



Міністерство транспорту України
Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту
імені академіка В. А. Лазаряна

Кафедра «Електрорухомий склад»

**Методичні вказівки
до виконання курсового проекту**

**«Розрахунок тягових та рекуперативних характеристик
електрорухомого складу змінного струму
з тиристорними перетворювачами»**

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

Для студентів IV курсу денного відділення
спеціальності 8.092202
«Електричний транспорт»

Дніпропетровськ 2002

Укладачі: доц. А.М.Афанасов
доц. М.Г.Вісін
доц. Б.Т.Власенко

УДК 629.42.064

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок тягових та рекуперативних характеристик електрорухомого складу змінного струму з тиристорними перетворювачами» / Дніпропетр. нац. ун-т залізничн. трансп. ім. академіка В. Лазаряна; Уклад.: А.М. Афанасов, М.Г. Вісін, Б.Т. Власенко. – Д., 2001, -19 с.

Методичні вказівки містять в собі методику розрахунку тягових та рекуперативних характеристик електрорухомого складу змінного струму з тиристорними перетворювачами.

Методичні вказівки призначено для студентів IV курсу спеціальності 8.092202 «Електричний транспорт».

Іл. 6. Табл. 12. Бібліогр. 4 назв.

Рецензенти: Г.І. Мізін (нач. док. депо Дніпропетровськ),
В.А. Лось (ДПТ)

Редактор: Т.В. Мацквич

Підписано до друку 23.07.02. Формат 60x84 1/16. Папір для множних апаратів. Різограф. Умов. друк. арк. 0,9. Обл. – видавн. арк. 1. Зам. № 1243. Видавн. № 59. Тираж 50 прим. Безкоштовно.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна.

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

1. Завдання та вихідні дані до курсового проекту

Курсовий проект виконується згідно з індивідуальним завданням та зводиться до розрахунку випрямно-інверторного перетворювача (ВІП) електровоза змінного струму, а також характеристик електровоза в режимі тяги та рекуперативного гальмування.

1.1. Вихідні дані для проектування, які студент повинен вибрати за індивідуальним завданням:

- а) вага електровоза P ;
- б) кількість осей m ;
- в) тип тягового двигуна;
- г) індуктивність згладжуючого реактора $L_{рс}$;
- д) активний опір згладжуючого реактора $R_{ср}$;
- е) опір баластного резистора R_b ;
- ж) кут запасу при інвертуванні струму рекуперації δ_0 .

1.2. Загальні дані для проектування.

Таблиця 1

Позначення	Параметр	Значення		Одиниці вимірювання
$U_{км}$	Напруга контактної мережі (к. м.)	25		кВ
f	Частота напруги к. м.	50		Гц
α_0	Мінімальний кут управління ВІП	10		ел. град.
	Тип тягового двигуна	НБ418К6	НБ514	
$U_{дв.н}$	Напруга на колекторі	950	980	В
I_r	Годинний струм	880	905	А
$R_{я}$	Опір обмоток ТЕД при $110^{\circ}C$: - якоря	0,015	0,016	Ом
$R_{гп}$	- головних полюсів	0,0103	0,096	Ом
$R_{дп}+R_{ко}$	- додаткових полюсів і компенсаційної обмотки	0,0162	0,018	Ом
$L_{дв}$	Індуктивність обмоток ТЕД	0,482	0,57	мГн
β_n	Номінальний коефіцієнт послаблення збудження	0,96	0,96	-
β_1	Коефіцієнт послаблення збу-	0,7	0,7	-

дження першого ступеня			
------------------------	--	--	--

Тип тягового трансформатора вибирається залежно від типу тягового двигуна. Основні параметри трансформаторів наведені в табл.2. У чисельнику вказані параметри для тягового трансформатора ОДЦЭ-5000/25АМ (НБ418К6), а в знаменнику – для тягового трансформатора ОНДЦЭ-10000/25-82 (НБ514).

