

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Аналіз та дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу»

КНУ.МР.141.24.776-13

Виконав студент II курсу, групи ЕПА-23м /Віталій РЯБЧИК/

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

д.е.н., професор

_____ /Тетяна БЕРІДЗЕ/

Нормоконтролер:

д.е.н., професор

_____ /Тетяна БЕРІДЗЕ/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

_____ /Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____ /Юрій ОСАДЧУК/

Кривий Ріг
2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

РЯБЧИК Віталій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Аналіз та дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів
на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного
електровозу

1. Термін подання студентом роботи: 09 грудня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є аналіз структури
тягового електротехнічного комплексу рудничного контактного
електровозу. Завданням є дослідження впливу зміни параметрів тягових
двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного
контактного електровозу.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Аналіз структури тягового електричного приводу шахтного електровозу; II.
Характеристики ефективного тягового електричного приводу постійного
струму шахтного електровозу; III. Дослідження електромагнітної
сумісності тягового електричного приводу шахтного електровозу з мережею
живлення.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Нормальний режим роботи; II. Режим буксування колісних пар;
III. Режим відмови одного з тягових двигунів; IV. Структура тягового
електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу; V.
Діаграми роботи тягового електроприводу; VI. Діаграми енергоспоживання.-

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Берідзе Т.М.		
II	Берідзе Т.М.		
III	Берідзе Т.М.		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Структура рудничного контактного електровозу	10.09.24
2	Структура тягового електроприводу	12.09.24
3	Аналіз нормального режиму роботи	17.09.24
4	Аналіз режиму буксування колісних пар	19.09.24
5	Аналіз режиму відмови одного з тягових двигунів	24.10.24
6	Діаграми роботи тягового електроприводу	16.11.24
7	Аналіз зміни параметрів тягових двигунів	28.11.24
8	Дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів	30.11.24
9	Діаграми енергоспоживання	04.12.24
10	Система захисту рудничного контактного електровозу	07.12.24

Дата видання завдання 02.09.2024 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Рябчик В.М.
(ПБ)

Керівник роботи _____
(підпис)

Берідзе Т.М.
(ПБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи магістра на тему: «Аналіз та дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу»

Об'єкт розробки – тяговий електропривод електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.

Мета роботи – дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.

У першому розділі проведено аналіз структури тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу. Розглянуто питання режиму роботи тягових двигунів.

У другому розділі досліджено вплив зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при різному їх з'єднанні.

У третьому розділі досліджено питання роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу з мережею живлення. Отримані характеристики вказують, що необхідним є захист мережі живлення при роботі тягового електроприводу.

КОНТАКТНИЙ ЕЛЕКТРОВОЗ, ТЯГОВИЙ ДВИГУН, МЕРЕЖА ЖИВЛЕННЯ, ЗАХИСТ.

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Структура тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.....	13
1.1. Аналіз структур тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.....	13
1.2. Аналіз режимів роботи тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.....	15
1.3. Аналіз ефективності структури тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.....	17
1.4. Обґрунтування вибору структури тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.....	19
Розділ 2. Дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу	20
2.1. Характеристика тягових двигунів електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при їх паралельному з'єднанні.....	20
2.2. Характеристика тягових двигунів електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при їх послідовно - паралельному з'єднанні.....	33
2.3. Характеристика тягових двигунів електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при їх послідовному з'єднанні.....	43
Розділ 3. Дослідження питання роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу з мережею живлення.....	50
3.1. Мережа живлення електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.....	50

3.2. Система захисту електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу	52
3.3. Ефективність роботи тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу з мережею живлення	56
Висновки	58

Вступ

Електровозний транспорт дуже широко використовується у різних галузях промисловості.

Так можна зазначити що системи електровозного транспорту є переважними при здійсненні перевезень та необхідності забезпечення надійною та ефективною роботою потреби промислових об'єктів а також технологічних комплексів.

Можна зазначити також, що у деяких галузях промисловості подібні системи мають визначне значення щодо забезпечення їх стабільною динамікою роботи.

Можна стверджувати, що у таких галузях промисловості як видобувна такі системи забезпечують майже усі роботи щодо перевезення видобутих копалин або переміщенню матеріалів.

Тому від динамічної а також злагодженої роботи електровозного транспорту залежить ефективність видобутку а також транспортування корисних копалин.

Електромеханічні системи транспортних засобів що використовуються на видобувних підприємствах складаються з тягових електромеханічних комплексів та рухомого складу.

До тягових електромеханічних комплексів можна віднести локомотивний транспорт з тяговими електричними двигунами що живляться від мережі живлення електровозу.

Живлення електровозного транспорту здійснюється від тягової електричної підстанції.

Тягові електричні підстанції зазвичай розташовуються уздовж шляху руху електровозного рухомого складу.

Тягові електричні підстанції забезпечують живленням рухомий склад у залежності від пропускної здатності ділянки шляху якою здійснюється перевезення ватажу.

На тягових підстанціях знаходяться тягові агрегати, що забезпечують перетворення параметрів електричної енергії живлення у відповідності до потреб тягових електричних двигунів, що розташовуються безпосередньо на електровозному транспорті.

Тяговий агрегат зазвичай виконується у вигляді некерованого перетворювача.

Таке розташування підстанцій уздовж ділянки шляху забезпечує живленням потяги, що крокують цією ділянкою у відповідності до навантаження, що вони створюють.

Тобто тягові агрегати мають забезпечити потужністю крокуючі потяги під час їх руху.

Також цей показник залежить від кількісного а також якісного складу рухомого складу.

Це безпосередньо впливатиме на значення та рівень спожитої потужності під час здійснення роботи щодо транспортування корисних копалин за допомогою електровозного транспорту.

Живлення електровозного транспорту від тягового агрегату здійснюється за допомогою живильного контактного дроту.

Оскільки для роботи електричного транспорту він має бути забезпечений живленням напругою постійного струму, то у якості одного полюсу живлення

використовується контактний дріт живлення від тягового агрегату, а інший полюс береться від рельсового шляху.

З іншого боку він приєднаний до нульового дроту від тягового агрегату на підстанції.

Отже живлення тягових електричних двигунів електровозного транспорту у кінцевому випадку здійснюється від джерела постійної напруги з пульсуючою формою струму.

Це ускладнює процес регулювання параметрів тягових електричних двигунів.

Тому на електровозному транспорті встановлюються прилади щодо поліпшення якості напруги живлення.

Зазвичай вони носять індуктивний характер.

Такі системи допомагають знизити частоту пульсацій струму у процесі роботи електровозу.

Для приведення у рух електровозу використовують декілька електричних двигунів.

Зазвичай вони розташовані на привідних вісях локомотиву.

Для потреб рудничної електровозної тяги зазвичай вистачає двох або чотирьох привідних вісей що створюють тягове зусилля.

Таким чином відбувається процес паралельної роботи тягових електричних двигунів із виробленням кожним із них електромагнітного моменту відповідно до завантаженості кожного.

Тягові електричні двигуни, що використовуються на рудничних електровозах мають систему послідовного збудження.

Такі двигуни можуть працювати у режимах номінального збудження, а також при форсуванні потоку.

Також для деяких режимів роботи може бути застосовано ослаблення магнітного поля.

Вплив зміни навантаження на роботу тягових електричних двигунів досліджують за допомогою розрахунку перехідних процесів.

При цьому важливим є визначення параметрів та характеристик електричних машин.

Для ефективного регулювання двигунів постійного струму з послідовною обмоткою збудження використовують імпульсні перетворювачі, що змінюють параметри напруги живлення.

При цьому формується відповідне значення електромагнітного моменту, що створює задане зусилля на ободі колеса.

Рівняння механічної стійкості записується виходячи з точки дотику рейки та рухомого колеса.

Слід зазначити що відповідно до кожного рухомого колеса транспортного засобу має бути розв'язане подібне рівняння для визначення складових параметрів руху від кожного з електричних двигунів електромеханічної системи транспортного засобу.

Річ в тім що параметри руху кожного колеса є різними у наслідок їх геометричної розбіжності та різниці у значеннях коефіцієнтів тертя у залежності від стану рейки.

Тому виникають різні значення струмових навантажень кожного з двигунів у процесі руху потягу.

Таким чином виникають різні тягові зусилля від кожного з коліс локомотиву.

Тому необхідним є узгодження цих значень для усунення механічних пульсацій при русі та виникненні процесів юзу або буксування одного з рухомих коліс.

Тому важливим є забезпечення рівномірного розподілу навантаження між тяговими двигунами.

Відтворити цей процес допомагають спеціальні алгоритми роботи тягових електромеханічних систем, що забезпечуються відповідним налаштуванням системи керування тяговим електричним двигуном при живленні його від імпульсного перетворювача.

Подібні алгоритми розраховуються у відповідності до визначення рівнів напруги живлення.

За допомогою алгоритму поліпшеного перемикання напівпровідникових ключів забезпечується підвищення показників перетворення параметрів електричної енергії.

Такі алгоритми формують сигнали керування на відповідні напівпровідникові ключові елементи, забезпечуючи таку послідовність перемикання, що здійснює вирівнювання параметрів електричних двигунів один відносно іншого.

Отже завданням роботи системи керування є визначення алгоритму послідовності серії керуючих сигналів яка забезпечить живлення електричного двигуна необхідним рівнем напруги.

При цьому рівень напруги на якорі кожного з привідних електричних двигунів визначається з огляду на забезпечення однакової частоти обертання відповідно кожного з привідних коліс.

Таким чином відбувається вирівнювання створюваних зусиль відповідно кожного з рушійних коліс.

При цьому забезпечується відсутність коливань швидкості руху та вирівнювання струмових навантажень кожного з електричних двигунів транспортного засобу.

Розділ 1. Структура тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу

1.1. Аналіз структур тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу

Для приведення у рух електровозу використовують декілька електричних двигунів.

Зазвичай вони розташовані на привідних вісях локомотиву.

Таке виконання просто й ефективно дозволяє перетворювати параметри електричної енергії у механічний момент.

Для потреб рудничної електровозної тяги зазвичай вистачає двох або чотирьох привідних вісей що створюють тягове зусилля.

Таким чином електричний транспорт відтворює рух завдяки руху його привідних коліс.

Отже відбувається процес паралельної роботи тягових електричних двигунів із виробленням кожним із них електромагнітного моменту відповідно до завантаженості кожного.

Цей факт потребує додаткового розгляду у питанні рівномірного завантаження кожного з привідних коліс.

Адже від рівномірності розподілу зусилля кожної з колісних пар залежить правильність вибору параметрів електромеханічної системи транспортного засобу уцілому. Останнє питання у багато в чому залежить від вибору тягових електричних двигунів та можливостей а також способу керування такими електричними машинами.

Тягові електричні двигуни, що використовуються на рудничних електровозах мають систему послідовного збудження.

Такі двигуни можуть працювати у режимах номінального збудження, а також при форсуванні потоку.

Також для деяких режимів роботи може бути застосовано режим ослаблення магнітного поля.

1.2. Аналіз режимів роботи тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу

На тягових підстанціях знаходяться тягові агрегати, що забезпечують перетворення параметрів електричної енергії живлення у відповідності до потреб тягових електричних двигунів, що розташовуються безпосередньо на електровозному транспорті.

Їх параметри обираються у залежності від типу навантаження електричної системи.

При цьому такі системи не є регульованими, тому потреби зміни параметрів електричних двигунів у процесі їх роботи слід забезпечувати завдяки можливостям електроприводу.

Оскільки для роботи електричного транспорту він має бути забезпечений живленням напругою постійного струму, то у якості одного полюсу живлення використовується контактний дріт живлення від тягового агрегату, а інший полюс береться від рельсового шляху.

Отже живлення тягових електричних двигунів електровозного транспорту у кінцевому випадку здійснюється від джерела постійної напруги з пульсуючою формою струму.

Це ускладнює процес регулювання параметрів тягових електричних двигунів.

Тому на електровозному транспорті встановлюються прилади щодо поліпшення якості напруги живлення.

Отже для забезпечення потреб регулювання характеристик електромеханічної системи транспортного засобу необхідним є забезпечення можливостей його роботи в усіх режимах.

Для цього необхідним є встановлення засобів поліпшення показників якості споживання електричної енергії а також приладів регулювання його параметрів.

1.3. Аналіз ефективності структури тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу

За допомогою алгоритму поліпшеного перемикання напівпровідникових ключів забезпечується підвищення показників перетворення параметрів електричної енергії.

Такі алгоритми формують сигнали керування на відповідні напівпровідникові ключові елементи, забезпечуючи таку послідовність перемикання, що здійснює вирівнювання параметрів електричних двигунів один відносно іншого.

Слід зазначити що тягові електричні двигуни мають бути однаково завантажені.

Це досягається рівномірним розподілом тягового зусилля щодо кожної з привідних вісей.

На практиці регульованого електроприводу цю умову зручно виконувати зміною параметрів напруги живлення.

Отже завданням роботи системи керування є визначення алгоритму послідовності серії керуючих сигналів яка забезпечить живлення електричного двигуна необхідним рівнем напруги.

При цьому рівень напруги на якорі кожного з привідних електричних двигунів визначається з огляду на забезпечення однакової частоти обертання відповідно кожного з привідних коліс.

Таким чином відбувається вирівнювання створюваних зусиль відповідно кожного з рушійних коліс.

Слід зазначити, що з огляду забезпечення однакової частоти обертання відповідно кожного з привідних коліс, необхідною умовою також виступає забезпечення також однакового значення моменту.

При цьому забезпечується відсутність коливань швидкості руху та вирівнювання струмових навантажень кожного з електричних двигунів транспортного засобу.

1.4. Обґрунтування вибору структури тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу

Для ефективного регулювання двигунів постійного струму з послідовною обмоткою збудження використовують імпульсні перетворювачі, що змінюють параметри напруги живлення.

При цьому формується відповідне значення електромагнітного моменту, що створює задане зусилля на ободі колеса.

У якості перетворювального пристрою використовують імпульсні перетворювачі.

Регулювання параметрів напруги живлення виконується завдяки зміні тривалості ввімкнення вентилів.

Розділ 2. Дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу

2.1. Характеристика тягових двигунів електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при їх паралельному з'єднанні

Вплив зміни навантаження на роботу тягових електричних двигунів досліджують за допомогою розрахунку перехідних процесів.

При цьому важливим є визначення параметрів та характеристик електричних машин.

Рівняння механічної стійкості записується виходячи з точки дотику рейки та рухомого колеса.

Слід зазначити що відповідно до кожного рухомого колеса транспортного засобу має бути розв'язане подібне рівняння для визначення складових параметрів руху від кожного з електричних двигунів електромеханічної системи транспортного засобу.

Річ в тім що параметри руху кожного колеса є різними у наслідок їх геометричної розбіжності та різниці у значеннях коефіцієнтів тертя у залежності від стану рейки.

Тому виникають різні значення струмових навантажень кожного з двигунів у процесі руху потягу.

Таким чином виникають різні тягові зусилля від кожного з коліс локомотиву.

Тому необхідним є узгодження цих значень для усунення механічних пульсацій при русі та виникненні процесів юзу або буксування одного з рухомих коліс.

Тому важливим є забезпечення рівномірного розподілу навантаження між тяговими двигунами.

Відтворити цей процес допомагають спеціальні алгоритми роботи тягових електромеханічних систем, що забезпечуються відповідним налаштуванням системи керування тяговим електричним двигуном при живленні його від імпульсного перетворювача.

