

617

Міністерство транспорту України
Дніпропетровський державний технічний
університет залізничного транспорту

Кафедра "Електротехнічний склад"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи з дисципліни

"АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ ЕРС"

Укладачі: М. С. Вісін
Б. Т. Власенко
А. М. Афанасов

Для студентів VI курсу заочної форми навчання
спеціальності "Електрифікація залізничного транспорту"
спеціалізації "Електровози та електропоїзди"

Дніпропетровськ 2001

За цими методичними вказівками виконується контрольна робота з дисципліни Моторвагонний рухомий склад.

Якісну копію в електронному або друкованому вигляді можна отримати у бібліотеці ДІІТу по пред'явленню студентського квитка або читацького квитка.

Зміст контрольної роботи

План.

1. Алгоритм управління та функціональна схема системи автоматичного пуску електропоїзда.
2. Статичні характеристики тягового двигуна та опір пускового реостата.
3. Динамічні характеристики кола тягових двигунів.
4. Розрахунок прискорення при розгоні електропоїзду на прямій горизонтальній ділянці дороги.

Укладачі: доц. Бісін Микола Григорович, доц. Борис Трохимович Власенко,
канд. техн. наук Афанасов Андрій Михайлович

УДК 629.423.2.05 (075.8)

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни
"Автоматизація управління ЕРС" / Дніпропетр. держ. техн. ун-т залізнич.
трансп. / Укл.: М. Г. Бісін, Б. Т. Власенко, А. М. Афанасов. Дніпропетровськ,
2001. 32 с.

Методичні вказівки містять алгоритм управління і функціональну
схему системи автоматичного пуску електропоїзда ЕР2. Для дослідження
системи з релейними елементами використовується графоаналітичний
метод. Аналізується вплив технічного стану обладнання на якість
регулювання. Методичні вказівки призначені для студентів VI курсу
заочної форми навчання спеціалізації "Електровози та електропоїзди".

Іл. . Табл. 6. Бібліогр.: 5 назв.

Рецензенти: Ю. Б. Казанець / гол. інж. лок. деп Дн-ськ /
В. А. Лось / ДІІТ /

Редактор Т. В. Мацкевич

Підписано до друку 17.11.2000. Формат 60x84 1/16. Папір для множинних
апаратів. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 1.3. Обл.- вид. арк. 1.7. Тираж
50 прим. Замовл. № 1. Вилан. № 1. Безкоштовно.

Дніпропетровський державний технічний університет залізничного
транспорту

Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії: 49010,
Дніпропетровськ, 10, вул. Акад. В. А. Лазаряна, 2.

ВСТУП

У курсовій роботі необхідно провести аналіз роботи системи автоматичного управління електропоїздом у процесі його розгону.

Щоб свідомо виконати курсову роботу, треба вивчити дисципліну "Автоматизація ЕРС" за рекомендованою літературою і добре знати роботу силової схеми, конструкцію тягових апаратів і роботу кіл управління моторного вагона електропоїзда типу EP2.

Дана курсова робота повинна бути оформлена як реальне інженерне завдання.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

У поданій на рецензію роботі треба написати заголовок, який відображає її зміст, і вписати основні вихідні дані з табл. 1. Після цього можна виконувати розрахунки і побудовання згідно з методичними вказівками.

Методичні вказівки складаються з окремих розділів, які мають кризу нумерацію. При оформленні курсової роботи достатньо показати тільки номер розділу і його заголовок, а потім вести необхідний розрахунок.

Кожна розрахункова операція позначається своїм найменуванням: наприклад, розрахунок номінального струму, розрахунок підсилення і т. ін.; далі записується розрахункова формула в загальному вигляді, після чого, через знак рівності, її чисельний вираз і результат. Якщо на підставі розрахункової формули заповнюється таблиця, то чисельний вираз достатньо записати один раз, а в таблицю записати результат усіх розрахунків.

Дозволяється не писати перелік умовних позначень, що входять в розрахункові формули, якщо чітко виконана попередня вимога. Всі розрахунки слід вести з точністю до трьох значущих цифр, якщо це не обговорюється особливо.

Під заголовком "Оформлення розділу" указані розрахунки, таблиці, схеми або графіки, які оформляються в даному розділі.

Не слід переписувати текст методичних пояснень або витяги із підручників. Якщо необхідно зробити пояснення до виконання розрахунків, то їх слід викладати своїми словами.

Всі рисунки і таблиці в курсовій роботі повинні мати кризу нумерацію. Розташовувати їх треба у відповідних розділах зручно для читання. Масштаби графіків повинні точно відповідати розрахункам.

В І К І Д Н І Д А Н І

Таблиця 1

Варіанти параметрів тягового двигуна

Параметри	Остання цифра шифру студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потужність на валу при номінальній частоті ф.к. кВт	225	220	215	210	205	200	195	190	185	180
Швидкість руху електродвигуна при номінальній частоті ф.к.	53.6	54.3	51.6	51.1	48.8	50.0	47.8	48.2	46.8	46.0
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	52.0	52.5	50.0	49.4	48.0	48.3	45.2	46.6	45.0	44.5
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	50.3	50.8	48.4	47.9	46.5	46.8	44.7	45.0	43.5	43.0
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	48.8	49.2	46.9	46.8	45.1	45.3	43.3	43.6	42.2	41.5
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	47.5	47.7	45.6	45.0	43.7	43.8	42.0	42.2	40.8	40.3
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	46.0	46.3	44.2	43.7	42.4	42.6	40.8	41.0	39.6	39.0
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	44.7	45.0	43.0	42.5	41.2	41.4	39.6	39.8	38.5	37.9
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	43.5	43.7	41.8	41.3	40.1	40.2	38.5	38.6	37.4	36.8
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	42.4	42.5	40.7	40.2	39.0	39.1	37.5	37.6	36.4	35.8
Відношення шифру студента до частоти ф.к.	41.3	41.4	39.7	39.1	38.0	38.1	36.5	36.6	35.4	34.8

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ КІНСЬКОГО РОБОТИ

1. АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ І ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПУСКА ЕЛЕКТРОПОІЗДА

Система автоматичного пуска електропоїзда являє собою замкнену потужну електричну систему автоматичного регулювання струму тягових електродвигунів, в якій використовуються принципи регулювання за відхиленням [1, с. 6-14, 33-37].

Збільшена функціональна схема системи наведена на рис. 1. У процесі розгону потягу по мірі збільшення швидкості його руху відбувається поступове зменшення струму і тягових двигунів. При зменшенні струму до заданої величини I_U (елемент порівняння поточного та заданого значення струму показаний на рис. 1 у вигляді кола, розділеного на сектори) подається керуєчі діяння, що призводить до збільшення струму тягових двигунів. Після того як струм знов знизиться до величини I_U , подається наступне керуєчі діяння, струм знов зростає і т. д.

Для на величину струму тягових двигунів відбувається шляхом зміни опорного коефіцієнта регулювання збудження A , а також шляхом зміни числа послідовно сполучених двигунів m з одночасним введенням опорів в коло двигунів. Послідовність роботи відповідних керувальних каналів регулятора, показаних на рис. 1, визначається закладеним у систему алгоритмом управління.

