

**P. Рихтер**

**Электрические машины**

**том 5**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 621  
ББК 34.4  
Р11

P11      **Р. Рихтер**  
Электрические машины: том 5 / Р. Рихтер – М.: Книга по Требованию, 2021. –  
633 с.

**ISBN 978-5-458-34968-0**

Пятый, заключительный том капитального труда Рудольфа Рихтера «Электрические машины» делится на три части. В первой части излагаются вопросы теории различных типов однофазных коллекторных машин переменного тока, их проектирования и испытания. Вторая часть посвящена рассмотрению основных типов многофазных коллекторных машин. В третьей части рассматриваются регулировочные агрегаты с асинхронными машинами в качестве главных машин и коллекторными машинами в качестве вспомогательных машин. Как и предыдущие тома, книга может быть рекомендована как пособие для студентов электромеханических вузов и факультетов и в качестве справочника для инженеров электромашиностроительных заводов и электротехнических проектных и исследовательских организаций.

**ISBN 978-5-458-34968-0**

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



---

## ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА

Том пятый, которым завершается собрание трудов по электрическим машинам, в большей части был подготовлен к печати еще в начале 1945 г., но был уничтожен в типографии со всеми матрицами во время бомбардировки. В новом издании он представлен без значительных изменений. Пятый том содержит однофазные (разд. I) и многофазные (разд. II) коллекторные машины, а также регулировочные агрегаты с асинхронными машинами в качестве главных машин (разд. III).

В вводных разделах IA и IIA сначала рассматривается якорь с коллектором в переменном поле и вращающееся поле. При этом излагаются принципы действия и основы расчета машин. Последующие разделы посвящены различным типам машин. Далее идут исследования самовозбуждения и, наконец, как в остальных томах, разделы об экспериментальном исследовании и проектировании. Как в вводных разделах A, так и при рассмотрении различных типов машин особое внимание обращается на уменьшение искрения.

При рассмотрении однофазных машин (разд. I) на первый план ставится последовательный двигатель, с точки зрения его применения для магистральных железных дорог. Большинство примеров расчета относится к этому двигателю при частоте сети  $16 \frac{2}{3}$  гц. Но, кроме того, так же подробно рассматриваются другие типы машин, как, например, репульсионные двигатели с их модификациями, последовательные — репульсионные двигатели и машины с шунтовыми характеристиками. Для репульсионных двигателей сначала дается упрощенный расчет относительных значений скорости вращения, токов и вращающего момента, при котором пре-небрегается падениями напряжения. Тогда рабочие характеристики не зависят от габарита машин и обмоточных данных и имеют обобщенный характер. Затем указывается влияние падения напряжения и реакции токов в короткозамкнутых щетками секциях ротора и

как различные влияния могут учитываться при уточненном расчете. Расчетные значения на примерах сравниваются с измеренными.

Подобное же распределение материала имеется и у многофазных машин в разделе II. Рассматриваются машины последовательные шунтовые машины со статорным и роторным питанием, а также шунтовые машины с особой обмоткой возбуждения. Здесь также вначале приводится упрощенный расчет и на примерах уточненный расчет сравнивается с опытными данными.

В разделе III (регулировочные агрегаты) прежде всего говорится о вспомогательных машинах, входящих в регулировочные агрегаты, и затем рассматриваются регулировочные агрегаты для получения реактивного тока, для регулирования скорости вращения и регулирования мощности, связи сетей и т. д.

В указатель литературы вошли только те из опубликованных после 1944 г. изданий, которые были доступны автору.

*Рудольф Рихтер*

Карлсруэ, октябрь 1949 г.

