

1. Однофазные цепи переменного тока
 - 1.1. Основные понятия и определения
 - 1.2. Действующие и средние значения переменного тока
 - 1.3. Изображение синусоидальных величин в прямоугольных координатах
 - 1.4. Векторные изображения синусоидальных величин
 - 1.5. Комплексный метод
 - 1.6. Законы Кирхгофа
 - 1.7. Цепь с активным элементом R
 - 1.8. Цепь с индуктивным элементом L
 - 1.9. Цепь с емкостным элементом C
 - 1.10. Последовательное соединение R, L, C
 - 1.11. Параллельное соединение R, L, C
 - 1.12. Мощность однофазной цепи
 - 1.13. Резонанс
 - 1.13.1. Резонанс напряжений
 - 1.13.2. Резонанс токов
 - 1.14. Повышение коэффициента мощности
2. Трехфазные цепи
 - 2.1. Основные понятия и определения
 - 2.2. Получение трехфазной системы ЭДС
 - 2.3. Соединение звездой
 - 2.4. Соединение треугольником
 - 2.5. Напряжение между нейтральными точками генератора и приемника
 - 2.6. Мощность трехфазной цепи
 - 2.7. Методы измерения мощности
 - 2.7.1. Метод трех ваттметров
 - 2.7.2. Метод одного ваттметра
 - 2.7.3. Метод двух ваттметров
3. Машины постоянного тока
 - 3.1. Устройство и принцип действия генератора постоянного тока
 - 3.2. Принцип действия двигателя постоянного тока
 - 3.3. Пуск двигателя постоянного тока
 - 3.4. Частота вращения и ее регулирование
 - 3.5. Двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения
4. Трансформатор
 - 4.1. Устройство и принцип действия трансформатора
 - 4.2. Холостой ход трансформатора

- 4.3. Работа трансформатора при нагрузке
- 4.4. Уравнение МДС и токов трансформатора
- 4.5. Приведенная обмотка
- 4.6. Схема замещения трансформатора
- 4.7. Векторная диаграмма трансформатора
- 4.8. Короткое замыкание трансформатора
- 4.9. Внешняя характеристика трансформатора
- 4.10. КПД и потери трансформатора
- 5. Асинхронный двигатель
 - 5.1. Устройство асинхронного двигателя
 - 5.2. Принцип действия асинхронного двигателя
 - 5.3. Пуск асинхронного двигателя
 - 5.4. Рабочие характеристики и их улучшение

1. Однофазные цепи переменного тока

1.1. Основные понятия и определения

1. Сторонние цепи переменного тока

1.1. Замкнутая цепь - совокупность элементов и участков, соединенных между собой и образующих путь тока.

Сторонние элементы цепи являются: источник электроэнергии, приемные электроприемники, передаточные устройства, проводящие и изолирующие цепи.

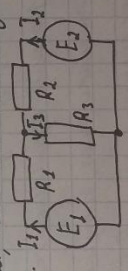
Замкнутая цепь - цепь, в которой отсутствуют разрывы, позволяющие свободно циркулировать току, отходящему от цепи.

Ветвь - часть электрической цепи, в которой замкнутая цепь и тот же ток.

Узел - место соединения 3-ех и более проводов, на котором производится токовая.

Замкнутый контур - замкнутый путь, содержащий несколько ветвей; ток можно считать замкнутым по любому.

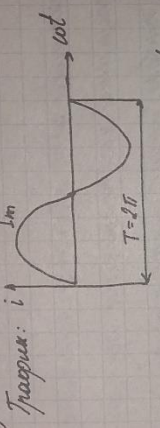
Пример:



1.2. Действующие и средние значения переменного тока

Переменный ток - ток, меняющийся во времени и повторяющий свою форму через равные промежутки времени. В термине принято использовать форму тока.

График:



$i = I_m \sin \omega t$, I_m - амплитуда, ωt - фазовый угол

T - период - время одного полного изменения

$[T] = [с]$

$f = \frac{1}{T}$ - частота; $f = 50$ Гц - промышленная частота

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ - угловая частота.

$i = I_m \sin \omega t$ } мгновенное значение тока, конкретный

$U = U_m \sin \omega t$ } ЭДС - значение в любой момент времени

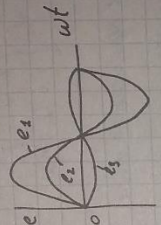
$e = E_m \sin \omega t$

1.2. Действующее и среднее значения переменного тока

Действующее значение переменного тока - эквивалентное значение постоянного тока, который за время периода T , в резисторе сопротивлением R выделяет такое же количество энергии, сколько выделяет переменный ток.

1.3. Изображение синусоидальных величин в прямоугольных координатах

Фазы.
 $i = I_m \sin(\omega t \pm \psi_i)$
 $U = U_m \sin(\omega t \pm \psi_u)$
 $e = E_m \sin(\omega t \pm \psi_e)$



Две величины совпадают по фазе, если сдвигаются
 принимают эквивалентные значения и амплитудные значения
 одного знака (e_1, e_2). Эти величины имеют одинаково
 направление фазы.

Две величины находятся в противофазе, если сдвиги-
 но принимают эквивалентные значения и имеют разно-
 шествующее направление фазы (e_1, e_2 и e_2, e_1).

Если координаты фазы разные, то величины сдвинуто
 по фазе и отличаются на ψ которой координата фазы
 больше.

Наименьшая фаза считается положительной, если при
 переходе из отрицательных значений в положительные
 значения синусоид переключают ось абсцисс слева
 направо

то мощность Q , это и постоянный ток.
 $Q = \int_0^T e i dt$
 $Q_m = R \int_0^T i^2 dt \Rightarrow i = I_m \sin \omega t$
 $Q = Q_m$

Среднее значение переменного тока - среднее арифмети-
 ческое значение и определяется за период.
 Под средним значением переменного тока подразумевают
 эквивалентное значение постоянного тока, которое за вре-
 мя равное периоду периода производит ту же работу
 такой же заряд, что и переменный ток.

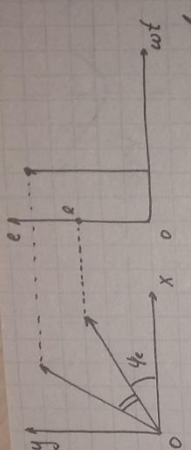
$I_{cp} = \frac{2}{\pi} I_m = 0,637 I_m$
 $k_{\varphi} = \frac{I}{I_{cp}} \approx 1,57$ - коэффициент формы переменной
 кривой.

Чем больше k_{φ} отличается от единицы, тем больше
 кривая отличается от прямоугольной формы.

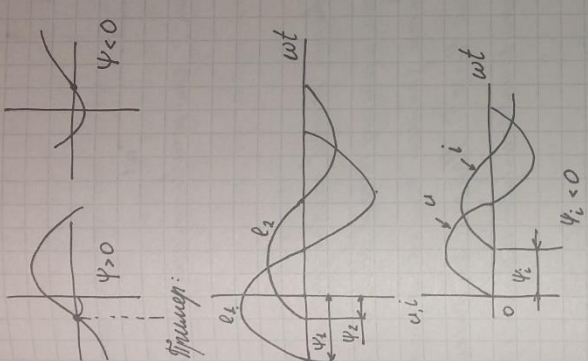
1.3. Преобразование синусоидальной величины в прямоуголь-
 ную координату.

В общем случае фазовый угол $\omega t = \psi$, где ψ значение
 фазового угла в момент времени $t=0$, где ψ - начальная

1.4. Векторные изображения синусоидальных величин



цию на ось ординат рис. 2., это соответствует моменту времени $t=0$.
 $t=0 \quad e_0 = E_m \sin \varphi_e$
 Кошмши вращает вектор против часовой стрелки и составляет положительно направление, и в момент времени t_1 вектор займет положение угловое на рис. 1. (угол $\varphi_e + \omega t$). Найдем по проекции на ось ординат рис. 2., это соответствует моменту времени $t = t_1$.
 $t = t_1 \quad e_1 = E_m \sin (\varphi_e + \omega t_1)$
 В данный момент времени проекция покажет, что на рис. 1. или на рис. 2. или на рис. 3. или на рис. 4. или на рис. 5. или на рис. 6. или на рис. 7. или на рис. 8. или на рис. 9. или на рис. 10. или на рис. 11. или на рис. 12. или на рис. 13. или на рис. 14. или на рис. 15. или на рис. 16. или на рис. 17. или на рис. 18. или на рис. 19. или на рис. 20. или на рис. 21. или на рис. 22. или на рис. 23. или на рис. 24. или на рис. 25. или на рис. 26. или на рис. 27. или на рис. 28. или на рис. 29. или на рис. 30. или на рис. 31. или на рис. 32. или на рис. 33. или на рис. 34. или на рис. 35. или на рис. 36. или на рис. 37. или на рис. 38. или на рис. 39. или на рис. 40. или на рис. 41. или на рис. 42. или на рис. 43. или на рис. 44. или на рис. 45. или на рис. 46. или на рис. 47. или на рис. 48. или на рис. 49. или на рис. 50. или на рис. 51. или на рис. 52. или на рис. 53. или на рис. 54. или на рис. 55. или на рис. 56. или на рис. 57. или на рис. 58. или на рис. 59. или на рис. 60. или на рис. 61. или на рис. 62. или на рис. 63. или на рис. 64. или на рис. 65. или на рис. 66. или на рис. 67. или на рис. 68. или на рис. 69. или на рис. 70. или на рис. 71. или на рис. 72. или на рис. 73. или на рис. 74. или на рис. 75. или на рис. 76. или на рис. 77. или на рис. 78. или на рис. 79. или на рис. 80. или на рис. 81. или на рис. 82. или на рис. 83. или на рис. 84. или на рис. 85. или на рис. 86. или на рис. 87. или на рис. 88. или на рис. 89. или на рис. 90. или на рис. 91. или на рис. 92. или на рис. 93. или на рис. 94. или на рис. 95. или на рис. 96. или на рис. 97. или на рис. 98. или на рис. 99. или на рис. 100.



