РЕЗЮМЕ ТЕХНІЧНОЇ БРОШУРИ

Захист мереж із генерацією з обмеженим струмом короткого замикання: резюме CIGRE TB 896 «Protection for developing network with limited fault current capability of generation» (WG B5.48, 2023)

Відділ перспективного розвитку · листопад 2026 р.

Перелік скорочень

Скорочення	Повна назва
CIGRE	Conseil International des Grands Réseaux Électriques — Міжнародна рада з великих електричних систем
DFIG	Doubly-Fed Induction Generator — асинхронний генератор подвійного живлення (ВЕС типу III)
EMT	Electromagnetic Transients — моделювання електромагнітних перехідних процесів
FRT / LVRT	Fault Ride-Through / Low Voltage Ride-Through — здатність залишатися в роботі під час КЗ / провалів напруги
HVDC / VSC-HVDC	High Voltage Direct Current — передача постійним струмом високої напруги; на перетворювачах напруги
IBR	Inverter-Based Resources — інверторні джерела (ВЕС, СЕС, УЗЕ, підключені через силову електроніку)
IEC	International Electrotechnical Commission — Міжнародна електротехнічна комісія
IED	Intelligent Electronic Device — мікропроцесорний пристрій РЗА
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers — Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (США)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor — біполярний транзистор з ізольованим затвором
NC RfG	Network Code on Requirements for Generators — мережевий кодекс ЄС щодо вимог до приєднання генераторів (Регламент 2016/631)
NDZ	Non-Detection Zone — зона нечутливості захисту від острівного режиму
PMSG	Permanent Magnet Synchronous Generator — синхронний генератор з постійними магнітами (ВЕС типу IV)
RMS	Root Mean Square — моделювання за діючими значеннями (електромеханічні процеси)
SC B5	Study Committee B5 «Protection and Automation» — Дослідницький комітет CIGRE «Захист і автоматика»
TB	Technical Brochure — технічна брошура CIGRE
VSC	Voltage Source Converter — перетворювач (інвертор) напруги
WG	Working Group — робоча група CIGRE
АПВ	Автоматичне повторне вмикання
ВДЕ	Відновлювані джерела енергії
ВЕС / СЕС	Вітрова / сонячна електростанція
ГПУ	Газопоршнева установка
КЗ	Коротке замикання
КСП / КСР	Кодекс системи передачі / Кодекс систем розподілу

Скорочення	Повна назва
ОЕС	Об’єднана енергетична система України
ОКІ	Об’єкт критичної інфраструктури
ОСП / ОСР	Оператор системи передачі / оператор системи розподілу
ПЛ / ПС	Повітряна лінія електропередачі / підстанція
РГ	Розподілена генерація
РЗА	Релейний захист і автоматика
СЗЗ	Струмовий захист нульової послідовності
ТН / ТС	Трансформатор напруги / трансформатор струму
ТУ	Технічні умови на приєднання
УЗЕ	Установка зберігання енергії
ЄС	Європейський Союз

Зміст

1. Про джерело 4
2. Головне коротко 4
3. Чому струм КЗ від інверторних джерел «інший» 5
3.1. Нова генерація: ВЕС, СЕС, накопичувачі 5
3.2. Нові мережі: активні розподільні мережі, мікромережі, мережі постійного струму 6
3.3. Моделі для розрахунку струмів КЗ 6
4. Вплив на традиційні функції захисту 7
5. Нові принципи захисту, запропоновані у брошурі 8
6. Практика приєднання РГ і захисту розподільних мереж (Китай) 9
7. Підсумкові висновки брошури та розвиток теми після 2023 р. 9
8. Висновки для України 10
9. Джерела 12

Позначення джерел у тексті: [1] — брошура ТВ 896 (основне джерело); [2]–[7] — зовнішні джерела; [Б1]–[Б3] — база знань проєкту. Оцінки, що не випливають безпосередньо з джерел, позначено як «оцінка авторів записки».

