

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ЕГО ОТ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА

Эль Хамдауи Муад., магистрант, Толочко О.И., д.т.н., проф.

КПИ им. Игоря Сикорского, кафедра автоматизации электромеханических систем и электропривода

Введение. Существует достаточно широкий круг механизмов, в которых используется электропривод на основе асинхронного двигателя, требующих принятия специальных мер по обеспечении плавности пуска. К таким механизмам относятся многие общепромышленные механизмы. Наиболее актуальной проблема обеспечения плавного пуска является при использовании механизмов промышленного транспорта (конвейеры, перегружатели, транспортеры, эскалаторы и др.).

Под плавным пуском понимают такой пуск, при котором потребляемый ток и развиваемый электромагнитный момент находятся в допустимых пределах. В ряде случаев накладывается ограничение и по скорости изменения тока и момента. Плавный пуск позволяет снизить износ элементов кинематической схемы механизма, увеличивая, таким образом, время между капитальными ремонтами оборудования. Дополнительно за счет ограничения тока снижается нагрузка на питающую сеть и повышаются энергетические показатели электропривода.

Простейшими устройствами, увеличивающими плавность пуска являются автотрансформаторы или добавочные реостаты в цепи ротора. В настоящее время они еще применяются в электроприводах малоответственных механизмов. В ответственных же механизмах подобные электроприводы постепенно выводятся из эксплуатации.

В последнее время увеличился интерес к устройствам, позволяющим обеспечить плавный пуск, реализуемых с помощью полупроводниковых приборов.

В настоящее время разными фирмами выпускаются устройства плавного пуска (УПП, англ. soft-starter) в комплектном исполнении, реализующие плавное увеличение подводимого к двигателю напряжения в пусковых режимах. Силовая схема таких устройств выполняется на тиристорах, что делает их более дешевыми, чем современные преобразователи частоты на базе IGBT. Таким образом, вопрос плавного пуска может быть решен гораздо более просто, если механизм не требует регулирования скорости.

Известно также, что усовершенствование алгоритма управления устройством плавного пуска позволяет реализовывать дополнительные функции – такие как регулирование момента, увеличение к.п.д. в установившихся режимах и др. Поэтому исследование устройств плавного пуска на предмет реализации ими качественного управления в пусковых режимах, и энергоэффективного управления в установившихся режимах является актуальной задачей.

Целью данной статьи является анализ принципа работы устройств плавного пуска и статических характеристик асинхронного двигателя с этим устройством.

Материалы и результаты исследований. Принципиальная схема силовой части простейшего УПП, который по сути представляет собой тиристорный преобразователь напряжения (ТПН) изображена на рис. 1.

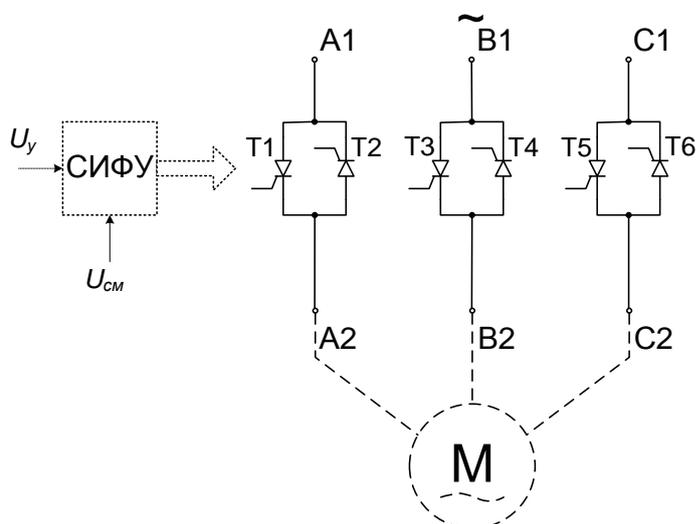


Рисунок 1 – Силловая схема неперереверсивного УПП

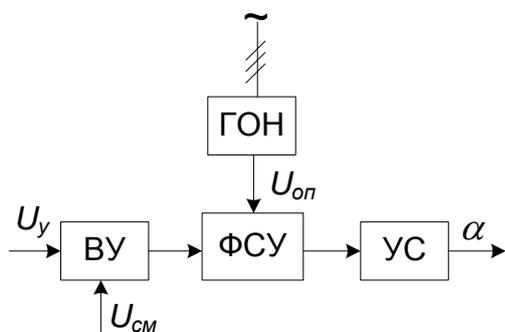


Рисунок 2 – Упрощенная функциональная схема СИФУ (для одной фазы)

