

**НЕПРЕВЗОЙДЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
И НАДЕЖНОСТЬ В КАЖДОМ ЭЛЕМЕНТЕ**

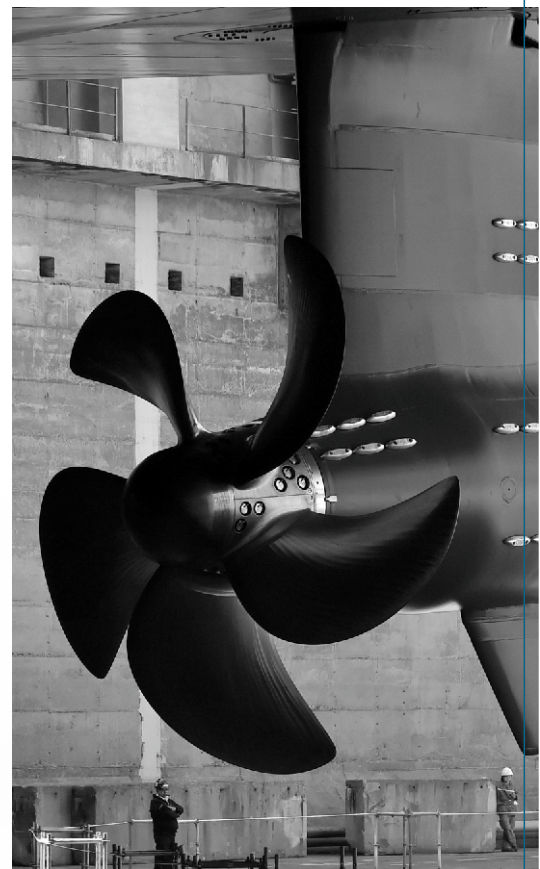


**Организация серийного производства
Вентильно-индукторных двигателей большой
мощности в Российской Федерации - важнейший
элемент - электропривод динамичного развития
экономики и обеспечения технологического
суверенитета Российской Федерации.**

В судостроении в качестве электропривода гребного винта.

Гребной электродвигатель (ГЭД), как правило, вращает гребной винт напрямую без зубчатой передачи и соответственно обеспечивает номинальные обороты вала на уровне от 15 до 250 об/мин. Основные требования предъявляемые судостроителями к ГЭД – это высокий КПД, высокий уровень надежности, минимально возможные масса и габариты и низкая стоимость. По всем озвученным параметрам электродвигатель вентильно-индукторного типа (ВИД) – это лучшее решение для судостроения, особенно в тех случаях, когда речь идет о единичной мощности привода более 10 МВт. Уровень энергопотребления судовых электродвигателей типа ВИД на 5–15% ниже (в зависимости от режимов использования) чем у асинхронных и синхронных типов электроприводов такого назначения. КПД ВИД практически не зависит от режима нагрузки, он одинаково высокий на всем диапазоне оборотов. Основной тип потерь энергии в ВИД – это омические потери в обмотках статора, на роторе обмоток нет, за счет чего ротор практически не греется.

Потребность в судовых ГЭД сильно зависит от масштабов строительства морских судов арктического класса большой грузоподъемности и портовых буксиров. В ближайшие годы, в среднесрочной перспективе спрос в Российской Федерации на ГЭД ожидается на уровне 100–250 МВт установленной мощности в год.

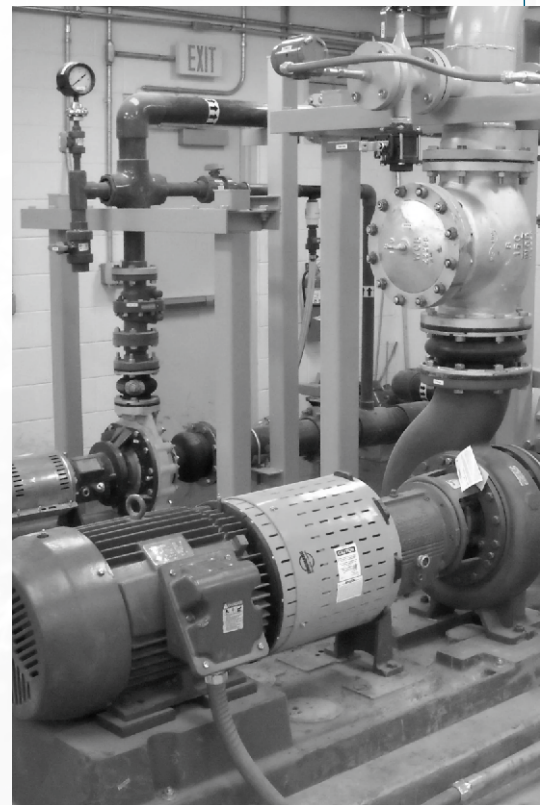


Электропривод насосов единичной мощностью более 2 МВт

Основные сферы применения насосов высокой мощности – это насосы с электроприводом в составе гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), насосы крупных гидротехнических сооружений, насосы первого подъема на водоканалах.

Стоит отметить такую ответственную сферу применения как привод циркуляционного насоса первого контура атомного реактора (ГЦНА). К этому электродвигателю предъявляются особые требования по надежности и живучести поскольку условия обслуживания его на АЭС сильно ограничены. Для циркуляционных насосов первого контура АЭС требуются достаточно мощные машины, мощностью до 8 МВт со скоростью вращения 1000 об/мин. и более, при применении которых конструкторы и разработчики на АЭС сталкиваются с проблемой пуска такого мощного насоса - пусковой момент асинхронного двигателя в качестве электропривода недостаточный для прямого пуска, а ток при прямом пуске достигает 5-6 кратного значения, классический же плавный пуск от тиристорного регулятора напряжения невозможен, а применение преобразователя частоты для запуска АД большой мощности чрезвычайно дорогое решение. Электродвигатели для АЭС на основе ВИД дешевле и значительно надежнее, чем решения на основе асинхронного двигателя. Таким образом, ВИД - лучшее решение для электропривода ГЦН первого контура и иных электроприводов АЭС.

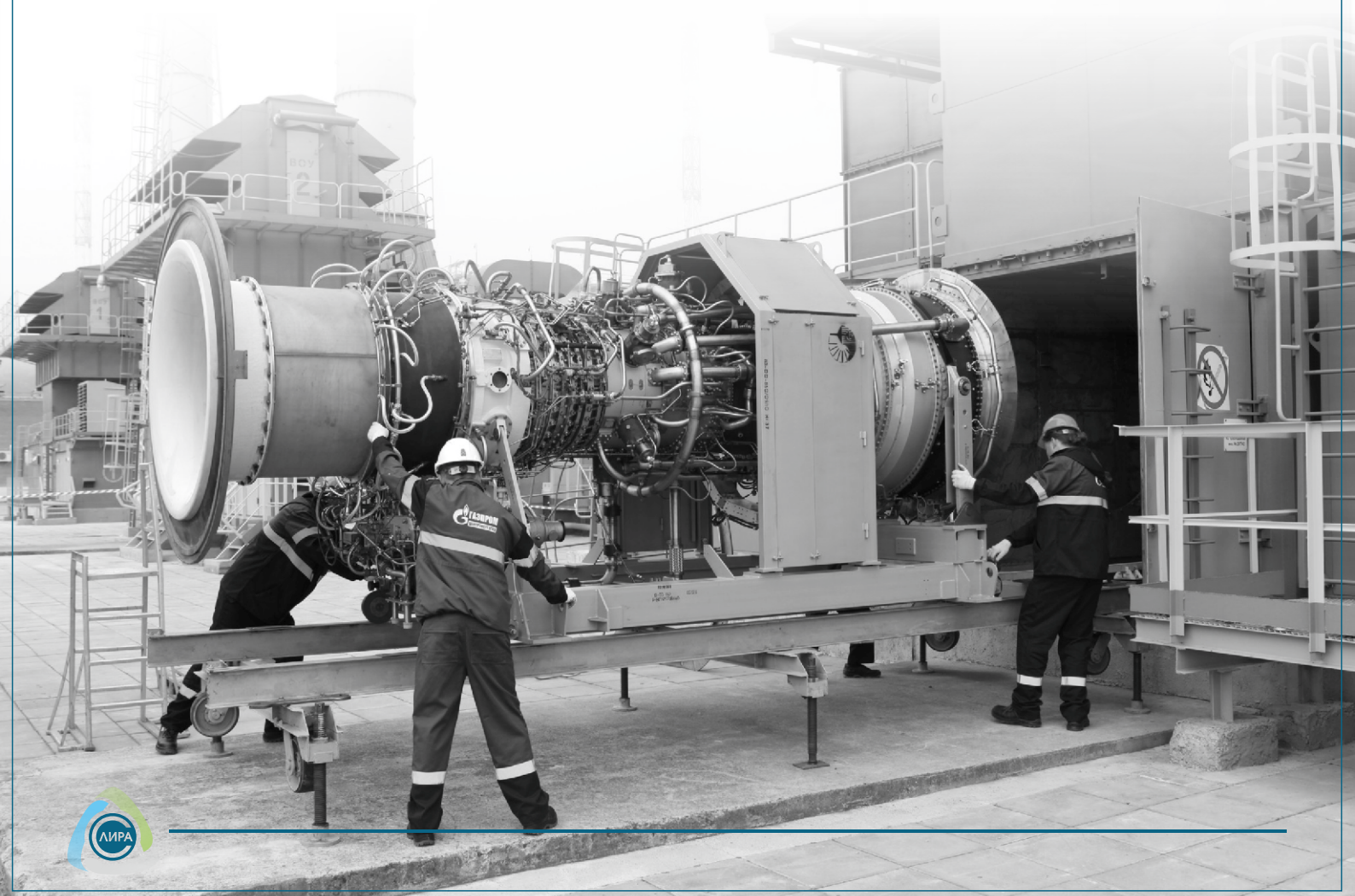
Потребность в электроприводах насосов мощностью свыше 2 МВт в среднесрочной перспективе в Российской Федерации ожидается на уровне 100–150 МВт установленной мощности в год.



Электропривод компрессоров и нагнетателей мощностью более 10 МВт.

Когда речь идет о турбокомпрессорах, то важнейшие требования разработчиков таких систем – это обеспечение достаточно плавного запуска (конструкция турбокомпрессора очень чувствительна к рывкам и ударам) при условии обеспечения уровня оборотов электропривода такого компрессора свыше 6000 об./мин. Большинство используемых турбокомпрессоров в мире имеют мощность до 50 МВт, со скоростью вращения вала до 9000 об./мин. ВИД полностью соответствует всем требованиям предъявляемым к приводам турбокомпрессоров -привод обеспечивает плавный запуск даже самой тяжелой инерционной нагрузки и точное регулирование скорости вращения и момента, обеспечивает одинаково высокий КПД на всем диапазоне оборотов. В последнее время, в условиях введенных санкций в отношении РФ, особенно актуально применение электродвигателей типа ВИД для замены газотурбинных установок, разработанных ранее с использованием недоступных к приобретению на сегодняшний день импортных комплектующих, на электропривод нагнетателя - центробежного компрессора в составе газоперекачивающих агрегатов ГПС магистральных газопроводов. Размеры электропривода ВИД меньше подлежащей замене газовой турбины, что позволит их использовать, не внося существенных изменений в конструкторскую документацию ГПА и принятые принципиальные решения технологической ячейки компрессорной станции. Частым явлением для крупных пневмосистем является авторотация нагнетателя газообразных сред или компрессора, когда при аварийной остановке привода, задвижка-шибер не успевает отработать. Повторный пуск турбокомпрессора возможен только после длительной полной остановки и последующего запуска. ВИД разработки Лира-С, включенный в состав ГПА, эффективно справляется с таким режимом работы и не требует остановок в работе газоперекачивающих установок. Уровень энергопотребления электроприводов компрессоров и нагнетателей ВИД на 10–30% ниже (в зависимости от режимов использования) чем у асинхронных и синхронных типов электродвигателей.