1. Про джерело

ТВ 896 — технічна брошура Дослідницького комітету CIGRE SC B5 «Захист і автоматика», підготовлена робочою групою **WG B5.48** (керівник — T. Bi, Китай; секретар — K. Jia, Китай). Склад групи — 18 фахівців із 13 країн: Китаю, Великої Британії, Індії, Австралії, Бельгії, ПАР, Канади, Німеччини, Швеції, Нової Зеландії, Румунії, Іспанії та США. Видання — квітень 2023 р., 120 с. [1].

Мета брошури — дослідити захист мереж, у яких частка генерації з обмеженим струмом КЗ (BEC, CEC, накопичувачі, підключені через інвертори) постійно зростає. Брошура послідовно розглядає: стан і перспективи ВДЕ в Китаї, США, Європі, Канаді та Індії; характеристики нових джерел; нові типи мереж; моделі розрахунку струмів КЗ; вплив на окремі функції захисту; нові принципи захисту та практику енергокомпаній [1].

Як читати брошуру (оцінка авторів записки). Це передусім огляд досліджень, а не практична настанова з налаштування РЗА:

- більшість прикладів і нових методів походить з китайських університетів і мереж; статистика ВДЕ — станом на 2018–2020 рр.;
- частина матеріалу стосується захисту лише опосередковано: регулювання напруги з багатоагентною системою, віртуальний імпеданс у мікромережах, стенди системної автоматики ліній постійного струму надвисокої напруги;
- інвертори з функцією формування мережі (grid-forming) і вимоги мережевих кодексів до струму КЗ майже не розглянуто;
- брошура сама визнає, що запропоновані нові принципи захисту здебільшого перебувають на стадії досліджень і ще не застосовані в промисловості [1].

Попри це, ТВ 896 залишається базовим документом CIGRE щодо цієї проблеми: її цитує голова SC B5 у публікації 2025 р. як основу подальших робіт комітету [2]. Анотацію брошури опубліковано в журналі Electra № 328 [7].

2. Головне коротко

- **Струм КЗ інверторного джерела задає система керування, а не фізика машини.** Він обмежений за амплітудою, має кероване фазове зміщення та містить гармоніки й неосновну частоту. Синхронний генератор дає до ≈10 Іном, інвертор — лише 1,2–1,5 Іном (рис. 1) [1].
- **Інверторне джерело в розрахунках КЗ — це кероване джерело струму, а не ЕРС за опором.** Його внесок залежить від напруги в точці приєднання, тому розрахунок потребує ітерацій [1].
- **Деградацію виявлено в усіх класичних захистах:** струмових, дистанційних, диференційних і тих, що використовують канали зв’язку. Можливі як відмови, так і хибні спрацювання [1].
- **Найуразливіші — дистанційний захист на стороні станції ВДЕ та струмові захисти розподільних мереж** з двобічними перетоками. Диференційний захист теж може відмовити, якщо інвертор пригнічує струм зворотної послідовності [1], [2].

– **Найменше залежать від ВДЕ захисти на перехідних процесах (хвильові)**: їхня робота визначається параметрами лінії, а не джерела [2].
– **Запропоновано шість нових принципів захисту** (порівняння фаз аварійних складових, подібність форми струмів, високочастотний дистанційний захист тощо). Усі перевірено лише моделюванням і на стендах [1].
– **Практика енергокомпаній:** після приєднання РГ уставки РЗА розподільної мережі треба перераховувати; для РГ потрібні захист від острівного режиму, реєстрація аварійних процесів і правила повторного приєднання [1].

