

Т.М. Міщенко, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна)

ВПЛИВ ВИПАДКОВОЇ ЗМІНИ НАПРУГИ У КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНОМУ ТЯГОВОМУ РЕЖИМІ ЕЛЕКТРОВОЗА ДЕ-1

Побудова отриманої силової схеми, вибір ефективності системи захисту та оптимальне використання конструкційних матеріалів при створенні нових типів електрорухомого складу повинно визначатись результатами досліджень перехідних електромагнітних процесів, які протікають в силових колах рухомого складу. Тому їх розрахунок є не лише актуальною, але й дуже необхідною задачею, тим більше для першого українського електровоза ДЕ-1.

Розрахуємо і проаналізуємо, насамперед, вплив лише ймовірного характеру зміни напруги $U(t)$ у контактній мережі на квазіусталені процеси в експлуатаційному (неаварійному) тяговому режимі роботи електровоза на "СП"-з'єднанні тягових двигунів. Це потрібно для порівняння значень струмів при експлуатаційному та аварійних перехідних режимах роботи електровоза. При цьому визначимо лише обвідні струми, із яких можна проаналізувати максимальні значення струмів.

Електромагнітний стан квазіусталених процесів у силовому колі електровоза, згідно зі схемою заміщення (рис. 1) описується системою наступних нелінійних диференціальних рівнянь:

$$i_{\text{я}}(t) - i_3(t) - i_{\text{ш}}(t) = 0; \quad (1)$$

$$4R_{\text{я}}i_{\text{я}} + 4L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + 4e[i_m(t)] + 4R_3 \cdot i_3 + 4 \cdot 2pS_3 w_3 \frac{d\Phi}{dt} = U(t); \quad (2)$$

$$-4R_3 i_3 - 4 \cdot 2pS_3 w_3 \frac{d\Phi}{dt} + 2R_{\text{ш}}i_{\text{ш}} + 2L_{\text{ш}} \frac{di_{\text{ш}}}{dt} = 0; \quad (3)$$

$$4S_{\text{exp}} w_{\text{exp}} \frac{d\Phi}{dt} + 4R_{\text{exp}}(t)i_{\text{exp}} = 0; \quad (4)$$

$$w_3 i_3 + w_{\text{exp}} i_{\text{exp}} = w_3 i_m$$

$$\text{або, за умови, що } w_3 = w_{\text{exp}}, \quad (5)$$

$$i_3(t) + i_{\text{exp}}(t) - i_m(t) = 0,$$

де $U(t)$ – випадкова функція напруги в контактній мережі; вона розподіляється за законом Гауса з параметрами: $m_U = 3262$ В; $\sigma_U = 187$ В, $e[i_{\mu}(t)]$ – характеристика нелінійного джерела ЕРС, що рівна (6), де $\omega = 87,92 \text{ с}^{-1}$ – кутова швидкість якоря; $R_{\text{об}} = R_{\text{я}} + R_{\text{опн+ко}}$ – активний опір двигуна, який складається з опору обмотки якоря та компенсаційної обмотки; $L_{\text{я}} = L_{\text{ко}} + L_{\text{опн}} + L'_{\text{я}}$ – індуктивність

