

П. В. ГУБСЬКИЙ (ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ)

Інститут залізничного транспорту, 04-275 Варшава, Польща, вул. Хлопцького 50, тел.: +48 22 4731453,
ел. пошта: Peter.Gybskiy@gmail.com

ЕНЕРГЕТИЧНІ КАНАЛИ ЖИВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вступ

Здійснюване нині впровадження швидкісного і високошвидкісного пасажирського транспорту, а також великовагового руху потягів обумовлює необхідність нарощування провізної здатності залізниць та покликане забезпечити конкурентоспроможність з іншими видами транспорту, як при перевезенні пасажирів, так і при доставці вантажів. Існуюча система тягового електропостачання постійного струму не завжди в змозі забезпечити передачу електроенергії необхідної потужності і високої якості для цих потягів через низку обмежень: використання централізованої системи тягового електропостачання; низьке використання потужностей тягових підстанцій; неможливість здійснення необхідного підсилення тягової мережі; неможливість забезпечення передачі електроенергії необхідної потужності і високої якості; стрімке моральне та фізичне старіння інфраструктури тягового електропостачання. Взаємодія вказаних факторів відбувається при зростанні пікових навантажень на тягові підстанції, збільшенні втрат напруги та енергії в пристроях тягового електропостачання, ускладненні умов струмознімання з підвищенням температури проводів контактної мережі.

На сьогоднішній день одним з найперспективніших засобів підсилення системи тягового електропостачання постійного струму (СТЕ) є застосування систем розподіленого живлення (СРЖ) [1]. Підвищення ефективності в цих системах досягається за рахунок зменшення перерізу дротів контактної мережі, зменшення втрат енергії, підтримки необхідного рівня напруги в контактній мережі і збільшення коефіцієнта використання потужності основного енергетичного устаткування при зниженні його встановленої потужності. Підсилення на основі розподіленого живлення припускає перехід до нової схемотехніки тягової мережі. Перевагою цієї системи також є підсилення тягової мережі, що не вимагає додаткової агрегатної потужності, а при використанні альтернативної енергії значно знижується витрата електричної енергії. Необхідно також

відзначити, що в системі тягового електропостачання розподіленого типу більш простіше знімаються критичні фактори як з боку пікових навантажень на зовнішнє електропостачання, так і з боку споживання збиткової енергії рекуперації навіть без використання випрямно-інверторних агрегатів на головних тягових підстанціях.

Енергетичні канали для живлення розподіленої СТЕ повинні забезпечувати надійність та безперебійність живлення, стійкість до непередбачуваних впливів та високу енергоефективність. На сучасному етапі, окрім вказаного, вони повинні бути електроенергоефективними та електромагнітносумісними з оточуючим середовищем на всіх рівнях передачі, перетворення та споживання електричної енергії. Вказані процеси забезпечуються низкою різноманітних пристроїв, утворюючих, власне, енергетичні канали (ЕК): лінії електропередачі, трансформатори, перетворювачі, інфраструктура тягової мережі та споживачі електричної енергії. Взаємодія підсистем ЕК представляє складний стохастичний процес, характеристики якого змінюються у просторі, площині та часі [2].

Метою роботи є оцінка можливості використання підвищеної напруги змінного струму для живлення одноагрегатних тягових підстанцій в розподілених системах живлення.

Аналіз виконаних досліджень

У централізованій системі тягового електропостачання ЕК складається із тягових перетворювальних підстанцій (ТП), живлення яких забезпечується централізовано від системи зовнішнього електропостачання (СЗЕ) та тягової мережі (ТМ), що включає в себе фідери контактної мережі (ФКМ), контактну (КМ) та рейкову мережі (РМ) [3].

При використанні ж СРЖ тягової мережі у міжстанційних зонах використовують два підходи:

- підсилення СТЕ за допомогою перетворювальних пунктів послідовного типу, які включаються у розріз контактної мережі на ділянках між тяговими підстанціями і живлен-

ня яких забезпечується від повздожньої трифазної системи живлення змінного струму;

- підсилення СТЕ за допомогою перетворювальних пунктів паралельного типу, які підключаються до тягової мережі на ділянках між тяговими підстанціями і живлення яких забезпечується від спеціального фідера тягових підстанцій підвищеної напруги постійного струму (у порівнянні з напругою тягової мережі).

На сьогодні також опрацьовано декілька інших варіантів побудови систем розподіленого живлення, у тому числі і з застосуванням змінного струму підвищеної частоти з напівхвильовим налаштуванням для живлення пунктів підсилення (ПП) тягової мережі.

У загальному випадку структура розподіленої системи тягового електропостачання має вигляд, представлений на рис. 1.

