

ЗАЯВА

Я, Воскобойник Віктор Миколайович
(ПІБ повністю)

Студент групи ЕП2021
(шифр групи)

Спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Електроенергетичні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:
Вплив електро-статичного розряду на зміну живлення
напруги на роботу газового електроприводу постійного
струму

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

«13» листопада 2021 р.


Підпис

Керівник роботи
Микола КОСТІН
ПІБ

Костін
Підпис

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

 /Андрій МУХА/

« 20 » 12 20 21 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Електромеханічні системи автоматизації та електропривод**

Тема **Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму**

Theme **Influence of stochastic character of change of supply voltage on work of the traction electric drive of a direct current**

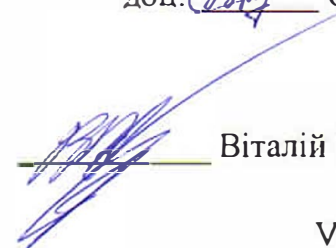
Керівник дипломної роботи

проф.  Микола КОСТІН

Нормоконтролер

доц.  Оксана КАРЗОВА

Студент групи ЕП2021

 Віталій ВОСКОВОЙНИК

Student

Voskoboinyk Vitalii

Дніпро – 2021

Український державний університет науки і технологій
Факультет - Управління енергетичними процесами
Кафедра - Електротехніка та електромеханіка
Спеціальність – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(Електромеханічні системи автоматизації та електропривод)

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

 
(підпис) (ІПБ)

«01» 09 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОКР _____ магістра _____
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи ЕП2021 **Воскобойника Віталія Миколайовича**
(номер групи) (ІПБ)

1. Тема дипломної роботи: « Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму»
затверджена наказом по університету № 799СТ від
«31» грудня 2020 р.
2. Термін подання студентом закінченої роботи 01 грудня 2021 р.
3. Вихідні дані до дипломної роботи:
 - а) технічні дані та схема силових кіл електроприводу електровоза ДЕ1;
 - б) технічні дані тягових двигунів електровоза ДЕ1;
 - в) результати часового моніторингу тягових напруги та струму при роботі електровозів на ділянках Придніпровської залізниці.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
 - а) вибір тягового електроприводу, побудова схеми заміщення тягового електродвигуна, аналіз сучасних методів розрахунку електромагнітних процесів;
 - б) розрахунки та аналіз імовірнісних характеристик стохастичних напруги і струму;
 - в) математичне моделювання та аналіз впливу поштовхів – зростань живлячої напруги на електромагнітні процеси в електроприводі;

г) математичне моделювання та аналіз впливу поштовхів – спадів живлячої напруги на електромагнітні процеси в електроприводі;

д) методи і засоби зменшення кидків струму в електроприводі.

5. Перелік креслень (з переліком обов'язкових креслень) :

- 1) технічні дані та схема заміщення тягового двигуна електропривода;
- 2) часові залежності стохастичних тягових напруги і струму електровоза ДЕ1;
- 3) імовірнісні характеристики стохастичних $U(t)$, $I(t)$;
- 4) математичні моделі електромагнітних процесів при поштовхах напруги;
- 5) часові залежності кидків струмів в силових колах електроприводу.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Основи праці та безпеки в виробничій ситуації	Саболін О. І.		

Дата видачі завдання: « 25 » вересня _____ 2021 ____ р.

Керівник дипломної роботи

 Костін М. О.
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

 Воскобойник В. М.
(підпис) (ПІБ)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Вступ. Постановка задачі.	28.09.21	
2	Схема заміщення електродвигуна.	15.10.21	
3	Аналіз характеру зміни і розрахунки імовірнісних характеристик $U(t)$, $I(t)$.	31.10.21	
4	Математичне моделювання процесів поштовхів – зростань живлячої напруги.	12.11.21	
5	Математичне моделювання процесів поштовхів – спадів живлячої напруги.	25.11.21	
6	Повна готовність роботи.	01.12.21	

Студент-дипломник


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму» містить: 67 сторінок основного тексту, 2 таблиці 24 рисунки, 41 використане джерело.

Мета роботи – оцінка впливу стохастичних поштовхів живлячої напруги на електромагнітні процеси в силових колах тягового електроприводу.

.В розділі 1 подано схему заміщення, параметри досліджуваного електроприводу і методи аналізу електромагнітних процесів в ньому

В розділі 2 здійснено статистичний аналіз та виконано чисельні розрахунки імовірнісних характеристик випадкових процесів напруги і струму.

В розділі 3 подано теоретичні передумови і виконано чисельне математичне моделювання електромагнітних процесів в силових колах електроприводу при дії поштовхів – зростає живлячої напруги..

В розділі 4 . подано теоретичні передумови і виконано чисельне математичне моделювання електромагнітних процесів в силових колах електроприводу при дії поштовхів – спадів живлячої напруги..

В розділі 5 викладено заходи безпеки при роботі за комп'ютером.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОШТОВХ-ЗРОСТАННЯ, ПОШТОВХ-СПАД, НАПРУГА, СТОХАСТИЧНІСТЬ, КИДОК СТРУМУ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ІМОВІРНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ПРОЦЕС.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ І СТАН ПОСТАВЛЕНОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	9
1.1 Вибір тягового електроприводу.....	9
1.2 Схема заміщення двигуна електроприводу	11
1.3 Сучасний стан методів аналізу електромагнітних процесів в ТЕП при різкій зміні живлячої напруги	15
РОЗДІЛ 2 ІМОВІРСНО-СТАСТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТОХАСТИЧНИХ НАПРУГИ І СТРУМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	17
2.1 Аналіз стохастичної напруги	17
2.2 Аналіз стохастичного струму	22
2.3 Якість живлячої енергії	26
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ ПОШТОВХІВ-ЗРОСТАНЬ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ.....	30
3.1 Фізична сутність дії поштовхів -зростань напруги.....	30
3.2. Математична модель електромагнітних процесів в ТЕП	33
3.3 Залежність кидків струму в ТЕП від значень поштовхів – зростань напруги.....	34
3.4 Вплив початкового значення струму якоря на його кидки під час поштовхів напруги	35
3. 5 Залежність кидків струмів від послаблення збудження	38

					Пояснювальна записка							
					Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб					
Розроб.		Воскобойник ВМ	<i>[Підпис]</i>	20.12		1	1 : 1					
Перевір.		Костін М.О.	<i>[Підпис]</i>	20.12								
Т. Контр.					Арк.	5	Аркушів 72					
Реценз.					0024.ДМР21.02.ПЗ							
Н. Контр.		Картова О.О.	<i>[Підпис]</i>	20.12					Український державний університет науки і технологій гр. ЕП2021			
Затверд.		Муха А.М.	<i>[Підпис]</i>	20.12								

РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ ПОШТОВХІВ-СПАДІВ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ.....	42
4.1. Фізична сутність дії поштовхів-спадів напруги.....	42
4.2. Результати чисельних розрахунків впливу поштовхів – спадів напруги на процеси в ТЕП	44
4.3 Імовірність появи максимальних значень струмів якоря та обмотки збудження.....	46
4.4 Рекомендації щодо захисту від струмових перевантажень ТЕП	48
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
5.1 Вимоги безпеки під час виконання досліджень.....	50
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ	67
ДОДАТОК А.....	68

ВСТУП

Тяговий електропривод (ТЕП) постійного струму – це привод електрорухомого складу (ЕРС) постійного струму, тобто електровозів, електропоїздів, трамваїв, тролейбусів, мотор-вагонів метрополітену. Робота будь - якого типу ЕРС, а отже кожного окремого ТЕП, характеризується значними, неперервними в часі, випадковими (стохастичними) коливаннями живлячої напруги $U(t)$. При цьому спостерігаються часові ділянки з відносно тривалою невеликою її зміною, а можливі різкі короткочасні, з великою амплітудою поштовху $U(t)$. У першому випадку, при невеликих змінах та в певних межах U , аномальної роботи ТЕП не спостерігається, за виключенням збільшення непродуктивних втрат електроенергії й тим самим зменшення коефіцієнта корисної дії ЕРС.

Значно небезпечнішими є різкі короткочасні поштовхи напруги, що викликають недопустимо великі, 3,5–4,0 – кратні (стосовно номінального значення) поштовхи струму в силових колах ТЕП, які, у свою чергу, обумовлюють погіршення комутації електродвигунів ТЕП, виникнення колового вогню на колекторі з наступним його виходом із ладу. Про це свідчать статистичні дані досліджень надійності роботи, наприклад, ТЕП електровозів ДЕ1 на ділянках Придніпровської залізниці [1]. Дійсно, найбільшу кількість псувань в цих електровозах після електричної апаратури дають тягові двигуни (16,8%) [1]. Основним характерним пошкодженням останніх є коловий вогонь на колекторі з наступним розповсюдженням на корпус; кількість пошкоджень з цієї причини складає 87,5% всіх пошкоджень тягових двигунів. При цьому, вивчення літературних публікацій, в яких вкладаються обставини відмов тягових електричних двигунів (ТЕД), показує, що в багатьох випадках вони виникають при паралельному з'єднанні ТЕД в режимі тяги, коли ніяких перемикачів у силових колах електровоза не здійснюється. Це дає підставу припускати, що одним з факторів які ініціюють аварійний перехідний процес в електровозі, є «втрата – відновлення» напруги на струмоприймачі, що може викликати різку зміну тягового струму і супутні йому процеси. Другим

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

фактором, який викликає аварійні процеси, може бути стрибкоподібна напруга (без її втрати) в контактній мережі.

Окрім зазначеного, коливання $U(t)$ відбиваються на витратах електроенергії, швидкості обертання якоря ТЕП, а отже на швидкості руху ЕРС та використанні його потужності. Встановлено, що 1% коливання напруги викликає 2...2, 5 % втрат потужності електроприводу.

Тому, безсумнівно, важливо знати характер впливу зміни живлячої напруги на роботу, а отже, на основі характеристики ТЕП, що дасть можливість правильно їх врахувати при розв'язанні задач підвищення надійності та енергетичної ефективності роботи усієї одиниці ЕРС з досліджуваним електроприводом.

Оскільки живляча напруга на ТЕП являє собою випадковий процес, то аналіз власних її коливань, а також результатів їх дії на електромагнітні процеси в ТЕП повинні виконуватися імовірісно-статистичними методами.

Вищезазначене робить актуальною задачу виконання досліджень впливу стохастичного характеру зміни живлячої напруги на функціонування тягових приводів постійного струму.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 1

СТАН ПОСТАВЛЕНОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Вибір тягового електроприводу

Електричним приводом постійного струму обладнані насамперед електровози ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ82, ЧС2, ЧС7. Окрім цього, згідно з постановою Кабінету Міністрів України №480 від 26.06.93, ДП «НВК «Електровозобудування» (м. Дніпропетровськ) у 1993-2006 р. було розроблено та випущено партію з 35 одиниць першого українського вантажного електровоза постійного струму ДЕ1 [2]. Одночасно розроблено та чекає свого виробництва пасажирський електровоз, теж постійного струму, типу ДЕ2 [2].

Оскільки електровози ДЕ1 та ДЕ2 є першими українськими електровозами, то цілком зрозуміло, що їх схемотехнічні рішення та конструкції, що обумовлюють надійність та ефективність експлуатації, потребують удосконалення [1, 3].

Зокрема, аналіз статистики відмов тягових електричних двигунів (ТЕД) електровозів показує, що значна їх кількість зв'язана з перекриттям ізоляційних проміжків на щіткотримувачах та конусів колекторів. При цьому, пробій на корпус одного з послідовно-увімкнених тягових двигунів викликає підвищення напруги на колекторах інших ТЕД та процеси, що виникають в силовій схемі електровоза, часто призводять до виходу з ладу групи ТЕД.

Враховуючи зазначене, для подальших досліджень приймемо ТЕП електровоза ДЕ1 (рис. 1.1).

Як відомо, основним пристроєм, свого роду «серцем», електричного приводу є електричний двигун. І тому при будь-яких дослідженнях електропривода необхідно знати технічні дані (характеристики) електродвигуна.

В електровозах ДЕ1 застосовано двигуни типу ЕД 141У1, що розраховані на номінальну напругу 1500 В і часовий струм 565 А.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Двигун обладнано компенсаційною обмоткою і він має такі параметри (при +20°C згідно з ГОСТ 2582-81)[4]:

- активний опір обмотки якоря, $R'_я = 0,026 \text{ Ом}$;
- активний опір компенсаційної обмотки та додаткових полюсів, $R'_{ко+дп} = 0,025 \text{ Ом}$;
- активний опір обмотки збудження $R'_з = 0,019 \text{ Ом}$;
- індуктивність обмотки якоря, $L'_я = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$, прийнята лінійною;
- індуктивність обмотки збудження, $L'_я = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ (при $I=I_{ном}$), але яка залежить від струму збудження за апроксимованим виразом:
 $L_з(i_з) = 0,0033216 + i_з / (1,25 \cdot i_з^2 \cdot 88,9 \cdot i_з + 4884,054) \text{ Гн}$;
- активний опір індуктивного шунта $R'_{ш} = 22 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$;
- індуктивність індуктивного шунта $L'_{ш} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$;
- кількість пар полюсів $p = 3$;
- кількість витків обмотки збудження $w_з = 16$;
- постійна двигуна $C_w = 156,688$.

Двигун типу ЕД 141У1 є електродвигуном постійного струму послідовного збудження. Він має чотири ступені послаблення збудження: ПЗ1... ПЗ4. Сумарна величина активного опору двигуна при +20°C і повному полі складає 0,07 Ом, а індуктивність (при $I_{ном}$) – $6,46 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

T_r – температура нагрітої («гарячої») обмотки, згідно з ГОСТ 2528-81, приймаються рівною +115°C.

Тоді активні опори «гарячих»: обмотки якоря складе $R'_я = 0,0253 \text{ Ом}$, обмотки головних та додаткових полюсів, а також компенсаційної обмотки відповідно будуть мати такі значення $R'_з = 0,0253 \text{ Ом}$, $R'_{ко+дп} = 0,0333 \text{ Ом}$.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

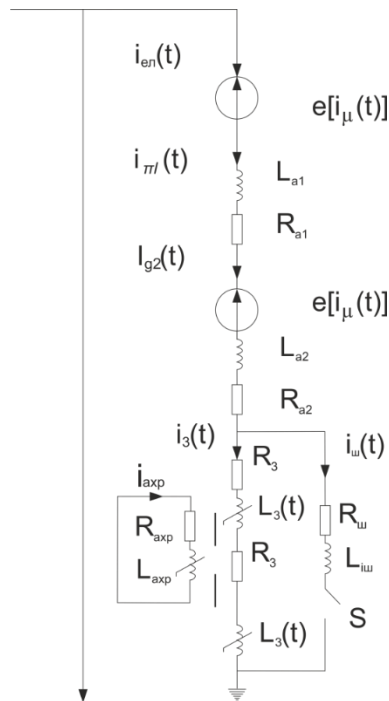


Рис. 1.1. Схема заміщення двигунного варіанту ТЕП електровоза ДЕ1 в тяговому режимі

1.2 Схема заміщення двигуна електроприводу

Однією із складових схеми заміщення електричного двигуна постійного струму, а отже і ТЕД електроприводу, є проти-ЕРС його якоря. В усталеному режимі роботи ТЕД вона разом зі спадом напруги $\Delta U = R_d \cdot I$ Ом (де R_d – це сумарний опір двигуна) урівноважує прикладену напругу U :

$$U = E + \Delta U = E + R_{дв} \cdot I . \quad (1.1)$$

Звідки маємо:

$$E = U - R_{дв} \cdot I . \quad (1.2)$$

Тоді при номінальному режимі роботи двигуна, коли $U_{ном} = 1500$ В, $I_{ном} = 565$ А, а $R_{дв} = 0,07$ Ом, маємо, що проти-ЕРС $E = 1460,45$ В, тобто вона складає 97,36% відносно живлячої напруги.

Окрім цього, силові тягові кола ТЕП містять ділянки (вітки), по яких протікають лише електричні струми (це електричне коло), а існують ділянки, по яких протікають лише магнітні потоки (це магнітне коло).

Елементи ділянок електричного кола, а це обмотки якоря, збудження, компенсаційна та додаткових полюсі, заміщуються резистивними та індуктивними елементами. Ніяких складностей при заміщенні цих елементів не виникає, оскільки вони лінійні. Виключення складає лише індуктивність обмотки збудження L_z , вона нелінійно залежить від струму збудження, однак ця залежність визначається нескладно і тому практично завжди відома.

Зовсім інша річ магнітне коло, а це магнітопровід, тобто станина (корпус) та осердя головних та додаткових полюсів. Якби живляча напруга дійсно була постійною, незмінною в часі, тоді б і струм в обмотці збудження був би незмінним в часі. В цьому випадку був би постійним і основний магнітний потік Φ , що протікає в магнітопроводі, а це б дозволило нескладним чином побудувати схему заміщення магнітопровода за законами магнітних кіл постійного струму [5]. Однак, як зазначалося вище, живляча напруга навіть в усталених, не кажучи про перехідні, режимах є змінною. Отже, змінним є і основний магнітний потік $\Phi(t)$, який, протікаючи по магнітопроводу, індукуює в ньому, згідно закону електромагнітної індукції, вихрову ЕРС, яка, у свою чергу, створює в магнітопроводі (як в провіднику) вихрові струми $i_{\text{вхр}}$ рис. 1.1. Наслідки від протікання $i_{\text{вхр}}(t)$ двоякі. По-перше, протікаючи по магнітопроводу, як по провіднику, вихрові струми обумовлюють в ньому втрати потужності $\Delta P_{\text{вхр}}$ [5]:

$$\Delta P_{\text{вхр}} = \sigma_{\text{вхр}} \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot G, \quad (1.3)$$

де $\sigma_{\text{вхр}}$ – це коефіцієнт, який залежить від виду матеріалу магнітопровода і товщини листів;

f – частота живлячої напруги (струму);

B_m – амплітуда магнітної індукції в магнітопроводі;

G – маса магнітопровода.

Ці втрати нагрівають (некорисно) магнітопровід.

По-друге, вихрові струми, протікаючи по магнітопроводу, як по провіднику, створюють, згідно закону магнітних кіл [5], «свій» магнітний потік $\Phi_{\text{вхр}}$, який має напрямок в магнітопроводі протилежний напрямку основному Φ , створеному обмоткою збудження. Тобто, $\Phi_{\text{вхр}}$ розмагнічує магнітопровід,

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

зменшуючі Φ , й тим самим впливає на роботу ТЕД, оскільки його струм залежить від Φ згідно відомого виразу

$$I = \frac{U \cdot E}{R_{\text{дв}}} = \frac{U - C_e \cdot n \cdot \Phi}{R_{\text{дв}}}, \quad (1.4)$$

де C_e – постійна електродвигуна;

n – швидкість обертання якоря;

Отже, зазначене свідчить про важливість врахування вихрових струмів при побудові схеми заміщення електродвигуна ТЕП.