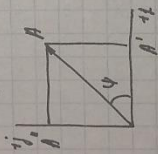
$\psi_1 < \psi_2$ - сдвиг фаз
 $\varphi = \psi_2 - \psi_1 = 0 - (-\psi_1) > 0$

Если на первом графике так, то $\varphi > 0$, и наоборот. Тогда $e = e_1 + e_2 = ?$ (можно решить скалярно графически).

1.4. Векторные изображения синусоидальных величин
 Дано: $e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$. На рис. 1. начертать вектор $|e| = E_m$ под углом φ_e к ОХ. Найдем по проекции

1.5. Комплексный метод

Комплексный метод упрощает вычисления как и любая гл. Какой тольк комплексной величины соответствует единичный вектор, приведенный к началу координат. Поэтому сложившуюся величину можно изобразить вектором, то есть можно представить комплексными числами с координатами конца этого вектора.



$$j = \sqrt{-1}$$

$$A = A' + A''$$

$$A = \sqrt{A'^2 + A''^2} \quad \text{— модуль комплексного числа}$$

$$\varphi = \arctan \frac{A''}{A'} \quad \text{— аргумент комплексного числа}$$

$$A' = A \cdot \cos \varphi$$

$$A'' = A \cdot \sin \varphi$$

$$A = A(\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad \text{— тригонометрическая форма}$$

$$\text{По формуле Эйлера: } \cos \varphi + j \sin \varphi = e^{j\varphi}$$

$$A = A \cdot e^{j\varphi} \quad \text{— показательная форма}$$

Сложившие и вычитание в алгебраической форме, упрощение и деление в показательной.

Для того, чтобы сложившаяся величина представила в виде комплексного числа необходимо поворачивать

$$e_1 = E_m \sin(\omega t - \varphi_{e_1})$$

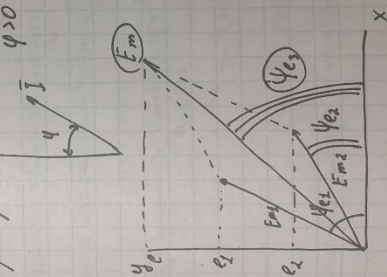
$$e_2 = E_m \sin(\omega t + \varphi_{e_2})$$

вычисл. формулы перейти к методу векторов и графика преобразуют в сумму векторов.

Векторы графика — совокупность векторов электромагнитных величин, построенных с учетом их фазового расположения.

На векторной диаграмме только индуцируемая величина изображена с отрицательной величиной.

Принцип: \vec{U}



На векторной диаграмме тот вектор отрезается, что находится против него.

$$e = E_m \sin(\omega t - \varphi_e) = e_1 + e_2$$

Векторное изображение индуцируемой величины можно только упрощает анализ электрической цепи.

1.5. Комплексный метод

1.6. Законы Кирхгофа

формулами. При этом в качестве мощной вычислительной машины или действующего устройства, а в качестве источника напряжения дросель.

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$$

$$E_m = E_m \cdot e^{j\varphi_e} \text{ - комплексный амплитудный действующий}$$

$$\Rightarrow E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{j\varphi_e} \text{ - комплексный действующий}$$

Запрос:

$$e = e_1 + e_2$$

1.6. Закон Кирхгофа

$I_{\text{вход}}$ (узел \rightarrow)

Сумма токов в узле равна 0.

Для мгновенных значений суммы алгебраическая, для действующих и амплитудных - комплексная или действительная.

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad \sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Пример:



Закон Кирхгофа, как его применимо к узлам "+" и наоборот.

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

Сумма токов направленных к узлу равна сумме токов уходящих от узла.

Закон Кирхгофа

Сумма ЭДС в контуре равна сумме напряжений в нем.

Для мгновенных значений суммы алгебраическая, для действующих и амплитудных - комплексная или действительная.

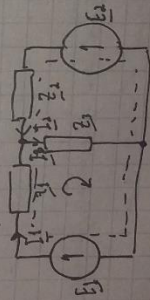
$$\sum_{k=1}^m E_k = \sum_{p=1}^n U_p$$

Сначала задается направление токов и ЭДС в ветвях, а затем составляется уравнение для контура, например по часовой.

Пример узла: или ЭДС и один контур составляется по ЭДС "+" и наоборот.

Если ток в ветви направлен вправо совпадает с направлением контура, то напряжение "+" и наоборот.

Пример:



$$E_1 = I_1 E_1 - I_2 E_2 - I_3 E_3$$

1.7. Цепь с активным элементом R

1.7. Цепь с активным элементом R

Активным сопротивлением обладают все проводники, оно обусловлено активными процессами обусловленными кинематической турбулентностью ЭДС в телье бую при соударении с атомами.

Элемент обладает свойством только активным сопротивлением называется резистором.

$U = U_m \sin \omega t \rightarrow \sim i$

II закон Кирхгофа

$iR - U = 0 \Rightarrow i = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$

$I_m = \frac{U_m}{R} \Rightarrow \sqrt{2} I = \frac{U}{R} \Rightarrow \text{закон Ома}$

$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 0 - 0 = 0$

На активный элемент ток и напряжение совпадают по фазе

$U = U e^{i\omega t} = U$
 $I = I e^{i\omega t} = I$

Закон Ома в комплексной форме $\boxed{U = I \cdot R}$

1.8. Цепь с индуктивным элементом L

1.8. Цепь с индуктивным элементом L

$L = \frac{\Phi}{i} = \frac{W\Phi}{i}$

$U = U_m \sin \omega t \rightarrow i \rightarrow \sim \Phi$

Закон ФАУ

Переменный магнитный поток пересекает замкнутый контур, индуцирует ЭДС (ЭДС самоиндукции), которая равна скорости изменения магнитного потока в этом с противоположным знаком.

$\mathcal{E} = -L \frac{di}{dt} = -L \frac{d(i)}{dt}$

$\text{II закон Кирхгофа: } \mathcal{E} = -U$

$-L \frac{di}{dt} = -U_m \sin \omega t \Rightarrow di = \frac{U_m}{L} \sin \omega t dt$

$i = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$, где $X_L = \omega L = 2\pi fL$ - индуктивное сопротивление

$I_m = \frac{U_m}{\omega L} = \frac{U_m}{X_L}$

$I = \frac{U}{X_L}$ - Закон Ома

$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 0 - (-\frac{\pi}{2}) = \frac{\pi}{2} > 0$

Плюс отстает от напряжения по фазе на $\frac{\pi}{2}$.

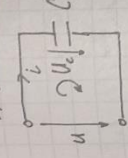
$U = U e^{i\omega t}$
 $I = I e^{i(\omega t - \frac{\pi}{2})}$

1.9. Цепь с емкостным элементом C

Закон Ома в комплексной форме

$$\underline{U} = jX_c \underline{I}$$

1.9. Цепь с емкостным элементом C



$$C = \frac{Q}{U_c} \Rightarrow Q = CU_c ; i = \frac{dQ}{dt}$$

$$U = U_m \sin \omega t \rightarrow i \rightarrow U_c$$

Закон Кирхгофа: $U_c - U = 0 \Rightarrow U_c = U$

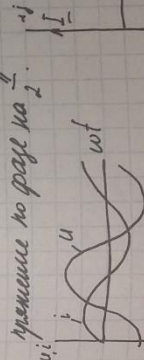
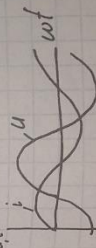
$$i = \frac{d(C \cdot U_m \sin \omega t)}{dt} \Rightarrow i = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_m}{X_c}, \quad X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \text{ - реактивное сопротивление}$$

$$I = \frac{U}{X_c} \text{ - закон Ома}$$

$$\rho = \varphi_U - \varphi_I = 0 - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{2} < 0$$

В цепи с емкостным элементом ток опережает напряжение на $\frac{\pi}{2}$.

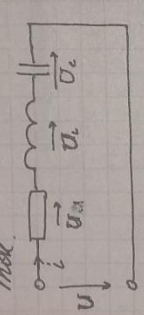



$$\underline{U} = -jX_c \underline{I} \text{ - закон Ома}$$

1.10. Последовательное соединение R, L, C

1.10. Последовательное соединение R, L, C

Последовательное соединение - соединены при помощи одной цепи все элементы соединяются один и тот же ток.



Закон Кирхгофа (для цепи или участка цепи):

$$U_a + U_l + U_c - U = 0$$

$$(*) U = U_a + U_l + U_c = \underline{I}R + jX_L \underline{I} - jX_C \underline{I} = \underline{I}(R + j(X_L - X_C)) = \underline{I}Z$$

При последовательном соединении напряжения на элементах складываются.

$X_L - X_C = X$ - реактивное сопротивление

$R + jX = Z$ - полное комплексное сопротивление

$$\underline{U} = \underline{I}Z \text{ - Закон Ома для последовательного соединения}$$

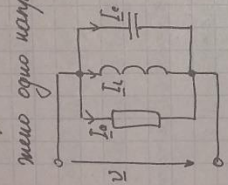
Векторная диаграмма. Порядок построения

- 1) Уравнение Кирхгофа (*)
- 2) Написать общий вид \underline{I}
- 3) $\underline{U}_a \parallel \underline{I}$
- 4) \underline{U}_l - вверх под углом $\frac{\pi}{2}$

Пусть предположим индуктивное напряжение $|U_l| > |U_c|$

1.11. Параллельное соединение R, L, C

В параллельном соединении токи являются векторами.



