

**Анализ причин возникновения и оценка погрешностей определения координат снарядов и мин на траектории полета при применении цифровой фоторегистрации**

П.П. Ткачук, Ю.В. Шабатура, Р.В. Кузьменко

*В работе проведен анализ причин возникновения погрешностей, которые предопределены внутренними и внешними факторами при определении координат снарядов и мин на траектории полета. Разработаны математические модели по оценке погрешностей определения координат снарядов и мин на траектории полета при стереофоторегистрации и их модели чувствительности к изменению входных параметров. Проведено компьютерное моделирование соответствующими процедурами пакета Maple 5.00.*

**Ключевые слова:** фоторегистрация, погрешность, координаты, траектория, снаряд

**Analysis of the causes and error estimates for determining the coordinates of mortar shells and bombs in flight trajectory using the digital photorecording**

P. Tkachuk, Y. Shabatura, R. Kuzmenko

*An analysis of causes of the errors of determining the coordinates of shells and bombs at their flight trajectory with use of digital photorecording is presented in the paper. The internal and external error factors are defined and the corresponding estimates are built. The mathematical model of stereophotogrammetry is used for coordinates deriving. The coordinates sensitivity to base input parameters change is investigated and it is concluded that horizontal angle error is greater for close trajectory position and is mainly influenced by external factor errors, while distance error is negligible at close distance, noticeable at remote position and mainly influenced by internal factor errors. The internal factor errors rely strongly on digital camera specification. The computer modeling using relevant procedures of Maple 5.00 package has been conducted.*

**Keywords:** photometry, error, coordinates, shell, trajectory.

УДК 631.3

В.О. Чумакевич<sup>1</sup>, В.А. Назар<sup>1</sup>, К.М. Василів<sup>2</sup><sup>1</sup> Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів<sup>2</sup> Львівський національний аграрний університет**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА БОЙОВИХ МАШИН**

*В статті на основі аналізу перспективних напрямків розвитку механізмів наведення бойових машин пропонуються шляхи удосконалення електроприводів бойових машин, які є на озброєнні СВ ЗС України*

**Ключові слова:** бойова машина, електроприводи, система наведення, електронна система керування, цифрова система керування, стабілізатор, імпульсні підсилювачі, операційні підсилювачі.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Новий час диктує свої вимоги до конструкції і тактики застосування бойових броньованих машин на полі бою. Відходить у минуле масоване застосування броньованих армاد, чітка лінія фронту і закінчення війни із захопленням території. На початку ХХІ століття броньована техніка зазнає істотних перетворень, які пов'язані зі зміною існуючих концепцій ведення бойових дій. Тож значне місце в тактиці дій сучасних підрозділів сухопутних військ відводиться бойовим машинам.

Досвід застосування миротворчих підрозділів, підрозділів з підтримання миру та іншим військових формувань у війнах і військових конфліктах показав важливість мати маневрену, добре озброєну бойову машину.

Різноманітне озброєння, яке використовується на бойових машинах, має, як правило, два приводи: механічний ручний та електричний дистанційний.

Електропривод механізмів наведення бойових машин пройшов значний шлях від простих механізмів до складних систем, які керуються електронними приладами та мають системи стабілізації ствола. Аналіз літератури показує, що найпоширенішим сьогодні є електроприводи з гіростабілізацією у вертикальній та горизонтальній площинах та електронною системою керування.

На бойових машинах, які сьогодні є на озброєнні Сухопутних військ ЗС України, використовують електроприводи, які були розроблені у 70-ті роки ХХ сторіччя. Вони морально та фізично застаріли. Нові розробки, наприклад, БМП-3, БТР-4, Дозор-Б, Пума тощо, засвідчують перспективність застосування електронних і цифрових систем керування електроприводами бойових машин.

