

Анкуда Д. А., магистрант; Беляев В. П., доцент; Гаврис В. И., студент

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДИНАМИКИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕЧАТНОЙ МАШИНЫ

Results of the studies of the condition speakers controlled electro drive are stated in article with asynchronous by electric motor of the printed machine with width-pulse voltage of the feeding. The Studies realize on mathematical model, formed on base of the theories of the generalized machine, and in format applied program MathCAD 2001. The Brought results of the studies.

Полиграфическое оборудование, выполняющее допечатные, печатные, послепечатные технологические процессы, представляет собой многосвязанные, многоэлементные машины, в которых имеется большое количество поступательно и вращательно движущихся с различными скоростями узлов, деталей и исполнительных органов. Особенно это относится к печатному оборудованию. Исполнительные органы печатного оборудования приводятся в движение электромеханическими системами через различного типа кинематические передачи, обладающие многочисленными люфтами и зазорами. В отношении печатного оборудования электромеханическая система является классическим примером группового электропривода.

Для выполнения технологического процесса печатания необходимо с помощью электропривода выполнить пуск машины, в ходе выполнения работы по различным причинам имеются режимы снижения скорости до скоростей наладки, останов машины с ее повторным пуском, т. е. происходят динамические процессы электропривода, сопровождающиеся потерями энергии в приводном электродвигателе. Из теории электропривода известно, что в переходных процессах токи, протекающие в электродвигателе, в несколько раз превышают номинальные значения. Кроме этого, печатные машины обладают значительными суммарными приведенными моментами инерции механизма, в несколько раз превышающими эту физическую величину самого электродвигателя. Такое состояние механической части полиграфической машины накладывает определенные ограничения на динамические процессы, предписывая их формирование по таким параметрам, как ускорение, динамический момент. На такие ограничения указывает и большое количество люфтов и зазоров, которое при недостаточно корректном формировании динамических процессов увеличивается, что приводит к получению некачественной продукции, к дополнительным наладочным работам. Таким образом, управление регулируемого электропривода печатных машин ставит, с одной стороны, задачи создания требуемых режи-

мов работы машины, с другой — формирование динамических процессов, обеспечивающих снижение пусковых токов в приводном электродвигателе, т. е. уменьшение потерь, что характеризуется как энергосберегающий прием использования электропривода. В полиграфическом оборудовании используются регулируемые электроприводы как постоянного, так и переменного тока. В силу технико-экономических причин современные электроприводы в большинстве своем создаются на базе асинхронного короткозамкнутого электродвигателя. Успехи технологии полупроводниковой силовой техники позволили начать выпуск модульных полупроводниковых преобразователей на значительные мощности, реализующие разнообразные теоретические разработки регулируемого электропривода переменного тока. Основными способами получения пусковых, регулировочных и тормозных свойств регулируемого электропривода переменного тока являются частотный и параметрический способы управления.

Частотный способ управления позволяет получить высококачественное регулирование, различные функциональные свойства асинхронного электропривода. Однако это сопровождается достаточно сложными системами управления с использованием интеллектуальных полупроводниковых преобразователей. Параметрический способ управления имеет определенные ограничения по диапазону получения регулировочных характеристик, расширение которого приводит к увеличению габаритной мощности электродвигателя и, как правило, к недоиспользованию этой мощности. Но в вопросах организации процессов пуска он является альтернативным частотному управлению. В настоящее время в силу достаточно простой силовой схемы полупроводниковых устройств, используемых для этих целей, их небольших весогабаритных показателей, а также невысокой стоимости всего регулируемого электропривода указанный способ управления асинхронным электродвигателем является востребованным как в области теоретических исследований, так и в части промышленного использования

регулируемых электроприводов на этой основе, что подтверждается многими научно-техническими публикациями. Преобразователи, реализующие параметрический способ, являются полупроводниковыми регуляторами напряжения, осуществляющими фазовый способ изменения значения напряжения, подаваемого на обмотки статора асинхронного электродвигателя. Выполнение фазового способа регуляторами напряжения может осуществляться разнообразными законами. Существенным недостатком данного способа регулирования является наличие в напряжении, питающем обмотки статора, высших гармонических составляющих, существенно ухудшающих режимы работы асинхронного электропривода. Детально эти негативные стороны фазового способа регулирования напряжения рассматривались, например в [1].

