

12/4/2

Одобрено кафедрой
«Тяговый подвижной состав»

**ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ**

Задание на курсовую работу с методическими указаниями
для студентов V курса

специальности
**190303 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ЖЕЛЕЗНЫХ
ДОРОГ (ЭПС)**

Составитель — канд. техн. наук, доц. Е.П. Капустина
Рецензент — д-р техн. наук, проф. Н.А. Ротанов

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

В курсовой работе необходимо произвести расчет некоторых элементов системы управления электровозом постоянного тока и анализ работы системы.

Для успешного выполнения работы необходимо изучить основной материал курса по разделам программы: управление тяговыми двигателями ЭПС постоянного тока в тяговом режиме и режиме электрического торможения, тяговые аппараты, структура электрических цепей ЭПС. Особое внимание следует обратить на принципы построения и работу силовой схемы и схемы управления, а также на устройство основных аппаратов и оборудования грузового электровоза ВЛ10.

В конце задания приведена рекомендуемая литература, которую необходимо использовать при выполнении работы.

ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Все записи следует делать на одной стороне листа 11-го формата. С правой стороны листа оставляют поля шириной 25–30 мм.

На первом листе расчетной записки необходимо написать заголовок, отражающий содержание работы, и привести исходные данные, которые соответствуют варианту задания.

2. Расчеты выполняют в последовательности, приведенной в методических указаниях. На каждом этапе расчета указывают его порядковый номер и наименование рассчитываемой величины. Затем записывают расчетную формулу или, если требуется, дают ее вывод. В формулах расшифровывают только те символы и числовые коэффициенты, которые не были объяснены на предыдущих этапах расчета или в исходных данных. После этого в формулу подставляют численные значения переменных и, опуская промежуточные вычисления, приводят результат расчета.

3. Все расчеты выполняют с точностью до трех-четырёх значащих цифр. При выполнении расчетов на калькуляторах должны быть произведены соответствующие округления.

4. Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. Размещают рисунки и таблицы сразу после ссылки на них в тексте работы или на следующей странице, если их выполняют на отдельных листах.

5. Графики выполняют на миллиметровой бумаге карандашом. Координатные оси проводят по жирным линиям миллиметровой сетки. Масштабы выбирают только из нормального ряда: 1; 2; (2,5); 4; $5 \times 10^{+n}$ ед/см, где n — любое целое число или 0.

Указывать на графике масштаб не нужно. Достаточно разметить оси через 10, 20 или 25 мм,

6. Отмеченные рецензентом ошибки должны быть исправлены аккуратно. Для исправлений нужно использовать обратную (чистую) сторону предыдущего листа. Нельзя заклеивать или вырывать листы с ошибочными расчетами.

Исходные данные

Скоростные характеристики	Масштаб скорости mv , км/(ч·мм)	Номинальный ток I_n , А	Масса состава, т					Масса электровоза, т
			4300	4000	3800	3600	3400	
			Последние цифры учебного шифра					
Рис. 1А*	0,20	400	01	02	03	04	05	200
		410	06	07	08	09	10	196
		420	11	12	13	14	15	192
		430	16	17	18	19	20	188
		440	21	22	23	24	25	184
Рис. 1Б*	0,20	450	26	27	28	29	30	184
		460	31	32	33	34	35	188
		470	36	37	38	39	40	192
		480	41	42	43	44	45	196
		490	46	47	48	49	50	200

* См. вкладку

Окончание табл.

Скоростные характеристики	Масштаб скорости m_v , км/(ч·мм)	Номинальный ток I_H , А.	Масса состава, т					Масса электровоза, т
			4300	4000	3800	3600	3400	
			Последние цифры учебного шифра					
Рис. 1А	0,25	440	51	52	53	54	55	200
		448	56	57	58	59	60	196
		456	61	62	63	64	65	192
		464	66	67	68	69	70	188
		472	71	72	73	74	75	184
Рис. 1Б	0,25	480	76	77	78	79	80	184
		488	81	82	83	84	85	188
		496	86	87	88	89	90	192
		504	91	92	93	94	95	196
		512	96	97	98	99	00	200

1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Для расчета основных параметров двигателя нужно подготовить график скоростных характеристик (рис. 1 см. вкладки).

На ось скорости наносятся деления через 10 км/ч в соответствии с заданным масштабом скорости m_v . Номинальная скорость V_H определяется из графика ходовой характеристики параллельного соединения по заданному значению номинального тока I_H .

Номинальная сила тяги двигателя в кН рассчитывается по формуле

$$F_{\text{кдн}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3} U_{\text{дн}} I_H \eta}{V_H}, \quad (1)$$

где $\eta = 0,9$ — КПД тягового двигателя и зубчатой передачи;
 $U_{\text{дн}} = 1500$ В — номинальное напряжение на двигателе.

Данные для построения электротяговых характеристик получают путем пересчета в абсолютные значения расчетных точек универсальных характеристик двигателя, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Электротяговые характеристики двигателя в относительных единицах

β	I / I_n					
	0,3	0,4	0,6	1,0	1,35	1,7
	$F_{кд} / F_{кдн}$					
1	0,15	0,25	0,48	1,0	1,47	1,96
0,75	0,10	0,18	0,39	0,87	1,34	1,81
0,55	0,07	0,13	0,31	0,77	1,23	1,70
0,43	0,05	0,11	0,26	0,68	1,10	1,56
0,36	0,03	0,08	0,21	0,59	0,97	1,40

Здесь β — коэффициент регулирования возбуждения [1, §11].

При расчетах потребуется зависимость магнитного потока Φ от тока возбуждения I_B . Кривую намагничивания удобно использовать для расчетов в виде зависимости удельной ЭДС от тока возбуждения $C_v \Phi(I_B)$. Построить ее можно, исходя из уравнения электрического равновесия при работе двигателя на ходовой позиции параллельного соединения:

$$U_{дн} = I r_d + C_v \Phi V, \quad (2)$$

где $r_d = \frac{0,04U_{дн}}{I_n}$ — сопротивление обмоток двигателя.

Кривую строят по точкам, ординаты которых рассчитывают для токов, указанных в табл. 2. Значения скорости необходимо брать из графика скоростной характеристики 37-й позиции (рис. 1), работа на которой определяется уравнением (2). Согласно этому уравнению

$$C_v \Phi = \frac{U_{\text{дн}} - I r_{\text{д}}}{V}. \quad (3)$$

Таблица 2

Расчет кривой намагничивания

$I_{\text{в}} = I, \text{ A}$	140	200	300	400	550	680
$V, \text{ км/ч}$						
$C_v \Phi, \frac{\text{В}}{\text{км/ч}}$						

Оформление раздела

1. Номинальная скорость.
2. Расчет номинальной силы тяги.
3. Таблица координат и графики электротяговых характеристик двигателя $F_{\text{кд}}(I)$, построенные на листе 11-го формата.
4. Расчет сопротивления обмоток двигателя $r_{\text{д}}$, выполненный с точностью до трех знаков после запятой.
5. Расчетная таблица и график кривой намагничивания $C_v \Phi(I_{\text{в}})$, построенный на листе 11-го формата.