В таблиці управління алгоритмом поміняти назвату сукупність перетворень і логічних умов, діючих у визначеному порядку. Стосовно до заданої символічної схеми (рис. 2) таким алгоритмом є таблиця замикання контакторів із вказівкою величини параметрів, що змінюються в процесі управління (табл. 2)

Таблиця 2

Алгоритм управління електродвигуном

Позиція символів контролера	К о н т а к т о р и					Параметри					
	лінійні	реостатні	мос-тові	пере-хідні	ослаблення збудження						
JK1	JK2	1	2	і т. д.	M	Гл-2	Ш-2	Ш-12	μ^*	β	R. Ом



Рис. 1 Збільшена функціональна схема системи

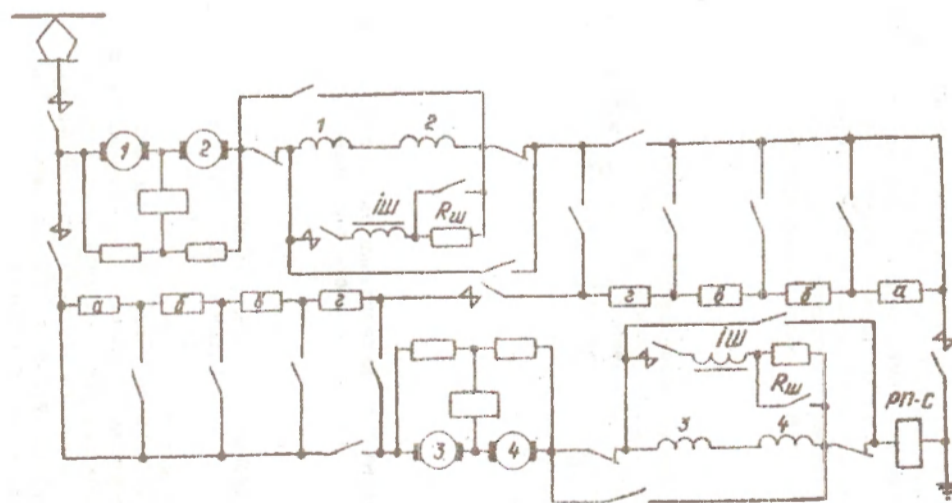


Рис. 2 Спрощена силова схема моторного вагона

На цьому етапі треба заповнити всю таблицю, за винятком колонки параметра A . При заповненні таблиці треба керуватися послідовністю включення і виключення контакторів, а також величинами α , прийнятими для електропоїзда EP2.

Спрощена принципова схема ланцюгів управління моторного вагона наведена на рис. 3. На цій схемі блокування реостатного контролера позначені тільки його індексом PK . Слід вивчити роботу схеми управління електропоїзда EP2 по рекомендованій літературі [2, 3] і після цього уточнити позначення цих блокувань, вказавши номери позицій реостатного контролера, на яких блокування повинні бути замкнуті для реалізації повного та часткових алгоритмів управління. Налаштування системи на алгоритм, що реалізується, виконується контролером машиніста. Повний алгоритм забезпечується установкою рукоятки контролера машиніста в положення 4. При цьому відбувається розгін електропоїзда з виходом на другий ступінь ослаблення збудження при паралельному з'єднанні двигунів. Часткові алгоритми задаються положеннями М.1, 2, 3.

Оформлення розділу

1. Таблиця алгоритму управління електропоїздом.
2. Силова схема і схема ланцюгів управління. На схемах треба позначити всі контакти. Позначення узгодьте з функціональною схемою, яка показана на рис. 5. На схемі управління електропоїздом покажіть (+) і (-) ланцюгів управління.

2. Статичні характеристики тягового двигуна і опір пускового реостата

Статичні характеристики виражають зв'язок між вхідною і вихідною величинами в режимі, що установився. До статичних характеристик тягового двигуна відносяться швидкісні $u(I)$ і залежність магнітного потоку від струму збудження $\Phi(I_z)$.

При рівній мірі насичення магнітної системи тягові двигуни різноманітних потужностей мають приблизно однакову форму швидкісних характеристик. Такі характеристики, відбиті у відносних (відносно номінальних) величинах, прийнято називати універсальними.

У табл. 3 наведені універсальні характеристики двигуна, якими належить користуватися при розрахунку.

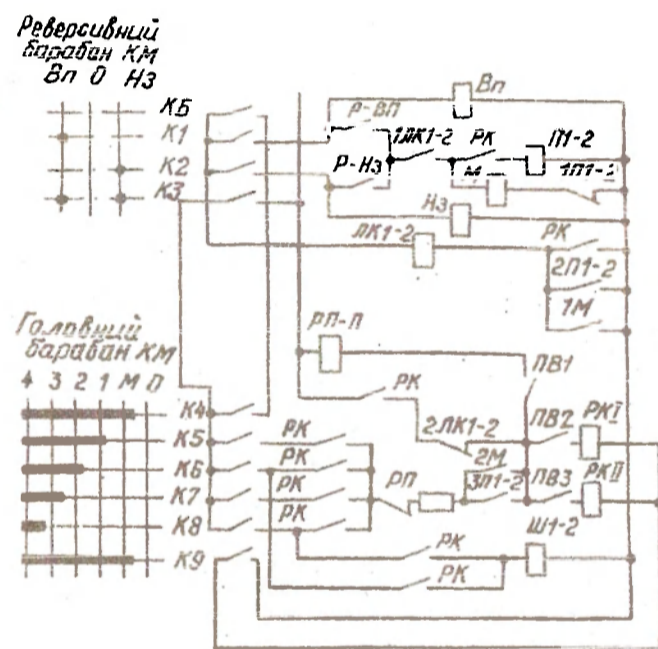


Рис. 3 Спрощена принципова схема кіл управління

Таблиця 3

Універсальні характеристики тягового двигуна

Струм двигуна I/I_n	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,2
Швидкість руху електропоїзда v/v_n по позиціях						
1	0,21	0,08	-0,05	-	-	-
2	0,28	0,16	0,05	-0,05	-	-
3	0,35	0,25	0,15	0,07	-0,03	-
4	0,39	0,29	0,20	0,13	0,05	-
5	0,42	0,33	0,24	0,18	0,11	-
6	0,45	0,37	0,29	0,24	0,18	-
7	0,48	0,41	0,34	0,29	0,24	-
8	0,51	0,44	0,38	0,34	0,29	-
9	0,54	0,48	0,42	0,38	0,34	-
10	0,68	0,57	0,50	0,45	0,40	-
11	0,81	0,68	0,57	0,51	0,45	-
12	1,03	0,80	0,57	0,39	0,17	-
13	0,93	0,77	0,64	0,53	0,40	-
14	1,00	0,85	0,74	0,64	0,54	-
15	1,06	0,93	0,82	0,74	0,65	-
16	1,12	1,00	0,91	0,84	0,77	-
17	-	1,18	1,05	0,96	0,89	-
18	-	-	1,19	1,09	0,99	0,95

Для розрахунку характеристик двигуна в абсолютних одиницях в першу чергу необхідно визначити номінальне значення струму. Для розрахунку номінального струму номінальна напруга на тяговому двигуні приймається $U_{дн} = 1500$ В, а ККД двигуна $\eta_n = 0,9$.

Номінальний струм в амперах

$$I_n = \frac{P_n \cdot 1000}{U_{дн} \cdot \eta_n}$$

Щоб одержати конкретні характеристики двигуна заданої потужності, необхідно відносні вирази координат універсальних характеристик помножити на задані номінальні величини. Очевидно, що

$$I = \left(\frac{I}{I_n} \right) I_n \quad v = \left(\frac{v}{v_n} \right) v_n$$

Цифрові вирази струму слід округляти до цілих чисел. Швидкість вираховується з точністю до одного знаку після коми. Результати розрахунку слід звести в таблицю, відповідну формі табл. 3.

По даним таблиці на міліметровому папері будуються характеристики $v(I)$ для всіх позицій регулювання. Рекомендуються такі масштаби: для струму $m_1 = 1,0$ А/мм, для швидкості $m_2 = 0,10$ км/г/мм.

Приблизний вигляд характеристик показаний на рис. 4.
 Після побудови швидкісних характеристик отримаємо необхідні вихідні дані для заповнення колонки параметра R у табл. 2.
 Очевидно, що опір реостата складається з опору секцій, включених на кожній позиції. Опір секцій визначається з точністю до двох знаків після коми за формулою

$$R_c = \frac{(R_c)\%}{100} R_1.$$

де $(R_c)\%$ - опір секції, заданий у процентах від повного опору реостата R_1 . Секція a - 21,9 %, секція b - 10,4 %, секція $в$ - 9,4 %, секція $г$ - 8,3 %.

Орієнтовна величина опору R_1 визначається з умови одержання струму I_1 при руханні на першій позиції, коли швидкість руху $v = 0$ (див. рис. 4).