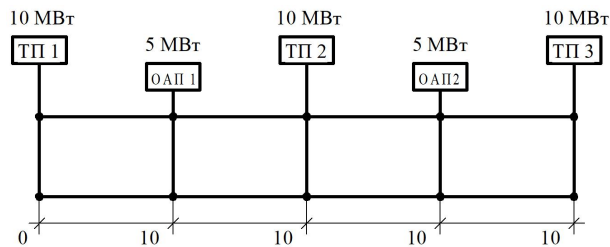


Рис. 1. Структурна схема системи тягового електропостачання розподіленого типу

Розглянемо більш детально існуючі схематехнічні рішення побудови енергетичних каналів СТЕ розподіленого типу.

1) *Енергетичні канали з повздожньою лінією змінного струму.*

Вперше застосування ліній змінного струму було запропоноване для живлення вольтодобавочних пристроїв (ВДП) для підсилення тягової мережі проф. Кисляковим В. О. [4]. Схема живлення ВДП представлена на рис. 2.

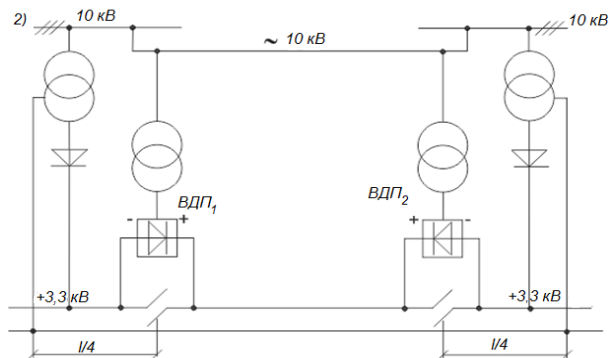


Рис. 2. Живлення ВДП від повздожньої високовольтної лінії змінного струму

На сьогоднішній день схематехніка енергетичних каналів змінного струму не змінилась. Для підвищення економічних показників функціонування СТЕ на сьогодні пропонується застосування більш високих напруг – 35 та 110 кВ [5, 6].

2) *Енергетичні канали з повздожньою лінією постійного струму.*

Лінія постійного струму для живлення перетворюючих пунктів 6/3 кВ була запропонована в роботі [7]. На сьогоднішній день для підвищення енергетичної ефективності СТЕ пропонується застосування ліній постійного струму з напругою 12, 24, 48 кВ.

Враховуючи високий рівень існуючих напівпровідникових приладів, кабельної продукції, ізоляційних і феромагнітних матеріалів, найбільш перспективною схемою розподіленого тягового електропостачання постійного струму є схема (рис. 3) на основі повздожньої високовольтної лінії постійного струму з двостороннім живленням від перетворювальних агрегатів головних тягових підстанцій напругою 48 (24) кВ та перетворювальними пунктами живлення тягової мережі напругою 3 кВ на основі оборотних електронних трансформаторів постійної напруги 24/3 кВ [8].

В схемі рис. 3 двостороннє живлення повздожньої високовольтної лінії напругою 24 кВ забезпечується головними (опорними) тяговими перетворювальними підстанціями ГТПП, розміщеними у місцях розвинутого зовнішнього електропостачання, забезпечуючого ГТПП двома – трьома незалежними входами трифазного змінного струму напругою 110 (220) кВ.

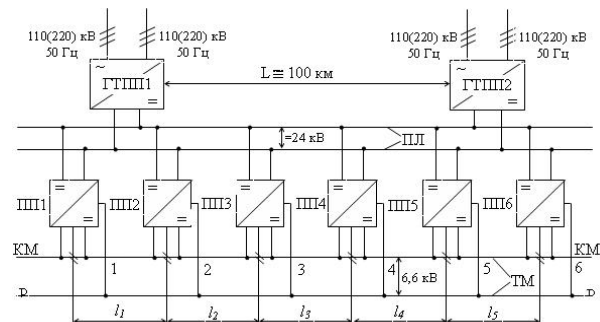


Рис. 3. Структурна схема децентралізованого (розподіленого) тягового електропостачання постійного струму напругою 6,6 кВ з повздожньою високовольтною лінією постійної напруги 24 кВ:

ГТПП1, ГТПП2 – головні (опорні) тягові перетворювальні підстанції; ПЛ – повздожня високовольтна лінія постійної напруги 24 кВ; ПП1-ПП6 – перетворювальні пункти живлення тягової мережі (ТМ);

КМ – контактна мережа; РМ – рейкова мережа

Повздовжня високовольтна лінія постійною напругою 24 кВ (ПЛ) представляє собою двохпровідну лінію, позитивний провід якої підвішується із зовнішньої сторони опор контактної мережі вздовж залізничної колії і рейок, виконуючих роль негативного провідника. Від повздовжньої високовольтної лінії постійна напруга 24 кВ подається до одноагрегатних оборотних перетворювальних пунктів (ПП), забезпечуючих живлення тягової мережі напругою 3,3 кВ. Вони розміщуються вздовж залізничної колії на відповідній відстані один від одного для забезпечення розрахункової пропускної здатності лінії.

