

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

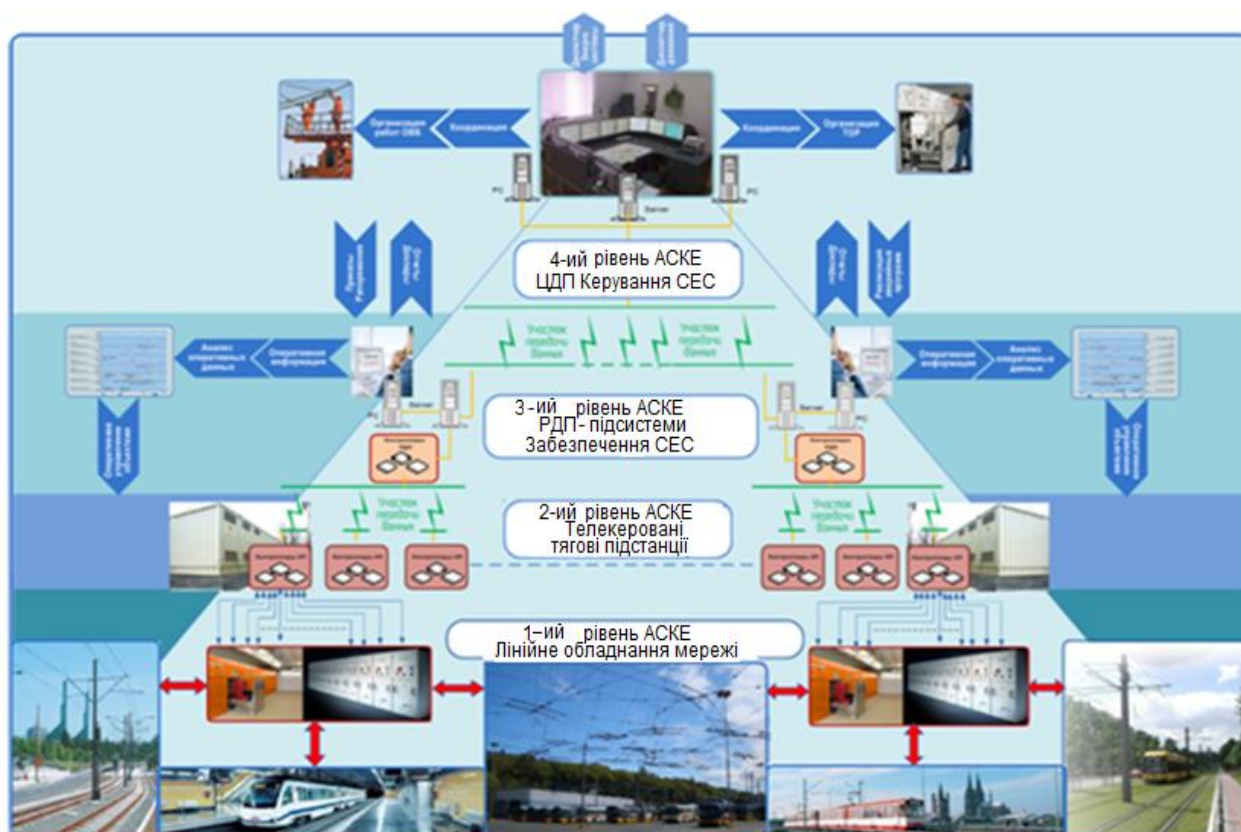
Т. П. Павленко, А. М. Мовчан-Кобець

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка)*



Харків
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
2019

Павленко Т. П. Електропостачання електричного транспорту. Автоматизована система електропостачання транспорту : конспект лекцій для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка / Т. П. Павленко, А. М. Мовчан-Кобець ; Харків. нац. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 123 с.

Автори:

д-р техн. наук, проф. Т. П. Павленко,
асист. А. М. Мовчан-Кобець

Рецензент

Н. Н. Заблодський, доктор технічних наук, професор, кафедра електротехніки, електромеханіки та електротехнологій (Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)

Рекомендовано на засіданні кафедри електричного транспорту протокол № 16 від 26.06.2018.

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам електротранспортних, електротехнічних, електромашинобудівних спеціальностей всіх форм навчання.

© Т. П. Павленко, А. М. Мовчан-Кобець, 2019
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019

ЗМІСТ

Вступ	5
ЛЕКЦІЯ 1 СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ	6
1.1 Загальні відомості про структуру автоматизованої системи електропостачання транспорту і основні її рівні	6
1.2 Основне обладнання автоматизованої системи електропостачання транспорту	12
1.3 Автоматизована телемеханічна система електропостачання транспорту.....	14
1.4 Автоматизовані системи електропостачання тягових підстанцій.....	18
Контрольні запитання	20
ЛЕКЦІЯ 2 АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ НАЗЕМНОГО МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	21
2.1 Класифікація та основне обладнання тягових підстанцій МЕТ....	21
2.2 Автоматизована система моніторингу і захисту тягової підстанції.....	27
2.3 Автоматизована телемеханічна система тягових підстанцій.....	30
2.4 Шафи власних потреб тягових підстанцій.....	33
Контрольні запитання	35
ЛЕКЦІЯ 3 АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	36
3.1 Класифікація тягових підстанцій залізничного транспорту і їх системи електропостачання.....	36
3.2 Автоматизована система керування на основі мікропроцесорної техніки.....	38
3.3 Автоматизовані елементи моніторингу на залізниці.....	41
Контрольні запитання	42
ЛЕКЦІЯ 4 АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНА	43
4.1 Класифікація тягових підстанцій метрополітену і схеми їх електропостачання.....	43
4.2 Автоматизовані системи електропостачання метрополітену.....	45
4.3 Обладнання автоматизованої системи електропостачання метрополітену.....	51
4.4 Телемеханічний автоматизований комплекс електропостачання тягових підстанцій метрополітену.....	54
4.5 Рекуперативні пристрої.....	59
Контрольні запитання	62

ЛЕКЦІЯ 5 ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ	63
5.1 Основні поняття і комплекти релейного захисту.....	63
5.2 Основні види релейних захистів.....	66
5.3 Сучасні релейні захисту в пристроях тягового електропостачання.....	71
Контрольні запитання	79
ЛЕКЦІЯ 6 ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ	80
6.1 Особливості автоматизованої системи електропостачання та керування при роботі тягових електродвигунів.....	84
6.2 Системи керування на основі асинхронних тягових двигунів.....	85
6.3 Система керування з чотириквadrантним перетворювачем.....	89
6.4 Принципи керування автоматизованих систем з асинхронними тяговими двигунами.....	83
6.5 Принципи керування автоматизованих систем з асинхронними тяговими двигунами.....	90
Контрольні запитання	93
ЛЕКЦІЯ 7 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	94
7.1 Автоматизована система контактної мережі залізничного транспорту.....	95
7.2 Автоматизована система електропостачання контактної мережі тролейбуса.....	105
7.3 Автоматизована система контактної мережі трамвая.....	112
7.4 Устаткування автоматизованої цифрової системи керування і її елементи.....	118
Контрольні запитання	122
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	123

ВСТУП

Чіткість роботи міського електрифікованого транспорту безпосередньо залежить від безперебійного і якісного постачання електроенергією, що, у свою чергу, безпосередньо пов'язано з якістю роботи пристроїв автоматики і телемеханіки на тягових підстанціях і контактних мережах.

Система автоматизації електропостачання міського електротранспорту базується на централізації керуючих процесів від центрального диспетчерського пункту. Це сприяє отриманню результатів контролю, вимірів і діагностування, а також використанню пристроїв телекерування тягових підстанцій із застосуванням автоматизованих робочих місць диспетчерів.

Широкі комунікаційні можливості автоматизованих систем електропостачання сприяють інформаційній взаємодії з іншими системами і пристроями на рівнях центральних диспетчерських і контрольних пунктів.

Для побудови рівнів автоматизованих систем електропостачання транспорту використовується склад програмних пакетів, які мають декілька контрольованих параметрів і команд керування, що складаються з більше 50000 сигналів, заявлених в технічних вимогах.

Передача даних відбувається по двох незалежних радіоканалах, що дозволяє розділяти системи не лише на логічні групи, але і фізичні. У середині кожної фізичної групи виділені логічні сигнали – радіозони – через вузловий контролер (ретранслятор). Такий вузол обирається з умови радіовидимості усіх груп цієї радіозони і сусіднього вузлового контролера. Це дозволяє здійснювати ретрансляцію пакетів даних між контролерами, що не знаходяться в безпосередній радіоблизькості.

Сучасні системи керування електропостачанням електричного транспорту для тягових і знижуючих підстанцій, а також вентильними агрегатами мають модифіковані контролери автоматики і телемеханіки. Використання таких пристроїв сприяє підвищенню енергоефективності і енергозбереженню шляхом організації технічного і комерційного обліку електроенергії а також контролю графіка навантаження.

ЛЕКЦІЯ 1

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ

1.1 Загальні відомості про структуру автоматизованої системи електропостачання транспорту і основні її рівні.

1.2 Основне обладнання автоматизованої системи електропостачання транспорту

1.3 Автоматизована телемеханічна система електропостачання транспорту.

1.4 Автоматизовані системи електропостачання тягових підстанцій.

1.1 Загальні відомості про структуру автоматизованої системи електропостачання транспорту і основні її рівні

Автоматизовані системи електропостачання наземного транспорту і метро являють собою складний комплекс з інтегральними функціями керування, які виконуються і регулюються обладнанням тягових підстанцій (ТП) постійного і змінного струму.

Застосування автоматизованої системи електропостачання транспорту забезпечує підвищення надійності і якості електроенергії, а також скорочення її витрат за рахунок зменшення втрат, як в нормальних, так і в аварійних режимах експлуатації (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Автоматизована система електропостачання міського транспорту

Основними функціями автоматизованої системи електропостачання транспорту є:

- утримання обсягу оперативної пам'яті, необхідність її миттєвої обробки для видачі керуючих впливів;
- автоматизований облік за витратою електроенергії на кожній лінії, що живиться від системи і об'єктивний аналіз втрат;
- діагностика і запобігання аварійним ситуаціям;
- складання графіків профілактичних ремонтів і облік часу простою технологічного обладнання.

Керування електропостачанням транспорту та координація роботи автоматизованих систем проводиться з центрального диспетчерського пункту (ЦДП).

Система ЦДП обладнана автоматизованими засобами передачі, збору, обробки, відображення та зберігання інформації. Зв'язок з підрозділами здійснюється також за телефоном і УКВ радіостанції.

У сферу діяльності ЦДП входить:

- координація робіт ремонтного і оперативного персоналу тягових підстанцій, бригад контактної і кабельної мережі;
- керування і керівництво роботами з ліквідації аварійних ситуацій, а також ненормальних режимів роботи обладнання;
- зв'язок з енергопостачальними організаціями, центральним диспетчером, диспетчером руху електротранспорту, службою головного ревізора;
- оперативне керування підрозділами енергослужб.

В основу побудови будь-якої автоматизованої системи керування (АСК) електропостачанням транспорту покладено ієрархічний принцип, який полягає в тому, що вся система розбивається на окремі підсистеми або рівні керування (рис. 1.2).

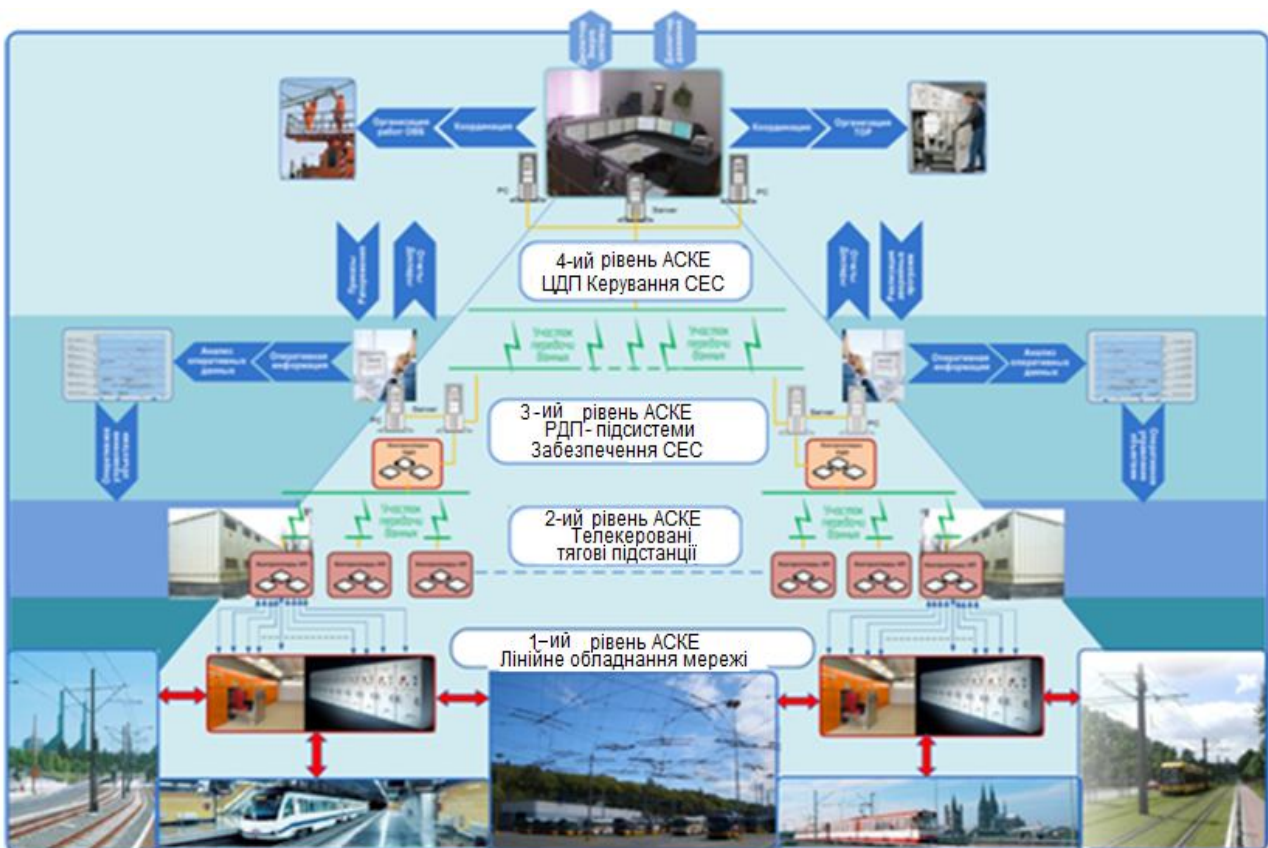


Рисунок 1.2 – Автоматизована система електропостачання МЕТ

Така структура сприяє створенню комплексу зовнішніх і внутрішніх технічних засобів і систем телемеханіки, в які входять системи збору, передачі, обробки, відображення, зберігання інформації, а також модернізації периферійного обладнання контактної мережі і тягових підстанцій.

Застосування такого принципу побудови структури електропостачання транспорту, обумовлено необхідністю:

- наявності диспетчерського керування на супідрядних рівнях;
- розподілу функцій диспетчерів;
- диференціювання інформації по її значущості стосовно конкретної ситуації.

Розглянемо роботу автоматизованої системи електропостачання наземного міського електричного транспорту (МЕТ) на прикладі його експлуатації в структурі мережі міста Харкова.

Загальна протяжність контактної мережі трамвая і тролейбуса в місті Харкові становить 812 км.

Протяжність високовольтних кабельних ліній – 387 км.

Протяжність кабельних ліній постійного струму – 384 км.

В даний час в енергослужби Харківського міського комунального підприємства (ХМКП) «Міськелектротранс» експлуатуються 60 перетворювальних тягових підстанцій із загальною встановленою потужністю 193,8 МВт.

Сучасні автоматизовані системи електропостачання МЕТ оснащені елементами контактної мережі з виконавчими пристроями, а також пристроями збору і передачі інформації (див. рис. 1.1).

На *першому рівні* автоматизованої системи передбачено отримання інформації:

- про наявність напруги на ділянках секціонування контактної мережі;
- про стан контактної мережі (механічному натягу на анкерних ділянках, його знос, нагріванні і ін.);
- про керування лінійними та кабельними роз'єднувачами.

На *другому рівні* автоматизованої системи на додаток до існуючих функцій також передбачено:

- дистанційне керування командною і сигнальною апаратурою секційних та лінійних роз'єднувачів;
- збір інформації від лічильників активної та реактивної енергії за кількома тарифами, її первісна обробка і зберігання.

– збір інформації від датчиків телевимірювання поточних значень навантаження по ліній живлення і випрямних агрегатів;

– збір інформації з контрольованих пунктів (КП) з метою отримання деяких розрахункових функцій і вироблення керуючих впливів на технологічне обладнання, особливо в аварійних ситуаціях. Це підвищує надійність системи в цілому.

Третій рівень автоматизованої системи обладнаний пристроями телемеханіки та обчислювальної техніки і конфігурує в залежності від покладених завдань і обсягу оброблюваної інформації.

Принцип дії телемеханічної системи подано на рисунку 1.3.

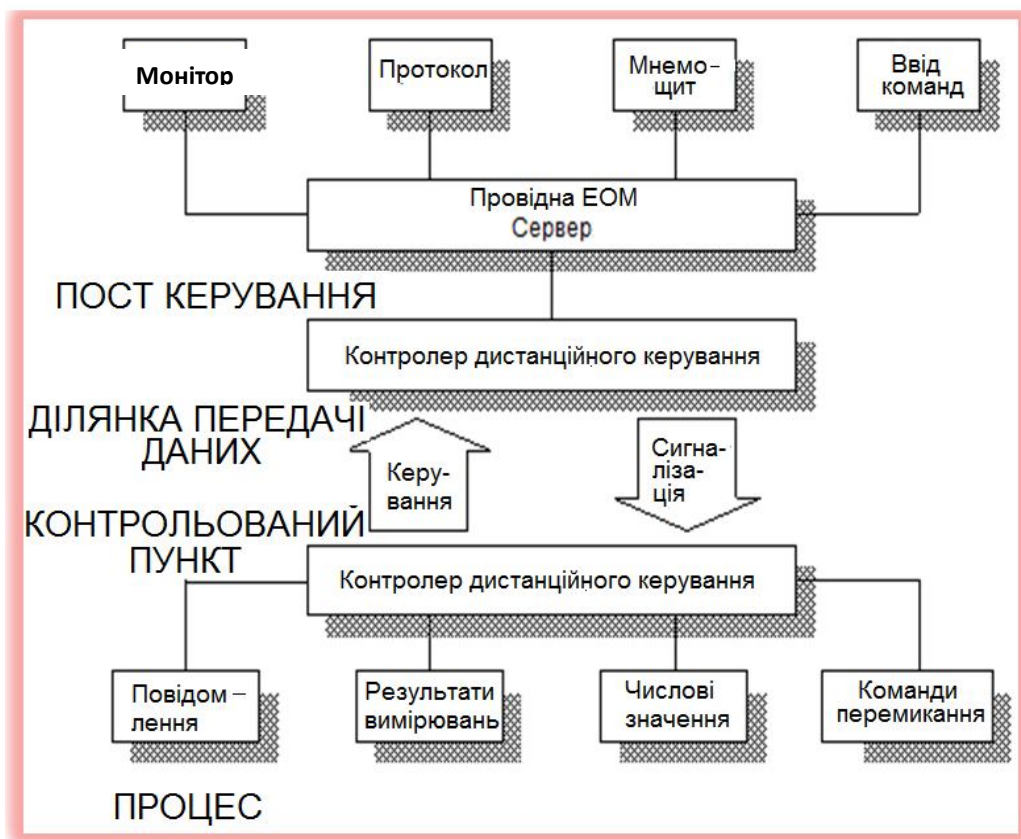


Рисунок 1.3 – Принцип дії телемеханічної техніки

Керування автоматизованими системами електропостачання транспорту на перших трьох рівнях здійснюється через районні диспетчерські пункти (РДП), які виконують такі функції (рис. 1.4):

– керують функціями автоматизованої системи ТП і лінійними об'єктами за допомогою засобів телекерування, які використовує людина-оператор;

– отримують інформації про несправності периферійного обладнання та його режимах роботи;

– відтворюють і відображають отриману інформацію;

- отримують первинну обробку інформації, її диференціювання і здійснюють передачу на більш високий рівень;
- отримують службові команди з більш високих рівнів;
- отримують інформацію за викликом і в аварійних ситуаціях;– ретранслюють інтегральні і поточні значення телевимірювання на більш високий рівень.

Районні диспетчерські пункти обладнані постами керування з автоматизованими робочими місцями (АРМ), (рис. 1.5).

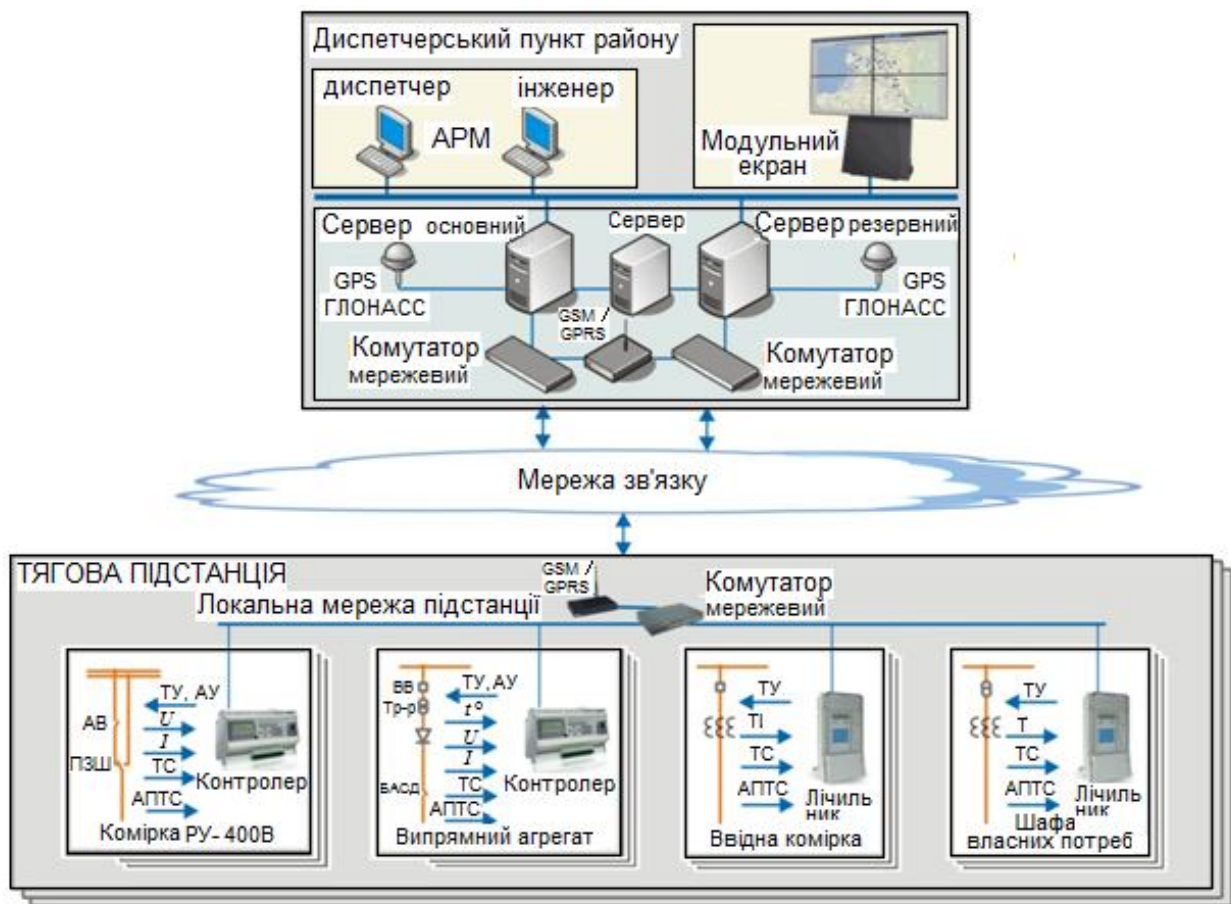


Рисунок 1.4 – Автоматизована система електропостачання районного диспетчерського пункту

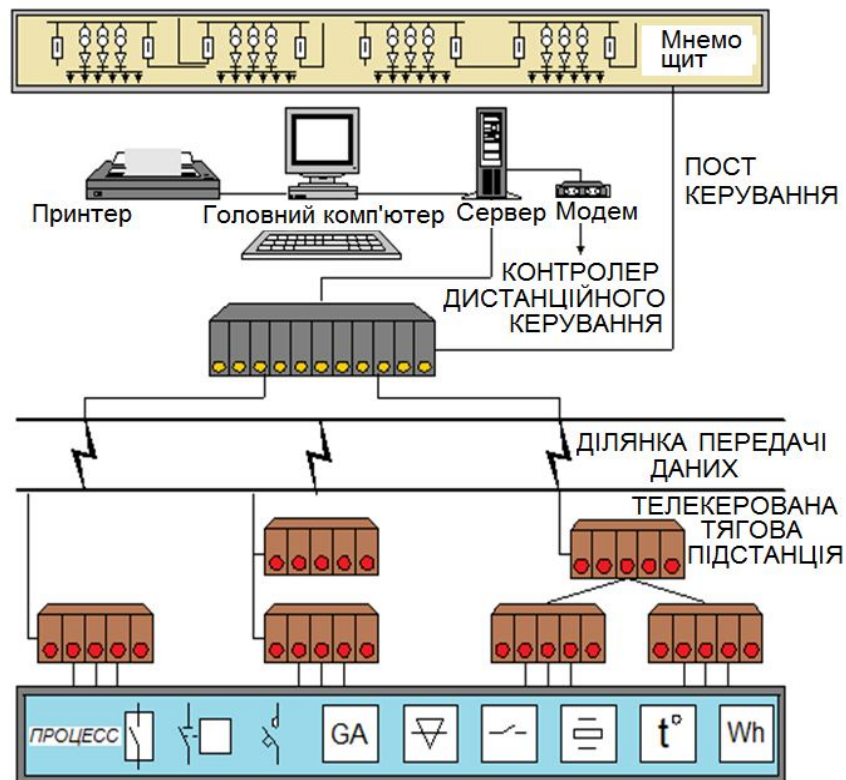


Рисунок 1.5 – Конфігурація пристрою телемеханіки і систем керування

Четвертий рівень автоматизованої системи електропостачання МЕТ обладнаний пристроями телемеханіки та обчислювальної техніки для збору, обробки та зберігання інформації, яка надходить від РДП на центральний диспетчерський пункт, де передбачено:

- збір інформації, що надходить з нижніх рівнів про роботу автоматизованої системи в цілому, її обробка та зберігання;
- координація роботи окремих підсистем оперативного керування;
- керування аварійним режимом для прискорення відновлення живлення контактної мережі;
- керування та контроль за ремонтно-профілактичних обслуговуванням устаткування;
- централізований облік (споживання електроенергії; облік часу простоїв і перерв МЕТ; планування оглядів і ремонтів технологічного обладнання; температури нагріву контактного проводу; зв'язок з іншими автоматизованими системами керування і т. д.).

На більш високих рівнях керування автоматизованої системи електропостачання транспорту виконуються наступні функції завдяки пристроям обробки телемеханічної інформації:

- прийом повідомлень телесигналізації (ТС), телевимірювання (ТВ), виробничо-статистичної інформації (ВСІ);

– проводиться програмне і спорадичне опитування параметрів технічного завдання (ТЗ), технічної інформації (ТІ) і ВСІ.

Вся інформація, яка надходить від периферійних пристроїв телемеханіки на ЦДП, заноситься в бази даних і зберігається у вигляді архівів з обов'язковим резервним копіюванням.

1.2 Елементи автоматизованої системи електропостачання транспорту

Керування роботою автоматизованої системи електропостачання транспорту здійснюється від районних і центральних диспетчерських пунктів, в які входять:

– мнемосхеми контактної мережі трамвая і тролейбуса в плані міста з символами секційних і кабельних роз'єднувачів, сигналізації напруги на секціях і механічної цілісності анкерних ділянок;

– мнемосхеми електропостачання тягових підстанцій МЕТ з символами контролю наявності напруги 6–10 кВ на живильних кабелях і шинах ТП, а також символами положення високовольтних (масляних) вимикачів;

– монітори для отримання і відображення інформації (наприклад, про стан периферійного обладнання і положення об'єктів на будь-якій ділянці в поточний момент часу; про динамічні ситуації в роботі периферійного обладнання; про аварійне електроживлення тягових підстанцій і контактної мережі тощо).

– пристрої, що друкують (для отримання протоколів);

– контролери і модеми для зв'язку з нижчими рівнями, локальними пунктами керування і іншими АСК;

– пристрої самоконтролю, самотестування і перемикання;

– пристрої безперебійного живлення;

– пристрої команд введення.

Для стійкої і надійної роботи автоматизованої системи електропостачання транспорту на всіх рівнях керування проводиться автоматичне тестування і самоконтроль. Наприклад:

– функції сигналізації, при яких контролюються пошкодження або повне зникнення живлення;

– автоматичне відключення на лінії;

– передача даних та спрацьовування захистів від максимальних і мінімальних напружень.

Також на ЦДП передбачена гнучка концепція надмірності інформації для структури двох керуючих ЕОМ і системи декількох постів керування (рис. 1.6).

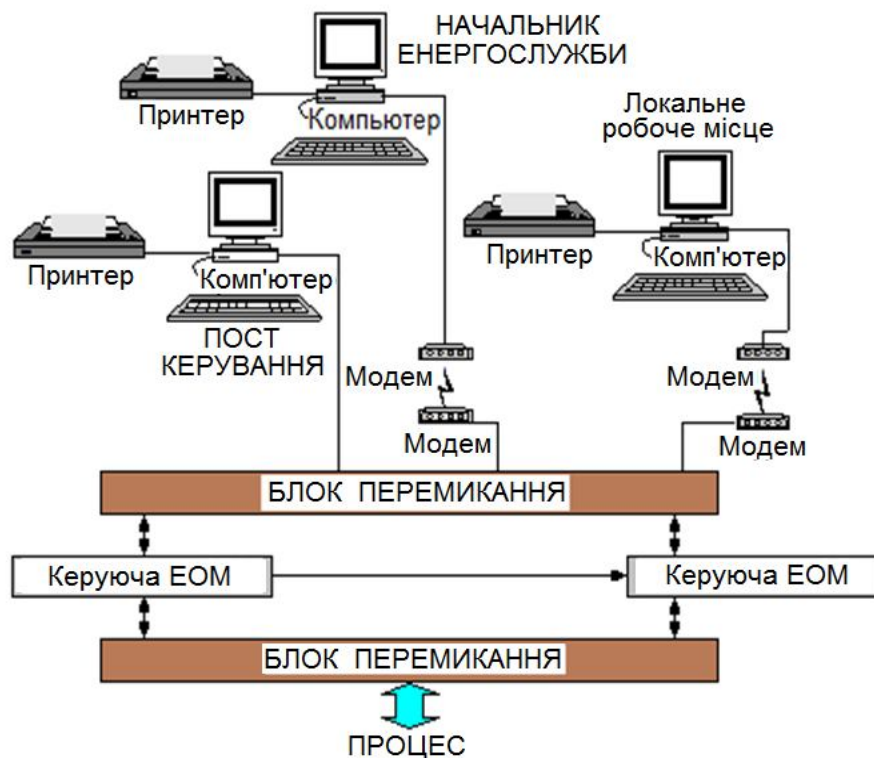


Рисунок 1.6 – Система постів керування – двомашинне виконання

Сучасні автоматизовані системи електропостачання транспорту вимагають комплексного підходу на всіх стадіях їх проектування, а також розробки програмного забезпечення з урахуванням вибору сучасних технічних засобів і комплектації необхідного обладнання.

Всі етапи розробки та впровадження автоматизованих систем або їх модернізація визначаються центральними органами керування електропостачання, які несуть повну відповідальність за:

- системне планування (наприклад, розробку загальних положень для проектів і програм; концепцію вибору технічних засобів і пристроїв; концепцію інтегрування: операційних систем, програмного забезпечення, організації робіт);
- робоче планування (наприклад, розробку проектів і програм до готовності їх використання; розробку і налагодження програмного забезпечення; видачу робочої документації);
- впровадження робіт (наприклад, монтаж; налагоджувальні роботи; видачу виконавчої документації; атестацію в державних органах нагляду і контролю);
- експлуатацію протягом гарантійного терміну.

Такий підхід є найбільш доцільним і вигідним для замовника автоматизованих систем електропостачання.

1.3 Автоматизована телемеханічна система електропостачання транспорту

В сучасних економічних умовах ефективного керування міським пасажирським транспортом неможливо без впровадження передових технологій, заснованих на комплексному підході до автоматизації технологічних процесів в транспортних господарствах. Одним з елементів такої автоматизації є автоматизована телемеханічна система керування енергопостачанням (АТСКЕ) міського електротранспорту.

Така система призначена для безперервного автоматичного контролю і діагностування роботи технологічного обладнання, автоматизованого керування виконавчими пристроями ТП в технологічному процесі електропостачання ліній МЕТ.

Система забезпечує автоматизацію ТП з централізацією результатів контролю, вимірювань і діагностування на сервері ЦДП системи, телекерування пристроями ТП з автоматизованих робочих місць диспетчерів системи. В межах ТП система автоматизує введення енергії, роботу агрегатів, лінійних фідерів, шаф власних потреб, негативну шину.

За структурою АТСКЕ відноситься до дворівневим системам з територіально розподіленим обладнанням, розташованим в будівлях ТП (контрольні пункти (КП) системи), в адміністративних будівлях або будівлях ТП (ЦДП, автоматизовані робочі місця керівників), об'єднаних технологічною системою передачі даних.

В основу побудови системи покладається модульний принцип для апаратних і програмних компонент, що забезпечує можливість автоматизації будь-якої кількості ТП різної оснащеності. Спочатку АТСКЕ, що мають широкі комунікаційні можливості, дозволяють виконувати інформаційну взаємодію з іншими системами і пристроями на рівнях КП і ЦДП.

Для верхнього рівня АТСКЕ це можуть бути різні автоматизовані системи ТП та інформаційні системи, які розгорнуті в регіоні впровадження АТСКЕ.

Нижній рівень містить спеціалізовані контролери в складі сучасного технологічного обладнання ТП або застосовуються спільно з обладнанням ТП, прилади обліку електроенергії, сучасні охоронно-пожежні системи (ОПС) тощо.

Телемеханічна система АТСКЕ є надбудовою над основним технологічним обладнанням ТП, не замінює, а доповнює його, об'єднує в одній системі

технологію ТП, облік електроенергії, ОПС, а також відкриває можливості для принципово нових технологій обслуговування обладнання ТП.

