

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними та економічними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: Уніфікація пристроїв електропостачання за стандартами
Європейського Союзу

за освітньою програмою Енергетичні та електромеханічні системи на
транспорті

зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав: студент групи: EE2221



/ Дмитро ЗЕЛЕНГУР /

Керівник:



/ доцент Дмитро БОСИЙ /

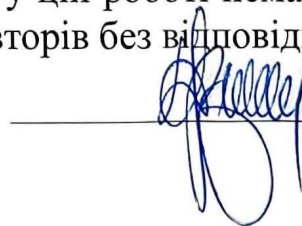
Нормоконтролер:



/ доцент Ірина ПОТАПЧУК /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Energy and economic processes

Intellectual power supply systems

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: Unification of power supply devices according to European Union standards

according to educational curriculum Energy and electromechanical systems in transport

in the Speciality: 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics

Done by the student of the group EE2221 / Dmytro Zelengur /

Scientific Supervisor: / Ass. Prof. Dmytro Bosyi /
(position, name, surname)

Normative controller : / Ass. Prof. Iryna Potapchuk /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними та економічними процесами
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСЕ
 Дмитро БОСІЙ
Дата 15.01.24

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра з електротехнічних систем
електроспоживання

студенту Зеленгуру Дмитру Миколайовичу

1. Тема роботи: “Уніфікація пристроїв електропостачання за стандартами
Європейського Союзу”.

Керівник роботи: Босій Дмитро Олексійович, д.т.н., доцент

затверджені наказом від " 18 " 01 2023 р. № 56ст

2. Строк подання студентом роботи: 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

відомості стосовно уніфікації пристроїв, міжнародні та національні стандарти

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Світовий досвід уніфікації та стандартизації

4.2 Взаємодія електричного обладнання в енергетичних об'єднаннях

4.3 Підходи до стандартизації та уніфікації джерел живлення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Класифікація міжнародних стандартів

2. Структура енергетичного об'єднання ENTSO-E

3. Обсяги електричних потоків між учасниками енергетичного об'єднання

4. Стандарти та знаки безпеки джерел живлення

5. Приклад компоновки джерела живлення

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

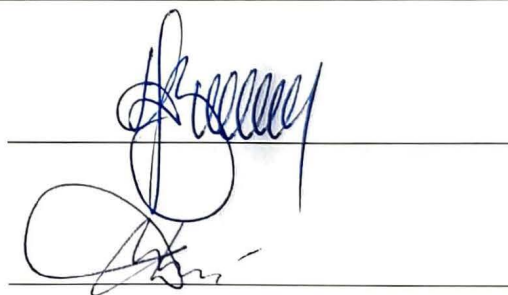
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Світовий досвід уніфікації та стандартизації електричного обладнання	20.09.2023	
2	Взаємодія електричного обладнання в енергетичних об'єднаннях	15.10.2023	
3	Підходи до стандартизації та уніфікації джерел живлення	29.12.2023	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	08.01.2024	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	16.01.2024	

Студент

Дмитро ЗЕЛЕНГУР

Керівник роботи

Дмитро БОСИЙ



РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 71 сторінок, складається з 3 розділів та містить 19 ілюстрацій, 4 таблиці, 14 бібліографічних джерел.

Об'єкт дослідження – процеси об'єднання енергетичних систем та уніфікації обладнання.

Мета роботи – аналіз світового досвіду уніфікації та стандартизації електричного обладнання та його впливу на безпеку та ефективність енергетичних систем.

Дослідження полягає у важливості уніфікації та стандартизації електричного обладнання в контексті глобалізації та інтеграції енергетичних систем. В умовах зростаючого попиту на енергоефективність і безпеку, актуальною є проблема розробки і впровадження єдиних міжнародних стандартів. Це забезпечує не лише високий рівень безпеки обладнання, але й сприяє ефективній інтеграції енергетичних систем різних країн, в тому числі через взаємодію в рамках ENTSO-E. Також актуальним є дослідження шляхів вирішення існуючих та потенційних проблем, пов'язаних з уніфікацією та стандартизацією, що важливо для розвитку стабільних і безпечних енергетичних систем.

Методи дослідження – аналіз міжнародних стандартів та нормативно-правових документів, порівняльний аналіз, статистичний аналіз, а також методи статистичного моделювання.

Ключові слова: УНІФІКАЦІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, ОБ'ЄДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНЕ, ENTSO-E, ЕНЕРГЕТИКА, ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СВІТОВИЙ ДОСВІД УНІФІКАЦІЇ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	9
1.1 Історія виникнення стандартизації.....	9
1.2 Класифікація стандартів та організацій зі стандартизації	10
1.3 Підходи до уніфікації в різних країнах світу	13
1.4 Рекомендована практика технічного співробітництва з електротехнічними стандартами.....	15
2 ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄДНАННЯХ	24
2.1 Процес об'єднання ринків електроенергії в Європі.....	24
2.2 Загальні положення організації мережі ENTSO-E.....	29
2.3 Основні визначення для класифікація порушень роботи електричного обладнання	32
2.4 Рекомендації ENTSO-E щодо національних стандартів обладнання	38
3 ПІДХОДИ ДО СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА УНІФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ.....	43
3.1 Загальні відомості.....	43
3.2 Термінологія стандартів безпеки. Класи обладнання.....	43
3.3 Регулювання, вимоги та стандарти електропостачання.....	47
3.4 Проблеми при проектуванні джерел живлення.....	55
3.5 Аналіз та вирішення проблем в блоках живлення.....	61
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ			
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Уніфікація пристроїв електропостачання за стандартами Європейського Союзу			
Розроб		Зеленгур		15.01.24				
Перевір		Босий		15.01.24	Лім.		Арк.	Аркуші
							6	71
Н. Копр.		Потанчук		15.01.24	УДУНТ, гр. EE2221			
Затв.								

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 72 сторінок, складається з 3 розділів та містить 19 ілюстрацій, 4 таблиці, 14 бібліографічних джерел.

Об'єкт дослідження – процеси об'єднання енергетичних систем та уніфікації обладнання.

Мета роботи – аналіз світового досвіду уніфікації та стандартизації електричного обладнання та його впливу на безпеку та ефективність енергетичних систем.

Дослідження полягає у важливості уніфікації та стандартизації електричного обладнання в контексті глобалізації та інтеграції енергетичних систем. В умовах зростаючого попиту на енергоефективність і безпеку, актуальною є проблема розробки і впровадження єдиних міжнародних стандартів. Це забезпечує не лише високий рівень безпеки обладнання, але й сприяє ефективній інтеграції енергетичних систем різних країн, в тому числі через взаємодію в рамках ENTSO-E. Також актуальним є дослідження шляхів вирішення існуючих та потенційних проблем, пов'язаних з уніфікацією та стандартизацією, що важливо для розвитку стабільних і безпечних енергетичних систем.

Методи дослідження – аналіз міжнародних стандартів та нормативно-правових документів, порівняльний аналіз, статистичний аналіз, а також методи статистичного моделювання.

Ключові слова: УНІФІКАЦІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, ОБ'ЄДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНЕ, ENTSO-E, ЕНЕРГЕТИКА, ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ.

ВСТУП

Актуальність роботи. Актуальність дослідження полягає у важливості уніфікації та стандартизації електричного обладнання в контексті глобалізації та інтеграції енергетичних систем. В умовах зростаючого попиту на енергоефективність і безпеку, актуальною є проблема розробки і впровадження єдиних міжнародних стандартів. Це забезпечує не лише високий рівень безпеки обладнання, але й сприяє ефективній інтеграції енергетичних систем різних країн, в тому числі через взаємодію в рамках ENTSO-E. Також актуальним є дослідження шляхів вирішення існуючих та потенційних проблем, пов'язаних з уніфікацією та стандартизацією, що важливо для розвитку стабільних і безпечних енергетичних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота тісно пов'язана з науковими програмами у сфері енергетики та електротехніки, зокрема з програмами з енергетичної безпеки, енергоефективності та відновлюваної енергетики. Вона відповідає сучасним напрямкам досліджень в області стандартизації та уніфікації електричного обладнання, які є ключовими для інтеграції національних енергосистем у європейський та світовий енергетичний простір.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є аналіз світового досвіду уніфікації та стандартизації електричного обладнання та його впливу на безпеку та ефективність енергетичних систем. Завданнями роботи є дослідження міжнародних стандартів та ролі стандартизаційних організацій, аналіз національних підходів до стандартизації в різних країнах, вивчення взаємодії країн в рамках ENTSO-E, а також розробка рекомендацій для удосконалення процесу уніфікації та вирішення існуючих проблем.

Об'єкт дослідження – процеси об'єднання енергетичних систем та уніфікації обладнання.

Предмет дослідження – принципи уніфікації джерел живлення.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

Методи дослідження включають аналіз міжнародних стандартів та нормативно-правових документів, порівняльний аналіз, статистичний аналіз, а також методи статистичного моделювання.

Наукова новизна та основні положення, які виносяться на захист.
Наукова новизна даної роботи полягає у комплексному аналізі міжнародного досвіду уніфікації та стандартизації електричного обладнання і його застосуванні до умов України. Вперше проведено глибокий порівняльний аналіз стандартів різних країн і організацій, а також розроблено рекомендації щодо інтеграції українських стандартів у міжнародну систему. Особливу увагу приділено аналізу взаємодії країн в рамках ENTSO-E та впливу уніфікації на безпеку та ефективність енергосистем.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення роботи виявляється у можливості застосування розроблених рекомендацій для покращення процесів уніфікації та стандартизації в Україні, що сприятиме інтеграції національної енергетичної системи у європейський та світовий простір, підвищенню безпеки та ефективності енергозабезпечення.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає у зборі та аналізі великої кількості даних про міжнародні та національні стандарти, у розробці методології порівняльного аналізу цих стандартів, а також у формуванні пропозицій щодо оптимізації процесів стандартизації та уніфікації в контексті українських умов.

Апробація та публікація результатів досліджень.
Результати досліджень доповідались на Міжнародній науково-практичній конференції студентів та молодих вчених Зеленгур Д. М. (EE2221) «Уніфікація пристроїв електропостачання за стандартами Європейського Союзу» (кер. доц. Босий Д.О.) - «ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ СТУДЕНТІВ І МОЛОДИХ УЧЕНИХ “НАУКА І СТАЛИЙ РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ 2023”», 27 жовтня 2023 року, ЗБІРНИК ТЕЗ, Том 1, Дніпро 2023р., стр.115.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

1 СВІТОВИЙ ДОСВІД УНІФІКАЦІЇ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Історія виникнення стандартизації

Коли електроенергетична промисловість розпочала свою діяльність, потреба у електричній енергії на місцях, як правило, задовольнялася місцевими компаніями, які встановлювали генератори відповідно до потреб розподілу. Таким чином, історія електроенергетичної системи розпочалася з використання розподіленої генерації (DG), іншими словами, генерації, яка безпосередньо встановлювалася в розподільчій мережі, дуже близько до споживачів [1].

Згодом зростаюча потреба в електроенергії задовольнялася шляхом встановлення великих генераційних заводів, зазвичай поблизу джерел первинної енергії (наприклад, вугільні шахти, річки тощо), і зростаючі потреби в електроенергії та безпеці використання складної системи передачі для доставки електроенергії споживачам призвели до традиційного уявлення про електроенергетичну систему. Це уявлення, яке існувало більше п'ятдесяти років, характеризувалося великими генераційними заводами, які, як правило, розташовувалися далеко від місць, де є попит на енергію, та великими передавальними мережами, які переносили вироблену енергію до місць споживання. Одним із головних елементів у цій логіці розвитку є те, що прийняття рішень відбувається з централізованим плануванням, яке зазвичай знаходиться всередині вертикально інтегрованої промисловості [2]. Еволюційні зміни у регуляторному (стимулюванні конкуренції) та експлуатаційному кліматі традиційних електроенергетичних компаній та поява менших генераційних систем, таких як мікротурбіни, відкрили нові можливості для генерації електроенергії на місцях споживачами [3]. Крім того, зростання ринку електроенергії, розвиток фінансового ринку та прискорений технічний прогрес зменшили оптимальний розмір нових інвестицій у генерацію відносно розміру ринку та приватної фінансової спроможності [2]. В результаті у секторі генерації з'явилися нові умови, які дозволяють координувати його ринком [6].

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У цьому контексті розподілені енергетичні ресурси (DER) - невеликі генератори потужності, які зазвичай розташовані на місцях споживачів, де використовується енергія (як електрична, так і теплова), яку вони виробляють - виникли як перспективний варіант для задоволення зростаючих потреб споживачів в електроенергії з акцентом на надійність та якість енергопостачання [3].

1.2 Класифікація стандартів та організацій зі стандартизації

Класифікація міжнародних стандартів приведена на рис. 1.1.

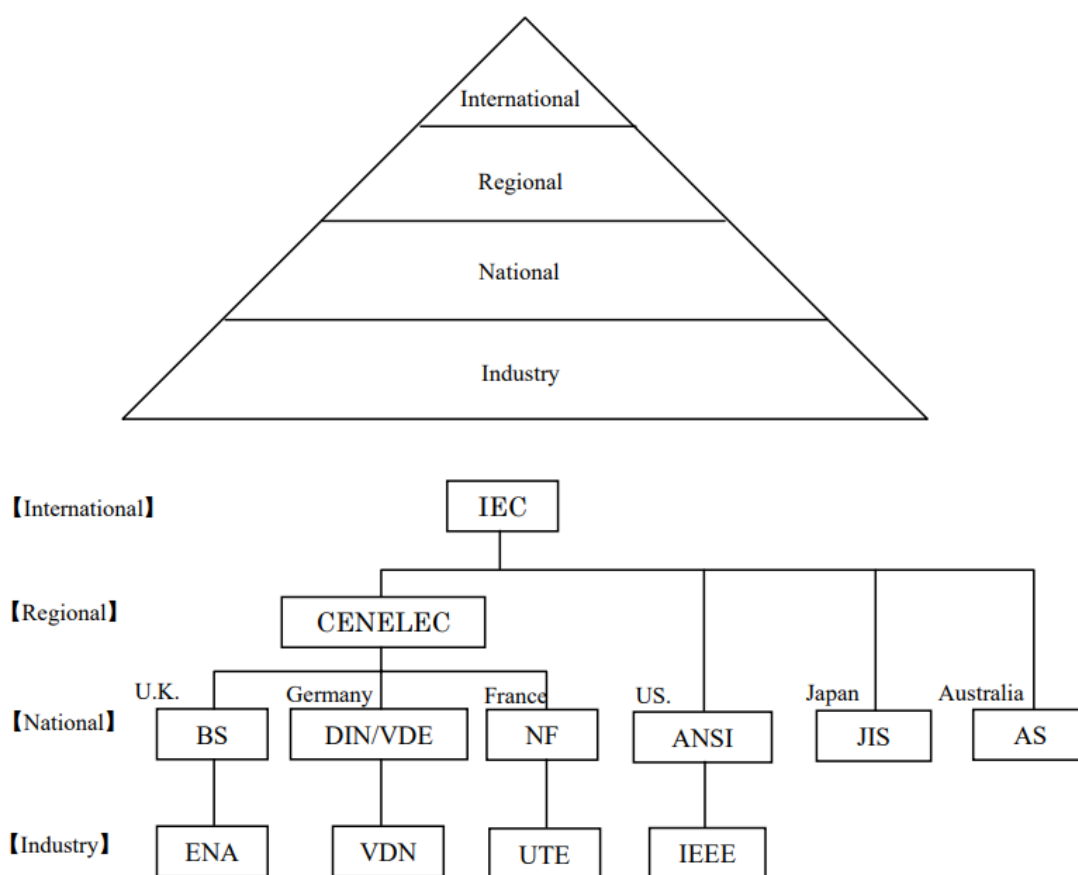


Рисунок 1.1 Класифікація міжнародних стандартів

Найвищі у світі стандарти - це міжнародні стандарти, стандарти ІЕС (Міжнародна Електротехнічна Комісія), що стосуються електротехніки. Міжнародні стандарти набули важливості через потребу в уніфікованих стандартах в Європі, тому створення уніфікованих стандартів (європейських

стандартів) стало нагальною потребою в CENELEC (Європейському Комітеті з Електротехнічної Стандартизації) для встановлення єдиного ринку в Європі.

На цьому етапі ISO (Міжнародна Організація зі Стандартизації) та CEN (Європейський Комітет зі Стандартизації) уклали Віденську угоду щодо технічної допомоги у встановленні стандартів. В свою чергу, IEC та CENELEC уклали Дрезденську угоду з електротехнічних стандартів. За цими угодами IEC закріпила свою позицію як базового стандартизатора. Уніфіковані стандарти автоматично узгоджуються з IEC за Дрезденською угодою, тому Європа є провідним регіоном, оскільки уніфікація стандартів активно просувається. Стандарти обладнання поступово уніфікуються з міжнародними стандартами по всьому світу. Відповідно, для розвиваючої країни, яка має можливість прийняти міжнародні стандарти, більш раціонально їх прийняти, ніж встановлювати нові національні стандарти для обладнання.

