

УДК 621.3.072.1 + 62-83:621.313.32

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Я.А. Шмарин, В.Л. Кодкин

Представлены результаты экспериментальных исследований электропривода на базе синхронного электродвигателя с постоянными магнитами с трапецеидальной формой магнитного поля и преобразователя частоты. Представлен анализ динамических характеристик электропривода. Динамические режимы работы исследовались при гармоническом задании по каналу скорости, а также при сбросе и набросе нагрузке. Сравнивалась работа электропривода при скалярном и векторном режимах работы преобразователя. Показаны высокие динамические характеристики электропривода; в процессе исследований выпадения из синхронизма не наблюдалось.

Ключевые слова: Электропривод переменного тока, синхронный двигатель с постоянными магнитами, динамические характеристики синхронного электропривода.

Многие технологические процессы на производстве требуют особенной точности в поддержании заданного значения скорости рабочего органа. К таким механизмам можно отнести механизмы в металлургической, текстильной отраслях, механизмы насосных и компрессорных установок. К электроприводам, обеспечивающим эффективную реализацию режима поддержания скорости можно отнести класс электроприводов на базе синхронного электродвигателя. С учетом развития технологий добычи и обработки, а также экономической конъюнктуры на рынках редкоземельных металлов, синхронные электродвигатели часто стали выпускаться с возбуждением от постоянных магнитов. Такие электродвигатели обеспечивают высокие показатели по КПД, удельные показатели мощности и момента.

Тем не менее, кажущаяся простота применения синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) сопряжена с рядом особенностей. Например, работа СДПМ в режиме бесколлекторного двигателя постоянного тока [1] требует установки электронного коммутатора, который обеспечивает ориентацию пространственного вектора магнитного потока в соответствии с положением ротора. С одной стороны, данный способ управления невозможен без применения датчика положения ротора, с другой – специальные позиционные коммутаторы, чаще всего, разрабатываются и изготавливаются малыми партиями, что обуславливает их относительно высокую стоимость и недостаточное качество. Другим возможным способом управления являются специальные приложения в преобразовате-

лях частоты для управления синхронными двигателями. Однако в таком способе тоже присутствует ряд ограничений. Во-первых, приложения в преобразователях частоты предъявляют жесткие требования к форме ЭДС двигателя (она должна быть строго синусоидальной), во-вторых, не в каждом преобразователе частоты есть такое приложение, а те, в которых есть, чаще всего имеют более высокую стоимость.

Предлагаемое исследование синхронного двигателя с постоянными магнитами направлено на разработку алгоритмов и условий работы СДПМ совместно со стандартным, серийно-выпускаемым преобразователем частоты. Данное решение может обеспечить работу электропривода без датчика положения ротора, вместе с этим применение общепромышленных преобразователей вместо специализированных коммутаторов позволит снизить стоимость системы электропривода и упростит процесс наладки.

В целях изучения вопросов применения стандартного преобразователя частоты и СДПМ были проведены экспериментальные исследования электропривода на базе электродвигателя ЭДБН-25, выпускаемого НПО «Электромашина» с преобразователем частоты *ATV71* компании *Schneider Electric* [2]. В ходе испытаний в ряде других экспериментов, подтверждающих работоспособность электропривода, проводились исследования динамических режимов. В программу исследований динамических режимов входили режимы реакции на гармоническое воздействие, а также реакция на сброс-наброс нагрузки.

Функциональная схема, соответствующая эксперименту отработки гармонического воздействия представлена на рис. 1. В ходе эксперимента синусоидальный гармонический сигнал подавался на вход задания скорости, при этом фиксировались временные диаграммы угловой скорости вращения вала двигателя, ток двигателя, напряжение на звене постоянного тока преобразователя. Задающий сигнал по скорости обладает параметрами, сведенными в табл. 1 и соответствующими изменению задающего сигнала в пределах от 20 до 25 Гц. Временные диаграммы скорости при изменении частоты входного сигнала задания представлены на рис. 2.