- $\frac{1}{R} = G$ - активная проводимость
- $\frac{1}{X_L} = b_L$ - индуктивная проводимость
- $\frac{1}{X_C} = b_C$ - емкостная проводимость

$\frac{1}{Z} = Y$ - полная проводимость

$I_{\text{век}}$ - закон Кирхгофа:

$(*) I = I_0 = I_R + I_L + I_C = UG + jUb_L - jUb_C = U(G + j(b_L - b_C))$

$b_L - b_C$ - реактивная проводимость

$b_L + b_C$ - полная проводимость называется

$I = U \cdot Y$ - закон Ома

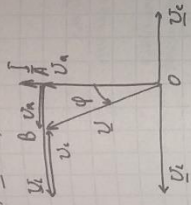
Векторная диаграмма. Вектор построения.

- 1) Уровнем Кирхгофа (**)
- 2) Общей вектор U
- 3) I_0 и I
- 4) I_C вектор под углом φ

Потребляет индуктивную мощность $||I_L|| > ||I_C||$

5) U_C вектор под углом φ

6) U (*)

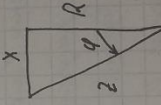


$U_A = U_L + U_C$ - реактивная составляющая напряжения
 ΔOAB у которого стороны катетов совпадают по фазе с токами, т.е. являются активной составляющей, а другой катет находится в противофазе, т.е. является реактивной составляющей.
 ΔOAB называется прямоугольным треугольником.

$U = \sqrt{U_A^2 + U_P^2}$
 $U_A = U \cos \varphi$
 $U_P = U \sin \varphi$
 $\varphi = \arctg \frac{I_C}{I_L}$

$\frac{U_P}{I} = X ; \frac{U_A}{I} = R ; \frac{U}{I} = Z$

$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$
 $R = Z \cos \varphi$
 $X = Z \sin \varphi$
 $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$



Если все стороны на действующим значениях I , то углы между ними соответствуют углам треугольника.

1.12. Мощность однофазной цепи

5) I_1 вращать под углом φ

$I_p = I_c \cdot I_c$
 OAB по аналогии с треугольником напряжения - треугольник токов.

Разделим на действующее значение U , по условию по добить треугольник равен пропорциональности

$I_a = I \cos \varphi$
 $I_p = I \sin \varphi$
 $\varphi = \arctg \frac{I_p}{I_a}$

$I_a = I \cos \varphi$
 $I_p = I \sin \varphi$

$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$
 $I_a = I \cos \varphi$
 $I_p = I \sin \varphi$
 $\varphi = \arctg \frac{I_p}{I_a}$

$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$
 $G = Y \cos \varphi$
 $B = Y \sin \varphi$
 $\varphi = \arctg \frac{B}{G}$

1.12. Мощность однофазной цепи

$p = u \cdot i$ - мгновенная мощность
 $u = U_m \sin \omega t$
 $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$

Если найти среднее значение мгновенной мощности, то это

будет равно по мощности соответствующей (P) и нагрузке.
 в активной мощности.

$P = UI \cos \varphi$

Мгновенная мощность отражает процесс преобразования энергии в нагрузку.

1) $Z = R, \varphi = 0, \cos \varphi = 1$ $P = UI (1 - \cos 2\omega t)$
 $P_{max} = 2UI, P_{min} = 0$
 $P = UI \cos \varphi = UI = S$
 $S = UI$ - полная мощность, амплитудная соответствующая амплитудам

2) $Z = X_L, \varphi = \frac{\pi}{2}, \cos \varphi = 0$ $P = -UI \sin 2\omega t$
 $P_{max} = UI, P_{min} = -UI$

В ту 1/4 цикла, когда индуктивна преобразует энергию в магнитное поле, а в следующую 1/4 цикла, когда она возвращается к источнику.

1.13. Резонанс

была перенесена между индуктивностью и емкостью и про-
исходит преобразование энергии. Такой процесс называется
реактивной мощностью $Q = UI \sin \varphi = UI_p$

3) $Z = R + jX$

$$P^2 + Q^2 = U^2 I^2 \cos^2 \varphi + U^2 I^2 \sin^2 \varphi = U^2 I^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) = U^2 I^2 = S^2$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi$
 $Q = S \sin \varphi = UI \sin \varphi$
 $Q = P \tan \varphi$

$P = S \cos \varphi \Rightarrow \cos \varphi = \frac{P}{S}$ - коэффициент мощности, пока-
зывает какая часть электрической энергии преобразуется в
другие виды энергии

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = \frac{U_0^2}{R} = U_0^2 G \quad (B_m, M_{Bm}, W_{Bm})$$

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 X = \frac{U_0^2}{X} = U_0^2 B \quad (B_{\text{ф}}, M_{B_{\text{ф}}}, M_{B_{\text{ф}}})$$

$$S = UI = I^2 Z = \frac{U_0^2}{Z} = U_0^2 Y \quad (B_{\text{д}}, M_{B_{\text{д}}}, M_{B_{\text{д}}})$$

1.13. Резонанс

Резонанс возникает при наличии индуктивного и емкостного
элементов цепи. Условие: либо равенство индуктив-
ности и емкости.

1.13.1. Резонанс напряжений

или, либо проводимости. $X_L = X_C, B_L = B_C$.

1.13.1. Резонанс напряжений в цепи с последователь- ными соединением в цепи.

$$U = U_R + U_L + U_C$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{R} = I_{\max}$$

$X_L = X_C \quad | \times I$
 $I X_L = I X_C$
 $U_L = U_C \quad \left(\frac{U_C}{U} = \frac{X}{R} \right)$

В цепи возникает резонанс напряжений, т.е. напряже-
ния на реактивных элементах равны по величине, и ра-
зличаются на 180° .
Величина напряжения может превышать номинальное значение
в X_L / R раз.

Векторная диаграмма

$$U = U_C + U_L + U_C$$

$$U = U_C \Rightarrow \varphi = 0, \cos \varphi = 1, P = UI = S$$

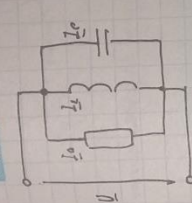
$$Q = UI \sin \varphi = 0$$

1.13.2. Резонанс токов

1.14. Повышение коэффициента мощности

1.13.2. Резонанс токов в цепи с последовательными элементами

в цепи



$$\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_L + \underline{I}_C$$

$$b_L = b_C \Rightarrow I = UY = U\sqrt{G^2 + (b_L - b_C)^2} = UC = I_{pr}$$

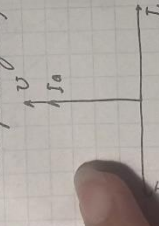
$$b_L = b_C \quad | \times U$$

$$Ub_L = Ub_C$$

$$I_L = I_C \left(\frac{L}{C} = \frac{b_C}{G} \right)$$

Ток может превышать I в цепи в $\frac{L}{C}$ раз.

Векторная диаграмма.



$P = S$
 $Q = 0$

Условие действительных реактанса

$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
 $2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} ; T = 2\pi\sqrt{LC}$

1.14. Повышение коэффициента мощности

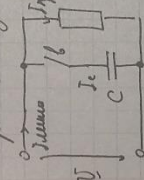
Росточа = $I_{линия}^2 R_{линии}$; $P = UI_{линия} \cos \varphi \Rightarrow I_{линия} = \frac{P}{U \cos \varphi}$

Р-преобразованная мощность

$P_{потери} = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot R_{линии}$ } Росточа $\sim \frac{1}{\cos^2 \varphi}$
 $P, U, R_{линии} = const$

Для снижения потерь необходимо повысить коэффициент мощности

Параллельно устанавливаем детары конденсатора

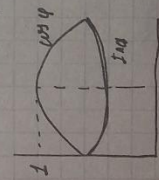


1) Ток в параллели, тогда $L=0$
 $I_{L2} = I_{pr}$
 2) в-фазность $\Rightarrow I_{C2} = I_{pr} = I_{L2}$
 $\Rightarrow I_{C2}$

$I_{L2} = I_{pr} + I_{C2}$
 $I_{L2} < I_{L1}, \varphi_2 < \varphi_1 \Rightarrow \cos \varphi_2 > \cos \varphi_1$

3) Подобрать C, если $I_{C2} \neq I_{pr} = I_{L2} = I_{L1} \Rightarrow \varphi = 0, \cos \varphi = 1$

Дальнейший рост Ic приводит к росту φ и уменьшению $\cos \varphi$



$P = const, \cos \varphi_1 = const \Rightarrow Q_1 = P \tan \varphi_1$
 $Q_2 = P \tan \varphi_2$
 $Q_1 = Q_2 - Q_2 = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$

2. Трехфазные цепи

2.1. Основные понятия и определения

173

$$P_i = \omega_c U^2 = \omega C U^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = \frac{P(\cos \varphi_2 - \sin \varphi_2)}{\omega U^2}$$

Для малой емкости $(\varphi_2 = 0)$

$$C = \frac{P \sin \varphi_2}{\omega U^2}$$

2. Трехфазные цепи

2.1. Основные понятия и определения

Трехфазная цепь - совокупность 3-х фазовых цепей, в которых действуют три ЭДС одной частоты, сдвинутые по фазе относительно друг друга.