Подібні алгоритми розраховуються у відповідності до визначення рівнів напруги живлення.

$$\begin{aligned}
 U &= I_1 (\omega k_1 + R_1), \\
 U &= I_2 (\omega k_2 + R_2), \\
 U &= I_3 (\omega k_3 + R_3), \\
 U &= I_4 (\omega k_4 + R_4).
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Тоді для струмів:

$$I_1 = \frac{U}{(\omega k_1 + R_1)}, \tag{2.2}$$

$$I_2 = \frac{U}{(\omega k_2 + R_2)}, \tag{2.3}$$

$$I_3 = \frac{U}{(\omega k_3 + R_3)}, \tag{2.4}$$

$$I_4 = \frac{U}{(\omega k_4 + R_4)}. \tag{2.5}$$

Для моменту:

$$M = I_1 k \Phi_1 + I_2 k \Phi_2 + I_3 k \Phi_3 + I_4 k \Phi_4 = I_1^2 k_1 + I_2^2 k_2 + I_3^2 k_3 + I_4^2 k_4 \quad (2.6)$$

Отже:

$$M = \left(\frac{U}{\omega k_1 + R_1} \right)^2 k_1 + \left(\frac{U}{\omega k_2 + R_2} \right)^2 k_2 + \left(\frac{U}{\omega k_3 + R_3} \right)^2 k_3 + \left(\frac{U}{\omega k_4 + R_4} \right)^2 k_4 \quad (2.7)$$

Тоді:

$$M = U^2 \left(\frac{k_1}{(\omega k_1 + R_1)^2} + \frac{k_2}{(\omega k_2 + R_2)^2} + \frac{k_3}{(\omega k_3 + R_3)^2} + \frac{k_4}{(\omega k_4 + R_4)^2} \right) \quad (2.8)$$

Представимо характеристики відповідно до розрахунків.

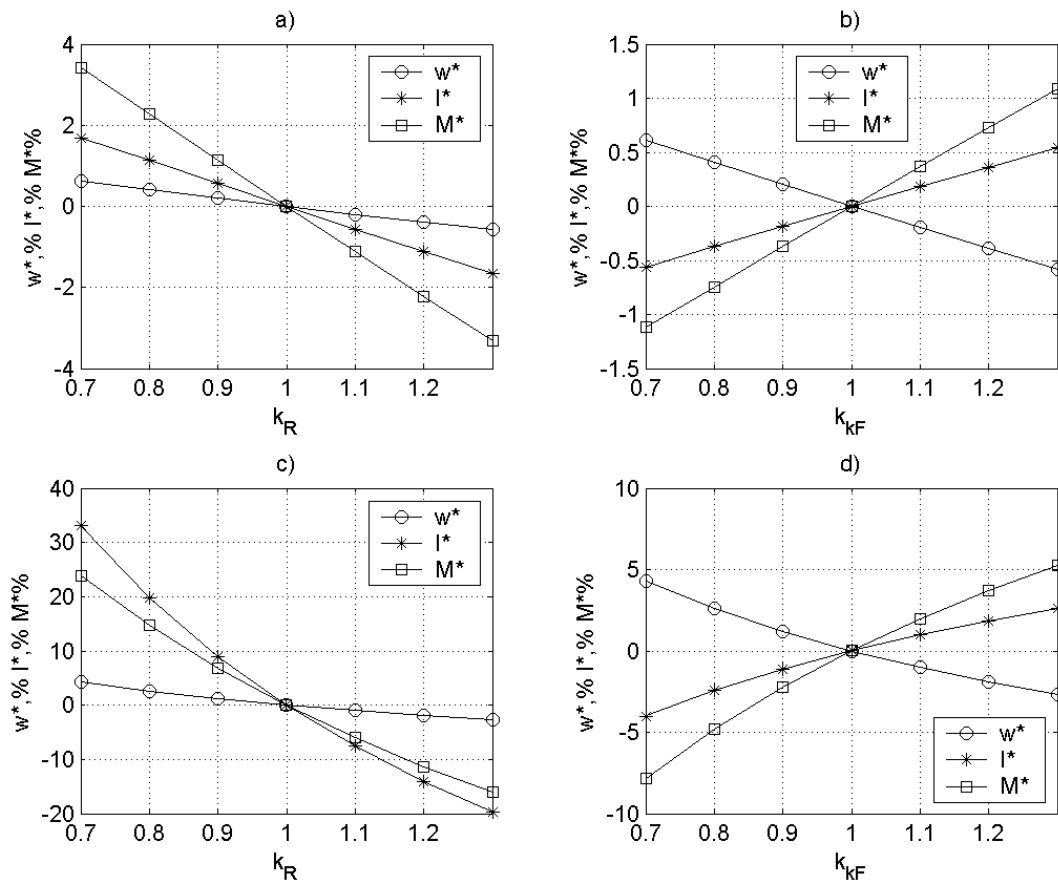


Рис. 2.1. Нормальний режим роботи:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

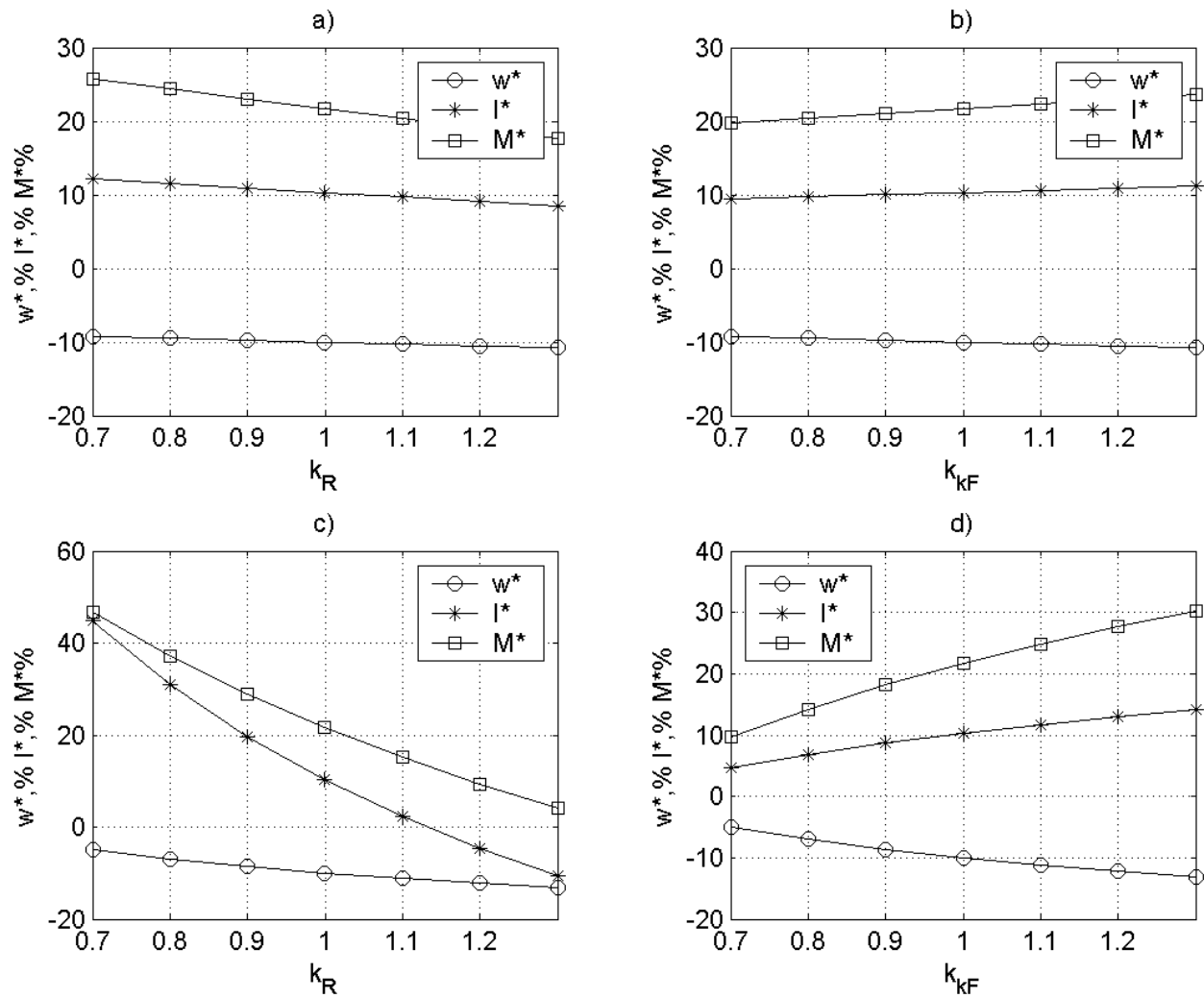


Рис. 2.2. Режим роботи при буксуванні:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

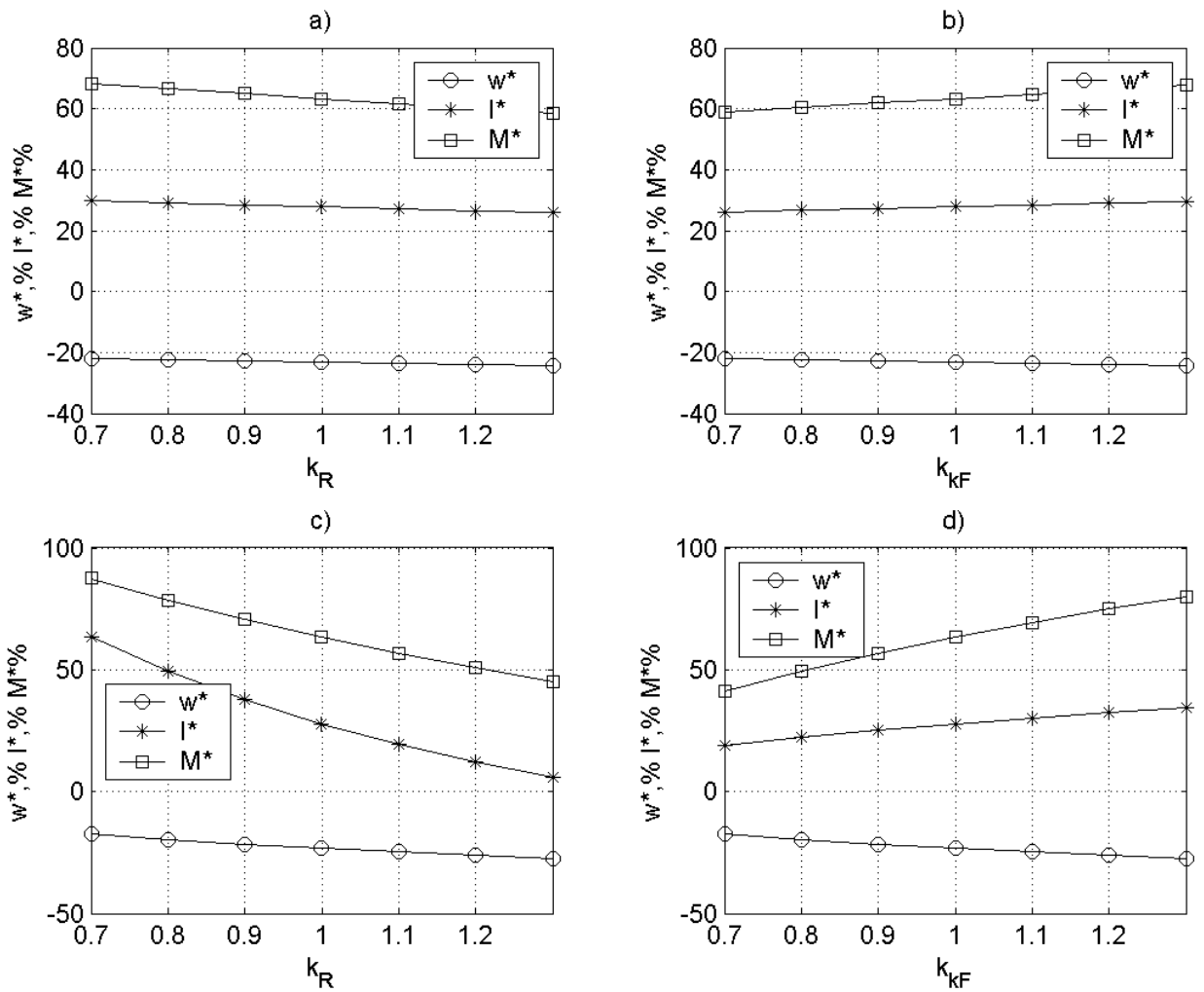


Рис. 2.3. Режим роботи при проковзуванні:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

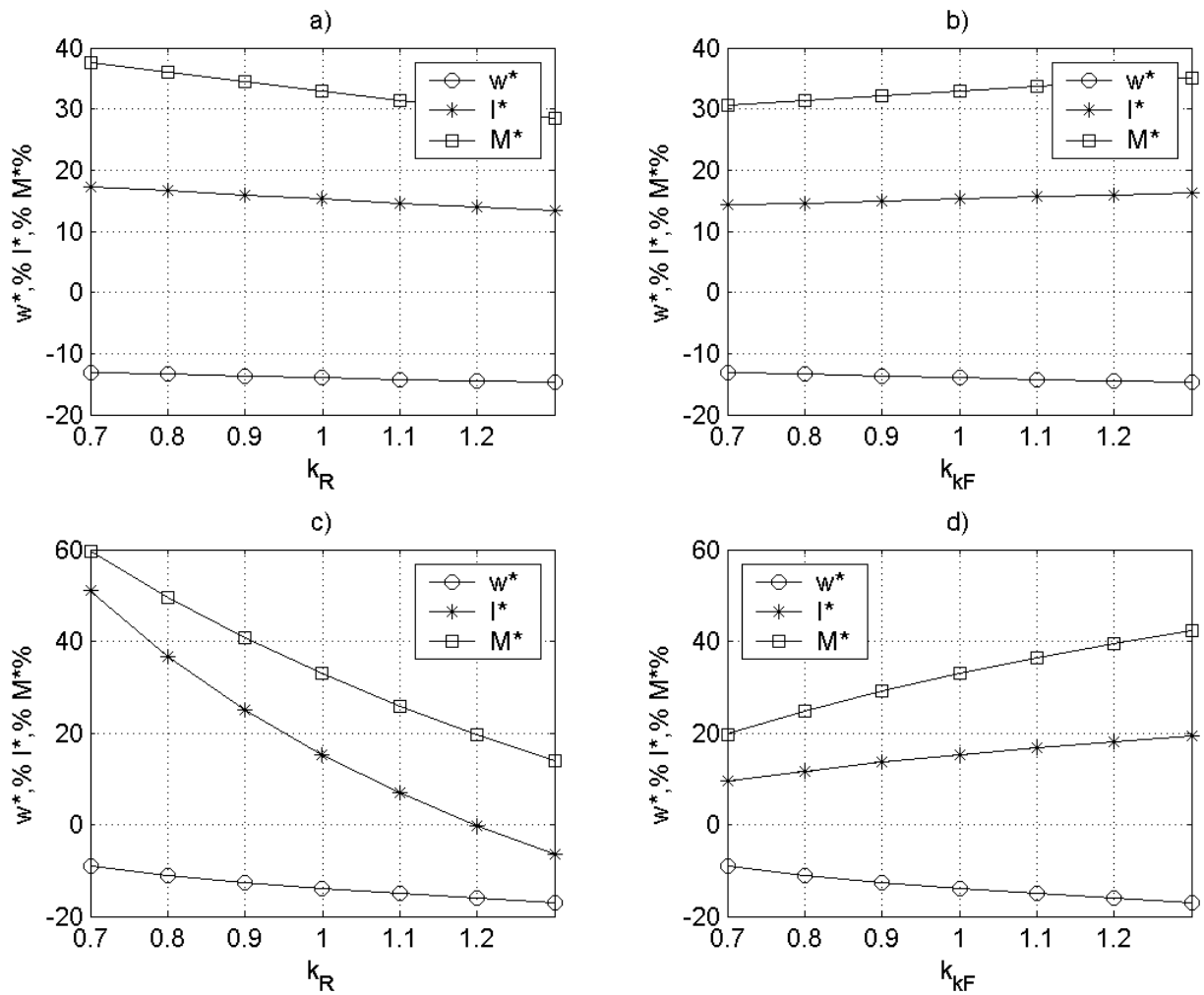


Рис. 2.4. Режим роботи при поламці:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

