

Маркович Григорий Петрович

Переменный однофазный ток

**Динамо-машина переменного
однофазного тока**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
Г83

Г83 **Григорий Петрович М.**
Переменный однофазный ток: Динамо-машина переменного однофазного тока / Маркович
Григорий Петрович – М.: Книга по Требованию, 2023. – 280 с.

ISBN 978-5-519-95497-6

А) Как генератор; б) как синхронный двигатель. Синхронизированная передача электрической силы на расстояние

ISBN 978-5-519-95497-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

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, клякс, 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 первоизданном 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.

построенія векторныхъ діаграммъ.—**Кажущіяся сопроти-
вленія въ послѣдовательномъ соединеніи.**—Цѣпь содер-
жащая омовое сопротивление и сопротивление съ самоин-
дукціей въ послѣдовательномъ соединеніи. Примѣръ.—Цѣпь
содержащая два сопротивления съ самоиндукціей, соединенія
послѣдовательно. Примѣръ.—Цѣпь содержащая нѣсколько
сопротивленій съ самоиндукціей, соединенныхъ послѣдова-
тельно. Примѣръ.—**Кажущіяся сопротивления въ парал-
лельномъ соединеніи.**—Два кажущіяся сопротивления въ
параллельномъ соединеніи. Примѣръ.—Омовое и кажущееся
сопротивленіе въ параллельномъ соединеніи. Примѣръ.—
Цѣпь содержащая сопротивление съ самоиндукціей, введен-
ное послѣдовательно, а омовое сопротивление съ самоиндук-
ціей въ отвѣтвленіи. Примѣръ.—**Емкость въ цѣпи.**—Емкость
въ послѣдовательномъ соединеніи. Примѣръ.—Цѣпь съ омо-
вымъ сопротивленіемъ и емкостью въ послѣдовательномъ
соединеніи. Примѣръ.—Цѣпь содержащая въ послѣдователь-
номъ соединеніи сопротивление съ самоиндукціей и емкость.
Примѣръ.—Цѣпь содержащая емкость въ отвѣтвленіи. При-
мѣръ.—Кажущіяся сопротивления съ емкостью въ парал-
лельномъ соединеніи. Примѣръ.—Два кажущіяся сопроти-
вленія въ послѣдовательномъ соединеніи и къ одному изъ
нихъ присоединено въ отвѣтвленіи конденсаторъ. Примѣръ.

65--129

III. Характеристики альтернатора.

Характеристика короткаго замыканія.—Характеристика
при разомкнутой цѣпи.—Характеристика при замкнутой цѣ-
пи. 1) Внѣшняя характеристика. 2) Внутренняя характери-
стика. 3) Полная характеристика. 4) Характеристика реакціи
якоря.—Практическое опредѣленіе реакціи якоря.—Примѣръ.
Полярная діаграмма изображающая (характеризирующая)
дѣйствіе альтернатора при разныхъ условіяхъ 129--142

IV. Соединеніе альтернаторовъ между собою.

Теорія. — Обратимость динамо-машины переменнаго
тока.—Параллельное присоединеніе одного альтернатора къ
другому. — Синхронизирующий токъ. — Фазоиндикаторъ. —
Синхронизаторъ.—Фазометръ.—Остановка альтернатора,—
Работа параллельно соединенныхъ альтернаторовъ.—Дѣй-
ствіе альтернатора на сѣть.—Альтернаторъ какъ электро-
двигатель.—Вліяніе угла α на параллельное дѣйствіе аль-
тернаторовъ.—Сравненіе разныхъ режимовъ при постоянной
мощности, доставляемой сѣти альтернаторомъ, подъ постоян-
нымъ напряженіемъ, когда возбужденіе индукторовъ измѣ-
няется.—Вліяніе самоиндукціи якоря на ходъ альтернато-

