

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ
ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВМК ПРИ ДИАПАЗОНЕ
РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ПОЛЕМ 1:6, 1:8**

В. А. ИВАННИКОВ, И. А. МИЛОРАДОВ

(Представлена семинаром сектора систем питания НИИ ЯФЭА)

В [1, 2] показано теоретически и подтверждено экспериментально, что основные факторы (главное поле, активное сопротивление секций и падение напряжения в щеточном контакте), оказывающие влияние на ширину и расположение безыскровой зоны электродвигателей с вентильно-механической коммутацией (ВМК), при регулировании скорости вращения ослаблением поля главных полюсов не могут привести к исчезновению зоны безыскровой работы, к пересечению ее границ с увеличением скорости вращения якоря.

Однако экспериментальные исследования в [2] проводились на электродвигателях, не предназначенных для регулирования скорости вращения ослаблением поля в широких пределах. Минимальная скорость вращения этих двигателей при регулировании с постоянной мощностью составляла 750, 1200 об/мин, что не позволило получить указанные пределы регулирования, так как верхний предел скорости вращения ограничивался механической прочностью исследуемых машин.

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований электродвигателей с ВМК¹ с загрузкой вентилей частью тока щеточного brackets [2] и пределом регулирования скорости вращения полем 1:6, 1:8. Номинальные данные электродвигателей приведены в табл. 1.

Все электродвигатели выполнены некомпенсированными, возбуждение независимое с легкой стабилизирующей обмоткой, питание обмоток независимого возбуждения осуществлялось от сети переменного тока через регулятор напряжения и однофазный двухполупериодный выпрямитель; исполнение двигателей — двухколлекторное с половинным числом щеточных бракетов. В качестве вспомогательных вентилей взяты кремниевые диоды Д215. Главные щетки — ЭГ74, вспомогательные — МГС7Н. Обмотки на якоре — волновые. Число секций в обмотках уменьшено, а число витков в секциях увеличено в u_n раз (число секций в пазу $u_n = 3$).

Настройка коммутации электродвигателей

Настройка коммутации машин с ВМК не вызывает затруднений, если перепад высот между соседними коллекторными пластинами не

¹ Электродвигатели изготовлены заводом «Электромашина» (г. Прокопьевск).

Таблица 1

Тип электродвигателя	П41	П43	П61	П63
Напряжение, в	220	220	220	220
Мощность, квт	0,8	1,25	2,5	3,0
Потребляемый ток, а	6/6,2	9/11	16/19	19/21
Номинальный ток возбуждения, а	1,07	1,3	1,1	1,57
Скорость вращения, об/мин	600/3600	425/3400	450/2700	325/2600

превышает 2—3 микрон, т.е. допустимого перепада для обычных серийных машин.

Установка щеток на геометрическую нейтраль производилась при подаче пониженного напряжения на обмотки якоря и добавочных полюсов так, чтобы нейтраль соответствовала вся комплексная щетка. После выставления щеток на нейтраль по осциллограммам тока и напряжения

