

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

РЕФЕРАТ

по курсу «Электрический привод»

ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

Автор работы: Кирбаба Д.Д.

Группа: R3438

Преподаватель: Маматов А.Г.

Санкт-Петербург

2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Виды	3
3. Особенности	5
4. Принцип работы	6
5. Принципы регулирования	11
6. Области применения.....	12
7. Вывод.....	13
8. Список используемой литературы.....	14

1. Введение

На современном этапе развития науки и техники системы электропривода прочно занимают лидирующее положение среди приводных устройств и обеспечивают бесперебойную и надежную работу технологических механизмов во многих отраслях промышленности и специальной техники.

Основными частями электрического привода, определяющими в значительной степени его свойства, являются приводной двигатель и исполнительный механизм. В качестве приводного двигателя наибольшее распространение в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве находит трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором [4]. Асинхронный электропривод реализуется на базе силовой полупроводниковой техники с применением микропроцессорного управления. Это позволяет организовать регулирование выходных координат привода в широком диапазоне, с высокой точностью и быстродействием.

Цель данной работы – исследовать электроприводы, которые используют в качестве приводного двигателя асинхронные двигатели.

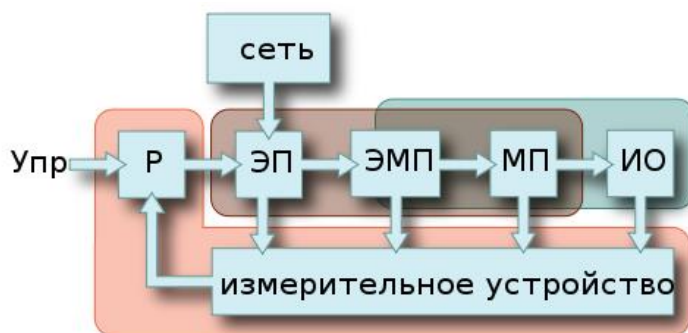


Рисунок 1. Условная схема электропривода.

Функциональные элементы:

1. Регулятор (Р) предназначен для управления процессами, протекающими в электроприводе.
2. Электрический преобразователь (ЭП) предназначен для преобразования электрической энергии сети в регулируемое напряжение постоянного или переменного тока.
3. Электромеханический преобразователь (ЭМП) - двигатель, предназначен для преобразования электрической энергии в механическую.
4. Механический преобразователь (МП) может изменять скорость вращения двигателя.
5. Упр - управляющее воздействие.
6. ИО - исполнительный орган.

2. Виды

Электроприводы переменного тока на основе асинхронных двигателей можно разделить на следующие группы:

1. ЭП с однофазным асинхронным двигателем. Когда источником электроэнергии является однофазная сеть переменного тока, что имеет место в жилых и административных зданиях, в сельскохозяйственных районах, применение находят однофазные асинхронные двигатели. Эти двигатели выпускаются, как правило, на небольшую мощность (до 5–10 кВт) и используются в приводе стиральных машин, холодильников, медицинских аппаратов, пылесосов, доильных аппаратов, центрифуг, небольших станков, электроинструментов и т. д. [3]. Однофазные двигатели по сравнению с трехфазными имеют несколько худшие технические характеристики и удельные показатели. Так, мощность однофазного двигателя составляет не более 70% от мощности трехфазного двигателя в том же габарите. Однофазные двигатели, кроме того, имеют и более низкую перегрузочную способность.
2. ЭП с трехфазным асинхронным двигателем. Принцип функционирования и описание данного двигателя даны в пункте 4.
3. ЭП с линейным асинхронным двигателем. В случае работы с двигателями вращающего движения при необходимости использования для привода рабочих машин и механизмов с поступательным движением исполнительных органов (механизмы подачи металлообрабатывающих станков, передвижения мостовых кранов, кузнечнопрессовые машины, транспортеры, задвижки и т. д. [3]) требуется применение механических передач для преобразования вращающегося движения вала двигателя в поступательное (кривошипно-шатунный механизм, передачи шестерня – рейка, винт - гайка). В таких ЭП разумно использовать двигатель поступательного движения, что позволяет отказаться от применения механической передачи и тем самым повысить технические и экономические показатели работы ЭП и технологического оборудования. Реализацией этого подхода является линейный асинхронный двигатель (ЛАД).