ровъ въ параллельномъ соединеніи. — Взаимодѣйствіе альтернаторовъ въ параллельномъ {соединеніи. — Вліяніе паровыхъ машинъ на ходъ альтернаторовъ въ параллельномъ соединеніи. — Колебаніе параллельно—соединенныхъ динамо-машинъ переменнаго тока 142—194

V. Динамо-машина переменнаго тока какъ синхронный двигатель.

Элементарное изложеніе. — Число оборотовъ. — Моментъ альтернодвигателя. — Радиальныя составляющія силы магнитнаго поля. — Графическое изображеніе радиальныхъ силъ магнитнаго поля по г. Ресслеру. — Усиліе альтернодвигателя. — Элементарное изложеніе, основанное на двухъ системахъ магнитовъ. — Графическое изложеніе вращающаго момента. — Аналитическая теорія. — Векторная діаграмма Капша. — Израсходованная и получаемая работоспособности. — Балансъ работоспособности. — Электрическая отдача. — Промышленная отдача. — Дѣйствіе одного альтернатора на другого. Генераторъ и двигатель. — Дѣйствіе альтернодвигателя при постоянномъ возбужденіи съ измѣняющейся нагрузкою. — Максимальная движущая мощность. — Дѣйствіе синхроннаго двигателя при постоянномъ напряженіи у зажимовъ съ измѣняющимся возбужденіемъ. — Основное уравненіе. — Дѣйствіе синхроннаго двигателя съ постоянной нагрузкою при разныхъ возбужденіяхъ. — Синхронный двигатель перевозужденъ и недовозужденъ. — Преимущество синхроннаго двигателя передъ асинхроннымъ двигателемъ. — Кривая равныхъ мощностей. — Устойчивость хода. — Практическіе результаты. — Упрощеніе векторныхъ діаграммъ, — Діаграмма мощностей. — Линіи равныхъ мощностей. — Характеристики синхроннаго двигателя. — Пусканіе въ ходъ альтернодвигателя. — Выключеніе альтернодвигателя изъ цѣпи и его останова. — Достоинства и недостатки синхронныхъ двигателей. — **Асинхронные двигатели** 194—250

VI. Синхронная передача электрической силы на разстояніе.

Введеніе. — Сопротивленіе воздушной линіи не принимается въ расчетъ. — Сопротивленіе воздушной линіи равняется r . — Примѣръ. а) Реакціи якорей не принимаются въ расчетъ. Балансъ мощностей. Устойчивость хода синхроннаго двигателя. Емкость воздушной линіи. — б) Реакціи якорей принимаются въ расчетъ. — Токъ короткаго замыканія. 250—272
 Прибавленіе 273
 Опечатки 274—278

В в е д е н і е.

Общность динамо-машинъ переменнаго тока. — Динамо-машины переменнаго тока содержатъ, какъ и машины постояннаго тока, двѣ существенныя части, а именно:

1) Систему индукторовъ, назначаемыхъ для произведенія магнитныхъ полей, въ которыхъ происходятъ явленія индукціи. Магнитныя индукторныя поля образуются или постоянными магнитами или электромагнитами. Токъ же, проходящій черезъ обмотку электромагнитовъ, въ большинствѣ случаевъ доставляется особой маленькой машинкой постояннаго тока, которая носитъ названіе „возбудителя“. Но возбужденіе электромагнитовъ можно производить и токомъ, доставляемымъ самою-же машиной, выпрямляя посредствомъ коммутатора—выпрямителя переменный токъ въ постоянный. Такого рода альтернаторы называются самовозбуждающимися.

