**Режимы работы асинхронных двигателей**

Реферат выполнил ст-т 6-ого куса, 12 гр., спец. 1801, Полукаров А.Н.

Самарский Государственный Технический Университет

Кафедра «Электромеханика и нетрадиционная энергетика»

Самара, 2006

**1. Введение.**

**Общие сведения об асинхронных машинах.**

Асинхронной машиной называется двухобмоточная электрическая машина переменного тока, у которой только одна обмотка (первичная) получает питание от электрической сети с постоянной частотой ω1, а вторая обмотка (вторичная) замыкается накоротко или на электрические сопротивления. Токи во вторичной обмотке появляются в результате электромагнитной индукции. Их частота ω2 является функцией угловой скорости ротора Ω, которая в свою очередь зависит от вращающего момента, приложенного к валу.

Наибольшее распространение получили асинхронные машины с трехфазной симметричной разноименнополюсной обмоткой на статоре, питаемой от сети переменного тока, и с трехфазной или многофазной симметричной разноименнополюсной обмоткой на роторе.

Машины такого исполнения называют просто «асинхронными машинами», в то время как асинхронные машины иных исполнений относятся к «специальным асинхронным машинам».

Асинхронные машины используются в основном как двигатели; в качестве генераторов они применяются крайне редко.

Асинхронный двигатель является наиболее распространенным типом двигателя переменного тока.

Разноименнополюсная обмотка ротора асинхронного двигателя может быть короткозамкнутой (беличья клетка) или фазной (присоединяется к контактным кольцам). Наибольшее распространение имеют дешевые в производстве и надежные в эксплуатации двигатели с короткозамкнутой обмоткой на роторе, или короткозамкнутые двигатели. Эти двигатели обладают жесткой механической характеристикой (при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной их частота вращения уменьшается всего на 2—5%).

Двигатели с короткозамкнутой обмоткой на роторе обладают также довольно высоким начальным пусковым вращающим моментом. Их основные недостатки: трудность осуществления плавного регулирования частоты вращения в широких пределах; потребление больших токов из сети при пуске (в 5—7 раз превышающих поминальный ток).

Двигатели с фазной обмоткой на роторе или двигатели с контактными кольцами избавлены от этих недостатков ценой усложнения конструкции ротора, что приводит к их заметному удорожанию по сравнению с короткозамкнутыми двигателями (примерно в 1,5 раза). Поэтому двигатели с контактными кольцами на роторе находят применение лишь при тяжелых условиях пуска, а также при необходимости плавного регулирования частоты вращения.

Двигатели с контактными кольцами иногда применяют в каскаде с другими машинами. Каскадные соединения асинхронной машины позволяют плавно регулировать частоту вращения в широком диапазоне при высоком коэффициенте мощности, однако из-за значительной стоимости не имеют сколько-нибудь заметного распространения.

В двигателях с контактными кольцами выводные концы обмотки ротора, фазы которой соединяются обычно в звезду, присоединяются к трем контактным кольцам. С помощью щеток, соприкасающихся с кольцами, в цепь обмотки ротора можно вводить добавочное сопротивление или дополнительную ЭДС для изменения пусковых или рабочих свойств машины; щетки позволяют также замкнуть обмотку накоротко.

В большинстве случаев добавочное сопротивление вводится в обмотку ротора только при пуске двигателя, что приводит к увеличению пускового момента и уменьшению пусковых токов и облегчает пуск двигателя. При работе асинхронного двигателя пусковой реостат должен быть полностью выведен, а обмотка ротора замкнута накоротко. Иногда асинхронные двигатели снабжаются специальным устройством, которое позволяет после завершения пуска замкнуть между собой контактные кольца и приподнять щетки. В таких двигателях удается повысить КПД за счет исключения потерь от трения колец о щетки и электрических потерь в переходном контакте щеток.