3. Чому струм КЗ від інверторних джерел «інший»

3.1. Нова генерація: ВЕС, СЕС, накопичувачі

Брошура розрізняє три групи джерел, принципово відмінних від синхронних генераторів [1]:

– **ВЕС типу III (DFIG)** — статор приєднано до мережі напряму, ротор — через перетворювач часткової потужності. Під час близького КЗ спрацьовує захист ротора (crowbar), і генератор на десятки мілісекунд поводиться як асинхронна машина. Далі вмикаються розмагнічувальне керування, видача реактивного струму, обмежувач напруги ланки постійного струму (chopper) і аварійне регулювання кута лопатей. Відгук ВЕС на КЗ — **розривний, високого порядку та нелінійний**, і класичні методи розрахунку КЗ його не описують.
– **ВЕС типу IV (PMSG) і СЕС** — уся потужність проходить через інвертор, тож струм КЗ повністю визначається системою керування. Під час провалу напруги нижче 90 % зовнішній контур регулювання блокується, і інвертор видає задані активний і реактивний струми в межах свого перевантаження (у брошурі як приклад наведено вимоги німецьких правил приєднання до мереж середньої напруги).
– **Накопичувачі та електромобілі** — також підключені через силову електроніку, тому їхні аварійні характеристики аналогічні. Розділ про них у брошурі присвячено переважно регулюванню напруги в мережах низької напруги з високою часткою СЕС.

Рисунок 1. Кратність струму КЗ синхронних та інверторних джерел



Джерело: [1], розд. 4.1 і 5.2.2. Значення орієнтовні; фактична кратність залежить від налаштувань інвертора.

Таблиця 1. Порівняння аварійних характеристик джерел

Характеристика	Синхронний генератор	ВЕС типу III (DFIG)	ВЕС типу IV, СЕС, УЗЕ
Що визначає струм КЗ	ЕРС і опір машини	Магнітні потоки машини + перетворювач ротора + crowbar	Лише система керування інвертора
Амплітуда	Висока, до ≈10 Іном	Висока в перші періоди (з crowbar), далі обмежена	Обмежена, 1,2–1,5 Іном
Фаза струму	Визначена кутом опору мережі	Залежить від стану керування	Задається керуванням; може бути будь-якою
Зворотна послідовність	Є, природна	Є, залежить від керування	Часто пригнічується керуванням
Гармоніки, частота	Основна частота + аперіодична складова	Складова частоти обертання ротора, аперіодична	Низькі гармоніки, неосновна частота
Модель для розрахунку КЗ	ЕРС за опором	Кусково-лінійна модель високого порядку	Кероване джерело струму, залежний від напруги

Джерело: [1], розд. 2, 4, 5; узагальнення авторів записки.

3.2. Нові мережі: активні розподільні мережі, мікромережі, мережі постійного струму

– **Активна розподільна мережа** (поняття CIGRE C6.11, 2008 р.) — мережа, що активно керує РГ, навантаженням і накопичувачами. Коли частка РГ велика, двобічні перетоки виникають не лише на низькій, а й на середній і навіть високій напрузі. Через це струмові захисти, розраховані на однобічне живлення, можуть хибно спрацьовувати. Брошура рекомендує ставити захисти з обох боків лінії та використовувати канали зв’язку між ними [1].

– **Мікромережі.** Розділ присвячено вибору віртуального імпедансу в системах керування інверторів зі статизмом (droop). Для РЗА це має непряме значення: віртуальний імпеданс змінює потокорозподіл і відгук джерел, тому розрахунки захисту острова мають враховувати фактичні налаштування керування (оцінка авторів записки).

– **Мережі постійного струму та VSC-HVDC.** Під час двополюсного КЗ струм спочатку створює розряд конденсаторів ланки постійного струму, потім — некерований випрямляч. IGBT закриваються при струмі понад 2 Іном, тож захист має спрацювати за перші мілісекунди. У прикладі брошури пікове значення струму досягає ≈30-кратного робочого протягом 1 мс [1].