Питанням безпосереднього заміщення магнітопровода ТЕД з вихровими струмами практично почали займатися, починаю з публікацій [6, 7], в яких автори пропонують суцільний магнітопровід замістити шихтованим, а дію вихрових струмів замінити дією еквівалентної короткозамкненої обмотки, що зв'язана з обмоткою збудження. Тобто пропонується свого роду еквівалентний контур.

У подальших роботах, зокрема в [8], пропонується два контури, а в [9, 10] – три контури.

Ідея Р. Рюденберга [11] була використана в роботі [12], в якій автор заміщує масивну ділянку магнітопровода з вихровими струмами системою короткозамкнених котушок, кожна з яких діє на магнітний потік згідно еквівалентній гармоніці вихрових струмів.

У подальшій його роботі [13], а також в публікаціях [14-16] інших авторів пропонується один еквівалентний контур, що послідовно з'єднаний з обмоткою збудження і має незмінні параметри.

В розвиток попередніх робіт в публікаціях [17, 18] стверджується, що, дійсно, найбільш ефективною схемою заміщення магнітопровода з $i_{\text{вхр}}(t)$ є один еквівалентний контур, але його параметри повинні бути незмінними ($R(t)$, $L(t)$) і їх значення необхідно визначати на основі розв'язування рівнянь Максвелла.

Отже, із розглянутих публікацій випливає, що дію всіх гармонік вихрових струмів доцільно еквівалентувати однією короткозамкненою котушкою (контуром), що зв'язана магнітно (через «залізо» магнітопровода) з обмоткою

збудження і її параметри $R_{кз}$ і $L_{кз}$ повинні бути змінними і розраховуватись, а не знаходитись експериментально.

Враховуючи такі висновки, автор роботи [19] запропонував наступну еквівалентну електромагнітну схему заміщення електродвигуна ТЕП рис. 1.2, якою і будемо користуватися в подальших своїх дослідженнях.

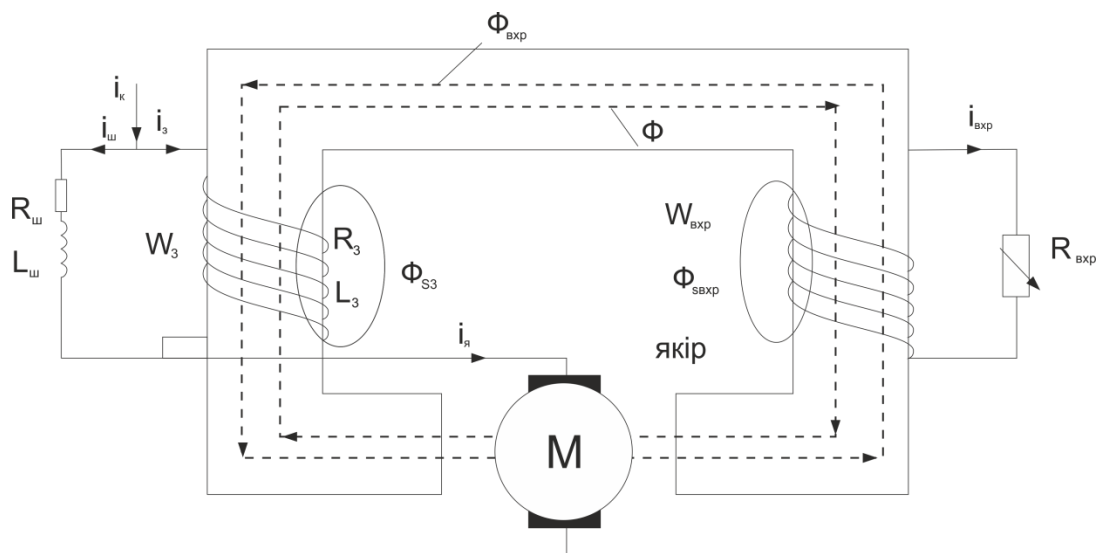


Рис. 1.2. Схема заміщення тягового електродвигуна

де Φ і $\Phi_{вхр}$ – основний магнітний потік і магнітний потік, створений вихровими струмами;

$w_з$, $R_з$ та $L_з$ – кількість витків, активний опір та індуктивність обмотки збудження;

$R_{ш}$ та $L_{ш}$ – активний опір та індуктивність шунтувальної вітки (з індуктивним шунтом);

i , $i_з$ та $i_{ш}$ – струм в обмотці якоря, обмотці збудження та в шунтувальній вітці;

$w_{вхр}$, $R_{вхр}$ та $i_{вхр}$ – кількість витків, активний опір та струм короткозамкненого контура, еквівалентного вихровим струмам;

$\Phi_{сз}$ і $\Phi_{с\ вхр}$ – магнітні потоки розсіяння відповідно обмотки збудження і короткозамкненого контуру.

1.3 Сучасний стан методів аналізу електромагнітних процесів в ТЕП при різкій зміні живлячої напруги

Оскільки різка зміна живлячої напруги призводить до хибної роботи ТЕД в ТЕП, тому дослідження цієї проблеми почали займатись майже з перших років впровадження систем електричного транспорту постійного струму. Проаналізуємо основні публікації по цій проблемі.

В [20] встановлено залежність нестационарних процесів в електровозах і в тяговій мережі при зміні прикладеної напруги в межах $(0,2 \dots 0,35) U_{\text{ном}}$. Однак результатів досліджень автор не приводить. Розрахунковим способом, шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь теплового балансу, автор роботи [21] виконав дослідження по впливу відхилення напруги від $U_{\text{ном}} = 3 \text{ кВ}$ на нагрівання електродвигунів НБ-406 електровозів ВЛ8.

Також аналітичним методом в [22] здійснено аналіз різкої зміни напруги на потенціальні умови роботи ТЕД типу НБ-142 в його перехідному режимі. Автор досліджував режим втрати з наступним відновленням напруги на струмоприймачі електровоза.

Користуючись чисельним алгоритмом аналізу електричних характеристик електровозів, автор роботи [23] встановив вплив коливання детермінованої живлячої напруги на ТЕД змінного струму типу НБ-142. При цьому автор пояснює застосування розрахункового методу тим, що експериментальні дослідження перехідних процесів в ТЕД є складні, тому можуть призвести до виходу із зладу електродвигуна.

В [24] вплив коливання напруги на струмоприймачі на процеси в ТЕП під час руху поїзда виконано розв'язуванням рівнянь руху поїзда.

Експериментально на спеціальній моделі в [25] встановлено вплив коливання напруги на струмоприймачі електровоза на проведення тягових розрахунків. В якості результатів досліджень запропоновано методику розрахунків з урахуванням зміни напруги на струмоприймачі ЕРС.

Для розробки електрично оптимальних технологій перевезень за критерієм мінімуму спожитої енергії авторами робіт [26, 27] запропоновано метод, в якому

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

враховується стохастичний характер зміни напруги на струмоприймачі електровоза.

Автори роботи [28] наближеним аналітичним методом розраховували максимальне значення струму якоря ТЕД електровоза змінного струму при втраті і відновленні напруги на струмоприймачі з урахуванням нелінійності обмотки якоря, згладжуючого реактора та індуктивного шунта ТЕД.

Також вплив різкої напруги при її відновленні на струмоприймачі на роботу ТЕД типу НБ-418К випрямного електровоза досліджено в роботі [20].

В [30] методом аналогового моделювання вивчено залежність перехідних процесів в тягових колах ТЕП електровозів ВЛ60 і ВЛ80 від характеру і ступеня.

Режим зникнення і різкого відновлення напруги на струмоприймачі електровозів змінного струму досліджено в роботі [31] при різних ступенях послаблення збудження і різних початкових умовах. Встановлено, що збільшення значення початкового струму двигуна призводить 4-кратного, відносно $I_{ном}$, збільшення струму якоря в перехідному режимі.

В роботах [32, 33] також докладно вивчався режим відриву з наступним доторканням струмоприймача до контактного проводу. При цьому вивчався вплив різкої появи напруги на перехідний процес в електровозі і в контактній мережі. Встановлено, що в самих важких режимах максимальне значення струму в якорі ТЕП досягає $4, 12 I_{ном}$, а в контактній мережі – 2300 А.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 2

ІМОВІРСНО-СТАСТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТОХАСТИЧНИХ НАПРУГИ І СТРУМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Маємо експериментально отримані вибірки постійних напруги і струму, при яких досліджується електропривод. Користуючись загальновідомою методикою, яка приведена, зокрема в [34, 35], виконаємо імовірно – статистичний аналіз зазначених випадкових напруг і струмів. При цьому визначимо: математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, моду, медіану, коефіцієнт асиметрії, ексцес, закон розподілення напруги і струму.

2.1 Аналіз стохастичної напруги

Методика розрахунку цих величин полягає в виконанні наступних етапів.

1. Оцінимо достатність отриманого статистичного матеріалу (статистичної сукупності), тобто вибірки, для якісного статистичного аналізу, для цього визначимо мінімальну необхідність вибірки за такою формулою:

$$n_{\min} = \frac{N \cdot \sigma_B^2 \cdot t^2}{N \cdot \Delta^2 + \sigma_B^2 \cdot t^2}, \quad (2.1)$$

де N – це загальна кількість спостережених значень випадкових величин I в статистичній сукупності: $N=112$;

σ_B^2 – найбільша дисперсія значень, встановлена на підставі попередніх випробувань;

Δ – допустима границя помилки вимірювань величини, 1% від математичного очікування малої вибірки;

t – аргумент інтегральної функції Лапласа $F(t)$ (з імовірністю якої забезпечується задана точність), $t = 1,96$ при $F(t) = 0,95$.

Для визначення величини у формулі (2.1) із заданої нормальної статистичної сукупності вибирається «мала» статистична сукупність, де 20-30 значень із заданої сукупності, при цьому в будь-якого порядку:

2867, 2959, 2849, 2831, 2902, 2919, 2900, 2839, 2800, 2841, 2759, 3233, 3473, 3060, 3055, 3046, 2976, 2916, 2878, 2909, 2849, 2878, 3026, 3066, 3059, 3428, 2795, 2916, 3252, 3255.

Для цієї «малої» вибірки визначаємо математичне очікування напруги за формулою:

$$m_U^* = \frac{\sum_{k=1}^{30} U_k}{30}, \quad (2.2)$$

$$m_U^* = 2984,267 \text{ В.}$$

Аналогічно для цієї «малої» вибірки визначаємо середньоквадратичне відхилення за формулою:

$$\sigma_U^* = \sqrt{D_U^*}, \quad (2.3)$$

де D_U^* – дисперсія випадкової величини:

$$D_U^* = \frac{\sum_{u=1}^{n=30} (U_u - m_U^*)^2}{30 - 1}; \quad (2.4)$$

$$D_U^* = 32983,37 \text{ В}^2.$$

$$\sigma_U^* = 181,613 \text{ В.}$$

$$\Delta = 137,515.$$

$$n_{\min} = \frac{112 \cdot 181,613^2 \cdot 1,96^2}{112 \cdot 137,515^2 + 181,613^2 \cdot 1,96^2} \approx 6.$$

Отримали $n_{\min} \approx 6$, а задана сукупність $n=112$, отже заданої нормальної статичної сукупності напруги достатньо для якісного статичного аналізу.

2. Розділяємо увесь масив нормальної статистичної сукупності на інтервали. Для цього візуально знаходимо найбільше та найменше значення.

$$\text{Найбільше } U_{\max} = 3834 \text{ В.}$$

$$\text{Найменше } U_{\min} = 2732 \text{ В.}$$

За цими даними визначаємо довжину інтервалу зміни випадкової величини за такою формулою:

$$\Delta U_{\max} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{1 + 3,2 \cdot \lg 112}, \quad (2.5)$$

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta U_{\max} = \frac{3834 - 2732}{1 + 3,2 \cdot \lg 112} \cdot \text{В.}$$

Визначаємо межі інтервалів зміни U і записуємо їх у таб. 2.1. Перший інтервал буде мати такі значення (ліву та праву). $U_{\min} \dots U_{\min} + \Delta U$.

Таблиця 2.1

№ п/п	Межі інтервалів , $U_u \dots U_{u+1}, \text{А}$	Розрахунок частот в інтервалах, x	Частота в інтервала x, m	Частість в інтервалі, $p_u = m_u / n$
1	2	3	4	5
1	2732...2877,815		12	0,107
2	2877,815...3023,63		15	0,134
3	3023,63...3169,45		21	0,188
4	3169,45...3315,26		19	0,1696
5	3315,26...3461,08		21	0,188
6	3461,08...3606,89		20	0,179
7	3606,89...3752,71		3	0,027
8	3752,71...3898,52		1	0,009

3. За даними стовбців 2 і 5 табл. 2.1 будемо так зване статистичне розподілення напруги, тобто будемо гістограму.

По вісі абсцис гістограми відкладаємо значення інтервалів (стовбець 2), а по вісі ординат відкладаєм значення частоти (стовбець 5); в результаті отримуємо рис. 2.1.

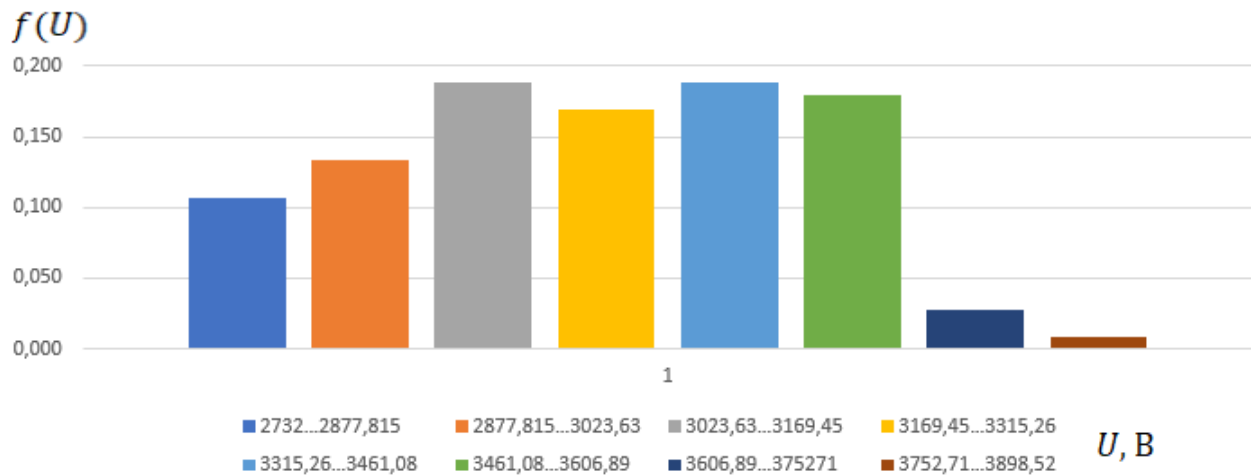


Рис. 2.1. Статистичне розподілення напруги

- Визначаємо числові характеристики заданої нормальної сукупності, тобто математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії, ексцес.

- Математичне очікування:

$$m_u = \frac{\sum_{i=1}^{112} U_i}{112}, \quad (2.6)$$

$$m_u = 3229,946 \text{ В.}$$

- Дисперсія:

$$D_U = \frac{\sum_{u=1}^{n=112} (U - m_u)^2}{112 - 1}, \quad (2.7)$$

$$D_U = 65815,1 \text{ В}^2.$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_U = \sqrt{D_U}, \quad (2.8)$$

$$\sigma_U = 256,545 \text{ В.}$$

Коефіцієнт асиметрії:

$$A_S = \frac{\sum_{u=1}^n (U_u - m_U)^2}{112}, \quad (2.9)$$

$$A_S = -0,41 \text{ в.о.}$$

Якщо коефіцієнт асиметрії отримано від'ємним, то маємо правосторонню асиметрію.

Ексцес:

$$E_x = \frac{\sum_{u=1}^n (U_u - m_U)^4}{n \cdot \sigma_1^4} - 3, \quad (2.10)$$

$$E_x = -1,011 \text{ в.о.}$$

Якщо ексцес отримано від'ємним, тоді закон розподілення має плосковерхий вигляд.

- Майже завжди, якщо виконується статистичний аналіз, обов'язково треба розрахувати так званий довірчий інтервал для розрахованого вже математичного очікування, тобто визначити імовірність певного розкиду математичного очікування напруги, це виконується таким чином:

– приймається так звана довірна імовірність, найчастіше (0, 9; 0, 95; 0, 99). Фізично довірна імовірність β свідчить з якою імовірністю буде існувати розкид математичного очікування, який зараз розраховується.

Нехай $\beta = 0,95$.

– З табл. 14.3.1 підручника Вентцеля, при $\beta = 0,95$ маємо параметр $t_\beta = 1,96$.

– Визначається середньоквадратичне відхилення за формулою:

$$\sigma_{m_U} = \sqrt{\frac{D_U}{n}}, \quad (2.11)$$

$$\sigma_{m_U} = \sqrt{\frac{65815,1}{112}} = 24,241 \text{ В.}$$

– Визначаємо величину зміни розрахованого математичного очікування:

$$\varepsilon_\beta = t_\beta \cdot \sigma_{m_U}, \quad (2.12)$$

$$\varepsilon_\beta = 1,96 \cdot 24,241 = 47,513 \text{ В.}$$

– Отже, довірчий інтервал математичного очікування буде таким:

$$U_U = \left\{ \begin{array}{l} 3229,946 - 47,513 \\ 3229,946 + 47,513 \end{array} \right\}, \quad (2.13)$$

$$U_U = \{3182,433; 3277,459\} \text{ В.}$$

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Отже, з імовірністю 0,95 розраховане математичне очікування буде знаходитись в інтервалі (3182,433; 3277,459) В.

2.2 Аналіз стохастичного струму

Заданий тяговий струм I (в А) електровозу ВЛ-8 на ділянці S-T: U , В

1810,1890,2010, 2250, 2090, 2170, 2120, 1680, 580, 600, 560, 660, 550, 970, 1710, 1750, 1750, 1790, 1990, 2050, 2010, 2220, 1000, 980, 958, 840, 840, 680, 630, 710, 773, 550, 180, 230, 240, 190, 150, 780, 780, 760, 900, 980, 780, 210, 200, 210, 210, 320, 290, 350, 290, 160, 280, 340, 340, 300, 220, 460, 260, 870, 485, 140, 80, 1470, 1430, 770, 970, 930, 870, 830, 1030, 1230, 1150, 1070, 1350, 1550, 1070, 1630, 670, 505, 510, 950, 930, 350, 320, 1670, 600, 160, 1350, 1630, 950, 870, 180, 210, 230, 230, 220, 240, 290, 610, 420, 80, 590, 630, 1010, 710, 420, 200, 120, 190, 180, 265.