IEC (Міжнародна Електротехнічна Комісія) є провідною міжнародною організацією у сфері стандартів, пов'язаних з електротехнікою. Вона була створена для досягнення взаємної згоди щодо стандартизації стандартів електрообладнання. П'ятдесят промислово розвинених країн є членами IEC. Останнім часом деякі країни, що розвиваються, такі як Індонезія, Філіппіни, Пакистан, Малайзія та Таїланд в Азії, стали членами IEC. Промислові асоціації, споживчі групи, уряд та декілька інженерних асоціацій приєдналися до комітету IEC як зацікавлені сторони.

CENELEC (Європейський Комітет з Електротехнічної Стандартизації) був створений для встановлення добровільних електротехнічних стандартів. CENELEC також прагне усунути торгові бар'єри, створити нові ринки та надати підтримку у формуванні економічних зон Європи.

Згідно з Дрезденською угодою, європейські стандарти розробляються на основі IEC. До членів CENELEC входять 28 країн Європи, включаючи 8 країн Східної Європи.

BS (Британські Стандарти) є провідним набором стандартів у світі. BSI (Британський Інститут Стандартів) має довгу історію, де 2001 рік був сторіччям

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

заснування. BS розробляються з метою застосування у всьому світі та охоплюють кілька областей, включаючи терміни, методи, специфікації, монтаж та інше. Промислова асоціація, споживча група, уряд, декілька інженерних асоціацій приєдналися до комітету BS як зацікавлені сторони. Кількість членів BSI перевищує 19 000.

VDE (Союз Німецьких Електротехніків) був створений DKE (Німецькою Комісією з Електротехніки) на основі договору, що базується на Законі про Економіку Енергетики. Виробники, Електроенергетичні Компанії, Уряд приєдналися до комітету DKE. Тому можна легко досягти консенсусу з кількох аспектів. VDE містить не тільки специфікації обладнання, але й стандарти щодо встановлення та інспектування обладнань. Закон про Економіку Енергетики надає законодавчу обов'язковість стандартам VDE.

NF (Нормалізація де Франсе) схвалена AFNOR, урядовою організацією. Працівники, відповідальні за стандарти, призначаються в AFNOR з відповідного міністерства.

AFNOR не розробляє жодних стандартів, вона лише схвалює стандарти, підготовлені органом, відповідальним за розробку стандартів. Організація зі стандартів електротехніки - це UTE (Електротехнічна Асоціація), яка є найбільшою організацією у цій галузі у Франції, а друга - UNM (Механічна Інженерна Асоціація). NF вважається законодавчо обов'язковим стандартом згідно з міністерським наказом.

Роль ANSI (Американського Національного Інституту Стандартів) полягає не в розробці стандартів, а в формуванні консенсусу щодо стандартів серед кваліфікованих органів з встановлення стандартів. Промислові асоціації, споживчі групи, уряд та кілька інженерних асоціацій приєдналися до комітету ANSI як зацікавлені сторони. Членство складається з 850 компаній, 35 урядових організацій та більше ніж 300 пов'язаних сторін.

AS (Стандарти Австралії) є національним органом стандартизації Австралії і охоплює всі галузі промисловості. SAI (Інститут Стандартів Австралії) розробляє AS. SAI - це некомерційна корпоративна організація,

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

створена для управління AS. Стандарти, встановлені SAI, не є законодавчо обов'язковими стандартами. SAI докладає зусиль, щоб зібрати широкий консенсус у різних галузях промисловості.

1.3 Підходи до уніфікації в різних країнах світу

Проаналізуємо підходи до уніфікації в різних країнах міжнародного рівня.

США. На федеральному рівні відсутні регулювання. Натомість, відповідальність лежить на штатах, і їхні підходи відрізняються від одного штату до іншого. Наприклад, в Нью-Джерсі законодавчо вимагається дотримання певних приватних стандартів, тоді як Джорджія взагалі не втручається. Однак, як і у випадку з Джорджією, більшість штатів як мінімум вимагають дотримання "Національного кодексу безпеки електричних систем (NESC)", приватного стандарту, встановленого IEEE, який схожий на "Технічні стандарти для електрообладнання" Японії.

Велика Британія

"Закон про Електроенергію 1989 року", як основний закон, регулює електроенергетичні комунальні підприємства. Він вимагає встановлення законодавчо обов'язкових технічних стандартів для електрообладнання і визначає "Правила Безпеки, Якості та Постійності Електропостачання 2002 року", розроблені Департаментом Торгівлі та Промисловості (DTI), як такі стандарти. Ці правила, які надають основні специфікації для електрообладнання щодо безпеки та стабільності електропостачання, схожі на "Технічні Стандарти" Японії. "Рекомендації" та "Кращі Практики", технічні стандарти, розроблені Асоціацією Електричних Енергетичних Мереж, не мають законодавчої сили і є британськими еквівалентами "Тлумачень Технічних Стандартів" Японії. Однак електроенергетичні комунальні підприємства будують своє обладнання відповідно до цих стандартів, щоб захистити себе від можливих позовів. Вираз "Розумно Практично" представляє філософію Великобританії, яка полягає в тому, що "хоча адекватні інвестиції, незалежно

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

від їх вартості, є необхідними для важливого та потенційно небезпечного обладнання, менш важливе та відносно безпечне обладнання має бути розумно та практично оброблене".

Німеччина

Традиційно не існувало регулювань щодо технічних стандартів для електрообладнання. Однак дерегуляція електроенергетичних комунальних підприємств зажадала певного рівня стандартів, і "Закон про Нову Енергетичну Економіку", прийнятий у 2005 році, стверджує, що "Електрообладнання має бути технічно безпечним, і мають дотримуватися загальноприйняті технічні стандарти", а також встановлює, що "Технічні стандарти, встановлені Союзом Німецьких Електротехніків (VDE), мають бути застосовані до електрообладнання". У той час як інші національні стандарти, включаючи Британські Стандарти (BS) та Французькі Стандарти (NF), переважно надають базові специфікації для обладнання, матеріалів та методів інспектування, стандарти VDE також надають специфікації для встановлення обладнання, які охоплені "Технічними Стандартами для Електрообладнання" Японії.

Франція

"Закон про Розподіл Електроенергії", прийнятий у 1906 році, був першим законом, що регулював безпеку електроенергії. Згідно з цим законом були прийняті "Урядова Постанова від 29 липня 1927 року" та "Міністерська Постанова від 17 травня 2001 року". Ці постанови, які надають технічні стандарти, є французькими еквівалентами "Тлумачень Технічних Стандартів" Японії. Крім того, Французькі Стандарти (NF), які є практичними посібниками для реалізації міністерської постанови, надають детальні специфікації для електрообладнання. Урядові та міністерські постанови, таким чином, надають законодавчу обов'язковість Французьким Стандартам. В результаті, навіть детальні технічні стандарти є законодавчо обов'язковими у Франції.

Австралія

Як і в США, штати регулюють електроенергетичні комунальні підприємства. Як у Вікторії, так і в Новому Південному Уельсі, де відбувалася

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

наша дослідницька місія, існують законодавчо обов'язкові технічні стандарти. У Вікторії "Закон про Безпеку Електроенергії Вікторії" надає законодавчу обов'язковість "Правилам Безпеки Електроенергії", встановленим Energy Safe Victoria (ESV). У Новому Південному Уельсі "Правила Забезпечення Постачання Електроенергії (Безпека та Управління Мережею)" вимагають від електроенергетичних комунальних підприємств розробляти та подавати власні технічні стандарти до штату. Зміст стандартів залишається в юрисдикції кожного комунального підприємства. Наприклад, Energy Australia приймає "Національний Кодекс Безпеки Електричної Мережі", встановлений Асоціацією Постачання Електроенергії Австралії (ESAA).

1.4 Рекомендована практика технічного співробітництва з електротехнічними стандартами

Збір та аналіз інформації про правову основу закону про електроенергію та сучасний стан електроенергетичної промисловості в країні-господарі є критично важливими для успішного технічного співробітництва з електротехнічними стандартами в рамках закону про електроенергію (технічні стандарти).

Технічні стандарти є основною складовою технічних регулювань в рамках закону про електроенергію, метою яких є забезпечення узгодженості частоти, напруги та надійності постачання електроенергії від генерації до попиту на електроенергію, а також забезпечення безпеки постачання та споживання електроенергії. Технічні регулювання складаються з різних регуляторних заходів, таких як технічні перегляди проектів електроенергетичних робіт та перевірки на місці перед введенням електроенергетичних робіт в експлуатацію регуляторним органом, а також вимоги щодо звітування про відмови у постачанні електроенергії та аварії, спричинені постачанням та споживанням електроенергії, регуляторному органу, а також технічні стандарти. Слід зазначити, що розуміння цієї регуляторної рамки технічних регулювань є базовою вимогою для розробки

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

технічного співробітництва з технічними стандартами, оскільки мета технічного співробітництва з технічними стандартами не обмежується лише розробкою стандартів, але й поліпшенням дотримання технічних стандартів для забезпечення надійного, ефективного та безпечного постачання електроенергії.

Зміст технічних стандартів відрізняється в різних країнах, оскільки цілі та обсяги закону про електроенергію та правові рамки відповідних законів різняться в залежності від країни. Наприклад, якщо метою закону про електроенергію є регулювання електроенергетичної промисловості, потрібні технічні стандарти, які застосовуються лише до електроенергетичних галузей, таких як генерація, передача та розподіл. Якщо закон про електроенергію включає регулювання споживання електроенергії, а також електроенергетичних галузей, технічні стандарти повинні включати технічні стандарти для домашнього електропроводки та приладів. Загалом, електроенергетичні галузі регулюються не тільки законом про електроенергію, але й багатьма іншими законами, такими як трудове право, закон про охорону навколишнього середовища тощо. Не існує загальної моделі розподілу відповідальності між законом про електроенергію та іншими відповідними законами для регулювання постачання та споживання електроенергії через різні історії створення правових рамок та різні філософії національних регуляторних рамок.

Зміст технічного співробітництва з технічними стандартами потрібно визначати, враховуючи вищезгадані варіації обсягів та змісту технічних стандартів у кожній країні та заходи технічного співробітництва. Післяпроектні оцінки також повинні включати оцінки відповідності вибору заходів технічного співробітництва, ідентифікацію змісту технічних стандартів тощо, враховуючи різноманітність правових структур та ситуацію в електроенергетичних галузях кожної країни.

Рис. 1.2 показує загальні процедури для визначення змісту технічних стандартів.

Існує кілька варіацій інституційної структури електроенергетичних галузей у країнах, що розвиваються. Ці варіації включають постачання

електроенергії державним агентством, постачання електроенергії вертикально інтегрованою державною електроенергетичною компанією, постачання електроенергії комбінацією державної компанії з виробництва та передачі електроенергії та приватної розподільчої компанії, та постачання електроенергії приватною електроенергетичною компанією. Під час перехідного періоду до повного розбудовування та приватизації електроенергетичних компаній може бути багато варіацій інституційної структури постачальника електроенергії.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

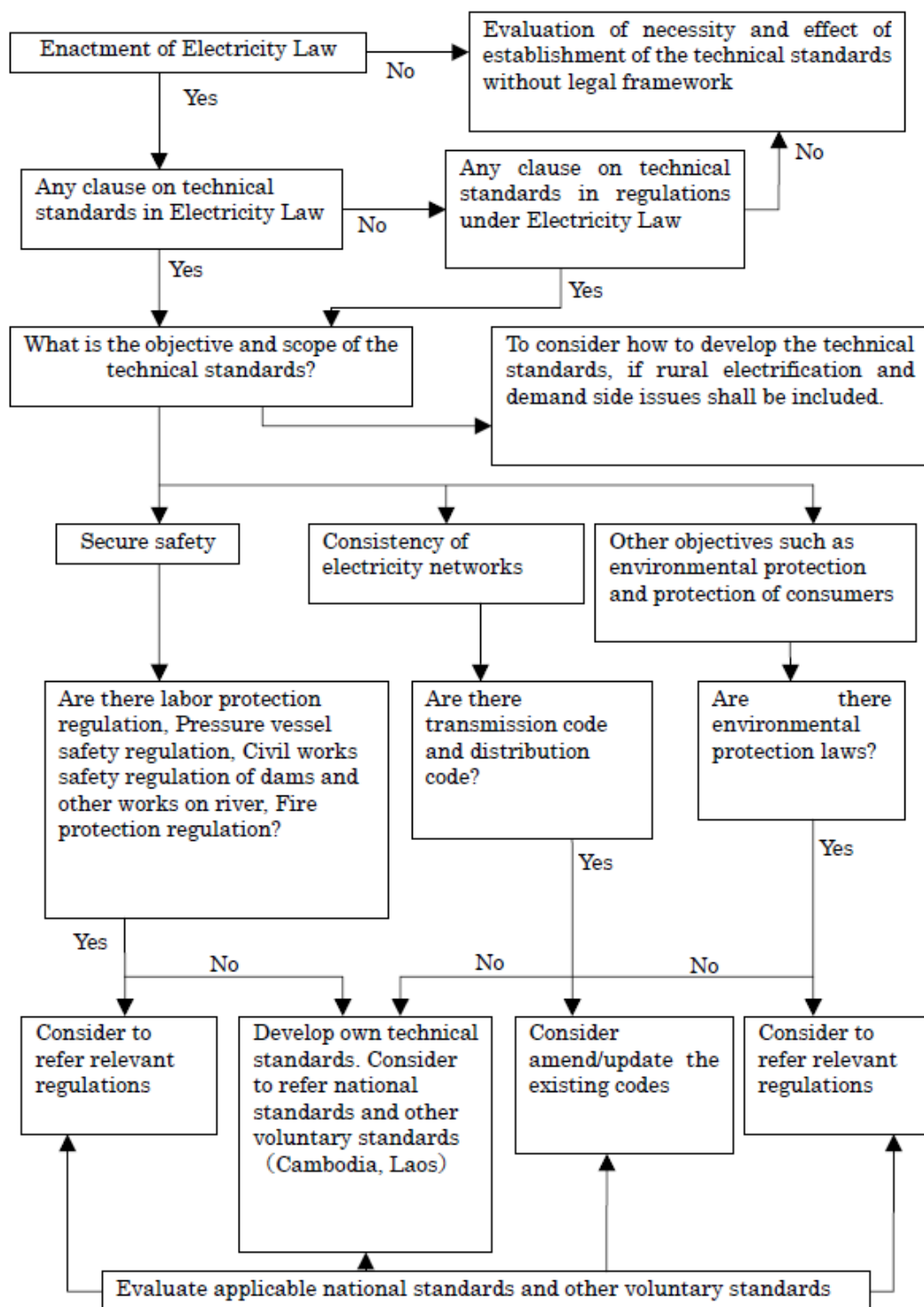


Рисунок 1.2 – Загальна процедура для визначення змісту технічних стандартів

Якщо новий закон про електроенергію має на меті термінову приватизацію та розбудовування електроенергетичних галузей, встановлення кодексу передачі та розподілу може бути пріоритетом для забезпечення узгодженості та надійності послуг з передачі та розподілу. Якщо новий закон про електроенергію в основному має на меті створення конкурентного ринку

виробництва електроенергії, встановлення технічних стандартів з виробництва електроенергії може бути пріоритетом. Тому дуже важливо визначити пріоритет технічних стандартів, які потрібно встановити через збір та аналіз інформації про поточну та майбутню інституційну структуру електроенергетичної галузі.

Також необхідно проаналізувати поточний стан електроенергетичних галузей та електроенергетичних робіт, щоб визначити пріоритети та обсяги технічних стандартів. Наприклад, пріоритет встановлення технічних стандартів для конкретних технологій виробництва електроенергії залежить від комбінації виробництва електроенергії в країні-господарі, а обсяги технічних стандартів з передачі та розподілу залежать від стану розвитку ліній передачі та використання підземних кабелів тощо. Тому рекомендується збирати та аналізувати інформацію про електроенергетичні галузі, такі як річні звіти електроенергетичних компаній.

Більшість країн мають національні стандарти на прилади та обладнання, такі як генерація та розподіл електроенергії. IEC та ISO розробляють різні технічні стандарти у світі. Важливо розуміти прогрес цих стандартизацій, що стосуються постачання та споживання електроенергії, для встановлення технічних стандартів. Тому необхідний збір та аналіз інформації про організацію стандартизації в країні-господарі (зазвичай урядове агентство відповідає за стандартизацію у країнах, що розвиваються) та прогрес стандартизації. Ці збір та аналіз інформації також дозволяють ідентифікувати відповідні організації для відвідування під час підготовчого дослідження. Рекомендується збирати та аналізувати інформацію про інституційну структуру та діяльність академічних та промислових організацій у галузі електроенергетичних технологій та промисловості, щоб оцінити можливості використання цих організацій для розробки добровільних технічних стандартів та рекомендацій. Візити в ці організації під час підготовчого дослідження очікується будуть інформативними.

Існує багато законів, пов'язаних з постачанням та попитом на електроенергію. Необхідно зрозуміти розмежування відповідальності між цими законами, включаючи закон про електроенергію, для ідентифікації обсягів технічних стандартів. Тому рекомендується провести огляд відповідних законів, які мають тісні зв'язки з законом про електроенергію, та відповідних міністерств до законів. Також рекомендується відвідати деякі міністерства під час підготовчого дослідження, якщо це необхідно.

