

Вопросы к ОКР по электрическим машинам с краткими ответами

1 Устройство и принцип действия коллекторной МПТ

Машина постоянного тока состоит из двух частей: неподвижной – статора и подвижной – ротора. Статор – пустотелый стальной цилиндр, на внутренней поверхности которого располагаются полюсы магнитной системы с обмотками возбуждения. Ротор – сердечник из отдельных листов электротехнической стали, в пазы которого укладывается якорная обмотка, подключаемая к пластинам коллектора, к которым прижаты щётки.

В генераторах происходит преобразование механической энергии в электрическую за счёт электромагнитной индукции. В проводах, движущихся в магнитном поле возникает ЭДС, снимаемая со щёток. Переменная ЭДС витков якорной обмотки выпрямляется коллекторно-щёточным устройством. Чтобы генератор работал в нём надо возбудить магнитное поле. При протекании тока нагрузки по якорной обмотке создаётся тормозящий момент.

Двигатель преобразует электрическую энергию в механическую.

На проводники с током якорной обмотки в магнитном поле действуют электромагнитные силы, и возникает вращающий момент. При вращении секции якорной обмотки переключаются с помощью коллектора, в них меняется направление тока.

Приложенное к якору двигателя напряжение U уравновешивается противоЭДС E , возникающей в движущихся проводниках якорной обмотки и падением напряжения на их сопротивлении.

2 Обмотки якоря, ЭДС и электромагн. момент, реакция якоря МПТ

В простой петлевой обмотке начало и конец секции присоединены к рядом расположенным коллекторным пластинам. В волновой обмотке секция по форме напоминает волну.

Волновую последовательную обмотку применяют в электрических машинах больших напряжений, а петлевую параллельную – в машинах больших токов. Сложные обмотки представляют собой некоторое количество простых обмоток, уложенных на якоре и соединённых параллельно с помощью щёток. Для них требуются уравниватели, электрически соединяющие простые обмотки.

В движущихся проводниках якорной обмотки МПТ наводится ЭДС $E = c_E \cdot n \cdot \Phi$, которая у генераторов является рабочей, создающей ток в нагрузочной цепи, а у двигателей – противоЭДС, ограничивающей ток в якорной обмотке.

При протекании тока по проводникам якорной обмотки на них действует электромагнитная сила, создающая момент $M_{эм} = c_M \cdot I_a \cdot \Phi$. У двигателей этот момент является вращающим, у генераторов – тормозящим.

Воздействие поля якоря на поле индуктора называется *реакцией якоря*. Она искажает магнитное поле, уменьшает магнитный поток и сдвигает физическую нейтраль с геометрической нейтрали.

При коммутации (переключении секции якорной обмотки из одной параллельной ветви на другую при вращении якоря) реакция якоря вызывает искрение на щётках, для уменьшения которого применяют дополнительные полюсы или сдвиг щёток с геометрической нейтрали.

3 Генераторы и двигатели постоянного тока, их характеристики.

Пуск, реверсирование и торможение двигателя

У *магнитоэлектрических* генераторов полюса из постоянных магнитов. Генератор, в котором обмотка возбуждения получает питание от постороннего источника тока, называют генератором с *независимым* возбуждением. Если напряжение на обмотку возбуждения подается с зажимов якоря того же генератора, то его называют генератором с *самовозбуждением*. Это могут быть генераторы *параллельного* и *смешанного* возбуждения

Двигатель **параллельного** возбуждения содержит якорную обмотку, параллельную (шунтовую) обмотку возбуждения, обмотку дополнительных полюсов. Двигатель имеет жёсткую нагрузочную характеристику. Для регулировки частоты вращения применяют реостат в цепи возбуждения или изменяют напряжение питания с помощью управляемого выпрямителя.

Двигатели **последовательного и смешанного** возбуждения имеют серийные обмотки возбуждения, включаемые последовательно с якорем. Двигатель с последовательным возбуждением имеет мягкую гиперболическую нагрузочную

характеристику, со смешанным – более жёсткую (промежуточную между характеристиками двигателей параллельного и последовательного возбуждения.

При **пуске** двигателя в ход необходимо обеспечить надлежащий пусковой момент и предотвратить возникновение чрезмерного пускового тока, опасного для двигателя.

