

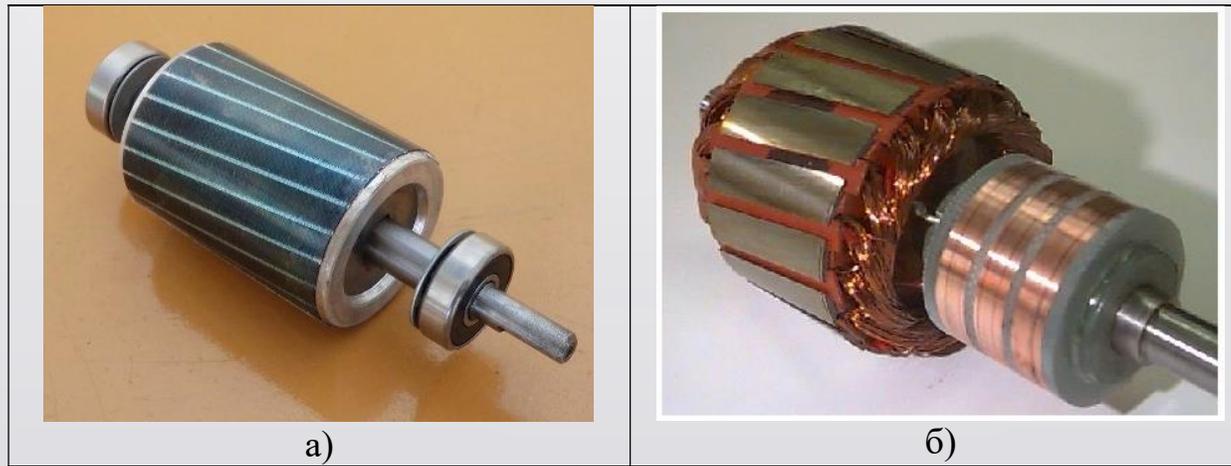
ЛЕКЦИЯ №6 ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Цель занятия:

1. Свойства электроприводов с асинхронным двигателем
2. Системы управления

Лектор: PhD, ст. преп. каф. «ТиЛС»
Сулеев Б.Д.

Главным достоинством АД является простота исполнения ротора, обмотка которого не подключается к каким-либо источникам питания и может быть выполнена короткозамкнутой. При этом асинхронный двигатель становится бесконтактным. Благодаря простоте конструкции, надежности в эксплуатации и относительно низкой стоимости АД с короткозамкнутым ротором является наиболее распространенным типом двигателя переменного тока (рисунок 6.1).



а) Короткозамкнутый ротор; б) Фазный ротор.
Рисунок 6.1 – Роторы АД

Статические характеристики и энергетические режимы АД. На рисунке 6.2а изображена основная схема подключения АД к сети переменного тока (эту схему иногда называют естественной схемой включения АД).