Там же изложен способ управления, позволяющий уменьшить уровень высших гармонических в питающем электродвигатель напряжении и получить выигрыш в потерях энергии при регулировании скорости. В данной статье изложены результаты исследования процесса пуска электропривода на примере обобщенной модели двухсекционной печатной машины марки «Доминант», приведенный момент инерции которой в четыре раза превышает момент инерции приводного двигателя. Мощность приводного асинхронного двигателя для этой машины составляет 2,2 кВт. Исследование пуска проводилось при формировании выходного напряжения регулятора из трех пульсов на каждом его полупериоде. Ширина этих пульсов, а значит, угол управления ШИМ-напряжения, изменялась по прямолинейному закону, как наиболее простому в технической реализации. Исследовались потери мощности, характер изменения электромагнитного момента электродвигателя, его скорости при пуске печатной машины, имеющей при этом статический момент сопротивления холостого хода машины, что наиболее часто встречается в полиграфическом оборудовании. Исследования проводились на математической модели, описывающей поведение асинхронного электропривода, составленной на основании теории обобщенной машины как наиболее разработанной и рациональной для описания различных режимов работы электроприводов переменного тока [2].

Для трогания печатной машины при пуске необходимо создать при включении приводного электродвигателя на его валу механический момент, равный моменту статического сопротивления машины на холостом ходу. Значение напряжения, соответствующее этому состоянию, вычисляется по выражению

$$|\bar{u}_s| = \sqrt{\frac{2M_{xx}R_s[(a_{11}^2 + \omega_s^2) \cdot (\delta_k^2 + \omega_s^2) + 2a_{12} \cdot a_{21} \cdot \omega_s^2]}{3a_{12} \cdot a_{21} \cdot \omega_s}},$$

где $|\bar{u}_s|$ – модуль результирующего вектора напряжения статора; M_{xx} – приведенный к валу электродвигателя статический момент холостого хода печатной машины; R_s – активное сопротивление обмотки фазы статора; ω_s – частота вращения магнитного поля статора; δ_k – критическое значение параметра абсолютного скольжения; a_{11} , a_{12} , a_{21} – коэффициенты, составленные из параметров эквивалентной схемы электродвигателя переменного тока [2].

Дальнейшее увеличение напряжения питания электродвигателя приводит к его разгону и пуску печатной машины.

На рис. 1 приведены графики разгона электродвигателя при различных временах нарастания угла управления. Графики скорости строятся в относительных единицах (отношение скорости ротора к скорости магнитного поля статора). Здесь кривая 1 построена для времени изменения угла управления на участке разгона в 2 с, кривая 2 – для времени нарастания угла управления 3 с, кривая 3 – для времени 4 с и кривая 4 – для времени 5 с.

На рис. 2 приведены графики изменения крутящего момента электродвигателя во время пуска при различных временах нарастания угла управления. Графики момента также построены в относительных единицах (отношение текущего момента электродвигателя к его номинальному значению). Здесь кривая 1 построена для времени нарастания угла управления в 2 с, кривая 2 – для времени нарастания угла управления в 3 с, кривая 3 – для времени 4 с и кривая 4 – для времени 5 с.

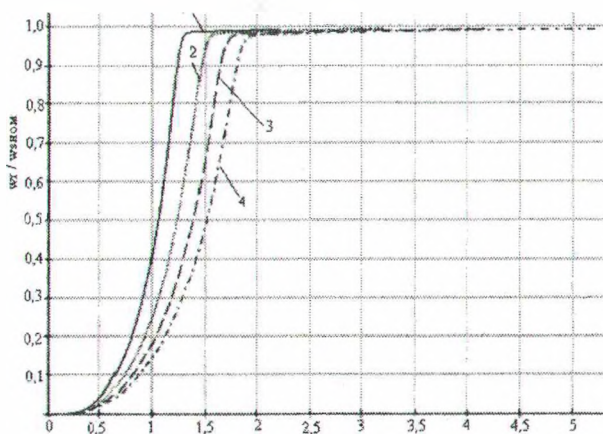


Рис. 1. Изменение скорости двигателя при пуске для разного времени нарастания угла управления

Наличие больших моментов инерции печатной машины предопределяет создание определенного ускорения вала приводного двигателя в процессе ее разгона. Рекомендуемые значения ускорения находятся на уровне 500 рад/с^2 .

