

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗМІННОГО СТРУМУ «ТЯГОВА МЕРЕЖА – ЕЛЕКТРОВОЗ».

### 3. ВМИКАННЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ; АНАЛІЗ НАПРУГ І СТРУМІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Стаття є продовженням аналізу електричної схеми заміщення змінного струму «тягова підстанція – пристрій поперечної компенсації– тягова мережа – електровоз ДС 3» та впливу на силовий трансформатор, який знаходиться в режимі холостого ходу, в залежності від фідерної напруги та відстані електровоза від тягової підстанції. Виконано чисельні розрахунки та проаналізовано значення напруги та струмів у системі електропостачання.

*Ключові слова:* математична модель, тягова підстанція, фідерна напруга, пристрій поперечної компенсації, параметри тягової мережі, електровоз, трансформатор

Статья является продолжением анализа электрической схемы замещения переменного тока «тяговая подстанция – устройство поперечной компенсации – тяговая сеть – электровоз ДС 3» и влияния на силовой трансформатор, который находится в режиме холостого хода, в зависимости от фидерного напряжения и расстояния электровоза от тяговой подстанции. Выполнены численные расчеты и проанализированы значения напряжения и токов в системе электроснабжения.

*Ключевые слова:* математическая модель, тяговая подстанция, фидерное напряжение, параметры тяговой сети, электровоз, трансформатор

The article is a continuation of analysis of the electric equivalent AC circuit «traction substation – device of transversal compensation – electric-traction network – electric locomotive DS 3» and the influence on a power transformer in the idle mode, depending on the feeder voltage and the distance of an electric locomotive from a traction substation. The numeral calculations are performed and the voltage and current values in the electric power supply system are analyzed.

*Keywords:* mathematical model, traction substation, feeder voltage, parameters of electric-traction network, electric locomotive, transformer

#### 1. Вступ

Ця робота є продовженням досліджень [1, 2], оскільки з практичної точки зору цікавим і потрібним є аналіз електромагнітних процесів не лише самого трансформатора електровоза при його вмиканні в режимі холостого ходу, але й процеси в елементах системи електропостачання. При цьому врахуємо роботу пристрою поперечної компенсації, а також режим коливання фідерної напруги і напруги на струмоприймачі електровоза. Розрахункові значення фідерної напруги приймали згідно ПТЕ та ГОСТ 6962-75:  $U_{\min} = 19$  кВ,  $U_{\text{ном}} = 25$  кВ,  $U_{\max} = 29$  кВ.

#### 2. Електрична схема заміщення та математична модель системи

Електрична схема заміщення одноколійної ділянки двостороннього живлення для зазначених умов представлена на рис. 1.

Згідно рис. 1, математична модель електромагнітних процесів є наступною системою нелінійних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 & R_{\text{тп}} \cdot i_{\phi}(t) + L_{\text{тп}} \cdot \frac{di_{\phi}}{dt} + R_{\text{пнк}} \cdot i_{\text{пнк}}(t) + \\
 & + L_{\text{пнк}} \cdot \frac{di_{\text{пнк}}}{dt} + \frac{1}{C_{\text{пнк}}} \int_0^t i_{\text{пнк}}(t) dt = 1,1 \cdot e_1(t); \quad (1) \\
 & -R_{\text{пнк}} \cdot i_{\text{пнк}}(t) - L_{\text{пнк}} \cdot \frac{di_{\text{пнк}}}{dt} - \\
 & - U_c(0) - \frac{1}{C_{\text{пнк}}} \int_0^t i_{\text{пнк}}(t) dt + \\
 & + (R_{\text{кп}} + R_{\text{р}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{кп}} + L_{\text{р}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + \\
 & + (R_{\text{др}} + R_{\text{тр}}) \cdot i_{\mu}(t) + \\
 & + (L_{\text{др}} + L_{\text{с}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 0; \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$i_{\phi}(t) - i_{\text{ппк}}(t) - i_{\mu}(t) = 0, \quad (3)$$

де індекс «ф» – фідер; «ппк» – означає параметри та електричні величини пристрою попере-

чної компенсації, схема та параметри якого представлені в [2]; «тм» – тягова мережа.