Регулювання електроенергетичної промисловості, як правило, складається з бізнес-регулювань (ліцензування бізнесу, регулювання тарифів тощо) та технічних регулювань (стандарти частоти та напруги, стандарти електрообладнання, стандарти підключення тощо). Однак обсяг та деталі регулювань відрізняються залежно від країни. Технічні регулювання складаються з таких регулювань, як частота та напруга для забезпечення узгодженості постачання електроенергії між генерацією, передачею, розподілом та споживачами, а також безпекових регулювань (технічні стандарти обладнання тощо). Цілі регулювань безпеки поділяються на громадську безпеку та безпеку працівників. Рис. 1.3 показує загальні регуляторні структури закону про електроенергію. Аналіз структури та обсягів закону про електроенергію є першим кроком для ідентифікації відповідного змісту та заходів технічного співробітництва з технічними стандартами. Цей аналіз зосереджений не лише на законі про електроенергію, але й на відповідних регуляціях в рамках закону, таких як декрети, накази міністра тощо, оскільки в деяких країнах технічні регулювання визначені в декреті або наказі міністра тощо в рамках закону про електроенергію.

Також важливо проаналізувати обсяг закону про електроенергію з точки зору потоку електроенергії. Первинні енергії перетворюються на електрику на електростанціях, а потім вироблена електроенергія доставляється споживачам через лінії передачі та розподілу. Електроенергетичні галузі відповідають за доставку електроенергії споживачам (зазвичай до електролічильників).

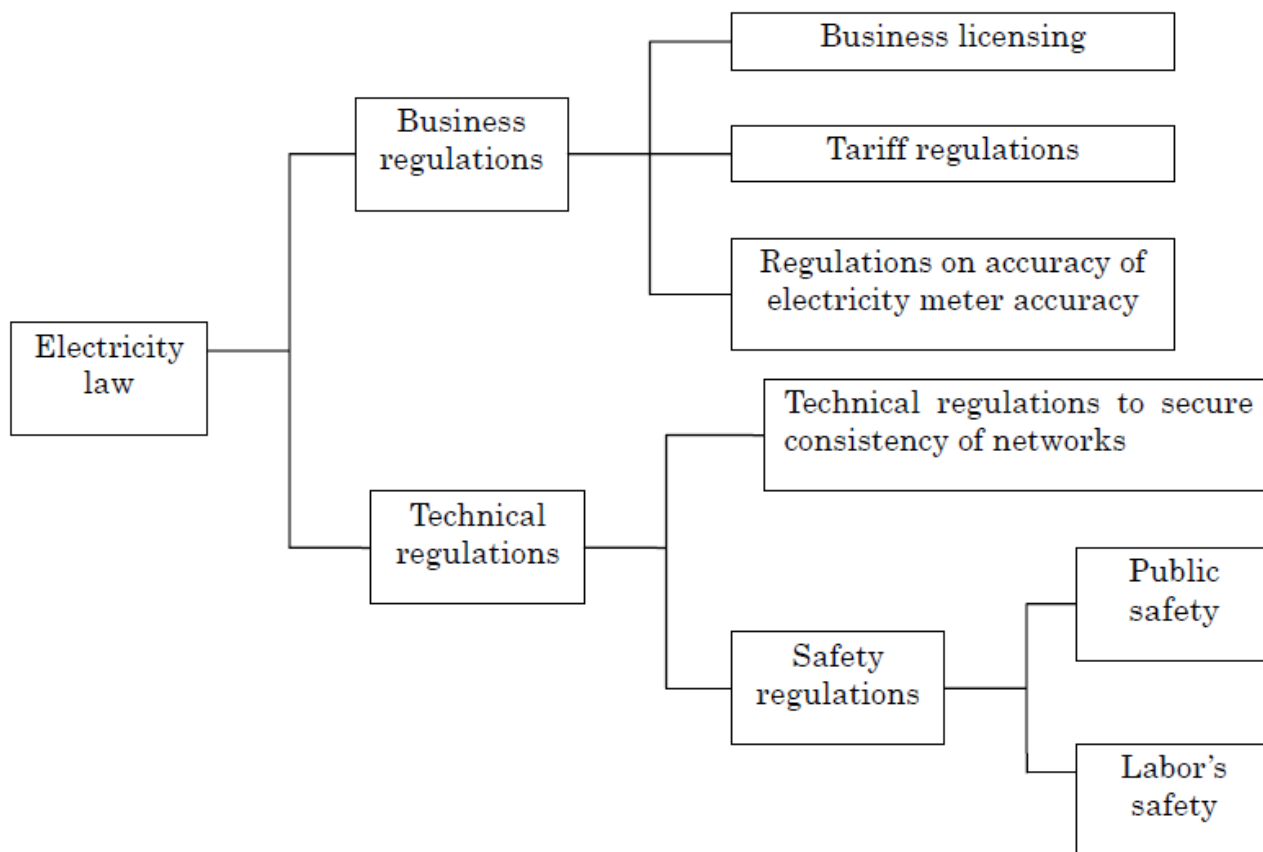


Рисунок 1.3 – Регуляторні структури закону про електроенергію

Тому закон про електроенергію зазвичай регулює від генерації електроенергії до її розподілу. Однак неправильне домашнє електропроводка часто викликає проблеми з витоком електроенергії, а іноді несправності домашньої електропроводки викликають проблеми з якістю постачання електроенергії іншим споживачам. Враховуючи ці проблеми, закон про електроенергію може включати регулювання домашньої електропроводки в деяких країнах, що розвиваються. Хоча регулювання приладів зазвичай не включено в технічні регулювання в рамках закону про електроенергію, деякі країни можуть включати регулювання приладів у закон про електроенергію. Рис. 1.4 показує потік електроенергії та відносини між електроенергетичними компаніями та споживачами. Важливо з'ясувати, чи включає закон про електроенергію регулювання об'єктів та обладнання споживачів.

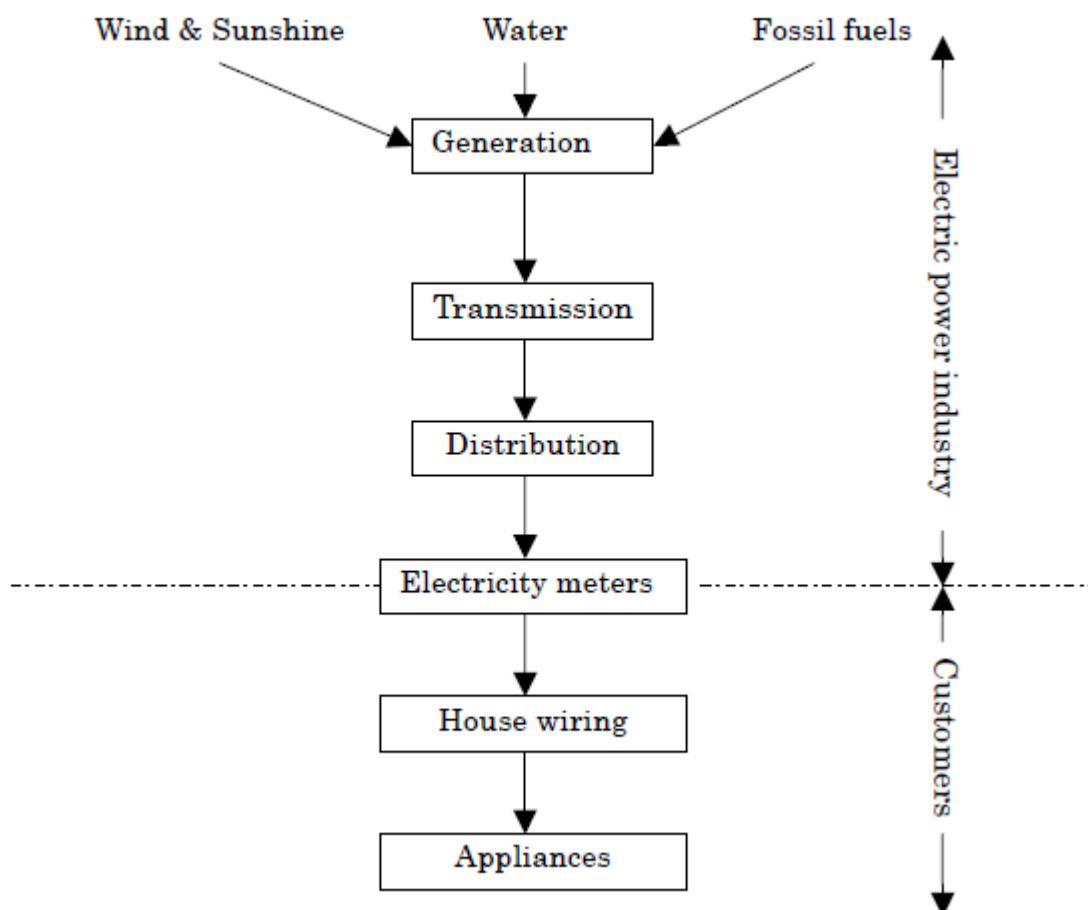


Рисунок 1.4 – Потік електроенергії та відносини між електроенергетичними компаніями та споживачами

Генерація електроенергії для перетворення первинної енергії на електрику включає технології, які можуть регулюватися з інших причин, аніж безпека електроенергії. Існує кілька типових прикладів цих регулювань. Гідроелектростанції можуть регулюватися правилами безпеки гребель та інших цивільних споруд, а генерації пари можуть регулюватися правилами безпеки ємностей під тиском. Атомні електростанції регулюються правилами безпеки поводження з радіоактивними матеріалами. Великі електростанції регулюються законами про охорону навколишнього середовища для регулювання стоків та викидів відходів. Ці регулювання застосовуються до інших об'єктів, які використовують схожі технології (наприклад: греблі для контролю за повеннями та зрошення використовують ті ж технології, що й греблі гідроелектростанцій,

а промислові котли використовують схожі технології, що й котли для генерації пари). Тому ці технології виробництва електроенергії можуть регулюватися або регулюваннями конкретних технологій, або технічними регулюваннями в рамках закону про електроенергію. Рис. 1.5 показує приклади регулювань конкретних технологій генерації. Необхідно з'ясувати обсяг технічних стандартів щодо виробництва електроенергії, які потрібно встановити в рамках закону про електроенергію, враховуючи обсяг інших регулювань конкретних технологій.

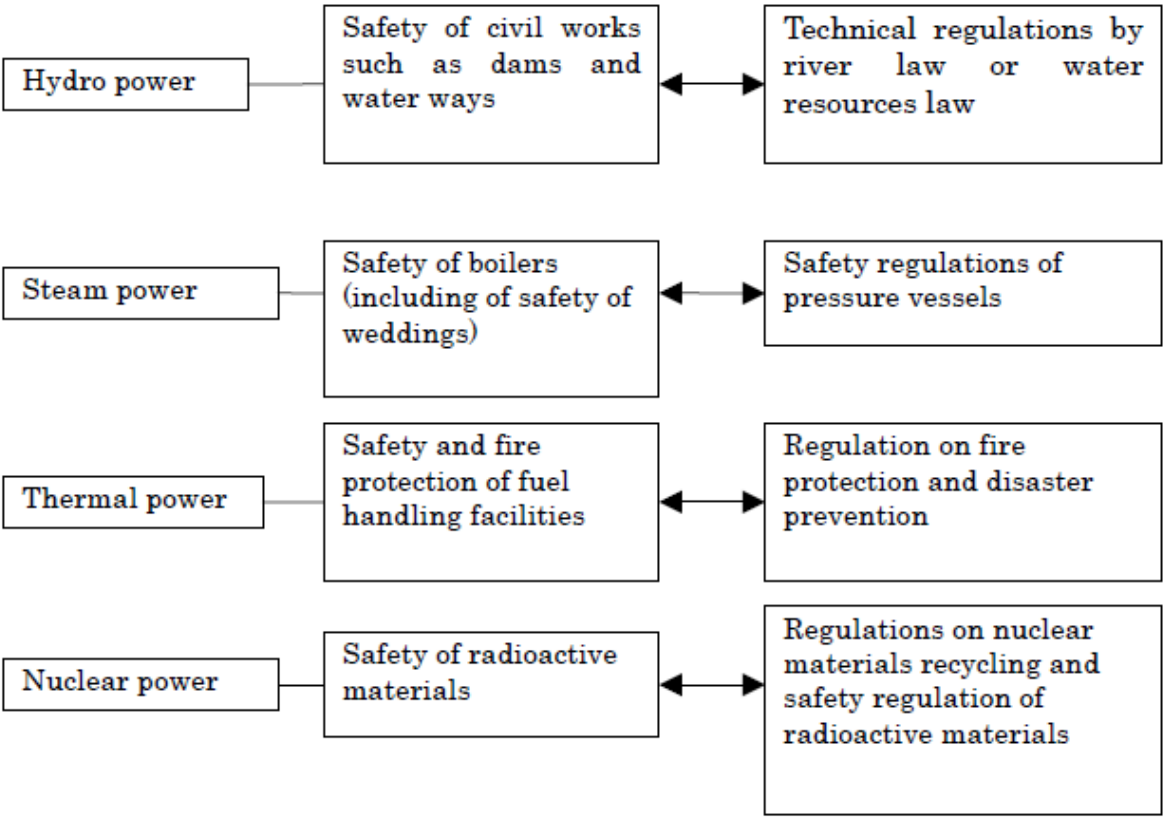


Рисунок 1.5 – Приклади регулювань конкретних технологій генерації

Навіть коли здійснюється взаємний обмін електроенергією між багатьма країнами, необов'язково інтегрувати їхні технічні стандарти, за винятком частоти та напруги. Однак, для забезпечення стабільного постачання електроенергії, кожна країна готує заходи на випадок серйозних аварійних збоїв у постачанні електроенергії в інших країнах. Ці заходи будуть схвалені

шляхом угод між зацікавленими країнами. Управління ризиками для безпеки електропостачання також дуже важливе.

У розвинених країнах існують технічні стандарти для домашньої електропроводки, і самі споживачі відповідають за їх безпеку. У Німеччині електроенергетичні компанії повинні інспектувати електропроводку новозбудованих будинків, а у Франції клієнти повинні наймати інспекторів третьої сторони та надсилати результати інспекції електроенергетичним компаніям для отримання електропостачання. У Японії електроенергетичні компанії проводять періодичні перевірки домашньої електропроводки. Можна сказати, що розвиток правових систем для захисту споживачів у разі стихійних лих зменшив кількість неправильних робіт, виконаних електротехніками.

У країнах, що розвиваються, існує невідкладна потреба у розробці технічних стандартів для домашньої електропроводки, і після розробки стандартів їх використання має бути ретельно контрольоване. Важливо розвивати кваліфікацію інженерів та техніків та мотивувати їх досягати робіт високої якості. Також важливо вдосконалювати регулювання для захисту споживачів, як у Німеччині та Франції, до того, як буде розвинена кваліфікація інженерів та техніків для домашньої електропроводки.

Закони щодо безпеки працівників дуже розвинені у передових країнах. Усвідомлення необхідності захисту працівників та ризиків, пов'язаних з виконанням робіт під напругою, може призвести до розвитку законів про безпеку праці. Однак часто випадає, що регуляторний орган відрізняється від електроенергетичних комунальних підприємств, і обидві сторони мають свої окремі стандарти. Тому розвиток стандартів для безпеки працівників, які вимагають високого рівня технічної допомоги, може бути таким же важливим, як і для громадської безпеки в країнах, що розвиваються.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

2 ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄДНАННЯХ

2.1 Процес об'єднання ринків електроенергії в Європі

З метою створення інтегрованої, надійної, сталої та економічно вигідної європейської 'супермережі', лідери Європи поставили перед собою амбіційні цілі на 2050 рік для інтеграції електроенергетичних ринків Європейського Союзу [3].

Своєчасний та добре продуманий розвиток нової мережевої інфраструктури є критично важливим для досягнення внутрішнього енергетичного ринку Європи (ІЕМ), а також необхідним для інтеграції зростаючої кількості відновлювальних джерел енергії і вирішення викликів, пов'язаних із більш розподіленими наземними та морськими джерелами енергії, які потрібно з'єднати з основними центрами споживання.

Існують чотири основні домовлені цілі:

1. Ефективно функціонуючий енергетичний ринок.
2. Безпека постачання.
3. Більша взаємопов'язаність енергетичних мереж.
4. Плани енергоефективності, заощадження енергії та підтримка розвитку відновлюваних джерел енергії.

Для досягнення цих цілей Європейська Комісія, відповідно до свого Повідомлення від листопада 2010 року, запропонувала негайно розпочати роботу над створенням модульного плану розвитку з метою створення модуля для розширення європейської електромережі – так званої електричної магістралі – між 2020 та 2050 роками, запущеного у 2012 році дослідницького проекту Electricity Highway2050, перші висновки якого очікувалися у листопаді 2015 року.

Цей план має дві основні цілі:

1. Допомогти інтеграції європейських електричних ринків.

2. Дозволити пан-європейській мережі збирати великі обсяги електроенергії з відновлюваних джерел та здатність переносити її на далекі відстані.