Возможны три способа пуска двигателя в ход:

- 1) прямой (применяется для двигателей малой мощности);
- 2) пусковым реостатом, включаемым последовательно в цепь якоря;
- 3) понижением напряжения в цепи якоря.

Для **реверсирования** требуется изменить полярность или обмотки возбуждения или якоря.

Различают следующие виды электрического **торможения**: рекуперативное, динамическое, противовключением.

4 Как устроен и работает трёхфазный асинхронный двигатель?

Двигатель состоит из неподвижной части – статора и подвижной части – ротора. Статор имеет сердечник в виде полого цилиндра из кольцевых пластин электротехнической стали в пазы которого уложена медная обмотка, состоящая из трёх секций. Сердечник ротора также собран из пластин. В его пазах находятся стержни роторной обмотки, по торцам соединённые кольцами (беличья клетка).

В фазном роторе в пазах сердечника ротора находится обмотка из медных проводов, соединённая с контактными кольцами

При включении обмотки статора в сеть трёхфазного тока возникает вращающееся магнитное поле статора, частота вращения которого n_1 определяется выражением $n_1 = f_1 \cdot 60 / p$

Вращающееся поле статора сцепляется как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора и наводит в них ЭДС. ЭДС ротора создает в стержнях обмотки ротора токи. Магнитное поле статора увлекает за собой ротор, который отстаёт от него (это называется скольжением s) и вращается со скоростью $n_2 = n_1 \cdot (1 - s)$.

В соответствии с принципом обратимости электрических машин асинхронные машины могут работать как в двигательном, так и в генераторном режимах. Кроме того, возможен и режим электромагнитного торможения противовключением. В двигательном режиме ротор следует за магнитным полем статора $0 < s < 1$. В генераторном режиме ротор обгоняет магнитное поле статора $-\infty < s < 0$

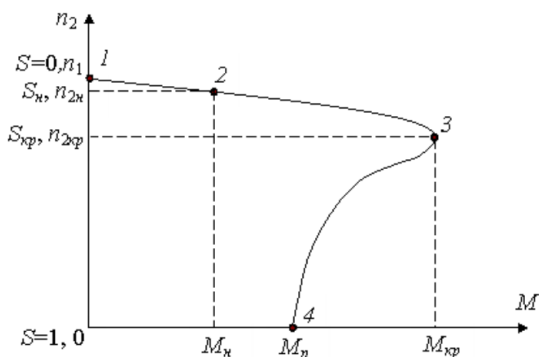
В режиме торможения противовключением ротор движется напротив движения магнитного поля статора $1 < s < +\infty$.

5 Какие характеристики имеет асинхронный двигатель?

Процесс преобразования электрической энергии в механическую сопровождается потерями ΔP – механическими и электрическими. Коэффициент полезного действия $\eta = (P_1 - \Delta P) / P_1$.

Механическая характеристика асинхронного двигателя это зависимость частоты вращения от момента на валу.

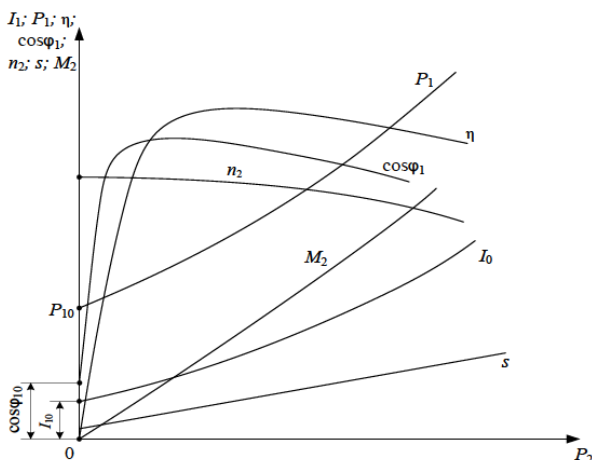
На графике отмечены точки холостого хода 1, номинального 2, критического 3 и пускового 4 режимов. На холостом ходу, когда момент сопротивления равен 0, частота вращения ротора n



приближается к частоте вращения магнитного поля n_1 (точка 1). По мере появления и увеличения момента нагрузки до номинального M_n частота вращения ротора уменьшается до номинальной n_n , соответствующей номинальному скольжению S_n (точка 2). Дальнейшее увеличение момента нагрузки до максимального M_m приводит к дальнейшему уменьшению частоты вращения до значения, соответствующего критическому скольжению $S_{кр}$ (точка 3). При превышении моментом максимального значения двигатель останавливается ($n = 0$; $s = 1$, точка 4),

его обмотки начинают гореть; он должен быть отключен. Эта же точка 4 графика соответствует первоначальному моменту пуска двигателя.