1. Оцінимо достатність отриманого статистичного струму для якісного статистичного аналізу за формулою (2.1)

Для визначення величини u у формулі (2.1) із заданої нормальної статистичної сукупності вибирається «мала» статистична сукупність дець 20-30 значень із заданої сукупності струму.

1810, 1890, 2010, 2250, 2090, 2170, 2120, 1680, 580, 600, 560, 660, 550, 970, 1710, 1750, 1750, 1790, 1990, 2050, 2010, 2220, 1000, 980, 958, 840, 840, 680, 630, 710.

Для цієї «малої» вибірки визначаємо математичне очікування струму за формулою:

$$m_I^* = \frac{\sum_{i=1}^{n=30} I_1}{30}, \quad (2.14)$$

$$m_I^* = 1395,13 \text{ А.}$$

Аналогічно для цієї «малої» вибірки визначаємо середньоквадратичне відхилення струму за формулою:

$$\sigma_1^* = \sqrt{D_I^*}, \quad (2.15)$$

де D_I^* – дисперсія випадкової величини:

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$D_I^* = \frac{\sum_{i=1}^{n=30} (I_i - m_I^*)^2}{30 - 1}, \quad (2.16)$$

$$D_I^* = 403064,5 \text{ A}^2,$$

$$\sigma_I^* = 634,8736 \text{ A},$$

$$\Delta = 13,951.$$

$$n_{\min} = \frac{112 \cdot 634,8736^2 \cdot 1,96^2}{1121 \cdot 13,951^2 + 634,8736^2 \cdot 1,96^2}.$$

Отримали $n_{\min}=110$, а задана сукупність $n=112$, отже заданої нормальної статичної сукупності струму достатньо для якісного статичного аналізу.

2. Розділяємо увесь масив нормальної статистичної сукупності струму на інтервали. Для цього візуально знаходимо найбільше та найменше значення.

$$I_{\max}=3400 \text{ A},$$

$$I_{\min}=80 \text{ A}.$$

За цими даними визначаємо довжину інтервалу зміни випадкової величини за такою формулою:

$$\Delta I_{\max} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{1 + 3,2 \cdot \lg 112}, \quad (2.17)$$

$$\Delta I_{\max} = \frac{3400 - 80}{1 + 3,2 \cdot \lg 112} = 439,2988 \text{ A}.$$

3. Визначаємо межі інтервалів зміни А і записуємо їх у табл. 2.2.

Перший інтервал буде мати такі значення(ліву та праву): $I_{\min} \dots I_{\min} + \Delta I$.

Таблиця. 2.2

№ п/п	Межі інтервалів , $I_i \dots I_{i+1}, \text{A}$	Розрахунок частот в інтервалах, х	Частота в інтервалах, m	Частість в інтервалі, $p_i = m_i / n$
1	2	3	4	5
1	80...519,299		42	0,375
2	519,299...958,598		34	0,304

Продовж. табл. 2.2

3	958,598...1397,897		13	0,116
4	1397,897...1837,195		12	0,107
5	1837,195...2276,494		10	0,089
6	2276,494...2715,793		0	0
7	2715,793...3155,092		0	0
8	3155,092...3594,391		1	0,009

4. За даними стовбців 2 і 5 табл. 2.2 будуємо так зване статистичне розподілення струму, тобто будуємо гістограму

По вісі абсцис гістограми відкладаємо значення інтервалів (стовбець 2), а по вісі ординат відкладаєм значення частоти (стовбець 5); в результаті отримуємо рис. 2.2

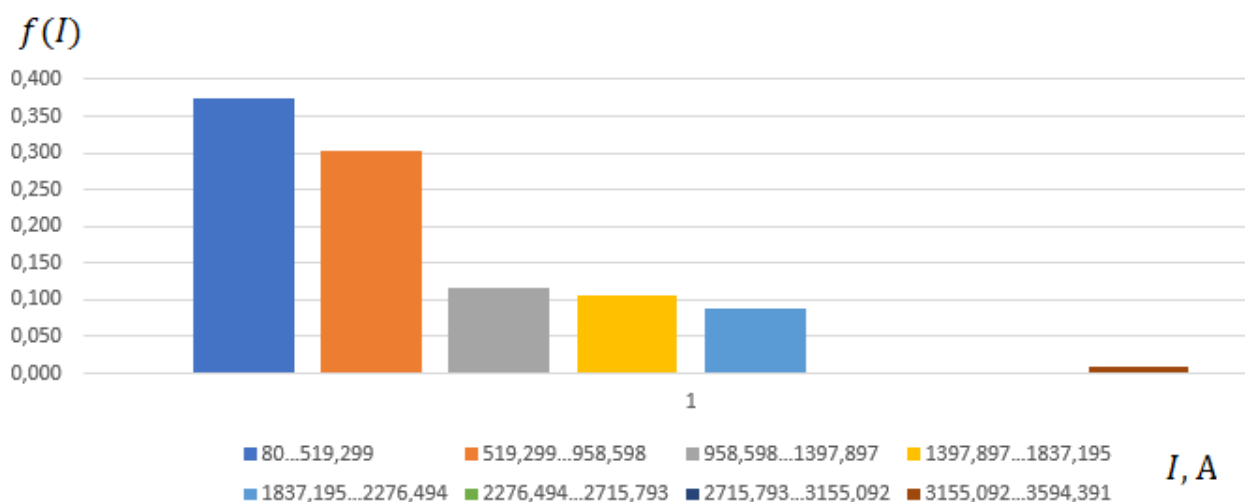


Рис. 2.2. Статистичне розподілення струму

Визначаємо числові характеристики заданої нормальної сукупності, тобто математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії, ексцес.

Математичне очікування:

$$m_i = \frac{\sum_{i=1}^{112} I_i}{112}, \quad (2.18)$$

$$m_i = 844 \text{ A.}$$

Дисперсія:

$$D_I^* = \frac{\sum_{i=1}^{n=30} (I_i - m_I^*)^2}{30 - 1}, \quad (2.19)$$

$$D_I^* = 428504 \text{ A}^2,$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_i = \sqrt{D_I}, \quad (2.20)$$

$$\sigma_i = 654,603 \text{ A}^2.$$

Коефіцієнт асиметрії:

$$A_S = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i - m_I^*)^3}{n \cdot \sigma_I^3}, \quad (2.21)$$

$$A_S = 1,052 \text{ в.о.}$$

Якщо коефіцієнт асиметрії отримано додатнім, то маємо лівосторонню асиметрію.

Ексцес:

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i - m_I^*)^4}{n \cdot \sigma_I^4} - 3, \quad (2.22)$$

$$E_x = 0,865 \text{ в.о.}$$

Якщо ексцес отримано додатнім, тоді закон розподілення має згладжений вигляд.

5. Майже завжди якщо виконується статистичний аналіз, обов'язково треба розрахувати так званий довірчий інтервал для розрахованого вже математичного очікування, тобто визначити імовірність певного розкиду математичного очікування струму, це виконується таким чином:

- приймається так звана довірча імовірність, найчастіше (0,9; 0,95; 0,99).

Фізично довірча імовірність β свідчить з якою імовірністю буде існувати розкид математичного очікування, який зараз розраховується.

Нехай $\beta = 0,95$.

З табл. 14.3.1 з підручника Вентцеля, при $\beta = 0,95$ маємо параметр $t_\beta = 1,96$.

- Визначається середньоквадратичне відхилення струму за формулою:

$$\sigma_{m_I} = \sqrt{\frac{D_I}{n}}, \quad (2.14)$$

$$\sigma_{m_I} = \sqrt{\frac{428504,5}{112}} = 61,854 \text{ А.}$$

- Визначаємо величину зміни розрахованого математичного очікування:

$$\varepsilon_\beta = t_\beta \cdot \sigma_{m_I}, \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_\beta = 1,96 \cdot 61,854 = 121,234 \text{ А.}$$

- Отже довірчий інтервал математичного очікування буде таким:

$$I_I = \left\{ \begin{array}{l} 884 - 121,234 \\ 884 + 121,234 \end{array} \right\}, \quad (2.16)$$

$$I_I = \{722,766; 965,234\} \text{ А.}$$

Отже, з імовірністю 0,95 розрахованого математичного очікування буде знаходитися в інтервалі (722, 766; 965, 234) А.

2.3 Якість живлячої енергії

Непостійний, більш того, стохастичний характер живлячих напруги і струму обумовлює необхідність, окрім виконаного вище імовірнісно-статистичного аналізу, здійснити також визначення показників якості напруги, прикладеної до ЕРС (у даному випадку до ДЕ1), а отже і до його ТЕП. В Україні, починаючи з 01.01.2000 року, це виконується згідно міждержавного стандарту ГОСТ 13109-97. Однак, оскільки цей ГОСТ є дійсним в системах електропостачання змінної напруги, тому в практиці інколи для оцінки якості постійної (а практично стахистично змінної) напруги в системах з ТЕП застосовують два рівні (значення) напруги: найбільша і найменша. Під найбільшою напругою розуміють допустиме значення напруги на струмоприймачах ЕРС при будь-яких експлуатаційних умовах, за виключенням

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

комутаційних режимів. Найбільш напруга на ЕРС не повинна перевищувати 3850 В на ділянках, де не застосовують рекуперативне гальмування, та 4000 В, де такий вид гальмування застосовують. Номінальна напруга на струмоприймачі ЕРС прийнята 3000 В.

Під найменшою напругою розуміють найменше допустиме значення напруги на струмоприймачах ЕРС при будь-яких експлуатаційних умовах, за виключенням комутаційних режимів. Найменша напруга на струмоприймачах ЕРС має бути не меншою за 2700 В.

Хоча ГОСТ 13109-97 і призначений для систем однофазної і трифазної напруг, однак він містить ряд показників, які застосовують для аналізу якості напруги, що живить електропривод ЕРС. Крім цього, для розв'язання нашої задачі скористаємося рекомендаціями, приведеними в [36, 37]. Враховуючи зазначене, оцінимо якість напруги ТЕП електровоза ДЕ1 за такими показниками: відхилення, коливання і провал напруги.

Відхилення напруги визначають як відносну різницю між фактичним та Номінальним $U_{\text{ном}}$ значеннями напруги на струмоприймачі ЕРС за формулою:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (2, 17)$$

де U_y – усереднене усталене значення напруги на струмоприймачі ЕРС за одну хвилину, В;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга на струмоприймачі ЕРС, що дорівнює 3000 В.

Згідно ГОСТ 13109-97, нормально допустимі і гранично допустимі значення усталеного відхилення напруги δU_y , рівні відповідно $\pm 5\%$ та $\pm 10\%$.

В [36, 37] під відхиленням напруги пропонується розуміти напруги такої тривалості, яка призводить до зміни швидкості ЕРС. При цьому слід розуміти відхилення додатнім, якщо $U_y > U_{\text{ном}}$ або від'ємним, якщо $U_y < U_{\text{ном}}$.

В системі змінного струму ЯЕ по установленому відхиленню напруги вважають такою, що відповідає нормам ГОСТ 13109-97, якщо всі вимірювання за кожну хвилину, на протязі встановленого періоду часу (24 години), значення усталеного

відхилення напруги знаходяться в інтервалі, що обмежений гранично допустимим значення, а не менше 95% виміряних за той же період часу значень усталеного відхиленню напруги знаходяться в інтервалі, що обмежений нормально допустимими значеннями. Нормально допустимі і гранично допустимі значення $\pm 5\%$ і $\pm 10\%$.

Для порівняння можна привести отримані значення відхилення напруги на струмоприймачі першого українського електровоза ДЕ1. Відхилення за максимальним значенням склало 36,7%, а за мінімальним -28,95%.

Отже, відхилення на струмоприймачах ЕРС системи електротяги постійного струму помітно перевищують навіть гранично допустиме $\pm 10\%$ значення.

Під коливаннями напруги розуміють швидкі зміни напруги, що протікають зі швидкістю 1...2% за секунду і більше. В [36, 37] під коливанням напруги для ТМ пропонують розуміти зміну напруги такої тривалості, яка не призводить до зміни швидкості руху ЕРС. Коливання напруги характеризують амплітудою (розмахом) коливань:

$$\delta U_t = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (5.2)$$

За рекомендаціями європейського стандарту EN50160 нормально допустиме значення δU_y дорівнює 6...10%. В той же час, згідно з нашими розрахунками, амплітуда коливань напруги на ДЕ1 складає 42,06%

Провал напруги характеризують довжиною Δt_{Π} та глибиною провалу δU_{Π} . Глибину провалу визначають за формулою:

$$\delta U_{\Pi} = \frac{|U_{\max} - U_{\min}|}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (2.18)$$

Гранично допустимі значення δU_{Π} не встановлені.

Розмах зміни напруги:

$$\delta U = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{\sqrt{2} \cdot U_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (2.19)$$

де U_i , U_{i+1} – значення екстремумів, які слідують один за другим; розмах склав 49,55%.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Провал напруги

$$\delta U_{II} = \frac{|U_{\text{ном}} - U_{\text{мін}}|}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (2.20)$$

який склав 28,95%.

Із вищенаведених показників найбільш негативний вплив на процеси в електровозі здійснюють відхилення напруги, які призводять до: зміни споживання активної потужності; зміни реактивної потужності; підвищення імовірності розладу нормальної роботи електрообладнання та інші.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ПОШТОВХІВ-ЗРОСТАНЬ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

3.1 Фізична сутність дії поштовхів -зростань напруги

Розглянемо якісно фізичну сутність впливу поштовхів-зростань живлячої напруги на виникнення кидків струму в електродвигуні ТЕП. Виконаємо це в режимі повного поля (ПП) і без врахування вихрових струмів, тому схема заміщення ТЕП буде мати наступний вигляд:

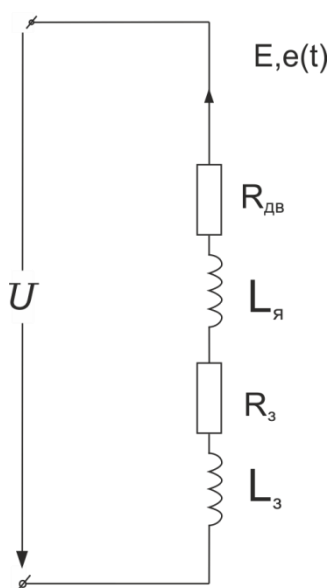


Рис. 3.1. Схема заміщення ТЕП

Уявимо собі, що до певного моменту часу $t=0$ двигун працює в установленому режимі при постійній напрузі $U(0)$, певного початкового значення $U_{\text{поч}}=U(0)$ і по ньому протікає постійний струм, теж з початковим значенням $I_{\text{поч}}=I(0)$ рис. 3.2. Намагнічуюча сила створює магнітний потік $\Phi_{\text{поч}}=\Phi(0)$, який, у свою чергу, створює в якорі двигуна проти - ЕРС згідно виразу $E_{\text{поч}} = C_e \cdot n \cdot \Phi$.

Тепер припустимо, що в момент часу $t=0$ рис. 3.2 відбувся поштовх живлячої напруги ΔU_+ від $U_{\text{поч}}$ до $U_{\text{кін}}=U_{\text{поч}} + \Delta U$.

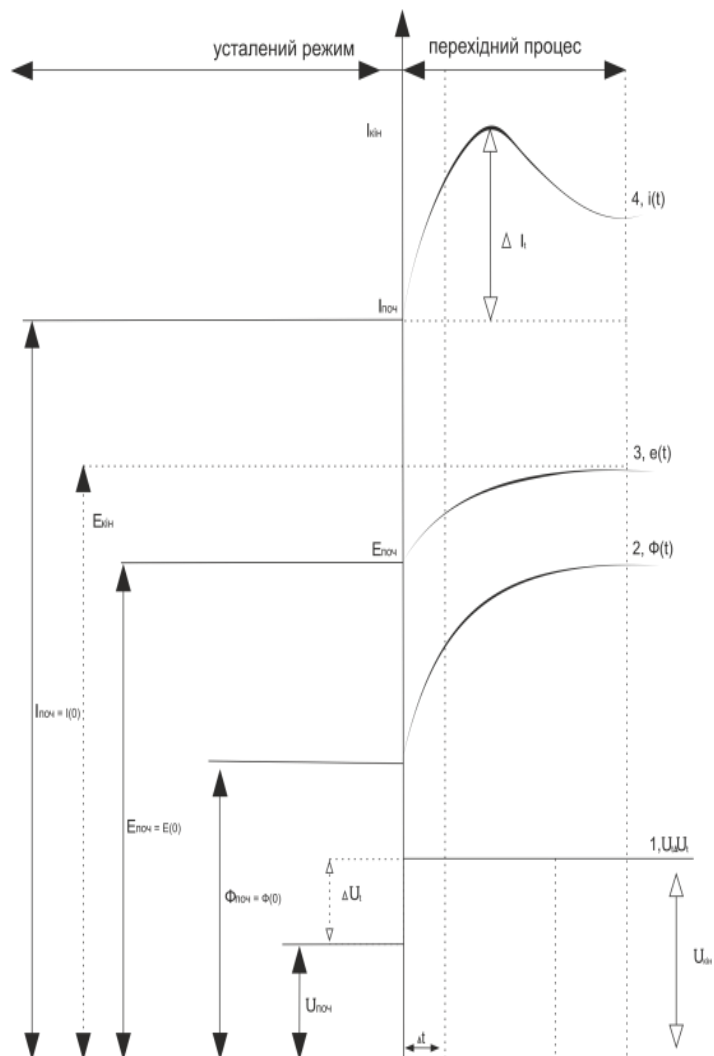


Рис. 3.2. Якісна картина процесів в ТЕП до і після поштовху-зростання напруги

Напруга, як електрична величина, характеризує електронний процес, який є безінерційним процесом і збільшення прикладеної до ТЕП напруги на ΔU_+ від U до $U + \Delta U_+$ рис. 3.2 крива 1 відбувається не повільно, а різко, миттєво, стрибком. В результаті в силовому колі ТЕП починає протікати перехідний процес. Зміна живлячої напруги викликає зміну магнітного потоку Φ . Але на відміну від характеру зміни напруги процес зміни магнітного потоку - це процес інерційний і тому при різкій зміні U магнітний потік змінюється в часі (після поштовху напруги) порівняно повільно, за експоненціальною залежністю рис. 3.2, крива 2. Змінний $\Phi(t)$ обумовлює появу змінної проти – ЕРС $e(t)$ рис. 3.2, крива 3, оскільки $e(t) = C_e \cdot n \cdot \Phi(t)$.