Фаза - цепи трехфазной цепи, в которой замкнуты один и тот же ток и действует одна ЭДС. Востановит у фазы индуктора, приехали и соединительных проводов.

Симметричная система ЭДС (токов и напряжений) - система в которой все ЭДС (токи, напряжения) равны по модулю и сдвинуты по фазе на 120° относительно друг друга.

Если точка до фазы и фазовый и фазовый нуль - система симметричная.

Индуктивные фазы. Прямые А-В-С
Обратные А-С-В

2.2. Получение трехфазной системы ЭДС

Преимущества 3-х фазной системы

Ночными цветными металлов, т.е. другими фазовыми

вступает провод соседней фазы. Возмущения цепи

фаза упрощает измерения. Возмущения соседней фазы.

Вол, частоты и напряжений фазовых.

2. Получение 3-х фазной системы ЭДС

В качестве источника выступают вращающийся индуктор, состоящий из неподвижной части - статора и вращающейся - ротора.

Статор имеет шихтованный магнитопровод, вращающийся у полюсов имеет электромагнитный статор в форме кольца с отбуксовыми, обмоточными фазы, в которых замкнуты вводы обмотки статора.

Обмотка имеет 3 фазы

Фаза	Начало	Конец
A	A	X
B	B	Y
C	C	Z

Приведем картину обмотки в виде однообразно в фазе В против машины фазы сдвинуты относительно друг друга на

120°

Ротор также вращается, имеет северный и южный полюса. На них размещаются обмотки возбуждения, питающиеся от источника постоянного тока. Вследствие возбуждения создается магнитный поток Φ , магнитная индукция линии полюсов замыкается по участкам магнитной цепи машины и которой является инверсионно статорного ротора.

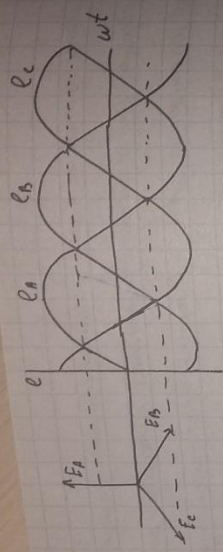
Вращение магнитного потока магнитными брши статора, т.к. при вращении намагниченная обмотка возбуждения индуцирует в магнитной цепи ток.

Ротор вращается в фазе с частотой f_e по полюсам трифазное напряжение, вместе с ротором вращается магнитный поток. Три или четырехфазными роторными обмотками того же тока посылается по индукции.

Тогда по закону ЭМЭ обмотки статора переключают магнитный поток статора, и в них индуцируется ЭДС ЭДС В намагничен ротора в фазе А ЭДС максимума, при $\frac{2\pi}{3}$ в фазе В $\frac{2\pi}{3}$ в фазе С.

$$e_a = E_m \sin \omega t; \quad e_b = E_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); \quad e_c = E_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

2.3. Соединение звездой

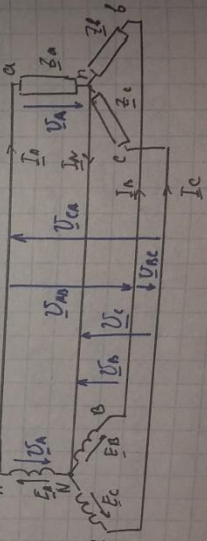


Если принять потенциал каждой обмотки 0 и объединить их в одну точку, то получимся соединение обмоток звездой.

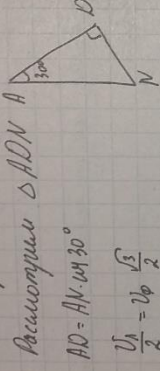
2.3. Векторное звездоу Y

Векторное при котором и концы фаз соединены в одну точку, с нулевой потенциальной нейтральной точкой. N - нейтральная точка, а к ней фазы соединены звездой. Она называется соединением звездой.

М-нейтральной точкой (I_n - ток нейтральной точки)



Т.к. штыль симметрично поворачивается вокруг оси, то
 линия поворота при соединении фаз звезды
 является N с наименьшей длиной волны
 максимума. На векторной диаграмме вектора напря-
 жения в равностороннюю сеть.



$AD = AN \cdot \sin 30^\circ$
 $\frac{U_n}{2} = U_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$

Поэтому для симметричной системы: $U_n = \sqrt{3} U_\phi$

или N : $I_n = I_a + I_b + I_c$

$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi}$ - закон Ома для каждой фазы.
 симметричной системы.

$I_a = I_b = I_c$
 $X_a = X_b = X_c$
 $\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$
 $Z_a = Z_b = Z_c$

т.к. $I_n = 0$, но если хотя бы одна фаза не симмет-
 рична, то I_n будет отличаться от нуля.

I_a, I_b, I_c - сопротивления фаз трифазника.
 Провод соединяющий начало фаз - линейное напряжение, а
 ток в нем - линейный ток, соответствующий $I_n(I_a, I_b, I_c)$
 Фазы тока - ток, соответствующий в фазе.
 Поэтому линейный ток и фазы соединены последовательно, то

$I_n = I_\phi$

Разные направления - направления между началом и концом
 фазы (I_a, I_b, I_c) симметрично
 U_a, U_b, U_c - фазное напряжение складывают с соответствующими
 токами

линейные напряжения между линейными проводниками
 (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}), направлены от 1-го штыря ко 2-ому.
 Как соотносятся фазы и линейные напряжения в сим-
 метричной системе.

Рассмотрим контур ANBA:

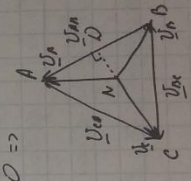
$U_{ab} = U_a - U_b - U_{ab} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow U_{ab} = U_a - U_b$, по аналогии

$U_{bc} = U_b - U_c$

$U_{ca} = U_c - U_a$

$\Sigma = 0$



2.4. Соединение треугольником

2.4. Соединим треугольником Δ .
 Соединим треугольником - соединим при котором
 мы каждый фазу соединим с началом соседней фазы
 через замкнутый контур.
 Картина точки - картина начала.

$\underline{I}_a, \underline{I}_b, \underline{I}_c$ - комплексные эффективные значения
 $\underline{I}_{ab}, \underline{I}_b, \underline{I}_c$ - линейные токи от источника
 $\underline{I}_{ab}, \underline{I}_{bc}, \underline{I}_{ca}$ - фазовые токи

При соединении треугольником фаз включено между
 линейными проводами, $\Rightarrow \underline{U}_l = \underline{U}_f$.

Узел а $\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}$ Для симметричной системы
 Узел б $\underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}$ применимо
 Узел с $\underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$

$$\underline{\Sigma} = 0$$

2.5. Напряжение между нейтральными точками генератора и приемника

2.5. Напряжение между нейтральными точками генератора и приемника

$\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c, \underline{Y}_n$ - комплексные проводимости фаз и нейтральной точки приемника.

$$\underline{I}_a = (\underline{U}_a - \underline{U}_n) \underline{Y}_a$$

$$\underline{I}_b = (\underline{U}_b - \underline{U}_n) \underline{Y}_b$$

$$\underline{I}_c = (\underline{U}_c - \underline{U}_n) \underline{Y}_c$$

$$\underline{I}_n = \underline{U}_n \underline{Y}_n$$

Для звезды: $\underline{I}_a = \underline{I}_o, \underline{I}_b = \underline{I}_o, \underline{I}_c = \underline{I}_o$

(*) А: $\underline{I}_a = \underline{I}_o$ закон Кирхгофа: (*) $\underline{I}_n = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c$

Все уравнения для токов подставим в уравнение (*)

$$\underline{U}_n = \frac{\underline{U}_a \underline{Y}_a - \underline{U}_b \underline{Y}_b + \underline{U}_c \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c} \quad (***)$$

Построим векторную диаграмму для симметричной системы фазов и линейных напряжений.

2.6. Мощность трехфазной цепи

По правилу (**) $\Rightarrow U_N = U'_N - jU_c$
 Пусть R имеет предфаз = 0,
 то потенциалы A, B, C, и C, C
 совпадают.

Из уравнений видно, что фазы
 в точке N и совпадают, если потенциалы
 в точке N и совпадают. Это возможно если нейтральный
 провод соединен с N и n, то сопротивление = 0, а про-
 водимость = ∞ , тогда нейтральный провод соединяется
 фазные напряжения.

2.6. Мощность 3-фазной цепи.

Все известные формулы справедливы для каждой фазы

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \phi_\phi$$

$$P = P_A + P_B + P_C$$

$$Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin \phi_\phi$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

$$S = U_\phi I_\phi$$

$$S = S_A + S_B + S_C$$

$$P = \sqrt{3} U_n I_n \cos \phi$$

$$Q = \sqrt{3} U_n I_n \sin \phi$$

$$S = \sqrt{3} U_n I_n$$

2.7. Методы измерения мощности

2.7.1. Метод трех ваттметров

2.7. Методы измерения мощности

2.7.1. Метод 3-х ваттметров

Если ваттметр выключить так, что
 через него ток вообще не будет течь,
 катся фазный ток, а к обмотке шара
 меча приложено фазное (линейное) напряжение
 и шара фазы), то ваттметр покажет формулу активной
 нулю мощности.

$$P = C I_A I_B \quad (\text{шар})$$

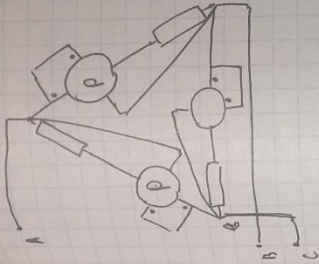
$$P = U I$$

По такой правде ваттметр выключают в контуре фа-
 зы и где Y и где Δ .

$$P_\Sigma = P_A + P_B + P_C$$

2.7.2. Метод одного ваттметра

2.7.3. Метод двух ваттметров



2.7.2. Метод одного ваттметра

Метод применяется для измерения активной мощности трехфазной системы с одной фазой. $P = 3 P_0$

2.7.3. Метод двух ваттметров

Метод применяется только в 3-х фазной системе

$$P = i_a U_a + i_b U_b + i_c U_c$$

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (3\text{-я фазовая система})$$

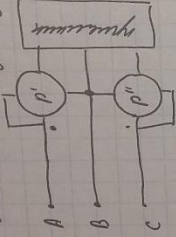
$$i_b = -(i_a + i_c)$$

$$P = i_a (U_a - U_b) + i_c (U_c - U_b) \quad *$$

Видно что измерения можно производить в виде двух ваттметров. $P = P' + P''$

Можно измерять трехфазную мощность по двум ваттметрам

получают в 2 фазной цепи. Температурные режимы должны соблюдаться, а также соблюдать нормативы по количеству и свободному ходу.