Исследования процессов пуска при прямолинейном изменении угла управления ШИМ-напряжения питания приводного электродвигателя позволили установить, что изменение динамического момента, ускоряющего печатную машину, неравномерно. Это, в частности, объясняется оригинальной нелинейностью механической характеристики двигателя, а также тем, что, как известно, развитие электромеханического процесса в электро-механической системе отстает от развития электромагнитного, особенно в начале пуска, когда действует его свободная составляющая. В то время, когда при увеличении напряжения точка, характеризующая работу электродвигателя, находится на «хвостовой» части его механической характеристики ($s > s_k$), в электроприводе действуют значительные динамические моменты, колебательный характер которых, имеющий место в начале разгона, исчезает по мере затухания свободной составляющей. Они приводят к интенсивному разгону электродвигателя и возрастанию скорости печатной машины. При подходе напряжения к своей синусоидальной форме характеристическая точка выходит на рабочую часть механической характеристики ($s < s_k$) и дальнейшее увеличение напряжения не приводит к столь существенным изменениям динамического момента и приращению скорости.

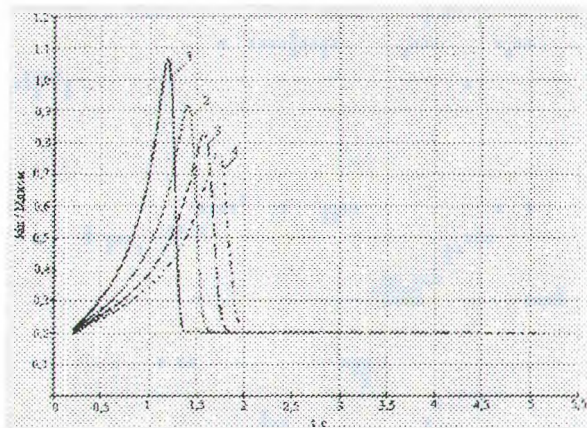


Рис. 2. Изменение момента двигателя при пуске для разного времени нарастания угла управления

Управляемый процесс пуска позволяет избежать возникающих при этом больших динамических моментов, которые негативно влияют на износ механической части электропривода, характеризующийся увеличением люфтов и зазоров, а следовательно, на долговечность этого механического оборудования. При прямом включении электродвигателя динамические процессы сопровождаются значительными бросками тока, превышающими в несколько раз номинальное значение, а значит, и существенными потерями мощности, существенным нагревом двигателя, особенно при частых пусках электропривода. Эти броски пускового тока, протекающие по обмоткам двигателя, создают в них динамические усилия, приводящие к вибрациям обмоток статора и ротора двигателя и его механической части, что дополнительно влияет на износ оборудования, как электрического, так и механического.