Таблиця 2

Позиція (зона регулювання)	1	2	3	4
Ступені трансформатора	1-2 3-4	a ₁ -2 a ₂ -4	X ₁ -2 X ₂ -3	X ₁ +a ₁ X ₂ +a ₂
Напруга холостого ходу U _{хх}	308/315	615/630	923/945	1230/1260
Напруга короткого замикання u _{кз} , %	6,4/2,6	7,1/3,3	6,5/3,0	8,5/9,5
Номинальний струм I _н , А	1760/1700	1760/1700	1760/1700	1760/1700
Опір обмотки мережі при 75° С R ₁ , Ом	1,0/0,31	1,0/0,31	1,0/0,31	1,0/0,31
Опір тягових обмоток при температурі 75° С R ₂ , Ом	$\frac{0.00188}{0.00220}$	$\frac{0.00214}{0.00449}$	$\frac{0.00382}{0.00530}$	$\frac{0.0055}{0.0076}$

2. Зміст курсового проекту

- 2.1. Розробка принципової електричної схеми ВПП.
- 2.2. Розрахунок зовнішньої характеристики ВПП у режимі тяги.
- 2.3. Розрахунок зовнішньої характеристики ВПП у режимі рекуперативного гальмування.
- 2.4. Розрахунок характеристик тягового двигуна (ТЕД) при живленні від ВПП.
- 2.5. Розрахунок струмових характеристик ТЕД та гальмівних характеристик електровоза в режимі рекуперативного гальмування.

3. Перелік графічних робіт

- 3.1. Принципова електрична схема ВПП.
- 3.2. Схема силового трансформатора.
- 3.3. Зовнішня характеристика ВПП у режимі тяги.
- 3.4. Зовнішня характеристика ВПП у режимі рекуперативного гальмування.
- 3.5. Характеристики ТЕД при живленні від ВПП.
- 3.6. Струмові характеристики ТЕД в режимі рекуперативного гальмування.

3.7. Гальмівні характеристики електровоза.

4. Порядок виконання розрахунків

4.1. Розробка принципової електричної схеми ВП

За основу при розробці схеми ВП вибирається силова схема електровоза змінного струму, наведена на рис.1. У даному розділі студент повинен викласти принцип плавного тиристорного безконтактного регулювання напруги на тягових двигунах, а також описати роботу ВП в режимі тяги і рекуперативного гальмування. У даному розділі також приводиться схема та таблиця з основними параметрами силового трансформатора електровоза (рис. 2).