3.3. Моделі для розрахунку струмів КЗ

Брошура пропонує моделі для двох рівнів мережі [1]:

– **Передача (ВЕС типу III).** Окремо розраховують режими без спрацювання та зі спрацюванням crowbar. Якщо затримка спрацювання менша за 5 мс, нею можна знехтувати; якщо більша — треба враховувати початковий стан магнітного потоку ротора.

– **Інверторні станції.** Інвертор моделюють як кероване джерело струму: задані активний і реактивний струми залежать від залишкової напруги в точці приєднання, з урахуванням обмеження за перевантаженням.
– **Розподільна мережа з кількома джерелами РГ.** Розрахунок ітераційний: спочатку вважають напругу на джерелах номінальною, за результатами розрахунку визначають нові струми джерел і повторюють, доки напруга не перестане змінюватися.

Ключова теза розділу: модель струму КЗ інверторного джерела можна побудувати лише «від системи керування» — з урахуванням топології та параметрів конкретного обладнання [1]. Отже, без даних виробника коректний розрахунок РЗА неможливий.

4. Вплив на традиційні функції захисту

Брошура аналізує кожну групу захистів і підтверджує висновки моделюванням, зокрема на цифровому комплексі реального часу (RTS) [1]. Результати зведено в табл. 2.

Таблиця 2. Вплив інверторних джерел на функції захисту

Захист	Що відбувається	Результат у брошурі	Наслідок
Максимальний струмовий (розподільні мережі)	Малий струм від РГ; двобічні перетоки; зміна напрямку і величини струму КЗ	Хибні спрацювання через зворотний перетік; зниження чутливості	Перерахунок уставок; захисти з обох боків; напрямлені елементи
Дистанційний (лінії видачі потужності ВДЕ)	Відношення струмів мережі та станції велике, фаза довільна (0–360°) → великий додатковий опір у перехідному опорі КЗ	КЗ через 5 Ом посередині лінії: на стороні станції опір не потрапляє в зону — відмова; на стороні мережі — спрацювання	Не покладатися на I зону з боку станції ВДЕ
Диференційний струмовий лінії	Фази струмів на кінцях лінії задає керування інвертора; при пригніченні зворотної послідовності кут між струмами може перевищити 90°	Двофазне КЗ: відношення диференційного струму до гальмівного — 0,72 при уставці 0,8 → відмова	Перевіряти поведінку інверторів у несиметричних режимах
Напрямлений з каналом зв’язку (розподільна мережа)	Класичні органи напрямку працюють гірше через малий і «керований» струм	Запропоновано порівняння фаз аварійних складових прямої послідовності — без ТН	Див. розд. 5
Хвильовий (вибір лінії при замиканні на землю, 10–35 кВ)	Перша хвиля струму на пошкодженій лінії значно більша за інші й протилежна за знаком	Ознака не залежить від режиму нейтралі (ізольована, компенсована, резистивна)	Перспективний для мереж з ізольованою нейтраллю
Захист від острівного режиму	Коли потужність РГ ≈ навантаженню, напруга й частота майже не змінюються	Пасивні методи мають зону нечутливості; активні погіршують якість електроенергії і «розмиваються» за кількох інверторів	Поєднання методів; координація з АПВ мережі

Джерело: [1], розд. 5.2–5.4.

Захист від острівного режиму. Брошура наводить граничні часи виявлення острова за IEEE Std 1547 (табл. 3). Острівний режим, що виник ненавмисно, створює загрозу для

персоналу, обладнання та роботи АПВ, тому стандарти UL 1741, IEEE Std 929 і IEEE Std 1547 вимагають від інверторів функції захисту від нього [1].

Таблиця 3. Граничний час виявлення острівного режиму за IEEE Std 1547

№	Напруга в точці приєднання	Частота	Час, с
1	U < 0,5 Uном	fном	0,16
2	0,5 Uном ≤ U < 0,88 Uном	fном	2
3	1,10 Uном ≤ U < 1,20 Uном	fном	1
4	U ≥ 1,20 Uном	fном	0,16
5	Uном	f < fном − 0,7 Гц	0,16
6	Uном	f > fном + 0,5 Гц	0,16

Джерело: [1], табл. 21 (за IEEE Std 1547).

