

6. Казурова А. Е. Возможные варианты построения высокоточных систем управления упругой неопределенной электромеханической системой / А. Е. Казурова, Е. М. Потапенко // Электротехника и электроэнергетика. – 2009. – № 1. – С. 4–14.
7. Spong M. W. Modeling and Control of Elastic Joint Robots / M. W. Spong // Transactions of the ASME : Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. – 1987. – 109. – N 4. – P. 310–319.
8. Казурова А. Е. Высокоточное позиционное управление двухмассовой электромеханической системой / А. Е. Казурова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КДПУ, 2008. – Вип. 4/2008 (51). – Ч. 1. – С. 53–57.
9. Потапенко Е. М. Высокоточное управление упругой электромеханической системой с нелинейным трением / Е. М. Потапенко, А. Е. Казурова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2008. – № 1 (21). – С. 118–125.
10. Казурова А. Е. Высокоточное позиционное управление упругой электромеханической системой с минимальным количеством датчиков / А. Е. Казурова // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – № 30. – С. 213–214.
11. Об особенностях построения математической модели совместного движения башенки и боевого модуля как объектов регулирования в комплексах управления вооружением для легкобронированных боевых машин / [Е. Е. Александров, В. А. Кононенко, С. Н. Беляев и др.] // Механіка та машинобудування. – 2007. – № 2. – С. 3–27.

Надійшла до редакції 10.03.2011

Казурова А.Е., Потапенко Є.М. Робастна система керування наведенням та стабілізацією озброєння броньованої машини

Розглядався метод комбінованого керування з оцінкою вектора невизначеності й вектора стану. Розроблені теоретичні положення застосовані для системи стабілізації й наведення озброєння броньованої машини.

Ключові слова: високоточне позиційне керування, багатомасовий об'єкт, робастність, двомасова пружна система, спостережник невизначеності, спостережник вектора стану, нелінійне тертя, система стабілізації й наведення озброєння.

Kazurova A., Potapenko E. Robust control system of armored vehicle armament guidance and stabilization

The combined control method with estimation of uncertainty vector and state vector is described. The developed theoretical propositions are applied to the system of armored vehicle armament stabilization and guidance.

Key words: high-precision position control, multimass object, robustness, two-mass elastic system, uncertainty observer, state vector observer, nonlinear friction, armament stabilization and guidance system.

УДК 681.527.2

Е. В. Душинова, д-р техн. наук Е. М. Потапенко, С. Г. Деев, О. Е. Шибалкин, А. А. Шийка
Запорожский национальный технический университет

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОВОРОТА АНТЕННЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Показана возможность использования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для вращения антенны радиолокатора с разной скоростью в диапазоне от нулевой скорости двигателя до удвоенной номинальной скорости, сканирования, позиционирования и синхронного вращения антенн двух радиолокационных станций.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, антенна радиолокатора, вращение, сканирование, позиционирование.

Введение

Данная работа инициирована Казенным предприятием «НПК «Искра», г. Запорожье, обратившимся на кафедру ЭПА ЗНТУ с просьбой проработать возможность мо-

дернизации электропривода поворота антенны радиолокационной станции (РЛС) 19Ж6 (исходные данные приводятся ниже). На рис. 1 дан общий вид РЛС. Антенна установлена на опорно-поворотном устройстве (ОПУ).



Рис. 1. Общий вид РЛС 19Ж6

Передвижная трехкоординатная радиолокационная станция (РЛС) 19Ж6 предназначена для дальнего обнаружения, распознавания и сопровождения воздушных объектов (в том числе крылатых ракет), измерения их координат (азимута, дальности) и определения государственной принадлежности по принципу «свой-чужой». Радиолокационная станция 19Ж6 используется в радиотехнических войсках ПВО. При использовании РЛС основными задачами являются:

- разведка воздушного пространства в составе дежурных сил;
- определение начала налета средств воздушного нападения противника;
- обеспечение радиолокационной информацией дежурных огневых средств;
- определение азимута, расстояния и высоты (или угла местности) локационных целей;
- определение пеленгов по азимуту и углу местности;
- определение государственной принадлежности локационных целей.

РЛС 19Ж6 и ее модификации стоят на вооружении ПВО (ВВС) России, Украины, Беларуси, Грузии, Индии, Словакии, Китая, Кипра, Греции и Вьетнама.

1 Исходные данные

Для разработки методов управления электроприводом поворота антенны (РЛС) со стороны КП НПК «Искра» были выданы исходные данные [1], приведенные в таблице 1. Исходя из требований обеспечения надежности, простоты эксплуатации, стоимости Заказчиком поставлено условие использования в приводе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АД).

В соответствии с выданными данными для разработки электропривода поворота антенны РЛС приняты следующие исходные данные:

- момент инерции антенны вместе с редуктором и двигателем с учетом возможного обледенения находится в диапазоне 11000...22000 кг·м²;

- максимальный аэродинамический момент при скорости ветра 30 м/с определяется зависимостью $m = 15000 \sin \omega t$ Н·м, где ω – угловая скорость вращения антенны;

- передаточное число редуктора 500.

Анализ технических требований и исходных данных позволяет сделать следующие выводы.

Требования к точности управления и времени переходных процессов являются достаточно грубыми и легко могут быть выполнены.