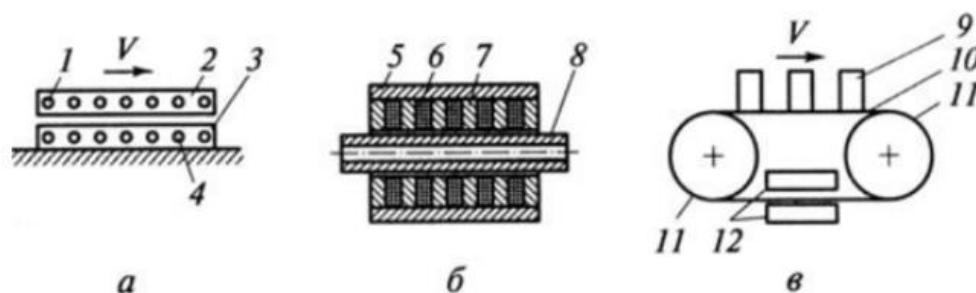


Рисунок 2. ЛАД плоской (а), трубчатой (б) конструкций и схема ЭП транспортера с ЛАД (в).

Элементы рисунка: 1 - обмотка ротора; 2 - ротор; 3 - статор; 4 - обмотка статора; 5 - трубчатый статор; 6 - катушки статора; 7 - металлические шайбы; 8 - подвижный элемент; 9 - перемещаемые изделия; 10 - металлическая лента; 11 - барабаны; 12 - статор.

По принципу действия ЛАД аналогичен вращающемуся двигателю. При подключении обмотки 4 статора 3 ЛАД к сети переменного тока она создает поступательно движущееся магнитное поле с линейной скоростью $v = 2\tau f_1$,

Где f_1 - частота питающего напряжения, τ - длина полюсного деления статора.

Это линейно перемещающееся магнитное поле наводит в обмотке ротора 2 ЭДС, под действием которой в ней начнет протекать ток. Взаимодействие этого тока с магнитным

полем и создает на роторе (его называют вторичным элементом) тяговое усилие, которое и приводит его в поступательное движение.

Также можно классифицировать электроприводы переменного тока на основе асинхронных двигателей по способу регулирования их скорости вращения:

1. Параметрическое регулирование - обеспечивается включением активных или активно-индуктивных сопротивлений в цепи статора или ротора, а также изменением числа пар полюсов магнитного поля машины. Данный способ отличается низким КПД, снижающимся при уменьшении скорости, и диапазоном регулирования, не превышающим 1,5...2. В современной практике данный подход не находит применения.
2. Введение добавочной ЭДС в цепь ротора - осуществляется в каскадных установках, включающих помимо асинхронного двигателя с фазным ротором машинные или вентильные преобразователи энергии, с помощью которых мощность скольжения возвращается в питающую трёхфазную сеть или передаётся на вал рабочего механизма. Данный способ имеет место в тех механизмах, где не требуется плавное регулирование скорости вращения, а достаточно обеспечить работу с двумя, тремя скоростями. Самым простым решением для таких приводов является использование многоскоростных асинхронных двигателей и релейно-контакторной системы управления, с помощью которой осуществляется переключение соединений обмоток. Многоскоростные двигатели применяются в приводах металлорежущих и деревообрабатывающих станков, грузовых и пассажирских лифтах, в приводах вентиляторов и насосов и в ряде других случаев [2].
3. Изменение параметров электрической энергии (частотное регулирование). Способ реализуем, если источниками питания являются электромашинные генераторы или полупроводниковые преобразователи. В современной практике используются исключительно последние, и с их помощью формируются напряжения или токи статора функционально связанные, с частотой или с положением в пространстве полюсов магнитного поля машины. Данный метод является самым распространённым в настоящее время способом регулирования скорости вращения асинхронных двигателей, он позволяет эффективно регулировать скорость вращения в широких пределах в четырёх квадрантах, включая двигатели с короткозамкнутым ротором.