Опір обмоток одного двигуна визначається з умови

$$r_{дв} = \frac{0,05 U_{дв}}{I_{дв}}$$

Значення опорів секцій слід звести у таблицю, складену по формі табл. 4.

Таблиця 4

Опір секцій реостата

Секція	а	б	в	г
$R_c, \text{ Ом}$				

Оформлення розділу

1. Розрахунок номінального струму двигуна.
2. Розрахункова таблиця і графік швидкісних характеристик двигуна.
3. Розрахунок опору обмоток двигуна.
4. Розрахунок опору реостата на першій позиції, таблиця опорів секцій реостата, заповнена колонка параметра R у таблиці алгоритму управління електропоїздом.

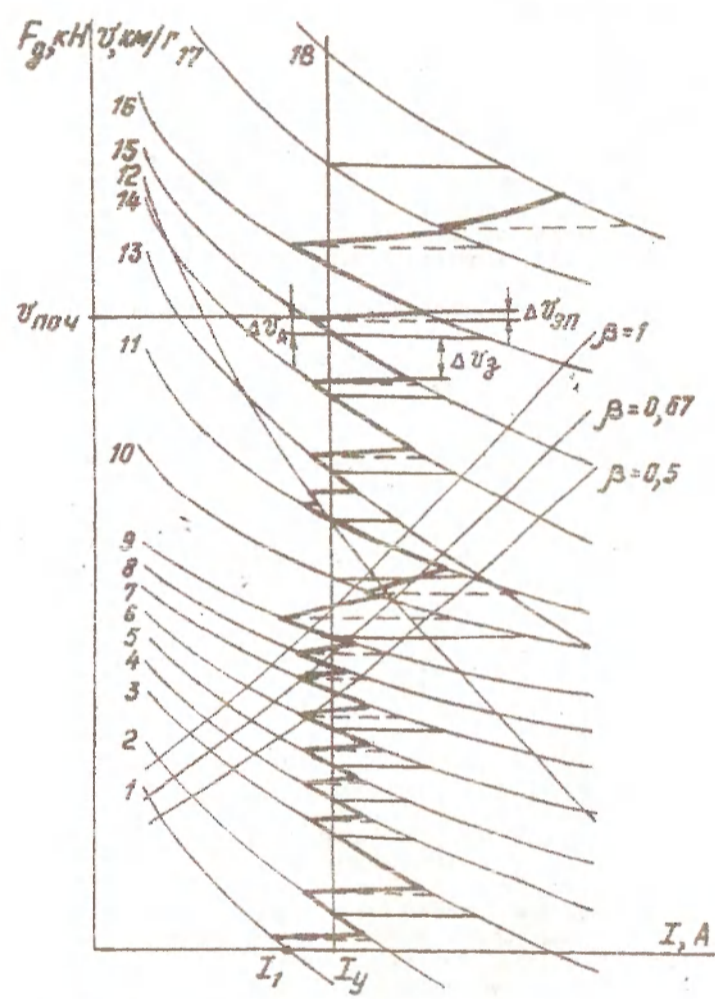


Рис. 4 Швидкісні і електротягові характеристики двигуна

3. Вихідна пускова діаграма і послідовність роботи системи управління електропоїздом

На рис. 5 показана функціональна схема системи управління електропоїздом. Необхідна для руху поїзда сила тяги F_k створюється рухомими колісними парами РКП, що обертаються тяговими електричними двигунами ТЕД через редуктори Р.

Сила тяги і струм двигуна під дією зворотного зв'язку $v - I_k - P$ функціонально пов'язані зі швидкістю руху. Цей зв'язок виражається швидкісними $f(v)$ і тяговими $F_k(v)$ характеристиками. Кожні характеристики, а їх на електропоїзді 18, відповідає визначенні набір регульованих параметрів m^a, R, β , показаних на рисунку в кружках. Розгін поїзда здійснюється послідовним переходом з попередньої на наступну характеристику шляхом ступеневої зміни величини регульованих параметрів (див. таблицю 2 алгоритму управління електропоїздом). Графічне зображення зміни струму і швидкості руху в процесі розгону електропоїзда називають пусковою діаграмою. Вихідну пускову діаграму треба побудувати виходячи з умови переходу на наступну, чергову швидкісну характеристику при значенні струму двигуна, рівному струму уставки реле прискорення, величина якого приймається $I_y = 1,3 I_n$. Приблизний вигляд вихідної пускової діаграми показаний на рис. 4 тонкими лініями.

Побудована пускова діаграма була б справедливою, якби апарати виконували свої функції без витрати часу і тривалість перехідних процесів дорівнювала б нулю.

При значних пускових прискореннях, характерних для електропоїздів приміського сполучення, час розгону на кожній позиції виявляється порівняним з часом спрацьовування апарата і часом перехідних процесів. Ці обставини чинять помітний вплив на вигляд пускової діаграми, яку належить уточнити після виконання наступних розділів програми завдання.

У табл. 5 наведена послідовність роботи апаратів та всі зміни, що відбуваються у силовій схемі і колах управління в тому порядку, що відповідає реалізації алгоритму управління електропоїздом.

У першій колонці таблиці вказані порядкові номери швидкісних характеристик та переходи з характеристики на характеристику відповідно до рис. 4.

Черговість процесів на протязі часу відбивається порядковими номерами тактів у колонці 2, а їх найменування - у колонці 3.

Кожний такт триває визначений час, його тривалість (колонка 4) залежить від часу спрацьовування апаратів чи тривалості процесів зміни струму в силовому колі. Сума всіх тривалостей, що записані у колонці 4, відповідає тривалості автоматичного пуску електропоїзда.

Відлік часу пуску починається з моменту постановки головної рукоятки контролера машиніста у четверте положення при зрушенні з місця. Тоді через контакти безпеки KB і відповідні блокування (див. рис. 3 і 5) отримує живлення котушка електропневматичного вентиля лінійних контакторів $LK1-2$ і через 0,08 с замикаються їх контакти в силовому колі (див. рядок 1 такту табл. 5). У колонці 5 табл. 5 записані найменування вхідних елементів апаратів, у колонці 6 записано стан кола управління, якому подається живлення (діяння) на вхідний елемент, а у колонках 7 і 8 записані всі зміни у колі управління та у силовому

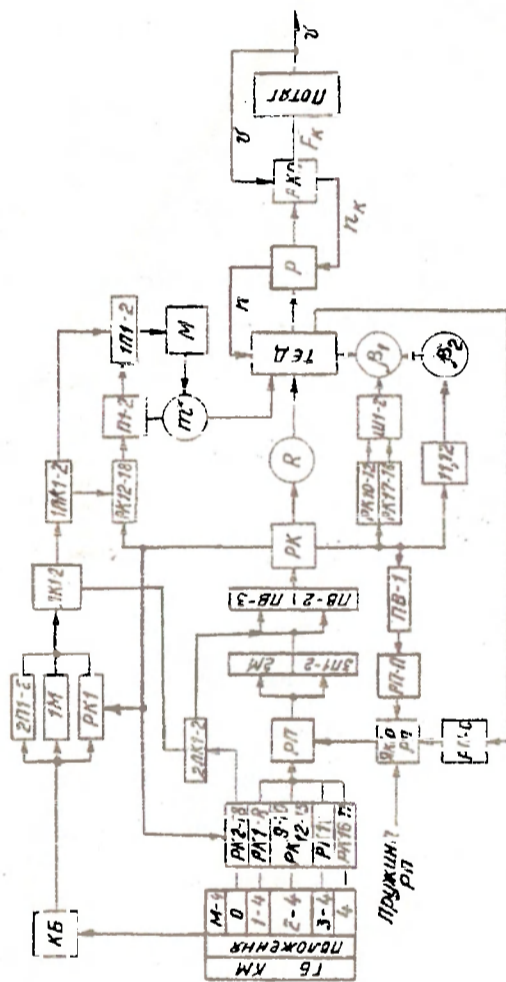


Рис. 5 Функціональна схема системи управління електролізом

колі, що відбуваються після спрацювання апарата. Таким апаратом в рядку такту 1 є подвоєний лінійний контактор $LK1-2$. Однак, як видно із силової схеми (див. рис. 2), струму в ланцюзі двигунів ще не буде, бо ланцюг не зібрався.

