

ISSN 0013-5860



**ЭЛЕКТРО
ТЕХНИКА 9-81**

ЭНЕРГОИЗДАТ



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРАВЛЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ОСНОВАН в 1930 году
№ 9 СЕНТЯБРЬ 1981

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор **ОБОЛЕНСКИЙ Н. А.**

**АЛЕКСЕНКО Г. В., АСТАФЬЕВ В. Е., БОРОДАЧЕВ А. С.,
БОРТНИК И. М., БОРУШКО В. С., ГЕРАСИМОВ А. Г.,
ГЛЕБОВ И. А., КАЗОВСКИЙ Е. Я., КОВАЛЕВ Ф. И.,
КОВАЛЕВ Ф. С., КОПЫЛОВ И. П., КОЧЕТКОВ В. П.,
КУЗНЕЦОВ Р. С., КУКОЛЕВ В. И., НЕМЦЕВ Г. Г.,
РАБИНОВИЧ А. А. (зам. главного редактора),
НИКИТИН П. З., ПЕТРАШКО А. И., ПЕШКОВ И. Б.,
СОРОКЕР Т. Г., ТРОИЦКАЯ Т. Б., ТРУБАЧЕВ С. Г.,
ЧЕСОНИС В. И., ШЕРЕМЕТЬЕВСКИЙ Н. Н., ЮНЬКОВ М. Г.**

Зав. ред. отделом **Магарик Н. Е.,**
научный редактор **Кунафина О. В.,**
лит. сотрудник **Мескина А. М.**

Адрес редакции:
111250, Москва, Е-250, Красноказарменная, 12,
комната 339. Телефон 274-31-33

МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ

Содержание

Всесоюзному электротехническому институту имени В. И. Ленина — 60 лет	2
Копылов И. П., Веселовский О. Н. У истоков электромеханики (к 150-летию открытия электромагнитной индукции)	4
ИССЛЕДОВАНИЯ, РАЗРАБОТКИ, МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ	
Лазарев В. И., Рушак В. Е. Радиальная устойчивость сжимаемых обмоток трансформаторов при динамическом нагружении	6
Свицкий В. Р., Эйнгорн И. Я. Влияние соотношений размеров магнитопровода на шум силовых трансформаторов	10
Иванченко О. Н. Нормирование характеристик электро-технической стали при определении их разными методами	12
Перунов А. А., Чернов Е. Н. Генератор коммутационных импульсов высокого напряжения	14
Ашмарин В. В., Калихман С. А. Динамика системы параллельных импульсных дуг с индуктивным делителем тока	17
Грач И. М., Урситов О. У. Расчет электрического и магнитного полей постоянного тока тороидального проводника с круглым сечением	18
Липатов В. С., Крылов А. И. Определение статических потерь мощности в устройствах на электронно-лучевых вентилях	20
Шинкаренко Г. В., Аллилуев А. А. Анализ процессов в мостовом преобразователе при пропусках импульсов в системе управления	23
Гринбаум И. Н., Домбровский В. В., Иванов А. В., Кизимович Ю. П. Расчет асинхронного режима синхронной машины с немагнитным ротором	26
Галкин В. И. Исследование областей динамической устойчивости магниторезонансного подвеса в рабочем поле асинхронных двигателей	31
Федун А. М., Реуцкий Н. А. Распространение крутых фронтов перенапряжений в обмотке асинхронного двигателя	33
Стамбулян Г. А. Ресурс подшипников бесконтактных двигателей малой мощности	35
Еременко В. Г., Токарев А. Б., Веденеев Г. М. Выбор структуры автономной системы электроснабжения с полупроводниковым источником энергии	38
Бай Р. Д., Фельдман А. В., Чабанов А. И. Глубоко регулируемый асинхронный электропривод главного движения металлорежущих станков с ЧПУ	40
Назарян А. Г., Аджемян Э. Х. Влияние насыщения краев полюсного наконечника на поле возбуждения явнополюсной синхронной машины	42
Толкунов В. П., Радзишевский Ю. А., Шевченко В. В. Симметричные многоходовые обмотки якоря машины постоянного тока	44
Гандишу В. М., Гращенков В. Г. Расширение диапазона регулирования вентильного двигателя с помощью коррекции момента	46
Ахмеров Н. А., Грибков А. М., Емцев Б. Т., Смоляк А. И. Гидропривод выключателя с синхронным дутьем	48
Кувалдин А. Б., Долбилин Е. В. Метод управления электрическим режимом индукционных установок для нагрева ферромагнитных сталей	51
Блехтер Д. Н., Косачевский В. И., Попов В. В. Исследование электромагнитных и тепловых полей в зоне стыка пазовых клиньев ротора турбогенератора при несимметричных режимах	53
Вологдин В. В., Павлов Н. А. Математическое моделирование процесса индукционной сварки труб из магнитной стали	55
Савин Г. В., Игнатченко Г. Н. Проектирование трансформаторов для микроплазменной сварки, регулируемых шунтом	58
Глебов И. А. Синхронные электродвигатели серии СТД	59
БИБЛИОГРАФИЯ	
Алиханян К., Манукян Л., Блинквичус В. Теория и разработка машин малой мощности	62