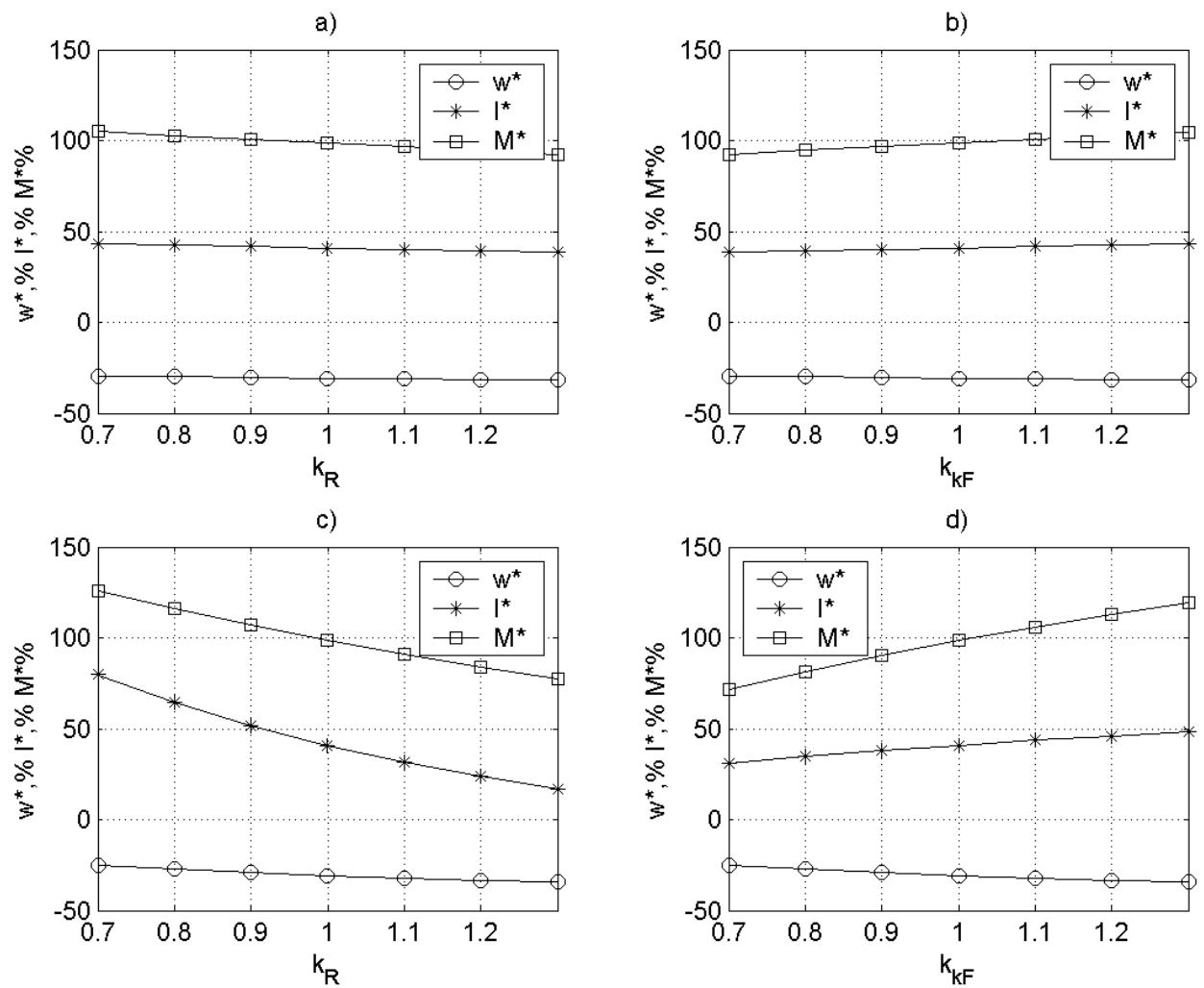


Рис. 2.5. Режим роботи при поламці:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

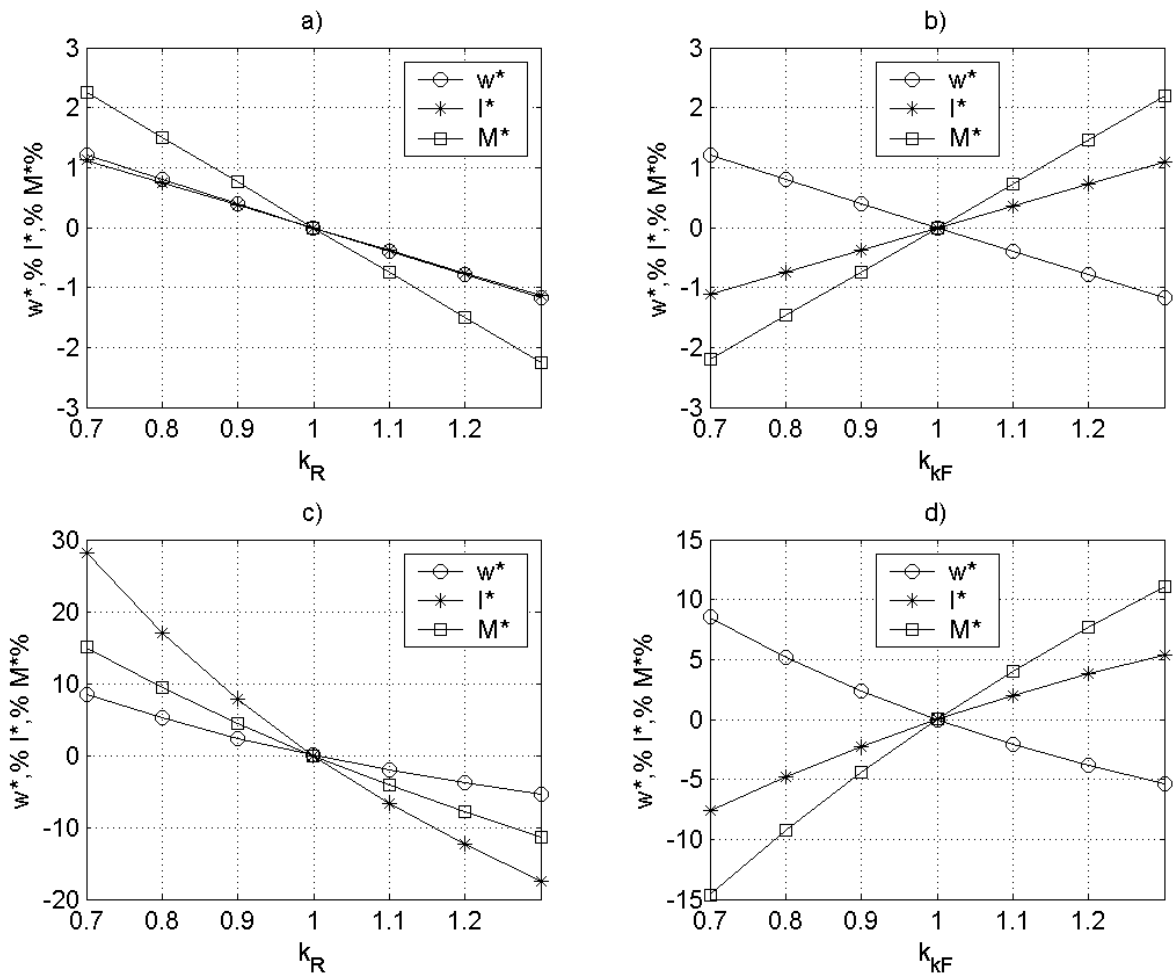


Рис. 2.6. Нормальний режим роботи двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

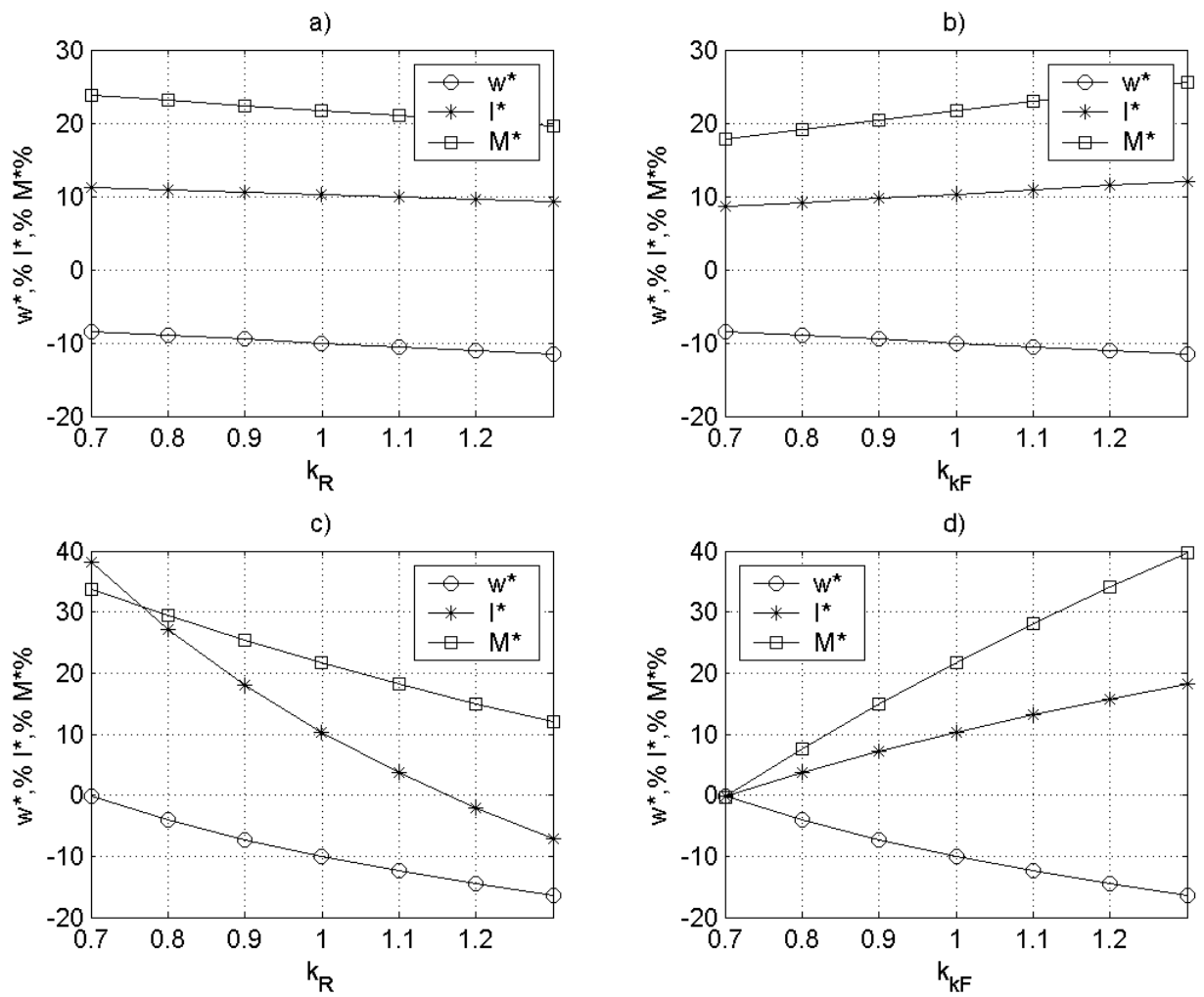


Рис. 2.7. Режим роботи при буксуванні двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

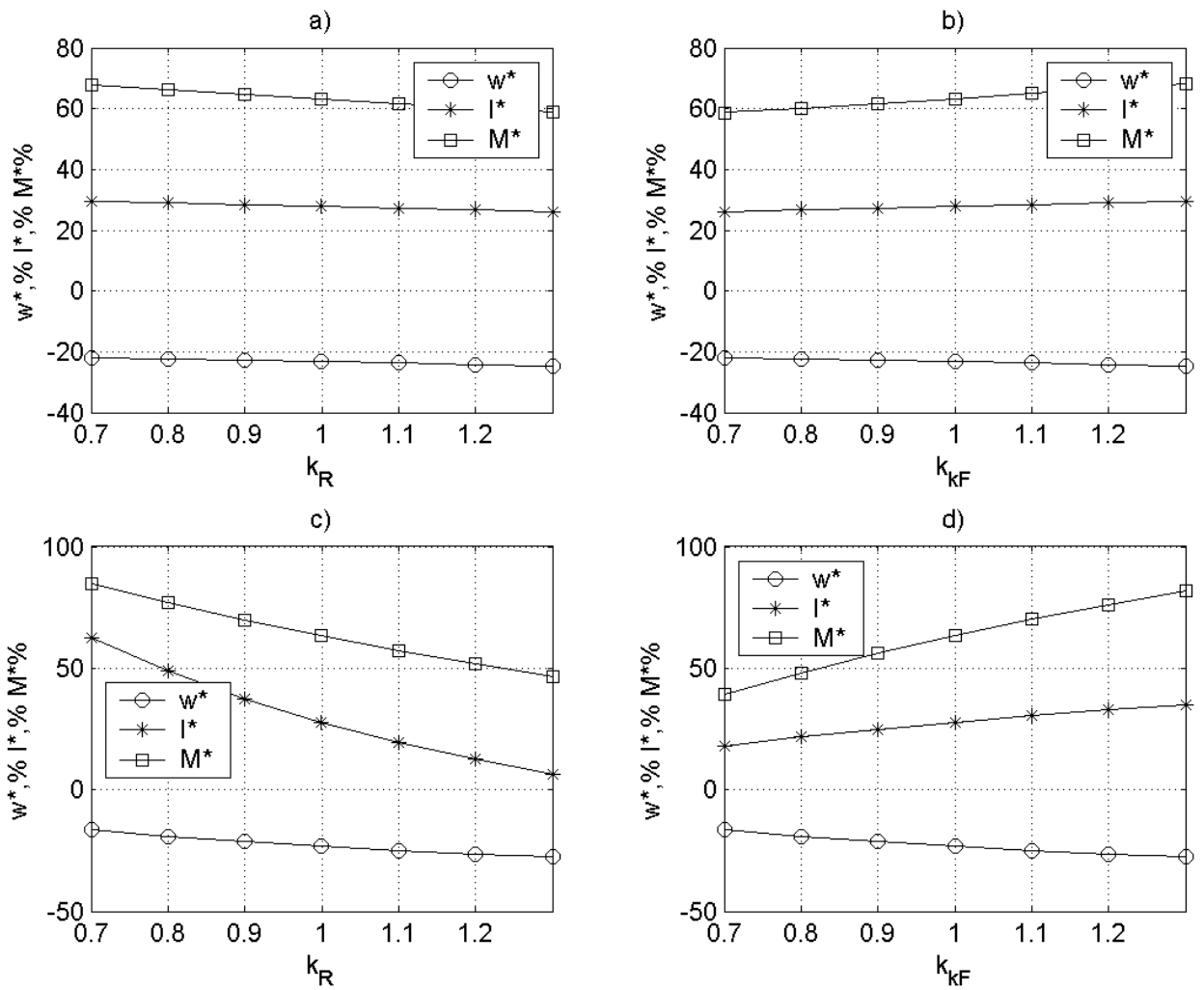


Рис. 2.8. Режим роботи при проковзуванні двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