Выпускаемые заводами асинхронные двигатели предназначаются для работы в определенных условиях с определенными техническими данными, называемыми номинальными. К числу номинальных данных асинхронных двигателей, которые указываются в заводской табличке машины, укрепленной на ее корпусе, относятся:

механическая мощность, развиваемая двигателем, Рн = P2н;

частота сети f1;

линейное напряжение статора U1лн

линейный ток статора I1лн;

частота вращения ротора nн;

коэффициент мощности cos φ1н;

коэффициент полезного действия ηн.

Если у трехфазной обмотки статора выведены начала и концы фаз и она может быть включена в звезду или треугольник, то ука-зываются линейные напряжения и токи для каждого из возможных соединений (Υ/Δ).

Кроме того, для двигателя с контактными кольцами приводится напряжение на разомкнутых кольцах при неподвижном роторе и линейный ток ротора в номинальном режиме.

Номинальные данные асинхронных двигателей варьируются в очень широких пределах. Номинальная мощность — от долей ватта до десятков тысяч киловатт. Номинальная синхронная частота вращения п1н = 60 f1/р при частоте сети 50 Гц от 3000 до 500 об/мин и менее в особых случаях; при повышенных частотах — до 100 000 об/мин и более (номинальная частота вращения ротора обычно на 2—5% меньше синхронной; в микродвигателях — на 5—20%). Номинальное напряжение от 24 В до 10 кВ (большие значения при больших мощностях).

Номинальный КПД асинхронных двигателей возрастает с ростом их мощности и частоты вращения; при мощности более 0,5 кВт он составляет 0,65—0,95, в микродвигателях 0,2—0,65.

Номинальный коэффициент мощности асинхронных двигателей, равный отношению активной мощности к полной мощности, потребляемой из сети,



также возрастает с ростом мощности и частоты вращения двигателей; при мощности более 1 кВт он составляет 0,7—0,9; в микродвигателях 0,3—0,7.

**Общие сведения о режимах работы асинхронного двигателя.**

В двигательном режиме разница частот вращения ротора и поля статора в большинстве случаев невелика и составляет лишь несколько процентов. Поэтому частоту вращения ротора оценивают не в абсолютных единицах (об/мин или об/с), а в относительных, вводя понятие скольжения:

s = (пс - п)/пс,

где пс — частота вращения поля (синхронная частота вращения); п — частота вращения ротора.

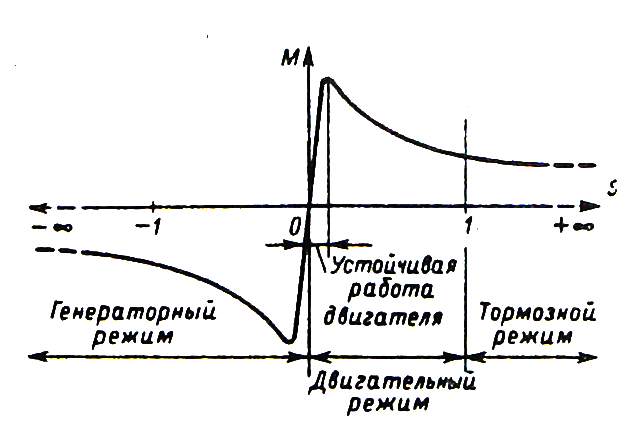
Скольжение выражается либо в относительных единицах (s = = 0,02; 0,025 и т. п.), либо в процентах (s - 2 %; 2,5 % и т. п.).

Частота тока и ЭДС, наводимая в проводниках обмотки ротора, зависят от частоты тока и ЭДС обмотки статора и от скольжения:

f2 - f1s; Е'2 - E1s,

где Е1— ЭДС обмотки статора; Е'2 — ЭДС обмотки ротора, приведенная к числу витков обмотки статора.

