

Канд. техн. наук, доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна, E-mail: mishchenko_tn@ukr.net

ПЕРСПЕКТИВИ СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ І МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ РУСІ ПОЇЗДІВ

Розглянуто та проаналізовано схемотехніку і параметри перспективних підсистем тягового електропостачання та електрорухомого складу, які зможуть забезпечити впровадження швидкісного і високошвидкісного руху поїздів. Зазначено, що такі підсистеми електричної тяги є занадто складними і до того ж нелінійними, динамічними і потужними, що й обумовлює практичну неможливість побудови їх точних класичних математичних моделей. В роботі пропонується створювати математичні моделі для таких підсистем, а отже і для всієї системи електропотяги, методами ідентифікації, параметричної чи структурної.

Ключові слова: високошвидкісний рух, ідентифікація, математична модель, тягове електропостачання, схемотехніка, електрорухомий склад, поїзди, залізничний транспорт.

ВСТУП

Як відомо [1–4], на залізничному транспорті прийнято така умовна шкала швидкостей v руху пасажирських поїздів: «звичайний» рух (існуючий на звичайних лініях), при якому $v \leq 160$ км/год; швидкісний (на реконструйованих лініях), де $160 \leq v \leq 200$ км/год; високошвидкісний (на спеціально побудованих магістралях) $v \leq 200$ км/год. Крім цього, в деяких роботах, зокрема в [1, 2], також класифікують рух вантажних поїздів на спеціалізований вантажний рух з $v \leq 120$ км/год і змішаний вантажний з $v < 100$ км/год.

На сьогодні на залізницях України поки що практично відсутній навіть швидкісний рух, а існують «звичайний» пасажирський і змішаний вантажний рухи. Вони забезпечуються трьома системами електричної тяги (СЕТ): 3 кВ постійної напруги та 25 кВ і 2х25 кВ, 50 Гц змінної напруги. В обох системах має місце, так зване, централізоване живлення тягових мереж, при якому тягові підстанції живляться від районних підстанцій системи зовнішнього електропостачання. Рух поїздів забезпечується електровозами типів: ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ЧС, ДЕ1, ДС3, ВЛ60, ВЛ80 та інш. Схемотехнічно як централізована підсистема електропостачання, так і зазначені серії електровозів відносно не складні. І тому при математичному моделюванні електромагнітних і електроенергетичних процесів в існуючих системах електротяги зображують схеми заміщення пристроїв (з наступним складанням системи рівнянь).

Однак за своїми схемотехнікою і параметрами існуючі системи електричної тяги вже не можуть забезпечити необхідне на сьогодні підвищення пропускної і провізної здатностей електричних залізниць, тим більше при впровадженні швидкісних і високошвидкісних перевезень [5–10]; необхідна суттєва модернізація як тягового електропостачання (ТЕП), так і електрорухомого складу (ЕРС), зокрема на основі схемотехнічних рішень, які приведені і аналізуються у подальшому у цій роботі.

У зв'язку з цим, метою статті є аналіз запропонованих схемотехнічних рішень для ТЕП і ЕРС, що забезпечують високошвидкісний рух поїздів, з подальшою пропозицією моделювання таких складних нелінійних динамічних підсистем методами ідентифікації замість складання традиційних точних математичних моделей на основі теоретичного аналізу процесів в зазначених підсистемах.

1 СХЕМОТЕХНІКА ПЕРСПЕКТИВНИХ ПІДСИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Багатьма спеціалістами в області електричного транспорту [1, 3, 5, 7, 9, 12, 13] вважається, що існуюча система електричної тяги постійної напруги 3,3 кВ при певній її модернізації шляхом підсилення дозволить організувати швидкісний рух поїздів з v_{\max} до 200 км/год. Підсилення цієї системи доцільно, насамперед, підвищенням напруги в тяговій мережі на першому етапі до 6 кВ, а потім – до 12 кВ за рахунок переходу від існуючої централізованої системи живлення тягової мережі до схеми розподіленого живлення від лінії повздовжнього електроживлення певної постійної чи змінної напруги.

Один із варіантів схеми такої розподіленої системи тягового електропостачання постійного струму з повздовжньою лінією 24 кВ постійної напруги запропоновано в [12, 15] і представлено на рис. 1.

Інший варіант структурної схеми розподіленого тягового електропостачання з повздовжньою живлячою лінією постійного струму напругою 36 кВ в СЕТ постійного струму 6 кВ (рис. 2–4) приведено в роботі [2].

Відносно модернізації існуючої СЕТ змінного струму 50 Гц ті ж автори [2] вважають, що найбільш раціональною структурою тягового електропостачання є система з повздовжньою лінією живлення, яка розглянута вище для СЕТ постійного струму (рис. 2), бо в цьому випадку уніфікуються головні тягові підстанції (рис. 3), а два (один) провода лінії повздовжнього живлення напру-

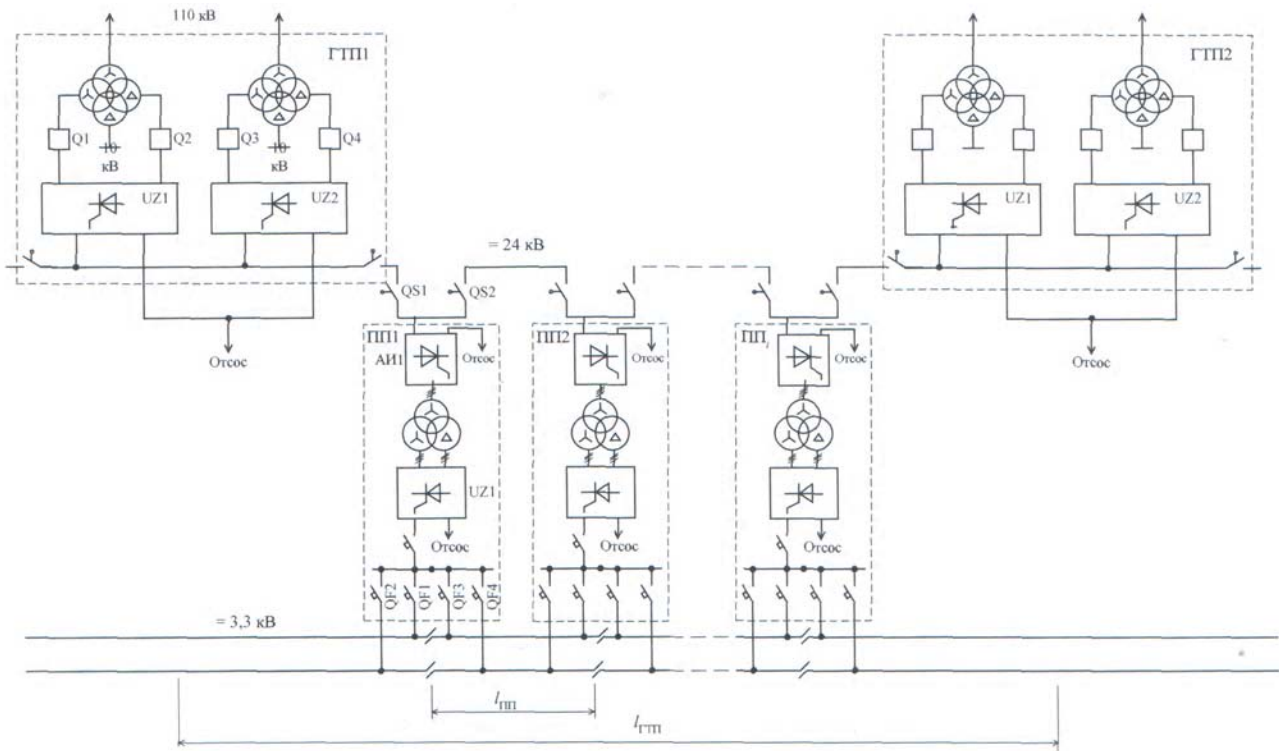


Рис. 1. Структурна схема тягового електропостачання з повздовжньою лінією 24 кВ постійного струму [12]

