Предварительно машина была переоборудована таким образом, чтобы в явном виде выделить преимущества исследуемой схемы коммутации. Число секций якорной обмотки было уменьшено, а число витков в секциях увеличено в три раза. На коллекторе было оставлено только по одному щеточному бракету каждой полярности.

Соответственно было уменьшено и число коллекторных пластин. Последнее достигалось замыканием пластин нормального коллектора между собой. При этом каждая третья пластина оставалась холостой, так как межламельное напряжение резко возросло.

В окончательном виде число витков в секции составило  $W_c - 24$  (по сравнению с четырьмя витками в заводской машине), так что коммутирующая э.д.с. при номинальной нагрузке на средней линии зоны безыскровой работы составила величину порядка 15—20 в.

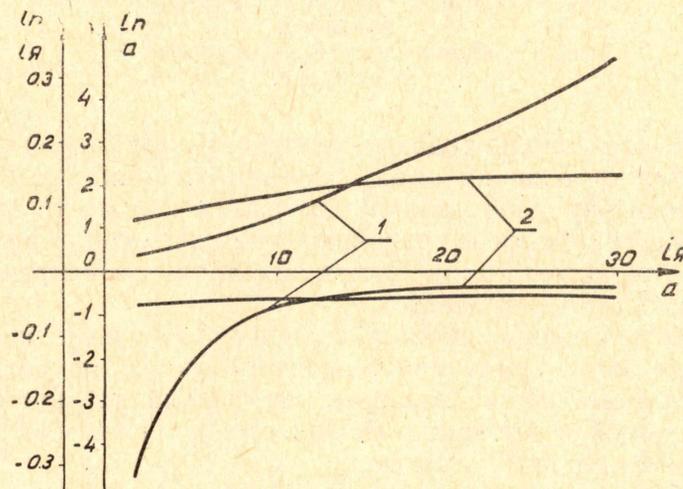
Исследования проводились на основе схемы с использованием второго, вспомогательного коллектора. Число пластин вспомогательного коллектора равно числу пластин главного, но изоляционные промежутки на вспомогательном коллекторе были шире.

При экспериментах осциллографировались токи петушка, секции, вентиляей, а также напряжения на вентилях. Качество коммутации оценивалось по ширине зоны безыскровой работы, снятой по методу Касьянова В. Т.

Изменения, произведенные в экспериментальной машине, привели к тому, что машина совершенно перестала работать при нормальной схеме коммутации, то есть искрила при любых нагрузках и подпитках.

Лишь при использовании вентиляей работоспособность машины восстановилась. Более того: в номинальном режиме ширина зоны безыскровой работы составляет примерно 15 проц., тогда как лучшие машины в заводском исполнении имеют зону не шире 7—9 проц.

На рис. 2 а приведена зона безыскровой работы экспериментальной машины, снятая при постоянной скорости вращения и постоянном токе возбуждения. Зона построена в осях  $\pm i_n = f(i_a)$  и  $\pm \frac{i_n}{i_a} = f(i_a)$ .



Р и с. 2-а. Зона безыскровой работы.

Зона в осях  $\pm i_n = f(i_a)$  (кривые 1) имеет форму расходящегося с увеличением нагрузки раструба. Это связано с тем, что ширина зоны определяется промежутком времени  $t_2 - t_4$  (на рис. 1 б), который остается постоянным при  $n = \text{const}$ . Изменение времени коммутации на одну и ту же величину, определяемую отрезком  $t_2 - t_4$ , с увеличением нагрузки требует практически линейного увеличения коммутирующей э.д.с. Следовательно, и величина тока подпитки, определяемая зоной безыскровой работы, увеличивается с увеличением нагрузки машины.

Если строить зону в осях  $\pm \frac{i_n}{i_a} = f(i_a)$  (кривые 2), то верх-

няя и нижняя границы зоны, начиная с некоторой нагрузки, идут примерно параллельно друг другу. Расширение зоны при нагрузках, близких к холостому ходу, объясняется влиянием коммутирующих свойств щетки, которые при малых нагрузках сказываются относительно сильнее, и воздействием главного поля машины.

