

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ М. ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)
ГДАНСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАВІГАЦІЇ (ГРУЗІЯ)

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ

IX міжнародної науково-технічної конференції

18 – 19 жовтня 2018 р.

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9 м. Миколаїв*

Миколаїв, НУК, 2018

Король Ю.М., Санжаревская Н.Г. Использование многопараметрической математической модели для определения буксировочного сопротивления в задачах оптимального проектирования судов.....	320
Уваров В.А., Авдюнін Р.Ю., Єложенко О.О. Устрій та спосіб підвищення контактної-кавітаційної стійкості гребних гвинтів.....	321
Кривошеков В.Е. «Человеческий фактор», который везде, всегда и во всём.....	321

Секція № 8. ІННОВАЦІЇ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ТА АВТОМАТИЦІ

Блінцов В.С., Білюк І.С. Сучасний стан та перспективи створення хвильових електростанцій.....	323
Павлов Г.В., Вінниченко І.Л., Покровський М.В. Експериментальні випробування резонансного перетворювача частоти з часо-імпульсним керуванням.....	324
Білюк І.С., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Борсук В.В. Проблеми бездатчикових електроприводів.....	326
Блінцов О.В., Соколов В.В. Імітаційна модель динаміки просторового руху безекіпажної підводної буксированої системи як об'єкта керування.....	328
Блінцов О.В., Корицький В.І. Автоматичне керування прив'язним підводним апаратом з чотирма керованими ступенями рухливості.....	331
Бугрим Л.І., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Швець С.М. Коригування глибокорегульованих електроприводів постійного струму.....	333
Бугрим Л.І., Шарейко Д.Ю., Ставинський Р.А., Савченко О.В., Горностай Л.О. Підвищення ефективності електроприводів з двигунами подвійного живлення.....	336
Гаєрилов С.О., Білюк І.С., Бугрим Л.І. Особливості сучасної практичної підготовки фахівців-електромеханіків в Національному університеті кораблебудування ім. адм. Макарова.....	338
Гаєрилов С.О., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Богаченко М.Ю. Стабілізація нелінійних електроприводів.....	340
Авдєєва О.А., Ванат Д.Б. Аналіз способів енергоресурсозбереження в насосних агрегатах.....	342
Надточий А.В., Надточій І.І., Мошенський Є.А. Автоматичні вітрильні установки для безекіпажних надводних суден.....	345
Надточий А.В., Удод С.В., Міхєєнко В.В. Проблеми створення Li – акумуляторних батарей великої потужності.....	346
Надточій В.А., Магріпов А.В., Тулінов Д.С. Безредукторний електропривод.....	347
Надточій В.А., Крохмаренко О.О., Німас С.С. Стенд для дослідження безредукторного електропривода.....	349
Алоба Лео Тосин. Разработка специализированного моделирующего комплекса для исследования управляемого движения группы АНПА.....	352
Новогрєцький С.Н., Старушкин А.А. Обеспечение заданной степени статической устойчивости работы синхронного генератора на мощную сеть.....	355
Пальчиков О.О. Моделирование работы синхронного генератора на сеть бесконечной мощности.....	356
Подымака В.И., Солдатов С.В. Бесщеточный синхронный генератор продольно-поперечного возбуждения.....	357
Савченко О.В., Білюк І.С., Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю., Ольшевський С.І. Блок живлення лабораторного стенда.....	358
Савченко О.В., Білюк І.С., Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю., Ольшевський С.І. Система керування кроковими двигунами промислових роботів.....	360
Білюк І.С., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Різник В.О. Нечітке керування електроприводів камер спостереження.....	361
Шевченко М.В. Аналіз недоліків керування суднових електроенергетичних систем та шляхи їх подолання.....	363
Сірієчук А.С. Розробка математичної моделі руху автономного підводного апарата з радіобуєм.....	366
Войтасик А.М. Натурні випробування електрорушійного комплексу макету вантажного самохідного підводного носія.....	368