Враховуючи лінійну залежність $e(t)$ від $\Phi(t)$, проти – ЕРС зростає теж не стрибком, а як і $\Phi(t)$, за експоненціальною залежністю. Під час цього перехідного періоду змінюється і струм $i(t)$ в ТЕП рис. 3.1, електромагнітний стан ТЕП під час перехідного процесу описується рівнянням:

$$U + U_t = R_{дв} \cdot i(t) + e(t) + L_{я} \frac{di}{dt} + 2p\sigma W_3 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.1)$$

де $L_{я} \frac{di}{dt}$ – спад напруги в індуктивності якоря;

$2p\sigma W_3 \frac{d\Phi}{dt}$ – ЕРС самоіндукції обмотки збудження.

Із рівняння (3.1) впливає, що струм дорівнює :

$$i(t) = \frac{(U + \Delta U_+) - e(t) - L_{я} \frac{di}{dt} + 2p\sigma W_3 \frac{d\Phi}{dt}}{R_{дв}}, \quad (3.2)$$

Основний внесок (раніше встановлено, що він складає 97,36% від $U_{ном}$ в урівноважування прикладеної напруги $U + \Delta U_+$ в рівнянні (3.1) вкладає проти – ЕРС якоря $e(t)$. Тоді із виразу (3.2) таке (рис. 3.2): в момент $t=0$ живляча ТЕП напруга стрибком зростає на ΔU_+ і далі становить $U + \Delta U_+$ а $e(t)$ запізнюється зі зростанням, в результаті в певний відрізок часу Δt рис. 3.2 створюється велика різниця $(U + \Delta U_+) - e(t)$, яка, згідно (3.2), ділиться на мале значення опору двигуна ($R_{дв} = 0,07$ Ом) й тим самим обумовлює різке, не миттєве, як напруга, але стрибком рис. 3.2, крива 4, зростання на ΔI_+ струму двигуна, в результаті чого отримується максимальне його значення $I_{max} = I_{поч} + \Delta I_+$.

Отже, поява кидка (I_{max}) струму в двигуні ТЕП обумовлена двома факторами:

- значною різницею між прикладеною напругою $U + \Delta U_+$ та проти – ЕРС якоря $e(t)$;
- дуже малою величиною активного опору $R_{дв}$ двигуна.

Із зазначеного і виразу (3.2) впливає що кидок струму ΔI_+ визначається як

$$\Delta I_+ = I_{\text{кін}} - I_{\text{поч}} = \frac{(U_{\text{max}} - U_{\text{поч}}) - E_{\text{поч}}}{R_{\text{дв}}} = \frac{\Delta U_+ - C_e \cdot n \cdot \Phi}{R_{\text{дв}}}, \quad (3.3)$$

й тим самим залежить від таких величин : значення поштовху – зростання напруги ΔU_+ ; початкового значення струму $I_{\text{поч}}$; значення магнітного потоку $\Phi(t)$, бо від нього залежить проти - ЕРС При цьому треба підкреслити, що $\Phi(t)$, у совою чергу, залежить від ступеня послаблення збудження $\beta = I_3/I_{\text{я}}$ та вихрових струмів (як зазначалось раніше).

У зв'язку з цим, у подальшому і дослідимо вплив цих величин на електромагнітні процеси, і особливо на кидок струму, в електродвигуні ТЕП, для чого, насамперед, побудуємо його математичну модель

3.2. Математична модель електромагнітних процесів в ТЕП

Користуючись законами Кірхгофа, складемо для ТЕД схеми рис. 3.1 систему диференціальних рівнянь електромагнітних процесів, що протікають в одному електродвигуні ТЕП під час перехідного процесу (згідно рис. 3.2), який виник після поштовху – зростання живлячої напруги. При цьому врахуємо контур, що еквівалентний вихровим струмам і контур послаблення збудження ТЕД. Отже, маємо таку математичну модель:

$$i_{\text{я}}(t) = i_3(t) + i_{\text{ш}}(t), \quad (3.4)$$

$$R_3 i_3 + 2p\sigma w_3 \frac{d\Phi}{dt} + R_{\text{я}} i_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + e(t) + U + \Delta U_+ = 0, \quad (3.5)$$

$$R_3 i_3 + 2p\sigma w_3 \frac{d\Phi}{dt} + R_{\text{ш}} i_{\text{ш}} + L_{\text{ш}} \frac{di_{\text{ш}}}{dt} = 0, \quad (3.6)$$

$$\sigma_{\text{вхр}} \cdot w_{\text{вхр}} \frac{d\Phi}{dt} + R_{\text{вхр}}(t) i_{\text{вхр}} = 0,$$

$$w_3 \cdot i_3 + w_{\text{вхр}} \cdot i_{\text{вхр}} = w_3 \cdot i_{\mu}, \quad (3.7)$$

або при умові, що

$w_{\text{вхр}} = w_3$ маємо

$$i_3 + i_{\text{вхр}} = i_{\mu}, \quad (3.8)$$

де i_{μ} – струм намагнічення станини, який є нелінійною функцією основного

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

магнітного потоку Φ [4].

$$i_{\mu} = 33,601 - 2536,387 \cdot \Phi(t) + 2,518 \cdot 10^5 \cdot \Phi^2(t) - 4,031 \cdot 10^6 \cdot \Phi^3(t) + 2,269 \cdot 10^7 \cdot \Phi^4(t), \quad (3.9)$$

$R_{\text{ш}} = R_{\text{дод}} + R_{\text{ш}} -$ активний опір вітки шунтування, який складається з додаткового опору шунта та активної складової опору індуктивного шунта.

Як впливає із системи рівнянь (3.4) – (3.9), згідно з рис. 1.2, врахування вихрового струму $i_{\text{вхр}}$, що виникає в остові та в осерді головних пласів тягових двигунів, здійснено еквівалентним короткозамкненим контуром (з кількості витків $w_{\text{вхр}}$), який індуктивно (через Φ) зв'язний з обмоткою головних пласів аналогічно обмоткам однофазного трансформатора.

3.3 Залежність кидків струму в ТЕП від значень поштовхів – зростань напруги

Кількісні характеристики зміни струму в ТЕП при різних поштовхоподібних змінах живлячої напруги, а саме, при $\Delta U_{+} = (5; 10; 15, 5 ; 33)\% U_{\text{ном}}$, були отримані шляхом розрахунку системи рівнянь (3.4) – (3.9), тобто математичної моделі, при ступені послаблення збудження ПЗ-2 ($\beta = 0,65$) і початкових умовах струму якоря (і двигуна) $I_{\text{я поч}} = I_{\text{я ном}} = 565 \text{ А}$. Результати розрахунків представлені на рис. 3.3 і рис. 3.4, із яких випливає наступне.

Зі збільшенням поштовху- зростання ΔU_{+} від 150 до 990 В, тобто власне живлячої напруги від 1650 до 2490 В, магнітний потік збільшується за експонентною від 0,098 до 0,117 Вб стосовно усталеного значення рис. 3.3. Синфазно з $\Phi(t)$, але все ж в більшій ступені кидком збільшується струм якоря рис. 3.4, а і струм в обмотці збудження рис. 3.4, б. Однак відносна зміна величини амплітуди кидків струму суттєво більша, ніж зміна поштовхів напруги, а саме : при збільшенні кидка напруги в 1,1 та 1,66 рази амплітуда кидка струму якоря зросла відповідно в 1,58 та 2,28 рази.

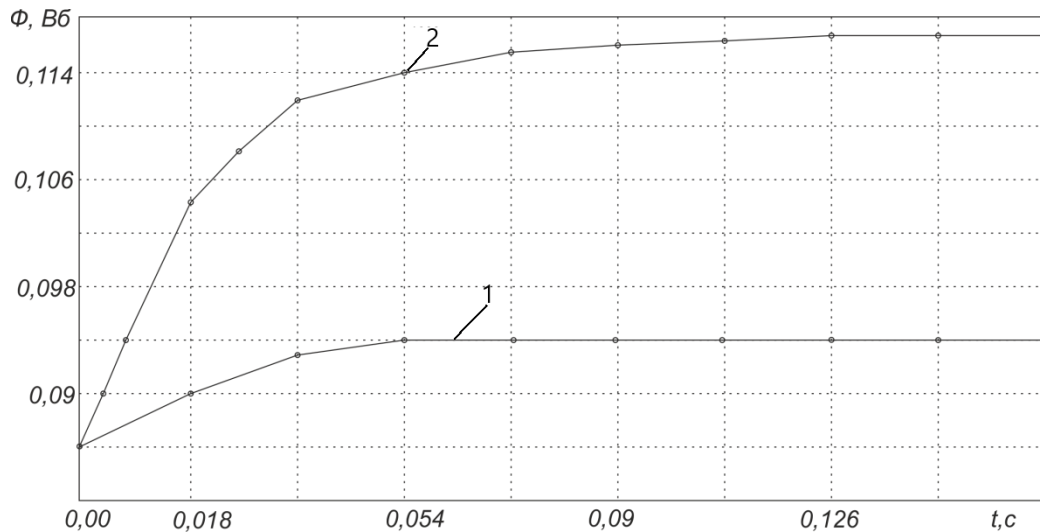


Рис. 3.3. Залежність в часі перехідної величини магнітного потоку. в режимі ПЗ-2 при $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$ та різних можливих поштовхах – зростання напруги ΔU_+ :

1-10% $U_{\text{ном}}$; 2-33% $U_{\text{ном}}$

При 5%-му поштовху напруги зростають: струм якоря від 450 А до максимального значення в 950 А рис. 3.4, а, крива 1, а струм обмотки збудження від 450 А до амплітуди в 710 А рис. 3.4, б, крива 1. Аналогічно, при $\Delta U_+ = 33\% U_{\text{ном}}$ амплітуди кидків струмів складають: якоря 2900 А (кратність – стосовно $I_{\text{ном}}$) 565 А дорівнює 5.13; обмотки збудження 1950 А (кратність – 3, 45).

3.4 Вплив початкового значення струму якоря на його кидки під час поштовхів напруги

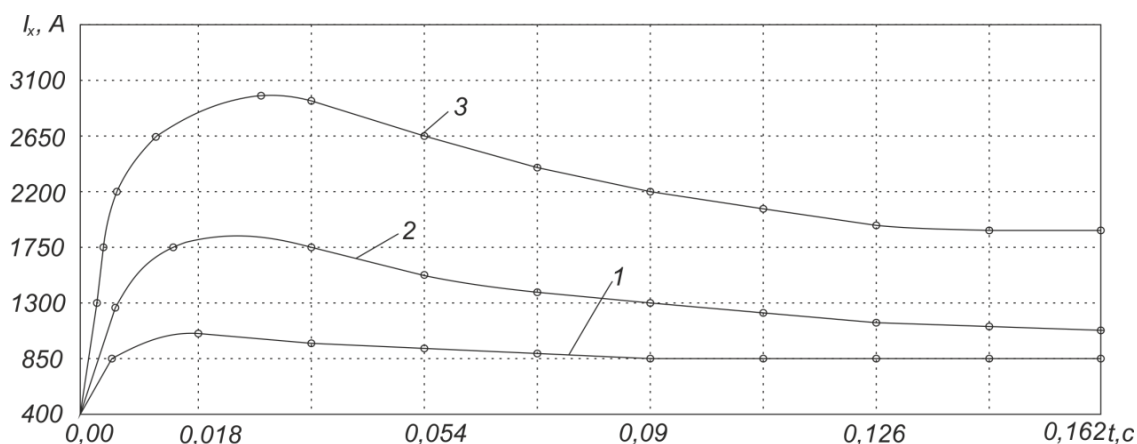
Із формули (3.3) з врахуванням початкового значення струму якоря $I_{\text{поч}}$ можна записати, що:

$$n = \frac{(U + \Delta U_+) - e(t)}{C_e \cdot \Phi}, \quad (3.10)$$

Тобто, зі збільшенням $I_{\text{поч}}$ величина n , а отже і проти – ЕРС $e(t)$, лінійно зменшується, що призводить до збільшення різниці $\Delta U_+ = 0,33$, що і обумовлює лінійне зростання $I_{\text{я max}}$ і $I_{\text{з max}}$ від $I_{\text{поч}}$, рис.3.5. Так, при $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$, $\Delta U_+ = 0,05 \cdot U_{\text{ном}}$ та $\beta = 0,43$ максимальне значення кидка струму складає

$I_{я\max} = 1271,3 \text{ А}$, а при тих же початкових умовах ступені послаблення, але при $\Delta U_+ = 0,33 \cdot U_{\text{ном}} - I_{я\max} = 2673 \text{ А}$ рис. 3.5, б, кр. 1 та 4. Аналогічно, кидок струму в обмотці збудження складає $I_{з\max} = 847,5 \text{ А}$ при $\Delta U_+ = 0,05 \cdot U_{\text{ном}}$ і $I_{з\max} = 1994,5 \text{ А}$ при $\Delta U_+ = 0,33 \cdot U_{\text{ном}}$ рис. 3.5, в, кр 1 та 4.

а)



б)

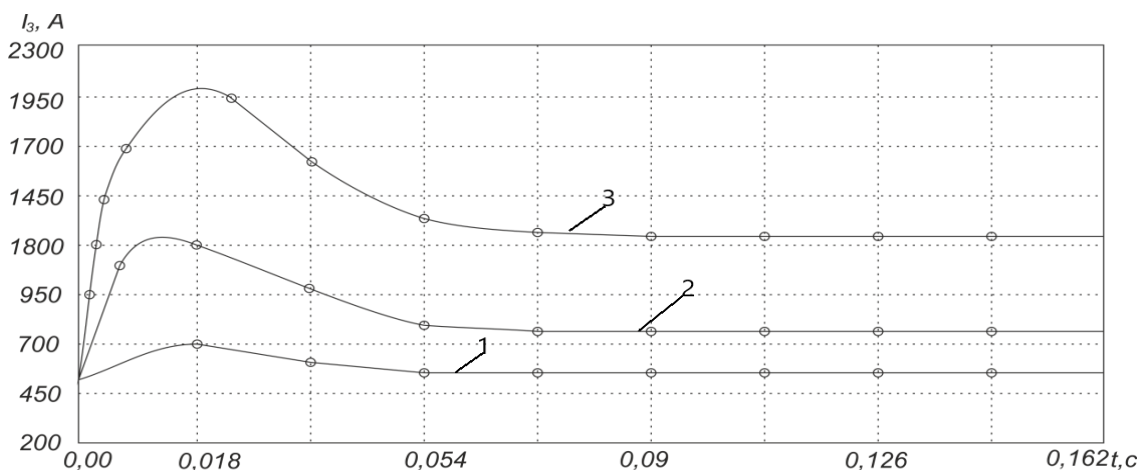
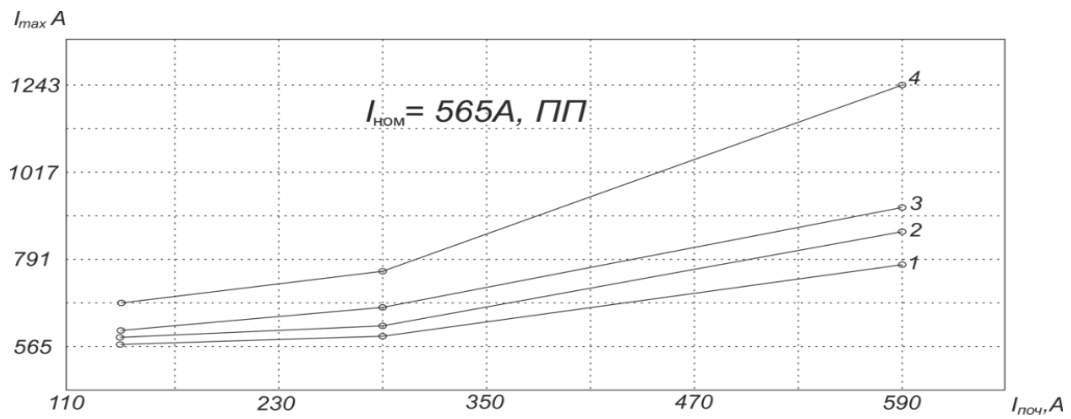
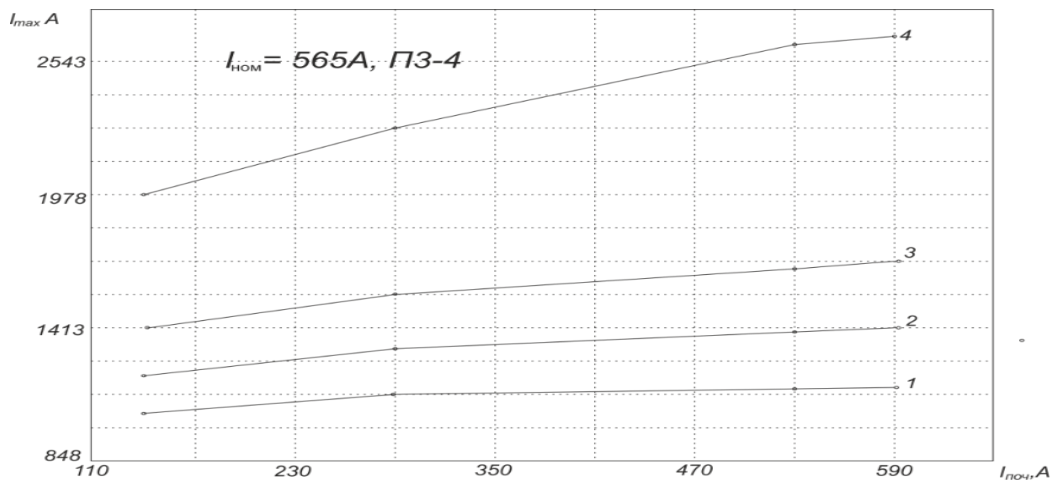


Рис. 3.4. Залежності в часі перехідних величин струму якоря (а) і струму обмотки збудження (б) у режимі ПЗ-2 при $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$ і різних поштовхах – зростаннях ΔU_+ : 1 – при 5% $U_{\text{ном}}$; 2 – 15, 5% $U_{\text{ном}}$; 3 – 33% $U_{\text{ном}}$

а)



б)



в)

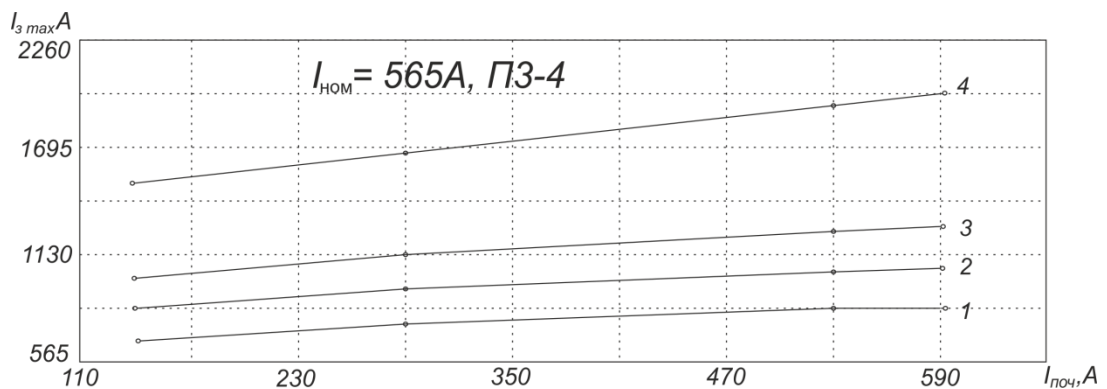


Рис. 3.5. Часові залежності максимальних значень кидків струму якоря $I_{\text{я max}}$ (а і б) і струму обмотки збудження $I_{\text{з max}}$ (в) від початкового значення струму $I_{\text{поч}}$ у режимі повного поля (а) і ПЗ-4 (б, в) при різних поштовхоподібних збільшення напруги ΔU_+ : крива 1 – при $\Delta U_+ = 5\% U_{\text{ном}}$; 2 – $10\% U_{\text{ном}}$; 3 – $15,5\% U_{\text{ном}}$; 4 – $33\% U_{\text{ном}}$

Поява таких максимальних значень струмів у силовому колі двигуна обумовлюються проаналізованими вище причинами, тобто виникненням значної

різниці між проти-ЕРС якоря та напругою живлення тягових двигунів, що призводить до підвищення падіння напруги в обмотці збудження (порівняно зі стаціонарним режимом) та прагненню основного потоку машини збільшитися. Зростання потоку під час перехідного режиму стримується демпфіруючою дією вихрових струмів у суцільних ділянках магнітопровода, а при використанні ПЗ ще і демпфіруючою дією струму контуру 3-Ш. По мірі збільшення початкової швидкості зміни струму величина відставання основного потоку збільшується і проти-ЕРС при максимальному струмі зменшується. Зміна потоку в часі, порівняно з зміною струму, суттєво відстає. Отже, при досягненні струмом максимуму величина проти-ЕРС буде менше, ніж при роботі машини в стаціонарному режимі на максимальній напрузі.