3. Особенности

Электропривод с асинхронным двигателем обладает рядом ключевых характеристик, которые делают его популярным выбором для различных применений:

1. Электроприводы с асинхронными двигателями известны своей высокой эффективностью. Они способны преобразовывать электрическую энергию в механическую с минимальными потерями, что приводит к экономии электроэнергии и снижению эксплуатационных расходов.
2. Асинхронные двигатели в электроприводах позволяют точно регулировать скорость вращения двигателя. Регулируя частоту и напряжение, подаваемое на двигатель, можно легко изменять его скорость в соответствии с конкретными требованиями.
3. Асинхронные двигатели обладают высоким пусковым моментом, что позволяет им плавно запускать и разгонять тяжелые нагрузки. Эта особенность особенно важна в

тех случаях, когда двигателю необходимо преодолеть начальную инерцию или сопротивление.

4. Электроприводы с асинхронными двигателями, как правило, более экономичны по сравнению с другими типами электроприводов. Асинхронные двигатели широко доступны, а стоимость их изготовления относительно невысока, что делает их экономически выгодным решением для многих приложений.
5. Электроприводы с асинхронными двигателями легко подключаются к электросетям. Они работают на стандартном переменном токе, что делает их совместимыми с существующей электрической инфраструктурой в большинстве населенных пунктов.

4. Принцип работы

Так как наиболее распространенный тип АД, используемый в ЭП – это трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, то приведем его принцип работы: при прохождении переменного тока через обмотки статора создается вращающееся магнитное поле с угловой скоростью $\Omega_1 = 2\pi f_1 / z_p$. В свою очередь, в зависимости от изначальной угловой скорости ротора Ω будут наводиться различные ЭДС, которые индуцируют токи в обмотках ротора за счет электромагнитной индукции.

Обмотка ротора может быть выполнена по двум вариантам:

1. Первый вариант предусматривает выполнение на роторе обычной трехфазной обмотки из проводников с выводами на три контактных кольца. Такую конструкцию имеет двигатель с фазным ротором и это позволяет включать в роторную цепь различные электротехнические элементы, например резисторы для регулирования скорости, тока и момента электропривода, и создавать с той же целью специальные схемы включения двигателя.
2. Другой вид обмотки получают заливкой алюминия в пазы ротора, в результате чего образуется конструкция, известная под названием «беличья клетка». Такой двигатель называют короткозамкнутым, и в его цепи статора и ротора также можно включать добавочные активные резисторы для регулирования.

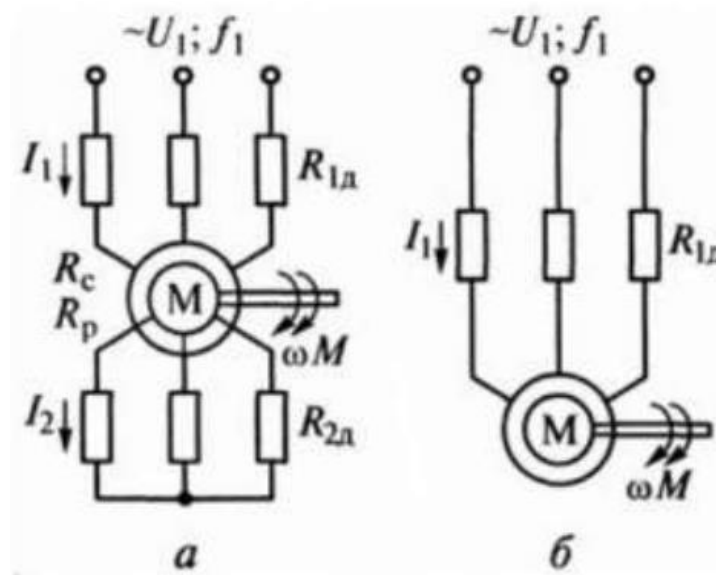


Рисунок 3. Схема включения асинхронного двигателя с фазным (а) и короткозамкнутым (б) роторами.