На такті 2 через замикаюче блокування $LK1-2$ одержує живлення котушка вентиля мостового контактора M (див. рис. 3 і 5) і через $0,08$ с замикаються його контакти у силової схемі (див. рис. 2); силове коло збирається, і у тягових двигунах з'являється струм, величина якого відповідає струму зрушення I_1 на 1 характеристиці (рис. 4) та записується в колонку 11.

З моменту включення контактора M починається прискорений рух електропоїзда.

На такті 3 по колі , записаному у колонці 8 табл. 5, одержує живлення котушка вентиля $PK1$ привода реостатного контролера PK (див. рис. 3 і 5) і через $0,35$ с внаслідок перемикання PK у силової ланцюзі замикається реостатний контактор 1. Опір зменшується і відбувається перехід на другу швидкісну характеристику. Перехід характеризується зростанням струму і відбувається при швидкості руху, яку встигнув набрати поїзд за $0,35$ с на такті 3. Величину збільшення швидкості за час тривалості такту 3, швидкість руху і струм двигунів в кінці такту записують в колонки 9, 10 та 11 відповідно.

Зростання струму двигунів при переходах з попередньої на наступну швидкісну характеристику затримується впливом індуктивності в силової ланцюзі. Це відбувається протягом деякого відрізка часу (розглядається докладно у наступному розділі). Збільшення швидкості руху, швидкість і струм в кінці такту 4 записуються в колонки 9, 10, 11 табл. 5.

Після виходу на чергову швидкісну характеристику настає затримка у роботі системи автоматичного пуску. За час затримки (такт 5, табл. 5) швидкість руху збільшується, а струм двигунів зменшується (див. рис. 4) до величини струму уставки RP . На такті 6 через $0,04$ с якір реле прискорення відпадає, контакти RP замикаються і одержує живлення котушка вентиля $PKII$. Починається перемикання PK (такт 7), що завершується переходом на третю швидкісну характеристику (такт 8).

Розглянута послідовність роботи системи зберігається на наступних тактах. В рядках кожного такту табл. 6 записують збільшення швидкості руху за час тривалості такту - Δv , швидкість руху v і струм двигунів I в кінці такту.

Затримка на черговій швидкісній характеристиці, потрібна для реалізації необхідної пускової діаграми, забезпечується роботою підійомної котушки реле прискорення $RP-II$. Підійомна котушка включається контактом $ЛВ1$, який замикається в період обертання вала реостатного контролера на короткий час - $0,09$ с (див. рис. 6). Магніторухійна сила котушки $RP-II$ складається з МДС силової котушки $RP-C$ і сприяє притягання якоря RP при струмах, менших струму притягання ($I_{пр}=1,25 I_u$). Якщо на час розмикання $ЛВ1$ та виключення $RP-II$ струм в силової котушці $RP-C$ виявиться меншим ніж струм уставки I_u , то якір реле відпадає, контакти RP замикаються і починається процес перемикання PK . Така робота системи називається хронометричною і розглядається в наступних розділах.

В даному розділі треба вивчити і засвоїти роботу системи управління електропоїздом, засвоїти зміст табл. 5 та самостійно заповнити колонки 5, 6, 7 і 8, починаючи з такту 1 і до такту 36.

Оформлення розділу

1. Вихідна пускова діаграма зображена на графіку швидкісних характеристик тонкими лініями.
2. Таблиця послідовності роботи системи управління електропоїздом у часі з заповненими колонками 5-8 на тактах 1-36.
3. Функціональна схема системи управління електропоїздом. Схему треба добре вивчити для відповіді на питання при захисті курсової роботи.

4. Динамічні характеристики ланцюга тягових двигунів

Динамічні характеристики приладдя виражають зміну в часу вихідної величини при стрибкоподібній зміні вхідної. Динамічними характеристиками кола тягових двигунів є залежності, що показують зміну струму у часі після зміни опору пускового реостата R , після включення і виключення шунтуючих кіл, після перегрупування двигунів. Процес зміни струму після зміни параметрів K, β, m^* називається перехідним процесом.

Рівняння перехідного процесу після закорочування секції пускового реостата можна одержати шляхом рішення рівняння електричної рівноваги силового ланцюга в період переходу з $n-1$ на $(n+1)$ -у позицію:

$$U_c = m \cdot C_v \Phi \nu + i(R_{n+1} + m^* R_{\Sigma}) + m^* L_{\Sigma} \frac{di}{dt}$$

де R_{n+1} - опір реостата після закорочування чергової секції;
 L_{Σ} - індуктивність обмоток двигуна.

Точний розрахунок шуканої функції є досить складним. При зростанні струму змінюється магнітний потік, сила тяги і швидкість руху. Змінюється і індуктивність L_{Σ} , яка залежить від насичення магнітної системи двигуна. Крім того, на зміни магнітного потоку впливають виникаючі в осові двигуна віхрові струми. Аналітичне рішення диференціального рівняння виявляється настільки громіздким, що його краще вирішувати на ЕОМ.

Поточне значення магнітного потоку Φ визначається нелінійною функцією $\Phi(i)$, яку для розрахунків краще замінити залежністю питомої ЕДС від струму двигуна $C_v \Phi(i)$.

Для використання при подальших розрахунках функцію треба лінеаризувати і представити в аналітичному вигляді. Принцип лінеаризації статичних характеристик двигуна розглянутий у [1, с. 111-115].

Лінеаризована залежність виражається функцією

$$C_v \Phi = C_v \Phi_0 + K_{\Phi} i,$$

де $C_v \Phi_0$ - значення питомої ЕДС в точці перехрещення дотичної з віссю ординат;

$K_{\Phi} = \frac{d(C_v \Phi)}{di}$ - кутівий коефіцієнт.

Оскільки у подальших розрахунках потребується тільки кутковий коефіцієнт K_{ϕ} . Його можна розрахувати аналітично без побудови кривої намагнічування. Для цього треба обчислити збільшення магнітного потоку при зміні струму збудження від $I_{\Delta 1} = 1,15 I_n$ до $I_{\Delta 2} = 1,45 I_n$; зазначеним струмам відповідають швидкості руху $v_1 = 0,45 v_n$ и $v_2 = 0,40 v_n$ при роботі на 9 позиції.

Тоді збільшення магнітного потоку визначається з умови

$$\Delta C_v \Phi = \frac{0,5 U_{\Delta n} - 1,45 I_n R_{\Delta}}{0,4 v_n} - \frac{0,5 U_{\Delta n} - 1,15 I_n R_{\Delta}}{0,45 v_n}$$

Відповідна зміна струму буде

$$\Delta I = I_{\Delta 2} - I_{\Delta 1} = 0,3 I_n, \text{ А.}$$

Якщо знехтувати зміною індуктивності і впливом зміни швидкості руху на величину ЕДС, та з урахуванням одержаної лінеаризованої залежності $C_v \Phi(I)$ рівняння електричної рівноваги прийме вигляд

$$U_0 = m^*(C_v \Phi_0 + K_{\phi} i) v_{нач} + i(R_{\Delta} + m^* R_{\Delta}) + m^* L_{\Delta} \frac{di}{dt} \quad (1)$$

де $v_{нач}$ - швидкість, при якій починається перехідний процес.

Коли двигун працює за характеристикою n -ї позиції. Його струм у момент замикання контактора в силовій схемі відповідає струму початку перехідного процесу $I_{поч}$. Процес зростання струму закінчується, коли він досягає значення, що визначається характеристикою наступної $(n+1)$ -ї позиції. Струм виходу на характеристику наступної позиції будемо називати кінцевим значенням струму переходу I_k .