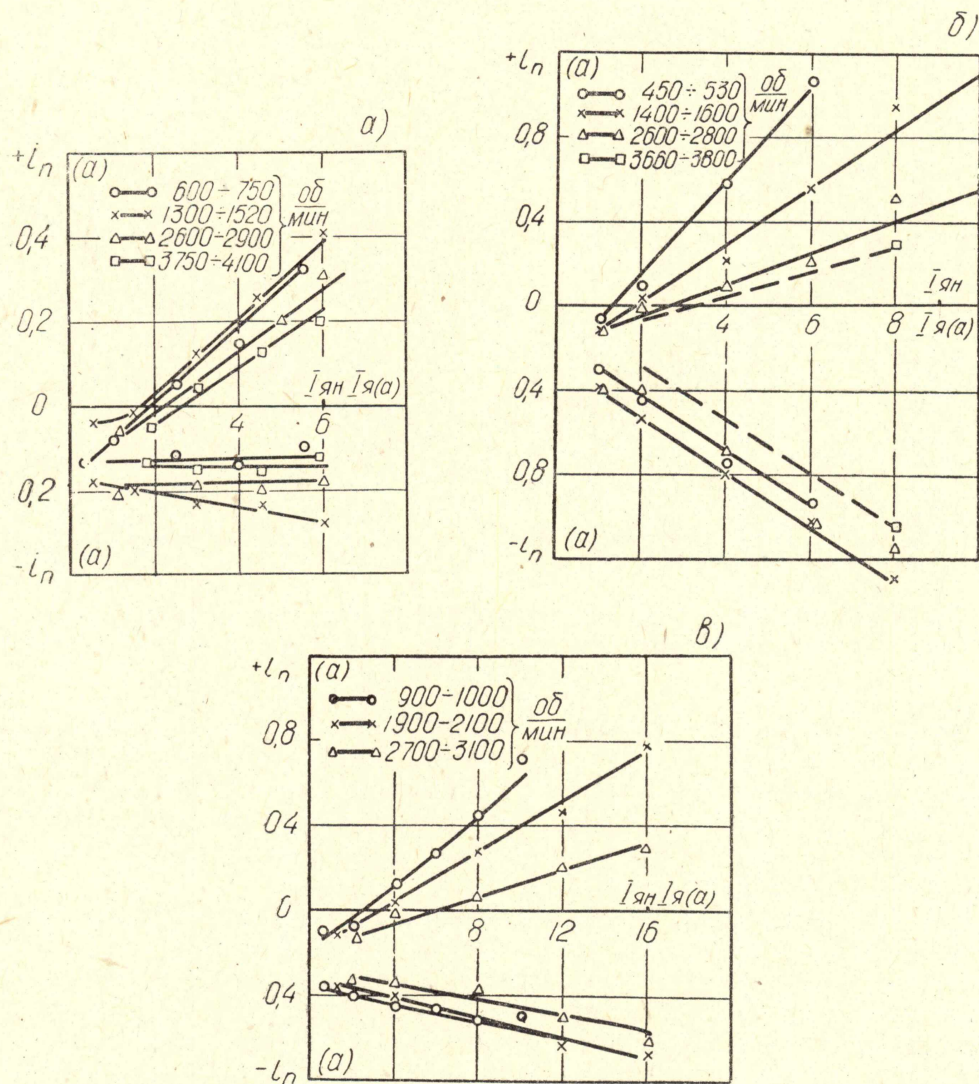


Рис. 1. Зоны безыскровой работы: а — П41, б — П43, в — П61

на вентилях осуществлялся контроль качества контакта щеток с пластинами коллектора.

Для обеспечения безыскровой работы во всем диапазоне скоростей вращения окончательная величина намагничивающей силы (число витков) добавочных полюсов подбиралась так, чтобы безыскровая зона была симметричной в среднем диапазоне скоростей вращения, от 800 до 1500 об/мин. Зоны безыскровой работы электродвигателей П41, П43 и П61 в абсолютных единицах для заданного диапазона скоростей приведены на рис. 1а, б, в. Для каждой зоны безыскровой работы указан диапазон изменения скорости вращения на верхней границе при изменении тока якоря от номинальных значений до холостого хода. Как видно, тенденция к смещению безыскровых зон с ростом скорости вращения в область отпиток, на которую указывалось в [1], выполняется. Исключе-