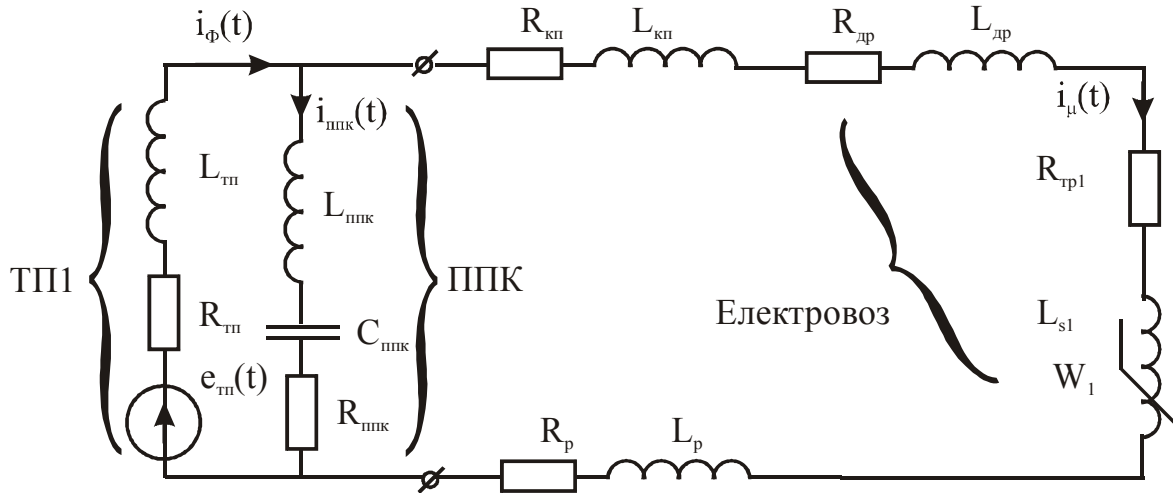


Рис. 1. Електрична схема заміщення фідерної ділянки з урахуванням пристрою поперечної компенсації та первинного кола тягового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу

### 3. Результати чисельних розрахунків та їх аналіз

Характер зміни в часі перехідних струмів фідерного  $i_{\phi}(t)$ , пристрою компенсації  $i_{\text{ппк}}(t)$  та тягової мережі  $i_{\text{тм}}(t)$  в залежності від фідерної напруги і місця знаходження електровоза в міжпідстанційній зоні (тобто відстані  $\ell$ ) однаковий (рис. 2 – 4). Однак кидки зазначених струмів різні (табл. 1 та рис. 5): найбільші максимальні значення, які досягають  $\sim 830$  А, спостерігаються у фідерного струму при  $U_{\text{max}}$  і  $\ell = 20$  км. Найбільша «реакція» зменшення амплітуди від  $\ell$  спостерігається для струму в тяговій мережі (рис. 5, в) і майже не змінюється кидок струму у вітці з пристроєм компенсації (рис. 5, б).

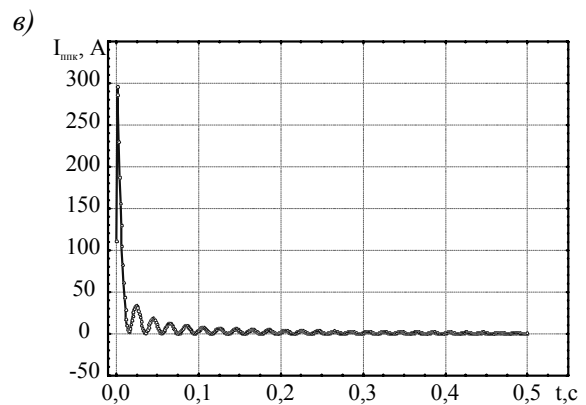
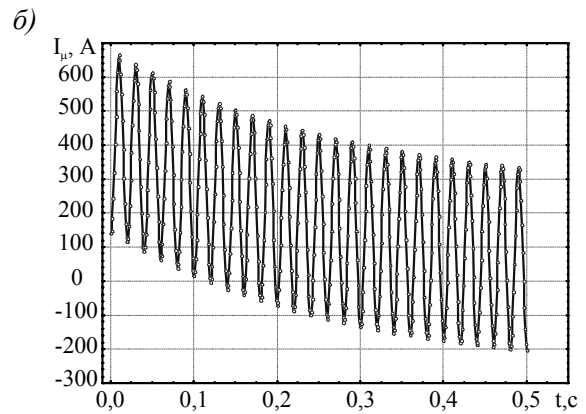
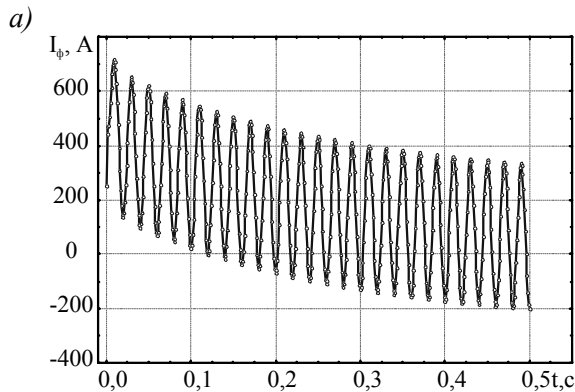


