

На (рис.2) приняты следующие обозначения: $\omega_{зад}$ – заданная частота вращения; ω_{tr} – частота вращения при трапецидальном напряжении разомкнутой системы; ω_{si} – частота вращения при синусоидальном напряжении разомкнутой системы; ω_d – частота вращения замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,4$; ω_2 – частота вращения замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,2$.

По результатам расчета видно, что наиболее точно обрабатывает заданное воздействие система регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,4$. После достижения времени $t=1,25c$ графики переходных процессов замкнутых систем регулирования при трапецидальном напряжении практически одинаковы. Наибольшее расхождение до 50% наступает при $t=0,5c$.

На (рис.3) приведены переходные процессы по частоте вращения ω и соответственно по моменту M для исследуемых систем. Максимальные пиковые моменты присутствуют в замкнутой системе и превышают пиковые моменты других систем на 20%.

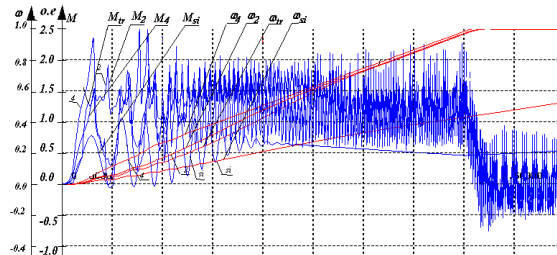


Рис.3 – Переходные процессы по частоте вращения ω и моменту M синхронного двигателя

На (рис.3) приняты соответствующие обозначения: M_{tr} – момент при трапецидальном напряжении разомкнутой системы; M_{si} – момент при синусоидальном напряжении разомкнутой системы; M_d – момент замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,4$; M_2 – момент в замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,2$.

Графики переходных процессов по частоте вращения и тока статора приведены на (рис.4). Пики тока в замкнутых системах регулирования отличаются не больше чем на 10%.

Определение содержания высших гармонических составляющих в расчетных токах статора позволит определить величину потребляемой электроэнергии и параметры выходного фильтра широтно-импульсного преобразователя частоты, что значительно улучшит тепловой режим синхронного двигателя.

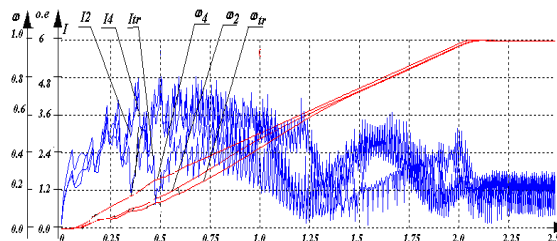


Рис. 4 – Переходные процессы по частоте вращения ω и току статора I синхронного двигателя

На (рис.4) приняты соответственно следующие обозначения: I_{tr} – частота вращения и момент при трапецидальном напряжении разомкнутой системы; I_d – момент замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,4$; I_2 – момент замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,2$.

Окончательный выбор системы и настройки коэффициентов следует производить после анализа энергетических характеристик синхронного двигателя, которые приведены на (рис.5.)

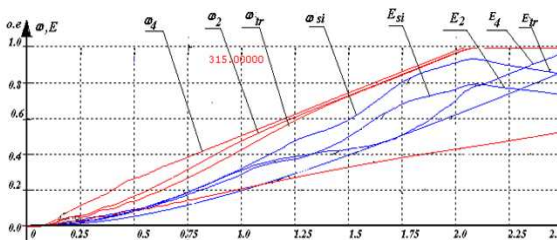


Рис. 5 – Переходные процессы по частоте вращения и потреблению электроэнергии синхронным двигателем

На (рис.5) приняты обозначения: E_{tr} – потребляемая электроэнергия при трапецидальном напряжении разомкнутой системы; E_{si} – потребляемая электроэнергия при синусоидальном напряжении разомкнутой системы; E_4 – потребляемая электроэнергия замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC} = 0,4$; E_2 – потребляемая электроэнергия замкнутой системы регулирования с коэффициентом обратной связи $K_{OC} = 0,2$.

Переходные процессы замкнутой системы регулирования для синхронного двигателя с гладким ротором без пусковой обмотки для оптимального коэффициента обратной связи $K_{OC}=0,2$ при синусоидальной трапецидальной и ступенчатой модуляции выходного напряжения, приведенные на (рис.6. а), б), в)).