Потребность в электроприводах компрессоров и нагнетателей мощностью свыше 10 МВт в среднесрочной перспективе в Российской Федерации ожидается на уровне 300–500 МВт установленной мощности в год и сильно зависит от темпов строительства магистральных газопроводов.



В горной промышленности.

Электропривод крупных шаровых мельниц и мельниц мокрого самоизмельчения. Эффективность шаровых мельниц и мельниц мокрого самоизмельчения в значительной степени зависит от их размера, по этой причине это одни из самых крупных машин в тяжелой промышленности, достигающие единичной мощности до 20 МВт. Создание таких сверхмощных мельниц с электроприводом от синхронных или реже - асинхронных электродвигателей, это архисложная инженерная задача в связи с чем мощность мельниц, как правило, ограничена в пределах 10 МВт, а мельниц мощностью свыше 10 МВт изготовлено в мире буквально несколько единиц. Электродвигатель ВИД возможно сделать кольцевым вокруг рабочего корпуса мельницы. Корпус мельницы - большая бочка, которую можно использовать в качестве ротора, вокруг корпуса мельницы располагается большого диаметра статор. В конструкции такого электродвигателя нет зубчатого венца и соответственно зубчатой передачи, нет необходимости синхронизировать работу двух, а то и четырех больших электродвигателей, применяемых для синхронизированного вращения одной мельницы. При использовании кольцевого ВИД для мельниц тип привода прямой - самый простой и надежный. Кольцевой ВИД технически реализуем на технологической базе РФ предприятий входящих в кооперацию по производству ВИД для диапазона мощностей от 2 до 60 МВт. Шаровые мельницы и мельницы мокрого самоизмельчения применяются в цементной промышленности, при обогащении руды на горно-обогатительных комбинатах. Для различных типов измельчаемых материалов и руды есть свои эффективные режимы: катарактный - дробящий, каскадный - перетирающий и смешанные режимы. Для каждого материала или руды определены свои наиболее эффективные скорости и режимы работы мельницы. ВИД - оптимальный для подобных целей регулируемый электропривод, с его помощью возможен подбор скорости и режимов работы мельницы для любого материала под самый эффективный и экономичный режим. Уровень энергопотребления электроприводов мельниц ВИД на 15-35% ниже (в зависимости от типа измельчаемой руды и режимов использования) чем у асинхронных и синхронных типов электроприводов такого назначения.

Потребность в мельницах мощностью свыше 5 МВт крайне зависима от темпов роста промышленности в РФ и освоения новых месторождений и составляет 100-250 МВт в год.

В настоящий момент в Мирове, при единичной мощности электропривода более 1 МВт, серийно производятся и применяются в промышленности следующие основные типы двигателей: как правило - асинхронные электродвигатели, в особых случаях - синхронные электродвигатели, гораздо реже - коллекторные электродвигатели постоянного тока. В последние же 20 лет в мире стремительно набирает популярность электропривод с вентильно-индукторным двигателем (ВИД).

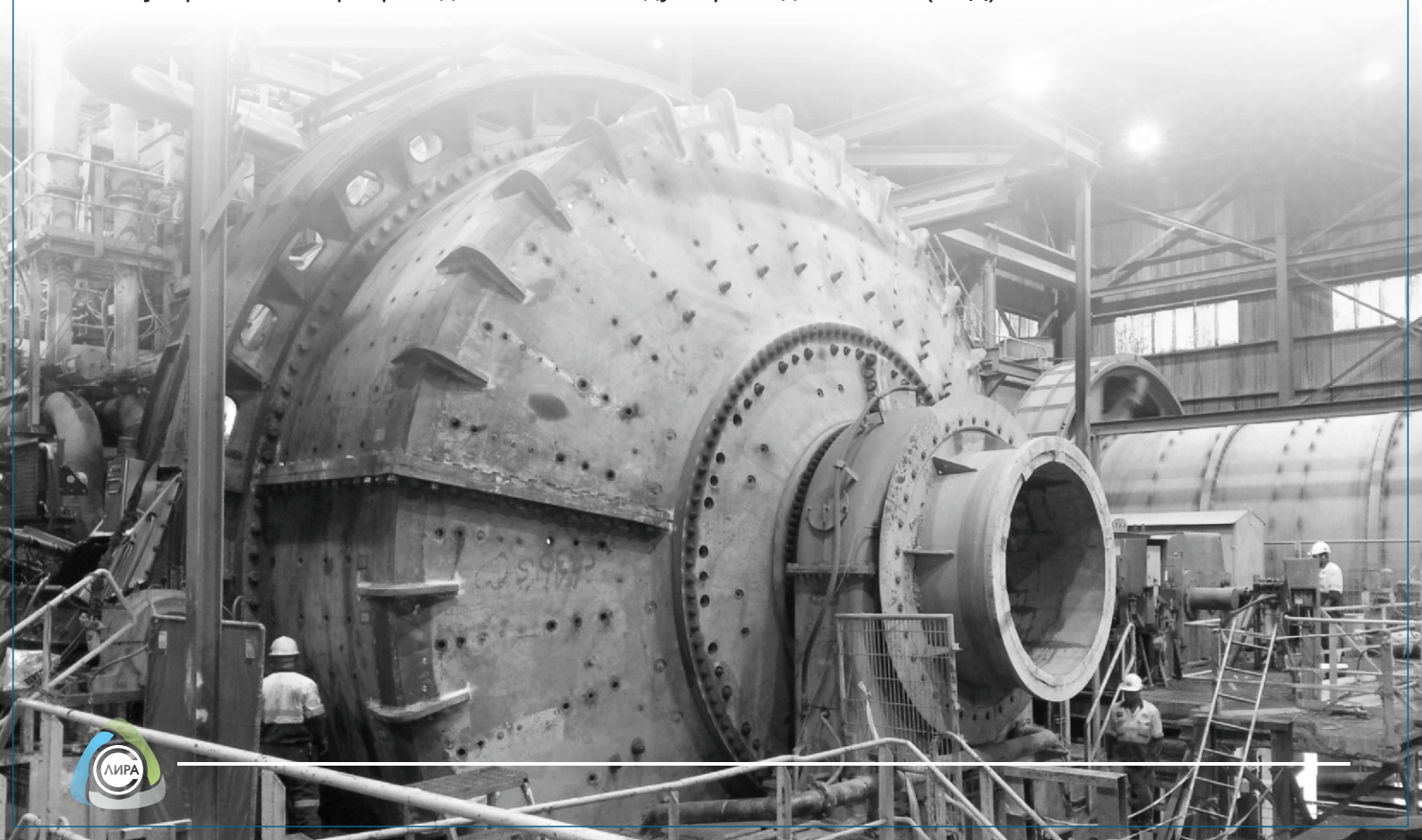
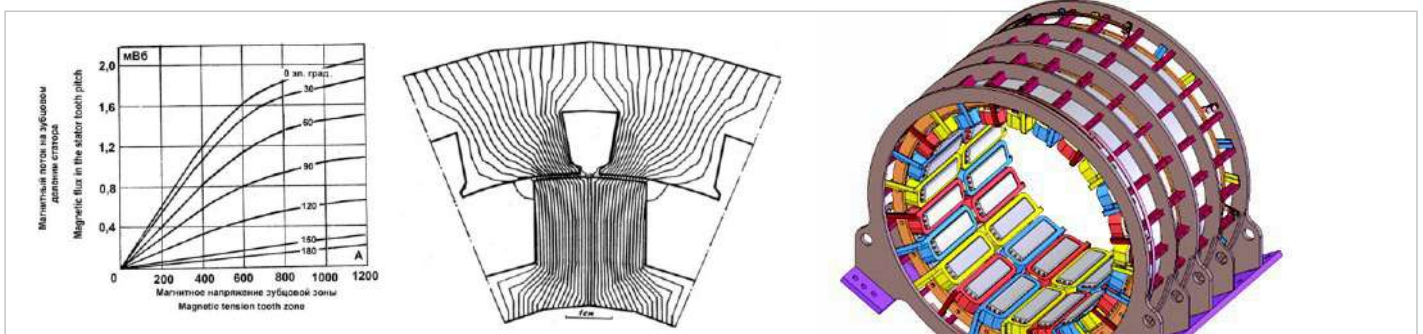


Таблица сопоставления различных типов электродвигателей.