Однією з переваг розглянутої схеми децентралізованого тягового електропостачання з повздовжньою високовольтною лінією є можливість використання гнучкого способу резервування потужності її перетворювальних частин. Так, при виході з ладу одноагрегатного перетворювального пункту живлення тягової мережі, розрахунковий розмір руху на ділянках лінії повинен забезпечуватися за рахунок півторакратного запасу потужності сусідніх перетворювальних пунктів живлення. Для резервування потужності головних тягових перетворювальних підстанцій доцільно використовувати традиційний спосіб, тобто установку на них одного резервного перетворювального агрегату.

3) *Енергетичні канали зі вставкою постійного струму.*

Основна перевага СРЖ полягає в скороченні кількості зв'язків з живлячою системою СЗЕ. В останні роки посилено розробляється для залізниць змінного струму варіант СРЖ з використанням в якості повздовжньої лінії (ПЛ) однофазного кабелю при його живленні синусоїдальною напругою 50-100 кВ, 50 Гц. Пункт підсилення (ПП) виконується при цьому на основі однофазного трансформатора, що знижує напругу до величини 25 кВ в основній КМ [9]. Якщо застосувати СРЖ для живлення залізниць постійного струму, то на ПП, окрім понижуючого трансформатора необхідно встановити однофазний випрямляч з фільтром. Зберігаючи зазначену перевагу СРЖ, така структура має, проте, такі недоліки:

- несиметричне навантаження фаз СЗЕ;
- велика встановлена потужність трансформатора і фільтрів на ПП за рахунок низької частоти $f=50$ Гц напруги, що випрямляється.

Ці недоліки долаються, якщо тягова підстанція виконується як вставка постійного струму (ВПС), за допомогою якої в ПЛ формується однофазна напруга підвищеної частоти f_n з формою, близькою до прямокутної - меандру з

обмеженим спектром (МОС) [9]. Загальна структура СРЖ відповідає при цьому рис. 4, а структура базового перетворювача (тягової підстанції) - рис. 5.

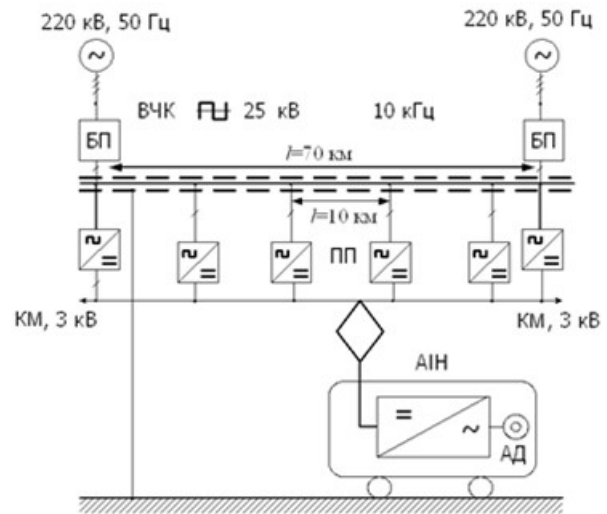


Рис. 4. Структура системи розподіленого живлення:
ВЧК - високовольтний високочастотний кабель;
АИН - автономний інвертор напруги;
АД - асинхронний тяговий двигун

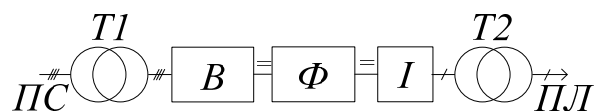


Рис. 5. Базовий перетворювач (тягова підстанція) як вставка постійного струму: Т1 і Т2 - живлячий і навантажувальний трансформатори; В - трифазний випрямляч; Φ - фільтр в ланці постійного струму; І - однофазний інвертор

4) *Енергетичні канали з проміжною ланкою підвищеної частоти.*

Перспективним напрямком створення ЕК є розробка систем живлення з проміжною ланкою підвищеної частоти. Структури напівпровідникових джерел живлення з проміжною ланкою підвищеної частоти (ПЛПЧ) отримали широке застосування при малій потужності навантаження. Їх основні переваги:

- за рахунок підвищення частоти радикальним чином скорочуються розміри силових електромагнітних елементів (трансформаторів і фільтрів);
- з тієї ж причини підвищується коефіцієнт корисної дії;
- за рахунок введення додаткових перетворювачів розширюються можливості управління.