Рабочие характеристики асинхронного двигателя показывают, как при увеличении мощности на валу P_2 при $U_1 = \text{const}$ и $f_1 = \text{const}$ уменьшается n_2 , растут s , ток I_1 , M_2 и P_1 ; растут, достигают максимума и затем уменьшаются коэффициент мощности $\cos \phi_1$ и КПД η .



6 Как осуществляется пуск в ход, реверс, регулировка частоты вращения асинхронных двигателей?

Основными показателями пусковых свойств асинхронных двигателей являются пусковой момент M_n и пусковой ток I_n .

Практически используют следующие способы **пуска**:

- непосредственное подключение обмотки статора к сети (прямой пуск);
- понижение напряжения, подводимого к обмотке статора при пуске: (переключение со «звезды» на «треугольник»; пуск через реактор; пуск через автотрансформатор);
- подключение к обмотке фазного ротора пускового реостата;
- частотный пуск. Требуется специальный источник питания с регулируемой частотой.

Реверс – это изменение направления вращения ротора. Осуществляется изменением порядка чередования фаз подводимого напряжения с помощью применения двух контакторов и двух кнопок «Пуск».

Частоту вращения двигателя можно регулировать следующими способами: изменением частоты f_1 питающего напряжения, числа пар полюсов p и величины скольжения s и изменения величины питающего напряжения.

- Частотное регулирование требует преобразователя частоты.
- Способ изменения числа пар полюсов статорной обмотки требует особого её устройства.
- Изменение скольжения путём включения в цепь ротора добавочного активного сопротивления применяется в двигателях с фазным ротором.
- Для регулирования частоты вращения за счёт изменения питающего напряжения нужен тиристорный регулятор напряжения

7 Устройство синхронных машин, принцип действия, реакция якоря

Синхронная машина состоит из неподвижной части – статора, и вращающейся части – ротора. Статор СМ состоит из чугунной станины – корпуса, внутри которого находится сердечник статора, собранный из отдельных, изолированных между собой листов электротехнической стали. В пазы сердечника укладывают обмотку статора из медного изолированного провода.

По конструкции ротора существуют СМ с явнополюсным и неявнополюсным ротором. Ток в обмотку возбуждения подается через контактные кольца и щётки. Бывают СМ с магнитоэлектрическим возбуждением (используются постоянные магниты).

Принцип действия СМ основан на вращении магнитного поля. В генераторе это поле создаётся магнитом (электромагнитом) ротора, его силовые линии пересекают витки статорной обмотки, наводя в них ЭДС.

В двигателе вращающееся магнитное поле создаётся токами, протекающими по статорной обмотке, и увлекает за собой магнит (электромагнит) ротора.

Магнитное поле и ротор вращаются с одинаковой частотой, поэтому машины называют **синхронными**. Синхронные машины широко применяются в народном хозяйстве как электрические генераторы и двигатели преимущественно большой мощности.

При протекании по обмотке якоря тока нагрузки генератора создается собственное магнитное поле, которое воздействует на поле обмотки возбуждения. Влияние магнитного потока якоря Φ_a на поле обмотки возбуждения Φ_0 называется **реакцией якоря**.

При чисто *активной нагрузке* реакция якоря поперечная.

При *индуктивной нагрузке* ток I отстает от ЭДС на 90° , и реакция якоря будет продольной размагничивающей. При *ёмкостной нагрузке* реакция якоря продольная подмагничивающая.

Для компенсации действия реакции якоря изменяют ток возбуждения, при активной и индуктивной нагрузке его увеличивают, при ёмкостной – уменьшают.

8 Характеристики СГ при автономной и параллельной работе.

