

**MATRIX FORMALIZATION OF RESPONSE MULTIPOSITION  
INTEGRATED COMMUNICATION AND RADAR SYSTEMS IN THE COMMUNICATION MODE**

A. Zinchenko

*The paper presents a variant of the model functioning integrated multiway communication and radar systems on the principle MIMO in the case of positions in foster digital flat antenna arrays. The proposed model formalizes the response of the host segment of the system provided by one or more radiation transmitters correspondents multifrequency signals at different wavelengths of electromagnetic waves.*

**Key words:** mobile communication station, integrated multi-position system communication and radar, digital antenna array response matrix model.

УДК 62-83::621.313.392

О.О. Кузнецов

*Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРЯМОГО ПРИВОДА ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ  
МЕХАНІЗМУ НАВЕДЕННЯ АНТЕНИ СТАНЦІЇ НАЗЕМНОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ  
РОЗВІДКИ**

Запропоновано при модернізації системи керування антеною станції наземної артилерійської розвідки використовувати ідеологію прямого привода. Проаналізовано особливості такого підходу, зокрема, використання моментних двигунів для прямого привода та вимоги до них.

**Ключові слова:** електропривод керування антеною, система наведення, безредукторний електропривод, моментна електрична машина.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Радіолокаційні станції (РЛС) призначені для розвідки наземних (надводних) рухомих цілей та обслуговування стрільби артилерії. На озброєнні артилерійських розвідувальних частин Сухопутних військ Збройних Сил України перебувають розвідувальні станції СНАР-10, АРК-1М, ПСНР-5к, та "Зоопарк-2", що у перспективі надійдуть на озброєння. Однак наявна техніка є фізично та морально застарілою і не дозволяє повною мірою виконувати завдання артилерійської розвідки. Тому актуальною є задача пошуку шляхів модернізації розвідувальних станцій на основі нових досягнень науки і техніки.

Відповідно до стандартів НАТО, РЛС наземної розвідки можна класифікувати наступним чином [1]:

ближньої дії, що використовуються в розвідувальних, дозорних і патрульних підрозділах, а також у взводах;

малої дальності – у ротах (зона ведення розвідки 8×5 км);

середньої дальності – в батальйонах (15×10 км);

середньої і великої дальності – в бригадах (75×30 км).

РЛС середньої і великої дальності в артилерійських розвідувальних частинах Сухопутних військ використовуються на комплексах СНАР-10 та АРК-1М. При їх модернізації необхідно в тому числі вирішувати питання привода керування антеною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** в напрямі побудови систем наведення показує, що у сучасних розробках широко застосовуються підходи, що передбачають відмову від проміжних ланок між силовими електромеханічними пристроями (двигунами) та об'єктами керування – ці системи отримали назву безредукторний або "прямий" привод. Так, у [2] вказаний підхід використано для електроприводів (ЕП) обертання антен судових РЛС, у [3] – для привода оптичного телескопа.

**Мета роботи** – є розглянути перспективи використання систем ідеології привода, яка широко застосовується для побудови систем наведення, при модернізації систем керування антеною станції наземної артилерійської розвідки.

## Виклад основного матеріалу

Відомою проблемою систем наведення є наявність традиційного елемента електромеханічних систем – редуктора. У ньому втрачається велика частина підведеної потужності, що особливо важливо для РЛС, які живляться від автономних джерел енергії; втрати в електроприводі є тим більші, а коефіцієнт корисної дії тим меншим, чим більше проміжних ланок є між двигуном та об'єктом керування. Редуктор, через притаманну йому "нежорсткість", спричиняє негативний вплив на основний показник якості систем наведення – точність їх позиціонування, і при збільшенні строку служби редуктора цей вплив тільки посилюється.

"Нежорсткість" редуктора включає три основні складові [4]:

кінематичну похибку, яка визначається точністю виконання елементів редуктора (наприклад, точністю форми і нарізки зубчатих коліс);

люфт – механічний зазор, викликаний зазорами між зубцями і у підшипниках редуктора;

пружні деформації коліс, валів, підшипників і корпусу редуктора.