Ці позитивні властивості актуальні для залізничного транспорту, проте використання

(ПЛПЧ) ще до недавнього часу було нереальним у зв'язку з відсутністю на ринку потужних швидкодіючих напівпровідникових приладів з необхідними характеристиками. Останніми роками такі прилади з'явилися, і разом з ними створилася можливість впровадження ПЛПЧ в систему живлення електрифікованих залізниць. Проте порівняно з традиційним застосуванням ПЛПЧ системи електропостачання доріг створюють ряд додаткових труднощів, пов'язаних з введенням в ПЛПЧ об'єкту з розподіленими параметрами (в даному випадку повздовжньої лінії) і підвищеною потужністю, що посилює негативні ефекти при підвищенні частоти, зокрема, скін-ефект в провідниках повздовжньої лінії і додаткові втрати в ізоляції [10].

Вказана структура містить в якості первинного джерела живлення трифазну промислову мережу, яка підключається через тягові підстанції (ТП), розташовані на відстані приблизно 150–200 км одна від одної. На кожній підстанції встановлюється базовий перетворювач (БП), який виробляє однофазну напругу частотою 150 або 300 Гц, величиною порядку 50 кВ і формою, що наближається до прямокутної (меандр). Ця напруга подається в подовжню лінію, в якості якої доцільно використовувати коаксіальний кабель. Через проміжні пункти живлення (ПП), розташовані з інтервалом близько 10 км, від подовжньої лінії живиться основна контактна мережа (КМ) постійного струму напругою 3 кВ. Застосування підвищеної частоти 300 Гц на ПП дозволяє приблизно втричі скоротити розміри трансформаторів і фільтрів на ПП, що з великим запасом перекидає витрати на додаткове електроустаткування на ТП, оскільки його встановлена потужність у декілька разів менше сумарної встановленої потужності електроустаткування на ПП. Застосування меандра замість синусоїди майже удвічі скорочує встановлену потужність напівпровідникових приладів, а також покращує використання ізоляції кабелю за рахунок того, що для ідеального меандра співвідношення між амплітудним і діючим значеннями дорівнює одиниці, тоді як для синусоїди воно рівне $\sqrt{2}$. Можливе також подальше підвищення частоти в повздовжній лінії при умові вирішення задачі хвильового налаштування системи розподіленого живлення.

Для подолання зазначених проблем пропонується режим напівхвильового налаштування [10]. Він полягає у використанні такої частоти $f = 1/T$ основної гармоніки напруги в кабельній ПЛ, щоб на відрізку l_n між сусідніми ПЛ укладається одна напівхвиля напруги.

Застосування системи розподіленого живлення контактної мережі від кабельної поздовжньої лінії з підвищеною частотою змінної напруги дозволяє приблизно на порядок зменшити масу силових електромагнітних елементів у випрямних агрегатах, скоротити в кілька разів число зв'язків з живильною енергосистемою й розширити можливості керування системою електропостачання

Режим напівхвильового налаштування системи усуває індуктивне падіння напруги в поздовжній лінії, що дозволяє використовувати некеровані випрямлячі, і знижує чутливість до резонансних явищ, що дозволяє використовувати в поздовжній лінії квазіпрямокутну форму напруг і струмів, що забезпечує більше високі енергетичні показники в порівнянні із синусоїдальною. Зміною співвідношення між хвильовим опором кабелю й опором номінального навантаження можна до 2–3 разів знизити втрати холостого ходу в поздовжній лінії.

5) *Енергетичні канали з застосуванням альтернативних джерел електричної енергії.*

Концепція застосування альтернативних джерел для живлення ПП тягової мережі розвивається на кафедрі ІСЕ ДНУЗТ [1, 11]. На думку вчених, децентралізація виробництва електроенергії є важливою складовою інноваційно-технологічного забезпечення структурного реформування енергетичної галузі з метою підвищення її ефективності і дозволяє, серед іншого, зменшити втрати електроенергії при транспортуванні через максимальне наближення джерела до споживача, зменшити число і довжину магістральних ЛЕП, зменшити наслідки аварій на центральних електростанціях і головних ЛЕП, забезпечити взаємне багатократне резервування електрогенеруючих потужностей.

Перевага живлення ПП від сонячних батарей полягає в тому, що немає необхідності в монтажі додаткової живильної лінії від тягової підстанції і незалежність їх роботи від неї. До питань, підлягаючих вирішенню слід віднести: тип джерела поновлюваної електричної енергії; компенсація впливу погодних умов на рівень генерованої енергії; схемотехніка, компонування і елементна база; техніко-економічне обґрунтування їх застосування з прив'язкою до надійності забезпечення живлення тягового навантаження з необхідними енергетичними характеристиками. Схема лінійного ПП складається з однофазного інвертора на IGBT транзисторах, перетворюючого трансформатора і випрямляча. Для зменшення вагогабаритних розмірів трансформатора використовується напруга підви-

щеної частоти (700 Гц), а сердечник трансформатора виконаний з аморфного сплаву [12].

