

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1980



· ЭНЕРГИЯ ·

5

УДК 621.313.2.001.5

Проблема создания машин постоянного тока предельной мощности. Толкунов В. П., Шевченко В. В. — «Электричество», 1980, № 5.
Анализируются проблемы, возникающие при создании двигателей постоянного тока предельной мощности. Рекомендуется применение якоря с позитивным активным слесем и рассматривается вопрос о возможности применения криогенного охлаждения обмотки возбуждения. Библ. 4.

УДК 621.311.019.3.001.24

Устойчивость решения задач теории надежности. Фархадзаде Э. М., Мамед-Велиев В. К. — «Электричество», 1980, № 5.
Приведены результаты исследования на ЭВМ устойчивости решения при выборе варианта из группы восстанавливаемых резервированных систем. Критерием выбора системы является непрерывность норматива надежности и минимум приведенных затрат.

Сопоставляются результаты решения по точечным оценкам и гарантированным значениям показателей надежности систем. Библ. 6.

УДК 621.311.001.57:621.316.726

Моделирование энергосистемы для выбора автоматической частотной разгрузки. Щербина Ю. В., Мельник В. П., Ройтельман И. Г. — «Электричество», 1980, № 5.

Показана необходимость уточнения методики расчета АЧР на основании моделирования длительных электрохимических переходных процессов. Рассмотрены методика и алгоритм имитационного моделирования дефицитной энергосистемы. Предложена технологическая схема расчетов АЧР на основе использования банка данных и автоматического выделения дефицитных районов. Приведены результаты расчетов, подтверждающие целесообразность предлагаемого подхода. Библ. 4.

УДК 621.313.391.001.2

Оптимальное проектирование индукторных генераторов. Ледовский А. Н., Сугробов А. М. — «Электричество», 1980, № 6.
Рассмотрены вопросы проектирования одноменнопольных индукторных генераторов с дробным числом полюсов на полюс и фазу и открытыми пазами статора. Приведены уравнения, позволяющие уменьшить количество независимых переменных в зависимости от требований технического задания; даны рекомендации по выбору линейной нагрузки, индукции, плотностей тока в обмотках якоря и возбуждения, геометрии зубцовой зоны и конструкции генератора. Библ. 8.

УДК 621.313.333.001.24

Расчет характеристик низкоскоростных линейных асинхронных двигателей. Веселовский О. Н. — «Электричество», 1980, № 5.
Рассмотрена методика расчета линейных асинхронных машин, в основу которой положена аналоговая модель многослойной структуры двигателя, представляющая собой каскадное соединение пассивных и активного четырехполюсников. Модель позволяет простыми вычислительными средствами рассчитать дифференциальные и интегральные характеристики машины с учетом краевых эффектов. В частности, продольный краевой эффект учитывается введением коэффициента, зависящего от «добротности машины» (магнитного числа Рейнольдса), скольжения и числа пар полюсов. Результаты расчета по изложенной методике сравниваются с экспериментом. Библ. 14.

УДК 621.314.25:621.314.632

Расчет тиристоров непосредственного преобразователя частоты. Жемеров Г. Г., Коваленко И. Т. — «Электричество», 1980, № 5.
Расчет включает следующие основные этапы: определение сочетания параметров, при котором нагрузка тиристора по току максимальна, определение моментов включения и выключения тиристора, расчет графика потерь в тиристор, решение дифференциальных уравнений тепловой модели тиристора. Получены расчетные соотношения и разработаны алгоритмы, позволяющие выполнить все этапы расчета. Приведены кривые, по которым можно определить допустимый ток нагрузки непосредственного преобразователя с одним тиристором в плече вентиляльной группы. Библ. 4.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Афанасьев В. В., Бертинов А. И., Будзко И. А., Веников В. А., Глебов И. А., Ефремов И. С., Иванов-Смоленский А. В., Ипатов Л. М., Костенко М. В., Ларионов В. П., Лидеренко Н. С., Мамиконянц Л. Г. (главный редактор), Меерович Э. А., Мучник Г. Ф., Негушил А. В., Рабинович С. И., Слежановский О. В., Совалов С. А., Тареев Б. М., Толстов Ю. Г., Федосеев А. М., Шаталов А. С.