Важной характеристикой асинхронного двигателя является величина скольжения:

$$s = \frac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1}$$

Для получения выражений для электромеханической и механической характеристик используется его схемы замещения, на которой цепи статора и ротора представлены своими активными и индуктивными сопротивлениями. Особенность схемы замещения двигателя состоит в том, что ток, ЭДС и параметры цепи ротора приведены (пересчитаны) к цепи статора, что и позволяет изобразить эти две цепи на схеме соединенными электрически, хотя в действительности связь между ними осуществляется через электромагнитное поле.

Приведем систему уравнений для описания асинхронного двигателя, с учётом разделения сопротивления цепи ротора на сопротивление обмотки r_2 и эквивалентное сопротивление механической мощности машины $r_2 \frac{(1-s)}{s}$:

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = r_1 \underline{I}_1 + jx_{s1} \underline{I}_1 - \underline{E}_1 \\ \underline{E}'_2 = \underline{E}_1 = r'_2 \underline{I}'_2 + jx'_{s2} \underline{I}'_2 + \frac{r'_2(1-s)}{s} \underline{I}'_2 \\ \underline{I}_m = \underline{I}_1 + \underline{I}'_2 \end{cases}$$

где \underline{U}_1 – напряжение питания, которое уравнивается ЭДС главного магнитного потока, потока рассеяния обмотки статора и падением напряжения в её активном сопротивлении; \underline{E}'_2 – приведенная к параметрам обмотки статора ЭДС, наводимая в неподвижном роторе; \underline{I}_m – ток намагничивания ротора.

Данным уравнениям соответствует следующая схема замещения:

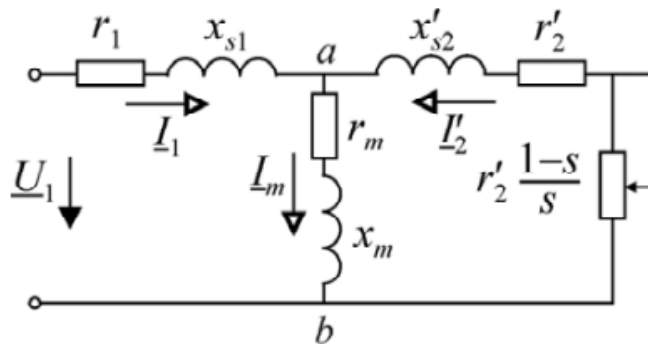


Рисунок 4. Т-образная схема замещения асинхронного двигателя.

Т-образную схему замещения для удобства преобразуют в Г-образную, где:

$$\underline{C}_1 = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_m} \text{ – комплексный коэффициент приведения схемы;}$$

$\underline{Z}_1 = r_1 + jx_{s1}$, $\underline{Z}_m = r_m + jx_m$ – комплексные сопротивления ветвей статора и намагничивания;

$$\underline{I}''_2 = \underline{I}'_2 / \underline{C}_1 \text{ – новый приведенный ток.}$$

Также в машинах мощностью выше нескольких киловатт принимается следующее допущение:

$$\underline{C}_1 \approx c_1 \approx 1 + \frac{x_{1s}}{x_m} = 1.02 \dots 1.06$$

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_m) \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 = [\underline{C}_1(r_1 + jx_{s1}) + j\underline{C}_2^2 x'_{s2} + \frac{\underline{C}_1^2 r'_2}{s}] \underline{I}_2'' \\ \underline{I}_0 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2'' \end{cases}$$

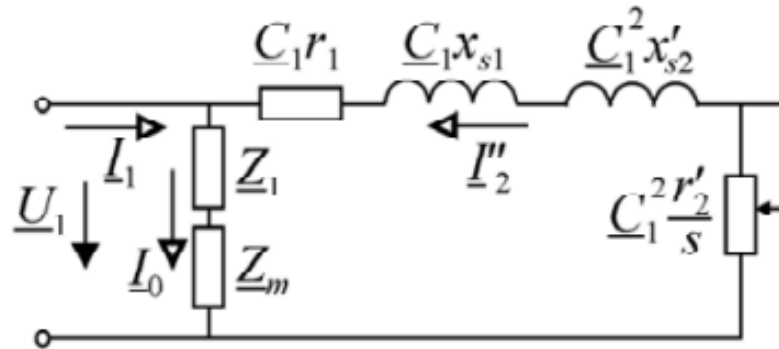


Рисунок 5. Т-образная схема замещения асинхронного двигателя.