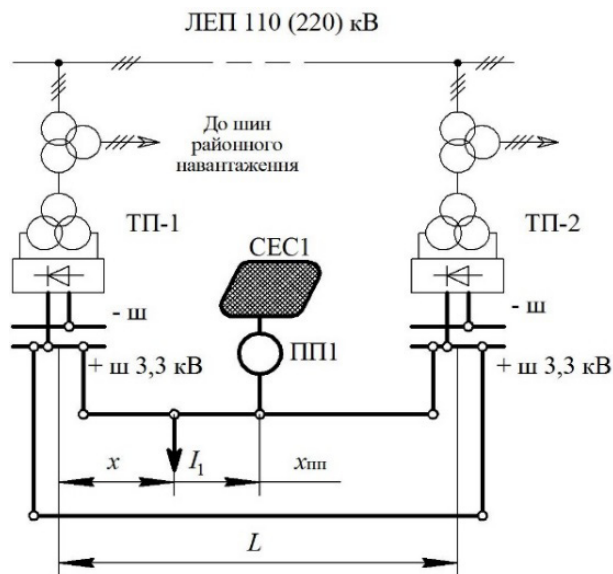


Рис. 6. Структура СТЕ з СЕС

Необхідно вказати, що розглянуті вище засоби для побудови каналів живлення пунктів підсилення мають, в більшості, теоретичний характер та потребують значних капіталовкладень в його інфраструктуру. Тому більш доцільно в подальшому розглядати засоби підвищення ефективності тягового електропостачання постійного струму напругою 3,3 кВ в рамках існуючої інфраструктури за рахунок використання на міжпідстанційних зонах елементів розподіленої структури живлення тягової мережі, тобто ліній повздожнього електропостачання змінного струму.

б) Оцінка доцільності живлення пунктів підсилення напругою 35 кВ.

В роботі [13] було показано, що найбільш доцільним варіантом для підвищення ефективності повздожніх ліній електропостачання на електрифікованих залізницях є застосування напруги 35 кВ. У цьому контексті доцільним є оцінка можливості застосування трифазних ліній електропостачання 35 кВ для побудови ЕК розподіленої СТЕ. Проведемо розрахунок цієї лінії за наступних умов: відстань між тяговими підстанціями 20 км; потужність пункту підсилення складає (5) 4 МВт; - ПП знаходиться посередині розрахункової зони. Розрахунок проводився по відомій методиці [14].

Для розрахунку приймається потужність мережевої обмотки трансформатора перетворювального агрегату 6300 кВА. Розрахунки проводились для ліній напругою 35 кВ та 10 кВ з

проводами АС-35, АС-50, АС-70, АС-95, АС-120 та АС-150. Результати розрахунку представлені на рис. 7 та 8.

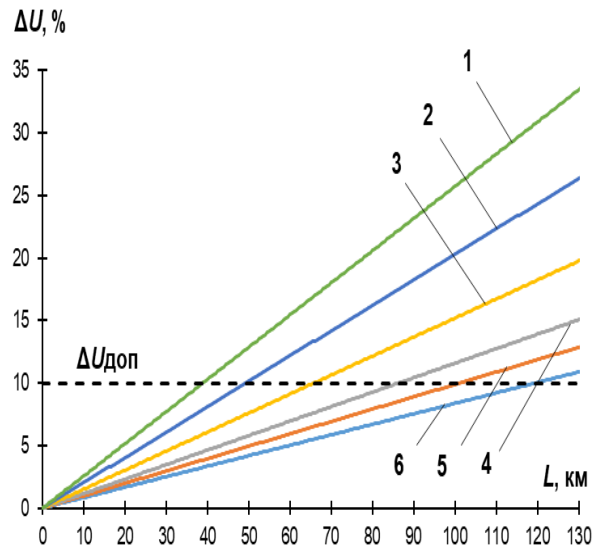


Рис. 7. Втрати напруги в лінії 35 кВ:
1 – провід АС-35; 2 – провід АС-50;
3 – провід АС-70; 4 – провід АС-95;
5 – провід АС-120; 6 – провід АС-150

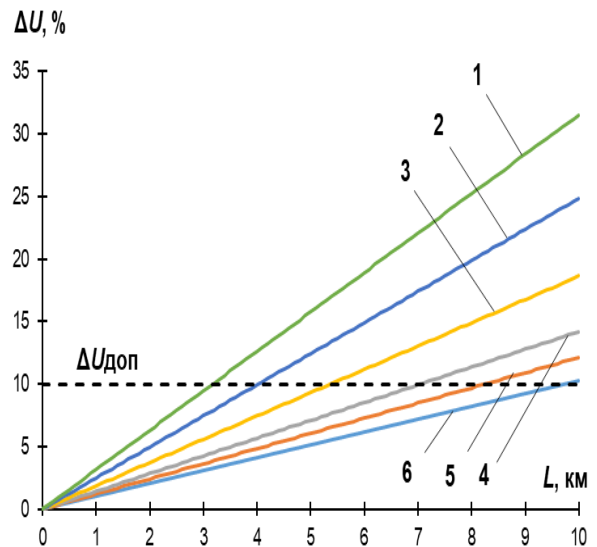


Рис. 8. Втрати напруги в лінії 10 кВ:
1 – провід АС-35; 2 – провід АС-50;
3 – провід АС-70; 4 – провід АС-95;
5 – провід АС-120; 6 – провід АС-150

За результатом розрахунку було отримано допустимі довжини ліній для живлення підсилюючого пункту (табл. 1).