Рис. 2.1. Механическая характеристика асинхронной машины



Теоретически асинхронная машина может работать в диапазоне изменения скольжения s = -∞...+∞ (рис. 2.1), но не при s = 0, так как в этом случае п - пс и проводники обмотки ротора неподвижны относительно поля статора, ЭДС и ток в обмотке равны нулю и момент отсутствует. В зависимости от практически возможных скольжений различают несколько режимов работы асинхронных машин (рис. 2.1): генераторный режим при s < 0, двигательный при 0 < s < 1, трансформаторный при s = 1 и тормозной при s > 1. В генераторном режиме ротор машины вращается в ту же сторону, что и поле статора, но с большей частотой. В двигательном — направления вращения поля статора и ротора совпадают, но ротор вращается медленнее поля статора: п = пс(1 - s). В трансформаторном режиме ротор машины неподвижен и обмотки ротора и статора не перемещаются относительно друг друга. Асинхронная машина в таком режиме представляет собой трансформатор и отличается от него расположением первичной и вторичной обмоток (обмотки статора и ротора) и наличием воздушного зазора в магнитопроводе. В тормозном режиме ротор вращается, но направление его вращения противоположно направлению поля статора и машина создает момент, противоположный моменту, действующему на вал. Подавляющее большинство асинхронных машин используют в качестве двигателей, и лишь очень небольшое количество — в генераторном и трансформаторном режимах, в тормозном режиме — кратковременно.

Для оценки механической характеристики асинхронного двигателя моменты, развиваемые двигателем при различных скольжениях, обычно выражают не в абсолютных, а в относительных единицах, т. е. указывают кратность по отношению к номинальному моменту: М\* = M/Мном. Зависимость М\* = f(s) асинхронного двигателя (рис. 2.2) имеет несколько характерных точек, соответствующих пусковому М\*п, минимальному М\*min, максимальному М\*max и номинальному М\*ном моментам.

Пусковой момент М\*п характеризует начальный момент, развиваемый двигателем непосредственно при включении его в сеть при неподвижном роторе (s - 1). После трогания двигателя с места его момент несколько уменьшается по сравнению с пусковым (см. рис. 2.2). Обычно М\*min на 10...15 % меньше М\*п. Большинство двигателей проектируют так, чтобы их М\*min был больше М\*ном , так как они могут достигнуть номинальной скорости лишь при условии, что момент сопротивления, приложенный к валу, будет меньше, чем М\*min .

Максимальный момент М\*max характеризует перегрузочную способность двигателя. Если момент сопротивления превышает М\*max, двигатель останавливается. Поэтому М\*max называют также критическим, а скольжение, при котором момент достигает максимума, — критическим скольжением sкp. Обычно sкр не превышает 0,1...0,15; в двигателях с повышенным скольжением (крановых, металлургических и т. п.) sкp может быть значительно большим.

В диапазоне 0 < s < sкр характеристика М - f(s) имеет устойчивый характер. Она является рабочей частью механической характеристики двигателя. При скольжениях s > sкр двигатель в нормальных условиях работать не может. Эта часть характеристики определяет пусковые свойства двигателя от момента пуска до выхода на рабочую часть характеристики.