2. СХЕМА СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗА

Принципиальная схема силовых цепей электровоза ВЛ10, применительно к которой ведется анализ работы системы управления, показана на рис. 2 задания на курсовую работу. На схеме сохранены обозначения оборудования и аппаратов, принятые в литературе [3]. Таблица замыкания контакторов приведена в задании на курсовую работу.

Приступая к выполнению раздела, необходимо изучить работу силовой схемы электровоза по рекомендованной литературе [3, с. 196 — 230], а также уметь объяснить назначение всех основных элементов схемы и реализацию основных принципов управления электровозами постоянного тока в тяговом и тормозном режимах.

На рис. 2 цветным карандашом необходимо показать цепь и направление тока двигателей 1 — 4 в режиме тяги на позиции,

номер которой выбирается из табл. 3 по последней цифре учебного шифра. Особого внимания требует направление тока через пусковые резисторы обеих секций электровоза.

Таблица 3

Таблица вариантов

Последняя цифра учебного шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер позиции	20	21	22	23	24	25	26	31	33	36

Другими цветами на этом же рисунке необходимо показать цепи и направление токов якорей и обмоток возбуждения двигателей 5–8 в тормозном режиме при СП соединении тяговых двигателей.

3. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЙ

Расчет сопротивлений резисторов P9-P10, P10-P11 и т.д. (см. рис. 2), предназначенных для регулирования возбуждения в режиме тяги, должен производиться с учетом сопротивлений соединительных кабелей. Это связано с тем, что сопротивления кабелей и резисторов, особенно при глубоком регулировании возбуждения, оказываются соизмеримыми. Для расчета нужно составить расчетную схему на основании принципиальной силовой схемы. В схеме используются принятые в электротехнике условные графические обозначения элементов. На схеме покажите и обозначьте токи якоря, возбуждения и шунтирующей цепи.

Рекомендуются следующие обозначения и величины сопротивлений элементов расчетной схемы:

$r_{\text{в}} = 0,28r_{\text{д}}$ — сопротивление обмотки возбуждения двигателя;

$R_{\text{кв}} = 6,01 \text{ Ом}$ — сопротивление кабелей цепи одной группы обмоток возбуждения;

$R_{\text{кш}} = 0,005 \text{ Ом}$ — сопротивление кабелей шунтирующей цепи одной группы обмоток возбуждения;

$R_{\text{ш}i}$ — сопротивление резисторов ослабления возбуждения, включенных в шунтирующую цепь на i -й ступени регулирования.

Активное сопротивление индуктивного шунта определяется следующим образом [2, § 2.4]:

$$R_{\text{ш}} = (0,85 - 0,9) \frac{\beta_{\text{min}} n_{\text{дв}} r_{\text{в}}}{1 - \beta_{\text{min}} / \beta_0}, \quad (4)$$

где β_{min} — наименьшее значение коэффициента регулирования;

$n_{\text{дв}}$ — число последовательно соединенных обмоток возбуждения тяговых двигателей, шунтируемых резистором регулирования возбуждения;

$r_{\text{в}}$ — сопротивление обмотки возбуждения двигателя;

β_0 — коэффициент постоянного регулирования возбуждения для двигателей пульсирующего тока, для двигателей постоянного тока постоянное шунтирование обмотки возбуждения не используется, следовательно знаменатель в формуле для определения $R_{\text{ш}}$ равен единице.

Коэффициент $0,85 - 0,9$ введен для того, чтобы на последней позиции регулирования возбуждения последовательно с индуктивным шунтом был включен резистор сопротивлением не менее $0,1 R_{\text{ш}}$. Это необходимо для уменьшения влияния на β_{min} температурных изменений сопротивлений $r_{\text{в}}$ и $R_{\text{ш}}$ резисторов.

Индуктивность шунта должна быть достаточной для того, чтобы амплитудные значения тока якоря при самых тяжелых переходных процессах не превышали номинальный ток двигателя более чем в 2–2,5 раза. Уравнения, описывающие переходные процессы в цепях тяговых двигателей с регулированием возбуждения достаточно сложны, а возможный бросок напряжения контактной сети весьма неопределен. Поэтому индук-

тивность шунта $L_{\text{иш}}$ определяют в зависимости от индуктивности обмоток возбуждения двигателя $L_{\text{в}}$ из соотношения

$$L_{\text{иш}} = (0,6 - 0,75)L_{\text{в}} \quad (5)$$

Меньшее значение коэффициента принимают для более мощных двигателей.

Индуктивность обмотки возбуждения двигателя $L_{\text{в}}$ определяют по формуле

$$L_{\text{в}} = 2p \sigma w_{\text{в}} \frac{d\Phi}{dI_{\text{в}}}, \quad (6)$$

где p — число пар полюсов двигателя;

$\sigma = 1,15-1,2$ — коэффициент магнитного рассеяния;

$w_{\text{в}}$ — число витков обмотки возбуждения можно принять по данным близких по параметрам ($U_{\text{дн}}$, $P_{\text{н}}$) двигателей или ориентировочно считать:

$$w_{\text{в}} = (50-40) \text{ витков при } \frac{P_{\text{н}}}{2p} = (100-105) \text{ кВт};$$

$$w_{\text{в}} = (35-25) \text{ витков при } \frac{P_{\text{н}}}{2p} \geq 110 \text{ кВт};$$

$\frac{d\Phi}{dI_{\text{в}}}$ — тангенс угла наклона касательной к кривой намагничивания тягового двигателя в точке, соответствующей току

длительного режима. В ориентировочных расчетах принимают

$$\frac{d\Phi}{dI_{\text{в}}} = (3,2-3,8)10^{-5} \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}. \quad (7)$$

Пользуясь пояснениями [1, § 22], на основании законов Кирхгофа можно получить выражение для расчета $R_{\text{ши}}$

$$R_{\text{ши}} + R_{\text{иш}} + R_{\text{кш}} = \frac{\beta_i}{1-\beta_i} (2r_{\text{в}} + R_{\text{кв}}). \quad (8)$$

Значения $R_{ши}$ определяются для всех ступеней ослабления возбуждения, принятых на электровозе ВЛ10, которым соответствуют коэффициенты регулирования возбуждения: $\beta_1 = 0,75$; $\beta_2 = 0,55$; $\beta_3 = 0,43$; $\beta_4 = 0,36$. Сопротивления резисторов Р9-Р10, Р10-Р11 и т.д. рассчитывают по полученным значениям $R_{ши}$ с учетом последовательности переключения контакторов при регулировании возбуждения (см. таблицу замыкания контакторов).

Результаты расчета сопротивлений отдельных резисторов сводят в таблицу.

Оформление раздела

1. Расчетная схема.
2. Расчет $R_{ши}$.
3. Расчет $L_{иш}$.
4. Расчет сопротивлений резисторов регулирования возбуждения.

4. СХЕМА ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Для удобства изучения принципиальная схема цепей управления представлена на двух рисунках задания на курсовую работу. На рис. 3 показаны только те цепи, которые используют для управления электрическими аппаратами электровоза в режиме тяги, на рис. 4 — в режиме рекуперативного торможения.