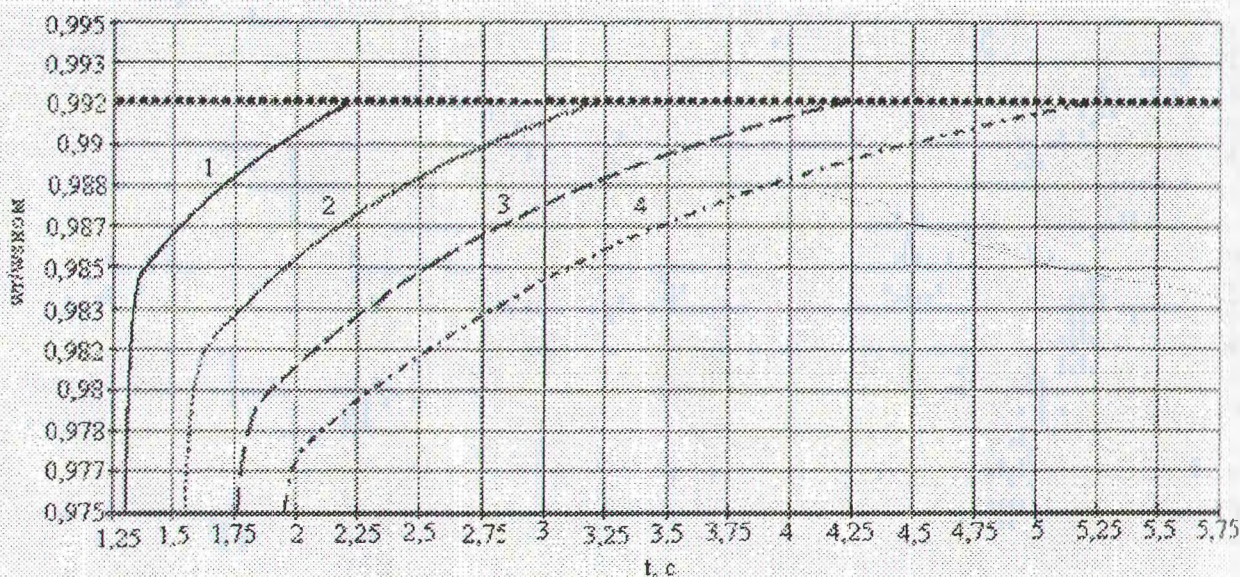


Рис. 3. Электро-механический переходный процесс

Потери мощности в приводном электродвигателе при пуске печатной машины

Контролируемый параметр	Пуск двигателя				
	прямой	управляемый, с нарастанием угла управления за время			
		2 с	3 с	4 с	5 с
Время разгона, с	0,280	1,343	1,595	1,806	1,947
Относительные потери в роторе от первой гармоники	—	0,900	0,831	0,786	0,564
Относительные потери в статоре от первой гармоники	—	1,372	1,265	1,197	1,172
Относительные суммарные потери от первой гармоники	—	2,272	2,096	1,983	1,736
Относительные потери в роторе от высших гармоник	—	0,028	0,030	0,031	0,031
Относительные потери в статоре от высших гармоник	—	0,042	0,045	0,046	0,047
Относительные суммарные потери от высших гармоник	—	0,070	0,075	0,077	0,078
Общие относительные потери в роторе	2,736	0,241	0,356	0,424	0,454
Общие относительные потери в статоре	4,190	0,365	0,540	0,690	0,777
Общие суммарные относительные потери	6,926	0,606	0,896	1,114	1,231

Характерным является и оценка потерь мощности приводного двигателя за время пуска (табл.). При малых временах пуска (больших интенсивностях увеличения напряжения питания электродвигателя) переходные процессы сопровождаются большими значениями тока электродвигателя, превышающими его номинальное значение.

Небольшие интенсивности увеличения угла управления ШИМ-напряжения позволяют поддерживать значение тока на уровне номинального или меньших его значений. Однако при больших длительностях переходного процесса временное действие потерь приводит к большим суммарным потерям при пуске. Но, несмотря на это, они остаются меньшими по значению, чем потери при прямом пуске. Рассмотрение потерь при различных условиях пуска позволяет сделать следующие выводы:

– во всех случаях общие потери при управляемом пуске ($\alpha_{упр} = var$) существенно меньше потерь энергии при прямом пуске;

– потери от первой (основной) гармоники ощутимо уменьшаются;

– потери от высших гармонических незначительно увеличиваются;

– уменьшение общих потерь при пуске обеспечивает энергосберегающие режимы работы электродвигателя.

Литература

1. Анкуда Д. А., Беляев В. П. Электромеханическая система с улучшенными характеристиками // Труды БГТУ. Сер. IX. Издат. дело и полиграфия. – 2004. – Вып. XII.

2. Беляев В. П., Давидович Л. М. Электромеханика. Электромеханическое преобразование при частотном управлении электрическими машинами. – Мн.: БГТУ, 2004.