Характеристика	Типы наиболее распространенных серийно производимых электродвигателей и ВИД.			
	Асинхронный - АД	Синхронный - СД	Коллекторный - КД	Вентиль -индукторный - ВИД
Стоимость , относительная единица .	1	1,2	1,7	0,8
КПД	80-92	85-92	80-90	85-97
$\cos \varphi$	0,6-0,8	0,8-0,95	0,6-0,95	0,92
Стоимость системы управления , о.е.	1	1-1,2	0,5	0,8
Доступная мощность , МВт	до 8	до 12,5	до 1	до 120
Ремонтопригодность двигателя – перечень узлов , требующих пристального контроля , регулярной диагностики , обслуживания и ремонта	Лобовые части обмоток статора АД, в силу особенностей конструкции , взаимно перемещаются и трутся друг о друга , особенно сильно при пуске двигателя . Часто происходит пробой изоляции обмотки , вследствие взаимного трения и повышения уровня влажности с последующим коротким замыканием . Преобразователь частоты АД генерирует ток высокой частоты (20-50 кГц) в изоляции обмоток (емкостной ток) , что приводит к быстрой деградации изоляционных материалов . Ремонт токоведущей части возможен только в условиях завода - изготовителя или специализированном ремонтном предприятии .	Требуется периодическое обслуживание и ремонт щеточного узла . Лобовые части обмоток СД, в силу особенностей конструкции , взаимно перемещаются и трутся друг о друга , особенно сильно при пуске двигателя . Часто происходит пробой изоляции обмотки , вследствие взаимного трения и повышения уровня влажности с последующим коротким замыканием . Преобразователь частоты СД генерирует ток высокой частоты (20-50 кГц) в изоляции обмоток (емкостной ток) , что приводит к быстрой деградации изоляционных материалов . Ремонт токоведущей части ротора и статора возможен только в условиях завода -изготовителя или специализированном ремонтном предприятии .	Требуется постоянное обслуживание и периодический ремонт щеточного узла . Часто происходит пробой изоляции обмотки с последующим коротким замыканием по причине повышения уровня влажности . Чрезвычайно сложный процесс ремонта обмоток двигателя и особенно коллектора КД в силу особенностей конструкции возможен только в условиях завода -изготовителя или специализированном ремонтном предприятии .	ВИД с обмотками статора литого типа (обмотки залиты компаундом) не подвержены отсыреванию . Тип обмоток ВИД очень простой – цилиндрический , каждая обмотка физически разнесена от других обмоток , взаимного трения не происходит . Токов высокой частоты нет – быстрая деградация изоляционных материалов исключена . В силу модульности конструкции ВИД и отсутствия обмоток на роторе - ремонт токоведущей части очень прост и возможен на месте эксплуатации силами обслуживающего персонала .
Ремонтопригодность системы управления - СУ	Ремонт ПЧ – сложный , возможен на месте только силами ремонтного персонала высочайшей квалификации .	Ремонт ПЧ – сложный , возможен на месте только силами ремонтного персонала высочайшей квалификации	Ремонт управляемого выпрямителя средней сложности , требует квалифицированного персонала .	Ремонт коммутатора осуществляется путем блочной замены по причине построения системы управления двигателем на модульном принципе , ремонт возможен силами обслуживающего персонала .
Ремонт и обслуживание	- подшипников .	- подшипников , - щеток - щеточного узла	- подшипников , - щеток - щеточного узла	- подшипников
Обслуживание системы управления - СУ	Простое - периодический контроль системы охлаждения ПЧ	Средней сложности - периодический контроль системы охлаждения ПЧ и возбудителя	Простое - периодический контроль системы охлаждения выпрямителя	Простое - периодический контроль системы охлаждения выпрямителя . Блочная замена
Уровень локализации двигателя	От 80 до 100% В ряде случаев требуется импортная высоковольтная изоляция и подшипники	От 80 до 100% В ряде случаев требуется импортная высоковольтная изоляция и подшипники	До 100%	До 100 %
Уровень локализации системы управления - СУ по стоимости	Для ПЧ более 1 МВт - менее 40 % Для ПЧ 5 МВт - менее 20 %	Для ПЧ более 1 МВт - менее 40 % Для ПЧ 5 МВт - менее 20 %	Возможен до 100%	Возможен до 100% при мощности от 1 до 100 МВт
Наличие в составе ключевых импортных компонентов и материалов из недружественных стран и стран с ограничениями по экспорту , включая лицензионных производителей из дружественных стран . Применение	Ключевые элементы : - Силовые IGBT транзисторы , - Датчики тока и напряжения Общепромышленные электропривода насосов , вентиляторов , турбокомпрессоров . Возможен прямой пуск и работа от сети . Малый стартовый момент двигателя и значительный (6-кратный) ток при прямом пуске . При пуске двигателя большой мощности (более 500 кВт) требуется устройство плавного пуска или ПЧ . Может работать напрямую от сети на максимальной мощности , при таком режиме работы управление мощностью и оборотами невозможно .	Ключевые элементы : - Силовые IGBT транзисторы , - Датчики тока и напряжения Общепромышленные электропривода мельниц , насосов , вентиляторов , турбокомпрессоров . Тяговые электродвигатели ЖД локомотивов . В сферах где важным является компактность , высокий $\cos \varphi$. Возможен прямой пуск и работа от сети . Значительный (6-кратный) пусковой ток . При пуске двигателя большой мощности (более 500 кВт) требуется устройство плавного пуска или ПЧ . Может работать напрямую от сети на максимальной мощности , при таком режиме работы управление мощностью и оборотами невозможно .	Импортные компоненты и материалы отсутствуют Электроприводы с тяжелыми условиями работы : ударная нагрузка , работа на упор , частые перегрузки , большой стартовый момент , частый пуск/стоп/реверс , глубокое регулирование момента и скорости . Прокатные станы , тяговые двигатели повсеместно , карьерные машины . Возможен прямой пуск и работа от сети постоянного тока без ограничений . Простая и надежная система управления . Дорогой и сложный в эксплуатации электродвигатель . Может работать напрямую от сети на максимальной мощности , при таком режиме работы управление мощностью и оборотами невозможно .	Импортные компоненты и материалы отсутствуют Общепромышленные электроприводы крупных шаровых мельниц , мельниц самоизмельчения , насосов , вентиляторов , турбокомпрессоров . В случаях когда важным является высокий $\cos \varphi$, работа на упор , ударная нагрузка . ВИД безальтернативен , когда единичная мощность электропривода от 15 МВт до 120 МВт . Работа ВИД возможна только в паре с преобразователем -коммутатором . Вентильно -индукторный привод - является управляемым по своей природе и обязательно имеет в своем составе систему управления .

У электродвигателей типа ВИД момент на валу формируется за счет "втягивания" ротора в поле статора, как гвоздь притягивается к электромагниту. Ротор пытается занять устойчивое положение, реагируя на поле статора, поэтому вентильно-индукторные двигатели часто называют - вентильно-реактивные двигатели, от слова "реакция". ВИД - электродвигатель постоянного тока отлично работает на упор и удержание, а также с ударными нагрузками, на что до недавнего времени был способен только дорогой и сложный коллекторный двигатель. ВИД - по сути модульный тип электродвигателя, состоящий обычно из десятков одинаковых элементов: электромагнитных катушек - полюсов, «зубьев» ротора из магнитного материала (в составе ротора отсутствуют активные элементы) и унифицированных блоков системы управления - коммутационных ячеек, работающих независимо друг от друга – именно этими ключевыми особенностями конструкции обеспечивается непревзойденная надежность и живучесть ВИД. Вентильно-индукторный электродвигатель практически невозможно вывести из строя не уничтожив полностью - даже при выходе из строя половины катушек статора или коммутационных ячеек системы управления ВИД сохраняет работоспособность, что доказано практикой эксплуатации на морском судне.



Особенности ВИД:

- На роторе двигателя нет активных элементов – катушек и электромагнитов, соответственно нет щеток и щеточного узла, на роторе нет постоянных магнитов.
- Простота и технологичность изготовления двигателя (катушки очень простые как у трансформатора) обеспечивают высокую надежность и ремонтпригодность, в том числе в «полевых» условиях. Элементарная конструкция обмоток катушек статора исключает межфазные замыкания, на роторе нечему выходить из строя, так как нет обмоток и магнитов.
- Повышенная надежность и живучесть - обеспечивается секционированием двигателя и системы управления - отказ любой секции не приводит к отказу ВИД в целом;
- Простота наращивания мощности – путем увеличения количества секций до необходимого уровня, каждая такая секция или катушка управляется от отдельной низковольтной ячейки системы управления;
- Меньшая стоимость комплектного электропривода типа ВИД за счет наличия технической возможности создания электродвигателя большой мощности на основе низковольтных элементов – низковольтный электродвигатель и система управления к нему не менее чем на 30% дешевле аналогичного по мощности высоковольтного электродвигателя;
- Высокие энергетические показатели - КПД (до 93–97%) и коэффициент мощности (до 0,97). Надежная и длительная работа в старт-стопных, тормозных режимах и в режиме фиксации – обеспечивают минимизацию энергетических потерь на выделение тепла в роторе и исключают перегрев ротора.
- Широкий диапазон регулирования скорости до 1000:1 и момента до 100:1 с малыми пульсациями и низким уровнем шума.
- Высочайший уровень автоматизации и диспетчеризации за счет использования в системе управления СТК ВИД современных технологий интеллектуальных распределенных систем управления: СУ распределенной структуры секциями объединены локальной промышленной сетью CAN-Open по оптоволоконным линиям связи с выходом на АСУТП по интерфейсу MODBUS

Преимущества вентильно-индукторного двигателя (ВИД):



Модульная конструкция

Электродвигатель типа ВИД состоит из ротора без активных элементов и статора, состоящего из силовой рамы и унифицированных элементов – электромагнитных катушек. Варьируя количество катушек и их взаимное расположение, создается ВИД различной мощности и скорости вращения. На основе одних и тех же компонентов – катушек и ячеек системы управления возможно сделать как малооборотный (50–200 об/мин) двигатель с большим моментом силы – гребной электродвигатель для морского судна, так и высокооборотный (6000-9000 об./мин.) электродвигатель для мощной компрессорной установки. ВИД незаменим если необходимо построить большой сверхмощный кольцевой безредукторный электродвигатель крупной мельницы для нужд горной или цементной промышленности.



Высочайшая живучесть

В одном двигателе на статоре унифицированных электромагнитных катушек-полюсов может быть несколько десятков или даже сотни штук. Ток в каждой отдельной катушке-полюсе формируется отдельным источником питания – коммутационной ячейкой. При выходе из строя какой-либо одной катушки или ячейки двигатель теряет лишь малую часть мощности и продолжает работать, сохраняя свою эффективность на всех режимах работы. На практике допустим выход из строя до половины катушек статора или ячеек системы управления без необходимости остановки электропривода на ремонт.



Неприхотливость.

Предельно простая конструкция ротора, отсутствие обмоток и постоянных магнитов на роторе, позволяет ВИД выдерживать ударные нагрузки, длительную работу на упор (удержание) и большие скорости вращения, за счет минимизации несбалансированных центробежных сил и технологически простой балансировки ротора.

Отсутствие щеток и щеточного узла обеспечивает невосприимчивость ВИД к таким разрушительным для АД и СД факторам как - высокий уровень влажности, загрязнения токопроводящей пылью и топливной, масляной или мазутной взвесью. ВИД с системой управления СТК, разработки Лира-С практически не восприимчив к кратковременному и даже относительно длительному падению напряжения, а также устойчив к многократной перегрузке по силе тока. ВИД - электродвигатель постоянного тока и при падении напряжения питания с одновременным сохранением момента нагрузки на валу, в обмотках статора будет увеличиваться ток для удержания нагрузки до безопасного уровня, ограниченного защитной автоматикой. Такой режим работы возможен благодаря тому, что даже многократное кратковременное увеличение силы тока не представляет опасности для простых прямых обмоток статора и тиристорной системы управления ВИД. При слишком сильном падении напряжения или слишком большом моменте нагрузки, ВИД остановится и встанет на упор до тех пор, пока уровень напряжения или уровень момента нагрузки не восстановится до штатных значений. Эти особенности конструкции позволят избежать долговременных простоев электропривода для перезапуска и существенно повышают уровень безопасности даже в аварийных режимах.



Гибкость решений

В отличие от асинхронных и синхронных электродвигателей, ВИД не имеет сложной системы обмоток и единого электромагнитного поля. Эта особенность обеспечивает высочайшую надежность и позволяет гибко управлять двигателем. На основе унифицированных элементов – катушек статора и тиристорных ячеек системы управления предприятие Лира-С готово оперативно разработать и произвести двигатели различной конфигурации: классические радиальные, радиальные обращенные, аксиальные, а также кольцевые или линейные двигатели практически любых требуемых Заказчику характеристик.