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### I. ОДНОФАЗНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ МАШИНЫ

	Стр.
<b>A. Якорь с коллектором в переменном поле . . . . .</b>	<b>16</b>
1. Токораспределение в якоре . . . . .	—
а. Диаметральная обмотка с диаметральными щетками (16). б. Диаметральная обмотка с хордовыми щетками (17). с. Хордовая обмотка (17). д. Кривые возбужденного поля и э. д. с. коммутации (19).	
2. Э. д. с. индуцируемые в якоре . . . . .	21
а. Э. д. с. вращения в обмотке якоря (21). б. Э. д. с. покоя в обмотке якоря (22). с. Э. д. с. в части обмотки между смежными коллекторными пластинами (23). д. Соотношение между $\mathcal{E}_R$ и $E_B \equiv E$ (25). е. Предельное значение напряжения между пластинами (26).	
3. Правила направлений . . . . .	27
а. Фазы э. д. с. (27) б. Стрелки (29). с. Изображение схем (29). д. Вращающий момент (30).	
4. Вращающий момент . . . . .	31
5. Магнитные характеристики . . . . .	33
6. Определение изменений во времени величин переменного тока у последовательного двигателя . . . . .	35
а. Метод (35). б. Примеры (37).	
7. Процессы в короткозамкнутых щетками секциях якоря . . . . .	39
а. При неподвижном якоре (39). б. Э. д. с. покоя при вращающемся якоре (44). с. Э. д. с. коммутации (48). д. Результирующая э. д. с. (51). е. Искрение под щетками при переменном токе (52.)	
8. Компенсация э. д. с. покоя и коммутации . . . . .	52
а. Обмотка добавочных полюсов, питаемая постоянным напряжением, для компенсации $\mathcal{E}_R$ (53). б. Машины независимого возбуждения (53). в. Последовательные машины (54). б. Компенсация э.д.с. $\mathcal{E}_R$ при шунтовых обмотках добавочных полюсов (55). с. Разделительный трансформатор (56) д. Сопротивление, параллельное последовательной обмотке добавочных полюсов (58). е. Обмотка добавочных полюсов большого активного сопротивления, параллельная главной обмотке возбуждения (59).	
9. Потери в железе . . . . .	60
а. Круговое вращающееся поле (60). б. Пульсирующее поле и эллиптическое вращающееся поле (61). с. Расчет потерь на вихревые токи (62). д. Потери на гистерезис (64). е. Практический расчет потерь в железе (64).	
<b>B. Однофазный последовательный двигатель . . . . .</b>	<b>66</b>
1. Основная конструкция . . . . .	—
2. Фазовый угол между током якоря и потоком возбуждения . . . . .	67
3. Характеристики последовательного двигателя . . . . .	68
а. Схема и диаграмма напряжений (68). б. Круговая диаграмма (70). с. Расчет рабочих характеристик (71).	