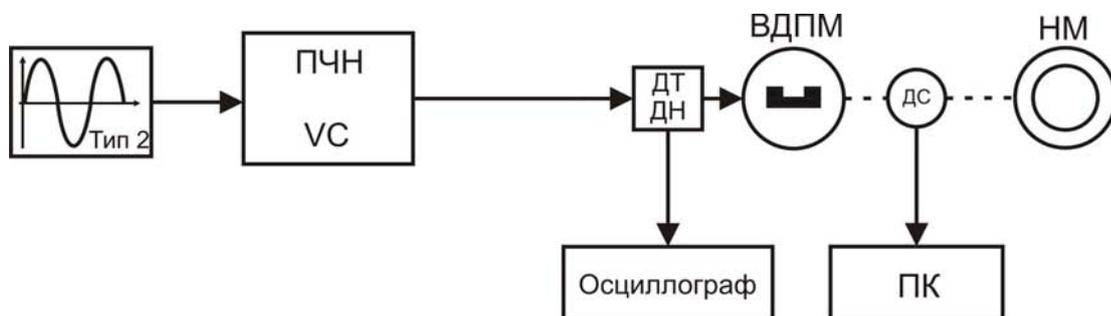


Рис. 1. Функциональная схема испытательного стенда СДПМ с ПЧ

Таблица 1

Параметры сигнала задания

Амплитуда	0,38 В соответствует 2,5 Гц задания скорости
Смещение	1,7 В соответствует 22,5 Гц задания скорости
Частота	Изменяется в пределах 0,5 Гц до 3,0 Гц с шагом 0,5 Гц

Из рис. 2 видно, что электропривод обрабатывает синусоидальное задание.

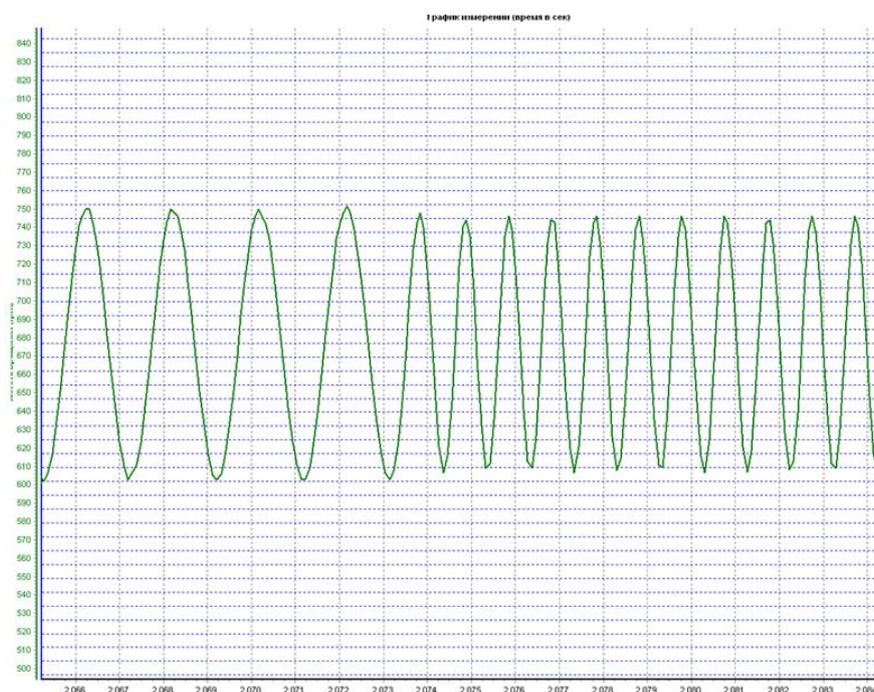


Рис. 2. Участок временной диаграммы скорости углового вращения вала СДПМ при обработке синусоидального задания

Режим обработки синусоидального задания исследовался при работе скалярного и векторного приложений в ПЧ. Стоит отметить, что при работе скалярного управления наблюдался так называемый «срыв управления» при определенной частоте задания выходной сигнал скорости терял синусоидальную форму (рис. 3). Так, электропривод обрабатывал возмущение частотой до 2 Гц почти без погрешности, но на частоте 2,5 Гц управление разрывалось. Кроме того, статорные токи оказались в 2–3 раза больше, чем токи при векторном управлении (рис. 4). В случае с векторным управлением, с ростом частоты уменьшалась амплитуда колебаний, однако синусоидальность сохранялась.