Для розрахунку зміни струму за час спрацьовування апаратів зі значення $I_{мін} = I_{pn}$ до значення I_2 (рис. 6) внаслідок збільшення швидкості руху можна записати наступні рівняння:

$$F = F_k + K_1 I; \quad [H] \quad (2)$$

$$v = v_0 - K_2 I, \quad (3)$$

де K_1 - коефіцієнт, пропорційний тангенсу кута нахилу прямої, що проходить через точки a' і b (див. рис. 6), $[H/A]$;

K_2 - коефіцієнт, пропорційний тангенсу кута нахилу прямої, що проходить через точки a і b (див. рис. 6), $[M/(с \cdot A)]$;

F - сила тяги одного двигуна, $[H]$.

Із рівняння руху маємо

$$m^* F - W = (1 + \gamma) m \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

де W - опір руху електропоїзда $[H/t]$;

Q - вага електропоїзда, що складається з 5 моторних і 5 причепних вагонів і дорівнює 575 т;

m^* - число тягових двигунів в електропоїзді;

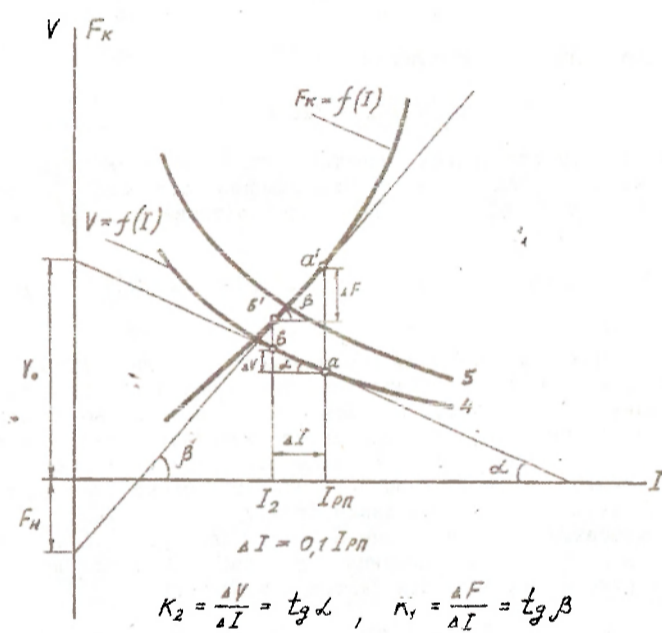


Рис. 6 Лінеаризація кривих швидкості і сили тяги на інтервалі струму від I_{pn} до I_2

δ - коефіцієнт, що враховує інерцію обертових мас, $\gamma = 0,06$;
 m - маса електропоїзда в кг.

$$m = Q \cdot 10^3.$$

Звідси

$$t_n = Q \cdot 10^3 (1 + \gamma) \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{m^* F - W} \quad (5)$$

Позначимо $\delta = 10^3 \cdot m(1 + \gamma)$.

При невеликому діапазоні зміни швидкості руху від v_1 до v_2 можна прийняти незмінним опір руху і рівним при швидкості v , тобто

$$W = \text{const.}$$

Підставивши у (5) значення v і F за формулами (2) і (3), отримаємо:

$$t_n = - \frac{\delta K_2}{m^* K_1} \int_{I_{pn}}^{I_2} \frac{dI}{I + \frac{F_H - \frac{W}{m^*}}{K_1}} \quad (6)$$

Позначивши

$$\frac{F_H - \frac{W}{m^*}}{K_1} = K_3 \quad (A), \quad (7)$$

після перетворення отримаємо:

$$I_2 = \frac{I_{pn} + K_3}{e^{\frac{t_n m^* K_1}{\delta K_2}}} - K_3, \quad (8)$$

де t_n - час переходу КСП на позиції, $t_n = 0,35$ с.

Рівняння (8) показує, що струм I_2 буде тим менший, чим більше час переходу силового контролера з однієї позиції на іншу, чим менша вага потяга, чим менший опір руху і чим більше жорстка швидкісна реостатна характеристика.

При переході силового контролера з однієї позиції на іншу, коли замикається черговий контакторний елемент і розмикається ступінь ΔR пускового реостата, струм у силової ланцюзі зростає не при струмі $I_{min} = I_{pn}$, а при струмі I_2 до усталеного значення.

Рішення рівняння (1) при $v_{поч} = v_2 = \text{const}$ має вигляд:

$$I = I_{уст} - (I_{уст} - I_2) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9)$$

де

$$I_{уст} = \frac{U_0 - m^* C_v \Phi_0}{R_{n+1} + m^* (R_d + K_\Phi v_2)}; \quad (10)$$

$$\tau = \frac{m^* L_d}{R_{n+1} + m^* (R_d + K_\Phi v_2)}; \quad (11)$$

$$V_2 = \frac{U_c}{m^*} - I_2 \left(\frac{R_n}{m^*} + R_d \right) \quad (12)$$

де v визначається за швидкісною характеристикою $v = f(I)$ при струмі I_2 ;
 R_{n-1} - опір реостата після закорочення чергової секції;
 R_n - опір реостата до закорочення чергової секції;
 m^* - кількість двигунів, тобто $m^* = 4$,
 R_d - опір одного двигуна.
 Необхідна для розрахунку величина індуктивності обмоток двигуна
 обирається із наступної таблиці

Остання цифра шифру студента	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Індуктивність обмоток двигуна $L_d, \text{Гн}$	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030

Розрахунок перехідного процесу зробити за час $t = 3T$.

Оформлення розділу

1. Розрахунок кутового коефіцієнта лінеаризованої функції $C_{\phi}(i)$.
2. Розрахунок зменшення струму від $I - I_{\min} = I_{\text{рп}}$ до значення струму I_2 за час повороту силового контролера до моменту замикання контакторного елемента.
3. Розрахунок перехідних процесів $i = f(t)$ при переході силового контролера на чергові позиції.

5. Динамічні характеристики електричних апаратів системи

Кожний електричний апарат - пристрій, що має один чи декілька входів, на які подається керуюче діяння, в результаті якого змінюється стан одного чи деяких виходів.

Елементи апарата, що сприймають діяння, будемо називати вхідними, а виходи залежно від їх призначення - елементами виконання чи зв'язку.

У системі, що розглядається, вхідними елементами являються обмотки електропневматичних вентилів, керуючих приводом тягових апаратів. Винятком є реле прискорення РП, має два вхідних елемента - обмотку в силовому колі РП-С та обмотку підйомної котушки РП-П в колі управління.

Елементами виконання тягових апаратів є їх силові контакти, що забезпечують роботу силових кіл. Виконавчі елементи контролера машиніста *КМ* і реле прискорення *РП* включені у коло управління.

До елементів зв'язку відносяться блокування даного апарата, що забезпечують необхідний порядок роботи апаратів. Контролер машиніста має механічні зв'язки між рукоятками (механічні блокування).

У структурних схемах систем автоматичного регулювання [1, с. 97] електричні комутаційні апарати зображаються у вигляді динамічного кільця із затриманням. Це пов'язане з тим, що перемикання вихідних елементів апарата відбувається із деяким затриманням щодо моменту зміни керуючого діяння на його вході. Тому динамічна характеристика апарата становить ступеневу функцію, змінену відносно початку координат на величину запізнювання. Величина запізнювання визначається тривалістю електричних та механічних перехідних процесів в апараті і залежить від ряду експлуатаційних факторів: напруги живлення кіл управління, тиску стислого повітря, температури і т. д.

Для розрахунків у курсовій роботі приймаються наступні значення часу запізнювання:

$t_{рп} = 40$ мс - час відпадання якоря *РП* (час від моменту досягнення струму уставки до моменту замикання контактів *РП*);

$t_{рп} = 20$ мс - час спрацьовування *РП* (час від моменту замикання контакту *ЛВ1* до моменту розмикання контактів *РП*);

$t_k = 80$ мс - час включення та виключення контакторів з індивідуальним приводом (перехідного, мостового, регулювання збудження).

Знаючи інверсії у позначеннях $t_{рп}$, t_k позначає розмикання контакту апарата.

Час перемикання реостатного контролера з позиції на позицію складається з тривалості ряду процесів, що відбуваються в апараті і підпорядковуються визначеному порядку - алгоритму.