Принцип работы ТПН основан на регулировании действующего значения первой гармоники напряжения U_S на статоре АД за счет изменения угла регулирования α относительно фазного напряжения питающей сети – так называемое импульсно-фазовое управление.

Подача импульсов выполняется выходным усилителем системы импульсно-фазового управления (СИФУ), функциональная схема которого показана на рис. 2.

Эта система обеспечивает преобразование непрерывного входного сигнала U_y , получаемого из системы регулирования, пропорциональной желаемой амплитуде U_{sm}^* напряжения на выходе УПП, в последовательность управляющих импульсов, подаваемых на силовые тиристоры.

Входное устройство ВУ обеспечивает согласование входа СИФУ с выходом источника напряжения управления U_y и ограничение этого

напряжения для обеспечения диапазона значений угла управления $\alpha_{\min} < \alpha < \alpha_{\max}$, а также задание начального угла α_0 отпирания тиристоров при $U_y = 0$ по значению напряжения смещения U_{cm} .

Применительно к УПП можно положить $\alpha_{\min} = 0^\circ$, $\alpha_{\max} = 120^\circ$, $U_{cm} = 0$.

Генератор опорного напряжения ГОН формирует напряжение $U_{оп}$ пилообразной или гармонической формы, фаза которого строго привязана к фазе напряжения сети. Генератор $U_{оп}$ обычно состоит из синхронизирующего

трансформатора и фильтра, сглаживающего колебания напряжения сети.

Фазосмещающее устройство ФСУ – основной элемент СИФУ, в котором осуществляется формирование импульсов, сдвинутых на определённый угол α относительно точки естественной коммутации тиристорov. Для фазы А можно положить $\alpha=0$. Для других фаз двигателя угол отличен от нуля, и определяется смещением фазового угла фаз питающей сети ($\alpha=\pm 120^\circ$).

Устройство ФСУ чаще всего строится по принципу вертикального управления, при котором U_y сравнивается с периодическим опорным напряжением. В момент равенства напряжений вырабатывается импульс на открытие тиристора соответствующей фазы. От формы опорного напряжения, вырабатываемого генератором опорного напряжения ГОН зависит вид регулировочной характеристики УПП, под которой понимают зависимость среднего значения выходного напряжения от напряжения управления $E_d = f(U_y)$ или от угла управления $E_d = f(\alpha)$.

Рассмотрим принцип формирования импульса при пилообразном опорном напряжении со спадающим фронтом на примере фазы А (тиристоры Т1, Т2 на схеме рис. 1). Соответствующая диаграмма показана на рис. 4.

В момент равенства опорного напряжения и напряжения управления вырабатывается импульс на тиристор Т1 или Т2. Выбор тиристора зависит от полярности напряжения фазы в момент выдачи импульса и формируется специальным образом (например, с помощью распределителя импульсов на выходе СИФУ, который на рис. 3 не показан).

Графики напряжений и токов для фазы УПП также представлены на рис.4 (нижняя часть, сплошные линии).

Наличие активно-индуктивной нагрузки, какой является и АД, обеспечивает отставание по фазе тока от напряжения на угол φ , зависящий от параметров нагрузки. При этом угол проводимости λ тиристорov максимален ($\lambda = \pi$), и к двигателю подводится напряжение, максимальное по среднему значению за полупериод:

$$U_{Scp.max} = 2U_{C.max} / \pi. \quad (1)$$

При увеличении угла α от значения $\alpha_{min} = \varphi$ до значения $\alpha_{max} = \pi$ угол проводимости λ будет уменьшаться от π до нуля, а среднее за полупериод напряжение двигателя – от $U_{Scp.max}$ до нуля. При этом ток нагрузки $i_{вых}$ имеет прерывистый характер (рис. 4), а возникающие пульсации токов высших гармоник существенно снижают к.п.д. преобразователя.