Рис. 2. Залежність струмів: фідерного (а)  $i_{\phi}(t)$ , у вітці пристрою поперечної компенсації (б)  $i_{\text{ппк}}(t)$  та в тяговій мережі (в)  $i_{\mu}(t)$  від часу на відстані 1 км від тягової підстанції при фідерній напрузі  $U_{\text{ном}}$

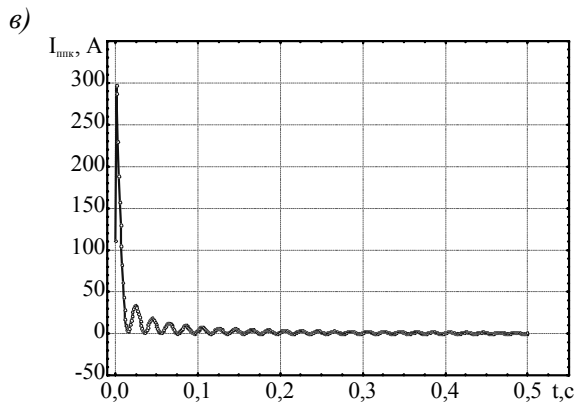
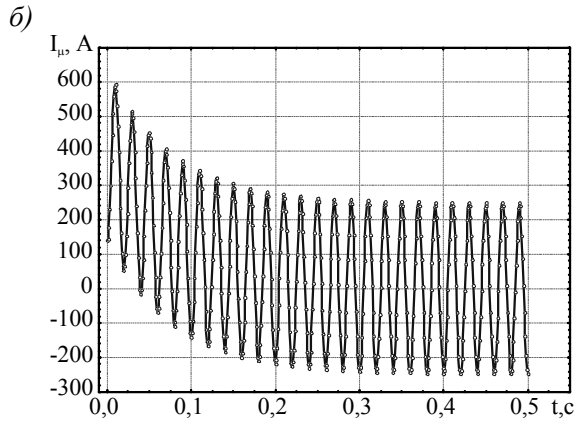
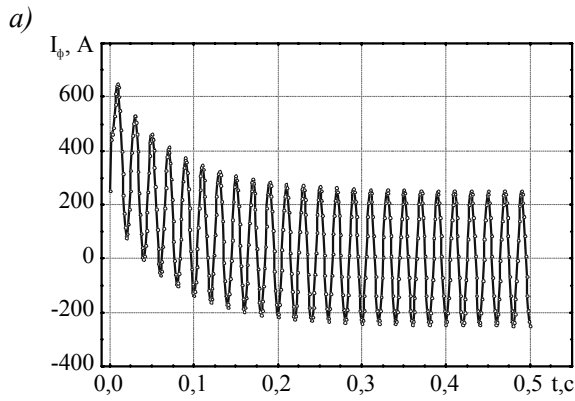


Рис. 3. Залежність струмів: фідерного (а)  $i_\phi(t)$ , у вітці пристрою поперечної компенсації (б)  $i_{\text{пнк}}(t)$  та в тяговій мережі (в)  $i_\mu(t)$  від часу на відстані 20 км від тягової підстанції при фідерній напрузі  $U_{\text{ном}}$

