АВР для ЦОД — резервування електроживлення

Схеми N, N+1 і 2N, Tier та рішення ВРП з АВР

Надійність електроживлення ЦОД визначає не лише кількість резервних генераторів або модулів ДБЖ. Критичне навантаження залишиться в роботі тільки тоді, коли після відмови або виведення обладнання на обслуговування зберігаються достатня потужність і працездатний шлях живлення — від джерела до вводу IT-обладнання.

У статті розглянемо відмінності між N, N+1 і 2N, їхній зв’язок із рівнями Tier, роль АВР у схемах ЦОД, а також рішення ВРП з АВР СТАВР для штатних, аварійних і сервісних режимів.

Коротко про головне

• **N** — потужність, необхідна для роботи, без резервного компонента.

• **N+1** — один додатковий компонент потужності, який дозволяє зберегти розрахункове навантаження після відмови одного компонента.

• **2N** — два повноцінні канали, кожен із яких розрахований на 100% критичного навантаження.

• N+1 резервує насамперед потужність, але не обов’язково весь шлях живлення.

• Спільний АВР, шина, байпас або розподільний пристрій може залишатися єдиною точкою відмови.

• Рівень Tier характеризує інженерну інфраструктуру ЦОД загалом, а не окремий АВР, ДБЖ або генератор.

Потужність навантаження і перемикання джерел живлення

Чи вистачить потужності після відмови джерела живлення? Обладнання, що залишилося в роботі, має забезпечувати навантаження після його перерозподілу.

Чи залишиться доступним перемикання на резервне джерело живлення? Справне джерело живлення потрібної потужності має бути з’єднане з навантаженням через працездатні комутаційні апарати, шини та кабельні лінії. Резервування оцінюють по всьому колу — до вводів кінцевого навантаження.

N: необхідна потужність без резервного обладнання

Позначення **N** означає кількість обладнання або потужність, необхідну для забезпечення розрахункового навантаження.

Наприклад, якщо для роботи потрібні два однакові модулі ДБЖ і встановлено саме два, резервного модуля немає. Втрата одного з них може призвести до недостатньої потужності.

При цьому ЦОД може мати мережеве живлення та генератор. Наявність альтернативного джерела живлення не означає резервування кожної одиниці обладнання системи.

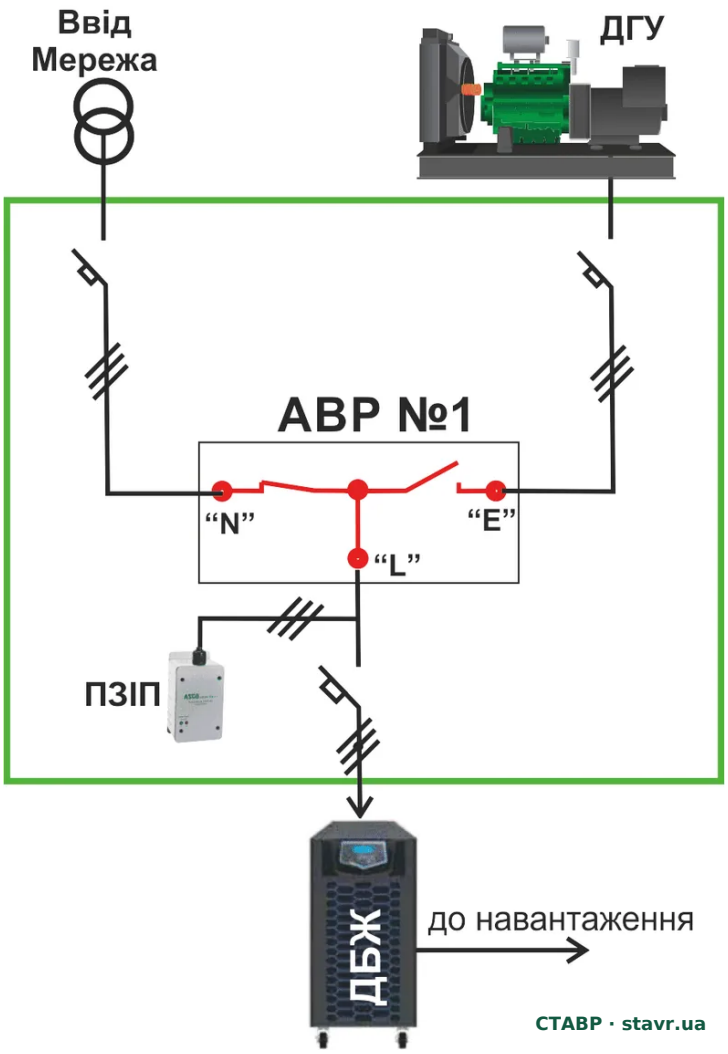

Рисунок 1. Мережа / ДГУ перед ДБЖ: один АВР вибирає джерело живлення для входу ДБЖ. ДБЖ та АВР у цьому прикладі не дублюються. Схема СТАВР зі сторінки «АВР для ДБЖ / UPS».

N+1: один додатковий компонент потужності

У конфігурації **N+1** до потужності, необхідної для роботи, додають один резервний компонент. Це може бути генераторна установка, модуль ДБЖ або інший компонент, який дозволяє зберегти розрахункову потужність після одиничної відмови. Позначення «+1» не обов'язково означає одну окрему фізичну установку.

Розрахунок виконують за потужністю, доступною в реальних умовах експлуатації. Для неоднакових модулів перевіряють втрату найбільшого з них і всі передбачені режими роботи.

N+1 у генераторній частині або ДБЖ не означає N+1 для всієї системи. Спільні АВР, шини, байпаси й розподільні пристрої потребують окремої оцінки.