Учитывая, что на создание полезной мощности расходуется исключительно 1-я (основная) гармоника напряжения и тока, в дальнейшем сосредоточим влияние именно на ней.

Особенностью работы УПП является существенная нелинейность характеристики управления, которая зависит от угла нагрузки φ . Поэтому в общем случае отношение амплитуды 1-й гармоники напряжения нагрузки $U_{Sm(1)}$ к амплитуде номинального фазного напряжения сети $U_{Cm.Hf}$ является функцией переменных α и φ .

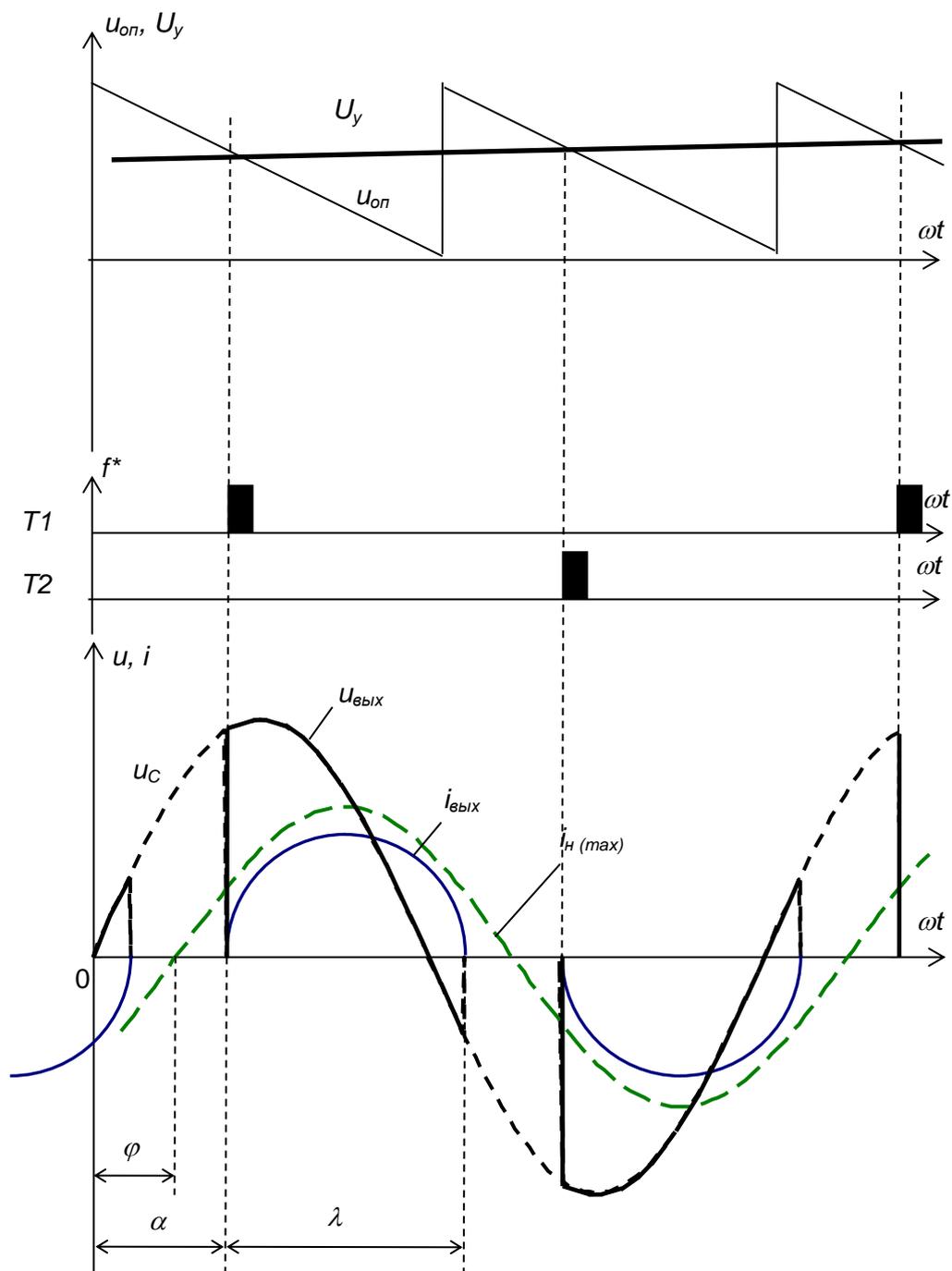


Рисунок 4 – Графики изменения напряжений и токов для одной фазы УПП

Плавного изменения напряжения, подводимого к двигателю (и соответственно, амплитуды 1-й гармоники), можно добиться, соответствующим образом изменяя напряжения