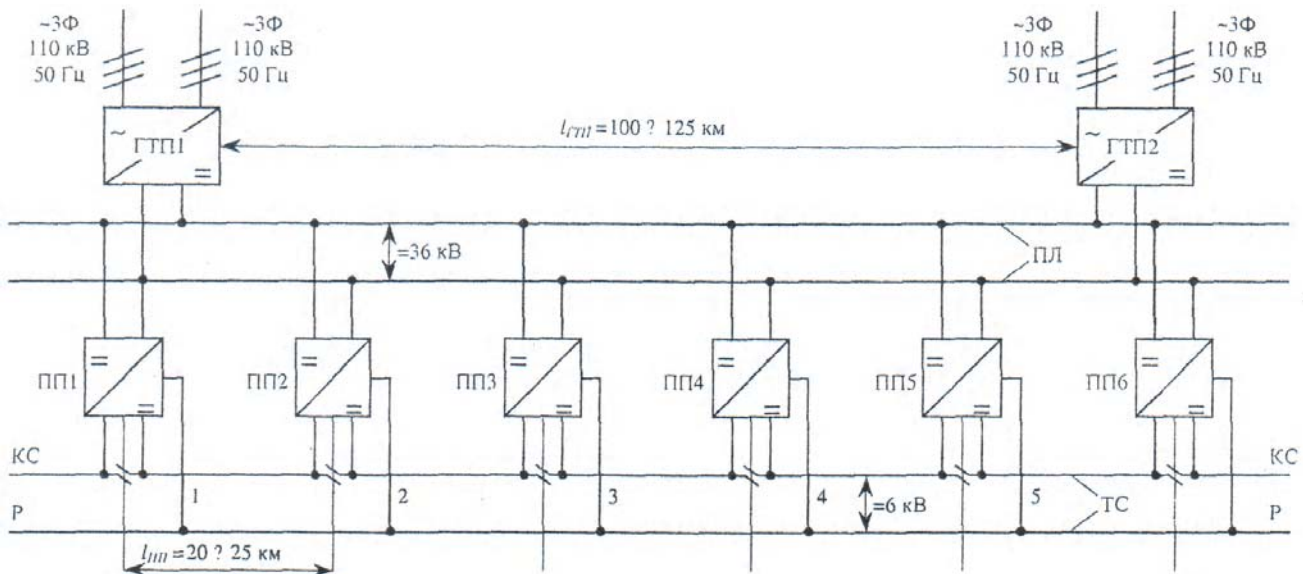


Рис. 2. Структурна схема ТЕП з повздовжньою живлячою лінією постійного струму напругою 36 кВ в СЕТ постійного струму 6 кВ [2]

гою 36 кВ підвищуються на опорах контактної мережі з польової сторони як і в СЕТ змінного струму 25 кВ, 50 Гц з екрануючим і підсилюючим проводами.

Деякі спеціалісти [11, 12, 14] вважають, що різко підвищити ефективність СЕТ постійного струму дозволить рівень напруги в тяговій мережі, рівний 24 кВ.

2 СХЕМОТЕХНІКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Згідно [16], для забезпечення руху поїздів на залізницях України зі швидкістю до 160 км/год створено і розпочато виробництво електровозів змінного струму типу ДС3. Для забезпечення перевезень зі швидкістю до

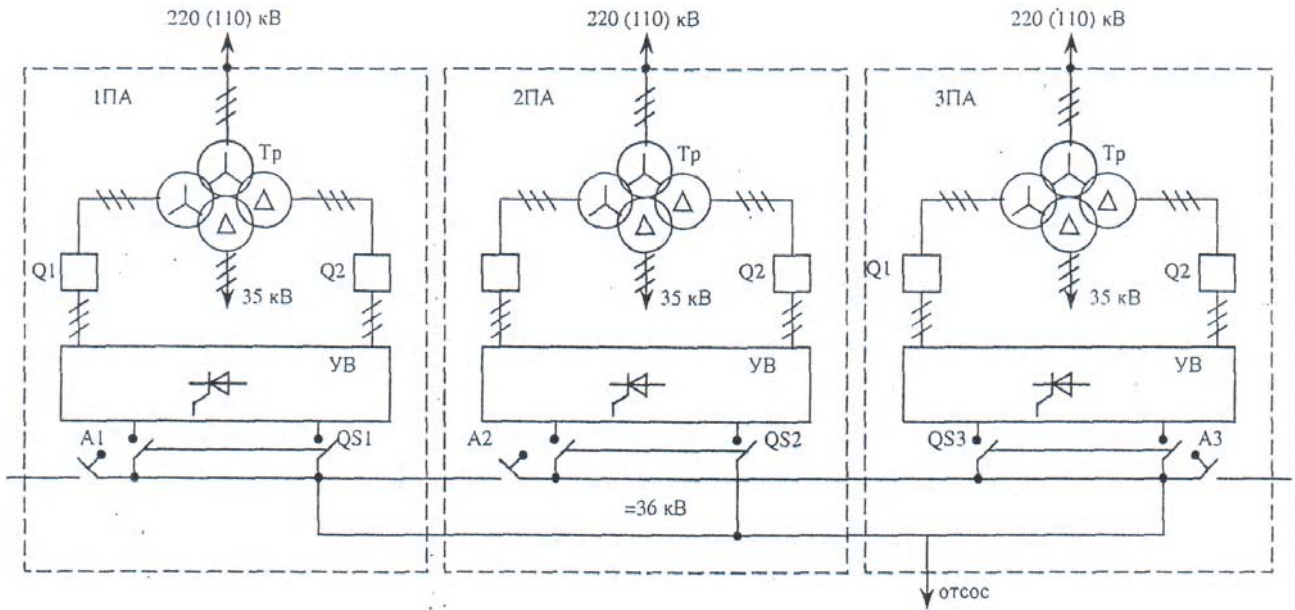


Рис. 3. Структурна схема головної тягової підстанції для ТЕП постійного струму з лінією повздовжнього живлення напругою 36 кВ [2]