Таким чином, тема дослідження напрямів модернізації електроприводів бойових машин є актуальною.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які спирається автор

Ось вже декілька десятиліть БМП (рис. 1) означає надійність, живучість, простоту конструкції і відмінні тактико-технічні характеристики. Машина родини БМП високо цінуються військовими фахівцями у

всьому світі, а їх успішне застосування в різних війнах і військових конфліктах лише підтвердили це.

Досвід Росії на шляху модернізації старих і розробки нових бойових машин показав, що перспективним напрямом модернізації є удосконалення систем наведення озброєння, особливо електропривода [8, 9, 10]. Пропонується використовувати високошвидкісні приводи наведення озброєння, що забезпечить мінімальний час реакції на виникаючі загрози.

На початку 80-х років почалась модернізація БМП «Marder» (рис. 2). Її вогнева потужність, у тому числі здатність вести боротьбу з броньованими



Рис. 1. Бойові машини піхоти БМП-2 (ліворуч) і БМП-3 (праворуч)



Рис. 2. БМП «Marder» до (ліворуч) та після (праворуч) модернізації

цілями, була підвищена шляхом монтажу на лафеті (праворуч від гармати) пускової установки ПТКР «Мілан». Гармата забезпечена вдосконаленою двострічковою системою подачі боєприпасів, що дозволяє швидко переходити з одного типу снаряда на інший. В майбутньому можливе використання автоматичної гармати калібру 25 мм. Машина має електронну систему керування електроприводом.

У 2010 р. і 2011 р. на зміну БМП «Marder» поступово вводиться на озброєння бундесверу нові БМП – «Puma» (рис. 3) та «ТН-495». БМП «Puma» має незаселену башту з комплексом озброєння за принципом виносу за житлові відсіки. В якості основної зброї на БМП «Puma» використовується 30-мм автоматична гармата.

Rheinmetall Waffe Munition МК 30-2/АВМ. Високу вогневу потужність забезпечують сучасні система керування вогнем, потужне озброєння, цифровий електромеханічний двоплощинний стабілізатор озброєння, який інтегровано в командну систему керування - IFIS (Integrated Combat Forces Command and Weapon Control System). В Україні ведеться ряд розробок перспективних бойових машин Дозор-Б та БТР-4 (рис. 4). Обидві машини оснащені двох-площинним стабілізатором озброєння з електронною системою керування.

Наведений стислий аналіз доводить перспективність впровадження електронних та цифрових систем керування електроприводами бойових машин з стабілізаторами озброєння.



Рис. 3. БМП «Рума»



Рис. 4. Бойові машини Дозор-Б (ліворуч) і БТР-4 ( в центрі) з трьома варіантами бойових модулів (справа)



Рис. 5. Блок-схема електропривода за схемою Г – Д з частотним регулюванням

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття

Сьогодні електропривод механізмів наведення БМП-2 виконаний за схемою Г–Д (електромашинний підсилювач) з додатковим імпульсним регулюванням (поляризаційне реле РП-5) [4,5,6,8, 9,10]. В якості давача використовується потенціометричний вимірювальний міст. Спрощена блок-схема електропривода наведена на рис. 5. Дана система електропривода дозволяє здійснювати регулювання швидкості наведення з кратністю регулювання, приблизно рівної 200 (відношення максимальної швидкості до мінімального).

До недоліків даної системи можна віднести її енерговитратність, громіздкість і достатньо велику вагу. Необхідно також додати, що вихід з ладу поляризаційного реле РП-5 або електромашинного підсилювача практично унеможливує роботу електропривода.

Сучасні електронні прилади дозволяють замінити операції, які раніше виконували електромашинні підсилювачі та поляризаційні реле. Тому для модернізації цього електропривода пропонується використовувати електронну систему підсилення сигналу з широтно-імпульсною модуляцією.

### Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Механізми наведення повинні забезпечувати виконання ряду вимог [ 4, 6 ].

Для забезпечення заданого діапазону кути механізмів наведення у вертикальній площині повинні бути в межах  $0...60^\circ$ . Кути наведення в горизонтальній площині без обертання бази повинні складати  $360^\circ$ .