Научные редакторы: Б. Н. Евсеев (редактор отдела), А. Б. Желдыбин, Б. Д. Макарашин

Адреса редакции: 103012, Москва, К-12, Б. Черкасский пер., 2/10. Телефон 294-24-80
101000, Москва, Главный почтамт, абонентный ящик № 648
Адрес для телеграмм: МОСКВА 12, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Технический редактор Н. Н. Хотулева

Сдано в набор 14.03.80
Усл. печ. л. 10,0

Подписано в печать 30.04.80
Уч.-изд. л. 12,52

T-09505

Формат 69×90¹/₈

Печать высокая
Заказ 576

Издательство «Энергия», 113114, М-114, Шлюзовая наб., 10
Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

УДК [621.3.015.5]:546.212].001.24

Расчет экономической прочности промежутков в воде. Кужекин И. П., Калеников А. В. — «Электричество», 1980, № 5.
Рассмотрены процессы, протекающие при тепловом и лидерном пробое промежутков в воде. Предложена методика расчета электрической прочности таких промежутков. Библ. 11.

УДК 621.3.015.532.083

Регистрация токов коронного разряда на Останкинской телебашне. Горин Б. Н., Горбунова Г. Ю. — «Электричество», 1980, № 5.

Приведены методика и результаты регистраций токов коронного разряда на специальных электродах, установленных вблизи вершины Останкинской телебашни, за 1972—1975 гг. Записи токов синхронизировались во времени с регистрациями разрядов молнии и метеорологических параметров. Анализ таких регистраций показал, что, измеряя ток короны с электродов на весьма высоком сооружении, можно получить информацию об электризации облаков различного вида, а также о времени, длительности и интенсивности грозовой деятельности в районе этих сооружений. Библ. 5.

УДК 621.313.322—81.013.8.012.7

Частотные характеристики возбудителей с неуправляемыми выпрямителями. Морозова Ю. А., Бурухин Г. Н., Филиппов Ю. А. — «Электричество», 1980, № 5.

Разработана линейная математическая модель для возбудителей с неуправляемыми выпрямителями — диодного бесщеточного и высокочастотного. С использованием линейной математической модели рассчитаны частотные характеристики диодного бесщеточного возбудителя. Аналитические частотные характеристики подтверждены результатами натурных испытаний на турбогенераторах ТВВ-320-2. Проведен анализ амплитудно-фазовых частотных характеристик диодных возбудителей. Библ. 3.

УДК 621.315.623.5.027.3

О выборе экранов для опорных изоляционных конструкций. Заргарян И. В., Слудкин Л. С. — «Электричество», 1979, № 5.
В качестве критерия связи электрической прочности опорных изоляционных конструкций с характеристиками их электрического поля предложен интегральный критерий — падение напряжения на части высоты конструкции, равной критической длине стримерной зоны воздушного промежутка «экран—плоскость» соответствующей длины. Библ. 7.

УДК 621.311.001.24

Учет обусловленности матриц при расчете установившихся режимов электрических систем. Габриелян Р. М. — «Электричество», 1980, № 5.

Показана связь числа обусловленности матрицы — коэффициента уравнений установившихся режимов электрических систем — с оценкой сходимости итераций по методу Ньютона. Рассмотрены мероприятия, приводящие к улучшению числа обусловленности систем уравнений. Предложен метод расчета установившихся режимов, использующий алгоритм эквивалентирования матрицы и выбора нулевых приближений искомым переменным. Библ. 2.

