

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАСТРОЙКАХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Введение. Работа асинхронного двигателя (АД) в регулируемом электроприводе может быть пояснена с помощью регулировочных характеристик, представляющих собой зависимости электрических, механических, энергетических, тепловых, виброакустических и других величин от частоты вращения в заданном диапазоне ее изменения при работе на определенную нагрузку. Многие авторы [1, 2, 3] рассматривали такие характеристики в различных системах электроприводов.

Постановка задач исследования. Вместе с тем вид характеристик во многом определяется настройками преобразователя. К числу основных относятся закон частотного регулирования, величина бустерного напряжения, базовые значения напряжения (возможно менять с помощью согласующего трансформатора) и частоты преобразователя (сдвиг номинальной точки), частота модуляции. Исследования характеристик при различных способах (скалярном и векторном) и законах управления представлены в ряде работ [4, 5, 6, 7]. В тоже время зависимости характеристик от других настроек требуют анализа. На кафедре электрических машин Одесского национального политехнического университета разработан программный продукт DIMASDrive [8], позволяющий получать регулировочные характеристики АД в различных системах регулируемых электроприводов, отличающихся типами преобразователей, видами регулирования, законами управления. Характеристики рассчитываются с учетом явлений насыщения магнитной системы основным магнитным потоком и потоками рассеяния, вытеснения тока в обмотке ротора, наличия высших пространственно-временных гармоник, с учетом всех составляющих потерь в АД.

Далее рассмотрены характеристики АД привода с наиболее распространенным транзисторным преобразователем частоты с автономным инвертором напряжения и ШИМ регулированием. В [9] рассматриваются характеристики при различных частотах ШИМ. В связи с незначительными изменениями характеристик АД при различных частотах ШИМ, принято решение при дальнейших исследованиях не рассматривать данную настройку преобразователя (принято 4 кГц). Вид характеристик зависит от характера нагрузки (постоянство нагрузочного момента, степенная зависимость нагрузочного момента от частоты вращения, постоянство мощности на валу и т.д.), соответствующего определенным механизмам. Исследования проведены для нагрузок с постоянством нагрузочного момента, свойственных подъемным механизмам. Анализ, аналогичный нижеприведенному, может быть выполнен для нагрузок других типов. Рассматриваются серийные АД с самоохлаждением.

Материалы исследования.

В процессе регулирования двигатель в различных точках диапазона регулирования, питаясь определенными значениями величины и частоты подводимого напряжения, находится в различных состояниях насыщения, что существенным образом влияет на характеристики. Предлагаемые законы частотного управления стремятся обеспечить работу АД при номинальном потоке. Для этого при наиболее простом законе управления $U/f = \text{const}$ падение напряжения на активном сопротивлении обмотки статора должно быть скомпенсировано увеличением входного напряжения на величину бустерного напряжения. Величина бустерного напряжения должна быть установлена корректно, поскольку при заниженной ее величине максимальный момент уменьшается при низких частотах, наклон механических характеристик в рабочем диапазоне становится положителен, что соответствует большим скольжениям, а при завышенной ее величине наоборот. Особенно важным является оценка влияния величины бустерного напряжения на тепловые и энергетические показатели. Поскольку бустерное напряжение работает только до угловой частоты, соответствующей номинальной частоте питания, выше, в диапазоне ослабленного поля, его влияние на характеристики не наблюдается. В тоже время сдвиг номинальной точки настройки преобразователя может увеличить или уменьшить диапазон ослабленного поля. С помощью предлагаемого программного продукта DIMASDrive возможно получить характеристики при разных значениях бустерного напряжения, разных сдвигах номинальной точки настройки преобразователя, а также при различных их сочетаниях. На рис. 1 представлены зависимости $U = F(f)$ для рассматриваемых случаев при одном из законов управления первого уровня, а именно $U/f = \text{const}$. Были рассчитаны некоторые регулировочные характеристики двигателя 4A160M4 ($I = f(n)$, $\theta = f(n)$, $\eta = f(n)$, $\chi = f(n)$) при разных настройках частотного преобразователя (рис.2). Привод работал на лифтовую нагрузку $M = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$. При законах частотного управления второго уровня [9], характеризующихся обеспечением постоянства отношений различных ЭДС и частоты, т.е. обеспечением постоянства различных потокосцеплений, использование бустерного напряжения не имеет смысла. На рис. 3 представлены зависимости $U = F(f)$ для рассматриваемых случаев при одном из законов управления второго уровня, обеспечивающем постоянство потокосцепления ротора $\Psi_2 = \text{const}$. Некоторые регулировочные характеристики, в том числе и при сдвиге номинальной точки, даны на рис.4. Для сравнения на том же рисунке приведены характеристики и для закона $U/f = \text{const}$.