© Энергоиздат, «Электротехника», 1981 г.

СИММЕТРИЧНЫЕ МНОГОХОДОВЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В. П. ТОЛКУНОВ, доктор техн. наук, проф.,
Ю. А. РАДЗИШЕВСКИЙ, канд. техн. наук,
В. В. ШЕВЧЕНКО, инж.

В настоящее время требуемая мощность машин постоянного тока непрерывно увеличивается, и их в ряде случаев приходится выполнять в многоходовом исполнении, что увеличивает общие габариты и стоимость этих машин. Как следует из [Л. 1],

$$P = \frac{\pi}{2} A \frac{D_a}{w_s} \Delta U \frac{a}{p},$$

где P — электромагнитная мощность машины; A — линейная нагрузка якоря; D_a — диаметр якоря; w_s — число витков в секции обмотки якоря; ΔU — величина среднего напряжения между соседними коллекторными пластинами; a и p — соответственно число пар параллельных ветвей якорной обмотки и полюсов машины.

В машинах так называемой предельной мощности единственным эффективным средством дальнейшего повышения мощности является переход на многоходовые петлевые или лягушечьи обмотки. Для того, чтобы разные ходы такой обмотки были электрически связаны (уравнительные соединения второго рода), в ней должны быть выполнены условия: k/p и m — взаимно простые числа (k — число коллекторных пластин; p — число пар полюсов; m — число ходов обмотки). Но при этом в обмотке не может быть выполнено условие симметрии Арнольда: k/a — целое число.

Многолетняя практика эксплуатации показала, что в несимметричных обмотках возникает целый ряд отрицательных явлений: протекание уравнительных токов, порожденных электрической асимметрией; выпучивание высших гармонических э. д. с. $z/(mp)$ -порядка (z — число пазов якоря) и связанная с этим циркуляция между ходами обмотки уравнительных токов соответствующей частоты, а также пульсация напряжения на коллекторе. Эти явления снижают

потенциальную устойчивость коллектора, а также ухудшают условия коммутации машины.

Естественно возникает вопрос, является ли электрическая связь между различными ходами столь необходимой, чтобы ради ее осуществления сознательно идти на ухудшение рабочих свойств машины. Теоретическое и экспериментальное исследования этого вопроса являются основным содержанием настоящей статьи.

Прежде всего отметим, что электрическая связь между ходами используется для выравнивания распределения нагрузки между ними, неравномерность которой может быть обусловлена случайным отклонением величины сопротивлений параллельных ветвей, а также для фиксирования распределения потенциала между соседними коллекторными пластинами, принадлежащими разным ходам. Однако в несимметричной обмотке с помощью уравнительных соединений второго рода осуществляется электрическая связь между параллельными ветвями, расположенными под различными полюсами машины. В [Л. 2] показано, что действительную схему замещения обмотки (рис. 1) можно без существенных погрешностей заменить схемой с двумя узлами. Из рис. 2, на котором представлена двухходовая обмотка на расстоянии трех полюсных делений, явно следует, что, например, при отклонении величины сопротивления параллельной ветви 1 или нарушениях в контакте a совершенно безразлично соединяется ли произвольная точка ветви 1 с эквипотенциальной ей точкой ветви 2 или ветви 3.