Таким чином, при живленні ПП від мережі 35 кВ доцільно прокладати живлячу лінію проводами АС-35. При живленні ПП від існуючої лінії ПЕ-10 кВ, ПП необхідно розташовувати не далі ніж 5,5 км від ТП, в іншому випадку необхідно підсилювати лінію ПЕ. Необхідно

також зауважити, що для підвищення ефективності використання ліній 35 кВ, живлячих пункти підсилення у розподіленій системі, можливе застосування проводів СП [15, 16].

Таблиця 1 – Допустимі довжини ліній

Марка проводу	Допустима довжина лінії 35 кВ, км	Допустима довжина лінії 10 кВ, км
АС-35	38,5	3,2
АС-50	49	4
АС-70	65,5	5,4
АС-95	86,5	7
АС-120	101	8,2
АС-150	119,5	9,8

Висновки

При розробці схемотехніки систем розподіленого типу важливим завданням є вибір енергетичного каналу для живлення пунктів підсилення. Існуючі на сьогоднішній день технічні рішення енергетичних каналів з використанням ліній електропередачі 10 кВ не дозволяють в повній мірі забезпечити економічність передачі енергії для живлення пунктів підсилення.

Найбільш доцільним варіантом для підвищення ефективності повздовжніх ліній електропостачання на електрифікованих залізницях є застосування напруги 35 кВ. При цьому, при зниженні втрат напруги і потужності в самій лінії, можливо забезпечити передачу необхідної для живлення пункту підсилення потужності з використанням проводів АС-35 по всій довжині міжпідстанційної зони.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sychenko V. G., Bosiy D. O., and Kosarev E.M., «Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current», Archives of Transport, vol. 35, iss. 3, pp. 63 – 70, 2015.
2. Сиченко В. Г. Розвиток наукових основ підвищення електромагнітної сумісності підсистем електричної тяги постійного струму залізничного транспорту. Дис. на здобуття наукового ступеня д.т.н. 2011, - Дніпропетровськ, ДНУЗТ. 464 с.
3. Тер-Оганов Э.В., Пышкин А.А. Электроснабжение железных дорог. Екатеринбург, Изд-о УрГУПС, 2014. – 431 с.
4. Кисляков В.А. Сравнительная оценка технических показателей различных способов усиления электрифицированных линий постоянного тока / МИИТ, 1978, вып. 604, с. 3 – 21 с.
5. Смирнов Д. Б. Совершенствование методики расчета распределенной системы тягового электроснабжения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2010, 22 с.12.
6. Аржанников Б. А., Набойченко И. О. Концепция усиления системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ: монография, Екатеринбург: УрГУПС, 2015.
7. Третьяк Т.П. Расчет системы энергоснабжения постоянного тока повышенного напряжения [Текст]// Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института ж.д. транспорта, 1968, №8, с. 14-17.
8. Хворост Н.В., Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В. Обратимый преобразователь для связи двух линий постоянного тока в системе распределенного тягового электроснабжения // Технічна електродинаміка. Тем. випуск „Проблеми сучасної електротехніки”, Київ. – 2004. – Ч. 6. – С. 99–106.
9. Панасенко Н.В., Гончаров Ю.П., Замаруев

REFERENCES

1. Sychenko V. G., Bosiy D. O., and Kosarev E.M., «Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current», Archives of Transport, vol. 35, iss. 3, pp. 63-70, 2015.
2. Sychenko V. H. Rozvytok naukovykh osnov pidvyshchennya elektromahnitnoyi sumisnosti pidsystem elektrichnoyi tyahy postynnoho strumu zaliznychnoho transportu. Dys. na zdobuttya naukovooho stupeniv d.t.n. 2011, - Dnipropetrovs'k, DNUZT. 464.
3. Ter-Oganov E.V., Pyshkin A.A. Elektrosnabzheniye zheleznnykh dorog. Yekaterinburg, Izd-v UrGUPS, 2014. 431.
4. Kislyakov V.A. ravnitel'naya otsenka tekhnicheskikh kharakteristik razlichnykh sposobov usileniya elektrifitsirovannykh liniy postoyannogo toka / MIIT, 1978, vyp. 604., 3-21.
5. . Smirnov D. B. Sovershenstvovaniye metodiki rascheta raspredelennoy sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya. Rabota Avtor na Soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Sankt-Peterburg, 2010, 22, 12.
6. Arzhannikov B. A., Naboychenko I. A.. Kontseptsiya usileniya sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya postoyannogo toka 3,0 kV: monografiya, Yekaterinburg: UrGUPS, 2015.
7. Tretyak T.P. Raschet sistemy energosnabzheniya postoyannogo toka povyshennogo napryazheniya [Tekst] // Vestnik Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zh.d. transporta, 1968, №8, 14-17.
8. Khvorost M.V., Honcharov YU.P., Panasenکو N.V. Oborotnyy peretvoryuvach dlya zv'yazku dvokh liniy postynnoho strumu v systemi rozpodilenoho tyahovoho elektropostachannya // Tekhnichna elektrodinamika. Tym. vypusk "Problemy suchasnoyi elektrotekhniki", Kyiv. - 2004. - CH. 6. 99-106.
9. Panasenکو N., Goncharov YU.P., Zamaruyev