Для розробки цього модульного плану розвитку мережі було зроблено чітке зусилля, щоб визначити, яким буде пан-європейська "супермережа" у 2050 році. На основі результатів буде легше визначити потреби у розвитку системи "електромагістралей" у Європейському Союзі. Для побудови різних сценаріїв вони враховували можливі зміни у:

1. Відновлюваних джерелах енергії.
2. Соціоекономічних аспектах (економічні переваги порівняно зі звичайним установами, фінансування тощо).
3. Технології.
4. Аспекти охорони довкілля.
5. Нових методах планування, що враховують глобальний ринок.
6. Регуляторних та правових перешкодах (особливо управління супермережею).
7. Прийнятті суспільством.
8. Геополітичних викликах.

За інвестиції та проекти, необхідні для реалізації проекту уніфікації, ЄС створив ENTSO-E (Європейську мережу операторів систем передачі електроенергії), яка сформувала шість регіональних груп для ідентифікації та вирішення викликів інвестування та розвитку мережі, відображаючи регіональні особливості та потреби.

Основна мета енергетичного об'єднання полягає у створенні "супермережі", призначеної для транспортування великих обсягів електроенергії на довгі відстані. Для цього потрібні «електромагістралі» – спеціальні нові лінії високої напруги.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

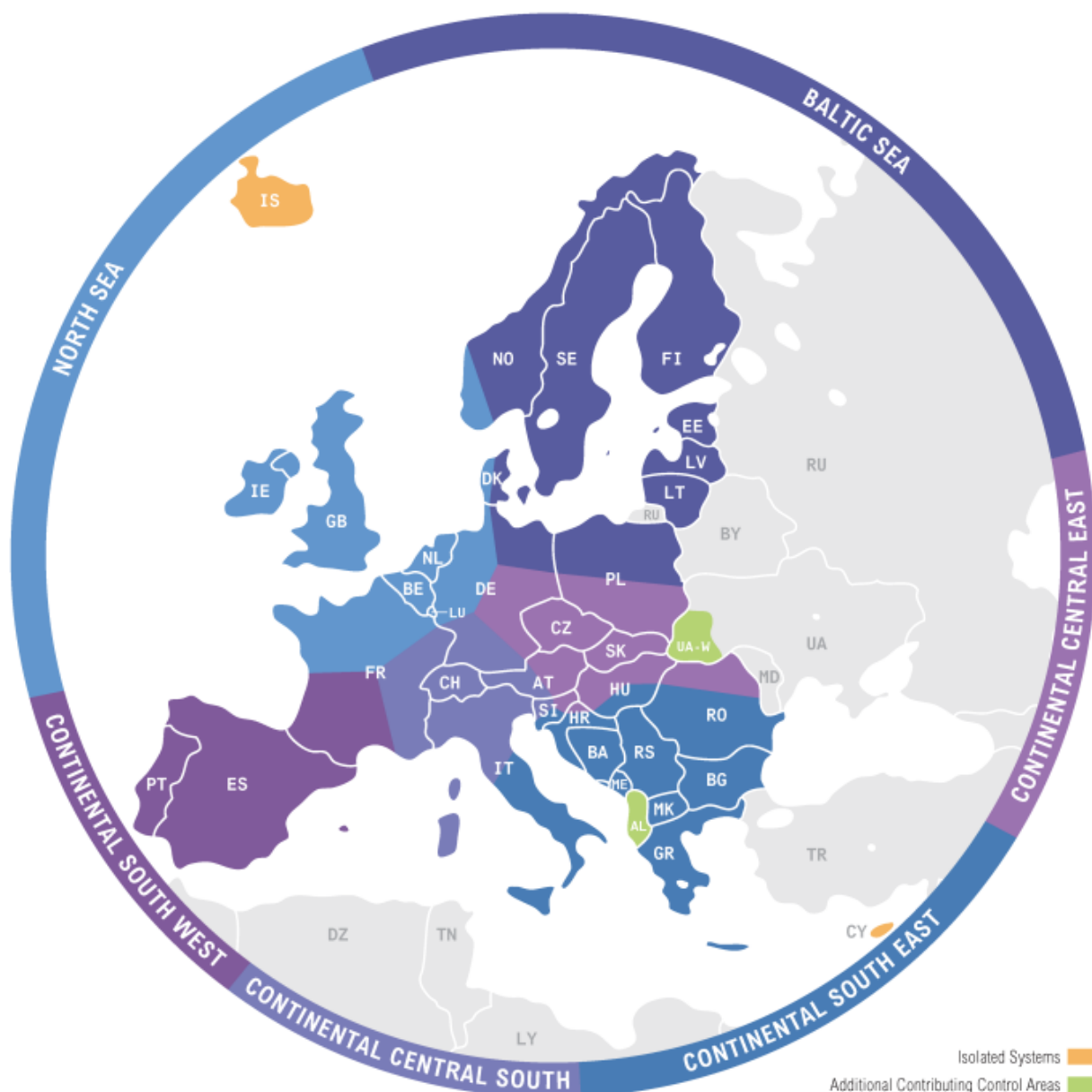


Рисунок 2.1 – Структура енергетичного об'єднання ENTSO-E

Наразі основна проблема полягає в тому, що раніше електростанції будувались з урахуванням обсягів споживання, з акцентом на транспортуванні енергії на середні відстані. Однак наразі одна з цілей ЄС - якнайшвидше знизити рівень викидів CO₂ країнами Єврозони, що призвело до зростаючого попиту на електроенергію, генеровану з відновлюваних джерел, яка, як правило, постачається з гідро- та вітрових джерел у країнах Північної Європи через кліматичні умови в регіоні. В результаті очікується значне зростання

потоків навантаження з півночі на південь. Те саме стосується зростаючого виробництва сонячної енергії на півдні Європи, яку доведеться транспортувати до центрів споживання.

З огляду на те, що поточні центри виробництва та споживання стають все більш віддаленими, основні майбутні виклики у передачі енергії полягають у її транспортуванні між націями та континентами. Щоб уявити важливість цього, слід зрозуміти, що історично оператори систем передачі електроенергії керували електричними потоками таким чином, що вони більш-менш відтворювали торгівлю на оптовому ринку. У майбутній електричній системі ці потоки все більше будуть керуватися на розподільчих мережах.

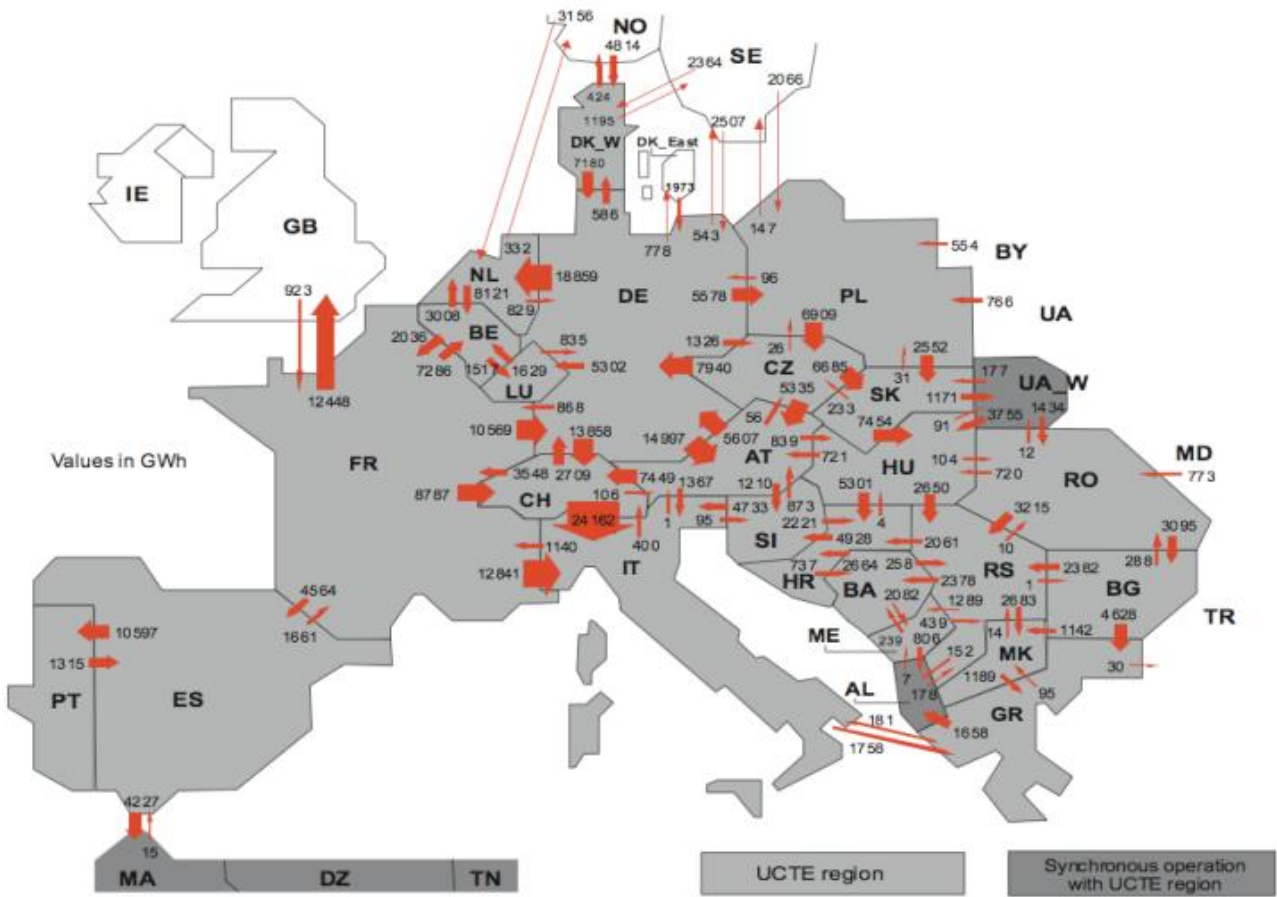


Рисунок 2.2 – Обсяги електричних потоків між учасниками енергетичного об’єднання

Нещодавно скандинавська енергетична модель була взята за приклад для інших європейських країн через високий ступінь взаємопов’язаності між північними країнами, низький рівень викидів вуглецю та високу ліквідність

ринку і "сполучення ринку напередодні", яке тепер служить зразком для реформи енергетичного ринку Європейської Комісії.

Однак, після 40 місяців роботи, на політичному рівні було багато декларовано про зусилля щодо інтеграції енергетичних ринків у ЄС, але з огляду на поточний стан переходу, усі учасники тепер стикаються з рядом потенційно складних викликів, таких як: все більш втручальні регулювання та фон падіння та меншої волатильності цін на товари, що призвело до ери змін та невизначеності, в якій торговельні можливості зменшуються, а прибутки стають складнішими.

Європейський Союз продовжує сприяти створенню єдиного конкурентоспроможного оптового ринку енергії з певним ступенем успіху. Тепер встановлено сполучення ринків від країн Півночі (Німеччина та Австрія) до Іберії (Іспанія та Португалія) разом з спільним розрахунком цін напередодні. Різниця в цінах між країнами заснована на різниці між їхніми сумішами виробництва.

Незважаючи на це, довгий шлях ще попереду для досягнення кінцевої мети ЄС. Складність ринку залишається викликом для учасників, які також стикаються з проблемами, такими як перевантаження мереж, вузькі місця у взаємоз'єднаннях, проблеми з безпекою постачання та все ще повинні "орієнтуватися" у різних стандартах з'єднання між операторами систем передачі (TSO), наприклад.

Правила ринку слід оновити до реальності набагато більш децентралізованої системи, де відновлювана енергія та споживач є двома найважливішими точками.

Коротко кажучи, будівництво великого внутрішнього ринку електроенергії Європи було повільним 25-річним процесом, але його було досягнуто, і лише в ЄС, ніде більше. ЄС створив свої внутрішні ринкові умови "своїм способом", хоча спочатку можна було уявити багато інших способів.

Завершення цієї програми не буде простим питанням грошей, але великою політичною переконаністю щодо взаємно вигідних міждержавних та

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		29

регіональних зв'язків, забезпечуючи економію масштабу, покращену здатність до інновацій, а також більшу безпеку та гарантії у постачанні електроенергії. Британія та Іспанія все ще є електричними островами з потужністю міждержавного з'єднання нижче п'яти відсотків.

2.2 Загальні положення організації мережі ENTSO-E

Кілька десятиліть тому основною метою взаємопов'язаної мережі ENTSO-E була загальна та транскордонна оптимізація експлуатації мережі як з технічної, так і з економічної точки зору, а також спільне надання допоміжних послуг (контроль частоти та напруги, резерви активної та реактивної потужності, відновлення мережі тощо). Система розвивалася на фоні інтегрованих електроенергетичних компаній, де відповідальність за виробництво, торгівлю, передачу та розподіл була в одній компанії. В такому середовищі відносно легко було керувати системою та уникати перевантаження.

З постійною дерегуляцією енергетичних ринків ця передумова більше не існує. Деретуляція електроенергетичних ринків змусила електроенергетичні компанії розділитися. Це означає, що різні функції (виробництво, торгівля, передача та розподіл) виконуються незалежними компаніями. Особливо трейдери хочуть мати якомога менше обмежень або хоча б знати заздалегідь від операторів системи передачі (TSO), які ці обмеження є. Це робить необхідним для TSO можливість прогнозувати стан мережі на наступний день та в поточний робочий день, виявляти можливі перевантаження та оцінювати необхідні коригувальні дії для управління цими перевантаженнями.

Дерегуляція збільшила потребу енергетичних компаній, а особливо TSO, у регулярному обміні даними. Цей обмін інформацією сприяє надійній роботі взаємопов'язаних енергетичних мереж, які належать та експлуатуються різними комунальними підприємствами. TSO використовують різні формати для зберігання своїх даних, чи то інформація про активи та розклад роботи в приватній внутрішній схемі бази даних, топологічні дані мережі

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

електроенергетичної системи в системі управління, чи статичні файли, які використовуються програмним забезпеченням для моделювання.

Визначення порушень мережі ENTSO-E для Електроенергетичної Системи вище 100 кВ (EGDD) визначає термінологію та концепції, пов'язані з порушеннями та несправностями у мережі передачі HVAC, з якими можуть зіткнутися оператори пан'європейської системи електроенергії [6]. Метою спільної класифікації є встановлення взаємних концепцій та розуміння інцидентів у електроенергетичній системі, а також створення основи для обговорення цієї теми. Крім того, спільна термінологія та концепції роблять реєстрацію пов'язаної інформації більш послідовною між TSO, підвищують якість цієї інформації та полегшують її аналіз та порівняння.

Визначення порушень мережі включають:

- інциденти, що включають порушення в мережі, несправності, відключення та перерви в мережі >100 кВ.

Визначення не включають:

- інциденти, що не включають порушення в мережі, тобто ситуації з прихованими несправностями та без несправностей;
- несправності у виробничих установках;
- несправності, виявлені під час обслуговування;
- заплановані оперативні перерви в частинах електроенергетичної системи;
- поведінка вимикачів та реле захисту, якщо вони не призводять до порушення мережі або не розширюють його;
- інциденти, що включають лише блоки HVDC.

Розглянута класифікація обмежується передавальними установками, які знаходяться в комерційній експлуатації, з рівнем напруги щонайменше 100 кВ, включаючи установки для реактивної компенсації. Однак, події за межами мережі >100 кВ, які призводять до порушення мережі >100 кВ, включені. Схема на рис. 2.3 показує, які компоненти в мережі включені в класифікацію. Трансформатори потужності для передачі енергії на нижчі напруги включені в

класифікацію. З іншого боку, трансформатори для підвищення напруги генераторів не включені. Трансформатори потужності для HVDC не реєструються окремо, а як компоненти в блоках HVDC.