Электромеханической или скоростной характеристикой называется зависимость $I_1 = f(s)$ или $I_1 = f(\Omega)$.

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{c_1 r'_2}{s}\right)^2 + (x_{s1} + c_1 x'_{s2})^2}}$$

Отметим характерные точки этой зависимости:

$s = 0, I_2' = 0$ – точка идеального холостого хода;

$s = 1, I_2' = I_{кз}$ – точка короткого замыкания;

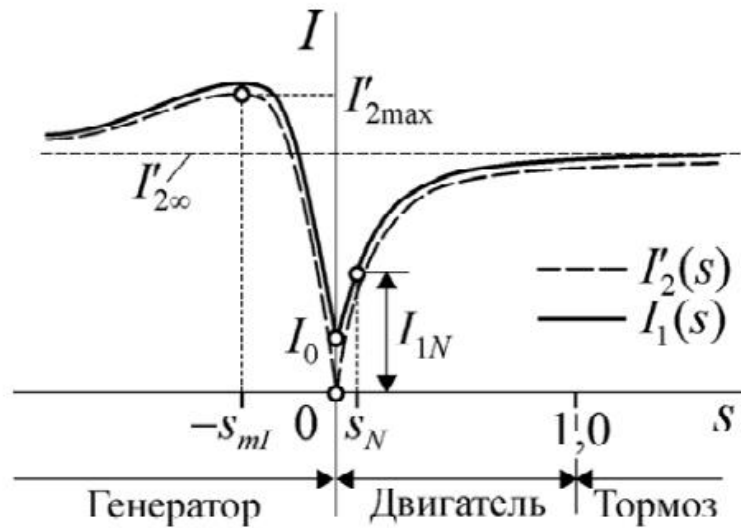


Рисунок 6. Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя.

Перейти к зависимости $I_1 = f(\Omega)$ можно с помощью формулы скольжения.

Механическая характеристика, в свою очередь, имеет следующий вид:

$$M(\omega_1) = \frac{m_1 z_p U_1^2 r_2'}{\omega_1 s [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_{1s} + x_{2s}')^2]}$$

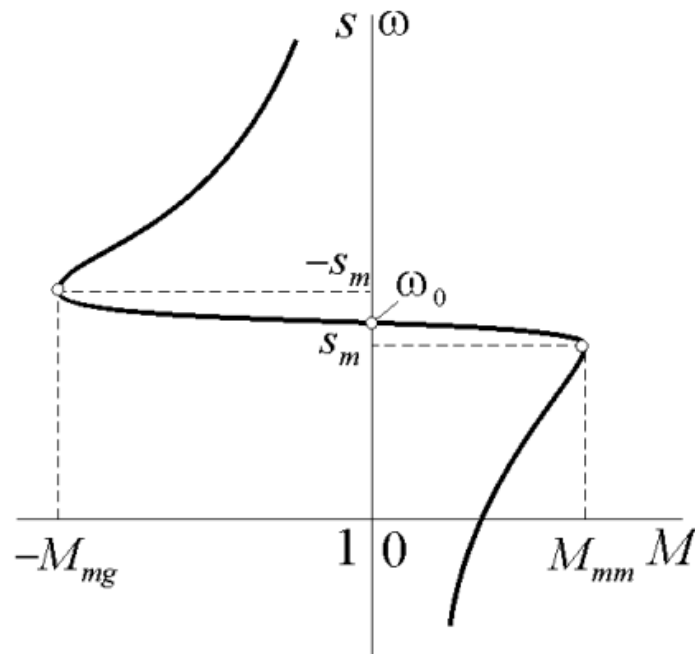


Рисунок 7. Механическая характеристика асинхронного двигателя.