управления U_y (рис. 1) в некотором диапазоне. Такое регулирование напряжения, с одной стороны, позволяет существенно облегчить условия пуска, с другой стороны – дает возможность регулирования скорости АД в небольшом диапазоне.

Типовая статическая механическая характеристика АД показана на рис. 5.

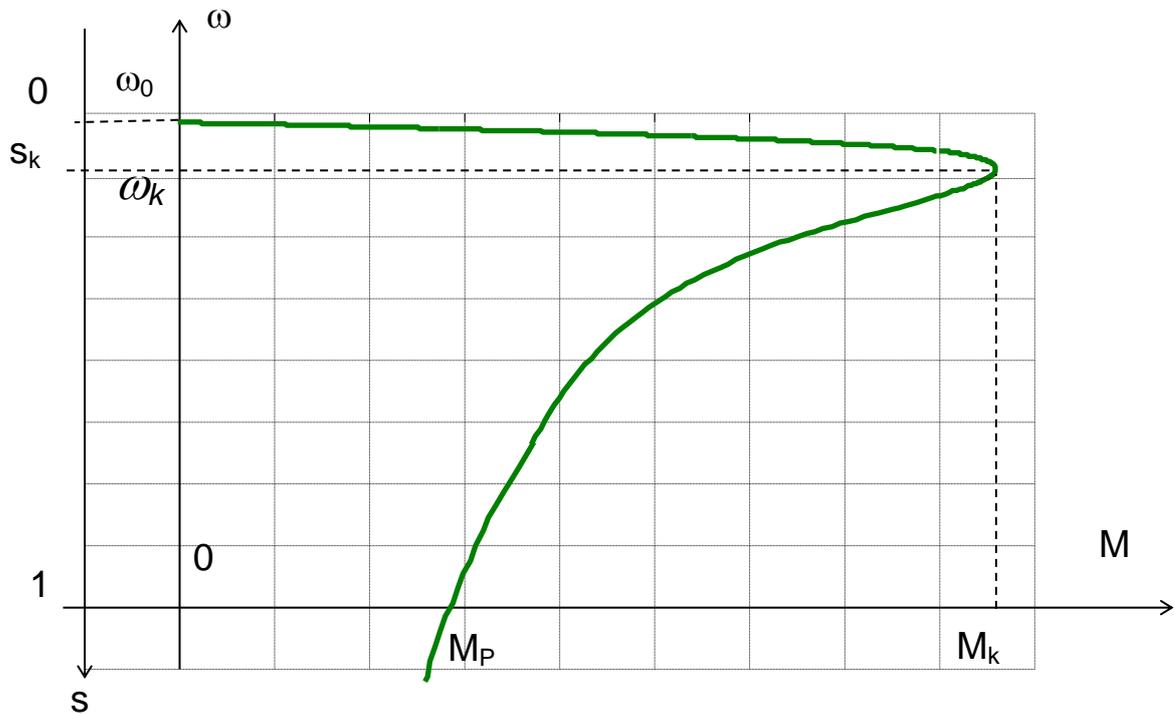


Рисунок 5 – Статическая характеристика асинхронного двигателя

Характерными показателями в двигательном режиме являются:

1) синхронная частота вращения, определяемая зависимостью

$$\omega_0 = \frac{\omega_s}{z_p} = \frac{2\pi f_s}{z_p}, \quad (2)$$

где z_p – количество пар полюсов двигателя; f_s – частота напряжения сети (50 Гц); $\omega_s = 2\pi f_s$ – угловая частота напряжения сети;