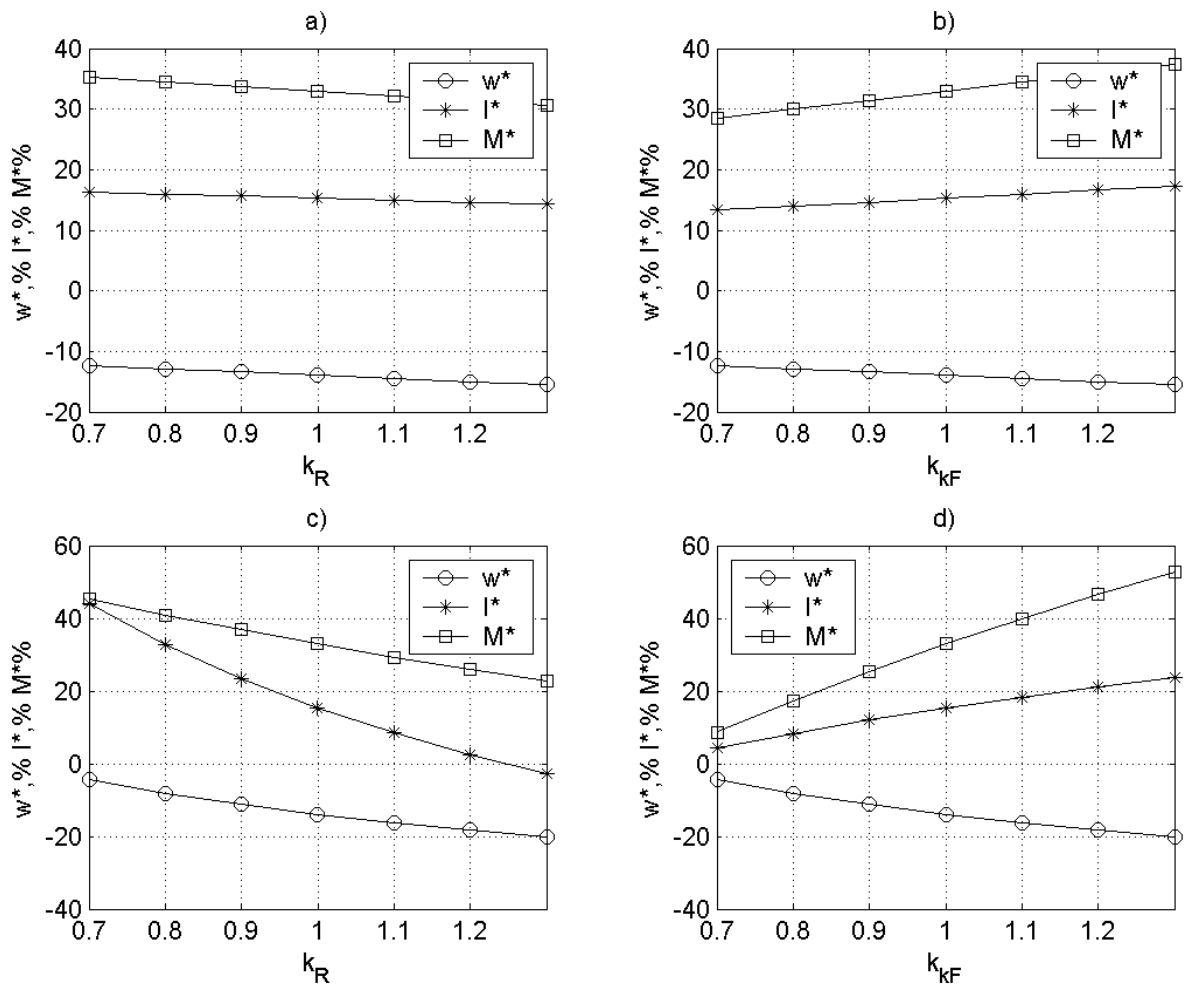


Рис. 2.9. Режим роботи при поламці двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; с) при зміні опору другого з двигунів; д) при зміні потоку другого з двигунів.

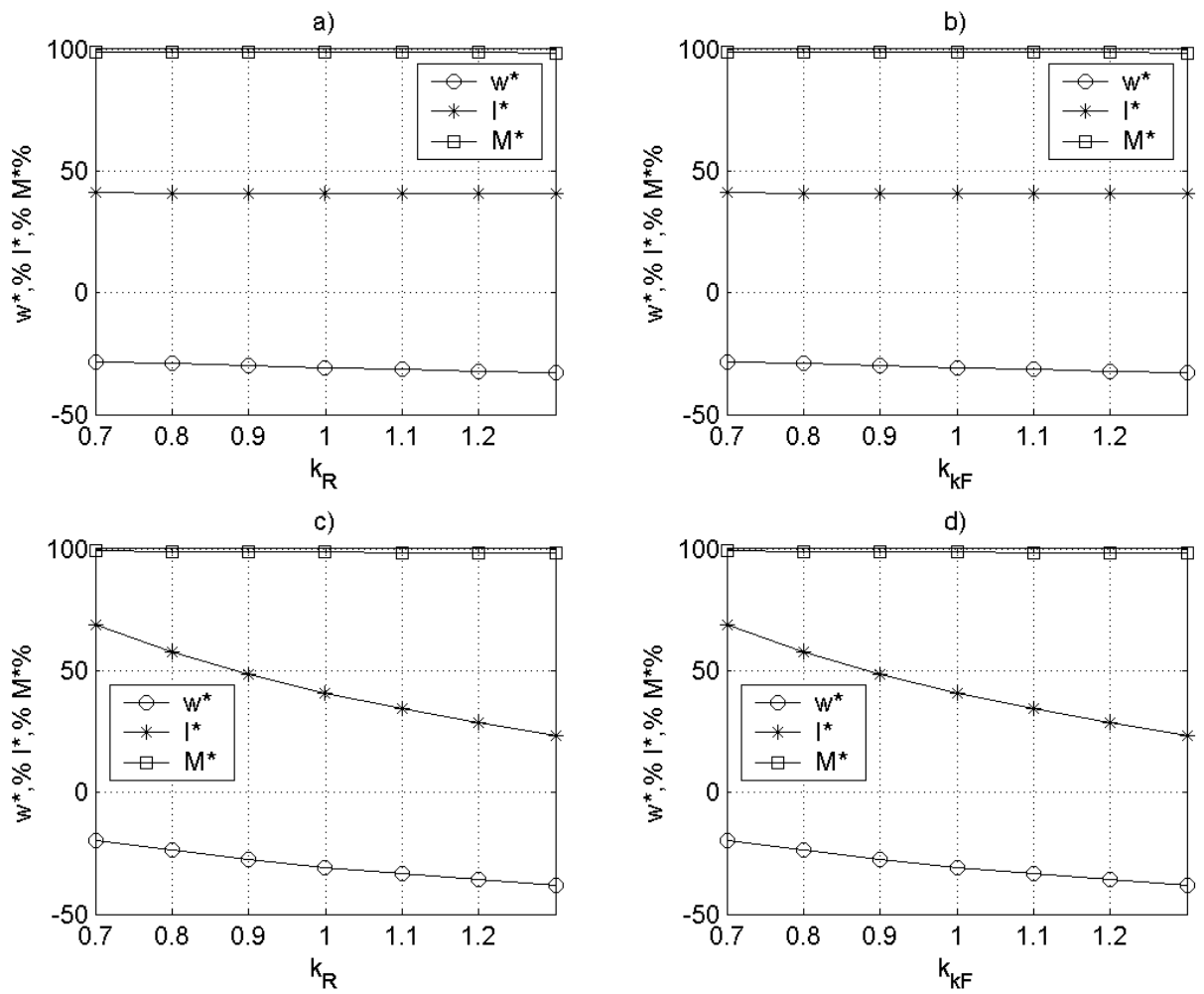


Рис. 2.10. Режим роботи при поламці двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

2.2. Характеристика тягових двигунів електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при їх послідовно - паралельному з'єднанні

При зміні послідовності приєднання тягових електричних двигунів слід зробити перерахунок параметрів електромеханічної системи відносно нових умов роботи.

Рівняння моменту матиме наступний вигляд:

$$M = I_{12} (k\Phi_1 + k\Phi_2) + I_{34} (k\Phi_3 + k\Phi_4) = I_{12}^2 (k_1 + k_2) + I_{34}^2 (k_3 + k_4), \quad (2.9)$$

де k_1, k_2, k_3, k_4 — коефіцієнти пропорційності струмному та магнітного потоку.

Тоді для напруги:

$$U = \omega(k\Phi_1 + k\Phi_2) + I_{12} (R_1 + R_2) = \omega I_{12} (k_1 + k_2) + I_{12} (R_1 + R_2) \quad (2.10)$$

Для струму:

$$I_{12} = \frac{U}{\omega(k_1 + k_2) + (R_1 + R_2)}. \quad (2.11)$$

Отже:

$$U = \omega(k\Phi_3 + k\Phi_4) + I_{34} (R_3 + R_4) = \omega I_{34} (k_3 + k_4) + I_{34} (R_3 + R_4) \quad (2.12)$$

А за струмом:

$$I_{34} = \frac{U}{\omega(k_3 + k_4) + (R_3 + R_4)}. \quad (2.13)$$

Тоді:

$$M = \left(\frac{U}{\omega(k_1 + k_2) + (R_1 + R_2)} \right)^2 (k_1 + k_2) + \left(\frac{U}{\omega(k_3 + k_4) + (R_3 + R_4)} \right)^2 (k_3 + k_4). \quad (2.14)$$

Остаточно:

$$M = U^2 \left(\frac{(k_1 + k_2)^2}{(\omega(k_1 + k_2) + (R_1 + R_2))^2} + \frac{(k_3 + k_4)^2}{(\omega(k_3 + k_4) + (R_3 + R_4))^2} \right). \quad (2.15)$$

Представимо характеристики згідно нових умов роботи відповідно до розрахунків.

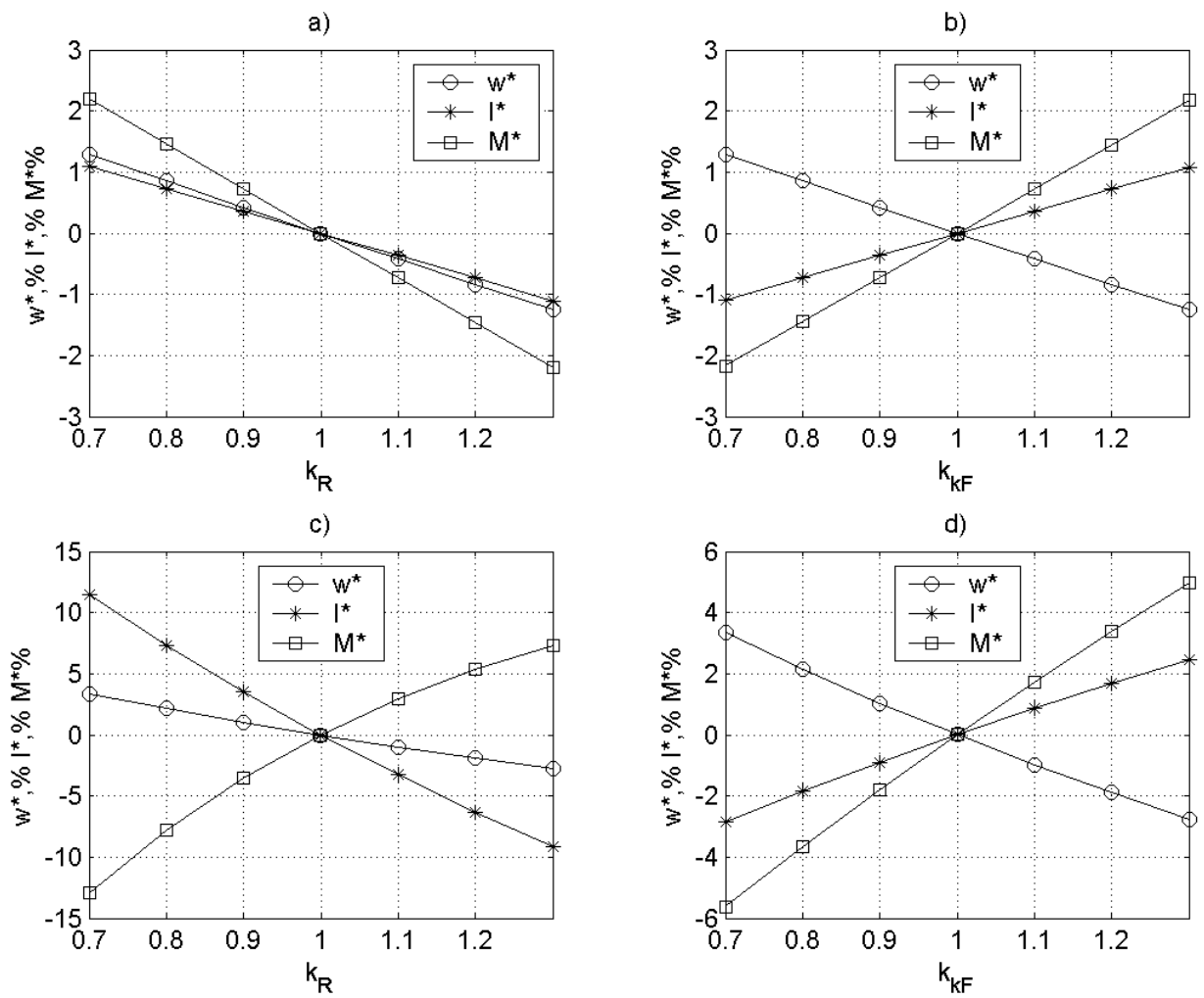


Рис. 2.11. Нормальный режим работы:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

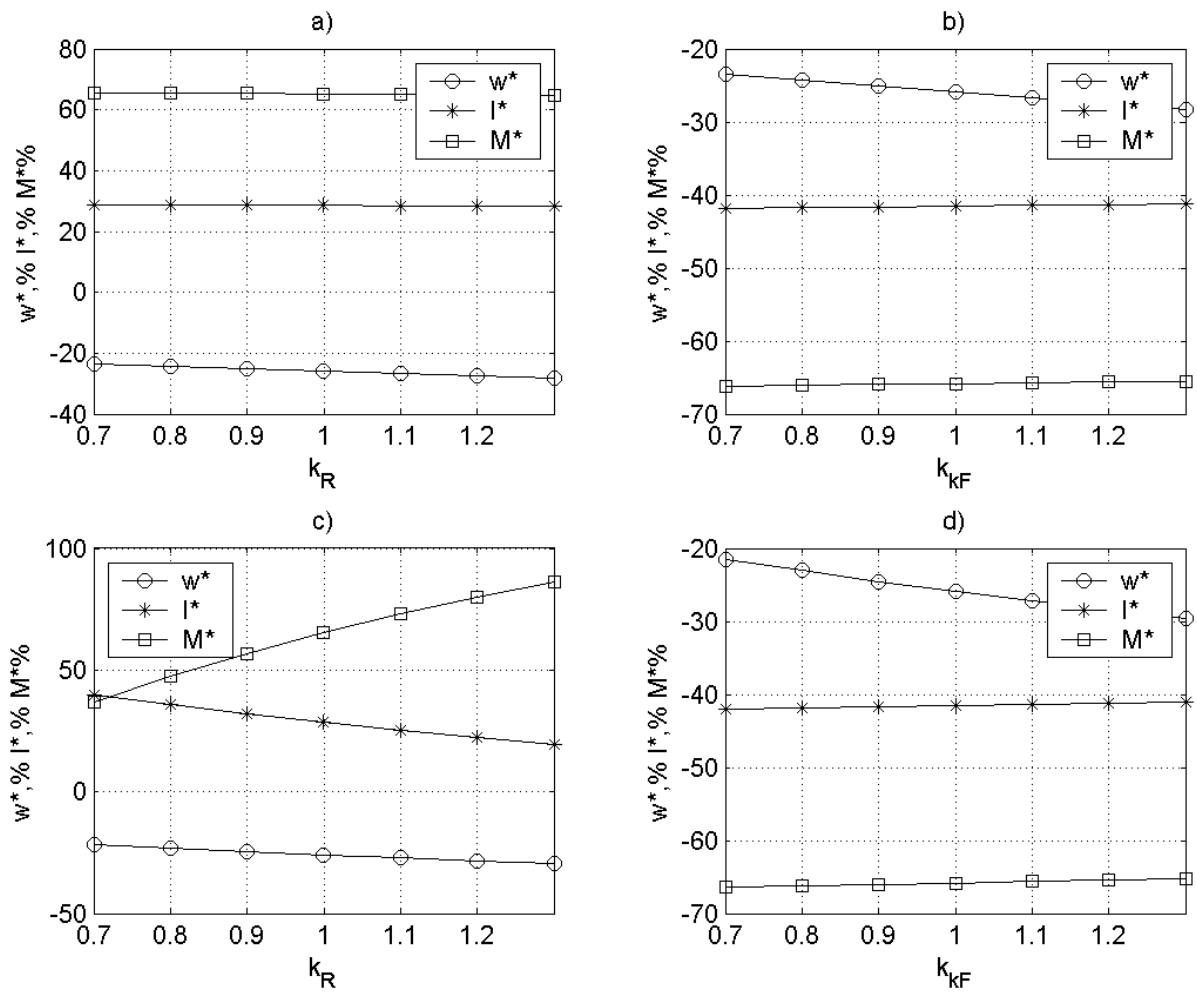


Рис. 2.12. Режим роботи при буксуванні:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