Впровадження АТСКЕ забезпечує автоматизацію і централізацію технологічного процесу контролю і керування тяговими підстанціями міського електротранспорту з отриманням економії експлуатаційних витрат і підвищенням безпеки експлуатації ТП за рахунок:

- ефективної експлуатації технічних засобів ТП;
- оперативності керування ТП;
- безперервності і об'єктивності результатів контролю і вимірювань;
- скорочення витрат на обслуговування обладнання ТП та його ремонт.

Основу апаратно-програмних засобів (АПЗ) АТСКЕ складають локальні контролери, які мають сертифіковані вимірювальні канали.

Концепція побудови автоматизованих систем передбачає трансформаційних змін АПС з низьким енергоспоживанням, пасивним охолодженням, мінімальними вимогами до обслуговування, застосування передових технологій і устаткування провідних світових виробників виробів промислової автоматизації.

Однією з нових і перспективних технологій, застосованих в АТСКЕ, є синхронізація всіх КП і ЦДП системи за допомогою серверів точного часу СТВ-ГЛОНАСС (рис. 1.7).

Дана технологія виключає невідповідність реального часу подій на кожному з КП і в ЦДП, що є невід'ємним аспектом об'єктивності протоколювання дій пристроїв і персоналу об'єктів автоматизації.

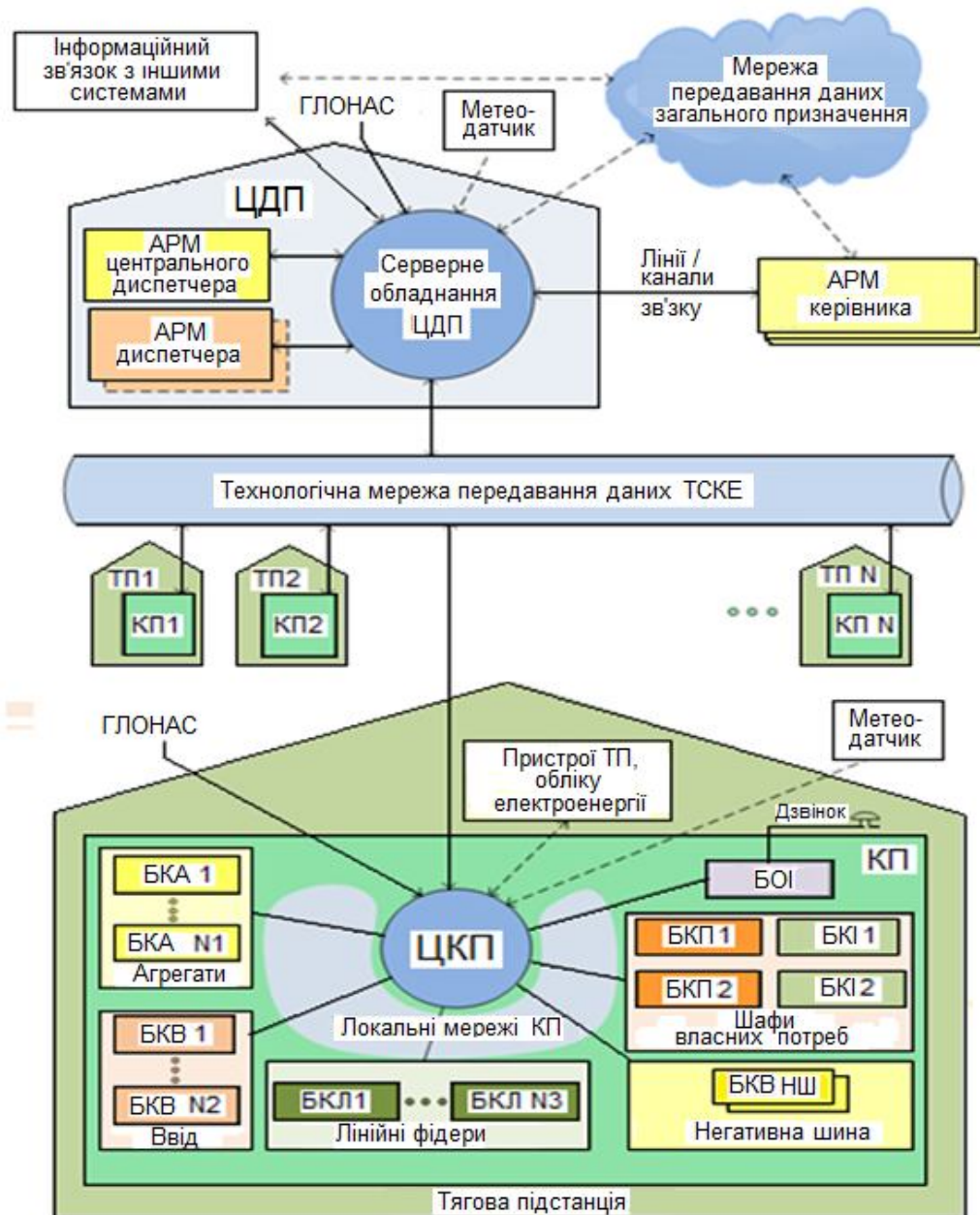


Рисунок 1.7 – Автоматизована телемеханічна система СТВ – «ГЛОНАС»

Для взаємодії персоналу з АТСКЕ використовуються автоматизовані робочі місця (АРМ) диспетчерів, центрального диспетчера та керівників. АРМ диспетчера призначений для видачі:

- команд керування пристроїв ТП,
- завдання параметрів, що налаштовуються,
- відображення поточного стану та діагностики пристроїв ТП,
- діагностики пристроїв КП і ліній / каналів зв'язку,
- відображення різних протоколів і статистичних даних.

Система забезпечує захист від неправильних дій диспетчера, регламентує зону відповідальності кожного диспетчера.

АРМ центрального диспетчера та керівників виконують функції аналогічні АРМ диспетчера за винятком видачі керуючих команд і команд настройки.

Взаємодія з КП системи в частині передачі команд від АРМ диспетчера, прийому даних від КП, обміну різної службовою інформацією виконує серверне обладнання ЦДП. Це ж обладнання забезпечує зберігання протоколів роботи системи, передає дані на АРМ про поточний стан, результати діагностування, повідомлення про відмови та інші несправності для оперативної індикації, передає дані на АРМ за запитами.

В якості додаткового пристрою індикації стану системи в цілому АТСКЕ передбачає можливість застосування додаткового монітора на диспетчерських АРМ, екрану або табло колективного користування, табло на основі мнемосхеми з елементами світлодіодної індикації.

Автоматичні додатки до пристроїв системи реалізовані в КП, які представляють собою набір блоків, один з яких центральний (ЦКП), а решта спеціалізовані по пристроях ТП:

- блок контролю введення БКВ – для автоматизації однієї вступної комірки;
- блок контролю агрегату БКА – для автоматизації одного агрегату;
- блок контролю лінійний БКЛ – для автоматизації однієї комірки «+600 В»;
- блок контролю шафи власних потреб БКШ разом з блоком контролю і вимірювань БКІ – для автоматизації одного фідера власних потреб;
- блок контролю і вимірювань негативною шини БКВ ЗОШ;
- блок оперативної індикації БОІ.

ЦКП забезпечує взаємодію з ЦДП, а також збір і обробку даних телесигналізації і телевимірювань від всіх блоків КП, передачу в блоки команд телекерування, ведення протоколу подій на КП, інформаційну взаємодію з інтелектуальними пристроями об'єкта автоматизації. Крім того, ЦКП реалізує завдання автоматичного включення резерву (АВР) для вводів і агрегатів ТП.

Блоки КП забезпечені кнопками керування і перемикачем режимів:

- «Режим ТК» – телекерування, при якому керування виконується за командами диспетчера з ЦДП;
- «Режим МК» – місцеве автоматичне керування, при якому керування виконується з кнопок блоків КП, діють АВР, автоматичне повторне включення;
- «Режим РК» – тільки місцеве ручне керування, при якому виконується роздільне місцеве керування обладнанням ТП з кнопок блоків КП.

Устаткування КП забезпечує інтегральний захист контрольованого обладнання ТП за сигналами схем захистів і сигналізації, ідентифікацію перевантажень, короткого замикання, виходу напруг за встановлені норми і інших ситуацій на основі вимірів.

ЦДП і КП мають в своєму складі резервовані джерела безперебійного живлення, що забезпечують роботу системи при повному припиненні енергопостачання об'єктів автоматизації внаслідок різних аварійних ситуацій. Тому і такі ситуації будуть зареєстровані системою.

1.4 Автоматизовані системи електропостачання тягових підстанцій

Тягові підстанції (ТП) – являють собою комплексні електроустановки, що використовуються для перетворення і розподілу електричної енергії, а також подальшої передачі її в контактну мережу для електропостачання міського, залізничного транспорту та метрополітену. Керування роботою тягових підстанцій здійснюється від районних і центральних диспетчерських пунктів.

В даний час сучасні автоматизовані системи диспетчерського керування ТП побудовані на основі технології «Smart Grid» (розумні мережі), що сприяє скороченню витрат енергії на експлуатацію електрообладнання не тільки ТП, але і підприємств МЕТ.

Технологія «Smart Grid» (рис. 1.8) – це автоматизовані і модернізовані мережі електропостачання, які використовують інформаційні та комунікаційні системи і технології для збору інформації про енерговиробництво і енергоспоживання.

Такі мережі дозволяють автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічну вигоду, а також стійкість виробництва і розподілу електроенергії. Правила розробки «Розумних мереж» визначені в Європі через «Платформу європейських розумних мереж електропостачання». Термін «розумна мережа» (Smart Grid) став відомий з 2003 року.



Рисунок 1.8 – Технологія системи «Smart Grid»

Така технологія призводить до зменшення втрат електроенергії, що сприяє:

- підвищенню надійності електропостачання рухомого складу та об'єктів енергоспоживання;
- підвищенню оперативності керування електропостачанням в небезпечних і аварійних режимах, а також пов'язаних з відключенням живлення контактної мережі;
- підвищенню ресурсу і терміну експлуатації обладнання ТП;
- підвищенню ефективності використання та економії електроенергії;
- зниженню впливу «людського фактора» на прийняття оперативних рішень;
- поліпшенню умов праці оперативного і технічного персоналу.

Розвиток і застосування технології Smart Grid сприяє розширенню функцій автоматизованої системи електропостачання ТП:

- збору, обробки, передачі, відображенню, архівуванню та документуванню всієї диспетчерсько-технологічної інформації про стан електрообладнання ТП;
- диспетчерському керуванню обладнанням ТП;
- надійної протиаварійної і захисної автоматики випрямних агрегатів і комірок постійного струму;
- обліку витрат електричної енергії на ТП та ін.

Особливості роботи автоматизованих систем тягових підстанцій в залежності від їх призначення розглядаються в наступних розділах лекцій.

Контрольні запитання

1. Що таке автоматизована система міського електротранспорту?
2. Які функції виконує автоматизована система електротранспорту?
3. Що входить у сферу діяльності ЦДП?
4. Який принцип покладений в основу побудови будь-якої автоматизованої системи керування електротранспорту?
5. Якою необхідністю обумовлено застосування принципу побудови структури електропостачання транспорту?
6. Чим оснащені сучасні автоматизовані системи електропостачання МЕТ?
7. Як охарактеризувати рівні автоматизованої системи електропостачання МЕТ?
8. Чим здійснюється керування роботою автоматизованої системи електропостачання транспорту?
9. Що таке телемеханічна система керування енергопостачанням міського електротранспорту?
10. Який принцип покладено в основу побудови телемеханічної системи керування енергопостачанням міського електротранспорту?
11. Яку роль виконує АРМ диспетчера?
12. Що становить технологія «Smart Grid» та перелічити її особливості?

ЛЕКЦІЯ 2

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ НАЗЕМНОГО МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

2.1 Класифікація та основне обладнання тягових підстанцій МЕТ

2.2 Автоматизована система моніторингу і захисту тягової підстанції

2.3 Автоматизована телемеханічна система тягових підстанцій

2.4 Шафи власних потреб тягових підстанцій

2.1 Класифікація та основне обладнання тягових підстанцій МЕТ

Тягові підстанції міського електротранспорту (МЕТ) служать для перетворення трифазного змінного струму (напругою 6/10 кВ) в постійний струм. Напруга постійного струму для міського електротранспорту в більшості міст світу прийнято: на струмоприймачі трамвая і тролейбуса 550 В, на шинах тягових підстанцій 600 В.

Тягові підстанції МЕТ, в основному, класифікуються:

- за способом роботи і обслуговування (з обслуговуючим персоналом; без обслуговуючого персоналу – автоматичні і телекеровані);
- за структурою: одноагрегатні, багатоагрегатні.
- за місцем розташування: наземні; відкриті; закриті; підземні.

Розглянемо коротко особливості ТП відповідно до їх класифікації.

Тягові підстанції з обслуговуючим персоналом використовуються в невеликих містах, де нераціонально застосовувати автоматизовані системи телекерування.

Автоматичні ТП, в основному, застосовуються для малозначущих ліній з низькою інтенсивністю руху.

У великих містах функціонування середніх і великих ТП проводиться дистанційно за системою телекерування. При цьому оперативні перемикання та керування електропостачанням ТП і ліній МЕТ виконуються з районних і центральних диспетчерських пунктів.

Одноагрегатні підстанції використовуються для систем децентралізованого електропостачання (наприклад, на вильотних лініях). Вони мають низьку надійність, тому їх рекомендується замінювати двоагрегатними підстанціями.

У централізованих системах електропостачання застосовуються 2-х агрегатні, а також 3-х і 4-х агрегатні ТП, які забезпечують достатній резерв по

потужності і по надійності. Це дозволяє знизити сумарну потужність ТП, їх кількість, а значить і витрати на їх будівництво, обслуговування.

Живлення ТП електроенергією здійснюється за повітряними або кабельними лініями напругою 6/10 кВ від енергосистеми (рис. 2.1).

Електрична енергія, яка надходить від енергосистеми на ТП, подається далі через високовольтну комутаційну апаратуру введення, яка складається з лінійного і шинного роз'єднувачів, а також високовольтного вимикача, на розподільний пристрій (РУ) напругою 6/10 кВ.

В основному на ТП існує два основних введення (може бути і три) таких як: α (основний) і β (резервний). Перехід від одного введення на інший здійснюється автоматично.

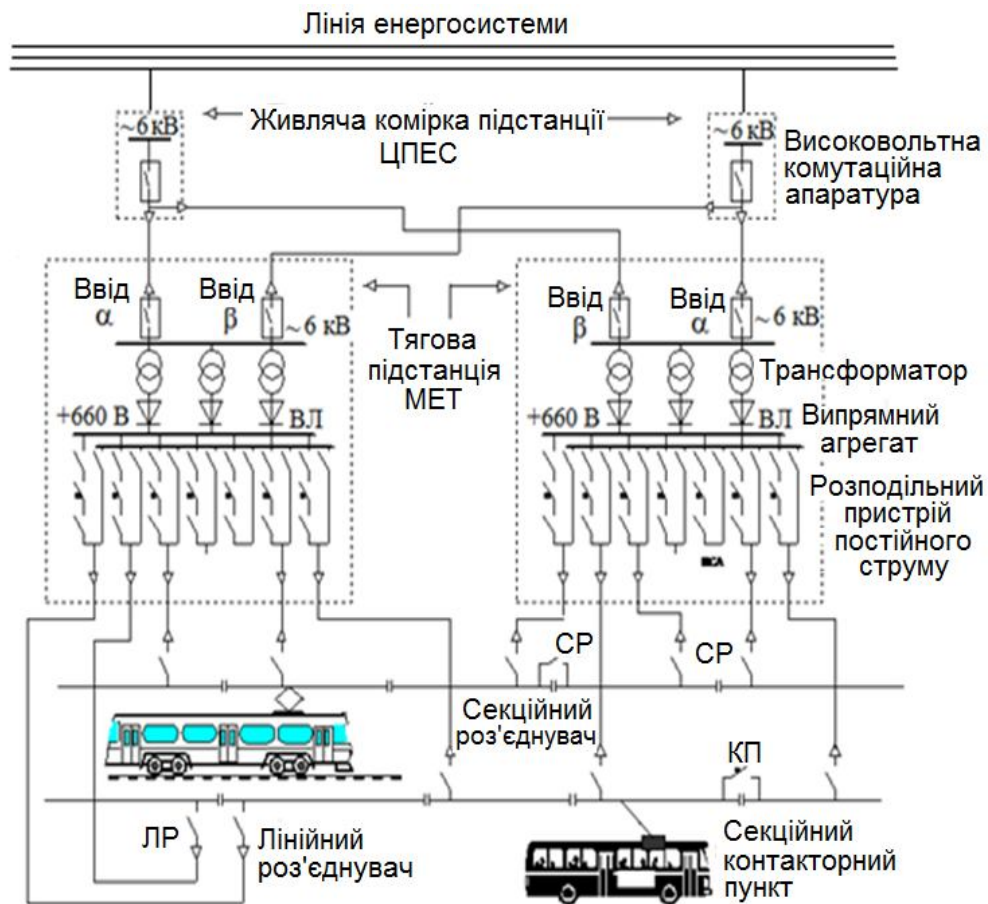


Рисунок 2.1 – Розподіл живлення через тягову підстанцію МЕТ

Електричні схеми РУ високої напруги (ВН) тягових підстанцій досить різноманітні. Підведення напруги може здійснюватися як від однієї секції шин, так і від двох секцій з роздільним підключенням вводів подачі напруги, а також від двох секцій з можливістю підключення до всіх вводах подачі напруги. Найбільш надійними, в разі аварійної ситуації або ремонту, є електричні схеми з двома і більше секціями шин.

Від РУ високої напруги через комутаційну апаратуру живляться трансформатори власних потреб і перетворюючі агрегати.

Кількість перетворювальних агрегатів визначає потужність тягової підстанції. Їх може бути від одного і більше. Найбільш поширеними є 2-х і 3-х агрегатні ТП.

Перетворювальний агрегат ТП наземного МЕТ складається з трансформатора і випрямляча.

Трансформатор агрегату живиться напругою 6/10 кВ і на виході має номінальну змінну напругу 565 В. Трансформатори, що застосовуються на тягових підстанціях зазвичай мають вторинну обмотку, з'єднану зі зрівняльним реактором за схемою типу «зірка-зворотна зірка». Тому на виході трансформатора отримується шестифазна система напруги. Реактор з'єднує нейтралі зірок і має вихід зі своєї середньої точки. Цей висновок є негативним полюсом системи постійної напруги, тому він відразу підключається до РУ негативної полярності.

Трансформатори сучасних перетворювальних агрегатів можуть мати і інші схеми з'єднання вторинних обмоток (наприклад, зірка, трикутник). Це пов'язано із застосуванням більш досконалих випрямлячів.

Випрямні агрегати мають вихідний струм 1000–3000 А. Вихід випрямляча має позитивний потенціал і підключається до РУ позитивної полярності.

Найбільш поширеними в даний час є випрямлячі на основі вентильних і тиристорних елементів (які прийшли на зміну з 1970-х років ртутним випрямлячам). При цьому випрямлений вихідний струм має шостіімпульсну форму. Крім трансформатора і випрямляча на ТП основним обладнанням є розподільні пристрої постійного і змінного струму з комутаційної апаратурою.

Розподільний пристрій постійного струму складається з двох окремих частин: РП позитивної шини (РППШ) і РП негативною шини (РПНШ).

Розподільний пристрій РППШ, як правило, має дві шини: робочу і резервну. На підстанціях великої потужності робоча шина може бути розділена на секції, для підвищення надійності і ремонтпридатності.

Робоча шина РППШ отримує живлення від випрямлячів через комутаційні апарати: автоматичний швидкодіючий вимикач і шинний роз'єднувач.

Запасна шина РППШ підключається до робочого РППШ через автоматичний вимикач. Іноді запасна шина може мати і додаткове підключення безпосередньо від агрегату (в обхід робочої шини).

Розподільний пристрій РПНШ призначений для комутації в системі енергопостачання тягової мережі МЕТ. Такі пристрої підключаються до

нульових точок трансформаторів (при схемі «зірка-зворотна зірка») або до анодів випрямлячів (на сучасних агрегатах) через шинні роз'єднувачі.

РПНШ може заземлюватися через баластні опори (для тролейбусних ТП), або через рейки (у трамвайних ТП). При не заземленому «мінусі» система називається ізольованою, вона дозволяє зберігати працездатність в разі безпечних замикань на землю одного з полюсів.

В даний час широко використовуються РПНШ, що працюють в автоматизованому режимі і інтегровані в систему керування ТП (рис. 2.2 і рис. 2.3).

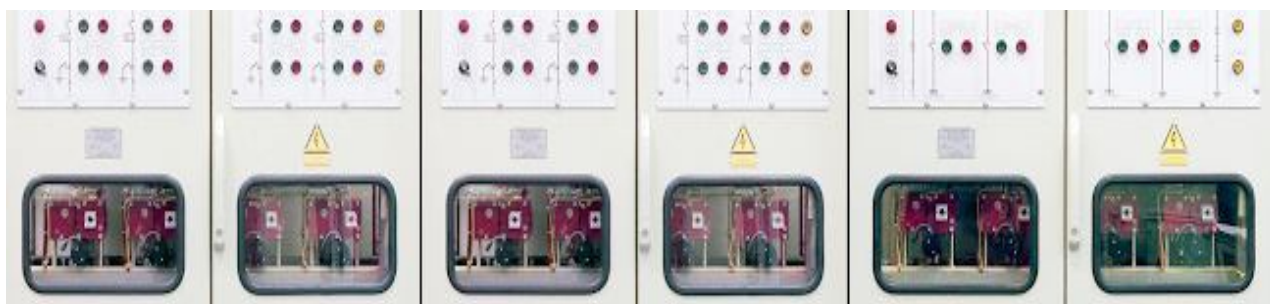


Рисунок 2.2 – Вид комірок розподільного пристрою негативної шини на тяговій підстанції

Розподільні пристрої негативною шини підрозділяються на два типи: агрегатні (РПНШ-А) та лінійні (РПНШ-Л). Функціонально розподільні пристрої РПНШ-А призначені для підключення негативних шин агрегатів до збірної мінусової шини ТП. Призначенням РПНШ-Л є приєднання фідерів, що відходять від контактної мережі до мінусової шини ТП.

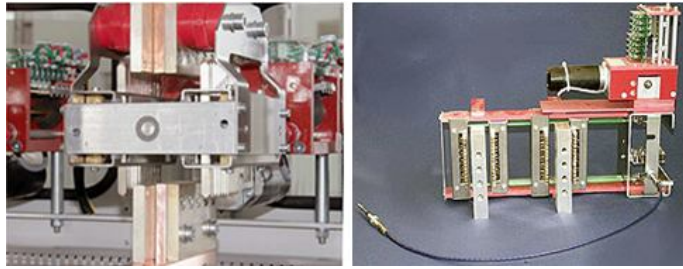
Конструктивно РПНШ виконуються в металевих шафах (див. рис. 2.3). Ступінь захисту металоконструкцій – IP43 відповідно до стандартів ГОСТ 14254-96, IEC 529, EN 60 529 (крім днища).

У шафах згруповані три агрегатних введення і роз'єднувач заземлення (для РПНШ-А).

У РПНШ-Л згруповані роз'єднувачі для чотирьох відхідних фідерів нульової шини. Можливе виконання РПНШ-Л на два відхідних фідери в шафі. На кожному фідері, що відходить встановлений заземлюючий роз'єднувач для заземлення відхідних кабелів під час проведення регламентних робіт.



Рисунок 2.3 – Шафа розподільного пристрою негативної шини типу РПНШ–600



а)

б)

Рисунок 2.4 – Роз'єднувачі типу EST (а) і EDT (б)

В агрегатному розподільчому пристрої встановлений промисловий контролер, що керує всіма РП, і контролює всі алгоритми блокувань та автоматики. За допомогою контролера, наприклад, РПНШ-600, інтегровані в загальну автоматизовану систему керування тягової підстанції (АСК ТП).

Ключовим компонентом РПНШ є роз'єднувачі типу EST та EDT (рис. 2.4), які широко застосовуються в даний час в пристроях типу РУ– 600. Роз'єднувачі мають унікальну конструкцію контактної системи з подвійним розривом і контактами, що самозачищуються.

Також роз'єднувачі мають два ряди ламелей, які в початковому (відключеному) стані розведені таким чином, що шини які підключаються входять в роз'єднувачі безперешкодно, тобто без механічного опору.

По отриманню команди на включення, після того як всі блокування підтвердять дозвіл на включення роз'єднувача, сервопривод починає зводити ламелі, і вони входять в контакт з шинами.

Роз'єднувачі РПНШ також забезпечені спеціальним заземлюючим роз'єднувачем, що виключає необхідність накладення переносного заземлення людиною.

Заземлюючий роз'єднувач має таку ж конструкцію, як показаний вище робочий роз'єднувач і керується сервоприводом або вручну. При проведенні регламентних і ремонтних робіт немає необхідності доступу персоналу в шинний відсік, що істотно знижує небезпеку його ураження електричним струмом. Технічні параметри роз'єднувачів показані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри роз'єднувачів

Найменування параметру	EST 1000	EDT 2500
Номінальний струм, А	1 000	2 500
Максимальне значення короткочасного струму, кА	80	100
Механічна міцність (максимальна кількість перемикачів)	30 000	
Зусилля приводу, Н	7	
Періодичність технічного обслуговування	Через 10 000 циклів (або через 10 років)	

При роботі показаних сучасних роз'єднувачів неможливі аварійні ситуації, що виникають при перекосі рухомого контактного ножа, поганому контакті, неповному включенні або пошкодженні (обриві) ізолятора, з огляду на їхній унікальній конструкції.

Сучасні розподільні пристрої постійного струму нового покоління серії РП-600 (рис. 2.5 і рис. 2.6) використовуються для роботи на ТП в системі енергопостачання тягової мережі МЕТ.

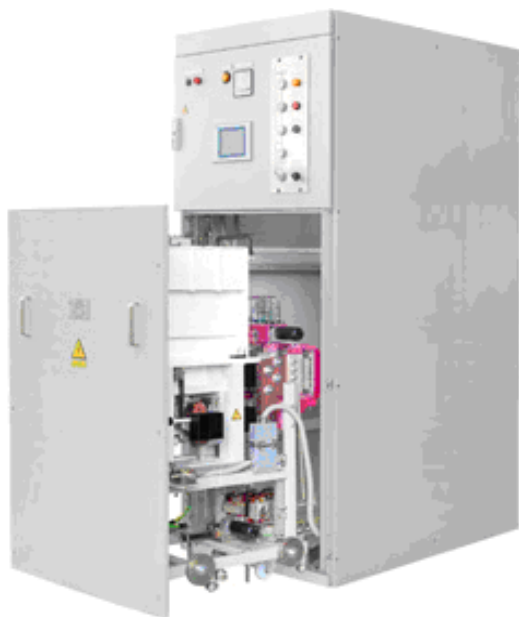


Рисунок 2.5 – Розподільний пристрій РП – 600

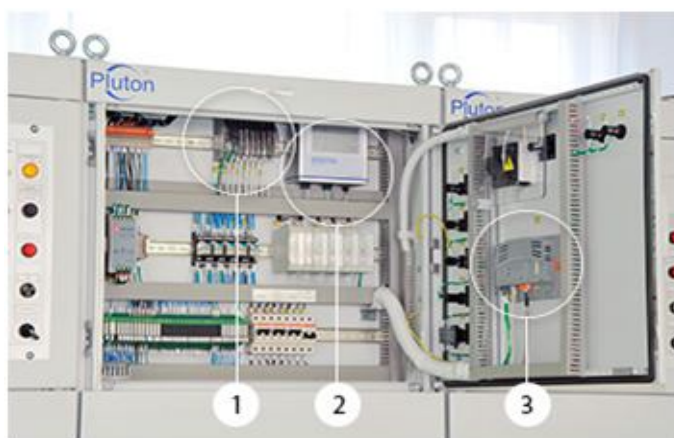


Рисунок 2.6 – Відсік керування РП – 600
1 – відсік із швидкодіючим вимикачем,
2 – відсік силових шин і кабелів, 3 – відсік автоматики та керування.

Особливості РП – 600:

- високий ступінь надійності і захисту;
- невеликі габаритні розміри, маса, матеріаломісткість і, як наслідок - економія простору приміщень підстанцій;

- низька потреба в періодичному обслуговуванні і періодичних ремонтах;
- забезпечена зручність оглядів і обслуговування за рахунок застосування елемента викочування з вимикачем і лінійним роз'єднувачем;
- наявність можливості моніторингу і самодіагностики устаткування, зниження часу на обслуговування, пошук несправностей, ремонтно-відновлювальні роботи;
- вбудована система моніторингу тягової мережі з набором електронних захистів тягової мережі;
- конструкційно забезпечена висока безпека експлуатації.

Комірка серії РУ – 600 складаються з трьох основних відсіків: відсік із швидкодіючим вимикачем, відсік силових шин і кабелів, відсік автоматики та керування. Силові і низьковольтні відсіки розділені, що забезпечує безпеку обслуговування і експлуатації, а також унеможлиблює проникнення плазми з відсіку у відсік (наприклад, з силових систем в відсік системи керування, см. рис. 2.6).

2.2 Автоматизована система моніторингу і захисту тягової підстанції

Сучасні РП забезпечені системою автоматизованого керування, моніторингу та захистів, яка складається з:

- промислового контролера (наприклад, серії X20);
- системи моніторингу і захистів тягової мережі;
- панелі візуалізації типу PP65.

Всі алгоритми роботи РП реалізуються на програмному рівні, а керування сервоприводами, виконавчими механізмами, швидкодіючим вимикачем здійснюється за допомогою електронних комутуючих елементів.

Панель візуалізації дозволяє в простій і зручній формі відобразити необхідну інформацію і здійснювати керування комутаційними апаратами шляхом дотику.

Система моніторингу тягової мережі (наприклад, типу SMTN–2 або SMTN–3, рис. 2.7) протягом всього часу роботи РП веде постійне осцилографування параметрів тягової мережі: струму і напруги. Реєструється запис «повільного» і «швидкого» сліду сигналу. Система здатна розрізнити реальний перехідний процес (наприклад, перевантаження, КЗ) від сплесків, що створюються МЕТ.



Рисунок 2.7 – Система моніторинга і захисту тягової мережі типу SMTN-3

Система керування, захисту та моніторингу мережі веде протокол подій, що відбуваються на ТП, запис аварійних процесів, моніторинг тягової мережі (навантажень фідерних ліній, напруги тягової мережі). Незалежний протокол, який зберігається в пам'яті комп'ютера, служить для фіксації і реєстрації всіх процесів, що відбуваються на тяговій підстанції, а також виявлення помилок персоналу, що сприяє аварійним режимам.

Особливості роботи системи керування, захисту та моніторингу тягової підстанції (рис. 2.8):

- виконує функції основних захистів: максимальний струмовий захист, захист від мінімальної напруги, струмочасовий захист;
- отримує команди від апаратури вищого рівня керування і обробляє їх відповідно до заданого алгоритму, видає підтвердження про виконання команд;
- видає керівні команди кінцевим пристроям;
- здійснює запис в пам'яті контролера всіх подій в часі і забезпечує зв'язок по мережі через інтерфейси;
- має можливість об'єднання в мережу з системою верхнього рівня і вбудовуватися в глобальні автоматизовані системи керування тяговими підстанціями.



Рисунок 2.8 – Системи керування, моніторингу та захисту тягової підстанції

Захист тягових мереж забезпечується шляхом безперервного контролю динаміки зміни струму і напруги в тяговій мережі.

У разі перевищення заданих параметрів захисних функцій система подає команду на відключення швидкодіючого вимикача.

Автоматизована система типу SMTN–3 забезпечує наступні експлуатаційні можливості:

- вимір величини, форми струму і напруги в тяговій мережі в різних режимах, в тому числі і при короткому замиканні в лінії;
- захист тягової мережі від струмів короткого замикання, в тому числі від малих струмів віддалених коротких замикань і перевантажень;
- осцилографування і запис в довготривалу пам'ять форми і величини струмів і напруг при коротких замиканнях (виявлення одного із захистів аварійного процесу в тяговій мережі);
- зберігання і відображення осцилограм, а також передача в систему верхнього рівня (або в персональний комп'ютер) даних для подальшого аналізу;
- завдання внутрішньої конфігурації (введення захистів, вибір захисних характеристик, кількість ступенів захисту і тощо.) програмним способом;
- місцеве і дистанційне введення, зберігання і відображення уставок захисту;
- зберігання двох наборів уставок і перемикання наборів уставок по зовнішньому сигналу;
- зберігання і видачу інформації про кількість і час спрацьовувань захистів;
- аналіз розподілу струмів між катодними розподільними пристроями.

Автоматизована система керування типу SMTN-3 (рис. 2.9) виконана у вигляді набору окремих модулів, що кріпляться безпосередньо на DIN-рейку і з'єднуються між собою.



Рисунок 2.9 – Модулі автоматизованої системи керування, захисту і моніторингу типу SMTN-3

Основними компонентами автоматизованої системи є:

- модуль вимірювальний з подільником напруги, який розміщується в зоні високої напруги (шинний відсік). Такий модуль безпосередньо підключений до первинних датчиків вимірювання струму і напруги. Датчиком струму є резистивний елемент силового ланцюга (шунт). Датчиком напруги є резистивний дільник напруги, що знаходиться всередині вимірювального модуля і призначений для зниження вимірюваної напруги;

- модуль перетворювальний, який розміщується в зоні низької напруги (відсік керування).

Обидва модулі з'єднуються між собою за допомогою оптичного кабелю, який забезпечує передачу інформації між модулями, а також гальванічну розв'язку між високовольтними вимірювальними і вторинними ланцюгами.

2.3 Автоматизована телемеханічна система тягових підстанцій

Автоматизована телемеханічна система (ТМ) тягових підстанцій міського електричного транспорту призначена для централізованого телекерування і телеконтролю всього обладнання ТП, яке здійснюється за допомогою програмно-технічних засобів, розташованих як на тяговій підстанції, так і на диспетчерському пункті.

Найважливішою ланкою автоматизованої тягової підстанції є телемеханічний комплекс (рис. 2.10).