2) Якорь или арматуру, т. е. систему катушекъ, въ которыхъ проявляется электродвижущая сила индукціи. Катушки, симметрически расположенныя на окружности якоря въ количествѣ, соответствующемъ числу индукторныхъ полюсовъ, постоянно перемагничиваютъ свои положенія относительно индукторныхъ магнитныхъ полей и служатъ источникомъ индукціонныхъ электродвижущихъ силъ; соединяются же онѣ обыкновенно такъ, чтобы во всякій моментъ полная электродвижущая сила динамо-машины была равна суммѣ электродвижущихъ силъ всѣхъ катушекъ. Концы катушекъ якоря прикрѣпляются къ двумъ металлическимъ изолированнымъ кольцамъ, надѣтымъ на валъ, съ нажимающими на нихъ двумя щетками. Иногда, для усиленія индукціи, въ катушки вставляются сердечники изъ мягкаго желѣза. Но такъ какъ эти послѣдніе нагреваются вслѣдствіе большого числа переменъ тока, то, во избѣжаніе нагреванія якоря, въ нѣкоторыхъ случаяхъ обходятся и безъ нихъ, хотя этимъ и уменьшается индукція.

Преимущество динамо-машинъ переменнаго тока надъ машинами постояннаго тока.—Динамо-машины переменнаго тока, такъ называемые *альтернаторы*, отличаются упрощеніемъ обмотки якоря. Соотвѣстныя катушки якоря всѣ послѣдовательно или всѣ параллельно, или же одну часть изъ нихъ послѣдовательно, а другую параллельно, можемъ получить: слабыя токи высокаго напряженія или большіе токи низкаго напряженія. Можно также образовать нѣсколько отдѣльныхъ цѣпей, состоящихъ изъ одной или нѣсколькихъ, соотвѣтственнымъ образомъ соединенныхъ катушекъ, причемъ каждая цѣпь должна соединяться съ двумя кольцами.

Альтернаторы не имѣютъ тѣхъ неудобствъ, которыя тѣсно связаны съ коммутаторами машинъ постояннаго тока, а именно: не получаютъ искры на щеткахъ, нѣтъ короткаго замыканія въ якорѣ и не требуется перемѣщеніе щетокъ, что необходимо при машинахъ постояннаго тока для разныхъ нагрузокъ. Содержаніе альтернаторовъ весьма простое, не требующее особенныхъ расходовъ.

Далѣе, преимущество альтернаторовъ состоитъ еще и въ томъ, что можно совершенно изолировать катушки якоря для высокаго напряженія. А таковое какъ, напримеръ, въ 50000 вольтъ, имѣетъ значеніе при электрической тягѣ желѣзныхъ дорогъ, ибо оно способствуетъ уменьшенію числа подстанцій (*Sous-station*).

Динамо-машина переменнаго тока, въ отношеніи собиранія тока, является самой простой. Арматура можетъ быть неподвижная, а индукторы подвижные; можно получать большую мощность при высокомъ напряженіи отъ неподвижныхъ зажимовъ, между тѣмъ какъ въ машинахъ постояннаго тока весь этотъ токъ долженъ пройти черезъ коммутаторъ, конструкція котораго была бы очень сложная и, пожалуй, невозможная при напряженіи въ 50000 вольтъ.

Общность динамо-машинъ переменнаго тока.

Динамо-машины переменнаго тока содержатъ, какъ и машины постояннаго тока, двѣ существенныя части, а именно:

1) Систему индукторовъ, назначаемыхъ для произведенія магнитныхъ полей, въ которыхъ происходятъ явленія индукціи. Магнитныя индукторныя поля образуются или постоянными магнитами или электромагнитами. Токъ же, проходящій черезъ обмотку электромагнитовъ, въ большинствѣ случаевъ доставляется особой небольшою машинкой постояннаго тока, которая носитъ названіе „возбудителя“. Но возбужденіе электромагнитовъ можно производить и токомъ, доставляемымъ самою-же машиною, выпрямляя посредствомъ коммутатора—выпрямителя переменный токъ въ постоянный. Такого рода альтернаторы называются самовозбуждающимися.