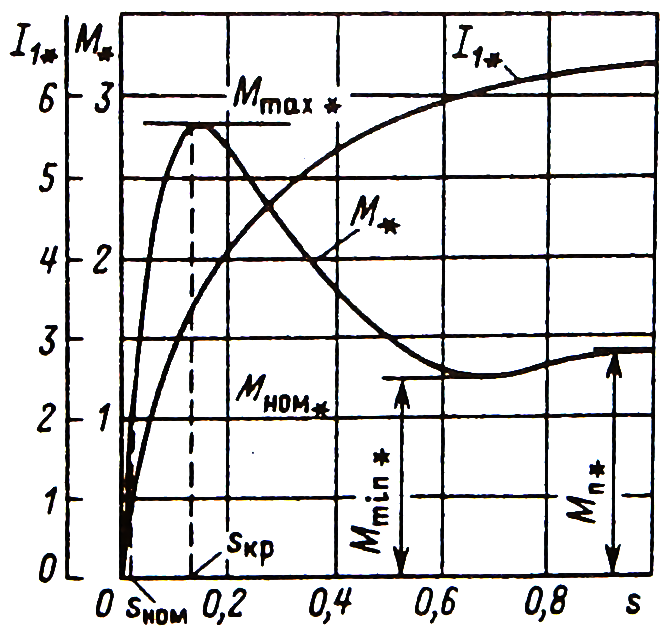


Рис. 2.2. Зависимость тока и момента асинхронного двигателя от скольжения

Трансформаторный режим, т. е. режим, когда обмотка статора подключена к сети, а ротор неподвижен, называют также режимом короткого замыкания двигателя. При s = 1 ток двигателя в несколько раз превышает номинальный, а охлаждение много хуже, чем при номинальном режиме. Поэтому в режиме короткого замыкания асинхронный двигатель, не рассчитанный для работы при скольжениях, близких к единице, может находиться лишь в течение нескольких секунд.

Режим короткого замыкания возникает при каждом пуске двигателя, однако в этом случае он кратковременен. Несколько пусков двигателя с короткозамкнутым ротором подряд или через короткие промежутки времени могут привести к превышению допустимой температуры его обмоток и к выходу двигателя из строя.

**3. Аналитическое и графическое определение режимов работы асинхронной машины**

Электромеханическое преобразование энергии может происходить в асинхронной машине в следующих трех режимах:

в режиме двигателя 0 < s < l, Ω1 > Ω > 0;

в режиме генератора s < 0, Ω > Ω1;

в режиме тормоза s > 1, Ω < 0.

Кроме того, важны еще два характерных режима работы, в которых электромеханическое преобразование энергии не происходит: режим идеального холостого хода (s = 0, Ω = Ω1) и режим короткого замыкания (s = 1, Ω = 0).

В режиме двигателя (область Д на рис. 3.2) под воздействием электромагнитного момента Μ > 0, направленного в сторону поля, ротор машины вращается в сторону поля со скоростью, меньшей, чем скорость поля (Ω1 > Ω > 0, 0 < s < 1). В этом режиме

Ρэм = ΜΩ1 = > 0; Ρмех = ΜΩ = Ρэ2 > 0.



Электрическая мощность Р1 = Рэм + Рм + Рэ1 > 0 преобразуется в механическую мощность Р2 = Рмех — Ρд — ΡΊ > 0, передаваемую через вал приводимой в движение машины.

Энергетические процессы в режиме двигателя иллюстрируются рис. 3.1, а, на котором направление активной составляющей тока ротора i2а совпадает с индуктированной в роторе ЭДС. Направление электромагнитного момента Μ определяется электромагнитной силой Bmi2a, действующей на ток i2a .

Полезная механическая мощность Р2 оказывается меньше потребляемой из сети мощности на потери ΣΡ:

Ρ2 = Ρ1-ΣΡ = Ρ1 -(Ρэ1 + Ρм+Ρэ2 + Ρд + Ρт),

И КПД двигателя выражается формулой:

η = = 1- = f(s)



В режиме генератора (область Г на рис. 3.2) под воздействием внешнего момента Мв > 0, направленного в сторону поля (рис. 3.1, б), ротор машины вращается со скоростью, превышающей скорость поля (Ω > Ω1, s < 0). В этом режиме в связи с изменением направления вращения поля (Ω^) относительно ротора активная составляющая тока ротора г'2а изменяет свое направление иа обратное (по сравнению с двигательным режимом). Поэтому электромагнитный момент Μ = Bmi2a, уравновешивающий внешний момент, направлен против поля и считается отрицательным (М < 0), мощности Рэ„ и Ртх также отрицательны:

Ρэм = ΜΩ1 = < 0; Ρмех = ΜΩ = Ρэ2 < 0.