Підйом, опускання і поворот при допустимих перевантаженнях повинні відбуватись за мінімально коротким час. Швидкості наведення по кути піднесення повинні бути порядку  $5...7^\circ/\text{с}$ , по азимуту  $12...20^\circ/\text{с}$ .

Стійкість наведення забезпечується звичайно постановкою в кінематичному ланцюзі підйомного механізму самогальмівних пар (гвинтова пара, черв'ячна пара), а також установкою додаткових гальмівних пристроїв.

Легкість наведення визначається величиною зусилля на маховику відповідного механізму, необхідного для виконання наведення із заданою швидкістю. У ручних приводах це зусилля не повинне перевищувати (60...80) Н при тривалій роботі і сталому русі. При короткочасній роботі, а також зрушення з місця і надання прискорення рухомих частинам в період розгону можна допускати зусилля до 100 Н. Прагнути дуже малих зусиль (менше 10... 15 Н) на маховику не слід, щоб уникнути збиття наведення від дії незначних випадкових поштовхів.

В умовах експлуатації легкість наведення значною мірою залежить від загального стану механізму, тобто від якості збірки, регулювання, мастила, ступеня забруднення деталей. Тому механізми повинні бути надійно захищені від попадання всередину пилу, бруду, вологи і від дії газового струменя.

Постійність кутової жорсткості на всіх ступенях наведення та оптимальне її значення, мінімальний приведений мертвий хід - ці чинники істотно впливають на умови формування початкових збурень снарядів при сході їх з напрямних.

Достатня міцність і живучість механізмів наведення забезпечуються ступенем обліку величин і закону зміни робочих навантажень, точністю призначення коефіцієнтів запасу міцності і ступенем захисту від бойових пошкоджень. При достатній міцності механізмів повинна бути забезпечена висока їх живучість. Це досягається застосуванням надійного захисту елементів механізмів від дії газового струменя, постановкою стопорів кріплення по-похідному і по-бойовому, а також своєчасним технічним обслуговуванням.

Міцність і надійність роботи механізмів наведення повинні забезпечуватися в різних кліматичних умовах і в інтервалі температур  $\pm 50^\circ\text{C}$ .

Раціональні конструктивні форми механізмів і таке їх розташування повинні забезпечувати надійну захищеність елементів механізмів від зовнішніх чинників, наприклад, забруднень, а також захищати від куль і осколків.

Окрім перерахованих вимог до механізмів наведення висуваються ще і загальні вимоги, а саме: простота конструкції, технологічність у виготовленні, зручність розташування органів управління.

При проектуванні та виборі типу електропривода бойових машин необхідно забезпечення таких основних вимог:

здатність привода створювати великі передавальні числа, необхідні для механізмів;

можливість плавного регулювання швидкості виконавчого двигуна в широкому діапазоні;

забезпечення реверсування виконавчого двигуна; здатність до незалежної роботи вузлів всього механізму і привода до нього;

забезпечення легкості управління механізмом; отримання від привода більшого ККД.

Основною складовою частиною електроприводів є двигуни постійного струму незалежного збудження. Розглянемо особливості їх керування.

Важливим виконавчим органом більшості електроприводів бойових машин є двигуни постійного струму паралельного (незалежного) збудження. Важливими режимами його роботи, які потребують дослідження, є:

пуск двигуна;

регулювання швидкості обертання вала двигуна;

гальмування двигуна;

реверсування напрямку обертання вала двигуна.

В початковий момент руху проти-ЕРС дуже мала і нею можна нехтувати, тоді можна записати

$$I_a = \frac{U}{\Sigma r}. \quad (1)$$

Звичайний опір  $\Sigma r$  невеликий, десяті і соті долі Ом, тому величина пускового струму досягає неприпустимо великих значень, що у 10-15 разів перевищують номінальний струм двигуна.