4. Последовательный двигатель со сдвинутым по фазе коммутирующим полем . . . . .	73
а. Реактивное сопротивление, параллельное обмотке якоря (73). б. Шунтовая обмотка добавочных полюсов на щетках якоря (74). в. Обмотка шунтовых добавочных полюсов на постоянном напряжении регулировочного трансформатора (76). д. Компенсационная обмотка в качестве обмотки шунтовых добавочных полюсов (78). е. Сопротивление, параллельное обмотке последовательных добавочных полюсов (80). а. Сопротивление, параллельное некомпенсирующей части обмотки добавочных полюсов (81). б. Сопротивление, параллельное всей обмотке добавочных полюсов (83). ф. Обмотка добавочных полюсов большого активного сопротивления, параллельная обмотке возбуждения (84). а. Нормальная обмотка $W$ добавочных полюсов (85). б. Усиленная обмотка $W$ добавочных полюсов (86). г. Выводы (86).	
5. Уменьшение вредного влияния э. д. с. покоя $\emptyset_R$ . . . . .	90
а. Ослабление потока возбуждения при пуске (90). б. Характеристики и уничтожение искрения при схемах по фиг. 45, а до с (91). с. Наложение постоянного тока (93). д. Добавочный врачающий момент от токов короткого замыкания (94). е. Расслоенные щетки (97).	
6. Влияние высших гармонических на искрение под щетками . . . . .	100
<b>C. Последовательный двигатель двойного питания . . . . .</b>	101
1. Схема и диаграмма напряжений . . . . .	—
2. Включения обмотки возбуждения . . . . .	104
3. Регулирование скорости вращения . . . . .	107
а. Уравнение для компенсации э. д. с. покоя $\emptyset_R$ (107). а. Регулирование напряжения якоря $U_A$ при постоянном напряжении $U_K$ (109). б. Регулирование напряжения $U_K$ на статорной обмотке $K$ при постоянном напряжении $U_A$ (109). г. Регулирование при постоянном напряжении $U$ (110). б. Схемы регулирования (110);	
4. Уничтожение искрения . . . . .	114
а. Обмотка возбуждения в цепи якоря (114). б. Обмотка возбуждения в первичной цепи трансформатора (117).	
5. Практическое применение схем регулирования по фиг. 68, а до i	118
<b>D. Репульсионные двигатели . . . . .</b>	119
1. Репульсионные двигатели с постоянным положением щеток . . . . .	—
а. Обзор (119). б. Возбуждение током ротора (120). с. Возбуждение током статора (124).	
2. Регулирование посредством сдвига щеток . . . . .	125
а. Поле в воздушном зазоре (125). б. Направление вращения (127). с. Э. д. с. и уравнения напряжений (128). д. Уравнения токов (130). е. Врачающий момент (130).	
3. Рабочие характеристики при регулировании посредством сдвига всех щеток . . . . .	131
а. В пренебрежении падениями напряжения (131). б. Данные двигателя для примера (132). с. Рабочие характеристики с учетом падений напряжения (133). д. Геометрические места (135). е. Э. д. с. искрения (137).	
4. Уточненный расчет рабочих характеристик . . . . .	139
а. Сравнение рабочих характеристик, рассчитанных по разл. Зс, с опытными характеристиками (139). б. Составление уравнений с учетом насыщения (142). с. Определение $X_{1h}$ и $X_{Eh}$ (145). д. Влияние токов короткого замыкания (147). е. Сводка результатов (149).	
5. Регулирование посредством сдвига только одного щеточного устройства при двойных щетках . . . . .	150
а. Схема (150). б. Рабочие характеристики (151). с. Уничтожение искрения (153).	
6. Компенсированный репульсионный двигатель . . . . .	155
а. Схема (155). б. Уравнения напряжений и врачающий момент (156). с. Уничтожение искрения (158).	
7. Репульсионно-асинхронный двигатель . . . . .	159
<b>E. Однофазные машины с шунтовыми свойствами . . . . .</b>	—
1. Машины с независимым возбуждением . . . . .	160
а. $\dot{U}$ и $\dot{E}$ совпадают по фазе (161). б. $\dot{E}$ и $\dot{I}$ совпадают по фазе (163). с. Фазовый угол между $\dot{I}$ и $\dot{U}$ (164). д. Средства для компенсации реактивного сопротивле-	