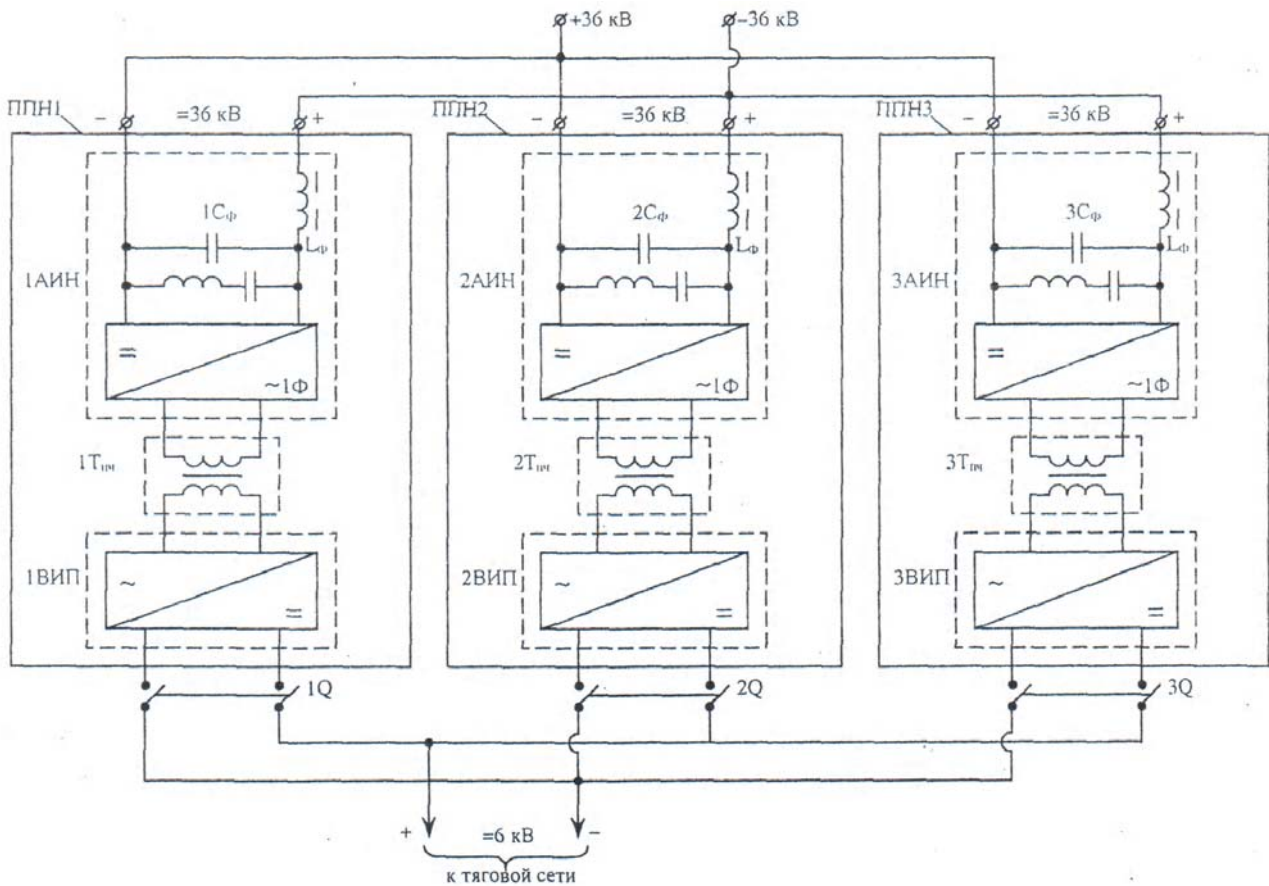


Рис. 4. Структурна схема перетворювального пункту живлення тягової мережі напругою 6 кВ для ТЕП з повздовжньою лінією живлення постійного струму напругою 36 кВ [2]

200 км/год передбачається, по-перше, створення двосистемного (3 кВ постійної та 25 кВ, 50 Гц змінної напруг) електровозу типу ЕД4 і, по-друге, глибока модернізація електровозу ДС3 у електровоз ДС3М. Подальше збільшення швидкостей перевезень пасажирів у міжобласному сполученні до 200...220 км/год передбачається за рахунок використання двосистемних електропоїздів типу ЕП1 100.

При цьому всі спеціалісти вважають, що для виконання вищезазначеного потрібно щоб тяговий привод перспективних електровозів і електропоїздів для швидкісного

і високошвидкісного руху будувався на базі безколекторних тягових двигунів (ТЕД) і найчастіше – на основі асинхронних короткозамкнених ТЕД [2, 3, 5, 12, 17–23]. При цьому ці ТЕД повинні живитись (через певні тягові перетворювачі) від контактної мережі як постійної, так і змінної напруги. Тим самим з'являється можливість створення двосистемних типів. При цьому перетворення постійної напруги в трифазну змінну напругу здійснюється автономними інверторами напруги (АІН) (рис. 5). Для українських залізниць найближчі перспективи розв'язання цієї проблеми такі [2, 5, 19–22].