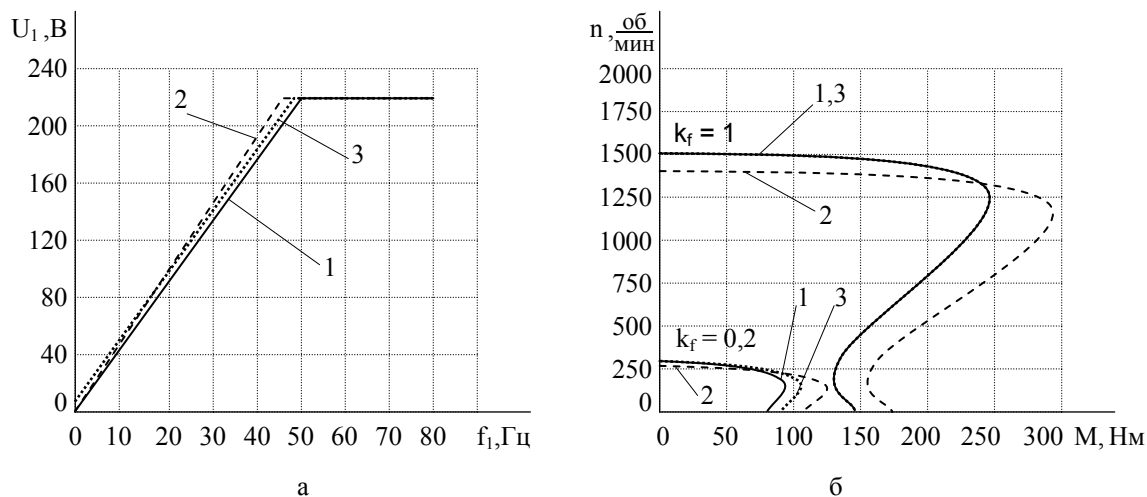


Рис.1 Зависимости напряжения от частоты питания при законе частотного управления $U/f=\text{const}$ (а) и соответствующие семейства механических характеристик (б)

- 1 – бустерное напряжение и сдвиг номинальной точки отсутствуют;
 2 – бустерное напряжение отсутствует, сдвиг номинальной точки на 45 Гц;
 3 – бустерное напряжение 5,5 В (2,5%), сдвиг номинальной точки отсутствует.