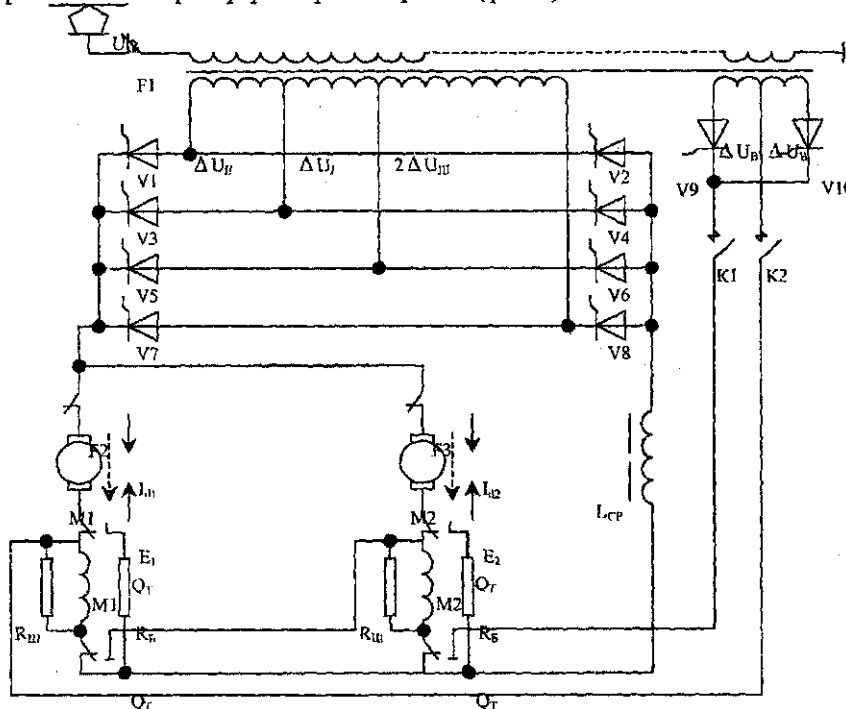


Рис. 1. Електрична схема електровоза змінного струму

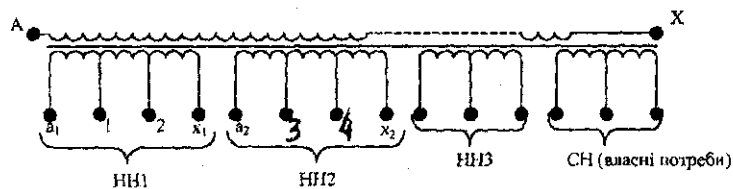


Рис. 2. Схема силового трансформатора електровоза

4.2. Розрахунок зовнішньої характеристики ВПІ в режимі тяги
Зовнішня характеристика випрямляча розраховується за формулою

$$U_{дв} = U_{dxx} - \Delta U_x - \Delta U_R - \Delta U_B = 0,9 \cdot U_{xx} \cdot \cos \alpha_0 - \frac{2}{\pi} \cdot \lambda \cdot X_m \cdot I_d - \left(\xi \cdot R_n \cdot K_{еф}^2 + R_d \cdot K_{вєф}^2 \right) \cdot I_d - \Delta U_{в}, \quad (1)$$

де $U_{дв}$ - напруга на тяговому двигуні, В;

U_{xx} - номінальна напруга холостого ходу трансформатора на розрахункових позиціях, В;

α_0 - мінімальний кут управління, ел. град.;

λ - коефіцієнт, який враховує втрати напруги за рахунок пульсацій випрямленого струму в індуктивних опорах у міжкомутаційний період;

X_T - індуктивний опір кола струму комутації, Ом;

I_d - випрямлений струм одного перетворювача, А;

ξ - коефіцієнт, який враховує, що у період комутації випрямлений струм протікає, обминаючи кола змінного струму, $\xi = 0,7$;

R_{II} - активний опір кола змінного струму трансформатора, Ом;

$K_{еф}$ - коефіцієнт ефективності змінного струму;

$K_{вєф}$ - коефіцієнт ефективності випрямленого струму;

R_d - активний опір кола випрямленого струму, Ом;

$\Delta U_{в}$ - спад напруги у вентиллях випрямляча, В.

Розрахунковий випрямлений струм для однієї перетворювальної установки дорівнює

$$I_d = 2I_{дв}, \quad (2)$$

де $I_{дв}$ - струм одного ТЕД.

Враховуючи, що зовнішня характеристика ВПІ прямолінійна, розрахунок виконуємо для двох точок:

- холостий хід випрямляча, $I_d=0$;

- годинне навантаження $I_d=2I_r$, де I_r - годинний струм ТЕД.

Індуктивний опір кола струму комутації у припущенні, що потужність контактної мережі нескінченна

$$X_T = \frac{u_{кз} \cdot U_{xx}}{I_H \cdot 100}, \quad (3)$$

де $u_{кз}$ - напруга короткого замикання трансформатора, %;

I_n - номінальний струм трансформатора, А.

Активний опір кола змінного струму для чотиривісного та восьмивісних електровозів

$$R_n = 2 \left[\frac{R_1}{K_T^2} + \frac{R_2}{2} \right], \quad (4)$$

для дванадцятивісного електровоза

$$R_n = 2 \left[\frac{R_1}{K_T^2} + \frac{R_2}{3} \right], \quad (5)$$

де R_1 - опір обмотки мережі трансформатора, Ом;

R_2 - опір тягової обмотки трансформатора на розрахунковій позиції, Ом;