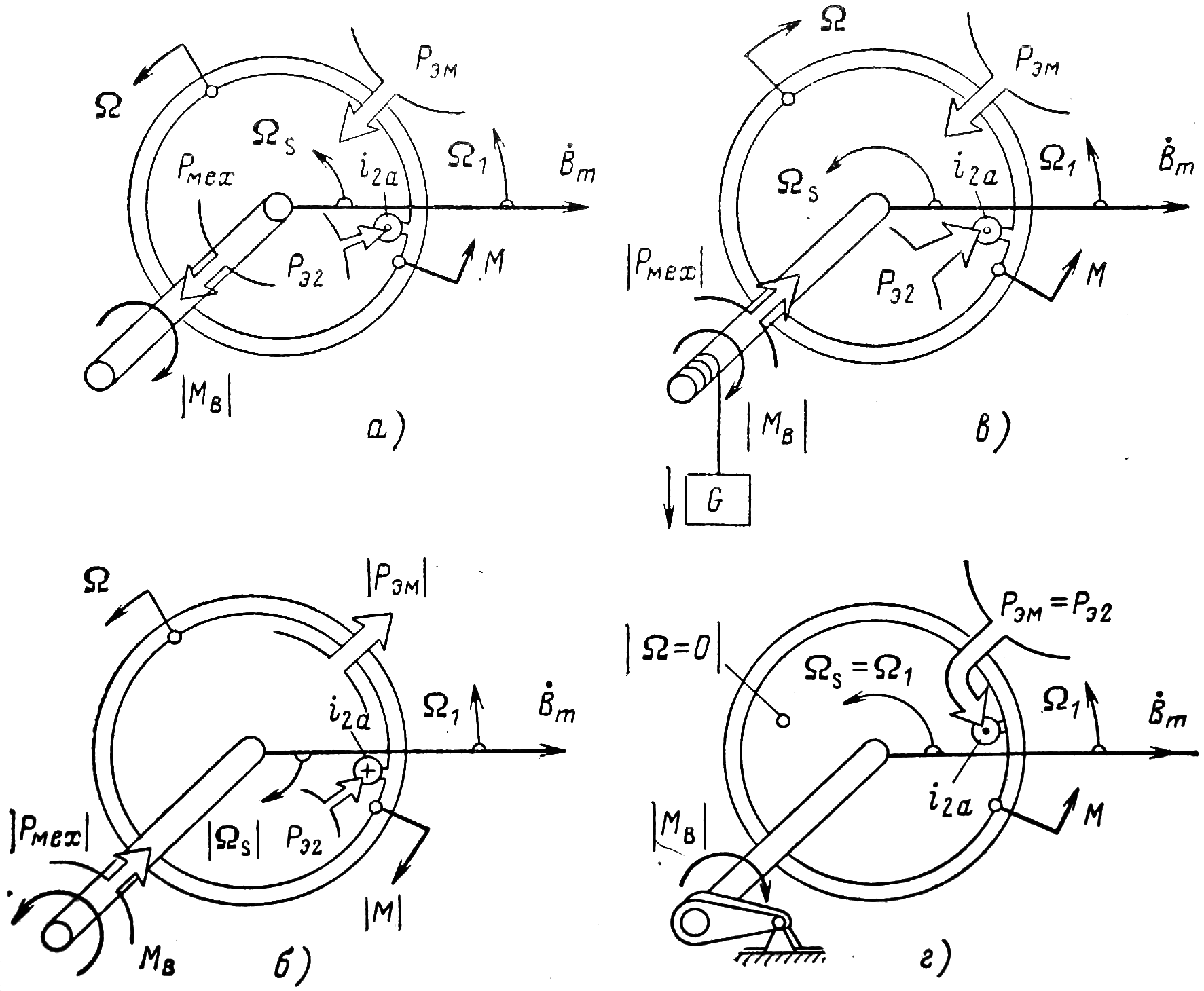


Рис. 3.1. Режимы работы асинхронной машины.

а — двигательный;

б — генераторный;

в — тормоза;

г — трансформатора (или короткого замыкания).