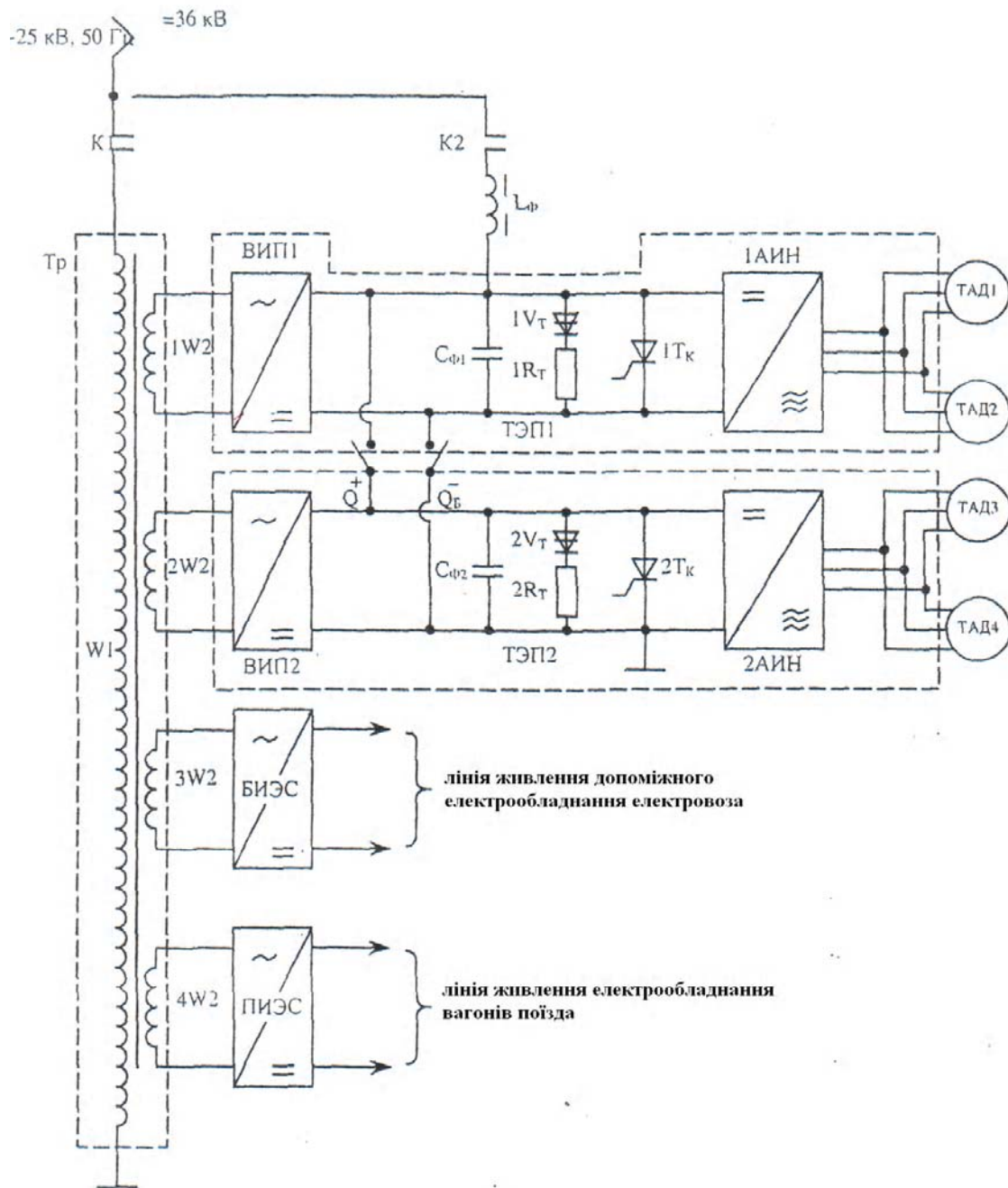


Рис. 5. Універсальна силова електрична схема двосистемного чотирьохвісного пасажирсько-швидкісного електровоза з асинхронним трифазним двигуном та потележечним керуванням [2]

Оскільки на першому етапі організації увесь швидкісного рух передбачається сумішати швидкісний пасажирський рух, тому необхідно створення універсального вантажно-пасажирського або пасажиро-швидкісного електровоза для експлуатації його в двох СЕТ. Тобто, необхідно створення універсального двосистемного електровоза [2]. На рис. 5, згідно [2], представлена схема одного із варіантів такого 4-х вісного пасажиро-швидкісного двосистемного електровоза з асинхронними двигунами з подвійним живленням: від контактної мережі напругою 6 кВ постійного струму і змінною напругою 25 кВ, 50 Гц.

В [2] також робиться висновок про можливість створення двосистемних пасажиро-швидкісних електровозів ($v_{max} = 200$ км/год) на основі модернізації 4-х вісних секцій існуючого електровоза ДС3, схема якого представлена на рис. 6–7 [24]. Для цього в [19] викладено основні вимоги і схематичні рішення по створенню уніфікованого частотно-регулюючого електропривода електровозів постійного, змінного і подвійного струму живлення. А в [22] пропонується при розробці вітчизняного двосистемного пасажиро-швидкісного електровоза за основу взяти електротягову схему чотирисистемного електровоза ES64U4 фірми Siemens Transportation System.

3 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЯК МЕТОД СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Аналіз приведених вище та в інших наукових публікаціях схематичних рішень частково уже створених і перспективних підсистем тягового електропостачання і електрорухомого складу свідчить, по-перше, про суттєву складність навіть їх структурних схем (рис. 1–7), не говорячи вже про розрахункові схеми заміщення з алгоритмами роботи їх тягових перетворювачів, а, отже, складність і математичних моделей навіть для однієї фідерної зони і одного поїзда на ній.

По-друге, практично, як правило, на фідерній зоні рухається декілька поїздів (тобто, електровозів), а при організації швидкісного і високошвидкісного руху планується взагалі пакетний графік руху поїздів з 5...6 поїздами в пакеті [4, 25] на фідерній зоні. До цього треба додати, що і зараз високовагові поїзди (кожний) ведуться двома, а то і трьома електровозами: двома – в «голові» і одним – в «хвості» (штовхач) поїзда.

По-третє, як зазначено в [15], при аналізі електромагнітних і електроенергетичних процесів в підсистемі тягового електропостачання неможна обмежуватись однією фідерною зоною, а треба розглядати 7 зон.

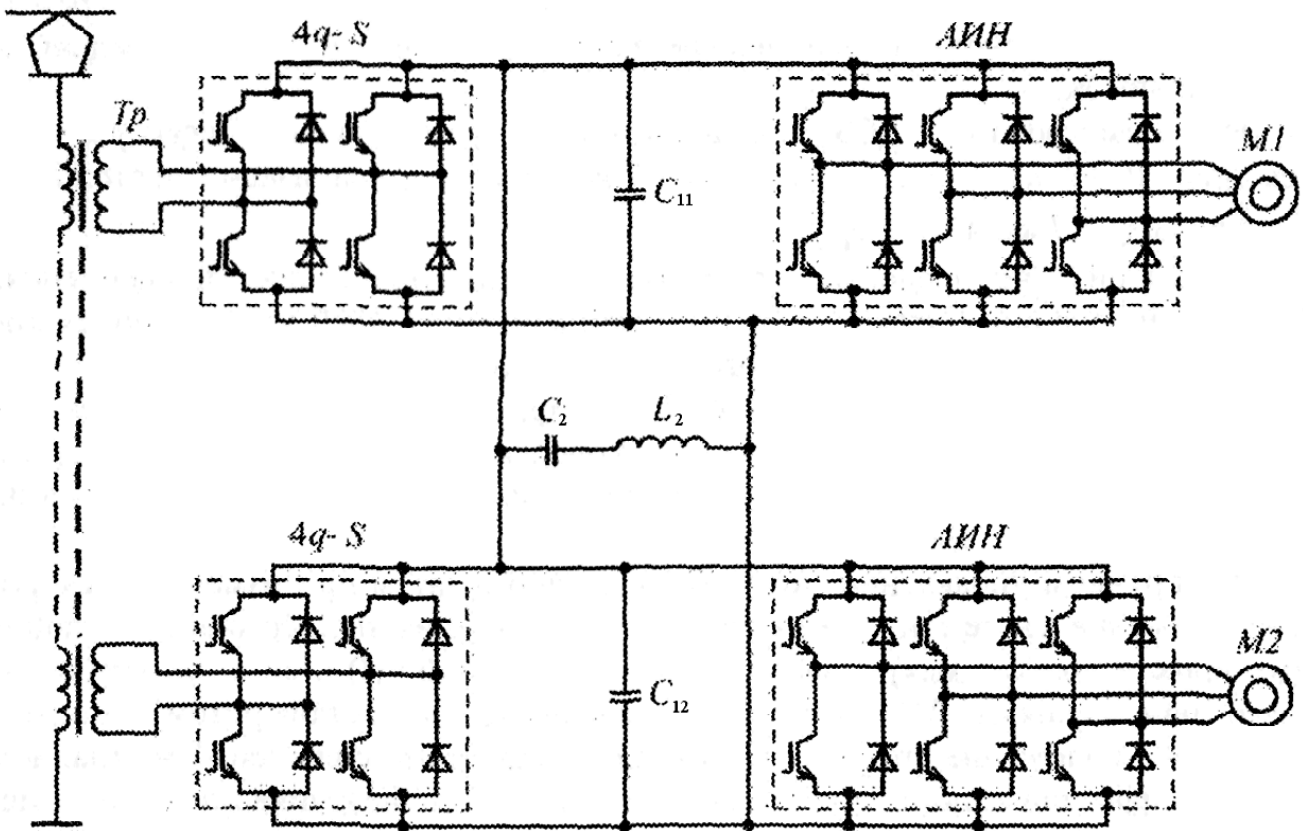


Рис. 6. Спрощена схема силового кола електровоза ДС3 [24]