K_T - коефіцієнт трансформації

$$K_T = \frac{U_{KM}}{U_{XX}}. \quad (6)$$

Активний опір кола випрямленого струму дорівнює активному опору згладжуючого реактора

$$R_d = R_{cp}. \quad (7)$$

Коефіцієнти λ , K_{ef}^2 і $K_{всф}^2$ визначаються від величини пульсації випрямленого струму:

$$\lambda = 1 + 0,2K_n; \quad (8)$$

$$K_{ef}^2 = (0,88 + 0,18K_n)^2; \quad (9)$$

$$K_{всф}^2 = 1 + 0,13K_n^2. \quad (10)$$

де K_n - величина відносної пульсації

$$K_n = \sigma \cdot \frac{0,9 \cdot U_{XX}}{w \cdot L_d \cdot I_d}, \quad (11)$$

де w - циклічна частота напруги живлення, c^{-1} ;

L_d - індуктивність кола випрямленого струму, Гн, яка дорівнює сумі індуктивностей згладжуючого реактора і двох паралельно ввімкнених тягових двигунів;

σ - коефіцієнт, який залежить від суми μ кута комутації γ та мінімального кута управління α_0 і визначається за кривою на рис. 3

$$L_d = L_{cp} + \frac{L_{дв}}{2}, \quad (12)$$

де $L_{дв}$ - індуктивність обмоток тягового двигуна. У розрахунку враховується

індуктивність якоря, компенсаційної обмотки, додаткових полюсів.

Індуктивність обмотки збудження не враховується, тому що вона зашунтована резистором:

$$\mu = (\gamma + \alpha_0) = \arccos \left[\cos \alpha_0 - \frac{\sqrt{2} \cdot I_d \cdot X_T \cdot 1,05}{U_{xx}} \right], \quad (13)$$

де 1,05 – коефіцієнт, який враховує вплив активних опорів кола змінного струму.

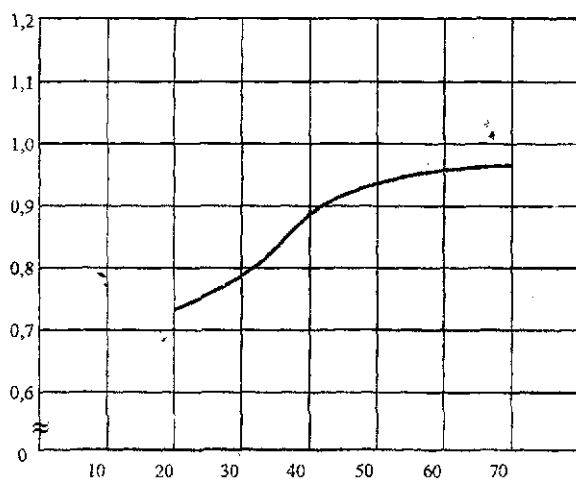


Рис.3. Залежність $\sigma = f(\mu)$ для $\alpha_0 = 10$ ел.град.

Падіння напруги у перетворювачі

$$\Delta U_B = 2 \cdot U_{cp} n, \quad (14)$$

де 2 – коефіцієнт, який враховує, що схема випрямлення двопівперіодна;

$U_{cp} = 0,63$ В - середнє падіння напруги на тиристорі;

n – кількість послідовно ввімкнених тиристорів двох плеч мосту, яка залежить від зони регулювання; $n_1 = 4$; $n_2 = n_3 = 5$; $n_4 = 6$.

Результати розрахунку зовнішньої характеристики випрямляча заносяться до табл. 3.

Таблиця 3

Позначення	Розрахункові формули	Одиниці	Позиція			
			1	2	3	4
U_{xx}	табл. 2	В				
$U_{фкx}$	(1)	В				
I_d	(2)	А				
$u_{кx}$	табл. 2	%				
X_T	(3)	Ом				
μ	(13)	сл. град.				
σ	рис. 3	-				
L_d	(12)	мГн				
$K_{по}$	(11)	-				
λ	(8)	-				
ΔU_x	(1)	В				
K_T	(6)	-				
R_n	(4) або (5)	Ом				
$K_{эф}^2$	(9)	-				
$K_{вэф}^2$	(10)	-				
ΔU_R	(1)	В				
ΔU_B	(14)	В				
$U_{дв}$	(1)	В				

Зовнішня характеристика ВІП повинна мати вигляд відповідно до рис. 4.

