
Глава 1.

1.1 Технология плавного пуска

Мягкие пускатели по своим свойствам и возможностям делятся на четыре различных категории:

1. Регуляторы пускового момента

Регуляторы пускового момента контролируют только одну фазу трехфазного двигателя. Управление одной фазой может обеспечить контроль пускового момента двигателя, но пусковой ток снижается при этом незначительно. Ток, текущий по обмоткам двигателя, почти равен току при прямом пуске и не контролируется пускателем. Такой ток протекает по обмоткам двигателя в течение более длительного времени, чем при прямом пуске, поэтому может вызвать перегрев двигателя.

Регуляторы пускового момента не могут использоваться там, где необходимо снижение пусковых токов, обеспечение частых пусков, а также для пуска высокоинерционных нагрузок.

2. Регуляторы напряжения без обратной связи.

Регуляторы напряжения без обратной связи изменяют выходное напряжение в соответствии с заданным пользователем темпом и не имеют сигнала обратной связи от двигателя. Они отвечают стандартным требованиям по электрическим и механическим характеристикам, предъявляемым к мягким пускателям, и могут управлять напряжением как в двух, так и во всех трех фазах двигателя.

Процесс пуска определяется пользователем путем задания начального напряжения и времени нарастания напряжения до номинального значения. Многие из таких приборов обеспечивают также ограничение пускового тока, но обычно такое ограничение основано на снижении напряжения в процессе пуска. Обычно такие регуляторы обеспечивают и управление замедлением, плавно снижая напряжение при останове и увеличивая таким образом его продолжительность.

Двухфазные регуляторы напряжения без обратной связи снижают пусковой ток во всех трех фазах, но ток при этом оказывается несбалансированным. Регуляторы, изменяющие напряжение в одной фазе, также имеют ограниченные возможности регулирования времени пуска, однако из-за перегрева двигателя могут использоваться только при легких нагрузках.

3. Регуляторы напряжения с обратной связью

Регуляторы напряжения с обратной связью являются развитием устройств, описанных выше. Они получают информацию о токе двигателя и используют ее для приостановки увеличения напряжения в процессе пуска при достижении током предельного значения, заданного пользователем. Информация о токе используется также для организации различных защит, например, от перегрузки, дисбаланса фаз, электронной шпонки и т.п.

Регуляторы напряжения с обратной связью могут использоваться как комплексные системы пуска двигателя.

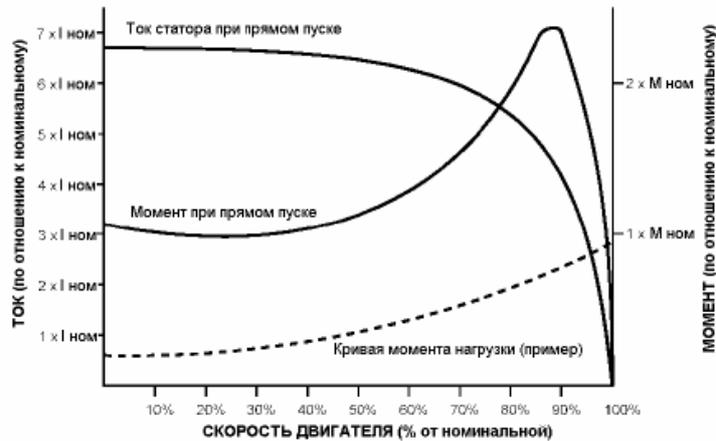
4. Регуляторы тока с обратной связью.

Регуляторы тока с обратной связью являются наиболее прогрессивными устройствами плавного пуска. Эти приборы в первую очередь регулируют ток, а не напряжение. Прямое управление током обеспечивает более точное управление пуском, а также более простую настройку и программирование мягкого пускателя. Большинство параметров, требующих установки при программировании регуляторов напряжения, в регуляторах тока устанавливаются автоматически.

Устройства плавного пуска IMS2, описанные в данном руководстве, являются приборами категории регуляторов тока с обратной связью.

1.2 Пуск на пониженное напряжения

При пуске на полное напряжение через асинхронный двигатель в первый момент протекает ток, равный току при заклиненном роторе, при этом двигатель развивает пусковой момент. По мере разгона ток падает, а момент сначала увеличивается до критического, а затем падает до значения, характерного для номинальной скорости. Реальная форма кривых тока и момента зависит от конструкции двигателя.