Привод с векторным управлением имеет АЧХ, близкую к звену первого порядка с частотой среза 1,5 Гц (рис. 5). Анализ данной характеристики позволяет предположить хорошую управляемость электропривода состоящего из ПЧ и электродвигателя с постоянными магнитами, которая совместно с хорошими массогабаритными показателями позволит создать высоко-

технологичный электропривод, замкнутый по скорости вращения или тяговому усилию, который по характеристике будет превосходить асинхронный электропривод.

Другим режимом исследований динамических возможностей электропривода был режим сброса-наброса нагрузки. Ступенчатые изменения момента сопротивления на валу электродвигателя обеспечивались путем скачкообразного введения в цепь нагрузочной машины добавочных сопротивлений. Сопротивления подбирались таким образом, чтобы обеспечить скачок момента, соответствующий 10–30 Нм. Исследования проводились на скорости 900–600 об/мин.

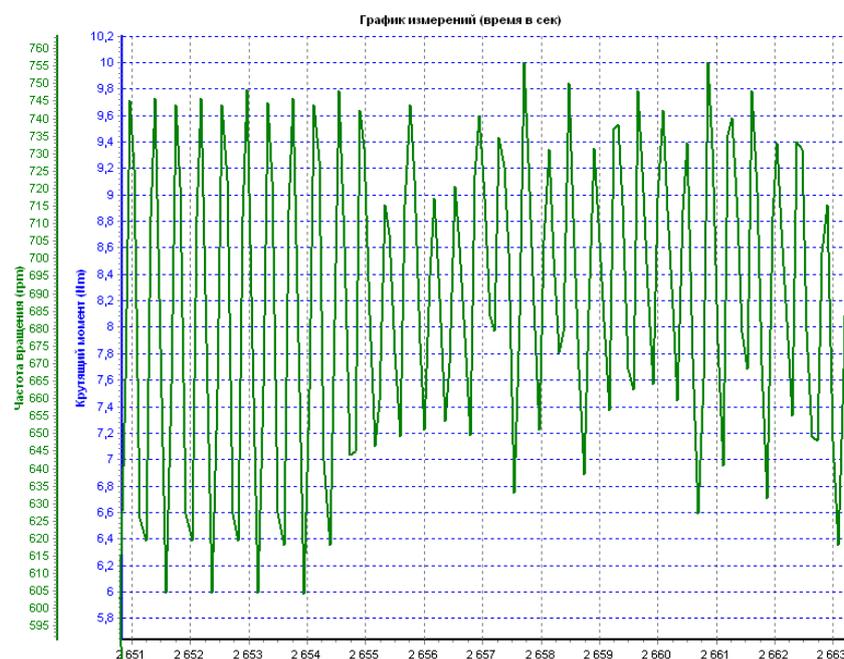
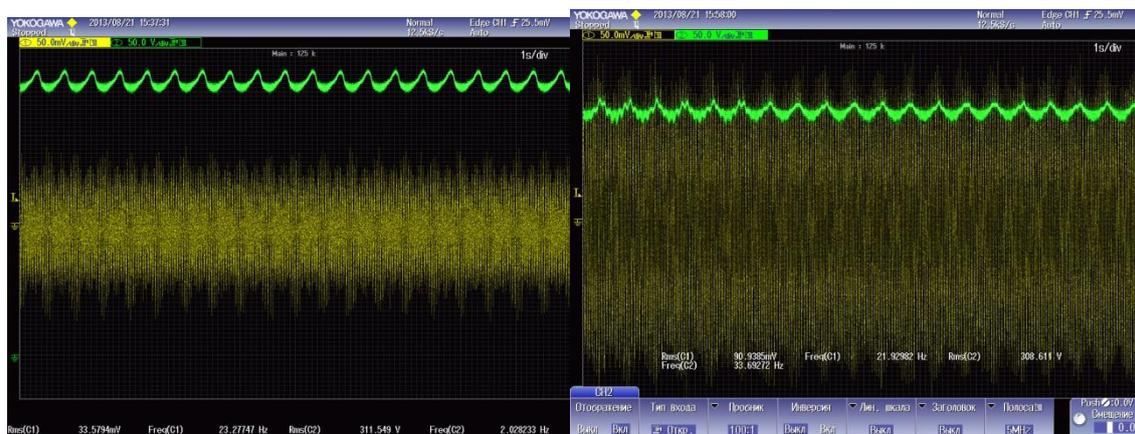