Данная функция имеет экстремумы при критическом скольжении:

$$s_m = \pm \frac{r_2'}{x_{1s} + x_{2s}'}$$

Тогда критический момент:

$$M_m = \pm \frac{m_1 z_p U_1^2}{2\omega_1 c_1 (x_{1s} + c_1 x'_{2s})}$$

Полученные формулы для электромеханической и механической характеристик позволяют назвать возможные способы регулирования переменных двигателя, которые нужны для получения искусственных характеристик двигателя.

Регулирования токов в роторе и статоре в переходных режимах может быть обеспечено изменением подводимого к статору двигателя напряжения, а также с помощью добавочных резисторов в цепях статора и ротора.

Формула механической характеристики определяет возможные способы получения искусственных механических характеристик, требуемых при регулировании момента и скорости двигателя. Эти способы связаны с изменением уровня и частоты подводимого к двигателю напряжения; включением в цепи статора и ротора добавочных активных и реактивных резисторов; изменением числа пар полюсов магнитного поля двигателя.

Асинхронный двигатель может работать во всех возможных энергетических режимах, которые определяются величиной и знаком скольжения, а именно:

$s = 0$ – режим идеального холостого хода;

$s = 1$ – режим короткого замыкания;

$0 < s < 1$, $\Omega < \Omega_1$ – двигательный режим, сила поля будет создавать вращающий момент, совпадающий по направлению с направлением движения электрического поля и увлекающий рамку вслед за ним;

$s < 0$, $\Omega > \Omega_1$ – генераторный режим параллельно с сетью (режим рекуперативного торможения), направления ЭДС и тока в обмотке ротора, а также знак вращающего момента будут противоположны по сравнению с вращающимся магнитным полем статора, а следовательно, магнитное поле статора будет противодействовать движению ротора. При этом магнитное поле вращающегося ротора будет наводить в обмотке статора ЭДС, которая изменит знак активной составляющей тока, и электрическая энергия будет отдаваться в питающую сеть.

$s > 1$, $\Omega < 0$ – генераторный режим последовательно с сетью (режим торможения противовключением), вращающий момент ротора направлен противоположно направлению вращения магнитного поля статора, значит создаваемый электромагнитный момент будет противодействовать его движению.

Кроме того, двигатель может работать в генераторном режиме независимо от сети переменного тока, который также называется режимом динамического торможения. В этом режиме обмотка статора двигателя отключается от сети переменного тока, а цепь ротора замыкается накоротко или на добавочные резисторы.

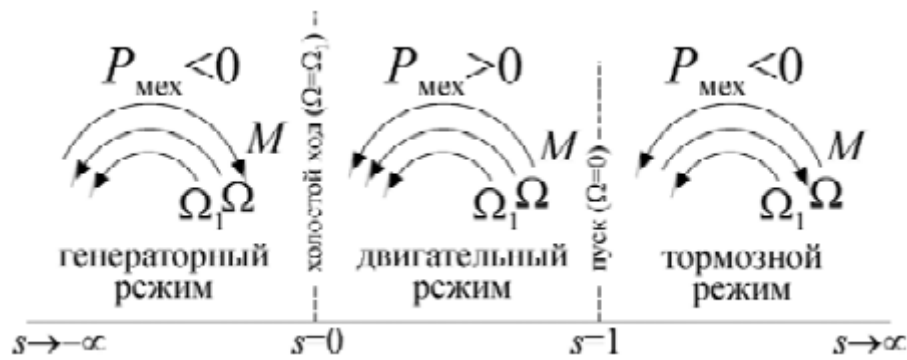


Рисунок 8. Области скольжений, соответствующие трем возможным режимам работы асинхронного двигателя.

5. Принципы регулирования

Как было описано в пункте 2, основным принципом регулирования скорости вращения асинхронных двигателей, используемых в электрическом приводе, является частотное регулирование.