Одним із шляхів зменшення впливу "нежорсткості" та підвищення точності – основного показника систем наведення – є скорочення числа проміжних передач, що в екстремальному випадку може передбачати відмову від використання редуктора і побудови ЕП за ідеологією безредукторного або прямого приводу.

Такий підхід надає наступні переваги [4, 5]:

підвищення точності переміщення практично без люфту;

суттєве зменшення мертвого ходу;

зниження моментів сухого тертя;

компактність та надійність конструкції;

через відсутність тертя у складових елементах вони не зношуються, отже, точність забезпечується протягом всього строку служби;

зниження рівнів шуму та вібрації при роботі;

підвищення коефіцієнта корисної дії;

зменшення метало- і трудоемності виготовлення приводу;

спрощення технічного обслуговування (двигун не потребує змазки).

Використання ідеології прямого приводу передбачає відмову від двигунів традиційної конструкції і застосування т. зв. "моментних" електродвигунів, особливостями яких є високі значення моменту при відносно низьких швидкостях.

У загальному випадку будь-який тип електродвигуна можна спроектувати як моментний [4], однак найбільш відомими є колекторні моментні

двигуни постійного струму, розробка яких почалась у 80-х роках [6], і безконтактні вентильні або вентильно-індукторні двигуни. Найбільш перспективним є використання у системах прямого приводу вентильних двигунів з постійними магнітами, широкий розвиток яких пов'язаний зі спрощенням та здешевленням технології виготовлення високоенергетичних магнітів.

Технічний рівень синхронного двигуна з постійними магнітами (СДПМ) найбільш об'єктивно можна оцінити за двома критеріями [5, 7]:

Статична добротність, що характеризує ступінь використання активних матеріалів (момент, який розвиває двигун на одиницю маси і потужності споживання)

$$K_s = \frac{M_s}{m\sqrt{P_s}}, \quad (1)$$

де  $M_s$  – пусковий момент при будь-якій напрузі,  $P_s$  – споживана при цьому потужність,  $m$  – маса двигуна (статор і ротор). Для сучасних моментних двигунів цей показник складає 0,2 – 0,3 Н·м/(кг√Вт).

Динамічна добротність, що характеризує прискорення, яке розвивається (відношення електромагнітного моменту до моменту інерції ротора).

Характерною особливістю моментних двигунів є оптимальне значення статичної добротності, тобто найбільша величина моменту в одиниці маси і низькі діелектричні втрати в обмотці якоря [5], оскільки у безредукторних приводах, де інерційність навантаження, як правило, значно перевищує момент інерції ротора, немає необхідності прагнути до максимальної динамічної добротності двигуна [7]. Отже, термін "моментний двигун" означає, що він спроектований на оптимум за статичною добротністю, тобто за найбільшим питомим моментом в одиниці маси і електричних втрат в обмотці (у [8] використовується термін "максимальна щільність обертового моменту"). Ці особливості визначають конструкцію двигуна.

Найбільше статична добротність залежить від величини магнітного поля машини. З цієї метою в індукторі двигуна застосовуються постійні магніти високої ефективності (переважно на основі NdFeB – найбільш потужних і доступних магнітів, які виготовлені із рідкоземельних металів). Це вирішує задачу забезпечення стійкості двигуна до пускових струмів, переважень за струмом та моментом, а також дозволяє не передбачати додаткових заходів від розмагнічування постійних магнітів [5], а також дозволяє збільшити повітряний проміжок між статором і ротором, що спрощує монтаж двигуна в механізм [7].

Іншим показником, що визначає величину магнітного поля, є кількість полюсів (цей вплив

більше помітний при збільшенні полюсів від 4 до 8, ніж, наприклад, від 32 до 46). Збільшення кількості полюсів забезпечує вищий питомий вміст міді в обмотках, у яких створюється обертовий момент, що приводить до підвищення ефективності магнітного поля [8].

Оптимізація створення обертового моменту у двигуні також забезпечується високим відношенням діаметра до довжини [8].

Динамічні показники, що характеризують двигун, – це електромагнітна стала часу обмотки та електромеханічна стала часу двигуна. Електромагнітна стала часу – це час наростання струму в обмотці до усталеного значення, та звичайно знаходиться в межах 0,2 – 12 мс. Електромеханічна стала часу характеризує час розгону двигуна без навантаження до швидкості неробочого ходу і звичайно становить від 1 до 20 мс.