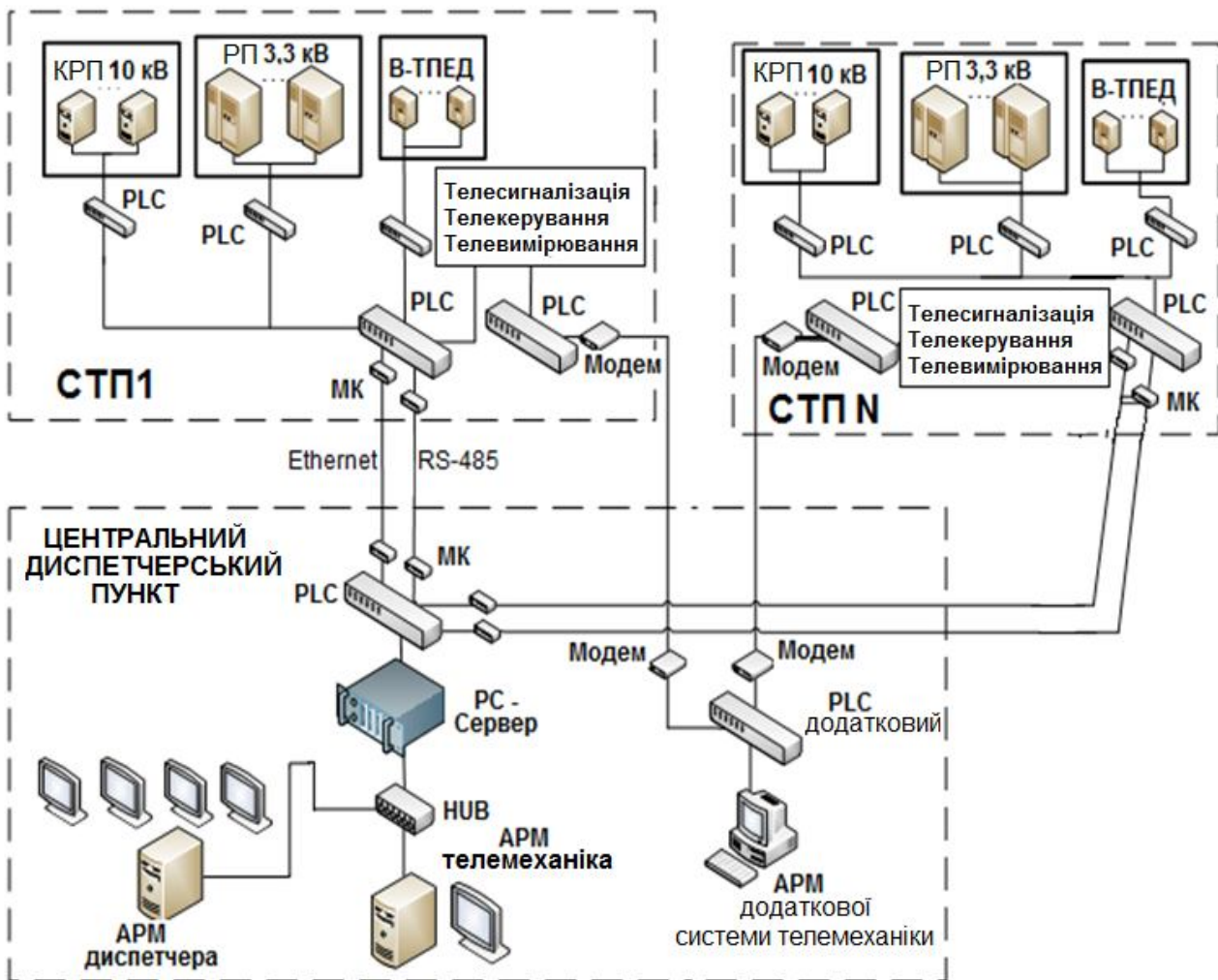


Рисунок 2.10 – Структурна схема обладнання телемеханічного комплексу тягових підстанцій

На робочому місці диспетчера зосереджені всі найсучасніші можливості по керуванню і моніторингу устаткуванням тягової підстанції.

У розпорядженні диспетчера – є персональний комп'ютер з графічним дисплеєм, на якому відображаються мнемосхеми всіх тягових підстанцій, а також стан основного комутуючого обладнання.

На графічній панелі зображується система електропостачання дистанції та інша інформація.

Керування підстанціями, силовим комутаційним обладнанням здійснюється за допомогою графічного інтерфейсу, клавіатури і миші або шляхом натискання пальцем руки на графічне зображення апарату, розташованому на сенсорному екрані монітора. Устаткування телемеханіки для основної і додаткової систем функціонально аналогічні і складаються з:

- програмованих логічних контролерів (PLC);
- обладнання живлення;

- комунікаційного обладнання (модемів, медіаконверторів, HUB та ін.;
- пристроїв, які забезпечують надійний зв'язок всього устаткування телемеханічного комплексу);

- комутаційного обладнання (модулів гальванічної розв'язки, реле і ін.).

Автоматизована ТМ система контролює наступне обладнання:

- розподільні пристрої середньої напруги 6 (10) кВ;
- випрямлячі (перетворювальні трансформатори та секції перетворювальні);

- розподільні пристрої РП «+» 600В серії РП–600;

- розподільні пристрої РП «–» 600В серії РУОШ–600;

- власні потреби тягової підстанції;

- сигнали різних систем (пожежні, охоронні та ін.).

Автоматизована система з боку ТП складається з шафи телемеханіки (ШТМ), в якому встановлений промисловий контролер, блок безперебійного живлення, комунікаційне обладнання (модеми, HUB, конвертор), комутуюче обладнання (блоки живлення, вимикачі, реле, клеми і тощо).

Автоматизована система з боку диспетчера, складається з сучасного автоматизованого робочого місця - енергодиспетчера (АРМ ЕД), виконаного на базі промислового комп'ютера. Передача інформації здійснюється по лініях зв'язку (основної або додаткової).

Автоматизована ТМ система забезпечує:

- збір інформації з усіх об'єктів тягової підстанції, що розташовані усередині;

- передачу інформації з тягової підстанції в апаратуру верхнього рівня;

- прийом інформації з тягової підстанції системами верхнього рівня;

- відображення на мнемосхемах монітора поточного стану обладнання ТП, роботи апаратних і програмних засобів;

- керування пристроями з аналізом допустимості видачі команд і контролю їх виконання;

- сигналізацію при повільній зміні станів об'єктів і порушення роботи пристроїв;

- ретроспективну інформацію (команди керування, зміни стану, тренди і тощо);

- довідкову інформацію.

2.4 Шафи власних потреб тягових підстанцій

Шафа власних потреб призначена для живлення ланцюгів власних потреб ТП міського електричного транспорту і для прийому електричної енергії змінного струму від двох незалежних джерел і розподілу цієї енергії по ланцюгах власних потреб ТП.

Комплект шаф власних потреб для ТП міського електричного транспорту має наступні характеристики:

- високою надійністю;
- високим ступенем захисту персоналу поразки від ймовірного ураження електричним струмом при проведенні регламентних робіт;
- мінімальними витратами часу на обслуговування і усунення несправностей, в разі їх виникнення і інші.

Комплект шаф власних потреб складається з:

- шафи власних потреб (ШВП);
- ввідного пристрою (ВП);
- шафи оперативного струму (ШОС).

Сучасні ШВП (рис. 2.11,а), завдяки оригінальним конструкціям і раціональному використанню внутрішнього простору, замінили собою три шафи попереднього покоління. Завдяки їх використанню здійснюється безперервна робота електродвигунів, механізмів, мікропроцесорного захисту ТП.

Органи керування ШВП розділені на дві групи:

перша група – це органи керування, які найчастіше використовуються в оперативних перемиканнях і розташовані на дверцях шафи;

друга група – це органи керування, що рідко використовуються в оперативних перемиканнях і розташовані всередині шафи на двох поворотних рамах.



Рисунок 2.11 – Шафи власних потреб

Релейно-контакторна апаратура, а також апаратура захисту і автоматики встановлена на монтажній панелі, яка розташована за поворотними рамами. Завдяки такому конструкторському рішенню забезпечується простота, висока технологічність виготовлення і наладки обладнання, а також хороша ремонтпридатність.

Шафа власних потреб має можливість підключення до трьох вводів: з них два вводи підключаються від трансформаторів власних потреб і один – від міського введення напругою 0,4 кВ. Шафа оснащена системою автоматичного включення резерву (АВР), яка спрацьовує при випадку зникнення живлення на будь-якому ввіді. Облік активної енергії, що витрачається на опалення підстанції, ведеться сучасними цифровими чотирьохзонними лічильниками.

Ввідний пристрій (рис. 2.11, б) призначений для введення ланцюгів живлення власних потреб ТП міського електричного транспорту та обліку активної енергії власних потреб ТП. Апаратура захисту і автоматики встановлена на монтажній панелі ВП.

Шафа оперативного струму (рис. 2.11, в) призначена для живлення постійним струмом споживачів ТП і служить джерелом безперебійного живлення для ланцюгів керування обладнанням ТП, а так само ланцюгів захисту.

Шафа виконана на базі високочастотного перетворювача напруги. У шафі розташований зарядно-випрямний пристрій, який працює за принципом подвійного перетворення (наприклад, випрямлення змінної напруги, перетворення постійної напруги).

До складу шафи входять сучасні, кислотні акумуляторні батареї з терміном служби не менше 10–15 років, а також пристрої захисту і автоматики. Система керування має мікропроцесори, та панель візуалізації інформації на графічному дисплеї.

Фідери (приєднання, виводи) використовуються для підключення контактної мережі до РП постійного струму. Вони виконуються у вигляді підземних, надземних кабельних ліній або ВЛ.

Кількість фідерів визначається потужністю ТП і розгалуженістю мережі в зоні енергопостачання. Їх кількість може коливатися від одного-двох (в децентралізованих системах) до десятка (централізованих) мереж.

Фідер позитивної полярності підключається до РППШ через пристрій перемикача запасної шини (ПЗШ), що має два положення – робоче і резервне. Фідер підключається до робочої шини через лінійний автомат (швидкодіючий струмообмежувальний вимикач) або до запасної шини (без автомата). Така

система дозволяє виводити лінійний автомат для обслуговування (тестування параметрів, дрібного ремонту та ін.) без тривалого відключення живлення фідера, що відбувається дуже часто.

Фідер негативної полярності підключається до РПОШ тільки через роз'єднувач.

Контрольні запитання

1. Для чого використовуються тягові підстанції МЕТ?
2. Як класифікуються тягові підстанції МЕТ?
3. Як здійснюється живлення ТП електроенергією?
4. З яких елементів складається високовольтна комутаційна апаратура введення на ТП?
5. Які функції виконують на ТП перетворювальні агрегати ?
6. Які основні шини входять до розподільного пристрою постійного струму?
7. Що входить до РП автоматизованого керування, моніторингу та захистів?
8. Перелічити особливості роботи системи керування, захисту та моніторингу тягової підстанції?
9. Що є основними компонентами автоматизованої системи типу SMTN-3?
10. Яке обладнання контролює автоматизована система телемеханіки?
11. Що входить до комплекту шаф власних потреб?
12. З якою метою використовуються фідери?

ЛЕКЦІЯ 3

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

3.1 Класифікація тягових підстанцій залізничного транспорту і їх системи електропостачання

3.2 Автоматизована система керування на основі мікропроцесорної техніки

3.3 Автоматизовані елементи моніторингу на залізниці

3.1 Класифікація тягових підстанцій залізничного транспорту і їх системи електропостачання

Тягова підстанція залізниці призначена для розподілу, перетворення електроенергії, а також живлення електрорухомого складу (ЕРС) і споживачів, які перебувають на лінії. Вони отримують електроенергію від енергосистем через систему зовнішнього електропостачання, яка розподіляється між тяговими (через систему тягового електропостачання) і не тяговими споживачами.

Тягові підстанції залізниці класифікуються:

– *за способом приєднання до системи зовнішнього електропостачання:*

а) опорна (вузлова) – що отримує живлення від мережі зовнішнього електропостачання за трьома і більше лініях електропередачі напругою 110 або 220 кВ, і служить джерелом живлення для інших тягових підстанцій;

б) тупикова (кінцева) – що отримує живлення по двом радіальним лініям електропередач (ЛЕП) від сусідньої підстанції;

в) проміжна – що отримує живлення від двох сусідніх підстанцій і включається в розтин ЛЕП, а також підключених до цих відгалужень – що підключаються до відпайки або відгалуження ЛЕП).

– *по системі електричної тяги* (постійного струму напругою 3,3 кВ; змінного струму напругою 25кВ; стикові);

– *по типу перетворювачів* (випрямні; випрямно-інверторні);

– *за значенням напруги живлення* (6, 10, 35, 110, 220 кВ);

– *по системі керування* (телекеровані, не телекеровані).

– *за способом обслуговування* (без чергового персоналу; з постійним черговим персоналом);

– *по типу* (стаціонарні; пересувні).

Максимальна відстань між тяговими підстанціями: на постійному струмі – 15 км і на змінному – 50 км.

Кожна ТП отримує електроживлення від двох незалежних джерел, тому що електрифіковані залізниці є споживачем енергії першої категорії.

Тягові підстанції мають від 2-х (на транзитних, підключених до цих відгалужень, глухий кутових підстанціях) до 6-ти (на опорних підстанціях) вводів.

Електроживлення залізничних ТП походить від ліній електропередач напругою 110 або 220 кВ через розподільні пристрої високої та низької напруги.

Розподільні пристрої високої напруги розподіляють електричну енергію через понижуючий трансформатор, на виході якого напруга перетворюється в 6/10 кВ (для електроживлення не тягових споживачів); 35 кВ (для електроживлення перетворювальних агрегатів і не тягових споживачів); 27,5 кВ (для електроживлення тягового обладнання і трансформаторів власних потреб). Схеми РП високої напруги різняться в залежності від типу ТП.

Розподільні пристрої низької напруги 6/10 кВ використовуються на ТП постійного струму, де через понижувальний трансформатор енергія надходить на перетворюючі агрегати. Далі, випрямлений струм розподіляється в контактну мережу через основну і резервну систему шин, а також швидкодіючі вимикачі.

Перетворювальні агрегати складаються з випрямляча і інвертора, який виконує функції повернення енергії, що виробляється при рекуперативному гальмуванні з контактної мережі в загальну мережу змінного струму. Вимкнення випрямляча і включення інвертора (рис. 3.1) проводиться автоматично при підвищенні напруги контактної мережі вище номінального.

Інвертор (див. рис. 3.1) призначений для прийому електроенергії, виробленої електрорухомим складом при гальмуванні і перетворення цієї електроенергії з постійного струму в трифазний змінний. Отриманий необхідний струм використовується іншими (не тяговим) споживачами електроенергії тієї ж тягової підстанції або передається в зовнішню електричну мережу. Основні характеристики інвертора:

– номінальна частота – 50 Гц;



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд інвертора

- номінальна напруга на стороні постійного струму – 3 800 В;
- максимальна напруга на стороні постійного струму – 4 000 В;
- число фаз вихідної напруги – 3 або 6;
- діапазон зміни рівня стабілізації напруги – 3 700 – 3 900 В;
- номінальний струм, що інвертується – 1,6 кА;
- номінальна потужність, що інвертується – 6 000 кВт;
- допустимі перевантаження по току: (протягом 15 хв. один раз на годину – 125 %; протягом 2 хв один раз на годину – 150 %; протягом 10 з один раз в 2 хв – 200 %) від номінального значення.

Фідери використовуються для приєднання ліній до розподільних пристроїв ТП контактної мережі та іншим споживачам електроенергії.

Електрифікація залізниць передбачає наявність потужної інфраструктури, яка об'єднує: системи зовнішнього і тягового електропостачання (тягові підстанції, контактну мережу, інші лінійні пристрої, а також підприємства обслуговування і ремонту).

В даний час розроблені блочно-модульні підстанції постійного струму, які мають дворівневу систему автоматики ТП на базі мікропроцесорів і мікроконтролерів, а також цифрову систему передачі даних і багато іншого.

3.2 Автоматизована система керування електропостачанням на основі мікропроцесорної техніки

Стаціонарне керування об'єктами електропостачання залізничного транспорту і ТП здійснюється також з використанням апаратури мікропроцесорної техніки (АМТ, рис. 3.2 і рис. 3.3).



Рисунок 3.2 – Комплекс системи керування електропостачанням на основі мікропроцесорної техніки



Рисунок 3.3 – Автоматизоване робоче місце енергодиспетчера на центральному диспетчерському пункті залізниці

Система АМТ забезпечує:

- передачу від ДП команд телекерування (ТК) на КП для перемикання між двома контрольними об'єктами електропостачання;
- отримання на ДП інформації про стан об'єктів телесигналізації (ТС) на КП;
- отримання на ДП інформації про величину реальних показників, що можуть відрізнятися від об'єктів телевимірювання (ТВ) на КП;
- отримання на ДП даних діагностики електрообладнання.

Можливості та переваги системи АМТ:

- робота по комбінованим каналам зв'язку в режимі «кільце» (аналоговим, цифровим, безпроводним);
- діагностика пристроїв електропостачання постійного і змінного струму;
- програмна організація телеблокувань вимикачів, розрахованих на напругу 3,3 кВ;
- відеоспостереження за станом об'єктів електропостачання;
- самодіагностика вузлів і модулів системи;
- контроль і аналіз стану лінії зв'язку;
- інтеграція в цифрові інформаційні системи;
- застосування сучасного обладнання для зв'язку;
- зручність монтажу;
- захист ланцюгів живлення і ліній зв'язку від перенапруг;
- наявність системи безперебійного живлення.

Комплексна система АМТ знаходиться під постійним контролем і керується автоматично «енергодиспетчером». В результаті такого керування використовуються наступні можливості системи:

- автоматична реєстрація подій в оперативному журналі і каталозі подій;
- процес створення наказів на перемикання з подальшим автоматичним формуванням повідомлення з цього наказу;
- багатоступенева система підтвердження правильності перемикань;
- наявність систем звукового, мовленнєвого і візуального супроводу подій;
- автоматизація процесу прийому зміни і формування циркулярного наказу;
- робота по заявкам, нарядам і розпорядженням;
- електронний аналог добової відомості;
- відображення схем на екрані колективного користування (багатомоніторний щит);
- опис небезпечних місць на дистанції енергопостачання;

- інтеграція інформації в центральний диспетчерський пункт (ЦДП);
- контроль об'єктів (з довільним числом станів) і відображення схем великого розміру;
- функціональна редакція застосовуваних інформаційних схем;
- наявність сервісу «Центр підтримки автоматизованого робочого місця (АРМ) енергодиспетчера».

До основних функцій АРМ енергодиспетчера ЦДП (див. рис. 3.3) залізниці відносяться:

1. Індикація поточного становища телемеханізованих і не телемеханізованих об'єктів сигналізації в режимі реального часу.

2. Отримання і передача інформації про зміну станів об'єктів телесигналізації за заданий період часу:

- найменування енергодиспетчерського кола;
- найменування контрольованих пунктів (до п'яти контрольованих пунктів в одному запиті);
- дата; інтервал часу (максимум 2 год).

Дані по каталогу подій передаються за запитом.

3. Автоматизоване формування тексту циркулярного наказу, який містить прізвище чергового диспетчера ЦДП, а також дані, отримані від дільничних АРМ. В тому числі також передаються:

- прізвище дільничного енергодиспетчера;
- дані про стан схеми (нормальна або ненормальна) і про об'єкти, які виведені з роботи;
- дані по місцю розташування дрезин (в резерві або поза резерву);
- список обладнання, що знаходиться поза резерву.

4. Передача даних добової відомості від лінійного АРМ:

- найменування енергодиспетчерського кола;
- дата і інтервал часу;
- тип наказу (накази на перемикання, накази на роботу, прийом зміни і тощо).

В АРМ ЦДП дані надходять за запитом диспетчера ЦДП.

5. Узгодження виконання робіт за заявками, які вимагають закриття або обмеження на рух поїздів із зазначенням необхідної інформації (наприклад, види робіт, ПБ керівника робіт, його посаду та група, дозвіл, час початку і кінця робіт, а також закриття і відкриття руху ЕРС і ін.).

3.3 Автоматизовані елементи моніторингу на залізниці

Автоматизовані системи залізниці також відстежують роботу електрообладнання не тільки на лінії, але і на тяговій підстанції і проводять його діагностику.

В даний час на тягових підстанціях залізниць електрифікованих на постійному і змінному струмі широко використовуються інтелектуальні термінали приєднань (ІТП, рис. 3.4), які складаються з комірок комплектних розподільних пристроїв напругою 6 – 35 кВ (рис. 3.5).



Рисунок 3.4 – Термінали приєднань інтелектуальні



Рисунок 3.5 – Комірки інтелектуальних терміналів

Такі термінали призначені для виконання функцій захисту і автоматики, контролю і сигналізації, місцевого та дистанційного керування комутаційними апаратами приєднань, а також діагностики вимикачів і самодіагностики.

Термінали забезпечують запис:

- осцилограм аварійних подій;
- миттєвих значень струму в кожній з фаз і лінійних приєднатися-ний;
- миттєвих значень вихідних і вхідних дискретних сигналів;
- дати і часу аварійного відключення;
- діючих значень струмів і напруг;
- перелік захистів, що спрацювали.

Також ІТП забезпечують накопичення інформації про:

- загальну і аварійну кількість відключень;
- вироблений ресурс вимикачів;
- параметри останнього аварійного відключення та ін.

Автоматизована система забезпечує також діагностику електрообладнання ТП і здійснює безперервний моніторинг його стану.

Наприклад, безперервну діагностику і комплексний контроль справного стану лінії, що знаходиться під робочою напругою, дозволяє здійснювати прилад типу ОПН-Монітор (рис. 3.6). Джерелом інформації його служать датчики, що встановлені в розрив ланцюга заземлення. Прилад в цілому дозволяє контролювати декілька параметрів, що відображають загальний стан тягової підстанції.



Рисунок 3.6 – Автоматизована система типу ОПН-Монітор



Рисунок 3.7 – Прилад HYDRAN M2 (General Electric) для визначення вмісту газів в трансформаторному маслі

Моніторинг трансформаторного масла за змістом розчинених газів: водень (H_2), ацетилен (C_2H_2), окис вуглецю (CO), етилен (C_2H_4) і вода (H_2O) здійснює прилад типу HYDRAN M2 (рис. 3.7).

Контрольні запитання

1. Яку роль виконує тягова підстанція залізниці?
2. Як класифікуються тягові підстанції залізниці?
3. Що таке інвертор і які основні характеристики він має?
4. Як відбувається стаціонарне керування об'єктами електропостачання залізничного транспорту і ТП?
5. Яку роль відіграє система використанням апаратури мікропроцесорної техніки на залізниці?
6. Що належить до основних функцій АРМ енергодиспетчера ЦДП залізниці ?
7. Завдяки чому відбувається діагностика обладнання на тягових підстанціях залізниць?

ЛЕКЦІЯ 4

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНУ

- 4.1 Класифікація тягових підстанцій метрополітену і схеми їх електропостачання
- 4.2 Автоматизовані системи електропостачання метрополітену
- 4.3 Обладнання автоматизованої системи електропостачання метрополітену
- 4.4 Телемеханічний автоматизований комплекс електропостачання тягових підстанцій метрополітену
- 4.5 Рекуперативні пристрої.

4.1 Класифікація тягових підстанцій метрополітену і схеми їх електропостачання

Підстанції метрополітену, також як і підстанції наземного транспорту, призначені для перетворення трифазного змінного струму напругою 6/10 кВ в постійний струм, але мають ряд особливостей.

Підстанції метрополітену класифікуються:

- за призначенням: тягові; знижувальні; суміщені (тягово-знижувальні)
- за місцем розташування: наземні, підземні;
- за місцем розташування: на трасі (знижувальних підстанцій): основні (біля станцій); вестибюльні (біля машинних залів ескалаторів); тунельні (на перегоні); Деповська (при депо).

Кожна тягова підстанція забезпечується електроенергією від двох незалежних джерел.

Електроживлення ТП здійснюється як за двома самостійним мережам від двох джерел, або від одного джерела з резервуванням від другого через кабельну перемичку між підстанціями.

У першому випадку кожна лінія розрахована на всю навантаження однієї ТП, так як одна з ліній завжди знаходиться в резерві, в другому випадку лінія повинна бути розрахована на повне навантаження двох ТП, а кабельна перемичка - однієї.

Друга схема електроживлення найбільш поширена в системі електропостачання метрополітенів України, тому що є більш економічною, а також забезпечує надійність і зручність в оперативній роботі.

Для електропостачання знижувальних ТП застосовуються централізовані (зосереджені) схеми.

Кожна зі схем має дві самостійні секції шин напругою 6/10 кВ, які в нормальному режимі працюють окремо, отримуючи електроживлення від різних джерел енергосистеми через шини двох ТП.

При цьому пошкодження будь-якої лінії живлення не приводить до перерви електропостачання. При необхідності обидві секції шин можуть бути об'єднані секційним вимикачем.

Також до кожної секції шин напругою 6/10 кВ підключені по одному трансформатору силової та освітлювальної навантажень, а також трансформатор навантажень для систем сигналізації, централізації і блокування (СЦБ). При виході з ладу одного трансформатора або однієї секції шин 6/10 кВ, що залишилися в роботі трансформатори, забезпечують живлення всіх відповідальних навантажень даного виду.

Для живлення суміщених ТП використовується децентралізована схема.

Розподільний пристрій 6/10 кВ суміщеного ТП виконується з двох секцій шин, які працюють незалежно і отримують електроживлення від різних джерел енергосистеми. При цьому всі перетворюючі агрегати підключаються до однієї (першої) секції шин РП 6/10 кВ, електроживлення якої здійснюється за принципом ТП.

Необхідність підключення перетворювальних агрегатів до однієї секції, обумовлена тим, що напруга, яка підводиться до двох секціях РП 6/10 кВ від різних джерел, як правило, має деякі відмінності.

Якщо перетворюючі агрегати підключити до різних секцій, які мають різну напругу, то навантаження агрегатів буде неоднаковим: одні з агрегатів будуть перевантажені, а інші недовантажені. Таким чином, перші секції шин 6/10 кВ отримують живлення безпосередньо від джерел енергосистеми, а другі секції пов'язані з другим джерелом енергії через суміжні ТП.

Основними елементами ТП метрополітену є:

- розподільні пристрої напругою 6/10 кВ;
- розподільчий пристрій постійного струму напругою 825 В;
- перетворюючі агрегати;
- акумуляторні батареї;
- розподільні пристрої низької напруги.

Найбільш поширені станційні знижувальні підстанції споруджують поблизу пасажирських станцій, де зосереджені основні силові і освітлювальні навантаження. Для зручності в експлуатації всі РП 10 кВ; 380, 220/127 і 115/150 В компактно розміщені в одному приміщенні.

Тягова підстанція, як правило, споруджується в металевих тюрбінгах (сегменти тунельного кільця, що представляють собою кріплення підземних споруд), які також використовують як пристрої захисного заземлення.

Електропостачання метрополітену здійснюється від енергосистеми міста трифазним змінним струмом частотою 50 Гц, напругою 6/10 кВ. Електроприймачі метрополітену відповідно до ПУЕ відносяться до 1-ї категорії навантажень. Тягові підстанції метрополітену підключають до районних ТП енергосистеми міста кабельними лініями 6/10 кВ.

Електронні пристрої метрополітенів безперервно удосконалюються. З метою підвищення пропускної та провізної здатності ліній поліпшуються характеристики рухомого складу, обладнання та пристроїв, а також впроваджуються прогресивні способи експлуатації. Найбільший ефект при цьому досягається завдяки застосуванню засобів автоматики і телемеханіки. На їх основі створюються автоматизовані системи керування рухом поїздів і технологічними процесами. Пристрої автоматики і телемеханіки регулюють інтервал рух і забезпечують його безпеку.

Крім того, чітка робота метрополітенів залежить від безперебійного і якісного їх електропостачання.

За останні роки на метрополітенах виконані значні роботи по заміні застарілого комутаційного обладнання (наприклад, заміна масляних трансформаторів на сухі з кремнійорганічною ізоляцією, масляних високовольтних вимикачів на електромагнітні та ін). Деякі лінії метрополітенів обладнані електронною захистом тягових мереж.

Для скорочення обслуговуючого персоналу пристроїв електропостачання та полегшення оперативного керування ними на більшості ліній метрополітенів введені пристрої телемеханіки.

Постійно проводиться вдосконалення схем внутрішнього енергопостачання метрополітенів, що дозволяє забезпечити їх нормальне функціонування при короткочасних відмовах в роботі живильних підстанцій. Наприклад, на Харківському метрополітені розроблена і впроваджена схема автоматичного відновлення живлення на шинах 825 В.

4.2 Автоматизовані системи електропостачання метрополітену

В даний час керування технологічними процесами електропостачання метрополітену здійснюється з використанням автоматизованої системи SCADA, яка забезпечує телекерування об'єктами електропостачання та

електромеханічними пристроями метрополітену, а також здійснює повний контроль їх стану (рис. 4.1).

Основні можливості автоматизованої системи:

- створення системи автоматизації без реального програмування;
- використання коштів збору первинної інформації від пристроїв нижнього рівня;
- використання коштів управління і реєстрації сигналів про аварійні ситуації;
- використання засобів зберігання інформації з можливістю її пост-обробки;
- використання засобів візуалізації представлення інформації у вигляді мнемосхем графіків, таблиць і тощо.

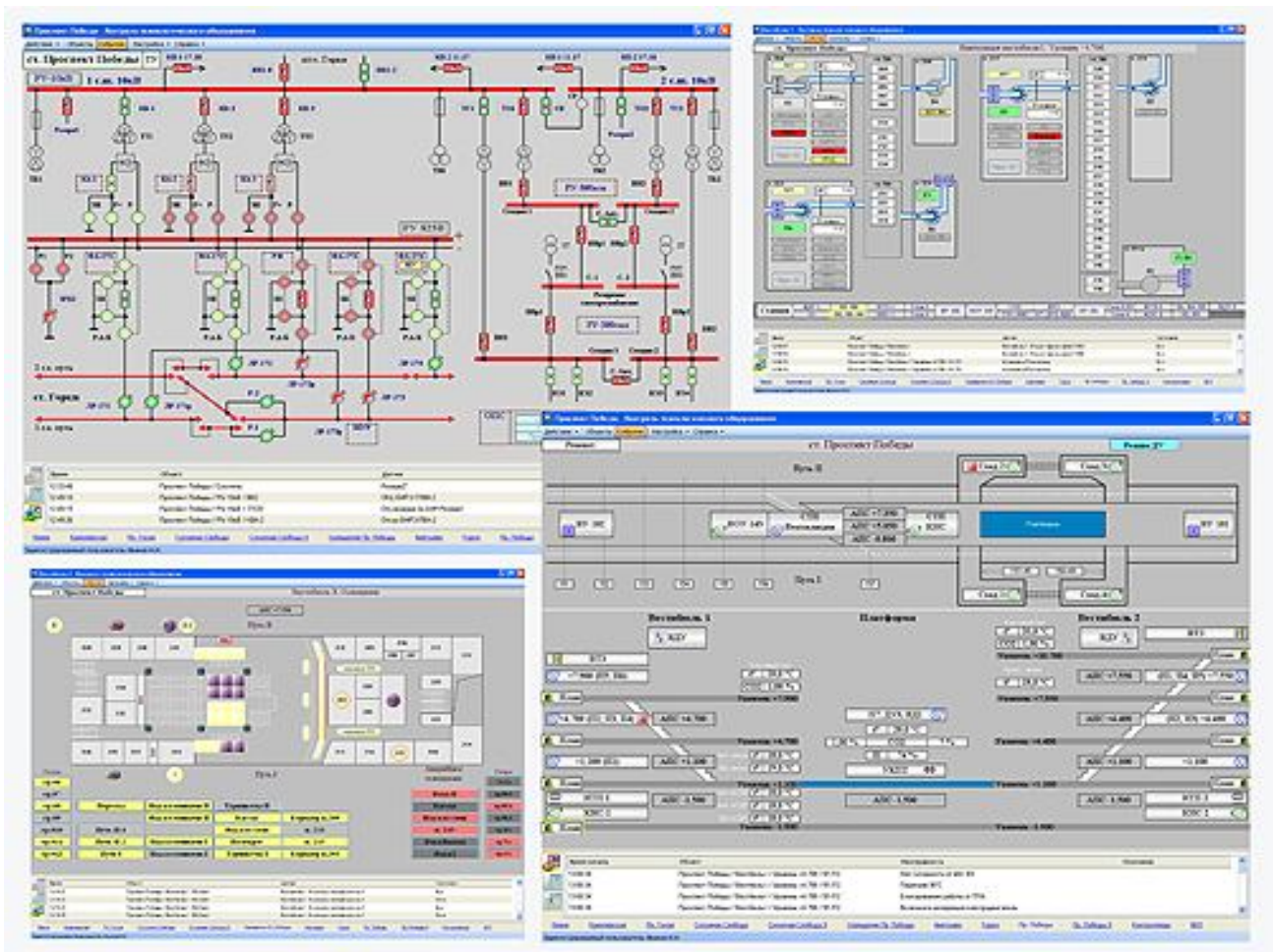


Рисунок 4.1 – Інформація з використанням пакета програм автоматизованою системою SCADA

Автоматизована система дозволяє керувати пристроями телекерування в дистанційному режимі, а також встановлювати параметри роботи інших

пристроїв (наприклад, частоту обертання вентиляторів, температуру повітря в нагрівачах і інше). Автоматизована система є розподіленою і має три рівні (рис. 4.2):

- верхній рівень (центр диспетчерського керування, який включає резервний сервер, керуючі диспетчерські АРМ, контролер табло колективного користування);

- середній рівень (керування підстанцією – ДП керування, що складається з резервного АРМ рівня пункту керування) Рівень керування ТП призначений для керування обладнанням підстанції з робочого місця, розташованого безпосередньо на ТП;

- нижній рівень (керування комірками – шафи керування об'єктів, перетворювачі інтерфейсів, комутатори). У кожній комірці встановлюється контролер, який забезпечує функції введення/виводу і при необхідності може виконувати логічні операції з керуванням комірками.