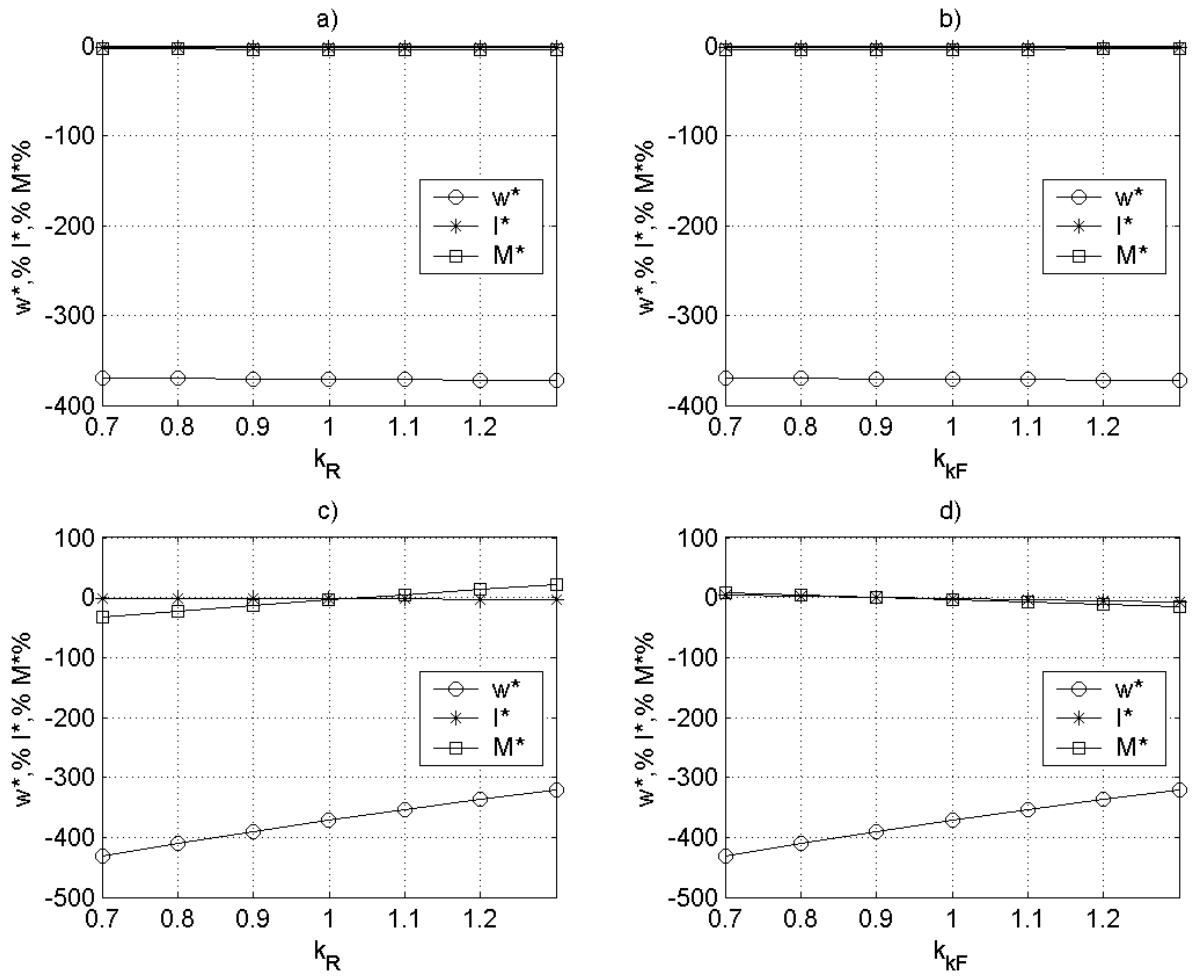


Рис. 2.13. Режим роботи при проковзуванні:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

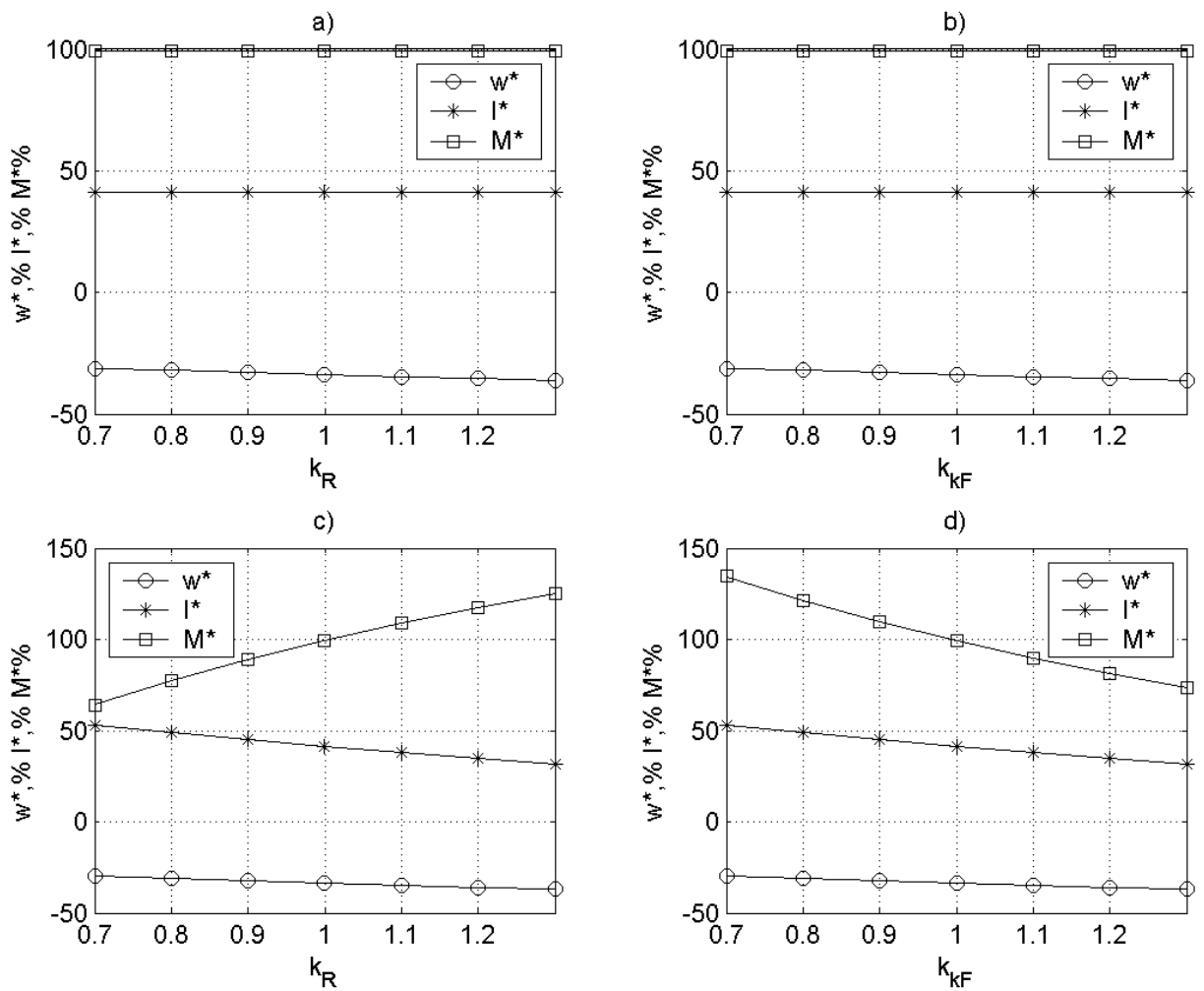


Рис. 2.14. Режим роботи при поламці:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

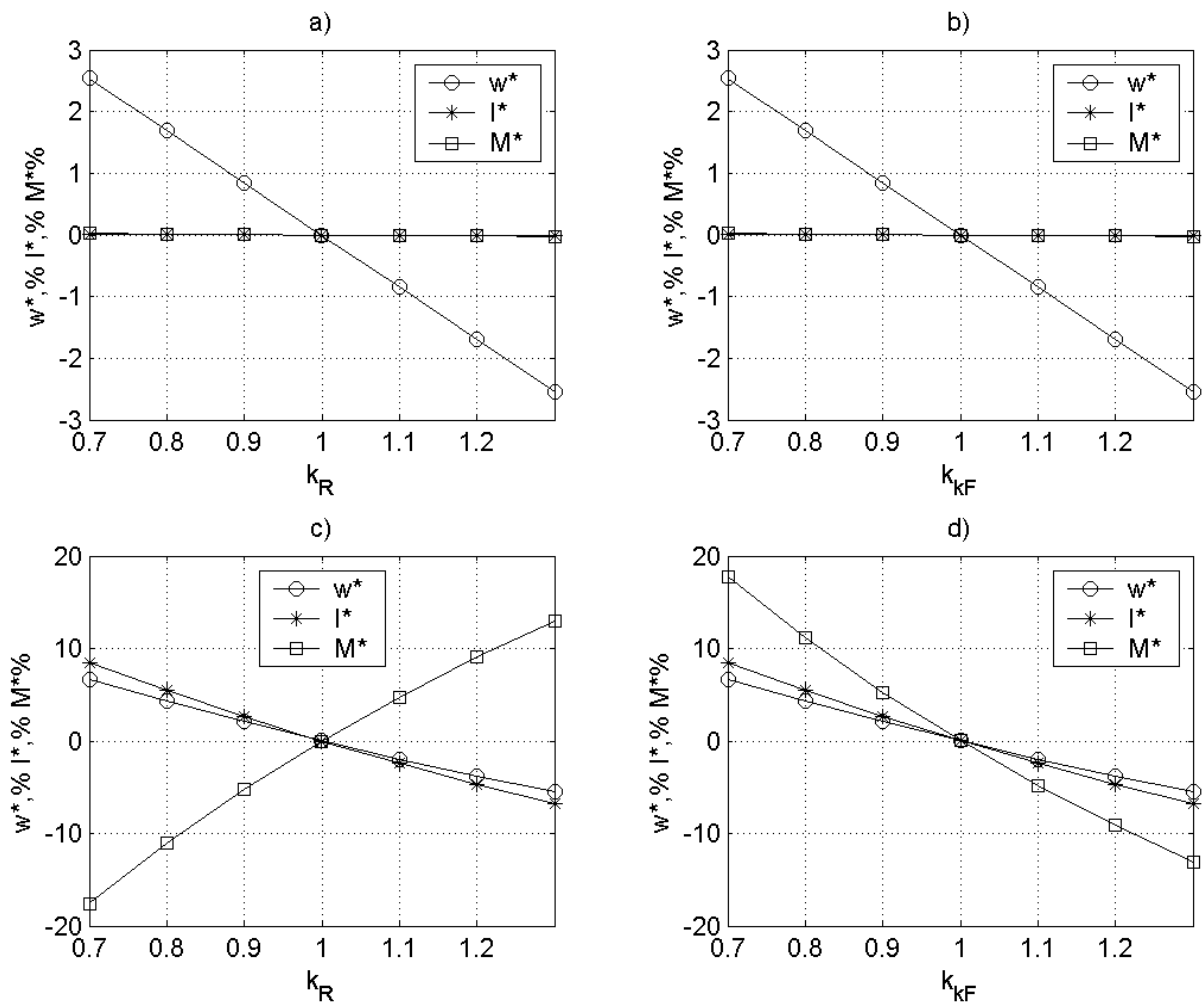


Рис. 2.15. Нормальный режим работы двух двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

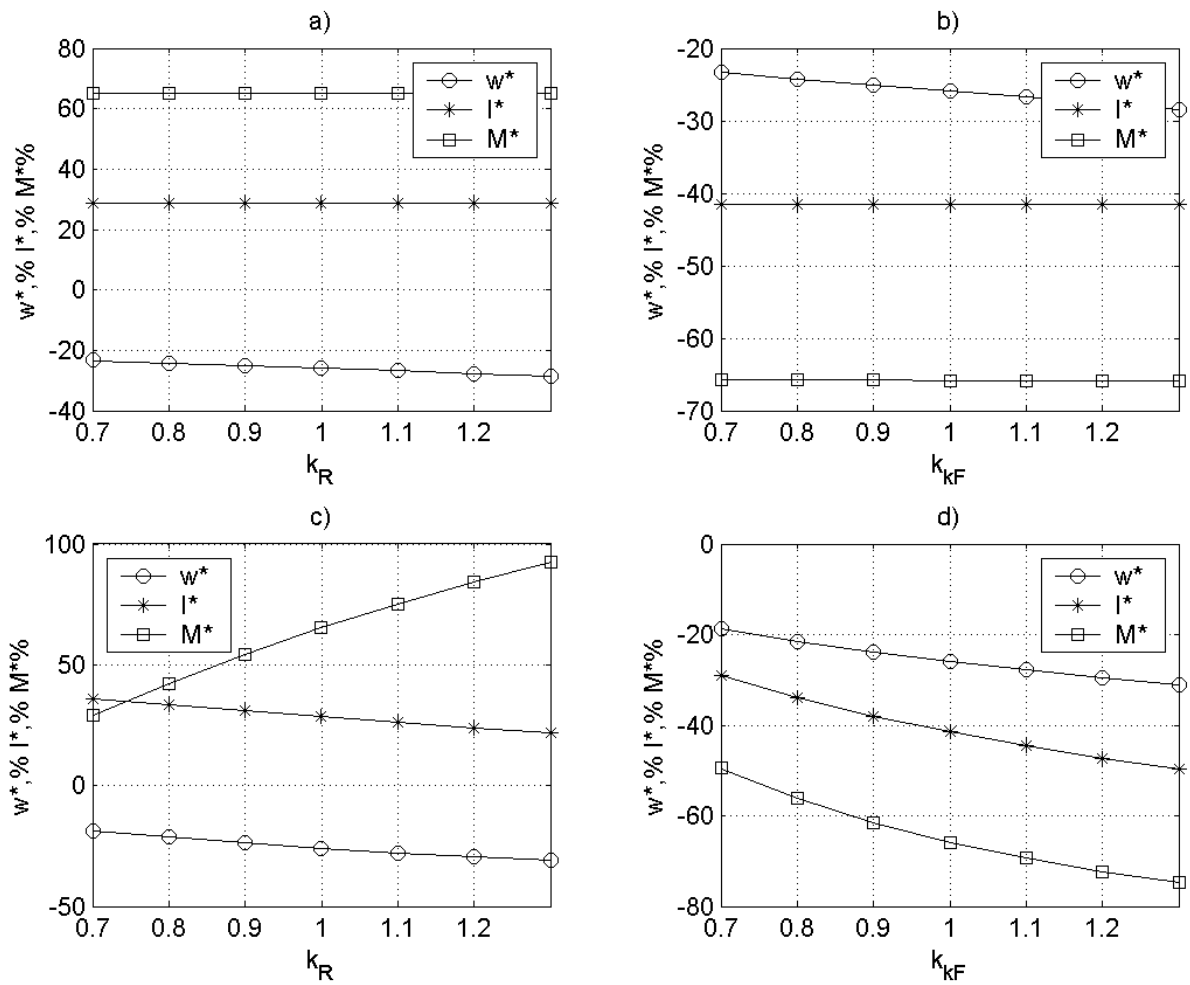


Рис. 2.16. Режим роботи при буксуванні двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