© Губський П. В., 2018

В.В., Кривошеев С.Ю., Иванов А.Е., Морозов Л.Л., Сыченко В.Г. Преобразователь формы напряжения для систем электроснабжения контактной сети переменного тока. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. Лазаряна – 2009. – Вип. 29. – С. 76-81.

10. Сокол Е.И., Гончаров Ю.П., Ивахно В.В., Сыченко В.Г. и др. Выпрямители с комбинированной фильтрацией для присоединения к системам переменного тока с выраженными резонансными свойствами. // Гірничя електромеханіка та автоматика. Науково-технічний збірник НГУ, Вип. 86 – 2011, с. 54-62.

11. Сиченко В. Г. Інтеграція сонячної енергетики у систему тягового електропостачання постійного струму, Вісник Нац. техніч. ун-ту «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування, № 12 (1121), с. 364 – 368, 2015.

12. Гончаров Ю.П. Система преобразования энергии, генерируемой в полосе отчуждения железной дороги с помощью солнечных панелей / Ю.П. Гончаров, Е.И. Сокол, В.В. Замаруев и др. // Вісник Приазовського державного технічного університету: Збірник наукових праць. - Маріуполь, 2015. - Випуск № 30. с. 200-211.

13. Сиченко В.Г., Кузнецов В. В., Міщенко А. В., Бондар О. І., Кордін О. П. Оцінка енергоефективності ліній повздовжнього електропостачання залізниць при підвищенні напруги в мережі. Електрифікація транспорту. № 14 – 2017, - с. 94-101.

14. Бондар І.Л., Бондар О.І., Сиченко В.Г. Електричні системи та мережі нетягових споживачів залізничного транспорту: навчальний посібник (з грифом МОН). Дніпропетровськ. Вид-о Маковецький, 2009. – 184 с.

15. Горюнов В.Н., Бубенчиков А.А., Гиршин С.С., Петрова Е.В., Левченко А.А. Эффективность применения самонесущих изолированных проводов в современных электроэнергетических системах. Омский научный вестник. 2009, № 1, с. 106-108. Електронний ресурс. Доступно: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-samonesushchih-izolirovannyh-provodov-v-sovremennyh-elektroenergeticheskikh-sistemah>.

16. Бердянський кабельний завод. Каталог продукції. Електронний ресурс. Доступно: http://www.bkz.com.ua/cables/online_catalogue/xlpe/sip/sip-3/

V.V., Krivosheyev S.YU., Ivanov A.Ye., Morozov L.L., Sychenko V.G. Preobrazovatel' formy napryazheniya dlya sistem elektrosnabzheniya kontaktnoy seti peremennogo toka. // Vestnik Dnepropetr. nats. un-ta zheleznodorozhnogo transporta im. akad. Makarova - 2009. - Vyp. 29. 76-81.

10. Sokol Ye.I., Goncharov YU.P., Ivakhno V.V., Sychenko V.G. i dr. Vypriamiteli s kombinirovannoy fil'tratsii dlya prisoyedineniya k sistemam peremennogo toka s vyrazhennymi rezonansnymy svoystvami. // Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk NHU, Vyp. 86 - 2011 roku, 54-62.

11. Sychenko V. H.. Intehratsiya Sonyachnoyi enerhetyky u systemu tyahovoho elektropostachannya postyynoho strumu, Visnyk Nats. tekhnich. un-tu «KHPI». Seriya: Avtomatyka ta Pryladobuduvannya, № 12 (tysyacha sto dvadtsyat'-odyn), 364-368, 2015.

12. Honcharov YU.P. Systema peretvorennya enerhiyi, shcho heneruyet'sya v smuzi vidchuzhennya zaliznytsi za dopomohoyu sonyachnykh paneley / YU.P. Honcharov, YE.I. Sokil, V.V. Zamaruev i in. //Visnyk Pryazov'skoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh prats'. - Mariupol', 2015. - Vypusk № 30. 200-211.