Преимущества вентильно-индукторного двигателя (ВИД):



Изготовлен на 100% из отечественных комплектующих и материалов

В настоящее время, одним из основных типов импортных материалов, применяемым при изготовлении высоковольтных электродвигателей большой мощности является высоковольтная электроизоляция. Простая конструкция электромагнитной катушки ВИД обеспечивает простоту технологии ее изготовления даже в высоковольтном варианте. Технология производства таких катушек хорошо освоена в России на десятках предприятий и не требует использования импортных материалов и изделий. Технические расчеты показывают, что даже ВИД мощностью 120 МВт возможно создать без использования высоковольтных компонентов, что позволяет полностью отказаться от использования импортных материалов и изделий при производстве ВИД и снизить его стоимость.



Энергоэффективность и высокий КПД электропривода вентиль-индукторного типа - до 97%.

Отсутствие обмотки на роторе, использование запатентованной конструкция ротора, отсутствие широтно-импульсного модулирования - ШИМ в токе статора обеспечивают значительное снижение динамических потерь, что повышает энергоэффективность и существенно снижает эксплуатационные затраты на электроэнергию.



Возможность изготовления сверхмощных электродвигателей при минимальных требованиях к уровню напряжения его компонентов.

Увеличивая количество катушек, возможно создать электродвигатель практически любой мощности. Если взять за основу низковольтные катушки, то даже низковольтный вентильно-индукторный двигатель или генератор на несколько десятков мегаватт будет обладать стабильно высоким КПД, что недостижимо для асинхронного или синхронного двигателя или генератора сопоставимо больших мощностей. Низковольтный двигатель или генератор на практике всегда надежнее, безопаснее и дешевле высоковольтного.



Сверхнадежность.

Конструкция электромагнитных катушек ВИД цилиндрическая и очень простая. Цилиндрические катушки, при необходимости использования ВИД в сложных условиях эксплуатации, изготавливаются с литым типом изоляции, что обеспечивает надежную и бесперебойную работу на протяжении десятилетий.



Ремонтопригодность.

Ротор не имеет активных элементов, не греется, единственными активными элементами ВИД являются электромагнитные катушки статора и ячейки системы управления. Замена отдельной унифицированной электромагнитной катушки или унифицированной ячейки в сборе - дело несложное, с которым в силах справиться даже оперативно-ремонтный персонал, что существенно сокращает простои по причине ремонта технологических линий с вентильно индукторным электроприводом, производства Лира-С.



Низкая стоимость.

Унификация основных элементов двигателя и системы управления - электромагнитных катушек и ячеек, простота их конструкции, предельно простой ротор без активных элементов - постоянных магнитов и обмоток позволяет существенно повысить надежность электропривода и снизить стоимость ВИД. Электропривод ВИД разработки и производства Лира-С на 10-20% дешевле чем все известные электродвигатели сопоставимой мощности в диапазоне от 5 до 120 МВт.

Принцип работы ВИД известен еще с середины прошлого века, но двигатель не получил широко распространения в силу объективных причин. Одна из главных причин того, что ВИД мало распространен - простота самого двигателя компенсируется сложностью его управления, сложностью математического аппарата и ограниченными в течение многих лет развития электротехники возможностями системы управления на основе вычислительной техники.

Подавляющее большинство разработчиков ВИД в мире пытаются решить задачу управления ВИД адаптируя известные методы управления АД, но не слишком успешно. В связи с чем укоренилось мнение, что ВИД работать не может, что от шума при работе ВИД никак не избавиться.

Специалисты предприятия ЛИРА-С определили способы и методы эффективного управления ВИД, позволяющие получить великолепные рабочие характеристики, радикально снизить уровень шума при работе ВИД до лучших показателей уровня шума асинхронных электродвигателей. Применив методы нечеткой логики, специалисты Лира-С рассчитали такую систему управления, которая обеспечивает низкий уровень шума ВИД при сохранении высокой эффективности электродвигателя и позволяет применить в своем составе в качестве основных компонентов системы управления - приборы силовой электроники серийно производимые отечественной промышленностью - тиристоры в качестве основных силовых элементов, а также микроконтроллеры полностью построенные на отечественной компонентной базе разработанные специалистами Лира-С в качестве основного элемента логического управления.



Мировой опыт применения электроприводов вентиль-индукторного типа.

ВИД более 20 лет активно применяется в качестве электроприводов тяжелой карьерной техники такими компаниями как CATERPILLAR.

На последних моделях Белаз установлены электроприводы колес вентиль-индукторного типа.

Компания СУЭК перевела на ВИД большую часть электроприводов конвейеров, используемых при добыче угля открытым способом, и достигла за счет замены электроприводов с АД на ВИД снижения энергопотребления на 30 %.

ВИД установлен на мощных карьерных экскаваторах карьерно-гусеничного типа, достигнуто снижения энергопотребления на 25-35%.

Единственное в мире многоцелевое судно проекта 745.1 Виктор Конецкий более 12 лет в составе ВМФ РФ успешно выполняет поставленные задачи без необходимости ремонта установленного на нем гребного электродвигателя вентиль-индукторного типа, активное участие в создании, разработке программного обеспечения, пуско-наладке и швартовых испытаниях которого приняли сотрудники Лира-С.

На самые мощные модели электромобилей Tesla с 2023 года серийно устанавливаются электродвигатели вентиль-индукторного типа.



Перед научно-техническим коллективом ООО "Ли́ра-С" была поставлена задача разработать электропривод большой единичной мощности. Разрабатываемый электропривод по габаритам и массе должен не превышать параметров широко распространённых асинхронных и синхронных электроприводов, должен быть гораздо более надежным, быть существенно дешевле и изготовлен на 100% из отечественных материалов и комплектующих изделий.

Имея опыт в реализации уникального электропривода на основе вентильно-индукторного двигателя в качестве соисполнителя по заказу Крыловского государственного научного центра, обладая необходимыми компетенциями и уникальной научно-технической базой, коллектив предприятия Ли́ра-С успешно реализовал, в своей области, поставленную перед отечественной промышленностью Президентом РФ задачу обеспечения технологического суверенитета путем разработки и организации производства низкооборотных ВИД – от 30 до 300 об/мин мощностью от 2 до 40 МВт и высокооборотных ВИД – от 3000 до 7500 об/мин. мощностью 16, 25 и 36 МВт для использования в ГПА ГТС магистральных газопроводов.

Как известно, недостатком ВИД является повышенный уровень шума.

Предприятие Ли́ра-С на основе наработанного годами опыта определила способы уменьшения пульсаций момента вращения ротора и таким образом уменьшила шум издаваемый ВИД до самых низких показателей уровня шума АД.

Разработанные нами меры по снижению уровня шума включают улучшения конструкции самого ВИД за счет внесенных изменений формы и взаимного расположения элементов магнитной системы двигателя и оптимизацию алгоритма и методов управления ВИД.

При работе в регулируемом режиме от преобразователя частоты основной конкурент ВИД - асинхронный электродвигатель издает достаточно громкий высокочастотный шум на частоте ШИМ (около 20 000 Гц).

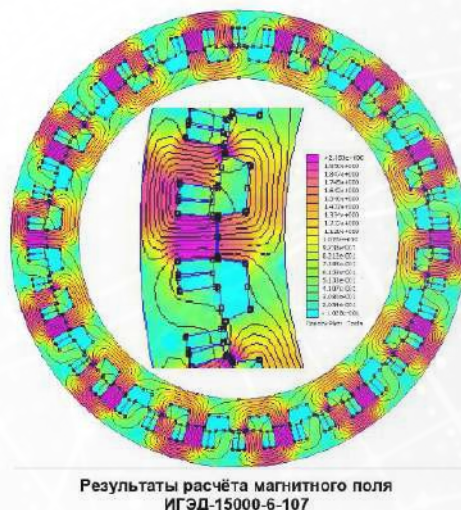
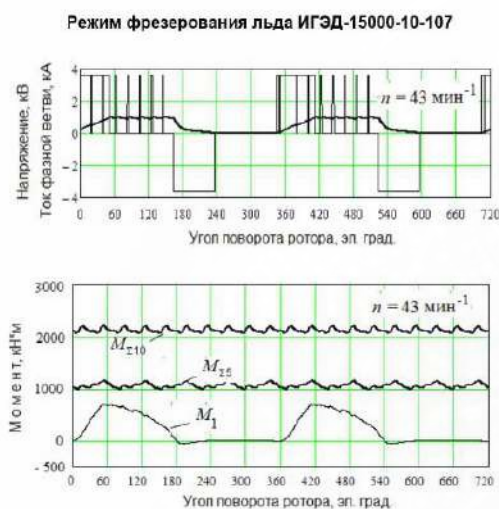
Внесенные нашими разработчиками модификации и отсутствие ШИМ в системе управления ВИД Ли́ра-С позволит не только избавиться от высокочастотного шума, но и значительно снизить коммутационные потери в преобразователе и двигателе что существенно повышает КПД электропривода.

Разработанная Ли́ра-С система управления ВИД - СТК

Источником питания для ВИД нашей разработки является силовой транзисторно-тиристорный коммутатор (СТК).

СТК и ВИД нашей разработки построены на модульном принципе конструкции и состоят из унифицированных элементов – катушек с обмотками и унифицированных коммутационных ячеек (далее - ячейка). СТК имеет в своем составе от 6 до нескольких десятков отдельных ячеек. Назначение каждой отдельной ячейки СТК ВИД - коммутация тока в отдельной полюсной электромагнитной катушке или группы катушек ВИД путем намагничивания и размагничивания катушек по заданному центральным контроллером и модулями-диспетчерами алгоритмам.

Метод управления реализуемый Ли́ра-С, отличается тем, что не требует реализовывать ШИМ при формировании тока в фазной обмотке, что позволяет применить в качестве ключей более простые и надежные приборы силовой электроники - отечественные тиристоры вместо дорогих импортных транзисторов.



Особенности СТК ВИД:

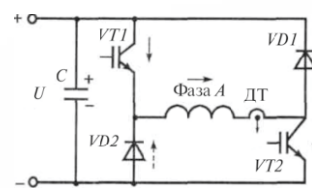
Силовой преобразователь-коммутатор для электродвигателя типа ВИД можно сделать на транзисторах, что и делают все известные нам разработчики ВИД.

Лира-С на основе своего опыта предлагает решение преобразователя-коммутатора, в котором вместо транзисторов в качестве основных силовых элементов применены тиристоры.

Для управления тиристором необходима специальная схема управления, основным элементом которой является конденсатор большой емкости, рассчитанный на рабочее напряжение ключа-тиристора. Сравнительно более сложная схема управления тиристором компенсируется тем, что конечная стоимость СТК нашей разработки существенно ниже, чем преобразователь-коммутатор на транзисторах аналогичной мощности.