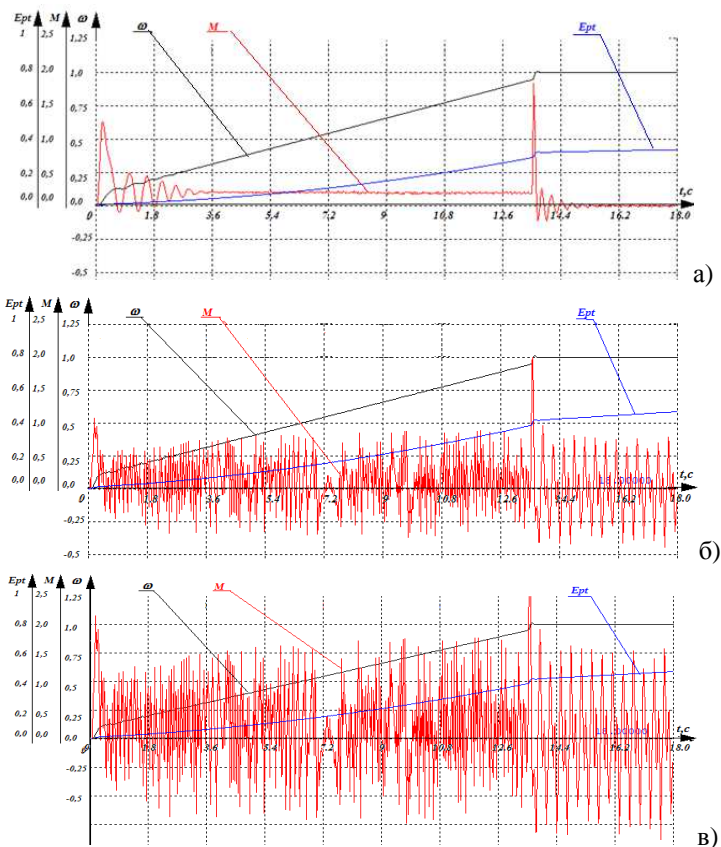


Рис. 6 – Линейный пуск двигателя со стабилизацией потокосцепления и синусоидальной модуляцией фазного напряжения (а), трапецидальной модуляцией фазного напряжения (б), ступенчатой модуляцией фазного напряжения (в)

Пусковые характеристики различаются в зоне низких скоростей вращения ротора. При этом, более гладкое изменение момента двигателя имеет место при синусоидальной модуляции (рис. 6 а).

Следует отметить особенность замкнутых систем со стабилизацией магнитного потока (рис. 7 а), б), в)) заключающуюся в увеличении пиковых амплитуд токов и потокосцеплений, следовательно, и момента синхронного двигателя при трапецидальной и ступенчатой модуляции на 100-200% по сравнению с синусоидальной модуляцией фазного напряжения.

Выводы. Анализ результатов моделирования процесса пуска СЭД с использованием САР показывает, что за время пуска двигателя в течение $t=2,5$ с потребление электроэнергии на 10% меньше в замкнутой САР с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,2$, чем при коэффициенте $K_{OC}=0,4$ и трапецидальной форме кривой напряжения.

По результатам моделирования следует считать оптимальной систему с замкнутой САР по частоте вращения и напряжению с коэффициентом обратной связи $K_{OC}=0,2$ и синусоидальным фазным напряжением.

Список литературы: 1. Черный А.П., Гладарь А.И., Осадчук Ю.Г., Курбанов И.Р., Вошун А.Н. Пусковые системы нерегулируемых электроприводов: Монография – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2006. – 280с.

2. Tihanyi, L. EMC in Power Electronics / L. Tihanyi. – N.Y.: IEEE Press, 1995. – 402 с. 3. В.І. Сенько, М.В.Панасенко, Є.В. Сенько, М.М. Юрченко, Л.І.Сенько, В.В.Ясінський. Електроніка і мікросхемотехніка /У4-х т.Том 4. У2-х кн. – Силова електроніка: Підручник / За ред.В.І.Сенька. – Київ: Каравела, 2013. – 956 с. 4. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: Учебник для вузов / В.М. Терехов, И.О. Осипов – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 680с. 5. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560с., ил. 6. Синчук И.О. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии в структурах электроприводов. Схемотехника и принципы управления./ Синчук И.О., Чернышев А.А., Киба И.И., Пасько О.В., Ключка О.Е., Мельник О.Е./ Учебное пособие. Под редакцией проф. Синчука О.Н. – Кременчуг, Вид. Щербатых О.В., 2008. – 88с. 7. Вейнгер А.М. Регулируемый синхронный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224с., ил. 8. Синчук О.Н. Захаров В.Ю., Михайличенко Д.А. Моделирование пуска неявнополюсного синхронного электрического двигателя // Электротехнічний та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Київ, «Техніка», 2012. – Вип. №08(84). – с.24-30. 9. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер// – Екатеринбург: УРО РАН.- 2000. – 654с.