ния в цепи якоря (167). е. Средства для изменения фазового угла между $\dot{U}_E$ и $\dot{U}$ с нагрузкой (170).	
2. Питание машины от одной однофазной сети с преобразователем Арно . . . . .	174
а. Принципиальная схема и принцип действия преобразователя (175). б. Последовательный трансформатор для улучшения условий работы (176). с. Совпадение по фазе между $\dot{I}$ и $\dot{E}$ (178). д. $\dot{I}$ не в фазе с $\dot{E}$ (180). е. Расчет последовательного трансформатора (180). ф. Отношение $w_1/w_d$ при регулировании (181). г. Уничтожение искрения (182). х. Компаундирование (182).	
3. Вспомогательная коллекторная машина в качестве фазопреобразователя . . . . .	183
4. Питание обмотки возбуждения от той же сети, что и обмотки якоря, без вспомогательной машины . . . . .	184
а. Мостовая схема обмотки возбуждения (184). б. Конденсатор в цепи возбуждения (184). с. Автоматическое регулирование потока возбуждения с нагрузкой (188). д. Регулирование потока возбуждения при помощи реле (190).	
5. Замечания по автоматическому регулированию фазы . . . . .	190
6. Компенсированный репульсионный двигатель в шунтовой схеме . . . . .	191
а. Схема, токи, врачающий момент (191). б. Пример (193). с. Регулирование скорости вращения (195).	
<b>F. Явления самовозбуждения и генераторный режим . . . . .</b>	196
1. Обычная последовательная машина . . . . .	—
а. Двигательный режим (196). б. Генераторный режим (198).	
2. Самовозбужденные колебания . . . . .	199
а. Последовательная машина с индуктивной связью цепей якоря и возбуждения (199). б. Критерий по определителю Гурвица (201). с. Комплексный метод записи (203). д. Комплексная круговая частота (203).	
3. Двигательный и генераторный режимы при схеме по фиг. 141 . . . . .	205
4. Репульсионные машины . . . . .	206
5. Машины двойного питания . . . . .	208
а. Возбуждение током якоря (208). б. Возбуждение током статора (209).	
6. Машины с независимым и шунтовым возбуждением . . . . .	211
а. Независимое возбуждение (211). б. Шунтовое возбуждение (212). с. Конденсатор в цепи возбуждения (212).	
7. Влияние токов частоты сети . . . . .	214
а. Последовательная машина (214). б. Репульсионная машина со специальной обмоткой возбуждения (216). с. Репульсионная машина с регулированием посредством сдвига щеток (218).	
8. Самовозбуждение при неточной установке щеток . . . . .	219
а. Причина самовозбуждения (219). б. Выбор сопротивления в цепи якоря у машин с независимым и шунтовым возбуждением (221).	
9. Самовозбуждение внутри машины . . . . .	223
<b>G. Схемы электрического торможения . . . . .</b>	—
1. Виды электрического торможения . . . . .	—
2. Реостатное торможение . . . . .	225
а. Торможение коротким замыканием при постоянном токе (225). б. Торможение коротким замыканием при переменном токе (226).	
3. Торможение противовключением . . . . .	227
4. Рекуперативное торможение . . . . .	228
а. Числовой пример рекуперативного торможения с последовательным трансформатором (229). б. Схема Бен-Эшенбурга (232). с. Схема Мирова (234). д. Схемы с шунтовыми свойствами (236).	
<b>H. Экспериментальные исследования . . . . .</b>	237
1. Испытания по REB . . . . .	—
2. Регулировка поля добавочных полюсов . . . . .	238
а. Составляющая для компенсации $\mathcal{E}_W$ (238). б. Составляющая для компенсации $\mathcal{E}_R$ (239). с. Разделение искрения под щетками от $\mathcal{E}_R$ и $\mathcal{E}_W$ (241).	

3. Измерение остаточных напряжений . . . . .	242
а. Посредством осциллографирования тока короткого замыкания (242). б. Посредством измерения напряжения на вспомогательных щетках (242). с. Измерение износа щеток (243).	
4. Определение $I_A'$ у репульсионного двигателя . . . . .	243
<b>J. Проектирование . . . . .</b>	<b>244</b>
1. Тяговые двигатели $16^2/3$ гц . . . . .	—
а. Диаграммы мощностей (245). б. Основные размеры (246). с. Коллектор (247). д. Пазы якоря и расположение проводников (248). е. Якорь и изоляция (249). ф. Обмотка якоря и э. д. с. коммутации (250). г. Статор (254). и. Пазы статора и расположение проводников (257). i. Нагревание и вентиляция (259). к. Мощность на пару полюсов (260).	
2. Добавочные потери в меди . . . . .	260
а. Обмотки статора и якоря (260). б. Расчет добавочных потерь в меди (261). с. Примеры (263). д. Подразделенный проводник (265).	
3. Тяговый двигатель для 50 гц . . . . .	268
4. Репульсионные двигатели . . . . .	270
<b>K. Пример расчета тягового двигателя <math>16^2/3</math> гц . . . . .</b>	<b>272</b>
1. Основные размеры . . . . .	—
2. Обмотка якоря . . . . .	274
а. Пазы и обмотка (274). б. Э. д. с. коммутации (274).	
3. Обмотка статора и пазы статора . . . . .	276
4. Магнитная характеристика главной цепи . . . . .	—
а. Цепь якоря без тока (276). б. Влияние тока в цепи якоря (279). с. Сопоставление (279). д. Кривая поля (280).	
5. Цепь добавочных полюсов . . . . .	281
а. Кривая поля (281). б. Магнитная характеристика (284).	
6. Активные сопротивления . . . . .	285
а. Сопротивления постоянному току (285). б. Отношения сопротивлений (287). с. Активные сопротивления в цепи двигателя (288).	
7. Реактивные сопротивления . . . . .	288
а. Обмотки добавочных полюсов (288). б. Компенсационная обмотка (289). с. Обмотка возбуждения (290). д. Обмотка якоря (290). е. Общее реактивное сопротивление в цепи двигателя (290).	
8. Расчеты в предыдущих разделах . . . . .	291
9. Улучшения двигателя . . . . .	292
а. Добавочные полюсы (292). б. Главные полюсы (293).	