4. Трансформаторы

Трансформатор - электромагнитное устройство, состоящее из магнитопровода и обмоток и предназначенное для передачи переменного тока и напряжения в группу потребителей ЭМЭ.

$P_{\text{от}} (\text{потери в стали}) \sim I^2 R$

$P_{\text{от}} \sim \left(\frac{P}{U}\right)^2 R_0 L$, где P - передаваемая мощность, U - напряжение передачи, R_0 - сопротивление стержней дуги, L - длина стали.

Если $P_0 \downarrow$ стали, то передача электромагнитной энергии становится неэкономичной. Для уменьшения потерь, при этом передача увеличивается, а в месте потребления мощности

3. Машины постоянного тока

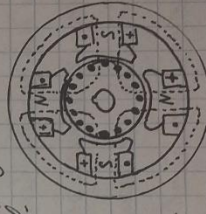
3.1. Устройство и принцип действия генератора постоянного тока

3. Машина постоянного тока

3.1. Устройство и принцип действия генератора постоянного тока

Основным частям машины является статор, якорь с коллекторами и источник возбуждения. Статор - индукционная часть машины. Входит в кремний и к нему относятся детали машины (маховик и дробиные кольца, подшипниковые шпандары и дробиные шпандары), а также для зажима, и является частью магнитного поля, создаваемого магнитными полюсами.

Главный полюс состоит из стержня с магнитными полюсами и катушек возбуждения.



Катушки возбуждения вся обмотка полюсов соединены между собой так, чтобы их суммарная индукция создавала магнитное поле. Вся обмотка катушек возбуждения образует магнитное поле.

рую подмагничивают и источник постоянного тока. Машина имеет полюсы - источник постоянного тока.

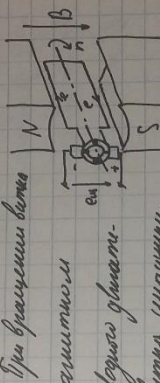
Якорь состоит из стержня с обмоткой и коллектора. Расстояние между стержнями катушек (секций) - шаг обмотки. Секции обмотки якоря соединены между собой посредством коллекторных пластин и образуют обмотку якоря, которая ит на валу, на криво.

Коллектор представляет собой цилиндрическую поверхность, на которой ит магнитные полюсы. Коллектор имеет форму цилиндра, в котором ит стержни. Внутренняя обмотка якоря в коллекторе DC на щетках. Внутренняя обмотка якоря и коллектор постоянного тока, который ит в сети к щеткам обмотки, в первичный ток в проводимой обмотке якоря.

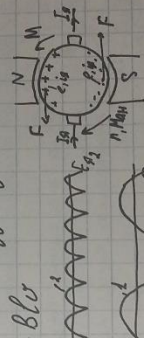
Машина имеет полюсы, соединенные между собой электрически. Машина имеет полюсы, соединенные между собой электрически. Машина имеет полюсы, соединенные между собой электрически.

Как правило, устанавливаются на центральном нейтрале, под которой ток имеет самую большую силу. Если же ток идет по окружности, то сила тока будет меньше.

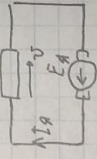
Принцип действия электродвигателя. Связан со взаимодействием силы Лоренца и магнитного поля. При вращении вала в магнитном поле с помощью коммутатора ток в проводнике меняется, что приводит к вращению вала.



Поле с помощью коммутатора вращается. В проводнике ток меняется, что приводит к вращению вала.



ЭДС $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{пр}} = \mathcal{E}_{\text{св}}$



$\mathcal{E}_{\text{св}} = 2B\ell v = \mathcal{E}_{\text{пр}}$

Если и источник тока, то под действием ЭДС в проводнике ток, то под действием ЭДС в проводнике ток, то под действием ЭДС в проводнике ток.


3.2. Принцип действия двигателя постоянного тока

Удельная нагрузка: $U + I_a R_a = \mathcal{E}_a \Rightarrow U = \mathcal{E}_a - R_a I_a$, R_a - суммарное сопротивление - сопротивление якоря. При вращении тока в проводнике якоря на него действует сила Лоренца $F = B I_a l$. При этом якорь совершает работу $M = N F l / 2$, совершая N вращений. Сила Лоренца F совершает работу M , совершая N вращений. Сила Лоренца F совершает работу M , совершая N вращений.

$I_a \rightarrow M \rightarrow M_{\text{в}}$

3.2. Принцип действия двигателя постоянного тока

Если и источник тока, то под действием ЭДС в проводнике ток, то под действием ЭДС в проводнике ток, то под действием ЭДС в проводнике ток.



ЭДС $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{пр}} = \mathcal{E}_{\text{св}}$

Если и источник тока, то под действием ЭДС в проводнике ток, то под действием ЭДС в проводнике ток, то под действием ЭДС в проводнике ток.

3.3. Пуск двигателя постоянного тока

3.3. Пуск двигателя постоянного тока

$$I_{зд} = \frac{U}{R_d} \quad (в 10...20 раз I_{ном})$$

Формирует пусковой ток, можно 2 способа:

- 1) существуют пуск при помощи карманов для его подвода или роторный источник постоянного напряжения - безрезистивный
- 2) фазным сопротивлением зедной цепи, выходя в 0, следовательно с обмоткой зедра пусковой резистан

R_d - резистивный.

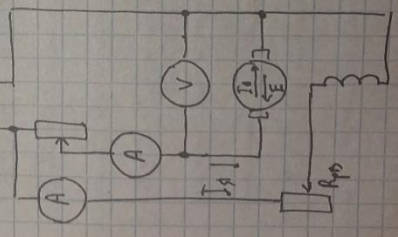
При резистивном пуске

$$I_{зд} = \frac{U}{R_d + R_n}$$

$$I_n = I_{зд} + I_d \quad (в 1,5...2 раз I_{ном})$$

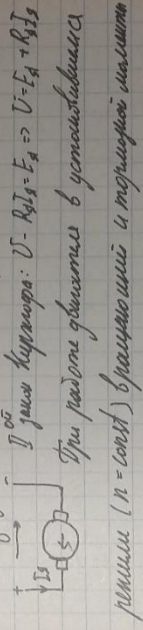
$$I_d = \frac{U - E_d}{R_d + R_n} = \frac{U - C_e n \Phi}{R_d + R_n}$$

В процессе пуска возрастает пусковой резистанс постепенно уменьшают, по окончании пуска выводом пускового резистанса $M = C_m I_d \Phi$ формирует момент пропорциональный моменту.



мощи. Точки обрыва, направление тока в проводнике обмотки зедра, направление под действием полюсов, ось поется криволинейно. Три режима МПТ-двигателя: замкнутой цепи, ток карманов, фазовый момент. Для уменьшения количества фазовых моментов уменьшаем количество (направление тока в обмотке обрывается), либо карманов ток в зедре.

ЗД зедра движется карманом противоб. ЗД.



Три режима движения в установившемся режиме ($n = const$) вращательный и тормозной моменты равны по модулю. Три режима зедра: турбоформа, моментная движется индуктосопротивления зедра M_0 обуславливает турбулентность и индуктосопротивления зедра в индуктосопротивления зедра $M = M_0 + M_2$ или $M - (M_0 + M_2) = 0$, M_2 - тормозной момент ко зедру фазовый, индуктосопротивления зедра в фазовый моментной. В турбоформе моментная $M = M_0 + M_2 + M_3$ или $M - (M_0 + M_2) = M_3$, $M_3 = 2n \frac{dM}{dt}$ - динамический (индуктосопротивления зедра) момент индуктосопротивления зедра. $M_3 > 0 \rightarrow n \uparrow$, $M_3 < 0 \rightarrow n \downarrow$

3.4. Частота вращения и ее регулирование

из-за того, что сопротивление цепи увеличивается при увеличении диаметра магнитного потока, тогда ток возрастает и следовательно, магнитное поле машины становится сильнее. При этом n_{max} уменьшается, фазовый угол уменьшается и следовательно возрастает время пуска.

3.4. Частота вращения и ее регулирование

$$n = \frac{v - (R_a + R_{ext}) I_a}{c_e \Phi} = \frac{v}{c_e \Phi} \left(1 - \frac{(R_a + R_{ext}) I_a}{v} \right)$$

Способы регулирования частоты:

- 1) увеличением магнитного потока источника питания Φ при $\Phi = const$ и $R_{ext} = const$;
- 2) увеличением магнитного потока Φ путем увеличения тока возбуждения при $\Phi = const$ и $R_{ext} = const$;
- 3) уменьшением сопротивления цепи якоря, т.е. R_{ext} при $\Phi = const$ и $v = const$.