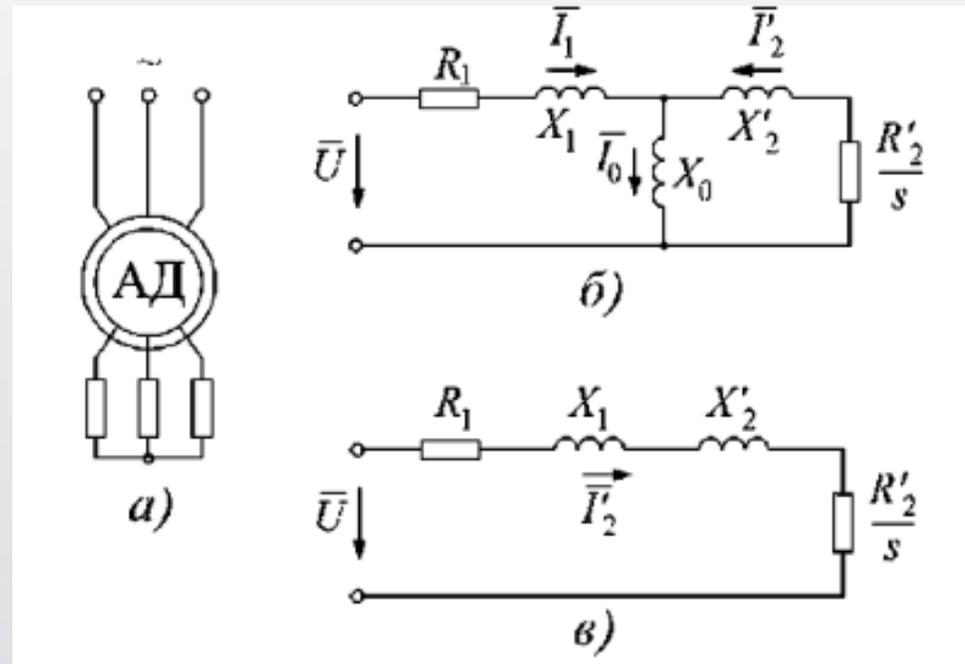


Рисунок 6.2 – Схема подключения АД

Для расчета и анализа различных характеристик часто используют показанные на рисунке 6.2б, в Т-образную и упрощенную схемы замещения АД, с помощью которых можно определить его электрические переменные: токи, мощности и т.д. — в установившихся режимах работы.

При работе АД от статора к ротору вращающимся магнитным полем передается электромагнитная мощность:

$$P_{эм} = M\omega_o, \quad (1)$$

Электромагнитная мощность преобразуется в механическую мощность

$$P_m = M\omega, \quad (2)$$

Электрические потери в цепях ротора и потери в стали ротора, последними из которых можно пренебречь из-за их относительной малости.

$$\Delta P_{эл2} = 3I_2'^2 R_2' \quad (3)$$

Тогда

$$M \omega_0 = M \omega + 3I_2'^2 R_2'$$

Откуда получаем связь между электромагнитным моментом и током ротора в виде

$$M = \frac{3I_2'^2 R_2'}{\omega_0 s} \quad (4)$$

где $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ - скольжение АД.

Записывая далее согласно схеме на рисунке 6.1 выражение для тока ротора.

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (5)$$

Тогда момент будет равен

$$M = \frac{3U^2_{\phi}}{\omega_0} \frac{\frac{R'_2}{s}}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2} \quad (6)$$

Возможности регулирования координат асинхронного электропривода. Основные способы регулирования скорости АД можно выявить на основе анализа следующих выражений:

$$\omega = \omega_0 - \omega_0 s \quad (7)$$

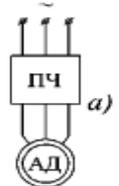
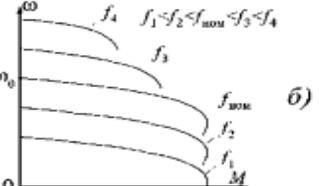
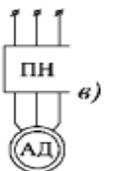
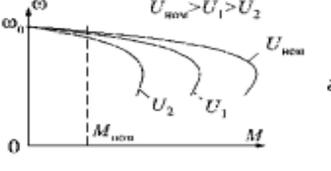
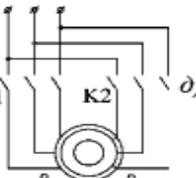
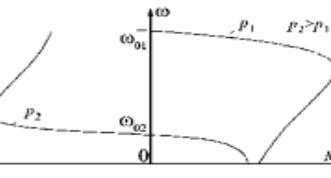
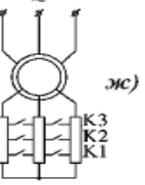
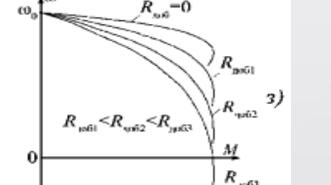
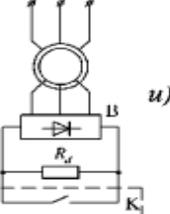
$$\Delta P_{эл2} = P_{эм} s = M (\omega_0 - \omega) \quad (8)$$

Первое из которых связывает скорость ротора со скоростью вращения магнитного поля и скольжением, а второе — полные электрические потери в роторной цепи (которые часто называют потерями скольжения) с электромагнитной мощностью

В соответствии с выражением (7) возможны два способа регулирования скорости АД: регулирование скорости поля (которая определяется частотой и числом пар полюсов) и регулирование скольжения при постоянном значении ω_0 (что при заданном моменте согласно зависимости (6) принципиально осуществимо изменением напряжения статора, введением добавочных резисторов или индуктивностей в статорные или роторные цепи АД).