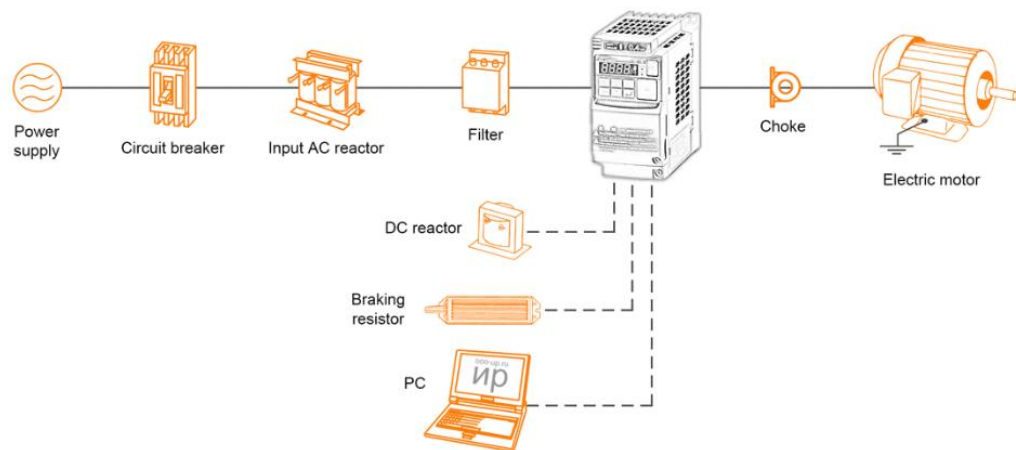


Рисунок 9. Функциональная диаграмма частотного регулятора.

Итак, закон частотного регулирования – функциональная связь между каналами управления напряжением U_1 и частотой питания статора f_1 .

Синтезировать частотное управление можно основываясь на общем законе М. П. Костенко: *чтобы обеспечить оптимальный режим работы асинхронного двигателя при всех значениях частоты и нагрузки, необходимо относительное напряжение двигателя изменять пропорционально произведению относительной частоты на корень квадратный из относительного момента:*

$$\gamma = \alpha \sqrt{\mu},$$

где $\alpha = \frac{\omega_1}{\omega_n}$, $\gamma = \frac{U_1}{U_n}$ – относительная частота и напряжения питания, а $\mu = M/M_n$ – относительный электромагнитный момент.

Следствием из данного закона являются соотношения, позволяющие по типичным видам нагрузки получить закон частотного управления:

	Вид нагрузки		
	Статическая ($M_c = const$)	Вентиляторная ($M_c = c\omega^2$)	Постоянная мощность ($M_c\omega = const$)
Закон управления	$\gamma = \alpha$	$\gamma = \alpha^2$	$\gamma = \sqrt{\alpha}$

Таблица 1. Законы управления.

Электрические приводы на основе асинхронных двигателей с частотным регулированием осуществляют скалярное или векторное управление асинхронным двигателем.

При скалярном управлении регулируются только величина и частота питающего напряжения без фазового управления (отсутствует обратная связь по положению ротора). Скалярное управление подходит для применения в условиях постоянной нагрузки. Данный метод имеет следующие недостатки - медленная реакция на изменение нагрузки и малый диапазон регулирования. Поэтому скалярное управление обычно используется в задачах, где нагрузка либо постоянна, либо изменяется по известному закону.

Векторное управление используется в задачах, где требуется независимое управление скоростью и моментом вращения электродвигателя (например, лифта), что, в частности, позволяет поддерживать постоянную скорость вращения при изменяющемся моменте нагрузки. При этом векторное управление является наиболее эффективным с точки зрения эффективности преобразования энергии и увеличения времени работы электродвигателя, однако векторное управление более дорогостоящее из-за стоимости датчика и требования к более мощному контроллеру [5].

6. Области применения

Существуют две основные области применения электродвигателей. В первом случае двигатели подключаются к электросети и работают с фиксированной скоростью вращения ротора. Второе - широкое применение, когда двигатели должны работать на разных скоростях и с разными крутящими моментами. В этом случае между требуется использовать частотное регулирование электродвигателем.

Электроприводы с асинхронными двигателями используются в самых разных областях, в том числе:

1. Насосы и вентиляторы. Асинхронные двигатели используются для привода насосов и вентиляторов в различных системах, таких как системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, промышленные процессы и водоочистные сооружения.
2. Станки.
3. Конвейеры.
4. Лифты, краны, подъемники, лебедки.