Такий великий пусковий струм дуже небезпечний для двигуна. По-перше, він може викликати в машині коловий вогонь, а по-друге, при такому струмі в двигуні розвивається надмірно великий пусковий момент, що робить ударну дію на обертові частини двигуна і може механічно їх зруйнувати. І, нарешті, цей струм викликає різке спадання напруги в мережі, що несприятливо відбивається на роботі інших споживачів, включених в цю мережу.

Тому пуск в хід безпосереднім підключенням у двигунах не використовують. Основними способами пуску є включення пускового реостата в ланцюг якоря, використання схеми «генератор – двигун» та імпульсне регулювання.

Включення пускового реостата збільшує електричні втрати, що погіршує механічні характеристики двигуна, тому цей спосіб використовують рідко.

Схема Г-Д передбачає безреостатний пуск двигуна. В період пуску напруга на щітках двигуна спочатку встановлюється невеликою, а потім поступово збільшується до номінального значення. Такий порядок пуску двигуна виключає появу надмірно великих пускових струмів.

У тих випадках, коли навантаження на валу двигуна має значні коливання, на вал первинного двигуна насаджують маховик, що запасе енергію при збільшенні швидкості і віддає її при зменшенні. Це згладжує навантаження на двигун і зменшує коливання швидкості. Така система називається «генератор-двигун-маховик» (Г-Д-М). Система Г-Д-М застосовується в електроприводах, де інтенсивне навантаження двигуна чергується з роботою вхолосту.

Також перевагою такого способу регулювання частоти двигуна постійного струму є практична незмінність жорсткості механічних характеристик

$$I_a = \frac{M}{C_{MД}\Phi} = \frac{M}{C_{MД}k_{\Phi Д}I_{ЗБД}} = \frac{M}{k'_{Д}I_{ВД}}. \quad (2)$$

Запишемо рівняння механічної характеристики з врахуванням (2)

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{C_e \Phi} = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{I_a \Sigma r}{C_e \Phi} = \frac{k_{Г} I_{ЗБГ}}{k_{Д} I_{ЗБД}} - \frac{R_{aГ} + R_{aД}}{k_{Д} k'_{Д} I_{ЗБД}^2}. \quad (3)$$

Згідно з (3) кут нахилу механічної характеристики визначається коефіцієнтом при  $M$ , не залежить від напруги  $U$  ( $I_{ЗБГ}$ ), а частота обертання холостого ходу пропорційна напрузі  $U$  ( $I_{ЗБГ}$ ). Відсутність додаткових реостатів виключає додаткові невірні теплові втрати. Як недолік такої схеми слід відзначити, що наявність кількох машин значно зменшує ККД всієї системи.

При імпульсному способі регулювання зберігаються всі позитивні моменти системи  $\Gamma - Д$  та одночасно за рахунок виключення однієї або двох електричних машин значно підвищується ККД.

Також особливістю імпульсного керування є фактична реалізація режиму гальмування протилежним включенням. Ця особливість полегшує реверсний режим роботи двигуна.

Таким чином, використання імпульсного керування повинно задовольнити вимоги до системи керування.

Для отримання необхідних характеристик приводів наведення (мінімальної помилки стабілізації та перехідного процесу) використовується сигнал зворотного зв'язку по швидкості та сигнал зворотного зв'язку по струму. Сигнал зворотного зв'язку по струму (пропорційний струму якоря електродвигуна) формується у підсилювачі та передається в блок керування. Там ці сигнали об'єднуються з сигналами інтегратора команд та передаються на електродвигун.

Підсилювачі електричних сигналів [2, 3, 6, 8, 9] можуть посилювати сигнали керування по напрузі, струму та потужності. Посилення електричних коливань здійснюється за рахунок енергії джерела постійного струму. Таким чином, в підсилювачі відбувається перетворення енергії джерела постійного струму в енергію підсиленого сигналу. Підсилювачі постійного струму можна розглядати як підсилювачі електричних коливань нульової частоти. За типом використаних в підсилювачі елементів розрізняють магнітні, електромашинні, імпульсні (лампові, транзисторні, операційні) та ін.