Приступая к выполнению раздела, необходимо изучить работу схемы цепей управления по рекомендованной литературе [2, с. 255 — 272] и уметь объяснить назначение показанных на рис. 3 и 4 блокировок, действие схемы при переключении рукояток контроллера машиниста и соответствующие изменения в схеме силовых цепей электровоза.

На рис. 3 цветным карандашом требуется показать цепи прохождения тока через катушки аппаратов, включенных на позиции, номер которой выбран в предыдущем разделе.

На рис. 4 цветным карандашом необходимо показать цепи прохождения тока через элементы схемы на позиции тормоз-

ной рукоятки и при соединении двигателей, заданных в табл. 4 по сумме трех последних цифр учебного шифра.

Таблица 4

Таблица вариантов

Соединение двигателей	Позиция тормозной рукоятки контроллера								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Сумма трех последних цифр шифра								
С	1	4	7	10	13	16	19	22	25
СП	2	5	8	11	14	17	20	23	26
П	3	6	9	12	15	18	21	24	27

5. ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗА

Для выполнения раздела нужно изучить работу основных видов защиты силовых цепей и оборудования электровоза, для чего заполнить табл. 5 в соответствии с указанными в ней причинами срабатывания защиты [3, с. 230 — 240].

Таблица 5

Работа аппаратов защиты

Причина срабатывания защиты	Аппарат защиты	Параметр настройки защиты	Величина параметра настройки защиты	Конечный результат действий защиты
Атмосферные перенапряжения				
Короткое замыкание в режиме тяги				
Короткое замыкание в режиме рекуперации				
Пробой на землю изоляции ТД				
Перегрузка ТД				
Боксование и юз				

При защите курсовой работы требуется объяснить принцип действия защиты, используя для этого силовую схему и схему управления.

6. АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

На электровозе ВЛ10 переключения в силовой цепи при переходах с одного соединения двигателей на другое осуществляются групповыми контакторами КСПО, КСП1, КСПИ и реостатными контакторами. Последовательность переключения контакторов при переходах приведена в таблице замыкания контакторов.

Задача состоит в расчете токов двигателей и силы тяги электровоза на всех этапах перехода с серийес-параллельного на параллельное соединение двигателей. Ток двигателей в начале перехода зависит от того, на какое время машинист задерживает рукоятку контроллера на ходовой позиции. В работе необходимо принять, что ток начала перехода равен номинальному току I_n . По этому току из скоростной характеристики 27-й позиции определить скорость движения поезда при переходе. Переход длится всего 1,5 — 2 с, и поэтому можно с достаточной степенью точности принять, что скорость движения поезда за это время не изменяется.

Расчетные схемы переходных позиций показаны на рис. 5. На этих схемах кружком условно обозначены два последовательно соединенных двигателя (см. рис. 5, а), каждый из которых имеет ЭДС $E_d = C_v \Phi V$ и сопротивление обмоток r_d , равное сумме сопротивлений обмотки якоря $r_я$ и обмотки возбуждения $r_в$.

На позиции Х1 отключается часть реостатных контакторов (см. таблицу замыкания контакторов), и в цепь двигателей вводится сопротивление R_1 величину которого рассчитывают по заданным значениям сопротивлений пусковых резисторов, которые приведены в табл. 6. Вариант сопротивлений выбирают соответственно заданному варианту графика скоростных характеристик.

Таблица сопротивлений пусковых резисторов

Обозначение по схеме	Сопротивление, соответствующее варианту характеристики, Ом	
	Рис. 1 А	Рис. 1 Б
P1-P2	1,64	1,45
P2-P3	1,73	1,52
P3-P4	1,41	1,24
P5-P6	2,47	2,17
P6-P7	0,99	0,87
P7-P8	1,62	1,42
P23-P24	2,28	2,00
P24-P25	0,94	0,83
P25-P26	0,72	0,63
P27-P28	6,57	5,78
P28-P29	0,74	0,65
P29-P30	0,50	0,44

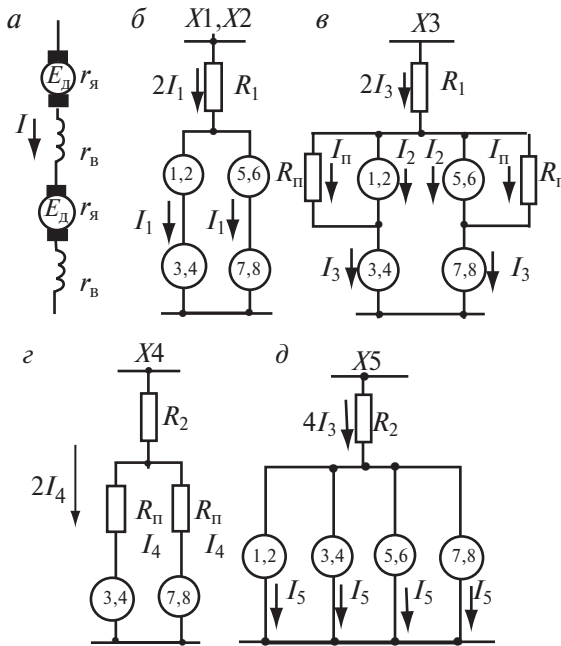


Рис. 5

Для расчета величины сопротивления R_1 нужно составить в соответствии с таблицей замыкания контакторов упрощенную схему реостата (контакторы на схеме не показывать), из которой должно быть ясно видно, как соединены между собой секции реостата на позиции $X1$.

После введения в цепь сопротивления R_1 начинается переходный процесс уменьшения тока двигателей до установившегося значения I_1 , которое нужно определить путем решения уравнения второго закона Кирхгофа составленного в соответствии с рис. 5, б:

$$U_c = 2I_1R_1 + 4I_1r_d + 4C_v\Phi_1V = 2I_1R_1 + 4U_d, \quad (9)$$

где $C_v\Phi_1V$ — ЭДС двигателя при токе I_1 и скорости V , при которой происходит переход;

$U_d = I_1r_d + C_v\Phi_1V$ — напряжение на двигателе.

Разделив обе части равенства (9) на 2, получаем:

$$\frac{U_c}{2} = I_1R_1 + 2U_d. \quad (10)$$

Решается уравнение (10) графическим способом, показанным на рис. 6. В первом квадранте строится зависимость $-2U_d(I)$, в четвертом — $IR_1(I)$, Масштаб токов — 4 А/мм, масштаб напряжений — 10 В/мм. Перемещая линейку параллельно оси ординат так, чтобы начало отсчета все время находилось на линии IR_1 , находят такое ее положение, при котором расстояние до точки пересечения линейки с зависимостью $2U_d(I)$ будет равно 150 мм. Точка пересечения линейки с осью абсцисс дает искомое значение тока I_1 , так как для него выполняется условие (10):

$$I_1R_1 + 2U_d = 10 \text{ В/мм} \times 150 \text{ мм} = 1500 \text{ В} = \frac{U_c}{2}.$$

Для расчета точек кривой $2U_d(I)$ используется полученная ранее зависимость $C_v\Phi(I_B)$. Результаты вычислений заносят-

ся в таблицу, выполненную в форме табл. 7. В эту же таблицу заносятся величины, которые потребуются для выполнения графических построений на последующих этапах расчета.