Процесс пуска различных двигателей с одинаковыми характеристиками на номинальной скорости может сильно различаться. Начальный пусковой ток может меняться от 500 до 900 % от номинального тока. Аналогично пусковой момент может изменяться от 70 до 230 % от номинального. Эти характеристики зависят от конструкции двигателя и являются ограничениями при любых применениях мягких пускателей.

Для применений, где необходимо получить максимальный пусковой момент при минимальном пусковом токе, необходимо использовать соответствующие двигатели.

При снижении напряжения пусковой момент, развиваемый двигателем, снижается в квадрате по отношению к снижению тока, как показывает формула ниже:

$$M_{ст} = M_{пуск} \times (I_{ст}/I_{пуск})^2,$$

где:

$M_{ст}$ = Пусковой момент

$I_{ст}$ = Пусковой ток

$I_{пуск}$ = Номинальный пусковой ток

$M_{пуск}$ = Номинальный пусковой момент

При использовании мягких пускателей со снижением напряжения начальный пусковой ток может быть снижен только до такого уровня, при котором пусковой момент еще превышает момент нагрузки. Если момент двигателя окажется меньше момента нагрузки в любой точке графика пуска, разгон двигателя прекратится, и механизм не наберет номинальной скорости.

1.3 Пускатели звезда / треугольник

Хотя пускатели звезда / треугольник являются наиболее часто используемым видом пусковых устройств, их применение возможно только при очень небольших нагрузках.

При пуске двигатель сначала подключается в звезду, при этом ток и момент снижаются до 1/3 от номинальных значений при включении в треугольник. После заданного пользователем интервала времени двигатель отключается от сети и вновь подключается к ней по схеме "треугольник".

Чтобы такой пуск был эффективным, двигатель должен быть способен развивать момент, необходимый для набора полной скорости при включении в звезду. Переключение со звезды на треугольник при скоростях, существенно меньших номинальной, приводит к значениям тока и момента, сравнимым с процессом прямого пуска.

В дополнение к броскам тока и момента, при переходе со звезды на треугольник происходят и другие тяжелые переходные процессы. Амплитуда переходных процессов зависит от фазы и амплитуды напряжения, генерируемого двигателем в момент переключения. В худшем случае генерируемое напряжение равно напряжению сети и находится в противофазе к нему. В этом случае ток может превосходить номинальное пусковое значение в два раза, а момент — в четыре.

1.4 Пускатели с автотрансформатором

Пускатели этого типа используют автотрансформатор для снижения напряжения, подводимого к двигателю во время пуска. В них используется определенное количество отводов, позволяющих путем изменения напряжения скачками менять пусковой ток и момент. Такой процесс увеличения напряжения обеспечивает возможность достижения полной скорости до перехода на номинальное напряжение, минимизируя скачки тока и момента в переходном процессе. Однако поскольку количество отводов ограничено, достигнуть высокой точности управления невозможно.

В отличие от пускателя звезда-треугольник, пускатель с автотрансформатором является прибором с замкнутыми переходными процессами. Поэтому жесткие переходные процессы в кривой тока и момента на протяжении пуска от пониженного до номинального напряжения отсутствуют.

Поскольку имеется падение напряжения на автотрансформаторе, это приводит к снижению момента на всех скоростях двигателя. При работе на высокоинерционную нагрузку время пуска может выйти за безопасный или приемлемый предел, а при работе с переменной нагрузкой оптимальное поведение системы получить не удастся.

Обычно автотрансформаторные пускатели используются при нечастых пусках, до 3 пусков в час. Пускатели, рассчитанные на более частые или жесткие условия пуска, оказываются слишком большими и дорогими.

1.5 Пускатели с резисторами в цепи статора

Пускатели с резисторами в цепи статора используют металлические или жидкостные резисторы для снижения напряжения, подводимого к статору. Такие пускатели обеспечивают эффективное снижение пускового тока и момента двигателя и работают очень хорошо при правильном выборе резисторов.

Для точного выбора резисторов на этапе проектирования должны быть известны параметры двигателя, нагрузки и режимов работы. Такая информация обычно труднодоступна, поэтому резисторы выбираются приближенно, что приводит к ухудшению процесса пуска и снижению надежности.