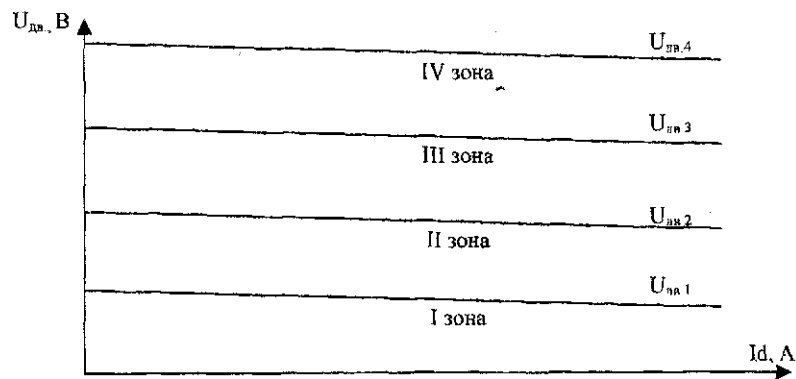


Рис. 4. Зовнішня характеристика ВІП

4.3. Розрахунок зовнішньої характеристики ВІП у режимі рекупераційно-го гальмування

Зовнішня характеристика інвертора розраховується за формулою

$$U_{дв} = U_{dxx} - \Delta U_x + \Delta U_R + \Delta U_B = 0.9 \cdot U_{xx} \cdot \cos \delta_0 - \frac{2}{\pi} \cdot \lambda \cdot X_T \cdot I_d + \left(\xi \cdot R_n \cdot K_{эф}^2 + R_d \cdot K_{вэф}^2 \right) \cdot I_d + \Delta U_B, \quad (15)$$

де δ_0 - кут запасу інвертора.

Всі величини, які входять до виразу (15), крім R_d , визначаються за тими формулами, що і при розрахунку зовнішньої характеристики випрямляча.

Активний опір кола постійного струму при рекуперації дорівнює

$$R_d = R_{сп} \frac{R_{\delta}}{2}, \quad (16)$$

де R_{δ} - величина опору баластного резистора у колі одного ТЕД.

Коефіцієнт σ в формулі (11) визначається для режиму рекуперації по кривих на рис.5 і залежить від суми μ' кута комутації γ і кута запасу інвертора δ_0

$$\mu' = \gamma + \delta_0 = \arccos \left\{ \cos \delta_0 - \frac{\sqrt{2} \cdot I_d \cdot X_T \cdot 1.05}{U_{xx}} \right\}. \quad (17)$$

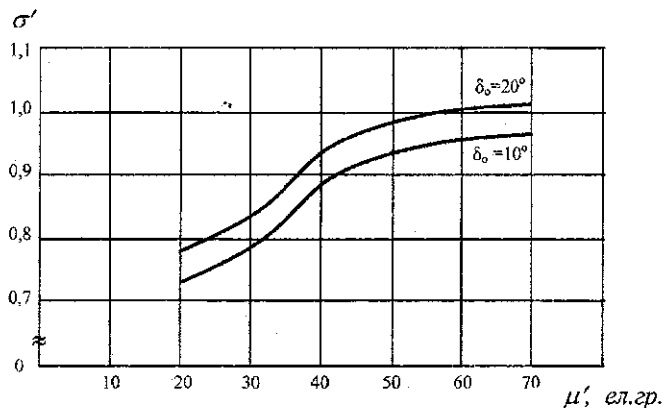


Рис. 5. Залежність $\sigma' = f(\mu')$

Результати розрахунку зовнішньої характеристики інвертора заносяться до табл.4.

Таблиця 4

Позначення	Розрахункові формули	Одиниці	Позиція			
			1	2	3	4
U_{xx}	табл. 2	В				
U_{dxx}	(15)	В				
I_d	(2)	А				
u_{xz}	табл. 2	%				
X_T	(3)	Ом				
μ'	(17)	ел. град.				
σ'	рис. 5	-				
L_d	(12)	мГн				
$K_{по}$	(11)	-				
λ	(8)	-				
ΔU_x	(15)	В				
K_T	(6)	-				
$R_{г}$	(4) або (5)	Ом				
$K_{сф}^2$	(9)	-				
$K_{всф}^2$	(10)	-				
ΔU_R	(15)	В				
ΔU_B	(14)	В				
$U_{ДВ}$	(15)	В				

Зовнішня характеристика інвертора повинна мати вигляд відповідно Іj до рис.6.

