

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИИ МАШИН СЕРИИ «П»

А. И. СКОРОСПЕШКИН, Ю. П. ГАЛИШНИКОВ

(Рекомендовано семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники.)

В данной работе излагаются некоторые результаты исследования коммутации машин постоянного тока серии «П», а именно двигателей 3-го габарита. Исследование было предпринято с целью оценки коммутационной устойчивости и изучения электромагнитных условий коммутации указанных машин.

Обеспечение удовлетворительной коммутации высокоиспользуемых машин, какими являются исследуемые двигатели, вообще затруднительно, а в данном случае дело еще более осложняется тем, что имеет место плавное изменение напряжения питания двигателей в пределах от 320 до 175 в с соответствующим снижением скорости вращения от 3900 до 2400 об/мин при относительном постоянстве крутящего момента. Наиболее тяжелой в отношении коммутации является, очевидно, работа двигателя при напряжении питания 320 в, когда насыщение магнитной цепи машины достигает наибольшей степени, а влияние механических факторов (эксцентриситет и неровности поверхности коллектора и т. д.) также велико ввиду значительной скорости вращения.

Кратко рассмотрим основные параметры исследуемого двигателя. Число пар полюсов  $p = 1$ . Двигатель снабжен двумя дополнительными полюсами. Обмотка простая петлевая с числом секций в пазу, равным 4. Шаг обмотки диаметральный. Щетка перекрывает 3 коллекторных пластины. Число щеток одного щеточного болта равно 2.

Предварительное обследование подлежащих исследованию двигателей, которое включало в себя снятие профилограмм коллекторов, измерение воздушных зазоров под главным и дополнительным полюсами, а также расстояний между краями наконечников соседних полюсов, показало, что в механическом отношении данные образцы являются удовлетворительными.

При исследовании была принята по возможности комплексная оценка условий коммутации исследуемых машин. В программу исследований входило следующее:

1. Снятие кривых подпитки.
2. Осциллографирование кривых тока и э. д. с. коммутируемых секций.
3. Осциллографирование импульсов переходного падения напряжения под сбегающим краем щетки.

С целью определения периода коммутирования секций якоря было использовано устройство, которое позволяет получать импульсы, со-

ответствующие набеганию каждой пластины коллектора под щетку. Контроль искрения осуществлялся визуально. Сравнительный анализ кривых подпитки, полученных методом безыскровой зоны для напряжений 320, 220 и 175 в соответственно, показывает, что имеет место значительное сужение безыскровой зоны машины с увеличением напряжения питания. Действительно, если при напряжении 175 в ширина безыскровой зоны при номинальной нагрузке составляет 13,5%, то при 220 в она равна 8%, а при 320 в лишь 1,5%. В то же время рекомендуемая величина  $\pm J_n / J_n \cdot 100\%$  для малых машин составляет  $10 \div 25\%$  [1].

Причина столь низкой коммутационной устойчивости исследуемых машин, по нашему мнению, двоякая.

Во-первых, существенное значение имеет наличие некоторой некомпенсированной э. д. с., величина которой с повышением напряжения питания и, следовательно, увеличением скорости вращения машин также увеличивается. Осциллограммы подтверждают существование такой э. д. с., имеющей вид импульсов, соответствующих началу и завершению (в случае замедленной коммутации) коммутирования секций.

Во-вторых, значительное влияние на сужение безыскровой зоны оказывает поле главных полюсов в результате увеличения степени насыщения магнитной цепи машины при повышении напряжения питания. Как показывает проведенные расчеты, величина э. д. с. коммутируемой секции от поля главных полюсов в начале и конце коммутационной зоны при повышении напряжения питания увеличивается более чем в 2,5 раза и при напряжении 320 в равна приблизительно половине реактивной э. д. с.  $e_r$ . Будучи направлена согласно с  $e_r$  эта э. д. с. действует на коммутацию секции замедляющим образом.