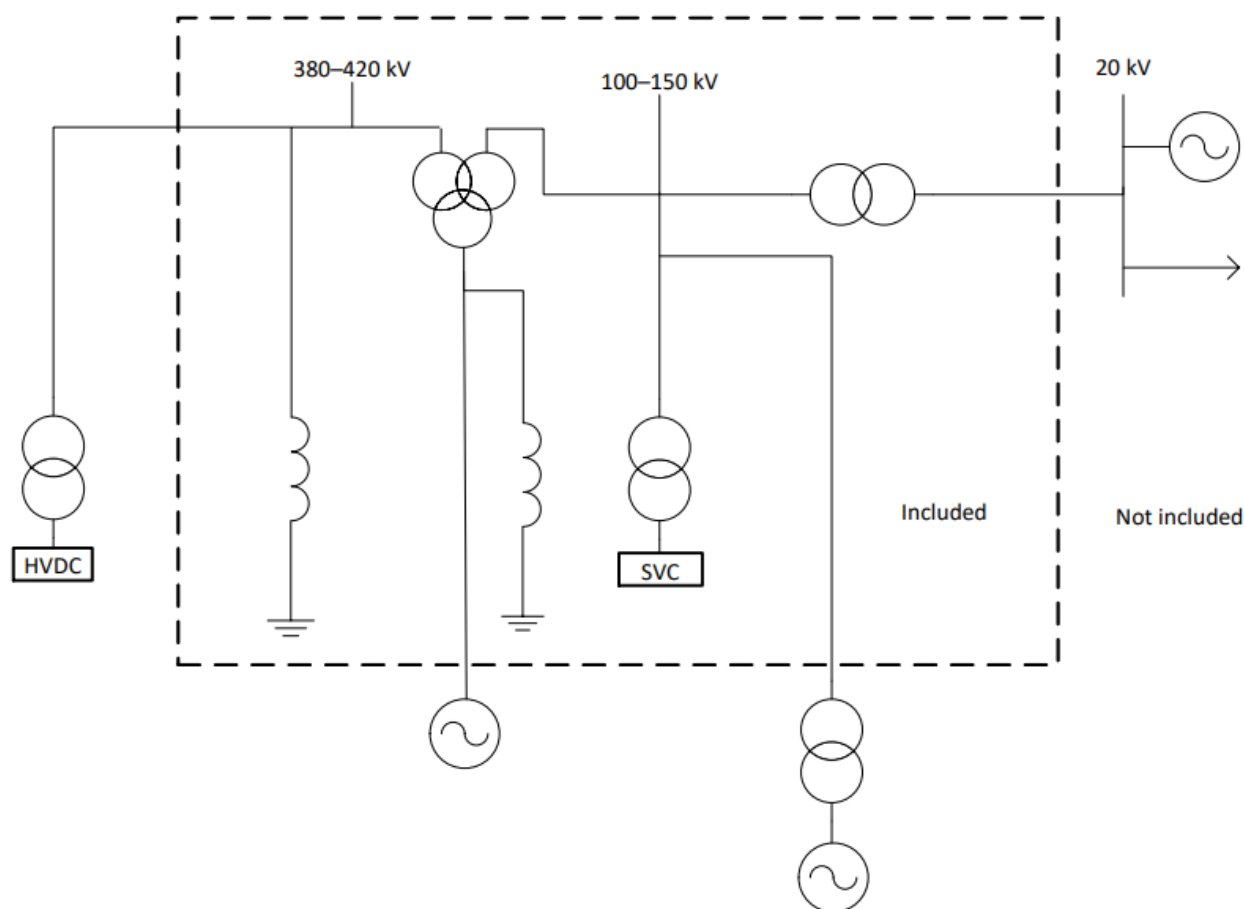


Рисунок 2.3 – Компоненти мережі, які включаються до класифікації інцидентів вище 100 кВ

Визначення та концепції цієї класифікації використовуються в різному ступені різними проектами та звітами в ENTSO-E. Статистика порушень мережі в країнах Північної Європи та Балтії [7] зосереджується на порушеннях мережі та несправностях, тоді як підгрупа Шкали Класифікації Інцидентів (ICS) [8] вибирає кількість відключень та енергію, яка не була поставлена. Методологія оцінки ризиків з точки зору ймовірності (PRA) використовуватиме всі визначення та концепції для створення всебічного координованого аналізу безпеки електроенергетичної системи.

Статистика порушень мережі в країнах Північної Європи та Балтії використовує орієнтований на несправності підхід для порівняння того, як TSO різних країн експлуатують свою електроенергетичну систему. Підгрупа ICS орієнтована на наслідки, тому вони зосереджуються на наслідках і категоризують інциденти на основі їх впливу на електроенергетичну систему, враховуючи також причини цих інцидентів. Робоча група PRA має на меті розробку методології оцінки ризиків з точки зору ймовірності, чіткі вимоги до якої поки що невідомі. Тому наразі методологія PRA прагне зібрати якомога більше інформації про інциденти, що відбуваються в панєвропейській електроенергетичній системі, для виявлення можливих кореляцій між ймовірностями виникнення та факторами, що збільшують ці ймовірності.

Таким чином, кілька процесів принципово залежать від збору даних з одного джерела, а саме від виникнення порушень у мережі, але виконують різні цілі. Зменшення навантаження на реєстрацію інформації за допомогою спільних стандартів та визначень дозволить TSO інвестувати більше часу та енергії в якість зібраних даних і, в кінцевому підсумку, забезпечить кращу якість постачання.

Включення певного визначення нижче не означає неявно, що збір даних для цього визначення є обов'язковим. Спільні визначення гарантують, що в майбутньому, якщо змінна вимагатиметься, буде існувати спільна мова та розуміння.

2.3 Основні визначення для класифікація порушень роботи електричного обладнання

Інцидент

Зовнішні або внутрішні події, які впливають на нормальну роботу електроенергетичної мережі. Інциденти класифікуються на три категорії в залежності від наступних умов або ситуацій у електроенергетичній системі: ситуації без несправностей, ситуації з прихованими несправностями та порушення в мережі.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

Ситуація без несправності

Ситуація, коли інцидент впливає на нормальні умови експлуатації електроенергетичної системи без наявності несправностей. Заплановане обслуговування або інші заплановані перерви є типовими прикладами ситуації без несправностей.

Ситуація з прихованою несправністю

Ситуація, коли присутня прихована несправність, яка не впливає на нормальні умови експлуатації електроенергетичної системи. Прихована несправність може бути відома або невідома операторам системи.

Порушення в мережі

Автоматичні, ненавмисні або ручні невідкладні відключення вимикачів внаслідок несправностей у електроенергетичній мережі. Невдале повторне підключення вимикача включено до первинного порушення в мережі. Порушення в електроенергетичній системі може призвести до перенапруги, провалу напруги, перепадів напруги, мерехтіння, перерви, гармонік, перехідних процесів у системі. Порушення в мережі починається з первинної несправності та може також містити одну або кілька вторинних несправностей або прихованих несправностей. Примусове відключення не класифікується як порушення в мережі, якщо можна вжити профілактичних заходів до відключення, наприклад, шляхом реструктуризації операцій. Однак, постійні заземлювальні несправності в компенсованих мережах повідомляються як порушення, навіть якщо операції реструктуризуються, оскільки несправність відгороджується. Невдале ручне підключення є порушенням в мережі, якщо ремонт виконується до можливої нової спроби підключення. Підтвердження сигналу не вважається ремонтними роботами. Порушення в мережі може бути, через спрацьовування вимикача через удар блискавки по лінії; невдале підключення лінії, коли потрібно виконати ремонт або налаштування перед підключенням лінії до мережі; аварійне відключення через пожежу; небажане відключення трансформатора потужності через несправності під час випробувань реле; спрацьовування з успішним високошвидкісним

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

автоматичним повторним замиканням вимикача. Кожне порушення в мережі призводить до відключення, що впливає принаймні на одну системну одиницю. Ситуація з кількома несправностями виникає, коли порушення в мережі має одну або кілька вторинних несправностей.

Тривалість порушення - це час між початком першого відключення та закінченням останнього відключення.

Системне порушення

Порушення, що виникає через несправність у системі. Порушення в мережі класифікується як системне порушення лише у випадку, якщо первинна несправність є несправністю системи. Вторинні несправності системи є неістотними. Системні порушення у більшості випадків будуть виправлені за допомогою коригувальних дій. Системні порушення зазвичай призводять до запланованого/незапланованого відключення вимикачів, але також можуть бути виправлені автоматичним/ручним регулюванням (навантаження або генерації) без спрацювання будь-яких вимикачів.

Несправність

Неможливість виконувати необхідні функції через внутрішній стан. Перехід з нормального стану або обмеженого стану в стан несправності називається несправністю. Несправність об'єкта виникає через відмову, будь то самого об'єкта, або через недолік на ранішньому етапі життєвого циклу, такому як специфікація, проектування, виробництво або обслуговування: Несправності можна розділити на три категорії: технічні, оперативні та системні несправності. Більшість статистик не розрізняють технічні, оперативні та системні несправності, але просто називають їх несправностями. Несправність - це будь-який дефект або відхилення, що призводить до того, що одиниця не може виконувати свою призначену функцію в електроенергетичній системі. Несправність може бути: первинною несправністю або вторинною/прихованою несправністю – тимчасовою або постійною – періодичною або неперіодичною. Несправності можуть бути викликані недостатніми одиницями електроенергетичної системи, порушеннями в мережі або неправильними

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

операціями. Несправність, яка є періодичною і постійною – це несправність, яка спочатку була періодичною, але згодом стала постійною. Прикладом може бути галопування ліній, яке перетворюється на відмову фази. Причина відмови є тією ж, що й причина несправності, однак причина відмови використовується виключно з технічними несправностями.

Відключення

Подія, під час якої компонент або одиниця частково або повністю ізолюється від системи. Останнє визначення IEEE примусового відключення - це "Автоматичне відключення або ручне відключення, яке не може бути відкладене". Нове визначення відповідає намірам ENTSO-E, однак, чи може відключення бути відкладеним, є дещо суб'єктивним, але прийнятним. Історично, примусове відключення було розділене на чотири підкатегорії. Категорії, згідно з IEEE, включають невдачу пуску, негайне, відкладене та відтерміноване відключення. Однак, чи може відключення бути відкладеним, є суб'єктивним. Суб'єктивна частина примусового відключення завжди була помітною. Відрізнити невдачу пуску від негайного відключення може бути складно. Також відрізнити відкладене від відтермінованого відключення є високо суб'єктивним. Кількість вимкнених елементів мережі дорівнює кількості відключень у порушенні мережі.

Точка поставки

Точка, трансформатор потужності або шинопровід в мережі, де відбувається обмін електроенергією. Визначення є загальним і на практиці може охоплювати всі точки, трансформатори потужності та шинопроводи в електроенергетичній мережі. Інший термін для точки поставки – точка постачання. У статистиці точка поставки знаходиться на межі статистичної зони.

Перерва

Зникнення напруги постачання в точці поставки. Якщо район має більше однієї точки поставки від мережі передачі, і перерва відбувається в одній з цих точок поставки, розмір перерви є електричною енергією, яка обмінювалася в

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

точці поставки до перерви. Перерву слід включати, навіть якщо кінцеві користувачі не відчують впливу перерви через постачання через іншу точку поставки. Реєструвати слід лише перерви, що впливають на точки поставки у власній мережі. Якщо одна компанія володіє обладнанням на стороні 400 кВ, а інша компанія - обладнанням на стороні 130 кВ і відбувається несправність на трансформаторі 400/130 кВ, лише система 130 кВ реєструє перерву. Система 400 кВ реєструє та повідомляє про несправність, відключення та перерви, які вона відчула.

Кінцевий користувач

Споживачі електричної енергії, які не перепродають всю енергію. Покупець, який перепродає частину енергії, вважається кінцевим користувачем. Інший термін для кінцевого користувача - споживач. Проміжна система розподілу або розподільча компанія не є кінцевим користувачем. Втрати не включаються.

Перерва для кінцевого користувача

Перерва, що впливає на кінцевого користувача. Перерва для кінцевого користувача стосується лише кінцевих користувачів. Перерва для кінцевого користувача може повідомлятися або ні. Точка поставки встановлюється для кожного кінцевого користувача, що відчув вплив перерви. Одна перерва може включати одну або кілька перерв для кінцевих користувачів.

Енергія, що не була поставлена

Оцінена енергія, яка була б поставлена кінцевим користувачам, якби не відбулося перерви та обмежень у передачі. Оцінений обсяг базується на очікуваній кривій навантаження протягом усього часу перерви. Навантаження, яке не було підключене після завершення перерви включати не слід. Якщо доступна очікувана крива навантаження, вона використовується для розрахунку. Якщо ні, енергія, що не була поставлена, оцінюється як навантаження перед перервою, помножене на тривалість перерви. Якщо неможливо визначити, скільки енергії не отримав кінцевий користувач, і єдина доступна інформація - це вимірювання з найближчої точки поставки у

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

передавальній мережі, слід використовувати термін Енергія, що не була розподілена: Для розрахунку енергії, що не була поставлена перерва для кінцевого користувача має тривати довше, ніж нормальний час роботи обладнання для керування. Це було встановлено як мінімальна тривалість, щоб, наприклад, автоматичне переключення не було включено. Потенційні затримки перед тим, як промисловість поверне своє виробництво до нормального після закінчення перерви, не враховуються при розрахунку. Якщо перерва впливає на різних кінцевих користувачів протягом різних періодів часу, енергія, що не була поставлена розраховується окремо для них. Енергія, що не була поставлена, також виникає, коли вихідна потужність обмежена через обмеження передачі в мережі згідно з її визначенням. Для реєстрації енергії, що не була поставлена, перерва, яка її викликає має впливати на системну одиницю в межах статистичної зони.

Енергія, що не була доставлена

Оцінена енергія, яка була б доставлена через точку поставки, якби не відбулося перерви та обмежень у передачі. Енергія, що не була доставлена, використовується, коли енергія, що не була поставлена, непотрібна, важко або неможливо розрахувати. Оцінений обсяг базується на очікуваній кривій навантаження протягом усього часу перерви. Навантаження, яке не було підключене після завершення перерви включати не слід. Якщо доступна очікувана крива навантаження, вона використовується для розрахунку. Якщо ні, Енергія, що не була доставлена оцінюється як навантаження перед перервою, помножене на тривалість перерви. Для розрахунку енергії, що не була доставлена, перерва має тривати щонайменше 2 секунди. Однак, залежно від національних визначень, поріг тривалості може бути більшим за 2 секунди.

Системна одиниця

Група компонентів, яка обмежена одним або декількома вимикачами. Концепція системної одиниці була визначена для спрощення розрахунку доступності. Хоча системна одиниця завжди обмежена вимикачами, окремий компонент може не завжди бути таким. Отже, системна одиниця може містити

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

більше одного компонента. Вимикачі не включені до системної одиниці. Вимкнений елемент є синонімом вимкненої системної одиниці. Тип системної одиниці визначається її домінуючим компонентом. Доступні типи системних одиниць: трансформатор потужності, повітряна лінія, кабель, реактор, шинопровід, послідовний конденсатор, шунтовий конденсатор та SVC. Коли системна одиниця більше не транспортує або не постачає електричну енергію, вона визначається відключенням. Системна одиниця стає недоступною після відключення. Системна одиниця може бути не в змозі транспортувати енергію через відключення іншої системної одиниці залежно від конфігурації мережі, в якій вона знаходиться. Відключення системної одиниці може бути спричинене несправністю компонента всередині системної одиниці, несправністю вимикача між двома системними одиницями або системним порушенням. Системні одиниці розділені на різні типи згідно з основними функціями, які вони виконують.

2.4 Рекомендації ENTSO-E щодо національних стандартів обладнання

Мета рекомендацій – надати загальні міркування, які вважаються важливими при визначенні цих параметрів на національному рівні та принципи координації між користувачами та операторами системи для досягнення цього.

Рекомендації не можуть вважатися обов'язковим для впровадження на національному рівні державами-членами, операторами систем та всіма іншими зацікавленими сторонами.

Ці рекомендації також надають найбільш загальні принципи для визначення всіх невичерпних параметрів і має бути прочитані у поєднанні з більш специфічними рекомендаціями щодо основних питань, згрупованих у наступні категорії:

- параметри, пов'язані з питаннями напруги
- параметри, пов'язані зі стабільністю частоти
- питання відновлення

- контроль активної та реактивної потужності
- інструментарій, моделі симуляції та захист

Для цих груп існують загальні рекомендації для допомоги операторам систем передачі (TSO) у визначенні їхніх власних параметрів у їхніх власних пристроях. У межах цих груп є ряд вимог, багато з яких мають свої власні специфічні властивості.

При визначенні невичерпних вимог на національному рівні необхідно враховувати характеристики системи та її еволюцію.

Вибір невичерпних параметрів на момент набрання чинності НС повинен враховувати безпосередні та майбутні характеристики системи (наприклад, проникнення ВДЕ), включаючи як розвиток мереж. Очікується, що вони змінюватимуться постійно та по-різному в кожній країні. Рекомендується оцінити на національному рівні очікувані зміни потреб системи протягом наступних 15-20 років, щоб визначити невичерпні параметри. На деякі варіанти також впливатиме співвідношення різних типів генераторів у країні (тип А/В проти С/Д). Загалом, визначальними факторами, які слід враховувати для визначення невичерпних вимог на національному рівні, можуть бути: - Збереження існуючих вимог і продуктивності, які вже передбачені в попередніх національних нормативних актах, якщо їх необхідність і переваги продемонстровані експлуатаційним досвідом. Беручи до уваги еволюцію національних характеристик портфеля генерації (наприклад, рівень проникнення енергетичного електронного інтерфейсу відновлюваної генерації). Беручи до уваги характеристики та потреби національної системи та її майбутню еволюцію (наприклад, сільські/міські умови, щільність навантаження та генерування) - Забезпечення виконання вимог, необхідних для забезпечення безпеки постачання, у будь-який час, навіть з урахуванням особливостей кожної системи електроенергії (наприклад негативне сальдо кожної країни).

Таким чином, законодавство Європейського Союзу дозволяє особливості в рамках національних стандартів. Розглянемо деякі вимоги на прикладі Польщі, як найближчої сусідньої країни.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вимоги загального застосування

Термін експлуатації

Приєднаний до магістральної мережі об'єкт споживача, приєднаний до магістральної мережі розподільний об'єкт або система розподілу повинна бути здатною залишатися підключеною до мережі та працювати з наступними частотами та в наступні мінімальні періоди часу.

Таблиця 2.1 – Вимоги до частоти в системі

Діапазон частот	Час роботи
47,5 Гц - 48,5 Гц	30 хвилин
48,5 Гц - 49,0 Гц	30 хвилин

Діапазони напруги та періоди роботи

Приєднаний до магістральної мережі об'єкт споживача, приєднаний до магістральної мережі розподільний об'єкт або розподільна система, підключена до магістральної мережі, повинна мати можливість залишатися підключеною до мережі та працює в наступних діапазонах напруги та протягом наступного мінімального часу періоди.