Проблемы возникают из-за:

- большого диапазона регулирования скорости двигателя (от 0 до 6000 об/мин);
- изменения в 2 раза момента инерции антенны вследствие ее обледенения;
- большого диапазона температуры окружающей среды (± 50 °С), приводящего к изменению сопротивления статора и ротора по отношению к номинальным значениям с учетом собственного нагрева обмоток до 100 °С в 0,7–1,3 раза;
- использования асинхронного двигателя для решения указанных задач.

На основании указанных исходных данных выбран двигатель 4А100Л2У3 со следующими характеристиками:

- мощность АД, P_n (кВт) 5,5;
- количество пар полюсов 1;
- КПД η (%) 87,5;
- $\cos \varphi$ 0,91;
- номинальное скольжение S_n (%) 3,4;
- критическое скольжение S_k (%) 29;
- синхронная частота вращения, об/мин, 3000;
- номинальная частота $f1$ (Гц) 50, $U_{1ф}$ (В) 220;
- момент инерции ротора $J_{о.р.}$ 0,0075;
- кратность пускового тока $i_n = 7,5$;
- кратность пускового момента $m_n = 2,0$;
- кратность максимального момента $m_k = 2,5$.

По данным каталога вычислены параметры двигателя, сведенные в таблицу 2.

2 Функциональная схема предлагаемой системы управления

Наличие неизвестных внешних воздействий, большого количества неопределенных параметров двигателя и преобразователя частоты, необходимость обеспечения работоспособности привода при бросках напряжения питающей сети выдвигают требование обеспечения робастности привода по отношению к перечисленным факторам. Этим вопросам посвящена работа [2]. На рисунке 2 изображена предлагаемая функциональная схема системы векторного управления асинхронного двигателя (АД) [2].

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

$i_{\alpha\beta} = (i_\alpha, i_\beta)^T$, $u_{\alpha\beta} = (u_\alpha, u_\beta)^T$ – векторы клеммных токов и напряжений, приведенных к статорному базису (α, β) ;

Таблиця 1 – Технічні вимоги до приводу обертання РЛС

Параметр	Величина, одиниці вимірювання	Примічання
1 Частота обертання антени	3 ± 0,3 об/мін 6 ± 0,6 об/мін 12 ± 1,2 об/мін	V ветра ≤ 30 м/с V ветра ≤ 20 м/с V ветра ≤ 15 м/с
2 Час переходу з однієї швидкості обертання на іншу	≤ 60 с	В 85 % випадків
3 Час переходу з однієї частоти обертання на іншу	≤ 60 с	В 85 % випадків
4 Величина похибки слідування при синхронній роботі 2-х РЛС	± 2 °	В 85 % випадків
5 Похибка установки антени на заданий азимут, не більше	±1,5 °	В 85 % випадків
6 Динамічна похибка системи в режимі азимутального сканування, не більше	±1,5 °	В 85 % випадків
7 Статична похибка в режимі ручного управління, не більше	±1,5 °	
8 Діапазон сектора сканування	10 °...170 °	При частоті обертання 44°/мін
9 Час обробки кута розгортання 170 °, не більше	9 с	
10 Потужність приводу обертання	5 кВт	
11 Напруга живлення	380 В, 50 Гц	
12 Момент інерції антени, сведен до осі ОПУ	11000 кг·м ²	
13 Передаточне число редуктора	500	
14 Ціна ділення інкрементного датчика, даючого інформацію про кут повороту антени	1' 19"	
15 Діапазон робочих температур	-50 °С ...+50 °С	

Таблиця 2 – Розрахункові параметри двигача

Назва параметра	Обозн.	Ед. вим.	Значення
Активне опір статора	R_s	Ом	1,05
Активне опір ротора	R_r	Ом	0,77
Взаємна індуктивність	L_m	Гн	0,25
Індуктивність обмотки статора	L_s	Гн	0,254
Індуктивність обмотки ротора	L_r	Гн	0,254
Індуктивність розсіювання статора	$L_{\sigma s}$	Гн	0,0036
Індуктивність розсіювання ротора	$L_{\sigma r}$	Гн	0,0036
Коефіцієнт розсіювання	σ	без разм	0,014
Номинальний фазний ток	$I_{1\phi}$	А	10,47
Номинальний момент двигача	M_n	Н*м	18,1
Номинальна кутова швидкість ротора	ω_n	с ⁻¹	303

«^» – символ оценки соответствующих переменных;

$\vartheta, \dot{\vartheta}$ – угол поворота и скорость антенны;

$\vartheta_p, \dot{\vartheta}_p$ – программные угол поворота и скорость антенны;

m_{0p} – желаемый (программный) электромагнитный момент;

$i_{dqp} = (i_{dp}, i_{qp})^T, u_{dqp} = (u_{dp}, u_{qp})^T$ – векторы программного тока и напряжения, записанные в синхронном базисе d, q ;

$u_p = (u_{Ap}, u_{Bp}, u_{Cp})$ – программный трехфазный сигнал, соответствующий желаемому трехфазному напряжению;

$u = (u_A, u_B, u_C)$ – трехфазное клеммное напряжение АД.