Таблица 7

Таблица расчетных точек зависимостей $2U_d(I)$ и $IR(I)$

Величина, В	Ток двигателей I , А					
	140	200	300	400	550	680
$2C_{\Phi}V$						
$2Ir_d$						
$2U_d$						
$2R_1$						
$I(2R_2+R_{\Pi})$	—	—		—		—
$4IR_2$	—	—		—	—	—

На второй переходной позиции сопротивление реостата остается прежним, и ток двигателей не меняется.

На третьей переходной позиции двигатели 1, 2 и 5, 6 шунтируются переходными резисторами R_{Π} . Это приводит к уменьшению тока шунтированных двигателей и увеличению тока двигателей 3, 4 и 7, 8. На рис. 5, в эти токи обозначены соответственно I_2 и I_3 . Установившиеся значения токов определяют путем решения системы уравнений:

$$U_c = 2I_3R_1 + 2U_{д1,2} + 2U_{д3,4}; \quad (11)$$

$$I_{\Pi}R_{\Pi} = 2U_{д1,2}; \quad (12)$$

$$I_2 + I_{\Pi} = I_3, \quad (13)$$

где $U_{д1,2}$ — напряжение на каждом из читателей 1 и 2;

$U_{д3,4}$ — напряжение на каждом из двигателей 3 и 4.

Сопротивление переходного резистора рассчитывают из условия, что ток двигателей 3, 4 и 7, 8 увеличился в результате шунтирования двигателей 1, 2 и 5, 6 в 1,6 раза, т.е. $I_3 = I, 6I_1$. По известному току I_3 находят напряжение $2U_{д3,4}$ (см. рис. 6) и

рассчитывают падение напряжения $2I_3R_1$. Затем в соответствии с уравнением (11) определяют напряжение $2U_{д1,2}$, по величине которого из графика $2U_{д}(I)$ определяют ток I_2 . Ток $I_{П}$ и сопротивление переходного резистора $R_{П}$ рассчитывают в соответствии с формулами (12), (13). Результаты расчетов заносят в табл. 9.

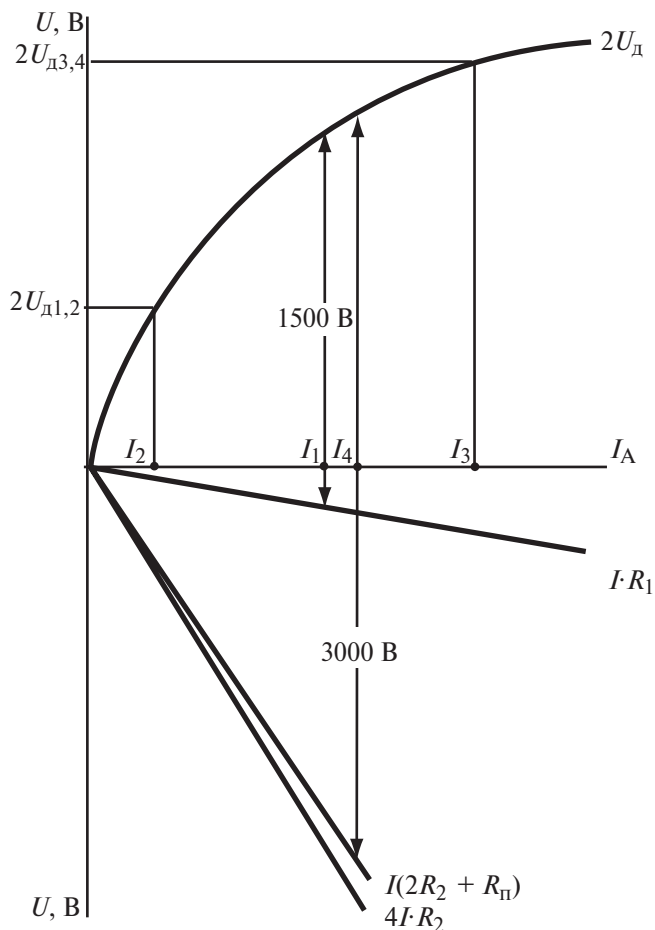


Рис. 6

Таблица расчета третьей переходной позиции

$I_3, \text{А}$	$2 I_3 R_1, \text{В}$	$2U_{д1, 2}, \text{В}$	$I_2, \text{А}$	$I_{п}, \text{А}$	$R_{п}, \text{Ом}$

На четвертой переходной позиции отключаются двигатели 1, 2 и 5, 6, и одновременно изменяется сопротивление пускового реостата (рис. 5, д). Установившееся значение тока определяют из уравнения

$$U_c = 2I_4 R_2 + I_4 R_{п} + 2U_{д} = I_4 (2R_2 + R_{п}) + 2U_{д}. \quad (14)$$

На пятой переходной позиции закорачиваются переходные резисторы, и ранее отключенные группы двигателей подсоединяются к земле. Установившееся значение тока определяют из уравнения

$$U_c = 4 I_5 R_2 + 2 U_{д}. \quad (15)$$

Метод определения I_4 и I_5 такой же, как и при определении I_1 . Для этого в четвертом квадранте рис. 6 строят зависимости $I(2R_2 + R_{п})$ и $4IR_2$ от тока. Для определения величины R_2 составляют в соответствии с таблицей замыкания контакторов упрощенную схему реостата. Пример определения I_4 показан на рис. 6.

По найденным значениям токов на переходных позициях из характеристики $F_{кд}(I)$ при полном поле находят соответствующие силы тяги двигателей. Сила тяга электровоза равна сумме сил тяги всех двигателей, Результаты расчетов сводят в таблицу, выполненную по форме табл. 9.

По данным табл. 9 строят диаграммы изменения токов двигателей и силы тяги электровоза при переходе. Время переключения КСП1, КСПИ и КСП0 с одной переходной позиции на другую принимают равным 0,3 с. Пример диаграммы изменения токов двигателей при переходе показан на рис. 7. Как видно из рисунка, ток двигателей изменяется от одного установившегося значения до другого не скачком, а в течение определенного

времени, которое зависит от соотношения индуктивности и сопротивления цепи. В работе можно принять это время равным 0,15 с для всех изменений тока при переходах.