Таблиця 2.2 – Вимоги до напруги в системі

Діапазон напруги	Час роботи
мережі номінальною напругою від 110 кВ до 300 кВ	
1,118 в.о. - 1,15 в.о	60 хвилин
мережі номінальною напругою від 300 кВ до 400 кВ	
1,05 в.о. - 1,10 в.о	60 хвилин

Вимоги до систем розподілу

Фактичний діапазон реактивної потужності для імпорту та експорту реактивної потужності не повинен бути ширшим ніж:

1) Якщо підключення розподільної системи відбувається в трансформаторі 110 кВ:

i. 40% (тобто 0,928 коефіцієнта потужності $\cos\phi$, що відповідає коефіцієнту потужності $\tan\phi=0,4$) більшої з максимальних можливостей імпорту або максимальної можливості експорту протягом імпорту (споживання) реактивної потужності; і

ii. 0% (тобто 1,0 коефіцієнта потужності $\cos\phi$ більшого з максимальних можливостей імпорту або максимальної експортної здатності при експорті (генерації) реактивної потужності;

2) Якщо підключення розподільчої системи відбувається до 110 кВ, що належить ОСП та розподільчих пристроїв:

i. 40% (тобто 0,928 коефіцієнта потужності $\cos\phi$, що відповідає коефіцієнту потужності $\tan\phi=0,4$) більшої з максимальних можливостей імпорту або максимальної можливості експорту протягом імпорту (споживання) реактивної потужності; і

ii. 40% (тобто 0,928 коефіцієнта потужності $\cos\phi$, що відповідає коефіцієнту потужності $\tan\phi=0,4$) більшої з максимальних можливостей імпорту або максимальної можливості експорту протягом експорту (генерації) реактивної потужності.

Якість електроенергії

Якщо ОСП/TSO не вирішить інакше, наступні вимоги повинні бути виконані для оператора мережі, що працює без збоїв, у точці приєднання об'єктів споживача або розподільних об'єктів:

1. Для кожного тижня 95% набору 10-хвилинних середніх середньоквадратичних значень напруги живлення (застосовується також у порушеному стані роботи мережі попиту) має відповідати наступний діапазон відхилень:

а. $\pm 10\%$ від номінальної напруги для мережі з номінальною напругою 110 кВ і 220 кВ,

б. $+5\%$ / -10% від номінальної напруги для мережі з номінальною напругою 400 кВ;

2. Протягом 95% часу кожного тижня, довготривале мерехтіння індикатора Plt, спричинене напругою живлення коливання не повинні перевищувати 0,8;

3. Протягом кожного тижня 95% набору 10-хвилинних середніх середньоквадратичних значень зворотня послідовність симетричної складової напруги живлення повинна бути в межах від 0% до 1% діапазон значення компонента прямої послідовності;

4. Об'єкти попиту та розподільні системи, приєднані до магістральної мережі, не повинні спричиняти наявність гармонік вищої напруги зі значеннями, що перевищують межі, зазначені в EN 50160 Характеристики напруги електроенергії, що постачається державними розподільними системами.

Підключення обладнання, споруд та мереж, а також модернізація вже підключеного обладнання, засоби та мережі не повинні спричиняти допустимі межі перевищення параметрів якості електроенергії в точках приєднання до мереж інших суб'єктів або знизити рівень надійності електропостачання.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

3 ПІДХОДИ ДО СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА УНІФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

3.1 Загальні відомості

Можливість реалізувати блоки живлення, як вбудовані, так і зовнішні, у всьому світі залежить від відповідності відповідним нормам безпеки, які діють у цих територіях. Ці стандарти визначаються та адмініструються національними або міжнародними агенціями, при цьому різні лабораторії, визнані урядом, можуть сертифікувати відповідність таким законодавчим регуляціям [3].

Основною метою стандартів безпеки для блоків живлення, що використовуються в електричному обладнанні, є захист від пожежі, електричного удару та травм. Продукти, що відповідають цим вимогам, можуть бути ідентифіковані за допомогою маркування безпеки від відповідної організації стандартів або маркуванням, що вказує на відповідність місцевому законодавству, у межах певної економічної зони або торгової зони.

Розуміння складностей і тонких відмінностей між різними стандартами та схемами маркування може бути непростим. Розглянемо основні стандарти, які стосуються безпеки блоків живлення, агенції, які їх адмініструють та/або надають сертифікацію, а також схеми маркування, які можуть бути використані для демонстрації відповідності.

3.2 Термінологія стандартів безпеки. Класи обладнання

Стандарти безпеки визначають різні класи обладнання в залежності від того, як їхні блоки живлення, особливо мережеві блоки, ізолюють вторинні кола та доступні частини від небезпечних змінних напруг мережі:

Клас I Обладнання забезпечує захист від електричного удару через базову ізоляцію та заземлення для захисту. Це вимагає, щоб усі провідні частини, які можуть прийняти небезпечну напругу у випадку виходу з ладу базової ізоляції, були підключені до захисного заземлюючого провідника.

Клас II Обладнання забезпечує захист за допомогою подвійної або посиленої ізоляції, тому заземлення не потрібно.

Клас III Обладнання працює від джерела живлення SELV (безпечна дуже низька напруга), що означає, що воно внутрішньо захищене від електричного удару, оскільки в обладнанні неможливо виробити небезпечні напруги.

Розуміння стандартів безпеки та вищезгаданих класів обладнання вимагає чіткого розуміння визначень кіл, типів ізоляції та іншої термінології, яка використовується у відношенні до блоків живлення.

Таблиця 3.1 – Визначення термінології стандартів безпеки

Небезпечна напруга	Будь-яка напруга, що перевищує 42,2 В змінного струму в піку або 60 В постійного струму без обмеження струму в колі.
Додаткова низька напруга (ELV)	Напруга у вторинному колі, що не перевищує 42,4 В змінного струму в піку або 60 В постійного струму, коло відокремлене від небезпечної напруги принаймні базовою ізоляцією.
Коло безпечної додаткової низької напруги (SELV)	Вторинне коло, в якому неможливо досягти небезпечної напруги між будь-якими двома доступними частинами або доступною частиною та захисним заземленням під час нормальної експлуатації або при одинарній помилці. У випадку умови одинарної помилки (виходу з ладу ізоляції або компонента) напруга на доступних частинах кіл SELV не повинна перевищувати 42,4 В змінного струму в піку або 60 В постійного струму більше ніж 200 мс. Абсолютний ліміт у 71 В змінного струму в піку або 120 В постійного струму не повинен перевищуватися. Кола SELV повинні бути відокремлені від небезпечних напруг, наприклад від первинних кіл, двома рівнями захисту, якими можуть бути подвійна ізоляція або базова

		ізоляція, поєднана з заземленим провідним бар'єром. Вторинні частини SELV вважаються безпечними для доступу оператора. Кола, заживлені від виходів джерела живлення SELV, не вимагають розгорнутого тестування безпеки або оцінок повітряних проміжків та відстані.
Кола з обмеженим струмом	з	Ці кола можуть бути доступними, навіть якщо напруги перевищують вимоги SELV. Коло з обмеженим струмом розроблено так, щоб у випадку помилки струм, який можна зняти, не був небезпечним. Ліміти визначені наступним чином: для частот < 1 кГц сталий струм, що знімається, не повинен перевищувати 0,7 мА змінного струму в піку або 2 мА постійного струму. Для частот вище 1 кГц ліміт у 0,7 мА множиться на 2.

Ізоляція та відокремлення

Існує п'ять типів ізоляції для захисту живих компонентів з небезпечними напругами від інших компонентів та кіл, які включають:

Оперативна / Функціональна ізоляція

Необхідна лише для правильної роботи обладнання і не забезпечує захисту від електричного удару.

Базова ізоляція

Ізоляція, застосована до живих частин, щоб забезпечити базовий захист від електричного удару.

Додаткова ізоляція

Незалежна ізоляція, яка застосовується додатково до базової ізоляції, щоб забезпечити захист від електричного удару у випадку виходу з ладу базової ізоляції.

Подвійна ізоляція

Включає як базову, так і додаткову ізоляцію.

Посилена ізоляція

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

Одинична ізоляційна система, застосована до живих частин, яка забезпечує ступінь захисту від електричного удару, еквівалентний подвійній ізоляції. Для блоків живлення мінімальні вимоги до ізоляції такі:

Від первинного до вторинного:

Посилена ізоляція з мінімальною діелектричною міцністю 3000 В змінного струму.

Від первинного до заземлення: Базова ізоляція з мінімальною діелектричною міцністю 1500 В змінного струму.

Інші визначення термінології стандартів безпеки приведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Інші визначення термінології стандартів безпеки

Захисне заземлення	Обладнання класу I повинно мати захисний заземлюючий провідник, якщо він ізольований, він повинен мати зелено-жовте або прозоре покриття. Використання перемикача або запобіжника не дозволяється. Опір між заземленими частинами та заземлюючим кінцем не повинен перевищувати 0,1 Ом, що тестується струмом в 1,5 рази більшим від струмової ємності будь-якого небезпечного напругового ланцюгу в точці, де вихід з ладу базової ізоляції зробив би заземлену частину під напругою. Максимальна напруга тесту становить 12 В. Тестовий струм може бути змінним або постійним, але не повинен перевищувати 25 А.
Відстані (через повітря)	Електротехнічні продукти призначені для загального застосування і повинні бути розроблені для найгірших умов (ступінь

	забруднення 3 і мережеві напруги до 264 В змінного струму) для мінімальних відстаней: 4,00 мм для посиленої або подвійної ізоляції. 2,00 мм для базової та додаткової ізоляції. Якщо існують формальні процеси контролю якості, дозволяється послаблення до 3,4 мм і 1,7 мм, але тоді посилена ізоляція підлягає 100% тестуванню на електричну міцність. Якщо повітряний проміжок служить ізолятором між небезпечною напругою та оболонкою, необхідна відстань становить 10 мм.
Відстані витоку	Таблиці відстаней витоку для базової ізоляції наведені для різних умов забруднення та матеріалів, відстані залежать від робочих напруг. Ці відстані подвоюються для посиленої ізоляції.
Горючість	Стандарт вимагає, щоб конструкція обладнання: Уникала високих температур або захищала та відокремлювала запальні матеріали від частин високої температури. Використовувала матеріали з низькою запальністю як внутрішньо, так і для оболонок. Використовувала вогнетривкі оболонки для обмеження поширення вогню. Дотримання може бути досягнуто за допомогою використання ізоляційних та друкованих матеріалів з рейтингом V-2 або краще та забезпечення достатньої відстані між компонентами високої температури та пластиковими та фарбованими частинами.

	Використання матеріалів UL звільняє від необхідності вичерпного та брудного випробування на запальність.
Струм витоку на землю	Для обладнання класу II він не повинен перевищувати 0,25 мА, для портативного обладнання класу I 0,75 мА, а для іншого обладнання класу I 3,5 мА. Тест для обладнання класу II вимагає прикріплення провідної металевої фольги до площі не більше 10 x 20 см на доступних непровідних частинах, а тест проводиться між цим та провідними частинами. Тести проводяться при найменш сприятливій (найвищій можливій) напрузі живлення.

Основні стандарти безпеки

Міжнародна Електротехнічна Комісія (МЕК) та пов'язана з нею Міжнародна Організація зі Стандартизації (ISO) є основними агентствами, відповідальними за стандарти електричної безпеки. Агентства, такі як Лабораторії Ураження (UL) та Канадська Асоціація Стандартів (CSA), забезпечують сертифікацію в Північній Америці, тоді як у Європі аналогічні органи представлені Союзом Електротехніки (VDE), Технічним Спостережним Союзом (TUV) та Британським Інститутом Стандартів (BSI). Продукт, що відповідає стандарту МЕК, такому як МЕК 60950 або новішому стандарту 62368-1, може бути ідентифікований з номером стандарту, на початку якого стоїть префікс UL, CSA або EN (European Norm), що вказує країну, де він сертифікований, наприклад UL 60950 або EN 62368-1. Стандарти, подібні до цих з однаковими номерами, але різними префіксами, іноді називають "гармонізованими стандартами". Однак, незважаючи на прагнення МЕК до

гармонізації, регіональні відмінності залишаються, і тому продукти, призначені для кількох ринків, повинні демонструвати всі необхідні сертифікації.

3.3 Регулювання, вимоги та стандарти електропостачання

Нормативні стандарти охоплюють безпеку та електромагнітну сумісність (ЕМС), а також ефективність. Стандарти безпеки та ЕМС є відносно простими, і їхня кількість обмежена. Ефективність - це інша справа: прагнення суспільства зменшити викиди парникових газів призводить до все більш складних стандартів енергоефективності для всіх типів перетворювачів потужності. Все почалося з відносно простих стандартів Energy Star для зовнішніх блоків живлення в 1990-х роках. Сьогодні існують стандарти, адаптовані для конкретних умов експлуатації різних застосувань, що варіюються від блоків живлення для центрів обробки даних до побутових приладів, світлодіодних ламп, зарядних пристроїв для акумуляторів електромобілів, фотоелектричних інверторів та інших. І стандарти охоплюють набагато більше, ніж просто ефективність. Існують детальні стандарти для ЕМС, захисту від перенапруги та багатьох інших параметрів продуктивності [4]. Існують три основні категорії нормативних стандартів, на які конструкторам потрібно зосередитися:

1. Стандарти безпеки.
2. Стандарти електромагнітної інтерференції/електромагнітної сумісності (ЕМІ/ЕМС).
3. Стандарти ефективності.

Ці вимоги можуть бути обов'язковими або добровільними, залежно від застосування та регіону, де використовується пристрій (рис. 3.1). Ці стандарти мають різні рівні необхідної документації та виконання. Основними міжнародними джерелами цих стандартів є Міжнародна Електротехнічна Комісія (IEC) та пов'язана Міжнародна Організація зі Стандартизації (ISO). Ці міжнародні стандарти зазвичай служать джерелом вимог у національних та регіональних стандартах від органів, таких як Лабораторії Ураження (UL), Канадська Асоціація Стандартів (CSA), Союз Електротехніки (VDE), Технічний

Спостережний Союз (TUV), Європейські Норми (EN), Британський Інститут Стандартів (BSI), Федеральна Комісія зв'язку (FCC) та інші.



Рисунок 3.1 – Стандарти та знаки безпеки джерел живлення

Стандарти безпеки

МЕК є початковим джерелом багатьох стандартів безпеки для електронних пристроїв. Крім локальних версій, стандарти МЕК зазвичай мають кілька ітерацій або видань. Існує велика та зростаюча кількість стандартів безпеки. Нижче наведено підсумок декількох з найважливіших:

МЕК 60601 застосовується до безпеки та важливої ефективності медичного електричного обладнання. Крім базового стандарту, він включає близько десяти доповнюючих стандартів та майже 80 специфічних стандартів застосування. Деякі національні стандарти, засновані на 609601, відрізняються від базових вимог.

МЕК 61010 стосується безпеки лабораторного, інспекційного та вимірювального обладнання. Це включає електричне обладнання для вимірювань та контролю в лабораторному використанні. Типи лабораторного обладнання, що охоплюється сімейством стандартів МЕК 61010, включають: обладнання для тестування та вимірювання – тести, вимірюють, вказують або записують електричні чи неелектричні величини; Лабораторне обладнання – вимірює, вказує, контролює, аналізує або готує матеріали; Настільні блоки живлення в обладнанні для тестування та вимірювань; та Комп'ютерне

обладнання – частина стандарту обладнання або спеціально розроблене для обладнання.

МЕК 80601-2-60:2019 застосовується до базової безпеки та важливої ефективності стоматологічних установок, стоматологічних крісел пацієнтів, стоматологічного обладнання та стоматологічного операційного освітлення.

МЕК 62368-1, стандарт безпеки продукції на основі небезпеки для ІКТ та АВ обладнання, замінив МЕК 60950-1 для ІКТ обладнання та МЕК 60065 для АВ обладнання. МЕК 62368-1 використовує принципово відмінні інженерні принципи та термінологію порівняно з двома стандартами, які він замінив, і деякі продукти, які відповідали 60950-1 або 60065, потребуватимуть повторної сертифікації до 62368-1. Крім того, попередній стандарт застосовувався лише до кінцевих продуктів, новий стандарт застосовується до компонентів та підсистем, таких як блоки живлення.

МЕК 60335-1 стандарт безпеки для побутових електричних приладів застосовується до пристроїв із номінальними напругами до 250 В змінного струму однофазного або 480 В змінного струму багатofазного. Поява розумних приладів, що поєднуються з Інтернетом речей (IoT), призвела до складних приладів з різними новими функціями, включаючи дисплеї, бездротові зв'язки та програмне забезпечення, що можуть впливати на безпеку продукту. Крім загальних вимог частини 1, частина 2 включає додаткові вимоги для понад 100 типів пристроїв. МЕК 60335-1 включає дві категорії обмеження струму витоку; портативні прилади та стаціонарні прилади. Портативні прилади обмежені до 0,75 мА, тоді як стаціонарні та пересувні пристрої обмежені до 3,5 мА. Важливими є також відстані уздовж поверхні та повітряний проміжок.