## II. МНОГОФАЗНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ МАШИНЫ

<b>A. Ротор с коллектором во вращающемся поле . . . . .</b>	<b>294</b>
1. Коллектор как преобразователь частоты . . . . .	—
2. Распределение токов в роторе . . . . .	295
а. Основные включения щеток (295). б. Трехщеточное включение при диаметральной обмотке (296). с. Трехщеточное включение при хордовой обмотке (298). д. Шестищеточное включение с диаметральными щетками (299). е. Шестищеточное включение с хордовыми щетками (301). ф. Двенадцатишеточное включение (с хордовыми щетками) (304). г. Компенсационная обмотка (305).	
3. Роторная обмотка Латура . . . . .	307
4. Эквивалентная обмотка . . . . .	310
а. Число витков и обмоточный коэффициент (310). б. Активное сопротивление (311). с. Реактивное сопротивление рассеяния (312).	
5. Полный ток и линейная нагрузка коллекторной обмотки . . . . .	312
6. Э. д. с., индуцируемая в коллекторной обмотке вращающимся полем . . . . .	313
а. Высшие гармонические вращающегося поля (313). б. Однофазное щеточное устройство с диаметральными щетками (314). с. Трехщеточное включение (315). д. Шести- и двенадцатишеточное включение (315).	