Час перемикання *РК* відраховується з моменту подачі дії (живлення) на котушку чергового вентиля *РК1* чи *РК11* через контакти *ПВ2* або *ПВ3* відповідно (див. рис. 3). Проте включення ланцюга живлення котушки вентиля ще не означає його спрацьовування.

Час спрацьовування вентиля *РК*, як і будь-якого електромагнітного пристрою (наприклад, реле), складається з двох часів, а саме: часу вирушення $t_{вир} = 130$ мс, протягом якого струм в обмотці вентиля наростає до значення струму спрацьовування і починається рух якоря, та часу руху $t_p = 20$ мс якоря, що натискує на клапан, який відкриває доступ повітря в циліндр приводу. Далі відбувається заповнення повітрям циліндру приводу, що завершується протягом $t_{зп} = 100$ мс. Після цього починає обертатися вихідний вал приводу Решетова, на якому знаходяться кулачкові шайби контакторних елементів *ПВ1*, *ПВ2*, *ПВ3*. Одночасно через зубчасту передачу починає обертатися головний вал контролера, який управляє роботою силових та блокувальних контактів.

Діаграма, що відбиває послідовність замикання і розмикання силових та блокувальних контактів при перемиканнях *РК* з позиції на позицію (розгортка *РК*), наведена на рис. 7.

Цифрами на діаграмі визначені кути повороту вихідного вала приводу, які відраховані від фіксованих позицій. Повний кут повороту вала при кожному перемиканні *РК* складає 60° . Для того, щоб за заданими

Позиції	1	2	3...8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19
1		40											
2			40					40					20
3													
4													
5				20						40			20
6										40			20
7					20								
8		20											
9													
10				40									
11													
12		20											
13													
14													
15													
16													
17													
19													
10-12													
12-18													
181	16	12	16	52	16	52	16	52	16	52	16	52	16
182	52	51	51	52	53	52	53	52	53	52	53	52	53
183	53	52	52	53	52	53	52	53	52	53	52	53	52

Рис. 7 Розгортка реєстраційного контролера

кутани визначити час від початку обертання вала до перемикання контакту, треба знати швидкість обертання вала. Цю швидкість будемо вважати постійною, що дорівнює 0,4 град/мс.

Час перемикання реостатного контролера, що записують у таблицю послідовності роботи системи (табл. 5), складається з часу підготовки РК $t_n = t_{вир} + t_p + t_{ап} = 250$ мс та часу обертання $t_{об}$ до моменту замикання чи розмикання силових чи блокувальних контактів. На різноманітних тактах роботи системи цей час може бути різним.

Для визначення часу обертання та наступного аналізу необхідно збудувати графік замикання і розмикання силових та блокувальних контактів РК, а також контактів перемикання вентилів (ПВ1, ПВ2 і ПВ3) залежно від часу. Графік будують для одного повороту вала аналогічно діаграмі розгортки, але замість градусів відкладається час у масштабі $M_t = 1+2$ мс/мм. На графіку немає необхідності показувати всі силові та блокувальні контакти, бо час буде повторюватися. Достатньо показати роботу одного силового та блокувального контакту і контактів перемикання вентилів. Часи замикання і розмикання кожного контакту записати на графіку аналогічно запису кутів на рис. 7.

Час записувань апаратів запишіть у рядок відповідних тактів колонки 4 табл. 5. Щоб уникнути помилок, одночасно слід стежити за роботою системи по схемах (див. рис. 2, 3 і 5). При записі часу перемикання РК треба стежити за виконанням, бо тривалість буде різною. Врахуйте, що розмикання реостатних контакторів відбувається без струму.

Оформлення розділу

1. Графік часу замикання і розмикання силових та блокувальних контактів РК і контактів перемикання вентилів (ПВ1, ПВ2, ПВ3) за один поворот вала РК.
2. Заповнені рядки тактів, на яких відбувається спрацьовування апаратів у колонці 4 табл. 5.

6. Розрахунок прискорення при розгоні електропоїзда на прямій горизонтальній ділянці колії

Для розрахунку збільшення швидкості за час спрацьовування апаратів і перехідних процесів треба знати прискорення руху поїзда. Прискорення може бути визначено з основного рівняння руху поїзда на площадці:

$$F_e - w_0 Q_g \cdot 10^{-3} = \frac{(1 + \gamma) Q dv}{3.6 dt}, \quad (13)$$

де $Q = 575$ т - розрахункова маса електропоїзда, що складається з п'яти моторних та п'яти причепних вагонів;

F_e - сила тяги електропоїзда, що визначається з умови $F_e = m^* F_d$ кН;

m^* - число тягових двигунів у електропоїзді;

F_d - сила тяги двигуна;

ω_0 - основний питомий опір руху електропоїзда; в межах зміни швидкостей, передбачений завданням, можна прийняти $\omega_0 = 2.5$ Н/кН;

$\gamma = 0.06$ - коефіцієнт, що враховує інерцію обертових мас;

$g = 9.81$ м/с² - прискорення вільного падіння тіла;

dv/dt - прискорення поїзда, км/г/с.

Сила тяги F_d , а отже, й прискорення руху, залежать від струму двигуна. У процесі розгону електропоїзда струм двигунів постійно змінюється, причому через розкидання параметрів апаратів зміни струму двигунів окремих вагонів відбуваються несинхронно. Внаслідок цього середня величина струму двигунів залишається приблизно постійною і близькою до струму уставки реле прискорення. Тому розрахункове прискорення треба визначати щодо сили тяги для повного збудження при струмі $I_y = 1.3 I_n$.

Розрахункову величину сили тяги двигуна визначити з рівняння енергетичного балансу

$$P_d = U_{дн} I \cdot \eta_n \cdot \eta_{зп} = \frac{F_d \cdot v}{3.6}, \quad (14)$$

де $I = 1.3 I_n$; $v = 0.91 v_n$ - з таблиці 3; $\eta_{зп} = 0.975$ - ККД зубчатої передачі.

Оформлення розділу

1. Розрахунок сили тяги двигуна при струмі $I = 1.3 I_n$.
2. Розрахунок прискорення електропоїзда при тому ж струмі.

7. Аналіз роботи системи при реостатному регулюванні

Для дослідження систем з релейними елементами звичайно використовується або засіб фазової площинності [1, с.187-196], або графоаналітичний засіб, що називають також засобом "припасовування". При аналізі роботи системи управління електропоїздом ми будемо користуватися останнім засобом, бо він найбільш повно відповідає поставленій задачі корегування вихідної пускової діаграми. Принцип "припасовування" полягає у розбиванні процесу, що досліджується, на ділянки і дослідженні процесу на кожній ділянці при початкових умовах, відповідних до одержаних у кінці попередньої ділянки. Такими ділянками для системи, що розглядається, є часи спрацьовування апаратів, перехідних процесів у ланцюзі двигуна, затримки на характеристиках до струму уставки РП. У цій послідовності буде вироблятися аналіз.

Ступеням реостатного регулювання відповідають швидкісні характеристики 1-9, 13-16 і такти 1-36 у табл. 5.

На першому етапі аналізу визначається збільшення швидкості за час спрацьовування апаратів. При реостатному регулюванні цей час складається з часу відпускання якоря РП $t_{рп}$ і часу перемикання РК $t_{рк}$. Ці дані вже записані у відповідні рядки тактів у колонку 4 табл. 5.