Характеристика холостого хода СГ представляет собой график зависимости напряжения на выходе генератора в режиме холостого хода от тока в обмотке возбуждения I_B . При увеличении I_B напряжение растёт.

Внешняя характеристика СГ определяет зависимость $U = f(I)$ при $I_B = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$, $f = f_H$ и показывает, как изменяется напряжение на зажимах генератора U при изменении нагрузки и неизменном токе возбуждения. При активной и индуктивной нагрузке напряжение падает.

Регулировочная характеристика определяет зависимость $I_B = f(I)$ при $U = U_H = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$, $f = \text{const}$ и показывает, как нужно регулировать ток возбуждения синхронного генератора, чтобы при изменении нагрузки его напряжение оставалось неизменным. При активной и индуктивной нагрузке I_B нужно увеличивать.

Большинство синхронных генераторов работают в параллель с сетью.

Для включения синхронных трёхфазных генераторов на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия:

- 1) равенство действующих значений напряжения сети U_c и напряжения (ЭДС) на зажимах генератора U_g включаемого в сеть;
- 2) напряжения сети U_c и генератора U_g в момент включения должны совпадать по фазе;
- 3) равенство частот генератора f_g и сети f_c которое достигается регулированием частоты вращения;
- 4) одинаковая последовательность чередования фаз сети и генератора.

Несоблюдение может вызвать серьезную аварию и разрушение СГ.

Регулирование осуществляется изменением тока возбуждения. При небольших его значениях ток статорной обмотки достаточно велик, генератор потребляет из сети индуктивную мощность, Это режим недовозбуждения. По мере увеличения I_b ток статорной обмотки уменьшается, проходит минимум (режим нормального возбуждения), $\cos\varphi = 1$, и затем опять увеличивается – режим перевозбуждения – при нём генератор отдаёт в сеть ёмкостную реактивную мощность. Получается U -образная характеристика, минимум которой по мере увеличения активной нагрузки смещается в сторону больших I_b .

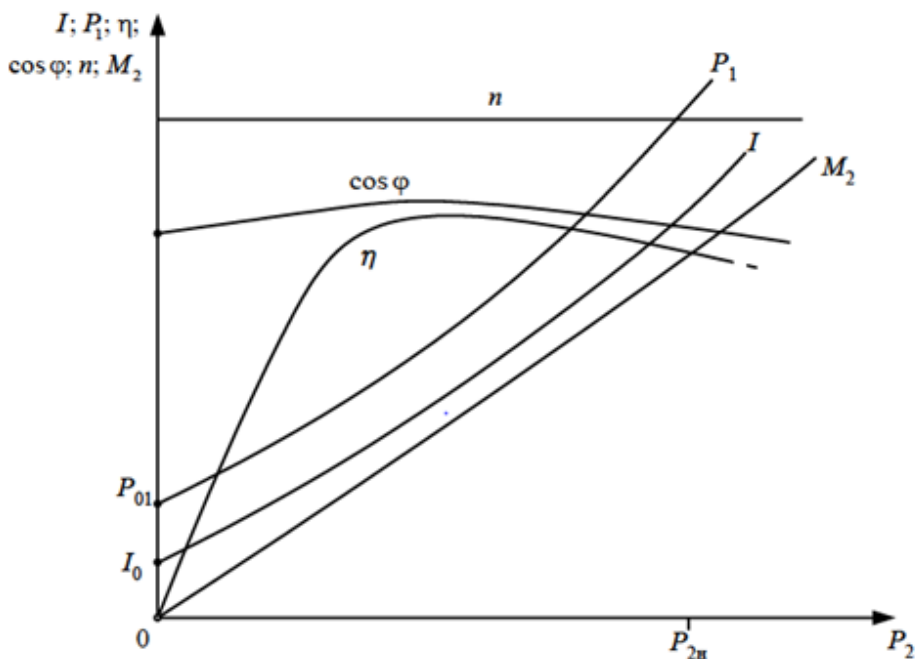
При изменении возбуждения генератора изменяется только его реактивная мощность, активная зависит от нагрузки.

9 Момент, рабочие характеристики и пуск синхронного двигателя.