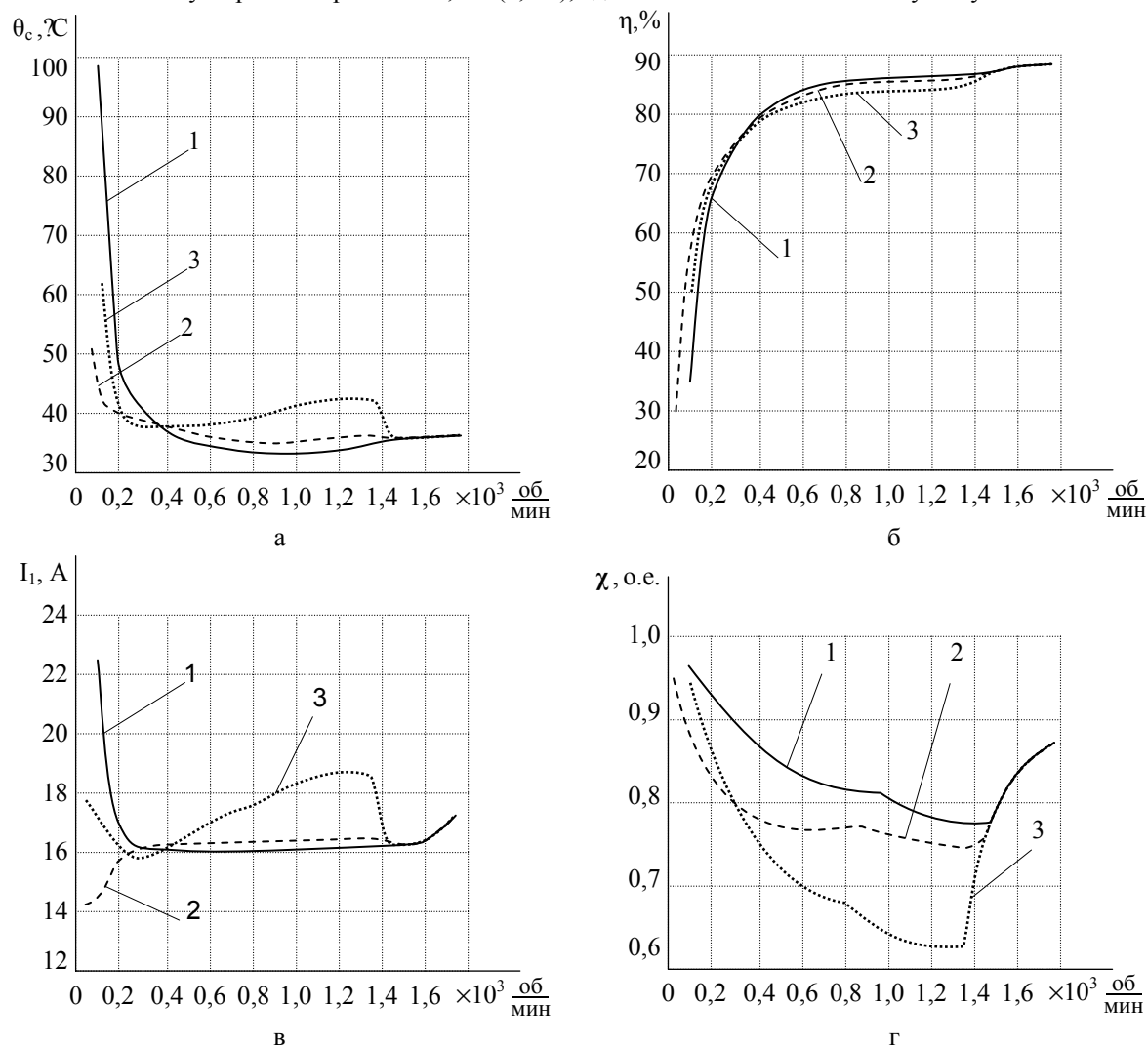


Рис.2 Регулировочные характеристики при законе частотного управления $U/f=\text{const}$ – перегрева обмотки статора (а), КПД двигателя (б), потребляемого тока (в) и коэффициента мощности (в)

- 1 – бустерное напряжение и сдвиг номинальной точки отсутствуют;
 2 – бустерное напряжение отсутствует, сдвиг номинальной точки на 45 Гц;
 3 – бустерное напряжение 5,5 В (2,5%), сдвиг номинальной точки отсутствует.