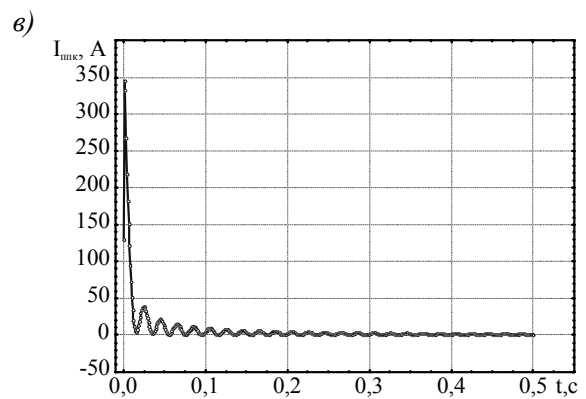
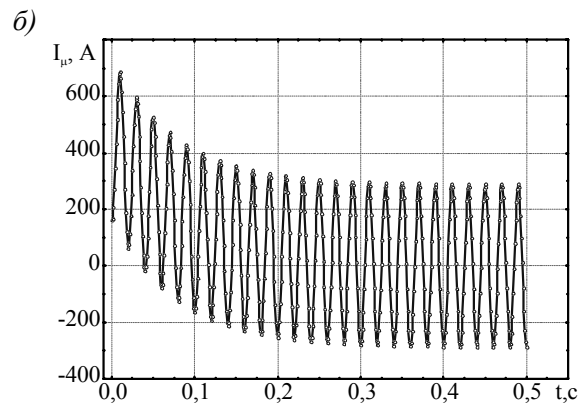
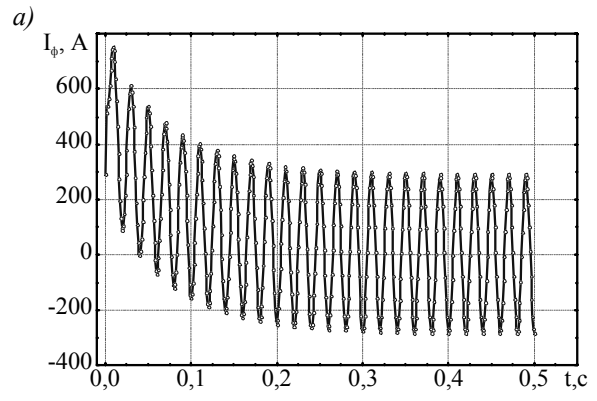


Рис. 4. Залежність струмів: фідерного (а)  $i_\phi(t)$ , у вітці пристрою поперечної компенсації (б)  $i_{\text{пнк}}(t)$  та в тяговій мережі (в)  $i_\mu(t)$  від часу на відстані 20 км від тягової підстанції при фідерній напрузі  $U_{\text{max}}$

Таблиця 1

Фідерна напруга	$\ell = 1 \text{ км}$			$\ell = 20 \text{ км}$		
	Максимальні значення струмів, А					
	$i_\phi$	$i_{\text{пнк}}$	$i_\mu$	$i_\phi$	$i_{\text{пнк}}$	$i_\mu$
$U_{\text{min}}$	543,49	225,6	505,36	493,43	225,75	450,4
$U_{\text{ном}}$	715,02	296,73	664,86	649,15	296,9	592,6
$U_{\text{max}}$	829,53	344,36	771,33	753,3	344,6	687,5

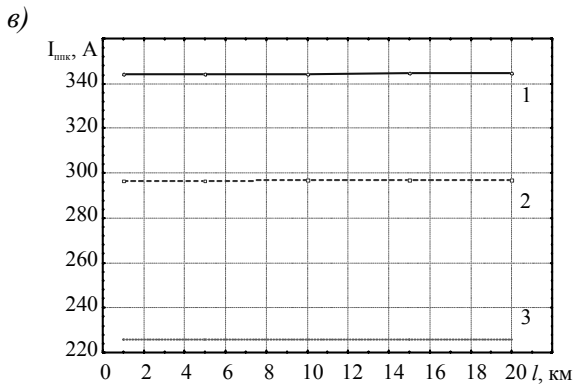
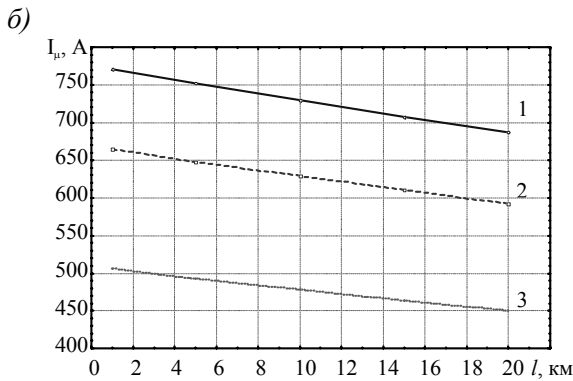
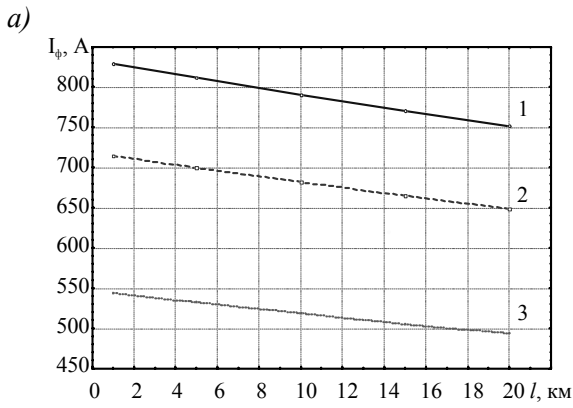