Приведем реальные примеры применения.

1. Лифты. Основной тип привода лифтов массового применения - электропривод на переменном токе. Наиболее распространена система с двухскоростным

асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. В этих системах применяются специальные лифтовые электродвигатели с отношением скоростей 1:4 или 1:3, характеристики которых отвечают требованиям привода лифтовых установок: повышенные пусковые моменты, ограниченное значение максимальных моментов как в двигательном, так и в генераторном режимах, ограниченные значения пусковых токов. Двухскоростной электродвигатель позволяет снижать в несколько раз рабочую скорость лифта перед остановкой, что обеспечивает необходимую точность остановки. Пуск лифта в такой системе осуществляется подключением к сети обмотки большой скорости. При этом лифт разгоняется и переходит в рабочую скорость. Перед остановкой лифта отключается от сети обмотка на большой скорости и включается обмотка малой скорости. Электродвигатель переходит в режим генераторного торможения, скорость лифта снижается в 3 или 4 раза, и лифт подходит к уровню этажа. Остановка осуществляется отключением от сети обмотки малой скорости и наложением механического тормоза.

2. Конвейеры. Электрический привод здесь необходим для создания тягового усилия на приводном барабане с целью обеспечения определенной скорости движения ленты с транспортируемым грузом, как в момент пуска конвейера, так и в стационарном режиме. Электромеханический привод ленточного конвейера состоит из электродвигателя и механической части, состоящей из редуктора и при необходимости открытой передачи. В ленточных конвейерах общего назначения в основном применяются асинхронные с повышенным пусковым моментом электродвигатели. Данный электродвигатель имеет высокую надежность, относительно низкую стоимость, простоту в эксплуатации и обеспечивает нормальный пуск привода при условии $\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} \geq 1.5 - 1.8$. При выборе типа редуктора для привода рабочего органа (устройства) необходимо учитывать множество факторов, важнейшими из которых являются: значение и характер изменения нагрузки, требуемая долговечность, надежность, КПД, масса и габаритные размеры, требования к уровню шума, стоимость изделия, эксплуатационные расходы. Из всех видов передач зубчатые передачи имеют наименьшие габариты, массу, стоимость и потери на трение. Коэффициент потерь одной зубчатой пары при тщательном выполнении и надлежащей смазке не превышает обычно 0.02–0.03. Зубчатые передачи в сравнении с другими механическими передачами обладают большой надежностью в работе, постоянством передаточного отношения из-за отсутствия проскальзывания, возможностью применения в широком диапазоне скоростей и передаточных отношений. Эти свойства обеспечили большое распространение зубчатых передач; они применяются для мощностей, начиная от ничтожно малых (в приборах) до измеряемых десятками тысяч киловатт.

7. Вывод

В заключение следует отметить, что электроприводы с асинхронными двигателями, благодаря своим характеристикам, имеют большое преимущество в различных областях применения. Эти приводы обладают высоким КПД, что позволяет оптимально преобразовывать энергию и снижать эксплуатационные расходы. Благодаря регулируемой

скорости вращения они обеспечивают гибкую адаптацию к различным требованиям нагрузки, повышая общую производительность системы.

Ожидается, что по мере развития технологий эти приводы будут играть все более заметную роль в управлении различными промышленными, коммерческими и бытовыми системами, способствуя повышению производительности и энергоэффективности [6].

8. Список используемой литературы

1. [“Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control” - R. Krishnan](#)
2. [“Электрический привод” – А. А. Усольцев](#)
3. [“Электрические машины” – А. А. Усольцев](#)
4. [“Электрический привод” – В.В. Москаленко](#)
5. [“Асинхронный электропривод электромеханических систем с оптимальными режимами работы по критерию энергосбережения” – В. Г. Макаров](#)
6. [Англоязычный сайт с информацией об электроприводах: \[about-motors.com\]\(http://about-motors.com\)](#)
7. [Англоязычный сайт с информацией об электроприводах: \[engineersedge.com\]\(http://engineersedge.com\)](#)
8. [Англоязычный сайт с информацией об электроприводах: \[eepower.com\]\(http://eepower.com\)](#)