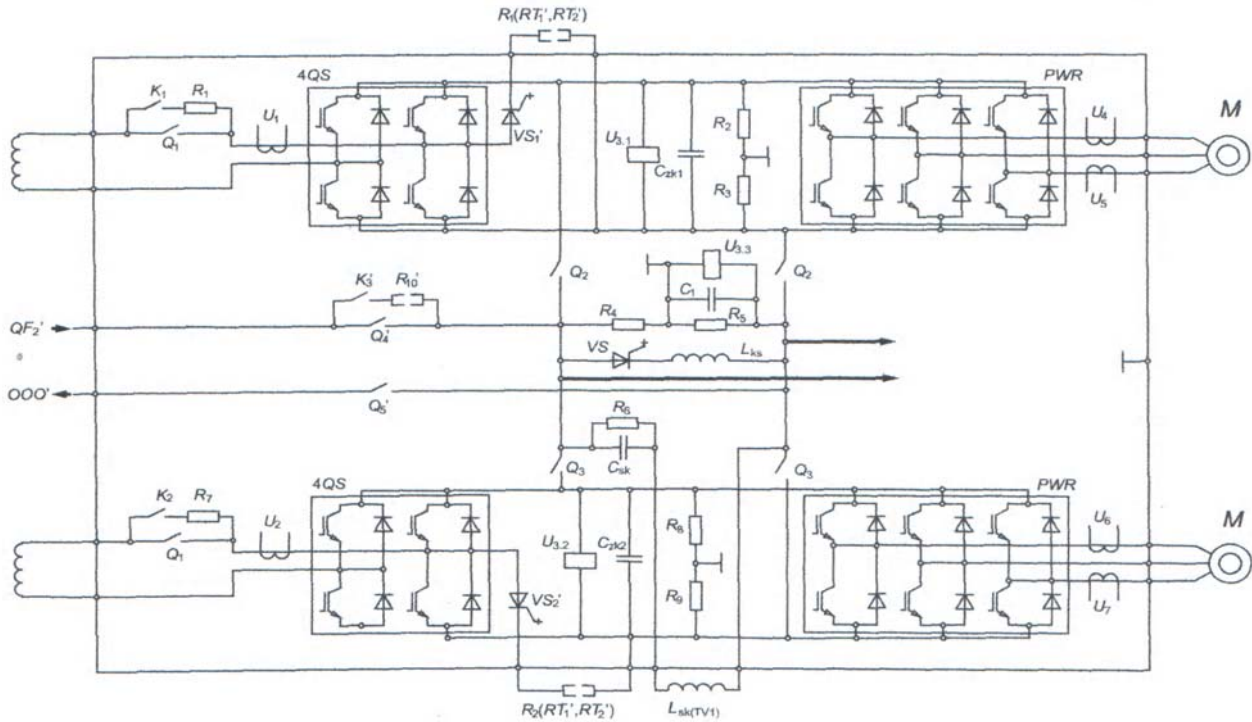


Рис. 7. Електрична схема тягового перетворювача електровоза ДСЗ

Четверте, зрозуміло, що практичною і закономірною є необхідність врахування руху поїздів на другій сусідній колії, тобто потрібно врахування двокільності міжпідстанційних ділянок.

І, нарешті, на сьогодні при розрахунках шляхом моделювання процесів в пристроях СЕТ приймається значна кількість припущень, які суттєво знижують точність моделей і результати їх розрахунків.

Зазначене вище дозволяє стверджувати, що практично неможливо побудувати точну математичну модель такої складної нелінійної динамічної потужної системи як СЕТ тільки, як це зараз здійснюється, на основі теоретичного аналізу фізичних процесів, що протікають в пристроях чи підсистемах цієї системи з наступним використанням законів і методів теоретичної електротехніки. Якраз зазначене практично і гальмує математичне моделювання, а отже і прогнозування, процесів в перспективних СЕТ, особливо тих, що модернізуються для впровадження швидкісного і високошвидкісного руху поїздів. На нашу думку, розв'язання цієї проблеми можливо одночасним створенням математичних моделей одних пристроїв чи підсистем всієї СЕТ на основі теоретичного аналізу процесів, а для інших – методами ідентифікації; назвемо таке моделювання «комбінованим» математичним моделюванням.

В класичному прийнятті [26–29], під ідентифікацією розуміється задача визначення структури і (або лише) параметрів даного досліджуваного пристрою чи підсистеми за відомими в ньому вхідній $x(t)$ і вихідній $y(t)$ змінними в часі функціями, що отримані апріорно чи синхронним записом в умовах нормального функціонування

зазначеного пристрою чи підсистеми. Структурно, задача полягає у визначенні певного оператора (закону) A_t , за допомогою якого функції $x(t)$ становиться у відповідність (визначається) функція $y(t)$ (рис. 8): $y(t) = A_t \cdot x(t)$, де індекс t означає залежність оператора від часу, тобто він являється динамічним оператором, динамічною характеристикою пристрою чи підсистеми.

Наприклад, якщо в якості елементарного досліджуваного пристрою уявити собі відому ділянку електричного кола з послідовним з'єднанням резистора R , індуктивності L і ємності C , по якій протікає струм $i(t)$, тоді спад напруги $u(t)$ на цій ділянці, як відомо, можна записати так:

$$Ri(t) + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = u(t).$$

В розглядуваному випадку вхідною змінною є струм $i(t)$, вихідною – $u(t)$, а оператором являється інтегро-диференціальний оператор вигляду:

$$A_t = R + L \frac{d}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t dt. \tag{1}$$



Рис. 8. Пристрій чи підсистема з вхідною $x(t)$ і вихідною $y(t)$ змінними в часі функціями

Власне вигляд, тобто структура оператора A разом з виглядом його параметрів являє собою математичну модель «вхід-вихід», побудованої за апріорною і експериментальною інформацією про досліджувану пристрій чи підсистему (рис. 8). Тому методи ідентифікації – це методи побудови (створення) математичних моделей «вхід-вихід», створених за апріорними і експериментальними даними, отриманими відносно розглядуваного пристрою чи підсистеми.