Магнітні підсилювачі [2, 3, 6, 8] раніше широко застосовувались в озброєнні. Це було зумовлено рядом переваг: надійність та довговічність роботи; високий коефіцієнт підсилення; нечутливість до значних перевантажень; просте додавання сигналів

на вході підсилювача; практично миттєва готовність до роботи та інші. Але необхідно відзначити ряд недоліків: порівняно велика інерційність роботи, яка зумовлена індуктивністю керуючих та інших обмоток; нестабільність характеристик при тривалому режимі роботи (через магнітне насичення сердечників) та інші.

Також в якості підсилювальних пристроїв широко використовувались електромашинні підсилювачі з поперечним полем [2, 6, 7, 9]. Їх перевагами були відносно невелика інерційність, значний (до 10000) коефіцієнт підсилення, практично лінійна залежність вихідного сигналу від струму керування, простота додавання сигналів та інші. Разом з тим відносно невеликий коефіцієнт корисної дії (65 – 85 %), наявність щіткового контакту, відносно велика вартість та значні масо-габаритні розміри обмежували їх застосування.

Імпульсні підсилювачі [2, 6, 8] добре зарекомендували себе в системах силової електроніки. Сутність їх роботи полягає в зміні співвідношення інтервалів розгону та гальмування виконавчого двигуна, чим і регулюється його швидкість. Застосовано так зване широтно-імпульсне регулювання. Створення імпульсних комутаторів на базі електромеханічних пристроїв не набуло широкого розповсюдження через низьку надійність. Однак з появою надійної напівпровідникової та електронної бази (тиристри, транзистори в ключовому режимі, операційні підсилювачі) їм був відкритий шлях до широкого застосування. В імпульсних підсилювачах практично відсутні втрати енергії, вони надійні, довговічні, мають відносно невеликі масо-габаритні показники, практично безінерційні та інші.

Аналіз літератури [1, 2, 3, 6, 8, 9] показав значну перевагу імпульсних операційних підсилювачів над іншими.

Дослідження проводились за допомогою пакета моделювання Multisim. На рис. 6 наведено схему підсилювача при широтно-імпульсному керуванні двигуном постійного струму для механізму горизонтального наведення.

Сигнал керування необхідно попередньо підсилити. Для цього використовуємо диференційний каскад 1 (рис. 6), який зібрано на операційному підсилювачі (позиційне позначення  $U2A$ ). Результуючий різницевий сигнал поступає на інверсні входи компараторів лівого  $U1A$  та правого  $U5A$  повороту. Також сигнал поступає на компаратори напрямку повороту ( $U3A$ ,  $U6A$ ) для керування мостовою схемою вихідного силового каскаду, яка зібрана на польових транзисторах Q2, Q4, Q5, Q6.

На прямі входи компараторів повороту ( $U1A$ ,  $U5A$ ) поступає сигнал пилоподібної форми з генератора напруги, який виконано на внутрішньому джерелі напруги 4, внутрішньому джерелі струму 5 та генераторі прямокутних імпульсів 6. В результаті ми отримуємо широтно-імпульсний модульований сигнал з тривалістю імпульсів, яка прямо пропорційна напрузі на інверсних входах  $U1A$ ,  $U5A$ .

