

СХЕМЫ ВЕНТИЛЬНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

О. А. Братковский, В. В. Ивашин, И. А. Милорадов

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Среди многообразия электрических машин машины постоянного тока составляют значительную группу. Высокие регулировочные качества, большой пусковой момент и другие положительные свойства ставят их в ряд лучших для регулируемого электропривода.

Однако практика показывает, что в ряде случаев, особенно для машин, работающих в тяжелых условиях (широкое изменение скорости вращения, значительные перегрузки, импульсный характер нагрузки и т. п.), использованию в полной мере этих достоинств препятствует недостаточная коммутационная устойчивость (под коммутационной устойчивостью понимается способность машин работать без искрения в различных режимах). Этим объясняется повышенный интерес отдельных исследователей и больших коллективов к проблемам коммутации.

Работы ведутся не только по исследованию и улучшению обычной коммутации, осуществляемой механическим коммутатором—щеточно-коллекторным узлом, но и по разработке и исследованию новых принципов коммутации машин с применением полупроводниковых приборов.

В настоящее время можно выделить три вида коммутации машин постоянного тока:

- 1) обычная, или механическая,
- 2) вентильная, или электронная,
- 3) вентильно-механическая.

Области применения этих видов коммутации определяются их достоинствами и недостатками и зависят от конкретных требований, предъявляемых к машине.

При обычной коммутации безыскровая работа машины обеспечивается щеточным контактом, способным выдерживать определенные отклонения коммутационного процесса от оптимального, которые неизбежно обусловлены неидентичностями коммутационных циклов механической и электромагнитной природы [1]. Общий недостаток этого вида коммутации — ограниченные коммутирующие свойства щеточного контакта. Обеспечить безыскровую работу только за счет коммутирующих свойств щеток достаточно трудно, а иногда и невозможно.

Электронная коммутация [2] снимает главный недостаток обычной коммутации — недостаточную коммутационную устойчивость. В тех случаях, когда от машины требуются специальные характеристики, значительный срок службы или когда наличие скользящего контакта недопустимо по каким-либо причинам, предпочтительна электронная коммутация.

Вместе с этим электронная коммутация имеет ряд недостатков: сложность в управлении полупроводниковыми приборами, большое количество элементов электронного коммутатора, его большие вес и габариты по сравнению с механическим коммутатором, повышенная стоимость, недостаточная перегрузочная способность и т. п.

Попытки ликвидировать эти недостатки привели к использованию смешанной, вентильно-механической коммутации (ВМК), удачно сочетающей в себе некоторые преимущества механического коммутатора (простота, небольшие габариты и вес, повышенная перегрузочная способность и т. д.) с достоинствами полупроводниковых приборов (ПП), являющихся идеальными выключателями. При ВМК за коллектором и щетками в большинстве случаев сохраняется лишь функция пропускания тока, а функция безыскрового выключения (или включения) коммутируемых секций осуществляется ПП.

Первые идеи применения ВМК в машинах постоянного тока относятся к 1930—1940 гг., однако из-за малой надежности имеющихся в то время ртутных вентилях ВМК не получила распространения. Только развитие полупроводниковой техники заложило реальную основу для ее применения и сделало исследование ВМК актуальным.

В настоящее время предложено достаточно большое количество схем ВМК. Экспериментальная проверка некоторых из них показала, что ВМК значительно повышает коммутационную устойчивость, позволяет увеличить коммутирующую эдс и тем самым — использование машин постоянного тока.

В настоящей статье дается анализ известных схем ВМК, рассматриваются их достоинства, недостатки и производится выбор оптимальных схем для машин постоянного тока с дополнительными полюсами.

Схемы ВМК машин постоянного тока по конструкции щеточно-коллекторного узла и количеству ПП можно разделить на две группы:

первая группа — с обычной конструкцией коллектора и щеток и числом ПП, пропорциональным числу коллекторных пластин [3, 4];

вторая группа — с подразделенными щетками и коллекторными пластинами и числом ПП, пропорциональным числу полюсов, машины [5—13].

В схемах **первой группы** включение ПП возможно либо **параллельно** коммутируемой секции (между коллекторными пластинами) [3, 4], либо **последовательно** (в «разрез» петушка). В первом случае ПП шунтируют секцию в момент разрыва щеткой остаточного тока. Последний перехватывается в ПП, и тем самым искрение исключается.

Во втором случае ПП выключают ток в коллекторной пластине до разрыва его щеткой, что также исключает искрение. Очевидно, при таких способах включения количество ПП, располагаемых на якоре, пропорционально числу коллекторных пластин.