Регулятор момента [2] – комбинированный регулятор, в котором оценивается вектор неопределенности и задается вид переходной характеристики, которые формируют желаемый (программный) электромагнитный момент m_{0p} . Этот регулятор обеспечивает робастность всей системы по отношению к неточности знания момента инерции антенны, возмущающего момента, индуктивности статора, ротора и взаимной индуктивности ротора и статора.

Оптимизатор [2] – формирователь оптимальных программных токов, робастный по отношению к изменению сопротивления ротора, статора и потерям в железе двигателя вследствие нагрева и изменения температуры окружающей среды в диапазоне $-50\text{ }^\circ\text{C} \dots +50\text{ }^\circ\text{C}$.

Регулятор тока [2] также построен по комбинированному принципу и состоит из наблюдателя неопределенности и закона формирования переходной характеристики. Регулятор тока обеспечивает робастность по отношению к:

- 1) броскам напряжения сети питания;
- 2) всем погрешностям преобразователя частоты (сопротивлению ключей, запаздыванию их открытия и закрытия, мертвому времени);
- 3) перекрестным связям между моментным и намагничивающим контурами тока;
- 4) изменениям (в том числе, температурным) сопротивления контуров;
- 5) изменениям индуктивности контуров, обусловленным кривой намагничивания.

Питание АД осуществляется от трехфазного преобразователя частоты (ПЧ) с выпрямителем и инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Для управления двигателем измеряются только статорные токи i_{AB} и напряжения u_{AB} в двух фазах, а также угол поворота антенны ϑ с помощью инкрементного датчика.

Для выделения главных гармоник измеряемых токов и напряжений последние пропускаются через аналоговые фильтры [2], которые, помимо фильтрации, приводят к искажению амплитуд и фаз главных гармоник. Для устранения этих искажений в управляющем микропроцессоре формируются компенсаторы искажений [2]. Полученные значения оценок главных гармоник токов \hat{i}_{dq} поступают в блок «Регулятор тока», куда также подаются двухфазные программные токи

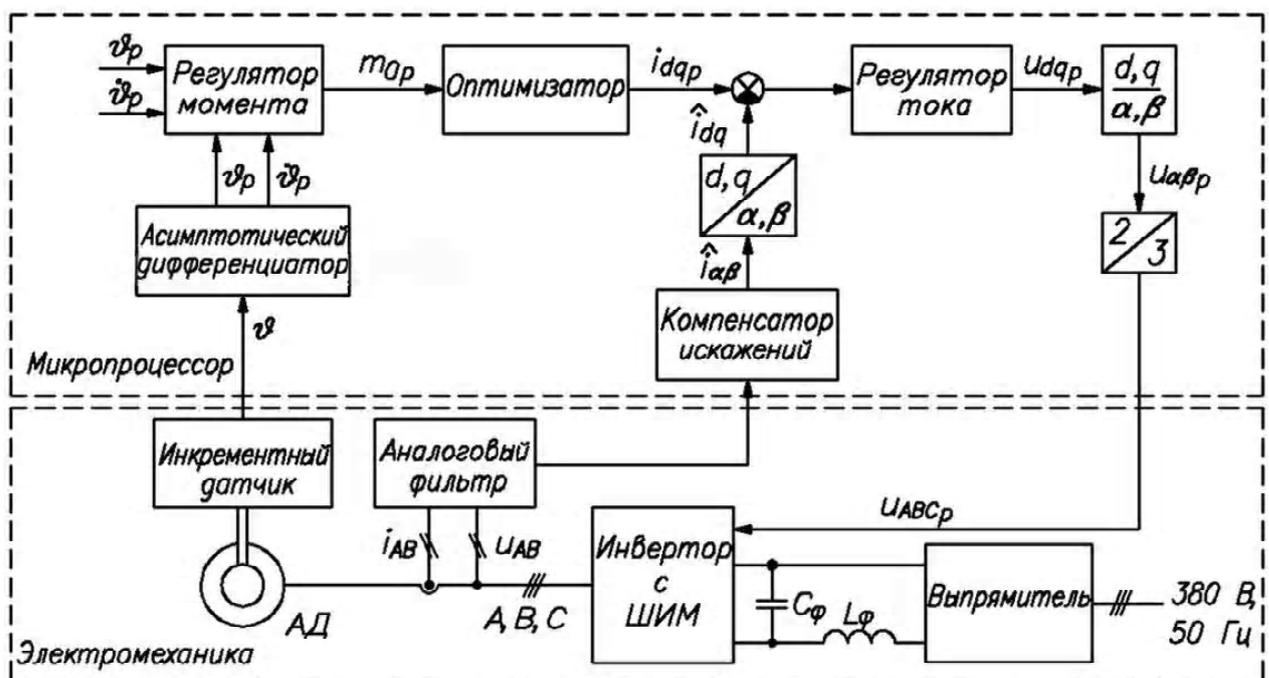


Рис. 2.

статоров i_{dqp} , заданные в синхронном базисе.