Тиристорные ключи - тиристоры имеют ряд преимуществ перед транзисторами в применении СТК ВИД:

- Тиристоры обладают непревзойденной многократной перегрузочной способностью по силе протекающего через них тока, безопасностью в аварийных режимах и не взрываются как силовые транзисторы, что в сумме наделяет силовую схему СТК ВИД высочайшей надежностью и живучестью.
- Тиристоры давно и хорошо освоены отечественной промышленностью в полном цикле производства, чего не скажешь о мощных транзисторах IGBT, они практически все импортного производства или корпусируются на российских заводах на импортной элементной базе.
- Стоимость тиристора более чем в 10 раз меньше стоимости аналогичного по напряжению и току IGBT транзистора.

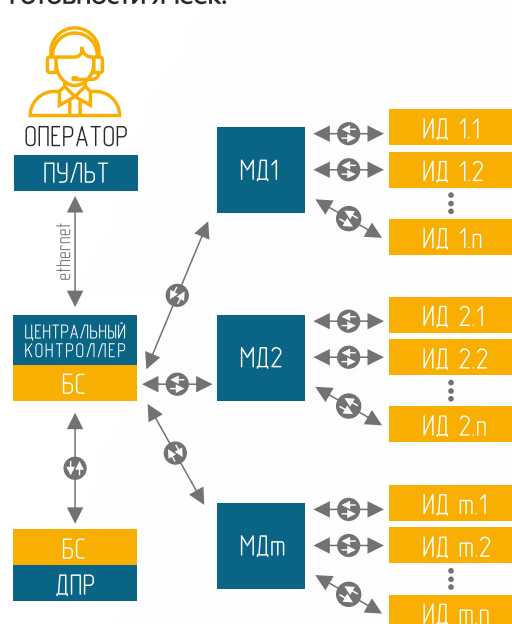


Распределенная система управления модульным преобразователем (РСУМП)

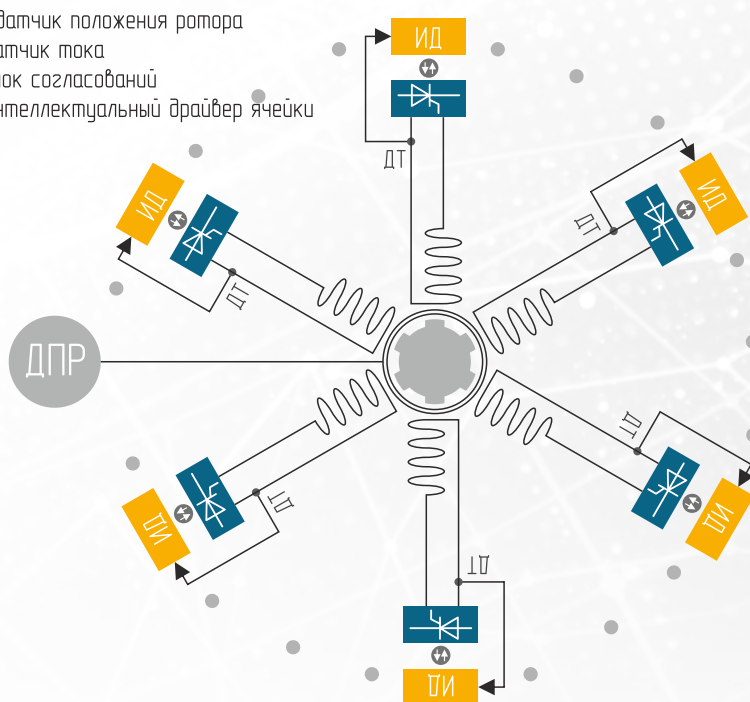
Основным функциональным блоком системы управления (СУ) ВИД является - коммутационная ячейка (далее Ячейка). Ячейка имеет в своем составе плату управления – драйвер, который формирует сигналы управления тиристорами (включить/выключить), контролирует основные параметры (токи и напряжение) в рамках одной отдельной ячейки, производит самодиагностику ячейки и формирует сигналы готовности и аварии.

Несколько ячеек чаще всего объединяются, формируя фазу электродвигателя. Таким образом, ячейки в составе группы должны работать согласованно друг с другом, за это отвечает модуль-диспетчер (далее МД). МД обеспечивает контроль включения и выключения тока в фазе двигателя по командам от центрального контроллера (далее ЦК). МД распределяет и собирает данные о подключенных к нему ячейках, обеспечивает синхронизацию работы ячеек, анализирует исправность ячеек в случае неисправности какой-либо из ячеек МД самостоятельно программным способом исключает неработоспособную ячейку из рабочего процесса, перераспределяя нагрузку на оставшиеся, только оповещая об этом ЦК.

Центральный контроллер реализует верхний уровень управления, анализирует команды от оператора, состояние нагрузки и двигателя (скорость вращения, момент на валу, положение ротора двигателя). ЦК формирует команды об увеличении или уменьшении тока в фазах двигателя. В самом процессе формирования тока ЦК не участвует, а перепоручает это модулям МД. Модуль-диспетчер реализует тот или иной заложенный в нем простой алгоритм, получив короткую типовую команду от ЦК, МД интерпретирует полученную команду и формирует управляющую команду для каждого отдельного подчиненного ему ИД с учетом работоспособности и готовности ячеек.



ДПР – датчик положения ротора
ДТ – датчик тока
БС – блок согласований
ИД – интеллектуальный драйвер ячейки

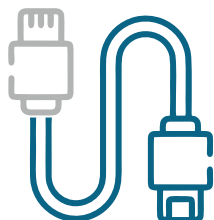


Структура системы управления позволяет распределять вычислительную нагрузку с одного микроконтроллера между множеством унифицированных подсистем, что позволяет обеспечить:



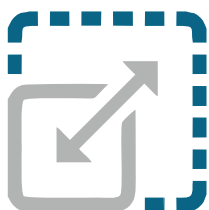
Высокую надежность работы системы управления электродвигателем СТК ВИД.

Разработанная нами топология системы управления многократно увеличивает скорость реакции на изменения токов и напряжений за счет сокращения пути сигнала. ЦК нет необходимости анализировать сигналы с десятков и сотен датчиков, анализ сигналов происходит "на месте"- либо на уровне драйвера, либо на уровне МД. Четкое иерархически горизонтальное распределение обязанностей в распределенной системе управления позволяет ей сохранять работоспособность даже при выходе из строя или зависания любого отдельного элемента системы. Построенная на основе оптических каналов связи система управления электродвигателем СТК ВИД, позволяет добиться непревзойденного уровня помехозащищенности и отказоустойчивости.



Малое количество проводных соединений.

Количество ячеек в СТК может достигать многих десятков и даже сотен – такая структура предполагает огромное количество связей, сложную структуру и значительную длину управляющих линий – что противоречит задачам повышения надежности и снижения стоимости. За счет распределенной иерархической структуры СТК и функционального объединения управляемых и контролируемых элементов – драйверов ячеек - посредством промежуточного звена управления модуля-диспетчера, ЦК имеет количество связей практически равным количеству фаз двигателя, а это на два порядка меньше количество соединений и длины управляющих линий по сравнению с сопоставимой системой управления электродвигателем построенной по классической схеме драйвер – центральный контроллер. Поэтому, несмотря на использование в нашей системе управления – СТК ВИД дорогостоящих, быстрых и помехоустойчивых оптоволоконных линий связи, за счет сокращения количества соединений и общей длины линий управляющей коммутации стоимость СТК ВИД существенно ниже.



Легкая масштабируемость системы.

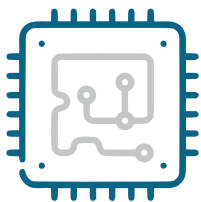
В зависимости от требований, предъявляемых Заказчиком к электродвигателю, меняется рабочее напряжение, сила тока, обороты двигателя, количество фаз и ячеек – при этом не меняются архитектура СТК ВИД, базовые элементы системы управления СТК - унифицированные драйверы ячеек и модули-диспетчеры. Благодаря чему в кратчайшие сроки Лири-С способно разработать и запустить в производство систему управления СТК ВИД под двигатель любой мощности и оборотов, удовлетворяющий всем требованиям Заказчика, без необходимости увеличения стоимости разработки уникального электропривода созданного под нужды Заказчика.



Оперативная корректировка режимов работы и адаптация под новые задачи электропривода ВИД с системой управления СТК

Как правило, частым изменениям подвержен режим работы и характеристики электропривода. Возможность дистанционно и быстро произвести необходимые программные корректировки со стороны предприятия-изготовителя - очень ценное качество. Простой оборудования обходятся Заказчикам очень дорого. Так, к примеру, Заказчику необходимо изменить режимы работы мельницы мощностью 20 МВт в связи с изменением характеристики поступающей руды – операторы мельницы со стороны Заказчика при дистанционном содействии инженеров и конструкторов предприятия изготовителя Лири-С способны оперативно обновить адаптированное под нужды Заказчика программное обеспечение контроллера и провести необходимые пуско-наладочные работы.

Структура системы управления позволяет распределять вычислительную нагрузку с одного микроконтроллера между множеством унифицированных подсистем, что позволяет обеспечить:



Использование микросхем меньшей мощности

Возможно использовать в качестве управляющих микросхем относительно маломощные микроконтроллеры, в том числе хорошо освоенные отечественной промышленностью.



Легкость тестирования, отладки и ремонта системы управления СТК ВИД

Драйвер имея короткие связи в рамках отдельной ячейки, очень быстро и эффективно реализует функции программной и аппаратной защит, а также формирует сигналы своего состояния и состояния контролируемых элементов. Посредством унифицированных модулей-диспетчеров, передающих сигналы на центральный контроллер, оператор всегда имеет актуальную информацию о состоянии и исправности всей системы. Для оперативно-ремонтного персонала или наладчика в случае необходимости для восстановления работоспособности системы управления СТК ВИД достаточно просто заменить неисправный унифицированный драйвер или модуль-диспетчер.