С помощью формулы (8) можно определить потери в роторных цепях и примерно пропорциональные им потери в статорных цепях АД, что позволяет оценить экономичность способов регулирования.

В таблице 6.1 приведены названия, силовые схемы и механические характеристики основных способов регулирования скорости АД.

Способ регулирования	Силовая схема	Механические характеристики	Исполнение ротора
Изменение частоты			Короткозамкнутый
Изменение напряжения			Короткозамкнутый
Изменение числа пар полюсов обмотки статора			Короткозамкнутый
Реостатное регулирование			Фазный
Импульсное регулирование роторной цепи			Фазный

По технико-экономическим показателям, наиболее совершенным из регулируемых асинхронных электроприводов является электропривод с частотным управлением. Для его осуществления между сетью переменного тока и статором АД включен преобразователь частоты (ПЧ), на выходе которого меняются амплитуда и частота фазных напряжений. Изменение частоты источника питания позволяет плавно регулировать скорость АД в широком диапазоне как выше, так и ниже номинальной.

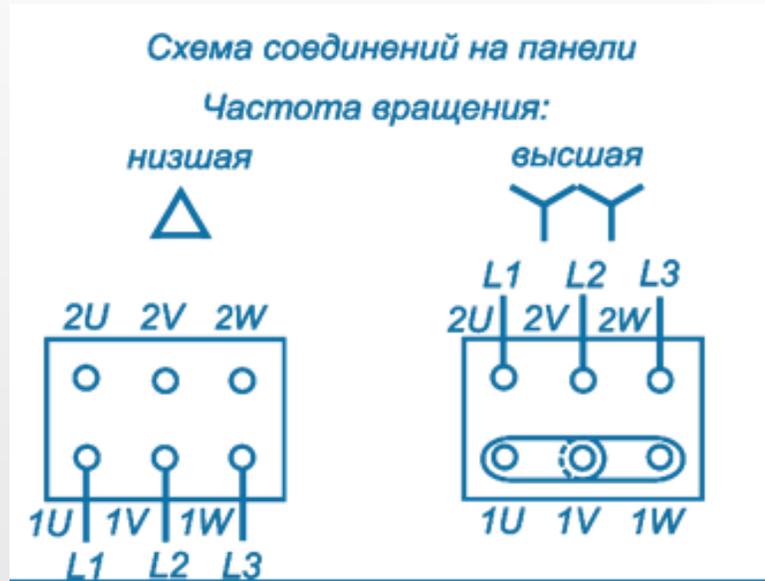
При любой частоте АД работает в пределах рабочего участка механической характеристики, где скорость близка к синхронной, что, судя по формуле (8), обуславливает небольшие потери в обмотках. Поэтому асинхронный электропривод с частотным управлением очень широко используется на практике.

Значительное применение находит система регулируемого электропривода преобразователь напряжения (ПН)-АД с короткозамкнутым ротором. При изменении фазного напряжения синхронная скорость ω_0 и критическое скольжение не изменяются, а критический момент изменяется пропорционально квадрату напряжения. Система ПН-АД с короткозамкнутым ротором служит в качестве устройств мягкого пуска и торможения, а также для обеспечения кратковременной работы электропривода на низких скоростях. В качестве ПН используются тиристорные преобразователи напряжения (ТПН), которые заменили применявшиеся ранее магнитные усилители.