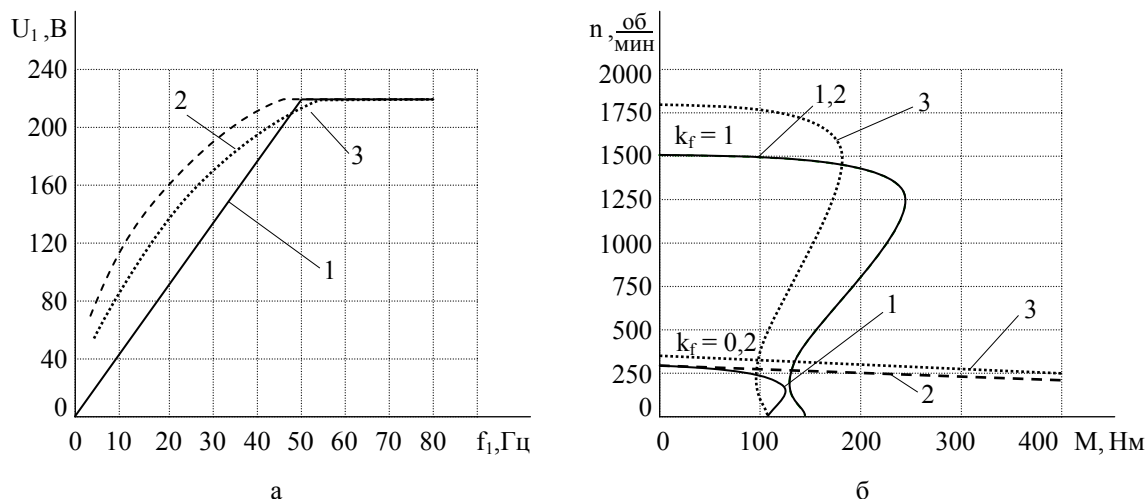


Рис.3 Зависимости напряжения от частоты питания при законах частотного управления $U/f=\text{const}$ и $\Psi_2=\text{const}$ (а) и соответствующие семейства механических характеристик (б)
 1 – закон $U/f=\text{const}$ бустерное напряжение и сдвиг номинальной точки отсутствуют;
 2 – закон $\Psi_2=\text{const}$ сдвиг номинальной точки отсутствует;
 3 – закон $\Psi_2=\text{const}$ сдвиг номинальной точки на 60 Гц.