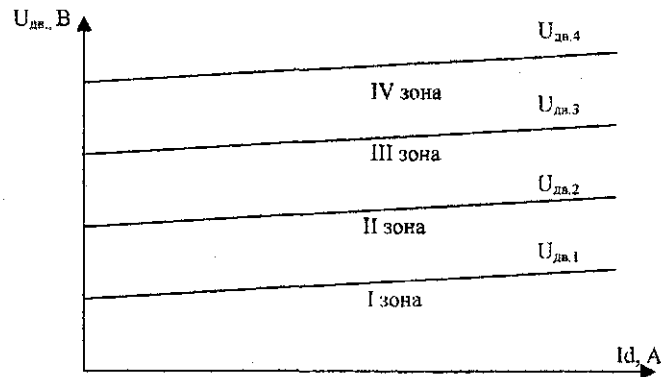


Рис. 6 – Зовнішня характеристика інвертора

4.4. Розрахунок характеристик ТЕД при живленні від ВПІ

У даному розділі курсового проекту необхідно розрахувати і побудувати швидкісні характеристики ТЕД при номінальному та послабленому збудженні з урахуванням зовнішньої характеристики випрямляча. Також необхідно розрахувати та побудувати обмеження струму ТЕД по зчепленню. Вихідними даними для розрахунку є характеристики ТЕД при номінальній напрузі.

Перерахунок швидкісної характеристики ТЕД виконується за формулою

$$v = v_H \frac{U_{дв} - I_{дв} \cdot R_{дв}}{U_{двH} - I_{дв} \cdot R_{дв}}, \quad (18)$$

де v_H – швидкість електровоза, яка відповідає струму $I_{дв}$ при номінальній напрузі і визначається по вихідних характеристиках ТЕД;

$R_{дв}$ – активний опір обмоток ТЕД при температурі 110°C .

$$R_{дв} = R_{я} + \beta \cdot R_{гп} + R_{дп} + R_{ко}, \quad (19)$$

де $R_{я}$, $R_{гп}$, $R_{дп}$, $R_{ко}$ – опори якоря, головних полюсів, допоміжних полюсів та компенсаційної обмотки відповідно;

β – коефіцієнт послаблення поля ТЕД.

У курсовому проекті необхідно виконати перерахунок швидкісних характеристик ТЕД на чотирьох позиціях для двох значень коефіцієнта послаблення поля: номінального β_H та першого ступеня послаблення β_1 . Результати

розрахунку заносяться до табл. 5.

Обмеженням струму ТЕД за умовами зачеплення є залежність максимального допустимого струму ТЕД від швидкості руху електровоза.

Максимальна сила зачеплення коліс з рейкою визначається за формулою

$$F_{зч} = P_0 \cdot \psi_k, \quad (20)$$

де P_0 – навантаження на вісь електровоза, Н;

ψ_k – розрахунковий коефіцієнт зачеплення.

Максимально допустимий струм ТЕД за умови зачеплення визначається по характеристиках тяги $F_{кл} = f(I)$ з умови $F_{кл} = F_{зч}$.

Таблиця 5

I _{дв} , А							
v _н , км/г	НП						
	ОП						
I зона	U _{дв} , В						
	v, км/г	НП					
		ОП					
II зона	U _{дв} , В						
	v, км/г	НП					
		ОП					
III зона	U _{дв} , В						
	v, км/г	НП					
		ОП					
IV зона	U _{дв} , В						
	v, км/г	НП					
		ОП					

Залежність ψ_k від швидкості руху v береться з [1].

Обмеження струму по зачепленню розраховується для номінального та послабленого (ОП) поля і наноситься на швидкості характеристики ТЕД.