Рис. 3. Временная диаграмма скорости при срыве управляемости



а)

б)

Рис. 4. Осциллограммы тока статора и напряжения на звене постоянного тока при векторном управлении – а), и скалярном – б)

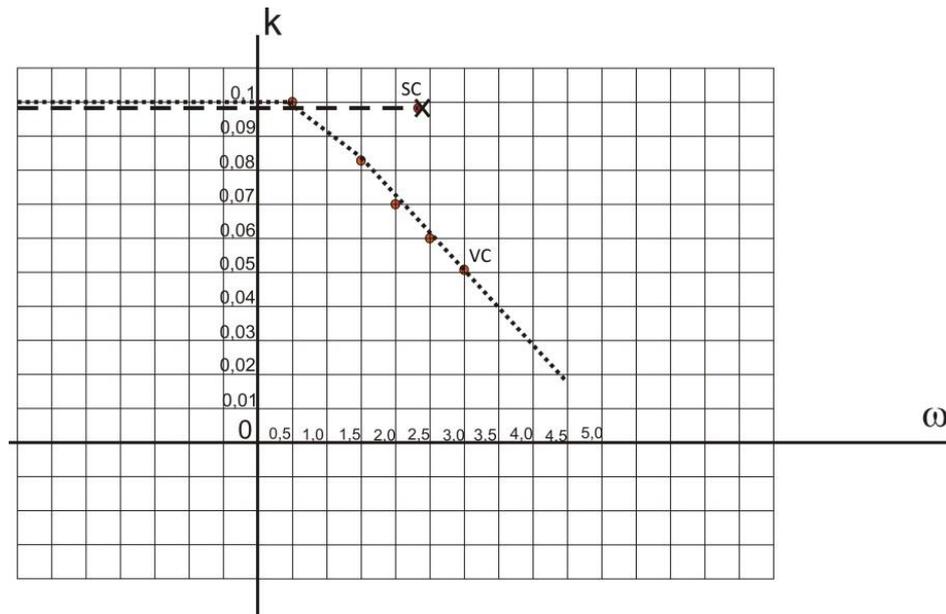


Рис. 5. АЧХ электропривода с выходом по скорости вращения ротора при скалярном управлении – SC и векторном – VC

На рис. 6–7 представлены результаты экспериментов сброс-наброса нагрузки.

В табл. 2 приведены результаты экспериментальных исследований режимов сброс-наброса нагрузки при различных скоростях и различных режимах управления