Таблица 9

Таблица токов и силы тяги на этапах перехода СП - П

Параметры	Позиции					
	27	XI	X2	X3	X4	X5
Ток двигателя 1, 2, 5, 6, А						
Сила тяги двигателя 1, 2, 5, 6, кН						
Ток двигателя 3, 4, 7, 8, А						
Сила тяги двигателя 3, 4, 7, 8, кН						
Сила тяги электровоза, кН						

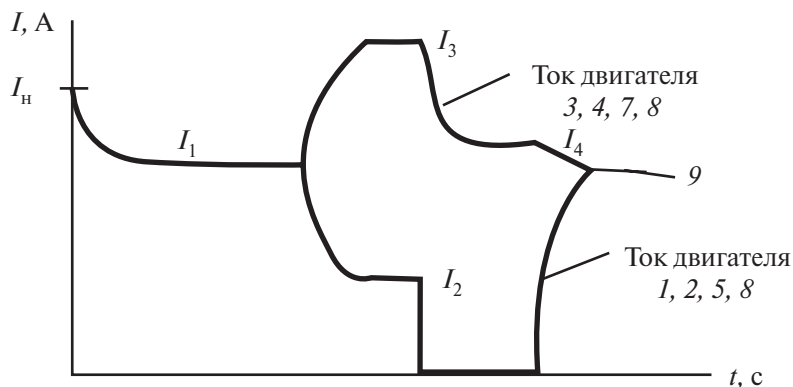


Рис. 7

Изменение тока двигателей при переходе с серийного на серийно-параллельное соединение анализируют только качественно, без расчета величины тока на этапах перехода. Для этого необходимо самостоятельно составить упрощенные схе-

мы переходных позиций и построить диаграмму, отражающую характер изменения (увеличение или уменьшение) тока двигателей при переходе.

В процессе анализа могут возникнуть затруднения при определении характера изменения тока двигателей второй секции на второй переходной позиции. Расчетная схема цепи протекания тока двигателей для этого случая показана на рис. 8, а, а осциллограмма тока — на рис. 8, б. При замыкании контактора 33–0 двигателя 1–4 и последовательно соединенный с ними резистор R_1 оказываются подключенными на полное напряжение контактной сети, а двигатели 5–8 перестают получать питание от сети. Одновременно образуется контур протекания тока двигателей 5–8 через этот контактор и резистор R_2 . Ток и магнитный поток этих двигателей начинают уменьшаться, в результате чего в обмотках каждого из них наводится ЭДС самоиндукции, равная

$$e_L = -L_D \frac{di_D}{dt},$$

где L_D — индуктивность обмоток двигателя.

ЭДС самоиндукции будет направлена согласно с током и встречно ЭДС вращения якорей двигателей. Под действием разности этих ЭДС в цепи будет протекать ток двигателей i_D , величина которого определяется из уравнения второго закона Кирхгофа

$$4e_1 + E_D = i_D (4r_D + R_2). \quad (16)$$

Решить уравнение (16) можно практически только с помощью вычислительных машин. Это связано с тем, что при переходных процессах величина магнитного потока двигателя зависит не только от намагничивающей силы обмотки возбуждения, но также и от намагничивающей силы вихревых токов в магнитопроводе двигателя. Вихревые токи задерживают процесс спада магнитного потока. В результате к тому моменту, когда

ток снизится до нуля, в двигателе еще будет магнитный поток прежнего направления. В момент снижения тока до нуля ЭДС двигателей и ЭДС самоиндукции равны (см. рис. 8, в).

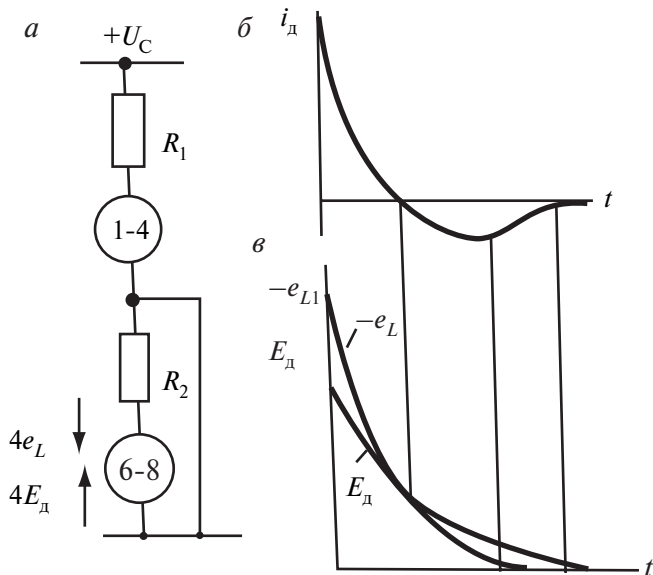


Рис. 8

В дальнейшем ЭДС двигателей становится больше ЭДС самоиндукции, и ток двигателей меняет направление. Как видно из осциллограммы (см. рис. 8, б), отрицательный (генераторный) ток достигает максимума и затем снижается до нуля. Максимум генераторного тока соответствует точке экстремума кривой $i(t)$, в которой величина первой производной равна нулю. Дифференцируя (16) по t и приравнявая результат к нулю, получим, что момент достижения максимума отрицательного тока соответствует равенству скоростей изменения ЭДС самоиндукции и ЭДС двигателей:

$$\frac{de_L}{dt} = \frac{dE_D}{dt}. \quad (17)$$

В дальнейшем ЭДС двигателей падает быстрее, чем уменьшается ЭДС самоиндукции. Это ведет к изменению знака производной тока по времени, т.е. к уменьшению генераторного тока. Контур протекания тока разрывается контактором 32-0 в тот момент, когда ток двигателей 5-8 практически равен нулю. Измерения, проведенные на электровозах ВЛ10, показали, что пик генераторного тока составляет в зависимости от скорости, при которой происходит переход, 50–100 А.

Оформление раздела

Переход СП — П

1. Скорость движения поезда при переходе.
2. Расчетная схема позиций $X1$, $X2$ и уравнение для определения I_1 .
3. Упрощенная схема соединения резисторов пускового реостата и расчет R_1 .
4. Расчетная таблица, выполненная по форме табл.7, и графический расчет I_1 .
5. Расчетная схема позиции $X3$ и система уравнений для определения I_2, I_3, I_{Π} .
6. Таблица расчета токов I_2, I_3, I_{Π} , выполненная по форме табл. 8.
7. Расчетная схема позиции $X4$ и уравнение для определения I_4 .
8. Упрощенная схема соединения резисторов пускового реостата и расчет R_2 .
9. Графический расчет I_4 .
10. Расчетная схема позиции $X5$, уравнение для определения I_5 , графический расчет I_5 .
11. Сводная таблица токов и силы тяги двигателей и электровоза на этапах перехода СП-П, выполненная по форме табл. 9.
12. Диаграммы изменения токов двигателей и силы тяги электровоза при переходе.

Переход С-СП

1. Расчетные схемы переходных позиций.
2. Диаграмма, отражающая характер изменения токов, при переходе.

7. ПУСКОВАЯ ДИАГРАММА, ОГРАНИЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Пусковой диаграммой называют графическое изображение изменения тока (или силы тяга) двигателя и скорости движения электровоза в процессе трогания и разгона поезда.

Пусковую диаграмму обычно изображают в координатной системе V, I на графике семейства скоростных характеристик тягового двигателя [1, с. 92 — 98].

При ступенчатом регулировании пусковая диаграмма отображает процесс смены характеристик в результате изменения регулируемого параметра. При реостатном пуске изменяется сопротивление пускового реостата, причем каждой ступени сопротивления реостата соответствует определенная скоростная характеристика двигателя.