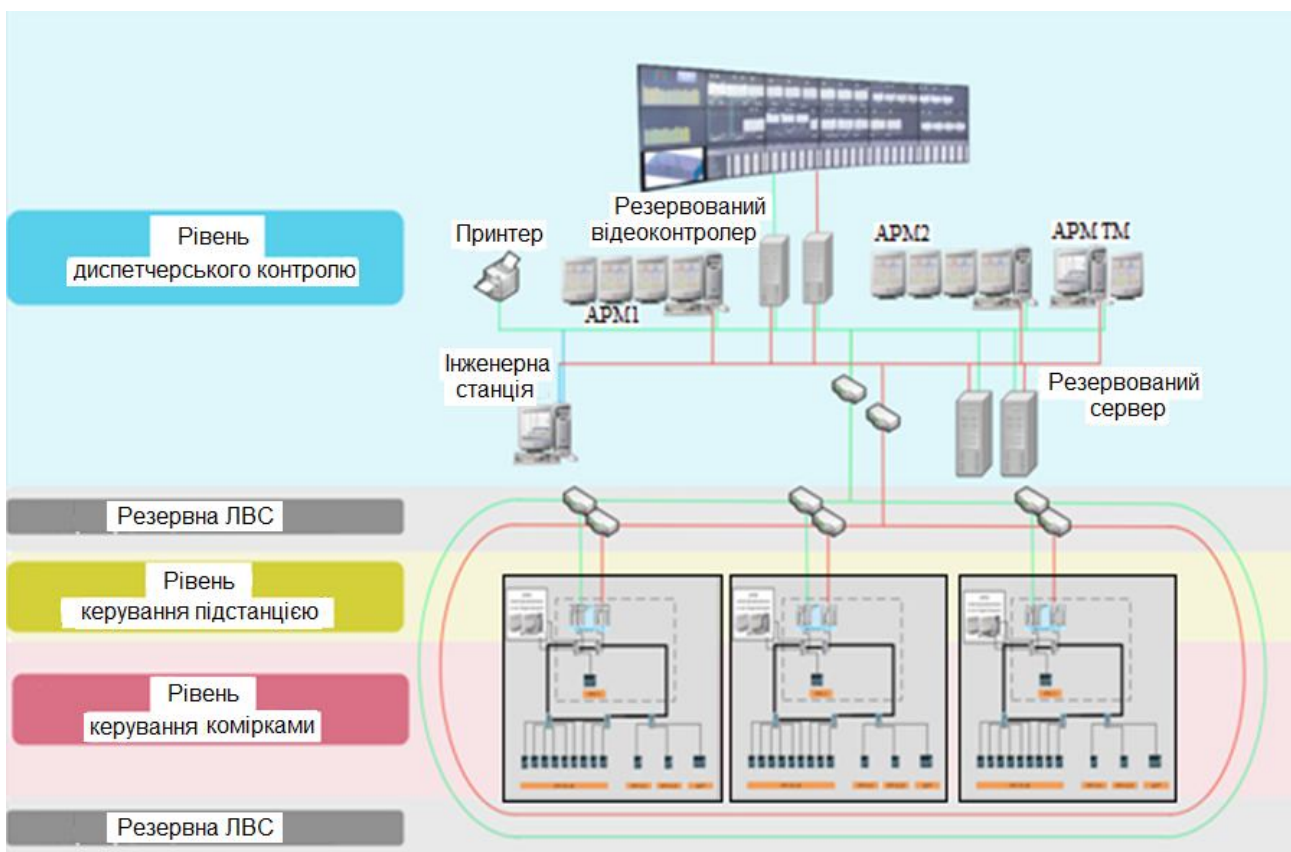


Рисунок 4.2 – Автоматизована система керування SCADA

Інтерфейс також має кілька рівнів відображення інформації:

- 1-й рівень оглядової мнемосхеми, який відображає стан основного електротехнічного обладнання підстанції.

2-й рівень детальних мнемосхем електротехнічного обладнання, який відображає детальні мнемосхеми електротехнічного обладнання, об'єктів автоматизації та стану комп'ютерного обладнання (контролерів і комутаторів).

3 –й рівень відображення трендів, журналів подій, довідкової інформації.

Переваги впровадження SCADA-системи:

- здійснюється збір і візуальне представлення даних з усіх технологічних об'єктів енергопостачання в режимі реального часу;
- створюється єдина система керування енергопостачанням об'єкта;
- здійснюється керування технологічними об'єктами в режимі реального часу з різних рівнів;
- повна відповідність міжнародним промисловим стандартам передачі даних в системах технологічної автоматики - МЕК;
- забезпечується висока надійність і відмовостійкість системи, автоматична побудова резервних каналів передачі даних, резервування критичних вузлів;
- використовується модульний принцип побудови;
- застосовується спеціалізований протокол IEC60870-5-104 для передачі даних, розроблений для енергетичних компаній.

Зв'язок між автоматизованими системами SCADA забезпечують шафи телемеханіки, основою яких є контролер MOSCAD наприклад, фірми Motorola (рис. 4.3), що працює на базі мікропроцесорної програмованої техніки (32/16 розрядного мікропроцесора).



Рисунок 4.3 – Контролер MOSCAD і основні його елементи

Контролер складається з безперебійного джерела живлення, модулів центрального процесора і введення/виводу, розміщених на одній або декількох материнських платах, а також засобів передачі даних.

Основна перевага даного типу контролера – це поєднання в ньому двох контролерів: пакетного зв'язкового контролера і програмованого логічного контролера (PLC). Такий тандем дозволяє звільнити системних інженерів і програмістів від рішення проблем зв'язку і сконцентрувати всі свої зусилля на розробці логіки роботи системи.

Контролер виконує як поодинокі, так і групові команди оператора. При прийомі команди від оператора перевіряється не тільки правильність видачі команди, але і її достовірність, що виключає виконання несанкціонованих команд.

Також контролер здатний "відстежувати" стан окремих дискретних сигналів, таких як стан дверей, наявність / відсутність захистів або інших окремих сигналів і передавати їх на верхній рівень. Крім того контролер шафи телемеханіки здатний керувати наступними механізмами: олійними вимикачами; кремінними випрямлячами; запасними та лінійними вимикачами; роз'єднувачами і перемикачами запасних шин; секційними вимикачами; секційними роз'єднувачами; вимикачем опалення та ін.

При цьому по кожному типу обладнання реєструється притаманна для нього інформація: положення, стан, величина струму і тощо. Дане обладнання використовує високонадійну апаратуру передачі даних по радіоканалу і / або провідних лініях зв'язку з можливістю їх автоматичного резервування.

Також в метрополітені широко використовуються автоматизовані системи моніторингу та діагностики технічних засобів і пристроїв електропостачання для (рис. 4.4):

- контролю фактичного стану об'єктів інфраструктури господарства електрифікації та електропостачання;
- виявлення відмовного стану;
- контролю усунення причин пошкодження пристроїв;

Приклад структури системи діагностики і електропостачання пристроїв, показаний на рисунку 4.5.

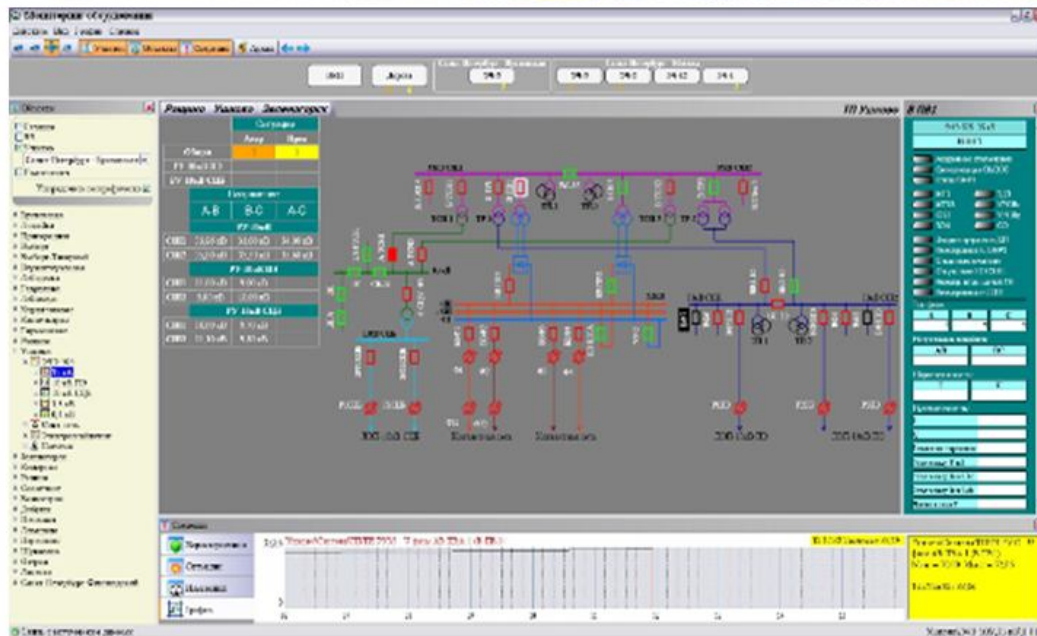


Рисунок 4.4 – Технічні пристрої і табло стану об'єктів електропостачання

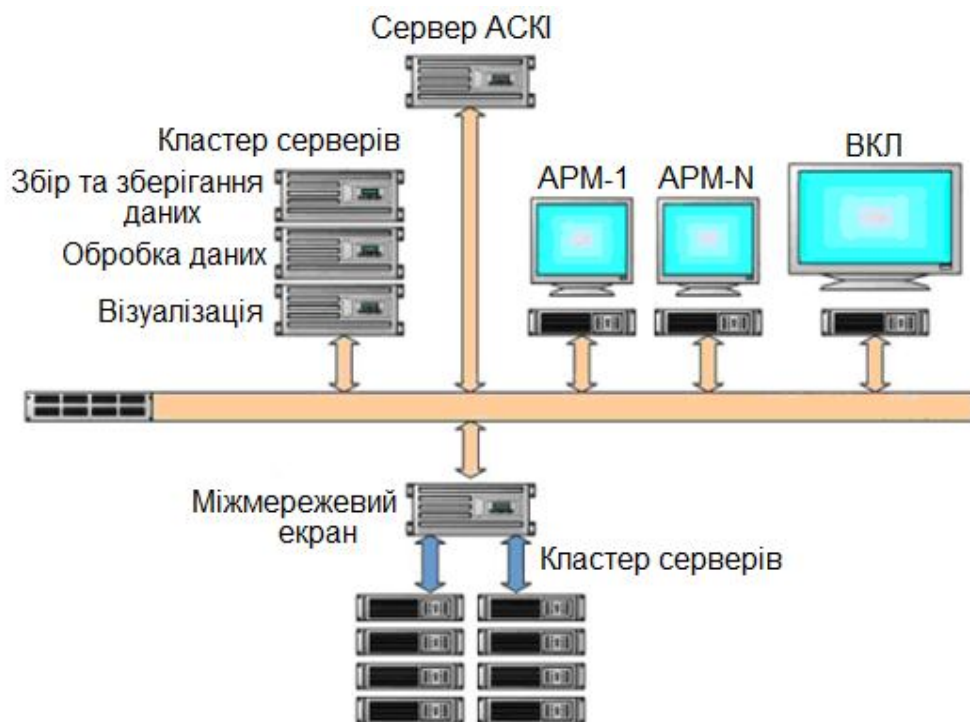


Рисунок 4.5 – Структура автоматизованої системи керування електропостачанням метрополітену

Застосування програмованих пристроїв на базі мікропроцесорної техніки дозволяє використовувати централізацію керування тяговими підстанціями за допомогою застосування одного ЦДП замість 10-ти районних диспетчерських пунктів.

4.3 Основні елементи автоматизованої системи електропостачання метрополітену

Основними елементами сучасної автоматизованої системи електропостачання метрополітенів є розподільні пристрої постійного струму серії РП-825, які призначені для роботи в депо і тунелях метрополітену, а також використовуються для прийому і розподілу електроенергії номінальною напругою 825 В.

Такі РП мають:

- високий ступінь надійності;
- малі габаритні розміри і вага;
- зручність обслуговування;
- мінімальні витрати часу на обслуговування;
- мінімальну ймовірність виникнення пожеж.

Силова частина РП-825 (рис. 4.6) виконана за технологією необслуговуваних контактних з'єднань.

Особливість їх полягає в стабілізації притиску складових частин контактних з'єднань, незалежно від температури навколишнього середовища і температури нагрівання складових частин. Завдяки цьому при експлуатації обладнання немає необхідності в періодичній підтяжці і зачистці контактних з'єднань. Стабілізація контактного з'єднання підвищує пожежобезпечність РП.



Рисунок 4.6 – Розподільні пристрої типу РУ-825 і електричні апарати

Автоматичні вимикачі є силовими електроапаратами, які встановлюються в розподільні системи (наприклад, виробництва «Schneider Electric», «ABB»). Можливе виконання розподільних пристроїв з автоматичними вимикачами інших виробників.

Автоматичні вимикачі в литому корпусі мають підвищену стійкість до ударів і вібрацій, забезпечують електромагнітну сумісність, допускають застосування в умовах тропічного клімату.

Автоматичні вимикачі можуть бути забезпечені електричними приводами, що дозволяють реалізувати функцію дистанційного керування.

Автоматичні вимикачі в литому корпусі мають підвищену стійкість до ударів і вібрацій, забезпечують електромагнітну сумісність, допускають застосування в умовах тропічного клімату.

Автоматичні вимикачі можуть бути забезпечені електричними приводами, що дозволяють реалізувати функцію дистанційного керування.

Система керування шаф забезпечена мікропроцесорної системою керування і діагностики, в яку входять промислові контролери, що реалізують функції контролю блокувань, керування сервоприводами автоматичних вимикачів, і пов'язані з системами керування верхнього рівня.

Крім того, така система забезпечує:

– контроль за станом кожного випрямного пристрою (діода) за критеріями: «нормальна робота», «погіршення параметрів» (втрата класу), «пробою», а також здійснює контроль температури з видачею інформації на панель візуалізації. Діагностування за цими критеріями дозволяє істотно збільшити термін безаварійної роботи понад 80000 годин (9 – 10 років). При цьому під час роботи в динаміці проводиться моніторинг параметрів кожного діода;

– контроль деяких параметрів тягового трансформатора.

Панель візуалізації (рис. 4.7) являє собою промисловий контролер модульного типу з рідкокристалічним екраном з псевдосенсорними органами керування.

У мнемонічної формі зображуються умовні позначення перебування діодів випрямляча, графіків розподілу зворотної напруги між діодами та температури гілок.

На панель візуалізації виводиться наступна інформація:

- однолінійна схема випрямляча;
- протокол подій;
- температура діодів;
- діаграма зміни температури діодів;
- розподіл напруги між двома послідовними діодами;
- сигнали: перегрів трансформатора; стан дверей; перегрів випрямляча; погіршення параметрів діодів.

У разі зміни параметрів діода до рівня, відповідному критичному для даної схеми (для застосовуваних діодів), силовий діод можна замінити, не доводячи випрямляч до аварійного відключення в результаті пробою діода, який може статися в разі подальшого погіршення параметрів приладу (зниження класу).

Інформацію про стан випрямляча і його елементів можна спостерігати на панелі візуалізації або на моніторі комп'ютера за допомогою спеціалізованих програм (рис. 4.8).

В панелі системи реалізована можливість зв'язку з системою керування верхнього рівня, а саме, з центральною панеллю ТП, встановленої в комплекті



Рисунок 4.7 – Промисловий контролер типу РР65 з функцією візуалізації

РП-825, пристроями захисту РП середньої напруги, диспетчерським пультом (системою телемеханіки) як по звичайному багатопровідному зв'язку через з'єднання, так і по двухпроводному зв'язку через порт на відстань до 1200 м.

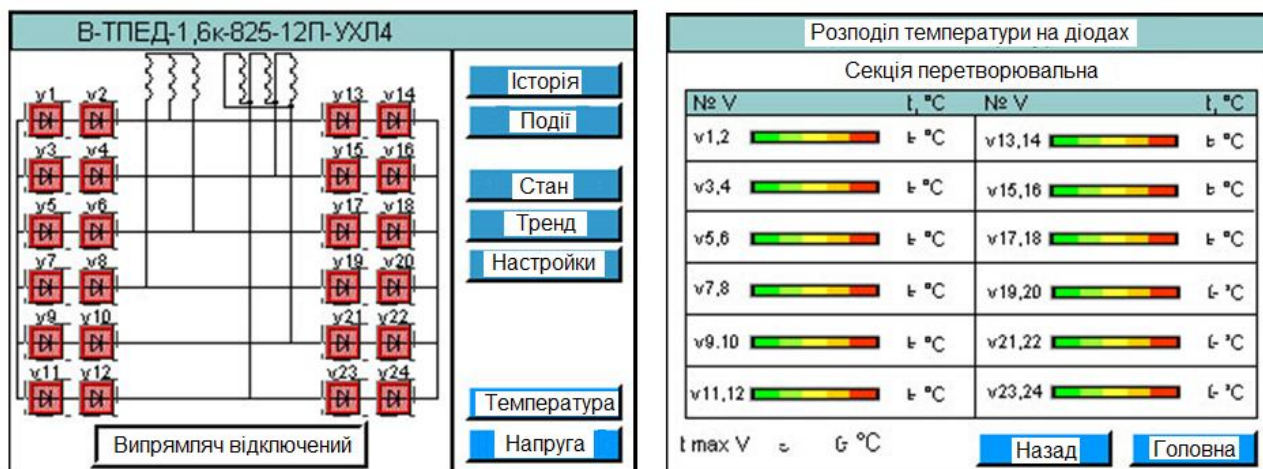


Рисунок 4.8 – Вікна на панелі контролера типу РР65

Контроль ізоляції в РП здійснюється приладами контролю ізоляції. Значення опору ізоляції відображається відсвічуванням світлодіодів на передній панелі приладу і індикатором, а при зниженні ізоляції нижче заданих меж замикаються контакти в ланцюзі зовнішньої сигналізації. Прилади дозволяють передавати диспетчеру значення опору ізоляції, а також сигнали попереджувальної і аварійної ситуації.

Вимірюється опір ізоляції безперервно, що відображається на РКІ-дисплеї. Два окремо сигнальних реле, що настроюються і знаходяться в складі приладу, дозволяють розрізнити сигнали «Попередження» і «Аварія» та видавати їх за допомогою контактів в ланцюзі зовнішньої сигналізації. Діапазон налаштувань уставок спрацьовування каналів – від 1 до 200 кОм.

4.4 Телемеханічний комплекс електропостачання тягових підстанцій метрополітену

Комплект обладнання телемеханіки призначений для телемеханізації електропостачання ТП і виконує функції телекерування (ТКЕ) і телеконтролю (ТК). Комплект обладнання об'єднує розосереджені ТП метрополітену в єдиний телемеханічний комплекс (ТМК), який здійснює ТКЕ і ТК за допомогою програмно-технічних засобів з ДП тягових підстанцій метрополітену (рис. 4.9).

Технічні характеристики ТМК:

- кількість контрольованих тягових підстанцій – до 30 шт;
- структура – трирівнева;
- тип сигналів вводу-виводу: – дискретні вхідні/вихідні типу «сухий контакт»;
- аналогові вхідні сигнали;

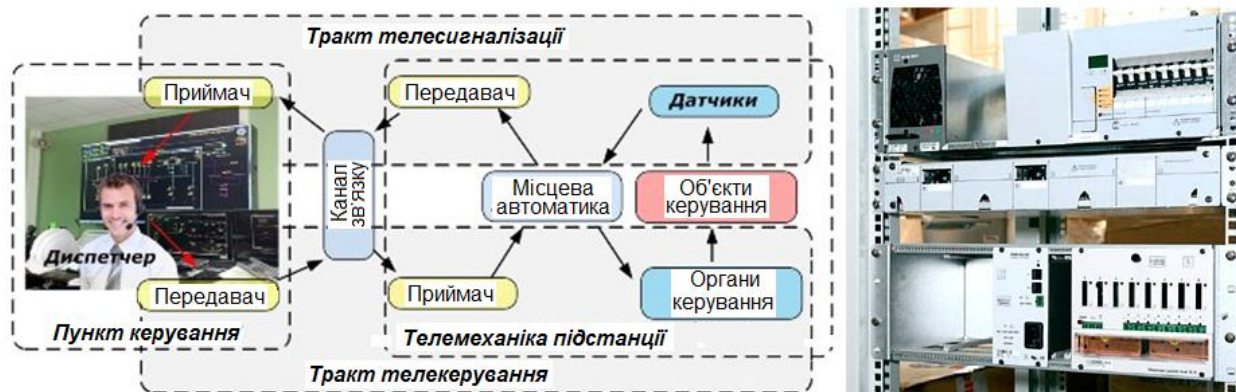


Рисунок 4.9 – Телемеханічний комплекс і програмно-технічні засоби диспетчерського пункту метрополітену

- час реакції на зміну стану об'єкта – до 2–5 с;
- час проходження команди до об'єкта керування – 1–3 с;
- напрацювання на відмову по функціях доведення команд і отримання інформації – 50 тис. год;
- сертифіковане обладнання;
- ліцензійне програмне забезпечення;
- режим роботи – постійний, цілодобовий (7/24 – сім діб на тиждень, двадцять чотири години на добу);
- електроживлення основних вузлів здійснюється від однофазної мережі змінного струму напругою $220 + 10 / -15 \% В$ і частотою $50 Гц \pm 2 \%$;
- потужність споживання для кожного вузла – не більше 300 Вт;
- відстань від ДП до найдалшої ТП – до 20 км;
- відстань від кабельної лінії між устаткуванням тягової підстанції і ДП, а також і каналоутворюючою апаратурою;
- точність передачі вимірюваних величин – не гірше 0,1 %;
- вірогідність виникнення помилкової команди - не більше $10^{-6} \dots 10^{-10}$;
- ступінь захисту по ГОСТ 14254-80 – IP 44;
- діапазон робочих температур від $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+45 \text{ }^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря 40–90 %;

– зовнішня середа типу II по ГОСТ 15150, не вибухонебезпечне, не містить значної кількості струмопровідного пилу (до 5 мг/м³) і випарів хімічних речовин в концентраціях, які руйнують контактні з'єднання, захисні покриття та ізоляцію;

– обладнання ТМК нормально працює при впливі індустриальних радіоперешкод, які не перевищують відповідних по стандартних документів норм;

– обладнання ТМК нормально працює при постійних і при тих що з'являються електромагнітних полях напруженістю до 400 А / м;

– забезпечується безперервне живлення обладнання ТМК на тяговій підстанції і ДП на протязі не менше 60 хвилин у разі відсутності основного живлення напруги ~ 220 В + 10 %–15 %, 50 Гц.

До складу ТМК входить:

– шафа телемеханіки (ТМ) тягової підстанції (рис. 4.10);

– автоматизоване робоче місце чергового по тяговій підстанції (АРМ-Д);

– шафа телемеханіки енергодиспетчера ДП (ТМ-ЕД);

– автоматизоване робоче місце енергодиспетчера ДП (АРМ-ЕД);

– автоматизоване робоче місце додаткової системи телемосту (АРМ-ДС);

– автоматизоване робоче місце телемеханіка (АРМ-ТМ).

Перелік обладнання, контролюваного ТМК:

– розподільні пристрої 10 кВ;

– випрямлячі (силові трансформатори і перетворювальні секції);

– розподільні пристрої 825 В;

– розподільні пристрої 0,23 кВ і 0,4 кВ;

– щит постійного струму (ЩПТ);

– зарядно-випрямні пристрої (ВТЕУ);

– шафа управління кліматом (ШУК);

– різні сигнали (пожежні, охоронні та ін.).

Структурна схема телемеханічного комплексу тягової підстанції метрополітену показана на рисунку 4.11.



Рисунок 4.10 – Шафа телемеханіки тягової підстанції метрополітену

У телемеханічного комплексі передбачено дві незалежні системи телемеханіки: основна і додаткова. Для обох систем передбачена передача інформації по двох каналах зв'язку. Кожен канал зв'язку може бути налаштований на наступні типи каналів:

- волоконно-оптичний (ВОЛЗ) – ($V =$ від 10 Мб / с, інтерфейс Ethernet);
- мідний телефонний кабель – ($V =$ від 1200 б / с, опір мідної лінії зв'язку – до 3 кОм).

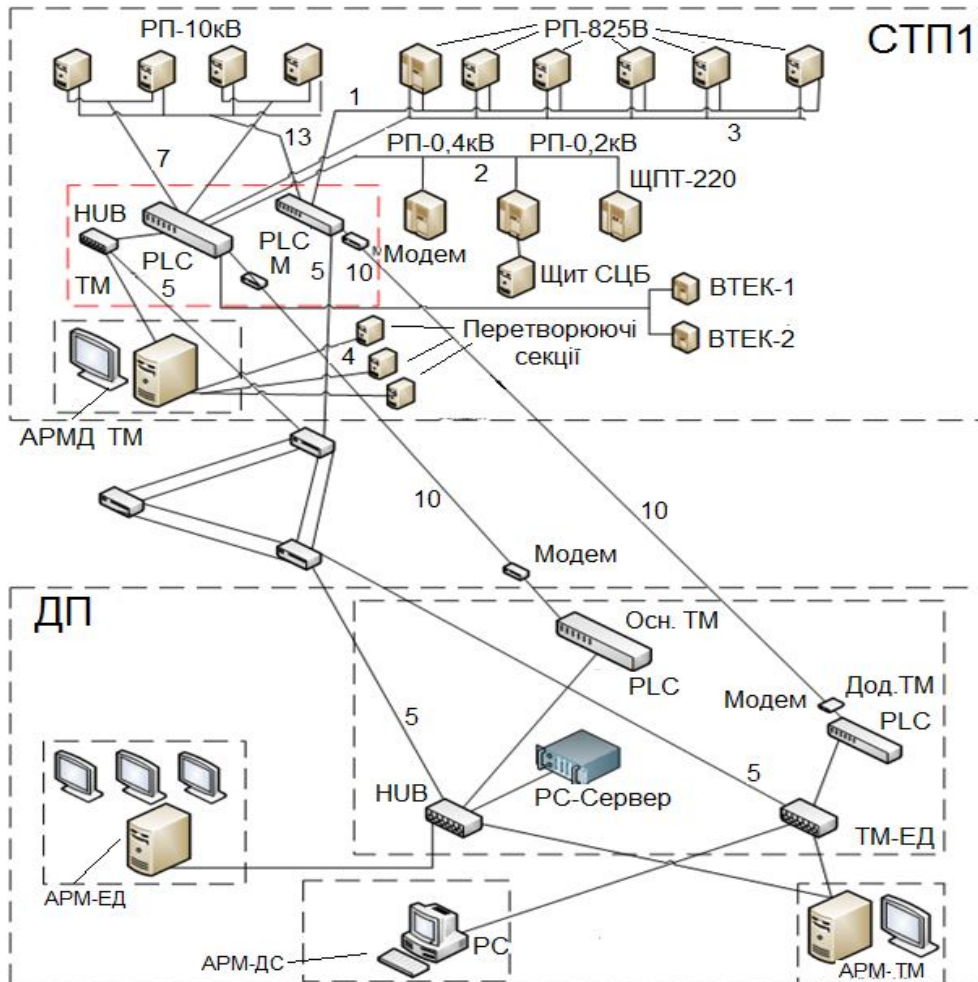


Рисунок 4.11 – Структурна схема телемеханічного комплексу метрополітену:

1–10 – лінії зв'язку; ТМ – шафа телемеханіки тягової підстанції; АРМ-Д – автоматизоване робоче місце чергового по тяговій підстанції; ТМ-ЕД – шафа телемеханіки енергодиспетчера ДП; АРМ-ЕД – автоматизоване робоче місце енергодиспетчера ДП; АРМ-ДС – автоматизоване робоче місце телемеханіка; ТМ-ЕД – КО-ЕД – комплект обладнання для інтеграції тягової підстанції з АРМ-ЕД

Основні функції ТМК:

- відображати на мнемосхемах монітора поточний стан обладнання тягової підстанції, роботи апаратних і програмних засобів;

- приймати дискретні сигнали - виконувати телесигналізацію (ТС);
- приймати аналогові сигнали - виконувати телевимірювання (ТВ);
- видавати сигнали телекерування (ТКЕ) з аналізом допустимості видачі команд і контролювати їх виконання;
- сигналізувати про мимовільному зміні станів об'єктів і порушення роботи пристроїв;
- отримувати ретроспективну інформацію (команди керування, зміни стану, тренди і тощо);
- здійснювати доступ для перегляду довідкової інформації;
- забезпечувати високий ступінь автоматизації процесів збору та обробки інформації.

Телемеханічний комплекс забезпечує:

- захист від виникнення помилкової команди ТУ, а також високу надійність передачі команд керування;
- високу точність передачі вимірюваних величин ТС, ТВ;
- швидке проходження повідомлень про різні події на об'єкти керування;
- швидке проходження команд для ТС, ТКЕ, ТВ, неприпустимість великого запізнювання сигналів;
- пріоритетність ТКЕ перед ТЗ, а ТЗ перед ТВ;
- обмін інформацією з кількох різних каналах зв'язку;
- прив'язку подій до абсолютного часу, з точністю 1 мс;
- діагностику функціонування всіх вузлів системи і каналів зв'язку (час визначення несправності з моменту її виникнення не більше 1 хв);
- підтримка єдиного часу для всіх вузлів системи;
- функціонування обладнання основної системи телемеханіки (ТМ) при обриві одного з основних каналів зв'язку;
- функціонування обладнання додаткової системи телемеханіки (ДСТ) при обриві одного, або двох основних каналів зв'язку;
- ретроспективу необхідних параметрів і інформації, в тому числі і про стан телемеханічного обладнання (ТМО) глибиною до 30 діб.
- фіксацію різних подій про стан тягової підстанції і роботи ТМК, в тому числі обрив зв'язку, збої в роботі, і ін.
- фіксацію часу появи і часу відновлення;
- надійну роботу ТМК, в тому числі і автоматичне відновлення роботи ТМК при виникненні збою;
- централізовану переробку інформації;
- зручну роботу користувачу, в тому числі візуальну і звукову сигналізацію.

4.5 Рекуперативні пристрої

Як сучасних рекуператорів для ТП метрополітенів застосовуються комплекти з перетворювальних секцій і сухих трансформаторів. Використання рекуператорів дозволяє:

- підвищити енергетичні показники метрополітену шляхом повернення в мережу енергії, що виділяється при гальмуванні поїзда (при наявності режиму рекуперативного гальмування в електрорухомому складі);

- знизити рівень перенапруг, що виникають при рекуперативному гальмуванні;

- полегшити режими вентиляції метрополітену (як показують дослідження, використання динамічного гальмування з розсіюванням гальмівної енергії у вигляді тепла на резисторах веде до помітного зростання потужності, необхідної для вентиляції метро);

- заощадити до 30%, споживаної рухомим складом електроенергії в залежності від рельєфу місцевості.

Таким чином, застосування рекуператорів дозволяє повернути в мережу енергію гальмування і знизити потужність, споживану системою вентиляції, що знижує енергоспоживання метрополітену в цілому.

Рекуперація може бути здійснена за допомогою включення додаткового перетворювача, що повертає енергію в мережу (рис. 4.12, рис. 4.13).

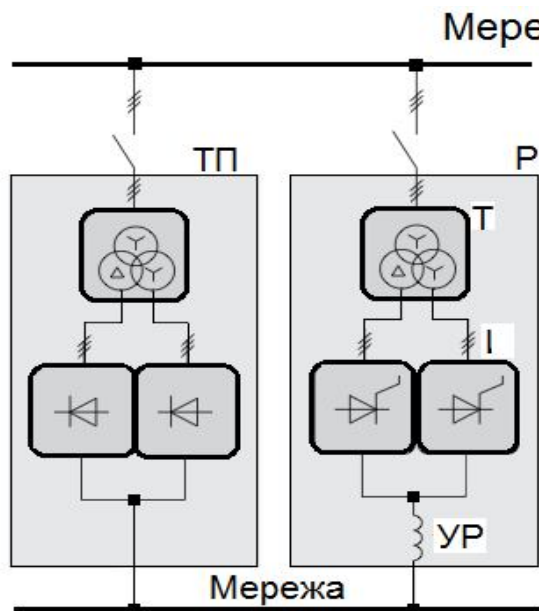


Рисунок 4.12 – Спрощена схема підключення рекуператора

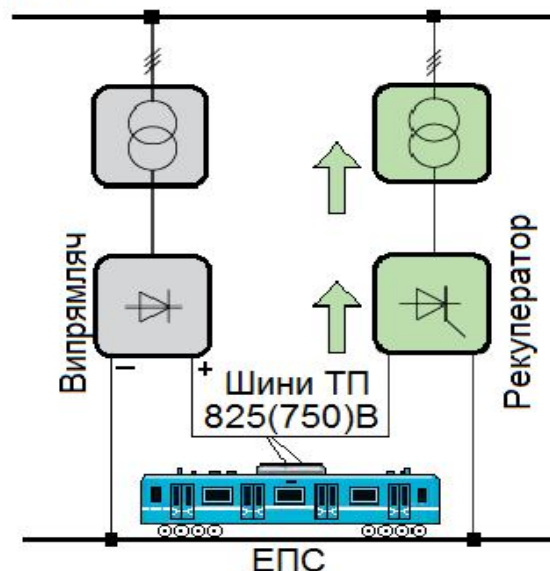


Рисунок 4.13 – Потоки енергії при роботі рекуператора

У цьому випадку, до існуючих тягових підстанцій (ТП) додатково включається рекуператор (Р) – залежний інвертор (І) зі своїм

перетворювальним трансформатором (Т). Для виключення виникнення зрівняльних струмів на стороні постійного струму може включатися зрівняльний реактор (ЗР), або збільшуватися потужність перетворювального трансформатора. Переваги даного варіанту схем:

- можливість нарощування числа рекуператорів повертати в мережу будь-яку потужність;
- відсутність завантаження тягових трансформаторів струмами рекуперації
- гнучкість технічних рішень, пов'язаних з вибором місць установки і вибором потужностей обладнання для рекуперації.

На рисунку 4.12 показано включення і шляхи рекуперації енергії. Гальмівна енергія в будь-який момент часу може бути віддана через рекуператор в мережу середньої напруги, яка передана на значні відстані і використана різними споживачами як власними (ескалатори, освітлення, вентиляція), так і сторонніми.

В даний час в сучасних рекуператорах (наприклад, серії І-ПТП) використовуються новітні досягнення в галузі технологій побудови перетворювальної техніки, а саме матеріали і комплектуючі провідних світових виробників. Це стосується як конструкції шафи, силової частини перетворювача, так і електричного монтажу, схемних і технологічних рішень систем захисту, діагностики та керування рекуператором, а також технології обслуговування і ремонту.

Перетворювальна секція (рис. 4.14) являє собою тиристорний шестивентильний міст на номінальний струм 800 А. Традиційно застосовується 12-ти пульсна схема інвертування, тобто дві секції по 800 А кожна, включені із зсувом на 30 електричних градусів. Сумарний струм двох секцій при цьому становить 1600 А. Таке включення має незаперечну перевагу над традиційною 6-ти пульсною схемою інвертування в частині гармонійного складу струму і напруги що інвертуються.

Нарощування потужності рекуператора можливо включенням двох додаткових секцій до двох існуючих, що забезпечує номінальний струм 3200 А.

У ПС реалізований захист силових напівпровідникових приладів від внутрішніх і зовнішніх комутаційних перенапруг.

Від внутрішніх комутаційних перенапруг захист забезпечується RC-ланцюгами, від зовнішніх - комбінованими: RC-ланцюгами і варисторами.

Система керування виконана на базі мікропроцесорного модуля, який здійснює керуючі, діагностичні та захисні функції рекуператора.

Кожна ПС має наступні види захистів від:

- внутрішніх і зовнішніх коротких замикань;
- вхідного струму на рівні дискретнозмінної уставки (струмообмеження);
- перекидання інвертора;
- перегріву і перенапруги на силових тиристорах;
- неправильного чергування фаз напруги;
- зникнення керуючих імпульсів;
- перевищення вхідної напруги;
- перегріву трансформатора.

Також ПС має прилади вимірювання вхідної напруги U_d , вхідного струму I_d і лічильника енергії рекуперації.