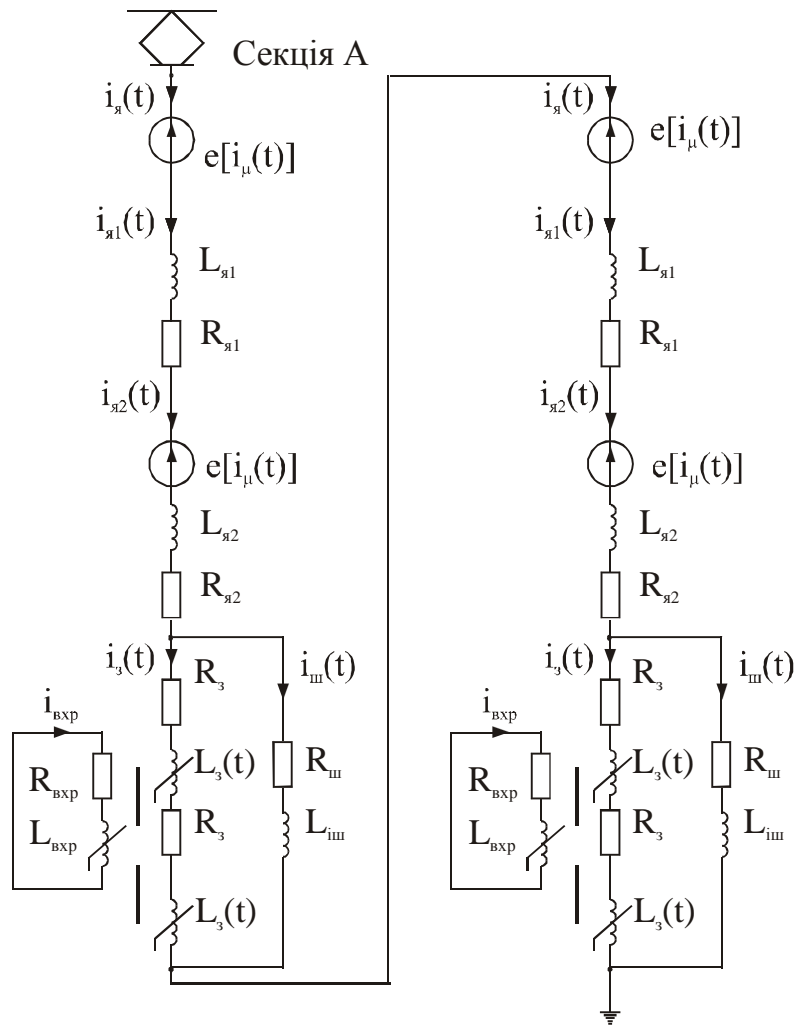


Рис. 1. Електрична схема заміщення однієї секції електровоза ДЕ-1 у режимі тяги при "СП"-з'єднанні тягових двигунів

якоря, котра складається з індуктивності обмотки якоря $L'_я$, компенсаційної обмотки $L_{ко}$ та обмотки додаткових полюсів $L_{дп}$; R_3 – відповідно активний опір обмотки збудження; $R_{вxp}$, $L_{вxp}$ – активний опір та індуктивність вихрового контуру, який еквівалентний дії вихрових струмів у магнітопроводі двигуна; $i_я(t)$, $i_3(t)$, $i_ш(t)$, $i_{вxp}(t)$ – струми відповідно в обмотці якоря, обмотці збудження, у шунтувальному контурі та вихрові струми; $\sigma_3 = \sigma_{вxp} = 1,25$ – коефіцієнти розсіювання відповідно обмотки збудження та вихрового контуру.

Користуючись методом статистичної лінеаризації [1, 2], виконаємо лінеаризацію нелінійної характеристики $e[i_μ(t)]$ двигуна:

$$e[i_μ(t)] = k_0(m_{i_3}, \sigma_{i_3}) \cdot m_{i_3} + k_1(m_{i_3}, \sigma_{i_3}) \cdot \dot{i}_3(t), \quad (6)$$

де m_{i_3} , σ_{i_3} – математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення струму $i_3(t)$ в обмотці збудження; k_0 , k_1 – коефіцієнти статистичної лінеаризації, які

залежать від невідомих m_{i_3} , σ_{i_3} ; f_3 – центрована випадкова функція струму збудження.

Виходячи із інтервалу зміни струму збудження на характеристиці $e|i_{i_3}(t)|$, при розрахунках методом послідовних наближень нульовим наближенням для величин $m_{i_3}^{(0)}(t)$ та $\sigma_{i_3}^{(0)}(t)$ були взяті: $m_{i_3}^{(0)}(t) = 387,5$ А, $\sigma_{i_3}^{(0)}(t) = 220,1$ А, $I_{zn} = 750$ А, $E_n = 1484$ В. При цьому коефіцієнти статистичної лінеаризації нульового наближення склали: $k_{i_30}^{(0)} = 1,955$ і $k_{i_31}^{(0)} = 1,887$.

На рис. 2 і 3 наведено отримані за розрахунками залежності квазіустале-ної часової зміни математичних сподівань m_I , а на рис. 4 та 5 – середньоквад-ратичних відхилень σ_I від середнього статистичного струмів, $i_{я}$, i_3 , $i_{ш}$, $i_{вхр}$ згідно з характером зміни напруги U в контактній мережі при ПЗЗ, на протязі часу ведення потяга електровозом (під час однієї поїздки) (рис. 2). Із цих кри-вих витікає, що струми $i_{я}$, i_3 та $i_{ш}$ змінюються майже синфазно напрузі. Неве-лике запізнювання, яке найбільше спостерігається для i_3 та $i_{ш}$, пояснюється ін-дуктивним характером віток кола з обмоткою збудження та з індуктивним шун-том. Виключення складає залежність вихрових струмів (рис. 3, крива $i_{вхр}$): зі збільшенням напруги струм $i_{вхр}$ зменшується і навпаки.