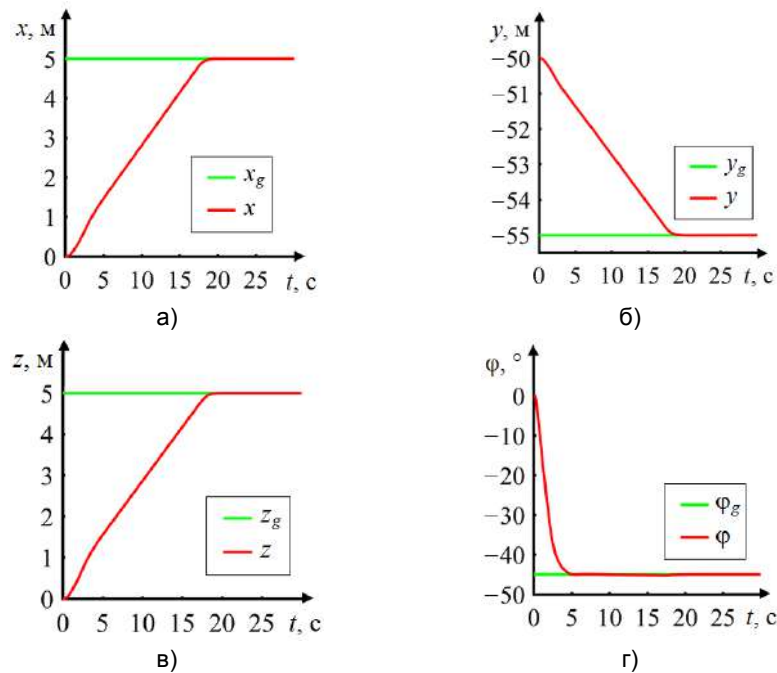


Рис. 1. Результати моделювання системи автоматичного керування рухом ППА

Тривалість перехідних процесів після виходу керуючих впливів з режиму насичення не перевищує 3 с. Максимальне перерегулювання не перевищує 1%, що відповідає поставленій задачі синтезу САК.

В результаті роботи синтезовано САК просторовим рухом ППА на основі методу оберненої динаміки з використанням табличної моделі руху корпусу апарата в ролі інверсної моделі та узагальнення методу розподілу керуючих сил та моментів між рушійними пристроями. Працездатність синтезованої САК підтверджено шляхом комп'ютерного моделювання просторового руху ППА з чотирма керованими ступенями рухливості.

Література

1. Справочник по теории корабля. Т. 1 [Текст] / под ред. Я. И. Войткунского // Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые двигатели. – Ленинград: Судостроение, 1985. – 768 с.
2. Blintsov, O. Devising a Method for Maintaining Manageability at Multidimensional Automated Control of Tethered Underwater Vehicle [Text] / O. Blintsov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1/9. – Pp. 4-16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.93291
3. Пшихопов, В. Х. Алгоритмы многосвязного позиционно-траекторного управления подвижными объектами [Текст] / В. Х. Пшихопов, М. Ю. Медведев, Р. В. Федоренко, Б. В. Гуренко, В. М. Чуфистов, В. А. Шевченко // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №4. – 17 с.

КОРИГУВАННЯ ГЛИБОКОРЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Бугрим Леонід Іванович, Шарейко Дмитро Юрійович, Фоменко Андрій Миколайович, Савченко Олег Валерійович, Швець Сергій Миколайович.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Поширення діапазону регулювання вихідною координатою комплектних електроприводів (КЕП) найчастіше постає у технологічних процесах, що вимагають від системи керування необхідність змінювати швидкість приводних двигунів в досить широких межах при збереженні бажаних динамічних показників якості перехідних процесів. Застосування різних законів керування, з одного боку, примушує систему відповідати показникам якості, що наведені в початкових даних для синтезу, з другого боку, може впливати на погіршення жорсткості характеристик КЕП на зазначеному діапазоні керування. Як правило, ці задачі розглядаються окремо, але у сучасних системах із застосуванням КЕП необхідно розглядати їх у комплексі з урахуванням умов технологічного процесу.

Проведемо аналіз аналітичної залежності діапазону керування для різних регуляторів системи. В системах підпорядкованого регулювання внутрішній контур (в даному випадку контур струму) є відомими до

зовнішнього (контур швидкості). Вихідною координатою системи є швидкість валу двигуна, отже вплив регулятора струму на неї не є значним, а стосується лише внутрішньої координати, тобто струму [1]. Система замкнена за швидкістю, тому з достатньою мірою точності можна вважати, що найбільший вплив створює зовнішній контур з регулятором швидкості. В даному підрозділі буде розглянуто вплив типу та параметрів регулятора швидкості на вихідну координату керування.

На практиці, для електроприводів одним із важливих показників якості є здатність системи як можна швидше та м'якше відпрацьовувати динамічні накиди навантаження при певній заданій швидкості. Звичайно, така настройка системи дозволяє знижати мінімальну підтримувану швидкість, а отже збільшувати діапазон керування. Окрім того, суттєвим фактором при розгляді діапазону можна вважати здатність привода як можна точніше відпрацьовувати змінний у часі сигнал завдання швидкості, особливо це актуально для приводів верстатів з ЧПК, де сигнал завдання програмно може змінюватися дуже динамічно та у широких межах. Від здатності системи точно відпрацьовувати цей сигнал залежить якість впровадженого технологічного процесу.