Для перетворення системи трифазного струму з постійною частотою і амплітудою в системах трифазного струму зі змінною частотою і напругою використовуються сучасні перетворювачі частоти, виконані на IGBT-транзисторах з широтно-імпульсною модуляцією.

Такі перетворювачі знаходять застосування в областях, де необхідна рекуперація енергії в мережу. При цьому частота обертання приводів регулюється плавно і з малими втратами в широкому діапазоні механічних характеристик двигуна завдяки застосуванню цифрової системи керування, яка працює як з датчиком, так і без датчика швидкості. Тим самим гарантується оптимальне узгодження перетворювача і двигуна з робочою машиною зі всіма вимогами до технологічного процесу.



Рисунок 4.14 –
Перетворювальна секція
рекуператора

Контрольні запитання

1. Як класифікуються підстанції метрополітену за призначенням?
2. Як здійснюється електроживлення ТП метрополітену?
3. Які електричні схеми застосовуються для електропостачання знижувальних ТП.
4. Яка схема використовується для живлення суміщених ТП?
5. Що є основними елементами ТП метрополітену?
6. Яка автоматизована система використовується для керування технологічними процесами електропостачання метрополітену?
7. Перелічити основні можливості автоматизованої системи SCADA?
8. Які рівні має автоматизована система SCADA?
9. Як забезпечується зв'язок між автоматизованими системами SCADA?
10. Які відзнаки мають розподільні пристрої метрополітену?
11. Яка інформація виводиться на панель візуалізації метрополітену?
12. Які технічні характеристики має телемеханічний комплекс (ТМК) метрополітену?
13. Що входить до складу ТМК метрополітену?
14. З якою метою використовуються рекуператори?
15. Які види захистів має кожна перетворювальна секція рекуператора?

ЛЕКЦІЯ 5

ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ

5.1 Основні поняття і комплекти релейного захисту

5.2 Основні види релейних захистів

5.3 Сучасні релейні захисту в пристроях тягового електропостачання

5.1 Основні поняття і комплекти релейного захисту

Релейний захист об'єктів установок електропостачання складається з комплекту різних реле, з'єднаних за певною схемою. Релейний захист за призначенням поділяється на основну і додаткову.

Основним називають такий захист, який діє при пошкодженні в межах всього елемента, що захищається. При цьому час його дії повинно бути набагато коротшим, щоб забезпечити безперебійну роботу неушкодженої частини системи. Тому основний захист прагнуть виконати швидкодіючим.

До основних видів захистів відносяться: максимальний струмовий захист (МСЗ), максимальний струмовий з незалежною витримкою часу (МСЗ НВ), диференціальна (ДЗ), дистанційна.

Додаткові захисти застосовуються як:

- *резервні*, які об'єднують захист наступних (у напрямку від джерела живлення) елементів системи на випадок відмови дії їх захистів або вимикачів;
- *допоміжні*, яку встановлюють на додаток до основного захисту (струмовий відсічення, відсічення по напрузі).

Релейний захист виконується за допомогою реле. *Реле* – це автоматичний діючий апарат, який здійснює стрибкоподібні зміни в керованих системах при заданому значенні, що впливає на нього величини, на яку має реагувати реле (струм, напруга, температура, тощо).

Релейний захист є складовою частиною комплексу пристроїв автоматики. Але, незважаючи на це, вона має своє науково-технічне направлення. Основи зазначених напрямків базуються на фундаментальних положеннях теорії стаціонарних і нестаціонарних електромагнітних і електромеханічних процесів, теорії надійності, математичної логіки, електричних апаратів, електроніки, мікроелектроніки та ін.

Призначенням релейного захисту є локалізація ушкоджень, запобігання або скорочення збитків при раптовому виникненні пошкоджень або ненормальних режимів роботи електроенергетичних пристроїв вироблення,

передачі, перетворення і розподілу електроенергії, забезпечення стійкості, надійності і живучості систем електропостачання. Разом з пристроями автоматичного повторного включення (АПВ) і автоматичного включення резерву (АВР) релейний захист утворює так звану систему протиаварійної автоматики (автоматики керування в аварійних режимах).

Динаміка розвитку систем захистів (рис. 5.1) перших електроустановок від коротких замикань починалася з кінця позаминулого століття і відбувалося плавкими запобіжниками.

На початку ХХ століття з'явилися спочатку реле струму, а потім і реле напруги. З 1910 року починають використовуватися струмові системи захисту, які доповнені реле напрямку потужності. Реле опору, як складова частина дистанційного захисту, стали випускатися на початку 20-х років. Для реле струму і напруги використовувалися електромагнітні механізми, реле напрямку потужності і опору виконувалися на індукційному принципі.

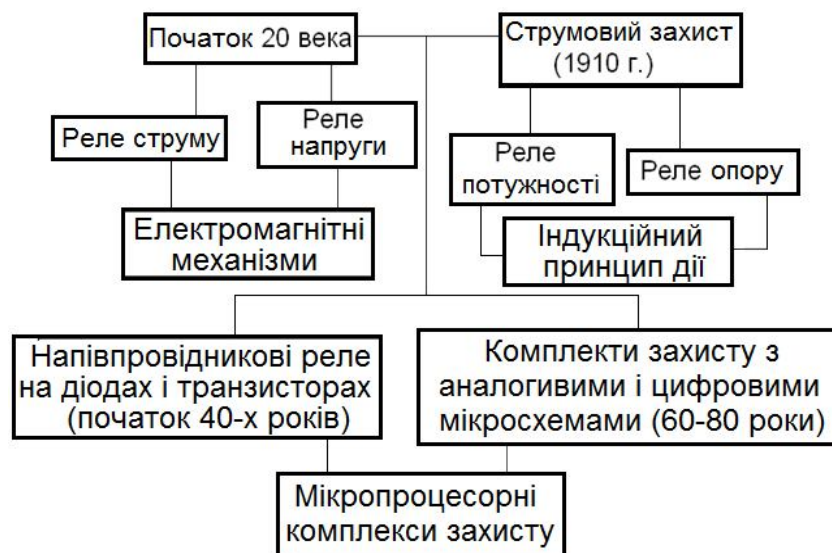


Рисунок 5.1 – Динаміка розвитку автоматизованих систем захистів

З кінця 40-х років намітилася тенденція конструювання реле із використанням користуванням напівпровідникових діодів і транзисторів.

В 60-х роках такі реле стали отримувати все більше поширення і в даний час, наприклад, замість індукційних реле напрямку потужності і опору випускаються напівпровідникові.

У 80-х роках стали з'являтися окремі реле і комплекти захистів, виконання із застосуванням елементів мікроелектроніки (аналогових і цифрових мікросхем). Подальша тенденція розвитку техніки релейного захисту пов'язана з використанням мікропроцесорних комплексів. Такі комплекси здійснюють як

функції релейного захисту, так і ряд додаткових і сервісних функцій (автоматичне повторне включення, визначення місця пошкодження, фіксація параметрів аварійного режиму і т.п.) з відображенням на вбудованому дисплеї.

З розвитком техніки релейного захисту зменшувалися її габарити і власне споживання, поліпшувалися її характеристики, підвищувалися швидкодію, чутливість і надійність, удосконалювалися алгоритми функціонування. Все це дозволяє більш впевнено вирішувати основну проблему: чітке розмежування реле аварійного і нормального режимів.

Релейний захист, який контролює стан тільки одного об'єкта і відключає при аварійних режимах вимикач тільки даного об'єкта, називається *індивідуальним*. У багатьох випадках основні властивості захисту (чутливість, селективність, швидкодія) поліпшуються, якщо індивідуальні пристрої взаємопов'язані. Взаємний зв'язок таких пристроїв може бути поздовжнім і поперечним (рис. 5.2).

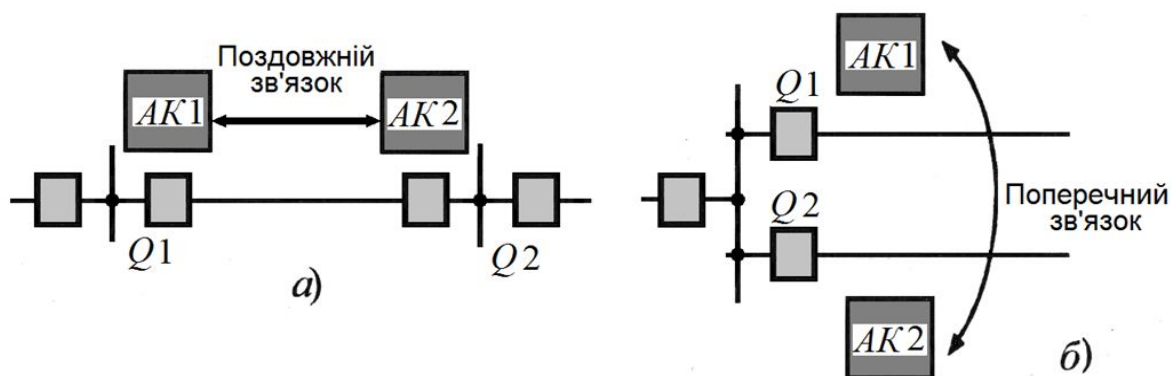


Рисунок 5.2 – Поздовжній і поперечний диференційний струмовий захист АК1-АК2 – релейні захисти; Q1-Q2 – вимикачі

Поздовжній взаємний зв'язок (рис. 5.2, а) об'єднує захисти АК1 і АК2 на різних кінцях (на вході і виході) одного об'єкта.

Взаємний зв'язок, при якому об'єднуються захисти АК1 і АК2 різних об'єктів, приєднаних до загальних шин, називається *поперечним* (рис. 5.2, б).

До недавнього часу релейний захист і інші пристрої автоматики виконувалися тільки на релейно-контактних елементах. В останні десятиліття широко почали застосовувати електронні пристрої.

Це підвищує надійність захистів, зменшує їх розміри, власне споживання енергії та експлуатаційні витрати, а також дозволяє реалізувати абсолютно нові функціональні залежності.

Застосування напівпровідникової електроніки дає можливість виконати релейний захист разом з іншими пристроями автоматики і телемеханіки у вигляді єдиної системи або комплексу.

В даний час застосування мікроелектроніки і мікропроцесорних систем ще більше підвищує ефективність релейного захисту та автоматики, відкриває перспективи для передачі функцій релейного захисту та автоматики спеціальним автоматизованим системам, які будуть управляти пристроями електропостачання в нормальних і аварійних режимах. У зв'язку з цим особливого значення набуває вивчення алгоритмів (програм), яким має підкорятися дію релейного захисту незалежно від тієї елементної бази, на основі якої вона виконана.

5.2 Основні види релейних захистів і їх властивості

Найбільшого поширення в автоматизованих системах захистів отримали струмові захисту. Для них впливає величиною є струм, що проходить по струмоведучих частин електричної установки в місці включення захисту. Вимірювальний орган захисту приходить в дію, якщо впливає величина (контрольований струм) перевищить заздалегідь встановлене значення, що є уставкою спрацьовування.

Захист, вимірювальний орган якої порівнює значення або фази струмів в різних кінцях об'єкта, що захищається або в паралельних гілках, приєднаних до загальних шин, називається диференціальним струмовим захистом.

Якщо порівнюються струми різних кінців об'єкту, що захищається, наприклад, мережі (рис. 5.1, а), то диференційний захист є поздовжнім, якщо ж порівнюються струми, наприклад, в паралельних мережах (рис. 5.1, б), то система захисту є поперечною.

Для передачі в вимірювальний орган інформації про значення і фази порівнюваних струмів використовують допоміжні дроти. Диференціальні системи захисту відносяться до захисту з взаємним зв'язком. Вони мають абсолютну селективність і є швидкодіючими.

Захист, який реагує на величину напруги, називається захистом напруги, вольтметровими або потенційними. В якості вимірювального органу в них застосовується реле напруги.

У трифазних системах такий захист можна виконати, включаючи реле не тільки на повні фазні і лінійні напруги, але і на їх симетричні складові. В останньому випадку підвищується чутливість до тих видів КЗ, які супроводжуються суттєвою несиметрією напруг. Для цього реле напруги включають через фільтри симетричних складових напруг.

У лініях електропередачі напругою 35 кВ і вище, а також в контактних мережах змінного струму широко використовують дистанційні системи захисту. В якості вимірювального органу цих захистів застосовують реле опору.

Дистанційний захист на відміну, наприклад, від струмового, реагує не на одну ознаку, а на три: струм, напругу і фазовий кут між ними. Такий захист чіткіше відрізняє ненормальні режими від нормальних, і здатен виявити КЗ навіть в тому випадку, якщо струм КЗ менше струму нормального режиму.

У тягових мережах поширилася так звана телеблокіровка (пристрій телевідключення), яка, як і високочастотний захист, відноситься до захисту з поздовжнім взаємним зв'язком. Наприклад, при спрацьовуванні АК1 на одному кінці лінії і відключенні вимикача $Q1$ (див. рис. 5.2, а), на вимикач $Q2$, що знаходиться на іншому кінці лінії, по каналах телемеханіки подається команда на відключення.

В релейному захисті знаходять застосування і такі вимірювальні органи, для яких величина, що впливає, не є електричною. Наприклад, для трансформаторів використовують газову, а для перетворювальних агрегатів тягових підстанцій – тепловий захист. Вимірювальний орган газового захисту реагує на інтенсивність газоутворення трансформаторного масла, а теплової – на температуру напівпровідникових приладів.

Функціями релейного захисту є:

- спрацьовування (видача команди на відключення) при КЗ на контрольованому об'єкті в зоні захисту;
- неспрацьовування при відсутності КЗ в зоні захисту;
- неспрацьовування при КЗ за межами зони захисту.

Дії захисту, що виконуються відповідно до зазначених функцій, є вірними.

Однак в силу тих чи інших причин, наприклад, відмов елементів захисту, зовнішніх електромагнітних перешкодах і тощо, захист може діяти неправильно, тобто:

- не спрацювати при КЗ в зоні захисту (відмова спрацювання),
- спрацювати при відсутності пошкоджень на об'єкті, (помилкове спрацьовування),
- спрацювати при КЗ за межами зони захисту (зайве спрацьовування).

Неправильні дії захисту відносяться до відмов її функціонування. Відмова функціонування при КЗ призводить до важких пошкоджень електрообладнання, розподільних пристроїв, пошкодження проводів контактної мережі і тощо, а відмова функціонування в нормальному режимі роботи об'єкта, що захищається тягне за собою припинення живлення споживачів.

Для забезпечення правильного функціонування захист повинен мати певні властивості: селективність, стійкість та надійність функціонування. Узагальненим показником якості захисту є ефективність її функціонування.

Селективність (вибірковість). Це властивість полягає в здатності із заданою швидкістю відключати за допомогою вимикачів тільки пошкоджений елемент системи.

Розглянемо, наприклад, електричну мережу, що зв'язує джерело живлення П1 з підстанціями П2, П3, П4 (рис. 5.3).

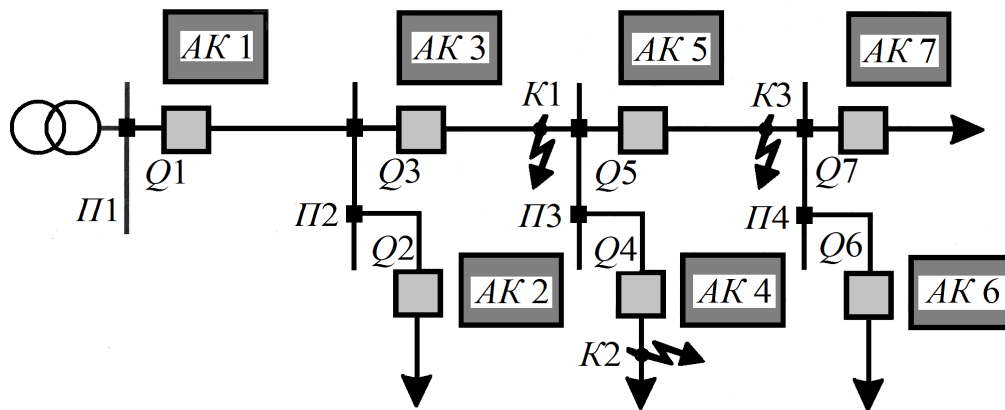


Рисунок 5.3 – Схема електричної мережі:

П1 – джерело живлення; П2, П3, П4 – підстанції; Q_1, Q_2, \dots, Q_7 – вимикачі, AK_1, AK_2, \dots, AK_7 – релейний захист; $K_1 - K_3$ – точки КЗ.

На окремих ділянках встановлені вимикачі Q_1, Q_2, \dots, Q_7 , кожен з яких має самостійний пристрій релейного захисту AK_1, AK_2, \dots, AK_7 .

За принципом селективності, якщо КЗ відбулося в точці K_2 , повинен відключитися вимикач Q_4 , а при КЗ в точці K_3 – вимикач Q_5 .

Селективність захисту забезпечує відключення мінімально можливої ділянки і, отже, збереження нормального електропостачання максимального числа споживачів.

Короткі замикання в межах зони захисту називаються внутрішніми, а за межами цієї зони - зовнішніми. Якщо захист здатен реагувати лише на внутрішні пошкодження, то його селективність є абсолютним. Такою властивістю володіють, наприклад, поздовжні диференціальні системи захисту і струмові відсічення. У ряді випадків, до захисту ставиться вимога спрацьовувати і при зовнішніх КЗ, тобто неселективно.

Захист, який селективно спрацьовує в звичайних умовах тільки при внутрішніх КЗ, але може при необхідності відключити і зовнішні КЗ, має

відносну селективність. Захист з відносною селективністю використовується для резервування вимикачів суміжних ділянок.

Селективність при внутрішніх КЗ характеризується захистоздатністю і швидкодією.

Захистоздатність називається властивість, що забезпечує захист контрольованого об'єкту при всіх видах КЗ. У ряді випадків, однак, захист може не реагувати на деякі КЗ. Частина контрольованої лінії, в межах якої дані захисту не реагує на КЗ, називаються мертвими зонами. Вони перекриваються зазвичай резервними захистами.

Швидкодія захисту визначається необхідним часом відключення КЗ. Чим менше час відключення пошкодження, тим:

- вище стійкість паралельної роботи генераторів електростанцій (наприклад, порушення синхронізму, що є найбільш важкою аварією в енергосистемі);

- менше руйнування ізоляції, струмоведучих частин, а також конструкцій електротехнічних апаратів, обладнання та мереж;

- менше тривалість зниження напруги, що негативно впливає на технологічні процеси, роботу ЕРС і умови безпеки (зниження напруги, наприклад, в високовольтних лініях живлення автоблокування може привести до невірної дії або погасанню світлофорів, а це пов'язано з безпекою руху поїздів);

- вище ефективність дії АПВ та АВР, тому що чим менше час існування КЗ, тим менше ймовірність руйнування обладнання.

Стійкість функціонування – ця властивість характеризується чутливістю до коротких замикань при внутрішніх КЗ, а також нечутливістю при зовнішніх КЗ.

Чутливість – це здатність захисту реагувати на пошкодження в зоні захисту при найнесприятливіших умовах. Чим далі місце пошкодження від джерела живлення, тим менше струм КЗ. Значення цього струму ще більше знижується, якщо енергосистема працює в мінімальному режимі, а замикання сталося через перехідний опір електричної дуги. У цих умовах струм віддаленого КЗ може бути порівняно зі струмом нормального режиму. При цьому забезпечувати чутливість захисту досить важко.

Надійність – ця властивість визначається, як здатність об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам

використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Для релейного захисту характерні два режими: чергування (очікування) і тривоги.

В режимі чергування захист знаходиться при нормальній роботі об'єкта, що захищається, а також при тих пошкодженнях в зоні захисту і за її межами, при яких цей захист не повинен видавати вихідного сигналу на відключення вимикача. В режимі чергування вірна дія не супроводжується відключенням вимикача, а невірна дія призводить до зайвого (неселективного) або помилкового відключення.

Режим тривоги відповідає появі в зоні захисту тих видів ушкоджень, на які даний захист повинен реагувати шляхом відключення вимикача. Іншими словами, в релейний захист в режимі тривоги надходить вимога спрацьовування, а в режимі чергування – вимога неспрацьовування. У режимі тривоги вірну дію викликає відключення вимикача, а невірну - не викликає.

У загальному випадку, в кожному з режимів дії захисту може бути вірним або невірним. Таким чином, надійність функціонування релейного захисту полягає в її надійному спрацьовуванні при надходженні вимоги спрацьовування і надійному неспрацьовуванні при надходженні вимоги неспрацьовування.

На релейний захист постійно впливає безліч випадкових факторів, кожен з яких може викликати її невірну дію (відмову). Ці фактори можна розділити на дві групи:

– фактори першої групи пов'язані з порушенням працездатності власне апаратури релейного захисту, яка характеризується апаратурною (елементною) надійністю;

– фактори другої групи це так звані зовнішні чинники, які не залежать від показників надійності самої апаратури захисту.

Зовнішніми факторами є перешкоди в ланцюгах вимірювальних трансформаторів, первинних датчиків і джерелах оперативного живлення, зміна режимів роботи і схеми живлення, що захищається, спрацьовування розрядників на шинах і високовольтних лініях при атмосферних і комутаційних перенапруженнях, кидки струму при АПВ, недостатня або надмірна чутливість захисту, невірний вибір уставки і тощо.

Надійність функціонування (експлуатаційна надійність) враховує обидві групи подій. Надійність функціонування оцінюється рядом показників: ймовірністю безвідмовної роботи, параметром потоку відмов, періодичністю відмов спрацьовування, зайвих і помилкових дій і ін.

Для підвищення надійності функціонування важливе значення мають правильна експлуатація та своєчасна ревізія захисту. Надійність захисту прагнуть підвищити, застосовуючи найбільш прості схеми і пристрої, що містять невелику кількість елементів, особливо елементів з низькою надійністю. У зв'язку з цим переважно застосування безконтактних елементів, мікроелектроніки. Підвищення надійності АК в режимі тривоги досягається також шляхом резервування і дублювання захистів. Розрізняють основний та резервний захист.

Основний захист реагує на пошкодження в межах даної зони захисту або об'єкта, що захищається з часом, меншим, ніж інші захисти даної системи електропостачання.

Резервний захист повинен реагувати на пошкодження замість основного, якщо останній несправний або виведений з роботи. Резервний захист, встановлений спільно з основним і впливає на той же вимикач, здійснює так зване ближнє резервування, або дублювання.

Резервний захист, який відключає даний вимикач при зовнішньому пошкодженні (при пошкодженні на суміжному елементі), якщо захист або вимикач суміжного елемента відмовили, здійснює далеке резервування. Так, при відносній селективності захисту АКЗ, що впливає на вимикач Q3 (див. рис. 5.3), цей захист є основним для зони між підстанціями П2, П3 і резервним для зони між підстанціями П3, П4, а також для вимикача Q4 і підключенню до нього лінії.

5.3 Релейні захисту в пристроях тягового електропостачання і їх перевірка

В середині 80-х років була розроблена апаратура вдосконаленого захисту на інтегральних мікросхемах і її аналог на дискретних напівпровідникових елементах. Вона містить три ступені дистанційній захисту ДЗ1, ДЗ2, ДЗ3 і блокування по току.

Основним недоліком таких типів захистів полягає в тому, що при виникненні КЗ на лініях електротранспорту, що відходять, можливо помилкове їх спрацьовування.

В даний час перспективним напрямком є використання мікропроцесорної техніки в пристроях захисту спільно з використанням інформаційно-обчислювальної техніки.

Мікропроцесор – це програмно-керований пристрій, який обробляє цифрову інформацію і керує відповідно щодо інформації, яка зберігається в пам'яті програмою.

МікроЕОМ – цифрова ЕОМ з інтерфейсом введення–виведення, складається з мікропроцесора, пам'яті програм, пам'яті даних, пульта керування і джерел живлення.

Мікропроцесори та мікро-ЕОМ складають основу обчислювальних систем (ОС), що є центральною частиною мікропроцесорних релейних захистів. До складу обчислювальних систем можуть входити один або кілька мікропроцесорів або мікроЕОМ, утворюючи відповідно однопроцесорних, багато- (мульти-) процесорну, одномашинну або багатомашинну обчислювальні системи релейного захисту.

Обробка інформації в багатопроцесорних і багатомашинних обчислювальних системах може здійснюватися одночасно як по незалежним програмам, так і через не залежні на окремих ділянках гілкам програми.

Застосування мікропроцесорів і мікро-ЕОМ для виконання функцій релейного захисту обумовлено їх широкими функціональними можливостями, що забезпечують створення захистів нового покоління практично будь-якої складності і високої надійності.

Структурна схема мікропроцесорного релейного захисту показана на (рис. 5.4).

Надійна робота пристроїв релейного захисту та автоматики визначається якістю перевірки їх характеристик в умовах експлуатації. Такі випробування проводяться регулярно і, з огляду на складність перевірки і наявність великого числа релейних пристроїв, їх перевірка вимагає застосування спеціалізованих вимірювальних приладів і пристроїв.

При налагодженні пристроїв релейного захисту необхідна апаратура для:

- регулювання і вимірювання величин змінного і постійного струму, а також напруги;
- регулювання кута між векторами струму до напруги;
- вимірювання часу спрацьовування,
- визначення частотних характеристик окремих вузлів апаратури релейного захисту.

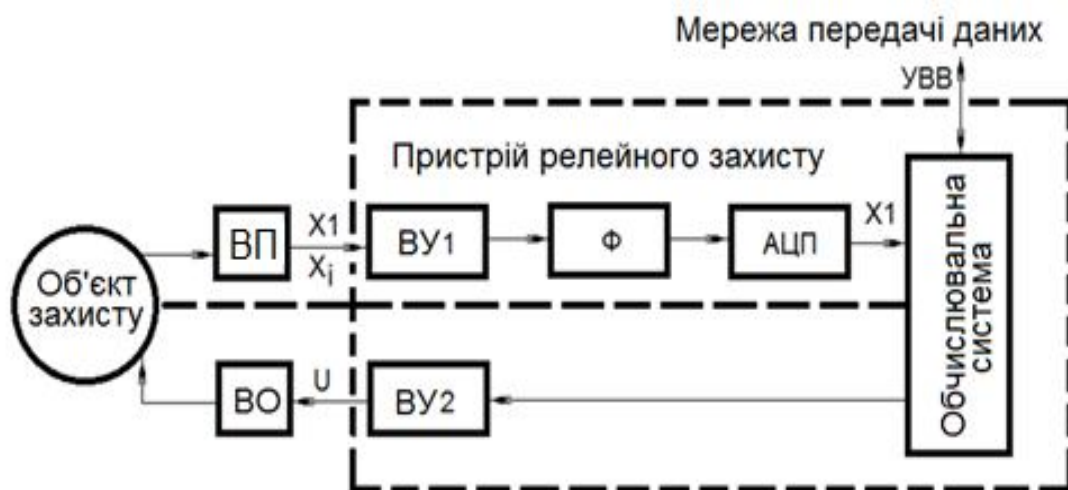


Рисунок 5.4 – Узагальнена структурна схема мікропроцесорного релейного захисту:

ВП – вимірювальний перетворювач; ВУ1 – вхідне узгодження; Ф – частотна фільтрація; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ВУ2 – вихідне узгодження;
 X1 – вхідний сигнал; Xi – сигнал після фільтрації (аналоговий);
 U – напруга керування сигналами; ВО – виконавчі органи

В даний час в експлуатації широко використовується сучасна випробувальна система для перевірки релейного захисту на базі потужних приладів, що працюють спільно з персональними малогабаритними комп'ютерами (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Сучасні пристрої перевірки релейного захисту

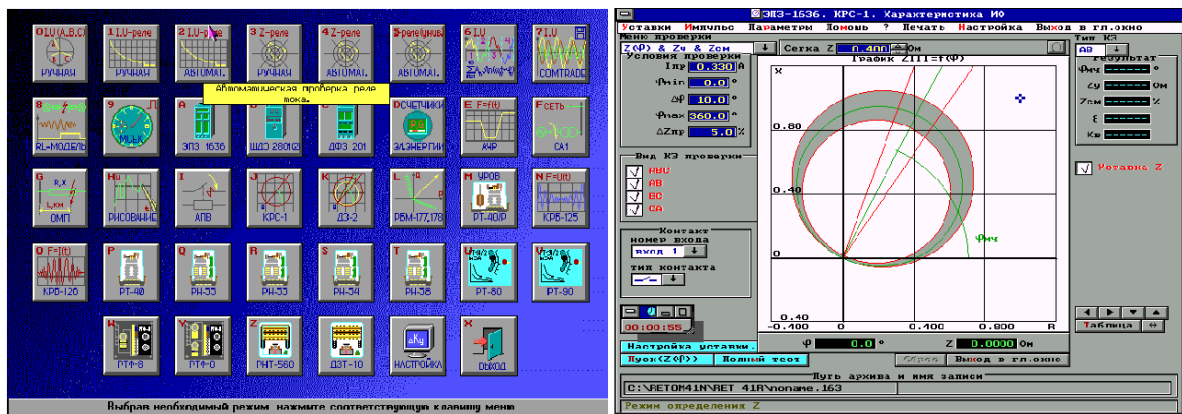


Рисунок 5.6 – Головне меню програмного забезпечення, а також перевірки параметрів систем і комп'ютерних комплексів

Програмне забезпечення випробувальних систем містить наступні програмні модулі стандартний комплект програм (рис. 5.6):

- ручне керування джерелами струму і напруги. Програма призначена для незалежного керування трьома джерелами струму і трьома джерелами напруги в ручному режимі. За допомогою цієї програми можна виміряти час спрацювання і повернення реле на будь-якому з восьми контактів при зміні будь-якого параметра.

- ручна перевірка реле струму і напруги. Програма призначена для перевірки реле струму і напруги в ручному або автоматичному режимах. Вона дозволяє здійснити в режимах однофазних, двофазних і трифазних КЗ наступні види перевірок:

- перевірка струмів спрацювання і повернення реле струму з залежною і незалежною витримками часу;

- перевірка напруг спрацювання і повернення реле напруги;

- автоматичне обчислення коефіцієнта повернення і класу точності реле;

- перевірка часу спрацювання і повернення реле з урахуванням всіх можливих кутів виникнення пошкодження;

- побудова залежності $t_{cp} = f(I)$;

- видача протоколу випробувань.

- автоматична перевірка реле струму. Програма призначена для комплексної перевірки струмових захистів з видачею протоколу випробувань.

- ручна перевірка реле опору. Програма призначена для ручної і автоматичної перевірки дистанційних захистів і дозволяє здійснювати в режимах однофазних, двофазних і трифазних КЗ наступні види перевірок:

- побудова характеристик спрацювання всіх ступенів реле опору при пошкодженнях фаза-земля і фаза-фаза;

– визначення часу спрацьовування і повернення швидкодіючих ступенів з урахуванням всіх можливих кутів виникнення пошкодження;

– побудова залежності $t = f(Z)$, що характеризує уставки всіх ступенів дистанційного захисту і часу спрацьовування ступенів при пошкодженнях фаза-земля і фаза-фаза.

– автоматичне зняття Z -характеристики реле опору. Програма дозволяє швидко і об'єктивно зняти характеристику спрацьовування реле опору методом половинного ділення з отриманням протоколу.

– автоматична перевірка реле опору. Програма призначена для автоматичної перевірки реле опору і багатоступеневих (до 5 ступенів) дистанційних захистів і дозволяє здійснити в режимах однофазних, двофазних і трифазних КЗ наступні види перевірок:

– знаходження $j_{мч}$;

– побудова характеристик спрацьовування $Z(j)$ до 5 ступенів ДЗ при пошкодженнях фаза-земля і фаза-фаза, в разі, якщо характеристика - багатокутник; знаходження кутових (критичних) точок;

– визначення струму точної роботи захисту;

– перевірка самоходу від струму;

– перевірка неспрацьовування захисту при розімкнутих ланцюгах напруги;

– імітація КЗ «ззаду» для лінії, що знаходиться в тупиковому режимі;

– перевірка ДЗ при двофазному КЗ «за спиною»;

– перевірка ДЗ при КЗ АВС «за спиною»;

– перевірка ДЗ «по пам'яті» при КЗ АВС;

– генератор несинусоїдальних сигналів. При перевірці багатьох пристроїв РЗА необхідно подавати на вхід сигнал несинусоїдної форми. Програма дає можливість запрограмувати сигнал кожного каналу за формулами.

Відповідно щодо формул можна:

– запрограмувати подібним чином до 4-х аварійних режимів;

– на основний сигнал накласти гармоніки;

– отримувати сигнали на різних виходах різної частоти і тощо;

– відтворення аварійних процесів з цифрового осцилографа. Видача сигналу будь-якої форми на виході РЕТОМ-41М дає унікальну можливість здійснити відтворення запису аварії цифрового реєстратора і оцінити поведінку реле в момент реальної аварії. Велика кількість записів різних аварій дозволяє перевіряти будь-яке нове обладнання в реальних умовах експлуатації ще до його установки на об'єкті і оцінювати його працездатність, а також діапазон уставок.

– наведена *RL*-модель енергосистеми. Математична модель енергосистеми, реалізована на персональному комп'ютері, в поєднанні з випробувальним пристроєм РЕТОМ, що забезпечує фізичне відтворення результатів математичних розрахунків, дає користувачеві унікальну можливість перевірки релейного захисту в реальних режимах ушкоджень в енергосистемах. Дружній діалоговий інтерфейс дозволяє зручно задавати параметри енергосистеми, струми і напруги навантажувального режиму, місце установки релейного захисту, вид і місце пошкодження. Результати випробувань обробляються і наочно відображаються на екрані дисплея. При цьому на вхід релейного захисту, що перевіряється, підводяться струми і напруги, які виникають в реальних умовах з урахуванням перехідних процесів в енергосистемі користувача.

На основі цих випробувань користувач приймає рішення про параметри і характеристики та уставок релейного захисту, відповідних його умов.

За допомогою таких сучасних пристроїв і комплексів можна перевірити релейний захист всіх поколінь, а саме:

- сучасні мікропроцесорні реле і складні системи захисту вітчизняних і зарубіжних фірм;
- напівпровідникові вітчизняні пристрої релейного захисту та автоматики,
- номенклатуру електромеханічних панелей, а також комплектів захисту і автоматики;
- визначення місця пошкодження;
- панелі протиаварійної автоматики і ланцюги телевимірювання;
- пристрої синхронізації;
- лічильники електроенергії та інші функції.

Розглянемо принцип дії і структуру випробувальної системи на прикладі пристрою типу РЕТОМ (рис. 5.7).

Користувач задає на персональному комп'ютері (ПК) необхідні режими роботи. Персональний комп'ютер розраховує задані режими і виробляє цифрові вибірки струмів і напруг. Ці вибірки передаються в систему. Силові цифро-аналогові перетворювачі масштабують надходять цифрові вибірки і формують аналогові сигнали струмів I_A , I_B , I_C і напруг U_A , U_B , U_C . Зазначені сигнали подаються на вхід релейного захисту, що перевіряється.



