

## УПРАВЛЕНИЕ ПУСКОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для создания продукции технологическая машина (ТМ) приводится в движение с ускорением, зачастую с необходимым его значением для данной ТМ. В полиграфии подавляющее большинство производственных машин приводится в движение электромеханическими системами на основе асинхронного электропривода. Для машин, требующих создание необходимых ускорений при пуске, применяются электроприводы, реализующие частотный или параметрический способ регулирования частоты вращения электродвигателя интеллектуальными полупроводниковыми преобразователями: автономными инверторами напряжения (преобразователями частоты) или регуляторами напряжения (ПРН или устройства плавного пуска УПП). Частотный способ управления позволяет получить высококачественное регулирование при сложных системах управления. Параметрический способ управления (изменение напряжения на обмотках статора электродвигателя) имеет определенные ограничения по диапазону получения регулировочных характеристик. В вопросах организации пуска он является альтернативным частотному управлению. Управляющее воздействие в виде действующего напряжения питающей сети, прикладываемого к обмоткам статора, осуществляется изменением угла (фазы) включения силовых ключей в цепях присоединения обмоток статора электродвигателя к фазам питающей сети. В инструкциях по эксплуатации УПП приводится процедура, как там трактуется, задания времени пуска, т. е. увеличение действующего напряжения на его выходе. Под действием этого напряжения в системе электропривода создаются два этапа. Сначала развиваются электромагнитные переходные процессы в двигателе, а после достижения электромагнитным моментом двигателя значения, превышающего момент холостого хода электропривода начинаются электромеханические процессы в нем, определяющиеся динамическим моментом, подчиняющимся уравнению движения [1]. Изучим эти процессы по результатам моделирования асинхронного электропривода, в составе которого электродвигатель АИР100L6У3 с номинальными данными:  $P_{\text{ном}} = 2,2 \text{ кВт}$ ;  $\omega_0 = 104,7 \text{ рад/с}$ . Пуск электропривода с моментом холостого хода  $M_{\text{х. х}} = 0,2M_{\text{ном}}$  и  $J_{\Sigma\text{пр}} = 1,2J_{\text{дв}}$ . Управление пуском выполнялось классическим фазовым способом и ШИМ-управлением. Задание времени увеличения на выходе регулятора напряжения

действующего напряжения до номинального значения составляло  $t_{\text{зад. вр}} = 5$  с. На рис. 1 приведены эпюры моделирования рассматриваемого процесса. Кривая 1 соответствует ШИМ-управлению с прямолинейным законом изменения угла управления напряжения, кривая 2 соответствует ШИМ-управлению с арксинусоидальным законом, а кривая 3 соответствует классическому фазовому способу с прямолинейным законом изменения угла управления напряжения.

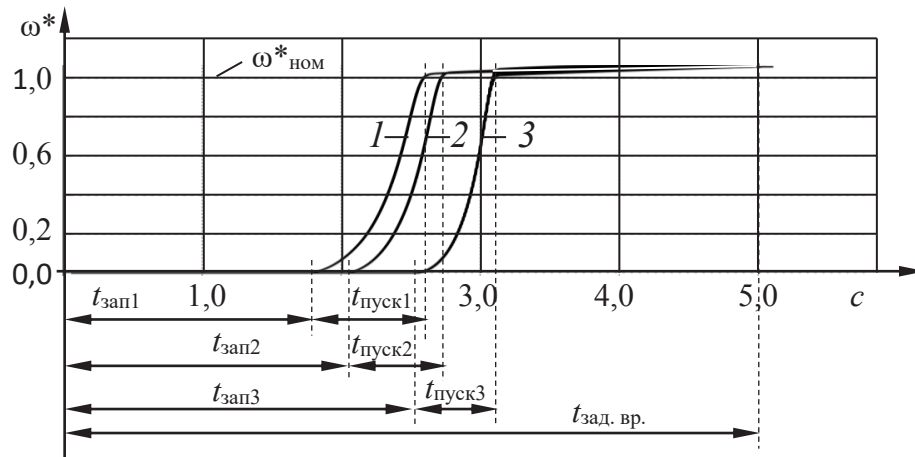


Рисунок 1 – Эпюры зависимостей  $\omega = f(t)$  при различных способах управления