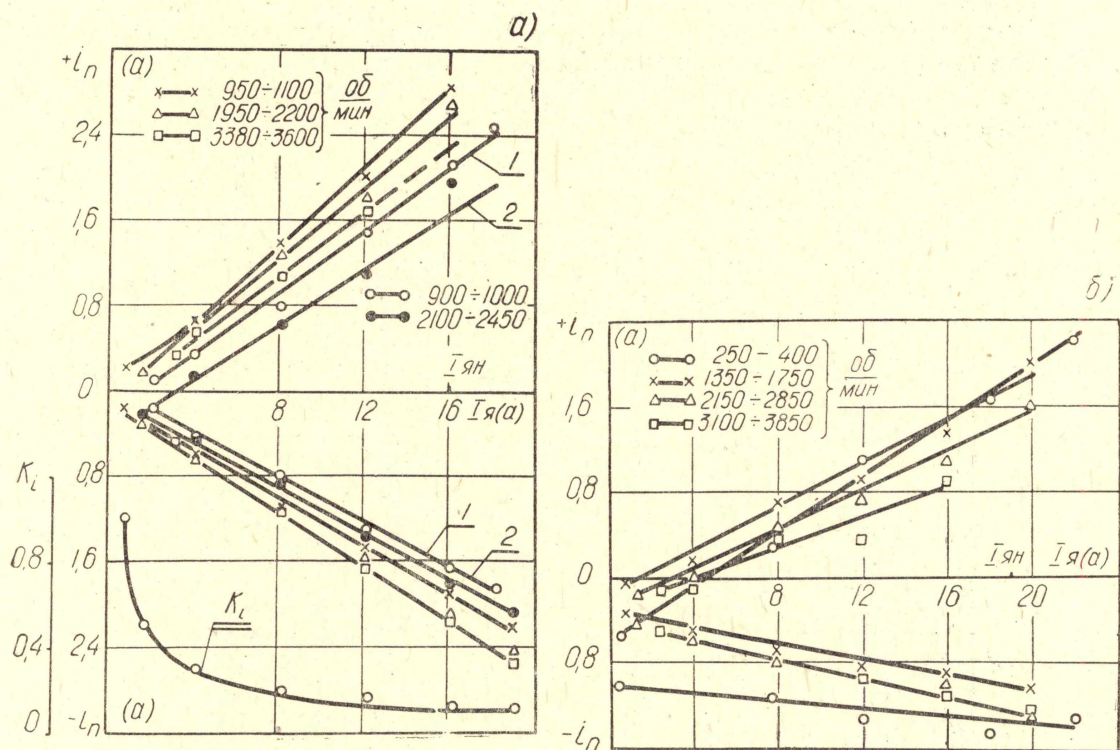


Рис. 2. Зоны безыскровой работы при протекании тока возбуждения встречно току якоря в обмотке добавочных полюсов: а — П61, 1, 2 — при питании пульсирующим током, б — П63

ние составляют нижние границы безыскровых зон на скоростях вращения, больших 2200 об/мин, когда на коммутации начинает сказываться влияние механических факторов. Уменьшение ширины безыскровой зоны на нижнем пределе скорости вращения двигателя П41 (рис. 1а) объясняется более сильным у этой машины влиянием главного поля на верхнюю границу зоны.

Все зоны безыскровой работы, не исключая и симметричные на номинальных токах якоря, «особенно несимметричны» при токах якоря, близких к токам холостого хода, что обусловлено влиянием главного поля и нелинейностью свойств щеточного контакта. Уменьшением намагничивающей силы добавочных полюсов посредством изменения числа витков обмотки или величины зазора под добавочными полюсами, не удастся «поднять» верхнюю границу зон и обеспечить безыскровую работу двигателей в режимах, близких к режимам холостого хода. «Более

симметричное» расположение зон при малых токах якоря, а также некоторое ослабление слишком сильного поля добавочных полюсов на максимальных скоростях вращения можно получить, если обмотку независимого возбуждения главных полюсов включить последовательно-встречно с частью витков обмотки добавочных полюсов так, чтобы ток обмотки возбуждения и ток якоря в обмотке добавочных полюсов протекали встречно [3]. При этом необходимо иметь в виду, что переход машины на нижний предел скорости вращения связан с увеличением

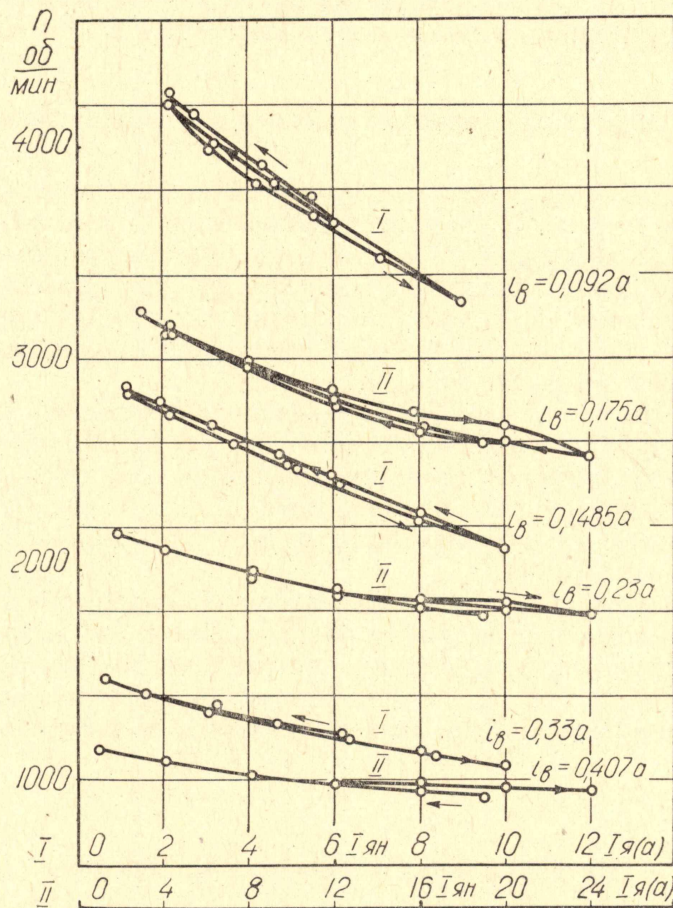


Рис. 3. Естественные скоростные характеристики: I—П41 с легкой стабилизирующей обмоткой, II—П61 без стабилизирующей обмотки

тока возбуждения почти пропорционально кратности регулирования скорости, в результате чего ослабление добавочных полюсов может быть очень сильным. Этого можно избежать, если, например, с увеличением тока возбуждения одновременно уменьшать число витков обмотки добавочных полюсов, включенных последовательно с обмоткой возбуждения.