**ИННОВАЦИИ
ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВО**



+7 (495) 266-65-28

198095, г. Санкт-Петербург,
Ул. Маршала Говорова, 49А, БЦ «Балтийский порт», офис 603

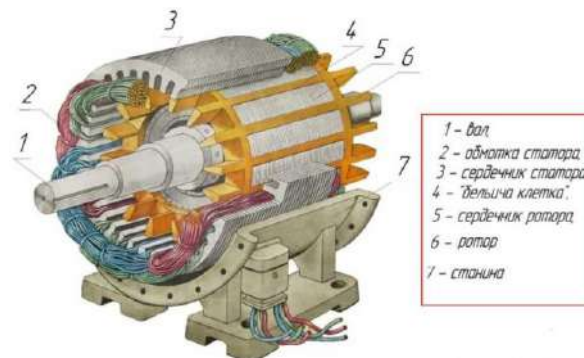
info1@lira-s.com www.lira-s.com

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ТИПОВ СЕРИЙНО ПРОИЗВОДИМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Асинхронный двигатель - АД

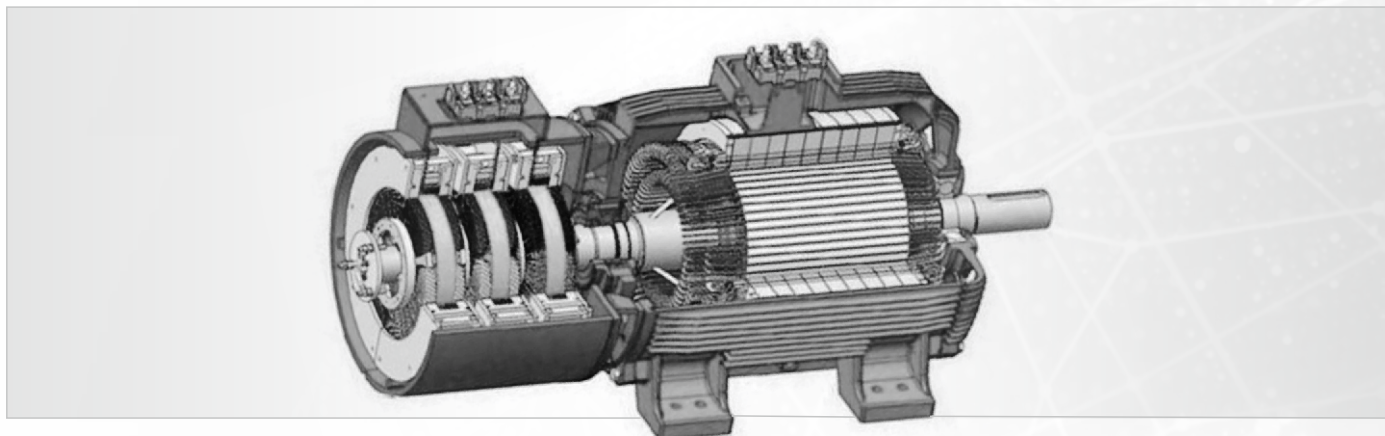
АД – это электродвигатель индукционного типа, простой по конструкции с отработанной технологией производства и большим числом разработанных модификаций под различные сферы применения.



В асинхронных электродвигателях момент на валу формируется путем взаимодействия поля статора и тока индуцируемого (наведенного) в короткозамкнутой обмотке ротора. Токи в обмотках статора формируют единое магнитное поле статора, результирующий вектор которого перемещается по окружности статора – таким образом формируется вращающее поле. Скорость вращения поля статора зависит от частоты тока в обмотках и количества фаз и полюсов двигателя. Момент силы выдаваемый АД определяется силой тока на обмотках статора. Вращающееся поле статора, индуцирует (наводит) ток в короткозамкнутой очень мощной обмотке ротора. Сила тока в обмотке ротора достигает значений в десятки и сотни раз больше, чем сила тока в обмотке статора. Ток ротора взаимодействуя с полем статора создает электромагнитный вращающий момент. Таким образом, ток в обмотке ротора сначала создается, а потом совершает работу, происходит определенное запаздывание, вследствие чего, ротор в своем вращении "опаздывает" за вращающимся полем, отсюда и название - асинхронный двигатель. "Запаздывание" ротора – более медленное вращение ротора относительно статора определяет такой параметр асинхронного электродвигателя как – скольжение – разница в скоростях вращения поля статора и поля ротора. Чем больше параметр скольжения, тем сильнее греется ротор. Для АД является крайне нежелательной длительная работа на пониженных оборотах при перегрузке, оборотах близких к нулю, работа на упор или работа с виброударными нагрузками, преобразователь частоты и очень сложное векторное управление АД только частично решает эту проблему. АД не допускает длительную работу при снижении уровня напряжения в сети.

Максимальная единичная мощность серийно производимых в России единичных АД не превышает 10 МВт, что вызвано конструктивными особенностями и технологическими причинами.

АД считается простым и относительно надежным двигателем. Обмотка ротора выполнена в виде толстых стержней соединенных параллельно сваркой и равномерно распределенных по всей окружности ротора (иногда такую конструкцию обмотки называют "беличье колесо"). Стоит также упомянуть особый тип асинхронного двигателя, у которого обмотка ротора выполнена не короткозамкнутой, а концы ее выведены на контактные кольца, такой двигатель называется - асинхронный двигатель с фазным ротором. У асинхронного двигателя с фазным ротором обмотка ротора выполнена примерно так же, как и обмотка статора, а ток через обмотку ротора проходит через контактные кольца на щетке. Скажем только, что у такого двигателя пусковой момент значительно больше, чем у обычного АД, он значительно сложнее и дороже в производстве, применяется в условиях пуска под нагрузкой и когда обычный АД применить невозможно.



СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Что может сломаться в АД?

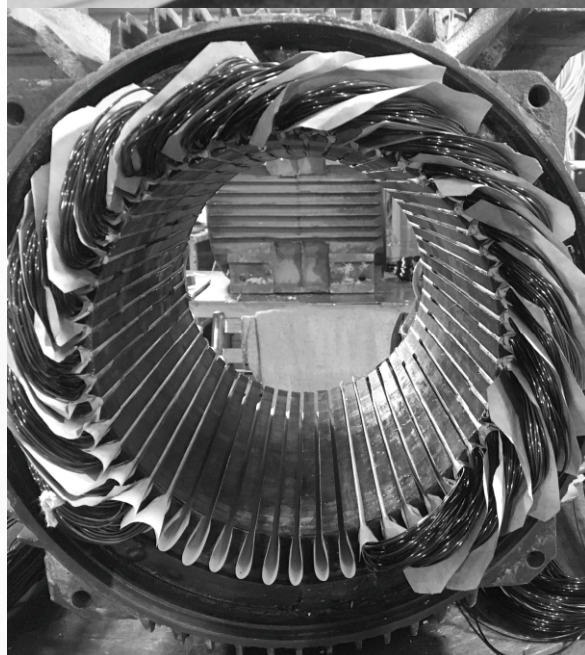
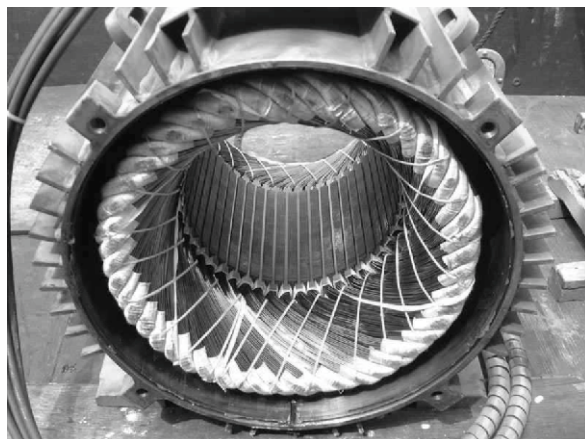
В АД чаще всего происходит межвитковое короткое замыкание в обмотке статора. Обмотка у АД распределенная и достаточно сложная, витки обмоток всех трех фаз распределены по множеству пазов равномерно по всему статору, обмотки разных фаз в пространстве смещены. Как следствие сложности конструкции обмоток двигателя, формируется большая лобовая часть, - лобовые части не участвуют в формировании момента. В лобовых частях различные обмотки под действием сил от протекающего по ним тока, перемещаются и трутся друг об друга, особенно при прямом запуске двигателя, когда ток в 5-6 раз больше номинального. Нарушение изоляции между абсолютно любыми соседними проводами ведет к неисправности всего двигателя и дорогостоящей полной замене всей обмотки в заводских условиях.

Как известно, для работы АД нужен синусоидальный ток. Для формирования достаточно качественного тока синусоидальной формы силовые ключи ПЧ вынуждены коммутировать напряжение, как правило, не менее 400 раз на периоде тока. При частоте тока 50 Гц, например, частота коммутации силовых ключей (транзисторов), как правило, от 20 000 Гц до 30 000 Гц. Основными потерями в силовом преобразователе являются: статические потери - обычные омические (кондуктивные) потери на конечном сопротивлении проводников и ключей в открытом состоянии при протекании тока, а также, динамические потери - потери при переходе ключей от открытого состояния к закрытому и обратно - при формировании синусоиды тока посредством широтно-импульсного модулирования - ШИМ. Динамические потери, как правило, тем больше, чем выше число оборотов двигателя и соответственно выше частота коммутации транзисторов (ключей).

При частоте ШИМ - 20 000 Гц, даже у самых современных транзисторов, динамические потери уже равны статическим.

Области применения - в большинстве общепромышленных агрегатов: насосы, вентиляторы, компрессоры. В паре с преобразователем частоты в механизмах, где требуется точное поддержание скорости и управление моментом: шпиндели станков, в качестве тяговых на транспорте

Диапазон мощности единичного асинхронного электродвигателя от 0,1 кВт до 10 МВт



СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ПРЕИМУЩЕСТВА АД:

- относительная простота конструкции;
- хорошо освоенные промышленностью в массовом производстве; достаточно надежные;
- относительно недорогие;
- двигатели способны запускаться и работать на номинальной мощности и оборотах напрямую от трехфазной сети.

НЕДОСТАТКИ АД:

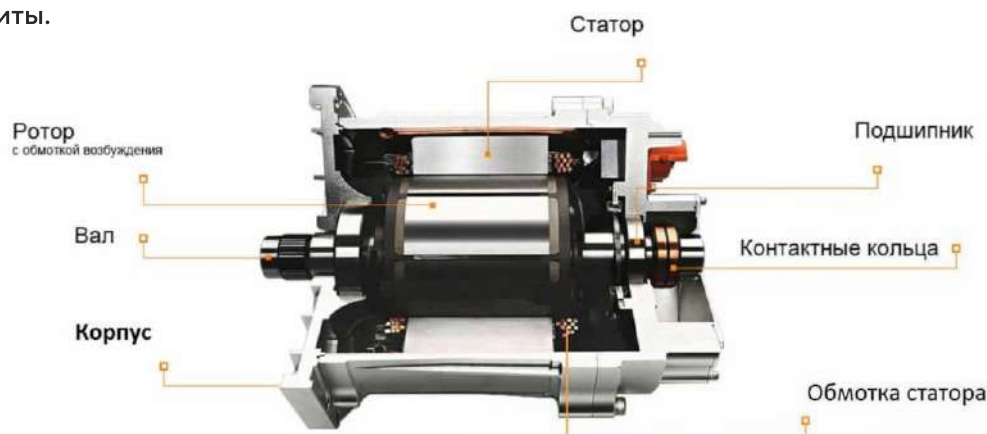
- момент при прямом пуске меньше номинального момента – его необходимо запускать без нагрузки на валу, а потом постепенно через специальное устройство нагружать полезной нагрузкой, что не всегда возможно;
- при запуске двигатель потребляет до 6 раз больше тока относительно номинального потребления, что не всегда позволяет запустить АД напрямую от сети. Особенно эта проблема касается мощных двигателей при недостаточности присоединенной от сети мощности;
- регулирование оборотов и соответственно регулирование мощности АД возможно только при помощи высокочастотного преобразователя частоты, простым снижением уровня напряжения допустим только кратковременный плавный запуск асинхронного двигателя, длительная работа АД при пониженном напряжении не допускается;
- в случае недостаточности присоединенной от сети мощности запустить АД возможно только при помощи тиристорного регулятора напряжения, токоограничивающего реактора или преобразователя частоты;
- сложность распределенной обмотки статора не позволяет произвести ее с литым типом изоляции, резко повышающим уровень надежности. Лобовые части обмоток АД при частых пусках деформируются и перетираются друг о друга, что приводит к межвитковым замыканиям. Вследствие этого АД очень чувствителен к уровню влажности окружающей среды, перепадам влажности и температур, что приводит к появлению конденсата при длительном простое. АД требует регулярного и обязательного контроля сопротивления изоляции всех обмоток на статоре и роторе. При необходимости изоляция АД подвергается процессу сушки, процесс этот несложный, но весьма длительный, от нескольких часов до нескольких суток и требует наличия сухого теплого воздуха в помещении, где установлен электродвигатель.
- допустимо использование только дорогостоящей меди в качестве материала обмотки статора вследствие особенностей конструкции статора АД.