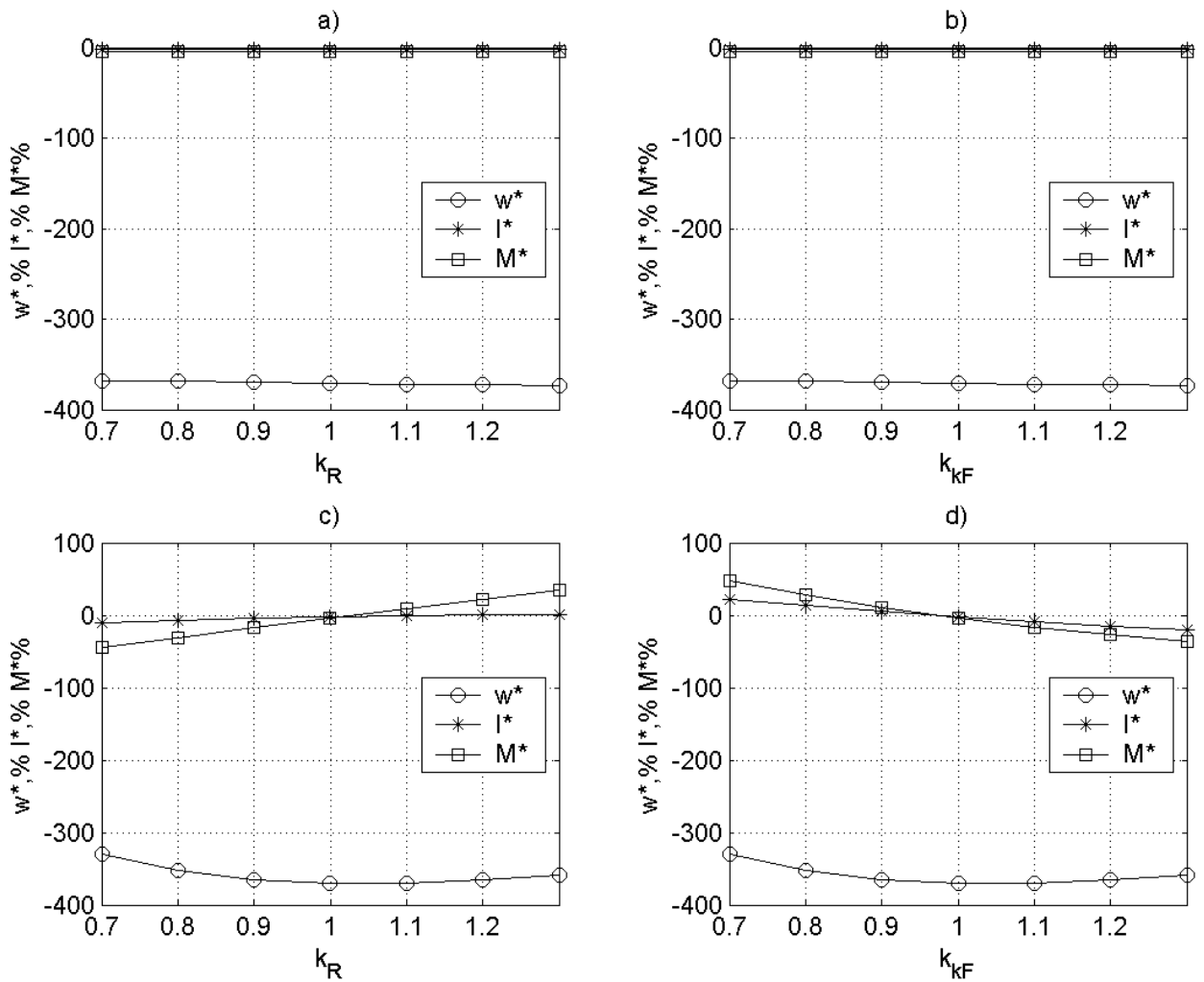


Рис. 2.17. Режим роботи при проковзуванні двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

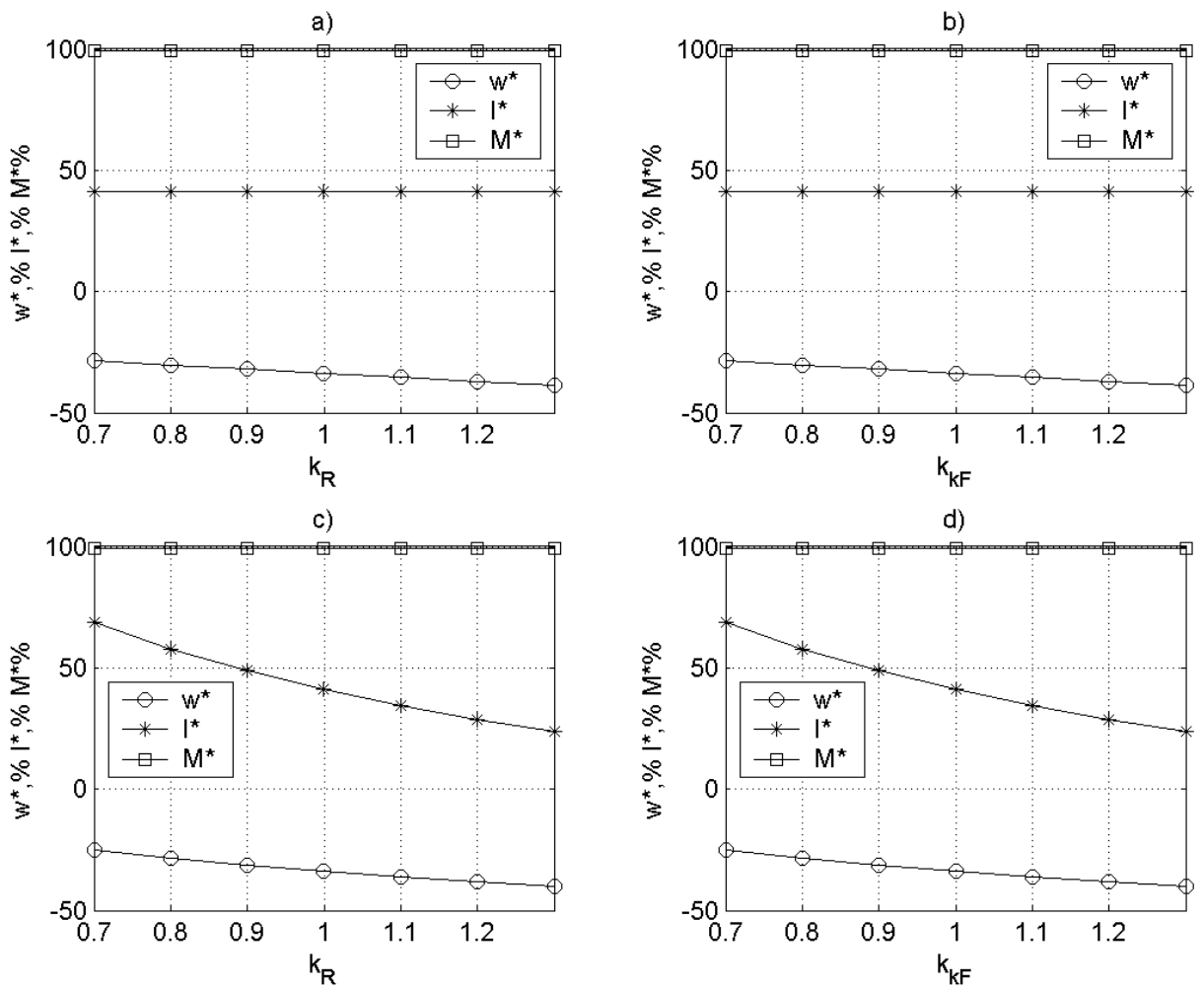


Рис. 2.18. Режим роботи при поламці двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

2.3. Характеристика тягових двигунів електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при їх послідовному з'єднанні

Зробити перерахунок параметрів електромеханічної системи відносно нових умов роботи при зміні послідовності приєднання тягових електричних двигунів.

Рівняння напруги матиме наступний вигляд:

$$U = \omega(k\Phi_1 + k\Phi_2 + k\Phi_3 + k\Phi_4) + I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4). \quad (2.16)$$

Тоді:

$$U = I(\omega(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)). \quad (2.17)$$

Для струму:

$$I = \frac{U}{\omega(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}. \quad (2.18)$$

Рівняння моменту матиме наступний вигляд:

$$M = I(k\Phi_1 + k\Phi_2 + k\Phi_3 + k\Phi_4) = I^2(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) \quad (2.19)$$

Тоді:

$$M = U^2 \frac{(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)}{(\omega(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4))^2}. \quad (2.20)$$

Представимо характеристики згідно нових умов роботи відповідно до розрахунків.

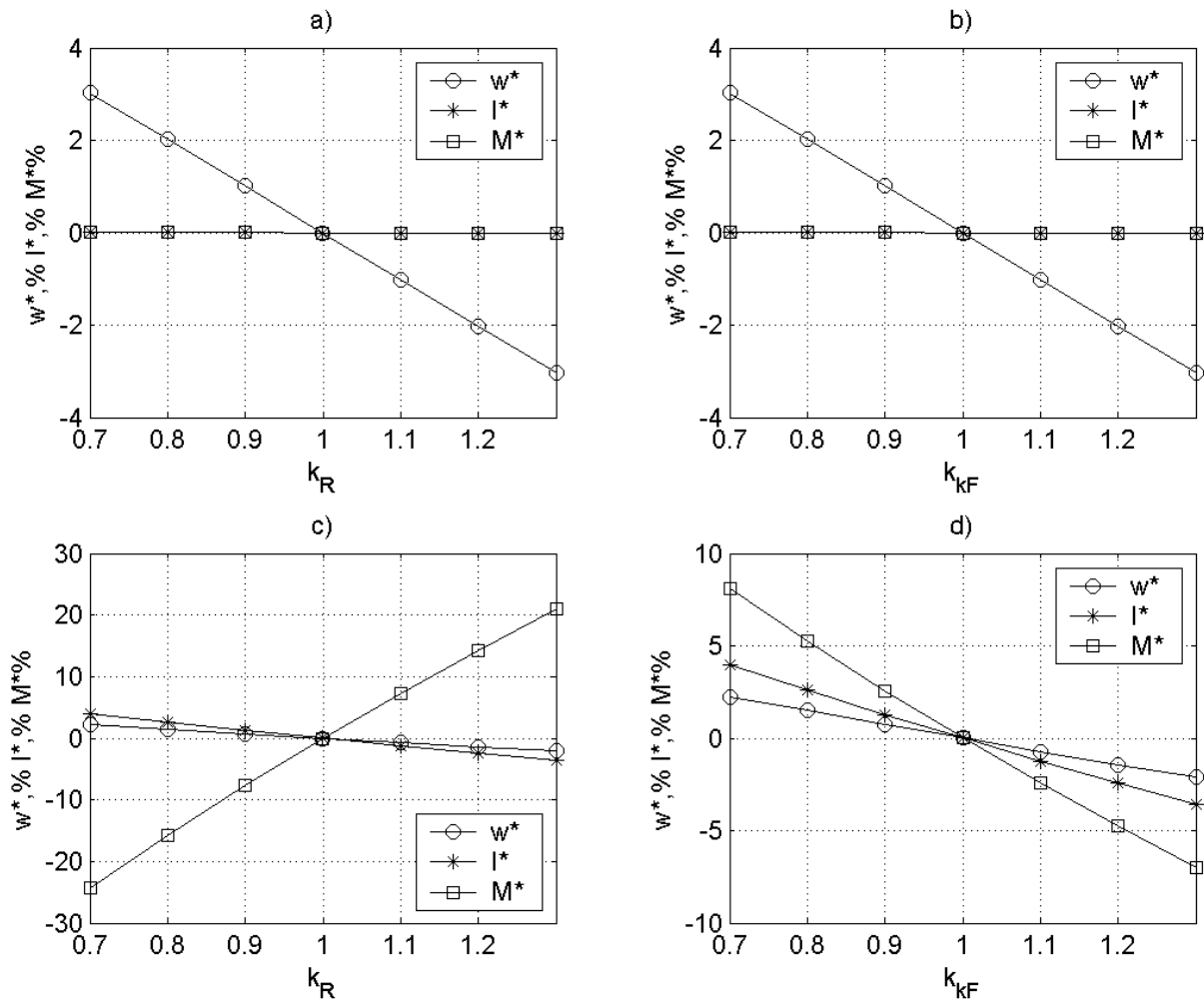


Рис. 2.19. Нормальний режим роботи:

a) при зміні опору одного з двигунів; b) при зміні потоку одного з двигунів; c) при зміні опору другого з двигунів; d) при зміні потоку другого з двигунів.

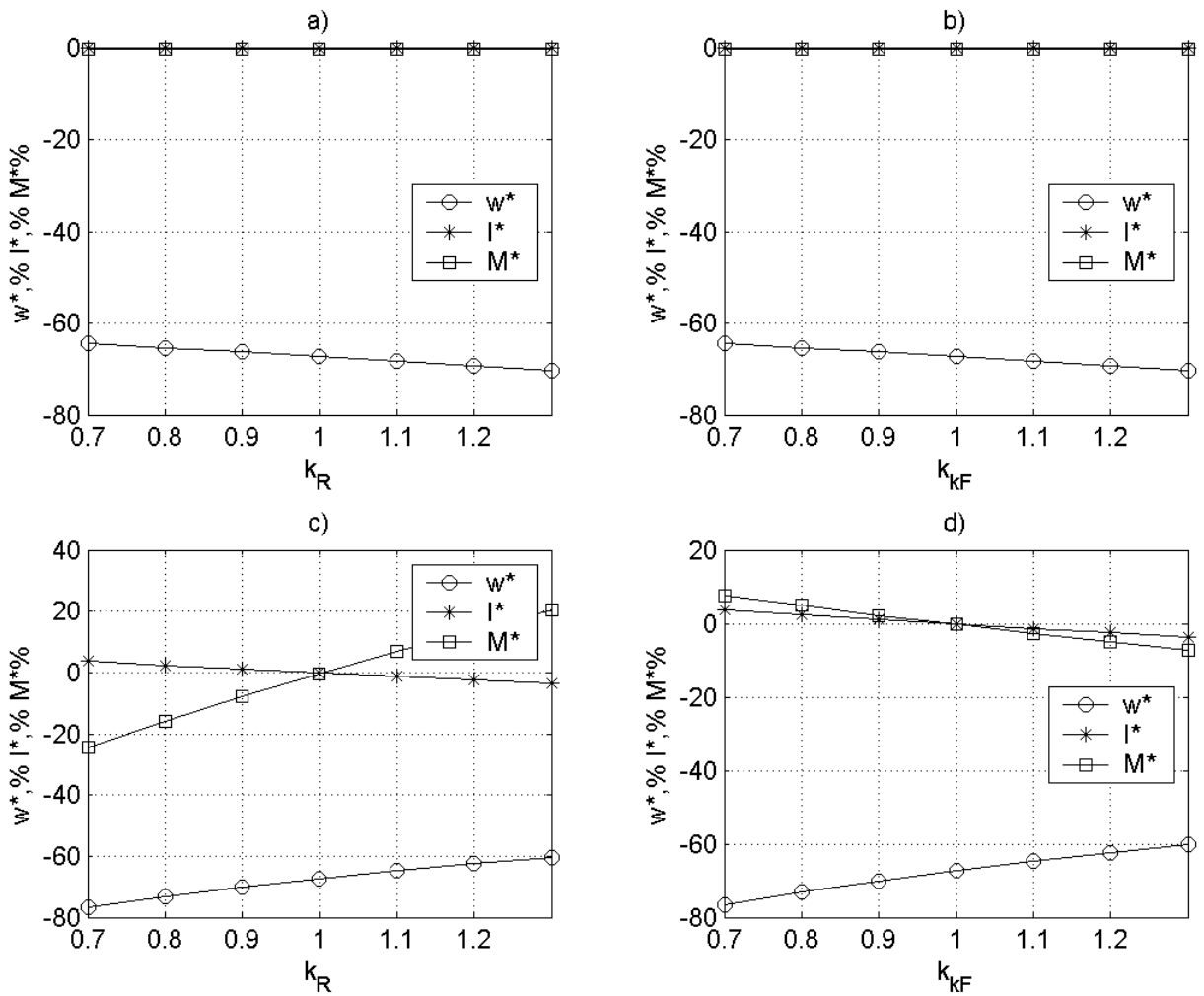


Рис. 2.20. Режим роботи при пробуксовуванні:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