УДК 621.332+621.311.4:621.33.001.24

Расчет электрических нагрузок фидеров контактной сети и тяговых подстанций открытых горных разработок. Авидов-Кариных В. Н., Гордеев В. И., Дмитриева Е. Н., Платонов В. В. — «Электричество», 1980, № 5.
Разработаны математические модели формирования графиков электрической нагрузки фидеров контактной сети и тяговой подстанции открытых горных разработок. Предложен инженерный метод расчета пиков электрической нагрузки различной длительности, основанный на использовании расчетных графиков в относительных единицах. Библ. 7.

[, 1980. - . 9-12]. (ISSN 0013-5380), 5. - :

* * * * *

УДК 621.313.2.001.5

Проблемы создания машин постоянного тока предельной мощности

ТОЛКУНОВ В. П., доктор техн. наук, ШЕВЧЕНКО В. В., инж.

Харьков

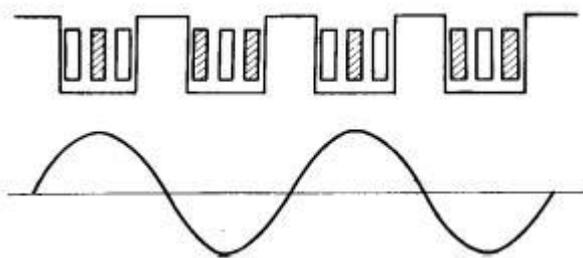
В настоящее время электропривод с применением крупных двигателей постоянного тока (ДПТ) продолжает сохранять свое доминирующее положение в ряде отраслей промышленности. Повышение мощности объектов, в которых используются ДПТ, требует создания так называемых двигателей предельной мощности, которые в электрическом отношении работают крайне напряженно. (Под двигателями предельной мощности имеются ввиду двигатели с предельно допустимой по условиям коммутации, кругового огня, нагрева и т. д. мощностью при заданной частоте вращения машины.) Обычно применяемый сейчас метод повышения мощности или, точнее, момента крупного электродвигателя состоит в создании его в двух- или многоякорном исполнении, при этом, однако, возникает ряд неудобств: увеличиваются общие габариты машины; повышается суммарная стоимость двигателя; появляется электрическая связь двух или нескольких сочлененных на одном валу якорей.

Проблема создания максимально возможной мощности (момента) двигателя в единичном исполнении является в настоящее время одной из актуальнейших задач электромашиностроения. На наш взгляд, наиболее перспективными направлениями решения указанной проблемы являются следующие: создание униполярной машины; создание обращенной синхронной машины, конструктивно

подобной машине постоянного тока (МПТ) и питающейся через кольца от вентильных устройств; создание крупной МПТ в обычном исполнении с коллектором. В статье рассматривается последнее из указанных направлений.

Сложность создания ДПТ мощностью 15–20 тыс. кВт в единичном исполнении в значительной мере определяется трудностями обеспечения коммутационной надежности машины и потенциальными условиями на коллекторе. Как известно, коммутационная надежность машин [Л. 1] определяется в основном двумя факторами: значениями средней реактивной э. д. с. e_r и коэффициента демпфирования σ_r . Э. д. с. e_r пропорциональна линейной нагрузке якоря A , его окружной скорости v_a , расчетной длине l_i , числу витков секции w_k и удельной магнитной проводимости для потоков рассеяния якорной обмотки ξ_k .

С ростом мощности и напряженности работы машины величины A , v_a и l_i в том или ином сочетании (в совокупности или порознь) увеличиваются, что приводит к тому, что значение реактивной э. д. с. для машин, в которых уже сейчас ощущается острая необходимость, достигает 12–15 В (в стационарном режиме). Данные многолетней практики позволяют с полной уверенностью считать, что машины, длительно работающие при указанных значениях средней реактивной э. д. с., будут иметь



Явление усиления z/pt -й гармонической двухполюсной несимметричной обмотки (заштрихованные и незаштрихованные проводники принадлежат разным ходам).