<b>7. Процессы в секциях ротора, перекрытых щетками . . . . .</b>	<b>315</b>
а. Э. д. с. $\mathcal{E}_{R_1}$ , индуцированная основной гармонической вращающегося поля (315). б. Э. д. с. коммутации (316). $\alpha$ . Трехшеточное включение (317). $\beta$ . Шестишеточное включение (319). $\gamma$ . Выводы и заключения (321). с. Результирующая э. д. с. (323).	
<b>8. Влияние высших гармонических . . . . .</b>	<b>327</b>
а. Вызванные распределением обмотки при отсутствии тока в роторе (327). б. Влияние тока ротора (330). с. Другие коллекторные машины (335). д. Высшие гармонические, вызванные явлением насыщения (336).	
<b>9. Устройства для улучшения уничтожения искрения . . . . .</b>	<b>337</b>
а. Выбор обмотки (337). б. Демпферные обмотки (339). с. Добавочные полюсы у машин с вращающимися полем (343).	
<b>10. Реактивные сопротивления рассеяния многофазных коллекторных машин . . . . .</b>	<b>346</b>
а. Лобовое и пазовое рассеяние при неподвижном роторе (346). а. Трехшеточное включение (347). $\beta$ . Шестишеточное включение с диаметральным положением (347). б. Рассеяние в зазоре при неподвижном роторе (348). с. Двоякосцепленное рассеяние при неподвижном роторе (349). д. Вращающийся ротор (352). е. Выводы (354).	
<b>11. Соотношения между <math>E_D</math> и <math>\mathcal{E}_{R_1}</math> . . . . .</b>	<b>355</b>
<b>12. Вращающий момент . . . . .</b>	<b>357</b>
а. Вызванный токами через щетки (357). б. Вызванный токами короткого замыкания (359). с. Вызванный током потерь $I_{v_2}$ (360).	
<b>В. Трехфазный последовательный двигатель . . . . .</b>	<b>361</b>
1. Схемы . . . . .	—
2. Полный ток и вращающий момент . . . . .	<b>364</b>
а. Коэффициент трансформации и диаграмма полных токов (364). б. Направление вращения и вращающий момент (366).	
3. Диаграмма напряжений . . . . .	<b>367</b>
а. Э. д. с. статора и ротора (367). б. Фазовый угол $\phi$ и коэффициент мощности (369).	
4. Упрощенный расчет характеристик при регулировании сдвигом всех щеток . . . . .	<b>371</b>
а. Вывод уравнений (371). б. Характеристики по уравнениям в разд. а (372). с. Устойчивость двигателя и коэффициент мощности (375).	
5. Учет факторов, которыми пренебрегалось . . . . .	<b>377</b>
а. Падения напряжения (377). б. Магнитная характеристика двигателя (378). с. Намагничивающий ток промежуточного трансформатора (379). д. Потери в железе и реакция токов короткого замыкания (381). е. Характеристики с учетом факторов, которыми пренебрегалось (382).	
6. Геометрические места токов . . . . .	<b>384</b>
7. Регулирование сдвигом только одного щеточного устройства при двойных щетках . . . . .	<b>385</b>
а. Полностью устойчивый двигатель (385). б. Учет магнитной характеристики и падений напряжения (386). с. Сравнение с опытом (388). д. Влияние промежуточного трансформатора (390).	
8. Уничтожение искрения . . . . .	<b>390</b>
а. В пренебрежении высшими гармоническими (390). б. Влияние высших гармонических (392).	
<b>С. Шунтовая машина со статорным питанием без особой обмотки возбуждения . . . . .</b>	<b>395</b>
1. Регулирование с помощью трансформатора . . . . .	—
а. Схема (395). б. Диаграмма напряжений (397). с. Уравнения напряжений (400).	
2. Геометрические места токов . . . . .	<b>401</b>
а. Ток ротора (401). б. Ток статора (404). с. Вращающий момент и перегрузочная способность (405). д. Общий ток сети (406).	
3. Характеристики . . . . .	<b>407</b>
а. Упрощенный расчет (407). б. Уточненный расчет (408). с. Выбор и влияние фазы $\dot{U}'_{s0}$ (412). д. Влияние испомогательной обмотки статора, включенной в роторную цепь (416).	