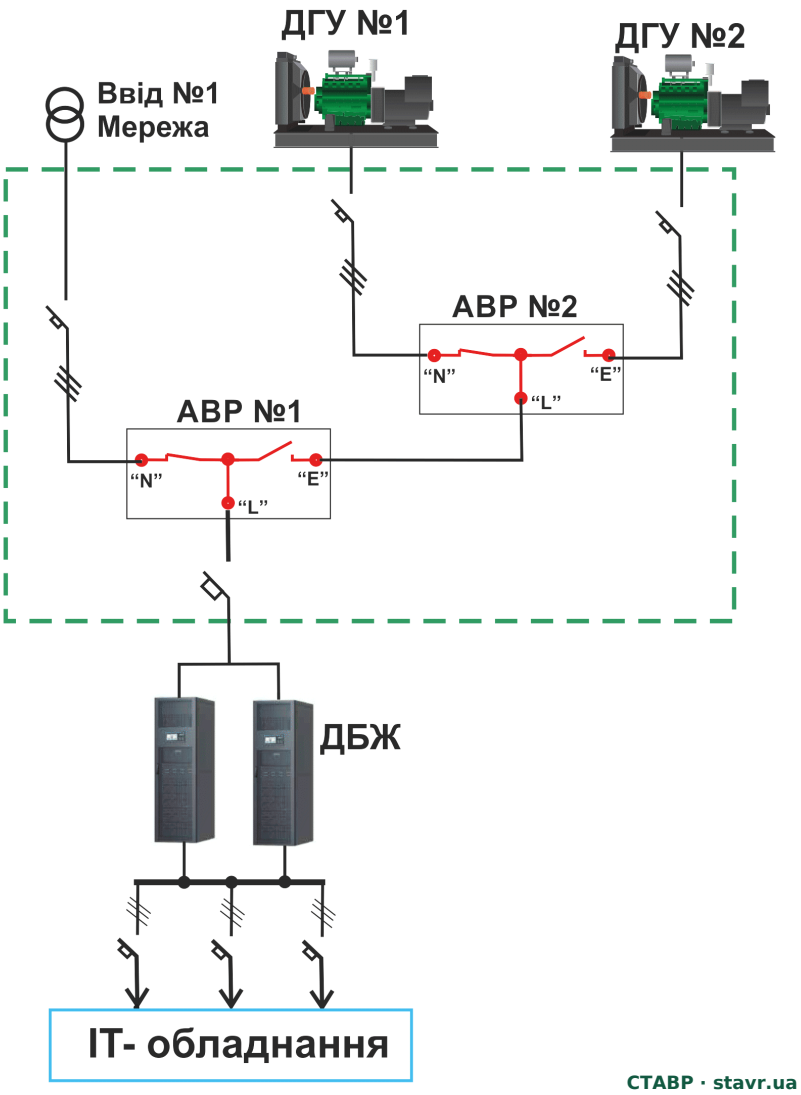

Рисунок 2. Мережа та дві ДГУ з каскадом АВР і паралельною групою ДБЖ. Резервування ДГУ відповідає N+1, якщо одна установка забезпечує потрібне навантаження. Резерв ДБЖ визначається достатністю потужності після відключення одного модуля. АВР і шини залишаються спільними вузлами.

Порівняння принципів резервування

Конфігурація	Що резервується	Що необхідно перевірити
N	Лише потрібна потужність; резервного обладнання немає	Наслідки втрати одного елемента системи
N+1	Потужність: один додатковий компонент	Достатність потужності після відмови; спільні вузли перемикання та розподілу
2N	Два незалежні канали, кожен на 100% критичного навантаження	Незалежність усього кола та окремі вводи A/B до навантаження

Приклад: критичне навантаження 600 кВт

• Два модулі ДБЖ по **300 кВт** — конфігурація **N**. Усі модулі потрібні для роботи.

• Три модулі по **300 кВт**, два з яких забезпечують навантаження, — **N+1**. Після втрати одного залишаються 600 кВт.

• Два незалежні канали **A і B по 600 кВт** кожен — **2N**. Кожен канал здатний прийняти все критичне навантаження.

Додаткова примітка. Якщо кожен канал має власний резервний модуль, конфігурацію можна позначити як **2(N+1)**.

Приклад спрощений: він не враховує коефіцієнт потужності, перевантажувальну здатність, гармоніки, заряд батарей, пускові струми й особливості конкретного обладнання. Це пояснення принципу, а не підбір номіналів.

Додаткова генеруюча потужність не усуває залежності від спільного розподільного вузла. Тому підрахунок модулів завжди доповнюють аналізом комутації, захисту та обслуговування.

2N: два незалежні канали на 100% критичного навантаження

Кожен канал **A і B** повинен забезпечувати 100% розрахункового критичного навантаження. Незалежність зберігають уздовж усього відповідного кола живлення: від джерел живлення до окремих вводів IT-обладнання.

У серверному обладнанні з двома блоками живлення один підключають до A, другий — до B. Кожен блок і канал мають забезпечувати потрібний режим після втрати іншого вводу. Для одноввідного навантаження потрібне окреме рішення, узгоджене з допустимою перервою.

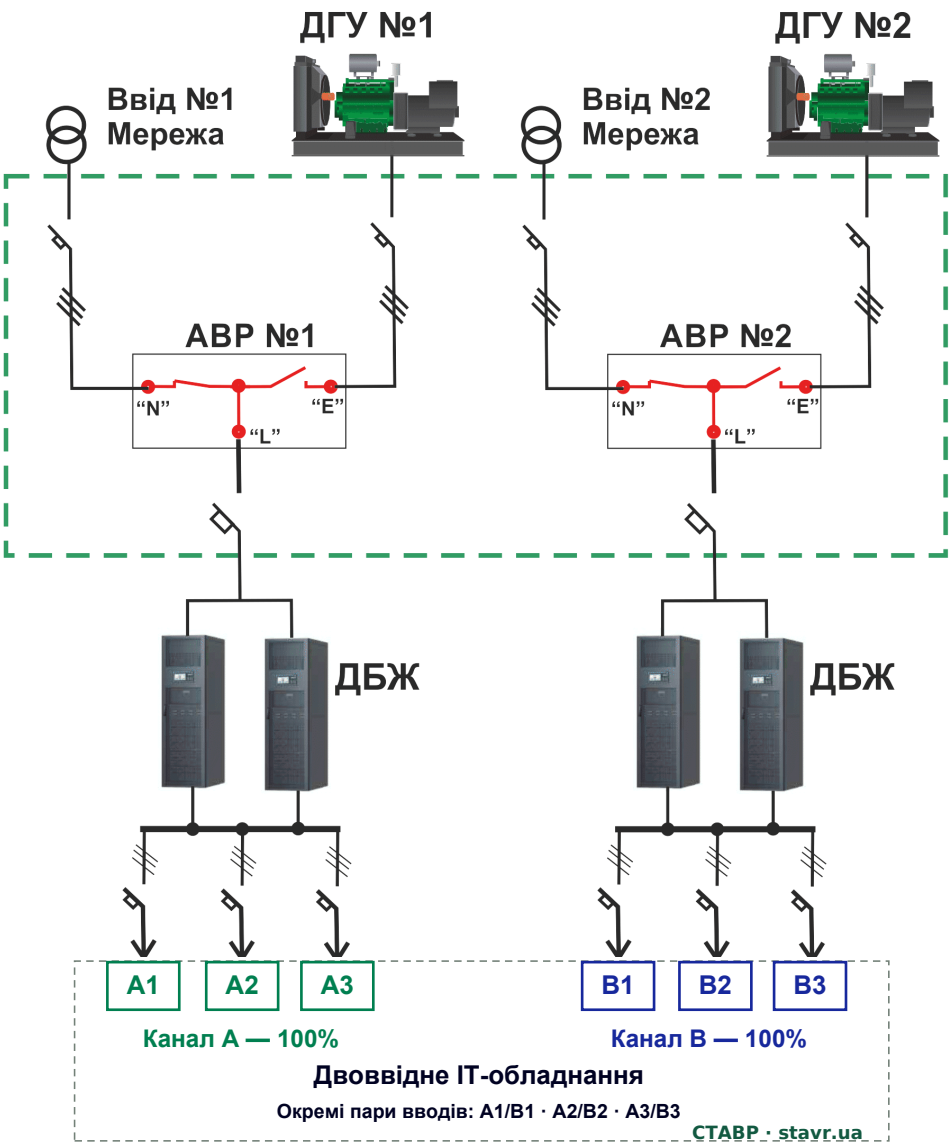

Рисунок 3. Незалежні канали A і B підключені до окремих вводів двоввідного IT-обладнання. Виходи каналів електрично не об'єднані. Кожен канал розраховують на 100% критичного навантаження.