Отже, для дослідження питання діапазону, окрім статичних режимів, будемо розглядати також і динаміку системи керування при змінному сигналі завдання з переходами на різні швидкості та при різному рівні повільності зміни цього сигналу.

П-регулятор швидкості. Застосуємо визначений підхід для дослідження діапазону П-регулятора швидкості та ПІ-регулятора струму системи однозонного керування ДПС (рисунки 22) з наступними передаточними функціями регуляторів:

$$W_{pc} = \frac{T_{\mu c} p + 1}{T_{\mu c} p}; \quad W_{рш} = K_{рш}. \quad (1)$$

В такому разі діапазон керування визначимо з (1.24) та врахуємо $p = 0$:

$$D = \frac{\delta}{100} \cdot \frac{\omega_n}{\Delta \omega_{p.3}} \cdot \frac{R_e}{C} \cdot \frac{W_{рш}(0) \cdot k_{ш} + \frac{C}{W_{pc}(0) \cdot k_{тп}}}{k_c + \frac{R_e}{W_{pc}(0) \cdot k_{тп}}} = \frac{\delta}{100} \cdot \frac{\omega_n}{\Delta \omega_{p.3}} \cdot \frac{R_e}{C} \cdot \frac{K_{рш} \cdot k_{ш}}{k_c}. \quad (2)$$

Як видно його величина прямо-пропорційна коефіцієнту підсилення П-регулятора, що повністю відповідає загальній теорії. Тобто для збільшення діапазону необхідно збільшувати коефіцієнт підсилення $K_{рш}$. Коефіцієнт регулятора швидкості зручно знайти за умови оптимізації системи на технічний оптимум.

Отже для виразу $K_{рш}$ можемо записати:

$$K_{рш} = W_{Pi} = \frac{1}{\prod_{i=1}^N a_i \cdot T_{\mu i} p} \cdot \frac{1}{W_{Ki}} \cdot \frac{K_{i-1}}{K_i} = \frac{1}{a^2 \cdot T_{тп} p} \cdot \frac{T_{м} p C}{R_e} \cdot \frac{k_c}{k_{ш}} = \frac{CT_{м} k_c}{a^2 T_{тп} R_e k_{ш}}. \quad (3)$$

Настройка на технічний оптимум дозволяє аналітично визначити $K_{рш}$ за формулою 3, де a – коефіцієнт оптимізації (для технічного оптимуму $a = 2$). Таким чином, в такому випадку знайдемо діапазон керування, що забезпечить настроєний П-регулятор:

$$D = \frac{\delta}{100} \cdot \frac{\omega_n}{\Delta \omega_{p.3}} \cdot \frac{R_e \cdot k_{ш} \cdot \frac{CT_{м} k_c}{a^2 T_{тп} k_{ш} R_e}}{C \cdot k_c} = \frac{\delta}{100} \cdot \frac{\omega_n}{\Delta \omega_{p.3}} \cdot \frac{T_{м}}{a^2 T_{тп}}. \quad (4)$$

Розглянемо вираз 4. Як свідчить [1], на практиці максимальне значення електромеханічної сталої часу $T_{м}$, як правило, не перевищує 0,3...0,4 с, спад швидкості навантаженого двигуна загально-промислового виконання складає 10% від номінальної, а стала часу сучасних тиристорних перетворювачів $T_{тп} \geq 0,006$, то при $a = 2$ та відносній похибці регулювання $\delta = 10\%$ діапазон не перевищує значення $D \leq 10$.

Для аналізу формули 4 було використано *Matlab*, де розглянуто систему для різних реальних параметрів двигунів та тиристорних перетворювачів, що випускаються промисловістю, з потужністю до 90 кВт. На рисунку 1 можна бачити графіки статичного спаду швидкості замкненої системи при раптовому накиді

навантаження за умови відсутності задаючого впливу для декількох двигунів різної потужності з П-регулятором швидкості, настроєним на технічний оптимум.

