

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

Полиграфические машины и установки для выполнения технологического цикла в большинстве случаев оснащены электромеханическими системами на основе регулируемого электропривода переменного тока с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем. Всем производственным механизмам целесообразно организовывать управляемый по интенсивности разгон (ускорение вала электродвигателя), обеспечивая в их кинематике безударное прохождение механического момента от вала электродвигателя. Это можно реализовать изменением действующего напряжения на обмотках статора электродвигателя, в частности используя параметрическое управление. Оно реализуется полупроводниковым регулятором напряжения, выполняющим фазовый способ регулирования или широтно-импульсное модулирование напряжения, сущность которых проиллюстрирована рис. 1 [1].

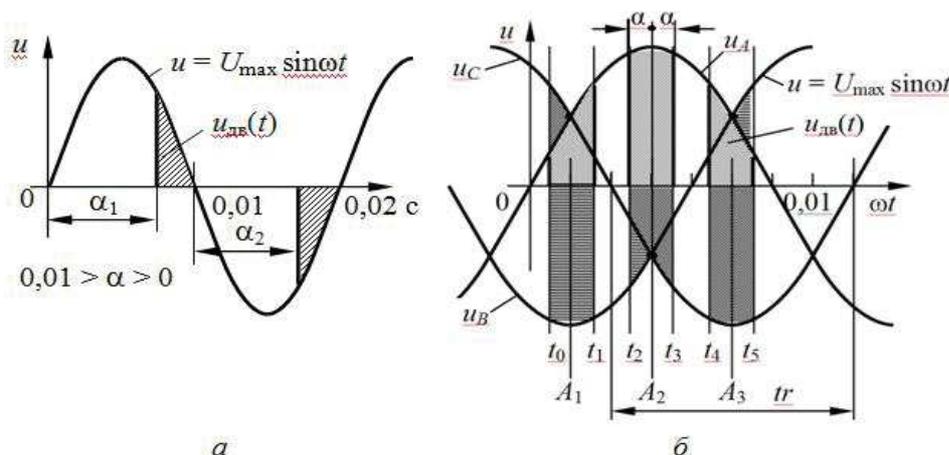


Рисунок 1 – Эпюры параметрического формирования напряжения

Изменение электромагнитного и механического момента двигателя определяется действующим значением напряжения, что отражено этой формулой, выведенной на основе теории обобщенной машины

$$M_s = \frac{3}{2} \frac{|\bar{u}_s|^2 a_{12} a_{21} \delta}{R_s [(a_{11}^2 + \omega_s^2)(\delta_k^2 + \delta^2) + 2a_{12} a_{21} \omega_s \delta]} \quad (1)$$

Поскольку действующее напряжение переменного тока позиционируется как интегральный показатель, то принципиально не имеет значения, изменяется угол α фазового управления переменным напряжением в соответствии с рис. 1, а или 1, б.

Возникает вопрос, какие значения имеет действующее напряжение в функции угла управления α при каком-либо законе его изменения от нулевого до максимального значения (время пуска – обозначим tp)? Одним из ответов на этот вопрос – результат, представленный на рис. 2, проведенного исследования для классического фазового управления синусоидальным напряжением по общеизвестному выражению (2) и для ШИМ-управления по выражению (3),

$$u_{\text{дейст}}(t) = \sqrt{\frac{1}{0,01} \int_0^t (U(t))^2 dt}, \text{ где } U(t) = U_{\text{max}} \sin \omega t. \quad (2)$$

Для ШИМ-управления, выбранного к исследованию, количество импульсов на полупериоде принято равным $m=3$. Вычисление значений действующего напряжения выполнялось по приведенному ниже выражению (см. рис. 1, б)

$$u_{\text{дейст}}(n) = \sqrt{\frac{1}{0,01} \left(\int_{A1-n \cdot h}^{A1+n \cdot h} (U(t))^2 dt + \int_{A2-n \cdot h}^{A2+n \cdot h} (U(t))^2 dt + \int_{A3-n \cdot h}^{A3+n \cdot h} (U(t))^2 dt \right)}, \quad (3)$$

где $A_{k,q} = \left[\left(j \frac{tr}{2m} \right) + tr(Zp_q) \right]_q$ – центры расположения импульсов ШИМ-

напряжения (в общем виде). Результат на рис. 2 подтверждает, что изменение действующего напряжения однозначно, что при $tp=2$ с, что при $tp=10$ с. Анализ, приведенных на рис. 2 зависимостей $u_{\text{дейст}} = f(tp)$ для классического фазового управления (пунктирная линия) и для ШИМ-управления (сплошная линия), приводит к заключению, что при прямо пропорциональном изменении значений угла управления они как при классическом фазовом управлении, так и при ШИМ-управлении криволинейны.