Визначення основного показника залежить від конструкції і призначення електропривода. В редукторному ЕП більший вплив має електромеханічна стала часу, в той час як для прямого привода, де момент інерції об'єкта керування, як правило, набагато більший моменту інерції ротора двигуна, важливішою є електромагнітна стала часу [4].

Отже, основним статичним показником моментних двигунів є статична добротність, а динамічним – електромагнітна стала часу.

Моментні двигуни з постійними магнітами виробляють відомі компанії Danaher Motion/Kollmorgen, Axsys, Moog, Parker, ETEL, Siemens та ін. На пострадянському просторі виробники представлені такими компаніями, як ОАО "Машиноаппарат", НПО "Электрические машины", "ЭЛМА-Ко", ЦНИИ "Электроприбор", НПЦ автоматики и приборостроения, ВНИИМЭМ, КБ мехатроники та ін. [4]. Для прикладу на рис. 1 показано двигуни серії ДБМ, що виготовляються ОАО "Машиноаппарат" [7].

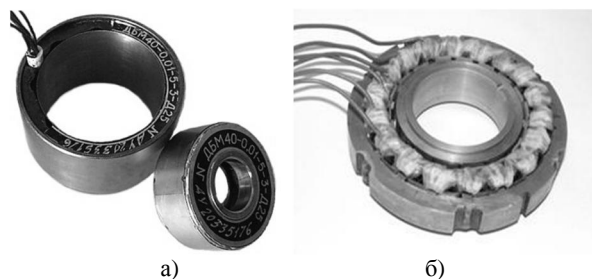


Рис. 1. Конструктивне виконання моментних двигунів серії ДБМ: а – з гладким статором (ДБМ40-0,01-2,5-3), б – з пазовим статором (5ДБМ120-2-1-3)

У серії ДБМ прийнято два конструктивні виконання статора двигуна [7]:

гладкий (безпазовий) статор з обмоткою, розташованою безпосередньо у повітряному проміжку. Це дозволяє забезпечити відсутність реактивного залишкового моменту опору і пульсації обертового моменту, що викликаються ним; малі електромагнітні сталі обмоток (від 0,04 до 0,3 мс);

пазовий статор з обмоткою, вкладеною у пази осердя, що забезпечує вищу статичну добротність і меншу електромеханічну сталу часу, ніж у двигунів з гладким статором (від 6 до 25 мс), при цьому електромагнітна стала часу складає від 0,3 до 3 мс.

Основним недоліком двигунів ДБМ є висока споживана потужність на одиницю обертового моменту [9]. Спробою позбутись цього недоліку є створення більш ефективних двигунів з ефектом електромагнітної редукції типу БМДР. Однак у них не вдалось одержати настільки високого значення моменту при співмірних масогабаритних показниках, як і у ДБМ, що знижує можливості реалізації компактних приладів на їх основі. Однак такі переваги, як низьке енергоспоживання і тепловиділення на одиницю обертового моменту, на порядок менший обсяг використовуваних постійних магнітів дозволили у ряді приладів досягнути високих тактико-технічних характеристик.

Подальший розвиток низькошвидкісних вентильних двигунів на теренах колишнього СРСР призвів до створення двигунів серії МД, які дозволяють одержати більші моменти, ніж у серії ДБМ, при співмірних масогабаритних показниках, та забезпечують низьке енергоспоживання, властиве серії БМДР [9].

Для реалізації моментних двигунів використовують в основному дві класичних структури [8]:

безкорпусна – складається з набору елементів статора і кільцеподібного ротора, які вмонтовуються в існуючу конструкцію; пустотілий вхідний вал великого розміру. Таку структуру доцільно використовувати при необхідності мінімізації розмірів і масу;

традиційна, що передбачає корпус, підшипники, а також стандартний або пустотілий вал. Така структура дозволяє використовувати традиційний підхід, де навантаження обертається на підшипниках двигуна.