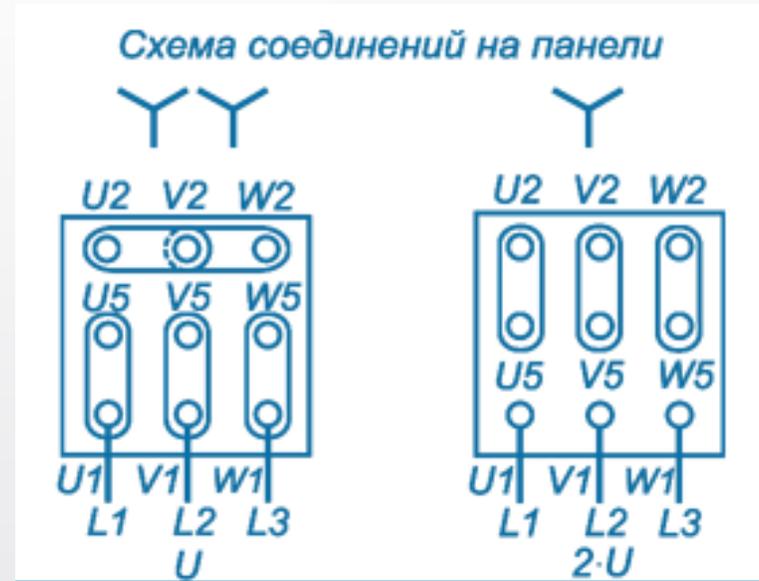
Регулирование скорости изменением числа пар полюсов p_f обмотки статора применяется при использовании специальных АД, получивших название многоскоростных. Такие двигатели имеют на статоре либо две обычные независимые обмотки, выполненные на разные числа полюсов, либо одну полюсно-переключаемую обмотку, каждая фаза которой состоит из нескольких частей; при переключении которых изменяется число ПОЛЮСОВ.

В последнем случае чаще всего обмотка каждой фазы состоит из двух частей, при их согласном включении число пар полюсов в 2 раза больше, чем при встречном.

Наибольшее применение нашли следующие схемы переключения таких обмоток: треугольник-двойная звезда и звезда-двойная звезда (рисунок 6.3). Роторы многоскоростных АД выполняются с короткозамкнутой обмоткой. Двухскоростные АД с независимыми обмотками, изготовленными на разные числа пар полюсов p_1 и p_2 и подключаемыми к сети с помощью ключей K_1 и K_2 , получили значительное распространение в электроприводах лифтовых и крановых механизмов. Для таких механизмов перспективно использование электропривода по системе ТПН-двухскоростной АД.



а)



б)

1u,1v,1w – начало первой, второй, третьей фазы соответственно; 2u,2v,2w – конец первой, второй, третьей фазы соответственно; L1, L2, L3 – контакты для подключения сети.

а) треугольник-двойная звезда, б) звезда-двойная звезда

Рисунок 6.3 – Схемы подключения АД

Для АД с фазным ротором неплохо зарекомендовали себя способы регулирования, при реализации которых в роторную цепь АД вводят силовые элементы (резисторы, преобразователи), расширяющие функциональные возможности электроприводов.

Наиболее простым из этих способов является реостатное регулирование, которое осуществляется путем изменения сопротивлений резисторов, включенных в роторные цепи АД, и широко применяется на практике. При включении симметричных сопротивлений в цепи ротора возрастает критическое скольжение, а критический момент остается неизменным.

Введение добавочных сопротивлений в цепь ротора при пуске и торможении противовключением позволяет уменьшить токи в обмотках и увеличить момент АД. При наличии добавочных сопротивлений часть потерь скольжения выделяется не в обмотке ротора, а вне двигателя в добавочных резисторах, что облегчает тепловой режим АД.

Достоинства реостатного регулирования — простота реализации, возможность ограничения токов на уровне номинальных значений в широком диапазоне скоростей; недостатки — значительные потери энергии в добавочных резисторах, ступенчатое регулирование скорости, снижение жесткости механических характеристик при больших добавочных резисторах (что может вызвать существенные изменения скорости при разных моментах нагрузки).

Реостатное регулирование используется для электроприводов мощностью до 100... 150 кВт, работающих в повторно-кратковременных режимах (например, для крановых механизмов). или для пуска АД с фазным ротором при большей мощности.