Розрахунок ведеться в табличній формі, результати розрахунку зводяться до табл.6.

Таблиця 6

v , км/Г						
ψ_k						
$F_{кл}$, Н						
I_{max} , А	НП					
	ОП					

4.5. Розрахунок струмових характеристик ТЕД і гальмівних характеристик електровоза при рекуперативному гальмуванні

4.5.1. Струмові характеристики при рекуперативному гальмуванні є залежностями струму ТЕД від швидкості руху і розраховуються для чотирьох зон регулювання при струмі збудження, який дорівнює годинному струму ТЕД, а також для четвертої зони регулювання при струмах збудження, рівних 800, 700, 600, 500, 400, 300 А.

Враховуючи, що струмові характеристики ТЕД при рекуперації прямолинійні, розрахунок ведеться для двох точок: $I_{дв}=0$; $I_{дв}=I_r$.

Швидкість електровоза визначається за формулою

$$v = \frac{E}{C_v \cdot \Phi}, \quad (21)$$

де E – ЕРС ТЕД, В;

$C_v \Phi$ - питома ЕРС ТЕД, $\frac{В \cdot з}{км}$;

ЕРС ТЕД в генераторному режимі

$$E = U_{дв} + I_{дв} \cdot R_{дв}, \quad (22)$$

де $U_{дв}$ - напруга на ТЕД, яка відповідає гальмівному струму $I_{дв}$ і визначається за зовнішньою характеристикою інвертора.

Залежність питомої ЕРС від струму збудження I_3 може бути знайдена з швидкісної характеристики ТЕД для номінальної напруги U_n при $\beta = \beta_n$ за формулою

$$C_v \Phi = \frac{U_{двн} - R_{дв} \cdot I_{дн}}{v}, \quad (23)$$

Результати розрахунку зводяться до табл.7.

Таблиця 7

I_3, A	300	400	500	600	700	800	I_{Γ}
$v, \text{км/Г}$							
$C_v\Phi, \text{В}\cdot\text{г/км}$							

Величина $C_v\Phi$ розраховується для тих значень I_3 , які вказані в табл. 7.

4.5.2. Гальмівні характеристики електровоза при рекуперативному гальмуванні є залежністю гальмівної сили електровоза від швидкості руху і розраховується для тих режимів, що і струмові характеристики ТЕД.

Гальмівна сила електровоза визначається за формулою

$$B_{\Gamma} = m \cdot (3,67 \cdot C_v\Phi \cdot I_{\text{ДВ}} + \Delta B), \quad (24)$$

де m – кількість осей локомотива;

ΔB – гальмівне зусилля ТЕД, яке обумовлене механічними та магнітними втратами.

Для спрощення розрахунку приймаємо, що ΔB складас приблизно 5% від електромагнітного гальмівного зусилля. Тоді

$$B_{\Gamma} = m \cdot 3,85 \cdot C_v\Phi \cdot I_{\text{ДВ}}. \quad (25)$$

Результати розрахунку характеристик струму ТЕД для чотирьох зон регулювання при струмі збудження $I_3 = I_{\Gamma}$ заносяться до табл. 8, а для $I_3 < I_{\Gamma}$ четвертої зони – до табл.9.

Таблиця 8

	I зона		II зона		III зона		IV зона	
	$I_{\text{ДВ}}=0$	$I_{\text{ДВ}}=I_{\Gamma}$	$I_{\text{ДВ}}=0$	$I_{\text{ДВ}}=I_{\Gamma}$	$I_{\text{ДВ}}=0$	$I_{\text{ДВ}}=I_{\Gamma}$	$I_{\text{ДВ}}=0$	$I_{\text{ДВ}}=I_{\Gamma}$
$U_{\text{ДВ}}, \text{В}$								
$I_{\text{ДВ}} R_{\text{ДВ}}, \text{В}$								
$E, \text{В}$								
$C_v\Phi, \text{В}\cdot\text{г/км}$								
$v, \text{км/Г}$								

Таблиця 9

	I_3, A	300	400	500	600	700	800
	$C_v\Phi, \text{В}\cdot\text{г/км}$						
$I_{\text{ДВ}}=0$	$E, \text{В}$						
	$v, \text{км/Г}$						
$I_{\text{ДВ}}=I_{\Gamma}$	$E, \text{В}$						
	$v, \text{км/Г}$						

Значення $C_{\nu\Phi}$ у табл. 8 відповідає $I_3 = I_{\Gamma}$ і однаково для всіх зон регулювання.