У режимі повного поля ($\beta = 1$) та поштовху напруги $\Delta U_+ = 15,5\% U_{\text{ном}}$, кратність струму якоря практично змінюється в межах від 706 до 909, 7А рис. 3.5, а, кр. 3. При поштовху $\Delta U_+ = 33\% U_{\text{ном}} - I_{\text{я max}} = 1243 \text{ А}$ рис. 3.5, а, тобто досягає тієї ж величини, що і при відновленні напруги у режимі ПЗ-2, ПЗ-3 при $U_{\text{ном}} = U_{\text{поч}}$. Це показує, наскільки суттєвим є наявність початкового намагнічення. із рис. 3.5 також впливає, при $I_{\text{поч}} > 0,5 \cdot I_{\text{я max}}$ та $\Delta U_+ = 0,33\% U_{\text{ном}}$ максимальне значення струму різко збільшується, що збільшує небезпеку для ТЕД навіть на повному полі рис. 3.5, а, кр. 4.

Із порівняння кратності кидка струму якоря при $\beta = 1$ рис. 3.5, а та $\beta = 0,43$ рис. 3.5, б впливає, що максимальне значення струму помітно вище у випадку застосування індуктивного шунта. Більш докладно вплив послаблення збудження на амплітуди кидків струмів якоря та обмотки збудження подано далі.

3. 5 Залежність кидків струмів від послаблення збудження

В електродвигунах ТЕП послідовного збудження застосовується 4 ступені послаблення збудження: ПЗ-1, ПЗ-2, ПЗ-3, ПЗ-4, що мають значення ступеня послаблення збудження β відповідно 0,78; 0,65; 0,57; 0,43. Тут $\beta = I_z / I_{\text{я}}$ і для повного поля (ПП) коефіцієнт $\beta = 1$.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Згідно схеми рис. 1.1, у режимі ПП рубильник S струми в обмотках якоря і збудження однакові, що свідчить про те, що магнітний потік в двигуні збуджується усією величиною струму якоря.

У режимах ПЗ1-ПЗ4 рубильник S в схемі рис. 1.1 вмикається і в роботу вступають елементи $R_{ш}$ і $L_{ш}$ вітки шунтування. Це означає, що, по – перше, загальний опір електричного кола двигуна зменшується, що обумовлює збільшення струму якоря. По-друге, тепер частина струму якоря, у вигляді струму $i_{ш}(t)$ в схемі рис. 1.1, починає протікати по індуктивному шунту. В результаті, оскільки $\beta < 1$, магнітний потік в магнітопроводі зменшується.

Крім цього, зменшення основного $\Phi(t)$ обумовлене і магнітним потоком вихрових струмів, що направлений назустріч основному потоку. Це призводить до зменшення проти – ЕРС якоря, а отже зростає різниця $(U + \Delta U_+) - e(t)$, що і обумовлює збільшення у 2...2,5 рази кидка струму якоря у режимі ПЗ-1...ПЗ-4 як при $\Delta U_+ = 15,5\%U_{ном}$, так і при $\Delta U_+ = 33\%U_{ном}$ рис. 3.6 і 3.7. При цьому струм якоря при $\Delta U_+ = 0,33\%U_{ном}$ збільшується у 4, 5 рази у порівнянні з $I_{ном} = 565$ А. Вплив послаблення збудження на кидок струму в обмотці збудження значно менший (рис 3.7): при $\Delta U_+ = 15,5\%U_{ном}$ при переході від ПЗ-1 до ПЗ-4 він зріс лише у 1, 5 рази.

Розглядаючи більш докладно вплив індуктивного шунта, тобто при різних ступенях послаблення поля, на максимальне значення кидка струму якоря можна зробити висновок, що кратність амплітуди цього струму, тобто $I_{я\max}/I_{ном}$ помітно збільшується зі зменшенням ступеня β послаблення поля; наприклад, при початкових умовах $I_{поч} = I_{ном}$ і $\Delta U_+ = 15,5\%U_{ном}$ кратність складає: на ПЗ-1 $I_{я\max} = 1,8 \cdot I_{ном}$, $I_{з\max} = 1,61 \cdot I_{ном}$, а на ПЗ-4 $I_{я\max} = 4,1 \cdot I_{ном}$, $I_{з\max} = 2,41 \cdot I_{ном}$ рис. 3.6, а, б. Аналогічно, $\Delta U_+ = 33\%U_{ном}$ отримаємо рис.3.7: на ПЗ-1 $I_{я\max} = 2,05 \cdot I_{ном}$, $I_{з\max} = 1,87 \cdot I_{ном}$; на ПЗ-4 – $I_{я\max} = 4,5 \cdot I_{ном}$,

$I_{3 \max} = 2,88 \cdot I_{\text{я ном}}$ що майже в 2 рази більше максимального значення струму якоря, ніж при $\Delta U_+ = 15,5\% U_{\text{ном}}$.

Вищенаведений аналіз показує, що при $\beta = 0,43$ визначальними факторами протікання процесів є початкові умови, особливо це помітно при $\psi_{\text{ш}} \frac{\partial \psi_3}{\partial t}$. Вплив індуктивного шунта на кидкоподібну зміну струмів менш ефективний, тому що через наявність початкового насичення магнітної системи двигуна швидкість $\frac{\partial \psi_3}{\partial t}$ мало відрізняється від $\frac{\partial \psi_{\text{ш}}}{\partial t}$, де ψ_3 чи $\psi_{\text{ш}}$ — магнітне потокозчеплення обмотки збудження та індуктивного шунта.

а)

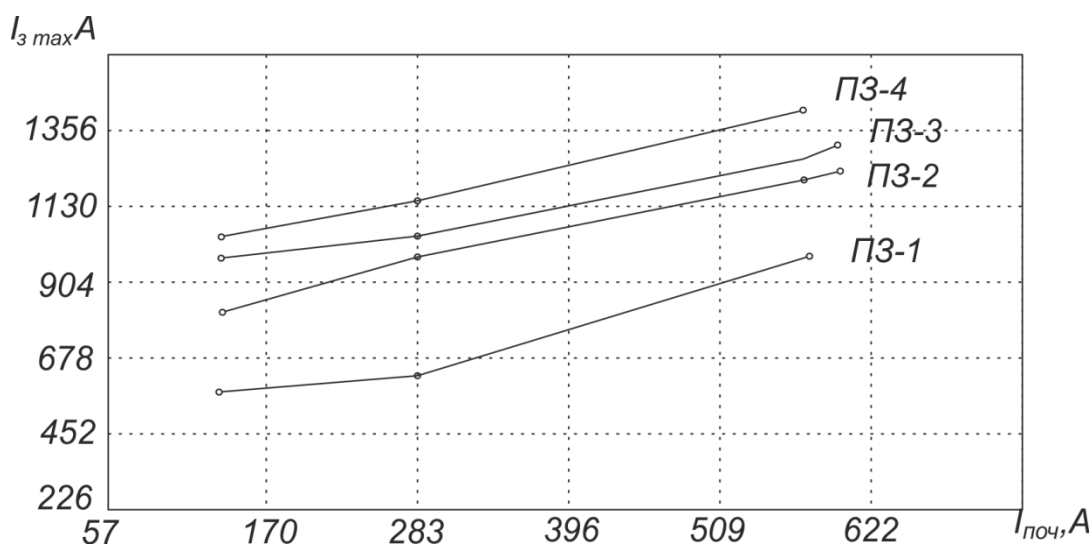


Рис. 3.6. Графічні залежності струмів збудження (а) $I_{3 \max}$ від початкового значення струму $I_{\text{поч}}$ при поштовхах напруги $\Delta U_+ = 15,5\% U_{\text{ном}}$ та різних ступенях послаблення збудження

б)

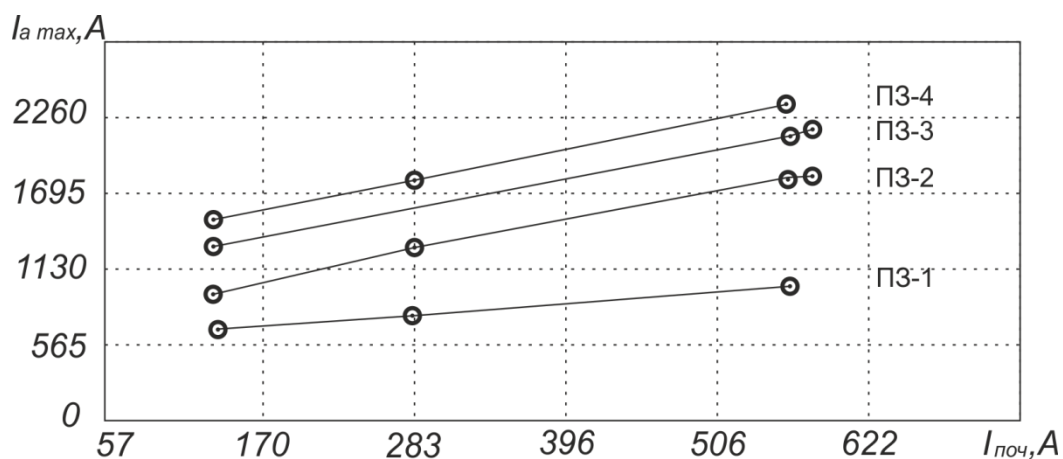


Рис. 3.6. Графічні залежності струмів якоря (б) $I_{a \max}$ від початкового значення струму $I_{\text{поч}}$ при поштовхах напруги $\Delta U_+ = 15,5\% U_{\text{ном}}$ та різних ступенях послаблення збудження

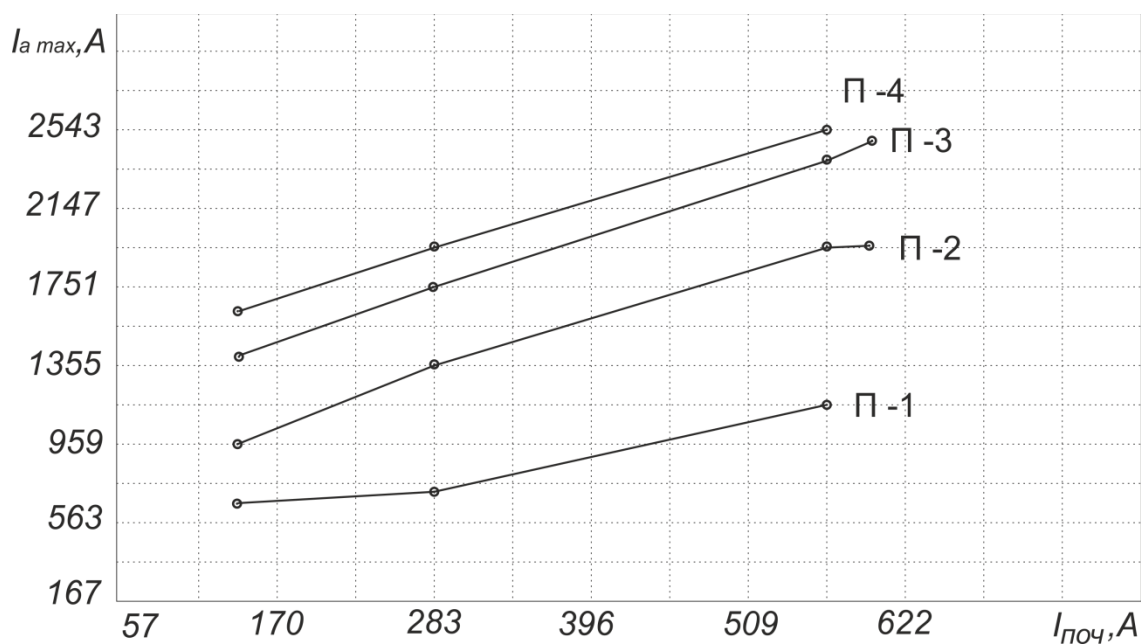


Рис. 3.7. Графічні залежності амплітуди кидка струму якоря $I_{a \max}$ від початкового значення струму $I_{\text{поч}}$ при поштовхах напруги $\Delta U_+ = 33\% U_{\text{ном}}$ та різних ступенях послаблення збудження

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ПОШТОВХІВ-СПАДІВ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

Дослідження були виконані з такими ж значеннями різкої зміни (але тепер уже спадів) живлячої напруги, що й у випадку поштовхів – зростань, тобто при значеннях $\Delta U : 0,05 \cdot U_{\text{ном}} = 75 \text{ В}; 0,1 \cdot U_{\text{ном}} = 150 \text{ В}; 0,155 \cdot U_{\text{ном}} = 232,5 \text{ В}; 0,33 \cdot U_{\text{ном}} = 495 \text{ В}$. Імовірність появи цих значень спадів ΔU_- – напруги на ТЕП в умовах реальної експлуатації електровозів ДЕ 1 приведена на рис. 4.3.

Розрахунки електромагнітних процесів в ТЕП в режимах поштовхів –спадів виконано за тією ж математичною моделлю (3.4) – (3.9) лише з тією різницею, що у рівнянні (3.5) замість напруги $U + \Delta U_+$ використовувалась напруга $U - \Delta U_-$.

4.1. Фізична сутність дії поштовхів-спадів напруги

Розглянемо якісно процеси дії поштовхів-спадів прикладеної напруги згідно схеми рис. 3.1, тобто без врахування вихрових струмів і послаблення збудження.

Отже, нехай ТЕП до певного моменту часу $t=0$ рис. 4.1 працює в усталеному режимі з певними початковими значеннями електромагнітних величин. В момент часу $t=0$ живляча напруга, як безінерційний електронний процес, різко, миттєво зменшується на величину ΔU_- й тим самим викликає в силовому колі ТЕП перехідний процес рис. 4.1, крива 1.

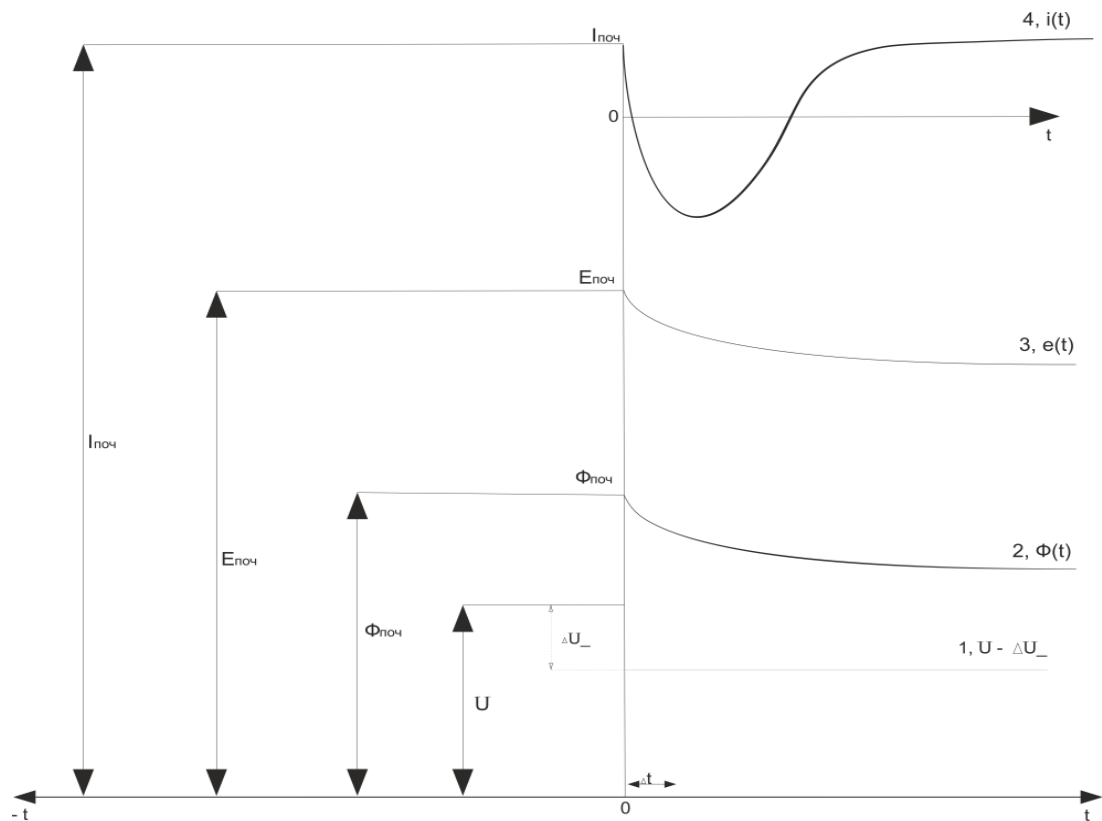


Рис. 4.1. Якісна картина процесів в ТЕП в усталеному $t < 0$ і перехідному $t > 0$ режимах при поштовху – спаду напруги

Зміна напруги викликає зменшення магнітного потоку в магнітопроводі двигуна ТЕП. Але $\Phi(t)$, як інерційний процес, зменшується повільно, за експоненціальною залежністю (рис. 4.1, крива 2). Синфазно з $\Phi(t)$, теж повільно, згідно виразу $e(t) = C_e \cdot n \cdot \Phi(t)$, зменшується проти – ЕРС якоря двигуна ТЕП рис. 4.1, крива 3.