Висновок розділу. За брошурою, деградація роботи притаманна всім класичним захистам — струмовим, дистанційним, диференційним і тим, що використовують канали зв'язку [1]. Найбільш стійкі до впливу ВДЕ — хвильові захисти і, з обмеженнями, диференційні: вони спираються на властивості лінії, а не джерела [2].

5. Нові принципи захисту, запропоновані у брошурі

У розділі 6 брошура описує шість нових методів, три з яких — для мереж постійного струму (табл. 4). Об'єднує їх спільна ідея: використовувати ознаки, які не залежать від амплітуди струму КЗ, — знак і швидкість зміни струму, фазу, форму хвилі, високочастотні складові.

Таблиця 4. Нові принципи захисту в ТВ 896

Метод	Мережа	Принцип	Результати перевірки
Диференційний за приростом струму	Постійного струму	Порівняння знаків нахилу низькочастотних (до 500 Гц) приростів струму на кінцях лінії; вікно 2 мс; дискретизація 10 кГц	Правильна робота при опорі в місці КЗ 0,01–5 Ом (моделювання)
За похідною струму	Постійного струму	Величина di/dt у перші мілісекунди залежить від місця КЗ	Моделювання
За перехідною напругою (енергією)	Постійного струму	Різниця перехідної енергії для внутрішніх і зовнішніх КЗ	Розрізнення КЗ при перехідному опорі до 50 Ом
Розподілений захист цифрової ПС з перекриттям зон	Змінного струму, ПС	Багатоагентна система; обмін даними за IEC 61850 (GOOSE); резервування за рахунок перекриття зон	Робота за відмов каналу зв'язку чи вимикача; резервне вимкнення через 200 мс
Подібність форми струмів (косинусна міра)	Лінії видачі потужності BEC/CEC	Порівняння форми струмів на кінцях лінії у вікні 10 мс	Рішення за ≈2 мс після КЗ; перехідний опір до 120 Ом; RTS + цифровий пристрій
Дистанційний за високочастотними складовими	Постійного струму (з ММС)	На високих частотах опір перетворювача сталий і не залежить від стану ключів; без каналу зв'язку	Селективна робота при 10 Ом і шумі 30 дБ

Джерело: [1], розд. 6.2. Усі результати отримано моделюванням або на лабораторних стендах.

Для мереж змінного струму практичний інтерес становлять два методи. **Напрямлений захист за фазою аварійних складових прямої послідовності** (розд. 5.2.4 брошури): при зовнішньому КЗ різниця фаз на кінцях лінії ≈0°, при внутрішньому — не менше 48°. На моделі мережі 10,5 кВ з двома джерелами РГ по 3 МВА отримано 73° для трифазного, 65,6° — для двофазного і 51° — для двофазного КЗ через 10 Ом. Метод не потребує ТН, що здешевлює його для розподільних мереж [1]. **Захист за подібністю форми струмів** розрахований на лінії видачі потужності ВЕС і СЕС: струм від ВДЕ і від синхронної мережі різний за формою, тож при внутрішньому КЗ форми струмів на кінцях лінії розходяться незалежно від їхньої амплітуди [1].

6. Практика приєднання РГ і захисту розподільних мереж (Китай)

Розділ 6.3 брошури узагальнює вимоги та практику китайських енергокомпаній. Вихідна теза: після приєднання РГ напрям і величина струму КЗ змінюються залежно від типу, місця і потужності РГ, і ця проблема «належно не розв’язана». Тому після приєднання РГ релейний захист розподільної мережі треба перераховувати з урахуванням усіх чинників [1].