Анализ указывает на то, что время запаздывания (электромагнитные переходные процессы) составляет от 40 % до 60 % времени задания  $t_{\text{зад. вр}}$ . Время конкретного пуска (электромеханические процессы до момента достижения скоростью вала электродвигателя первый раз скорости  $\omega^*_{\text{ном}}$ ) находится в пределах 10 – 15 % времени задания  $t_{\text{зад. вр}}$ . Увеличение выходного напряжения регулятора напряжения (или УПП) на заключительной части  $t_{\text{зад. вр}}$  существенно не влияет на электромеханические процессы электропривода, поскольку они происходят в области устойчивых отрезков механических характеристик электродвигателя  $\omega = f(M)$ , где модуль жёсткости их отрицателен. Возникает рациональный вывод об организации функции байпас в работе ПРН или УПП – прямое подсоединение обмоток статора электродвигателя к фазам питающей сети. Штатно эта функция присутствует у серийно выпускаемых УПП. Проследим этот процесс при его моделировании, когда в конце времени  $t_{\text{разг}}$  (когда скорость ротора достигла первый раз номинального значения) вводилась функции байпас. На рис. 2 и 3 приведены результаты моделирования, которые показывают весьма кратковременные затухающие переходные процессы электромагнитного момента и скорости ротора электродвигателя с переходом в установившееся состояние при синусоидальном питании. Очевидное улучшение работы электродвигателя без высших гармони-

ческих напряжения и связанных с этим потерь мощности, а также электропривода с исчезновением колебаний электромагнитного момента и скорости ротора электродвигателя.

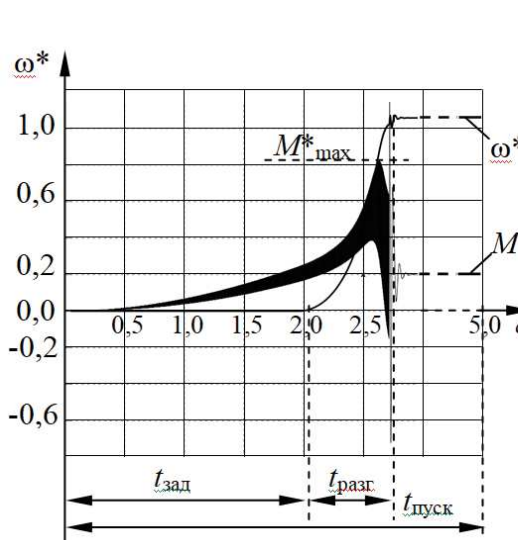


Рисунок 2 – Эпюры  $\omega = f(t)$  и  $M = f(t)$  при байпасе ПРН с ШИМ-управлением

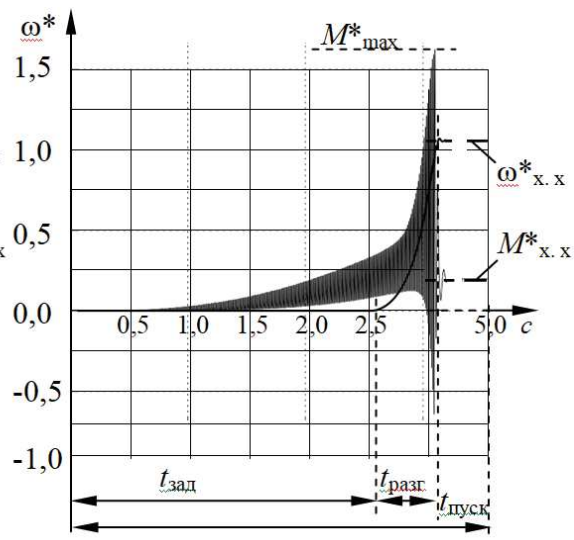


Рисунок 3 – Эпюры  $\omega = f(t)$  и  $M = f(t)$  при байпасе ПРН с классическим управлением

Введение функции байпас выполнялось, когда скорость ротора уже находилась в зоне устойчивых частей механической характеристики асинхронного электродвигателя  $\omega = f(M)$ .

Для развития исследований промоделируем рассматриваемые процессы при введении функции байпас в момент достижения электромагнитным моментом электродвигателя своего максимального значения (соответствие критическому «скольжению» – точке перехода из зоны с положительным модулем жёсткости (неустойчивые части) механической характеристики в зону с отрицательным модулем (устойчивые части).