Для качественного позиционного управления каким-либо процессом, помимо перемещения, измеряемого с помощью датчика, необходимо иметь информацию о скорости протекания процесса без использования специального датчика. Скорость можно было бы получить путем непрерывного или дискретного дифференцирования позиционного сигнала. Это возможно в случае непрерывного не зашумленного позиционного сигнала. В последнее время в качестве датчика перемещения широко используется инкрементный датчик, вырабатывающий импульсы приращения сигналов ϑ_{Δ} . Для получения перемещения эти импульсы суммируют, в результате чего получается релейный ступенчатый сигнал. Такой сигнал невозможно дифференцировать. При больших скоростях протекания процесса информацию о скорости можно получить путем суммирования импульсов за определенное малое время и последующего деления суммы на это время. Однако при малых скоростях импульсы будут следовать через большие промежутки времени, что не позволяет получить скорость без неприемлемо большого запаздывания. В этом случае скорость можно оценить с помощью динамических фильтров (фильтра Калмана, наблюдателя Льюэнбергера), построенных на динамической модели управляемого процесса. Однако это обычно связано с большим объемом вычислений и сложностью, вызванной неопределенностью ОУ. Для обхода этих трудностей использован асимптотический дифференциатор [2], позволяющий получить произвольное количество производных позиционного сигнала не путем дифференцирования, а путем интегрирования. С его помощью можно получить информацию об угловой скорости и ускорении. Оценки перемещения $\hat{\vartheta}$ и угловой скорости ротора $\dot{\hat{\vartheta}} = \hat{\omega}$ сравниваются с программными значениями ϑ_p и $\dot{\vartheta}_p = \omega_p$. Полученные разницы поступают в «Регулятор момента». С помощью момента m_0 из условия минимума потребляемой мощности или постоянства тока намагничивания формируются программные токи i_{dp} , i_{qp} в синхронном базисе. С программными токами сравниваются оценки одноименных токов статора, которые сформированы с помощью преобразователя $(\alpha, \beta)/(d, q)$. Полученные разницы подаются в регуляторы токов. На выходе регуляторов токов формируются программные напряжения u_{dqp} в синхронном базисе.

Поскольку полная математическая модель привода является сложной и требующей большого времени моделирования, была создана упрощенная математическая модель, осуществляющая моделирование в 10 раз быстрее [3]. Близость результатов моделирования полной и упрощенной математических моделей продемонстрирована в работе [3].

3 Результаты моделирования

3.1 Моделирование работы привода при различных режимах вращения антенны РЛС

В соответствии с техническим заданием на рисунке 3.1 показан процесс стабилизации трех значений угловой скорости антенны РЛС (0,314 рад/с (3 об/мин), 0,628 рад/с (6 об/мин) и 1,256 рад/с (12 об/мин)) и переходы между этими скоростями при двух значениях момента инерции антенны: номинальном и удвоенном. При моделировании было учтено влияние на движение антенны максимально возможного аэродинамического момента. На рисунке 3.1 введены следующие обозначения: ω_1 – угловая скорость при номинальном моменте инерции, ω_2 – при удвоенном моменте инерции, ω_p – программное значение угловой скорости. Как видно на рис. 3, изменение момента инерции и аэродинамического момента не влияют на скорость антенны. На рисунке 4 показаны статорные токи в тех же режимах работы. На рисунке 4 введены следующие обозначения: i_{dq1} – статорный ток электродвигателя при номинальном моменте инерции, i_{dq2} – при двойном моменте инерции. Пульсации тока обусловлены дискретностью инкрементного датчика.

3.2 Моделирование работы привода в режимах азимутального сканирования антенны, синхронно-синфазного вращения двух антенн и слежения антенной за целью

На рисунке 5 изображено вращение антенны РЛС при работе в режиме азимутального сканирования при двух значениях момента инерции антенны: номинальном и удвоенном при воздействии максимального аэродинамического момента. Для моделирования выбран диапазон сканирования 170° при скоростях, лежащих в диапазоне от $-0,0128$ до $0,0128$ рад/с ($44^\circ/\text{мин}$). На рисунке 5 введены следующие обозначения: ϑ_p – программное значение угла поворота с диапазоном сканирования 170° , ϑ_1 – угол поворота антенны РЛС при номинальном моменте инерции, ϑ_2 – при удвоенном моменте инерции. Как видно из рисунка 5, наличие аэродинамического момента и увеличение момента инерции в 2 раза не влияют на качество работы привода. На рисунке 6 изображены статорные токи АД, соответствующие процессам рисунка 5, с обозначениями: i_{dq1} – статорные токи АД при номинальном моменте инерции антенны; i_{dq2} – статорные токи АД при удвоенном моменте инерции.

Полученные результаты сканирования можно распространить на другие режимы работы, а именно, на синхронно-синфазное вращение двух антенн и слежение антенной за целью. В первом случае под ϑ_p следует понимать движение ведущей антенны, а во втором случае – движение цели.