Спільний нерезервований вузол може обмежити властивості архітектури 2N. Перевіряють також спільні системи керування, сервісні режими та вплив відмов одного каналу на інший.

Два канали для окремих груп навантаження

Два мережеві вводи, дві ДГУ та дві групи ДБЖ можуть живити окремі групи IT-навантаження. Таке рішення відрізняється від підключення одного критичного навантаження до двох незалежних каналів за принципом 2N.

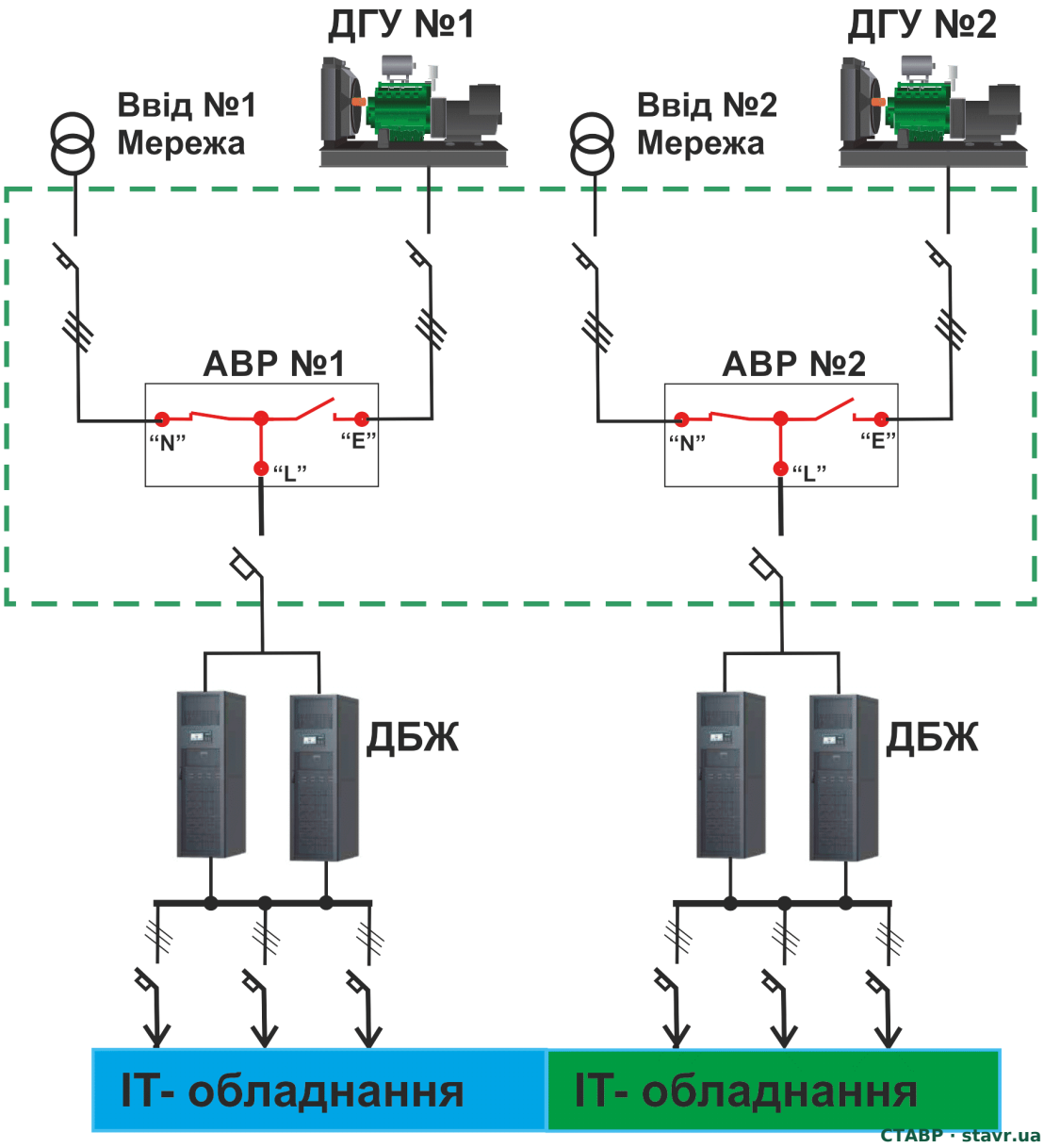

Рисунок 4. Окремі канали живлять різні групи IT-навантаження. Схема не показує передачу навантаження між каналами, тому сама наявність двох каналів не підтверджує 2N для кожної групи.

У кожному каналі АВР перемикає живлення між власним мережевим вводом і ДГУ. Рівень резервування групи ДБЖ визначають за кількістю та потужністю обладнання, необхідними для відповідного навантаження.

Виділений та розподілений резерв

У великих ЦОД резервну потужність можна використовувати за різними принципами.

Виділений резерв. Окрема резервна система може замінити одну з робочих. Наприклад, дві системи забезпечують свої групи навантаження, а третя передбачена для прийняття навантаження однієї з них. Для цього потрібні достатня потужність і відповідні кола та апарати перемикання.

Розподілений резерв. Навантаження розподіляється між кількома системами, кожна з яких має запас для роботи після відмови іншої. Якщо три системи несуть приблизно по третині загального навантаження, після виведення однієї дві інші мають прийняти приблизно по половині.