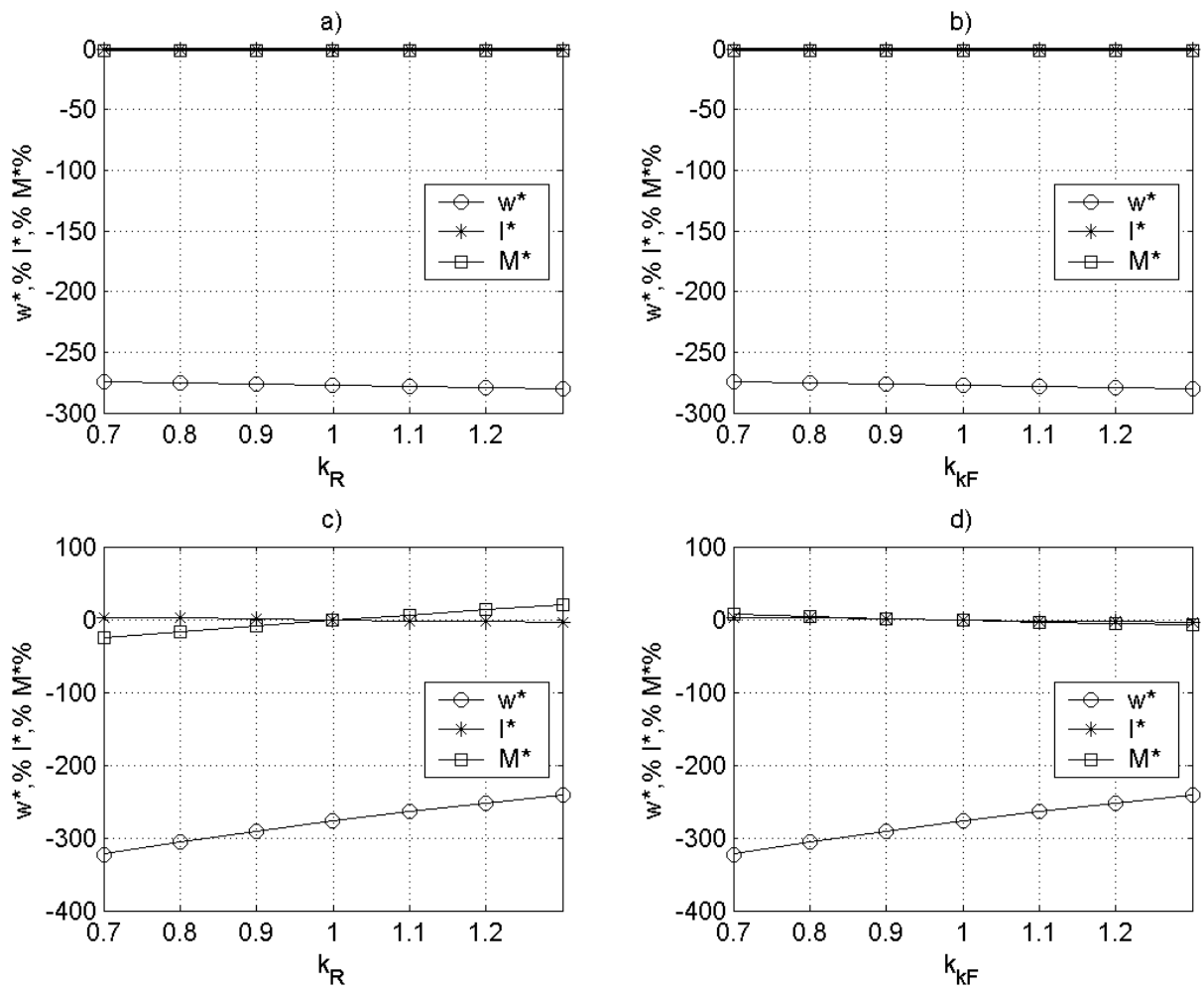


Рис. 2.21. Режим роботи при проковзуванні:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

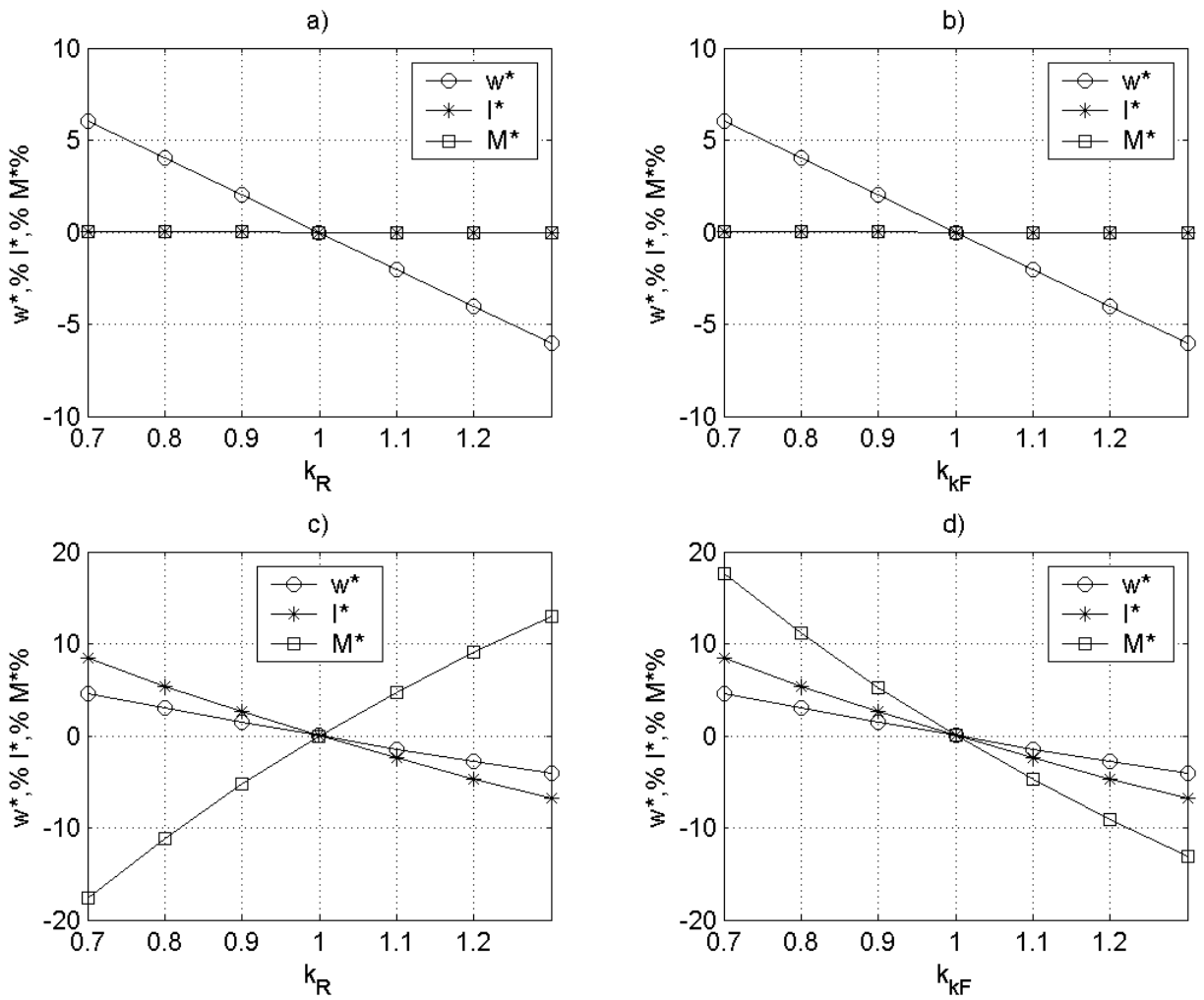


Рис. 2.22. Нормальний режим роботи двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

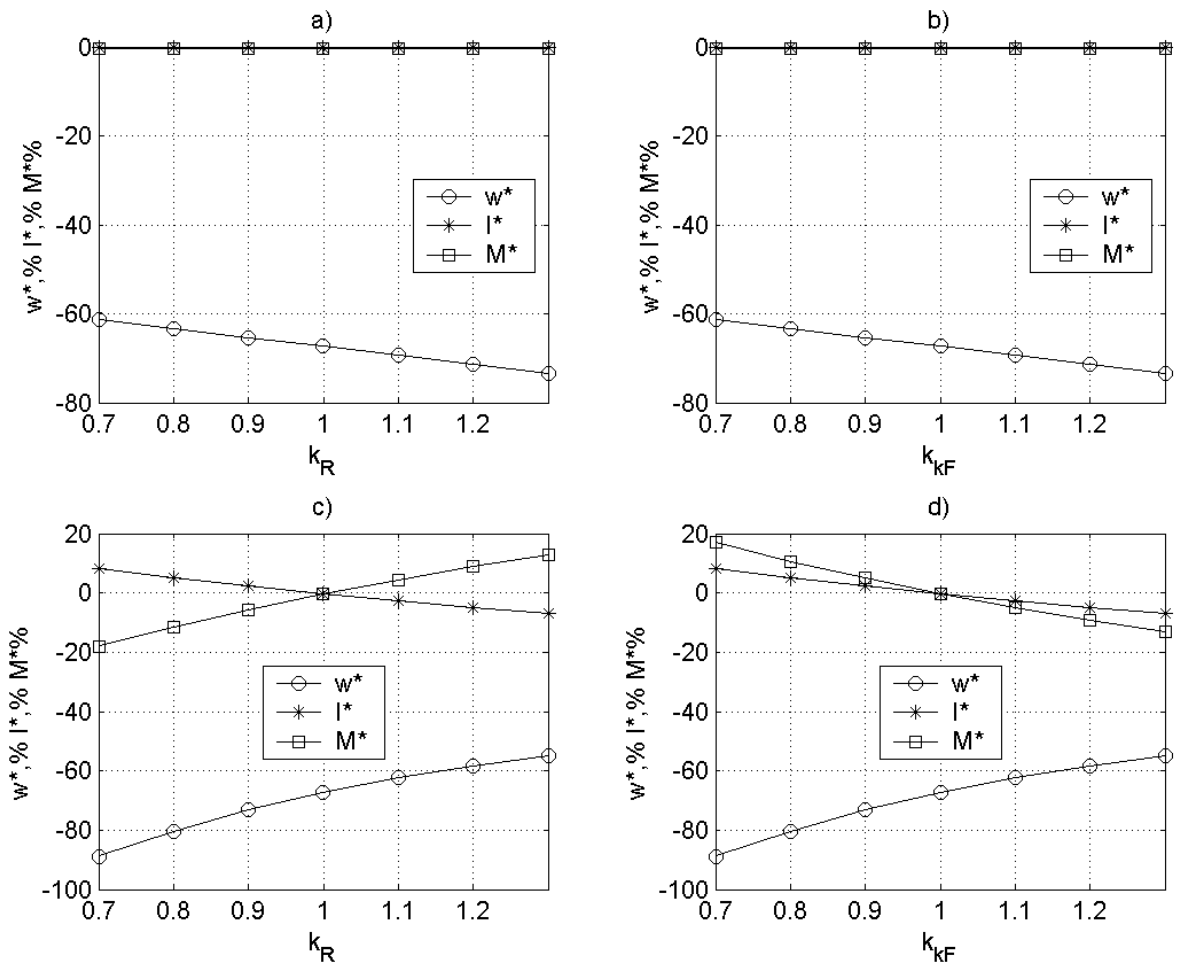


Рис. 2.23. Режим роботи при пробуксовуванні двох двигунів:

а) при зміні опору одного з двигунів; б) при зміні потоку одного з двигунів; в) при зміні опору другого з двигунів; г) при зміні потоку другого з двигунів.

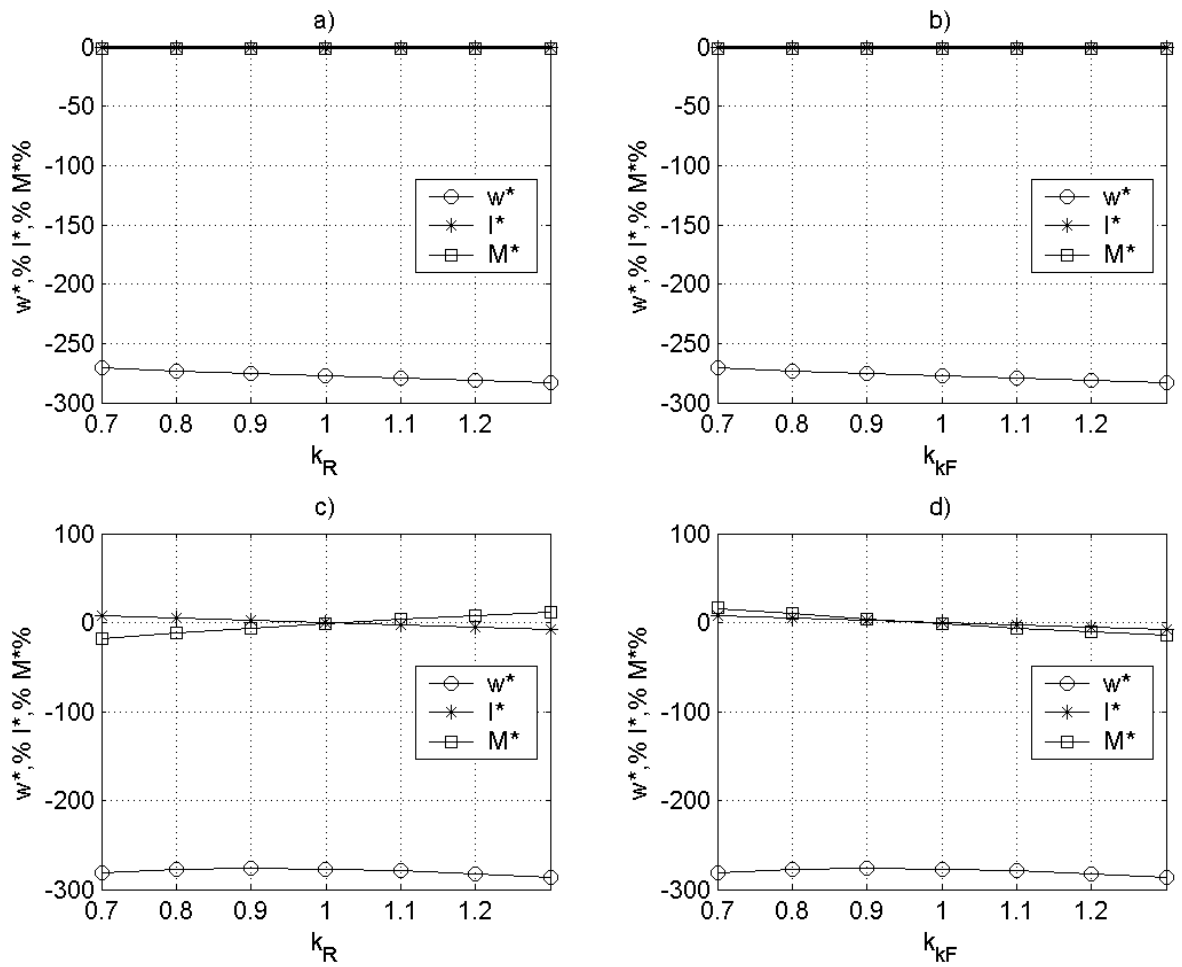


Рис. 2.24. Режим роботи при проковзуванні двох двигунів:

a) при зміні опору одного з двигунів; b) при зміні потоку одного з двигунів; c) при зміні опору другого з двигунів; d) при зміні потоку другого з двигунів.