Рисунок 5.7 – Принцип дії автоматизованого комплексу перевірки релейного захисту

Вихід пристрою, що перевіряється, у вигляді контактів реле підключається до цифрового входу пристрою і зчитується комп'ютером. В результаті комп'ютер обробляє цю інформацію, синхронізує її з реальним часом і видає у вигляді протоколу випробувань. Крім того, комп'ютер управляє режимами роботи реле, встановленими в пристрої (цифровий вихід).

Особливістю апаратної частини такого пристрою є велика потужність, малі габарити, висока надійність і безпека, зручність і простота користування.

Основні елементи структури автоматизованого комплексу:

- три струмових каналу з цифроаналоговим перетворювачем (ЦАП);
- три канали напруги ЦАП;
- інтерфейсний модуль, який здійснює зв'язок РЕТОМ - ПК;
- імпульсні джерела живлення;
- блок дискретних сигналів;
- блок аналого-цифрового перетворення;
- блок вихідних реле.

Крім того, в системі передбачені спеціальні рішення, що забезпечують безпеку проведення робіт, тобто захист самого пристрою і, що дуже важливо, перевіряється апаратура релейного захисту. До цих заходів можна віднести наступні програмно-апаратні рішення:

- схему сигналізації про наявність холостого ходу в ланцюгах струму на виході РЕТОМ. Цей режим не є небезпечним для самого пристрою і свідчить про несправності в ланцюгах струму релейного захисту, що перевіряється або помилки в схемі її підключення;

– схема температурного захисту. Схема вимикає струмовий ЦАП, якщо вихідний струм перевищує заданий поріг рівень протягом неприпустимо тривалого проміжку часу. Це дозволяє запобігти виходу з ладу від перегріву як самого РЕТОМ, так і релейного захисту, що перевіряється, від струмів, які перевищують її термічну стійкість.

В алгоритм перевірки включена також програмний час - струмовий захист:

– схема миттєвого захисту від надструмів в ланцюгах напруги;

– схема захисту і сигналізації про наявність короткого замикання в ланцюгах напруги на виході РЕТОМ. Спрацьовування захисту свідчить про несправності в ланцюгах напруги релейного захисту, що перевіряється або помилки в схемі її підключення;

– схема захисту від несправностей в лінії зв'язку з ПК або програмних збоїв в ПК. В цьому випадку блокуються вихідні каскади підсилювачів і на виході пристрою відсутні струми і напруги;

– блокування вихідних каскадів підсилювачів струму і напруги при включенні живлення ПК або пристрою;

– пристрій РЕТОМ в цілому забезпечено тепловим захистом тригерного типу. Захист вимикає силові ЦАП в разі перегріву пристрою у всіх позаштатних ситуаціях;

– при спрацьовуванні всіх перерахованих захистів на екрані дисплея з'являються відповідні повідомлення.



Рисунок 5.8 – Лицьова панель комплексного пристрою РЕТОМ

Всі операції по підключенню захисту до пристрою РЕ-ТОМ, що перевіряється здійснюються на його лицьовій панелі (рис. 5.8). Підключення РЕТОМ до ПК здійснюється за допомогою стандартного 25-контактного роз'єму, встановленого на задній панелі пристрою. При цьому з боку ПК використовується роз'єм для підключення принтера (паралельний порт LPT1).

Електротехнічний персонал, зайнятий експлуатацією, технічним

обслуговуванням і ремонтом електроустановок на тягових підстанціях і при роботі з електроустановками, відноситься до категорії працівників, на яких можуть впливати шкідливі і небезпечні виробничі фактори. Тому для кожної групи персоналу вводяться спеціальні вимоги по техніці безпеки.

Контрольні запитання

1. Як поділяється релейний захист за призначенням ?
2. Як розвивається динаміка систем захистів?
3. Який існує взаємний зв'язок між системами захисту?
4. Які є найбільш поширеними автоматизовані системи захистів?
5. Що є функціями релейного захисту?
6. Які властивості повинні мати функціональні системи захисту?
7. Які режими характерні для релейного захисту?
8. Що є перспективним напрямком використання захисту?
9. Яка використовується необхідна апаратура релейного захисту при налагодженні пристроїв?
10. Яке програмне забезпечення випробувальних систем містять програмні модулі?
11. У чому полягає принцип дії і структура випробувальної системи типу РЕТОМ?
12. Що є основними елементами структури автоматизованого комплексу РЕТОМ?

ЛЕКЦІЯ 6

ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ

6.1 Особливості автоматизованої системи електропостачання та керування при роботі тягових електродвигунів

6.2 Системи керування на основі асинхронних тягових двигунів

6.3 Система керування з чотириквADRANTним перетворювачем

6.4 Принципи керування автоматизованих систем з асинхронними тяговими двигунами.

6.1 Особливості автоматизованої системи електропостачання та керування при роботі тягових електродвигунів

Система автоматизованого керування електропостачанням міського електротранспорту полягає в роботі не тільки тягових підстанцій, а й електроустановок, яке також пов'язане з системою живильних підстанцій і виконує відповідні функції.

На рухомому складі міського електричного транспорту застосовують переважно тягові електричні машини (ТЕМ) постійного струму. Залежно від системи збудження вони класифікуються на машини з послідовним, паралельним і змішаним збудженням.

Всі електричні машини, що встановлюються на трамвайних вагонах, тролейбусах і вагонах метрополітену поділяються на дві основні групи.

До *першої групи* належать тягові двигуни (ТЕД), які призначені для перетворення електричної енергії постійного струму в механічну енергію, необхідну для приведення в рух електрорухомий склад (ЕРС).

До *другої групи* належать допоміжні електричні машини – двигуни та генератори. Допоміжні двигуни служать для приводу компресорів, вентиляторів, генераторів низької напруги та інших механізмів. Це двигуни, в основному, з послідовним збудженням.

Для плавного пуску і гальмування ЕРС застосовується автоматичне керування, яке супроводжується апаратним регулюванням, а саме клавiшними і колекторними контролерами або мікропроцесорними пристроями. Плавне автоматичне керування дозволяє отримати більш високі динамічні показники за рахунок використання повного електричного навантаження ТЕД. При цьому зменшуються відштовхувальне навантаження, що забезпечує краще використання ЕРС за умовами зчеплення і умов комутації ТЕД.

В сучасних ЕРС, безступінчастий пуск і плавне електричне гальмування

отримують за рахунок застосування багатопозиційних клавійних і колекторних контролерів, що забезпечує більшу точність підтримки регульованої електричної величини. Умови статичної стійкості системи керування визначаються виходячи з встановлених значень пускового і гальмівного струмів.

Для цього будуються залежності сімейства характеристик (рис. 6.1):

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)_{\text{ХПГ}} = f_1(I_y, M_e, W'), \quad \left(\frac{dR}{dt}\right)_{\text{ХСУ}} = f_2(I_y).$$

По точках перетину кривих визначають усталені значення пускового (гальмівного) струму (I_y) і необхідну для отримання цього струму швидкість виведення опорів dR / dt .

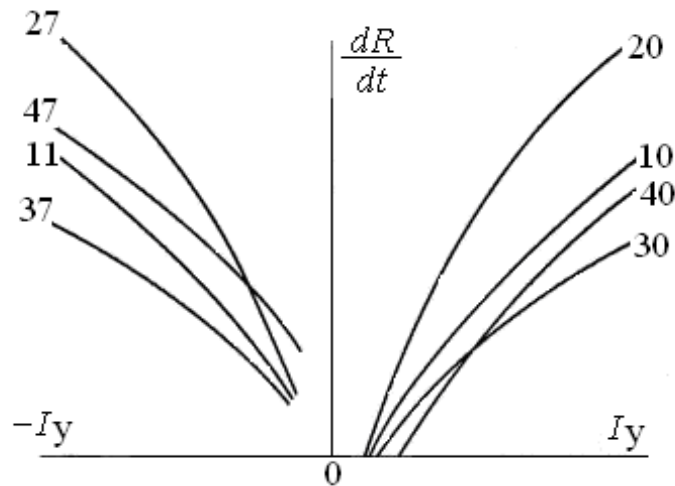


Рисунок 6.1 – Характеристика пуску і гальмування

Перші криві називаються характеристиками пуску і гальмування (ХПГ). Вони показують, з якою постійною швидкістю потрібно виводити пускові (гальмівні) опори, щоб при даній еквівалентній масі (M_e) ЕРС і опорі руху W' отримати бажане постійне значення пускового (гальмівного) струму.

У загальному випадку для режиму пуску баланс напруг в ланцюзі двигунів:

$$U_c = mc\Phi v + I(pR_p + mr_d) + mL_d \frac{dI}{dt}. \quad (6.1)$$

При сталому режимі $U_c = \text{const}$ і $I = I_y = \text{const}$.

Після диференціювання виразу (6.1), отримуємо:

$$\frac{dR_p}{dt} = -\frac{m}{p} \cdot \frac{c\Phi_y}{I_y} \cdot \frac{dv}{dt}. \quad (6.2)$$

Значення dv / dt визначається з рівняння руху:

$$zc\Phi_y I_y - W' = M_e (dv / dt), \quad (6.3)$$

де m, p, z – кількість ТЕД, відповідно загальне, а також з'єднаних послідовно і паралельно;

W' – сумарний опір руху ЕРС, (від підвищення і опору від магнітних і механічних втрат в тягових двигунах);

M_e – еквівалентна маса ЕРС; G – вага ЕРС при розглянутому наповненні; c – постійна.

Згідно з виразами (6.2) і (6.3)

$$\frac{dR_p}{dt} = -\frac{m}{p} \cdot \frac{c\Phi_y}{I_y} \cdot \frac{zc\Phi_y I_y - W'}{M_e}. \quad (6.4)$$

Аналогічне рівняння для реостатного гальмування, при якому ТЕД працюють в режимі генераторів послідовного збудження:

$$mc\Phi v_t = I_t (pR_t + mr_d) + mL_d \frac{dI_t}{dt}, \quad (6.5)$$

де v_t, I_t – швидкість і струм при гальмуванні.

При сталому режимі $I_t = I_y = \text{const}$. Після диференціювання виразу (6.5) отримаємо:

$$\frac{dR_t}{dt} = -\frac{m}{p} \cdot \frac{c\Phi_y}{I_y} \cdot \frac{dv_t}{dt}. \quad (6.6)$$

Рівняння руху для режиму гальмування:

$$zc_t\Phi_y I_y + W' = \frac{M_e}{3,6} \cdot \frac{dv_t}{dt}. \quad (6.7)$$

Згідно з виразами (6.6) і (6.7):

$$\frac{dR_t}{dt} = \frac{m}{p} \cdot \frac{c\Phi_y}{I_y} \cdot \frac{zc_t\Phi_y I_y + W'}{M_e}. \quad (6.8)$$

Рівняння (6.4) и (6.8) в загальному вигляді:

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)_{\text{ХПТ}} = \mp \frac{c\Phi_y}{I_y} \cdot \frac{zc_1\Phi_y I_y \mp W'}{M_e}. \quad (6.9)$$

У рівнянні (6.9) позначення знаків: «-» – при пуску, «+» - при гальмуванні. Відповідно до рівняння (6.9) будуються характеристики пуску і гальмування при різних значеннях навантаження ЕРС.

Пристрій регулювання струму через ТЕД називається системою керування, яка поділяється на наступні види:

– регулювання струму через ТЕД при використанні потужних опорів, які підключаються послідовно в ланцюг двигуна. Така система керування існує наступних типів:

а) безпосередня система керування (БСК), яка здійснюється водієм тролейбуса за допомогою важелів або валів, з'єднаних з контактами, що здійснюють комутування в електричних ланцюгах ТЕД.

б) реостатно-контакторна система керування (РКСК – непряма, неавтоматична), що здійснює керування водієм за допомогою педалі контролера, яка призводить до комутації низьковольтних електричних сигналів, що керують роботою високовольтних контакторів постійного струму;

в) непряма автоматична РКСК – система, в якій замиканням і розмиканням контакторів керує спеціальний серводвигун (привід з двигуном і чутливими пристроями для підтримки значень необхідних параметрів). Динаміка розгону і гальмування ТЕД визначається заздалегідь заданою тимчасовою послідовністю в конструкції системи РКСК. Вузол комутації силового ланцюга в зборі називається контролером. Дана система керування все ще широко застосовується в багатьох серійних тролейбусах.

– регулювання струму через ТЕД при використанні тиристорно-імпульсної системи керування (ТІСК), яка заснована на базі роботи тиристорів, у яких необхідний за величиною струм створюється за допомогою формування тимчасової послідовності струмових імпульсів заданої частоти. Змінюючи параметри, можна змінювати середній струм, що протікає через ТЕД, який призводить до керування його крутного моменту. При такому вигляді керування спостерігається високий ККД системи за рахунок мінімальних теплових втрат в пускових опорах силового кола, але при цьому здійснюється тільки електродинамічне гальмування.

– транзисторна система керування (ТСК) є однією з найсучасніших економічних рішень по втрати електричної енергії, але досить дороге і нестійке до зовнішніх впливів. Застосування в таких схемах дорогих керуючих програмованих мікроконтролерів іноді призводить до помилки у функціонуванні системи в цілому. Дана система керування застосовується тільки на сучасних конструкціях міського електротранспорту.

6.2 Системи керування на основі асинхронних тягових двигунів

Наразі в тролейбусах і трамваях використовуються колекторні двигуни постійного струму, але в новітніх їх моделях почали використовуватися асинхронні тягові двигуни (АТД), які поступово витісняють колекторні ТЕД через наявності щітково-колекторного апарату.

Застосування АТД призводить до вдосконалення системи керування вхідними перетворювачами, що мають подвійне живлення, які входять до складу сучасних ЕРС.

При використанні в електричній тязі асинхронного тягового приводу (АТП) призводить до скорочення витрат електроенергії, підвищення надійності роботи і скорочення ремонтно-слюсарних робіт в процесі їх експлуатації.

Структура силового кола ЕРС з асинхронним тяговим приводом залежить від роду струму в контактній мережі і типів напівпровідникових перетворювачів, що використовуються.

Для ЕРС постійного струму можливі два варіанти структурних схем, які живлять АТД: автономні інвертори струму (АІС) і автономні інвертори напруги (АІН), які показані на рисунку 6.2, а і рисунку 6.2, б.

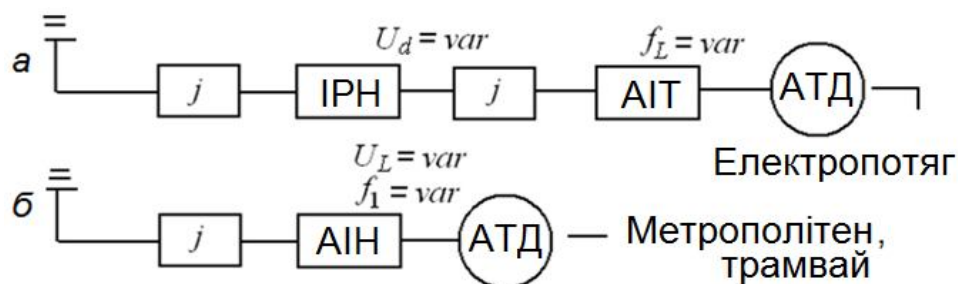


Рисунок 6.2 – Структурні схеми з асинхронним тяговим приводом для контактної мережі постійного струму

Кожен з цих інверторів виконує певні функції. Наприклад, АІС дозволяє регулювати частоту f_1 , а для регулювання напруги використовується імпульсний регулятор напруги (ІРН). Для згладжування напруги на вході і виході ІРН використовується фільтр Φ .

На ЕРС, що працюють від змінного струму загальним елементом є трансформатор (Т). Для регулювання напруги застосовується керований випрямляч ВУ (рис. 6.3, а).

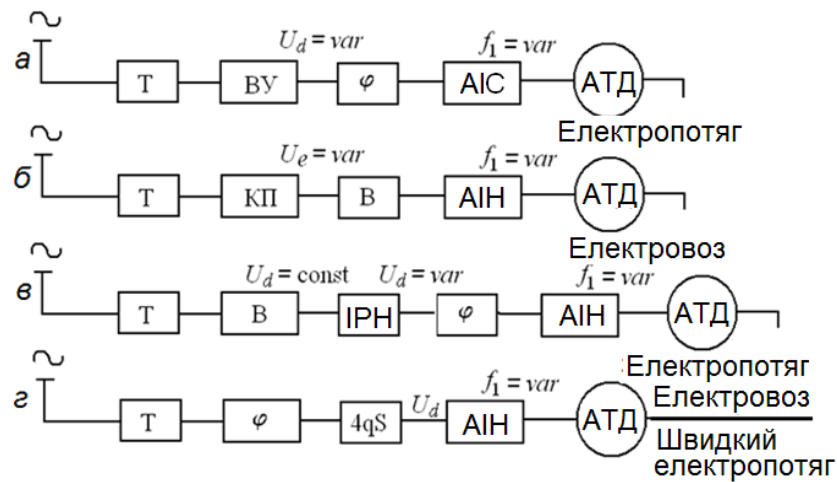


Рисунок 6.3 – Структурні схеми асинхронного тягового приводу для контактної мережі змінного струму

У деяких ЕРС напруга випрямляча В може регулюватися контактним перемикачем (рис. 6.3, б) або імпульсним регулятором напруги (ІРН, рис. 6.3, в). На сучасних ЕРС найбільш поширений є варіант схем з чотирьохкватратним перетворювачем 4qs (рис. 6.3, г), який дозволяє регулювати напругу і частоту на АТД, підтримувати коефіцієнт потужності близьким до одиниці і здійснювати рекуперативне гальмування.

6.3 Робота асинхронного тягового двигуна з інвертором струму і інвертором напруги

Робота АТД з інвертором струму.

Для живлення АТД на ЕРС постійного струму необхідно мати автономний інвертор струму, схема якого наведена на рисунку 6.4.

На вході з боку постійного струму є індуктивний фільтр. У кожній фазі послідовно з тиристором включений відсікаючий діод. Між тиристорами і діодами за схемою трикутник включені комутуючі конденсатори. Послідовно з тиристорами включені струмообмежуючі дроселі насичення для обмеження швидкості наростання струму заряду конденсаторів.

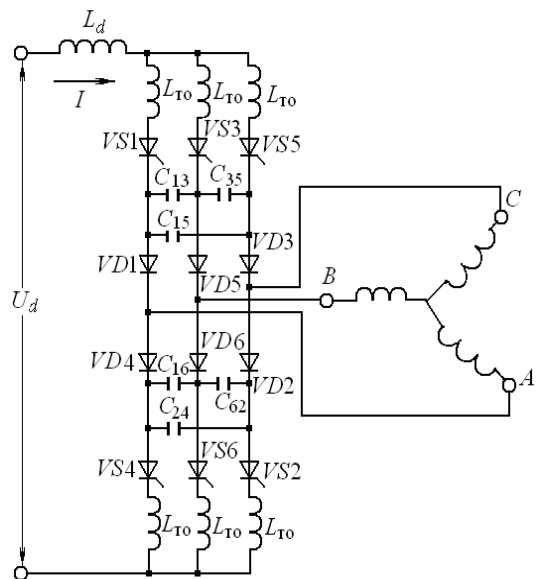


Рисунок 6.4 – Принципова схема асинхронного тягового приводу з автономним інвертором струму

Три фази обмоток статора АТД включені в електричне коло між діодами, що відсікають.

За рахунок індуктивного фільтра L_d струм I_d , споживаний АІН, вважається ідеально плавним. Напряга на фазах U_A, U_B, U_C регулюється АТД за рахунок зміни напруги вхідного перетворювача. Частота напруги U_A, U_B, U_C регулюється за рахунок зміни інтервалів часу між відмиканням тиристорів.

Поza режиму комутації відкриті два тиристора, і струм протікає по двох фазах обмотки статора. Кут провідності тиристора і діода відповідає 120° . Форма фазних струмів i_A, i_B, i_C – прямокутна. Форма фазної напруги – відрізки експонент, що визначається індуктивністю навантаження.

На ЕРС змінного струму крім АІС необхідний випрямляч і інвертор об'єднані в одному напівпровідниковому пристрої, який називається перетворювачем числа фаз (ПЧФ).

Умови переходу АІС в режим рекуперації:

- напрямком постійного струму I_d необхідно зберігати, а постійну напругу U_d змінювати;
- на ЕРС змінного струму випрямляч ВУ переводиться в режим інвертування шляхом збільшення кута відмикання тиристора (рис. 6.5, а);

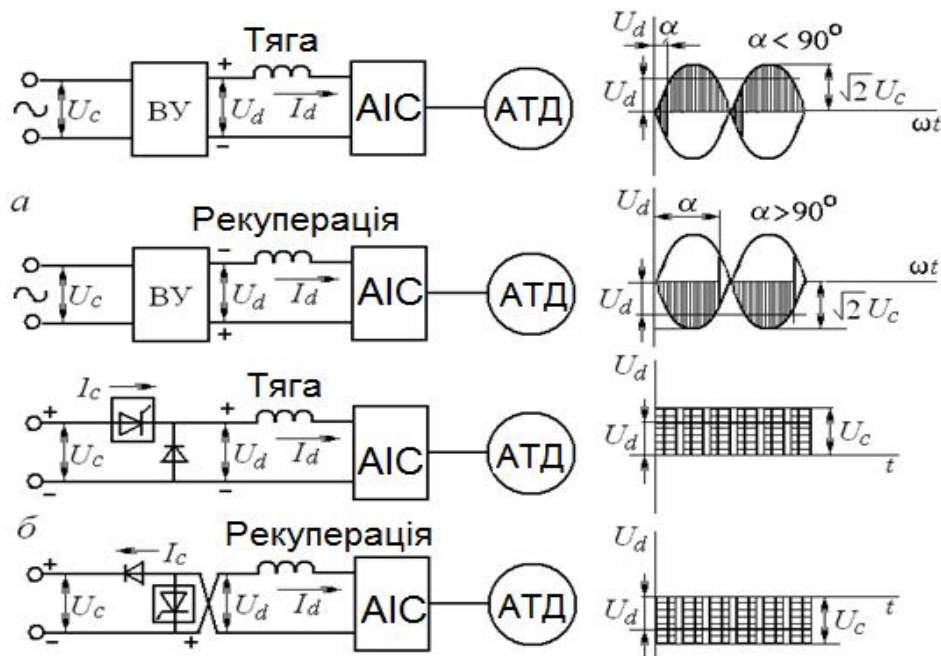


Рисунок 6.5 – Перехід АІС в режимі рекуперації: а – на ЕРС змінного струму; б – на ЕРС постійного струму.

– на ЕРС постійного струму для переходу в режим рекуперації необхідно змінити схему ІРН, а також переключити полярність за допомогою контакторів або спеціальних тиристорів, що працюють в режимі ключа (рис. 6.5, б).

Робота АТД з інвертором напруги. Для живлення асинхронних тягових двигунів від автономного інвертора напруги (АІН) застосовується схема, що показана на рис. 6.6, а.

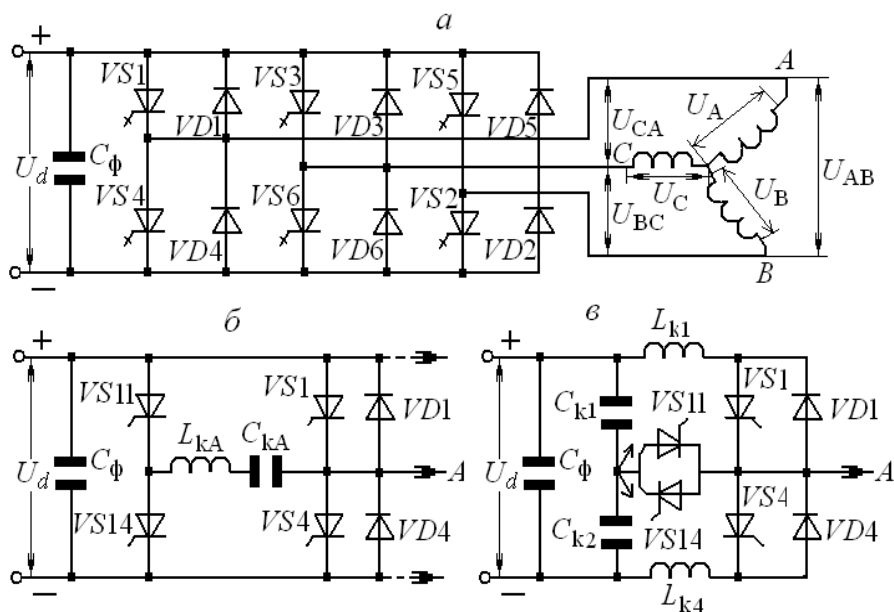


Рисунок 6.6 – Варіанти схем однієї фази інвертора АІН з одноопераційними тиристорами і примусової комутації: *а* – принципова схема АІН; *б, в* – контури комутацій на ЕРС

На вході з боку постійного струму є ємнісний фільтр C_{Φ} . У кожній фазі паралельно тиристорам VS включені зворотні діоди VD . В сучасних АІН використовуються одно-двоопераційні напівпровідникові прилади: *GTO* – тиристири або *IGBT* – транзистори. Операційні тиристири з пристроями примусової комутації складаються з комутуючих тиристорів $VS11$ – $VS16$, конденсаторів C_k і перезарядних дроселів L_k .

При миттєвої комутації тиристорів і ідеально згладженому струмі фазна напруга має прямокутну – ступінчасту форму, яка не залежить від навантаження, а форма фазного струму – є відрізки експонент, що визначаються характером навантаження і відповідають підключенню індуктивного кола до джерела постійної напруги.

Способи регулювання режиму роботи АТД із застосуванням АІН:

– регулювання частоти обертання ТЕД за рахунок зміни частоти включення тиристорів; – регулювання напруги:

а) амплітудне або фазове регулювання напруги на виході первинного перетворювача; при наявності фільтра форма напруги залишається прямокутною або прямокутно-ступінчастою; змінюється амплітуда;

б) широтне – імпульсне регулювання. Прямокутна (або прямокутно-ступінчаста) форма замінюється серією прямокутних імпульсів однакової тривалості T_t . Імпульси, що відділені паузами також однаковою тривалості; частота імпульсів називається частотою f_{ns} , регулювання імпульсів відбувається за рахунок зміни коефіцієнта заповнення;

в) широтно-імпульсна модуляція.

Умови переходу АІН з режиму тяги (рис. 6.7, а) в режим рекуперації:

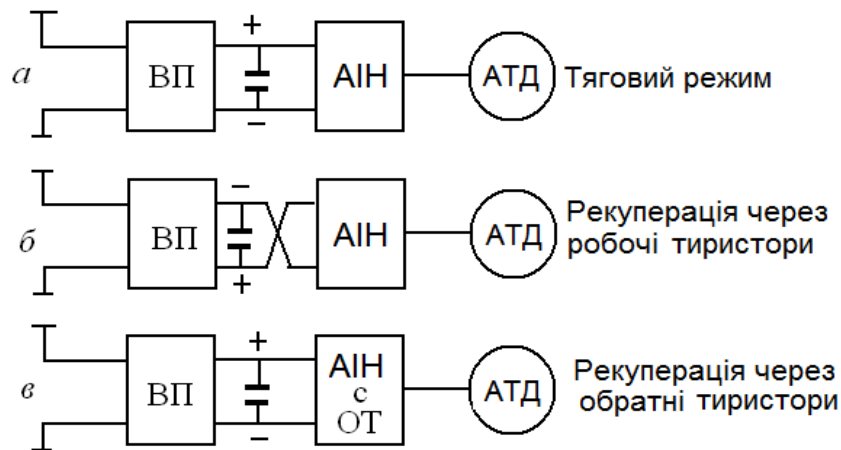


Рисунок 6.7 – Перехід автономного інвертора напруги в режим рекуперації

– зміна полярності конденсаторного фільтра і рекуперація через робочі тиристири (рис. 6.7, б);

– збереження полярності конденсаторного фільтра і рекуперація через зворотні тиристири (замість зворотних діодів, рис. 6.7, в).

Способи переходу вхідного перетворювача ВП в режим рекуперації аналогічні схемам з АІС (рис. 6.8).

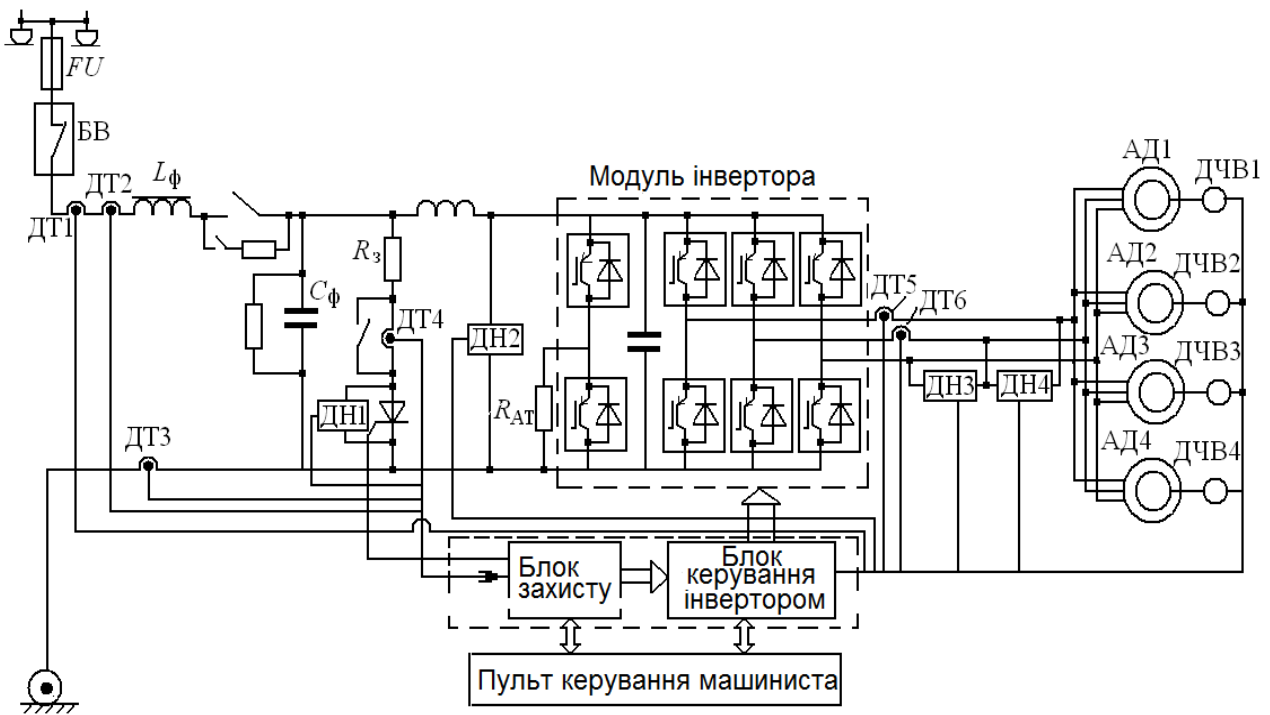


Рисунок 6.8 – Силеве коло вагона метрополітену на IGBT транзисторах

Таким чином відбувається робота інверторів разом з асинхронними тяговими двигунами під час експлуатації їх в електрорухомому складі.

6.4 Система керування з чотирьохквдрнтним перетворювачем

Історія появи таких перетворювачів починається з 1979 р. Перші їх конструкції були застосовані фірмою Siemens і склалися з одноопераційних тиристорів з контурами штучної комутації.

Чотирьохквдрнтний перетворювач ($4qS$) являє собою два мости (однофазний і трифазний) з двоопераційними тиристорами і зворотними діодами, з'єднаними між собою з боку постійної напруги. З боку змінного струму послідовно включений індуктивний фільтр. З боку постійної напруги паралельно включений ємнісний фільтр. З боку однофазного моста напруга контактної мережі $U_{ks} = \text{const}$ і $f_{ks} = \text{const}$. З боку трифазного моста $U_{ATD} = \text{var}$ і $f_{ATD} = \text{var}$ (рис. 6.9).

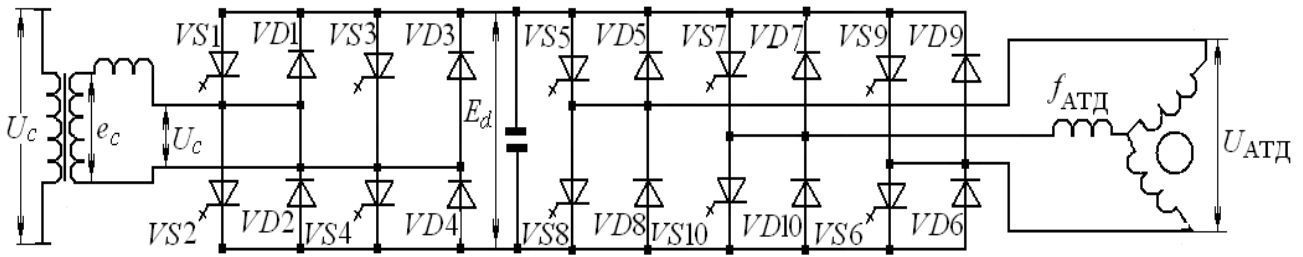


Рисунок 6.9 – Принципова схема 4qS перетворювача

Назва перетворювача пояснюється тим, що він допускає роботу в режимах тяги і гальмування. При цьому струм, споживаний з мережі, може як відставати від напруги, так і випереджати його. Якщо вектор напруги мережі збігається з позитивним напрямком дійсної осі, то можливі режими роботи перетворювача, при яких вектор струму мережі розташовується в будь-якому з чотирьох квадрантів комплексної площини (рис. 6.10). Режими роботи 4qS перетворювача наведені в таблиці 6.1.

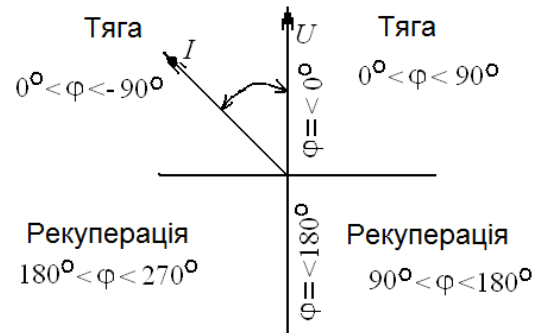


Рисунок 6.10 – Кути зрушення фаз між струмом і напругою 4qS перетворювача

Таблиця 6.1 – Режими роботи 4qS перетворювача

Режими АТД	Режими мостів		Частота моделюючої напруги
	однофазного	трифазного	
Тяга	Тиристри зачинені, $E_d = \text{const}$	АІН с ШІМ, регулювання $U_{\text{АТД}}$ і $f_{\text{АТД}}$	$f_m = f_{\text{АТД}}$
Гальмування	ІН с ШІМ, постійна частота сети f_c и напруга U , регулювання кута φ	Тиристри зачинені $E_d = \text{var}$ за рахунок зміни швидкості АТД	$f_m = f_c$

6.5 Принципи керування автоматизованих систем з асинхронними тяговими двигунами

Одна з основних завдань автоматизованої системи керування ЕРС – це формування тягових і гальмівних характеристик.