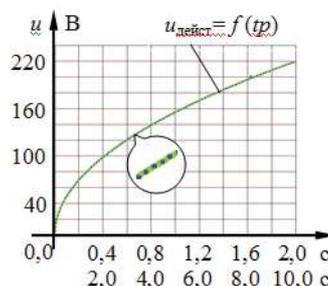


Рисунок 2 – Эпюры одного расчета

Этой зависимости присуще достаточно интенсивное нарастание значений на начальных этапах увеличения угла управления с последующим уменьшенном нарастанием в конце переходного процесса. Электромагнитный момент двигателя пропорционален квадрату

напряжения, то и скоростная характеристика электропривода $\omega=f(t)$ согласно уравнению движения будет соответствовать этим тенденциям. Следует напомнить, что при пуске сначала развиваются электромагнитные переходные процессы в двигателе, а после начала движения ($M_{дв}>M_{ст}$) электромеханические процессы в электроприводе. В общем времени пуска создаются два этапа. Для оценки рассматриваемых вопросов разработана модель регулируемого электропривода с параметрическим управлением в среде *MathLab-Simulink*. Апробация модели выполнялась расчетами режимов технологического цикла двухкрасочной офсетной печатной машины, приводимой в движение асинхронным двигателем типоразмера 4А80В2У3 ($P_{ном}=2,2$ кВт). Оценка результатов расчетов привела к практическому выводу, что время достижения электромагнитным моментом двигателя момента статического сопротивления механизма $t_{зап}$ составляет значительную часть общего времени пуска электропривода, а на разгон самой машины временной отрезок мал. Это приводит к несоблюдению нормированных ускорений. Момент указанного достижения при реальных $M_{х.х}$, например, для печатных машин, возникает при подходе к области критического скольжения. Значение действующего напряжения при этом составляет примерно 70–80% $U_{ном.ф}$. Такая ситуация подсказывает, что нет необходимости в продолжении изменения угла управления ШИМ-напряжением регулятором напряжения, а целесообразнее подключить обмотки статора двигателя напрямую к его входному напряжению (функция байпас (bypass)). Для более корректного управления пуском технологической машины следует задавать время увеличения действующего напряжения в два этапа: до момента $M_{дв}=M_{х.х}$ и после – с последующим заданием темпа его нарастания, позволяющим обеспечивать нормированное для этой машины ускорение. В процессе пуска характеристическая точка электропривода, показывающая развитие скорости в плоскости механической характеристики, в начале разгона находится в зоне «скольжений» $1 > s > s_{кр}$, что оценивается как «жесткий» пуск, сопровождающийся значительными греющими потерями мощности в двигателе, а после достижения $s_{кр}$ характеристическая точка переходит в зону «скольжений» $0 < s < s_{кр}$, что оценивается как «мягкий» пуск, сопровождающийся греющими потерями мощности, сопоставимыми с номинальными потерями или не превышающими их. В конце разгона характеристическая точка состояния электропривода стремится к условию равновесия, например к $M_{дв}=M_{х.х}$. Начало и дальнейшее вращение вала двигателя обеспечивается возникающим динамическим моментом ($M_{дин}=J_{\Sigma пр}(d\omega/dt)=M_{дв}(t) - M_{х.х}$). Однако при прямо пропорциональном изменении угла управления ШИМ-напряжения в силу специфической формы механической

характеристики асинхронного двигателя $M_{дв}=f(\omega_{дв})$ динамическое приращение скорости не соответствует создаваемой пропорциональности. Оно превышает ее, и это приводит к такому увеличению скорости, при котором вал двигателя достигает заданного уравновешенного соответствия моментов $M_{дв}=M_{х.х}$ раньше, чем закончится изменение угла управления напряжением регулятором. Другими словами характеристическая точка, отражающая состояние электропривода, уже находится в зоне устойчивых отрезков механических характеристик. Это и есть тот разгон, который обеспечивает ускорение технологической машины. Фактически изменением действующего напряжения идет задание динамических механических характеристик электродвигателя, а не динамического момента, а он уже сам формируется значениями этих характеристик. И даже, если после начала движения, остановить изменение угла управления напряжением, то процесс увеличения скорости вращения вала двигателя продолжится, поскольку будет обеспечен формой механической характеристики, соответствующей полученному значению действующего напряжения. Такое состояние электропривода не зависит от заданного времени пуска. Время задержки началу движения определяется моментом статического сопротивления на валу электродвигателя, и он определит значение действующего напряжения на обмотках статора и форму, соответствующую этому значению напряжения, механической характеристики. Процентное соотношение момента статического сопротивления в 10–40% $M_{ном}$ будет соответствовать 70–80% $U_{ном.ф.}$

Заключение. При применении полупроводникового регулятора напряжения для обеспечения корректного с точки зрения необходимого пуска по критерию ускорения электропривода с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем следует задавать время запаздывания и время действительного пуска. Динамический процесс вращения вала двигателя определяется и темпом нарастания действующего напряжения на его обмотках статора и формой механической характеристики, соответствующей каждому значению этого изменяющегося напряжения. В результате этого в конце разгона в зоне «скольжений», не превышающих критические значения, характеристическая точка перемещается в области устойчивых отрезков механических характеристик. Результаты расчетов подтверждают адекватность модели электропривода его физическому объекту.

ЛИТЕРАТУРА

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