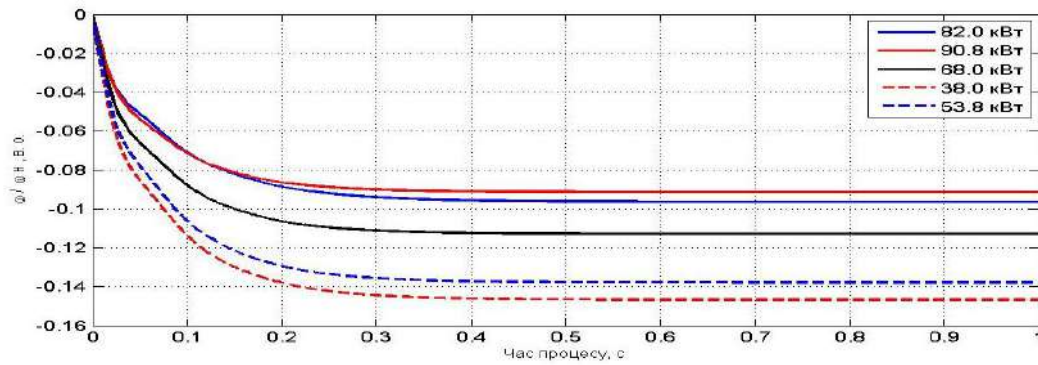


Рисунок 1 - Статичний спад швидкості при нахиді навантаження

За рахунок зміни коефіцієнта оптимізації a можна підвищити діапазон до приблизних значень у 40 – 50. Але при цьому суттєво погіршується динаміка системи, що приводить до збільшення перерегулювання до 60% та підвищення коливальності системи. Це приводить систему до границі стійкості, що ускладнює використання такого підходу збільшення діапазону на практиці.

Розглянемо динаміку відпрацювання швидкості системи при змінному сигналі завдання та з однаковими зовнішніми регуляторами швидкості, що синтезовані при настройці на технічний оптимум (рисунок 2).

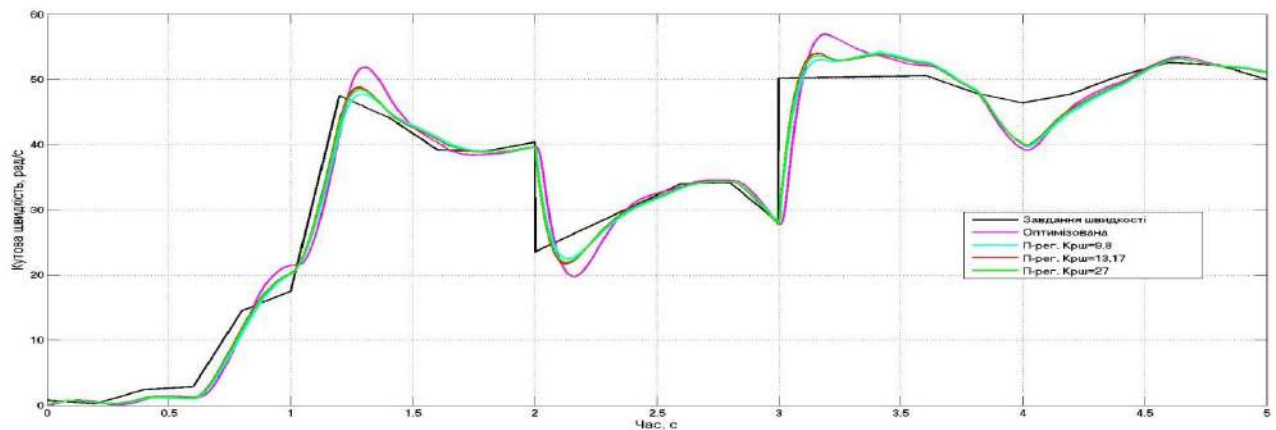


Рисунок 2 - Динаміка системи з П-регулятором швидкості

Таким чином, збільшення $K_{рш}$ суттєво прискорює динаміку системи, що забезпечується завдяки зсуву частоти зрізу всієї системи праворуч. На рисунку 3 показано логарифмічні амплітудо-частотні характеристики (ЛАЧХ) розглянутих систем, де видно, що за рахунок зміни $K_{рш}$ не можливо істотно збільшити частоту зрізу в межах стійкості системи.