К статору синхронного двигателя подводят трехфазный переменный ток, а к обмотке возбуждения ротора – постоянный. Вращающееся магнитное поле создаёт **момент** $M = 3 \cdot I \cdot U \cdot \cos\varphi / \omega_p = M_{\max} \cdot \sin\Theta$, где Θ – угол рассогласования. При этом с увеличением нагрузки угол Θ увеличивается, момент возрастает по синусоидальному закону. Если момент нагрузки превысит $M_{\max}$, то поддержание синхронной частоты вращения ротора будет невозможно и машина выпадет из синхронизма.

Вращающий момент синхронного двигателя пропорционален приложенному напряжению, а в асинхронном – квадрату напряжения.

Рабочие характеристики синхронного двигателя показывают как при увеличении полезной мощности на валу двигателя P_2 частота вращения ротора n остаётся постоянной, полезный вращающий момент M_2 увеличивается пропорционально, ток статора I и потребляемая из сети мощность P_1 возрастают от начальных значений с некоторым опережением, коэффициент мощности $\cos\varphi$ и КПД η увеличиваются, достигают максимума и затем уменьшаются. Снято при постоянных значениях напряжения сети U , частоты сети f и тока возбуждения I_b .



Пуск синхронного двигателя возможен лишь при условии предварительного разгона до частоты, равной синхронной или близкой к ней. Для синхронных двигателей обычно применяется асинхронный пуск, состоящий в том, что в начале пуска двигатель разгоняется как асинхронный. Для этого на роторе размещается пусковая обмотка.

При подключении обмотки статора к сети возникает вращающееся магнитное поле, которое индуцирует токи в пусковой обмотке ротора. В результате возникает вращающий момент, и двигатель разгоняется до некоторой установившейся частоты n_0 . В процессе асинхронного пуска обмотку возбуждения нельзя оставлять разомкнутой, на период разгона ротора её замыкают на активное сопротивление, примерно в десять раз большее сопротивления обмотки возбуждения.

После разгона обмотка возбуждения отключается от сопротивления и подключается к источнику постоянного тока. В результате возникает обычный для СМ момент взаимодействия вращающегося поля статора и полюсов ротора, и СМ втягивается в синхронизм, т. е. ротор начинает вращаться синхронно с полем.

10 Назначение, устройство и работа трансформаторов.

Трансформатор предназначен для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте и мощности. Различают трансформаторы силовые и специальные (измерительные, согласующие, сварочные, автотрансформаторы, импульсные и т. д.).

Трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника) и обмоток. В трансформаторах с масляным охлаждением они помещены в бак, наполненный трансформаторным маслом

При подключении к сети переменного тока первичной обмотки в ней возникает ток, который создает переменный магнитный поток Φ , пронизывающий как первичную, так и вторичную обмотки. Малая часть потока замыкается по воздуху – поток рассеяния Φ_s .

Основной поток Φ индуцирует в обмотках переменные ЭДС – e_1 и e_2 , равные $e_1 = -w_1 d\Phi/dt$; $e_2 = -w_2 d\Phi/dt$, при $k = e_1 / e_2 = w_1 / w_2$.

Если к вторичной обмотке подключить нагрузку, то под воздействием ЭДС E_2 в ней протекает ток I_2 . Этот ток создает магнитный поток вторичной обмотки; он направлен навстречу потоку, создаваемому в сердечнике первичной обмоткой, пытаясь его уменьшить. Это приоткрывает путь току первичной обмотки, который увеличивается, создаваемый им дополнительный магнитный поток полностью компенсирует собой поток вторичной обмотки и результирующий поток в сердечнике трансформатора практически не изменится.

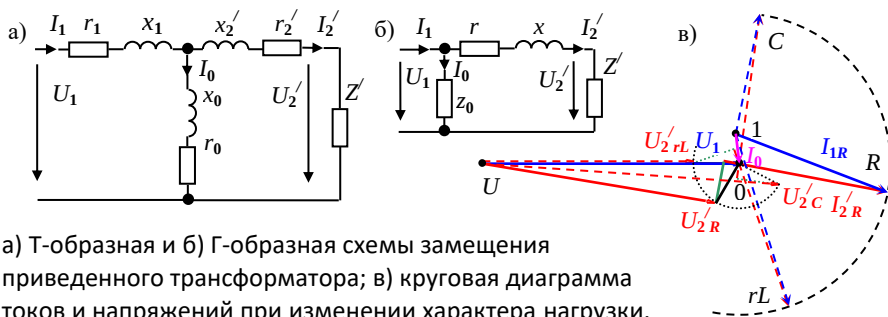
Таким образом, в трансформаторе автоматически изменяется величина тока, поступающего из сети в соответствии с изменением нагрузки. При этом $U_1 \approx E_1$ и $U_2 \approx E_2$.