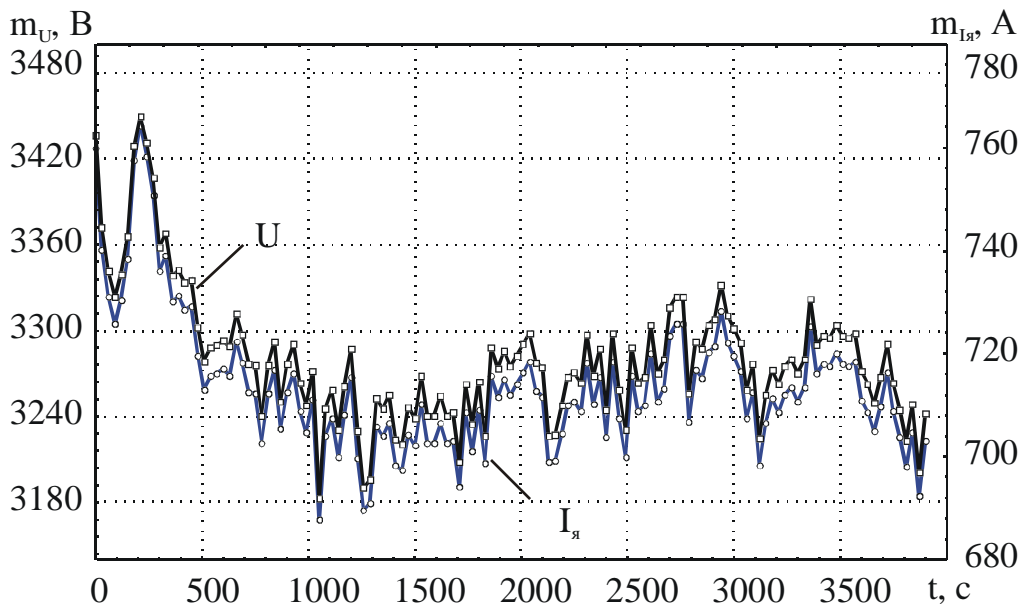


Рис. 2. Залежності квазіустале-ної часової зміни математичних сподівань напруги в контактній мережі m_U та струму якоря $m_{Iя}$

Характер зміни математичних сподівань близький до стаціонарного в межах: струму якоря – від 690 до 770 А (рис. 2), струму збудження – від 475 до 515 А, струму в шунті – від 215 до 855 А, вихрових струмів – від -66 до -44 А (рис. 5). У той же час, розрахунки цих струмів при номінальному значенні на-пруги $U_{ном} = 3000$ В склали відповідно 624, 300, 324 і -44 А.

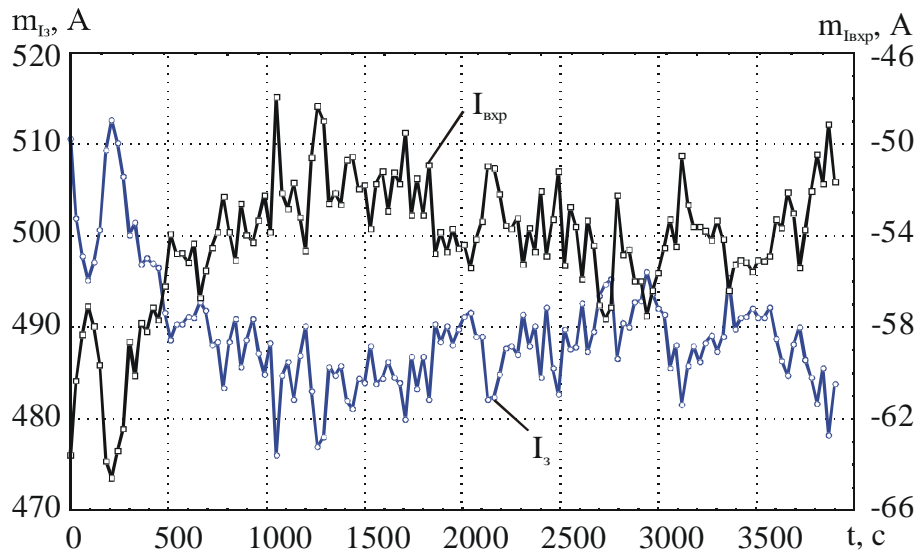


Рис. 3. Залежності квазіусталеної часової зміни математичних сподівань струму в обмотці збудження електровоза m_{I_3} та вихрового струму $m_{I_{вxp}}$

Отже, навіть, без урахування середньоквадратичних відхилень (рис. 4 і 5) випадкові коливання напруги обумовлюють у квазіусталених режимах збільшення середнього значення струму $\bar{I}_я$ у 1,36 раза.