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

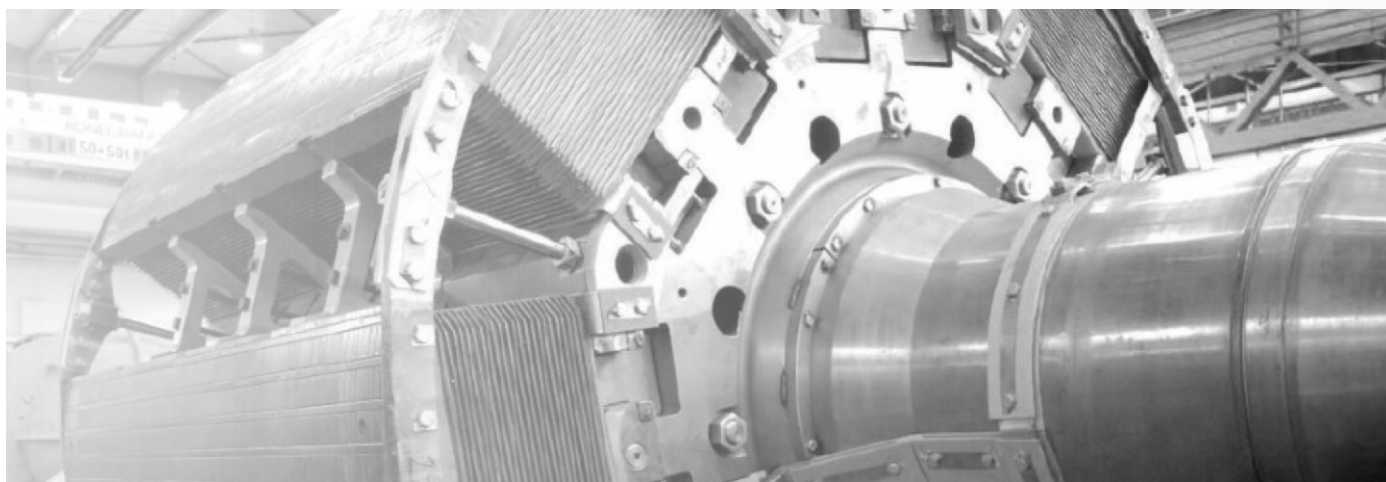
ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ТИПОВ СЕРИЙНО ПРОИЗВОДИМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Синхронный электродвигатель - СД

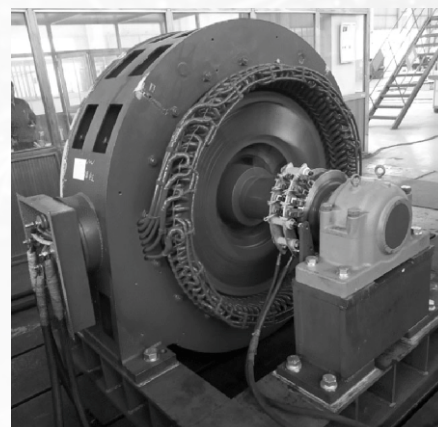
В синхронном двигателе преобразование электроэнергии в механическую энергию вращения происходит в результате взаимодействия, создаваемого током в обмотках поля статора и магнитного поля ротора. Формирование магнитного поля ротора синхронного двигателя мощностью до сотен киловатт обычно обеспечивают постоянные магниты, при мощности же свыше сотен киловатт электромагниты.



Причина этому крайняя дороговизна постоянных магнитов и ограничения накладываемые КНР на экспорт редкоземельных и неодимовых магнитных материалов, необходимых для производства постоянных магнитов. При использовании электромагнитов, на роторе появляется щеточный узел со щетками, которые необходимы для подачи тока на электромагниты ротора и устройство - возбудитель для формирования тока возбуждения в электромагнитах ротора, что делает конструкцию синхронного электродвигателя относительно сложной.



Сложность конструкции СД значительно снижает надежность и усложняет его обслуживание.



СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Токи в обмотках статора формируют единое магнитное поле статора, результирующий вектор которого перемещается по окружности статора - формируется вращающееся поле. Скорость вращения поля статора зависит от частоты тока в обмотках и количества фаз и полюсов двигателя. Момент силы выдаваемый СД определяется силой тока на обмотках статора. Вращающееся поле статора, взаимодействуя с полем ротора, увлекает его за собой. Ротор СД вращается с той же частотой, что и частота тока на статоре – это источник названия - синхронный электродвигатель.

Результирующий вектор поля статора и результирующий вектор поля ротора под воздействием приложенного момента силы нагрузки расходятся - появляется угол нагрузки. Если момент нагрузки слишком большой, и соответственно, угол нагрузки больше допустимого, двигатель выходит из синхронизма и переходит в асинхронный режим – это аварийный режим работы, такой режим очень опасен для синхронного электродвигателя и грозит его перегревом с последующим разрушением.

Отличительной особенностью СД является его относительная компактность в сравнении с другими типами двигателей. Особенно это касается СД с постоянными магнитами на роторе. Но постоянные магниты очень чувствительны к перегреву (при достижении точки Кюри – уровня температуры при достижении которой магниты ротора необратимо размагничиваются, что влечет за собой необходимость капитального ремонта СД), постоянные магниты чрезвычайно дорогие и на 90% импортные. СД с постоянными магнитами очень сложно ремонтировать, потому что ротор притягивается к статору и порой так сильно, что его не разобрать и не оторвать от статора.



Области применения – чаще всего СД применяется в тех сферах, где чрезвычайно важна высокая удельная мощность на килограмм массы электродвигателя (соотношение мощность / масса), таких как малоразмерные летательные аппараты, электромобили, ручной электроинструмент, различные малогабаритные приборы бытового и промышленного назначения, в большинстве общепромышленных агрегатов, работающих от сети переменного тока, когда важен низкий уровень реактивной мощности и соответственно создаваемых помех в электросети и обеспечение заданных параметров электро-магнитной совместимости. Обычно это общепромышленные агрегаты большой мощности, более 1 МВт: насосы, вентиляторы, компрессоры, шаровые мельницы и мельницы мокрого самоизмельчения.

В паре с преобразователем частоты применяются в механизмах, где требуется точное поддержание скорости и управление моментом: сервоприводы, шпиндели станков, в качестве тяговых двигателей на транспорте включая большинство производимых в мире моделей электромобилей.

Диапазон мощности единичного синхронного электродвигателя от 0,01 кВт до 12,5 МВт



ПРЕИМУЩЕСТВА СД:

- Синхронные электродвигатели самые компактные - имеют лучшие среди всех серийно производимых типов электродвигателей показатели удельной мощности на килограмм (мощность/масса)
- Простые по конструкции при применении постоянных магнитов,
- Хорошо освоены отечественной промышленностью в массовом производстве,
- При работе от трехфазной сети переменного напряжения имеют высокую эффективность и практически не выдают помехи в электросеть за счет высокого показателя $\cos \phi$;
- СД способны запускаться и работать напрямую от трехфазной сети (не относится к СД с постоянными магнитами).

НЕДОСТАТКИ СД:

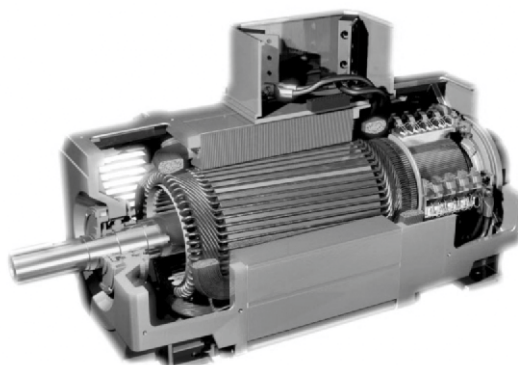
- момент при прямом пуске меньше номинального момента – его необходимо запускать без нагрузки на валу, а потом постепенно через специальное устройство нагружать полезной нагрузкой, что не всегда возможно;
- СД с постоянными магнитами не способны запускаться и работать напрямую от трехфазной сети переменного тока;
- регулирование оборотов и соответственно регулирование мощности СД возможно только при помощи преобразователя частоты в паре с возбудителем;
- в случае недостаточности присоединенной от сети мощности запустить АД возможно только при помощи тиристорного регулятора напряжения, токоограничивающего реактора или преобразователя частоты;
- сложность распределенной обмотки статора не позволяет произвести ее с литым типом изоляции, резко повышающим уровень надежности. СД очень чувствителен к уровню влажности окружающей среды, перепадам влажности и температур, что приводит к появлению конденсата при длительном простое. СД требует регулярного и обязательного контроля сопротивления изоляции всех обмоток на статоре и роторе. При необходимости изоляция СД подвергается процессу сушки, процесс этот несложный, но весьма длительный, от нескольких часов до нескольких суток и требует наличия сухого теплого воздуха в помещении, где установлен электродвигатель.
- допустимо использование только дорогостоящей меди в качестве материала обмотки статора вследствие особенностей конструкции статора СД.

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ТИПОВ СЕРИЙНО ПРОИЗВОДИМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Коллекторный электродвигатель - КД

В коллекторном двигателе электромагнитный вращающий момент формируется во взаимодействии тока в обмотке якоря - выступающего в роли ротора, и поля индуктора - выступающего в роли статора. Коллекторный электродвигатель способен работать как от постоянного тока, так и от переменного. Ток в обмотке якоря и ток индуктора, формирующий магнитное поле возбуждения, могут быть постоянными, но эти токи могут быть и переменными, но обязательно согласованными (синфазными).



Основными элементами простейшего КД являются: неподвижная часть - индуктор с магнитами, которые называются "полюса"; подвижная часть - якорь (выступающий в роли ротора); коллектор — это набор контактов, расположенных на якоре, который называется «ламели»; щётки – это скользящие неподвижные контакты, попарно прижатые к коллектору как правило с противоположных сторон. Щетки необходимы для подачи тока на вращающийся якорь в электродвигателе. Магнитное поле статора может создаваться электромагнитами или постоянными магнитами (в этом случае работа на переменном токе невозможна) их часто называют полюсами.