2) Якорь или арматуру, т. е. систему катушекъ, въ которыхъ проявляется электродвижущая сила индукціи. Катушки, симметрически расположенныя на окружности якоря въ количествѣ соответствующемъ числу индукторныхъ полюсовъ, постоянно переменяютъ свои положенія относительно индукторныхъ магнитныхъ полей и служатъ источникомъ индукціонныхъ электродвижущихъ силъ; соединяются же онѣ такъ, чтобы во всякій моментъ полная электродвижущая сила динамо-машины была равна суммѣ электродвижущихъ силъ всѣхъ катушекъ. Концы катушекъ якоря прикрѣпляются къ двумъ металлическимъ изолированнымъ кольцамъ, надѣтымъ на валъ, съ нажимающими на нихъ двумя щетками. Иногда, для усиленія индукціи, въ катушки вставляются сердечники изъ мягкаго желѣза. Но такъ какъ эти послѣдніе нагреваются

вслѣдствіе большого числа переменъ тока, то, во избѣжаніе нагрѣванія якоря, въ нѣкоторыхъ случаяхъ обходятся и безъ нихъ, хотя этимъ и уменьшается индукція.

Преимущество динамо-машинъ переменнаго тока надъ машинами постоянного тока. — Динамо-машины переменнаго тока, такъ называемые альтернаторы, отличаются упрощеніемъ обмотки якоря. Соединяя катушки якоря всѣ послѣдовательно или всѣ параллельно, или же одну часть изъ нихъ послѣдовательно, а другую параллельно, можемъ получить большіе токи слабаго напряженія и слабые токи большого напряженія. Можно также образовать нѣсколько отдѣльныхъ цѣпей, состоящихъ изъ одной или нѣсколькихъ, соотвѣтственнымъ образомъ соединенныхъ катушекъ, причемъ каждая цѣпь должна соединяться съ двумя кольцами.

Альтернаторы не имѣютъ тѣхъ неудобствъ, которыя тѣсно связаны съ коммутаторами машинъ постоянного тока, а именно: не получаютъ искры на щеткахъ, нѣтъ короткаго замыканія въ якорѣ и не требуется перемѣщеніе щетокъ, что необходимо при машинахъ постоянного тока для разныхъ нагрузокъ. Содержаніе альтернаторовъ весьма простое, не требующее особенныхъ расходовъ.

Далѣе, преимущество альтернаторовъ состоитъ еще и въ томъ, что можно совершенно изолировать катушки якоря для высокаго напряженія. А таковое какъ, напри-мѣръ, въ 50000 вольтъ, имѣетъ значеніе при электрической тягѣ желѣзныхъ дорогъ, ибо оно способствуетъ уменьшенію подстанцій (Sous-station).

Динамо-машина переменнаго тока, въ отношеніи собиранія тока, является самой простой. Арматура можетъ быть неподвижная, а индукторы подвижные; можно получать большую мощность при высокомъ напряженіи отъ неподвижныхъ зажимовъ, между тѣмъ какъ въ машинахъ постоянного тока весь этотъ токъ долженъ пройти черезъ коммутаторъ, конструкція котораго была бы очень сложная и, пожалуй, невозможная при напряженіи въ 50000 вольтъ.

1. Диналомашина переменного тока как генераторъ.