Величина E у табл. 9. при кожному значенні струму якоря $I_{\text{дв}}$ береться з табл.8. і приймається однаковою для всіх значень I_3 . Значення $C_{\nu\Phi}$ в табл. 9, які відповідають I_3 , беруться з табл. 7, при цьому з метою спрощення розрахунків не враховується розмагнічуюча дія реакції якоря при струмах збудження, менших I_{Γ} .

Результати розрахунку гальмівних характеристик електровоза заносяться до табл.10. Гальмівна сила електровоза при струмі якоря, рівному нулю, приймається також рівною нулю. Розрахунок гальмівної сили B_{Γ} виконується тільки для струму якоря $I_{\text{дв}} = I_{\Gamma}$. При $I_3 = I_{\Gamma}$ значення B_{Γ} однаково для всіх зон регулювання.

Таблиця 10

I_3, A							
$C_{\nu\Phi}, \text{В}\cdot\text{г}/\text{км}$							
$B_{\Gamma}, \text{Н}$							
$v, \text{км}/\text{г}$							

Струмові характеристики ТЕД і гальмівні характеристики електровоза будуються на міліметровому папері в масштабі, зручному для використання. Значення швидкості при побудові гальмівної характеристики беруться з табл. 8, 9.

На струмові характеристики ТЕД і гальмівні характеристики електровоза наносяться обмеження по зчепленню та комутації.

4.5.3. Розрахунок обмеження по зчепленню.

Сила зчеплення коліс з рейками при рекуперативному гальмуванні

$$B_{\text{зч}} = \psi' \cdot P, \quad (26)$$

де ψ' - розрахунковий коефіцієнт зчеплення в режимі гальмування;
 P - зчіпна вага електровоза, Н.

$$\psi' = 0,8 \cdot \psi, \quad (27)$$

де ψ - розрахунковий коефіцієнт зчеплення в режимі тяги.

Результати розрахунку заносяться до табл. 11, яка виконується аналогічно табл.6. Значення максимального гальмового струму за умовами зачеплення визначаються за формулою (25).

Таблиця 11

v , км/Г							
ψ'							
$B_{зч}$, Н							
$I_{дв}$, А							

Обмеження гальмівного струму по зачепленню для $I_3 < I_{\Gamma}$ можуть бути побудовані по точках перехрещення характеристик $B = f(v)$ з обмеженням по зачепленню $B_{зч} = f(V)$.

4.5.4. Обмеження гальмівного струму по комутації розраховується, виходячи з умови:

$$\frac{I_3}{I_{дв}} = 0,7. \quad (28)$$

Використовуючи струми збудження I_3 з табл. 7, за формулою (28) визначаються відповідні струми якоря ТЕД, а потім за формулою (21) - значення швидкості електровоза. Результати розрахунку заносяться до табл.12.

Таблиця 12

I_3 , А						
$C_{\Gamma\Phi}$, В·Г/км						
$I_{дв}$, А						
v , км/Г						
B_{Γ} , Н						

Обмеження по комутації гальмівних характеристик електровоза будуються за точками перехрещення даного обмеження з характеристиками струму ТЕД у режимі рекуперативного гальмування.

Список литературы

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. 287 с.
2. Тихменев Б.Н., Трахтман, Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог, 1980.
3. Тихменев Б.Н., Трахтман, Л.М. Подвижной состав электрических железных дорог, 1969.
4. Тихменев Б.Н., Кучумов В.А.. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями, 1988.
5. Бочаров В.И. и др. Магистральные электровозы переменного тока, 1970.
6. Электровоз ВЛ80: Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1985.
7. Иньков Ю.М.. Преобразовательные полупроводниковые устройства подвижного состава, 1982.