К достоинствам схем ВМК первой группы относятся загрузка ПП частью тока щеточного brackets и возможность «гашения» остаточных токов различной полярности.

Очевидным и существенным недостатком этих схем является большое количество ПП и то, что устанавливаться они должны на вращающейся части машины. Следует отметить и низкое использование ПП, так как работают они только при прохождении секциями коммутационной зоны. Остальное время (при движении секций под главными полюсами) присутствие их нежелательно.

Наиболее вероятной областью применения схем ВМК первой группы могут быть машины с малым числом коллекторных пластин [3].

В схемах ВМК **второй группы** (на рис. 1 они показаны упрощенно) щетки и коллекторные пластины подразделяются таким образом, чтобы ПП, установленные на неподвижной части машины, могли поочередно

включаться в контуры коммутируемых секций для выключения тока в коллекторных пластинах до схода с них щеток. Возможность подразделения достигается за счет некоторого уменьшения числа секций якоря и увеличения числа витков в них. Однако это допустимо, так как при ВМК увеличение числа витков в секции не вызывает ухудшения коммутации, как в обычных машинах [8—13].

Конструктивные особенности схем позволяют включать ПП в контуры коммутируемых секций на весь период замыкания их подразделенной щеткой (рис. 1, а, б, в) и на его часть (рис. 1, г, д). В первом случае ПП будут загружены полным током щеточного brackets, а во втором — его частью.

Схемы ВМК второй группы (рис. 1) лишены недостатков, присущих схемам первой группы. Благодаря подразделению щеток и коллекторных пластин число ПП значительно снижается, а их использование улучшается. Такие схемы ВМК достаточно просты и наиболее приемлемы для практического применения. Остановимся на них подробнее.

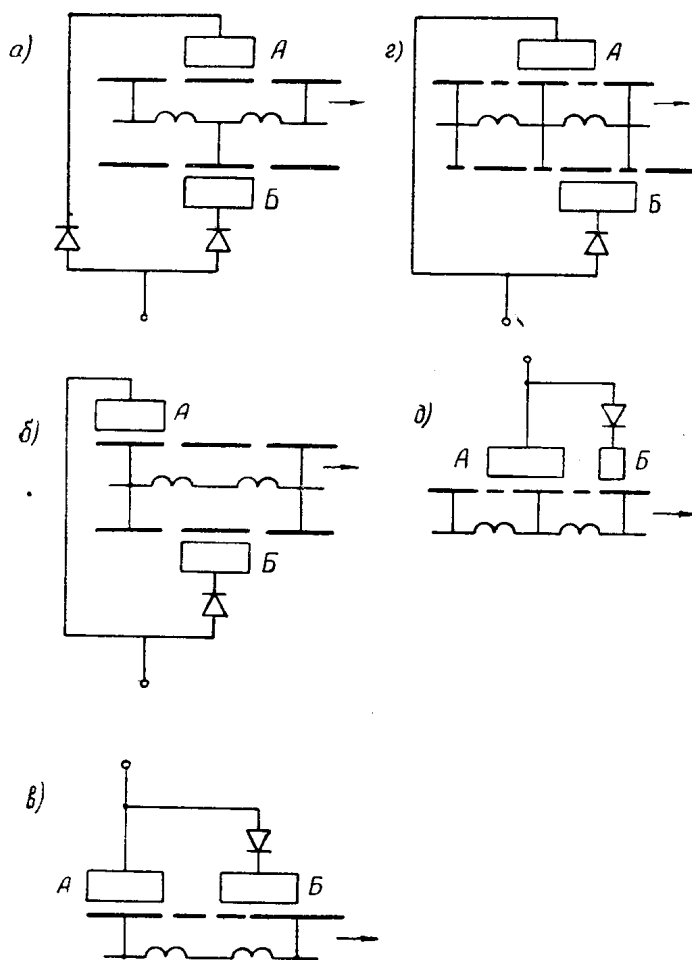


Рис. 1. Схемы ВМК с подразделенными щетками и коллекторными пластинами

Сравним схемы ВМК второй группы по ширине безыскровых зон (по В. Т. Касьянову) для сбегающего края щеток. Будем считать, что обратный ток вентиляей отсутствует и что бесконечно малый остаточный ток вызывает искрение щеток.