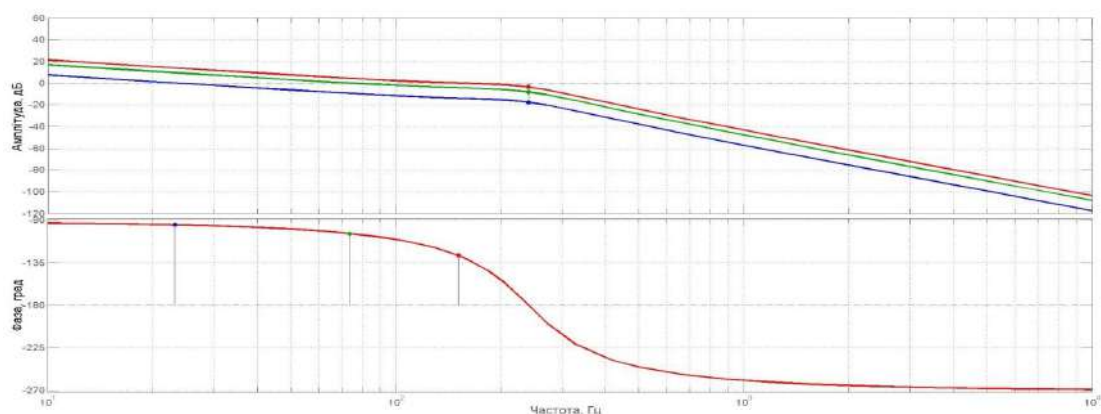


Рисунок 3 - ЛАЧХ при різних П-регуляторах

Отже видно, що настройка на збільшення частоти зрізу дозволяє суттєво покращити відпрацювання системою динамічного завдання. Суттєві стрибки або ярко виражені переходи з однієї швидкості на іншу супроводжуються небажаними кидками швидкості та підвищеною коливальністю, що в свою чергу є слідством збільшення частоти зрізу. Завдяки чисельному експерименту у системі *Matlab*, для різних значень параметрів та законів регулювання було підтверджені, аналітичні залежності які впливають з наведеної методики.

Література

1. **Герман-Галкин, С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB6.0 / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320с.
2. **Попович, М. Г.** Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков [та ін.] ; за ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – К. : Либідь, 2005. – 680 с.

УДК 681.5

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ

Бугрим Леонід Іванович, Шарейко Дмитро Юрійович, Ставинський Ростислав Андрійович, Савченко Олег Валерійович, Горностай Любова Олександрівна.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Двигуни подвійного живлення в порівнянні з вентильними каскадами володіють поруч переваг. До найважливіших з них варто віднести: можливість регулювання реактивної потужності, що циркулює в мережі, що живить двигун подвійного живлення; можливість підтримки оптимального коефіцієнта потужності привода при зміні навантаження на його валу в широких межах; можливість поліпшення режиму роботи живильної мережі в результаті компенсації кидків реактивної потужності шляхом реалізації властивим двигунам подвійного живлення можливості швидкодіючого регулювання значення (а при достатньому запасі електромагнітної потужності двигуна — і знака) реактивної потужності; високі динамічні якості привода при регулюванні моменту, швидкості й активній потужності, обумовлені малою інерцією систем регулювання, здійсненням як рухового, так і гальмового режимів, великою перевантажувальною здатністю і меншим, чим у двигунів постійного струму, моментом інерції ротора асинхронних двигунів; можливість двохзонного регулювання кутової швидкості в тому числі і вище синхронної.

Двигуни подвійного живлення і вентильні каскади мають недоліки: обмежений діапазон регулювання по швидкості і необхідність застосування спеціальних пристроїв для пуску привода які накладають обмеження на раціональні області їхнього застосування. Розглянемо систему регулювання з безпосереднім керуванням моментом (рис.1), побудовану на елементах універсальної блокової системи регулювання УБСР-АІ.

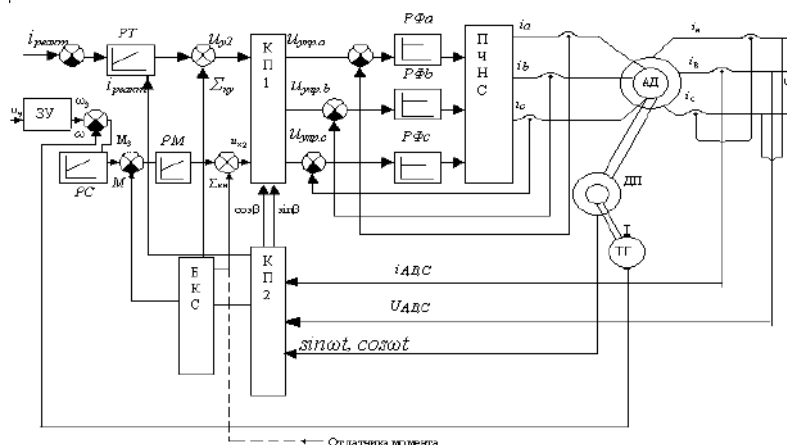


Рисунок 1 Система регулювання з безпосереднім керуванням моментом.

PC — регулятор швидкості; *PM* — регулятор моменту; *PT* — регулятор струму; *КП1*, *КП2* — координатні перетворювачі; *РФ* — регулятори фазних струмів; *АД* — асинхронний двигун, *ДП* — датчик положення; *ТГ* — тахогенератор.