4. Регулирование при помощи ступенчатого трансформатора . . . . .	417
а. Включение ступенчатого трансформатора (417). б. Сопоставление расчета с опытом (420). с. Ход расчета для заданной скорости вращения (422).	
5. Регулирование с помощью поворотного трансформатора . . . . .	423
а. Схемы (423). б. Данные для сравнения в разд. с (427). с. Сравнение расчета с опытом (429).	
6. Регулирование без трансформатора . . . . .	433
а. Схема (433). б. Характеристики (434). с. Регулировка $w$ и $b$ (437).	
7. Автоматическая регулировка наиболее благоприятной фазы тока ротора . . . . .	438
а. Компенсация реактивного сопротивления рассеяния (438). б. Поворот фазы (439).	
<b>D. Шунтовая машина с роторным питанием . . . . .</b>	<b>439</b>
1. Схема . . . . .	—
2. Устройство для установки щеток . . . . .	442
а. Устройство для установки составляющих для регулирования скорости вращения и реактивного тока (442). б. Щетки при наименьшей и наибольшей скоростях вращения в диаметральном положении (443). с. Щетки при наименьшей и наибольшей скоростях вращения в хордовом положении (445).	
3. Уравнения напряжений . . . . .	446
4. Геометрические места токов . . . . .	447
5. Характеристики . . . . .	450
а. Упрощенный расчет (450). б. Уточненный расчет (452).	
6. Сравнение с опытом . . . . .	452
а. Двигатель для расчетного примера (452). б. Коэффициенты трансформации и сопротивления (452). с. Сравнение рассчитанных реактивных сопротивлений с измеренными (454). д. Сравнение расчетных и опытных характеристик (455).	
<b>E. Шунтовая машина с особой обмоткой возбуждения . . . . .</b>	<b>457</b>
1. Регулирование в цепи якоря . . . . .	—
а. Схема и основные свойства (457). б. Уравнения напряжений и расчет характеристик (458). с. Положение регулировочного трансформатора (461).	
2. Регулирование в цепи возбуждения . . . . .	464
3. Автоматическое регулирование наилучшей фазы тока ротора . . . . .	465
<b>F. Компенсированные асинхронные машины . . . . .</b>	<b>466</b>
1. Машины со статорным питанием . . . . .	467
2. Машины с роторным питанием . . . . .	468
<b>G. Самовозбуждение у многофазных машин . . . . .</b>	<b>—</b>
1. Основной процесс . . . . .	—
2. Установившийся режим . . . . .	471
а. Последовательная машина (471). б. Шунтовая машина (474).	
3. Самовозбуждение полями устроенного числа полюсов . . . . .	476
4. Рекуперация . . . . .	477
5. Самостоятельный генератор переменной частоты . . . . .	479
<b>H. Экспериментальное исследование . . . . .</b>	<b>480</b>
1. Определение фазовых углов между временными векторами . . . . .	—
2. Определение фаз, осей обмоток и коэффициентов трансформации . . . . .	481
а. Измерением мощности (481). б. Простыми измерениями напряжений (482). с. С помощью поворотного трансформатора (483). д. С помощью вибрационного контактного выпрямителя (483). е. Коэффициент трансформации (484).	
3. Определение $X_{L\alpha 0}$ . . . . .	484
4. Добавочные врачающие моменты $M_k$ и $M_{v2}$ . . . . .	487
а. Из полезного момента и измерения мощности (488). б. Из двух измерений мощности (490). с. При разомкнутой цепи ротора (493).	

<b>J. Проектирование . . . . .</b>	<b>494</b>
1. Основные размеры . . . . .	—
а. Средний удельный момент (494). б. Линейная нагрузка и мощность на пару полюсов (497). с. Длина скользящей поверхности коллектора (497).	
2. Шунтовые машины с роторным питанием . . . . .	498
а. Основные размеры, $B_1$ (498). б. Мощность на пару полюсов (500). с. Пазы (500). д. Первичная обмотка (501). е. Регулировочная обмотка и коллектор (502). ф. Вторичная обмотка (503).	
3. Шунтовые машины со статорным питанием . . . . .	504
а. Основные размеры, $B_1$ (504). б. Мощность на пару полюсов (506). с. Обмотка и коллектор (506). д. Пример для особого случая (508).	
4. Последовательные машины . . . . .	509
а. Основные размеры, $B_1$ (509). б. Остальное проектирование (511).	
5. Пусковые устройства . . . . .	512