11 Приведенный трансформатор. Схемы замещения и круговая диаграмма

Приведение параметров вторичной обмотки к напряжению первичной с помощью коэффициента k позволяет условно заменить магнитную связь между обмотками на электрическую, а на схеме замещения электрически соединить эти обмотки в форме буквы Т. Т-образная схема замещения приведенного трансформатора содержит:

- сопротивления проводов обмоток, первичной r_1 и вторичной $r_2' = k^2 r_2$;
- индуктивные сопротивления первичной $x_1 = \omega L_{S1}$ и вторичной $x_2' = k^2 x_2 = k^2 \omega L_{S2}$ обмоток, учитывающие магнитные потоки рассеяния;

- ветвь перемагничивания сердечника, состоящую из индуктивного сопротивления x_0 , учитывающего магнитный поток связи, и активного сопротивления r_0 , учитывающего потери в сердечнике.



а) Т-образная и б) Г-образная схемы замещения приведенного трансформатора; в) круговая диаграмма токов и напряжений при изменении характера нагрузки.

На Г-образной схеме активное сопротивление $r = r_1 + r_2'$, а рассеяние магнитного потока – в виде индуктивного сопротивления $x = x_1 + x_2'$.

На диаграмме $I_0 + I_2'_{R} = I_{1R}$, (по первому закону Кирхгофа).

$U_2'_{R} = U_1 - r I_2' - j x I_2'$ (по второму закону Кирхгофа).

Вектор I_2' вращается вокруг т.О, по часовой стрелке от С через R до rL.

Одновременно по часовой стрелке поворачивается треугольник потерь.

12 Падение напряжения трансформатора под нагрузкой и КПД

Под нагрузкой напряжение падает, $\Delta u\%$ определяют из векторной диаграммы, соответствующей Г-образной схеме замещения по формуле

$$\Delta u\% = \beta (u_{\text{кн}}\% \cos \varphi_2 + u_{\text{рп}}\% \sin \varphi_2),$$

где β – коэффициент нагрузки трансформатора равный отношению реального тока вторичной обмотки к номинальному значению тока в ней

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{н}}} \approx \frac{I_1}{I_{1\text{н}}}; u_{\text{кн}}\% = \frac{I_{1\text{н}} r_{\text{к}}}{U_{1\text{н}}} \cdot 100\%; u_{\text{рп}}\% = \frac{I_{1\text{н}} x_{\text{к}}}{U_{1\text{н}}} \cdot 100\%.$$

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2 + (P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}})}$$

где β – коэффициент нагрузки ;

$\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности.

КПД имеет максимум

при $\beta_{\text{опт}}$ при $P_0 = P_{\text{кн}}$.

Для большинства

трансформаторов

$\beta_{\text{опт}} = 0,5 \dots 0,7$, $\eta_{\text{макс}} = 0,98-0,99$ для

мощных трансформаторов,

снижается до 0,6 при $S_{\text{н}}$ до 10 ВА.

$$\beta_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{\text{кн}}}}$$

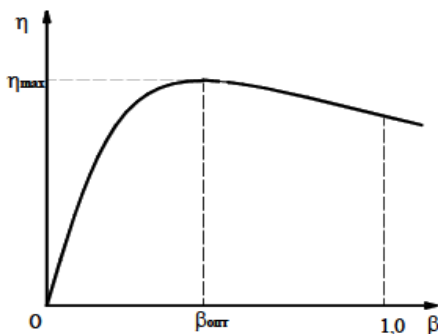


Рисунок 1.15 – Зависимость КПД трансформатора от коэффициента нагрузки при $\cos \varphi_2 = \text{const}$