Направление преобразования энергии изменяется на обратное: механическая мощность Рг, подведенная к валу машины, преобразуется в электрическую мощность Plt поступающую в сеть. Поскольку мощность потерь всегда положительна (в любом режиме работы эти мощности превращаются в тепло), механическая мощность:

Ρмех = Ρэм - Ρэ2 < 0 при s < 0

по абсолютному значению больше, чем электромагнитная (рис. 3.2):

|Ρмех| = | Ρэм | + Ρэ2

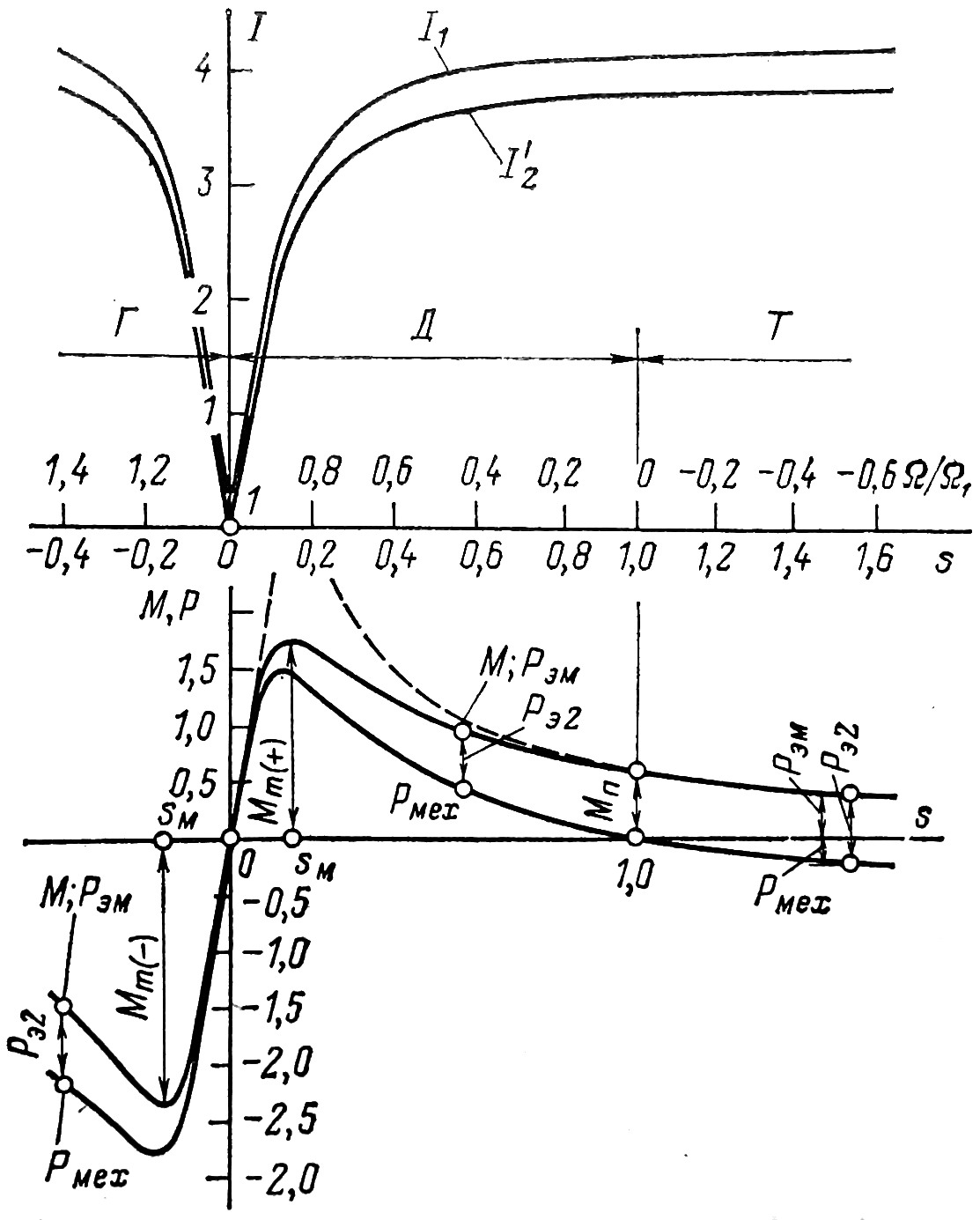


Рис. 3.2. Электромеханические характеристики асинхронной машины (в относительных единицах при 1/х = 1; /0 = 0,364; cos <р0 = 0,185; Хг = Х'2 = 0,125; Кг = 0,0375; R's = 0,0425).