Компанія Danaher Motion крім цих класичних структур, які реалізовані компанією у двигунах серії DDR, пропонує третю:

"Касетна DDR" (CDDR). Її пропонується використовувати у випадку заміни двигунів у наявних системах, де є підшипники. Перевагами таких двигунів є спрощений монтаж у системи, що модернізуються, при мінімальному обсязі конструкторської роботи.

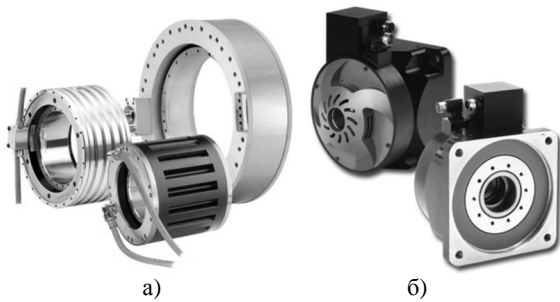


Рис. 2. МД компанії Siemens серії 1FW6 з додатковим рідинним охолодженням (а) та компанії Kollmorgen серії CDDR (б)

Історично недоліками двигунів прямого приводу є важкість їх застосування і вартість [8]. Моментні двигуни мають більшу масу і потужність втрат, ніж двигуни для традиційного редукторного приводу. Вони вимагають більш якісної електроніки – як силової, так і інформаційної, використання якої дозволяє забезпечити стабільний електромагнітний момент при всіх кутах повороту ротора та мінімальні втрати в обмотці якоря [5].

### Висновки

Модернізація станцій наземної артилерійської розвідки вимагає в тому числі вирішувати питання системи керування антеною. Доцільною виглядає пропозиція використовувати для побудови ЕП ідеологію прямого приводу, що дозволить позбутись відомих недоліків, властивих традиційним системам наведення, що містять редуктор. Такий підхід передбачає використання моментних двигунів, тобто двигунів, оптимізованих за моментом у певному об'ємі. Це визначає їх особливості – використання високоенергетичних магнітів, велику кількість полюсів, та відношення осьового розміру до діаметра двигуна менше одиниці.

При проектуванні системи керування антеною та при розрахунку моментних двигунів основним статичним показником є статична добротність, а динамічним – електромагнітна стала часу.

Також необхідно враховувати, що використання цих двигунів вимагає використання сучасної силової та інформаційної електроніки і, відповідно, систем керування ними.

### Перспективы использования прямого привода при модернизации системы управления антенной станцией наземной артиллерийской разведки

А. А. Кузнецов

Предложено при модернизации системы управления антенной станцией наземной артиллерийской разведки использовать идеологию прямого привода. Проанализированы особенности такого подхода, в частности, использования моментных двигателей для прямого привода и требования к ним.

**Ключевые слова:** электропривод управления антенной, система наведения, безредукторный электропривод, моментный электрический двигатель.

### Список літератури

1. РЛС разведки поля боя [Электронный ресурс] / Владимир Мосалёв, Вадим Ушаков – Режим доступа до ресурсу <http://www.modernarmy.ru/article/227>
2. Пат. 2458435 Российская Федерация МПК H01Q1/00, H01Q3/08, H02K29/06, H02P6/18. Привод вращения волноводно-щелевой антенны [Текст] / Сусли В. М. ; патентообладатель РФ, от имени которой выступает Мин. пром. и торг. - № 2011111247/07 ; заявл. 25.03.11 ; опубл. 10.08.12, Бюл. № 22. – 10 с. : илл.
3. Щур І. З. Стенові дослідження електропривода осі наведення оптичного телескопа з використанням фізичної динамічної моделі його механічної системи / І. З. Щур, В. М. Журкіна // Міжвід. наук.-техн. зб. Одеськ. націон. політехн. ун-ту "Електромашинобудування та електрообладнання". Темат. випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика". – Київ: "Техніка", 2006. – №66. – С. 163–164.
4. Микеров А. Прямой привод в России / Александр Микеров // Control Engineering Russia. – М.: ООО "Трэйд Медиа Интернэшнл", 2012. – февраль 2012. – С. 8–11.
5. Капралов С. Моментный электропривод для прецизионных следящих систем / С. Капралов, В. Матвеев, В. Майоров, Д. Павлов, А. Смуров // Современная электроника. – М.: СТА-ИРЕСС, 2008. – №5. – С. 26–28.
6. Свечарник Д.В. Электромашины непосредственного привода: Безредукторный электропривод / Д. В. Свечарник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
7. ОАО "Машиноаппарат". Проектирование и производство электродвигателей специального назначения [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу <http://mashap.maverick.ru>
8. Высокомоментные бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами // Control Engineering Russia. – октябрь 2007. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу <http://www.controlengrussia.com/innovatsii/vysokomomentnye-beskollektornye-dvigateli-s-postojannymi-magnitami/>
9. Оськин А. Б. Разработка методик расчета моментного двигателя с постоянными магнитами и электромагнитной редукцией : автореферат дисс. на соиск. науч. степ. канд. тех. наук : спец. 05.09.01 "Электромеханика и электрические аппараты" : ФГУП ЦНИИ "Электроприбор" / Оськин Артемий Борисович — СПб, 2005. – 20 с.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Я.С. Паранчук, Національний університет "Львівська політехніка", Львів.