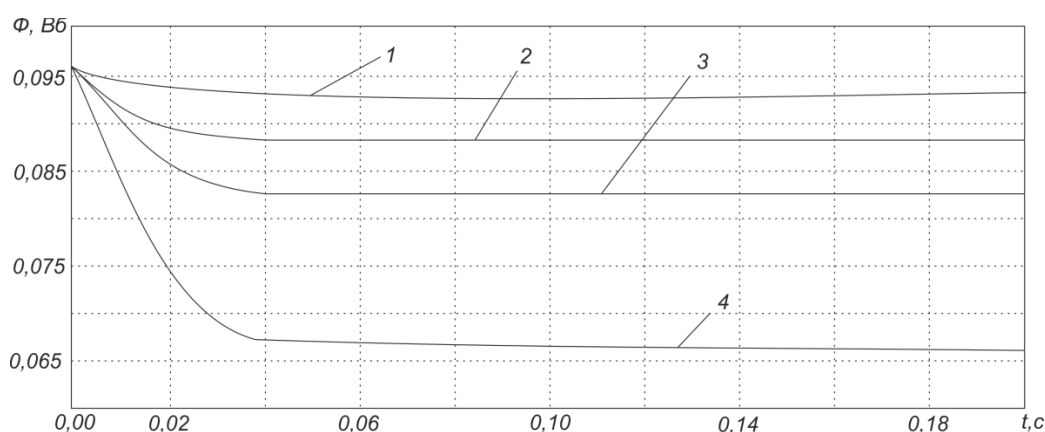
В результаті в певний термін часу початку перехідного процесу проти-ЕРС $e(t)$ перевищує прикладену напругу $U - \Delta U_-$. Різниця $e(t) - (U - \Delta U_-)$, згідно виразів, аналогічних виразам (3.4) і (3.3), обумовлює появу кидка струму якоря. При цьому, оскільки, як відомо, проти -ЕРС фізично має напрямок, протилежний напрямку живлячої напруги, то напрямок кидка струму буде протилежним напрямку струму при поштовхах-зростання, тобто в кидках струм буде зменшуватись, тобто буде мати зворотний напрямок. Більш того, при певних, великих, значення спаду ΔU_- струм в кидкі буде мати від'ємне значення рис. 4.1, крива 4. Отже, і у випадку поштовхів – спадів кидки струмів в електродвигунах

ТЕП обумовлені різницею між проти ЕРС якоря $\mathcal{E}(t)$ і прикладеною до нього напругою $U \pm \Delta U$.

4.2. Результати чисельних розрахунків впливу поштовхів – спадів напруги на процеси в ТЕП

При різкому, миттєвому зменшенні напруги ΔU від $0,05 \cdot U_{\text{ном}}$ до $0,33 \cdot U_{\text{ном}}$ основний магнітний потік $\Phi(t)$ експоненціально зменшується, по усталеному значенню від 0.095 до 0.065 Вб рис. 4.2, а.

а)



б)

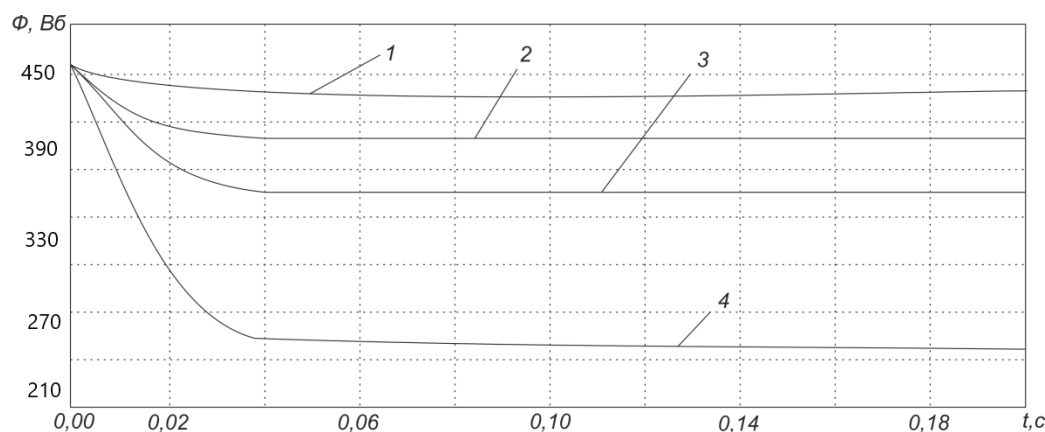
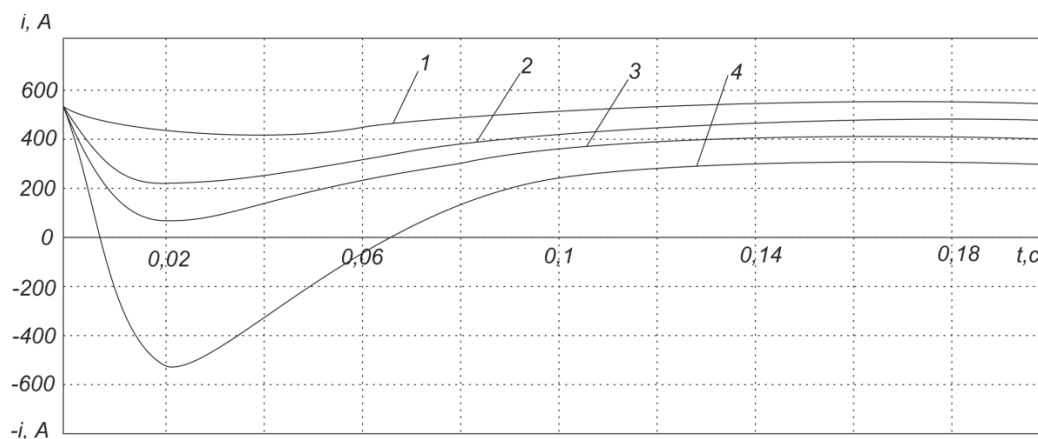


Рис. 4.2. Залежності перехідних величин магнітного потоку (а) та струму в обмотці збудження (б) у режимі ПЗ4, при $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$, поштовхах-спадах напруги

ΔU : крива 1 – при $\Delta U = 0,05 U_{\text{ном}}$; 2- $0,1 U_{\text{ном}}$; 3- $0,155 U_{\text{ном}}$; 4- $U_{\text{ном}}$

В)



Г)

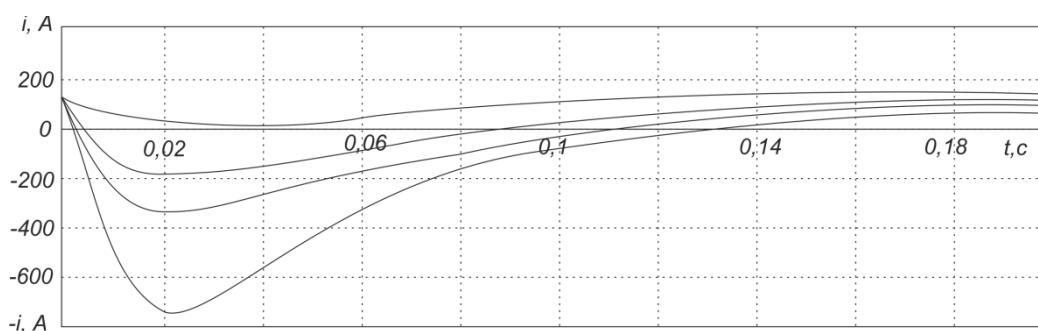


Рис. 4.2. Залежності перехідних величин струму якоря (в) та струму в шунтувальній вітці (г) у режимі ПЗ4, при $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$, поштовхах-спадах напруги

ΔU : крива 1 – при $\Delta U_- = 0,05 U_{\text{ном}}$; 2- $0,1 U_{\text{ном}}$; 3- $0,155 U_{\text{ном}}$; 4- $U_{\text{ном}}$

Такий характер зміни $\Phi(t)$ обумовлений зменшенням за експоненціальною залежністю, але по усталеному значенню, струму в обмотці збудження від 475 до 235 А (рис.4.2, б). ΔU

Інший характер зміни струму якоря (рис.4.2, в). По-перше, внаслідок різниці $e(t) - (U - \Delta U_-)$ струм $i_a(t)$ змінюється стрибком в часі перехідного процесу. По-друге, при $\Delta U_+ = 0,155 \cdot U_{\text{ном}}$ кидок струму стає від'ємним, збільшуючись від + 475 А до -550 А.

Подібно зміни $i_a(t)$ аналогічно змінюється і струм в шунтувальній вітці рис. 4.2, г, досягаючи максимального значення в кидку – 800 А при поштовху – спаду напруги, рівному $0,33 \cdot U_{\text{ном}}$.

Треба зазначити, що, хоча обидва струми $i_{\text{я}}(t)$ і $i_{\text{ш}}(t)$ і є генераторними (рекуперативними) і мають значні амплітуди (відповідно 550 і 800 А), однак вони є перехідними, а отже короткочасними (відповідно 0,06 і 0,1 с.), які далі загасають до нуля. Тому струм якоря $i_{\text{я}}(t)$ не може дати достатнього внеску в економію електроенергії (як рекуперативний струм), що витрачається на живлення ТЕП електровозу ДЕ1. До того ж імовірність появи поштовхів-спадів з $\Delta U_{-} \geq 0,155 \cdot U_{\text{ном}}$, а отже рекуперованих струмів, не перевищує 0,3 в умовах реальної експлуатації зазначених електровозів.

4.3 Імовірність появи максимальних значень струмів якоря та обмотки збудження

Випадковий характер зміни значень поштовхів (і зростань, і спадів) живлячої напруги рис. 4.3, істотно, обумовлює також імовірнісний характер зміни амплітуди кидків струмів в обмотках якоря і збудження рис.4.4. Із аналізу результатів, представлених на цих рисунках, впливає наступне.

Між значеннями поштовхів напруги і максимальними значеннями струмів I_{max} (якоря і обмотки збудження) існує нелінійна залежність, що підтверджується різницею імовірнісних законів розподілення ΔU та I_{max} :

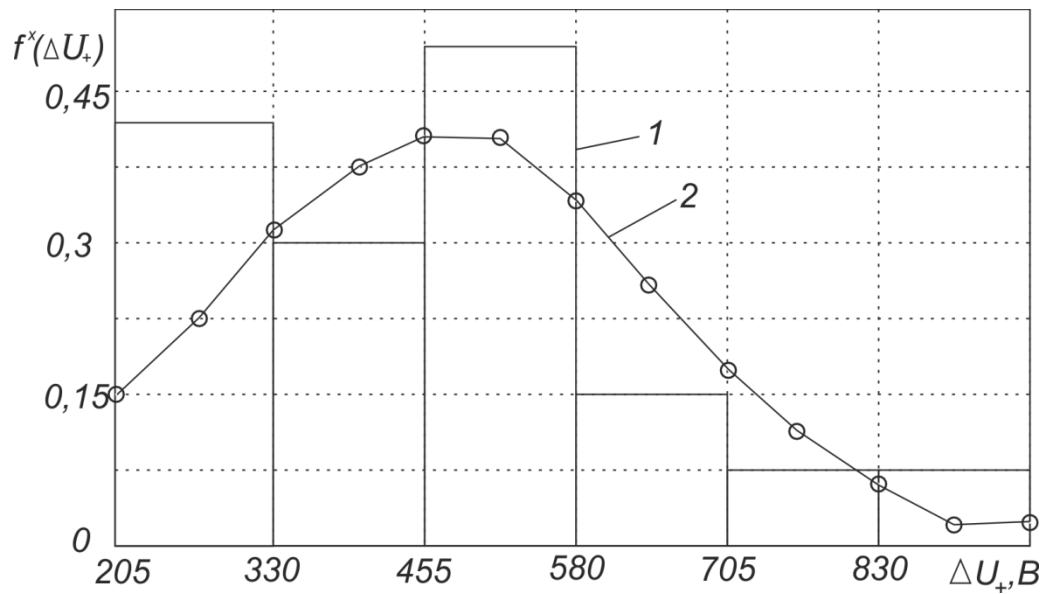
розподілення випадкових величин ΔU_{+} і ΔU_{-} близькі до закону Гаусса з математичними очікуваннями $M[\Delta U_{+}] = 518$ В і $M[\Delta U_{-}] = 500$ В рис. 4.3, а розподілення випадкових величин $I_{\text{я max}}$ і $I_{\text{з max}}$ підкоряється експоненціальному закону. Цей закон свідчить, що найбільш імовірними є найменші значення кидків струмів: якоря з $I_{\text{я max}} = 820$ А та з імовірністю 0,33 та обмотки збудження з $I_{\text{з max}} = 650$ А з імовірністю 0,355.

В той же час, кидки струмів якоря з максимальними значеннями 400...1600 А при ПЗ-1...ПЗ-4 і різних ΔU напруги з'являються з імовірністю 0,8, а імовірність появи кидків $I_{\text{я max}} \geq 2000$ А не перевищує 0,05 рис. 4.4, а. За аналогією, імовірність появи амплітудних значень струму в обмотці збудження $I_{\text{з max}} = 250...1000$ А складає 0,79, а $I_{\text{з max}} \geq -0,1$ рис. 4.4, б. Приведені

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

імовірності появи значень $I_{\max}$ обумовлюють необхідність проведення аналізу перехідних електромагнітних процесів в силових колах ТЕП з метою виявлення причин відмов їх електричних двигунів.

а)



б)

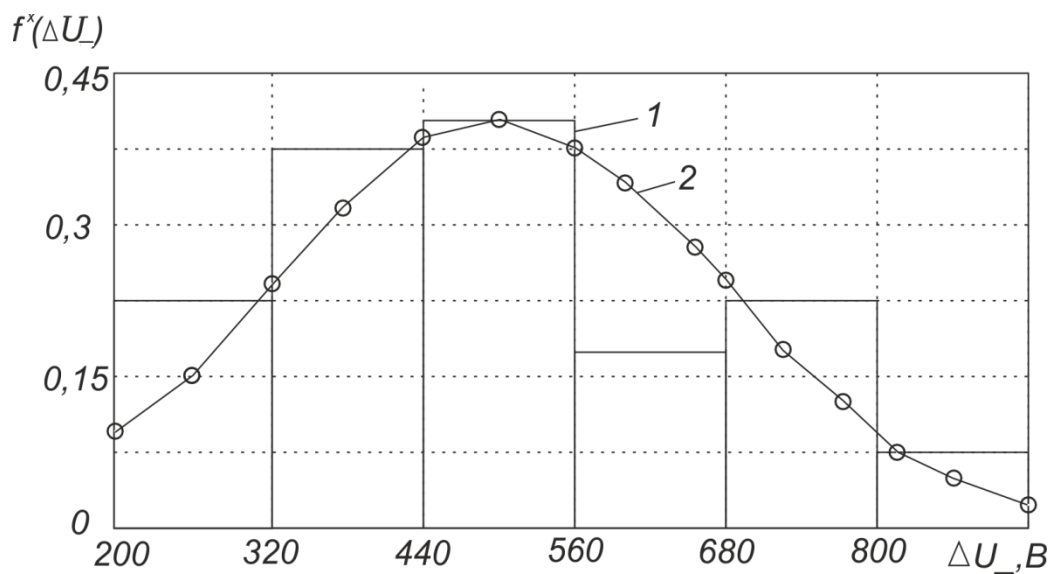
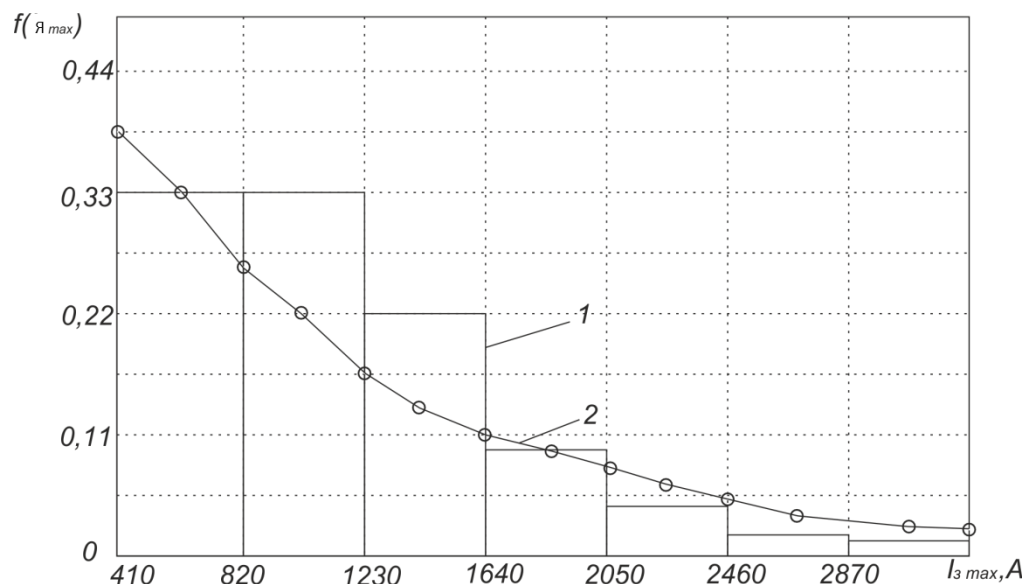


Рис. 4.3. Експериментальний (1) і теоретичний (2) закони розподілу імовірності поштовхів – зростань ΔU_+ (а) та поштовхів – спадів ΔU_- (б) напруги на струмоприймачі електровоза ДЕ1 при його експлуатації на ділянках Придніпровської залізниці

а)



б)

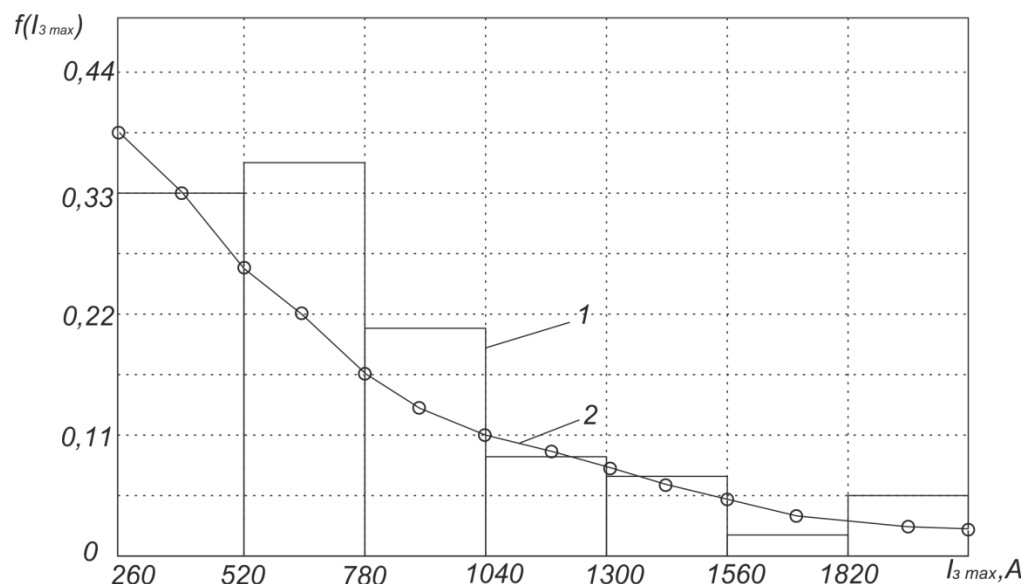


Рис. 4.4. Статистичний (1) та теоретичний (2) закони розподілу кидків струму якоря (а) та струму збудження (б) при різних ступенях послаблення збудження поля та поштовхах напруги

4.4 Рекомендації щодо захисту від струмових перевантажень ТЕП

Як свідчать результати виконаних в цій роботі розрахунків, максимальне значення струму якоря в режимі поштовху – зростання при $\Delta U_+ = 0,33 \cdot U_{\text{ном}}$ і ПЗ-4 досягає 2673 А, що становить кратність 4, 73 відносно $I_{\text{ном}} = 565$ А.