1: $\uparrow v \rightarrow \uparrow I_a \rightarrow \uparrow M \rightarrow \uparrow E_a \rightarrow \downarrow I_a \rightarrow \downarrow M$
 при $n > n \Rightarrow M = M_0 + M_2 \Rightarrow I_a = const$
 2: $\uparrow I_B \rightarrow \uparrow \Phi \rightarrow \uparrow E_a \rightarrow I_a \rightarrow \downarrow M \rightarrow \downarrow v \rightarrow \downarrow E_a \rightarrow \uparrow I_a \rightarrow \uparrow M$
 $n' < n \quad I_a' < I_a$
 3: $R_{ext} > R_{ext} \Rightarrow R_{ext} > R_{ext} \Rightarrow \downarrow I_a' = \frac{v - E_a}{R_a + R_{ext}} \Rightarrow \downarrow M \rightarrow \downarrow v$

3.5. Двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения

$\rightarrow E_a \rightarrow \uparrow I_a \rightarrow \uparrow M \quad I_a' = I_a, \quad n' < n.$

3.5. Двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.

Двигатель параллельного возбуждения.

$I_B = 3...5\% I_{ном}$ Найти характеристики n, M, I_a, P, η

Минимумы характеристик

$n = f(M)$ при $v_{ном} = const, I_B = const$

Двигатель последовательного возбуждения.

$I_B = I_a$ Три режима

режим n -обратная

"цвет вращает". Работоспособности:

$$n = \frac{v - (R_a + R_c) I_a}{c_e \Phi}$$

$$n = \frac{c_1}{I_a} - \frac{R_a + R_c}{c_e}$$

$P_1 / P_{ном}$

1. Двигатели постоянного тока. Двигатели имеют большой крутящий момент, поэтому их применяют в устройствах, требующих пуска под нагрузкой (краны, лифты).

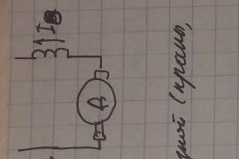
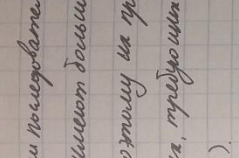


2. Двигатели постоянного тока работают на одной или двух щетках, поэтому так для контактной сети, при этом щетки и угольные щетки, чаще всего, являются частью двигателя.

Двигатели постоянного тока.

Если переключить одно из щеток, ток будет и менее 70% номинального $M_{\text{н}}$, но она является основной.

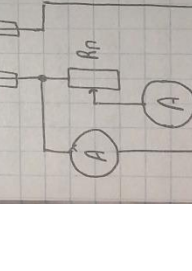
и фазы - фазы переключения измерительного устройства.

Работы характеризуются:

4. Трансформатор

подключают в 2 фазы тока. Температурные режимы двигателя определяются, а также обмоток подключены по схеме к обмотке трансформатора.



4. Трансформатор

Трансформатор - электромагнитное устройство, состоящее из магнитопровода и обмоток, и предназначенный для передачи энергии при помощи тока и напряжения в другую сеть.

Эта формула $P_{\text{н}}$ (потери в линии) $\sim I^2 R$

$P_{\text{н}} \sim (P/V)^2 R_0 L$, где P - передаваемая мощность, V - напряжение, R_0 - сопротивление линии длиной L , I - ток в линии.

Если P_0 L велики, то передача электроэнергии затрудняется из-за потерь. Для снижения потерь, при передаче используют, а в месте потребления мощности.

4.1. Устройство и принцип действия трансформатора

мощ. Для той или иной цепи трансформатор

4.1. Устройство и принцип действия трансформатора

Трансформатор состоит из магнитопровода и обмоток. Магнитопровод изготавливают из ферромагнитных сплавов, обладающих высокой магнитной проницаемостью. Магнитопровод имеет замкнутый контур, который обеспечивает максимальную магнитную связь между обмотками.

Обмотки трансформатора состоят из проводящих витков, намотанных на магнитопровод. Обмотка с большим числом витков является первичной, а обмотка с меньшим числом витков - вторичной.

Важнейшим параметром трансформатора является коэффициент трансформации, который определяет отношение напряжений на обмотках:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

где U_1 и U_2 - напряжения на первичной и вторичной обмотках, N_1 и N_2 - число витков.

Согласно закону сохранения энергии, мощность на входе трансформатора должна быть равна мощности на выходе (с учетом потерь):

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss}$$

где P_{in} - входная мощность, P_{out} - выходная мощность, P_{loss} - потери в трансформаторе.

Потери в трансформаторе возникают из-за сопротивления обмоток и магнитных потерь в сердечнике.

$U_1 \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow U_2$

$e_1 = -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt}$

$e_2 = -\omega_2 \frac{d\Phi}{dt}$

$\sim \Phi$

$M_{\text{ср}} - \text{магнитопроводная цепь} = I_m$

К первичной обмотке приложено напряжение U_1 , которое действует в первичной обмотке, вызывая ток i_1 , который создает магнитный поток Φ , замыкающийся по магнитопроводу. Пересекая первичную и вторичную обмотки, ток i_1 индуцирует в них ЭДС e_1 и e_2 соответственно.

Тогда $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, тогда $e_1 = -\omega_1 \Phi_m \cos \omega t = \omega_1 \Phi_m \sin (\omega t - \frac{\pi}{2})$

$e_1 = \omega_1 \Phi_m \sin (\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{\pi}{2}$

$E_1 = \frac{d\Phi}{dt} = \omega_1 \Phi_m \sin \omega t$

по аналогии

$E_2 = \frac{d\Phi}{dt} = \omega_2 \Phi_m \sin \omega t$

$n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_1}{N_2}$ - коэффициент трансформации

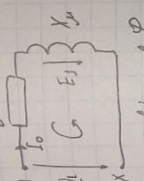
4.2. Холостой ход трансформатора

4.2. Холостой ход трансформатора

Холостой ход - режим, когда вторичная обмотка разомкнута, ток в ней $I_2 = 0$. $I_1 = I_0$ (3-5% $I_{ном}$, 10%, 15%).

Виды потерь:

- R_1 - обмоточные потери
- X_m - обмоточные магнитные потери



$$X_L = 2\pi f L = 2\pi f \frac{\Phi}{i}$$

$$U_1 - \frac{I_0}{R_1} = -E_1$$

$$I_0 \rightarrow 0$$

$$U_1 \approx -E_1 \quad (*)$$

Векторная диаграмма. Порядок построения:

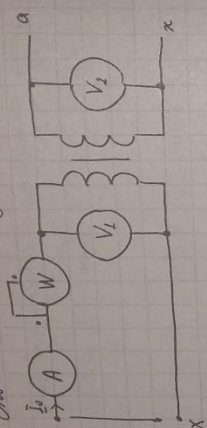
- 1) I_0 (*)
- 2) Φ
- 3) E_1, E_2 ($E_1 \approx E_2$ - номинальный)
- 4) I_0 по углу $\delta < 10^\circ$
- 5) U_1 (*)

I_{0a} - определяется короткой обмоткой и гр.

$$|U_1| = |E_1| = \underbrace{1,44}_{const} \omega_1 f \Phi_m$$

4.3. Работа трансформатора при нагрузке

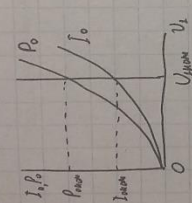
Этап холостого хода



$\text{Var } U_1: 0 \leq U_1 < U_{1ном}$
 стрелка $P_0 = f(U_1), I_0 = f(U_1)$

Эквивалент:

- 1) $k = \frac{U_{20}}{U_{10}}$ при $U_1 = U_{1ном}$
- 2) $I_{0ном} = \frac{I_{0ном}}{I_{1ном}} \cdot 100\%$ ($U_1 = U_{1ном}$)

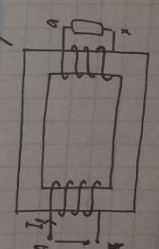


- 3) $P_{0ном}$ (при $U_1 = U_{1ном}$) - минимал потерь в трансформаторе

$I_2 = 0 \Rightarrow P_{механ} = 0$ и ваттметр показывает минимал потерь

Существует 2 вида потерь: обмоточная - эквивалентная и магнитороботочная - магнитная. П.к. т.к. холостого хода мал, а потери $\sim I_0^2$, то или можно преобразить и тогда ваттметр показывает минимал потерь в магнитороботочной

4.3. Работа трансформатора при нагрузке



$$U_2 = c \Phi$$

$$U_1 = \text{const} \quad \Phi = \text{const}$$

Между обмотками магнитными потоками и приложенными напряжениями существует электромагнитная равновесность. Если U_2 подводится соот, то Φ возрастает и индуцирует при loaded режиме, каковы бы изоглотной ходу, токи не и остаются.

$\vec{I}_2 \rightarrow \sim \vec{U}_2 \rightarrow \sim \vec{I}_2, U_2 \rightarrow \sim \Phi_2 \rightarrow \Delta \vec{E}_1 \rightarrow \sim \vec{I}_{1k} \rightarrow \Phi_{1k}$

Φ_{1k} по величине равен Φ_2 и противоположен ему. В процессе взаимодействия при нагрузке обмениваются потоками магнитного потока. При нагрузке магнитный во второй или называется ток \vec{I}_2 , который возрастает MDC и Φ_2 замыкается по магнитопроводу и суммируется с первичной обмоткой, индуцирует в ней дополнительную ЭДС ΔE_1 . Эта ЭДС создает компенсирующий ток I_{1k} , который создает свой ток $\sim \Phi_{1k}$. $\vec{\Phi}_{1k} = -\vec{\Phi}_2$. Числовые постоянные потока вычитаются и мерка определяется из первичной обмотки в сторону. Если ток \vec{I}_1 , то ток \vec{I}_{1k} .