В этом случае схемы ВМК (рис. 1, г, д) с включением ПП на часть периода замыкания секции щеткой имеют две границы зоны [8], как показано на рис. 2, а. На верхней границе зоны искрит сбегающий край

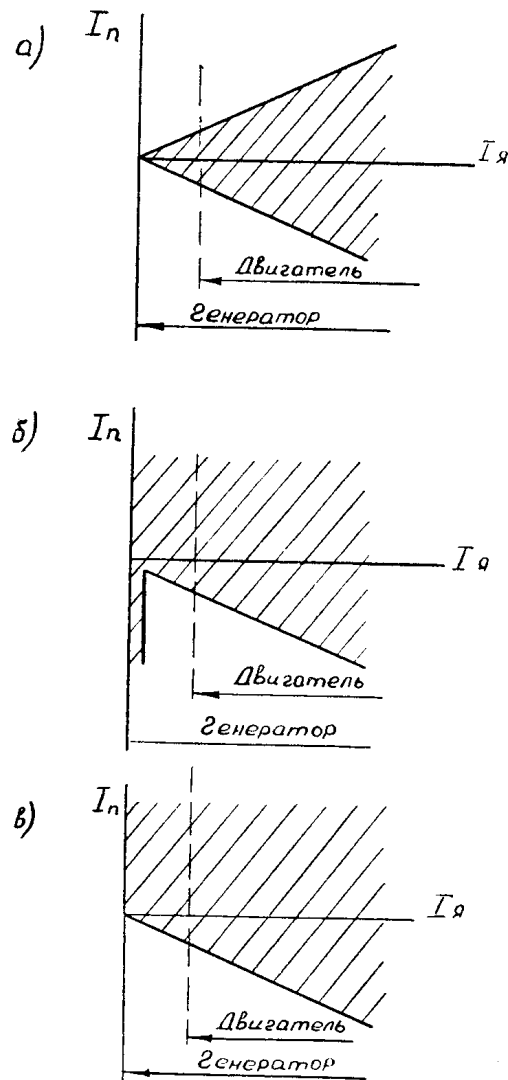


Рис. 2. Безыскровая зона для сбегающего края щеток: а) для схем по рис. 1, г, д; б) для схем по рис. 1, а; в) для схем по рис. 1, б, в; $I_{\text{п}}$ — ток подпитки; $I_{\text{я}}$ — ток якоря.

щетки *A*, на нижней — щетки *B*. С увеличением времени включения ПП в контур секции ширина зоны будет увеличиваться за счет увеличения угла наклона верхней ее границы. В предельном случае, когда ПП включены на весь период замыкания секции (схемы на рис. 1, а, б, в), верхняя граница зоны «исчезает», и зона принимает вид, показанный на рис. 2, б (для схемы по рис. 1, а) и на рис. 2, в (для схем по рис. 1, б, в). Резкое увеличение ширины зоны на рис. 2, б при отрицательной подпитке и нулевом токе якоря (на рисунке показано условно) объясняется наличием вентилей в контуре коммутируемой секции. Схемы ВМК с включением ПП на весь период замыкания секции имеют безыскровые зоны более широкие, что является их преимуществом перед схемами с включением ПП на часть периода.

С точки зрения влияния коммутирующих свойств щеток на изменение тока в частях подразделенной щетки *A* и *B* (рис. 1) все схемы

разделяются на две подгруппы. В одной из них (рис. 1, *а*) переход тока из части *А* в часть *Б* щетки и обратно происходит в основном под действием коммутирующей эдс от дополнительных полюсов. Коммутирующие свойства щеток для работы в номинальном режиме фактически не нужны. Наличие их у щеток только увеличивает ширину зоны.

В другой подгруппе (рис. 1, *б, в, г, д*) схемы выполняются с меньшим числом ПП и в отдельных случаях коллекторов, однако переход тока из части *А* в часть *Б* щетки может осуществляться только за счет коммутирующих свойств щетки *А*. Для этого падение напряжения под щеткой *А* должно быть больше суммы падений напряжений под щеткой *Б* и на вентиле, что достигается подбором характеристик щеток и вентиляей. В этом недостаток схем ВМК рис. 1, *б, в, г, д* по сравнению со схемами рис. 1, *а*.

Другим их недостатком является то, что разница падений напряжений под щеткой *А* и щеткой *Б* с вентилем, необходимая для нормальной коммутации тока из щетки *А* в щетку *Б*, оказывает замедляющее действие на коммутацию тока в секциях. Особенно сильно это влияние при малой скорости машины, что приводит к искрению во время пуска. Для улучшения коммутации в этих схемах при пуске необходимы специальные средства.

Схема ВМК рис. 1, *а* лишена указанного недостатка, так как напряжение, вводимое щетками при пуске, ускоряет коммутацию и процесс пуска облегчается.