Розділ 3. Дослідження питання роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу з мережею живлення

3.1. Мережа живлення електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу

Живлення електровозного транспорту від тягового підстанції здійснюється за допомогою живильного контактного дроту.

Оскільки для роботи електричного транспорту він має бути забезпечений живленням напругою постійного струму, то у якості одного полюсу живлення використовується контактний дріт живлення від тягового агрегату, встановленому на тяговій електричній підстанції, а інший полюс береться від приєднання до рельсового шляху.

З іншого боку електричний контакт приєднаний до нульового дроту від тягового агрегату на підстанції.

Отже живлення тягових електричних двигунів електровозного транспорту у кінцевому випадку здійснюється від джерела постійної напруги з пульсуючою формою струму.

Це ускладнює процес регулювання параметрів тягових електричних двигунів.

Тому на електровозному транспорті встановлюються прилади щодо поліпшення якості напруги живлення.

Зазвичай вони носять індуктивний характер.

Такі системи допомагають знизити частоту пульсацій струму у процесі роботи електровозу.

Для їх розрахунку слід виконувати додаткові розрахунки щодо погодження режимів роботи електроприводу з мережею живлення електричного транспорту.

3.2. Система захисту електротехнічного комплексу рудничного контактної електровозу

Представимо систему тягового електроприводу із захистом.

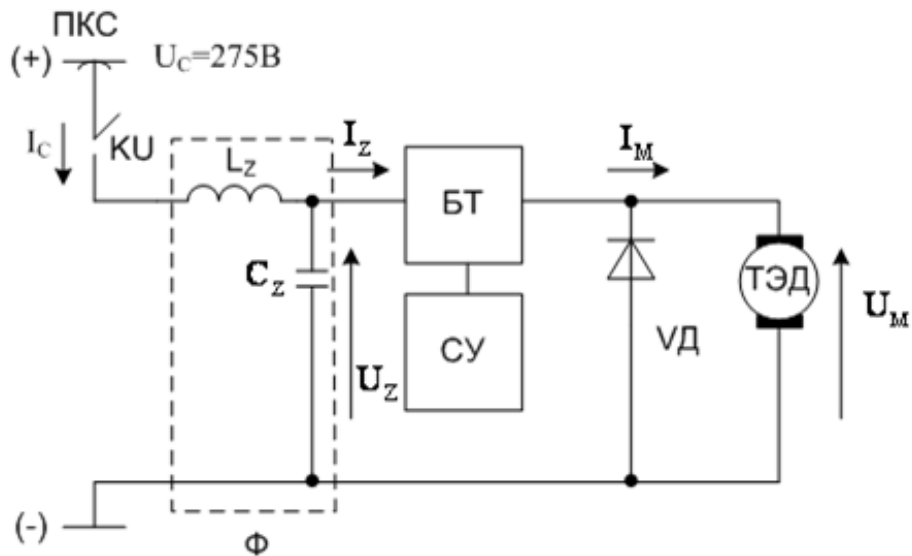


Рис.3.1. Система захисту електротехнічного комплексу рудничного контактної електровозу:

КУ – автоматичний вимикач;

Ф – фільтр;

БТ, СУ – блоки тиристорів та системи керування;

VD – зворотний діод.

Розрахуємо передатну функцію:

$$W(p) = \frac{U_z(p)}{U_c(p)} = \frac{1}{1 + ap + bp^2} \quad (3.1)$$

де ; $a = RC$ та $b = LC$.

Схема заміщення має вигляд:

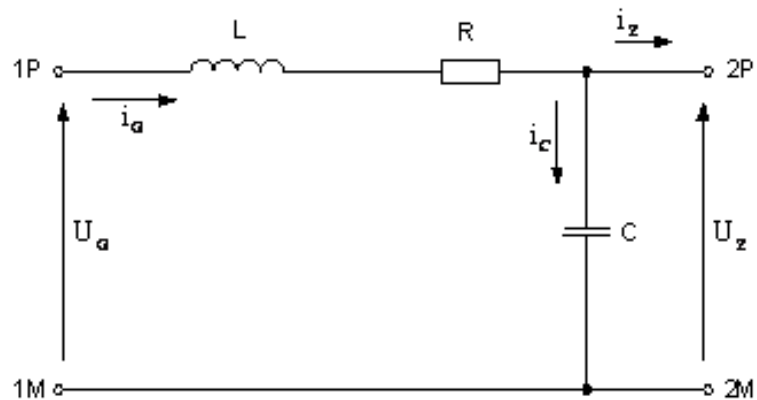


Рис. 3.2. Схема фільтру

$$W(j\omega) = \dot{W} = \frac{1}{1 + j\omega RC - \omega^2 LC} \quad (3.2)$$

$$W(\omega) = \frac{1}{1 - \omega^2 LC} \quad (3.3)$$

де: $\omega_m = 2\pi f_m = \frac{1}{\sqrt{LC}}$;

$$\omega_z = 2\omega_m ;$$

$$\frac{\omega}{\omega_m} = \nu$$

– відносна частота;

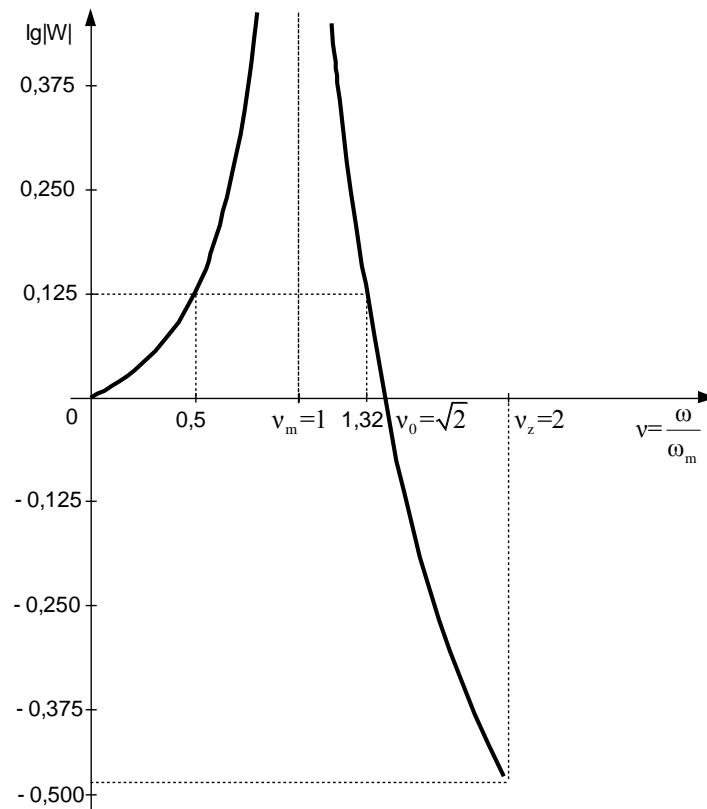


Рис. 3.3. Характеристика фільтру

$$W = \frac{1}{1 - v^2} \quad (3.4)$$

$$u_z = E_G \left[1 - \frac{\omega_m}{\omega_R} \exp(-\delta t) \times \sin(\omega_R t + \psi_R) \right], \quad (3.5)$$

де: E_G – амплітудне значення імпульсів на вході фільтру;

$\omega_R = \sqrt{|\delta^2 - \omega_m^2|}$ – частота контуру;

$\delta = \frac{R}{2L}$ – коефіцієнт контуру;

$\psi_R = \arctg \frac{\omega_R}{\delta}$ – фазовий зсув.

$$C_s = C_z = \frac{C}{2}; \quad R_s = R_z = 2R; \quad L_z = L \quad (3.6)$$

$$f_z = \frac{f_{\text{max}}}{2} = 4\kappa\Gamma\omega = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} \quad (3.7)$$

З (3.7) маємо $LC = 6333 \times 10^{-6} \times 10^{-6} \text{ Гн} \times \text{Ф}$

Або $L[\text{мкГн}] \times 3[\text{мкФ}] = 6333 \quad (3.8)$

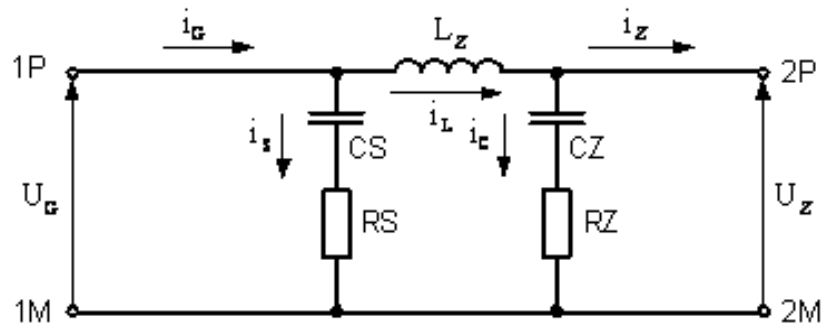


Рис. 3.4. Схема фільтру

$$I_{sm} = \frac{U_G}{R_s} < I_{Cs} \text{ peak} \quad (3.9)$$

3.3. Ефективність роботи тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу з мережею живлення

Наведемо показники якості, що були розраховані за зазначеними виразами.

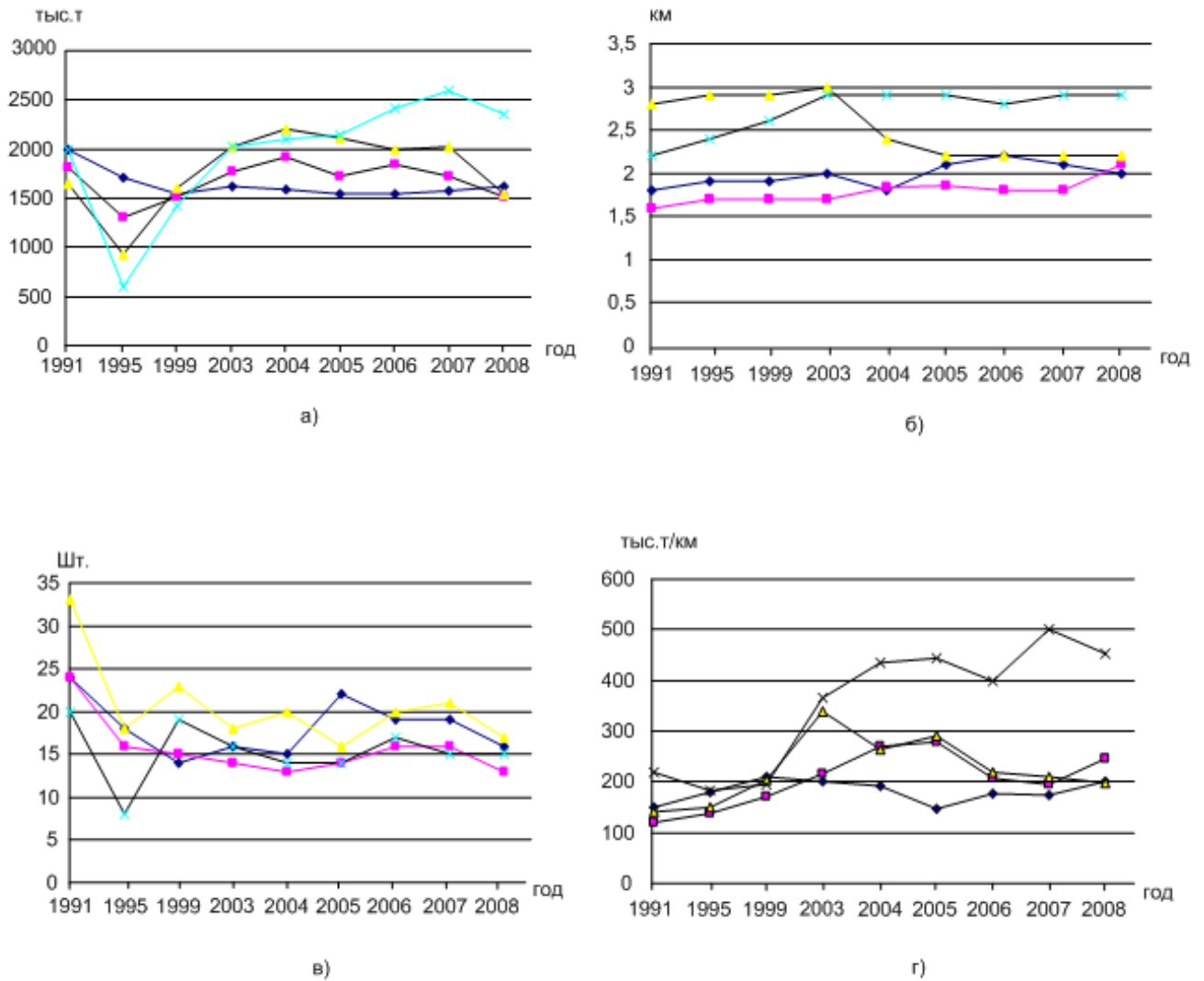


Рис.3.5. Показники якості, що були розраховані за зазначеними виразами для структури тягового електроприводу.

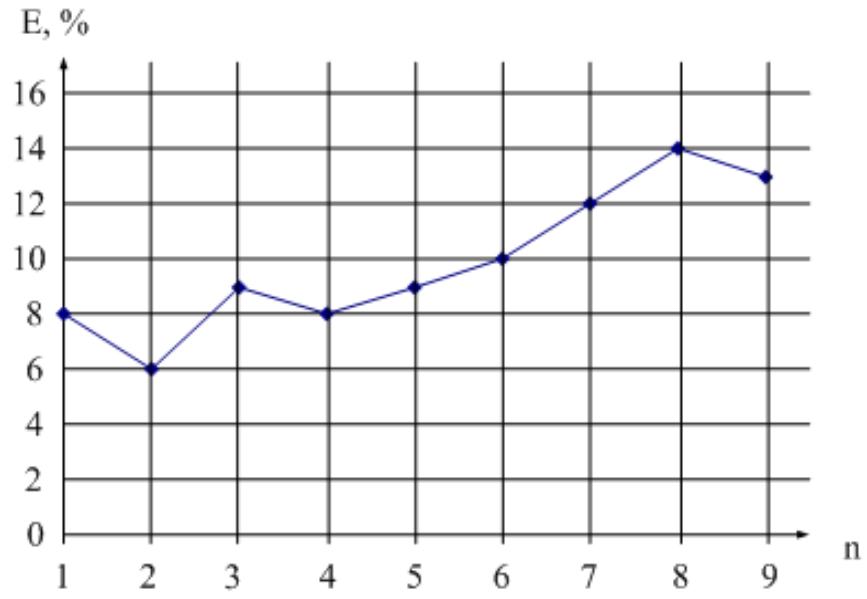


Рис. 3.6. Показники кількості рейсів, що були розраховані за зазначеними виразами для структури електровозного транспорту.

Висновки

У роботі розглянуто тяговий електропривод електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.

Мета роботи – дослідження впливу зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.

У першому розділі проведено аналіз структури тягового електроприводу електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу.

Розглянуто питання режиму роботи тягових двигунів.

У другому розділі досліджено вплив зміни параметрів тягових двигунів на режими роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу при різному їх з'єднанні.

У третьому розділі досліджено питання роботи електротехнічного комплексу рудничного контактного електровозу з мережею живлення.

Отримані характеристики вказують, що необхідним є захист мережі живлення при роботі тягового електроприводу.