Таблиця 5

Послідовність роботи системи управління електропоїздом за часом

Характеристика	Текст операції	Тривалість, с	Найменування вихідного елемента апарату	Коло полючі дії	Виконання		Середня швидкість, км/г	І. А			
					Коло управління	Силові кола					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	Вихідний стан	-	-	-	-	-	КБ, К1, К3-К9, Р-ВП, РП, РК1-В, ПБ2, ПП-2, 2П1-2	В1, В3, В5, В7, В8, П1, П2	0,0	0,0	0,000
1	1 Включення ЛК1-2	0,06	ЛК1-2	К3, К4, К5, РК1, К9	ЛК1-2	ЛК1-2, 2ЛК1-2	ЛК1-2	ЛК1-2	0,0	0,0	0,000
2	2 Включення М	0,06	М	К3, К4, К5, К1, Р-ВП, ПП1-2, ПП2-2, К9	М	М	М	М	0,0	0,0	0,0
3	3 Перемикання РК	0,36	РК1	К3, К5, РК1-8, РП, 2М, ПБ2	РК1	РП, ПБ2, ПБ3, РП2-16, РП	РП, ПБ2, ПБ3, РП	РП, ПБ2, ПБ3, РП	-	-	-
1-2	4 Перехід	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5 Затримка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6 Відключення РП	0,04	РП-С	Силове коло К3, К5, РК1-6, РП, 2М, ПБ3	РП-С	РП, ПБ2, РП	РП, ПБ2, РП	РП, ПБ2, РП	0,0	0,0	0,000
7	7 Перемикання РК	0,36	РК1	К3, К5, РК1-8, РП, 2М, ПБ2	РК1	РП, ПБ2, ПБ3, РП	РП, ПБ2, ПБ3, РП	РП, ПБ2, ПБ3, РП	0,0	0,0	0,000
3-3	8 Перехід	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	9 Затримка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	10 Відключення РП	-	РП-С	Силове коло К3, К5, РК1-6, РП, 2М, ПБ2	РП-С	РП, ПБ2, РП	РП, ПБ2, РП	РП, ПБ2, РП	0,0	0,0	0,000
11	11 Перемикання РК	-	РК1	К3, К5, РК1-8, РП, 2М, ПБ2	РК1	РП, ПБ2, ПБ3, РП	РП, ПБ2, ПБ3, РП	РП, ПБ2, ПБ3, РП	0,0	0,0	0,000
3-4	12 Перехід	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	13 14 15	Затримка Відпускання РП Перемикання РК		РП-С РК11	Силове коло КЗ, К5, РК1-В, РП, 2М, ПБ3	РП, ПВ3, РП	4.1			
4-5	16	Перехід		-	-	-	-			
5	17 18 19	Затримка Відпускання РП Перемикання РК		РП-С РК1	Силове коло КЗ, К5, РК1-В, РП, 2М, ПБ3	РП, ПВ3, РП	5.2			
5-6	20	Перехід		-	-	-	-			
6	21 22 23	Затримка Відпускання РП Перемикання РК		РП-С РК11	Силове коло КЗ, К5, РК1-В, РП, 2М, ПБ3	РП, ПВ3, РП	6.3			
6-7	24	Перехід		-	-	-	-			
7	25 26 27	Затримка Відпускання РП Перемикання РК		РП-С РК1	Силове коло КЗ, К5, РК1-В, РП, 2М, ПБ3	РП, ПВ3, РП	7.4			
7-8	28	Перехід		-	-	-	-			
8	29 30 31	Затримка Відпускання РП Перемикання РК		РП-С РК11	Силове коло КЗ, К5, РК1-В, РП, 2М, ПБ3	РП, ПВ3, РП, РК1-В, РК9-10, 12-15	10.5			
8-9	32	Перехід		-	-	-	-			
9	33 34 35 36	Затримка Відпускання РП Перемикання РК 9-----10 Включення ШЛ-2		РП-С РК1 ШЛ-2	Силове коло КЗ, К5, РК9-10, 12-15, РП 2М, ПБ2, КЗ, К6, РП10-12, К9	РП, ПВ3, РК10-12	6.7 ШЛ-2			

Після цього, користуючись одержаним раніше розрахунковим прискоренням, треба визначити збільшення швидкості Δv і записати його у відповідні рядки колонки 9. Збільшення швидкості за час відпускання реле прискорення окремо можна не розраховувати. Коли PA працює слідом за PL , у колонку 9 можна записати збільшення швидкості за два такти для суми часу $t_{рп} + t_{рл} = 0,39$ с.

Значення швидкостей, відповідних моменту закінчення кожного такту, визначаються з пускової діаграми і записуються у колонку 10. За визначеними швидкостями з характеристик треба знайти величини струму двигуна, які записати у колонку 11. Додільно визначити точками на характеристиках визначені швидкості і струми для наступної побудови пускової діаграми, що реалізується.

Далі розраховується збільшення швидкості $\Delta v_{\text{зп}}$ за час перехідного процесу у колі двигунів, що у табл. 5 названий для скорочування "перехід". Тривалість переходу $t_{\text{зп}} = 3$, причому ζ розраховується за формулою (11). Необхідне для його розрахунку значення швидкості $v_{\text{пч}}$, при якій починається перехід, визначено вище і вже записано у колонці 10 табл. 5.

Знаючи збільшення швидкості за час переходів, можна визначити величини швидкості руху і струму виходу на чергову характеристику, як показано на рис. 4. Одержані значення швидкості і струму треба визначити точками на сітці характеристик та записати у колонки 10 і 11 табл. 5. Результати розрахунку перехідних процесів слід записати у табл. 6 з точністю не більш трьох знаків після коми.

На позиціях реостатного регулювання у табл. 5 залишилися незаповнені рядки тактів затримки. Щоб визначити час затримки, треба знайти збільшення швидкості Δv_z з пускової діаграми, користуючись масштабом, починаючи з точки виходу на чергову характеристику до досягнення струму уставки PL . По визначеному збільшенню швидкості і розрахунковому прискоренню визначається час затримки t_z .

Таблиця 6

Розрахункова таблиця збільшення швидкості за час переходу

Перехід	R_{n+1}	$v_{\text{пч}}$	ζ	$t_{\text{зп}}$	$\Delta v_{\text{зп}}$
C 1 на 2 позицію					
C 2 на 3 "					
C 3 на 4 "					
C 4 на 5 "					
і т.д.					

Одержані значення часу, збільшення швидкості, швидкості руху і струму треба записати у колонки 4, 9, 10 і 11 табл. 5 з точністю, відповідною точності побудови графіку швидкісних характеристик. Значення швидкості округлити до першого знаку після коми, величину струму записувати цілими числами.

Оформлення розділу

1. Розрахунок збільшення швидкості за час спрацьовування апаратів.
2. Розрахунок $Z, \alpha_{\text{вп}}$. Розрахункова таблиця по формі табл. 6.
3. Розрахунок часу затримки на позиції.
4. Заповнення колонок 4, 9, 10 і 11 табл. 5 на тактах реостатного регулювання.

В. Аналіз впливу технічного стану обладнання на якість регулювання

Одним з показників якості роботи системи ступеневого регулювання струму двигунів є коефіцієнт нерівномірності пуску, котрий залежить від середнього значення струму при розгоні електропоїзда та від величини кидків струму при переходах [1, с.17-29]. Очевидно, що чим менший середній струм, тим більш тривалий розгін, а чим більше кидки струму, тим менша надійність роботи тягових двигунів і механічного обладнання. При виконанні розрахунків та попередніх побудов вже з'ясовано, як впливають часи спрацьовування апаратів і перехідних процесів на стан пускової діаграми 1, відповідно, на ці показники. Тепер на деяких прикладах буде розглянуто, як зміниться пускова діаграма при відхиленнях параметрів апаратів від заданих раніше.

Причини ненадійної роботи кола підйомної котушки реле прискорення

При існуючій схемі включення підйомної котушки ПК реле прискорення на електропоїздах EP1 і EP2 ефективність її недостатня. Це пояснюється тим, що в момент замикання контакту ПВ1 (рис. 8) вона підключається послідовно з котушкою вентиля приводу силового контролера, яка має значну індуктивність (20 Гн). Тому струм у підйомній котушці зростає поступово. У зв'язку з тим, що час живлення ПК обмежений і складає 0,05-0,06 с, то якір реле прискорення може не притягнутися і не розімкнути контакти РЛ, при цьому силовий контролер не зафіксує чергову реостатну позицію.