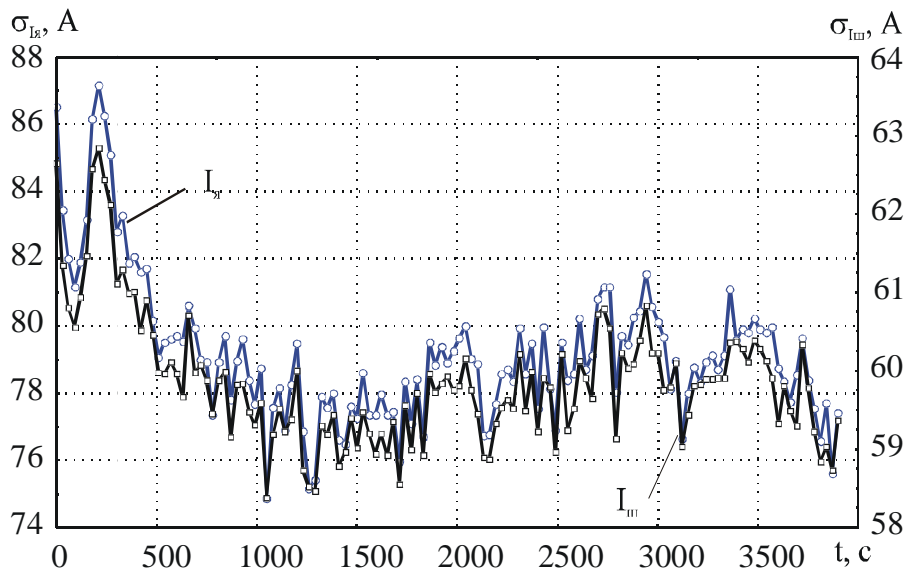


Рис. 4. Залежності квазіусталеної часової зміни середньоквадратичних відхилень струму якоря $\sigma_{I_я}$ та струму в шунтувальній вітці $\sigma_{I_{ш}}$

Висновки

1. Квазіусталені значення (як математичного сподівання, так і дисперсії) струмів якоря $I_я$, обмотки збудження I_3 та шунтувальної вітки $I_{ш}$ змінюються майже синфазно з випадковими коливаннями напруги в контактній мережі; невелике запізнювання I_3 та $I_{ш}$ пояснюється індуктивним характером опорів відповідних віток. Виключення складає залежність вихрових струмів $I_{вxp}$: зі збільшенням напруги струм $I_{вxp}$ зменшується, і навпаки.

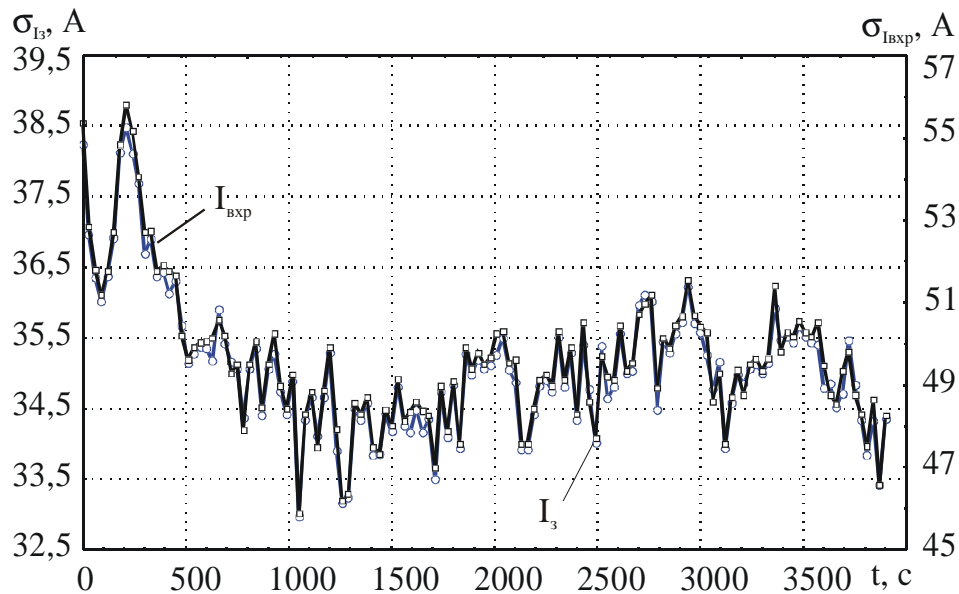


Рис. 5. Залежності квазіусталеної часової зміни середньоквадратичних відхилень струму в обмотці збудження σ_{I_3} та вихрового струму $\sigma_{I_{вхр}}$

2. У межах випадкових коливань напруги математичні сподівання струмів змінюються: $\bar{I}_я$ – від 690 до 770 А; \bar{I}_3 – від 475 до 515 А; $\bar{I}_{ш}$ – від 215 до 855 А; $\bar{I}_{вхр}$ – від -66 до -44 А. У той же час, при $U_{ном} = 3000$ В ці струми дорівнювали відповідно 624, 300, 324 і 44 А.

3. Отже, навіть без урахування середньоквадратичних відхилень випадкові коливання напруги обумовлюють у квазіусталених тягових режимах збільшення струму $\bar{I}_я$ у 1,36 раза.

Список літератури

1. Казаков И.Е., Доступов Б.Г. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. – 331с.
2. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 463 с.