неудовлетворительную коммутацию. Наиболее эффективным средством резкого снижения реактивной э. д. с. в рассматриваемом случае, по нашему мнению, являются применение машин немагнитным активным слоем, в которых согласно многочисленным расчетам (около 50 машин) реактивная э. д. с. снижается приблизительно в 2,3—3 раза. Так, при пересчете двигателя с обычной конструкцией якоря на конструкцию якоря с немагнитным активным слоем в машине П 121-5К ($P=100$ кВт, $U=220$ В, $n=750/1500$ об/мин) реактивная э. д. с. e_r снизилась с 3,8 до 1,4 В; в машине П171-8К ($P=400$ кВт, $U=330$ В, $n=300/1000$ об/мин) — с 4,1 до 1,7 В.

В настоящее время имеется ряд вариантов конструктивного исполнения немагнитного активного слоя, однако с точки зрения рассматриваемого критерия коммутации все они могут быть подразделены на две категории: машины с равномерно распределенной по окружности якоря обмоткой; машины с расположением секций обмотки в пазах немагнитного пояса или в конструктивном подобии этих пазов. Расчеты показали, что в отношении реактивной э. д. с. оба варианта примерно эквивалентны. В машине П22/80-4Т ($P=5000$ кВт, $U=825$ В, $n=190/380$ об/мин) реактивная э. д. с. для первого варианта расположения обмотки составляла 8,1 В, для второго — 8,3 В.

Рассмотрим теперь второй критерий коммутационной надежности машины: коэффициент демпфирования σ_p . Как известно, во всех машинах с пазовым исполнением имеет место так называемая асимметрия коммутации паза, которая заключается в том, что секция, коммутируемая последней в пазу, так называемая обособленная секция, находится в более тяжелых условиях, чем остальные из-за отсутствия по соседству с ней замкнутых накоротку контуров, которые оказывают взаимное демпфирование [Л. 1]. Такая асимметрия паза, хотя и в несколько меньших размерах, имеет место и в машинах с пазами в немагнитном активном слое.

В конструкциях с распределенной обмоткой якоря условия взаимного демпфирования совершенно идентичны для всех секций якоря, что заметно улучшает общие коммутационные свойства машины, так как при отсутствии асимметрии закон изменения тока для всех коммутируемых секций якоря одинаков, а это облегчает оптимальную настройку коммутации посредством дополнительных полюсов. Поэтому с коммутационной точки зрения применение якоря с равномерно распределенной обмоткой является более предпочтительным. Как

показали расчеты, суммарное действие двух вышеперечисленных факторов — уменьшение e_r и σ_p — позволяет повысить коммутационную способность машины приблизительно в 3—3,5 раза, что подтверждается и экспериментально [Л. 3].

Перейдем теперь ко второму вопросу: ограничению мощности ДПТ в единичном исполнении потенциальными условиями на коллекторе. Как известно [Л. 4], в машинах предельной мощности, в основном с целью уменьшения напряжения между соседними коллекторными пластинами, необходимо применять двух- и трехходовые несимметричные петлевые и лягушечные обмотки. Основной фактор, затрудняющий работу этих обмоток, — выпучивание высокочастотных (z/pt -порядка) гармоник, порожденных зубчатостью якоря и неодинаковым числом проводников, расположенных в одном пазу и принадлежащих разным ходам (см. рисунок).

На наш взгляд, единственным эффективным способом борьбы с указанными гармоническими, вредно влияющими на рабочие свойства машины, является опять-таки применение якоря с немагнитным активным слоем и равномерно распределенной по окружности якоря обмоткой. В этом случае, вследствие симметричного расположения однослойной обмотки по окружности якоря, высшие гармонические напряжения и тока практически исчезают. Во втором указанном выше варианте конструктивного исполнения обмотки якоря различные хода обмотки располагаются по окружности якоря несимметрично.