Як показали розрахунки [3], наростання струму в ланцюзі підйомної котушки відбувається за залежністю

$$I_{\text{ПК}} = \frac{R}{R + R_{\text{ПК}}} \left[I_1 - (I_1 - I_2) e^{-\frac{t}{L}} \right], \quad (15)$$

де $I_1 = U_6 / (R_в + R_{\text{ПК}})$ - струм, що установився при замиканні контакту ПВ1;
 $I_2 = U_6 / (R_в + R)$ - струм, що установився до замикання контакту ПВ1;
 U_6 - напруга батареї (50 В);
 $R_{\text{ПК}} = R_{\text{ПК}} \cdot R / (R_{\text{ПК}} + R)$ - еквівалентний опір підйомної котушки та опору R;
 $R_в$ - опір котушки вентиля приводу КСП (100 Ом);

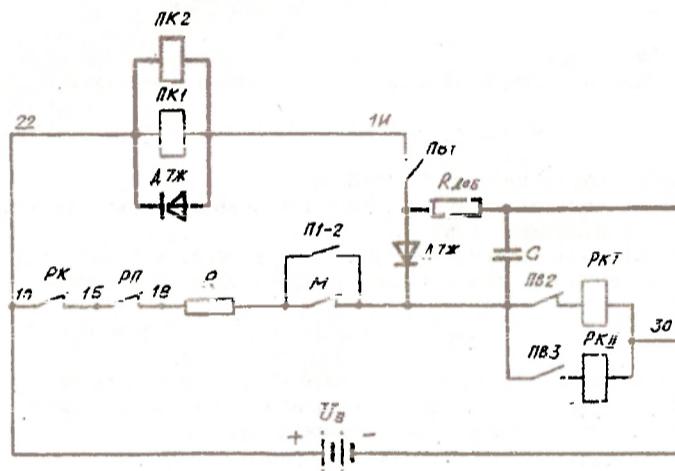


Рис. 8 Удосконалена схема роботи реле прискорення при автоматичному пуску

$\sigma = R_{\text{екв}} / (L_{\text{в}} + L_{\text{пк}})$ - зворотна величина постійної часу перехідного процесу;

$R_{\text{екв}} = R_{\text{в}} + R_{\text{пк}}$;

$L_{\text{в}}$ - індуктивність вентиля (20 Гн);

$L_{\text{пк}}$ - індуктивність підйомної котушки (0,3 Гн);

$R = 75 \text{ Ом}$;

$R_{\text{пк}}$ - опір підйомної котушки (44,3 Ом).

Підставивши дані, одержимо характер наростання струму в підйомній котушці

$$I_{\text{пк}} = 0,24 - 0,06 e^{-\tau t} \quad (16)$$

При $t=0,05 \text{ с}$ $I_{\text{пк}} = 0,2 \text{ А}$.

Намагнічуюча сила підйомної котушки РП дорівнює

$$A \psi_{\text{пк}} = I_{\text{пк}} \cdot \psi_{\text{пк}} \cdot K = 0,2 \cdot 1650 \cdot 1,6 = 535 \text{ [А}\cdot\text{в]}.$$

де $\psi_{\text{пк}}$ - число витків ПК (1650);

K - коефіцієнт еквівалентності низьковольтних ампервитків високовольтним (1,6).

Загальна намагнічуюча сила за час сумісної дії підйомної та силової котушок, яка дорівнює 0,015-0,02 с, визначиться як

$$A \psi_{\text{сум}} = I(t) \cdot \psi_{\text{с}} + A \psi_{\text{пк}} = 595 + I(t) \cdot \psi_{\text{с}}$$

де $\psi_{\text{с}}$ - число витків силової котушки РП, дорівнює 8;

$I(t)$ - наростання струму в силовому ланцюзі за час $t=0,015 \text{ с}$, яке визначається за рівнянням (8).

Число ампервитків, при яких якір реле прискорення притягнеться (при зазорі між якорем та осердям 2 мм), дорівнюють

$$A \psi_{\text{спр}} = I_{\text{спр}} \cdot \psi_{\text{с}} = 250 \cdot 8 = 2000 \text{ [А}\cdot\text{в]}.$$

Якщо $A \psi_{\text{сум}} > A \psi_{\text{спр}}$, то фіксація чергової позиції силового контролера відбудеться, якщо $A \psi_{\text{сум}} < A \psi_{\text{спр}}$, то відбудеться проскакування силового контролера чергової позиції. Це приведе до боксування колісних пар моторних вагонів, а в ряді випадків до явищ кругових вогнів на колекторах тягових двигунів.

Для усунення проскакування позицій та найбільш ефективного поліпшення роботи контактної РП необхідно доповнити схему кіл автоматичного пуску [3] наступними змінами, рис. 8.

Напівпровідниковий вентиль служить для запобігання живлення додаткового кола через опір 35 Ом в момент, коли живлення вентиля КСП відбувається через н.з. контакт РП. Для усунення можливих перенапруг у колах управління встановлюється конденсатор C (260 В, 1 мкФ).

У цій схемі в момент, коли замкнеться контакт ПВ1, підйомна котушка РП підключиться до додаткового кола через опір 35 Ом і струм у ній майже миттєво збільшиться до встановленої величини, бо $L_{\text{пк}}$ невелика. Цей струм в чотири рази більше, ніж у попередній схемі, і якір РП завжди притягнеться.

При розмиканні кола підйомної котушки контактом ПВ1 за 4° до кінця фіксованої позиції КСП виникає ЕРС самоіндукції, що викликає утворення струму, який проходить через шунтуючий напівпровідник. Тому відпадання якоря РЛ буде відбуватися із затримкою 0,04 с. За цей час струм у силовому колі зростає до встановленої величини, що буде сприяти утриманню якоря РЛ у притягнутому стані. Випадки проскакування позицій КСП будуть виключені.

Оформлення розділу

1. Збудувати графік наростання струму в колі підйомної котушки РЛ при замиканні контакту ПВ1 до $t=0,05$ с.
2. Визначити намагнічуючі ампервитки від низьковольтної підйомної котушки РЛ.
3. Визначити величину струму в силовому колі з рівняння (15) за час $t=0,015$ с та 0,02 с.
4. Визначити ампервитки від дії підйомної та силової котушок.
5. Зробити висновок про можливість проскакування позицій КСП.
6. Запропонувати засоби по підвищенню надійності роботи реле прискорення і, відповідно, надійності системи автоматичного пуску електропоїзда.

ВИСНОВКИ

На закінчення треба написати висновки про вплив динамічних процесів в апаратах і в об'єкті управління на роботу системи. Пояснить, як зміниться робота системи, якщо збільшити або зменшити число моторних вагонів в електропоїзді; як зміниться пускова діаграма при розгоні електропоїзда на спуску і на підйомі, які будуть наслідки цих змін.

ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. Пояснить по функціональній схемі системи, як здійснюється автоматичне регулювання струму тягових двигунів.
2. Пояснить по принциповій схемі кіл управління призначення блокувань апаратів.
3. Пояснить по силовій схемі, як здійснюється вплив на величину струму тягових двигунів.
4. Що являють собою статичні й динамічні характеристики двигунів?
5. Від чого залежить тривалість перехідного процесу в колі двигунів?
6. З яких інтервалів складається час перемикання реостатного контролера з позиції на позицію?
7. Пояснить, що записано у кожній колонці таблиці алгоритму роботи системи управління в часу.

8. Як розраховується збільшення швидкості за час спрацьовування апаратів та за час перехідних процесів?

9. Як розраховується час затримки на позиції?

10. Поясніть по збудованим в курсовій роботі графікам, як впливає зміна часу спрацьовування апаратів і розгортки RK на якість регулювання струму двигунів.

11. Як відібі'ється відмова кола підйомної котушки РП на процесі регулювання струму тягових двигунів?

ЛІТЕРАТУРА

1. Захарченко Д. Д., Савоскин А. Н. и др. Автоматизация ЭПС. М.: Транспорт, 1978, 1990.
2. Электропоезд ЭР2. М.: Транспорт, 1966.
3. Висин Н. Г. Автоматизация и синхронизация пуска электропоездов. М.: Транспорт, 1976.
4. Рубчинский Э. М. и др. Электропоезда. М.: Транспорт, 1963.
5. Методическое указание ВЗИИТа для студентов-заочников VI курса по специализации "ЭПС и его автоматизация". М.: ВЗИИТ, 1969.