## Prospects for the Use of a Direct Drive when Upgrading an Antenna Control System of a Ground Artillery Reconnaissance Station

O. Kuznyetsov

*The article proposed to use a direct drive ideology when upgrading an antenna control system of a ground artillery reconnaissance station. The features of this approach were analyzed, in particular the use of the torque motors for direct drive and requirements for them.*

**Key words:** antenna control system electric drive, guidance system, gearless drive, torque electric motor.

УДК 621. 396. 96

Матюхин Н.И., Набока А.М.

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

## ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ЛОКАТОРОВ, СОЗДАВАЕМЫХ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПОТОКА ОБЪЕКТОВ В СИТУАЦИЯХ КОНФЛИКТА, И ПОСТРОЕНИЕ НА ИХ ПРИМЕРЕ СИСТЕМНОЙ ТЕОРИИ РАДИОЛОКАЦИИ

*Показано, что системное проектирование и системное военно-техническое проектирование радиолокационной системы сводится к построению ее многомерной системной математической модели и к разработке методов полного системного описания - к решению задач синтеза, анализа, управления и взаимодействия с внешней средой. Поэтому такие уравнения составляют основу системной теории радиолокации. Функциональные уравнения описывают состояние и скорость изменения состояния системы, которые связаны между собой как первообразная и производная по времени. Для простых одномерных систем найдены функциональные уравнения, то есть, решены задачи синтеза, анализа, управления и адаптации. Для сложной системы, которой является система радиолокации, поиск функциональных уравнений и уравнения состояния является значительной научной проблемой, которую не удастся решить с момента возникновения радиолокационной системотехники. По сути, проблема сводится к определению понятия состояния системы, которая объединяет все системные параметры самой системы и внешней среды. В работе вводится новое понятие состояния системы, которое определяет время действия системы, требуемое для выполнения своих функций. На этой основе строится системная теория радиолокации. Построить теорию на абстрактном уровне невозможно, поэтому она строится на примере наиболее сложной перспективной системы, технический облик которой также определяется.*

**Ключевые слова:** системная теория радиолокации, динамическая радиолокационная информационная система дальнего обнаружения, системотехника радиолокации, двустороннее конфликтное управление, дифференциальная игра "наблюдение-противодействие".

### Постановка задачи

Работа относится к области радиолокационной системотехники (РЛСТ) и посвящена:

1) исследованию перспективных возможностей радиолокации и определению технического облика информационной системы нового поколения – многопозиционной пространственно-когерентной радиолокационной или радиолокационной, на примере которой решается научная проблема;

2) разработке системной теории радиолокационных систем, которая в первом приближении

может рассматриваться как системная теория радиолокации;

3) разработке методических основ системного проектирования (СП) и системного военно-технического проектирования (СВТП) динамических радиолокационных систем.

Радиолокационная системотехника является научным направлением и учебной дисциплиной, в которой изучаются вопросы развития радиолокации, системного проектирования новых систем и совершенствования существующих локаторов. СП и СВТП состоит в описании системы, по которому ее можно построить. Описание системы может быть: