

Український державний університет науки і технологій
Навчально-науковий інститут
"Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту"

Кафедра _____ Електрорухомий склад залізниць _____
(повна назва)

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри
_____ Афанасов А.М.
(підпис) (ПІБ)

2021 р. _____ « _____ »

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань _____ 14 Електрична інженерія _____
(шифр) (назва)

Спеціальність _____ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____
(код) (повна назва)

Спеціалізація _____ Електричний транспорт _____
(повна назва)

Тема **Підвищення тягових властивостей електровозів шляхом
використання плавного регулювання послаблення поля тягових двигунів**

Theme **Increasing traction properties of electric locomotives by using smooth
adjustment of loosening of the field of traction motors**

Керівник дипломної роботи _____ професор _____ Афанасов А.М.
(посада) (підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер _____ професор _____ Афанасов А.М.
(посада) (підпис) (ПІБ)

Студент групи _____ ЕТ2021 _____ Легка О.В.
(група) (підпис) (ПІБ)

Student _____ Lehka O. _____
(Family name)

Дніпро
2021

ЗМІСТ

стор.

Вступ.....	
1 Аналіз існуючих варіантів плавного регулювання послаблення поля тягових електродвигунів	
2 Розробка схеми регулятора послаблення збудження тягових електродвигунів	
3 Розробка силової схеми тягового електропривода електровоза ...	
3.1 Розробка силової схеми електровозу постійного струму	
3.2 Імпульсне регулювання опору пускового реостата ...	
3.3 Розрахунок собівартості силового тиристорного перетворювача	
4 Розробка системи автоматичного керування тяговим електроприводом.....	
5 Оцінка тягових властивостей електровоза	
Висновки.....	
Список використаних джерел	
Перелік графічних матеріалів	

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить сторінок основного тексту, 16 рисунків, 3 таблиць, 8 джерел.

Об'єктом розробки є тяговий електропривод вантажного електровозу постійного струму з плавним регулюванням опору пускових резисторів та плавним регулюванням послаблення збудження тягових електричних двигунів.

У першому розділі розглянуто існуючі способи плавного регулювання збудження тягових двигунів. Розглянуто досвід використання плавного регулювання збудження тягових двигунів на електропоїзді ЭР200.

У другому розділі запропоновано електричну схему широтно-імпульсного регулятора збудження та розглянуто основні принципи такого регулювання.

У третьому розділі запропоновано структуру силової схеми електровоза постійного струму з плавним регулюванням опору пускових реостатів в колах тягових двигунів. Запропоновано плавне тиристорне регулювання послаблення тягових двигунів на безреостатних позиціях.

Четвертий розділ присвячено розробці функціональної схеми системи автоматичного керування, яка забезпечує стабілізацію пускового струму та вирівнювання значень струмів в паралельних гілках силової схеми електровозу.

У п'ятому розділі проведено оцінку тяговим властивостям електровозу з плавним регулюванням збудження тягових двигунів.

Ключові слова: електровоз, постійний струм, реостатний пуск, тяговий електричний двигун, тиристор, імпульсне регулювання, послаблення поля, автоматичне керування.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Інтенсивність економічного розвитку залізничної галузі визначається, в тому числі, рівнем технічного стану тягового електрорухомого складу та його тяговими властивостями. Ефективне використання тягового рухомого складу, в тому числі вантажних електровозів, є однією з важливих задач залізничного транспорту України.

Вантажні електровози постійного струму, які використовуються на залізницях України, характеризується великим значенням коефіцієнта нерівномірності пуску, і як наслідок, відносно заниженими значеннями пускової сили тяги, яка обмежується на існуючих електровозах як максимальним струмом двигунів, так й умовами зчеплення. Інтенсифікація використання існуючого тягового рухомого складу потребує жорстких вимог до високої надійності локомотивів, забезпечення безпеки і безперебійності руху поїздів, зменшення витрат електроенергії на тягу.

Вагоме підвищення економічних показників електровозної тяги в вантажному русі може бути досягнене за рахунок розробки нових технічних рішень як в галузі проектування тягових електричних двигунів, так і в галузі розробки силових систем керування електровозів постійного струму.

Метою магістерської роботи є підвищення тягово-зчіпних якостей вантажного електровоза постійного струму шляхом використання плавного регулювання послаблення збудження тягових електричних двигунів.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Досягнення цієї мети в дипломному проекті було здійснено за рахунок вирішення наступних задач:

- розробка силової схеми вантажного електровоза постійного струму;
- розробка тиристорного регулятора опору пускових резисторів електровоза;
- розробка тиристорного регулятора ослаблення поля тягових електричних двигунів електровоза;
- розробка функціональної схеми автоматичного керування електроприводом.

Система плавного тиристорного реостатного пуску дозволяє зменшити практично до нуля коефіцієнт нерівномірності пуску вантажного електровоза та за рахунок цього підвищити тягово-зчіпні якості електровоза, середнє значення пускової сили тяги та прискорення вантажного потягу. Використання плавного тиристорно-імпульсного регулювання послаблення поля тягових двигунів дозволяє підвищити коефіцієнт використання потужності тягових двигунів майже до значення, рівного одиниці.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ ПЛАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОСЛАБЛЕННЯ ПОЛЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.

Плавне регулювання ступеня послаблення поля тягових електродвигунів постійного струму використовувалося на електропоїзді ЕР200, експлуатацію якого припинено у 2009 році.

Широтно-імпульсне регулювання коефіцієнта послаблення поля на даному електропоїзді здійснювалося за допомогою тиристорно-імпульсного перетворювача. За допомогою того ж перетворювача здійснювалося і плавне міжступеневе регулювання напруги на тягових електродвигунах. Годинна потужність колекторного тягового двигуна постійного струму послідовного збудження 1ДТ-001 складає 240 кВт. Годинний струм тягового двигуна дорівнює 360 А, при цьому максимальний пусковий струм – 400 А.

Силовa електрична схема електропоїзда забезпечує два можливі з'єднання тягових двигунів пари моторних вагонів: послідовне «с» та паралельне «сп». При цьому напруга на послідовно-паралельному з'єднанні дорівнює номінальному – 750 В.

Завдяки плавному регулюванню ступеня послаблення поля тягових двигунів у певних діапазонах зміни швидкостей на обох з'єднаннях («с» та «сп») формується тягова характеристика постійної потужності. Причому на «сп» з'єднанні забезпечується сталість потужності при максимальному (пусковому) струмі 400 А аж до максимального значення швидкості електропоїзда 200 км/год

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз тягових характеристик електропоїзда показує, що коефіцієнт використання потужності $K_{\text{и}}$ тягового двигуна 1ДТ-001 дорівнює одиниці.

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{v max}}}{P_{\text{р}}} = 1,$$

де $P_{\text{v max}}$ – потужність при максимальній швидкості;

$P_{\text{р}}$ – розрахункова потужність для заданого значення пускового струму.

Слід звернути особливу увагу на те, що $K_{\text{и}} = 1$ при всіх значеннях пускового струму $I_{\text{пуск}}$, і навіть при максимальному значенні, що дорівнює 400 А. Це досягається за рахунок використання дуже глибокого послаблення поля

$$\beta_{\text{min}} = 0,2.$$

Таке глибоке послаблення поля тягового двигуна без компенсаційної обмотки надмірно. Однак, і при стендових випробуваннях і експлуатації електропоїзда була відзначена досить висока потенційна стійкість тягового двигуна.

Середня максимальна напруга тягового двигуна 1ДТ-001

$$u_{\text{к ср}} = \frac{2pU_{\text{н}}}{K} = 10,2 \text{ В},$$

де $p = 2$ – число пар полюсів;

$U_{\text{н}} = 750 \text{ В}$ – номінальна напруга;

$K = 294$ – число колекторних пластин.

Стендові випробування показали, що тяговий двигун має досить високу потенційну стійкість. Максимальна міжلامельна напруга з послабленням поля $\beta = 0,28$ становить 23,5 В, а градієнт

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потенціалу 62 В/см. Це дозволило застосувати послаблення поля до значення $\beta = 0,2$.

Найбільш вагомим фактором, що визначив можливість використання глибокого послаблення поля на електропоїзді ЕР200, було використання тиристорно-імпульсного регулятора послаблення поля і, природно, відносно низька середня міжламельна напруга $u_k = 10,2$ В, яка обумовлена досить низькою номінальною напругою $U_n = 750$ В.

Спрощена принципова електрична схема електроприводу наведена на рис. 1. 1.

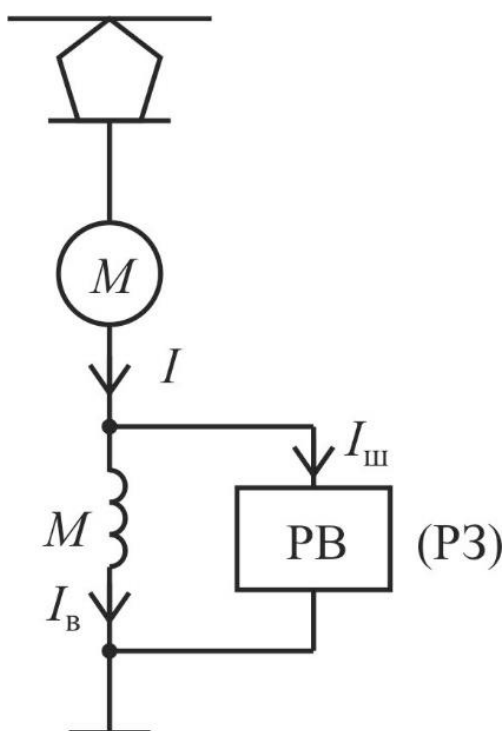


Рисунок 1.1 - Спрощена принципова електрична схема електроприводу з плавним регулювання збудження тягових двигунів

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обмотка збудження тягового двигуна M зашунтована регулятором збудження РВ, за допомогою якого здійснюється імпульсне регулювання коефіцієнта збудження

$$\beta = \frac{I_{\text{в}}}{I},$$

де $I_{\text{в}}$ – струм збудження тягового електродвигуна;

I – струм якоря тягового електродвигуна.

Принципові електричні схеми тиристорних широтно-імпульсних регуляторів збудження тягових електричних двигунів будуть розглянуті у наступних розділах магістерської роботи.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СХЕМИ РЕГУЛЯТОРА ПОСЛАБЛЕННЯ ЗБУДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Імпульсне регулювання струму збудження тягових двигунів здійснюється зміною коефіцієнту заповнення імпульсів напруги, яка прикладається до кола обмотки збудження тягових двигунів. Таке регулювання можна здійснити при різних способах ввімкнення тиристорного переривника. На рисунку 2.1 показана схема його ввімкнення паралельно обмотці збудження та послідовно з шунтуючим резистором $r_{ш}$.

Принципово можливо здійснити імпульсне регулювання збудження і при $r_{ш}=0$. Однак у цьому випадку не можна довести коефіцієнт заповнення λ до 1,0, так як він відповідав би струму $I_z=0$ і регулювання повинно було б завершатися при $0<\lambda<1,0$ на ходовому ступені найбільшого послаблення збудження, яке допускається за умов комутаційної стійкості тягових двигунів. Якщо є резистор $r_{ш}$, то можливо досягнути $\lambda=1,0$ з наступним шунтуванням тиристорного переривника контактором. При цьому найбільше послаблення збудження, тобто найменше значення β , буде визначатися вибраним опором $r_{ш}$.

В інтервалі запирання тиристора коло струму збудження шунтується постійно включеним резистором $r_{шо}$. За відсутності резистора $r_{шо}$ індуктивність обмотки збудження двигуна перешкоджала б запиранню ТПр. В схемі на рисунку 3.5 немає індуктивного шунта, його застосування зробило б практично неможливою роботу ТПр. Можливі відхилення струму якоря зменшуються за допомогою системи автоматичного регулювання, яка змінює в потрібний напрямок коефіцієнт заповнення імпульсів.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

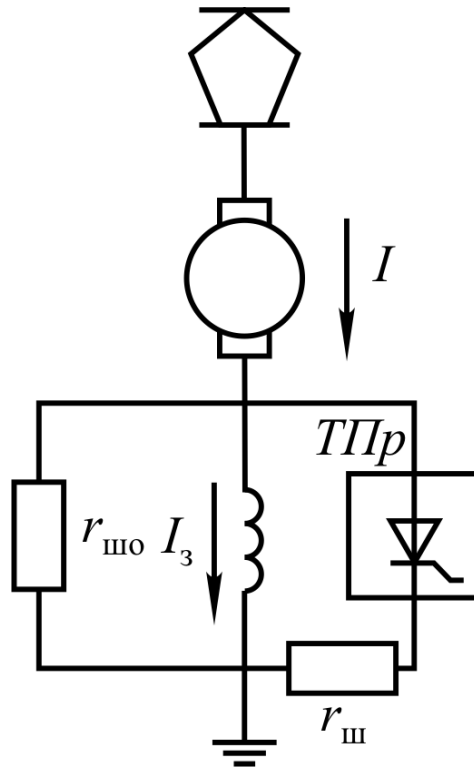


Рисунок 2.1 – Схема імпульсного регулювання збудження тягового електродвигуна

У разі регулювання струму збудження двигуна під час реостатного гальмування тиристорно-імпульсний переривник ТПр доцільно вмикати послідовно з обмоткою збудження тягового двигуна і паралельно частини $r_{Г2}$ гальмового реостата r_r (рисунок 2.2). При запиранні тиристора струм збудження замикається через зворотний вентиль D_3 . Перевага схеми на рисунку 2.2 для реостатного гальмування перед схемою на рисунку 2.1 міститься в тому, що при зміні коефіцієнта заповнення змінюється еквівалентний гальмовий опір, що дозволяє прискорити процес самозбудження і знизити швидкість закінчення реостатного гальмування при постійному опорі $r_{Г2}$.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

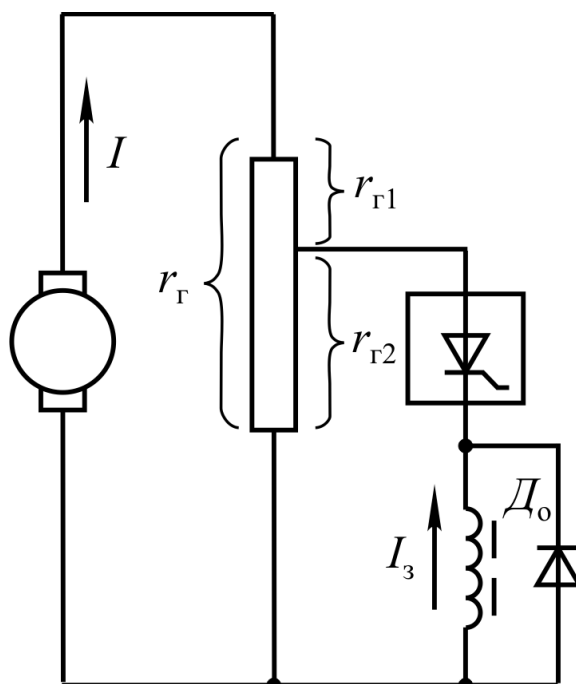


Рисунок 2.2 – Схема імпульсного регулювання опору гальмівного реостата

В режимах пуску та електричного гальмування статичні характеристики імпульсного регулювання збудження тягових двигунів визначаються залежністю коефіцієнту заповнення $\beta(\lambda)$. Розглянемо принципи розрахунку статичних характеристик стосовно до схеми рисунку 2.1.

Визначаючи залежність $\beta(\lambda)$, можна прийняти при достатньо великій частоті регулювання постійного струму I_3 для певного коефіцієнту регулювання збудження та нехтувати індуктивністю шунтуючого кола. У випадку прийнятих припущень та постійного пускового струму I отримаємо для кожного значення коефіцієнту заповнення λ струм шунтуючого кола

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{ш}} = I - I_3 = \text{const}.$$

Опір шунтуючого кола протягом імпульсу

$$r'_{\text{ш}} = r_{\text{ш}} r_{\text{шо}} / (r_{\text{ш}} r_{\text{шо}}).$$

Протягом паузи між імпульсами він дорівнює

$$r'_{\text{ш}} = r_{\text{шо}}.$$

Отже, середнє значення напруги кола збудження за період регулювання

$$U_3 = r_3 I_3 = (I - I_3) [r'_{\text{ш}} \lambda + r_{\text{шо}} (1 - \lambda)] = (I - I_3) r_{\text{ше}}.$$

$$r_{\text{ше}} = r'_{\text{ш}} \lambda + r_{\text{шо}} (1 - \lambda).$$

Величина $r_{\text{ше}}$ представляє собою еквівалентний опір, який, будучи безперервно включеним протягом періоду регулювання T , забезпечив би відповідне рівняння.

Найбільший коефіцієнт регулювання збудження β_0 при виключеному ТПр ($\lambda = 0$)

$$\beta_0 = r_{\text{шо}} / r_3 + r_{\text{шо}}.$$

$$r_3 = (1 - \beta_0) r_{\text{шо}} / \beta_0.$$

Приймаючи значення r_3 відповідно до попереднього виразу та заміняючи $I_3 / I = \beta$, отримаємо вираз

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$(1-\beta_0)[r'_{ш}\lambda + r_{шо}(1-\lambda)] = \beta_0(1-\beta_0)r_{шо} / \beta_0.$$

Тоді отримаємо вираз для коефіцієнта послаблення поля

$$\beta = \beta_0(k - \lambda) / (k - \lambda\beta_0).$$

Залежності $\beta(\lambda)$ для різних значень β_0 і k показані на рисунку 2.3. Крива 1 побудована для $k=1,0$, тобто при $r_{ш}=0$, а крива 2 – для $k>1,0$. Граничне значення $\beta_{\min}$ буде відповідати перетину ординати $\lambda=1,0$ з кривою 2. Значення $\beta_{\min}$ визначається найменшим коефіцієнтом регулювання збудження, припустимим за умов комутаційної стійкості.

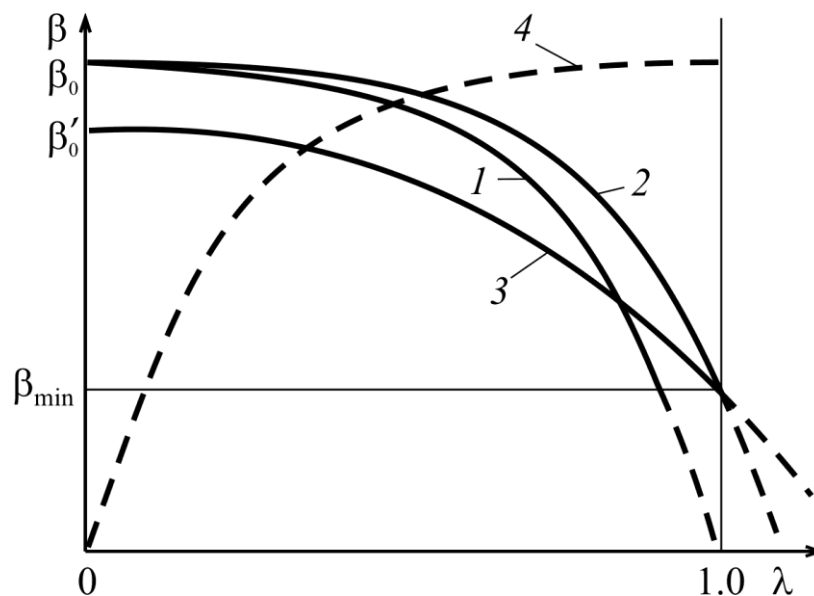


Рисунок 2.3 – Діаграми роботи регулятора збудження

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При $\lambda = 1,0$ отримаємо вирази:

$$\beta_{\min} = \beta_0(k-1)/(k-\beta_0);$$

$$k = \beta_0(1-\beta_{\min})/(\beta_0-\beta_{\min});$$

$$r_{\text{ш}} = \frac{\beta_{\min}(1-\beta_0)}{\beta_0-\beta_{\min}} r_{\text{шо}} = \frac{\beta_{\min}\beta_0}{\beta_0-\beta_{\min}} r_3.$$

Остання формула дозволяє визначити $r_{\text{ш}}$ при заданих значеннях $\beta_{\min}$ та β_0 . Значення β_0 суттєво впливає на вид характеристики $\beta(\lambda)$. При даному опорі обмотки збудження r_3 значення β_0 визначається постійним шунтуючим опором $r_{\text{шо}}$. Збільшення β_0 та $r_{\text{шо}}$ підвищує втрати, максимальну напругу на тиристорах та пульсації струму в колі якорів двигунів у зв'язку зі збільшенням діапазону коливань напруги u_3 при вимкненні та ввімкненні ТПр. Зі збільшенням β_0 , крім того, зменшується жорсткість характеристики $\beta(\lambda)$ в ділянці, в якій λ близько до одиниці; при цьому відносно малі зміни λ визивають значні зміни коефіцієнту β , що ускладнює забезпечення стійкого процесу регулювання. На рисунку 3.7 показана крива 3 при $\beta'_0 < \beta_0$; жорсткість кривої $\beta'_0(\lambda)$ більше жорсткості кривої $\beta_0(\lambda)$ в ділянці, в якій λ близько до одиниці, що поліпшує умови регулювання.

Зменшення $r_{\text{шо}}$ та β_0 , з іншого боку, приводить до зниження струму збудження та сили тяги в режимі повного збудження. Можливо підключити резистор $r_{\text{шо}}$ після закінчення пуску при повному збудженні, але це знижує діапазон плавного регулювання струму I_3 .

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При вибраному β_0 та відомій залежності $\beta(\lambda)$ рівняння еквівалентного статичного режиму в колах якорів тягових двигунів для середнього значення пускового струму має наступний вигляд

$$r_{\text{я}}I + (I - I_3)r_{\text{ше}}(\lambda) = U_1 - E = U_1 - C\Phi v.$$

Коефіцієнт послаблення поля

$$\beta = r_{\text{ше}}(\lambda) / [r_3 + r_{\text{ше}}(\lambda)].$$

Тоді отримаємо

$$E = C\Phi v = U_1 - \left[r_{\text{я}} + \frac{r_{\text{ше}}(\lambda)r_3}{r_{\text{ше}}(\lambda) + r_3} \right] I.$$

Ці рівняння дозволяють визначити швидкість руху v в процесі пуску для будь-якого значення λ і коефіцієнта регулювання збудження β . Скористаємось для цього графічною побудовою (рисунок 2.4).

В першому квадранті рисунка 2.4 побудована навантажувальна характеристика $C\Phi(I_3)$ – крива 1 – для вибраного значення пускового струму I . Залежність $\beta(I_3)$ при $I = \text{const}$ характеризується прямою 2 (для меншого і більшого пускового струму – відповідно прямі 2' і 2"). Згідно рівняння (263) побудована залежність $\beta(\lambda)$ – крива 3. За допомогою кривих 1, 3 і прямої 2 отримана залежність $C\Phi(\lambda)$ – крива 4. Крива 5 представляє собою залежність $E(\lambda)$, побудовану згідно відповідного виразу. Ділячи ординати кривої 5 на ординати кривої 4, отримаємо $v = C\Phi$ і $v(\lambda)$ – криву 6.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

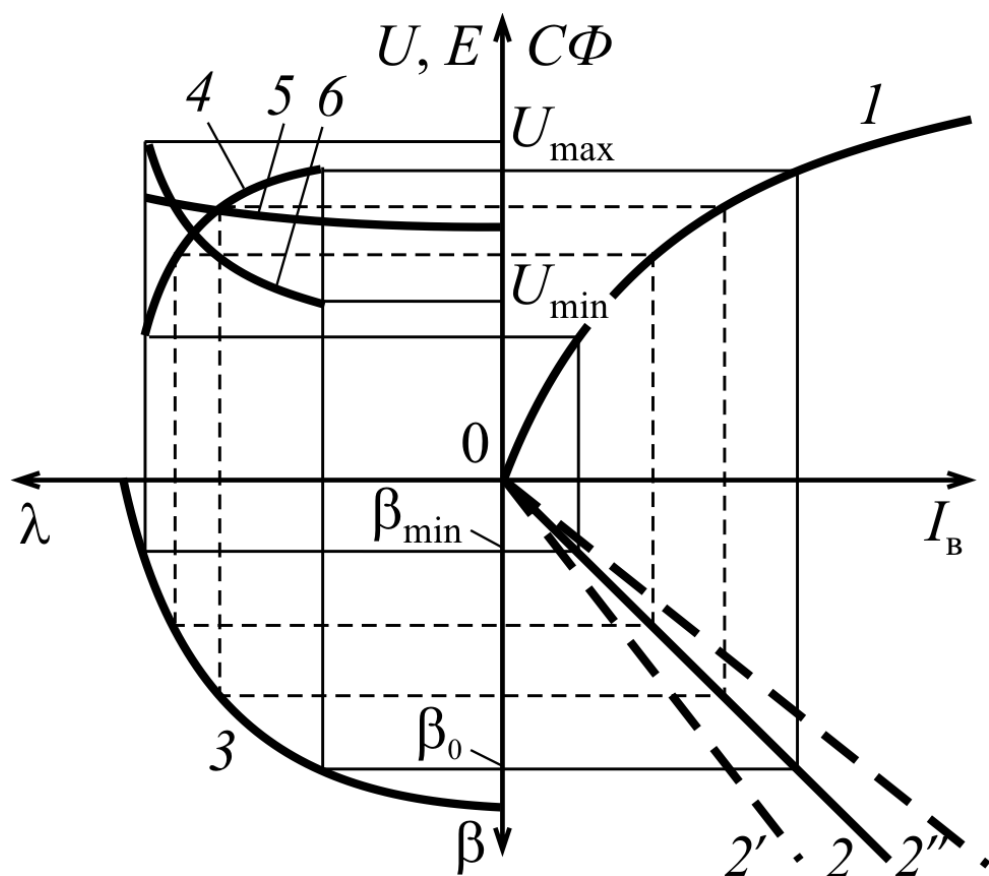


Рисунок 2.4 – Визначення швидкості руху

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку нанесені граничні значення швидкості регулювання $v = v_{\max}$ для $\beta = \beta_{\min}$ і $v = v_{\min}$ для $\beta = \beta_0$.

Залежність $\beta(\lambda)$ може бути визначена з рівняння

$$U_3 = (I - I_3)r_{\text{шо}}\lambda = r_3 I_3.$$

Звідки отримаємо

$$\beta = \frac{\lambda}{\lambda + r_3/r_{\text{шо}}} = \beta_0 \frac{\lambda}{1 - \beta_0(1 - \lambda)}.$$

На відміну від схеми рисунку 2.1 в схемі рисунку 2.2 коефіцієнт β збільшується, а еквівалентний опір $r_{\Gamma 2e}$ зменшується при збільшенні λ

$$r_{\Gamma 2e} = \frac{U_{\Gamma 2}}{I} = r_{\Gamma 2}[(1 - \beta)\lambda + (1 - \lambda)] = r_{\Gamma 2}(1 - \lambda\beta) = r_{\Gamma 2} \left[1 - \frac{\lambda^2 \beta_0}{1 - \beta_0(1 - \lambda)} \right].$$

Причому $\beta = 0$ і $r_{\Gamma 2e} = r_{\Gamma 2}$ при $\lambda = 0$; $\beta = \beta_0$ і $r_{\Gamma 2e} = r_{\Gamma 2}(1 - \beta_0)$ при $\lambda = 1,0$. Зменшення $r_{\Gamma 2e}$ зі збільшенням λ і I_3 в процесі зниження швидкості розширює діапазон реостатного гальмування при постійному гальмівному струмі.

Для прискорення процесу самозбудження при переході на реостатне гальмування можна прийняти $\lambda = 1,0$, що відповідає режиму максимальної напруги збудження та мінімального гальмового опору. При досягненні уставки струму якоря I коефіцієнт λ і струм збудження двигунів I_3 зменшується, а еквівалентний гальмівний опір збільшується; їх значення встановлюються у відповідності з початковими режимами робочого

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циклу гальмування за допомогою регулятора, після чого в процесі зниження швидкості будуть зростати λ і I_3 і збільшується $r_{Г2e}$.

Принцип побудови статичної характеристики для схеми рисунку 3.6 аналогічний принципу побудови кривих рисунку 2.4. Залежність $\beta(\lambda)$ показана на рисунку 2.4 (штрихова крива 4). Е. р. с. визначається як

$$E = I(r_{я} + r_{Г1}) + r_{Г2e}.$$

Характеристики $\beta(\lambda)$ при пуску і реостатному гальмуванні суттєво нелінійні, що ускладнює процес регулювання на ділянці, де λ близько до одиниці. Лінійну залежність $\beta(\lambda)$ можна отримати, здійснюючи імпульсне регулювання струму збудження за схемою на рисунку 2.5, де тиристорні перемикачі представлені умовно у вигляді ключів К.

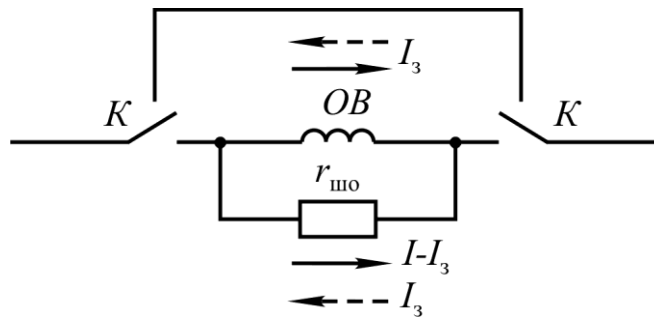


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема регулятора збудження

На інтервалі імпульсу напруга прикладається до кола обмотки збудження ОЗ (ключ К знаходиться у нижньому положенні), а на інтервалі паузи коло обмотки збудження вимикається з кола

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якорем (ключ К знаходиться у верхньому положенні). Напрямок струмів для 1-го режиму показані суцільними, а 2-го режиму штриховими лініями.

Статичні характеристики визначаються рівнянням

$$(I - I_3)r_{\text{шо}}\lambda - I_3r_{\text{шо}}(1 - \lambda) = r_3I_3.$$

$$\beta = \frac{\lambda}{1 + r_3/r_{\text{шо}}}.$$

Отже, залежність $\beta(\lambda)$ лінійна. Подібний принцип регулювання струму збудження застосований на високошвидкісному електропоїзді ЕР200 в режимах тяги і реостатного гальмування. Використання такого регулятора на вантажному електровозі постійного струму дозволить відмовитись від індуктивного шунта та забезпечити постійну силу тяги електровоза при швидкостях, які більш розрахункової.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА СИЛОВОЇ СХЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕЛЕКТРОВОЗУ

3.1 Розробка силової схеми електровозу постійного струму

Електрична схема електровоза представлена на рисунку 3.1. За основу цієї схеми взято силову схему існуючих електровозів постійного струму. З'єднання тягових двигунів: послідовне, послідовно-паралельне та паралельне. Пуск електровоза – реостатний. Особливістю запропонованої схеми є те, що реостатний пуск – плавний, безступеневий. Регулювання ступеня послаблення поля тягових електричних двигунів – плавне, тиристорне. Індуктивні шунти відсутні.

За рахунок використання тиристорного регулятора опору пускових резисторів досягається плавність реостатного пуску. Регулювання послаблення поля виконується тиристорним перетворювачем, який підключено паралельно обмотці збудження тягового електричного двигуна. Система автоматичного керування забезпечує підтримання пускового току постійним до характеристики, яка відповідає мінімальному ступені послаблення збудження. Така стабілізація пускового струму забезпечує підвищення середнього значення пускової сили тяги електровоза та покращення його тягово-зчепних якостей. Що дає підвищення мас поїздів та пускові прискорення.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

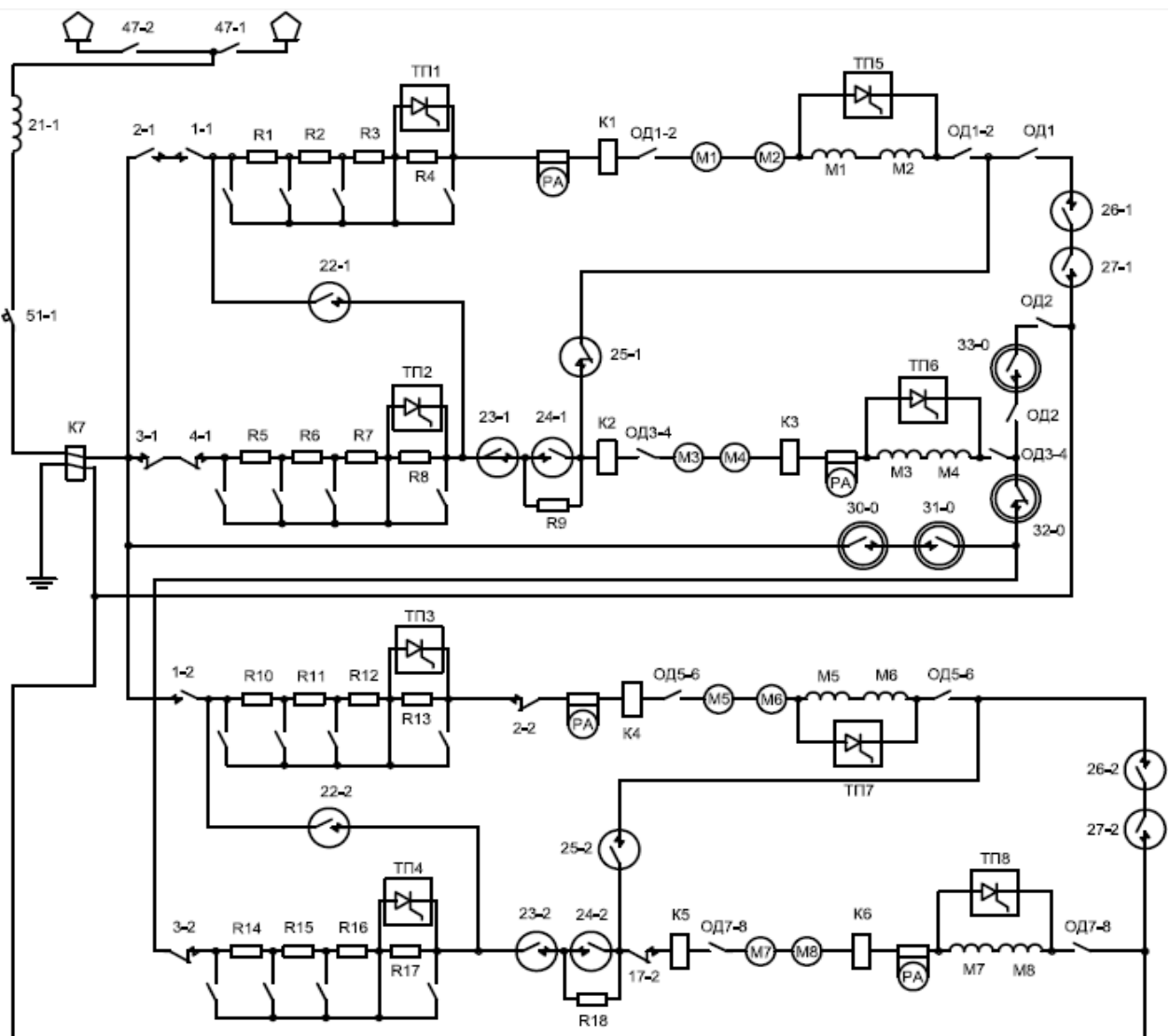


Рисунок 3.1 – Принципова силова схема електровозу

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Імпульсне регулювання опору пускового реостата

Принципову схему імпульсного перетворювача, за допомогою якого можна плавно регулювати опор секції пускового резистора r_p , приведено на рисунку 3.2.

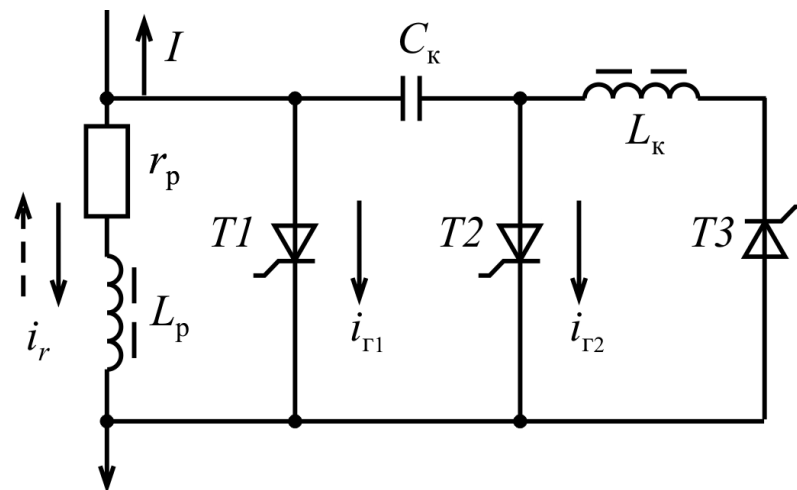


Рисунок 3.2 – Імпульсний перетворювач для регулювання опору пускового реостата

Припустимо, що в колі тягового двигуна протікає постійний, повністю згладжений струм I . Тоді при закритому тиристорі $T1$ і $\lambda=0$ весь струм пройде через резистор r_p і падіння напруги на ньому складатиме

$$\Delta U = r_p I.$$

При $\lambda=1,0$ струм I буде проходити через тиристор $T1$, якщо знехтувати його прямим падінням напруги, то $\Delta U=0$. Для

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнту заповнення $0 < \lambda < 1,0$ падіння напруги в резисторі r_p буде проявлятися тільки на інтервалі між імпульсами. Отже

$$\Delta U = I(1 - \lambda)r_p.$$

Еквівалентний опір, який забезпечило б падіння напруги ΔU_{cp} , складає

$$r_e = \Delta U_{cp} / I = (1 - \lambda)r_p.$$

Звідси витікає, що змінювати еквівалентний опір від 0 до r_p можна шляхом змінення коефіцієнту заповнення від 0 до 1,0. Цей принцип використовують для плавного регулювання опору при реостатному пуску і реостатному гальмуванні.

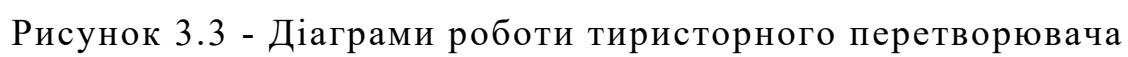
Так як індуктивність тягового двигуна кінцева, струм в процесі регулювання буде пульсувати, зростаючи на інтервалі t_1 при відкритому тиристорі T1 та знижуючись на інтервалі t_2 при закритому T1.

Якщо тиристор T1 відкритий, струм в колі тягових двигунів $I = i_{T1}$, а якщо закритий, струм I рівний струму i_p в шунтуючому резисторі r_p . При відкритому тиристорі T2 відбувається перезаряд конденсатора C_k струмом i_{T2} , а при відкритому T1 – струмом i_{T1} .

Процес виключення тиристора T1 пояснює діаграма на рисунку 3.3. На початку струм спадає від значення I_{max} по кривій $i_{T1}(t)$, струм $i_{T2}(t) = i_{Ck}(t)$ наростає. При цьому зберігається рівність

$$i_{T1} + i_{T2} = I_{max}.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Арк.

Після припинення струму в колі Т1 через час $t = t_0 + t_{30}$ починається коливальний процес в колі C_k , Т2, r_p , L_p із власною частотою

$$f_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_p C_k} - \alpha_k^2}.$$

Коефіцієнт затухання при цьому

$$\alpha_k = r_p / 2L_p.$$

Відбувається комутація струму з кола тиристора Т2 (струм i_{T2}) в коло r_p (струм i_p). При цьому

$$i_{T2} + i_p = I_{\max}.$$

Повний час виключення тиристора Т1 визначається часом t_{k3} а схемний час t_c – моментом переходу напруги u_{Ck} через нуль. На початку коливального процесу струм i_p направлений (штрихова стрілка) зустрічно по відношенню до його напрямку в сталому режимі.

У випадку відносно низької напруги мережі можна використовувати одну або дві секції регульованого реостата з окремими імпульсними перетворювачами. Якщо застосовані окремі імпульсні перетворювачі, схема може бути повністю безконтактною.

При напрузі 3000 В, яка застосовується на є.р.с магістральних залізниць, доцільно розділити реостат на декілька секцій і

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовувати один імпульсний перетворювач, розрахований на напругу одного ступеня при контактному вимиканні ступенів в процесі автоматичного реостатного пуску або гальмування. На рисунку 3.4.а показана принципова схема такого регулювання для чотирьох рівних за опором ступенів пускового реостата, а на рисунку 3.4.б для гальмівного. Тиристорний переривник ТПр включений паралельно регульованому ступеню резистора r_p .

На початку всі контактори розімкнені. При зміні коефіцієнту заповнення від $\lambda_{\min}$ до $\lambda_{\max}$ здійснюється плавне зменшення опору r_p . Після досягнення $\lambda_{\max}$ поворотом валу групового реостатного контролера вмикають контактор 1. Якщо б не було автоматичного регулювання, це призвело б до поштовху пускового струму. При наявності такого регулювання, яка забезпечує підтримку постійності пускового струму, зростання струму спричинить зниження коефіцієнту заповнення, в результаті чого знов буде введений резистор r_p . Отже, секція реостата r_a буде виведена, а в колі залишаться секції $r_p = r_b + r_c$.

Далі таким же чином замикаються контактори 2 і 3 та виводяться секції r_b і r_c . На завершальній стадії регулювання буде в останній раз зменшений r_e від $r_e = r_p$ до нуля. Після досягнення $\lambda_{\max}$ замкнеться контактор П.

У системи, що розглядалась, необхідно координувати роботу автоматичного регулювання, яка змінює значення λ , з керованим реостатним контролером, який повинен перемикатись таким чином, щоб контактори 1, 2, 3 і П замикались при досягненні максимального коефіцієнту заповнення в кожному з чотирьох циклів регулювання.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

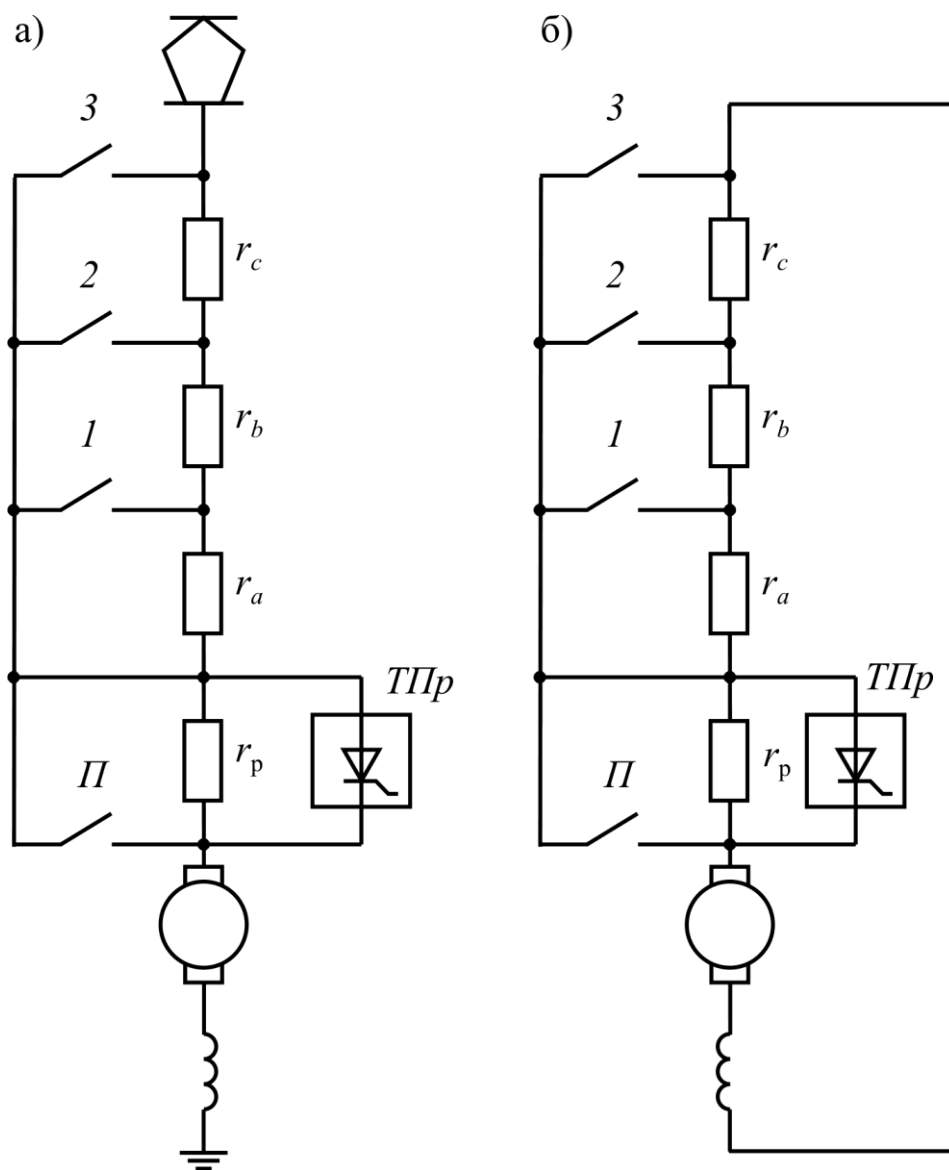


Рисунок 3.4 – Принципова схема регулювання опору
чотирьохсекційного пускового реостата

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення $\lambda_{\min}$ і $\lambda_{\max}$ залежать від сумарного часу процесів включення і виключення:

$$\lambda_{\min} = (t_{\text{ко}} + t_{\text{кз}}) / T ;$$

$$\lambda_{\max} = [1 - (t_{\text{ко}} + t_{\text{кз}})] / T .$$

Розглянемо рівняння для інтервалів відкритого t_1 та закритого t_2 станів тиристора у припущенні незмінності магнітного потоку. Для інтервалу t_1

$$L \frac{di}{dt} + r_1 i = U_1 - E = r_e I .$$

Для інтервалу t_2

$$L \frac{di}{dt} + r_2 i = U_1 - E = r_e I .$$

У цих виразах I – середній струм двигунів. Якщо нерегульована частина реостата $r_0 = r - r_p$, то:

$$r_1 = r_0 + r_d ;$$

$$r_2 = r_0 + r_p + r_d ;$$

$$r_e = r_0 + (1 - \lambda) r_p + r_d .$$

Прийmemo $i = I_{\max}$ при $t = t_1$ і $i = I_{\min}$ при $t = t_2$ для нульових відліків часу, і позначимо:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{y1} = \frac{r_e}{r_1} I$$

$$I_{y2} = \frac{r_e}{r_2} I$$

$$\tau_1 = \frac{L}{r_1}$$

$$\tau_2 = \frac{L}{r_2}$$

Можна записати рівняння

$$I_{y1} - I_{y2} = I r_e \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

В результаті рішення відповідних рівнянь отримаємо

$$\Delta I = \frac{r_p I}{r_1} \left(1 - \frac{\lambda r_p}{r_2} \right) \frac{(e^{-t_1/\tau_1} - 1)(e^{-t_2/\tau_2} - 1)}{1 - e^{-(t_1/\tau_1 + t_2/\tau_2)}}.$$

Звідки слідує, що $\Delta I = 0$ при $t_1 = 0$ і $t_2 = 0$. Так як $t_1 = \lambda T$ і $t_2 = (1 - \lambda)T$, можна побудувати залежність $\Delta I(\lambda)$ для різних значень $f = 1/T$. Це рівняння може бути використано також для розрахунку режиму реостатного гальмування.

Максимальне значення $\Delta I_{\max}$ можна розрахувати спрощеним способом у припущенні прямолінійного змінення струму у межах $0 < t < t_1$ і $0 < t < t_2$ при $\tau \gg T$.

Перетворюючи відповідні рівняння з урахуванням приростів, отримаємо

$$\Delta I = (r_e - r_1) I t_1 / L.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Замінюючи $r_e - r_1 = (1 - \lambda)r_p$ і $t_1 = \lambda T$, отримаємо

$$\Delta I = T I r_p \lambda (1 - \lambda) / L .$$

Максимальним значенням $\Delta I_{\max}$ буде при $\lambda = 0,5$.

$$\Delta I_{\max} = T I r_p / (4L) .$$

Згідно цього виразу $\Delta I_{\max}$ тим менше, чим менше $r_p = r / k$, де k – число ступенів.

Частота регулювання при заданому $\Delta I_{\max}$

$$f \geq I r_p / (4L \Delta I_{\max}) .$$

Максимальна частота $f_{\max}$ при зрушуванні на відміну від частоті в режимі регулювання напруги тут практично не пов'язана з коефіцієнтом заповнення. Дійсно, початковий пусковий струм визначається загальним пусковим опором $r = r_0 + r_p$, як і при звичайному реостатному пуску

$$I_H = U_1 / (r_0 + r_p + r_d) .$$

Мінімальний коефіцієнт заповнення

$$\lambda_{\min} = (t_{ko} + t_{kz}) / T .$$

При мінімальному коефіцієнті заповнення

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I'_H = \frac{U_1}{r_0 + r_p(1 - \lambda_{\min}) + r_d}.$$

Перехід до початкової фази імпульсного регулювання буде супроводжуватись поштовхом струму

$$\Delta I_H = I'_H - I_H = \frac{I_H \lambda_{\min} r_d}{r_0 + r_p(1 - \lambda_{\min}) + r_d}.$$

Отже, мінімальний коефіцієнт заповнення буде впливати тільки на значення ΔI_H .

Імпульсне регулювання опору, як вказувалося вище, не дозволяє використовувати переваги, пов'язані з трансформацією напруги. Крім того, при ньому не усуваються втрати, властиві реостатному пуску. Застосування його, тем не менш, значно спрощує імпульсний перетворювач, зменшує його вартість у порівнянні з перетворювачем системи імпульсного регулювання напруги і суттєво зменшує масу переривника вхідного фільтра.

Доцільно застосування імпульсного регулювання опору на магістральному електрорухомому складі постійного струму з рідкими зупинками при невеликих відносних втратах енергії в реостатах, порівнюючи з втратами в імпульсному перетворювачі напруги, а також при реостатному гальмуванні.

Імпульсне регулювання опору пуско-гальмового реостата згідно принципів схем рисунку 3.4 а і б вже було застосовано на швидкісних електропоїздах ЕР200, а гальмового реостата – на швидкісних електропоїздах змінного струму лінії Токіо-Осака

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(Японія). Застосування такого принципу регулювання опору пускового реостату на вантажному електровозі постійного струму дозволить стабілізувати та підвищити середнє значення пускової сили тяги електровозу та покращити його тягово-зчепні властивості.

3.3 Розрахунок собівартості силового тиристорного перетворювача

Використання широтно-імпульсного перетворювача пропонується для плавного регулювання напруги при пуску електровоза. Собівартість такого регулятора визначає витрати та переобладнання локомотивного парку та впливає на економічні показники перевезень в цілому. Собівартість продукції являє собою вартісну оцінку використовуваних у процесі виробництва продукції природних ресурсів, сировини, матеріалів, палива, енергії, основних фондів, трудових ресурсів, а так само інших витрат на її виробництво й реалізацію.

Собівартість продукції включає в себе:

- витрати, безпосередньо пов'язані з виробництвом продукції (робіт, послуг), обумовлені технологією й організацією виробництва , включаючи витрати на контроль виробничих процесів та якості випускаємої продукції;
- витрати, пов'язані з використанням природної сировини;
- витрати на обслуговування виробничого процесу;
- витрати по забезпеченню нормальних умов праці й техніки безпеки; витрати на підготовку й освоєння виробництва;
- витрати, пов'язані з винахідництвом і раціоналізацією; поточні витрати, викликані змістом й експлуатацією фондів природоохоронного призначення;
- витрати, пов'язані з керуванням виробництвом; витрати, пов'язані з підготовкою й перепідготовкою кадрів;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виплати, передбачені законодавством про працю, за непророблене на виробництві час (оплата основних і додаткових відпусток і т.д.);

- відрахування на державне соціальне страхування й пенсійне забезпечення, у державний фонд зайнятості населення, відрахування по обов'язковому медичному й майновому страхуванню;

- платежі по кредитах банків у межах ставки, установленої законодавством;

- витрати, зв'язані зі збутом продукції;

- витрати на відтворення основних виробничих фондів; зношування по нематеріальних активах;

- податки, збори й інші обов'язкові відрахування;

- інші види витрат, що включають у собівартість продукції відповідно до встановленого законодавства порядком.

По методу включення в собівартість, всі витрати підрозділяються на дві групи:

- прямі;

- накладні.

Прямими є ті витрати, які можуть бути безпосередньо розраховані й включені в собівартість виготовлення конкретного виробу. До прямих витрат відносяться:

- витрати на сировину;

- витрати на основні й допоміжні матеріали;

- витрати на комплектуючі, напівфабрикати;

- основна й додаткова заробітна плата (з відрахуваннями на соціальні потреби) основних виробничих робітників;

- витрати на амортизацію обладнання.

Накладні витрати - це витрати, що розраховують накладним або бухгалтерським методом, тобто шляхом нарахування певних відсотків на основну заробітну плату. Накладні витрати формуються в наступні групи:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- цехові витрати;
- заводські витрати;
- позавиробничі витрати.

Цехові витрати містять у собі зношування малоцінних інструментів і пристосувань, матеріали для змісту виробничого устаткування, енергію, паливо, газ, воду, пару для технологічних цілей, основну й додаткову заробітну плату (з відрахуваннями на соціальні потреби), допоміжних робітників, що обслуговують обладнання та робочі місця. Крім того, до цехових витрат відносяться: основна й додаткова заробітна плата (з відрахуваннями на соціальні потреби) цехового управлінського персоналу й допоміжних робітників, зайнятих на загальновиробничих і господарських роботах; витрати на матеріали, паливо, енергію, воду для господарських потреб цеху; амортизація й поточний ремонт виробничих будинків цеху, малоцінного господарського інвентарю; транспортні витрати; витрати, пов'язані з випробуваннями і дослідженнями; витрати по охороні праці та забезпеченню техніки безпеки, і деякі інші.

Загальнозаводські витрати містять у собі основну й додаткову заробітну плату (з відрахуваннями на соціальні потреби) працівників апарата заводууправління й служб загальнозаводського призначення, оплати відряджень, канцелярські й поштово-телеграфні витрати, утримання й амортизація будинку заводууправління, а також будинків матеріальних складів заводу, складу готової продукції, заводських лабораторій, представницькі витрати.

До позавиробничих витрат відносяться витрати на стандартизацію й науково-дослідні роботи, витрати по освоєнню нових типів приладів (до початку їхнього серійного випуску), витрати на тару, транспортування готової продукції й інших витрат.

На ряді етапів виготовлення виробів виникають необоротні втрати, названі технологічними втратами. Кількісною характеристикою цих втрат є

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт виходу придатних виробів (КВП), позначуваний через величину ймовірності виходу придатних виробів

$$KBП = P = \frac{N_{\text{ГОДН}}}{N_{\text{ЗАП}}},$$

де $N_{\text{ГОДН}}$ - кількість придатних виробів;

$N_{\text{ЗАП}}$ - кількість виробів (деталей, вузлів), запущених на операцію, прийняту за початкову;

P – величина ймовірності виходу придатних виробів.

Крім КВП використовується також коефіцієнт запуску ($K_{\text{ЗАП}}$), що показує в скільки разів більше повинне надійти на дану операцію деталей, вузлів, напівфабрикатів для того, щоб одержати задану кількість придатних виробів.

Коефіцієнт запуску визначається окремо для кожної операції або для групи послідовно виконуваних операцій, між якими не здійснюється проміжний контроль й облік на підставі діючих на підприємстві маршрутних карт технологічного процесу.

Коефіцієнт запуску визначається як величина, зворотна загальному коефіцієнту виходу придатних виробів для даної операції

$$K_{\text{ЗАП}} = \frac{1}{P_i},$$

де P_i - величина ймовірності виходу придатного виробу.

З приведеної формули видно, що коефіцієнт запуску на наступній технологічній операції не може бути більше, ніж на попередній. Отже, значення коефіцієнтів запуску убують від початкових до кінцевих операцій технологічного процесу.

По ознаці залежності від обсягу виробництва розрізняють два види витрат:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- змінні;
- умовно-постійні.

Змінні витрати (пропорційні) залежать від обсягу випусканої продукції, це витрати на матеріали, основна й додаткова заробітна плата (з відрахуваннями на соціальні потреби) основних виробничих робітників. Збільшення обсягу виробництва спричиняє пропорційне підвищення загальної суми (на весь випуск) цих витрат, але в собівартості одиниці продукції розмір їх залишається незмінним.

Загальна сума умовно-постійних (непропорційних) витрат залишається постійною при зміні обсягу виробництва. До умовно-постійних витрат відносяться: заробітна плата цехового й заводського управлінського персоналу (з відрахуваннями на соціальні потреби); витрати на висвітлення й опалення приміщень; витрати на кондиціонування повітря. На відміну від змінних, умовно-постійні витрати впливають на собівартість одиниці виробу тим менше, ніж на більшу кількість виробів вони розподіляються.

Розрахунок матеріальних витрат E_M проводиться по наступній формулі:

$$E_M = K_T \cdot (\sum K_{зАП_i} \cdot \sum q_{ji} \cdot C_i)$$

де K_T - коефіцієнт, що враховує транспортні витрати;

$K_{зАП_i}$ - коефіцієнт запуску на i -ій технологічній операції;

q_{ji} - норми витрати конкретних j -х видів матеріалів, використовуваних на i -тій технологічній операції, (од/шт);

C_i - ціна придбання j -го виду матеріалу (без обліку ПДВ) з урахуванням націнок, комісійних винагород, що сплачують постачальницькій і зовнішньоекономічній організаціям, (грн.).

Використовуючи дані таблиці 6.1 розрахуємо витрати на матеріал (E_M). Ціни на покупні комплектуючі взяті із прайс-листа представництва фірми

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«АВВ» в Україні на 10.04.2014 року. Значення K_T прийmemo за 1,1. Тоді сумарні витрати на матеріали становлять

$$E_M = 1,1 \cdot 12350,0 = 13585,0 \text{ грн.}$$

Таблиця 3.1 - Ціни на комплектуючі широтно-імпульсного перетворювача

Найменування	Коефіцієнт запуску $K_{ЗАП}$	Норми витрати матеріалу, шт.	Ціна j-го виду матеріалу, грн.	Вартість матеріалу, грн.
1	2	3	4	5
IGBT модуль	15,5	3	1300	3900
Конденсатор 150 мкФ, 6 кВ	12,5	1	4500	4500
Дросель, 5 мГн	12,5	1	3950	3950
Разом	-	-	-	12350

Розрахуємо основну заробітну плату основних робітників. Основна заробітна плата розраховується по формулі

$$E_{ЗП} = \sum K_{ЗАП_i} \cdot l_{T_i} \cdot t_{ШТ_i},$$

де: $K_{ЗАП_i}$ - коефіцієнт запуску на i-й технологічній операції;

l_{T_i} - годинна тарифна ставка робітника на i-й операції грн.;

$t_{ШТ_i}$ - норма-година i-й технологічної операції, год;

m - кількість операцій, шт.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення коефіцієнта запуску, величина тарифної ставки й трудомісткість кожної технологічної операції наведені в таблиці 5.2 на підставі тарифних ставок працівників (електронників) цеху з ремонту ЕРС Дніпропетровського вагонобудівного заводу.

Виходячи із цих даних, оцінюємо витрати на заробітну плату по операції:

$$E_{зп01}=5,5 \cdot 12,5 \cdot 15,0 = 1031,25 \text{ грн};$$

$$E_{зп02}=2,5 \cdot 8,0 \cdot 0,05 = 1,0 \text{ грн};$$

$$E_{зп03}=12,5 \cdot 14,56 \cdot 9,9 = 1802,0 \text{ грн};$$

$$E_{зп04}=4,05 \cdot 15,0 \cdot 0,05 = 3,0 \text{ грн};$$

$$E_{зп05}=2,0 \cdot 15,0 \cdot 0,5 = 15,0 \text{ грн}.$$

Таблиця 6.2 - Трудомісткість технологічних операцій

№№	Найменування робочої операції	Коефіцієнт запуску К _{ЗАП}	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн.	Нормо- година, год.
11	Виготовлення несущої конструкції	5,5	4	12,5	15
22	Контроль зовнішнього вигляду	2,5	3	9,9	0,05
33	Монтаж елементів схеми	12,5	5	14,56	8,0
44	Контроль статистичних і функціонально- динамічних параметрів	4,05	6	15,0	0,05
55	Технологічні випробування	2,0	6	15,0	0,5

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, основна заробітна плата на одиницю виробу по всіх технологічних операціях складе

$$E_0 = 1031,25 + 1,0 + 1802,0 + 3,0 + 15,0 = 2852 \text{ грн.}$$

Цехова, заводська, і повна собівартість розраховуються, відповідно по формулах:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{М}} + E_0 \cdot (1 + K_{\text{Д}}/100) \cdot (1 + K_{\text{СН}}/100) + E_0 \cdot K_{\text{Ц.Р}}/100;$$

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + E_0 \cdot (K_{\text{ЗР}}/100 + K_{\text{ВЛ}});$$

$$C_{\text{П}} = C_{\text{ЗАВ}} \cdot (1 + K_{\text{В.Р}}/100),$$

де $K_{\text{Д}}$ - відсоток додаткової заробітної плати: преміальні виплати 30%; за роботу у святкові дні 3%, за роботу в нічний час 14,3%, за роботу у нічний час 3,6%, за роботу в небезпечних умовах (травлення, робота з кислотами) 16% [12];

$K_{\text{СН}}$ - відсоток відрахувань на соціальні потреби 37,51% [13];

$K_{\text{Ц.Р}}$ - відсоток цехових витрат, 120%;

$K_{\text{ЗР}}$ - відсоток заводських витрат, 250%;

$K_{\text{В.Р}}$ - відсоток позавиробничих витрат, 20%.

Візьмемо $K_{\text{Д}} = 66,9\%$ [12] (на кожному підприємстві має своє значення)

Значення останніх трьох коефіцієнтів також мають своє значення на кожному підприємстві.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, одержуємо цехову собівартість

$$C_{\text{ЦЕХ}} = 13585 + 2852 \cdot (1 + 66,9/100) \cdot (1 + 37,51/100) + 2852 \cdot 120/100 = 23579 \text{ грн.}$$

Заводська собівартість

$$C_{\text{ЗАВ}} = 23579 + 2852 \cdot 250/100 = 30709 \text{ грн.}$$

Повна собівартість

$$C_{\text{П}} = 30709 \cdot (1 + 20/100) = 36851 \text{ грн.}$$

У техніко-економічному розділі дипломного проекту на основі реальних на сьогоднішній день даних був зроблений розрахунок собівартості широтно-імпульсного перетворювача для плавного регулювання напруги на тягових двигунах пасажирського електровозу. Повна собівартість перетворювача становить 36851 грн.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Досвід, накопичений при створенні автоматизованих і автоматичних систем управління, показує, що управління різними процесами ґрунтується на низці правил і законів, частина з яких виявляється загальною для технічних пристроїв, живих організмів і суспільних явищ. Вивчення процесів управління, отримання, перетворення інформації в технічних, живих і громадських системах складає предмет кібернетики, важливим розділом який є технічна кібернетика, включаючи аналіз інформаційних процесів управління технічними об'єктами, синтез алгоритмів керування та створення систем керування, що реалізують ці алгоритми.

Для здійснення автоматичного управління створюється система, що складається з керуючого об'єкта і тісно пов'язаного з ним керуючого пристрою. Як і всяка технічна споруда, систему управління прагнуть створити як би конструктивно жорсткою, динамічно «міцною». Ці чисто механічні терміни досить умовні і вжиті тут в тому сенсі, що система повинна бути здатна виконувати приписане їй програму дій, незважаючи на неминучі перешкоди з боку зовнішнього середовища.

Цілеспрямовані процеси, виконувані людиною для задоволення різних потреб, являє собою організовану і впорядковану сукупність дій - операцій, які діляться на два основних види: робочі операції та операції управління. До робочих операцій належать дії, безпосередньо необхідні для виконання

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесу у відповідності з тими природними законами, якими визначається хід даного процесу, наприклад, переміщення електровозу, обертання валу тягового двигуна і т.п.

Для полегшення і вдосконалення робочих операцій використовуються різні технічні пристрої, частково або повністю замінюють людини у цій операції. Заміна праці людини в робочих операціях називається механізацією. Мета механізації складається у вивільненні людини у важких операціях, що вимагають великих затрат фізичної енергії, у шкідливих операціях.

Для правильного і якісного виконання робочих операцій необхідні супроводжуючі їх дії іншого роду - операції управління, за допомогою яких забезпечуються в потрібні моменти початок, порядок проходження і припинення робочих операцій, виділяються необхідні для їх виконання ресурси, надаються потрібні параметри самого процесу - напрями, швидкості, температура і т.д. Сукупність керуючих операцій утворює процес управління.

Операції управління так само частково або повністю можуть виконуватися технічними пристроями. Заміна праці людини в операціях управління називається автоматизацією, а технічні пристрої, що виконують операції управління, - автоматичними пристроями. Сукупність технічних пристроїв (машин, знарядь праці, засобів механізації), що виконують даний процес, з точки зору управління є об'єктом управління.

Сукупність засобів управління і об'єкта утворює системи управління. Система, в якій всі робочі та керуючі операції виконуються автоматичними пристроями без участі людини,

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

називаються автоматичною системою. Система, в якій автоматизована тільки частина операцій управління, а інша частина (звичайно найбільш відповідальна) виконується людьми, називається автоматизованої (або напіваавтоматичного) системою.

Будь-який об'єкт управління пов'язаний з одним або декількома регуляторами, що формують управляючі дії, що подаються на регулюючий орган. Об'єкт управління спільно з керуючим пристроєм, або регулятором, утворюють систему управління або регулювання. При цьому, якщо людина не бере участі в процесі управління, то така система називається системою автоматичного управління.

Регулятор системи являє собою комплекс пристроїв, з'єднаних між собою у певній послідовності і здійснюють реалізацію найпростіших операцій над сигналами. У зв'язку з цим виявляється можливим зробити декомпозицію (розчленування) регулятора на окремі функціональні елементи - найпростіші конструктивно-цілісні осередки, що виконують одну певну операцію з сигналом.

Щоб здійснювати автоматичне керування або будувати систему управління, потрібні знання двоякого виду: по-перше, конкретні знання даного процесу, його технології і, по-друге, знання принципів і методів управління, загальних для найрізноманітніших об'єктів і процесів. Конкретні спеціальні знання дають можливість встановити, що і, головне, як слід змінювати в системі, щоб отримати необхідний результат.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При автоматизації управління технічними процесами виникає необхідність у різних групах операцій управління. До однієї з таких груп відноситься [операція](#) початку (включення), припинення (відключення) даної операції і переходу від однієї операції до іншої (перемикання).

Для правильного і якісного ведення процесу деякі з його координат (керовані) повинні підтримуватися в певних межах або змінюватися за певним законом.

В основі використовуваних в техніки алгоритмів керування лежать деякі загальні фундаментальні принципи управління, що визначають, як здійснюється ув'язка алгоритму управління із заданим і фактичним функціонуванням, або з причинами, що викликали відхилення. Використовується три фундаментальні принципи: розімкнутого управління, зворотного зв'язку та компенсації.

Принцип розімкнутого управління. Сутність принципу полягає в тому, що алгоритм управління будується тільки на основі заданого алгоритму функціонування і не контролюється за фактичним значенням керованої величини.

Принцип управління за відхиленням (Принцип зворотного зв'язку). Цей принцип є одним з найбільш ранніх і широко поширених принципів управління. [Відповідно](#) до нього вплив на регулюючий орган об'єкта виробляється як [функція](#) відхилення регульованої величини від запропонованого значення. Зворотний зв'язок можна знайти у багатьох процесах в природі. Принцип

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зворотного зв'язку є досить універсальним фундаментальним принципом управління, що діє в техніці, природі і суспільстві.

Принцип регулювання за збуренням (Принцип компенсації). Системи автоматичного регулювання в залежності від характеру зміни керуючого впливу поділяються на три класи. Розрізняють системи автоматичної стабілізації, системи програмного регулювання і слідкуючі системи. Системи автоматичної стабілізації характеризуються тим, що в процесі роботи системи керуючий вплив залишається величиною постійною.

Основним завданням системи автоматичної стабілізації є підтримання на постійному рівні з допустимою помилкою регульованої величини незалежно від діючих збурень. Діючі обурення викликають відхилення регульованої величини від запропонованого їй значення. Відхиленням регульованої величини називається різниця між значенням регульованої величини в даний момент часу і її значенням, прийнятим за початок відліку.

Поняття відхилення регульованої величини є характерним для систем автоматичної стабілізації і дозволяє дати якісну оцінку динамічним властивостями систем цього класу. Системами автоматичної стабілізації є різного роду САР, призначені для регулювання швидкості, напруги, температури, тиску, наприклад, стабілізатор курсу літака і т.д.

На рисунку 4.1 приведено систему автоматичного керування силою тяги електровоза, яку побудовано на принципі зворотного зв'язку. Дана система забезпечує стабілізацію пускового струму або

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сили тяги електровозу, а також вирівнює значення струмів в паралельних гілках силової схеми електровозу. Стабілізація струму при реостатному пуску забезпечуються за рахунок плавного зменшення опору пускових реостатів, а на ходових позиціях – за рахунок плавного регулювання ослаблення поля тягових двигунів.

Система містить: контролер машиніста КМ, формуючий пристрій ПП, задатчик струму якоря ЗСЯ, задатчик струму збудження ЗСЗ, три ланки порівняння (суматори), регулятор напруги якоря РН, регуляторі струмів збудження РЗС1 и РЗС2, обмотки якорів Я1 і Я2, обмотки збудження ОЗ1 и ОЗ2, датчики струмів якорів ДСЯ1 і ДСЯ2, датчики струмів збудження ДСЗ1 і ДСЗ2, аналітичний пристрій АП.

Пристрій ПП формує задані значення струму якоря та струму збудження в залежності від положення рукоятки контролера машиніста, яким задається тягове зусилля електровозу.

Вхідна напруга на регуляторі напруги РН (імпульсний регулятор опору пускового резистора) залежить від помилки регулювання, яка дорівнює різниці напруги задатчика струму якоря та напруги одного з датчиків струму. Аналітичний пристрій АП забезпечує регулювання напруги на тягових двигунах по найбільшому значенню струму одного з якорів (вихід тах). Крім того, з іншого виходу АП з'являється сигнал, пропорційний різниці струмів паралельно включених якорів двигунів Δi , який подається на блок вирівнювання струмів якорів. Вирівнювання струмів якорів на паралельному з'єднанні виконується за рахунок регулювання послаблення збудження тягових двигунів. Значення сигналу Δi

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подається на кожний контур регулювання струму збудження з різними знаками, за рахунок чого і відбувається корекція регулюючих напруг на входах регуляторів послаблення збудження Р31 та Р32.

Система автоматичного керування забезпечує стабілізацію сили тяги електровоза при пуску та одночасне вирівнювання навантажень тягових електричних двигунів при послідовно-паралельному та паралельному з'єднаннях.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОЦІНКА ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОВОЗА

Розглянемо режим розгону електрорухомого складу за граничною тяговою характеристикою, яка наведена на рис. 5.1. Ця характеристика має дві зони. Зона І характеризується сталістю пускового значення сили тяги та відповідає відрізку зміни швидкості від нуля до розрахункового значення v_p .

$$F = F_p = \text{const},$$

де F_p – розрахункове значення сили тяги.

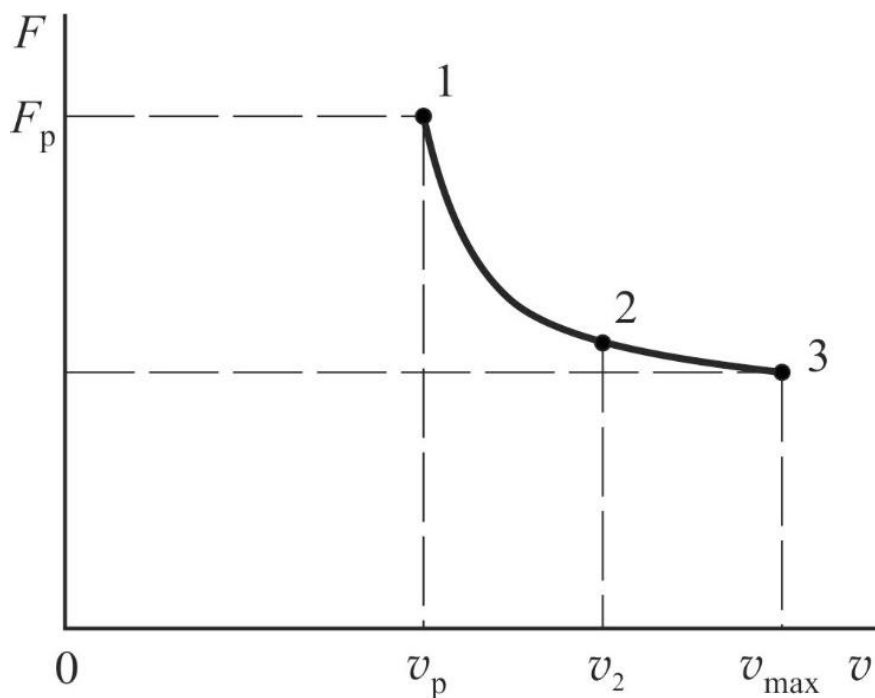


Рисунок 5. 1 – Тягова характеристика електровоза

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зоні II, яка відповідає відрізку зміни швидкості від розрахункового значення v_p до максимальної швидкості $v_{\max}$, шляхом плавного регулювання коефіцієнта збудження тягового електродвигуна забезпечується умова сталості потужності

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

Стабілізація сили тяги в зоні I тягової характеристики (рис. 5.1) може бути забезпечена стабілізацією пускового струму I шляхом планового підвищення напруги на тяговому електродвигуні з використанням системи автоматичного регулювання, спрощена функціональна схема якої представлена на рис. 5.2.

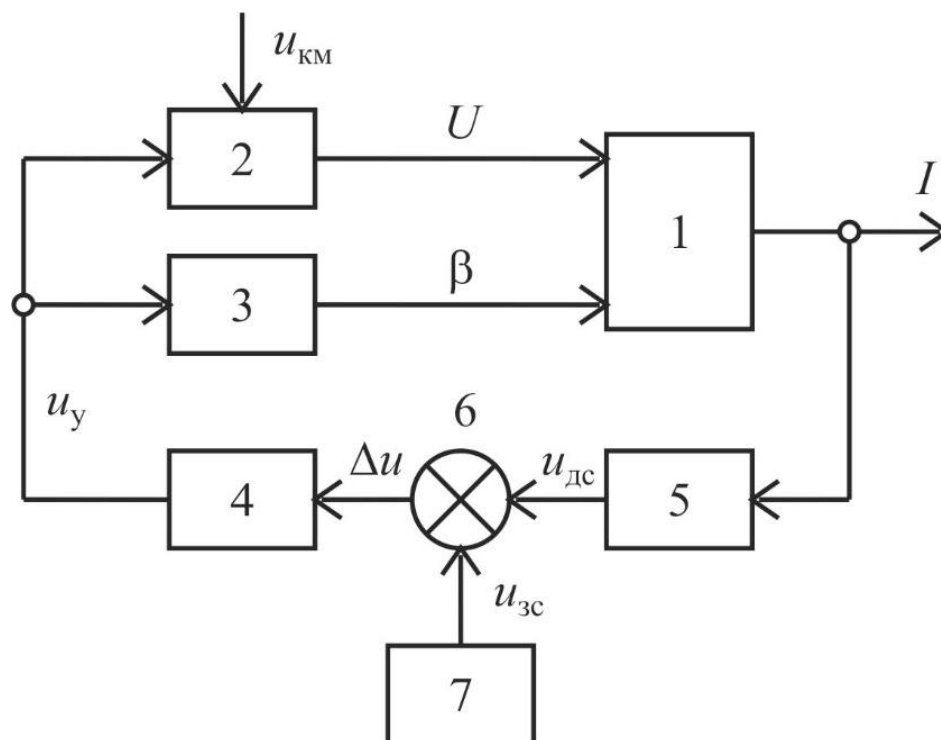


Рисунок 5.2 – Спрощена функціональна схема системи автоматичного формування тягової характеристики

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Умова стабілізації сили тяги електровозу у першій зоні тягової характеристики може бути представлена у вигляді

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

Напруга U на тяговому двигуні 1 регулюється за допомогою регулятора 2, який підключено до контактної мережі з напругою $U_{\text{км}}$. Напруга на виході регулятора пропорційна керуючій напрузі u_y на виході автоматичного регулятора 4, який забезпечує заданий закон регулювання. Реальне значення струму тягового електродвигуна (якоря) контролюється датчиком струму 5, сигнал з виходу якого $u_{\text{дс}}$ надходить на один із входів ланки порівняння 6. На інший вхід ланки порівняння надходить сигнал $u_{\text{зс}}$ від задатчика струму 7.

Така функціональна схема може забезпечити стабілізацію струму якоря I як в діапазоні зміни швидкості від нуля до v_p (I зона), так й в діапазоні від v_p до v_{max} (II зона).

У другій зоні ($v \in [v_p; v_{\text{max}}]$) стабілізація струму I забезпечується шляхом регулювання коефіцієнта збудження β регулятором послаблення поля 3 з використанням того ж принципу автоматичного управління з відхилення (негативний зворотний зв'язок).

На рис. 5.3 наведена характеристика зміни потужності тягового двигуна, що відповідає характеристиці $F(v)$, наведеної на рис. 5.1.

Для забезпечення сталості потужності у зоні II достатньо виконати умову:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} U = \text{const}; \\ I = \text{const}. \end{cases} \quad (1)$$

Розглянемо, яким чином має змінюватися коефіцієнт збудження β для забезпечення умови (1) у другій зоні.

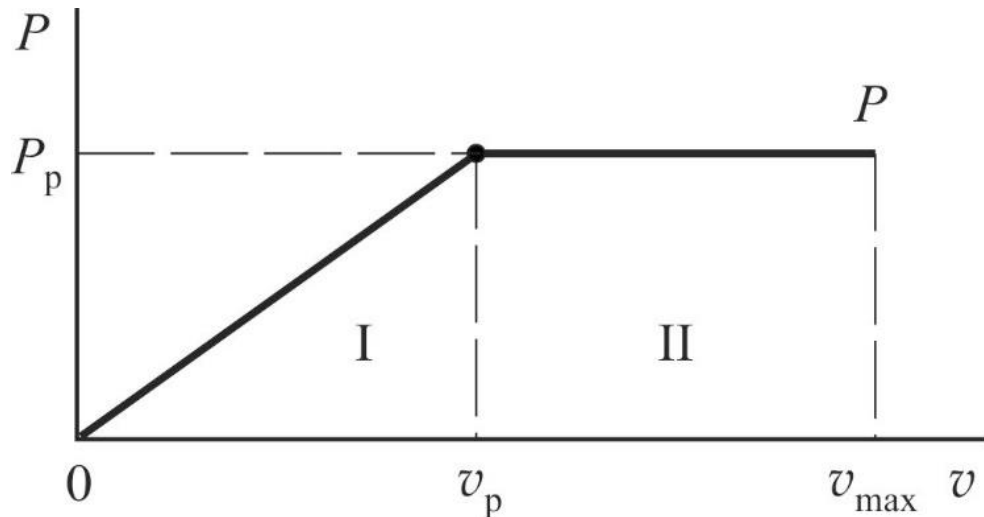


Рисунок 5.3 - Характеристика зміни потужності тягового двигуна

На рис. 5.4 умовно наведено електротягову характеристику тягового електродвигуна $v = f(I)$, що відповідає нормальному послабленню поля тягового двигуна.

Розглянемо задачу визначення залежності $\beta = f(v)$, яка забезпечуватиме характеристику $F = f(v)$, наведену на рис. 5. 1. Очевидно, що в першій зоні ($v \leq v_p$) дана залежність матиме вигляд.

$$\beta = \beta_{\text{нп}}. \quad (2)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для другої зони значення коефіцієнта збудження, що відповідає заданому значенню швидкості та забезпечує умову (1), може бути знайдено у вигляді

$$\beta = \frac{\beta_{\text{нп}} \cdot I_1}{I_p}, \quad (3)$$

де I_1 – значення струму якоря, що відповідає заданій швидкості v_1 на електро механічній характеристиці тягового електродвигуна для умови (2).

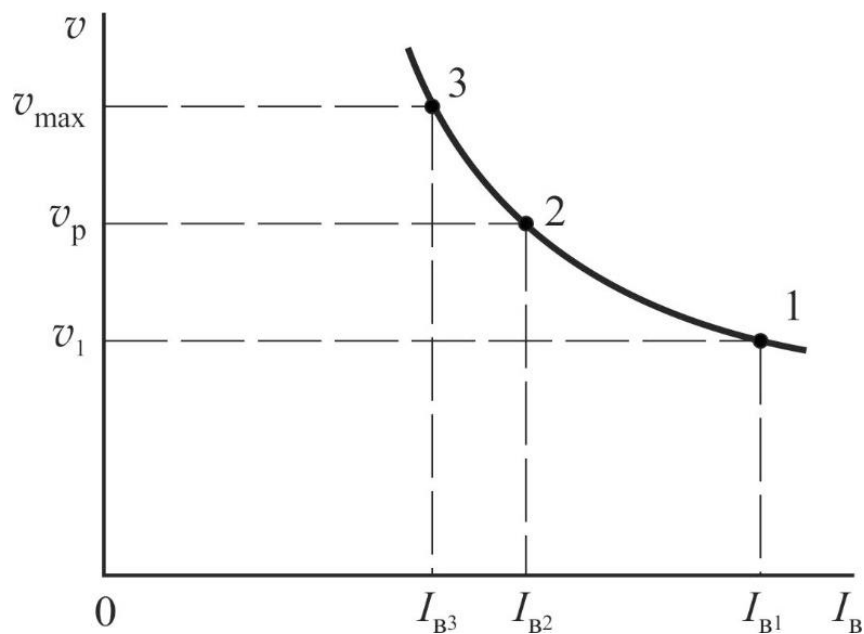


Рис. 5.4 – Електротягова характеристика тягового двигуна

Як приклад на рис. 5.4 та рис. 5.5 наведено методику визначення характеристики $\beta = f(v)$ на прикладі трьох характерних точок, що відповідають струмам I_1 , I_2 , I_p (струми 1, 2, 3).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 5.5 наведено характер залежності $\beta = f(v)$, що забезпечує тягову характеристику, наведену на рис. 5.1. Можливість формування тягової характеристики постійної потужності визначається та обмежується мінімально допустимим значенням коефіцієнта збудження $\beta_{\min}$. Тобто на всьому відрізку зміни швидкості у другій зоні ($v \in [v_p; v_{\max}]$) має виконуватися умова

$$\beta \geq \beta_{\min}. \quad (4)$$

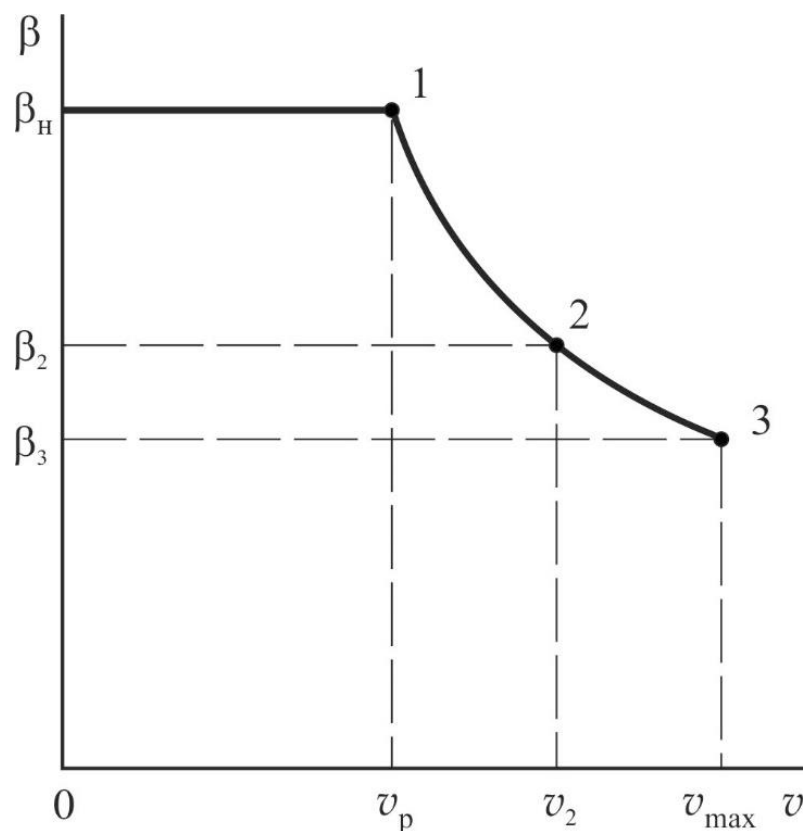


Рисунок 5.5 – Залежність коефіцієнта збудження тягового двигуна від швидкості руху електровозу

В таблиці 5.1 наведено значення коефіцієнтів збудження для нормального поля $\beta_{\text{нп}}$, для швидкості $v_{\max}$ за умовою (1), $\beta_{v_{\max}}$ та

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімально допустиме значення $\beta_{\min}$, прийняте для ступінчастого регулювання поля тягового двигуна (паспортні дані) для трьох типів тягових двигунів.

Таблиця 5.1 - Значення коефіцієнтів збудження тягових електродвигунів

Тип ТЕД	$v_{\max}$, км/год	$\beta_{\text{нп}}$	$\beta_{v_{\max}}$	$\beta_{\min}$
ДТК-820	110	0,98	0,27	0,48
ДТК-800А	120	1	0,27	0,43
НБ-418К	110	0,96	0,25	0,35

З даних таблиці 5.1 видно, що умова (4) не виконується для жодного з аналізованих тягових двигунів.

В таблицях 5.2 та 5.3 наведені розраховані для тягових двигунів ДТК-820 та ДТК-800А відповідно залежності коефіцієнта збудження β від швидкості v , що забезпечують граничну тягову характеристику з постійною потужністю у другій зоні керування. Залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК-800А розрахована для діапазону зміни швидкості від 51,6 км/год (годинний режим) до 110 км/год, при цьому слід зазначити, що максимальна конструкційна швидкість електровоза 2ЕЛ4, на якому використовується цей тип тягового двигуна, дорівнює 120 км/год. Така сама залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК-820 розрахована для діапазону зміни швидкості від 49,9 км/год (годинний режим) до 110 км/год (максимальна конструкційна швидкість електровоза 2ЕЛ5). Нижче наведено основні параметри

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електровозів 2ЕЛ5, 2ЕЛ4 та відповідних тягових двигунів ДТК-820 та ДТК-800А.

2ЕЛ5 (ДТК 820):

$$\begin{aligned} I_{\infty} &= 810 \text{ А}; & v_{\infty} &= 51 \text{ км/год}; & P_{\infty} &= 765 \text{ кВт}; \\ I_{\text{ч}} &= 870 \text{ А}; & v_{\text{ч}} &= 49,9 \text{ км/год}; & P_{\text{ч}} &= 820 \text{ кВт}; \\ v_{\text{max}} &= 110 \text{ км/год}; & \beta_{\text{min}} &= 0,48; & \beta_{\text{нп}} &= 0,98. \end{aligned}$$

2ЕЛ4 (ДТК 800):

$$\begin{aligned} I_{\infty} &= 525 \text{ А}; & v_{\infty} &= 51,6 \text{ км/год}; & P_{\infty} &= 740 \text{ кВт}; \\ I_{\text{ч}} &= 570 \text{ А}; & v_{\text{ч}} &= 50 \text{ км/год}; & P_{\text{ч}} &= 800 \text{ кВт}; \\ v_{\text{max}} &= 120 \text{ км/год}; & \beta_{\text{min}} &= 0,43; & \beta_{\text{нп}} &= 1. \end{aligned}$$

Таблиця 5.2 – Залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК 820

v , км/год	49,9	60	70	90	110
β	0,98	0,67	0,52	0,36	0,27

Таблиця 5.3 – Залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК 800

v , км/год	51,6	60	70	90	110
β	1	0,72	0,53	0,34	0,27

На рис. 5.6 та 5.7 наведено графічно залежності коефіцієнтів збудження тягових двигунів (ДТК 820 та ДТК 800 відповідно) від швидкості руху електровоза, які забезпечують граничну тягову характеристику потужності, наведену на рис 5.3. При цьому коефіцієнт використання потужності обох двигунів буде

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

дорівнювати одиниці, що говорить про найбільш повне використання потужності цих двигунів у всьому діапазоні зміни швидкості електровоза: від розрахункового значення до максимальної швидкості.

З графіку 5.5 видно, що для підтримання годинної (розрахункової) потужності тягового двигуна ДТК-820 при максимальній швидкості 110 км /год необхідно знизити коефіцієнт збудження до значення 0,27. Мінімально допустимий по паспортним даним коефіцієнт збудження для даного двигуна дорівнює 0,48. Але використання тиристорного регулятора збудження дозволить суттєво зменшити цей показник та забезпечити достатню потенційну стійкість ТЕД при такому глибокому послабленні збудження. Для остаточного визначення мінімально допустимого значення коефіцієнта збудження ТЕД при використанні тиристорного перетворювача необхідно провести додаткові експериментальні дослідження. Наведена на рис. 5.6 залежність коефіцієнта збудження від швидкості, отримана для тягового двигуна ДТК800А має аналогічний характер.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

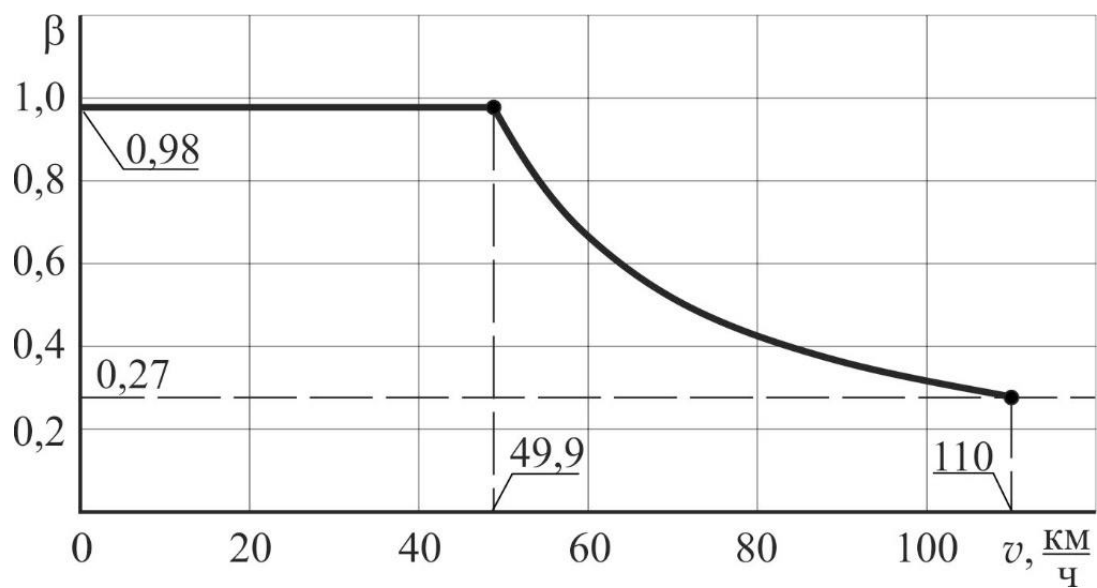


Рисунок 5.6 - Залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК-820

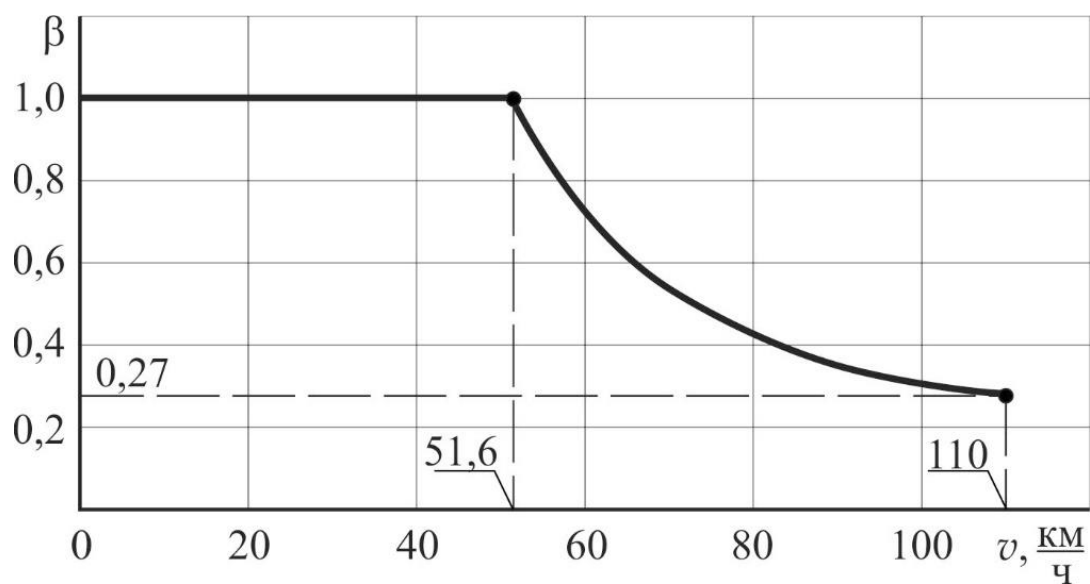


Рисунок 5.7 - Залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК-800

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ВИСНОВКИ

1 В сучасних умовах в електроприводах вантажних електровозів постійного струму досить ефективно може використовуватися колекторний електричний двигун постійного струму з високим значенням коефіцієнта корисної дії.

2 Плавний безступеневий пуск є найбільш ефективним методом регулювання потужності тягових двигунів, який забезпечує підвищення тягово-зчіпних якостей та енергетичної ефективності електровозів постійного струму.

3 Плавне тиристорне регулювання опору пускових реостатів є простим, але ефективним способом плавного регулювання напруги в режимах пуску електровозів постійного струму і дозволяє провести його впровадження на існуючому тяговому рухомому складі з мінімальними капітальними затратами на модернізацію.

4 Підвищення використання потужності тягових двигунів та безступеневе регулювання потужності електровоза постійного струму на ходових позиціях може бути досягнуте за рахунок плавного тиристорного регулювання ослаблення поля тягових електродвигунів з використанням імпульсних регуляторів послаблення поля.

5 Використанні системи автоматичного керування режимами тяги та електричного гальмування дозволяє досягти найбільш високий ефект від плавного регулювання опору пускових реостатів та послаблення поля, а також дозволяє підвищити тягові властивості електровозу.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985. –287с.

2 Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н. Теория электрической тяги. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.

3 Проектирование тяговых электрических машин/ под ред. М.Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.

4 Курбасов А.С., Седов В.И., Сорин Л.Н. Проектирование тяговых электродвигателей. М.: Транспорт. 1987. 536 с.

5 Захарченко Д.Д., Ротанов Н.А., Горчаков Е.В. Тяговые электрические машины и трансформаторы. – М.: Транспорт, 1979. – 303 с.

6 Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Тягові електричні машини”. А.М.Афанасов, В.Є.Васильєв, 1999. – 32 с.

7 Б.Н. Тихменев, В.А.Кучумов. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями. 1988. – 405 с.

8 Режимы работы магистральных электровозов / Некрасов О. А., Лисицин А.Л., Мугинштейн Л. А., Рахманинов В. И. / Под ред. Некрасова О. А. – М.: Транспорт, 1983. – 231 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

- 1 принципова силова схема електровоза.
- 2 Принципові схеми регулювання опору пускового резистора.
- 3 Принципові схеми регулювання ослаблення збудження.
- 4 Функціональна схема системи автоматичного керування.
- 5 Принцип формування граничної тягової характеристики.
- 6 Залежність коефіцієнта збудження від швидкості для тягового двигуна ДТК-820.
- 7 Залежність коефіцієнта збудження від швидкості для тягового двигуна ДТК-800А.
- 8 Функціональна схема системи формування граничної тягової характеристики.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			