### III. РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ АГРЕГАТЫ

<b>A. Вспомогательные машины . . . . .</b>	<b>515</b>
1. Фазокомпенсаторы . . . . .	—
а. Фазокомпенсатор с собственным возбуждением (515). б. Фазокомпенсатор с самовозбуждением (517).	
2. Последовательная машина Гейланда . . . . .	518
3. Преобразователь частоты (FW) . . . . .	—
а. Преобразователь частоты (с независимым возбуждением) без статорной обмотки (518). б. FW как самостоятельная машина (520). с. Компенсированный FW (521).	
4. Машина без явления вращения поля . . . . .	523
а. Машина с бр выступами (523). б. Машина Лидала и Шербиуса (525).	
<b>B. Геометрические места токов ИМ . . . . .</b>	<b>530</b>
1. Эквивалентная схема . . . . .	—
2. Геометрическое место тока — $\vec{I}_2'$ . . . . .	531
а. Скорость вращения ИМ не зависит от скольжения ИМ (531). б. $\vec{U}_2'$ зависит от скорости вращения ИМ (532).	
<b>C. ИМ с НМ; дающими реактивный ток . . . . .</b>	<b>533</b>
1. НМ, зависящие от тока ротора ИМ . . . . .	—
а. Фазокомпенсатор с собственным возбуждением в качестве НМ (533). б. Последовательная НМ (538). с. Фазокомпенсатор с самовозбуждением (543). д. Вибратор Каппа (543).	
2. Н. М, не зависящие от тока ротора . . . . .	543
а. Преобразователь частоты (FW) в качестве НМ (543). б. НМ, возбуждаемая от преобразователя частоты (546). с. Шунтовая НМ (547).	
3. Схемы для получения добавочного скольжения (компаундингование) . . . . .	551
а. Последовательная машина в качестве НМ (551). б. Преобразователь частоты в качестве НМ с компаундинирующим трансформатором (555). с. Шунтовая машина в качестве НМ с добавочной последовательной обмоткой (558). д. НМ со смешанным шунтовым возбуждением (559).	
<b>D. Регулирование скорости вращения . . . . .</b>	<b>560</b>
1. Привод НМ . . . . .	561
2. Геометрические места — $\vec{I}_2'$ . . . . .	563
3. Преобразователь частоты в качестве НМ . . . . .	566
а. Приложенное напряжение $\vec{U}_2'$ (566). б. Соединение преобразователя частоты с ИМ (567). с. Плавное регулирование скорости вращения (569).	

4. Регулирование с помощью НМ со статорным питанием при одностороннем регулировании скорости вращения . . . . .	570
а. Схема (571). б. Холостой ход (571). в. Влияние активного сопротивления в цепи возбуждения (578). д. Нагрузка (580). е. Регулировочный агрегат с компаундными свойствами IM (583).	
5. Регулировочные агрегаты с НМ со статорным питанием для двухстороннего регулирования скорости вращения . . . . .	584
а. С возбуждающим трансформатором (584). б. Без возбуждающего трансформатора (587). в. С особым возбуждающей машиной для НМ (591).	
6. НМ с питанием со статора с большим дросселем в первичной цепи FW . . . . .	591
<b>E. Регулирование мощности . . . . .</b>	<b>592</b>
1. Понятие и применение . . . . .	—
а. Понятие (592). б. Связь двух сетей переменного тока (593). в. Другие применения (594).	
2. Регулирование с помощью НМ без автоматического механического регулятора . . . . .	594
а. Принцип Зейца (595). б. Осуществление принципа (596). Схема Зейца (596). д. Ограничение наибольшей скорости вращения (600).	
3. Регулирование с помощью автоматических регуляторов вне машин . . . . .	602
а. Преобразовательное устройство Мюлеберг (603). в. Другие, более новые схемы (604).	
4. Связь сетей с помощью асинхронных машин, которые ведут себя как синхронные машины . . . . .	605
а. Асинхронная машина двойного питания (605). в. Асинхронный преобразователь (606). с. Схема А. Леонарда (607).	
<b>F. Регулировочные агрегаты с IM и НМ постоянного тока . . . . .</b>	<b>608</b>
1. Схема Кремера . . . . .	—
а. Схема и применение (608). б. Уравнения напряжений (609). в. Холостой ход (610). д. Нагрузка (612). е. Компаундирование 614. ф. Преобразователь (614).	
2. Каскадный преобразователь . . . . .	616
а. Схема (616). б. Скорость вращения и распределение мощности (617). в. Коэффициенты трансформации, потери в магнетике и падения напряжений (617). д. Реакция якоря НМ (618). е. Пуск и регулирование (619). ф. Применение (619).	
<b>Указатель литературы . . . . .</b>	<b>620</b>
<b>Сокращения . . . . .</b>	<b>627</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>628</b>

---