По той же причине потребляемая механическая мощность

P2 = P1 - ΣΡ < 0

по абсолютному значению на потери больше электрической мощности, отдаваемой в сеть:

|Ρ2| = | Ρ1 | + ΣΡ,

и КПД генератора

η = = 1-.



В режиме тормоза (область Т на рис. 3.2) под воздействием внешнего момента Мв < 0, направленного против вращения поля (рис. 3.1, в), ротор машины вращается в сторону, противоположную полю (Ω<0, s = >1). В этом режиме электромагнитный момент М, уравновешивающий внешний момент, как и в режиме двигателя (направление вращения поля Ω.5 относительно ротора остается таким же, как в режиме двигателя), направлен в сторону поля и считается положительным (М > 0). Однако, поскольку Ω < 0, механическая мощность оказывается отрицательной:



Ρмех = ΜΩ = Ρэ2 < 0



Это означает, что она подводится к асинхронной машине. Электромагнитная мощность в этом режиме положительна:

Ρэм = ΜΩ1 = > 0



Это означает, что она поступает из сети в машину.

Подведенные к ротору машины со стороны сети |Ρэм| и вала |Ρмех| мощности превращаются в электрические потери Рэ2 в сопротивлении ротора R'2 (рис. 3.2):

|Ρмех| + | Ρэм | = Ρэ2 + Ρэ2 = Ρэ2 = m1 R'2(I '2)2 .



Асинхронная машина в этом режиме может быть использована для притормаживания опускаемого подъемным краном груза. При этом мощность | Ρмех | = | ΜΩ | поступает в ротор машины (см. рис. 3.1).

В режиме идеального холостого хода внешний вращающий момент Μв, момент трения Μт = Ρт/Ω и момент, связанный с добавочными потерями, Мд = Ρд/Ω равны нулю. Ротор вращается со скоростью поля (Ω = Ω1, s = 0) и не развивает полезной механической мощности (М = 0, Рмех = ΜΩ = 0).

В режиме идеального холостого хода внешний момент, приложенный к валу машины, равен нулю (Мв = 0). Считается также, что отсутствует момент от трения вращающихся частей. Ротор машины вращается с той же угловой скоростью, что и вращающееся поле (Ω = Ω1), скольжение равно нулю (s = 0); ЭДС и токи в обмотке ротора не индуктируются (I2=0), и электромагнитный момент, уравновешивающий внешний момент и момент сил трения, равен нулю (М = 0).

Режим холостого хода асинхронной машины аналогичен режиму холостого хода трансформатора. В асинхронной машине и в трансформаторе ток в этом режиме имеется только в первичной обмотке I1 ≠ 0, а во вторичной — отсутствует (I2 = 0); в машине и в трансформаторе магнитное поле образуется в этом режиме только первичным током, что позволяет называть ток холостого хода намагничивающим током (I1 = I0). В отличие от трансформатора система токов I0 в фазах многофазной обмотки статора образует вращающееся магнитное поле.

По аналогии с трансформатором уравнение напряжений необходимо составить при холостом ходе только для фазы обмотки статора, являющейся первичной обмоткой:

,



где — ЭДС, индуктированная в фазе вращающимся магнитным полем с потоком Фга;