Выражение скоростной характеристики можно получить из уравнения электрического равновесия для силовой схемы электровоза

$$U_c = a_d IR_i + m_d Ir_d + m_d C_v \Phi V, \quad (18)$$

где a_d — число параллельных ветвей двигателей, подключенных к реостату;

m_d — число последовательно включенных двигателей в каждой ветви;

R_i — сопротивление реостата на i -й позиции. Значения a_d и m_d зависят от схемы соединения двигателей.

Согласно (18), выражение зависимости $V(I)$ имеет вид

$$V = \frac{U_c - I \left(r_d + \frac{a_d}{m_d} R_i \right)}{C_v \Phi} = \frac{U_c' - I (r_d + R_i)}{C_v \Phi}, \quad (19)$$

$$\text{где } U'_c = \frac{U_c}{m_d}, \quad R'_i = \frac{a_d}{m_d} R_i.$$

В процессе трогания и разгона поезда машинист, перемещая главную рукоятку контроллера, ступенями уменьшает сопротивление реостата. Каждой позиции главной рукоятки контроллера машиниста соответствует определенная величина R_i и тем самым, определенная скоростная характеристика.

Пока машинист не изменит положение главной рукоятки контроллера, все двигатели электровоза будут работать по характеристике заданной позиции, определяемой уравнением (19).

Приращение скорости на каждой позиции ΔV_i ; определяется временем задержки t_{3i} на данной позиции и ускорением поезда

$$\Delta V_i = t_{3i} \frac{dV}{dt}. \quad (20)$$

Ускорение зависит от массы поезда и действующих на него сил и находится из основного уравнения движения поезда

$$F_k - W_k = (M_3 + M_c)(1 + \gamma) \frac{dV}{dt}, \quad (21)$$

где $F_k = nF_{кд}$ — касательная сила тяги, создаваемая n -двигателями;

W_k — силы сопротивления движению, действующие на поезд;

M_3, M_c — масса электровоза и состава соответственно;

γ — коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей.

Для начала движения поезда сила тяги электровоза должна быть больше сил сопротивления движению поезда при трогании. Поскольку сила тяги есть функция тока двигателя, указанное неравенство достигается, начиная с какой-то позиции

главной рукоятки контроллера машиниста, когда выводится часть сопротивления реостата и величина тока обеспечивает требуемую силу тяги.

Каждый переход с позиции на позицию сопровождается броском тока, величина которого определяется положением смежных характеристик [1, рис. 76]. Соответственно возрастанию тока двигателей увеличивается сила тяги, а тем самым и ускорение поезда.

На основании пусковой диаграммы можно решать ряд задач проектирования и эксплуатации системы управления электровоза. Например, по величине бросков тока можно судить о плавности регулирования [1, с. 93 — 94]. По известным токам и времени работы на позициях рассчитываются пусковые резисторы.

Наличие пусковой диаграммы позволяет проанализировать переходные процессы изменения тока во времени, что важно для работы отдельных видов оборудования (контакты групповые и индивидуальные, переходные резисторы и др.), а также дает основание для разработки рекомендаций машинистам по рациональному управлению электровозом или для анализа их неправильных действий.

Для построения пусковой диаграммы используют график скоростных характеристик (рис. 1, соответственно варианту задания).

Для того чтобы получить наименьшее время разгона поезда, пусковую диаграмму нужно реализовать в области наибольших значений тока двигателя, ограниченных условиями сцепления.

Максимально допустимая по сцеплению сила тяги двигателя в кН рассчитывается по формуле

$$F_{\text{клmax}} = \psi_K P_{\text{сц}} = \psi_K \frac{M_{\text{э}} g}{n}, \quad (22)$$

где $P_{\text{сц}}$ — сцепной вес электровоза;

n — число двигателей на электровозе;

$M_{\text{э}}$ — масса электровоза, т;

ψ_k — расчетный коэффициент сцепления;
 g — ускорение свободного падения тела.

Коэффициент сцепления ψ_k определяется по формуле ВНИИЖТ МПС

$$\psi_k = 0,28 + \frac{3}{50 + 20 V} - 0,0007 V, \quad (23)$$

где V — скорость движения электровоза, км/ч.

По рассчитанным значениям $F_{кд\ max}$ из характеристик $F_{кд}(I)$ определяют соответствующие значения тока при полном возбуждении и наибольшем регулировании возбуждения.

Расчет ограничения тока по сцеплению выполняется в табличной форме (табл. 10).

Таблица 10

Расчет ограничения тока по сцеплению

V , км/ч	0	5	10	20	40	60	80	100
ψ_k	0,34	0,296	0,285	0,273	0,256	0,240	0,226	0,211
$F_{кд\ max}$, кН								
$I_{пп}$, А								
$I_{оп4}$, А	—	—	—	—				

По расчетным точкам на графике скоростных характеристик строят кривые ограничения тока по сцеплению $I_{max}(V)$ при полном возбуждении ($\beta = 1$) и при наибольшем регулировании возбуждения ($\beta = 0,36$). Линию ограничения тока при регулировании возбуждения строят в виде прямой, соединяющей точку пересечения зависимости $I_{max}(V)$ при $\beta = 1$ и 37-й характеристики с точкой пересечения зависимости $I_{max}(V)$ при $\beta = 0,36$ и скоростной характеристики ОП4.

Оформление раздела

1. Расчетная таблица ограничения тока по сцеплению.
2. Ограничение тока по сцеплению, показанное на графике скоростных характеристик.

8. РАСЧЕТ УСКОРЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

Для расчета и анализа пусковой диаграммы целесообразно заранее рассчитать ускорение движения заданного поезда в зависимости от тока двигателя для различных условий движения. Из уравнения (21) можно получить значение ускорения, км/ч·с

$$\frac{dV}{dt} = 0,033(f_k - w_k), \quad (24)$$

где 0,033 — коэффициент, учитывающий размерность величин при $(I + y) = 1,06$;

$$f_k = \frac{nF_{\text{кд}} 10^3}{(M_{\text{э}} + M_{\text{с}})g} \text{ — удельная сила тяги электровоза, Н/кН;}$$

w_k — общее удельное сопротивление движению поезда, Н/кН.

Значения $M_{\text{э}}$ и $M_{\text{с}}$ необходимо взять из задания. Значение w_k зависит от условий движения. В момент трогания принимаем $w_k = w_{\text{тр}} = 3,8$ Н/кН. При разгоне величина сопротивления движению зависит от скорости. В курсовой работе для расчета ускорений принимаем среднее для рабочего диапазона скоростей значение основного удельного сопротивления движению $w_k = w_0 = 1,6$ Н/кН.

Расчет ускорений нужно выполнять с точностью до двух знаков после запятой. Результаты расчета свести в таблицу. Для случая $w_k = w_0$ ускорения вычисляются для полного поля и для всех ступеней регулирования возбуждения при значениях тока, ука-

занных в табл. 1. Для случая $\omega_k = \omega_{тр}$ ускорения вычисляют для полного поля до тех пор, пока не будет получено положительное значение ускорения. Это связано с тем, что график ускорений при трогании нужен только для определения величины минимального значения тока двигателя $I_{\min тр}$, при котором начнется движение поезда при трогании на площадке.