Згідно аналогічних розрахунків, амплітуда струму в обмотці збудження за тих же умов досягає 2034 А, тобто є 3, 6 кратною. В той же час, як показує практика експлуатації ТЕП, при значенні струму якоря, рівному 4...4, 5 – кратному $I_{\text{ном}}$, на колекторі електродвигуна ТЕП виникає коловий вогонь, який, як правило, виводить із ладу цей двигун. Тому потрібно передбачати певну систему захисту або певні заходи недопущення струмових перевантажень.

За нашою думкою, основною причиною значених величин $I_{\text{я max}}$ є недостатня величина індуктивності $L_{\text{ш}}$ індуктивних шунтів шунтувальної вітки рис. 1.1 ТЕП електровозів ДЕ1, зараз вона складає $4 \cdot 10^{-3}$ Гн. Тому першим, і основним способом захисту від струмових перевантажень є збільшення $L_{\text{ш}}$ удвічі, тобто до $8 \cdot 10^{-3}$ Гн, тоді, як показують розрахунки, величина $I_{\text{я max}}$ зменшиться до безпечного значення в 1680 А (кратністю 3, 0).

Другим способом недопущення аварійних значень $I_{\text{я max}}$ є зниження у 2 рази інтенсивності дії вихрових струмів в магнітопроводі ТЕП. Це можливо здійснити виконанням осердів головних полюсів електродвигуна ТЕП із лакованої електротехнічної сталі з товщиною пластин $\delta < 0,5$ мм.

Нарешті, третім заходам недопущення струмових перевантажень в ТЕП є застосування будь-яких способів, що обмежують коливання живлячої напруги не вище $15\% \cdot U_{\text{ном}}$. Цей захід обумовлюється наступним. Розрахунками доведено, що кидок струму якоря кратністю $(4...4, 73)I_{\text{ном}}$ виникає, при так званих, «критичних» параметрах режиму роботи ТЕП, тобто, при $\Delta U_{+} = 33\% \cdot U_{\text{ном}}$, $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$ і ПЗ-4. Імовірність виникнення цього режиму залежить від умов експлуатації електровозів ДЕ1 на певній електрифікованій ділянці залізниці, у тому числі і від наявності методів і пристроїв, що обмежують коливання напруги на електровозі й тим самим не допускають її поштовхи не більше $15\% \cdot U_{\text{ном}}$.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги безпеки під час виконання досліджень

Студенти, які виконують дослідження, допускаються до виконання робіт тільки після проходження вступного інструктажу з охорони праці, інструктажу з охорони праці на робочому місці, а також навчання надання першої допомоги потерпілим.

Проведення всіх видів інструктажів повинно реєструватися в журналах реєстрації інструктажів з обов'язковими підписами тих, хто отримав і проводив інструктажі.

Кожному студенту необхідно вміти надавати першу допомогу.

Студентам слід: мати відповідний одяг для проведення досліджень; мати охайний вигляд відповідно до вимог місця дослідження; не вживати їжу під час досліджень.

Вимоги безпеки до робочих місць працівників з екранними пристроями

1. Робочі місця працівників з екранними пристроями мають бути спроектовані так і мати такі розміри, щоб працівники мали простір для зміни робочого положення та рухів.

2. Для забезпечення безпеки та захисту здоров'я працівників усе випромінювання від екранних пристроїв має бути зведене до гранично допустимого рівня (вплив на людину факторів довкілля - шуму, вібрації, забруднювачів, температури тощо, який не спричиняє соматичних або психічних розладів, а також змін стану здоров'я, працездатності, поведінки, що виходять за межі пристосувальних реакцій) з погляду безпеки та охорони здоров'я працівників.

3. Приміщення для роботи з ЕОМ- електрично обчислювальних машин, повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28:2018.

4. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

природною освітленості (КПО) не нижче ніж 1,5%. Розраховується КПО за методикою, викладеною в СНиП II-4-79.

5. Штучне освітлення в приміщеннях з робочими місцями, обладнаними ЕОМ, має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення. У виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях, у разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

6. Зазначення освітлення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк. Якщо ці значення освітленості неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцева освітлення. При цьому світильники місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати бліків на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300 лк.

7. Виробничі приміщення для роботи з ЕОМ (операторські, диспетчерські) не повинні межувати з приміщеннями, в яких рівні шуму і вібрації перевищують допустимі значення (виробничі цехи, майстерні тощо) за ДСН 3.3.6-037-99

8. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ЕОМ, мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6-037-99

9. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ЕОМ, мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6-037-99

10. Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

11. Звукоізоляція огорожувальних конструкцій приміщень з ЕОМ має забезпечувати параметри шуму, що відповідають вимогам ДСН 3.3.6-037-99.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

12. Приміщення для роботи з ЕОМ мають бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря, або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. Нормовані параметри мікроклімату, іонного складу повітря, вмісту шкідливих речовин мають відповідати вимогам СН 4088-86, СН 2152-80, ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.007-76

13. Організація робочого місця працівника з екранними пристроями має забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним, антропологічним, психофізіологічним вимогам, а також характеру виконуваних робіт.

14. Освітлення робочого місця працівника з екранними пристроями має створювати відповідний контраст між екраном і навколишнім середовищем (з урахуванням виду роботи) та відповідати вимогам ДСанПІН 3.3.2.007-98.

15. Мікроклімат виробничих приміщень з робочими місцями працівників з екранними пристроями має підтримуватись на постійному рівні та відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42 (далі - ДСН 3.3.6.042-99).

16. Робочий стіл або робоча поверхня повинні бути достатнього розміру та мати поверхню з низькою відбивною здатністю, допускати гнучкість під час розміщення екрана, клавіатури, документів і відповідного устаткування.

17. Робоче крісло має бути стійким і дозволяти працівнику з екранними пристроями легко рухатися та займати зручне положення. Сидіння має регулюватися по висоті, спинка сидіння - як по висоті, так і по нахилу. Слід передбачати підніжку для тих, кому це необхідно для зручності. підніжку для тих, кому це необхідно для зручності.

Мінімальні вимоги безпеки під час роботи з екранними пристроями

1. Щодня перед початком роботи необхідно очищати екранні пристрої від пилу та інших забруднень.

2. Після закінчення роботи екранні пристрої слід відключати від електричної мережі.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити екранний пристрій від електричної мережі.

4. Не допускається:

4.1 виконувати технічне обслуговування, ремонт і налагодження екранних пристроїв безпосередньо на робочому місці працівника під час роботи з екранними пристроями;

4.2 відключати захисні пристрої, самочинно проводити зміни у конструкції та складі екранних пристроїв або їх технічне налагодження;

4.3 працювати з екранними пристроями, у яких під час роботи виникають нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані та інші несправності [41]

Мінімальні вимоги безпеки до екранних пристроїв

1. Екранні пристрої не мають бути джерелом ризику для працівників.

2. Усе випромінювання, за винятком видимої частини електромагнітного спектра, має бути зведене до незначного рівня з погляду безпеки і охорони здоров'я працівників.

3. Символи на екранних пристроях мають бути чіткими, відповідного розміру. Між символами і рядками символів має бути належна відстань.

4. Зображення на екрані має бути стабільним, без миготінь або інших видів нестабільності.

5. Яскравість та/або контрастність символів має легко регулюватися працівником під час роботи з екранними пристроями, а також швидко адаптуватися до навколишніх умов.

6. Вибираючи екрани, слід надавати перевагу таким екранам, які легко та вільно повертаються і нахиляються відповідно до потреби працівника.

7. За необхідності може використовуватись окрема підставка або регульований стіл для розміщення екрана.

8. Екран не має відблискувати або відбивати світло, щоб не викликати дискомфорту у працівника під час роботи з екранними пристроями.

9. Вибираючи клавіатуру, слід надавати перевагу такій клавіатурі, яка відкидається і є автономною (відокремленою від екрана), щоб працівник міг вибрати зручну робочу позу й уникнути втоми рук (кисті і верхньої частини руки).

10. Поверхня клавіатури має бути матовою, щоб уникнути віддзеркалювання. Розташування клавіш і самі клавіші мають полегшувати роботу із клавіатурою. Позначення клавіш повинно бути достатньо контрастним і розбірливим.

11. Устаткування, яке входить до робочої станції, не має виділяти надлишкового тепла, що може спричинити незручності працівникам під час роботи з екранними пристроями.

12. Під час розробки, вибору, замовлення та модифікації програмного забезпечення, а також під час розробки завдань, що передбачають використання устаткування з екранними пристроями, роботодавець має керуватися таким програмним забезпеченням, яке відповідає розв'язуваним завданням і є простим у використанні, а де необхідно - адаптованим до рівня знань і досвіду працівника [40]

На робочому місці, обладнаному персональним комп'ютером:

- екран повинен бути розміщений нижче рівня очей на 5° , знаходитися в прямій площині або з нахилом на студента (15°);
- відстань від очей студента до екрану повинна бути 60–80 см;
- місцеві джерела світла по відношенню до робочого місця повинні розташовуватися таким чином, щоб не було потрапляння в очі прямого світла, і повинні забезпечувати рівномірну освітленість на поверхні 40x40 см, не створювати сліпучих відблисків на клавіатурі й інших частинах пульта, а також на екрані відеотермінала в напрямку очей працівника;
- документацію, паперові матеріали слід тримати на відстані, не менше 1,00 м – від електрощитів, проводів, кабелів; 0,50 м – від світильників; 0,25 м – приладів опалення.

– На електрощитах, групових електрощитах повинні бути присутні схеми підключення споживачів з пояснювальними надписами та зазначеними струмом апарату захисту (плавка вставка).

– для попередження зорової та загальної втоми після кожної години роботи необхідно робити перерви;

– слід протягом усього робочого часу тримати в порядку та чистоті робоче місце.

Під час роботи в приміщенні забороняється:

– торкатися до задньої панелі системного блоку при включеному живленні;

– засмічувати верхню панель пристроїв сторонніми предметами, паперами;

– відключати живлення під час виконання активної задачі;

– захащувати робоче місце;

– допускати потрапляння вологи на поверхню монітора, системного блоку, робочу поверхню клавіатури, дисководів, принтерів;

– самостійно ремонтувати обладнання;

– використовувати несправні електроприлади і електропроводку;

– очищати від забруднення та пилу включені електричні лампи та освітлювальні апарати;

– вішати електропровід на цвяхи, металеві та дерев'яні предмети, перекручувати провід, класти на водопровідні труби та батареї опалення, витягати вилку за шнур із розетки;

– наступати на електричні проводи, що лежать на підлозі;

5.2 Дії працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях

Загальною метою є забезпечення пожежної безпеки частини виробничих та інших робіт посадових персон, робітників підприємств, установ, підприємств та

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

організацій. Це має бути відтворено у трудових контрактах (договорах) та статутах установ, підприємств та організацій.

Щоб забезпечити безпеку пожежної складової в установах, організаціях і підприємствах вона має бути покладена на плечі керівників та уповноважених ними людей, в тому разі, якщо інше не окреслено договором відповідного характеру.

Планування будь-чого, заміна призначення приміщень, робиться тільки при наявності проєктної документації, що мала пройти попередню перевірку на відповідність нормативним актам з огляду пожежної безпеки з позитивним підсумком в органах пожежного нагляду державного рівня.

Складові частини, устаткування та меблі повинні розташовуватись так, щоб мати вільний доступ до евакуаційного проходу на вихід з приміщення (шириною не менше 1,00 м). Евакуаційні шляхи та виходи мають бути вільними, не захащеними зайвими речами. Накопичення відходів, що мають властивість горіння слід прибирати у відповідні сміттєзбірники.

Електромережі, апаратура та електроприлади мають експлуатуватися виключно у справному стані та з урахуванням рекомендацій заводів виробників. У разі кепського стану електромереж, розеток, вимикачів та інших приладів слід негайно знеструмити їх і вжити негайно необхідних заходів щодо втілення пожежобезпечного стану. Документацію, паперові матеріали слід тримати на відстані, не менше 1,00 м – від електрощитів, проводів, кабелів; 0,50 м – від світильників; 0,25 м – приладів опалення.

Евакуаційні проходи, в яких не має місце природному світлу, повинні при наявності людей постійно освітлюватись електричними засобами освітлення.

На електрощитах, групових електрощитах повинні бути присутні схеми підключення споживачів з пояснювальними надписами та зазначеними струмом апарату захисту (плавка вставка).

Встановлення на горючі конструкції розеток, перемикачів, вимикачів та інших схожих апаратів допускається тільки за умови підкладання під них

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

суцільного матеріалу, що має властивість вогнестійкості, який повинен перевищувати габарити апарату більше ніж 0,01 м.

Щодо засобів протипожежного захисту, то їх потрібно утримувати у справному стані. Працівники офісу зобов'язані вміти використовувати наявні вогнегасники, інші первинні засоби пожежогасіння, а також внутрішніми кранами для гасіння пожеж та знати місця на яких вони розташовуються.

Сповіщувачі пожеж повинні працювати цілодобово і постійно підтримуватись в чистоті. До них повинен бути вільний доступ, відстань від устаткування і складських матеріалів до сповіщувачів має бути не менше 0,60 м.

Незалежно від призначення, у приміщеннях при закінченні роботи приладів та електроустановок, контроль здійснюється черговим персоналом, з кожної мережі живлення має бути відключено напругу (окрім чергового освітлення, охоронних систем та протипожежних установок, а також електроустановок, що по технології повинні працювати цілодобово).

Службові приміщення (офіси) мають заборону:

- улаштування тимчасових електромереж, застосування саморобних некаліброваних плавких вставок в запобіжниках і саморобних подовжувачів, які не відповідають правилам улаштування електроустановок, експлуатувати світильники зі знятими розсіювачами;

- використання вимикачів та штепсельних розеток для розвішування на них предметів одягу та інше, обгортання електроламп й світильників папером, заклеювання ділянок електропроводки горючою тканиною або ж папером;

- користування мікрохвильовими печами, електрочайниками та ін. (лише в спеціально відведених і обладнаних місцях), без нагляду залишати ввімкнені в електромережу комп'ютери, кондиціонери, інше електроустаткування, а також не дотримуватись правил експлуатації електроприладів;

- захащування підходів до засобів пожежогасіння, використання пожежних кран-комплектів і пожежного інвентаря не за призначенням;

- використання для зберігання різних матеріалів, в тому числі документів, а також предметів та інвентарю в шафах інженерних комунікацій;

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– куріння (окрім відведених місць, що позначені надписом «Місце для куріння» та обладнаних смітником або попільничкою з негорючого матеріалу), проведення зварювальних та інших вогневих робіт без оформлення відповідного наряду-допуску.

Відповідальна особа з питань пожежної безпеки після закінчення робіт зобов’язана провести:

– ретельне оглядання всіх службових приміщень, пересвідчитись у тому, що нема недотримань та порушень, що можуть призвести до пожежі;

– вимкнення освітлення, знеструмлення приладів та устаткування (окрім електроустаткування, що відповідно до вимог технології має працювати весь час доби). Дії та зобов’язання працівників у разі виникнення пожежної ситуації:

У разі виявлення пожежної ситуації (ознак горіння) кожний працівник повинен виконати наступні дії:

– негайне повідомлення пожежної служби (номер для виклику – 101. В дзвінку відповідно назвати адресу об’єкта (підприємства), поверхи будівлі, світильників папером, заклеювання ділянок електропроводки горючою тканиною або ж папером; – користування мікрохвильовими печами, електрочайниками та ін. (лише в спеціально відведених і обладнаних місцях), без нагляду залишати ввімкнені в електромережу комп’ютери, кондиціонери, інше електроустаткування, а також не дотримуватись правил експлуатації електроприладів;

– захарашування підходів до засобів пожежогасіння, використання пожежних кран-комплектів і пожежного інвентаря не за призначенням;

– використання для зберігання різних матеріалів, в тому числі документів, а також предметів та інвентарю в шафах інженерних комунікацій;

– куріння (окрім відведених місць, що позначені надписом «Місце для куріння» та обладнаних смітником або попільничкою з негорючого матеріалу), проведення зварювальних та інших вогневих робіт без оформлення відповідного наряду-допуску.

Відповідальна особа з питань пожежної безпеки після закінчення робіт зобов’язана провести:

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– ретельне оглядання всіх службових приміщень, пересвідчитись у тому, що нема недотримань та порушень, що можуть призвести до пожежі;

– вимкнення освітлення, знеструмлення приладів та устаткування (окрім електроустаткування, що відповідно до вимог технології має працювати весь час доби).

Дії та зобов'язання працівників у разі виникнення пожежної ситуації:

У разі виявлення пожежної ситуації (ознак горіння) кожний працівник повинен виконати наступні дії:

– негайне повідомлення пожежної служби (номер для виклику – 101. В дзвінку відповідно назвати адресу об'єкта (підприємства), поверхи будівлі, місце пожежі, наявність людей, обстановку на пожежі, а також необхідно повідомити своє прізвище;

– довести до відому відповідальних осіб та керівника підрозділу про пожежу;

– якщо є необхідність, зателефонувати на інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо);

– по можливості вжити заходи щодо евакуації людей та збереження майна, гасіння пожежі за допомогою вогнегасників, а також інших наявних засобів пожежогасіння.

