

Для устранения времени задержки предлагается в момент трогания электропривода создать на выходе ПРН (УПП) определенное значение действующего напряжения, которому соответствует электромагнитный момент ЭД, равный моменту сопротивления холостого хода электропривода. Результат такого приема приведен на рис. 4.

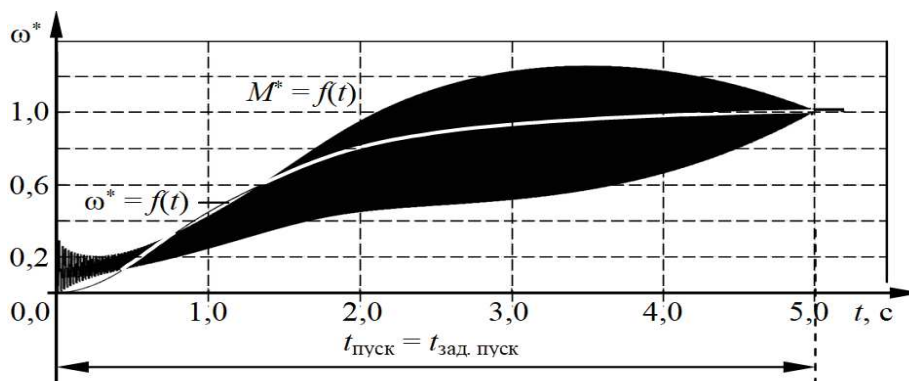


Рисунок 4 – Эпюры $\omega^* = f(t)$ и $M^* = f(t)$ при вентиляторной нагрузке электропривода и $t_{\text{пуск}} = t_{\text{зад. пуск}}$

Данный результат показывает, что при такой постановке управления действующим напряжением за заданное время пуска совершится пуск электропривода. Некоторые современные УПП предусматривают предлагаемую процедуру пуска электропривода.

Заключение. При применении ПРН для обеспечения корректного с точки зрения необходимого пуска по критерию ускорения электропривода с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем следует задавать время запаздывания и время фактического пуска. Динамический процесс приведения в движение электропривода определяется и темпом нарастания действующего напряжения на обмотках статора электродвигателя и формой механической характеристики, соответствующей каждому значению этого изменяющегося напряжения. Для технологической машины, аналитическое выражение момента сопротивления которой соответствует $n = 1$, целесообразно выполнять функцию байпас (*bypass*).

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехнический справочник. в 3 т. Т. 3. – Москва.: Энергоатомиздат, 1988. – 616 с.
2. Об устройстве плавного пуска (*About soft start*). Полиграфия: технология, оборудование, материалы: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Омск, 17-18 мая 2022 г.) / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Ом. гос. техн. ун-т. С. 13-21.
3. Беляев, В. П. Электрооборудование полиграфических машин. – Минск: БГТУ, 2012. – 207 с.

нения рассматриваемого процесса пуска.

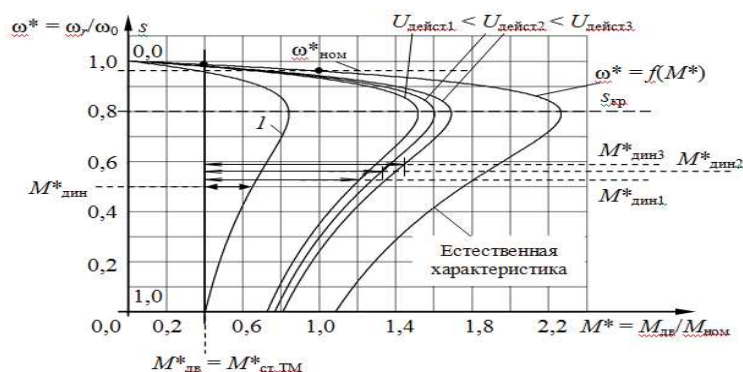


Рисунок 2 – Механические характеристики, демонстрирующие процесс пуска электропривода

Таким образом, при прямо пропорциональном изменении угла управления ПРН или при любом другом законе изменения действующего напряжения электродвигателя вращение электропривода не обеспечивает постоянное значение ускорения ТМ. Кроме этого скорость электропривода достигает зоны установившегося значения раньше, чем закончится изменение действующего напряжения на выходе ПРН. Такая ситуация подсказывает, что нет необходимости в продолжение изменения угла управления напряжением, а целесообразнее выполнить **преждевременное** подключение обмоток статора двигателя напрямую к входному напряжению ПРН – выполнить функцию байпас (*bypass*).

С рассмотренных позиций промоделируем динамику электропривода для второй группы ТМ. Эпюры скоростной характеристики электропривода $\omega^* = f(t)$ и электромагнитного момента ЭД $M^* = f(t)$ показывают, что и в этом случае заданное время на увеличение действующего напряжения до номинального значения ($t_{\text{зад. пуск}}$) используется для создания электромагнитного момента в двигателе до момента достижения им значения, превышающего момент холостого хода электропривода – (момент сопротивления ТМ) $M_{\text{х. х}}^*$ ($t_{\text{зад}}$ – время задержки); на электромеханические процессы в нем, в результате которых в данном случае осуществляется пуск электропривода ($t_{\text{пуск}}$) под воздействием изменения действующего напряжения до конца времени $t_{\text{зад. пуск}}$.