В системі керування існує три канали регулювання АТД: зміна частоти обертання магнітного поля f_1 і напруги статора U_1 , а також частоти обертання ротора f_s .

У процесі пуску для забезпечення сталості моменту на валу АТД необхідно підтримувати сталість частоти обертання f_s ротора. При цьому частота напруги і струму в обмотці статора задається перемиканням тиристорів.

В даний час для керування АТД використовуються три принципи:

- за абсолютною частотою ковзання;
- за кутом моменту;
- пряме керування моментом.

Регулювання за абсолютною частотою ковзання засноване на залежностях струму статора і крутного моменту від частоти ковзання. Частота ковзання f_s обирається з урахуванням залежності $I_1(f_2)$ при $M = \text{const}$. Пускова частота обирається в залежності від величини струму для досягнення максимального пускового моменту. При підвищенні температури ротора мінімум струму статора зміщується в зону великих ковзань.

Недоліки способу:

- необхідність коригування сигналу f_s в залежності від температури ротора;
- неможливість вимірювання температури ротора.

Регулювання за кутом моменту – це є кут θ між векторами струму \bar{I}_1 статора і потокозчеплення $\bar{\Psi}_2$. Кут θ можна висловити і через скалярні величини: електромагнітний момент M_{em} і модуль потокозчеплення Ψ_2 . Функціональна схема системи автоматичного регулювання (САР) асинхронного двигуна приведена на рисунку 6.11.

У схемі прийняті позначення:

РМ, РН, РС, РК – регулятори моменту, напруги, струму і кута відповідно; ДС, ДН, ДЧВ – датчики струму, напруги, частоти обертання; ЗМ, ЗК – задають пристрої моменту і кута; БКВП, БКІ – блоки керування вхідним перетворювачем ВП і автономним інвертором АІН; ВОП – обчислювальний пристрій; ВП – вхідний перетворювач.

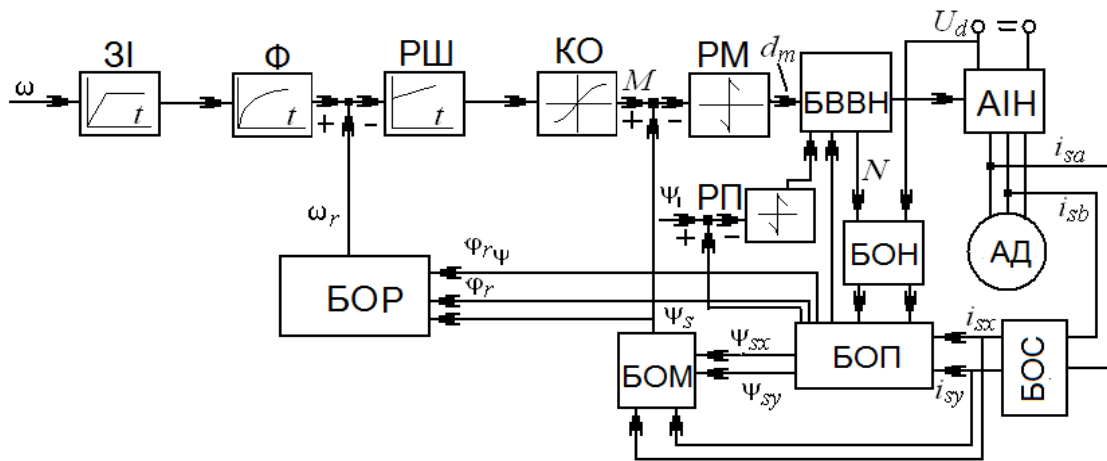


Рисунок 6.12 – Структурна схема системи автоматичного регулювання

Пристрій інтенсивності ЗІ задає і формує сигнал заданої частоти обертання ω ротора, яка забезпечує його розгін з постійним прискоренням і стабілізацію швидкості на необхідному рівні. Далі сигнал проходить через низькочастотний фільтр Φ і порівнюється з оцінкою фактичної швидкості ротора ω_r , що надходить від блоку обчислення БОР.

Пропорційно-інтегральний регулятор швидкості РШ і коло обмеження ЗО формують задане значення моменту M .

Релейні регулятори моменту РМ і потоку статора РП порівнюють задані значення регульованих величин з їх оцінками і формують логічні сигнали для блоку вибору вектора напруги БВВН, який керує ключами автономного інвертора АІН з урахуванням поточного кута потокозчеплення статора.

Найбільш важливою є система обчислювального пристрою, яка складається з блоків обчислення напруги (БОН), струму (БОС), потоку (БОП), моменту (БОМ) і швидкості ротора (БОР). Оцінки параметрів визначаються в режимі попереднього намагнічування двигуна постійним струмом з переходом в режим обмеження потоку, що дозволяє врахувати насичення магнітного кола. Система прямого керування моментом використовує тільки датчики струму і напруги і не вимагає застосування датчика швидкості.

Контрольні запитання:

1. Основне обладнання тягових підстанцій та рухомого складу ЕПС.
2. Як відбувається регулювання струму через ТЕД?
3. Як відбувається керування параметрів на основі асинхронних тягових двигунів?
4. Що являє собою перетворювач $4qS$.
5. Основне завдань автоматизованої системи керування АТД.
6. Які принципи використовуються для керування роботою АТД?
7. У чому полягає сутність регулювання АТД по куту моменту?
8. Особливості системи прямого керування моменту асинхронного двигуна.

ЛЕКЦІЯ 7

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

7.1 Автоматизована система контактної мережі залізничного транспорту.

7.2 Автоматизована система електропостачання контактної мережі тролейбуса.

7.3. Автоматизована система контактної мережі трамвая.

7.4 Устаткування автоматизованої цифрової системи керування і її елементи.

Контактна мережа є підсистемою складної технічної системи – електричний транспорт. Цільова функція контактної мережі – це розподіл і підведення електричної енергії до ЕРС з використанням способу контакту зі струмоприймачем. Струмоз'єм здійснюється з динамічної системи «контактна підвіска – струмоприймач». Забезпечення якісного струмознімання є важливим завданням для сталої роботи транспорту.

Контактну мережу можна розглядати як енергетичну установку, що виконує такі ж функції, як і мережі енергосистем. Але, на відміну від звичайних ліній електропередачі, енергія підводиться до споживача і постійно змінює своє положення. Це зумовлює істотне ускладнення конструкцій контактної мережі.

Чіткість роботи електрифікованого транспорту безпосередньо залежить від безперервного і якісного постачання електроенергією, що, в свою чергу, безпосередньо пов'язано з якістю роботи пристроїв автоматики і телемеханіки на тягових підстанціях і контактних мережах.

Трамвай і електрифікований залізничний транспорт живляться від одинарного контактного проводу, а ходові рейки виконують функцію другого проводу. В результаті трамвайна контактна мережа конструктивно проста, надійна і має невелику вартість в експлуатації.

Тролейбус живиться від двох контактних проводів, що значно зменшує вартість і спрощує будівництво рейкової лінії, але з іншого боку це конструктивно ускладнює контактну мережу і, отже, підвищує вартість її при експлуатації.

Таким чином, контактна мережа – це є споруда, що забезпечує електропостачання транспорту. Розглянемо характеристики контактної мережі і її особливості в залежності від області застосування.

7.1 Автоматизована система контактної мережі залізничного транспорту

Контактна мережа магістральних і приміських електричних залізничних доріг являє собою комплекс різноманітних пристроїв, необхідних для забезпечення нормальної роботи тягової мережі. На відміну від всіх інших пристроїв системи тягового електропостачання, контактна мережа залізниці не має резерву. Тому до неї висувають високі вимоги, як по досконалості її конструкції, так і з контролю і змістом в умовах експлуатації.

Найбільш важливим критерієм контактної мережі залізниці є контроль стану контактного проводу, тому що він є її основним елементом. Під час експлуатації контроль стану контактного проводу ускладнюється через наступні випадки:

- велику висоту підвіски,
- наявності високовольтних струмів, що протікають по проводу мережі,
- забруднення поверхні і складні кліматичні умови.

Тому виникає необхідність створення безконтактної, автоматизованої системи контролю зносу контактного проводу.

Існуючі системи контролю зносу контактного проводу електрифікованих залізниць використовують такі рішення:

- контактні методи (в основному ручний контроль, при цьому виміри проводяться при відключеної контактної мережі);
- безконтактні способи (з використанням оптичного датчика), який не дозволяє проводити контроль за будь-яких погодних умовах;
- віхрострумівий спосіб контролю (з використанням електромагнітного методу неруйнівного контролю).

Кожен з цих способів має свої переваги і недоліки.

Для визначення якості контактних з'єднань використовуються сучасні методи контролю, наприклад інфрачервоні дефектоскопи, за допомогою яких визначаються показання нагріву контактного з'єднання і нагріву цільного відрізка контактного проводу, віддаленого від контактного з'єднання не менше ніж на 1 м.

Вимірювання таким дефектоскопом виробляють дистанційно, з поверхні землі, не торкаючись до вимірюваного з'єднання і дотримуючись таких умов:

- відстань від приладу до вимірюваного об'єкта повинно бути не більше 14 м;
- кут нахилу приладу, контрольованого затискачем, по відношенню до вертикальної осі не повинен перевищувати 30°;

– зображення з'єднання (контакту) має бути більше вхідного отвору приймача випромінювання – «зіниці», при невиконанні цієї умови слід наблизитися до вимірюваного об'єкта;

– для підвищення точності вимірювань знімають кілька значень і фіксують максимальне.

Недоліком таких дистанційних приладів є вимір тільки при максимальному електричному навантаженні в літній час при високій температурі повітря і неможливі при з'єднанні проводів термітного або аргонно-дугового зварювання, і навіть при з'єднанні багато дротяних проводів у вигляді петлі, яка шунтує стикове з'єднання.

Для пошуку місць підвищеного нагріву пристроїв електропостачання контактної мережі використовують тепловізійні системи, що складаються з персональної ЕОМ камери і тепловізора (рис. 7.1).



Рисунок 7.1 – Тепловізійні системи

Такі обстеження дозволяють проводити достовірну діагностику і своєчасно приймати рішення про необхідність проведення профілактичних заходів.

Вимірювання температури в з'єднаннях контактної мережі і її розподіл проводиться також за допомогою комплексних сучасних засобів, наприклад, використання вагона-лабораторії (рис. 7.2) для здійснення:

– інфрачервоної діагностики, яка своєчасно виявляє небезпечно нагріти місця;

– випробувань контактної мережі і проведення вибіркового контролю вимірювань;

– аналізу найбільш складних випадків не обґрунтованого нагріву і виходів з ладу пристроїв.

Прилади діагностики лабораторії виконують наступні автоматичні функції:

– відображення температури у центрі візирного перекриття;

– побудови профілю температури вздовж горизонтальної лінії в режимі реального часу або стоп-кадру з рухомим покажчиком температури в точці;

- виділення ділянок вище, нижче або в інтервалі заданих температур;
- виділення прямокутної рамки або окружності в центрі зображення;
- відображення найбільшої, найменшої або середньої температури виділеної ділянки, а також різниці температур по відношенню до заданого значення;
- безперервного запису зображення на диск (що дозволяє спостерігати динаміку розвитку процесу в реальному часі);
- зчитання раніше записаного зображення з повним збереженням можливостей вимірювання;
- запису мовної анотації до кожного зображення (до 30 с);
- виконання плавного електронного масштабування зі збільшенням від одного до чотирьох разів при реальному часі;
- вимірювання відстані до об'єкту, фонові температури, температури повітря, відносної вологості;
- керування дистанційно всіма функціями системи

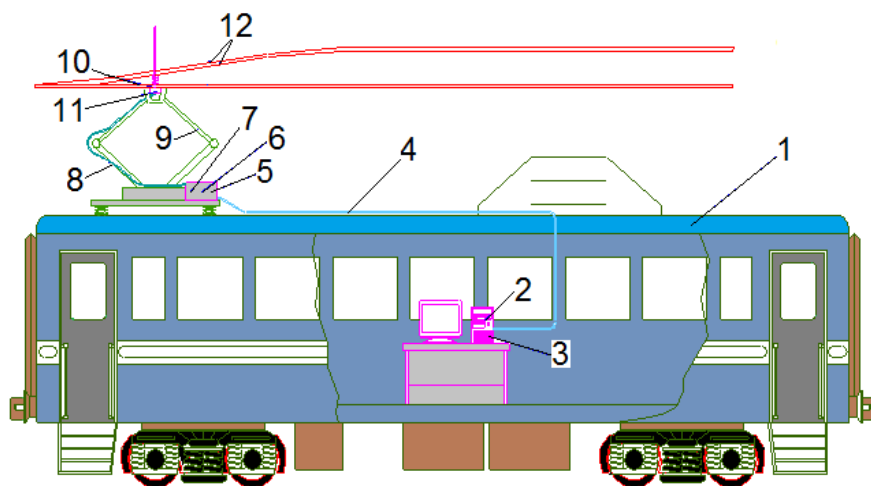


Рисунок 7.2 – Розміщення обладнання в пересувній лабораторії:
 1 – пересувна лабораторія, 2 – ЕОМ, 3 – інтерфейсна плата, 4 – волокінно-оптичний канал зв'язку, 5 – акумуляторний відсік, 6 – акумулятор, 7 – ретранслятор, 8 – кручена пара, 9 – вимірювальний пантограф, 10 – механізм підхоплення контактної провуду, 11 – плата збору даних, 12 – контактний провід

На даний час також широко застосовується автоматизована система контролю зносу і зигзагу контактної провуду, яка входить в багатофункціональний контрольно-обчислювальний комплекс діагностики стану об'єктів шляхів сполучення.

Система (рис. 7.3) складається з первинного перетворювача, блоку ретранслятора, волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ), блоку живлення, інтерфейсного блоку і ЕОМ.



Рисунок 7.3 – Зовнішній вигляд вимірювального пантографа в робочому положенні на даху пересувної лабораторії

Основним завданням системи контролю є отримання інформації про знос і зигзаг контактної провідки. При цьому застосовується п'ять основних функцій:

1. Первинне перетворення інформації, яка здійснюється за допомогою датчика вимірювання зносу при переміщенні провідки від мінімального до максимального значення зигзагу. В результаті при зміні ширини контактної площадки відбувається зміна рівня постійної напруги. Це пояснюється зигзагоподібним розташуванням контактної провідки щодо струмоприймача і чергуванням зигзагу у суміжних опор.

2. Аналогова обробка вимірювальної інформації – посилення і масштабування постійної напруги (зміна рівня напруги з фільтрів), яке надходить з перетворювача, що взаємодіє з контактним провідком, а також вироблення на основі сигналів з усіх перетворювачів цифрового коду положення провідки (наприклад, відхилення від осі струмоприймача).

3. Збір і переклад інформації в цифрову форму – прийом аналогових і цифрових значень напруг від всіх вимірювальних каналів і цифрового коду зигзагу, а також додаткової інформації про стан системи (температури) і керування режимами роботи системи для видачі цифрового сигналу в паралельному коді.

4. Трансляція інформації – перетворення цифрових даних в паралельному коді в послідовний, а потім сигналів з електричних в оптичні і навпаки, плюс повний зворотний цикл перетворень.

5. Перетворення і запис потоку даних – переклад інформації з виду цифрових кодів в загальноприйнятій одиниці виміру (інформація про знос і зигзаг контактного проводу) і запис результатів на магнітний носій.

Основне обладнання системи збору і обробки інформації.

Первинний перетворювач являє собою конструктивне об'єднання матричного віхрострумowego вимірювача, розташованого у верхній частині корпусу перетворювача, і електронної частини, розташованої в нижній частині корпусу і на нижній кришці.

Електронна частина перетворювача складається з блоку підсилювача-комутатора, генераторного блоку, блоку вторинного посилення, блоку збору даних.

Генераторний блок реалізований у вигляді схеми з трьома генераторами: на 800кГц, 1МГц і 1,2288 МГц, щоб виключити можливий взаємовплив між перетворювачами. Генератори зібрані на основі трьох послідовно з'єднаних логічних інверторів зі стабілізацією частоти за допомогою кварцового резонатора. Для підвищення здатності навантаження генератора, перетворювачі підключаються через додаткові інвертори. Кожен генератор підключений до 10 контурам.

Сигнал від генератора йде до блоку підсилювача-комутатора (30 плат підсилювачів-комутаторів, одна плата на один перетворювач). Далі сигнал потрапляє на блок вторинного підсилювача, зібраного на базі диференційного підсилювача.

Плата збору даних являє собою обчислювальний пристрій, розташований в вимірювальному пантографі. Плата побудована на базі мікроконтролера і дозволяє вирішувати завдання первинної обробки інформації, контролю і діагностики частин системи, розташованих на даху вагона і на вимірювальному пантографі, а також обміну інформацією з інтерфейсною платою, розташованої усередині вагона.

Виходи мікроконтролера пов'язані з входом ретранслятора, а він, у свою чергу, через оптоволоконні кабелі з передавачем і приймачем інтерфейсного адаптера. Інтерфейсний адаптер з'єднаний з шиною ЕОМ типу IBM PC.

Канал волоконно-оптичної лінії зв'язку заснований на базі дуплексного асинхронного приймача, що входить до складу мікроконтролера.

Блок ретранслятора сигналів призначений для передачі послідовного цифрового коду з лінії зв'язку типу «струмова петля» на волоконно-оптичну лінію зв'язку.

Взаємодія інтерфейсної плати і прикладного програмного забезпечення здійснюється за допомогою портів введення-виведення і лінії апаратного переривання.

Передача даних відбувається автоматично після здійснення запису в реєстр даних передавача.

Після цифрування, потік сигналів надходить на ЕОМ, заноситься в базу даних і обробляється. Отримуючи дані від підсистем, автоматизована система контролю зносу контактного проводу використовує їх в подальшому опрацюванні і виведення результатів (рис. 7.4).

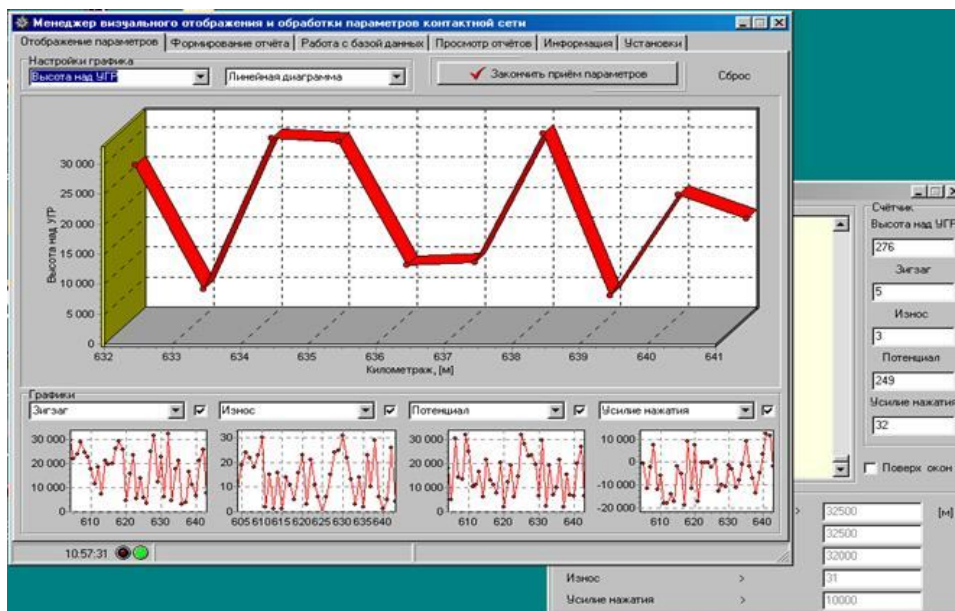


Рисунок 7.4 – Відображення параметрів контролю

Вся інформація в системі прив'язується до пройденій відстані ЕРС. При цьому використовуються дані від інших систем контролюно-обчислювального комплексу діагностики стану об'єктів шляхів сполучення. Результати контролю відображаються у вигляді графіків, таблиць, діаграм і тощо. Кінцевим етапом роботи програмного забезпечення є формування звіту за запитом користувача, а також аналіз інформації від системи вимірювання зносу контактного проводу з подальшою видачею рекомендацій на проведення ремонтних робіт.

Всі дані об'єднуються в єдиній базі даних з прив'язкою до пройденого відстанню і дати проведення вимірювань. Для розробки програмного забезпечення використовується необхідне середовище, наприклад C ++ Builder 5.0.

В наступний час широко використовується швидкодіюча автоматизована система «Знос», яка призначена для безконтактного вимірювання профілю зношеної частини контактного проводу (КП) одночасно з подальшим обчисленням залишкової висоти або площі зношеної частини його перетину, а також визначення дефектів підвіски і вимірювання положення проводу щодо осі струмоприймача (зигзагу).

Робота швидкодіючої системи (рис. 7.5) полягає в підсвічуванні КП плоским променем лазерного освітлювача і прийомі відбитого сигналу телевізійними камерами.

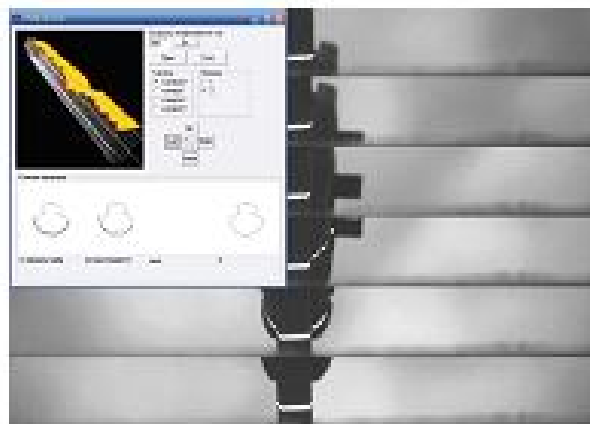


Рисунок 7.5 – Система безконтактного вимірювання профілю зношеної частини контактної провладу та відображення 3D-моделі

При попаданні контактної провладу в промінь світла на його поверхні утворюється видима лінія перетину з площиною, в якій лежить промінь. Ця лінія і виділяється системою обробки з отриманого зображення поточного кадру телекамери. Форма лінії, що фіксується, слабо залежить від нахилу КП і визначається, в основному, його зносом. В ході обробки отриманих даних обчислюється ступінь зносу КП і формується відомість виявлених відхилень. Можливо також формування перерізу контактної провладу та відображення його в 3D-моделі.

Освітлювальне та вимірювальне обладнання системи розміщується на окремому вимірювальному положі струмоприймача і розташовується на мінімально допустимій фіксованій відстані від КП (в межах 80–100 мм). Це дозволяє відмовитися від складних пристроїв, що стежать за змінною висотою підвіски КП. Результати контролю, що отримуються за допомогою даної системи, дозволяють своєчасно проводити заміну зношеного контактної провладу, визначати витрати нового провладу і за даними вимірювання питомого зносу провладу дозволяють здійснювати порівняння цих показників з нормативами і даними інших районів, дистанцій і доріг.

Результати досліджень і контролю КП також використовуються для розробки раціональних заходів по збільшенню терміну служби провладу, попередження обривів провладу при зменшенні його перетину своєчасним зниженням натягу і вставками в зонах місцевих зносів, планування заміни зношеного контактної провладу. Така система може використовуватися у

складі будь якого інформаційно-обчислювального комплексу.

Широко на залізниці використовуються комплекси візуальної діагностики. Вони дозволяють контролювати стан і діагностувати місця підключення захисного заземлення на рейку, виконаної з порушенням правил; становище компенсуючих пристроїв з метою виявлення місць їх неправильної роботи; аналізувати стан інших елементів контактної мережі.

При цьому здійснюється:

- обробка сигналів з подальшою передачею даних на комплекс обробки інформації;

- запис результатів на магнітні та електронні носії ЕОМ, відображення вимірюваної інформації на екранах моніторів, роздруківка протоколів інспекційних поїздок, відомостей відхилень, записів вимірювань в графічній формі;

- архівування даних для їх подальшого аналізу.

Камери системи контролю стану пристроїв, що компенсують і освітлювачі розташовуються на обох бортах вагона в двох напрямках, що забезпечує повний огляд арматури в процесі проїзду.

Камери контролю стану заземлюючих пристроїв та освітлювачі розташовуються під кузовом вагона і забезпечують працездатність системи в будь-який час доби на швидкостях до 160 км / год для звичайного вагона і до 350–400 км / год для швидкісного рухомого складу.

Застосування розробленого комплексу не обмежується контролем заземлюючих і компенсуючих пристроїв. За його допомогою можна проводити аналіз стану іншого обладнання контактної мережі, а також елементів рейкового господарства, розташованих в зоні видимості спеціалізованих камер.

Одним із таких комплексів є пристрій стеження за параметрами контактного проводу, який призначений для безконтактного виміру геометричних параметрів контактних проводів (підвісів) ділянок залізниць.

Пристрій встановлюється на автотрисі (самохідний вагон, рис. 7.6), які призначені для короткочасної поїздки, з метою проведення ремонтно-відновлювальних робіт та контролю стану контактної мережі.



Рисунок 7.6 – Автомотриси для перевезення персоналу і лабораторного обладнання

Програмне забезпечення дозволяє записувати отримані параметри на пристрій зберігання інформації, відобразити їх на моніторі робочого місця оператора, передавати в програмний комплекс з метою подальшої архівації та обробки отриманої інформації.

В наступний час багатофункціональним комплексом є, наприклад, вагон-лабораторія контактної мережі (ВІКС) призначений для оцінки стану контактної мережі електрифікованих залізниць постійного і змінного струмів на підставі контрольно-вимірювальних операцій, що виконуються встановленою спеціальною апаратурою інформаційно-обчислювального комплексу.

Завдання, які вирішуються за допомогою комплексу ВІКС (рис. 7.7):

- безконтактне вимірювання положення контактного проводу відносної осі струмоприймача;
- безконтактне вимірювання висоти основних стрижнів фіксаторів щодо контактного проводу;
- вимір сили натискання струмоприймача на контактний провід;
- вимір висоти правого і лівого бортів вагона щодо букс колісних пар;
- вимір зносу контактного проводу;



Рисунок 7.7 – Вагон-лабораторія контактної мережі

- ультрафіолетова і тепловізійна діагностика ізоляторів і арматури контактної мережі;
- вимір пройденого шляху;
- вимірювання швидкості руху (за кожні 20 м пройденого шляху);
- вимір напруги в контактній мережі в діапазоні від 2,4 до 4 кВ постійного струму і від 19 до 29 кВ змінного струму частотою 50 Гц;
- вимір температури зовнішнього повітря.

Програмне забезпечення комплексу виконує функції:

- прийом і обробку сигналів від вимірювальних датчиків;
- відображення результатів вимірювань, контролю та реєстрації подій на екрані дисплея персональної ЕОМ робочого місця оператора КИВ в графічному вигляді в реальному часі;
- запис результатів вимірювань на магнітні або електронні носії персональної ЕОМ робочого місця оператора і електронні накопичувачі інформації великої ємності з формуванням архіву вимірюваних параметрів контактної мережі;
- виведення інформації на принтер про виміряні параметри контактної мережі в графічній формі;
- діалогу оператора з ЕОМ без переривання процесів прийому, обробки, відображення і архівації результатів вимірювань;
- прив'язки результатів вимірювань до показань датчика швидкості і пройденого шляху, точкам фіксації КП;
- автоматизованої діагностики готовності інформаційного комплексу до використання, виявлення пошкоджень і відображення на екрані дисплея результатів діагностики;
- фіксації відхилень параметрів стану контактної мережі від нормативних значень, отриманих в результаті вимірювань під час проведення інспекції ділянок контактної мережі, з паралельним документуванням протоколу

відхилень на принтері або записом в файл на жорсткому диску персональної ЕОМ робочого місця оператора КИВ;

– оцінки стану ділянки контактної мережі на підставі результатів вимірювань і візуальних спостережень відповідно до «Правил будови і технічної експлуатації контактної мережі електрифікованих залізниць» ЦЕ-0023, а також з відхиленнями, що містяться в електронному аналогу нормативного журналу, і занесення штрафних балів в протокол відхилень.

Основні переваги ВІКС–лабораторії:

– повна автоматизація вимірювань і контролю параметрів контактної мережі, що досягається комп'ютеризацією всіх систем діагностики та оформленням зведеної документації за результатами інспекцій;

– оптичні методи вимірювань параметрів підвіски контактної мережі;

– вимірювання параметрів на швидкості 200 км / год;

– широке використання волоконно-оптичних ліній передачі інформації і датчиків, що виключають необхідність застосування високовольтної камери;

– автоматична прив'язка до місця вимірювань за допомогою апаратних і програмних засобів;

– потужна енергетика і значні ресурси обчислювального комплексу, що забезпечують можливість подальшого розвитку діагностичних систем вагона.

Комплексна автоматизована система контролю стану контактної мережі (АСКС) дозволяє об'єднати потоки даних від різних технічних засобів діагностики про пристрої контактної мережі і провести на основі цієї інформації оцінку відповідності їх стану нормативам. Така система також може спрогнозувати можливі порушення параметрів і спланувати оптимальний комплекс ремонтно-відновлювальних робіт.

Таким чином, автоматизована система дозволяє створити систему моніторингу, здатну забезпечувати в процесі експлуатації безперервний контроль за станом струмознімальних систем, прогнозувати виконання необхідного рівня надійності пристроїв, а також раціонально планувати проведення робіт з технічного обслуговування, капітального ремонту та модернізації.

7.2 Автоматизована система електропостачання контактної мережі тролейбуса

Тролейбус – безрейковий механічний транспортний засіб контактного типу з електричним приводом, що одержує електричний струм від зовнішнього джерела живлення (центральної електричної станції) через двопроводну

контактну мережу за допомогою штангового струмоприймача і поєднує в собі переваги трамвая та автобуса (рис. 7.8).



Рисунок 7.8 – Сучасна конструкція тролейбуса і контактна мережа

Відмінності в конструкції контактної мережі тролейбуса від рейкового транспорту обумовлені тим, що тролейбус не має постійного електричного контакту з поверхнею, яку можна було б використовувати в якості другого проводу. Крім того, тролейбус має особливості необхідного відхилення від контактної мережі як мінімум на сусідню смугу руху, що приводить до виникнення особливих вимог, обумовлених з урахуванням маневрів під час руху тролейбуса.

Контактна мережа тролейбуса – є двопровідною, причому проводи закріплені паралельно на невеликій відстані і надійно ізолювані один від одного. Це передбачає більш складну конструкцію, як прямих ділянок мережі, так і пересічних розгалужень з широким застосуванням секційних ізоляторів, які ізолюють один від одного не тільки секції електроживлення, але й проведення різної полярності в місцях перетину.

Необхідність використання струмоприймача тролейбуса диктує додаткові вимоги:

- необхідність згладжування поворотів контактної мережі. Кут зламу в місцях кріплення проводу до спецчастини не повинен перевищувати 4° . Для згладжування поворотів використовуються спеціальні криві власники;
- особливі конструкції перерізів проводів, як тролейбусних ліній між собою, так і з трамвайними коліями;
- необхідність установки спеціальних стрілок, причому стрілки, що розходяться обов'язково повинні бути керованими;

– більш складна конструкція термокомпенсаторів. Іноді, щоб не встановлювати складні пристрої термокомпенсації застосовують маятникову підвіску, або проводять ручні сезонні регулювання натягу проводів.

Всі ці особливості роблять контактну мережу тролейбуса порівняно складною і важкою і, отже, створює порівняно велике навантаження на опори.

Основний показник якості роботи тролейбусів – це регулярність руху, що характеризує культуру виконання пасажирських перевезень, транспортну дисципліну і рівень організації руху. З підвищенням регулярності руху збільшується обсяг пасажироперевезень.

Регулярним називається рух тролейбуса, який виконується відповідно за машинним розкладом. Кожна машина, що виходить з кінцевого пункту, повинна проходити будь-який контрольний пункт свого маршруту точно у встановлений розкладом час. При регулярному русі відбувається рівномірний розподіл пасажирів між усіма одиницями рухомого складу, що знаходиться на маршруті. Забезпечення регулярності руху в великій мірі залежить від роботи ремонтного та обслуговуючого персоналу.

Технічними причинами, що викликають порушення регулярності руху, можуть бути несправності тролейбуса і контактної мережі, відсутність електроенергії, запізнення при випуску тролейбусів з парку або від кінцевих станцій, дорожні приги і тощо.

Контроль над керуванням руху і регулювання його на маршрутах забезпечується диспетчерським керівництвом служби руху. Диспетчерська система керування рухом в місті найбільш ефективна за умови, якщо всі види громадського пасажирського транспорту знаходяться у віданні одного управління. Централізація диспетчерського контролю та керування рухом здійснюється за допомогою технічних засобів зв'язку, сигналізації, телемеханіки і автоматики.

У великих містах з розвиненим транспортним господарством неминуче виникає проблема організації ритмічної роботи громадського транспорту. Вирішити цю проблему дозволяють автоматизовані системи диспетчерського керування міським пасажирським транспортом (АСДУ МПТ).

Керування рухом по маршрутам міста здійснюється з поста центральної диспетчерської служби (ЦДС).

АСДУ МПТ передає інформацію на пульт диспетчера, обробляє її, відображає, зберігає і аналізує про проходження рухомими одиницями (РО) розташованих за маршрутами їх руху контрольних пунктів і, автоматично приймає з будь-якої точки міста, фіксує і відображає сигнали про нештатні

ситуації (напад на водія, дорожньо-транспортні пригоди, пошкодження і інше).

До складу деяких систем АСДУ також входить міська система збору та обробки інформації для обслуговування систем охоронної та пожежної сигналізації, ліфтової диспетчерської служби, обліку витрати води, тепла, електроенергії.

Функціональними аналогами можна вважати кілька систем, заснованих на використанні серійних УКХ радіостанцій, оснащених додатковими пристроями для прийому, обробки і передачі цифрової інформації, і первинних джерел інформації: механічних датчиків для визначення пройденого шляху і координат або GPS-приймачів супутникової навігаційної системи. Ці системи мають невисоку вартість і малий час розповсюдження інформації. Але складаються в основному з вузлів, не призначених спеціально для використання в АСДУ.

Такий принцип побудови систем диспетчерського керування має серйозні недоліки, головним з яких є використання каналів зв'язку з низькою пропускну здатністю, що виключає можливість роботи системи в режимі реального часу і подальшого збільшення потоку інформації. Зазначені системи, як правило, мають дуже обмежене програмне забезпечення верхнього рівня, яке орієнтоване лише на вирішення завдань контролю руху транспорту.

Створення сучасних систем з урахуванням необхідних вимог в цілому, поки не представляється можливим. Тому використовуються деякі рішення, пов'язані з передачею інформації на диспетчерський пункт.