Сопротивление резисторов меняется по мере их нагрева в процессе пуска. Чтобы сохранить параметры пуска и повысить надежность системы, обычно устанавливаются реле задержки повторного пуска.

Из-за большого выделения тепла на резисторах пускатели с резисторами в цепи статора не применяются для пуска высокоинерционных нагрузок.

1.6 Устройства плавного пуска

Электронные устройства плавного пуска представляют собой наиболее совершенные приборы для организации пуска путем снижения напряжения. Современная технология обеспечивает управление пусковым током и моментом. Наиболее совершенные системы обеспечивают также комплексную защиту двигателя и интерфейсные функции.

Плавный пуск обеспечивает следующие основные функции пуска и останова:

- Плавное изменение напряжения и тока без скачков и переходных процессов.
- Возможность полного управления пусковым током и моментом путем несложного программирования.
- Возможность частых пусков без изменения поведения системы.
- Оптимальный процесс пуска даже в тех применениях, где нагрузка меняется от пуска к пуску.
- Плавный останов в системах, подобных насосам и конвейерам.
- Торможение для снижения времени останова.

1.7 Типовые требования к пусковому току.

Пусковой ток					Пусковой ток				
Тип механизма	300 %	350 %	400 %	450 %	Тип механизма	300 %	350 %	400 %	450 %
Мешалка			•		Вентилятор высокого давления				•
Распылитель			•		Шлифовальный станок		•		
Моечная машина для бутылок	•				Гидравлический блок питания		•		
Центрифуга				•	Мельница				•
Дробилка				•	Шаровая мельница				•
Компрессор (под нагрузкой)				•	Молотковая мельница				•
Компрессор (без нагрузки)			•		Роликовая мельница				•
Винтовой компрессор (под нагрузкой)			•		Миксер				•
Винтовой компрессор (без нагрузки)		•			Штабелер				•
Ленточный конвейер				•	Строгальный станок		•		
Роликовый конвейер		•			Пресс		•		
Шнековый транспортер			•		Скважинный насос	•			
Конусная дробилка		•			Центробежный насос		•		
Щековая дробилка				•	Поршневой насос			•	
Роторная дробилка		•			Грязевый насос				•
Вертикальная ударная дробилка		•			Пульповый насос				•
Корообдирочная машина		•			Поворотный стол			•	
Сушилка				•	Пескоструйный аппарат			•	
Пылесборник		•			Ленточная пила				•
Кромкообработчик		•			Циркулярная пила		•		
Осевой вентилятор (с заслонкой)		•			Сепаратор				•
Осевой вентилятор (без заслонки)				•	Шредер				•
Центробежный вентилятор (с заслонкой)		•			Резальная машина	•			
Центробежный вентилятор (без заслонкой)				•	Опрокидыватель			•	

Приведенная таблица предназначена только для предварительного выбора. Реальные требования к пусковым токам зависят от характеристик механизма и двигателя. Подробнее см. главу 1.2 *Пуск на пониженное напряжение*.

AuCom

Выбор модели устройства плавного пуска

Модельный ряд устройств плавного пуска фирмы AuCom охватывает все возможные применения, начиная от простого подключения одиночного двигателя до полного управления, контроля и защиты в составе промышленных коммуникационных сетей.

■ **Серия CSX** обеспечивает функции плавного пуска/останова за счет плавного увеличения/снижения напряжения и имеет встроенный шунтирующий контактор. Применение этой серии является оптимальным с двигателями, имеющими внешние устройства защиты.

Диапазон токов18 ÷ 200 А, AC53b
 Напряжение питания200 ÷ 575 VAC
 Частота сети 45 ÷ 66 Гц
 Исполнение IP21 (до 100 А)

■ **Серия CSXi** обеспечивает функции плавного пуска/останова с заданным ограничением пускового тока, защиту двигателя по току и имеет встроенный шунтирующий контактор. Эта серия является наилучшим решением для управления пуском и защиты двигателей.

Диапазон токов18 ÷ 200 А, AC53b
 Напряжение питания200 ÷ 575 VAC
 Частота сети 45 ÷ 66 Гц
 Исполнение IP21 (до 100 А)

■ **Цифровая серия IMS2** обеспечивает расширенные функции запуска и останова, различные защиты двигателя и плавного пуска, возможность дистанционного управления и мониторинга. Эта серия является комплексным решением для управления и защиты двигателей и оборудования в целом.