Офіційна особа (посадова) об'єкта, що прибула на місце пожежі, повинна виконати наступне:

– перевірити, чи викликана пожежна служба (продублювати повідомлення);
– у разі того, що є ризик загрози життю людей негайно провести організовану евакуацію, а також захист майна;

– перевести всіх працівників до безпечної зони, які не пов'язані з ліквідацією пожежі;

– всі роботи, що проводилися в будівлі потрібно зупинити, крім тих робіт, що пов'язані з ліквідацією пожежі;

– здійснити знеструмлення мережі (крім систем протипожежного захисту), зупинити систему вентиляції (крім пристроїв протидимного захисту);

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі;
- організувати зустріч підрозділів пожежної служби, забезпечити безперешкодний доступ їх до місця виникнення пожежі та надати їм допомогу під час локалізації та ліквідації пожежі [39].

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Поштовхи-зростання живлячої напруги ТЕП з імовірністю 0,75...0,8 складають $(7,1...20,5)\%U_{\text{ном}}$, а поштовхи –спади з імовірністю 0,68...0,79 досягають $21,5\%U_{\text{ном}}$.

2. Імовірність появи кидків струму якоря значеннями 1400...1600 А при різних величинах ΔU_+ і ступенях ПЗ-1...ПЗ-4 складає 0,75, а величиною $I_{\text{я max}} \geq 2000 \text{ А}$ - 0,6.

3. Кратність кидків струму якоря і обмотки збудження у режимі поштовхів-зростання суттєво залежать від значень величин: ΔU_+ , $I_{\text{поч}}$, а також від ступеня послаблення збудження: з їх збільшенням кратності струмів зростають і у найбільш небезпечному режимі, при $\Delta U_+ = 33\%U_{\text{ном}}$, $I_{\text{поч}} = I_{\text{ном}}$ і ПЗ-4, відповідні кратності складають 4,73 і 3,53, які є «критичними» для можливої появи колового вогню на колекторі двигуна ТЕП з наступним його виходом із ладу.

4. В режимах поштовхів-спадів напруги кидки струму якоря, по-перше, безпечні, бо їх максимальні значення не перевищують 550 А, а, по-друге, змінюють свої напрямки на зворотній при- $\Delta U_- > 500 \text{ В}$, однак тривалість генераторного (рекуперованого) струму $i_{\text{я}}(t)$ коротка (до 0,1с) і тому його наявність не допомагає у вирішенні задачі економії електроенергії при роботі ТЕП.

5. В якості заходів зниження максимальних значень кидків струмів рекомендуються: збільшення у 2 рази значення індуктивності $L_{\text{ш}}$ індуктивного шунта шунтовальної вітки електродвигуна ТЕП; виготовлення шихтованих осердів головних полюсів із лакованої сталі з товщиною листів $\delta < 0,5 \text{ мм}$; застосування будь-яких способів і пристроїв, що обмежують коливання живлячої напруги ТЕП не вище $15\%U_{\text{ном}}$.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Костин Н. А., Лоза П. А., Лейбович Л. А., Васильев В. Е. Характеристика отказов основного оборудования электровозов ДЭ 1./36. наук. праць ДДТУЗТ. Наука і освіта. -Дніпропетровськ: -2001.-Вип. 7. с.7-11.
2. Чумак В. В., Браташ В. А. Перспективы развития электровозостроения в Украине:/36. наук. праць ДНУЗТ. -Дніпропетровськ: -2002.-Вип. 11.- с. 3-4.
3. Бондарь Б. Е., Очкасов А.Б., Бондарь Е. Б., Гилевич О. И. Повышение эксплуатационной надёжности электровозов ДЭ 1./36. наук. праць ДНУЗТ. - Дніпропетровськ.-2002.-Вип. 11. с.134-137.
4. Электродвигатели постоянного тока тяговые ЭД 141У1, ЭД 141АУ1. Технические условия. БИЛТ 652341.002 ТУ, Харьков: ГП завод «Электротяжмаш», 1994-12 с.
5. Костін М. О. Теоритичні основи електротехніки. Том 3. Частина 1. Дніпропетровськ, ДНУТЗ, 2011.-224 с.
6. Шапиро О. Н. К расчёту переходных процессов в машинах постоянного тока. Москва: Труды Всесоюзного энергетического института (ВЭИ). — 1944. —№ 10, - с.38-44.
7. Шапиро О. Н. Об эквивалентности массивного сердечника и короткозамкнутого контура в переходных процессах.//Труды ВЭИ. — Москва: -1946.-№ 4.-с.87-94.
8. Карш В. А. Расчёт нестационарных режимов тягового двигателя при ослабленном поле. Сб. трудов ЛИИЖТа. Трансжелдориздат.-1955. — Вып. 149.
9. Прасслер Л. Процессы включения цепи возбуждения электрических машин с массивными стальными частями магнитопровода. Перевод торговой палаты. Сентябрь, 1957.
10. Шапиро О. Н. Влияние вихревых токов на переходные процессы в тяговых электродвигателях.//Труды ВЭИ.-Москва:-1958.-№ 11.
11. Рюденберг Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах — Москва: Издательство иностранной литературы, 1959.-20с.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

12. Фетисов В. В. Об эквивалентности массивного участка магнитопровода в системе короткозамкнутых катушек расслоёнными сердечниками.//Труды Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина.-Ленинград: -1960.-Вып. 209.-с. 338-351.

13. Фетисов В. В. Расчет процессов возбуждения и гашения магнитного поля генераторов станиной.//Труды постоянного тока массивной ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина. Ленинград: - 1960.-Вып. 209. -с. 68-70.

14. Карибов С. И., Тулупов В. Д., Марченко А. П., Зосимов В. Г. Метод расчёта переходных процессов в электрических цепях с машинами постоянного тока//Электротехника.-1980. —№3.-с. 23-26.

15. Фетисов В. В., Седова И. Ю. Анализ параметров эквивалентных вихревых контуров при произвольных геометрических характеристиках массивных участков магнитопровода//Изв. ВУЗОВ. Электромеханика. - 1989.-№10.-с. 65-71.

16. Фетисов В. В., Седова И. Ю. Расчёт переходных процессов в цепи возбуждения машин постоянного тока с учётом вихревых токов в массивных участках магнитопровода//Электротехника.-1992. -№ 2. - С.50-53.

17. Осташевский Н. А., Волков С. В. Усовершенствованный метод расчёта вихревых токов массивных элемента магнитопровода машин постоянного тока./Труды Всесоюзной научно-технической конференция. -Москва: 1989.-Вып. 86.-с.68-70.

18. Осташевский Н. А., Волков С. В. Параметрі вихревих контурів динамічної математическої моделі двигателя постоянного тока/Вестник ХГПУ. Новое решение в современных технологиях. - Харьков: - 2000.-№51.-с.69-71.

19. Рунов Ю. А. Исследование электромагнитных переходных процессов в тяговых двигателях электроподвижного состава.//Труды ЦНИИ МПС. Повышение надёжности и совершенствование ремонта электровоза. - Москва: Транспорт,-1974.-Вып. 516.-с.79-92.

20. Набалдян Д. Б. Переходные процессы в силовых цепях электровоза постоянного тока с регулируемыми характеристиками при резких колебаниях

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

напряжения на токоприёмнике: Автореф. дис...канд.наук / Ленингр.ордена Ленина ин-т железн. дор. тр-та.-Л., 1963.-19 с.

21. Вольф А. М. Исследование влияния отклонения напряжения контактной сети от номинальной величины на нагревание тяговых двигателей электровозов постоянного тока: Автореф. дис...канд.наук / Всесоюзн. научно-исслед. ин-т железн. тр-та-Москва, 1963.—20 с.

22. Суровиков А. А. Скобелев В. Е. Метод приближённой оценки потенциальных условий на коллекторе тягового двигателя в переходном режиме питания после его длительной восстановления потери.//Электровозостроение.-1966.-Том 7.-с. 114-128.

23. Улановский М. Б. Эффективный алгоритм расчёта характеристик электровозов при меняющемся напряжении. Труды ЦНИИ МПС. 1969. - Вып. 395.-с.63-79

24. Улановский М. Б. К решению уравнения движения поезда при электрической тяге. Труды ЦНИИ МПС.- 1970.-Вып. 412.-с.40-61.

25. Марквард Г.Г., Гатальский Г.И. Метод производства тяговых расчетов на СВМ с учётом изменяющегося напряжения на токоприёмнике электровоза. Труды ВЗИИТа. 1975.-Вып. 74.-с.59-63.

26. Блохин Е. П., Скалозуб В.В. Анализ и моделирование компонентов системы поезд электротяговая сеть.//3б. наук. пр. ДПТ. Днепропетровск: Наука і освіта, 2001.-Вып. 9. с.23-30.

27. Блохин Е. П., Пшинько А. Н., Евдомах Г. В., Скалозуб В. В. Выбор энергетически оптимальных методов ведения поездов.//Залізничний транспорт України. -2001.-Но 6.-с.19-22.

28. Рамлов В. А., Привалов В. В. Аналоговое моделирование процессов в силовой схеме электровоза ЧС 2 при переключении группового аппарата. Труды ВЗИИТа.- 1971.-Вып. 153.-с. 119-129.

29. Саенко Н. Л., Лобанов Л. М. Метод определения максимального значения тока якоря тягового двигателя переходных режимах./Электровозостроение. -1971.-Том 13.-с. 64-73.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

30. Великанов С. А. Исследование коммутационной устойчивости двигателя НБ-418К в режиме потери-восстановления питающего напряжения. //Электровозостроение. -1971.-Том 13.- с. 57-63.
31. Логинов И. Я. Исследования переходних процессов в схемах электровозов при толчкообразном изменении напряжения: Автореф. дис...канд.наук / РИИЖТ-Ростов-на-Дону, 1972.-21с.
32. Долгошеев Э. А., Лобанов Л. М., Степаненко А. С. Влияние начальных установившихся значений напряжения и тока тягового двигателя на его работоспособность в переходных режимах.//Электровозрастание.-1980.-Том 21.- с.119-130.
33. Міщенко Т. В. Підвищення ефективності роботи систем захисту силових кіл електровозу ДЕ 1на основі досліджень перехідних аварійних електромагнітних процесів: Автореф. дис...канд.наук / Дніпропетровськ – 2007, 22 с.
34. Михаліченко П. Є. Наукове обґрунтування та розробка засобів підвищення ефективності роботи системи електричної тяги постійного струму при аварійних режимах: Автореф. дис...канд.наук / Дніпропетровськ – 2013, 2 с.
35. Венецкий И.Г. Основы математической статистики .-Москва:1963-308с.
36. Барковський В. В. Теорія імовірностей та математична статистика .-Київ: Центр навчальної літератури, 2006-424с.
37. Мамошин Р. Р. Электроснабжение электрифицированных железных дорог,-М: Транспорт, 1980.-296 с.
38. Марквардт К. Г. Теорія імовірностей та математична статистика .-Київ: Центр навчальної літератури, 1982.-528 с.
39. НАОП 5.1.11-1.41-78 «Правила пожежної безпеки» (ЦУО - 3725). «Правила пожежної безпеки в Україні» – К.:Укрархбудінформ, 1995. – URL: <https://dnaop.com/doc/31755.doc>
40. НПАОП 0.00-7.15-18 «ВИМОГИ щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» Наказ Міністерства соціальної політики України 14.02.2018 № 207 – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18#Text>

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист 65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

41. ДСанПІН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»
Постанова Головного державного санітарного лікаря України 10 грудня 1998 р.
№ 7 207 – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Стан поставленої проблеми та характеристики досліджуваного електроприводу.
2. Імовірно-стастичний аналіз стохастичних напруги і струму електроприводу.
3. Вплив поштовхів-зростань живлячої напруги на електромагнітні процеси в електроприводі.
4. Вплив поштовхів-спадів живлячої напруги на електромагнітні процеси в електроприводі.

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

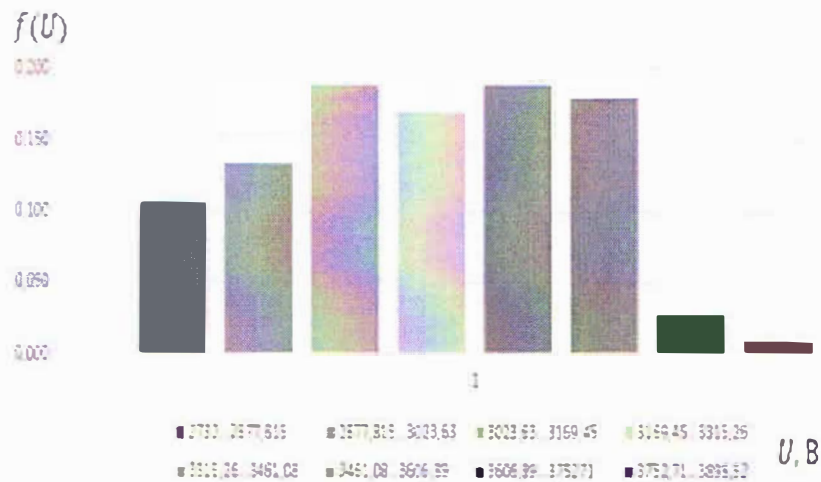
ДОДАТОК А

					0024.ДМР21.02.ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[illegible]

					СТАН ПОСТАВЛЕНОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДУВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ				
					Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму	Літ.		Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				1	1 : 1
Розроб.		Воскобойник В.М.		10.12.21					
Перевір.		Костін М.О.		20.12					
Т. Контр.						Арк.	69	Аркушін	72
Реценз.									
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12.21	0024.ДМР21.02.ПЗ	Український державний університет науки і технологій гр. ФП2021			
Затверд.		Муха А.М.							

Статистичне розподілення напруги



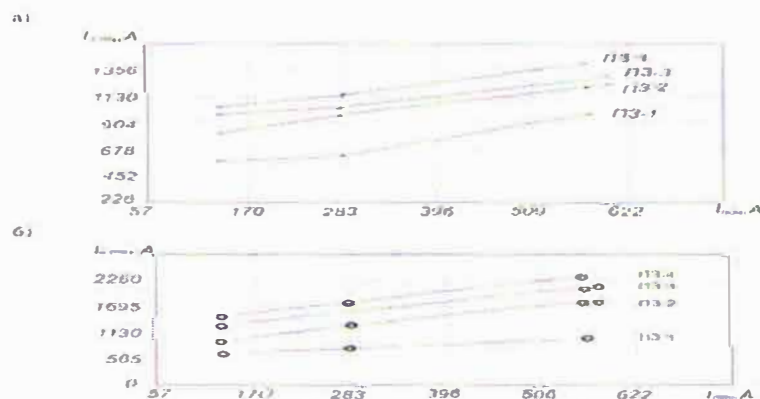
					ІМОВІРНО-СТАСТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТОХАСТИЧНИХ НАПРУГ І СТРУМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ			
					Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Воскобойник В.М.	<i>[Signature]</i>	20.10.18	Літ.		Маса	Масштаб
Перевір.		Костін М.О.	<i>[Signature]</i>	20.10.18			1	1 : 1
Т. Контр.					Арк.	70	Аркунів	72
Реценз.					0024.ДМР21.02.ПЗ			
Н. Контр.		Карцова О.О.	<i>[Signature]</i>	22.12				
Затверд.		Муха А.М.	<i>[Signature]</i>	20.11				
					Український державний університет науки і технологій г.р. ЕП2021			



Залежності в часі перехідних нелиній струму якоря (а) і струму обмотки збудження (б) у режимі ПЗ-2 при $I_{\text{ном}} = I_{\text{ном}}$ і різних поштовхах зростаннях $\Delta U_{\text{ном}}$: 1 – при 5% $U_{\text{ном}}$; 2 – 15% $U_{\text{ном}}$; 3 – 33% $U_{\text{ном}}$



Часові залежності максимальних значень струму якоря $I_{\text{а, макс}}$ (а) і струму обмотки збудження $I_{\text{в, макс}}$ (б) від початкового значення струму $I_{\text{ном}}$ у режимі ПЗ-4 (а) при різних поштовхах зростання напруги $\Delta U_{\text{ном}}$: крива 1 – при $\Delta U_{\text{ном}} = 5\%$ $U_{\text{ном}}$; 2 – 10% $U_{\text{ном}}$; 3 – 15% $U_{\text{ном}}$; 4 – 33% $U_{\text{ном}}$



Графіки залежності струму збудження (а) $I_{\text{в, макс}}$ і струму якоря (б) $I_{\text{а, макс}}$ початкового значення струму $I_{\text{ном}}$ при початкових напругах $\Delta U_{\text{ном}} = 15, 50$ та різних ступенях посилення збудження

					ВПЛИВ ПОШТОВХІВ-ЗРОСТАНЬ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ			
					Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			1	1:1
Розроб.		Воскобойник В.М.	<i>[Signature]</i>	20.12.21				
Перевір.		Костін М.О.	<i>[Signature]</i>	20.12.21				
Т. Контр.						Арк.	71	Аркушів 72
Реценз.					0024.ДМР21.02.ПЗ	Український державний університет науки і технологій г.р. ЕП2021		
Н. Контр.		Карцова О.О.	<i>[Signature]</i>	20.12.21				
Затверд.		Мука А.М.	<i>[Signature]</i>	20.12.21				

б)



1 V

Залежності перехідних величин струму в обмотці збудження (б) у режимі ПЗ4, при $I_{\text{зд}} = I_{\text{ном}}$ поштовхах спадів напруги $\Delta U_{\text{зд}}$ артка 1 – при

$\Delta U_{\text{зд}} = 0,05 U_{\text{ном}}$, 2- $0,1 U_{\text{ном}}$, 3- $0,155 U_{\text{ном}}$, 4- $U_{\text{ном}}$

а)

в)



Залежності перехідних величин струму якоря (в) у режимі ПЗ4, при

$I_{\text{зд}} = I_{\text{ном}}$ поштовхах спадів напруги $\Delta U_{\text{зд}}$ артка 1 – при $\Delta U_{\text{зд}} = 0,05 U_{\text{ном}}$

2- $0,1 U_{\text{ном}}$, 3- $0,155 U_{\text{ном}}$, 4- $U_{\text{ном}}$



б)



Експериментальний (1) і теоретичний (2) закони розподілу імовірності поштовхів – зростань $\Delta U_{\text{зд}}$ (а) та поштовхів – спадів $\Delta U_{\text{зд}}$ (б) напруги на струмоприймачі електровоза ДЕ1 при його експлуатації на ділянках Придніпровської залізниці

					ВПЛИВ ПОШГОВХІВ-СПАДІВ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ									
					Вплив стохастичного характеру зміни живлячої напруги на роботу тягового електроприводу постійного струму					Літ.		Маса	Масштаб	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									1	1 : 1
Розроб.		Воскобойник В.М.		19.12										
Перевір.		Костін М.О.		20.12										
Т. Контр.										Арк.	72		Аркушів	72
Реценз.					0024.ДМР21.02.ПЗ					Український державний університет науки і технологій г.р. ЕП2021				
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12										
Затверд.		Муха А.М.		21.12										