Наприклад, застосування системи, заснованої на автоматичній передачі інфрачервоного кодового сигналу (номера) на антену КП, встановлену на стовпі, що стоїть біля дороги (рис. 7.9).

Сигнал передається по проводам, комп'ютер ЦДС і через комп'ютери парку з метою доведення до керівного персоналу відомостей про виконання графіків маршрутів в реальному масштабі часу.

Процес позначки відбувається автоматично без участі водія і без будь-яких звукових або світлових сигналів підтвердження. Від водія вимагається одне - тільки їздити по маршруту.

Мовний канал обміну інформацією відсутній. У ньому немає необхідності, він не дає можливість водієві «домовитися» з диспетчером, вносити сумбур і додаткові організаційні проблеми.

В даний час практично у кожного водія є телефони і проблеми екстреного зв'язку немає.

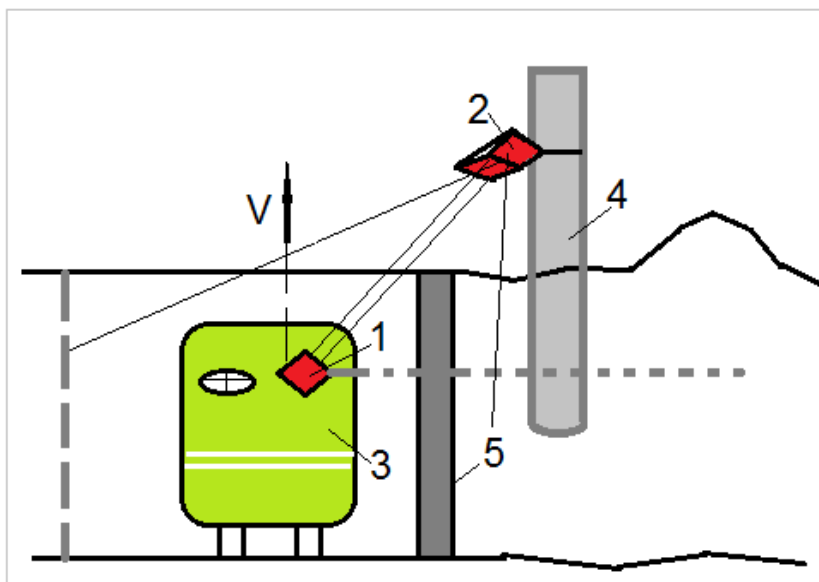


Рисунок 7.9 – Схема проїзду тролейбуса при позначці:

1 – пристрій в тролейбусі; 2 – автоматизований контрольний пункт;
3 – тролейбус; 4 – стовп; 5 – бордюр дороги; V – вектор швидкості тролейбуса

У разі позаштатної ситуації водій може під'їхати до стовпа КП і з пульта передати той чи інший закодований сигнал, наприклад: "Зламався, їду в парк", "Зламався, викликаю техдопомогу", "Викликаю міліцію". В цьому випадку антена КП світловим сигналом може відповісти водію, що його сигнал прийнятий на ЦДС.

В даний час такі системи постійно вдосконалюються. Їх перевагами є:

- надзвичайна простота і надійність периферійного обладнання;
- швидкість і зручність зв'язку (від водія для позначки потрібно всього лише проїхати на відстані 2–20м від стовпа КП;
- простий ремонт периферійного обладнання (для ремонту досить блоку живлення, тестера і осцилографа);
- спадкоємність інфраструктури комплексу АСДУ і можливість його поетапної модернізації;
- контроль руху тролейбуса в реальному масштабі часу за фіксованими точками КП;
- можливість ведення поточного контролю спідометра тролейбуса;
- можливість передачі службових повідомлень водієм тролейбуса;
- можливість безконтактного програмування і контролю номера пристрою малогабаритним пультом;
- вбудований автоматичний електронний захист пристрою від перенапруг по живленню до 250 В.

На цей час за допомогою автоматизованих систем також відбувається керування стрілочним переводом на лініях тролейбусів. Наприклад, на старих лініях для переведення стрілок на потрібний напрямок водій тролейбуса повинен підійти до неї на такій швидкості, щоб головки струмоприймачів, що знаходяться на кінцях штанг тролейбуса, пройшли метрову ізольовану ділянку стрілки або з включеним або з вимкненим двигуном. Від цього залежить, чи встигне котушка намагнічування спрацювати і перевести пир'я стрілки на потрібний напрямок або ні, в іншому випадку відбудеться сход штанг. Тому і гальмують тролейбуси перед керованими стрілками, а отже, і весь рух транспорту.

Сучасні досягнення в галузі електроніки та електротехніки дозволяють вирішити цю проблему, застосувавши дистанційне безконтактне керування стрілками. На заході такі системи вже давно працюють.

Для роботи таких стрілок на тролейбуси встановлюють радіопередавачі, на стовпах в районі стрілки, радіоприймачі, і особливого роду світлофори – сигнальні установки, що вказують водію напрямок, в якому відкрита стрілка. В цьому випадку у водія тролейбуса немає необхідності оперувати проходженням струму через силове електричне коло машини, що підвищує швидкість проходження через стрілку (рис. 7.10).



Рисунок 7.10 – Зовнішній вигляд автоматичного стрілочного переводу тролейбуса

Радіокерування стрілкою здійснюється кодованим сигналом. При цьому перемикач її відбувається при отриманні вірного радіокоду.

Для керованої стрілки радіопередавач (пульт) є автономним, тобто не пов'язаним з енергосистемою тролейбуса, а працює від батарей. Живлення механізму перекладу пир'їв, а також світлодіодів сигнальної установки та іншої електроніки, керування стрілкою здійснюється від 600 В на лінії. Механізм переведення розміщується на стрілці. Для радіокерованих тролейбусних стрілок не потрібні метрові сталеві шини і вхідні ізолятори.

Водій тролейбуса, під'їжджаючи до керованої стрілки і подивившись на світловому табло над стрілкою напрямку руху, може натисканням кнопки на пульті дистанційного керування за 50 метрів змінити напрям і проїхати стрілку на повній швидкості.

Застосування автоматизованих систем керування наземного базування забезпечує більш низьку вартість обладнання, експлуатації, ремонту і малий час відновлення, в порівнянні зі старими конструкціями.

Сучасні системи АСДУ складаються з апаратних засобів і програмних частин. В цілому апаратні засоби містять:

– апаратуру обчислювального комплексу центральної диспетчерської служби (ОК ЦДС) в складі робочого місця диспетчера і допоміжного персоналу, файл-сервера і адаптера радіоканалів, об'єднаних локальною обчислювальною мережею (ЛОМ), а також приймально–передавальних пристроїв. При необхідності додатково встановлюються спеціальні пристрої візуального відображення інформації (табло, мнемосхеми);

– апаратуру пристрою сполучення периферійного обладнання з комп'ютером ЦДС (рис. 7.11), яка приймає кодові сигнали від контрольних пунктів і передає їх ОК ЦДС;



Рисунки 7.11 – Апаратура сполучення периферійного обладнання



Рисунки 7.12 – Пристрій контрольного пункту (а) і антена (б)



Рисунки 7.13 – Пульти кодування і контролю (а), пристрій рухомої одиниці (б)

– пристрої контрольних пунктів (ПКП, рис. 7.12, а), розташованих за маршрутами і представляють собою активні ретранслятори з накопиченням інформації і які передають сигнал від антен;

– антени контрольних пунктів (рис. 7.12, б), які беруть інфрачервоний кодовий сигнал від пристрою рухомої одиниці і передають на ПКП.

– пульт кодування і контролю сигналу (ПКК, рис. 7.13, а), який забезпечує кодування і контроль номера пристрою тролейбуса без розтину (інфрачервоним сигналом), а також перевірку і контроль сигналу від пристрою контрольного

пункту (ПКП) до пристрою периферійного сполучення (ППС).

– пристрої рухомої одиниці, що складаються з бортового комп'ютера, приймально-передавального пристрою ближньої дії, системи введення та відображення інформації, випромінювача інфрачервоного кодового сигналу, (рис. 7.13, б).

Програмна частина АСДУ орієнтована на без паперову технологію і забезпечує обробку, зберігання, відображення і аналіз даних про рух тролейбуса за маршрутами, дотримання графіку руху, виникнення різних нештатних ситуацій (аварії, напад на водія); формування звітних і довідкових документів встановленого зразка.

Розвиток програмного забезпечення АСДУ йде за шляхом створення експертної системи, що дозволяє оптимально організувати роботу муніципального автотранспорту при зміні експлуатаційних умов.

При застосуванні цієї системи можливе корегування апаратної і програмної частини системи для забезпечення виконання спеціальних вимог (уточнення місця розташування за допомогою навігації та інше).

7.3 Автоматизована система контактної мережі трамвая

Трамвай (від англ. Tram – вагон, вагонетка; way – шлях) – це вид вуличного і частково вуличного рейкового громадського транспорту для перевезення пасажирів по заданих маршрутах (зазвичай на електротязі), який використовується переважно в містах.

Трамвай є одним з найстаріших видів міського пасажирського громадського транспорту, з існуючих на початку ХХІ століття (рис. 7.14) і виник в першій половині ХІХ століття – спочатку на кінній тязі.



Рисунок 7.14 – Конструкції трамвая

Перший електричний трамвай з'явився наприкінці XIX століття – у 1881 році в Німеччині. Більшість трамваїв використовують електротягу з подачею електроенергії через повітряну контактну мережу за допомогою струмоприймачів (пантографів, або штанг, рідше – бугелів), проте існують також трамваї з живленням від контактної третьої рейки або акумуляторів.

Трамвай в порівнянні з іншими видами наземного транспорту має наступні переваги: велику провізну здатність і меншу питому витрату енергії; менші капітальні витрати на спорудження в порівнянні з метрополітенем; низьку собівартість пасажироперевезень.

Разом з тим трамваю властиві і недоліки: низька маневреність і більш високі витрати на спорудження в порівнянні з автобусом і тролейбусом; порушення благоустрою вулиць при ремонті трамвайних колій; наявність блукаючих струмів, що руйнують підземні споруди.

Сучасні трамваї дуже відрізняються від своїх попередників по конструкції, проте основні принципи пристрою трамвая залишилися незмінними.

Основними елементами електропостачання контактної мережі трамвая є пантограф і контактна рейка, яка призначена для здійснення ковзаючого контакту зі струмоприймачем рухомого складу. Керування електропостачанням трамвая здійснюється через автоматизовану систему тягових підстанцій.

Одним з основних елементів контактної мережі трамвая є стрілочно-перекладний пристрій, завданням якого є зміна напрямку курсування трамвайних рухомих складів.

Досягається це завдяки використанню спеціальних парних клинів - пір'їв стрілки, які віджимають реборди коліс і направляють їх в потрібному напрямку.

Спочатку стрілки керувалися водієм – вручну на лініях з малим навантаженням або спеціальними робочими-стрілочниками на напружених ділянках (рис. 7.15). На деяких перехрестях створювалися центральні стрілочні пости, де переключенням всіх стрілок перехрестя міг займатися один оператор за допомогою механічних тяг або електричних кіл.

В даний час керування стрілками трамваю здійснюється автоматично (див. рис. 7.15, *а*, *б*)) за допомогою електромагнітного приводу, який складається з керуючої та виконавчої частин.

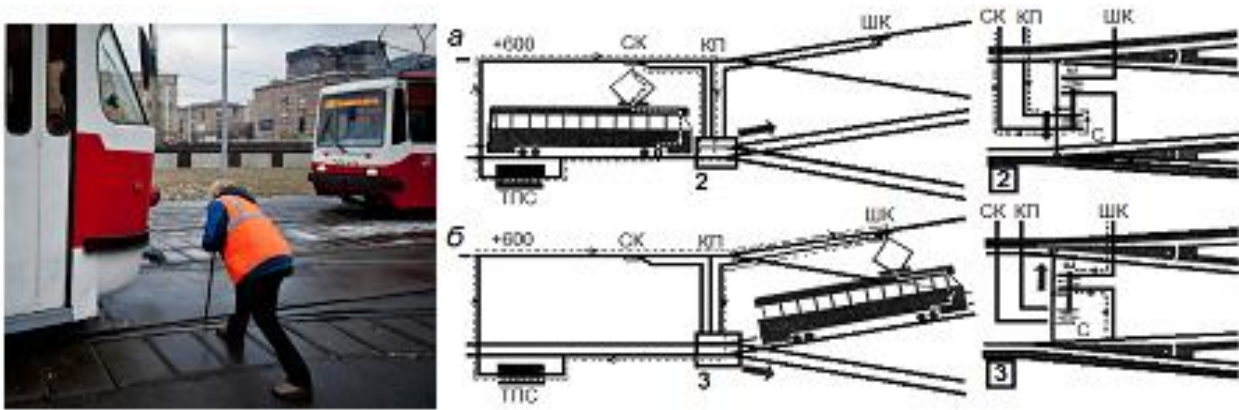


Рисунок 7.15 – Ручний і автоматичний перекид стрілок на трамвайній лінії

Виконавча частина являє собою два електромагніта, осердя яких з'єднані важелем зі стрілочною тягою. Водій керує стрілкою з кабіни, задаючи відповідний режим руху при проходженні додаткових проводів («ліри»), розташованих трохи нижче контактного проводу (КП).

Для переведення стрілки в будь-яку сторону, необхідно пройти «ліру» з включеними тяговими двигунами (під електричним навантаженням, а щоб не переводити стрілку, необхідно пройти «ліру» з вимкненими тяговими двигунами «без струму».

«Ліра» розміщується на контактному проводі перед стрілкою на відстані 12–20 м (в залежності від умов розміщення стрілки), для того, щоб водій, в разі неправильного перекиду стрілки, міг зупинити вагон для перекиду її вручну.

Нормальне положення стрілки відповідає повороту направо. На контактній підвісці при підході до стрілки встановлено, так званій, серієсний контакт (СК). При замиканні ланцюга «соленоїд контакт–двигун–рейка» включеним двигуном (або спеціальним шунтом (Ш)) соленоїд (С) переводить стрілку для повороту наліво (рис. 7.15, а). При проході контакту накатом електричне коло не замикається і стрілка залишається в нормальному положенні. Після проходження стрілки по лівій гілці (рис. 7.15, б), трамвай струмоприймачем замикає встановлений на контактній підвісці шунт, і соленоїд переводить стрілку в нормальне положення.

Рівень автоматизації стрілочних переводів на транспорті стає дедалі більше. Нові рішення широко застосовуються для облаштування нових і модернізації існуючих стрілочних переводів в трамвайно-тролейбусних і трамвайних управліннях міст.

Наприклад, на рисунку 7.16 показана схема автоматизованої системи керування стрілочним переводом на основі високочутливих датчиків і сучасних перетворювачів сигналів.

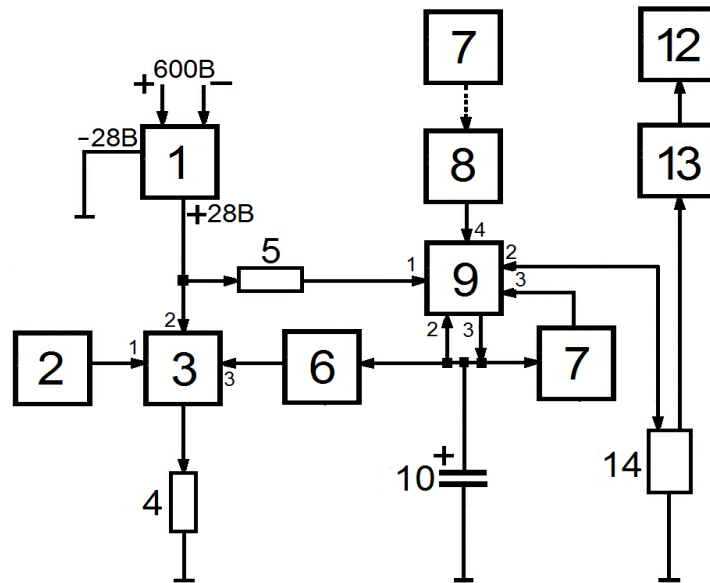


Рисунок 7.16 – Блок-схема управління автоматизованою системою стрілочного переводу:

1 – перетворювач; 2 – датчик температури; 3 – комутатор; 4 – електронагрівач; 5 – струмообмежуючий резистор; 6 – датчик напруги; 7 – передавач коду маршруту; 8 – приймач управління стрілочного переводу; 9 – перемикач; 10 – конденсатор; 11 – датчик напруги; 12 – блок сигналізації; 13 – блок кінцевих вимикачів; 14 – електромагніт електроприводу стрілочного переводу

Принцип дії такої автоматизованої системи керування стрілочним переводом полягає в наступному.

Напруга живлення (± 600 В) від контактної мережі надходить на перетворювач (1) і перетворюється в низьковольтну напругу (± 28 В). При такій напрузі відбувається зарядку конденсатора (10) протягом декількох секунд через струмообмежуючі резистор (5) і замкнутий перемикаючий контакт комутатора-перемикача (9).

При наближенні транспортного засобу до стрілочного переводу, на приймач керування (8) надходить сигнал від передавача коду маршруту (7), розташованого в транспортному засобі. В результаті відбувається перемикання комутатора-перемикача (9).

При цьому позитивний вивід конденсатора (10) відключається від резистору (5) і підключається до входу електромагніту (14) приводу стрілочного переводу. Конденсатор (10) розряджається потужним імпульсом через електромагніт (14), що перемикає стрілочний перевід. При досягненні кінцевого положення блок кінцевих вимикачів (13) перемикає сигналізатор дозволеного напрямку руху (12). При розряді конденсатора (10) до розрахункового нижнього рівня напруги спрацьовує перший датчик

напруги (11) і повертає комутатор-перемикач (9) в режим зарядки конденсатора (10). По приходу наступного транспортного засобу процес повторюється.

У зимовий час при негативних температурах здійснюється розморожування механізму стрілочного переводу в такий спосіб. За сигналом датчика температури (2) відбувається зарядка конденсатора (10) протягом декількох секунд. За сигналом контрольованого датчика (6) через комутатор (3) подається напруга від перетворювача (1) до нагрівального елемента (4).

Таким чином, вирішується завдання живлення електроприводу електромагніту (14) і, в зимовий час, електронагрівача (4) від єдиного джерела живлення - перетворювача (1), що підключається в будь-якій точці контактної мережі трамвая.

Таке перспективне рішення дозволяє:

- виключити комутаційний пристрій на контактній мережі, що викликає електроерозійний знос вставок струмомірачів трамваїв,
- підвищити надійність роботи електромагнітів за рахунок живлення низькою напругою (± 28 В замість ± 600 В),
- знизити витрати завдяки підключенню напруги живлення в будь-якій точці контактної мережі трамвая; за рахунок використання єдиного джерела живлення для електроприводу та обігріву стрілочного переводу в зимовий час, а також витрати, пов'язані з модернізацією існуючих стрілочних переводів,
- надає можливість повної автоматизації процесу керування стрілочними переводами за кодами маршрутів слідування.

Сучасні прийомні станції автоматизованої системи трамвайних стрілочних переводів побудовані на базі аналогових і цифрових дискретних електронних компонентів (рис. 7.17).

В даний час широко застосовуються радіокеровані стрілки (рис. 7.17, а).

Принцип дії такої автоматизованої системи наступний. При необхідності переведення стрілок водій, перебуваючи в кабіні трамвая, натисканням кнопки активує передавач системи, що спонукає генерацію керуючого сигналу з певною частотою. Цей сигнал по радіоканалу надходить на обробку в станцію, і на електропривод видається один з двох сигналів запуску двигуна стрілки в ту чи іншу сторону. Спроектвана таким чином система, в порівнянні з ручним перекладом, значно спростила роботу водія трамвая. При будь-яких погодних умовах він завжди знаходиться в кабіні вагона.

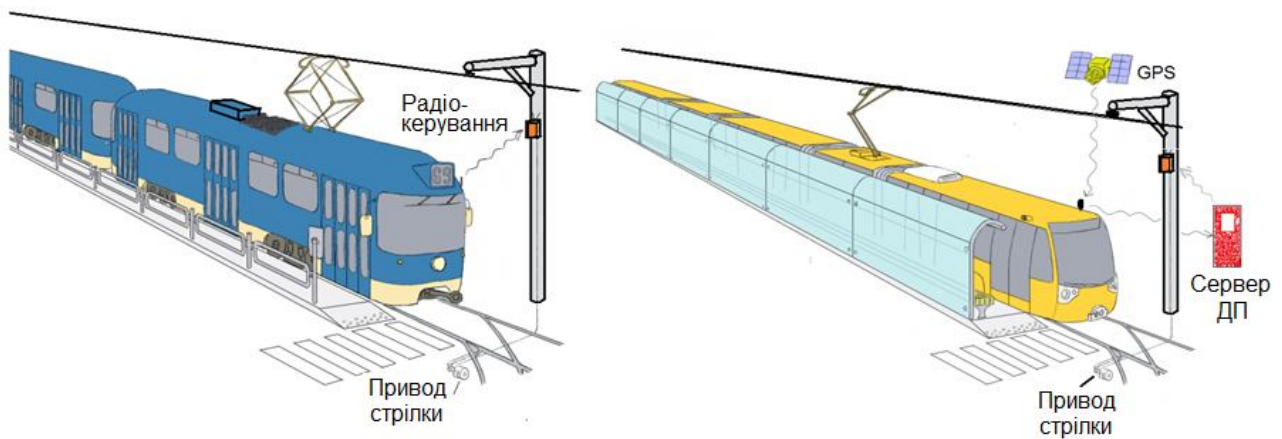


Рисунок 7.17 – Радіокерований (а) і цифрове управління (б) переведення стрілки трамвая

Крім того, з використанням цієї системи усунулися тимчасові інтервали, необхідні для переведення стрілок. Це підвищило не тільки комфортність перевезення пасажирів, а й призвело до спрощення дорожніх робіт.

В сучасних умовах індустріального міста, в більшості випадків, радіокеровані стрілки не здатні адекватно реагувати на керуючий вплив. Це відбувається через високі наявності індустріальних радіоперешкод в середовищі поширення сигналу від передавача до приймача системи, які спотворюють його. Крім того, сам трамвай може виступати в ролі джерела перешкод: потужний електродвигун негативно впливає на сигнал. Відбувається ненавмисний переключення трамвайних стрілок, пов'язаний з небезпечними наслідками для обслуговуючого персоналу, пасажирів і випадкових перехожих.

В даний час на зміну аналоговим методам прийому сигналів приходять цифрова обробка сигналів (ЦОС), яка являє собою одну з найбільш потужних технологій ХХІ століття і визначає в подальшому розвиток як науки, техніки, так і транспортних засобів.

Такі системи знайшли широке застосування на трамвайних лініях, наприклад, в частині переведення стрілок з одного напрямку руху трамвая на інше (рис. 7.17, б). Сфера їх застосування розширюється і в основному використовується в сучасних конструкціях трамваїв і трамвайних ліній.

Основні етапи перетворень сигналу відбуваються на приймальних станціях автоматизованої системи.

Передавач автоматизованої системи (АС) транслює керуючий сигнал, в якому інформація представлена кінцевим набором частот в певній послідовності. При цьому, такий параметр сигналу, як фаза, не несе ніякого «сміслового» навантаження. З цієї причини в приймальнику АС використовується демодулятор (некогерентний детектор), спроектований для

роботи без знання абсолютної величини фази вхідного сигналу. При цьому модульований сигнал реалізується за допомогою кореляторів.

Сеанс зв'язку між передавачем і приймачем в автоматизованій системі трамвайних стрілочних переводів відбувається щоразу, як тільки водієм трамвая натискається кнопка, яка сигналізує про необхідність переведення стрілок. Натискання кнопки відбувається, коли вагон трамвая сягає крапки репера. При цьому передавач, що знаходиться в вагоні трамвая, генерує низькочастотний сигнал, що передає біти закодованої інформаційної послідовності.

У подібному вигляді сигнал досягає приймача. Передбачається, що в проектуваному приймачі, сигнал спочатку обробляється фільтром нижніх частот з метою усунення високочастотних компонент. Засобами цифрової обчислювальної техніки інформація обробляється (тобто відбувається етап аналогово-цифрового перетворення) і далі реалізується багаторівнева структура обробки прийнятого сигналу мікропроцесором. На заключному етапі всіх перетворень процесор видає один з двох вирішальних логічних сигналів: 1 – переклад необхідний, 0 – переклад не потрібен.

Реалізація приймальної станції на основі цифрових технологій дозволяє збільшити стійкість, ефективність і надійність роботи системи, що призводить до мінімальної ймовірності несанкціонованого переведення стрілок.

Перешкодостійкість сучасних систем підвищується за рахунок використання таких методів ЦОС як модуляція і демодуляція, кодування і декодування. Якість прийнятого сигналу керування збільшено, сервісні роботи з обслуговування системи спрощені. Система не вимагає постійного контролю і калібрування. Її робота стабільна і не залежить від різних дестабілізуючих факторів навколишнього середовища. Напівпровідникові технології дозволяють підвищити надійність, зменшити розміри, знизити вартість і енергоспоживання, збільшити швидкість роботи автоматизованих систем.

7.4 Устаткування автоматизованої цифрової системи керування і її елементи

Застосування прогресивних технологій з високоточною і багатofункціональною технікою, таких як мікропроцесорних пристроїв, дозволяє створювати автоматизовані системи транспорту з високим рівнем обслуговування.

Впровадження мікропроцесорів в традиційні автоматизовані системи (таким як АСТСП) пов'язано з принциповими змінами до вимог, які належать

до параметрів і характеристик систем, таким як перешкодозахищеність, надійність, стабільність. Змінюються також методи і технічні засоби проектування АС.

Все це пов'язано з рядом особливостей мікропроцесорів як елементів цифрових керуючих пристроїв, основними з яких є програмованість і велика обчислювальна потужність, що поєднуються з високою надійністю, малими габаритними розмірами, масою, енергоспоживанням і вартістю.

Програмованість макропроцесорів визначає можливість гнучкої оперативної перебудови як алгоритму роботи системи керування, так і її структури з метою пристосування їх до мінливих умов роботи. Дана властивість забезпечує можливість внесення змін в структуру і в програму роботи системи на всіх етапах її проектування, а саме – від попереднього проектування до експлуатації серійних зразків.

Застосування мікропроцесорів в автоматизованих системах дозволяє підняти на якісно новий рівень такі важливі їх характеристики, як відмовостійкість і живучість. Відмовостійкість – це здатність системи зберігати свою працездатність при виникненні в системі різноманітних відмов, що забезпечується в мікропроцесорних системах введенням апаратної, програмної та інформаційної надмірності.

Використання спеціалізованих мікропроцесорів вимагає вирішення цілої низки завдань, специфіка яких обумовлена як необхідністю роботи в реальному масштабі часу, так і цифровим характером оброблюваної інформації. У зв'язку з цим актуальними є проблеми вибору структури системи, що забезпечує необхідну продуктивність, відмовостійкість і живучість системи, а також розробки високоефективних алгоритмів обробки даних, їх зберігання та вироблення керуючих сигналів, які відповідають заданим критеріям якості функціонування системи.

До теперішнього часу накопичений значний багаж знань і досвід з розробки та експлуатації процесорів в системах різного призначення: інформаційних, зв'язкових, обчислювальних, керуючих.

Зростаючі потреби до функціоналу систем безперервно ускладнюють завдання взаємодії різних об'єктів і процесів. Проблеми особливо ускладнюються в системі «людина – машина», де поряд з завданнями керування технічними об'єктами і технологічними процесами гостро ставляться завдання ефективної роботи цих систем. До таких систем відноситься і АСТСП, яка вимагає надвисокої точності в керуванні трамвайне – стрілочним переводом, тому що від цього процесу залежить не тільки цілісність технічного і механічного стану вагона трамвая, а й життя людей, які є співучасниками при роботі системи.

Передача сигналів здійснюється через канал зв'язку, проходить через всі етапи кодування і модуляції, передавач, фізичний канал, приймач (з усіма етапами обробки) і завершується на одержувачі інформації.

Канали зв'язку класифікуються за характером сигналів на вході і виході. Розрізняють безперервні, дискретні і дискретно-безперервні канали. У безперервних каналах сигнали на вході і виході безперервні за рівнями, в дискретних – вони відповідно дискретні, а в дискретно-безперервних – сигнали на вході дискретні, а на виході безперервні, і навпаки.

Можлива також класифікація каналів по:

- призначенням радіотехнічних засобів передачі інформації (телеграфічна, телефонна, телевізійна, телеметрична та ін.);
- виду фізичного середовища поширення (провідні, кабельні, хвильові та ін.);
- діапазону частот, що використовуються ними.

Для передачі сигналу в системі трамвайних стрілочних переводів використовується радіотракт.

Системи цифрового зв'язку стають все більш привабливими внаслідок постійно зростаючого попиту і через те, що цифрова передача пропонує можливості обробки інформації, які недоступні при використанні аналогової передачі.

Відмінною особливістю систем цифрового зв'язку (digital communication system – DCS) є те, що за кінцевий проміжок часу вони посиляють сигнал, який складається з кінцевого набору елементарних сигналів (на відміну від систем аналогового зв'язку, де сигнал складається з нескінченної кількості елементарних сигналів).

У системах DCS завданням приймача є не точне відтворення передавального сигналу, а визначення на основі сигналу, спотвореного шумами, який саме сигнал з кінцевого набору був посланий передавачем.

На форму сигналу впливають пошкодження імпульсу, тому що всі канали та лінії передачі мають неідеальну частотну характеристику, а також небажані електричні шуми або інший вплив з боку, які ще більше спотворює форму імпульсу.

У той момент, коли переданий імпульс все ще може бути достовірно визначений (перш ніж він погіршиться до неоднозначного стану), імпульс посилюється цифровим підсилювачем, що відновлює його первісну ідеальну форму, тобто імпульс «відроджується» або відновлюється.

Існує безліч причин використання цифрового зв'язку. Основною перевагою даного підходу є легкість відновлення цифрових сигналів у порівнянні з аналоговими. Цифрові канали менш схильні до спотворення і

інтерференції, ніж аналогові. Оскільки двоїнні цифрові канали дають значущий сигнал тільки при роботі в одному з двох станів – включеному або вимкненому – обурення повинно бути достатньо великим, щоб перевести робочу точку каналу з одного стану в інший. Наявність лише двох станів полегшує відновлення сигналу і, отже, запобігає накопиченню в процесі передачі шумів або інших збурень.

Аналогові сигнали, навпаки, не є сигналами з двома станами; вони можуть приймати безліч форм. В аналогових каналах навіть невелике збурення може невпізнанно спотворити сигнал. Після спотворення аналогового сигналу обурення не можна прибрати шляхом посилення. Оскільки накопичення шуму нерозривно пов'язане з аналоговими сигналами, як наслідок, вони не можуть відтворюватися ідеально.

Високу продуктивність системи цифрового зв'язку забезпечує синхронізація передавача і приймача. Інформація від передавача до приймача поставляється блоками, або повідомленнями, що містять фіксовану кількість символів. Для подібного способу передачі інформації використовується кадрова синхронізація, яка ідентифікує початок кодової посилки.

Етапи обробки сигналу, що мають місце в передавачі, є переважно зворотними до етапів приймача. Сигнал, після перетворень передавача, транслюється по радіоканалу, досягаючи приймача. Приймач, після демодулювання, визначає необхідність подачі керуючого сигналу на виконавчий пристрій перекладу трамвайних стрілок.

Представлена багаторівнева структура обробки інформаційного повідомлення забезпечить надійний захист від перешкод. Використання цифрових методів обробки сигналу дозволять з високою вірогідністю визначити наявність або відсутність переданого повідомлення, а також дозволять виявити і виправити наявні помилки передачі. Це призведе до зниження ймовірності помилкового спрацювання виконавчого пристрою переведення стрілок, і, як наслідок, до зниження аварійних ситуацій на трамвайних коліях і підвищенню безпеки людей.

Контрольні запитання

1. Що таке контактна мережа магістральних і приміських електричних залізничних доріг?
2. Що є найбільш важливим критерієм контактної мережі залізниці?
3. Як відбуваються вимірювання дефектоскопом?
4. Які існують сучасні прилади діагностики контактної мережі?
5. Які автоматичні функції виконуються приладами діагностики контактної мережі?
6. Які функції застосовуються для визначення системи контролю і отримання інформації про знос і зигзаг контактної мережі?
7. Які існують сучасні комплекси діагностики контактної мережі на залізниці?
8. Які задачі вирішуються за допомогою комплексу ВІКС?
9. Які функції виконує програмне забезпечення комплексу ВІКС?
10. Як відрізняється контактна мережа тролейбуса і рейкового транспорту?
11. Як відбувається керування рухом тролейбуса?
12. Як відбувається перевід стрілок на тролейбусній лінії ?
13. Яка апаратура використовується під час автоматизованого керування рухом тролейбуса?
14. Що є основним елементом електропостачання трамвая?
15. У чому полягає автоматизація стрілочного переводу трамвая?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стивен С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников / С. Стивен пер. с англ. – М. : Додэка-XXI, 2008. – 720 с.
2. Система дистанционного перевода трамвайных стрелок// Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 2008. – 29 с.
3. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. – М. : Высшая школа, 1987. – 450 с.
4. Фомин Н. Н. Радиоприемные устройств. учебник для вузов. / Н. Н. Фомин, Н. Н. Буга. – М. : Радио и связь, 2003. – 515 с.
5. Липкин И. А. Статическая радиотехника. Теория информации и кодирования / И. А. Липкин. – М. : Вузовская книга, 2002. – 216 с.
6. Яманов Д. Н. Основы электродинамики и распространение радиоволн. Часть 1. Основы электродинамики. / Д. Н. Яманов. – М. : МГТУ ГА, 2002. – 80 с.
7. Золотарев В. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы / В. В. Золотарев, Г. В. Овечкин. – М. : Горячая линия – Телеком. – 2004. – 126 с.
8. Костяков А. Н. Информационные технологии на транспорте : учеб. пособие / А. Н. Костяков. – Чита : ЧитГУ, 2007. – 362 с.
9. Бройдо В. Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации : учебник для вузов / В. Л. Бройдо. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 703 с.: ил.
10. Колин А. В. Расчёт пропускной и провозной способности транспортных магистралей мегаполисов при эксплуатации различных видов городского пассажирского транспорта. / А. В. Колин. – М. : Изд-во МИИТ, 2010. – 133 с.
11. Быховский М. А. Развитие телекоммуникаций. на пути к информационному обществу. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем. / М. А. Быховский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 436 с.
12. Кукк К. И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее / К. И. Кукк. – М. : Горячая линия – Телеком, 2015. – 256 с.

Навчальне видання

ПАВЛЕНКО Тетяна Павлівна,
МОВЧАН-КОБЕЦЬ Анастасія Миколаївна

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка)*

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2018, поз. 213Л.

Підп. до друку 10.04.2019. Формат 60×84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 5,0

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rektorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.