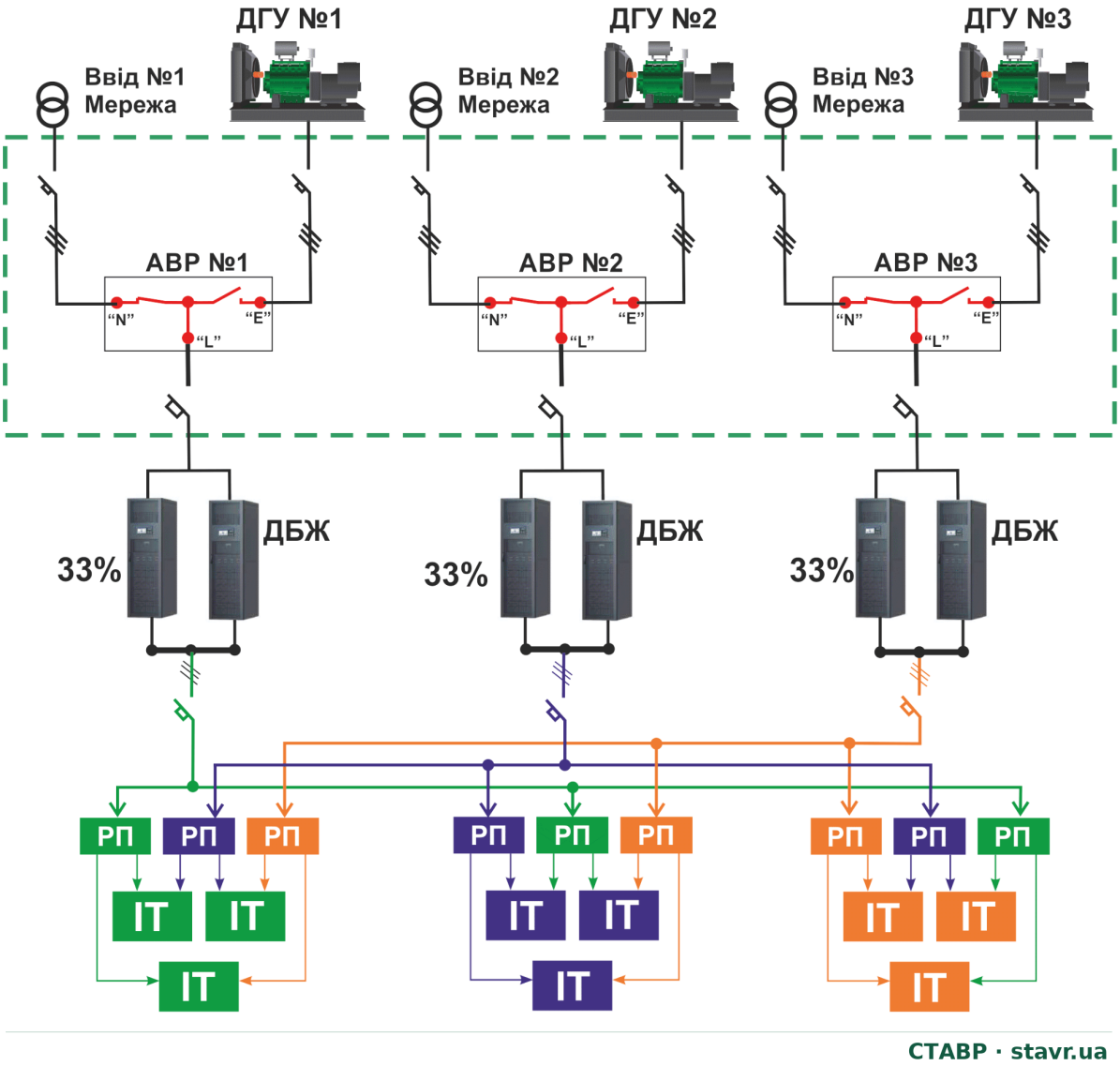

Рисунок 5. Розподілений резерв у штатному режимі: три системи з мережевими вводами, ДГУ, АВР і ДБЖ забезпечують приблизно по третині загального навантаження ЦОД. Значення 33% округлені.

Розподілений резерв після відмови однієї системи

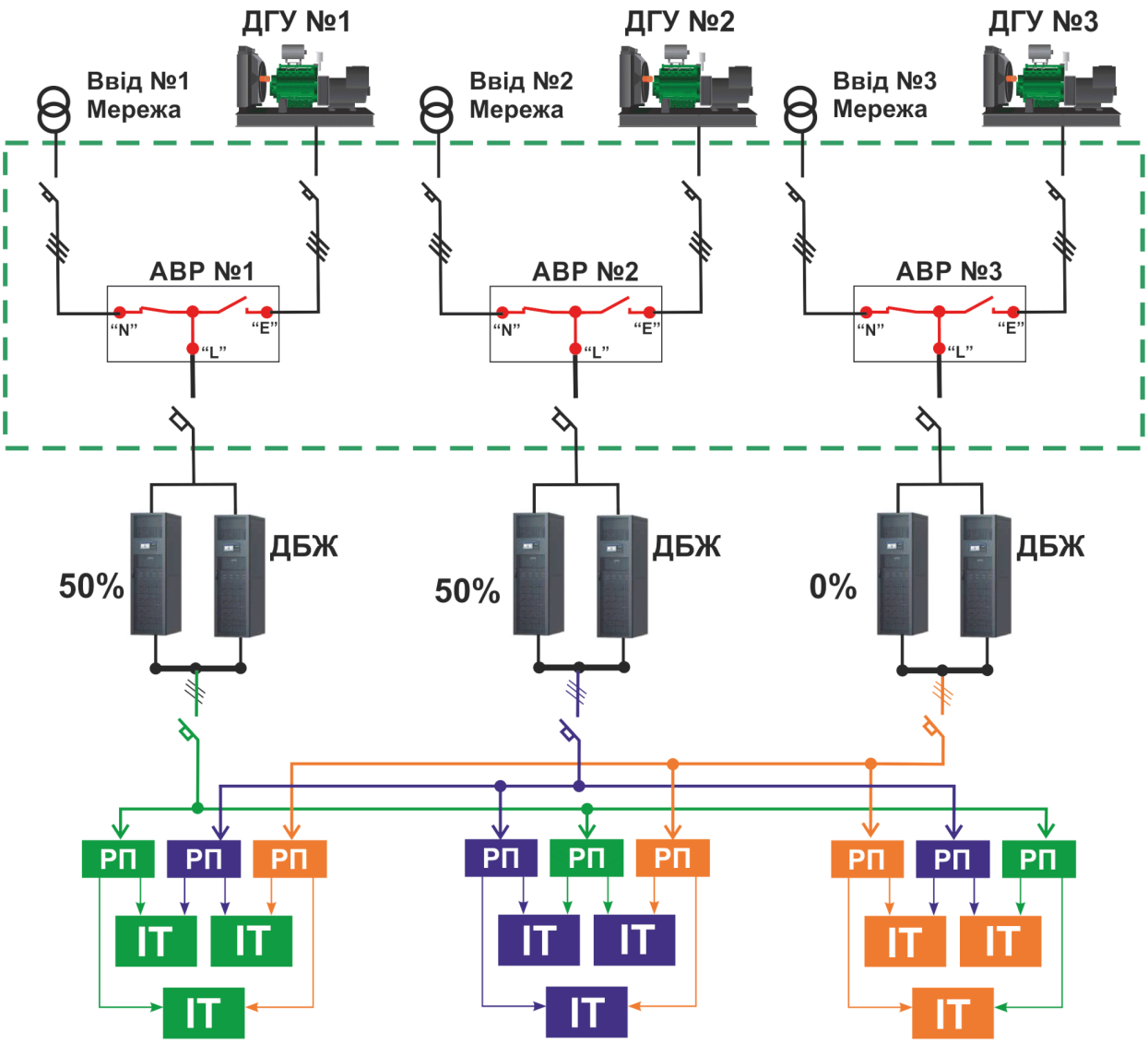

Рисунок 6. Розподілений резерв при недоступності однієї системи: дві інші приймають навантаження та забезпечують приблизно по половині загального навантаження ЦОД.

Ці частки стосуються загального навантаження ЦОД. Потужність кожної установки визначають за найбільшим навантаженням, яке вона повинна забезпечити в передбачених режимах.