Bibliography (transliterated): 1. Chorniy A.P., Gladar A.I., Osadchuk Yu.G. Kurbanov I.R. Voshun A.N. Puskovyie sistemy nereguliruemyyh elektropriwodov: Monografiya [Starting systems of the unregulated electric drives: The monograph] – Kremenchug: Scherbatykh A.V., 2006. – 280p. (In Russian). 2. Tihanyi, L. EMC in Power Electronics / L. Tihanyi. – N.Y.: IEEE Press, 1995. – 402 p. 3. V.I. Senko, M.V.Panasenko, E.V. Senko, M.M. Yurchenko, L.I.Senko, V.V.Yasinskiy. Elektronika i mikroshemotekhnika / U4-h t.Tom 4. U2-h kn. – Silova elektronika: Pidruchnik / Za red.V.I.Senka. – Kyiv: Karavela, 2013. – 956 p. (In Ukrainian). 4. Terekhov V. M. Sistemy upravleniya elektropriwodov: Uchebnik dlya vuzov [Control systems of electric drives] / Terekhov V. M., I.O. Osipov – M.: Izd. tsentr «Akademiya», 2006. – 680 p. (In Russian). 5. Klyuchev V.I. Teoriya elektropriroda: Uchebnik dlya vuzov [The electric drive theory: the manual for higher education institutions] – M.: Energoatomizdat, 1985. – 560p. (In Russian). 6. Sinchuk I.O. Semiconductor converters of the electric energy in structures of the electric drives. The circuitry and principles of its management./Sinchuk I.O., Chernyshev A.A., Pas'ko O. V., Klyuchka O. E., Kyba I.I., Melnyk O.E./Manual. Under the edition by prof. Sinchuk O.M. – Kremenchug, Shcherbatykh O. V., 2008. – 88p. (In Russian). 7. Veynger A.M. Reguliruemyyi sinhronnyiy elektropriwod [Adjustable synchronous electric drive] – M.: Energoatomizdat, 1985. – 224p. (In Russian). 8. Sinchuk O.M., Zakharov V.Y., Mikhaylichenko D.A. Modelirovanie puska neyavnopolysnogo sinhronnogo elektricheskogo dvigatelya [Modelling of the not salient pole synchronous electric motor's start-up] // Electrotechnical and computer systems. Scientific-technical journal. – Kyiv, "Tekhnika", 2012. – Ed. No. 08(84). – page 24-30. Print. (In Russian). 9. Shreyner R. T. Matematicheskoe modelirovanie elektropriwodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty [Mathematical modeling of the alternating current electric drives with frequency semiconductor converter] /R.T. Shreyner// – Yekaterinburg: URO RAN. - 2000. – 654p. (In Russian).

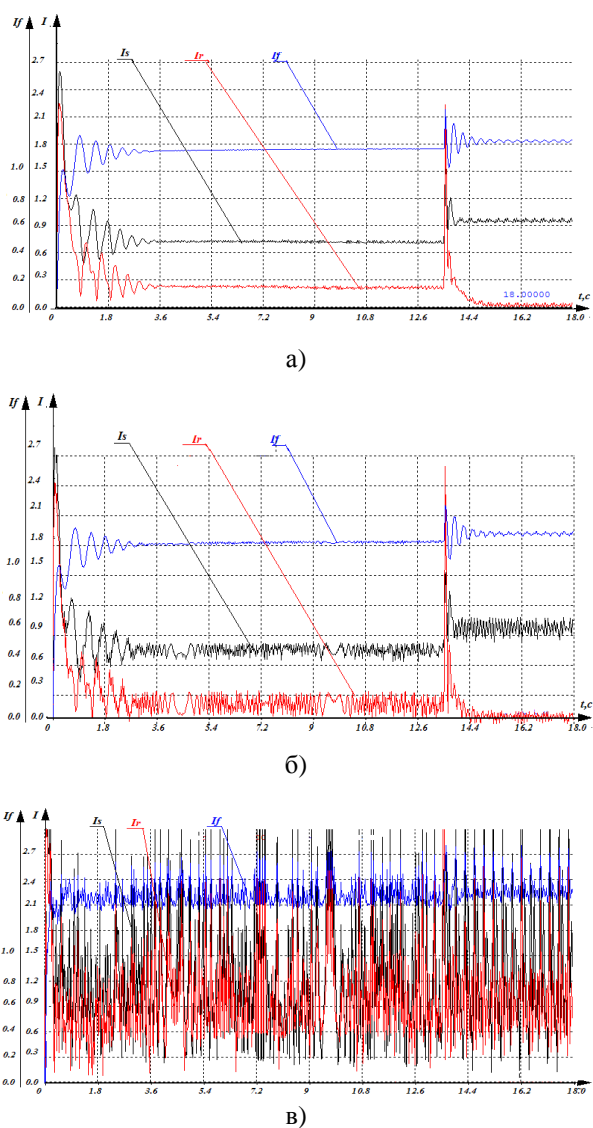


Рис.7 – Переходный процесс токов при линейном пуске двигателя замкнутой системы - синусоидальной модуляцией фазного напряжения (а), трапецидальной модуляцией фазного напряжения (б), ступенчатой модуляцией фазного напряжения (в)

Поступила (received) 20.08.2015