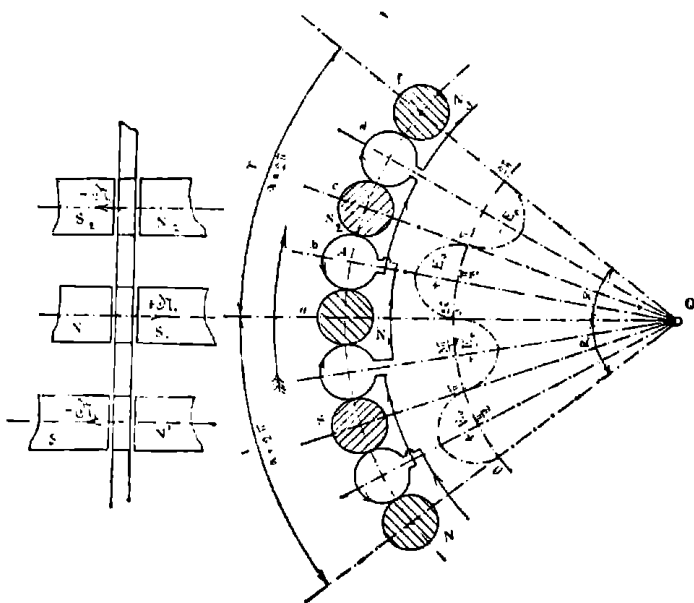
Теорія альтернатора. Для подробнаго изученія явленій индукціи въ машинахъ переменнаго тока рассмотримъ альтернаторъ системы Вильде-Сименса. Фигура 1 изображаетъ нѣсколько отдѣльныхъ частей armатуры и индуктора этого альтернатора. Неподвижный индукторъ состоитъ изъ двухъ рядовъ катушекъ, четнаго числа, содержащихъ сердечники изъ желѣза или чугуна. Ряды расположены въ два круга и обращены другъ къ другу такимъ образомъ, что разноименные полюсы находятся одинъ противъ другого. Между этими двумя обращенными другъ къ другу электромагнитами вращается armатура, образованная третьимъ кругомъ, состоящимъ изъ катушекъ безъ сердечниковъ и соединенныхъ послѣдовательно. Число катушекъ равно числу индуктирующихъ полюсовъ. Концы проволокъ якоря, какъ сказано выше, сходятся къ двумъ металлическимъ изолированнымъ кольцамъ.

Между противоположащими, очень сближенными полюсами, въ такъ называемомъ меж-желѣзномъ пространствѣ, развиваются магнитныя поля, направленія которыхъ мѣняются въ каждой парѣ полюсовъ. Максимальное напряженіе магнитнаго поля находится въ оси электромагнитовъ ao , а минимальное въ плоскости bo , которая раздѣляетъ пару смежныхъ полюсовъ.

Предположимъ, что катушки не содержатъ сердечниковъ изъ мягкаго желѣза. Если якорь вращается съ постоянной скоростью черезъ однородныя магнитныя поля, то въ катушкахъ проявляются электродвижущія силы индукціи, періодически мѣняющія свою величину и свое направленіе.

Рассмотримъ одну катушку A , состоящую изъ одной спирали, въ моментъ, когда ея ось находится съ осью сѣвернаго магнитнаго полюса N_1 на одной прямой. Назовемъ линіи силъ, исходящихъ изъ сѣвернаго магнитнаго полюса $\mathfrak{L}_1$ и входящихъ въ противоположный южный полюсъ S_1 , положительными, линіи же силъ противоположнаго направленія—отрицательными. Пусть $+\mathfrak{L}_1$ будетъ потокъ

силъ, протекающей спиралью въ данномъ положеніи. Спираль, продолжая свое вращеніе по направленію указанной стрѣлки, приходитъ въ положеніе ob , т. е. въ плоскость, которая раздѣляетъ пару смежныхъ полюсовъ. Потокъ силъ, протекающей спиралью въ этомъ положеніи равняется нулю, потому что лѣвая сторона спирали получаетъ столько же положительныхъ силовыхъ линій, сколько правая сторона отрицательныхъ. Слѣдя за дальнѣйшимъ вращеніемъ спирали, переходящей изъ положенія ob въ положеніе oc , легко замѣтитъ, что правая сторона спирали получаетъ



Фиг. 1.

все большее и большее число отрицательныхъ силовыхъ линій, вмѣстѣ съ уменьшеніемъ числа положительныхъ силовыхъ линій, проходящихъ черезъ лѣвую сторону спирали, и въ положеніи oc спиралью протекаетъ отрицательный максимумъ силовыхъ линій, равный $-\mathfrak{Z}_1$. Измѣненіе потока силъ за время движенія спирали отъ a до c равняется:

$$+\mathfrak{Z}_1 - (-\mathfrak{Z}_1) = +2\mathfrak{Z}_1$$

и на всемъ протяженіи проявляющаяся электродвижущая сила индукціи пробѣгаетъ спиралью по направленію дви-

женія часовой стрѣлки, если смотрѣть на спираль по направленію положительныхъ силовыхъ линій.