С другой стороны, многие авторы (например, [Л. 3]), связывая возможные нарушения распределения потенциала по коллектору с механическими неисправностями в работе скользящего контакта (например, неравномерное по окружности нажатие щеток на коллектор), рассматривают только случай, когда щеткой перекрываются одна-две коллекторные пластины, принадлежащие одному ходу обмотки. В действительности, в крупных машинах щетка перекрывает 5—8 коллекторных пластин, и в этом случае неравномерность контакта по ширине щетки не может оказывать ощутимого влияния на распределение потенциала между ходами. Наоборот, из рис. 2 следует, что скользящий контакт и является элементом, осуществляющим электрическую связь различных ходов обмотки.

Следовательно, с точки зрения выравнивания токов в ветвях и потенциала по коллектору уравнители x и y совершенно равноценны. Это утверждение ставит под сомнение целесообразность установки уравнительных соединений второго рода.

Применение симметричных двухходовых обмоток вместо несимметричных позволяет избежать перечисленных недостатков, свойственных этим обмоткам, и тем самым повысить качество работы или предельную мощность крупных машин постоянного тока. Однако при этом возникает следующий немаловажный вопрос: в симметричной обмотке при v_n (чис-

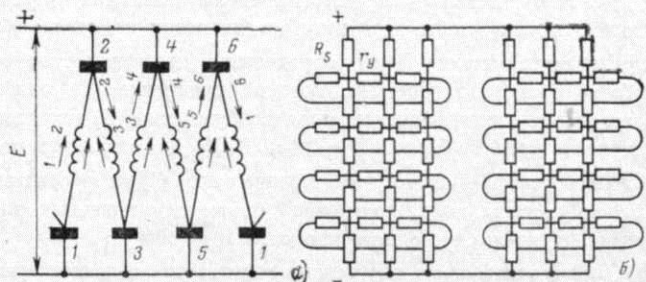


Рис. 1. Схема замещения параллельных ветвей обмотки якоря ($2a=6$).

a — действительная; b — приведенная.

ло коллекторных пластин на паз) четном потенциальные многоугольники, принадлежащие параллельным ветвям 1 и 2, совпадают, и между коллекторными пластинами 1—2 напряжение будет полностью отсутствовать, и наоборот, между пластинами 2—3 удваиваться. Таким образом, применение двухходовой обмотки не приводит к снижению межламельного напряжения. Для ликвидации этого необходимо осуществить сдвиг между потенциальными многоугольниками, образованными ветвями 1 и 2, что достигается применением ступенчатой обмотки с $v_n=2$. Таким образом, двухходовая симметричная обмотка в ступенчатом исполнении и с $u_n=2$ эквивалентна с точки зрения электрической связи между ходами несимметричной обмотке и в то же время лишена всех недостатков, свойственных последней.

Естественно, что столь важные положения, высказанные в результате чисто умозрительных заключений, должны быть тщательно проверены экспериментально.

В качестве исследуемой машины был взят электродвигатель П 101 (100 кВт, 220 В, 1500 об/мин) со специально изготовленным якорем, имеющим четырехходовую симметричную обмотку при $v_n=4$, $z=38$, $k=132$, ступенчатое исполнение с первым частичным шагом $y_1=38$ (две короткие и две длинные секции).

С помощью осциллографа МПО-2 были сняты кривые изменения напряжения между пластинами 1—2, 1—3, 2—3 и др. (ΔU_{12} , ΔU_{23} , ΔU_{13}) в режиме х. х. при поднятых и опущенных щетках, а также под нагрузкой. Кроме того, эти же кривые были сняты при искусственно созданной асимметрии, которая достигалась сдвигом одного, а также двух одноименных траверс с линии геометрической нейтрали на 4 и 8 мм по направлению вращения. В некоторых случаях кривые ΔU были сняты при различных значениях тока возбуждения.

После проведения этих экспериментов коллекторные пластины 1—2, 3—4 и т. д. были спаяны вместе, и вместо четырехходовой обмотки образовалась симметричная двухходовая обмотка, для которой снова были сняты кривые ΔU_{12} и ΔU_{23} (в новой нумерации) при поднятых и опущенных щетках, при различных значениях тока возбуждения и при искусственно созданной асимметрии. Наиболее характерные из полученных кривых приведены на рис. 3, 4.