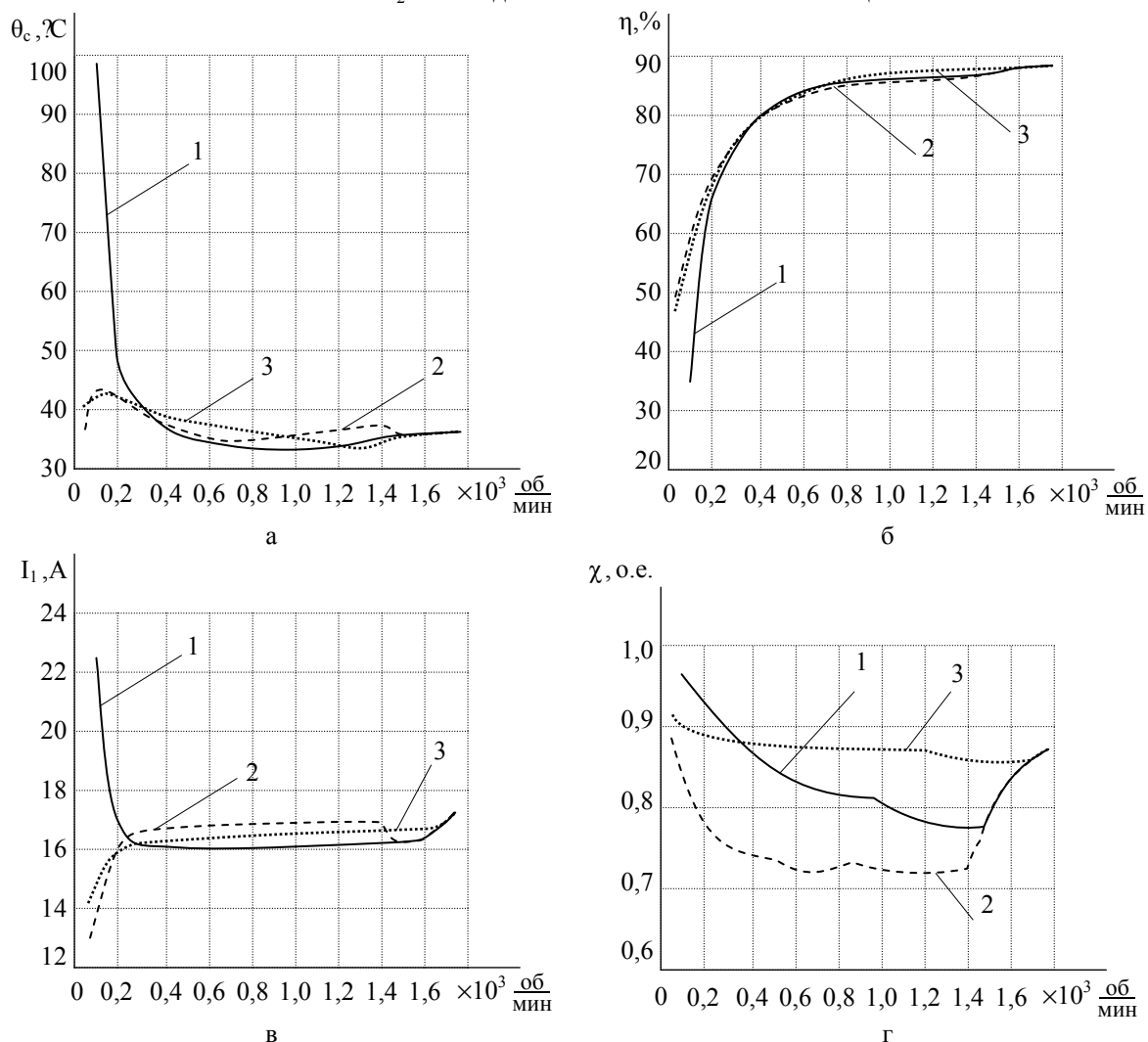


Рис.4 Регулировочные характеристики при законах управления $U/f=\text{const}$ и $\Psi_2=\text{const}$ – перегрева обмотки статора (а), КПД двигателя (б), потребляемого тока (в) и коэффициента мощности (в)
 1 – закон $U/f=\text{const}$, бустерное напряжение и сдвиг номинальной точки отсутствуют;
 2 – закон $\Psi_2=\text{const}$, сдвиг номинальной точки отсутствует;
 3 – закон $\Psi_2=\text{const}$, сдвиг номинальной точки на 60 Гц.

Выводы.

1. Для определенных базовых значений напряжения и частоты должно быть подобрано соответствующее бустерное напряжение.
2. При законе $\Psi_2 = \text{const}$ падение напряжения на активном сопротивлении обмотки статора компенсируется автоматически.
3. Закон второго уровня $\Psi_2 = \text{const}$ обеспечивает уменьшение токов и снижение перегревов обмотки статора в начальной зоне диапазона регулирования. При этом наблюдается повышение КПД двигателя.
4. Наибольшее усредненное значение коэффициента мощности двигателя в рассматриваемом диапазоне регулирования наблюдается при законе $\Psi_2 = \text{const}$ и сдвиге номинальной точки на 60 Гц.
5. Аналогичным образом, возможно анализировать характеристики АД при других типах преобразователей, видах и законах регулирования, настройках преобразователей, иных характерах нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пивняк Г.Г., Волков А.В. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией: Монография. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2006. – 470 с.
2. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод / Под ред. Браславского И.Я. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
3. Поляков В.Н., Шрейнер Р.Т. Экстремальное управление электрическими двигателями. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 420 с.
4. Петрушин В.С. Характеристики асинхронного двигателя в частотном электроприводе при различных законах регулирования // Труды Одесского государственного политехнического университета, вып. 1, 1996, С. 77 – 79.
5. Петрушин В.С. Регулировочные характеристики АД в частотном электроприводе при законах управления, обеспечивающих постоянства потокоцеплений // Електротехніка і електромеханіка: Науково-практичний журнал. – 2002. – №2. – С. 53 – 55.
6. Петрушин В.С., Якимец А.М., Груша А.В., Каленик О.В. Энергетические и тепловые показатели регулируемых асинхронных двигателей с учетом высших пространственно-временных гармоник // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвід.наук.-техн. зб., вип. 70, 2008, С. 68 – 71.
7. Петрушин В.С. Учебное пособие «Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе»// Одесса, Наука и техника, 2006, 320 с.
8. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт „DIMASDrive”. Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы ПА№4065). – К.: Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2001.
9. Пронин М.В., Воронцов А.Г., Терещенков В.В. Моделирование систем с асинхронными машинами и транзисторными преобразователями с учетом потерь энергии // Изв. ВУЗов «Электромеханика». - №3. – 2008. - С. 33 – 38.