Таким образом, из вышеизложенного ясно, что применение немагнитного активного слоя с равномерно распределенной обмоткой является наиболее эффективным средством повышения мощности (момента) машины в единичном исполнении. Наиболее сложными задачами, которые приходится решать при создании якоря с такой обмоткой, являются: надежное крепление обмотки; размещение ее лобовых частей.

Однако указанные конструктивные проблемы не являются неразрешимыми.

Естественно, что повышение мощности машины приводит к нежелательному увеличению ее габаритов и массы. Поэтому в машинах предельной мощности напрашивается и другое конструктивное решение: применение криогенного охлаждения обмоток статора, чем достигается уменьшение габаритов машины, что, кроме очевидного снижения стоимости машины, приводит к повышению ее коммутационной надежности (уменьшается реактивная э. д. с.) Криогенное охлаждение возможно осуществить как использованием общего криостата, заключающего в себе все полюса машины, так и криостатированием полюсов отдельно один от другого. Ввиду того, что освещение этого вопроса не входит в задачу статьи, его подробный анализ здесь опущен.

Теоретические исследования, включающие, в частности, поверочные электрические расчеты ряда вариантов электрических машин предельной мощности при варьировании их электрических параметров, проведенные на кафедре «Электрические машины» Украинского заочного политехнического института, позволили сделать ряд предваритель-

ных выводов, важнейшими из которых являются следующие:

при применении криогенного охлаждения обмоток статора основные конструктивные и электрические узлы машины остаются в целом без изменения; изменяются лишь соотношения между размерами и в некоторых случаях материал этих узлов; в указанных машинах одновременно с криогенным охлаждением целесообразно применять рассмотренную выше модификацию якоря с немагнитным активным слоем, который целесообразно располагать или на цельном стальном сердечнике, или на втулке со спицами; в последнем варианте якорь конструктивно выполнен по подобию колеса.

Применение криогенного охлаждения обмотки возбуждения, в первую очередь, позволяет в значительной степени повысить магнитную индукцию в воздушном зазоре от рабочего потока машины. Этим обстоятельством в основном и достигается повышение мощности машины. Однако, есть предел повышения B_z , что обусловлено основным отрицательным фактором, присущим машинам с криогенным охлаждением обмотки возбуждения — резким увеличением коэффициента рассеяния главных полюсов. Расчеты показали, что значение индукции B_z в оптимальных вариантах проектируемых машин с криогенным охлаждением обмотки возбуждения равно примерно удвоенному значению B_z машин нормальной конструкции, при этом создаются предпосылки для удвоения мощности машины при тех же ее габаритах. Так, при пересчете электродвигателя $P=700$ кВт, $n=75/150$ об/мин, $U=750$ В с обычного исполнения на рассматриваемое оптимальное значение индукции в воздушном зазоре составило примерно 18,1 Т (вместо 9,95 Т в исходной машине); коэффициент рассеяния в рассматриваемой конструкции принял значение 1,6 (вместо 1,15).

Как было показано выше, в связи с применением немагнитного активного слоя коммутационная способность машины должна увеличиваться более чем в два раза, и фактор коммутации не должен в данном случае ограничивать мощность машины, тем более, что повышение удельных нагрузок магнитной цепи не влияет непосредственно на коммутацию. Основным фактором, затрудняющим работу машины при рассматриваемом варианте выбора основных размеров и удельных нагрузок, являются потенциальные условия на коллекторе (напряжение между соседними коллекторными пластинами возрастает в два раза), а также повышение потерь в стали якоря (при стальном сердечнике) и, наконец, то обстоятельство, что повышение мощности машины достигается только за счет увеличения ее напряжения, а не тока.

Вторым возможным вариантом проектирования машин с криогенным охлаждением обмотки возбуждения является уменьшение активной длины якоря машины примерно в два раза. В этом случае мощность машины не увеличивается, повышается только степень ее использования. Потенциальные условия на коллекторе указанной модификации останутся без изменения. Однако в указанном варианте не решается основная проблема — повыше-

ние мощности (момента) в единичном исполнении.