Схеми ілюструють принцип розподіленого резерву; відповідність рівню Tier визначають для всієї інженерної інфраструктури ЦОД, а не за окремим рисунком або компонентом.

Як резервування пов’язане з Tier

Класифікація Uptime Institute описує властивості інженерної інфраструктури ЦОД, включно з електроживленням та охолодженням. Вона оцінює результат роботи архітектури, а не лише кількість резервного обладнання.

Рівень і офіційна назва	Основна властивість
Tier I — Basic Capacity	Базова потужність; обслуговування може вимагати зупинки навантаження.
Tier II — Redundant Capacity Components	Резервні компоненти потужності; спільні кола розподілу можуть залишатися обмеженням.
Tier III — Concurrently Maintainable	Планове виведення обладнання та кіл розподілу на обслуговування без зупинки критичного навантаження.
Tier IV — Fault Tolerant	Відмовостійкість на додаток до можливості обслуговування без зупинки.

N+1 не підтверджує автоматично відповідність Tier III, а 2N — Tier IV. Водночас ВРП з АВР СТАВР може бути спроєктований як відповідальний компонент системи електроживлення відповідно до вимог проєкту для цільової Tier-архітектури.

ВРП з АВР СТАВР у структурі резервування ЦОД

ВРП з АВР СТАВР є відповідальним компонентом системи електроживлення ЦОД. Його схема, склад обладнання, блокування, сервісні режими та засоби моніторингу можуть бути спроєктовані відповідно до вимог проєкту для цільового рівня Tier.

Залежно від архітектури ЦОД рішення СТАВР можуть передбачати незалежні канали живлення, сервісний байпас, Dual ATS, синфазне перемикання, закритий перехід і резервоване живлення системи моніторингу. Ці функції забезпечують передбачені проєктом властивості резервування, обслуговуваності та відмовостійкості відповідної частини системи.

Рівень Tier визначається для інженерної інфраструктури ЦОД у цілому. Правильна конфігурація ВРП з АВР СТАВР є необхідною складовою реалізації цільової архітектури; остаточний результат залежить також від джерел живлення, ДБЖ, кіл розподілу, охолодження, систем керування та іншого обладнання об’єкта.

Джерело визначень: Uptime Institute — Tier Classification System.

Чому до надійності АВР висуваються особливі вимоги

Розглянуті схеми показують, як зберегти необхідну потужність після відмови обладнання. Наступне питання — чи зможе система підключити цю потужність до навантаження. У багатьох схемах це залежить від одного АВР.

> **Ключова ідея статті**
>
> **Резервування джерел живлення не означає резервування АВР.**
>
> Два справні джерела ще не гарантують доступності резервного живлення для навантаження, якщо між ними та навантаженням залишається один спільний нерезервований вузол перемикання. У разі його відмови справне резервне джерело може залишитися недоступним.

У системах електроживлення ЦОД відповідно до прийнятої архітектури резервують мережеві вводи, генераторні установки, модулі ДБЖ та інші компоненти потужності. Після відмови одного компонента навантаження має бути забезпечене обладнанням, що залишилося в роботі.

Однак у багатьох схемах перемикання між основним і резервним джерелами живлення виконує один АВР. Додавання другого генератора або резервного модуля ДБЖ саме по собі не дублює цей комутаційний апарат.

Якщо АВР не виконає потрібної операції, справне резервне джерело живлення може залишитися недоступним для навантаження. Одиничний АВР стає спільним відповідальним вузлом, а в межах відповідного кола — потенційною єдиною точкою відмови.

Тому до АВР для ЦОД висувають підвищені вимоги щодо:

• надійності силового механізму та механічних і електричних блокувань;

• контролю фактичного положення комутаційних апаратів і підтвердження виконання команд;

• стійкості до аварійних струмів та узгодження із захистом;

• контролю параметрів джерел живлення та роботи автоматики;

• самодіагностики й реєстрації подій — у комплектаціях, де ці функції передбачені.

Висока надійність АВР зменшує ймовірність відмови, але не замінює архітектурного резервування та можливості обслуговування. Якщо проєкт вимагає виведення АВР з роботи без тривалого знеструмлення критичного навантаження, застосовують зовнішній сервісний байпас або виконання Dual ATS.

В архітектурі 2N недоступність одного каналу може компенсуватися другим. У схемі зі спільним вузлом перемикання працездатність цього вузла безпосередньо визначає можливість переходу на резерв.

Три джерела живлення: каскад двох АВР

Однолінійна схема показує два мережеві вводи та резервне джерело живлення від ДГУ. АВР №1 вибирає один із мережевих вводів, а АВР №2 - живлення від виходу АВР №1 або від ДГУ.