На рис. 2 б приведены совмещенные осциллограммы: ток и напряжение вентиля для щетки одной полярности, ток пластины коллектора и напряжение на вентиле для щеток разных полярностей.

На осциллограммах обратного напряжения вентиля отчетливо видны провалы, вызванные наличием взаимоиндуктивных связей между секциями якорной обмотки: начало коммутации секции под щеткой одной полярности совпадает по времени с провалами в кривой напряжения вентиля для щетки другой полярности.

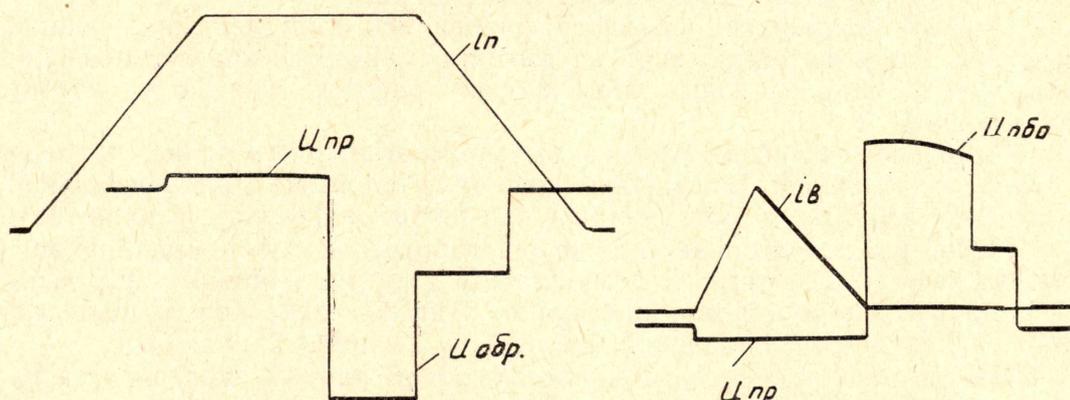


Рис. 2 б, в. Осциллограммы, снятые на экспериментальной машине.

- $i_n$  — ток пластины коллектора,
- $i_в$  — ток вентиля,
- $U_{пр}$  — прямое падение напряжения на вентиле,
- $U_{обр}$  — обратное падение напряжения на вентиле.

Очевидно, что дополнительным условием нормальной работы схемы является постоянство знака обратного напряжения на вентилях. Действительно, если обратное напряжение изменит знак, то клапан откроется. Это может привести к искрению вспомогательной щетки, если изменение знака обратного напряжения совпадет с моментом выключения контура вспомогательной щетки.

Причиной изменения знака и величины обратного напряжения на вентиле может быть, кроме влияния взаимоиндукции, попадание части секции под главный полюс машины, следующий по вращению за коммутационной зоной и имеющий (в двигателях) полярность, противоположную дополнительному полюсу.

Таким образом, исследуемая схема, несомненно, улучшает коммутацию. При прочих равных условиях она дает возможность значитель-

но увеличить коммутирующую э.д.с. Так как коммутирующие свойства щеток не играют существенной роли, то могут использоваться щетки с малыми значениями переходного напряжения.

Эти щетки допускают более высокие плотности тока, что позволяет сократить число щеток и уменьшить габариты коллектора.

С принципиальной точки зрения описанная схема может быть применена для улучшения коммутации машин постоянного тока любой мощности. Но, по-видимому, ее применение более оправдано в предельных машинах и в машинах, которые должны иметь повышенную коммутационную устойчивость.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Климов. Об улучшении условий коммутации в машинах постоянного тока, Электричество, № 8, 1959.
2. И. А. Дидоренко, И. М. Ковтун. Расширение зоны безыскровой работы машины постоянного тока, ВЭП, № 10, 1957.
3. Г. Т. Васильев. Электрическая машина, Авторское свидетельство СССР, № 79604, кл. 21 d<sup>1</sup>, 39.