Если же рассмотреть третий вариант, когда при уменьшении активной длины якоря примерно в два раза во столько же раз повышается линейная нагрузка якоря A , то в таком случае можно достичь почти двойного увеличения мощности. Однако в указанном варианте возникает новая и едва ли преодолимая проблема — превышение температуры якорной обмотки. По результатам расчетов сделан вывод, что оптимальным является промежуточный вариант, когда B_z увеличивается приблизительно

в два раза, но достигается это не только за счет увеличения рабочего потока, но и за счет некоторого уменьшения активной длины якоря, при этом коэффициент повышения единичной предельной мощности в машине указанной конструкции будет равен не 2, а иметь несколько меньшее значение.

Из изложенного следует, что основным фактором, ограничивающим предельную мощность МПТ в единичном исполнении, являются потенциальные условия на коллекторе. Криогенное охлаждение обмотки возбуждения, не улучшая этих условий, позволяет лишь уменьшить габариты машины, поэтому наиболее актуальной задачей, стоящей при создании предельных по мощности машин, представляется проектирование надежно работающих многоходовых петлевых или лягушечьих обмоток с числом ходов $m \geq 3$. Относительно перспективы применения криогенного охлаждения трудно сделать определенный вывод, так как, кроме вполне очевидных преимуществ (снижение массы и уменьшение габаритов машины, а также повышение удельных нагрузок магнитной цепи), криогенное охлаждение обладает рядом недостатков, важнейшими из которых являются:

усложнение конструкции и снижение эксплуатационной надежности, связанное с появлением системы криостатов на статоре и необходимостью использовать громоздкую и неудобную в эксплуатации рефрижераторную установку;

необходимость соблюдения приближенного постоянства тока в обмотке возбуждения, в связи с чем возникают трудности по экранированию обмотки возбуждения от переменных полей при изменяющемся токе якоря, а также по обеспечению возможности регулирования частоты вращения двигателя вверх без опасности потери обмоткой возбуждения состояния сверхпроводимости.

По-видимому, затруднения, связанные с проблемой регулирования частоты вращения двигателя уменьшением тока обмотки возбуждения, являются главным фактором, осложняющим решение задачи применения криогенного охлаждения в рассматриваемой машине. Это обусловлено тем обстоятельством, что, имея ДПТ с неизменным током возбуждения, мы, по сути говоря, лишаем его всех тех основных преимуществ, которыми он обладает. Однако, на наш взгляд, указанное обстоятельство еще не свидетельствует окончательно о бесперспективности применения криогенного охлаждения в двигателях коллекторного исполнения предельной мощности.

Выводы. 1. Наиболее перспективным конструктивным вариантом исполнения ДПТ предельной мощности является исполнение его якоря с не-

магнитным активным слоем, что позволяет не только в значительной степени улучшить коммутационную надежность машины, но и, как впервые указывается в этой статье, улучшить потенциальные условия на коллекторе.

2. При применении криогенного охлаждения обмотки возбуждения в МПТ одной из главных проблем является резкое увеличение потоков рассеяния главных полюсов (от 1,25 до 1,7). При исследовании указанной системы охлаждения особого внимания заслуживают вопросы, связанные с возможностью возникновения бросков тока в якорной

обмотке, а также возможностью регулирования частоты вращения двигателя изменением тока возбуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толкунов В. П. Теория и практика коммутации машин постоянного тока. — М.: Энергия, 1979.
2. Петров Г. Н. Электрические машины. — М.: Госэнергоиздат, 1947.
3. Толкунов В. П., Файнштейн М. Б. Проблема создания машин постоянного тока большой мощности с немагнитным активным слоем. — Электричество, 1968, № 8.
4. Ипатов П. М. Многоходовые обмотки якорей электрических машин постоянного тока. — Л.: Наука, 1965.

[30.01.80]