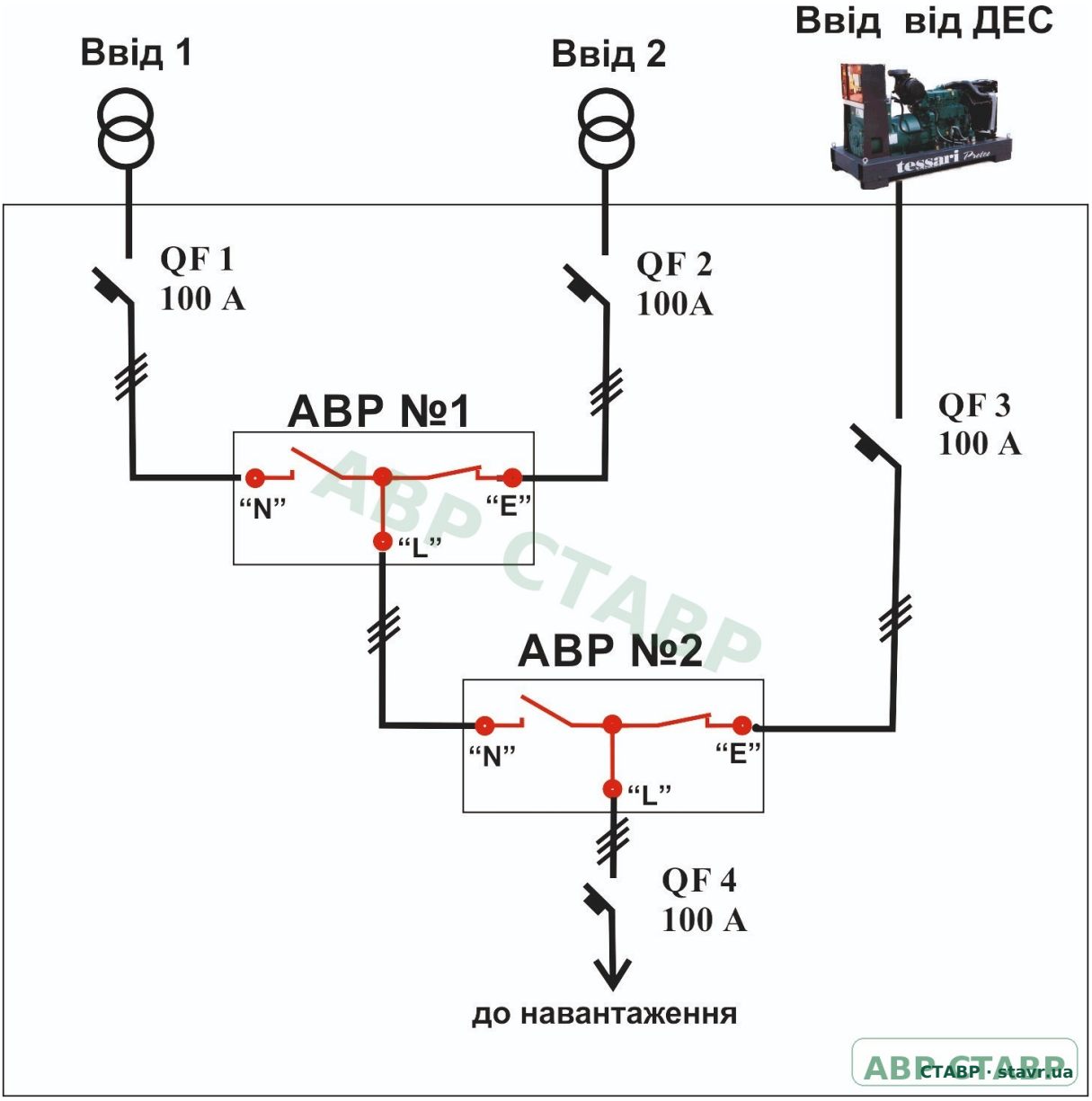

Рисунок 7. Два мережеві вводи та ДГУ через каскад двох АВР. Позначення 100 А на рисунку є умовними номіналами вихідного прикладу, а не рекомендацією для ЦОД. Номінали ВРП визначають розрахунком. Схема СТАВР: АВР на три вводи.

Каскад забезпечує вибір серед трьох джерел живлення, але не дублює функції кожного АВР. Потужність джерел живлення, номінали апаратів, пріоритети та блокування визначають для конкретного навантаження. ДБЖ і подальший розподіл електроживлення на цій схемі не показані.

Резервування живлення навантаження ЦОД із ВРП з АВР СТАВР

Рішення ВРП з АВР СТАВР передбачені для навантажень, розподілених між двома або трьома секціями. Перемикання джерел живлення у цих рішеннях реалізується спеціалізованими апаратами АВР без застосування секційних вимикачів.

Це дозволяє будувати схему відповідно до структури навантаження ЦОД: визначати джерела живлення секцій, їхні пріоритети та порядок переходу на резерв. Конкретну конфігурацію обирають з урахуванням необхідної потужності й допустимих режимів роботи.

ВРП з АВР об’єднує ввід, розподіл, захист і перемикання живлення в комплектному електротехнічному виробі. Силова частина, контролер, блокування, індикація та документація розглядаються як складові однієї системи. ВРП з АВР СТАВР.

Для обслуговування АВР без тривалого знеструмлення навантаження ВРП може комплектуватися **зовнішнім сервісним байпасом** або виконуватися за схемою **Dual ATS**. Обидва рішення дозволяють вивести основний АВР з роботи, але відрізняються способом подальшого перемикання джерел живлення: у режимі сервісного байпаса воно виконується вручну, якщо вибір джерела передбачений схемою, а резервний апарат Dual ATS зберігає автоматичне резервування.

У розглянутих виконаннях перехід на байпас або резервний АВР ініціює оператор. Конкретну схему, послідовність операцій, блокування та контроль стану апаратів визначають під час проєктування.

Для ЦОД із кількома секціями проєкт має дати чіткі відповіді:

• яке джерело живлення живить кожну секцію у штатному режимі;

• куди переходить її навантаження при втраті джерела живлення;

• чи витримує резервне джерело живлення сумарне навантаження після переходу;

• як виконується повернення до штатної схеми;

• які частини можна вивести на обслуговування зі збереженням живлення.

Механічні та електричні блокування запобігають недопустимим комутаційним станам, зокрема внаслідок помилкових дій оператора під час перемикання джерел живлення. У виконаннях із переходом без розриву живлення короткочасне паралельне з’єднання джерел живлення здійснюється автоматично, без участі оператора, після перевірки та за дотримання встановлених умов синхронізму.

Дві секції навантаження з резервом від ДГУ

У наведеному прикладі кожна секція має власний каскад перемикання. АВР №1 і №2 вибирають мережевий ввід, а АВР №3 і №4 перемикають відповідну секцію між мережевим живленням і ДГУ. Секційного вимикача між шинами секцій немає.