4.4. Уравнение МДС и токов трансформатора

4.5. Приведенная обмотка

4.4. Уравнение МДС и токов трансформатора

$\Phi_2 + \Phi_1 = \Phi$. Из уравнения притока zero, это сумма токов по токовому и равна абсолютной поточку.

$$\vec{I}_2 \omega_2 + \vec{I}_1 \omega_1 = \vec{I}_0 \omega_1 \quad | \cdot \omega_2$$

$$\frac{\vec{I}_2}{(\omega_1/\omega_2)} + \vec{I}_1 = \vec{I}_0 \Rightarrow \vec{I}_1 = \vec{I}_0 - \vec{I}_2 \quad \text{Уравнение токов}$$

\vec{I}_2 - ток первичной

\vec{I}_0 - ток холостого хода

$\vec{I}_2' = \frac{\vec{I}_2}{k} \quad (k = \frac{\omega_1}{\omega_2})$ - приведенный ток вторичной обмотки

4.5. Приведенная обмотка

Для упрощения анализа процесса взаимодействия трансформатора реально широко вводится обмотку эквивалентную с числом витков как в первичной. При этом шаг от U_1 и U_2 и U_2' соответственно.

мк: величина индуктивности и магнитный поток равен

мк и приведенная обмотка равен

$$E_1', U_2', I_2', X_2', R_2', Z_2'$$

$$1) E_2' = k E_1 = E_1 ; U_2' = k U_2 = U_1 ;$$

$$2) U_2' I_2' = U_2 I_2 ; k U_2' I_2' = k U_2 I_2 ; k I_2' = I_2 ; I_2' = \frac{I_2}{k}$$

4.6. Схема замещения трансформатора

3) $I_2' R_2' = I_2^2 R_2$
 $\frac{I_2' R_2'}{k^2} = \frac{I_2^2 R_2}{k^2}$
 $\frac{R_2'}{k^2} = R_2$
 $R_2' = k^2 R_2$

по аналогии $X_2' = k^2 X_2$; $Z_2' = k^2 Z_2$

этого момента рассматриваем приведенный параметр.

4.6. Схема замещения трансформатора

Линейная схема трансформатора.

первая обмотка вторая обмотка

R_1 - обусловлено тем, что обмотка выполнена проводом
 X_1 - обусловлено силой магнитного потока, который при замыкании по магнитопроводу.
 X_2 - обусловлено тем же самым процессом, обусловлено только силой обмоткой.

4.7. Векторная диаграмма трансформатора

Векторно приведенно $E_1 = E_2'$ -> помечают C, a, D, c, d рефер, и обозначают.

$I_0 \rightarrow 0 \Rightarrow X_{\mu} \rightarrow \infty$

ветвь $X_1 \parallel \omega L$, а нормальную ветвь с ω сопротивлением можно отбросить. Тогда это и R_2 и R_2' , X_2 и X_2' суммируются погасивать магниты, но можно считать $R_2 + R_2' = R_k$; $X_1 + X_2' = X_k$; $I_2 = -I_2'$

Учитывая это, наметим упрощенную схему замещения

или

$I_0 \rightarrow 0$ $I_2 \rightarrow \infty$

Итого Киргофа: $U_2 = U_2' + j X_k I_2' + I_2' R_k$ - упрощенная на напряжение трансформатора.

4.7. Векторная диаграмма трансформатора

1) U_2'

4.8. Короткое замыкание трансформатора

1) R - индук. нагрузка; I_2'
 2) $I_2' R_k \parallel I_2'$
 3) $j = \frac{U_2}{S} ; j I_2' R_k$
 4) U_2 (*)
 5) R - с-с. нагрузка

4.8. Короткое замыкание трансформатора
 Короткое замыкание - все время расчеты выполняются при минимальном сопротивлении дуги и 0. Температуры в обмотках трансформатора повышается, т.к. трансформатор сильно нагревается. Трансформатор сильно нагревается от короткого замыкания. В случае короткого замыкания трансформатор работает короткое время. При этом, не превышающий номинальной.

4.9. Внешняя характеристика трансформатора

$V_{K\%} = \frac{V_{1K}}{V_{1ном}} \cdot 100\%$ V_{1K} при $I_2 = I_{2ном}$
 5% - 10% от внешней характеристики трансформатора.
 Рассчитать силу тока трансформатора.

4.9. Внешняя характеристика трансформатора
 $I_2' R_k = U_1' - U_2'$ - падение напряжения
 Падение напряжения - векторная разность напряжений в начале и конце элемента.
 $\Delta U = U_1 - U_2'$ - падение напряжения - амплитудная разность напряжений в начале и конце элемента.
 $U_1 = U_2' + R_k I_2' + j X_k I_2'$
 $f \rightarrow 0 \Rightarrow U_1 = U_2'$ - замкнуты по трансформатору
 на ось, сообразно U_2'
 OF - проекция U_1
 DB \perp оси U_2' ; CF \perp оси U_2'
 $\Delta U = U_1 - U_2' = OF - OA = FA$
 $FA = DF \rightarrow DA$

4.10. КПД и потери трансформатора

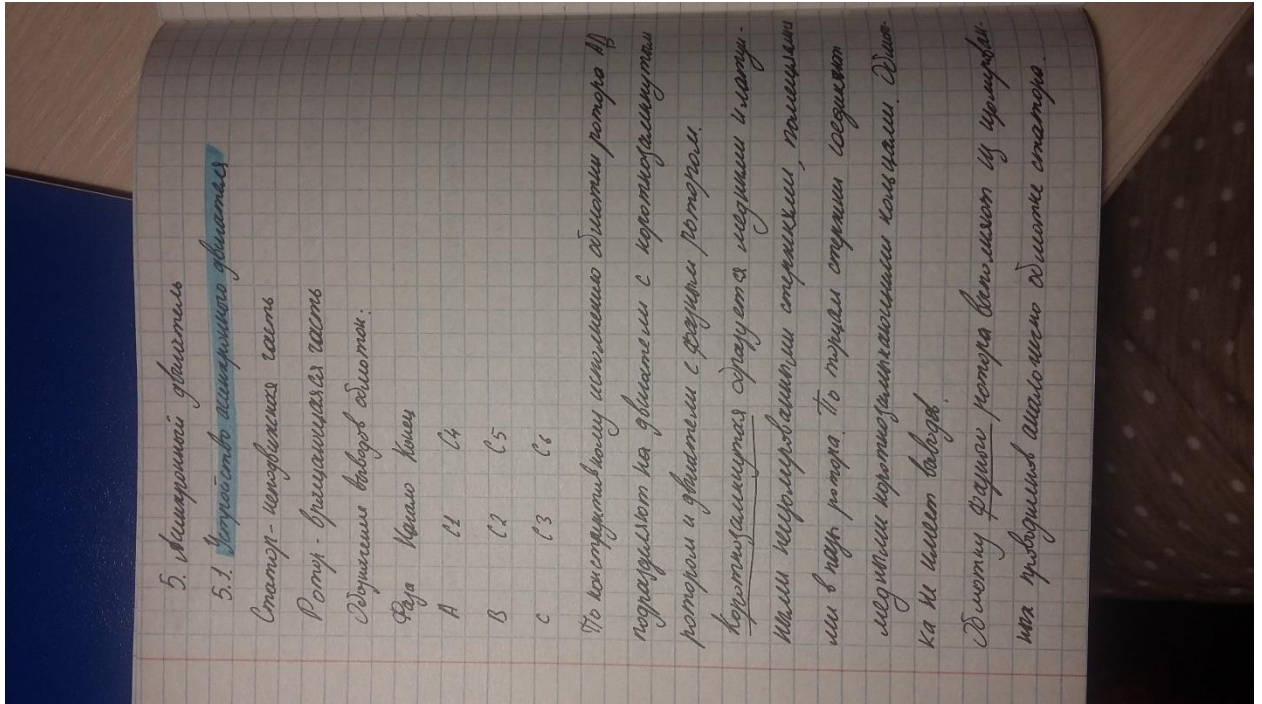
$DF = X_k I_2 \sin \varphi_2 + R_k I_2 \cos \varphi_2$
 $\Delta U = I_2 (R_k \cos \varphi_2 + X_k \sin \varphi_2)$ - потери напряжения, зависят от нагрузки I_2' , от параметров трансформатора R_k и X_k и характера нагрузки φ_2 (или активной $\varphi_2 = 0$ или реактивной $\varphi_2 > 0$, или индуктивной $\varphi_2 < 0$).
 $U_2' = f(I_2')$ $U_2 = f(I_2)$
 Три условия, если $U_1 = \cos \varphi_1$ и $\varphi_2 = \cos \varphi_1$
 $U_2' = U_1 - \Delta U$
 $U_2' = U_1 - I_2' (R_k \cos \varphi_2 + X_k \sin \varphi_2)$
 1) активная нагрузка: $\varphi_2 = 0$, $\Delta U_k = I_2 R_k$
 2) реактивная нагрузка: $\sin \varphi_2 = 0,8$, $R_k \ll X_k$, U_1
 $\Delta U_{kl} = I_2' (R_k \cdot 0,8 + X_k \cdot 0,6)$
 $\Delta U_{kl} > \Delta U_k$
 3) R-L: $\cos \varphi_2 = 0,8$, $\sin \varphi_2 = 0,6$
 $\Delta U_{kl} = I_2' (R_k \cdot 0,8 - X_k \cdot 0,6) < 0$
 нагрузка компенсируется и превышает 5% $\Delta U < 5\%$