Рис. 5. Залежність максимальних значень струмів: фідерного (а)  $i_{\phi}(t)$ , у вітці пристрою поперечної компенсації (б)  $i_{\mu}(t)$  та в тяговій мережі (в)  $i_{\mu}(t)$  від часу на відстані 1 км від відстані  $\ell$  від тягової підстанції при різних значеннях фідерної напруги: 1 –  $U_{\max}$ ; 2 –  $U_{\text{ном}}$ ; 3 –  $U_{\min}$ .

Як впливає із рис. 2 – 4, спостерігається особливий часовий характер зміни струму у вітці з пристроєм компенсації  $i_{\text{пкк}}(t)$ . Дійсно, якщо  $i_{\phi}(t)$  та  $i_{\mu}(t)$  загасають повільно (десь за 1,5...2,0 с), коливаючись, то  $i_{\text{пкк}}(t)$  миттєво збільшується до 230 А, також миттєво зменшується до 25 А і далі швидко загасає за 0,15...0,2 с. Такі закономірності поведінки перехідних

струмів, певно, обумовлені нелінійністю досліджуваного електричного кола (рис. 1).

Цілком закономірно, за рахунок спаду напруги в провадах контактної мережі, напруга в останній зменшується при зростанні відстані  $\ell$  (рис. 6); на відстані 20 км вона зменшилась майже на 3,5 кВ.

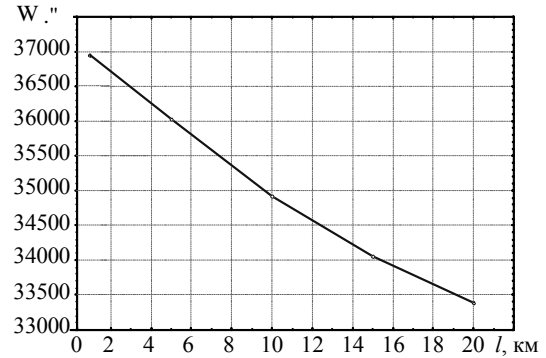


Рис. 6. Залежність напруги в контактній мережі та первинній обмотці трансформатора  $U_{\text{ел}}$  від відстані 20...1 км від тягової підстанції при  $U_{\text{ном}}$

За характером часової зміни напруги на ППК (рис. 7) така сама, як і струм у вітці (рис. 2 – 4, в).

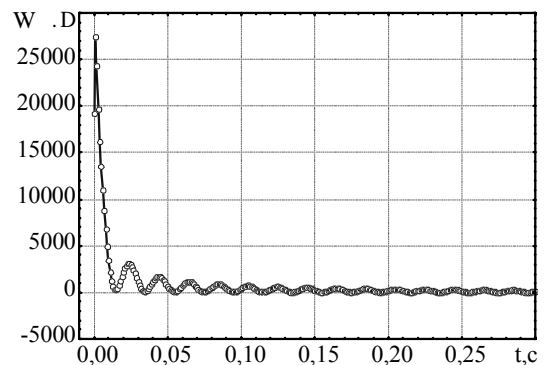


Рис. 7. Залежність напруги на ППК від часу у випадку, коли електровоз знаходиться на відстані  $\ell = 20$  км від тягової підстанції

## Висновок

Режим вмикання тягового трансформатора електровоза ДС 3 без його навантаження впливає не лише на характер зміни і кидки струму намагнічення самого трансформатора, але й на електромагнітні процеси в системі тягового електропостачання, що потрібно враховувати при аналізі процесів в системі електричної тяги.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Міщенко, Т. М. Математичне моделювання перехідних процесів в системі змінного струму «тягова мережа – електровоз». 1. Вмикання силового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу; оцінка параметрів [Текст] / Т. М. Міщенко, А. І. Кійко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 36. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 96-100.
2. Міщенко, Т. М. Математичне моделювання перехідних процесів в системі змінного струму «тягова мережа – електровоз». 2. Вмикання силового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу; визначення і аналіз кидка струму намагнічування [Текст] / Т. М. Міщенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 96-100.

Надійшла до редколегії 11.05.2011.

Прийнята до друку 17.05.2011.