Диапазон токов18 ÷ 1574 А, AC53a
 Напряжение питания200 ÷ 690 VAC
 Частота сети 50 / 60 Гц
 Исполнение IP42 или IP54 (до 253 А)

■ **Высоковольтная серия MVS** предназначена для работы с двигателями напряжением от 2000 до 11000 В. Устройство имеет полный набор защитных функций, возможности вывода контролируемых параметров, дополнительные входы и выходы, опциональные модули связи. Обеспечивается комплексное управление и защита двигателя.

Диапазон токов80 ÷ 321 А, AC53b
 Напряжение питания2300 ÷ 11000 VAC
 Частота сети 45 ÷ 66 Гц
 Исполнение возможно IP54

Функции устройств	CSX	CSXi	IMS2	MVS
Пуск				
Время пуска	+			
Пуск с ограничением тока		+	+	+
Пуск с нарастанием тока		+	+	+
Управление моментом			+	+
Толчковый пуск			+	+
Останов				
Плавный останов	+	+	+	+
Останов для насосов			+	+
Защиты				
Перенапряжение и Недонапряжение				+
Отклонение частоты сети			+	+
Чередование фаз		+	+	+
Замыкание SCR	+	+	+	+
Перегрузка двигателя (Тепловая модель)		+	+	+
Превышение тока кратк.			+	+
Недогрузка по току			+	+
Дисбаланс токов		+	+	+
Термистор двигателя		+	+	+
Превышение времени пуска		+	+	+
Неисправность питания	+	+	+	+
Внешняя ошибка			+	+
Интерфейс пользователя				
Светодиоды состояния	+	+	+	+
Архив ошибок и пусков			+	+
Архив событий				+
Сброс параметров			+	+
Вывод индикации			+	+
Интерфейс управления				
Программируемые входы			+	+
Программируемые выходы		+	+	+
Аналоговый выход			+	+
Порт связи	+	+	+	+
Разное				
Второй набор параметров			+	+
Аварийный пуск			+	+
Автоматический останов			+	+
Опции и аксессуары				
Модуль DeviceNet	+	+	+	+
Модуль Modbus RTU	+	+	+	+
Модуль Profibus	+	+		+
Програм. обеспечение	+	+	+	+
Дистанционный пульт	+	+	+	
Соответствие стандартам				
CE, C ^v	+	+	+	+
UL, c-UL	+	+	+	+
CCC	+	+		
Морской сертификат	+	+	+	

Выбор модели устройства плавного пуска

Для эффективного применения устройств плавного пуска очень важно осуществить правильный выбор типономинала устройства. Основными критериями для выбора являются паспортные данные, используемого электродвигателя, тип его нагрузки и частота пусков. Различные задачи применения требуют различных пусковых характеристик, поэтому подбор устройства плавного пуска должен осуществляться с учетом указанных критериев для каждой задачи применения.

Характеристики пуска в зависимости от используемого оборудования или решаемой задачи могут быть разделены на несколько категорий.

Категории режимов работы.

- Нормальный режим работы требует значения пускового тока не более $3,5 \times I_{ном}$, при этом время пуска может быть в пределах 10 – 20 секунд.
- Тяжелый режим работы характеризуется наличием нагрузки, имеющей большее значение момента инерции и требующее значение пускового тока до $4,5 \times I_{ном}$ с временем разгона приблизительно 30 секунд.
- Очень тяжелый режим работы характеризуется большим значением момента инерции нагрузки, пусковым током до $5,5 \times I_{ном}$ и длительным временем разгона.