На рис. 2а, б показаны зоны безыскровой работы электродвигателей П61 и П63, снятые при протекании тока возбуждения встречно току якоря в обмотке добавочных полюсов. Безыскровая зона электродвигателя П63 (рис. 2б) при скорости вращения $250 \div 400$ об/мин снята с обычным включением обмоток возбуждения и добавочных полюсов.

Сравнивая безыскровые зоны, снятые без отпитки и с отпиткой обмотки добавочных полюсов током возбуждения (рис. 1, 2), предпочтительнее следует отдать последним. Их расположение относительно оси то-

ков якоря на малых токах «симметричнее». У машины П61 (рис. 2а) безыскровая работа при этом обеспечивается практически при изменении тока якоря от I_n до холостого хода. Большая ширина безыскровых зон этого электродвигателя на рис. 2а обусловлена тем, что при их снятии были изменены размеры и расположение элементов щеток или, точнее, соотношение периодов коммутации секций на верхней и нижней границах зоны. Это говорит о том, что в машинах с ВМК, в случае необходимости, зона безыскровой работы при заданных размерах коллектора может быть легко расширена до величины, ограничиваемой шириной коммутационной зоны и плотностью тока в щеточном контакте.

Скоростные (автоматические) характеристики

Естественные скоростные характеристики электродвигателей П41 и П61 показаны на рис. 3. Характеристики электродвигателя П41 сняты с легкой стабилизирующей обмоткой при обычном включении обмотки возбуждения. Удовлетворительная однозначность характеристик объясняется, по-видимому, меньшим, по сравнению с обычными машинами, смещением зон безыскровой работы относительно оси тока якоря при изменении тока и скорости вращения.

Следует отметить, что последовательно-встречное включение обмоток возбуждения и добавочных полюсов, кроме ослабления добавочных полюсов, обладает и стабилизирующими свойствами, т.е. наклон скоростных характеристик, необходимый для устойчивой работы двигателей в режимах ослабления поля, может быть получен без стабилизирующей обмотки [3, 4].

Скоростные характеристики двигателя П63 с легкой стабилизирующей обмоткой и без нее подробно рассмотрены в [4] и здесь не приводятся. Скоростные характеристики двигателя П61 (рис. 3), зоны которого приведены на рис. 2б, сняты без стабилизирующей обмотки при последовательно-встречном включении обмоток возбуждения и добавочных полюсов.

Потенциальные условия на коллекторе

Уменьшение числа коллекторных пластин неизбежно привело к увеличению величины напряжения между двумя смежными рабочими пластинами коллектора. В исследуемых двигателях с ВМК межламельные напряжения U_k , если принять коэффициент искажения поля при нагрузке $k_n=2$, значительно превышают максимально допустимую величину этого напряжения, рекомендуемую для машин постоянного тока с регулированием скорости вращения ослаблением поля. Для рассматриваемых двигателей четвертого и шестого габаритов с ВМК U_k составляет соответственно 90 и 70 в.

Однако при работе экспериментальных машин в различных режимах, в частности в режимах пуска, наброса нагрузки и двойной перегрузки, не было случаев перекрытий между пластинами и кругового огня. Это можно объяснить прежде всего наличием двойного изоляционного промежутка между рабочими пластинами и удовлетворительной коммутацией в опасных для перекрытия режимах.

По нашему мнению, наиболее опасным местом с точки зрения появления кругового огня у исследуемых машин является зона коммутации. В этой зоне межламельное напряжение прикладывается только к одному

изоляционному промежутку, так как другой изоляционный промежуток перекрывается щеткой в момент контакта ее с холостой и рабочей пластинами. Коммутирующие же э. д. с. в машинах велики и могут достигать на максимальных скоростях вращения 100 в. Поэтому при снятии безыскровых зон на максимальных скоростях вращения точки верхней границы зоны на номинальном токе якоря снимались только тогда, когда коммутирующая э. д. с. не превышала указанной величины.