2) критический момент и критическое скольжение двигателя

$$M_k = \frac{3U_{sfe}^2}{2\omega_0 \left(R_S + \sqrt{R_S^2 + X_k^2} \right)}, \quad s_k = \frac{R_R}{\sqrt{R_S^2 + X_k^2}} \quad (3)$$

где U_{sfe} – эффективное (действующее) значение фазного напряжения, подводимого к статору АД; R_S – активное сопротивление обмотки фазы статора; X_k – индуктивное сопротивление к.з. двигателя, пропорциональное частоте f_s ; R_R – эквивалентное активное сопротивление обмотки фазы ротора, приведенное к статору;

3) пусковой момент двигателя

$$M_P = \frac{3U_{sfe}^2 R_R}{\omega_0 (R_k^2 + X_k^2)}. \quad (4)$$

Анализ (2)-(4) показывает, что синхронная частота вращения и критическое скольжение не зависят от величины подводимого к двигателю напряжения. В то же время критический и пусковой моменты пропорциональны квадрату действующего значения напряжения.

С учетом этого регулировочные свойства АД при питании от УПП могут быть охарактеризованы с помощью рис. 6. При регулировании напряжения

статора АД снижение напряжения U_S статора двигателя при неизменной его частоте f_S приводит к соответствующему снижению магнитного потока двигателя, что чревато дополнительным перегревом двигателя из-за возрастания потребляемого тока.

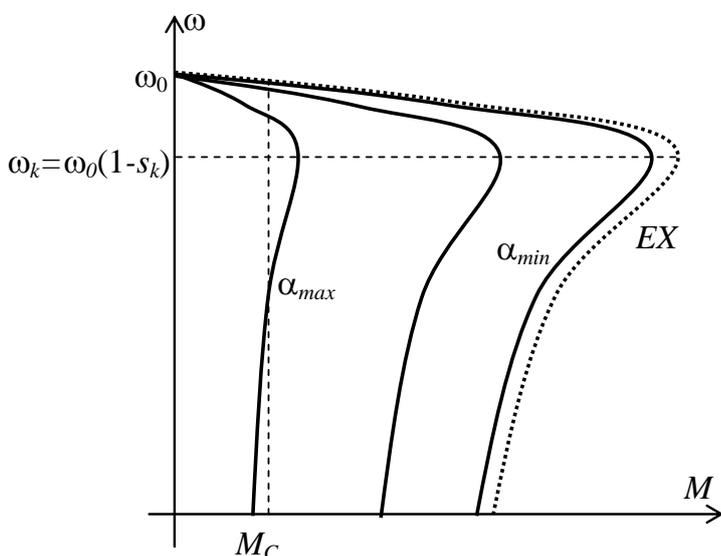


Рисунок 6 – Механические характеристики АД при питании от УПП

При использовании короткозамкнутого АД с жесткой механической характеристикой возможности регулирования скорости при работе в пределах линейных участков характеристик ограничены, как это видно из рис. 6, где EX – естественная характеристика двигателя.

Увеличения диапазона регулирования скорости можно достичь при использовании АД с фазным ротором, когда можно искусственно смягчить характеристики за счет введения в цепь ротора добавочного реостата $R_{доб}$

вплоть до того, чтобы обеспечить $\omega_k = 0$ ($s_k = 1$). Как следует из графиков, наиболее благоприятным условиям по нагреву двигателя соответствует нагрузка с вентиляторным характером изменения момента сопротивления.

Выводы. Анализ статических характеристик асинхронного двигателя с устройством плавного пуска показал, что пуск двигателя возможен только с малыми моментами статического сопротивления, что соответствует вентиляторному характеру нагрузки. Для форсирования процесса пуска на начальном участке следует изменять амплитуду напряжения статора не с нуля, а с некоторого начального значения, величину которого можно определить путем дополнительных исследований.

Перечень ссылок

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
2. Браславский И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: ИЦ «Академия», 2004. – 256 с.
3. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: Учебное пособие / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.