Последствия недостаточной коммутационной устойчивости машин очевидны. Неблагоприятное сочетание механических факторов (неровности коллектора, повышенные вибрации щеточно-коллекторного узла, несимметрия магнитной цепи и т. д.) может легко привести к неустраняемому путем настройки дополнительных полюсов искрению, причем это искрение может возникнуть не сразу, а после более или менее продолжительной работы машины под нагрузкой.

Для повышения коммутационной устойчивости исследуемых машин целесообразно ослабить проникновение поля главных полюсов в зону коммутации путем снижения степени насыщения магнитной цепи, либо уменьшением ширины полюсного наконечника главного полюса. В обоих случаях это приведет к некоторому увеличению аксиальных размеров активных частей машины.

Более детальное изучение условий коммутации проведено с помощью осциллографирования кривых тока коммутируемых секций. Как известно, подобное исследование эффективно лишь в том случае, когда для изучения выделена какая-то характерная в отношении условий коммутации периодически повторяющаяся часть секций обмотки якоря в предположении, что для всех остальных подобных частей обмотки условия коммутации в той или иной степени сохраняются. В данном случае такую характерную группу составляют 4 секции, лежащие в одном пазу якоря.

С учетом того, что состояние щеточного контакта и политуры на коллекторе имеет чрезвычайно важное значение, щетки перед осциллографированием кривых тока были тщательно притерты.

Осциллограммы токов коммутируемых секций, полученные при напряжении питания 320 в и номинальной нагрузке машины, приведены на рис. 1.

При изучении этих кривых вызывает интерес прежде всего тот факт, что действительный период коммутации значительно меньше времени замыкания секций щеткой. Коммутация начинается несколько позже и заканчивается значительно раньше соответствующих моментов набегания и сбегания ламелей под щеткой. Это относится в большей степени к секциям, коммутируемым ускоренно, для которых действительный период коммутации составляет всего лишь около 70% расчетного. Однако преждевременное завершение коммутационного цикла имеет место даже в случае явно замедленной коммутации.

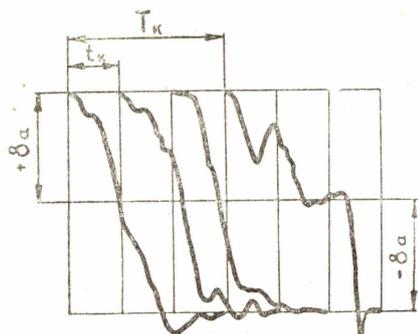


Рис. 1. Кривые тока коммутируемых секций одного паза якоря.

$t_k$  — ламельный период,  $T_k$  — расчетный период коммутации.

Этот факт может быть объяснен, по-видимому, дискретным характером скользящего контакта. Точки непосредственного контактирования, число которых для одной щетки по данным [2] равно 8—10, на лицевой поверхности щетки располагаются случайным образом, так что края щетки в большинстве случаев оказываются нерабочими. При этом сама площадь активной поверхности щетки является в значительной степени случайной величиной.

Далее особое внимание при анализе осциллограмм тока обращает на себя явная неидентичность хода кривых тока коммутаций секций, лежащих в одном пазу якоря. Так, если 3 первых секции коммутируют ускоренно, то последняя четвертая секция имеет заметно замедленную коммутацию. Это замедление коммутации каждой четвертой секции, обуславливая некоторый ток разрыва, и приводит к искрению машины. Тот факт, что несмотря на наличие этого замедления при всех режимах, искрение возникает лишь при увеличении нагрузки, может быть объяснен зависимостью искрения от величины тока, разрываемого щеткой в конце коммутационного цикла, и способностью щетки осуществлять этот разрыв без искрения, когда величина тока разрыва ниже некоторой критической.