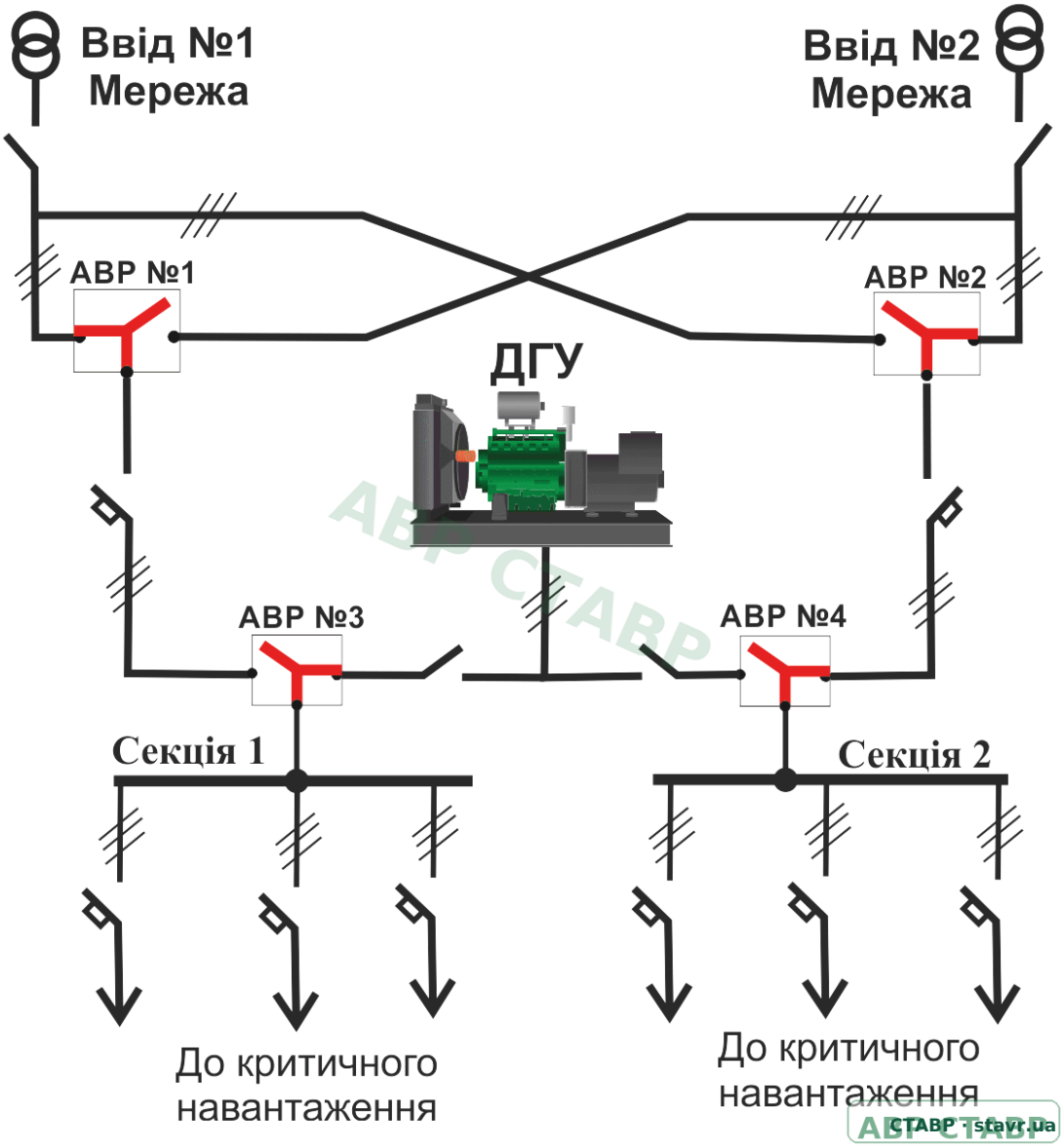

Рисунок 8. Дві секції навантаження, два мережеві вводи та спільна ДГУ. Схема СТАВР: «Дві секції + ДГУ».

Спільна ДГУ повинна забезпечувати навантаження, яке за проєктом переходить на неї. Наявність двох секцій сама по собі не означає архітектуру 2N: незалежність каналів і резервування ДБЖ оцінюють окремо. Схема ілюструє вузол вводу та перемикання, а не повну систему електроживлення ЦОД.

Моніторинг ВРП з АВР: стан і готовність резерву

Для експлуатації ЦОД важлива не лише наявність живлення, а й готовність до наступного перемикання. Недоступний резерв, ручний режим або живлення через байпас потребують уваги персоналу навіть за штатної роботи IT-обладнання.

Об’єкт контролю	Інформація для персоналу
Джерела живлення	Напруга, частота, стан фаз, відповідність установленим межам
Комутаційні апарати	Фактичне положення, джерело живлення секції, підтвердження команд
Режими	Автоматичний, ручний, тестовий, сервісний; положення байпаса
Готовність резерву	Доступність вводів, готовність ДГУ, причини заборони перемикання
Навантаження та аварії	Струм і потужність за наявності засобів вимірювання; спрацювання захистів, невиконані команди

Склад функцій залежить від комплектації. Команда на перемикання та підтверджене положення комутаційних апаратів — різні події. Журнал із часовими позначками та синхронізація часу ВРП, ДБЖ і керування ДГУ дозволяють відновити послідовність роботи.

До BMS/DCIM передають передбачені проєктом сигнали через узгоджені протоколи або сухі контакти. **Локальна автоматика та блокування мають виконувати свої функції незалежно від диспетчерського зв’язку.**

Контроль при зникненні всіх джерел живлення

Для збереження контролю при повному зникненні джерел живлення проєктом доцільно передбачити автономне резервне живлення системи моніторингу.

Протягом визначеного часу автономності зберігають реєстрацію втрати й відновлення вводів, контроль положення апаратів, журнал подій, місцеву індикацію та передавання аварійних повідомлень.

Живлення забезпечують для всього необхідного ланцюга: контролерів, засобів отримання сигналів, місцевої індикації, шлюзів, мережевих комутаторів та обладнання зв’язку. Інакше контролер зафіксує подію, але диспетчер її не отримає.

Час автономності визначають за сценарієм повного знеструмлення й часом реагування персоналу. Несправність резервного живлення, низький заряд або втрата готовності мають формувати попередження; автономність перевіряють під фактичним навантаженням.

Сервісний байпас і Dual ATS: різновиди та порядок роботи

Під час обслуговування потрібно окремо вирішити два завдання: зберегти живлення навантаження та визначити, як перемикатимуться джерела живлення після виведення основного АВР.

Виконання	Живлення після виведення АВР	Перемикання джерел живлення	Участь оператора
Базовий сервісний байпас	Від визначеного схемою вводу	Недоступне або ручне поза АВР	Обов’язкова
Байпас із вибором джерела живлення	Від одного з дозволених схемою вводів	Ручне	Обов’язкова
Dual ATS	Через резервний АВР	Автоматичне	Потрібна для переходу між основним і резервним АВР

Сервісний байпас не є другим АВР. Він забезпечує обхід та ізоляцію основного апарата, але в базовому виконанні не зберігає автоматичного перемикання джерел живлення.

У розглянутих рішеннях СТАВР перехід з основного АВР на байпас виконує оператор. Переведення навантаження на резервний апарат Dual ATS також ініціюється оператором. Після цього резервний АВР зберігає автоматичне перемикання між доступними джерелами живлення.

Таким чином, можливість роботи резервного АВР в автоматичному режимі не слід плутати з автоматичним переведенням навантаження з основного апарата на резервний. Порядок переходу та повернення визначає експлуатаційна інструкція конкретного виконання.

Проєкт має визначати доступні в сервісному режимі вводи, послідовність ізоляції обладнання, допустимі операції та відновлення автоматичної роботи. Стан байпаса і перехід у сервісний режим відображають у моніторингу.

CTTS може визначати режим перемикання окремого апарата, але саме по собі не забезпечує його обходу або дублювання. Наявність байпаса також не означає наявність Dual ATS.

Зовнішній сервісний байпас: базове виконання

На схемі показано найпростіше виконання зовнішнього сервісного байпаса - живлення навантаження безпосередньо від основного вводу в обхід АВР. За вимогами проєкту можливе виконання байпаса з ручним перемиканням між основним і резервним джерелами живлення.