На рис. 4 и 5 приведены результаты такого моделирования, а в таблице потери мощности в обмотках статора и ротора.

Таблица – Потери мощности в обмотках статора и ротора электродвигателя при пуске

|                                                                                         | $t_{\text{зад. вр.}} = 5 \text{ с}$ | при байпасе ПРН с ШИМ-правлением | при байпасе ПРН с классическим управлением |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|
| $\Delta p^*_{\Sigma \text{ШИМ}} = \Delta p_{\Sigma \text{ШИМ}} / \Delta p_{\text{ном}}$ | 3,407                               | 3,396                            | 3,427                                      |
| $\Delta p^*_{\Sigma \text{фаз}} = \Delta p_{\Sigma \text{фаз}} / \Delta p_{\text{ном}}$ | 8,479                               | 7,468                            | 7,461                                      |

Никакого качественного улучшения этот прием не показал. В момент перехода на напряжение питающей сети увеличились элек-

тромагнитные моменты и немного потери мощности в обмотках статора и ротора. При этом выяснилось, что при классическом управлении в рассматриваемом случае введении функции байпас в момент достижения скоростью ротора первый раз номинального значения (в конце времени  $t_{\text{разг}}$ ) как раз произошло практически при максимальном значении электромагнитного момента электродвигателя.

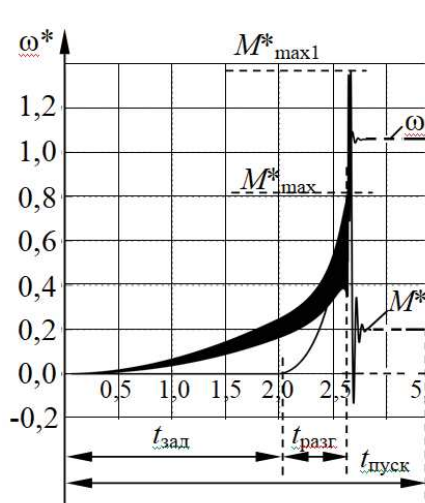


Рисунок 4 – Эпюры  $\omega = f(t)$  и  $M = f(t)$  при байпасе ПРН в момент  $M^*_{\text{max}}$  с ШИМ-управлением

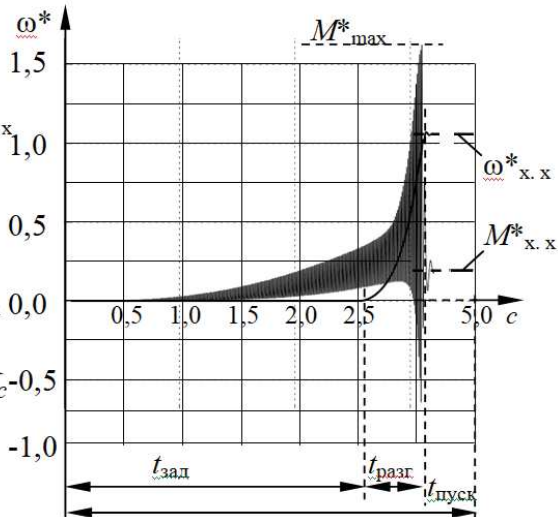


Рисунок 5 – Эпюры  $\omega = f(t)$  и  $M = f(t)$  при байпасе ПРН в момент  $M^*_{\text{max}}$  с классическим управлением

Вычисленные во время исследования пуска потери мощности в обмотках статора и ротор еще раз подтвердили, что широтно-импульсное модулирование напряжения на выходе ПРН эффективно сказывается на тепловых процессах в электродвигателе. Следует отметить уменьшение колебаний электромагнитного момента и скорости ротора. Возрастает сложность принципиальных электрических схем управления ПРН, с переходом на программное их обеспечение.

**Выводы:** С точки зрения энергетики процесса пуска ШИМ-управление им предпочтительнее. Коэффициент полезного действия процессов в асинхронном электродвигателе при использовании функции байпас, вводимую в ПРН при первом достижении скорости ротора электродвигателя ее номинального значения, повышается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев, В. П. Электрооборудование полиграфических машин. Минск: БГТУ, 2012. 207 с.