Таблиця 5. Вимоги до захисту при приєднанні РГ

Аспект	Вимога (за [1])
Захист елементів	Генератори синхронного й асинхронного типу та їхні трансформатори — з надійним захистом; РГ має виявляти КЗ з боку мережі (зокрема однофазні на землю) і обрив фази та швидко від’єднуватися; захисти мінімальної та максимальної напруги
Захист лінії приєднання	Бажано окрема лінія з диференційним захистом на оптичному каналі; допускається відпайка із захистами за струмом і напругою, якщо виконано вимоги надійності, селективності, чутливості та швидкодії
Острівний режим	Синхронна й асинхронна РГ — без окремого захисту, але час вимкнення узгоджують із захистом лінії, щоб уникнути несинхронного вмикання; інверторна РГ — обов’язкове швидке виявлення острова й від’єднання, узгоджене із захистом лінії
Реєстрація аварій	На ПС з РГ 6–35 кВ — реєстратор аварійних процесів із записом від 10 с до і до 60 с після КЗ
Повторне приєднання	Лише після повернення напруги й частоти в норму; РГ 0,38 кВ — із затримкою понад 20 с (точне значення задає диспетчерська служба); РГ 6–35 кВ — лише з дозволу диспетчера
АПВ ліній з двобічним живленням (Цзянсу)	З боку системи — АПВ з контролем відсутності напруги (потрібен лінійний ТН); з боку малого джерела — АПВ виведено
Типова конфігурація 10 кВ	Дво- або триступеневий струмовий захист; у мережах із нейтраллю, заземленою через резистор, — двоступеневий (напрямлений) СЗЗ; на кабельних лініях АПВ виведено; диференційний захист — лише на окремих важливих лініях

Джерело: [1], розд. 6.3 (практика провінцій Цзянсу та Чжецзян).

7. Підсумкові висновки брошури та розвиток теми після 2023 р.

Брошура формулює п’ять підсумкових висновків [1]:

- **Нова генерація** побудована на силовій електроніці. Тому струм КЗ має обмежену амплітуду, спотворену фазу й низькочастотні гармоніки, а аварійні характеристики мережі змінюються.
- **Нові мережі** з гнучкою топологією перетворювачів підтримують розвиток інтелектуальних мереж, але ускладнюють роботу захисту.
- **Моделі.** Інверторну станцію можна подати як кероване джерело струму; модель будують, виходячи із системи керування, топології та параметрів.
- **Традиційні захисти** — струмові, дистанційні, диференційні та з каналами зв'язку — втрачають ефективність, аж до ризику неправильної роботи.
- **Нові принципи** частково адаптовані до джерел з обмеженим струмом, але перебувають на стадії досліджень; для впровадження потрібні систематичні дослідження.

Розвиток теми (зовнішні джерела). У вересні 2025 р. голова SC B5 підсумував позицію комітету [2]:

- найбільше страждають дистанційний захист (передача) та максимальний струмовий (розподіл); диференційний захист — з деякими обмеженнями, а хвильовий — узагалі не залежать від IBR;
- рекомендації: спиратися лише на відомі електротехнічні властивості ліній і кабелів, які не залежать від IBR; не робити припущень щодо поведінки IBR, оскільки вона не стандартизована і різниться у виробників; інформувати енергокомпанії, регуляторів і власників IBR про обмеження; використовувати алгоритми цифрових пристроїв РЗА замість спадщини електромеханічної епохи;
- у технічних вимогах до приєднання IBR зазвичай немає вимог, пов'язаних із захистом; пропозиції щодо стандартизованого керування струмами зворотної та нульової послідовностей обговорюються, але швидких змін не очікується;
- роботу продовжують WG B5.65 (оптимізація відгуку IBR для захисту), WG B5.78 (вимоги до захисту при інтеграції ВДЕ), JWG B5/C4.79 (дорожня карта захисту для IBR).