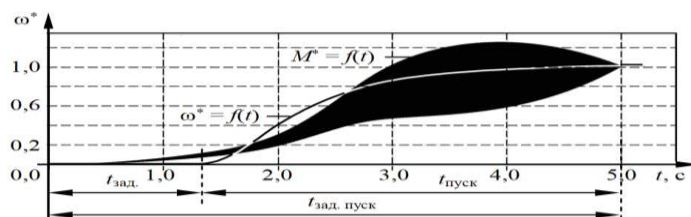


Рисунок 3 – Эпюры $\omega^* = f(t)$ и $M^* = f(t)$ при вентиляторной нагрузке электропривода

напряжения переменного тока. Однако формирование выходного напряжения может реализовываться классическим способом (изменением угла управления относительно точки перехода полусинусоиды питающего напряжения через нуль) или широтно-импульсным управлением. Причем рационально инженерное решение этого способа, состоящее в прямо пропорциональном изменении этого угла. В этом случае имеется не однозначное изменение действующего напряжения на выходе ПРН [2]. Для ТМ, у которых момент сопротивления соответствует показателю $n = 1$, проведены исследования процесса пуска на модели, разработанной в среде *Mathlab-Simulink* на основе теории обобщенной машины [3]. Результаты моделирования в виде эпор $\omega^* = f(t)$ при прямо пропорциональном изменении угла управления действующего напряжения при ШИМ-управлении 1, пропорциональном увеличении действующего напряжения при ШИМ-управлении 2 и при классическом фазовом способе 3 приведены на рис. 1.

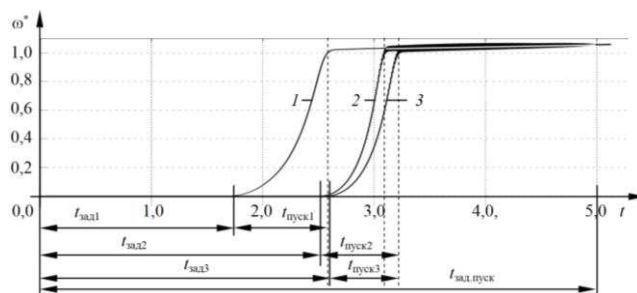


Рисунок 1 – Эпоры $\omega^* = f(t)$ при различных законах изменения угла управления действующим напряжением.

Основной вывод состоит в том, что заданное время на увеличение действующего напряжения до номинального значения ($t_{\text{зад. пуск}}$) используется для развития электромагнитного момента в двигателе до момента достижения им значения, превышающего момент сопротивления холостого хода электропривода – (момент статического сопротивления ТМ) $M_{\text{х. х}}^*$ ($t_{\text{зад}}$ – время задержки); на электромеханические процессы в нем, в результате которых осуществляется фактический пуск электропривода ($t_{\text{пуск}}$) и получения заключительного отрезка времени ($t_{\text{зад. пуск}} - t_{\text{зад}} - t_{\text{пуск}}$), когда продолжающееся изменение действующего напряжения существенно не влияет на скоростную характеристику электропривода $\omega^* = f(t)$. Исследованием установлено, что такая ситуация в развитии динамических процессов при пуске объясняется тем, что фактически изменением действующего напряжения на обмотках статора электродвигателя идет задание динамических механических характеристик электропривода, а не динамического момента двигателя, а он уже сам формируется значениями этих характеристик. На рис. 2 представлен один результат расчета для наглядного объяс-

ДИНАМИКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Одним из признаков качественного общения в научной и преподавательской среде следует считать использование стандартной терминологии при изложении рассматриваемого материала, чем достигается нужное взаимопонимание. Для получения продукции технологические машины (ТМ) приводятся в движение (пуск) автоматизированными электроприводами, причем с необходимым ускорением. Исследования и эксплуатация оборудования позволило определить значения необходимых ускорений и внести их в нормативные документы [1]. В составе большинства ТМ имеются электроприводы на основе асинхронного короткозамкнутого электродвигателя ЭД. Пуск таких электроприводов выполняется изменением значения действующего напряжения, подаваемого на обмотки статора ЭД (управляющее воздействие), в настоящее время с выхода полупроводниковых регуляторов напряжения ПРН. В производственной и коммерческой среде они носят название устройства плавного пуска УПП. Однако, ни в одном реестре физических величин такой величины как плавность **нет**. Корректная оценка пуска ТМ должна сопровождаться конкретным значением ускорения. В теории электропривода пользуются механической характеристикой ТМ, аналитическое выражение момента статического сопротивления которой имеет вид

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{х. х}} + (M_{\text{ст. ном}} - M_{\text{х. х}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^n \text{sign } \omega,$$

где $M_{\text{х. х}}$ – момент холостого хода электропривода;

$M_{\text{ст. ном}}$ – номинальный момент сопротивления ТМ при $\omega_{\text{ном}}$;

ω – текущее значение скорости;

$\omega_{\text{ном}}$ – номинальное значение скорости ТМ;

n – показатель степени;

$\text{sign } \omega$ – знак угловой скорости (направление вращения).

Значение n определяет группы ТМ, имеющих почти одинаковые механические характеристики. Рассмотрим динамику ТМ с $n = 1$ (токарные станки, конвейеры и т.п.) и $n = 2$ (вентиляторы, центробежные насосы и т.п., где работа ТМ основана на законах аэрогидродинамики). Действующее напряжение на выходе ПРН определяется фазовым способом изменения угла управления входного синусоидального