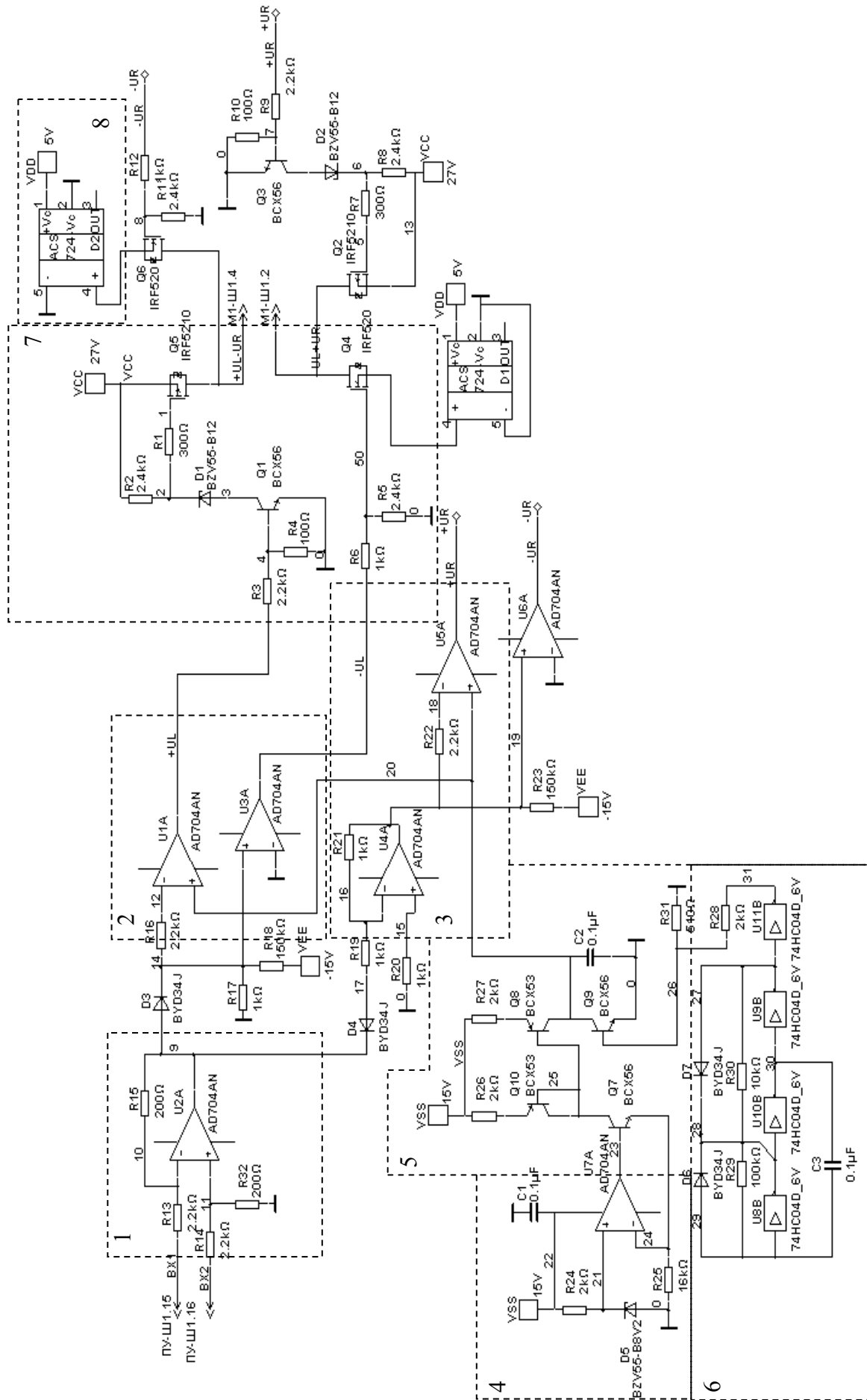


Рис. 6. Схема операційного підсилювача при широтно-імпульсному керуванні двигуном постійного струму

Далі сигнал поступає на біполярні транзистори  $Q1$  та  $Q3$ , які включені в лінійному режимі і є драйверами вихідних силових польових транзисторів  $Q2$  та  $Q5$ .

Сигнал з компараторів напрямку повороту  $U3A$ ,  $U6A$  поступає на транзистори нижнього і верхнього плеча мостової схеми  $Q4$  та  $Q6$  та через мікросхеми ACS724, які є давачами струму на основі використання ефекту Холла, поступають на якірну обмотку виконавчого двигуна.