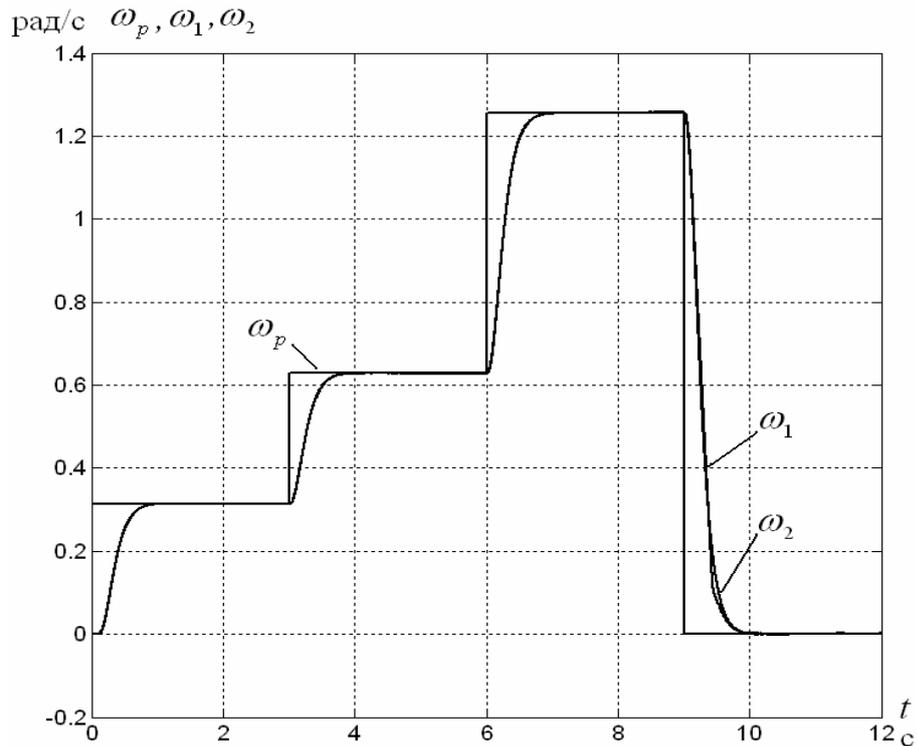


Рис. 3. Угловая скорость антенны РЛС в режиме стабилизации трех скоростей и при переходе от одного режима к другому

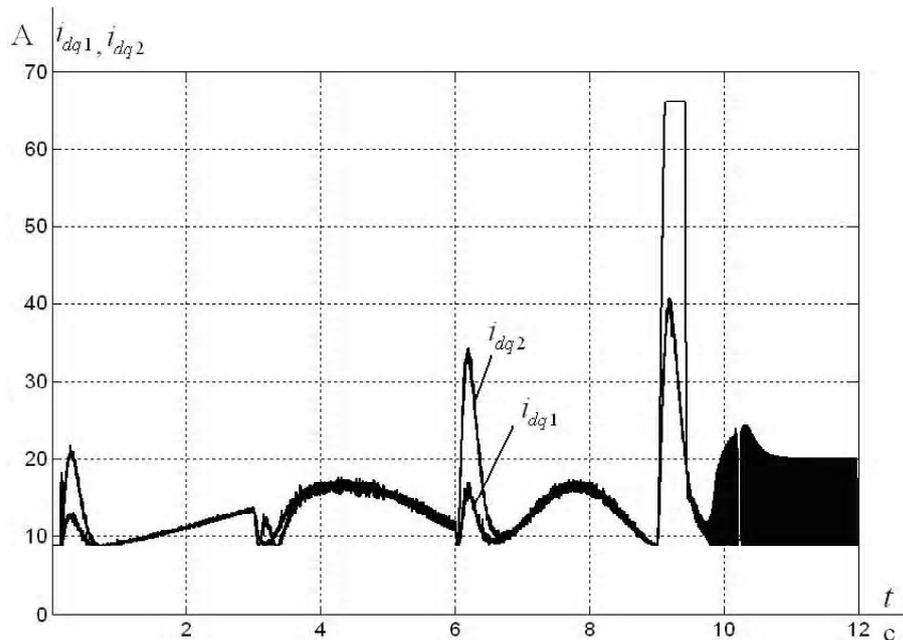


Рис. 4. Статорные токи АД, соответствующие рисунку 3

3.3 Моделирование работы привода в режиме установки антенны на заданный азимут

Согласно техническому заданию, время поворота антенны на угол 170° должно быть не более 9 с. На рисунке 7 изображен процесс поворота антенны. Моделирование проведено при двух значениях момента инерции антенны: номинальном и удвоенном. При

моделировании было учтено влияние на движение антенны максимально возможного аэродинамического момента. Как видно из рисунка 7, система удовлетворяет требованиям заказчика по времени переходного процесса. На рисунке 8 изображена угловая скорость антенны при работе в указанном режиме с учетом номинального и удвоенного момента инерции. На рисун-

ке 8 введены следующие обозначения: ω_1 – угловая скорость при номинальном моменте инерции антенны; ω_2 – угловая скорость при удвоенном моменте инерции. На рисунках 7, 8 видно, что увеличение момента инерции антенны вдвое не влияет на качество переходных процессов в системе. На рисунке 9 показаны статорные токи, соответствующие переходным

процессам, показанным на рисунках 7, 8. Статорный ток не превышает ограничения, оговоренного в каталоге асинхронных двигателей серии 4A100L2У3.

Как показали результаты моделирования, разработанные алгоритмы управления обеспечивают робастность системы по отношению к величине аэродинамического момента и момента инерции антенны.