В залежності від повноти і рівня апріорної інформації розрізняють задачі ідентифікації у вузькому і широкому змісті [29–31]. Перша задача полягає у наступному. Рівень апріорної інформації відносно процесів функціонування досліджуваного пристрою і досвід експлуатації подібних пристроїв такий, що структура оператора (моделі) постулюється (задається апріорно). Тоді задача полягає у визначенні лише невідомих параметрів оператора (моделі). Таку ідентифікацію називають параметричною ідентифікацією; це задача «сірого ящика», оскільки структура оператора A_i (рис. 8) задається. Тобто, наприклад, якщо оператор (1) вважається апріорно відомим, то певним методом ідентифікації визначаються лише його параметри R, L і C .

Задача в широкому змісті являє собою кібернетичну задачу «чорного ящика» і полягає у визначенні структури оператора (моделі) разом з його параметрами. Таку ідентифікацію називають структурною.

Розв'язання зазначених вище задач ідентифікації неможливо без експериментальних даних вхідних і вихідних змінних досліджуваного пристрою. При цьому останній може піддаватися дії власних, тобто робочих, сигналів, а може застосовуватись штучний тестовий вхідний сигнал $x(t)$ [32–34]. Вхідна $x(t)$ і вихідна $y(t)$ змінні (сигнали) можуть бути задані у дискретній і неперервній формах, а також можуть бути детермінованими і стохастичними. В залежності від цього і оператор (математична модель) являється детермінованим чи стохастичним.

Методи ідентифікації достатньо розвинуті для лінійних систем з детермінованими величинами $x(t)$ і $y(t)$ [27–30], у меншій ступені – для нелінійних систем і знаходяться на початковій стадії у випадках стохастичної зміни вхідної $x(t)$ і вихідної $y(t)$ величин. Що ж стосується методів «комбінованого» математичного моделювання, сутність якого зазначалась вище, то автору невідомі публікації з цих методів. І в той же час, таке моделювання володіє гнучкістю розв'язання задач для складних систем, якими, зокрема, і є системи електричної тяги. Гнучкість полягає в тому, що для пристроїв чи підсистем типу «чорного ящика» будують моделі «вхід-вихід» методами ідентифікації, а для інших пристроїв цієї ж досліджуваної системи – створюють моделі «звичайні», на базі схем заміщення. Наприклад, досліджуючи електротягове навантаження на певній фідерній зоні між тяговими підстанціями ТП1 і ТП2, будують математичну модель цієї зони як «звичайну» на основі аналізу процесів, що в ній протікають, а ділянки зовнішні з ТП1 і

ТП2 заміщують ідентифікаційними моделями «вхід-вихід». Такий підхід значно спрощує аналіз електромагнітних і електроенергетичних процесів в будь-якій складній електротехнічній системі, а, отже, являється ефективним для розв'язання задач, які стоять перед спеціалістами електричного транспорту при впровадженні швидкісного і високошвидкісного руху поїздів.

ВИСНОВКИ

Перспективні, які забезпечують впровадження швидкісного і високошвидкісного руху поїздів, підсистеми тягового електропостачання і електрорухомого складу за схемами занадто складі нелінійні динамічні та ще й потужні, що суттєво утворює аналіз в них електромагнітних процесів на основі створення класичних (точних) математичних моделей.

Методи параметричної чи структурної ідентифікації, які є методами створення математичних моделей «вхід-вихід», спрощують моделювання пристроїв систем електричної тяги.

Запропонований метод «комбінованого» математичного моделювання є найбільш доцільним методом розрахунку електромагнітних процесів в усій системі електричної тяги при умові врахування пакетного графіку руху поїздів і наявності декількох міжпідстанційних зон.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) ; под. ред. Н. В. Колодяжного. – М. : Транспорт, 1976. – 416 с.
2. Хворост Н. В. Электрические железные дороги: этапы и перспективы развития / Н. В. Хворост, Н. В. Панасенко // Электротехника і електромеханіка. – 2003. – № 4. – С. 104–114.
3. Киселев И. П. Развитие высокоскоростного железнодорожного подвижного состава / И. П. Киселев // Материалы международного симпозиума «Eltrans 2001», Санкт-Петербург. – 2002. – С. 190–199.
4. Степанская О. А. Формирование токовых нагрузок на систему тягового электроснабжения при скоростном движении поездов / О. А. Степанская, А. Т. Бурков // Материалы международного симпозиума «Eltrans 2001», Санкт-Петербург. – 2002. – С. 340–346.
5. Хворост Н. В. Совершенствование электрической тяги постоянного тока железных дорог Украины для скоростного пассажирского движения / [Хворост Н. В., Гончаров Ю. П., Панасенко Н. В., Панасенко Н. Н.] // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 6. – С. 25–31.
6. Корниенко В. В. Тенденции развития хозяйства электрификации и электроснабжения железных дорог Украины / В. В. Корниенко // Материалы международного симпозиума «Eltrans 2001», Санкт-Петербург. – 2002. – С. 41–45.

