

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДИНАМИКИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕЧАТНОЙ МАШИНЫ

Полиграфическое оборудование, выполняющее допечатные, печатные, послепечатные технологические процессы представляет собой многосвязанные, многоэлементные машины, в которых имеется большое количество поступательно и вращательно движущимися с различными скоростями узлов, деталей и исполнительных органов. Исполнительные органы печатного оборудования приводятся в движение электромеханическими системами через различного типа кинематические передачи, обладающие многочисленными люфтами и зазорами. 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. Известно, что в переходных процессах токи, протекающие в электродвигателе, в несколько раз превышают номинальные значения. Печатные машины обладают значительными суммарными приведенными моментами инерции механизма в несколько раз превышающие 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. Таким образом, управление регулируемого электропривода печатных машин ставит с одной стороны задачи создания требуемых режимов работы машины, с другой стороны – формирование динамических процессов, обеспечивающих снижение пусковых токов в электродвигателе. В полиграфическом оборудовании преимущественно используются регулируемые электроприводы переменного тока в силу технико-экономических причин.

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. Параметрический способ управления имеет ограничения по диапазону получения регулировочных характеристик. В во-

просах организации процессов пуска он является альтернативным частотному управлению. Существенным недостатком параметрического способа регулирования напряжения является наличие в нем, питающем обмотки статора, высших гармонических составляющих напряжения и тока, существенно ухудшающих режимы работы электропривода.

Высшие гармонические составляющие:

- осуществляют дополнительный нагрев двигателя;

- гармонические токи с $3k + 1$ и $3k - 1$ ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$) создают в воздушном зазоре двигателя соответственно прямо и обратно вращающиеся поля и электромагнитные моменты, в результате чего образуются колебания результирующего момента на валу двигателя и, как следствие, его скорости;

- гармонические токи с номерами $3k$ образуют пульсирующие поля, не участвующие в создании пускового момента двигателя, а следовательно, ещё больше уменьшают значение пускового момента, ослабляя динамику пуска.

Эти негативные стороны фазового способа регулирования напряжения указывались, например в [1].

В работе изложены результаты исследования процесса пуска электропривода на примере обобщенной модели двухсекционной печатной машины марки «Доминант», суммарный приведенный момент инерции которой в четыре раза превышает момент инерции приводного двигателя. Номинальная мощность приводного асинхронного двигателя для этой машины составляет 2,2 кВт. Исследование пуска проводилось при использовании ШИМ-управления по линейному закону изменения угла регулирования напряжения (α).

Исследовались потери мощности, характер изменения электромагнитного момента электродвигателя, его скорости при пуске печатной машины. Исследования проводились на математической модели, описывающей поведение асинхронного электропривода, составленной на основании теории обобщенной машины [2]. Для трогания печатной машины при пуске необходимо создать при включении 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} , a_{22} , – коэффициенты, составленные из параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя переменного тока [2].

Дальнейшее увеличение напряжения питания электродвигателя приводит к его разгону и пуску печатной машины. Наличие больших моментов инерции печатной машины предопределяет создание определенного ускорения вала приводного двигателя в процессе ее разгона. Рекомендуемые значения ускорения задавались на уровне 500 рад/с². 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 электромеханической системе отстает от развития электромагнитного, особенно в начале пуска, когда действует его свободная составляющая. Во время увеличения 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 ($\alpha \rightarrow 0$) 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. Эта ситуация указывает на то, что в конечной фазе пуска изменение положения рабочей части механической характеристики, т. е. изменение угла управления ШИМ–напряжения, можно выполнять с большей интенсивностью с целью сокращения времени переходного процесса управляющего воздействия ($\alpha_{упр}$). Анализ результатов исследований показал, что этот момент определяется временем изменения угла управления до получения синусоидального напряжения питания двигателя и составляет 30...50% угла управления напряжением (меньшие значения относятся к большим значениям времени пуска). Окончательный этап пуска завершается по статической характеристике, соответствующей номинальному напряжению (неуправляемый процесс пуска). Характерным является и оценка потерь мощности приводного двигателя за время пуска (см. таблицу).

**Таблица – Потери мощности в электродвигателе
при пуске печатной машины**

| Контролируемый параметр | Пуск двигателя | | | | |
|--|----------------|--|-------|-------|-------|
| | пря- мой | 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 |

Анализ потерь мощности при различных условиях пуска позволяет сформировать следующие выводы:

- во всех случаях общие потери мощности при управляемом пуске ($\alpha_{упр} = var$) существенно меньше потерь энергии при прямом пуске;
- потери мощности от первой (основной) гармоники существенно уменьшаются;
- потери мощности от высших гармонических незначительно увеличиваются;
- уменьшение общих потерь мощности при пуске обеспечивает энергосберегающие режимы работы электродвигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев, В. П. Электрооборудование полиграфических машин. Минск : БГТУ, 2012. 199 с.
2. Беляев В. П., Давидович Л. М. Электромеханика. Электромеханическое преобразование при частотном управлении электрическими машинами. Минск : БГТУ, 2004. 82 с.