Повітряний проміжок та відстань уздовж поверхні

Повітряний проміжок - це відстань між двома провідними частинами через повітря, тоді як відстань вздовж поверхні - це найкоротша відстань між двома провідниками уздовж поверхні (рис. 3.2). Проміжок запобігає іонізації повітряного проміжку. Довжина необхідного повітряного проміжку для запобігання пробом залежить від відносної вологості, температури та ступеня

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

забруднення. Оскільки проміжок призначений для уникнення пробою, для визначення цієї відстані використовується максимальна пікова напруга, включаючи очікувані перехідні процеси. МЕК 60950-1 визначає 4,0 мм проміжку з посиленням ізоляцією та робочою напругою між 250 та 300 вольт, тоді як вимога МЕК 60335-1 становить 3,5 мм.

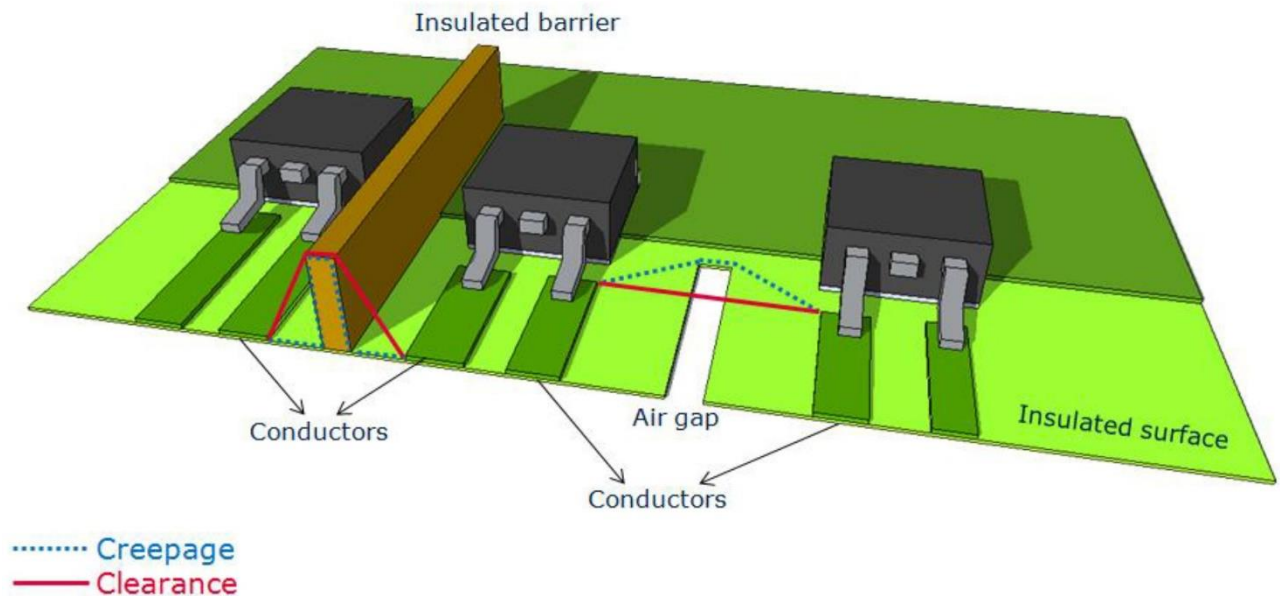


Рисунок 3.2 – Відстань уздовж поверхні (синя пунктирна лінія);
повітряний проміжок (червона сплошена лінія) -

Відстань уздовж поверхні призначена для запобігання розвитку провідного шляху уздовж поверхні ізолятора через високу напругу, що застосовується протягом часу. Вона пов'язана з дійсним значенням напруги та залежить від умов навколишнього середовища, описаних характеристиками матеріалу ізолятора та ступенем забруднення. МЕК 60335-1 вимагає 8,0 мм відстані уздовж поверхні для посиленої ізоляції, коли робоча напруга знаходиться між 250 та 300 вольтами, тоді як МЕК 60950-1 визначає лише 6,4 мм відстані уздовж поверхні. Коли робоча напруга знаходиться між 200 та 250 В, обидва стандарти вимагають 5 мм відстані уздовж поверхні.

Стандарти ЕМІ/ЕМС

ЕМІ стосується передачі або випромінювання потенційно шкідливого електромагнітного випромінювання пристроєм або системою, а ЕМС

стосується сприйнятливості системи до ЕМІ, що випромінюється іншими системами або джерелами. ЕМІ/ЕМС може проявлятися у вигляді провідних перешкод та індукованих випромінювань (рис. 3.3). Провідні перешкоди відносяться до електромагнітної енергії, генерованої системою або пристроєм та переданої через провідники до інших пристроїв. Індуковані випромінювання стосуються електромагнітної енергії, яка випромінюється через вільний простір та впливає на інші пристрої. В результаті існують чотири питання ЕМІ/ЕМС, які викликають занепокоєння:

1. Провідні перешкоди.
2. Індуковані випромінювання.
3. Сприйнятливість до провідних перешкод.
4. Сприйнятливість до індукованих випромінювань.

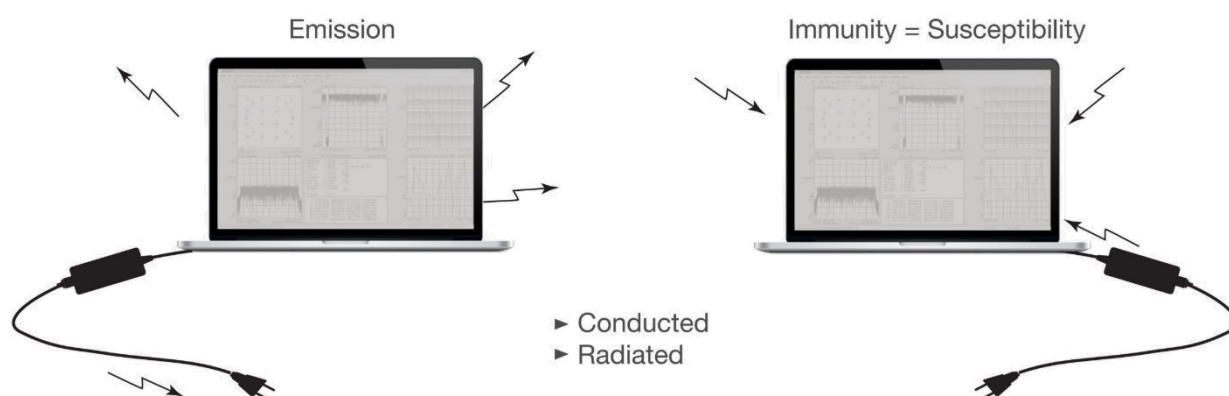


Рисунок 3.3 – Блоки живлення та інші електронні пристрої повинні відповідати обмеженням щодо електромагнітних випромінювань (перешкод) та сприйнятливості (імунітету) до них

Вимоги ЕМІ/ЕМС значно менш численні та більш місцево пропаговані. Дві основні регіональні стандартні зони - це США та ЄС. Федеральна комісія зв'язку (FCC) є органом у США, а в ЄС питання ЕМІ/ЕМС врегульовується Директивою про електромагнітну сумісність (EMC) 2014/30/EU. CISPR (Міжнародний спеціальний комітет з радіоперешкод) також досі згадується, хоча більшість стандартів CISPR мають еквівалентні стандарти EN (Таблиця 1).

Більшість інших країн гармонізували стандарти або з FCC, або з Директивою ЄС з EMC. Крім того, неформальні військові стандарти EMC існують з 1940-х років, з першою версією MIL-STD 461, опублікованою в 1967 році. Хоча дотримання MIL-STD-461 технічно не вимагається за межами військових США, багато цивільних та військових організацій використовують цей документ.

Деякі поширені стандарти EMI та EMC включають:

CISPR 22: Обладнання інформаційних технологій – Граничні характеристики радіоперешкод; відповідає європейському стандарту EN 55022. Це стандарт, який часто згадується в усіх європейських стандартах EMC, визначаючи методи вимірювань, обладнання для вимірювань, межі ліній та інтерпретацію застосування меж ліній, починаючи від побутових приладів до медичних пристроїв.

CISPR 24: Обладнання інформаційних технологій – Граничні характеристики імунітету; тісно пов'язаний з EN 55024.

EN 55022: Європейські граничні характеристики радіоперешкод для ІТ обладнання.

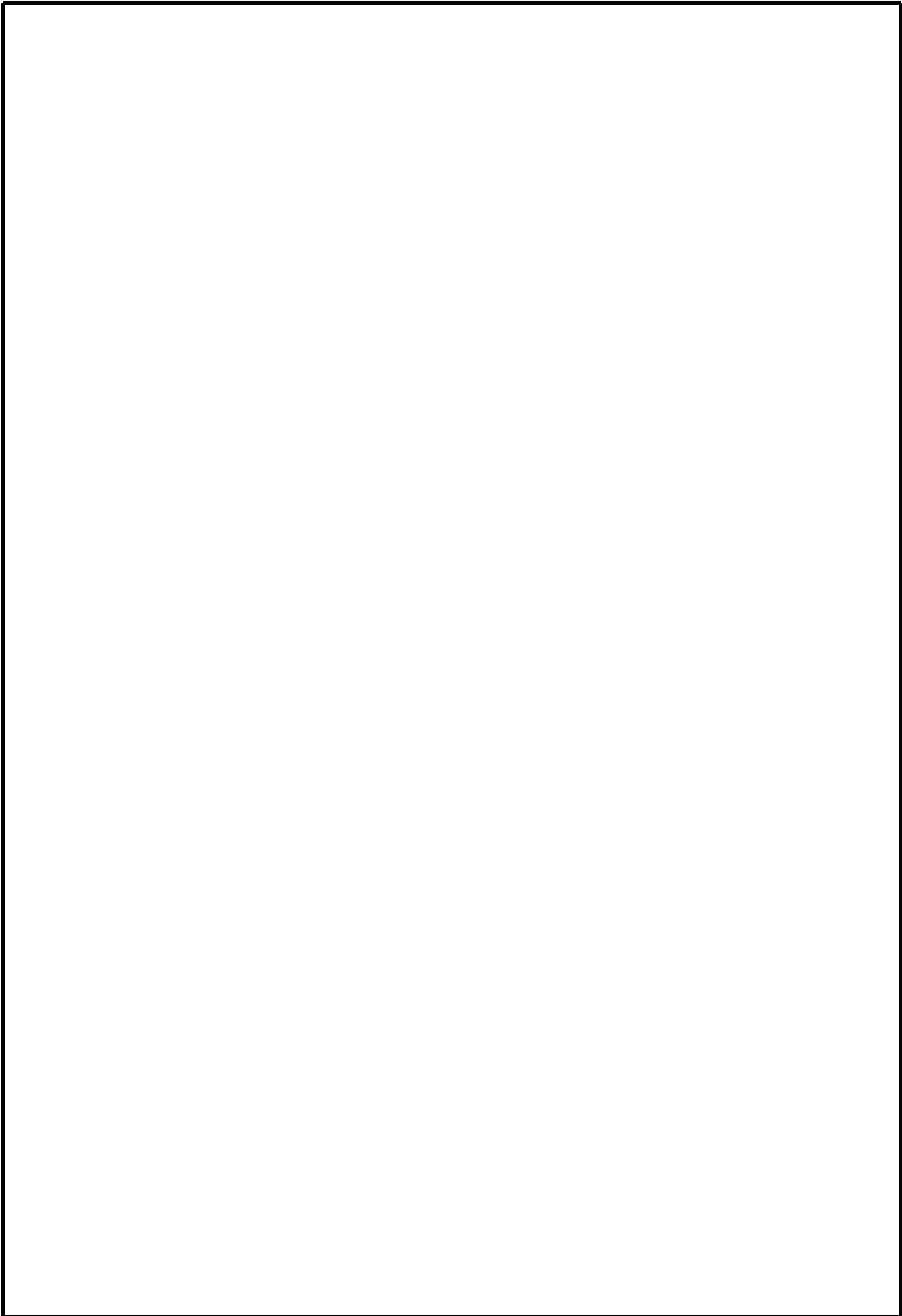
EN 55024: Європейські вимоги імунітету для ІТ обладнання.

FCC Частина 15: Американське регулювання випромінювань та імунітету радіочастот.

Серія стандартів IEC 61000 EMI та EMC. Наприклад, IEC 61000-3-2 Електромагнітна сумісність (EMC) – Частина 3-2: Встановлює граничні вимоги для випромінювань гармонійного струму (вхідний струм обладнання ≤ 16 А на фазу) шляхом визначення максимального значення для гармонійних струмів від другої гармоніки включно до 40-ї гармоніки. IEC 61000-3-2 застосовується до обладнання з номінальним струмом до 16А. Відповідний європейський стандарт - EN 61000-3-2. IEC 61000-3-12 застосовується до обладнання понад 16А.

Це стандарти на рівні системи. Хоча деякі підсистеми, такі як блоки живлення, стверджують, що вони відповідають певним стандартам EMI/EMC, повна система повинна відповідати вимогам.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55



					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Стандарти ефективності

Стандарти ефективності встановлюють національні уряди та більш локально, наприклад, Комісія з енергетики Каліфорнії (CEC). Насправді, CEC встановила перші обов'язкові стандарти ефективності для зовнішніх блоків живлення в 2004 році. До того часу були лише рекомендації від Energy Star та інших агенцій. Нещодавно Міністерство енергетики (DOE) відіграло ключову роль у розробці Міжнародного протоколу маркування ефективності (IEMP). IEMP визначає римські цифрові позначки для зовнішніх блоків живлення, вказуючи рівень їхньої ефективності. Багато країн та регіонів тепер впровадили обов'язкові та добровільні стандарти для зовнішніх адаптерів.

У США наразі діє рівень VI Міністерства енергетики, який є обов'язковим регулюванням, і Канада гармонізувала свої вимоги до продуктивності з американським Рівнем VI. ЄС використовує Регламент Комісії (ЄС) 2019/1782 або Екодизайн 2019/1782, який загалом гармонізований з Рівнем VI, але вимагає додаткової документації та звітності. Кодекс поведінки ЄС (CoC) Рівень 2, якщо він буде прийнятий, є ще більш обмежувачим щодо ефективності блоків живлення.

Ефективність перетворення енергії також важлива (але менш регульована) для внутрішніх або вбудованих блоків живлення, щоб відповідати добровільним стандартам на рівні системи, таким як Energy Star. Щоб отримати знак Energy Star, продукти повинні відповідати певним критеріям енергоефективності, встановленим Агентством з охорони довкілля США або Міністерством енергетики США. До прикладів належать:

- Кваліфіковані холодильники є щонайменше на 15% ефективнішими, ніж мінімальний федеральний стандарт ефективності.
- Кваліфіковані телевізори споживають 3 вати або менше, коли вимкнені, в порівнянні зі стандартним телевізором, що споживає в середньому майже 6 ват.
- Офісне обладнання, яке кваліфікується, автоматично переходить у режим низького споживання "сну" після періоду бездіяльності.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

- Кваліфіковані лампочки (КЛЛ) використовують на дві третини менше енергії, ніж стандартна лампа розжарювання, і повинні відповідати додатковим вимогам до експлуатації та надійності.

Ландшафт стандартів безпеки, ЕМС та ефективності є складним та змінюється. Деякі стандарти зникають або об'єднуються з іншими стандартами в той час, коли з'являються нові стандарти. Основна мета всіх стандартів - захист: захист користувачів від фізичної шкоди, захист сусідніх пристроїв від втручання у їх роботу та захист навколишнього середовища через мінімізацію викидів парникових газів. Залежно від пристрою та застосування, конструкторам необхідно знати та дотримуватися регіональних, національних і навіть місцевих стандартів продуктивності.

3.4 Проблеми при проектуванні джерел живлення

Розробники електронних систем, інженери, керівники програм та виробники оригінального обладнання (ОЕМ) повинні вирішувати численні виклики під час вибору або розробки відповідного блоку живлення для своїх систем. У деяких випадках найкращим підходом може бути адаптація існуючого блоку живлення з іншого застосування. У інших випадках може знадобитися розробка нового або спеціалізованого блоку живлення.

Щоб зрозуміти, як спеціалізований підхід до джерел живлення може бути корисним, корисно розглянути п'ять основних викликів, з якими стикаються при проектуванні блоків живлення [5]. Старі системи, які не оновлювались протягом декількох років, зазвичай використовують технологію блоків живлення старого покоління з великими форм-факторами. В залежності від фізичних вимог до застосування, проектувальникам блоків живлення доводилося ставати все більш креативними, щоб адаптуватися до змінних вимог простору. Ми досягли точки, де "стандартні" блоки живлення можуть бути недостатніми.

Два приклади спеціально розроблених блоків живлення, налаштованих для вирішення спеціалізованих вимог конкретних застосувань приведені на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Приклади спеціально розроблених блоків живлення

Наприклад, в одному випадку провідному автовиробнику знадобилася лінійно регульована стійкова система живлення для консолі високошвидкісного збору тестових даних. Система повинна була бути спеціально розроблена для розміщення у 3U просторі, який був доступний, при цьому працюючи при

температурі не вище 55°C. Спеціалізація включала змінні напрямні шасі для встановлення у спеціальну шафу та верхні та нижні кришки.