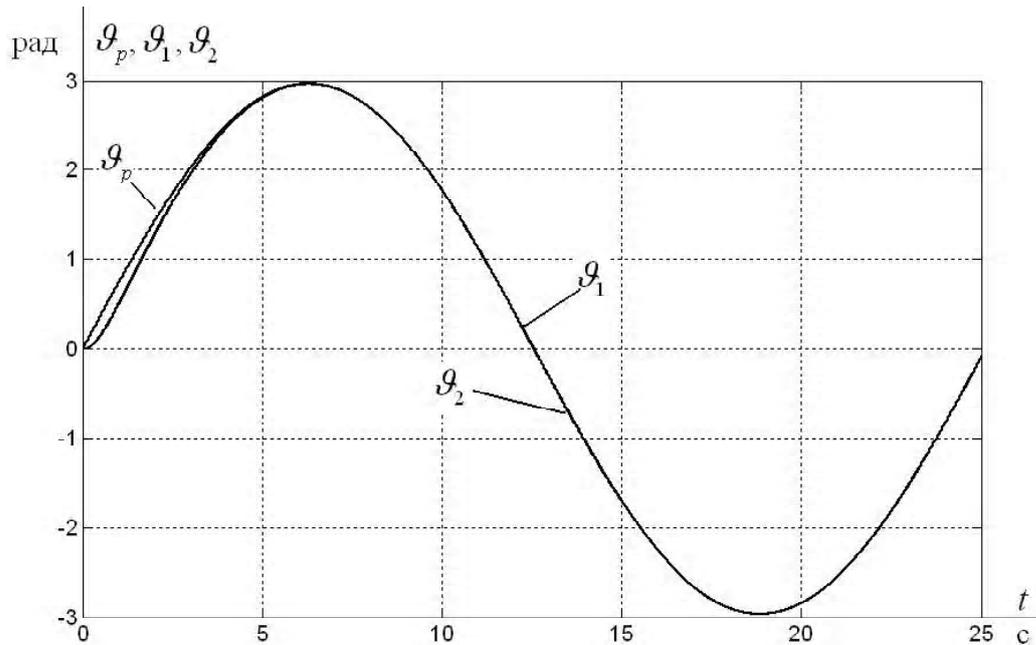


Рис. 5. Перемещение антенны РЛС в режиме азимутального сканирования

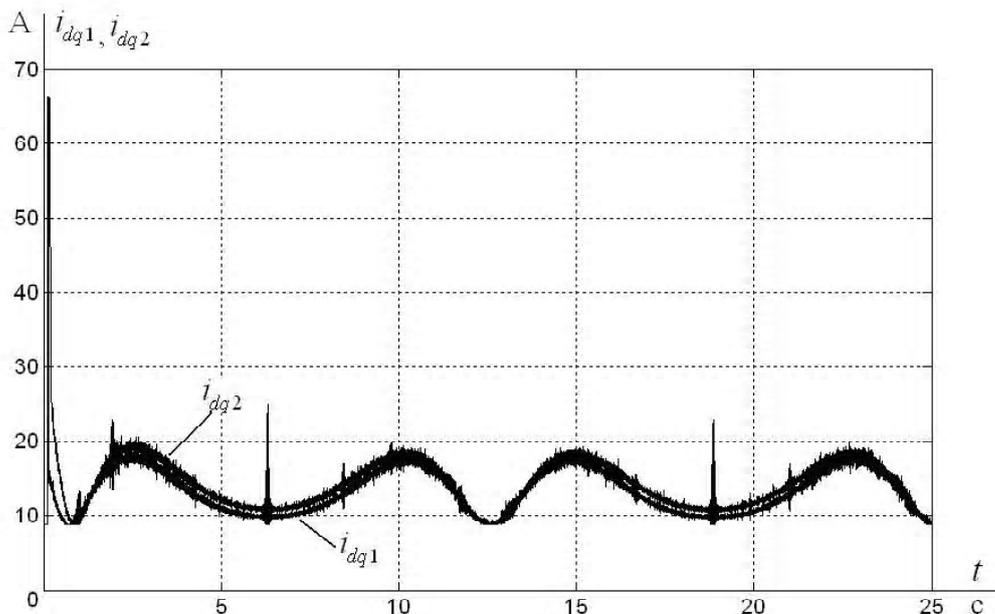


Рис. 6. Статорные токи АД при работе привода в режиме азимутального сканирования

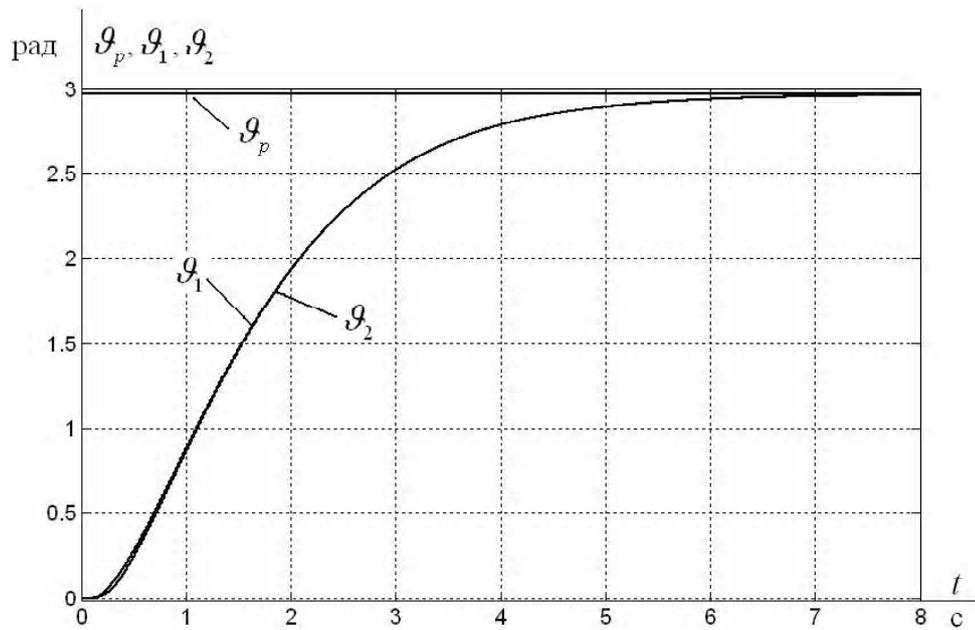


Рис. 7. Перемещение антенны в режиме установки антенны на заданный азимут

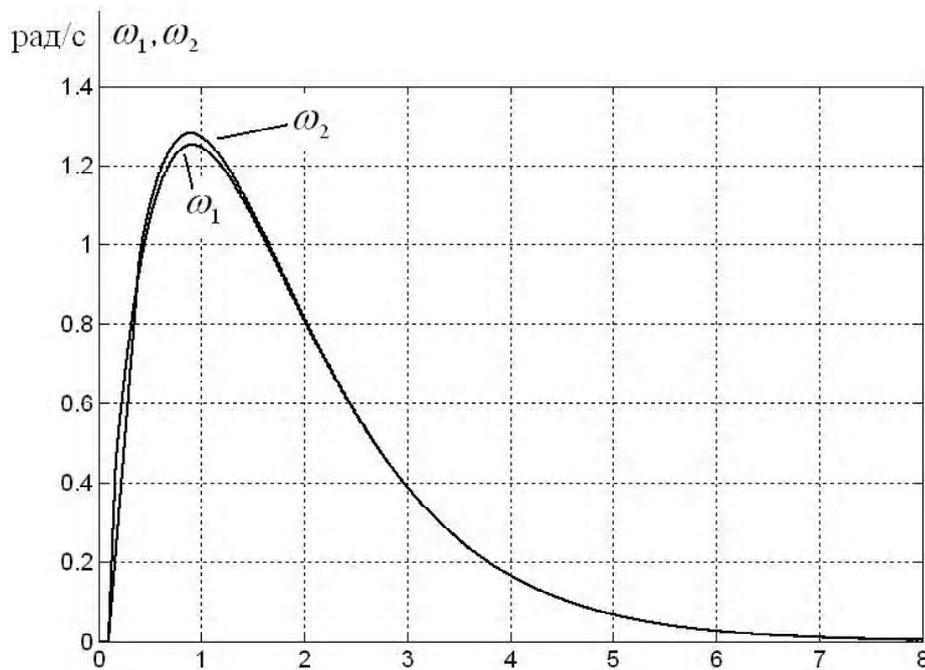


Рис. 8. Угловая скорость антенны в режиме установки антенны на заданный азимут

4 Выводы

В таблице 3 сопоставлены данные технического задания с аналогичными характеристиками разработанного привода, использующего асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Как видно из сопоставления заданных и полученных характеристик, требования, предъявляемые к приводу, не только выполняются, но и перевыполняются.

По нашему мнению, это дает возможность Заказчику разрабатывать РЛС с лучшими характеристиками.

Разработанные алгоритмы обеспечивают работоспособность ЭП РЛС без перенастройки (лишь путем изменения задания) при всех эксплуатационных условиях, оговоренных в технических требованиях, в частности, в диапазоне температуры окружающей среды от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (учитывалось влияние температу-

ры на сопротивление ротора и статора), при скорости ветра до 30 м/с и при отсутствии или наличии обледенения, приводящего к увеличению момента инерции антенны. Выполнение технического задания обеспечено за счет применения робастных методов управле-

ния [2]. Эти методы управления, помимо неопределенности момента инерции, указанного выше, обеспечивают робастность системы по отношению к разбросу параметров двигателя, погрешностям преобразователя частоты и броскам напряжения сети.