Недостаток рассмотренного реостатного регулирования, связанный со ступенчатым регулированием скорости, можно устранить способом импульсного регулирования координат. Наибольшее применение нашли схемы с импульсным регулированием в цепи выпрямленного тока ротора, в которых подключенный к ротору неуправляемый трехфазный мостовой выпрямитель V соединен с резистором R_d , периодически шунтируемым бесконтактным ключом K . При замыкании ключа резистор R_d шунтируется, а при размыкании он вводится в цепь выпрямленного тока ротора. При этом достигается эффект плавного регулирования активного сопротивления в роторной цепи.

Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока. В преобразователях частоты с промежуточным звеном постоянного тока напряжение питающей сети подается через выпрямитель и фильтр на инвертор. Инвертор, управляемый от микропроцессорной системы управления, формирует напряжение на выходе преобразователя в соответствии с принятым законом регулирования.

Инвертор — устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Обычно представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала (рисунок 6.4).

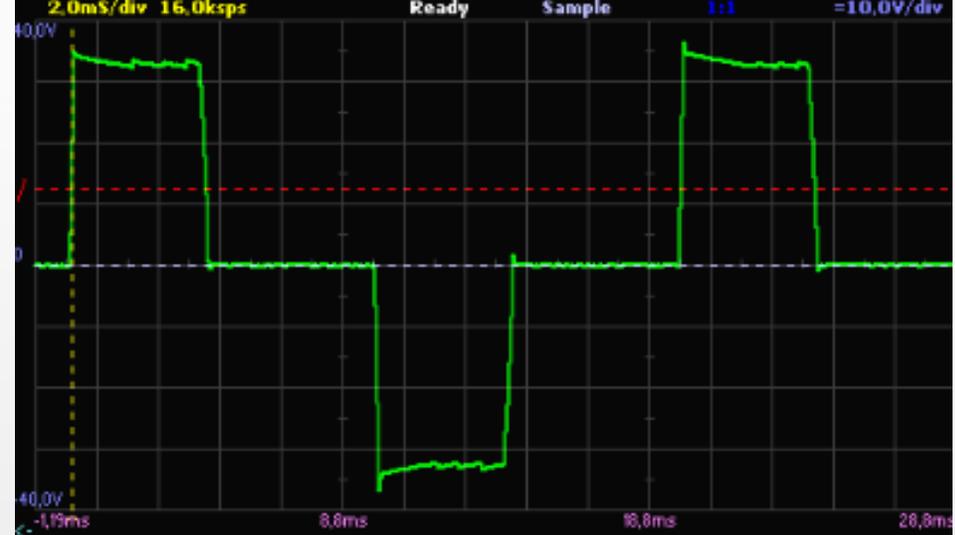
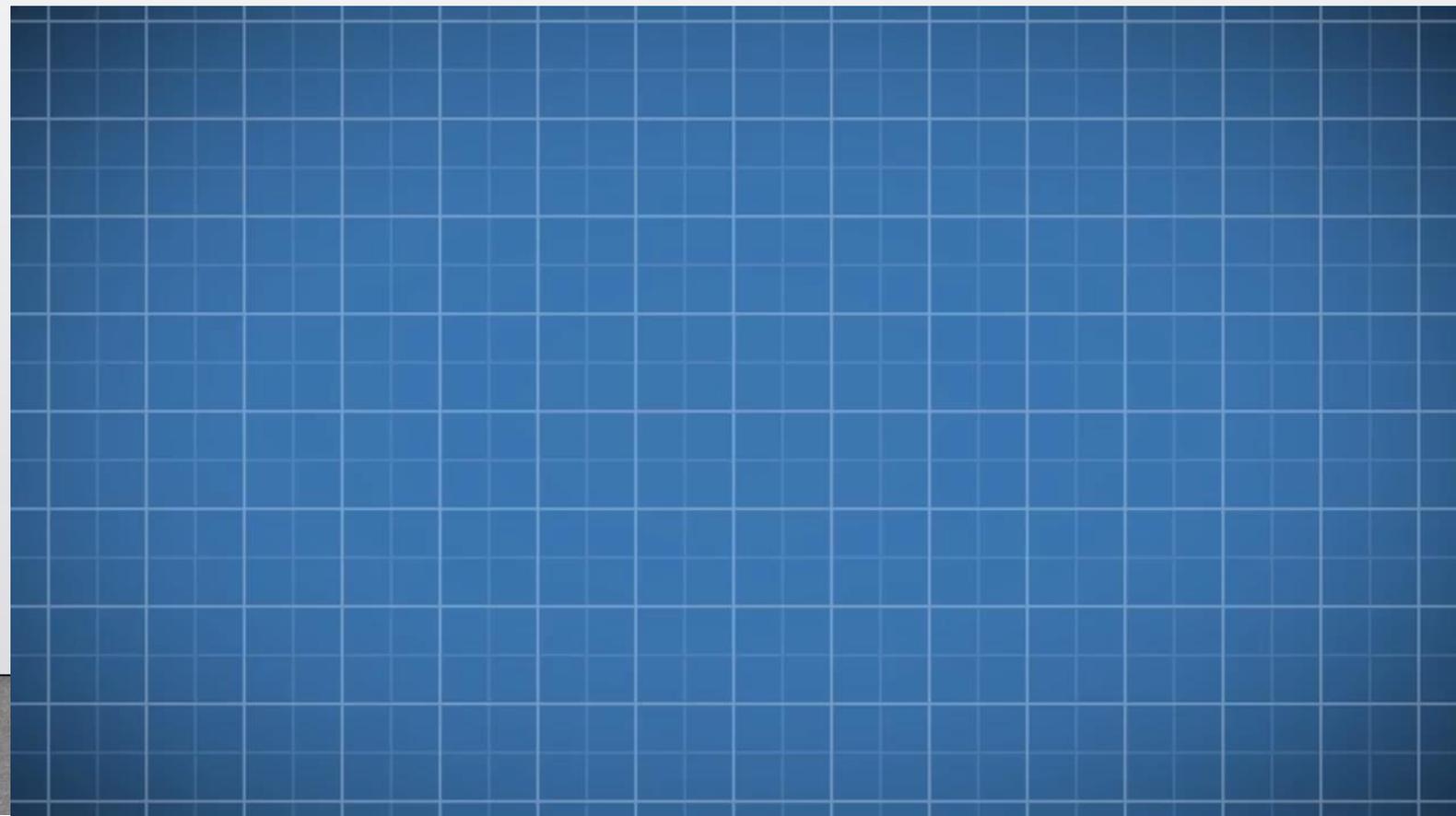