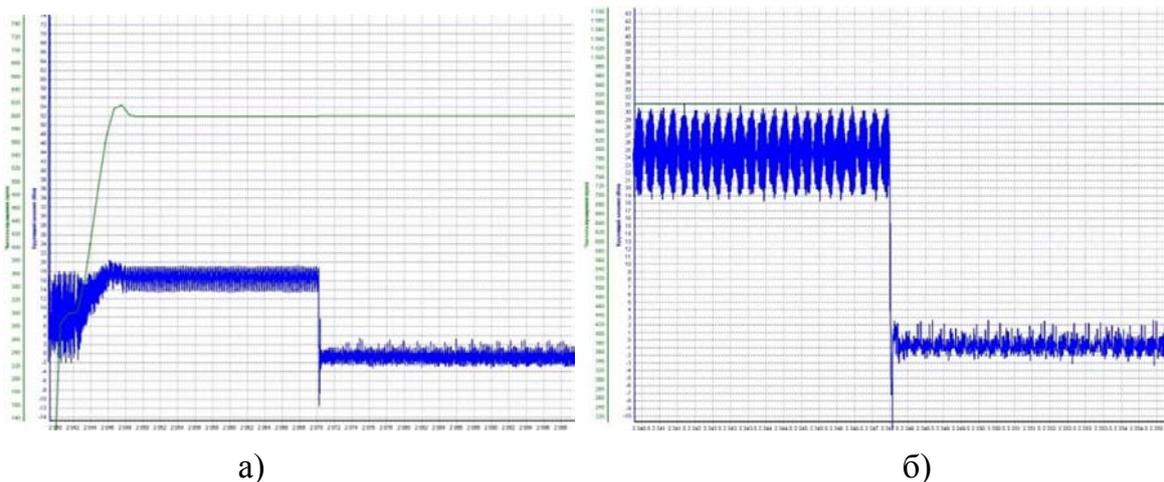


Рис. 6. Диаграммы сброс-наброса нагрузки при векторном управлении:
а) – 15 Нм, б) – 27 Нм

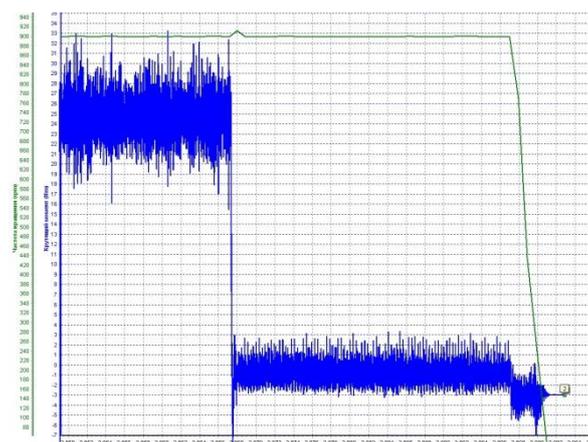


Рис. 7. Диаграмма сброса-наброса нагрузки 27 Нм – при скалярном управлении

Таблица 2

Характеристики режимов сброса-наброса нагрузки

№	Условия испытаний					Результаты		
	Тип преобразователя	Тип управления	U, В	N, Об/мин	Нагрузка R, Ом	Δn	ΔM , Нм	T _в , с
1	ATV71	SVC	200	600	52	0	16	0
2		SVC	200	900	52	0	25	0
3		SC	200	900	52	15	25	1,9
4		SC	220	900	52	14	25	1,8

Из анализа рис. 6, 7 и табл. 2 видно, что набросы момента величиной 10 и 30 Нм практически не вызывают изменений скорости. Практически нет динамической и статической ошибки по скорости. При скалярном (SC) управлении изменения не значительны, а при векторном управлении (VC) сброс нагрузки на угловой скорости вращения вала вообще не сказывается, что говорит о высоком быстродействии системы.

Выводы

Проведенные эксперименты позволяют установить следующее:

- скорость привода жестко связана с частотой, задаваемой ПЧ (частотой напряжения питания, формируемой ПЧ);
- форма статорных токов двигателя во всех режимах близка к синусоидальной;
- при обработке синусоидального сигнала задания скорость двигателя изменяется по синусоидальному закону;
- частотная характеристика электропривода при векторном управлении в ПЧ близка к частотной характеристике инерционного звена с частотой среза 1 Гц;
- частотная характеристика электропривода при скалярном управлении близка к безынерционному звену, но при $f = 2,5$ Гц происходит срыв управления;

- набросы момента сопротивления практически не вызывают отклонений по скорости как в векторном, так и в скалярном режимах.

Результаты экспериментов показали, что привод на основе двигателя ЭДБН-25 с ПЧ ATV71 является управляемым и работоспособным, а также обладает значительными возможностями по улучшению характеристик. Полученные результаты дают ориентацию на вопросы оптимизации частотного управления СДПМ и выявление энергоэффективных режимов работы электропривода.

Библиографический список

1. Зиннер, Л.Я. Вентильные двигатели постоянного и переменного тока / Л.Я. Зиннер, А.И. Скороспешкин. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с.
2. Кодкин, В.Л. Особенности частотного управления вентильным двигателем с постоянными магнитами / В.В. Кодкин, Я.А. Шмарин // Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Т. I. – 373 с.