Паралельно в ЄС триває перегляд мережевого кодексу NC RfG: проєкт NC RfG 2.0 Європейська комісія винесла на консультації з 8 липня до 25 серпня 2026 р. [5]. Проєкт запроваджує вимоги щодо формування мережі (grid-forming) для несинхронної генерації та накопичувачів [6].

8. Висновки для України

Розділ містить оцінки авторів записки на основі [1], [2], зовнішніх даних [3]–[7] та бази знань проєкту [Б1]–[Б3].

Таблиця 6. Масштаб розподіленої та інверторної генерації в Україні

Показник	Значення	Джерело
Сумарна потужність СЕС (за даними НЕК «Укренерго»)	≈7,3 ГВт	[3], липень 2026 р.
Сумарна потужність ВЕС	1,115 ГВт	[3], I півріччя 2026 р.
Розподілена газова генерація	≈1,8 ГВт	[4], 21.07.2026
Заявки за ТУ у трьох регіонах: ВЕС / СЕС / накопичувачі / маневрова	5,8 / 4,3 / 3,6 / 2,0 ГВт	[Б1]
Частка РГ у надходженні до мереж ОСР	14,3 % (2024) → 27 % (прогноз 2030)	[Б1]

Джерело: зазначено в таблиці. Дані з різних джерел і на різні дати; для порівняння використовувати з обережністю.

– **Проблема вже не теоретична.** Інверторна генерація (СЕС, ВЕС, УЗЕ) в Україні вимірюється гігаватами, а частина великої синхронної генерації пошкоджена. Отже, в окремих режимах і вузлах струми КЗ знижуються, а їхній характер змінюється. Розрахунки уставок, виконані «до ВДЕ», треба переглядати — саме цього вимагає китайська практика, наведена в брошурі.

– **Українська РГ — змішана, і це важливо.** На відміну від сценаріїв брошури, значну частину нової РГ становлять ГПУ — синхронні машини з помітним струмом КЗ. На одному фідері 10 кВ можуть працювати ГПУ, СЕС і УЗЕ. Тому для ОСР головний ризик — не лише малий струм, а й **зміна напрямку та розподілу струму КЗ**: відмова або неселективна робота ненапрямлених струмових захистів і АПВ.

– **Острівні режими для ОКІ.** В острові, що живиться від УЗЕ і СЕС, струм КЗ становить лише 1,2–1,5 Іном, тож звичайні максимальні струмові захисти втрачають чутливість. Потрібні окремі групи уставок «острів» з автоматичним перемиканням, захисти з пуском за напругою або диференційні захисти. Водночас вимога захисту від ненавмисного острова (IEEE 1547, КСР) має узгоджуватися з навмисним островом через контролер мікромережі.

– **Лінії видачі потужності великих СЕС і ВЕС (110–150 кВ).** Не покладатися на I зону дистанційного захисту з боку станції. Основний захист — диференційний на оптичному каналі, але з перевіркою поведінки інверторів у несиметричних КЗ (пригнічення зворотної послідовності призвело до відмови в прикладі брошури). Розглядати хвильові захисти та локатори пошкоджень.

– **Мережі 6–35 кВ з ізольованою або компенсованою нейтраллю.** Хвильовий метод вибору пошкодженої лінії при замиканні на землю, описаний у брошурі, не залежить від режиму нейтралі. Тому він доречний і для наявних мереж 6–10 кВ, і для перспективних мереж 20 кВ із резистивним заземленням нейтралі.

– **Вимоги до приєднання — головна прогалина.** CIGRE констатує: у вимогах до приєднання IBR зазвичай немає вимог щодо захисту [2]. В Україні НЕК «Укренерго» вже зазначає, що власники РГ часто не знають, чи відповідає їхнє обладнання вимогам КСП [Б3]. Варто ініціювати включення до КСП, КСР і ТУ таких вимог: надавати характеристики аварійного відгуку інвертора (амплітуда, фаза, зворотна послідовність), верифіковані RMS- та EMT-моделі, реєстратори аварійних процесів на ПС з РГ, правила повторного приєднання з затримкою та дозволом диспетчера.