Таким чином, структурно запропонована схема складається з наступних елементів (рис. 6):

- 1 – диференційний підсилювач;
- 2, 3 – генератор широтно-імпульсних сигналів відповідно лівий (вниз) та правий (вгору);
- 4 – внутрішнє джерело напруги;
- 5 – внутрішнє джерело струму;
- 6 – генератор прямокутних імпульсів;
- 7 – верхній та нижній транзисторні ключі;
- 8 – давач струму на основі ефекту Холла (захист).

Необхідно відмітити, що елементи 4, 5, 6 утворюють генератор пилоподібної напруги.

У подальшому планується удосконалення цієї схеми та забезпечення можливості використання сигналів корекції. Схема підбиралась на основі експертних оцінок та узгодження електричних параметрів в пакеті Multisim.

Проведені розрахунки дають можливість зробити наступні **висновки**:

Найбільш перспективними напрямками модернізації є удосконалення комплексів озброєння та систем керування ними.

На бойових машинах, які сьогодні перебувають на озброєнні СВ ЗС України, використовуються морально та фізично застарілі системи керування електроприводами механізмів наведення, і тому вони потребують модернізації.

Проведені дослідження показали, що модернізація електроприводів бойових машин доцільна з використанням операційних підсилювачів. Вони мають достатні характеристики для реалізації широтно-

імпульсного керування, яке використовується в електроприводах бойових машин.

Моделювання запропонованої схеми за допомогою пакета моделювання електричних систем Multisim підтвердило можливість її реалізації.

## Висновки

Запропонована схема підсилення сигналу керування є працездатною, що підтверджується проведенням моделювання. Застосування запропонованого підсилювача дозволить значно зменшити масо-габаритні характеристики електропривода бойових машин при збереженні решти показників ефективності за заданим рівнем.

## Список літератури

1. *Електромеханічні системи автоматизації та електроприводи. За ред. М.Г. Поповича та О.Ю. Лозинського. Навчальний посібник.* – К.: Либідь, 2005. – 678 с.
2. *Теория автоматического управления: Учебник / М.Н. Катханов, В.Б. Булейко, В.К. Завьялов. Под общ ред. Н.В. Козлова.* – М.: Воениздат, 1974. – 608 с. *Основы автоматического управления / Г.И. Ванюрихин, А.Н. Герасимов, С.В. Лучко, Л.Ф. Порфирьев.* – М.: Воениздат, 1972. – 328 с.
3. *Боевая машина пехоты БМП-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.* – М.: Воениздат, 1979. – 624 с.
4. *Боевая машина пехоты БМП-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть 1.* – М.: Воениздат, 1987. – 248 с. *Белановский А.С. Электрооборудование танков: Учебник / А.С. Белановский, Б.В. Новиков, В.М. Тихомиров, М.Н. Фесенко / Под ред. проф. А.С. Белановского.* – М.: ВАБВ, 1972. – 556 с.
5. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под ред. А.А.Фёдорова.* – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т.1 – 580 с, Т.2 – 591 с.
6. <http://www.kurganmash.ru/>
7. <http://www.soldiering.ru/army>
8. <http://weaponwars.ru/>

**Рецензент:** д.т.н., проф., Я.П. Паранчук, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів.

## Усовершенствование системы управления электропривода боевых машин

В.А. Чумакевич, В.А. Назар, К.Н. Василів

*В статье на основании анализа перспективных направлений развития механизмов наведения боевых машин предлагаются пути усовершенствования электроприводов боевых машин, которые находятся на вооружении СВ ВС Украины.*

**Ключевые слова:** боевая машина, электроприводы, система наведения, электронная система управления, цифровая система управления, стабилизатор, импульсные усилители, операционные усилители.

## Improving control of combat vehicles system electrical drives

V. Chumakevych, V. Nazar, K. Vasylyv

*The article offers ways of improving control system electrical drives of combat vehicles, which are in service of the Ukrainian Armed Forces, based on prospective development trends of combat vehicle aiming mechanisms.*

**Keywords:** combat vehicle, electrical drives, aiming system, electronic control system, digital control system, stabilizer, pulse amplifiers, operational amplifiers