Крутящий электромагнитный момент может создаваться не во всех обмотках якоря, а только в тех которые расположены вблизи магнитов статора. Поэтому, по мере того как якорь прокручивается, ток переключается с одной обмотки на другую и так процесс переключения повторяется по кругу. Переключение (коммутацию) источника питания между обмотками якоря обеспечивает коллектор и скользящие по нему щетки. Переключение тока с обмотки на обмотку происходит, как правило, с искрением, вплоть до образования дуги - кругового огня. Искрение коллектора является источником радиопомех и может привести к выходу из строя коллекторного узла и КД в целом. Есть множество способов минимизировать искрение как негативный фактор, применяются дополнительные полюса, смещение щеток, но совсем от него избавиться практически невозможно.

При различных вариантах взаимного подключения обмоток якоря и обмоток возбуждения индуктора возможно реализовать самый широкий спектр характеристик КД, таких как скорость вращения или момент силы.

Несмотря на то, что КД самый технически сложный и дорогой тип электродвигателя у него есть существенный плюс - простота управления. КД имеют хорошие пусковые характеристики и легко поддаются регулировке частоты вращения и момента, обеспечивает высокий уровень плавности хода

Области применения КД:

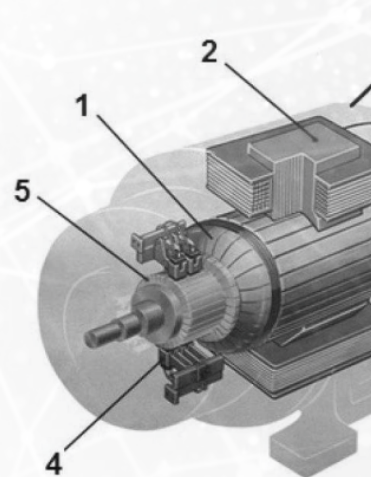
в быту - ввиду неприхотливости к нагрузке и простоты управления почти во всех бытовых приборах (от миксера до пылесоса и стиральной машины) и в подавляющем большинстве ручного электроинструмента, стартерах автомобилей, практически во всех детских игрушках - при применении постоянных магнитов, КД самый простой в производстве миниатюрный электродвигатель;

в промышленности в составе механизмов и агрегатов с частыми пусками, остановками, реверсами и перегрузками и требующими точного управления скоростью и моментом с хорошей плавностью хода: станкостроение, приводы прокатных станов, карьерные экскаваторы, тяговые двигатели железнодорожных локомотивов, троллейбусов, трамваев, метро, карьерные самосвалы, буровые станки, электроприводы (сервоприводы) точных оружейных и иных систем;

КД широко используются там, где нужен хороший пусковой момент, необходимость частого реверса и регулировки частоты вращения в широких пределах, там, где требуется работать на упор или с ударной нагрузкой.

Диапазон мощности единичного коллекторного электродвигателя от 0,0001 кВт до 1 МВт

1. Якорь
2. Сердечник полюса
3. Обмотка полюса
4. Щетки
5. Коллектор





ПРЕИМУЩЕСТВА КД:

- простота управления скоростью вращения, моментом, реверсом;
- простота конструкции особенно при применении постоянных магнитов; хорошо освоены промышленностью в массовом производстве;
- способны запускаться и работать напрямую от постоянного и переменного тока напряжения при отсутствии в конструкции постоянных магнитов;
- высокая плавность хода;
- неприхотливость: способен работать на зажатый вал (на упор), выдерживать ударный характер нагрузки;
- способен создавать очень большой момент силы при пуске, из-за чего используется в составе всех электростартеров;
- способны работать на очень высоких оборотах, что обеспечивается высоким показателем удельной мощности на килограмм, соответственно низким весом и компактными размерами.

НЕДОСТАТКИ КД:

- необходимость периодически менять электрощетки - щетки стоят недорого, работа по замене несложная, но требует времени и постоянного контроля их состояния на КД высокой мощности;
- в больших промышленных КД периодически требуется обслуживать коллектор: ликвидировать выработку, ликвидировать задиры, восстанавливать зазоры между ламелями;
- механическая коммутация тока на коллекторе практически делает невозможной производство высоковольтных КД и таким образом накладывает ограничение на максимальную мощность выпускаемых серийных двигателей;
- искрение на коллекторе при работе двигателя создает сильные радиопомехи, что может влиять на соседние приборы;
- сложность распределенной обмотки статора не позволяет произвести ее с литым типом изоляции, резко повышающим уровень надежности. Вследствие этого КД очень чувствителен к уровню влажности окружающей среды, перепадам влажности и температур, что приводит к появлению конденсата при длительном простое. КД требует регулярного и обязательного контроля сопротивления изоляции всех обмоток на статоре и роторе. При необходимости изоляция обмоток КД подвергается процессу сушки, процесс этот несложный, но весьма длительный, от нескольких часов до нескольких суток и требует наличия сухого теплого воздуха в помещении, где установлен электродвигатель;
- очень чувствителен к загрязнению коллектора электродвигателя.

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

СОПОСТАВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННОГО В МИРЕ ТИПА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ - АСИНХРОННОГО С ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ РАЗРАБОТКИ ЛИРА-С – ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Особенности АД и ВИД которые определяют их основные достоинства и недостатки:

АД считает простым и надежным двигателем, потому что не имеет контактных колец, обмотка ротора выполнена в виде толстых стержней соединенных параллельно сваркой и равномерно распределенных по всей окружности ротора (иногда такую конструкцию обмотки называют "беличье колесо"). Что может сломаться в АД? Чаще всего происходит межвитковое короткое замыкание. Обмотка у АД распределенная и достаточно сложная, витки обмоток всех трех фаз распределены по множеству пазов равномерно по всему статору, обмотки разных фаз в пространстве смещены. Из-за сложной конструкции обмоток асинхронного электродвигателя формируется большая лобовая часть, которая не участвует в формировании полезной работы, где различные обмотки трутся друг об друга особенно сильно при запуске двигателя - нарушение изоляции между абсолютно любыми соседними частями обмоток ведет к неисправности всего двигателя и необходимости последующей дорогостоящей замены всей обмотки в заводских условиях.

ВИД в отличие от АД вообще не имеет обмоток на роторе, что упрощает и удешевляет двигатель в целом и повышает надежность. ВИД не обладает сложной распределенной системы обмоток поскольку не имеет единого магнитного поля как АД. Обмотка статора ВИД состоит из набора достаточно простых цилиндрических катушек (как в трансформаторе) в одном двигателе количество таких катушек может составлять десятки и даже сотни - в зависимости от мощности и рабочего диапазона оборотов двигателя, каждая из катушек питается от отдельного источника тока - блока коммутатора. Как правило, катушки объединяются в группы по фазной принадлежности. Выход из строя любой отдельной электромагнитной катушки или даже до половины от общего количества катушек в двигателе не приводит к неисправности всего ВИД, двигатель просто теряет часть своей мощности, но сохраняет работоспособность. В процессе ремонта ВИД катушку - полюс можно заменить отдельно или секцией, не перебирая весь двигатель. Таким образом конструкция статора ВИД состоит из простых и надежных унифицированных модулей, ротор же просто металлическая цилиндрическая болванка сложной формы. Вся конструкция ВИД отличается гениальной простотой.

Унификация основных элементов и простота конструкции – основной принцип построения системы управления – СТК ВИД. Система управления АД – это преобразователь частоты (ПЧ), для ВИД это силовой коммутатор – СТК ВИД. Выход из строя любого элемента ПЧ ведет к полной его неисправности. Силовой коммутатор ВИД состоит из отдельных коммутационных ячеек по числу катушек-полюсов или по числу полюсов - групп катушек. Выход из строя какой-либо коммутационной ячейки приведет лишь к частичной потере мощности ВИД позволяя ему работать дальше без необходимости остановки двигателя. В процессе планового ремонта можно просто заменить неисправную катушку или ячейку простой заменой блока.

Таким образом ВИД разработки Лира-С воплощает в себе все основные принципы модульности. Модульность же позволяет создать ВИД практически любой мощности, наращивая количество катушек-полюсов и коммутационных ячеек, что только увеличивает надежность и живучесть электропривода. Важной особенностью СТК ВИД является то, что массив катушек можно коммутировать так, что даже ВИД мощностью 120 МВт будет низковольтным, что положительно отражается на безопасности эксплуатации ВИД и общей стоимости электропривода. При создании АД большой мощности (15,20,30 МВт и более) конструкторы сталкиваются с эффектом перехода количества в качество, когда известные методы и технологии производства уже не достаточны, нужно изобретать другие. Например, современные достижения в области силовой электроники экономически оправдано позволяют сделать ПЧ максимальной мощностью до 5 МВт. Можно сделать единичный ПЧ и на большую мощность, но удельная стоимость его будет заоблачно высокой. Важным является то, что основным элемент ПЧ АД – это мощные и дорогие IGBT транзисторы и драйверы к ним – импортные, либо только «корпусируемые» в РФ.



СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

СОПОСТАВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННОГО В МИРЕ ТИПА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ - АСИНХРОННОГО С ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ РАЗРАБОТКИ ЛИРА-С – ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Источник питания АД и ВИД, особенности, сравнение.

Как известно, для работы АД нужен синусоидальный ток. Для формирования достаточно качественного тока синусоидальной формы силовые ключи ПЧ вынуждены коммутировать напряжение, как правило, не менее 400 раз на периоде тока. При частоте тока 50 Гц, например, частота коммутации силовых ключей, как правило, от 20 000 Гц до 30 000 Гц – в зависимости от частоты вращения электродвигателя. Основными потерями в силовом преобразователе являются: статические потери - обычные омические (кондуктивные) потери на конечном сопротивлении проводников и ключей в открытом состоянии при протекании тока, а также, динамические потери - потери при переходе ключей от открытого состояния к закрытому и обратно – при формировании синусоиды тока посредством широтно-импульсного модулирования - ШИМ.

Динамические потери, как правило, тем больше, чем больше частота коммутации ключей. При частоте ШИМ - 20 000 Гц, даже у самых современных транзисторов, динамические потери уже равны статическим.

Источником питания ВИД является силовой тиристорный коммутатор (СТК). СТК состоит из нескольких (иногда нескольких десятков) отдельных одинаковых ячеек. Назначение каждой отдельной ячейки СТК ВИД - формирование тока в отдельном катушке-полюсе или группе катушек ВИД - их намагничивание и размагничивание.

В отличие от преобразователей частоты (ПЧ) для индукционных машин, таких как асинхронный двигатель (АД) и синхронный двигатель (СД), СТК ВИД нет необходимости формировать синусоидальный ток в фазной обмотке.

Как видно на рисунках, форма тока в ВИД скорее напоминает трапецию, явно видны три характерных рабочих участка. Для формирования тока в фазе ВИД достаточно двух силовых ключей: транзисторов как на рисунке или тириستоров. На периоде тока фазы двигателя каждый из двух силовых ключей СТК ВИД включается только ОДИН раз. Другими словами, частота коммутации силовых ключей в СТК ВИД имеет значение 50–150 Гц в зависимости от конструкции ВИД, оборотов двигателя и его режима работы, что позволяет применить в качестве ключей отечественные тиристоры вместо дорогих и не обеспечивающих технологический суверенитет импортных транзисторов.