Оформление раздела

1. Пример расчета, расчетная таблица и графики зависимостей ускорений поезда от тока двигателя для заданных условий.
2. Величина $I_{\min тр}$.

9. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ПУСКОВОЙ ДИАГРАММЫ ПРИ РАЗГОНЕ НА ПЛОЩАДКЕ

Для построения пусковой диаграммы используют график скоростных характеристик (рис. 1, соответственно варианту задания). Диаграмму чертят простым карандашом, чтобы можно было исправить ошибки, обнаруженные при рецензировании работы.

Пуск электровоза разделяется на три стадии: увеличение силы тяги до начала движения, постепенное нарастание силы тяги и ускорения, поддержание в процессе увеличения скорости постоянной величины среднего значения силы тяги, близкого к ограничению по сцеплению.

До начала движения, когда ток на первых позициях меньше $I_{\min тр}$, машинист почти не задерживает рукоятку контроллера на позиции. На этих позициях принимаем время задержки $t_1 = 0$.

После начала движения и до тех пор, пока ток двигателя не превысит рассмотренный ниже ток переключения $I_{п}$, принимаем время задержки на позициях $t_3 = 2$ с. На этой стадии разгона задержки на позициях нужны для того, чтобы сила тяги постепенно, а не скачком возрастала до значения, близкого к ограничению по сцеплению.

На третьей стадии разгона машинист следит за величиной тока по показаниям амперметра и, когда в процессе увеличения скорости ток снизится до определенной величины I_{\min} [1, рис. 76, 78], перемещает рукоятку контроллера на следующую позицию. При этом уменьшается сопротивление пускового релостата и увеличивается ток двигателей. Рукоятка задерживается на позиции до тех пор, пока ток опять не снизится до величины I_{\min} . Таким образом, на третьей стадии разгона переключения с позиции на позицию производятся при одном и том же значении тока, который в дальнейшем будет называться током переключения и обозначаться $I_{\text{пр}}$.

Величину $I_{\text{пр}}$ выбирают таким образом, чтобы возникающий в результате переключения бросок тока не приводил к боксованию. Построенная ранее расчетная кривая ограничения тока по сцеплению соответствует средним значениям тока при пуске, т.е. примерно половина броска тока при переходе с позиции на позицию может выходить за линию ограничения по сцеплению. С учетом этого нужно самостоятельно выбрать ток переключения $I_{\text{пр}}$, но не менее номинального тока двигателя.

На нескольких позициях после 16 и 27 ток двигателей не будет достигать тока переключения. На этих позициях нужно принять время задержки $t_3 = 2$ с.

При работе на характеристиках ОП ток, при котором производится переход с одной ступени регулирования возбуждения на другую, выбирается с учетом построенного ограничения тока на них.

При построении пусковой диаграммы нужно на графике скоростных характеристик показать броски тока при переходе с позиции на позицию. Изменением скорости движения поезда за время броска пренебрегаем, следовательно, линии, соединяющие смежные характеристики, проводятся горизонтально.

Расчет пусковой диаграммы произвести в табличной форме (табл. 11).

В первую графу следует записать номер позиции контроллера машиниста.

Расчет пусковой диаграммы

Позиция	I_H, A	I_K, A	I_{cp}, A	$\frac{dv}{dt}, \frac{км}{ч \cdot с}$	$V_H, \frac{км}{ч}$	$V_K, \frac{км}{ч}$	$\Delta V, \frac{км}{ч}$	$t_3, с$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Во вторую графу записать величину тока, соответствующую началу работы на характеристике этой позиции, — начальный ток I_H .

В третью графу необходимо записать величину тока в конце задержки на позиции — конечный ток I_K . Очевидно, что до тех пор, пока не начнется движение поезда, ток изменяться не будет и $I_K = I_H$. Для тех случаев, когда $I_H < I_{\Pi}$ также принимаем $I_K = I_H$. Это допущение практически не вносит погрешности в результат расчета, так как за время задержки $t_3 = 2$ с ток успевает измениться незначительно. При $I_H > I_{\Pi}$ должна производиться задержка на позиции до тех пор, пока ток не снизится до I_{Π} , т.е. в этом случае $I_K = I_{\Pi}$.

В четвертую графу записать среднее значение тока за время работы на позиции

$$I_{cp} = \frac{I_H + I_K}{2}.$$

В пятую графу записать соответствующее величине I_{cp} ускорение движения поезда, которое берется из построенных ранее графиков.

В шестую и седьмую графы следует записать соответственно начальную V_H и конечную V_K скорости при работе на данной позиции, а в восьмую графу — приращение скорости за время задержки на позиции ΔV . Очевидно, что величина V_H равна величине V_K на предыдущей позиции. При $I_H < I_{\Pi}$ значения ΔV и V_K получаем расчетом

$$\Delta V = \frac{dV}{dt} t_3, \quad V_K = V_H + \Delta V \quad (25)$$

причем $t_3 = 2$ с. Таким образом, при $I_H < I_{II}$ нужно по I_H определить ускорение, рассчитать ΔV и V_K и только после этого проводить на рис. 1 линию броска тока при переходе с позиции на позицию. При $I_H > I_d$ величину V_K берут из графика скоростных характеристик, а значение ΔV вычисляют

$$\Delta V = V_K - V_H.$$

В девятую графу записывают время задержки на позиции, которое до начала движения принимается равным нулю, после начала движения при $I_H < I_{II}$ равно 2 с, а при $I_H > I_{II}$ рассчитывают по формуле

$$t_3 = \frac{\Delta V}{dV / dt}. \quad (26)$$

После расчета пусковой диаграммы (в том числе и на ступенях регулирования возбуждения) нужно рассчитать полное время разгона поезда на площадке до установившейся скорости $V_{уст}$ при условии, что разгон заканчивается без перехода на ОП, т.е. последней является характеристика 37-й позиции.

Для этого нужно знать, помимо уже рассчитанных значений времени задержки на позициях 1–36, время задержки на позиции 37 от момента перехода на нее до момента, когда ускорение движения станет равно нулю. При решении этой задачи нужно использовать для определения $V_{уст}$ и $I_K = I_{уст}$ уравнение (24), Среднее значение ускорения определяется по среднему току.

Оформление раздела

1. Ток переключения I_{II} .
2. Пусковая диаграмма, построенная на рис. 1.
3. Таблица расчета пусковой диаграммы.
4. Расчет времени разгона на 37-й позиции до установившейся скорости.
5. Полное время разгона поезда до $V_{уст}$.

10. ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗГОНА ПОЕЗДА НА ПОДЪЕМЕ

Ограничивающим фактором при разгоне на подъеме при уже учтенном ограничении тока по сцеплению будет нагрев пусковых резисторов электровоза, который зависит от величины тока и времени задержки на позициях.