13. Sychenko V.H., Kuznyetsov V. V., Mishchenko A. V., Bondar O. I., Kordin O. P. Otsinka enerhoefektyvnosti liniy povzdovzhn'oho elektropostachannya zaliznyts' pry pidvishchenni napruhy v merezhi. Elektrifikatsiya transportu. № 14 - 2017, -94-101.

14. Bondar I.L., Bondar O.I., Sychenko V.H. Elektrichni systemy ta merezhi netyahovykh spozhivachiv zaliznychnoho transportu: navchal'nyy posibnyk (z hryfom MON). Dnipropetrovs'k. Vyd-o Makovets'ky, 2009. – 184.

15. Goryunov V.N., Bubenichikov A.A., Girshin S.S., Petrova Ye.V., Levchenko A.A. Effektivnost' primeneniya samonesushchikh izolirovannykh provodov v sovremennykh elektroenergeticheskikh sistemakh. Omskiy nauchnyy vestnik. 2009, № 1, 106-108. Elektronnyy resurs. Dostupno :: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-samonesushchih-izolirovannyh-provodov-v-sovremennyh-elektroenergeticheskikh-sistemah>.

16. Berdyansk cable factory. Product catalog. Elektronnyy resurs. Dostupno: http://www.bkz.com.ua/cables/online_catalogue/xlpe/sip/sip-3/

Впровадження систем тягового електропостачання розподіленого типу для живлення швидкісних поїздів дозволяє забезпечити необхідний режим потужності та напруги в тяговій мережі. При розробці схемотехніки систем розподіленого типу важливим завданням є вибір енергетичного каналу для живлення пунктів підсилення. На сьогоднішній день в якості таких каналів застосовуються лінії електропередачі постійного та змінного струму. Відомі також теоретичні розробки енергетичних каналів іншого типу: з підвищеною частотою, ланкою постійного струму та інші. В пропонуваній роботі представлені результати розрахунків лінії електропередачі змінного струму напругою 35 кВ в якості енергетичного каналу розподіленої системи тягового електропостачання для живлення пункту підсилення потужністю 5 МВт. Показано, що для забезпечення необхідних енергетичних показників достатнє використання проводів АС-35 як по нормованим втратам потужності, так і напруги.

Ключові слова: система тягового електропостачання розподіленого типу, тягова мережа, енергетичний канал, пункт підсилення, лінія електропередачі.

© Губський П. В., 2018

УДК 621.311

П. В. ГУБСКИЙ (ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА)

Институт железнодорожного транспорта, 04-275 Варшава, Польша, ул. Хлопицкого 50,
тел.: +48 22 4731453, эл. почта: Peter.Gybskiy@gmail.com

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Внедрение систем тягового электроснабжения распределенного типа для питания скоростных поездов позволяет обеспечить необходимый режим мощности и напряжения в тяговой сети. При разработке схемотехники систем распределенного типа важной задачей является выбор энергетического канала для питания пунктов усиления. На сегодняшний день в качестве таких каналов применяются линии электропередачи постоянного и переменного тока. Известны также теоретические разработки энергетических каналов другого типа: с повышенной частотой, звеном постоянного тока и другие. В предлагаемой работе представлены результаты расчетов линии электропередачи переменного тока напряжением 35 кВ в качестве энергетического канала распределенной системы тягового электроснабжения для питания пункта усиления мощностью 5 МВт. Показано, что для обеспечения необходимых энергетических показателей достаточно использования проводов АС-35 как по нормированным потери мощности, так и напряжения.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения распределенного типа, тяговая сеть, энергетический канал, пункт усиления, линия электропередачи.

UDC 621.311

P. V. HUBSKY (INSTITUTE OF RAILWAY TRANSPORT)

Institute of Railway Transport, 50 Chlopickiego Str., 04-275 Warsaw, Poland,
e-mail: Peter.Gybskiy@gmail.com

ENERGY CHANNELS OF POWER OF DISTRIBUTED SYSTEMS OF TYPE ELECTRICAL SUPPLY

The introduction of distributed power supply systems for the supply of high-speed trains allows for the necessary mode of power and voltage in the traction network. In the design of circuitry systems of distributed type an important task is the choice of the power channel for feeding points of amplification. Today, as such channels, power lines are used for direct and alternating current. Also known are theoretical developments of power channels of another type: with high frequency, a link of direct current and others. The proposed work presents the results of calculations of the AC power line with voltage of 35 kV as an energy channel of a distributed traction power supply system for supplying a 5 MW power gain point. It is shown that in order to provide the necessary energy indices, the use of AC-35 wires is sufficient for normalized power losses and voltages.

Keywords: distributed type of traction power supply, traction network, power channel, point of gain, power line.

Received 16.01.2018; accepted in revised form 12.04.2018.