Измѣненіе потока силъ за время прохожденія спирали отъ e до f равняется:

$$- \mathfrak{E}_1 - (+ \mathfrak{E}_1) = - 2 \mathfrak{E}_1$$

слѣдовательно, электродвижущая сила индукціи будетъ обратнаго знака съ преемней, т. е. она пробѣгаетъ спиралью по направленію обратному движенію часовой стрѣлки, если смотрѣть на спираль, какъ и прежде, т. е. по направленію положительныхъ силовыхъ линій.

Если якорь имѣетъ столько-же катушекъ, сколько и индукторныхъ полюсовъ, то вышесказанныя явленія индукціи происходятъ во всѣхъ катушкахъ. Изъ этого слѣдуетъ, что электродвижущія силы въ смежныхъ катушкахъ имѣютъ разныя направленія. Для того, чтобы въ каждый моментъ въ каждой катушкѣ электродвижущія силы складывались, обмотка якоря должна быть такъ произведена, какъ это указано на фигурѣ 1.

По общему закону индукціи электродвижущая сила индукціи равна, взятой съ обратнымъ знакомъ, суммѣ измѣненій потока въ единицу времени.

$$e = - \frac{d\mathfrak{E}}{dt}$$

Она достигаетъ максимума при наиболѣе быстрыхъ измѣненіяхъ потока, что бываетъ, когда ось спирали совпадаетъ съ положеніями $bo, do, \dots$, а равняется нулю, когда ось спирали находится въ положеніяхъ $ao, eo, fo, \dots$. Во время движенія отъ a до f электродвижущая сила индукціи, вначалѣ возрастаая, достигаетъ своего максимума, далѣе уменьшается, доходя до нуля, мѣняетъ свой знакъ, а затѣмъ растетъ въ отрицательномъ смыслѣ, и достигая своего отрицательнаго максимума, опять уменьшается до нуля, проходя, такимъ образомъ, черезъ свою первоначальную величину. Слѣдовательно, электродвигательная сила возвращается къ тому же знаку черезъ два полюса.

Время, которое проходит между двумя послѣдовательными переходами одного и того же состоянія, въ которомъ электродвижущая сила имѣетъ свою первоначальную величину, называется *продолжительностью одного періода*, „Т“. Этотъ періодъ включаетъ вращенія спирали отъ положенія *ao* до положенія *fo*.

Обозначимъ черезъ:

p — число катушекъ якоря,

p — число индукторныхъ полей,

$2p$ — число индукторныхъ полюсовъ, то

$\frac{p}{2}$ — будетъ число періодовъ на одинъ оборотъ якоря,

а если N — число оборотовъ armатуры въ секунду, то

$\omega = \frac{p}{2} N$ — будетъ число періодовъ въ секунду (*fréquence*),

а $Z = 2 \omega = pN$ — число совершенныхъ перемѣнъ, равное двойному числу періодовъ,

$\mathfrak{C}_1$ — потокъ силъ одного полюса,

T — время одного періода,

то имѣемъ слѣдующія уравненія:

$$\omega = \frac{p}{2} N \dots 1.) \quad z = 2 \omega = p \cdot N \dots 2.)$$

$$\frac{p}{2} N T = 1 \dots 3.) \quad \omega = \frac{p}{2} N = \frac{1}{T} \dots 4.)$$

$$\frac{p}{2} N = \frac{1}{T} \dots 5.)$$

Предположимъ, что якорь вращается равномерно со скоростью N оборотовъ въ секунду и изслѣдуемъ электродвижущую силу индукціи.

А) при разомкнутой цѣли—

т. е. при холостой нагрузкѣ, когда альтернаторъ не развиваетъ никакого тока. Предположимъ, что катушка содержитъ только одну спираль, и что ея поверхность охватываетъ весь потокъ силъ $\mathfrak{C}_1$, исходящій изъ одного полюса когда она находится въ положеніи *ao* или *eo*, *fo*...