- **Методики розрахунку КЗ.** Інверторні джерела треба моделювати як керовані джерела струму з ітераційним розрахунком, а не як ЕРС за опором. Це стосується і проєктних організацій, і ОСР, і ОСП. Гармонізація з NC RfG 2.0 через Енергетичне співтовариство додасть вимоги grid-forming, які змінять аварійний відгук нових УЗЕ і ВДЕ.
- **Нові методи з брошури — не для негайного впровадження.** Вони не мають промислового досвіду. На найближчі роки практичний набір — перевірені рішення: диференційні захисти ліній на оптичних каналах, напрямлені струмові захисти, адаптивні групи уставок у цифрових пристроях РЗА (IEC 61850), хвильові локатори пошкоджень, верифікація уставок за ЕМТ-моделями.

Можливості для компанії. Для інжинірингової компанії з компетенціями в РЗА це конкретний ринок послуг: перерахунок уставок РЗА мереж ОСР з РГ; дослідження захисту для приєднання СЕС, ВЕС і УЗЕ; проєктування РЗА навмисних островів для ОКІ; участь у підготовці вимог до КСП і КСР; перевірка відповідності за ЕМТ-моделями та випробування.

> **Ключовий висновок.** ТВ 896 підтверджує, що класичні захисти в мережах з високою часткою інверторної генерації втрачають чутливість і селективність, а нові принципи поки що лабораторні. Для України, де інверторна генерація вже сягає гігаватів, а РГ змішана (ГПУ + СЕС + УЗЕ), першочергові кроки — перерахунок уставок на фідерах з РГ, вимоги до аварійного відгуку і моделей інверторів у ТУ та кодексах, а також перехід на захисти, що спираються на властивості лінії: диференційні, напрямлені, хвильові.

9. Джерела

[1] CIGRE WG B5.48. Protection for developing network with limited fault current capability of generation. Technical Brochure 896. — Paris: CIGRE, April 2023. — 120 p. — ISBN 978-2-85873-601-0 (файл, наданий замовником).

[2] Leitloff V. Network Protection in a changing system. CIGRE, 16.09.2025. — URL: https://www.cigre.org/article/GB/network-protection-in-a-changing-system (зовнішнє джерело).

[3] Інтерфакс-Україна. Дані НКРЕКП та НЕК «Укренерго» щодо потужностей ВЕС і СЕС, 2026. — URL: https://interfax.com.ua/news/economic/1188969.html (зовнішнє джерело).

[4] Міністерство енергетики України. Ministry of Energy continues coordinating deployment of new generation capacity, 21.07.2026. — URL: https://mev.gov.ua/en/news/ministry-energy-continues-coordinating-deployment-new-generation-capacity (зовнішнє джерело).

[5] VDE FNN. Position on the consultation of NC RfG 2.0, 2026. — URL: https://www.vde.com/de/fnn/aktuelles/rfg2026-stellungnahme (зовнішнє джерело).

[6] ENTSO-E. Phase II Technical Report on Grid Forming Requirements, 04.11.2025. — URL: https://entsoe.eu/news/2025/11/04/entso-e-publishes-phase-ii-technical-report-on-grid-forming-requirements (зовнішнє джерело).

[7] CIGRE Electra № 328 (June 2023). ТВ 896 WG B5.48 — анотація. — URL: https://electra.cigre.org/328-june-2023/technical-brochures/protection-for-developing-network-with-limited-fault-current-capability-of-generation (зовнішнє джерело).

[Б1] База знань проєкту: розділ «Ключові цифри»; тема «Розподілена генерація (DER)».

[Б2] База знань проєкту: теми «Острів, мікрогрід і резервне живлення — розмежування», «Інерція та grid-forming».

[Б3] База знань проєкту: тема «Інтеграція ВДЕ та система керування обмеженнями».