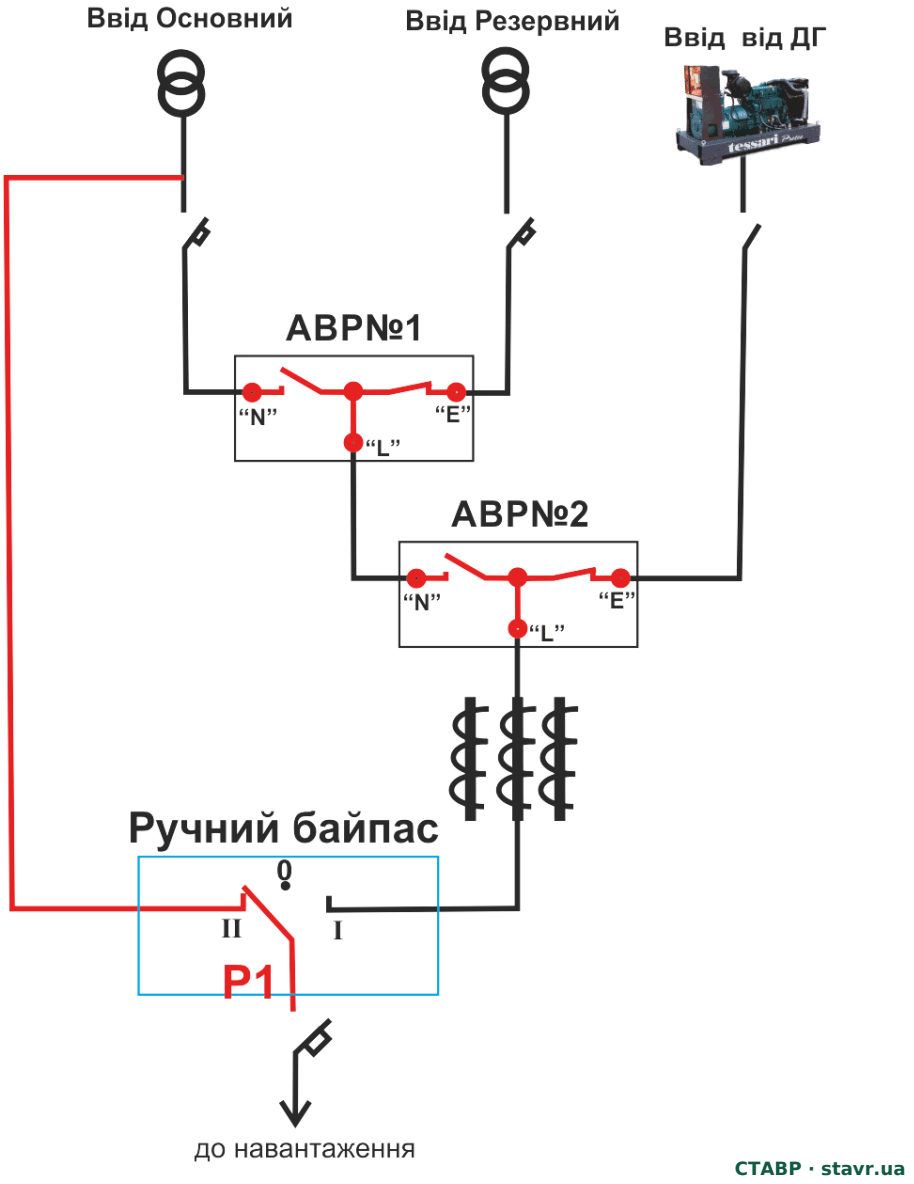

Рисунок 9. Зовнішній ручний байпас каскаду двох АВР. Положення P1: I - живлення через АВР; 0 - відключення; II - живлення безпосередньо від основного вводу. Показано базове виконання: живлення безпосередньо від основного вводу, без автоматичного резервування. Байпас із ручним вибором джерела живлення — окреме виконання.

Для обслуговування АВР переведення P1 на байпас доповнюють відключенням відповідних вхідних апаратів за встановленою процедурою. Переведення на ручний байпас супроводжується короткочасною перервою живлення. У цей час справний ДБЖ, розташований після вузла перемикання та з достатнім запасом енергії, підтримує критичне навантаження. Тривалість перерви залежить від конструкції апарата та регламенту перемикання.

Синфазне перемикання та перехід без розриву живлення

Окрім структури резервування, для відповідальних навантажень важливий спосіб переходу між джерелами. Синфазне перемикання дає змогу виконати перехід у сприятливий момент і зменшити перехідні процеси. Якщо під час планового перемикання перерва живлення неприпустима, застосовують CTTS — АВР із закритим переходом і короткочасною паралельною роботою синхронізованих джерел.

Безрозривний перехід CTTS можливий між двома справними та синхронізованими джерелами. У разі раптового зникнення робочого джерела безперервність живлення критичного навантаження до підключення резерву має забезпечувати ДБЖ.

Синфазне перемикання і CTTS не замінюють резервування N+1 або 2N та самі по собі не визначають рівень Tier. Вони вирішують окреме завдання — забезпечують необхідну якість і безперервність переходу між джерелами.

Докладніше на сайті СТАВР

Синфазне перемикання джерел — **Відкрити технічний опис →**

АВР без розриву живлення — CTTS — **Відкрити технічний опис →**

Перевірка системи в передбачених режимах

Рішення перевіряють за погодженою програмою: втрата кожного вводу, недоступність резерву, навантаження після перерозподілу, блокування й фактичні положення апаратів, взаємодія з ДБЖ, повернення до штатної схеми, сервісні операції та відновлення автоматичної роботи.

Окремо перевіряють умови дозволу й заборони закритого переходу, результат синфазного перемикання для конкретного ДБЖ, журнал подій і передавання повідомлень. Резервне живлення моніторингу та зв’язку випробовують при втраті всіх контрольованих джерел живлення під фактичним навантаженням.

Вибір рішення для ЦОД

Умова проєкту	Доцільне рішення
Два джерела живлення; допустима коротка перерва	АВР із відкритим переходом
Три джерела живлення	Каскад двох АВР
Потрібно мінімізувати залучення батарей ДБЖ	Швидкодіюче синфазне перемикання; перевірка з конкретним ДБЖ
Потрібен перехід без розриву живлення	CTTS / закритий перехід між двома працездатними джерелами живлення
Потрібне обслуговування АВР зі збереженням живлення	Зовнішній сервісний байпас; урахування перерви під час переходу
Потрібне обслуговування зі збереженням автоматичного резервування	Dual ATS; оператор переводить навантаження на резервний апарат
Потрібен контроль готовності резерву	Моніторинг, журнал подій і передавання даних до BMS/DCIM

Остаточне рішення визначається проєктом, характеристиками джерел живлення, структурою навантаження, допустимими режимами роботи та вимогами до обслуговування.

Вихідні дані для розроблення ВРП з АВР

Щоб визначити конфігурацію та перевірити роботу системи, необхідно надати або узгодити:

• однолінійну схему;

• кількість і тип джерел живлення;

• номінальну напругу;

• розрахунковий струм;

• потужність і категорію критичного навантаження;

• розрахунковий струм короткого замикання;

• наявність і характеристики ДГУ, ДБЖ або BESS;

• допустиму тривалість перерви;

• необхідність синфазного або закритого переходу;

• спосіб перемикання нейтралі;

• вимоги до сервісного байпаса або Dual ATS;

• вимоги до моніторингу;

• потрібні протоколи диспетчеризації;

• перелік сигналів і команд.

Надійність електроживлення ЦОД визначається не лише кількістю резервних джерел, а здатністю всієї системи гарантовано передати їхню енергію до навантаження.

Надішліть однолінійну схему або технічне завдання. Фахівці СТАВР перевірять сценарії резервування, навантаження джерел після перемикання, сервісні режими та запропонують конфігурацію ВРП з АВР для вашого ЦОД.

ВРП з АВР СТАВР проєктуються як відповідальні компоненти систем електроживлення ЦОД з урахуванням цільового рівня Tier, передбачених сценаріїв відмови, вимог до обслуговування та структури резервування об’єкта.

Схеми СТАВР ілюструють принципи резервування та приклади реалізації. Для конкретного ЦОД склад обладнання, номінали, захисти й режими визначають проєктом.