Точное определение допустимого времени задержки на позициях возможно путем выполнения теплового расчета пусковых резисторов с последующей экспериментальной проверкой. В курсовой работе можно воспользоваться ориентировочными указаниями, приведенными в литературе [2, с. 320 — 322], согласно которым длительность работы на каждой позиции серийного соединения (по 15-ю включительно) не должна превышать $t_3 = 30$ с.

Для проверки возможности разгона выбирается та наибольшая величина подъема $i\%$, на котором возможно трогание заданного поезда при токе, не превышающем рассчитанное ограничение по сцеплению. Для определения подъема из графика скоростных характеристик выбирается позиция, на которой при $V = 0$ ток двигателя наиболее близок к ограничению по сцеплению и не превышает его. По этому току из формулы (24) определяется подъем $i\%$ с учетом следующих условий:

1. Начальное ускорение в момент трогания на выбранной позиции принимается равным $0,05$ км/ч·с.
2. Для трогания на подъеме $w_k = w_{тр} + i$.

Расчет пусковой диаграммы при разгоне на подъеме выполняется только для серийного соединения двигателей в форме табл. 12. Все изменения пусковой диаграммы показывают на рис. 1 тонкими пунктирными линиями.

Перед расчетом пусковой диаграммы нужно проверить возможность сохранения для расчета принятого на предыдущем шаге тока переключения. Очевидно, что этот ток не может быть меньше тока $I_{уст}$ при котором ускорение движения поезда на подъеме равно нулю. При $I_{п} < I_{уст}$ значение тока переключения нужно соответственно увеличить. Увеличивать ток переключе-

ния нужно и для тех позиций, на которых не выполняется условие $t_3 < 30$ с. Величину ускорения при разгоне на подъеме рассчитывают из условия

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{i \neq 0} = 0,033(f_k - w_k - i) = \left(\frac{dV}{dt}\right)_{i=0} - 0,033i, \quad (27)$$

где $\left(\frac{dV}{dt}\right)_{i=0}$ — ускорение поезда при разгоне на площадке.

Таблица 12

Расчет пусковой диаграммы при разгоне на подъеме

Позиция	$I_H,$ А	$I_K,$ А	$I_{cp},$ А	$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{i=0},$ $\frac{\text{км}}{\text{ч} \cdot \text{с}}$	$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{i \neq 0},$ $\frac{\text{км}}{\text{ч} \cdot \text{с}}$	$V_H,$ км/ч	$V_K,$ км/ч	$\Delta V,$ км/ч	$t_3,$ с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

После расчетов необходимо сформулировать и записать свои выводы об изменении условий работы электрооборудования электровоза и возможностях разгона на выбранном подъеме.

Определить, с какой установившейся скоростью будет двигаться поезд на выбранном подъеме при длительном разгоне на характеристиках 16,27 и 37-й позиций и на характеристиках ОП1-ОП4. Результаты расчета необходимо записать в таблицу.

Рассчитать полное время разгона до установившейся скорости на 37 позиции при движении по подъему.

Сравнить условия разгона при движении по подъему и по площадке.

Оформление раздела

1. Расчет величины подъема i ‰.
2. Расчет установившегося значения тока $I_{уст}$
3. Таблица расчета пусковой диаграммы.

4. Пусковая диаграмма, показанная на рис. 1 пунктирными линиями.
5. Расчетная таблица установившихся токов и скоростей.
6. Расчет времени разгона на 37-й позиции до установившейся скорости при движении по подъему.
7. Расчет полного времени разгона поезда до V_{ycp}
8. Выводы.

1 1. ИЗМЕНЕНИЕ ПУСКОВОЙ ДИАГРАММЫ ПРИ ОТКАЗЕ РЕОСТАТНОГО КОНТАКТОРА

При отказе реостатного контактора изменяется сопротивление пускового реостата на части позиций контроллера машиниста. Соответственно изменяется положение скоростных характеристик этих позиций и пусковая диаграмма.

Анализ влияния отказа реостатного контактора на пусковую диаграмму следует произвести для параллельного и серийно-параллельного соединения двигателей в зависимости от суммы последних трех цифр шифра. Номер отказавшего контактора выбирается из табл. 13 по сумме последних трех цифр шифра.

При отказе контактора его силовые контакты не замыкаются.

Таблица 13

Таблица выбора варианта отказавшего реостатного контактора

Номер отказавшего контактора. Параллельное соединение	5-1	6-1	5-2	6-2	12-1	12-2
Сумма последних трех цифр шифра	1	6	11	16	21	26
	2	7	12	17	22	27
Номер отказавшего контактора. Последовательно -параллельное соединение	11-1	12-1	5-2	6-2	11-2	12-2
Сумма последних трех цифр шифра	3	8	13	18	23	28
	4	9	14	19	24	29
	5	10	15	20	25	00

По таблице замыкания контакторов нужно определить на каких позициях соответствующего соединения двигателей изменится сопротивление пускового реостата. Для каждой из этих позиций составляется на основании силовой схемы расчетная схема пускового реостата, из которой должно быть ясно видно, как соединены между собой секции реостата (контакторы на схемах не показывать). Для каждой схемы записывают расчетные выражения и по данным табл. 6 определяют величину сопротивления пускового реостата R_j .

Координаты точек скоростных характеристик рассчитывают на основании уравнения (19). Задаваясь 3–4 значениями тока двигателя, по кривой $C_v \Phi(I_B)$ находят соответствующие величины $C_v \Phi$ и рассчитывают скорости. Значения тока нужно выбирать таким образом, чтобы можно было построить изменившуюся пусковую диаграмму.

Результаты расчета каждой характеристики сводятся в таблицу.

Рассчитать полное время разгона до установившейся скорости на 37 позиции при движении по площадке .

Сравнить условия разгона при движении по площадке при исправных реостатных контакторах и при отказе реостатного контактора.

Оформление раздела

1. Номер отказавшего контактора.
2. Расчет сопротивлений пускового реостата и величин R_j .
3. Расчетная таблица координат точек изменившихся скоростных характеристик.
4. Изменения характеристик и пусковой диаграммы, показанные на рис. 1 цветным карандашом.
5. Расчет полного времени разгона поезда до V_{ycp} .
6. Выводы.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Плакс А. В. Системы управления электроподвижным составом. — М.: Маршрут, 2005.

Дополнительная

1. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1980.

2. Проектирование систем управления электроподвижным составом/Н.А. Ротанов, Д.Д. Захарченко, А.В. Плакс, В.И. Некрасов, Ю.М. Иньков. Под ред. Н.А. Ротанова — М.:Транспорт, 1986.

3. Электровоз ВЛ10. Руководство по эксплуатации. — М.: Транспорт. 1975.

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ

Задание на курсовую работу
с методическими указаниями

Редактор *Г.В. Тимченко*
Компьютерная верстка *Г.Д. Волкова*
Переиздание

Тип.зак.	Изд.зак. 267	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 23.10.09	Гарнитура Newton	Формат 60 × 90 ^{1/16}
Усл.печ.л. 3,25 + 6 вкл.		

Издательский центр
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2