Нагрузка, режим	Нормальный	Тяжелый	Очень тяжелый		Нагрузка, режим	Нормальный	Тяжелый	Очень тяжелый
Шнек		■			Миксер (высокоскоростной)		■	
Ворсяная машина	■				Миксер низкоскоростной	■		
Центрифуга			■		Брикетировщик		■	
Компрессор центробежный	■				Строгальная машина	■		
Компрессор поршневой		■			Пресс	■		
Компрессор винтовой (ненагр.)	■				Центробежный насос	■		
Конвейер горизонтальный	■				Насос для цемента		■	
Конвейер вертикальный		■			Погружной насос	■		
Конусная дробилка	■				Вакуумный насос	■		
Мельничная дробилка		■			Распылитель			■
Роторная дробилка (ненагр.)	■				Ленточно-шлифовальный станок	■		
Станок обработки кромки	■				Ленточная пила			■
Сверлильный станок	■				Циркулярная пила	■		
Сушильный аппарат		■			Винтовая подача		■	
Пилорама	■				Сепаратор (для жидкости)			■
Эскалатор	■				Сепаратор (для твердых тел)		■	
Центробежный вентилятор	■				Бумагорезательная машина		■	
Шлифовальный станок	■				Червячная машина	■		
Шаровая мельница			■		Ломтерезка	■		
Ударная мельница			■		Мешалка (для жидкостей)	■		
Цилиндрическая мельница		■			Лебедка		■	

Применение плавного пуска по категориям режима работы

Тип устройства плавного пуска	Применение по категории режима работы			
		Нормальный	Тяжелый	Очень тяжелый
	CSX (CSXi)	нормальный	Тяжелый	Не используется
IMS2	нормальный	тяжелый	Очень тяжелый	

Области применения

Фирма AuCom осуществляет международные поставки своего оборудования для высокотехнологичных предприятий стран всего мира, работающих в самых разных отраслях промышленности. Крупные международные компании используют продукцию фирмы AuCom с 1976 года.

■ Горнодобывающая промышленность.

Устройства плавного пуска фирмы AuCom используются для управления двигателями конвейеров и дробилок в крупных международных горнодобывающих компаниях. Среди них крупнейшее в мире открытое месторождение меди Палабор в Северной Африке, самое высокое над уровнем моря (4000 метров) месторождение меди в Эль Абра, Чили. В обоих случаях используются конвейерные системы, работающие с экстремальными условиями и нагрузкой.

■ Производство напитков и пищевых продуктов.

Пищевое производство предъявляет специфические требования к промышленному оборудованию. Устройства плавного пуска AuCom соответствуют всем необходимым требованиям и используются такими крупными компаниями как Coca-Cola и Kellogg.

■ Нефтехимическая промышленность.

Продукция AuCom применяется в технологическом оборудовании нефтехимической промышленности. Примерами компаний использующих устройства плавного пуска AuCom являются известные производители Shell, Methanex и Esso.

■ Электронная промышленность

Для современного электронного производства требуется надежное, высококачественное оборудование, обеспечивающее безаварийную работу. Продукция AuCom используется такими ведущими производителями электронных компонентов и изделий как IBM, при производстве плазменных и ЖК-мониторов фирмы LG в Южной Корее.

■ Металлургическое производство

В Новой Зеландии имеется крупное предприятие по производству алюминия, на котором устройства плавного пуска AuCom обеспечивают управление лебедками, подъёмными механизмами, вентиляторами и шаровыми мельницами. На плавильном производстве алюминия установленное оборудование AuCom работает с 1980 года, на сегодняшний день основными используемыми моделями являются цифровая серия IMS2 и высоковольтная серия MVS.

■ Муниципальное коммунальное хозяйство и современная инфраструктура.

Продукция AuCom широко используется в коммунальном хозяйстве в Австралии и в странах Европы для управления насосным оборудованием.

Одним из примеров применения продукции AuCom можно назвать насосное оборудование европейского туннеля (под проливом Ла-Манш), которое предназначено для откачивания воды и обеспечивает надежную и бесперебойную работу.

■ Сельское хозяйство

Для управления насосами систем орошения полей продукция AuCom является самой используемой. Такие системы орошения применяются в Южной Африке, Малайзии, Австралии и Соединенных штатах.

■ Компрессорное оборудование

Устройства плавного пуска AuCom широко используются для управления и защиты компрессорного оборудования. Среди потребителей такие известные лидеры данного оборудования как Carrier, Mocom, Trane и York.

■ Оборудование морских судов.

Продукция AuCom имеет морские сертификаты Lloyds и Bureau Veritas, подтверждающие соответствие требованиям, предъявляемые к оборудованию на морском транспорте. Компании Canadian Coastguard и Hyundai Heavy Industries используют продукцию AuCom для оборудования перекачивания топлива и нефти на морских судах.