Известно, что искрение набегающего края щеток также может быть вредным для скользящего контакта и ограничивает зону безыскровой работы машины. Конструктивные особенности схем ВМК открывают достаточно простые возможности для его исключения. Рассмотрим, например, способ, изложенный в [10, 11] и заключающийся в применении управляемых вентиляей (тиристоров), которые открываются только после установления надежного контакта связанной с ними щетки с набегающей коллекторной пластиной.

Для его осуществления в схеме рис. 1, *а* необходима замена неуправляемых вентиляей на тиристоры, в схемах рис. 1, *б, в* — включение их в цепь щеток *А*, а в схемах рис. 1, *г, д* необходима третья «набегающая» щетка с тиристором. Число ПП в схеме рис. 1, *а* остается прежним, а в остальных — увеличивается вдвое, что ликвидирует их достоинство по меньшему количеству ПП. Для нормальной работы схем в этом случае необходимы специальные датчики для управления работой тиристоров.

Конструктивной особенностью всех схем ВМК второй группы является наличие холостых и рабочих пластин коллектора, выполненных из одного материала (меди). Анализ таких схем ВМК (рис. 1) позволяет сформулировать следующие правила их составления:

1. Каждая из щеток *А* и *Б* (рис. 1, *а, б, в*) или щетка *Б* (рис. 1, *г, д*) не должны замыкать собой коммутируемые секции.
2. Холостая коллекторная пластина не должна замыкать между собой подразделенные щетки *А* и *Б*.

Выполнение последнего требования в схемах рис. 1, *а, б, г* обеспечивается наличием двойного коллектора, а в схемах с одним коллектором необходимо подразделение холостой пластины (рис. 1, *в*) или выбор соответствующего расстояния между подразделенными частями щетки (рис. 1, *г*).

Выводы

1. Схемы ВМК второй группы с подразделенными щетками и коллекторными пластинами и числом ПП, пропорциональным числу полюсов, имеют наименьшее число ПП, лучшее их использование, достаточно просты и наиболее приемлемы для применения в машинах постоянного тока.

2. Схемы ВМК второй группы разделяются на схемы с включением ПП в секции на весь период их замыкания подразделенными щетками (с загрузкой ПП полным током щеточного brackets) и схемы с включением ПП в секции на часть периода их замыкания (с загрузкой ПП частью тока щеточного brackets).

3. Среди схем ВМК с включением ПП в секции на весь период их замыкания (с загрузкой ПП полным током щеточного brackets) наиболее надежна в работе схема ВМК рис. 1, а. В ней коммутация в номинальном режиме практически не зависит от свойств щеточного контакта, а в пусковом — условия ее протекания значительно облегчены по сравнению с другими схемами.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Ф. Карасев. Коммутация коллекторных машин постоянного тока, Госэнергоиздат, 1961.
2. И. Е. Овчинников, Н. И. Лебедев. Бесконтактные двигатели постоянного тока автоматических устройств, «Наука», 1966.
3. Wisotzky W. Funkenlöschung mit Zenerdioden, 1960, Bd. 9, H. 11, Elektronik.
4. Priess A. Schaltung zur Vermeidung von Funkenbildung bei elektrischen Kommutatormaschinen Патент ФРГ, № 1216418. кл. 21 d¹, 1965.
5. Dalen S. C. Коммутирующее устройство. Германский патент № 655112, кл. 21 d¹, 1933.
6. Н. С. Климов. Устройство для улучшения коммутации в электрических машинах. Авт. свид. СССР, № 58081, кл. 21 d¹, 1938.
7. Г. Т. Васильев. Электрическая машина. Авт. свид. СССР, № 79604, кл. 21 d¹, 1939.
8. В. В. Ивашин, И. А. Милорадов. Исследование зон безыскровой работы двигателя постоянного тока со щеточно-вентильной коммутацией. Известия ТПИ, № 172, 1967.
9. Н. С. Климов. Об улучшении условий коммутации в машинах постоянного тока. «Электричество», 1959, № 8.
10. Bates I., Sridhar T. Dinamo electric mashine, Анг. патент № 1079792. кл. H2A, 1966.
11. Bates I., Sridhar T. Thyristor-assisted sliding contact commutation, Proc. Inst. El. Engrs., 113, № 2, 1966.
12. В. В. Ивашин, И. А. Милорадов. О вентильно-механической коммутации машин постоянного тока. Известия ТПИ, т. 160, 1966.
13. О. А. Братковский, В. В. Ивашин, В. В. Милорадов. Экспериментальная проверка машины постоянного тока с вентильно-механической коммутацией (см. настоящий сборник).