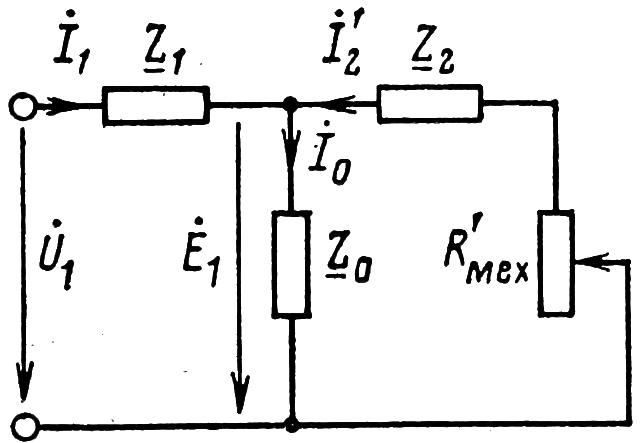


— фазное напряжение первичной сети;



R1, Х1 — активное и индуктивное сопротивления рассеяния фазы первичной обмотки (см. далее).

В силу малости падений напряжений X1I0 и R1I0 напряжение почти полностью уравновешивается ЭДС т. е. = -.



В режиме холостого хода R'мех = R'2 = ∞, ток R'2 = 0 и схема замещения содержит только одну ветвь Z1 + Z0 (Т-образная и Г-образная схемы не отличаются друг от друга).



В режиме короткого замыкания под действием внешнего момента Μ в, уравновешивающего электромагнитный момент М, ротор удерживается в неподвижном состоянии (Ω = 0, s = = 1) и не совершает полезной механической работы (Рмех = Μ Ω = 0).



Направление тока i2a и электромагнитного момента Μ остается таким же, как в режиме двигателя, и Μ > 0 (см. рис. 3.1, г). Электромагнитная мощность Рэм = ΜΩ1 > 0 — она поступает в ротор из статора и превращается в электрические потери (Рэм = = Рэ2). В этом режиме асинхронная машина работает как коротко-замкнутый со вторичной стороны трансформатор, отличаясь от него только тем, что в ней существует вращающееся поле взаимной индукции вместо пульсирующего поля в трансформаторе.

В режиме короткого замыкания R'мех = R'2 = 0 и сопротивление схемы замещения по рис. 42-3 определяется параллельно включенными сопротивлениями Z1 + Z0 и Z1 + Z'2. Имея в виду, что |Z1 + Z'2| « |Z1 + Z0|, можно отбросить ветвь Z1 + Z0 и считать сопротивление схемы замещения при коротком замыкании равным



Zк = Z1 + Z'2 = Rк + jXк (43-3)

где

Rк= R1+ R'2

Если к неподвижному ротору асинхронной машины подключить симметричную систему дополнительных сопротивлений R2д + jХ2д, то она будет работать как трансформатор, преобразующий электрическую энергию, поступающую из первичной сети, в электрическую энергию с другими параметрами, потребляемую дополнительными сопротивлениями R2д + jХ2д. Поэтому режим при s = 1 называется также режимом трансформатора.

Изменить режим работы асинхронной машины или скольжение машины в данном режиме (при U1 = const и f1 = const) можно только путем изменения внешнего момента Мв, приложенного к валу машины. При Мв = 0 ротор вращается со скоростью поля (Ω = Ω1, s = 0) и машина не совершает полезного преобразования энергии. При воздействии на вал ротора внешнего момента Мв, направленного против направления вращения поля, скорость ротора уменьшается до тех пор, пока не появится электромагнитный момент Μ = f(s), который уравновесит момент Мв. Машина переходит в режим двигателя s = > 0. Наоборот, при воздействии внешнего момента Мв направленного по вращению поля, скорость ротора делается большей, чем скорость поля (Ω > Ω1), и машина переходит в режим генератора (s=<0).



Наконец, к режиму тормоза можно перейти из режима двигателя, изменяя внешний момент Мв таким образом, чтобы ротор сначала остановился, а затем пришел во вращение в противоположную сторону (по отношению к полю).

**Список литературы**

Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с., ил.

Вольдек А. И. Электричесие машины. Учебник для студентов высших учебн. Заведений. Л., «Энергия», 1974.

Проектирование электрических машин: Учеб. Для вузов / Под ред. И. П. Копылова. М.: Высш. Шк., 2002. – 757 с.: ил.