7. Косарев А. Б. Проблемы развития скоростного движения / А. Б. Косарев, О. Н. Назаров // *Материалы Второго международного симпозиума «Eltrans2003»*, Санкт-Петербург. – 2003. – С. 42–54.
8. Данільченко В. І. Розвиток господарства електропостачання Укрзалізниці на період до 2020 року / В. І. Данільченко, І. І. Лагута, В. О. Фітін // *Матеріали наук.-техн. конференції «Транселектро-2010»*. – 2010. – С. 61–68.
9. Курбасов А. С. Система электрической тяги XXI века / А. С. Курбасов // *Железные дороги мира*. – 1999. – № 4. – С. 19–22.
10. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт: современные вызовы и перспективы развития / И. П. Киселев // *Железнодорожный транспорт*. – 2012. – № 11. – С. 44–49.
11. Бурков А. Т. Выбор рода тока и уровня напряжения электрического транспорта новых поколений / А. Т. Бурков // *Материалы международного симпозиума «Eltrans2001»*, Санкт-Петербург. – 2002. – С. 37–40.
12. Марькин А. Н. Схемотехника современных тяговых подстанций постоянного тока и перспективные системы электроснабжения / А. Н. Марькин // *Материалы международного симпозиума «Eltrans2001»*, Санкт-Петербург. – 2002. – С. 147–155.
13. Котельников А. Основные требования к системам и устройствам тягового электроснабжения скоростных и высокоскоростных магистралей / А. Котельников // *6th International Conference «Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe»*, Warszawa, Poland. – 2003. – P. 35–41.
14. Бадер М. П. Концепция обновления и перспективы технического развития систем тягового электроснабжения / М. П. Бадер, В. Г. Сыченко // *Технічна електродинаміка. Темат. вип. Силова електроніка та енергоефективність. Частина 2*. – Київ. – 2009. – С. 88–93.
15. Сиченко В. Г. Развитие научных основ підвищення електромагнітної сумісності підсистем електричної тяги постійного струму залізничного транспорту: дис. ... доктора техн. наук / В. Г. Сиченко. – Днепропетровск, 2011. – 396 с.
16. Лашко А. Д. Технічні вимоги до тягового рухомого складу нового покоління / А. Д. Лашко, С. Г. Грищенко // *Залізничний транспорт України*. – 2008. – № 3. – С. 11–14.
17. Сорин Л. Н. Пассажирские электровозы России / Л. Н. Сорин, А. Л. Носков // *Материалы международного симпозиума «Eltrans 2001»*, Санкт-Петербург. – 2002. – С. 203–210.
18. Сорин Л. Н. Электровозы нового поколения и организация их разработки [Текст] / Л. Н. Сорин, В. П. Янов // *Материалы Второго международного симпозиума «Eltrans 2003»*, Санкт-Петербург. – 2003. – С. 115–122.
19. Сергієнко М. І. Основні вимоги і схемотехнічні рішення тягового частотно-регульованого електроприводу пасажирських електровозів / М. І. Сергієнко, М. В. Панасенко // *Залізничний транспорт України*. – 2009. – № 5. – С. 43–54.
20. Панасенко Н. В. Концепция силовых схем тяговых асинхронных электропередат магистральных электровозов разных категорий и назначения для железных дорог Украины / Н. В. Панасенко, Н. Н. Панасенко, В. Н. Панасенко // *Вестник ВЭЛНИИ, Новочеркасск, ОАО «ВЭЛНИИ»*. – 2008. – № 3 (52). – С. 15–20.
21. Максимчук В. Ф. Стабілізуючі тягові перетворювальні агрегати з системою активної фільтрації для електропостачання тягових мереж постійного струму швидкісних магістралей / В. Ф. Максимчук, М. В. Панасенко, В. Г. Сиченко // *Залізничний транспорт України*. – 2011. – № 6. – С. 26–31.
22. Сергієнко М. І. Структура тягових частотно-регульованих електроприводів сучасних пасажирських електровозів з асинхронними тяговими двигунами / М. І. Сергієнко, О. Ю. Чудний, Р. О. Панченко // *Локомотив-інформ*. – 2010. – С. 4–10.
23. Логинов С. В. Проектирование электрической тяги с учетом требований к инфраструктуре на магистралях скоростного и высокоскоростного движения поездов. / С. В. Логинов, А. А. Наумов, А. В. Наумов / *Тезисы Шестого международного симпозиума «Eltrans 2011»*, Санкт-Петербург. Сентябрь, – 2011. – С. 75–76.
24. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги: монография: в 2 т. / Г. К. Гетьман. – Днепропетровск : Маковецкий, 2011. – Т. 1. – 456 с.
25. Степанская О. А. Исследование электрических нагрузок на тяговую сеть при скоростном движении поездов. / О. А. Степанская // *Материалы Второго международного симпозиума «Eltrans 2003»*, Санкт-Петербург. – 2003. – С. 434–439.
26. Райбман Н. С. Что такое идентификация / Н. С. Райбман. – М. : Наука, 1970. – 117 с.
27. Гроп Д. Методы идентификации систем: монография / Д. Гроп. – М. : Мир, 1979. – 302 с.
28. Современные методы идентификации систем ; под ред. П. Эйкхоффа. – М. : Мир, 1983. – 400 с.
29. Каминская В. Идентификация динамических систем до дискретным наблюдениям : монография / В. Каминская. – Вильнюс : Мокслас, Часть 1, 1982. – 245 с. Часть 2, 1985. – 153 с.
30. Буштрук А. Д. Структурная идентификация нелинейных динамических объектов / А. Д. Буштрук // *Автоматика и телемеханика*. – 1989. – № 10. – С. 84–93.
31. Балонин Н. А. Идентификация параметров систем в режиме их нормального функционирования / Н. А. Балонин, О. С. Попов // *Автоматика и телемеханика*. – 1992. – № 8. – С. 98–103.

32. Овчаренко В. Н. Планирование идентифицирующих входных сигналов в линейных динамических системах / В. Н. Овчаренко // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 2. – С. 75–87.
33. Бунич А. Л. Идентификация дискретных линейных объектов с большим отношением сигнал/шум / А. Л. Бунич // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 3. – С. 53–62.
34. Гетманов В. Г. Алгоритм идентификации для линейной дискретной динамической системы управления / В. Г. Гетманов // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 4. – С. 27–34.

Стаття надійшла до редакції 23.05.2014.

Мищенко Т. Н.

Канд. техн. наук, доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Украина

ПЕРСПЕКТИВЫ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ

Рассмотрена и проанализирована схемотехника и параметры перспективных подсистем тягового электроснабжения и электроподвижного состава, которые смогут обеспечить внедрение скоростного и высокоскоростного движения поездов. Указано, что такие подсистемы электрической тяги являются очень сложными и к тому же нелинейными, динамическими и мощными, что и обуславливает практическую невозможность построения их точных классических математических моделей. В работе предлагается создавать математические модели для таких подсистем, а значит и для всей системы электротяги, методами идентификации, параметрической или структурной.

Ключевые слова: высокоскоростное движение, идентификация, математическая модель, тяговое электроснабжение, схемотехника, электроподвижной состав, поезда, железнодорожный транспорт.

Mishchenko T. M.

Ph.D., Associate Professor, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Ukraine

THE PROSPECTS OF THE TECHNICAL SOLUTIONS AND MODELING SYSTEMS OF ELECTRIC TRACTION IN HIGH-SPEED TRAINS

The comparative analysis of advanced circuit solutions and parameters of traction electric supply and electric rolling stock provides the organization and the introduction of high-speed movement of trains on the Railways of Ukraine. It is established that the force of the current system of electric traction with the constant voltage 3,3 kV is appropriate to the stress increase in the traction network in the first stage up to 6 kV, and then to 2 kV due to the transition from the existing centralized system of power supply of the traction to the network distributed power. In the field of electric rolling stock all experts believe that it is necessary to create a universal multi-system locomotives on the basis of brushless electric traction motors, as a rule, asynchronous shorted ones.

These subsystems of electric traction, traction electric supply and electric rolling stock are very complex and, in addition, non-linear, dynamic, and powerful ones and this determines the practical impossibility of their exact classical mathematical models construction. It is proposed to create the mathematical model for such subsystems, and thus for the entire system of electric traction by the methods of parametric or structural identification.

Keywords: high-speed movement, identification, mathematical model, traction power supply, circuitry, electric rolling stock, trains, railway transport.

REFERENCES

1. Vysokoskorostnoe passazhirskoe dvizhenie (na zheleznyx dorogax). Pod.red. N. V. Kolodyazhnogo. Moscow, Transport, 1976, 416 p.
2. Xvorost N.V., Panasenko N. V. E'lektricheskie zheleznye dorogi: e'tapy i perspektivy razvitiya. *Elektrotexnika i Elektromexanika*, 2003, No. 4, pp. 104–114.
3. Kiselyov I. P. Razvitie vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava, *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans 2001»*, Sankt-Peterburg, 2002, pp. 190–199.
4. Stepanskaya O. A., Burkov A. T. Formirovanie tokovyx nagruzok na sistemu tyagovogo e'lektrosnabzheniya pri skorostnom dvizhenii poezdov, *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans-2001»*. Sankt-Peterburg, 2002, pp. 340–346.
5. Xvorost N.V., Goncharov Yu. P., Panasenko N. V., Panasenko N. N. Sovershenstvovanie e'lektricheskoy tyagi postoyannogo toka zheleznyx dorog Ukrainy dlya skorostnogo passazhirskogo dvizheniya, *Zaliznichnij transport Ukraini*, 2003, No. 6, pp. 25–31.
6. Kornienko V. V. Tendencii razvitiya xozyajstva e'lektrifikacii i e'lektrosnabzheniya zheleznyx dorog Ukrainy, *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans 2001»*, Sankt-Peterburg, 2002, pp. 41–45.
7. Kosarev A. B., Nazarov O. N. Problemy razvitiya skorostnogo dvizheniya, *Materialy Vtorogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans 2003»*, Sankt-Peterburg, 2003, pp. 42–54.
8. Danilchenko V. I., Laguta I. I., Fitin V. O. Rozvytok gospodarstva elektropostachannya Ukrzaliznyci na period do 2020 roku, *Materialy nauk.-texn. konferenciyi «Transelektro-2010»*, 2010, pp. 61–68.