Питание пульсирующим током

На рис. 2а линиями 1 и 2 показаны безыскровые зоны, снятые при питании якоря электродвигателя ПБ1 от однофазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя через сглаживающую индуктивность. Там же показано изменение коэффициента пульсации тока якоря k_j в зависимости от тока якоря. Коэффициент k_j определялся как отношение амплитуды основной гармонической к постоянной составляющей тока якоря. Как следует из рис. 2а, ширина безыскровых зон при питании двигателей пульсирующим током уменьшается.

Так, на скорости вращения 900 об/мин и номинальном токе якоря ($k_j=0,12$) относительная величина положительного тока подпитки уменьшается с 17,7 до 13,1%, на скорости вращения 2100 об/мин — с 16,2 до 10,1%. В то же время, хотя ширина безыскровых зон и уменьшается, характер зон остается прежним. Поэтому можно ожидать безыскровую работу двигателей при номинальной нагрузке во всем диапазоне скоростей и при больших пульсациях тока якоря. Об этом говорят и результаты проверки коммутации электродвигателя ПЗ2 с ВМК ($P_n=1,5$ квт, $U_n=320$ в, $I_n=5,7$ а, $n_n=1300$ об/мин) при питании от управляемого выпрямителя по трехфазной однополупериодной схеме. Работа двигателя в режиме регулировочной характеристики до скорости вращения 3200 об/мин сопровождалась темной коммутацией. Величины пульсаций тока и напряжения в этом режиме составляли соответственно $I_{\sim\max}=42,6-39,2\%$ от I_n , $U_{\sim\max}=55,3-50,5\%$ от U_n , где $I_{\sim\max}$ и $U_{\sim\max}$ — переменные составляющие тока и напряжения якоря.

Следует отметить, что исследуемые машины имели нешихтованные добавочные полюса и станину, поэтому степень отставания коммутирующего потока была значительной.

Работа в длительных режимах

Работа с экспериментальными машинами показала, что при нормальном в отношении вибрации состоянии щеточно-коллекторного узла схема с ВМК обеспечивает надежную работу в длительных режимах, по крайней мере в машинах малой мощности, к которым относятся исследуемые двигатели.

Достаточно, например, сказать, что безыскровые зоны и скоростные характеристики двигателя П41 снимались после его работы в непрерывном режиме длительностью 800 час, из них 135 час $i_a=5,5$ а, $n=2400$ об/мин; 500 час $I_a=5,7$ а, $n=3600$ об/мин; 155 час $I_a=5$ а, $n=600$ об/мин, а также 12 час со скоростью вращения 650 об/мин на холостом ходу. Искрение интенсивностью $1\frac{1}{2}$ балла наблюдалось только в режиме холостого хода.

В связи с неоднородностью коллектора (наличие холостых и рабочих медных пластин) можно было ожидать неравномерного износа

пластин после длительной эксплуатации двигателя, однако замеры перепадов высот между коллекторными пластинами с помощью профилометра при вращающемся якоре не обнаружили неравномерного или волнообразного износа пластин по окружности коллектора, хотя выработка на дорожках коллектора была 0,2—0,3 мм. Между замерами двигатель отработал около тысячи часов. На остальных двигателях режимов с такой длительностью не проводилось, но каждый из них отработал в лаборатории не менее 500 час. При этом механический контакт щеток с коллектором оставался также удовлетворительным (контроль проводился по осциллограммам токов и напряжений вентиляей).

Выводы

1. Электродвигатели с вентильно-механической коммутацией позволяют получить заданный диапазон регулирования и имеют удовлетворительную коммутацию во всем диапазоне скоростей вращения.
2. Двигатели с ВМК могут удовлетворительно работать по коммутации при питании пульсирующим током.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Ивашин, В. А. Иванников, И. А. Милорадов. Коммутация двигателей постоянного тока параллельного или смешанного возбуждения с ВМК в режиме регулирования скорости вращения. Известия ТПИ, т. 212, 1971.
 2. И. А. Волкомирский, В. А. Иванников, В. В. Ивашин, И. А. Милорадов. Экспериментальные исследования коммутации двигателей постоянного тока с ВМК в режиме регулирования скорости вращения ослаблением поля главных полюсов. Известия ТПИ, т. 212, 1971.
 3. В. А. Иванников, И. А. Милорадов. Электрическая машина постоянного тока. Авторское свидетельство № 351284. Бюллетень изобретений, № 27, 1972.
 4. В. А. Иванников, И. А. Милорадов. Устойчивая работа двигателя постоянного тока без стабилизирующей обмотки. Известия ТПИ, т. 242, 1972.
-