Наличие неидентичности коммутирования секций паза особенно четко подтверждается осциллограммой импульсов переходного падения напряжения на сбегавшем крае щетки (рис. 2). В моменты време-

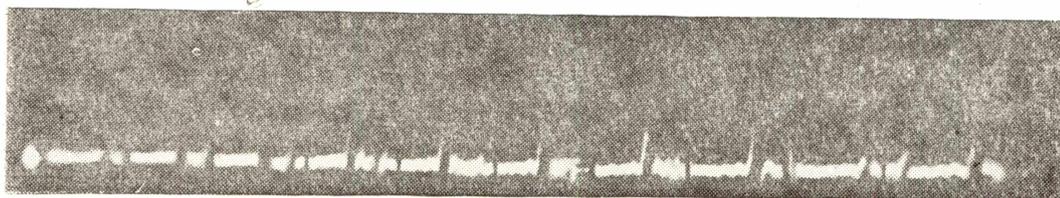


Рис. 2. Осциллограмма импульсов переходного падения напряжения под сбегавшим краем щетки.

ни, соответствующие сбеганию каждой четвертой коллекторной пластины, переходные падения напряжения существенно увеличиваются. При этом даже в случае работы машины в середине безыскровой зоны это увеличение переходного напряжения вполне ощутимо.

Закономерный характер искрения исследуемой машины подтверждается также следующим. Достаточно продолжительная работа ма-

шины с искрением в  $1\frac{1}{2}$  балла и более приводит к легкому подгару сбегающего края каждой четвертой коллекторной пластины.

Столь существенное нарушение идентичности условий коммутации в пределах одного паза связано, по-видимому, с взаимодействием секций, состоящим в том, что секции, начинающие и заканчивающие коммутировать раньше, передают часть запасенной ими энергии последующим секциям. В наихудшем положении при этом оказывается секция, заканчивающая коммутацию последней в пазу. По нашему мнению, взаимное влияние секций может быть ослаблено путем снижения их взаимоиндуктивности.

Рассмотренная выше особенность коммутационного процесса исследуемых машин предъявляет весьма жесткие требования щетке, ее способности не только обеспечивать безыскровую коммутацию, но также и служить к сглаживанию имеющейся неидентичности путем введения в коммутируемый контур соответствующего напряжения, обусловленного плотностями токов, протекающих поднабегающим и сбегающим краями щетки. Как известно, падение напряжения между набегающим и сбегающим краями щетки действует таким образом, что при замедленной коммутации оно усиливает действие дополнительного полюса, а при ускоренной ослабляет его. Учет этого воздействия щетки на ход коммутационного процесса является, по нашему мнению, совершенно необходимым. Однако этот учет будет наиболее эффективным лишь при условии точного знания особенностей работы щеточного контакта.

В настоящее время можно считать установленным, что действительные электрические характеристики скользящего контакта не являются чем-то вполне устойчивым для каждого сорта щеток. Как показывают исследования [2], проводимость щеточного контакта в значительной степени определяется состоянием коллекторной пленки, которая, в свою очередь, зависит не только от сорта щеток, скользящих по поверхности коллектора, атмосферы, в которой работает скользящий контакт, и ряда других внешних факторов, но также и от характера изменения тока в скользящем контакте в период образования пленки.

В реальной же машине при наличии устойчивой политуры на коллекторе электрическая проводимость щеточного контакта, по существу, всецело определяется величиной и характером изменения тока, протекающего через щетку.

Таким образом, электрические характеристики щеточного контакта являются устойчивыми лишь в той степени, в какой устойчивы условия образования коллекторной пленки и условия протекания тока.

#### Выводы

1. Исследуемые машины серии «П» третьего габарита обладают низкой коммутационной устойчивостью вследствие сильного проникновения поля главных полюсов в коммутационную зону.
2. Непосредственной причиной искрения является наличие тока разрыва при завершении коммутации каждой четвертой секции обмотки якоря, обусловленного неидентичностью электромагнитных условий коммутации вследствие взаимного влияния одновременно коммутируемых секций.
3. Электродинамические характеристики скользящего контакта определяются величиной и характером изменения тока, протекающего через щетку. Наиболее целесообразным является поэтому проводить исследование этих характеристик в условиях, максимально приближающихся к реальным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. Электрические машины, ч. 1, Энергия, 1964.
2. Р. Хольм. Электрические контакты. Издательство иностранной литературы, 1961.