4.10. КПД и потери трансформатора
 Задача потерь: активными боковыми I_1 и суммируем в отделе короткого замыкания. $P_{\text{кз}} = I_1^2 R_k$

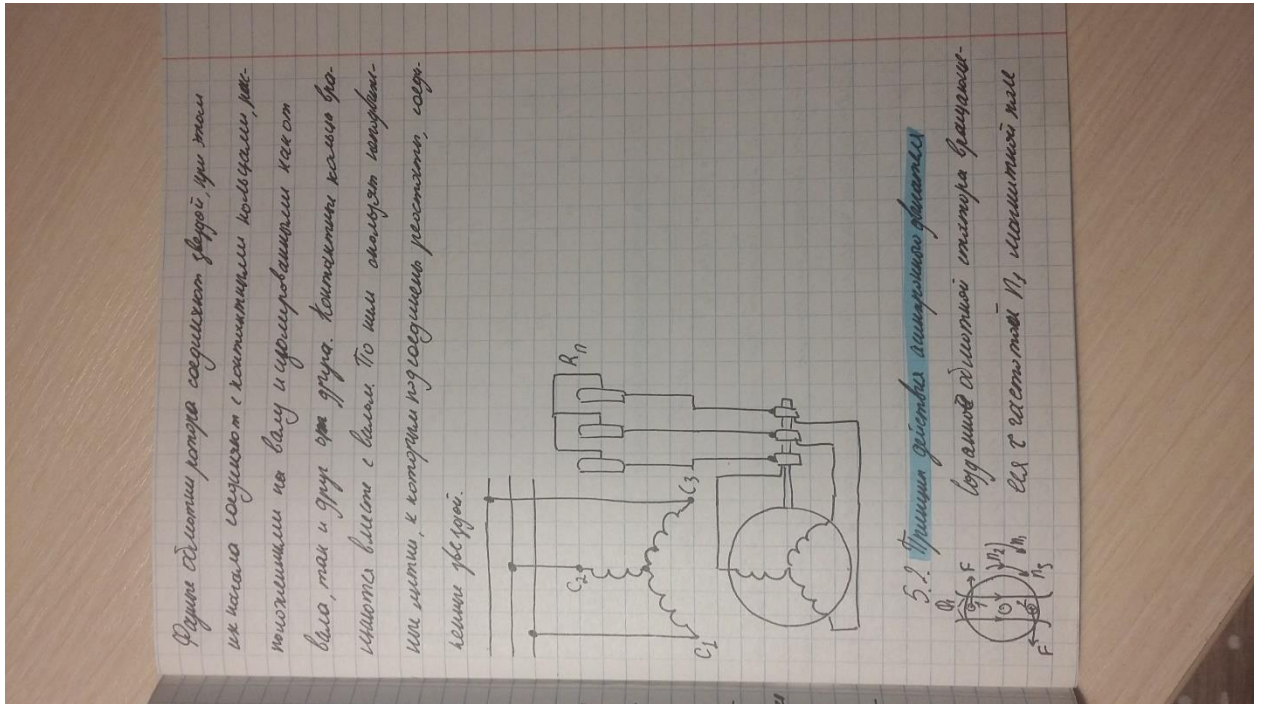
машины в электротехнике $\sim U^2$, определяемо в отделе короткого хода.
 $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, P_1 - мощность отдаваемая нагрузке (на ось), P_2 - мощность потребляемая от сети (подведенная на ось).
 Машины трансформатора имеют потери 1, 2, 3 % и при этом измерены P_2 и P_1 при работе с коротким замыканием 1, 2 % могут дать неверные результаты η .
 Третьим методом не пользуются, а используют только этот метод.
 $P_2 = P_1 = \Sigma \text{ мощности}$
 $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{1k} + P_{10}}$
 $P_2 = UI \cos \varphi_2 = S_2 \cos \varphi_2$
 коэффициент нагрузки $\beta = \frac{I_1'}{I_{1\text{ном}}} = \frac{I_2'}{I_{2\text{ном}}}$
 $0 \leq \beta \leq 1$
 $S_2 = S_{2\text{ном}} \beta$, $I_2' = I_{2\text{ном}} \beta$
 $\eta = \frac{S_{2\text{ном}} \beta \cdot \cos \varphi_2}{S_{2\text{ном}} \beta \cos \varphi_2 + P_{10} + I_{1\text{ном}}^2 \beta^2 R_k}$ $\eta = f(\beta)$
 находим max:
 $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$ $\beta_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{P_{10}}{P_{1k}}}$ $0,5 < \beta_{\text{опт}} < 0,7$

5. Асинхронный двигатель

5.1. Устройство асинхронного двигателя



5.2. Принцип действия асинхронного двигателя



5.3. Пуск асинхронного двигателя

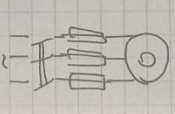
наша - либо втягиваемая устройств.

2) остаточный ток при коротке на фазе нуля к обмотке ротора подмагнивает нулевой резистант;

3) ток при наименьшем сопротивлении, подмагнивает к обмотке статора.

Прямой пуск. Применяют при пуске с короткозамкнутой ротором малой и средней мощности.

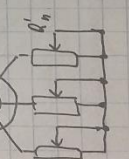
Пуск с наименьшим сопротивлением. Применяют только для двигателей с фазным ротором. При фазной нулевой резистант выключают последовательно с обмоткой ротора конденсаторы и кольца.



$$I_{\Delta} = \frac{U_l}{\sqrt{(R_1 + R_2' + R_{\Sigma})^2 + (X_1 + X_2')^2}} \rightarrow I_{\Delta} \approx I_{\Delta} \cdot \sqrt{3}$$

$R_1' = X_1 - R_1'$ - сопротивлением нулевой резистант для $M_{\Sigma} = M_{max}$.

Пуск при наименьшем сопротивлении. Применяют для короткозамкнутого ротора и при отсутствии нагрузки на валу двигателя.



Для пуск обмотки статора соединяют звездой $\Rightarrow U_{\Sigma} = U_{\Sigma} / \sqrt{3}$, $I_{\Sigma} = I_{\Sigma} \cdot \sqrt{3}$.

1) увеличивает проводимость обмотки ротора и увеличивает его вилл ЭДС. Подмагнивает ЭДС вилл увеличивает ток ротора. На фазовый двигатель или фазовый и вращаются вращательный момент на валу.

Скорость вращения увеличивается ступенчатую ротора. Эммент вращается магнитного поля и ротора.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$$

$$n_2 = (1 - s) n_1 = (1 - s) \frac{60 \cdot f}{p} \quad 0 \leq s \leq 1$$

$$\uparrow n_1 \rightarrow \downarrow n_2 \rightarrow \uparrow s$$

5.3. Пуск асинхронного двигателя

$$I_{\Delta}' = \frac{U_l}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad \text{— нулевой ток ротора}$$

$$I_{\Delta} = I_{\Delta}' \cdot \sqrt{3} \quad \text{— нулевой ток статора} \quad I_{\Delta} = (1.5 \dots 2) I_{\Delta}'$$

При пуске необходим изменить нулевой ток. Это обусловлено подмагниванием нулевой резистант к обмотке фазового ротора и наименьшем на период пуск U_{Σ} .
 Условие пуск:

1) прямой пуск, когда обмотку статора двигателя выключают на наимее наименьшем сети до пуск.

5.4. Рабочие характеристики и их улучшение

привычный момент

$M_{2, \text{ном}}$
 $I_{2, \text{ном}}$

$M_2 = \frac{P_2}{\Omega \cdot n_2} = \frac{P_2}{2\pi n_2 / 60} = 9.55 \frac{P_2}{n_2}$

коэффициент скольжения s

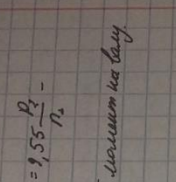
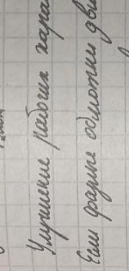
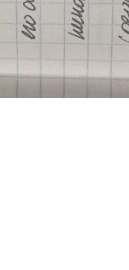

$I_1 = I_0 + (-I_2')$

лучшие рабочие характеристики

Еще формы обмотки фазового расщепления на внешние и внутренние, равное линейному напряжению эти обмотки статора делают более совершенными и надежными. В таком случае для улучшения характеристик соединяют обмотки статора фазой.

Методом сопоставления тока ротора при соединении обмотки статора γ в $\sqrt{3}$ раза больше, чем при Δ

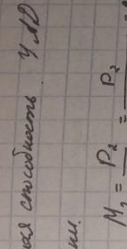
$I_{2, \text{н}} = \sqrt{3} I_{2, \text{д}}$ $\varphi_{2, \text{н}} < \varphi_{2, \text{д}} \Rightarrow \cos \varphi_{2, \text{н}} > \cos \varphi_{2, \text{д}} \rightarrow \eta_{\text{н}} > \eta_{\text{д}}$

Почему нагрузки и увеличивая коэффициент ток можно сделать с помощью автоматического регулятора

5.4. Рабочие характеристики и их улучшение

Максимальная эффективность



максимальная эффективность 94...97% от n

Как бы не изменялся турбопоток момент в пределах обмоточный момент фазового расщепления можно обеспечить, если это будет обеспечено, чтобы это устройство было это устройство внутренне сбалансированным

Максимальный момент -