Из анализа результатов следует, что при опущенных щетках распределение потенциала между коллекторными пластинами примерно соответствовало предполагаемому теоретически. Так, в четырехходовой обмотке напряжение между пластинами 1 (2) и 5 (6) делилось пластиной 3 (4) практически пополам. В двухходовой обмотке напряжение между пластинами 1—2 и 2—3 было практически идентично. То же наблюдалось и в режиме номинальной нагрузки при различных значениях тока возбуждения и, наконец, при несимметричной разбивке щеточных болтов. При поднятых щетках нормальная картина распределения потенциала по коллектору значительно нарушалась. Как и следовало ожидать, в кривой межламельного напряжения практически отсутствовали высшие гармонические $z/2p$ порядка.

Таким образом, теоретический анализ полностью подтвердился проведенным циклом испытаний. Он показал, что симметричная двухходовая обмотка с $u_n=2$ в ступенчатом исполнении несмотря на отсутствие уравнивающих соединений (жесткой электрической связи между ходами обмотки) имела устойчивую кривую распределения потенциала по коллектору, т. е. неизменяющийся характер кривой под полюсом. Из-за отсутствия в кривой межламельного напряжения гармонических зубцового порядка рассматриваемая обмотка имеет существенное преимущество перед несимметричной. И хотя по результатам испытаний одной машины сравнительно небольшой мощности нельзя делать окончательных выводов, не вызывает сомнения тот факт, что исследование указанных

Рис. 2. Схема подключения уравнивающих соединений.

— — для несимметричных обмоток; — — — — для симметричных.

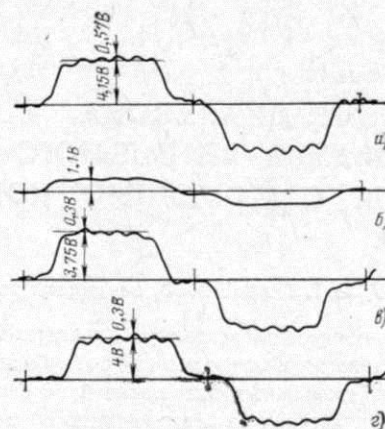
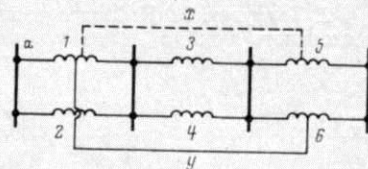


Рис. 3. Осциллограммы $\Delta U=f(t)$ при четырехходовой симметричной обмотке на х. х.

а — $\Delta U_{13}=f(t)$, $\Delta U_{35}=f(t)$, щетки опущены; б — $\Delta U_{12}=f(t)$, щетки подняты; в — $\Delta U_{35}=f(t)$, щетки одного болта сдвинуты на 8 мм; г — $\Delta U_{35}=f(t)$, щетки одного болта сдвинуты на 8 мм.

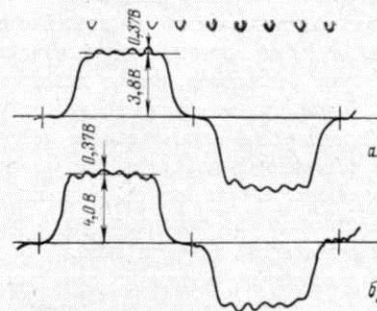


Рис. 4. Осциллограммы $\Delta U=f(t)$ при двухходовой симметричной обмотке и х. х.

а — $\Delta U_{12}=f(t)$; б — $\Delta U_{23}=f(t)$.

симметричных обмоток представляет значительный практический интерес, так как в случае подтверждения сделанных здесь выводов замена в крупных машинах постоянного тока несимметричных многоходовых обмоток симметричными позволит повысить качество и надежность работы указанных машин.

Выводы

1. На распределение потенциала по коллектору и токов в параллельных ветвях практически не влияет, какие хода соединяются между собой уравнивающими соединениями.
2. Пристального внимания и тщательного экспериментального анализа заслуживает исследование симметричной многоходовой петлевой или лягушечьей обмотки, обладающей рядом преимуществ перед несимметричной многоходовой обмоткой, применяемой в настоящее время в крупных машинах постоянного тока.

Список литературы

1. Касьянов В. Т. Машины постоянного тока предельной и большой мощности и особенности их расчета. — Вестник электропромышленности, 1939, № 5.

2. Толкунов В. П. Исследование обмоток якоря машины постоянного тока с целью повышения качества их работы. Автореф. дис. на соиск. учен. степени доктора техн. наук, Харьков: ХПИ, 1963.

3. Рихтер Р. Обмотки якорей машин переменного и постоянного токов. Л. — М.: Госэнергоиздат, 1933.

Поступила 28.11.80