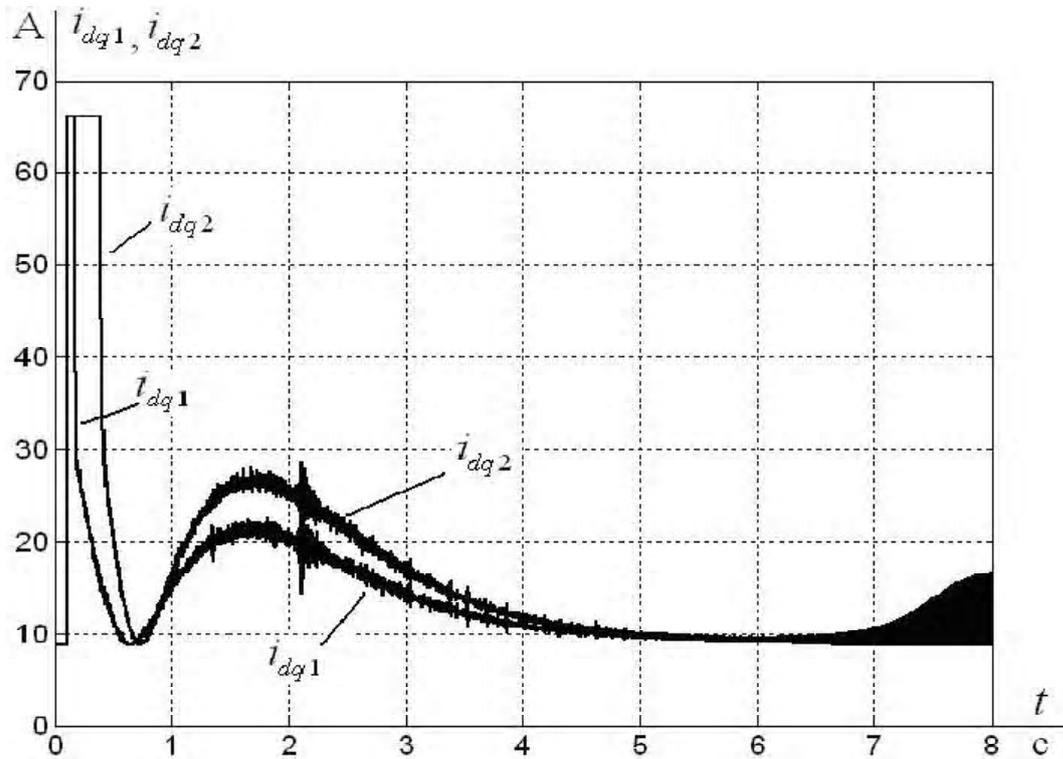


Рис. 9. Статорные токи АД при работе привода в режиме установки антенны на заданный азимут

Таблица 3 – Сравнение заданных в ТЗ показателей точности и времени переходных процессов с аналогичными показателями предлагаемого привода вращения антенны РЛС

№ з/п	Параметр	Величина	Результат
1	Скорость вращения антенны	3 ± 0,3 об/мин 6 ± 0,6 об/мин 12 ± 1,2 об/мин	Ошибка ≈ 0
2	Время перехода с одной скорости вращения на другую	≤ 60 с	1 с
3	Величина погрешности слежения при синхронной работе 2-х РЛС	± 2 °	≈ 0°
4	Погрешность установки антенны на заданный азимут, не более	± 1,5 °	≈ 0°
5	Динамическая погрешность системы в режиме азимутального сканирования, не более	± 1,5 °	≈ 0°
6	Время отработки угла рассогласования 170 °, не более	9 с	6 с

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Техническое требования к системе вращения РЛС / КП «НПК «Искра», г. Запорожье – Исх. № 140/86 от 14.09.2009. – 8 с.
2. Потапенко Е. М. Робастные алгоритмы векторного управления асинхронным приводом : монография / Е. М. Потапенко, Е. Е. Потапенко. – Запорожье : ЗНТУ. – 2009. – 352 с.
3. Линейная динамическая модель АД с ВУ / [Е. М. Потапенко, Е. В. Душинова, А. Е. Казурова, С. Г. Деев] // Электротехника и электроэнергетика. – 2010. – № 2. – С. 25–36.

Надійшла до редакції 01.02.2011

Душинова Є.В., Потапенко Є.М., Деев С.Г., Шибалкін О.Є, Шийка А.А. Електропривод повороту антени радіолокаційної станції

Показана можливість використання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором для обертання антени радіолокатора з різною швидкістю в діапазоні від нульової швидкості двигуна до подвоєної номінальної швидкості, сканування, позиціонування і синхронного обертання антен двох радіолокаційних станцій.

Ключові слова: асинхронний електропривод, антена радіолокатора, обертання, сканування, позиціонування.

Dushinova E., Potapenko E., Deev S., Shibalkin O., Shiyka A. Electric drive of radar antenna rotation

The authors show the possibility of using an induction motor with a squirrel cage rotor for rotating the radar antenna at different speed in the range from zero to twice the nominal speed, as well as for scanning, positioning and synchronous rotation of two radar stations antennas.

Key words: induction electric drive, radar antenna, rotation, scanning, positioning.

УДК 681.5.03

Канд. техн. наук Р. С. Волянский, д-р техн. наук А. В. Садовой
Днепропетровский государственный технический университет

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С КВАДРАТИЧНОЙ АКТИВАЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Сформулировано условие установившейся работы замкнутой электромеханической системы с квадратичной активационной функцией. Получены уравнения для ошибок управления в установившемся режиме при использовании различных оптимальных регуляторов. Приведены картины распределения значений статических ошибок в функции от задающего воздействия, параметров объекта и регулятора.

Ключевые слова: оптимальное управление, статическая характеристика, нелинейная активационная функция, ошибка управления, замкнутая электромеханическая система.

Введение

В настоящее время уровень развития теории автоматического управления замкнутыми электромеханическими системами и возможности их практической реализации создают предпосылки для разработки и внедрения новых алгоритмов и законов управления. На смену классическим П, ПИ и ПИД [1] законам управления приходят линейные и нелинейные управления [2–4], для формирования которых используется

информация о всем векторе состояния электромеханической системы или об отдельных его компонентах [5]. Весьма распространенным является синтез управляющих воздействий на основании законов и алгоритмов нечеткой логики [6].

Несмотря на большое многообразие рассмотренных систем управления, все они отличаются экспоненциальностью протекающих переходных процессов и гарантируют требуемый запас устойчивости вплоть до