Рисунок 6.4 – Работа инвертора



Высоковольтные преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока.

Необходимость применения специальных инверторов для высокого напряжения вызывают следующие факторы:

- отсутствие ключей на высокое напряжение (>1700 В) и токи с высокой частотой коммутации, необходимой для формирования напряжения методом ШИМ, используемой в трехфазных мостовых инверторах;
- применение трехфазного мостового инвертора с увеличением напряжения приводит к увеличению производных напряжения по времени, что сказывается на требованиях к изоляции двигателя, увеличивает межвитковые емкостные токи, ограничивает длину кабеля, соединяющего преобразователь и нагрузку, и требует дорогих выходных фильтров;
- простое последовательное соединение ключей с целью повышения рабочего напряжения прибора неэффективно, так как даже при малом разбросе параметров один из ключей будет открываться и закрываться быстрее, а другой медленнее. Это приводит к тому, что в моменты коммутаций в стойке остается только один ключ на полное напряжение вместо положенных двух в статическом режиме. Поэтому надежность таких схем соединения ключей крайне низкая.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Колос, 2007. – 252 с.: ил. – 1000 экз.–ISBN 978-5-9532-0540-5
2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]: учебник для вузов /Н.Ф Ильинский. – М.: Изд. МЭИ, 2007. – 221 с.: ил. – 1000 экз.– ISBN 978-5-383-00001-4.
3. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т.IV-2/ Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.