9. Kurbasov A. S. Sistema jelektricheskoy tjagi HHI veka, *Zheleznye dorogi mira*, 1999, No. 4, pp.19–22.
10. Kisel'jov I. P. Vysokoskorostnoj zheleznodorozhnyj transport: sovremennye vyzovy i perspektivi razvitija, *Zheleznodorozhnyj transport*, 2012, No. 11, pp. 44–49.
11. Burkov A. T. Vybora roda toka i urovnja naptjazhenija jelektricheskogo transporta novyh pokolenij, *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans 2001»*. Sankt-Peterburg, 2002, pp. 37–40.
12. Marykin A. N. Shemotehnika sovremennyh tjagovyh podstancij postojannogo toka i perspektivnye sistemy jelektrosnabzhenija, *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans 2001»*. Sankt-Peterburg, 2002, pp. 147–155.
13. Kotel'nikov A. Osnovnye trebovanija k sistemam i ustrojstvam tjagovogo jelektrosnabzhenija skorostnyh i vysokoskorostnyh magistralej, 6th International Conference «Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe», Warszawa, Poland, 2003, pp. 35–41.
14. Bad'yor M. P., Sychenko V. G. Konceptija obnovlenija i perspektivy tehničeskogo razvitija sistem tjagovogo jelektrosnabzhenija, *Tehnična elektrodinamika. Temat. vip. Silova elektronika ta energoefektivnist'*. Chastina 2, Kiiv, 2009, pp. 88–93.
15. Sichenko V. G. Rozvitok naukovih osnov pidvishhennja elektromagnitnoї sumisnosti pidsistem elektrichnoї tjagi postijnogo strumu zalizničnogo transportu: dis. ... doktora tehn. nauk. Dnepropetrovsk, 2011, 396 p.
16. Lashko A. D., Grishhenko S. G. Tehnični vimogi do tjagovogo ruhomogo skladu novogo pokolinnja, *Zalizničnij transport Ukraïni*, 2008, No. 3, pp. 11–14.
17. Sorin L. N., Noskov A. L. Passazhirskie jelektrovozy Rossii, *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans 2001»*. Sankt-Peterburg, 2002, pp. 203–210.
18. Sorin L. N., Janov V. P. Jelektrovozy novogo pokolenija i organizacija ih razrabotki [Tekst], *Materialy Vtorogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans2003»*. Sankt-Peterburg, 2003, pp. 115–122.
19. Sergienko M. I., Panasenko M. V. Osnovni vymogy i sxemotexnični rishennja tyagovogo chastotno-regulovanogo elektropryvodu pasazhyrskyx elektrovoziv, *Zaliznychnyj transport Ukrainy*, 2009, No. 5, pp. 43–54.
20. Panasenko N. V., Panasenko N. N., Panasenko V. N. Konceptija silovyh shem tjagovyh asinhronnyh jelektroperedach magistral'nyh jelektrovozov raznyh kategorij i naznachenija dlja zheleznyh dorog Ukrainy, *Vestnik VJelNII, Novochoerkassk, OAO «VJelNII»*, 2008, No. 3 (52), pp. 15–20.
21. Maksimchuk V. F., Panasenko M. V., Sichenko V. G. Stabilizujuchi tjagovi peretvorjuval'ni agregati z sistemoju aktivnoї fil'tracii dlja elektropostachannja tjagovyh merezh postijnogo strumu shvidkisnih magistralej, *Zalizničnij transport Ukraïni*, 2011, No. 6, pp. 26–31.
22. Sergienko M. I., Chudnyj O. Yu., Panchenko R. O. Struktura tyagovyx chastotnoregulovanyx elektropryvodiv suchasnyx pasazhyrskyx elektrovoziv z asynxronnymy tyagovymy dvygunamy, *Lokomoty'vinform*, 2010, pp. 4–10.
23. Loginov S. V., Naumov A. A., Naumov A. V. Proektirovanie jelektricheskoy tjagi s uchjotom trebovanij k infrastrukturi na magistraljah skorostnogo i vysokoskorostnogo dvizhenija poezdov, *Tezisy Shestogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans-2011»*. Sankt-Peterburg, Sentjabr', 2011, pp. 75–76.
24. Get'man G. K. Teorija jelektricheskoy tjagi: monografija: v 2t. Dnepropetrovsk, Makoveckij, 2011, T. 1, 456 p.
25. Stepanskaja O. A. Issledovanie jelektricheskikh nagruzok na tjagovuju set' pri skorostnom dvizhenii poezdov, *Materialy Vtorogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans2003»*. Sankt-Peterburg, 2003, pp. 434–439.
26. Rajbman N. S. Chto takoe identifikacija. Moscow, Nauka, 1970, 117 p.
27. Grop D. Metody identifikacii sistem: monografija. Moscow, Mir, 1979, 302 p.
28. Sovremennye metody identifikacii sistem. Pod red. P. Jejkhoffa. Moscow, Mir, 1983, 400 p.
29. Kaminskas V. Identifikacija dinamicheskikh sistem do diskretnym nabljudenijam : monografija. Vil'njus, Mokslas, Chast' 1, 1982, 245 p. Chast' 2, 1985, 153 p.
30. Bushtruk A. D. Strukturnaja identifikacija neli-nejnyh dinamicheskikh ob'ektov, *Avtomatika i telemehanika*, 1989, No. 10, pp. 84–93.
31. Balonin N. A., Popov O. S. Identifikacija parametrov sistem v rezhime ih normal'nogo funkcionirovanija, *Avtomatika i telemehanika*, 1992, No. 8, pp. 98–103.
32. Ovcharenko V. N. Planirovanie identifikirujushchih vhodnyh signalov v linejnyh dinamicheskikh sistemah, *Avtomatika i telemehanika*, 2001, No. 2, pp. 75–87.
33. Bunich A. L. Identifikacija diskretnykh linejnykh ob'ektov s bol'shim otnosheniem signal/shum, *Avtomatika i telemehanika*, 2001, No. 3, pp. 53–62.
34. Getmanov V. G. Algoritm identifikacii dlja linejnoy diskretnoj dinamicheskoy sistemy upravlenija, *Avtomatika i telemehanika*, 2001, No. 4, pp. 27–34