Нестандартні вхідні змінного та постійного струму — сучасний світ все більше керується мікропроцесорами, які чутливі навіть до невеликих коливань напруги. Багато проблем з електроживленням походять від комерційної енергетичної мережі, яка зі своїми тисячами миль ліній передачі піддається численним перебоєм у живленні, пов'язаним з погодними умовами, відмовами обладнання, дорожньо-транспортними пригодами та проблемами з перемиканням. До цих проблем відносяться перехідні процеси, перерви, коливання напруги та зміни частоти.

Надійний блок живлення повинен надійно працювати незважаючи на перешкоди в електроживленні, щоб забезпечити надійну роботу підтримуваних ним систем. Хоча більшість застосувань все ще використовують вхідні напруги 115 або 230 В, нові застосування можуть вимагати спеціальних вхідних напруг змінного та постійного струму, і компанії з виробництва блоків живлення адаптуються, щоб відповідати цим змінним вимогам. Наприклад, в одному випадку промислова фірма потребувала систему резервного живлення, яка приймала вхідні сигнали з двох окремих джерел живлення, одне з яких було резервним джерелом на батареях. Використання резервних входів забезпечувало б безперервне виробництво на автоматизованій збірочній лінії. Рішенням стали спеціально розроблені резервні джерела живлення з входами 24 В постійного струму та 125 В постійного струму, а також з двома вольтметрами та амперметрами.

Деякі блоки живлення, доступні як стандартні продукти, мають широкий спектр опцій, що дозволяють значну кількість налаштувань. Наприклад, серія Infinity (рис. 3.5) має опціональні функції, які включають чотири різні методи захисту від перенапруг, варіанти підключення вхідного з'єднувача IEC, чотири різні опції вхідної напруги змінного струму, варіанти вимикача живлення, опції регулювання вихідної напруги та струмового обмеження, та багато іншого.



Рисунок 3.5 – Наявність опціональних інтерфейсів у блоках живлення

Нестандартні вихідні напруги — Електронні компоненти та системи, які працюють при «стандартних» або «загальних» напругах (наприклад, 5, 12, 24 і 48 В), можуть бути неефективними, оскільки енергія, яка не використовується, виробляє додаткове тепло в системі, яке має розсіюватися, щоб тримати блок живлення в межах діапазону робочих температур. Сучасні електронні компоненти можуть потребувати роботи при нестандартних напругах для підтримки високої системної ефективності, займаючи при цьому мало місця. Ця вимога створює проблеми, коли готові блоки живлення непридатні. Наприклад, компанія, що спеціалізується на оптоакустичній візуалізації, потребувала спеціально розроблену стійкову систему живлення з багатьма конкретними фізичними характеристиками. Вона повинна була мати вихідні постійні струми, що забезпечують 0,5 А при 5 В, 10 А при 6 В та 25 А при 6 В. Джерело живлення також потребувало виходу 230 В змінного струму ІЕС для живлення другого стійкового джерела живлення. Крім того, всі входи, виходи та елементи керування повинні були бути розміщені на задній панелі, залишаючи передню панель абсолютно порожньою. Джерелу живлення потрібні були засоби для охолодження як спеціального джерела живлення, так і другого стійкового джерела живлення. Однак через існуючу конфігурацію вентилятор охолодження повинен був засмоктувати повітря знизу пристрою.

Потреба у джерелах живлення, здатних поміститися у маленьких просторах (рис. 3.6), сприяла розвитку невеликих модулів живлення, таких як серія Asorian Mini. Ці джерела встановлюються на поверхні площею лише 3,5 x

2,5 дюйма і доступні в декількох стилях монтажу. Вони мають високу ефективність і працюють у широкому діапазоні температур. Спільний вхідний фільтр зменшує провідні перешкоди, а екранований корпус мінімізує індуковану енергію. Вони приймають вхідні постійні струми від 120 до 180 В постійного струму та однофазні входи змінного струму від 85 до 130 В змінного струму, 47 до 420 Гц. Їхні виходи можуть використовуватися в будь-якій полярності та можуть бути точно налаштовані.



Рисунок 3.6 – Оптимізовані для розміщення у малому просторі джерела живлення

Системи, що працюють в екстремальних температурних умовах або при високих вібраціях, часто вимагають сертифікації в різних, часто суворих, умовах. Блоки живлення для збройних сил повинні бути виготовлені згідно з певними стандартами. Багато старих систем не використовують компоненти, сертифіковані для таких умов.

Наприклад, в одному випадку провідна науково-дослідна лабораторія університету потребувала резервного джерела живлення, розробленого для роботи в екстремальних умовах температури, висоти та вібрації. Застосування вимагало спеціального джерела живлення, що включало функції, такі як чотири комплекти індивідуально запобіжникових 48-вольтових, 2,5-амперних виходів

постійного струму, кожен з індикатором відмови виходу, каскадні контакти сигналізації з аудіо-сигналами для кожного виходу, вимикач відключення/таймера сигналізації та перемикач 115/230 В змінного струму.

В наступному прикладі (рис. 3.7) модульні резервні системи живлення містять два однакові блоки живлення, виходи яких з'єднані через діодний комутаційний пристрій, який виявляє будь-які умови відмови, ізолює вихід несправного блоку живлення від виходу резервної системи та пропускає лише вихід іншого блоку, без переривання живлення резервної системи під час переходу. Це дозволяє швидко та безпечно змінити несправний блок живлення, поки модульна резервна система продовжує безперебійно постачати енергію на навантаження. Резервування може застосовуватися також до входів. Тут два ізольованих набори входних з'єднань змінного струму дозволяють використовувати два незалежні джерела входної енергії. Завдяки підключенню до джерела живлення на батареях і/або другої лінії від енергопостачальної компанії, вихідна потужність буде підтримуватися без перерв, навіть коли основне живлення відмовляє.



Рисунок 3.7 – З'єднання блоків живлення через комутаційний пристрій

Короткі цикли життя споживчих продуктів призводять до швидкого застарівання компонентів. Для ринків з довгими циклами життя застарілість компонентів стає критичною проблемою, особливо коли OEM-виробники зобов'язані підтримувати обладнання на місцях. Багато старих електронних систем можуть мати блоки живлення, які застаріли або чий виробник більше не працює. Коли ці системи виходять з ладу, користувачам доводиться шукати альтернативні блоки живлення, що відповідають формі, розміру та функціоналу

старої системи. Якщо такі джерела живлення не доступні, може знадобитися перепроєктування та повторна сертифікація нового блоку живлення.

В одному випадку оригінальний виробник енергосистеми на промисловому підприємстві припинив діяльність. Блоки живлення постійного струму живили системи сигналізації на декількох об'єктах. Щоб дублювати ці джерела живлення, інженерам довелося отримати фотографії існуючих джерел живлення та копії літератури, яка супроводжувала їх спочатку. Такий підхід дозволив інженерам уточнити специфікації перед проектуванням заміни. Функції цих джерел живлення включали вхід 125 В постійного струму, виходи 5,6 В та 4 А, 12 В та 15 А, а також 125 В при 500 мА, забезпечені через шість комплектів вихідних клем.

Спеціальні потреби змусили виробників більше уваги приділяти спеціалізації блоків живлення. Наприклад, провідний виробник у галузі медичних пристроїв потребував спеціальної стійкової системи живлення, яка повинна була розміщуватися у темній кімнаті, призначеній для розробки рентгенівських зображень. Обладнання, яке генерувало та керувало рентгенівськими даними, вимагало надійного, стабільного та чистого живлення. Це означало, що крім стандартних вимог до системи живлення, таких як кілька виходів та сигнали відмови, всі світлодіодні індикатори та підсвічування цифрових вимірювачів повинні були мати можливість вимкнення, поки система живлення все ще використовується. І джерела живлення повинні були забезпечувати стабільно чисте та надійне живлення в межах тісної толерантності вихідного струму. У результаті спеціальний дизайн використовував модулі лінійного живлення та перемикачі на передній панелі для індивідуального керування світлодіодними індикаторами та підсвічуванням цифрових вимірювачів.

3.5 Аналіз та вирішення проблем в блоках живлення

Розглянемо детальніше п'ять ключових проблем блоків живлення, як розпізнати, коли вони виникають, та найкращі способи їх вирішення або

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

пом'якшення. Коли йдеться про роботу з блоками живлення (рис. 3.8), інженери-проектувальники мають враховувати багато чинників, щоб уникнути поширених проблем, таких як недостатня та надмірна напруги на вході [5]. Детальніше розглянемо п'ять ключових проблем блоків живлення, як розпізнати, коли вони виникають, та найкращі способи їх вирішення або пом'якшення.

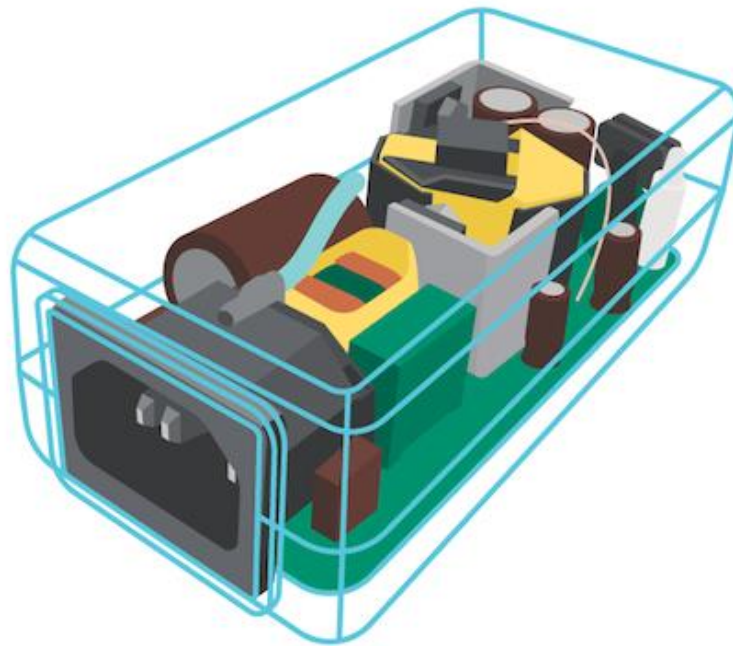


Рисунок 3.8 – Приклад компоновки джерела живлення

Надмірна та недостатня напруга на вході

Як надмірна, так і недостатня напруга на вході можуть бути дуже проблематичними для блоків живлення, і вони є серед найбільш поширених проблем. Одним із найвідоміших джерел як надмірної, так і недостатньої напруги є неправильне встановлення перемикача 120/240 В на неуніверсальних входах. Цей перемикач активує або деактивує подвійник напруги всередині блоку живлення, так що внутрішні ланцюги працюють на 240 В у будь-якому випадку. Якщо перемикач встановлений неправильно, внутрішня напруга буде або занадто високою, або занадто низькою, що може призвести до відмови. Блоки живлення з універсальними входами розроблені для роботи в усьому

діапазоні вхідних напруг без використання перемикача і не мають цієї проблеми. Електромагнітні перешкоди, такі як перепади напруги, зниження напруги, EFTs (швидкі перехідні процеси) та ESD (електростатичний розряд), можуть спричинити швидкі, але серйозні умови надмірної та недостатньої напруги. Звичайні джерела включають включення та вимикання машин, удари блискавок та дотик до блоку живлення зарядженим об'єктом. Більшість блоків живлення містять деякий захист від цих подій. Залежно від застосування, може знадобитися більша або менша стійкість до цих перешкод. Хоча блоки живлення розроблені для витримування короточасних перехідних процесів, які виникають внаслідок електромагнітних перешкод (EMI), наприклад показаних на рис. 3.9, тривалі вхідні надмірні напруги можуть призвести до пошкоджень. Недостатня напруга також є проблематичною. Вона може спричинити проблеми з регулюванням та керуванням виходу і призвести до збільшення вхідного струму та розсіювання потужності, що може призвести до відмови. Деякі блоки живлення містять UVP (захист від недостатньої напруги). UVP зупиняє перетворення енергії, якщо вхідна напруга впаде нижче порогу UVP.

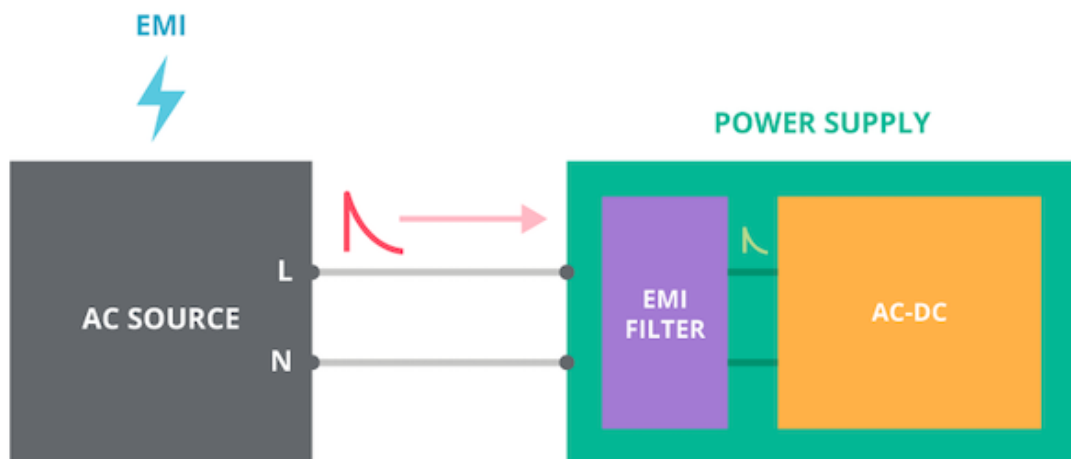


Рисунок 3.9 – Електромагнітні перешкоди в якості джерела перенапруги

Перевантаження виходу за потужністю та струмом

Граничні значення вихідного струму є надзвичайно важливою специфікацією при виборі блоку живлення і часто недооцінюються під час

процесу проектування. Однак перевантаження за струмом або потужністю на виході може мати серйозні наслідки для блоку живлення та живленого пристрою, включаючи відмову блоку живлення, а також розплавлення схем і кабелів. Перевищення рейтингу струму також призводить до збільшення розсіювання потужності та тепла та значного зниження ефективності.

Захист від перевантаження за струмом (ОСР) захищає блок живлення, коли перевищено граничний вихідний струм. Захист від перевантаження за потужністю (ОРР) захищає блок живлення, якщо перевищено граничну вихідну потужність. ОРР зазвичай застосовується до первинної сторони блоку живлення та контролює струм трансформатора, щоб забезпечити, що максимальна потужність не перевищується. Для блоку живлення з одним виходом ОСР та ОРР тісно пов'язані. Однак для блоків живлення з кількома виходами захист від перевантаження за потужністю не може визначити струм окремого виходу, тому можливо перевищити струм на одному виході, залишаючись нижче загального ліміту потужності, що може призвести до відмови. Захист від перевантаження за струмом безпосередньо контролює струм і може застосовуватися до кожного виходу окремо, щоб уникнути цієї проблеми.

Щоб уникнути використання більших та дорожчих блоків живлення, користувачі іноді недооцінюють потужність або рейтинг струму. Якщо блок живлення не підібраний належним чином, перехідні струми можуть призвести до повторних відключень. Блоки живлення мають бути розмірні таким чином, щоб перехідні вихідні струми входили в межі номінального граничного струму, щоб уникнути випадкового спрацьовування ОСР або ОРР.

Зворотня полярність означає неправильне підключення позитивних та негативних входів або виходів блоку живлення. Багато компонентів, таких як електролітичні конденсатори, не витримують зворотну полярність і вийдуть з ладу при її впливі. Якщо полярність на вихідних з'єднаннях блоку живлення перевернута, навантаження може бути пошкоджене, що потенційно може

призвести до відмови блоку живлення, при найгіршому сценарії – до зруйнованих схем або електричних пожеж.

Діод може використовуватися для захисту від зворотної полярності у застосуваннях з низькою потужністю. Він може бути розміщений послідовно або антипаралельно до входу або виходу. При послідовному розміщенні діод не буде проводити та триматиме схему відкритою, якщо напруга зворотна. Недоліком цього методу є те, що діод розсіюватиме потужність пропорційно вхідному струму. Коли діод розміщений антипаралельно до входу, він зазвичай буде вимкнений і буде проводити лише у разі зворотної полярності. Діод створить коротке замикання та спрацює пристрій захисту від перевантаження за струмом, такий як запобіжник або захист від перевантаження за струмом блоку живлення, коли він буде у провідному стані.

Проблеми з температурою

Перевищення або недосягнення рекомендованого діапазону температур для блоку живлення - це ще одна поширена проблема, яка може викликати труднощі для блоку живлення. Теплові обмеження забезпечують безпечну роботу блоку живлення в межах діапазону, де можна розраховувати на його продуктивність. За межами мінімальної та максимальної робочих температур, надійність, регулювання, ЕМІ та ефективність швидко можуть стати проблемами. Багато компонентів всередині блоку живлення, таких як транзистори, працюють при температурах, близьких до їхніх теплових меж. Експлуатація блоку живлення понад його номінальну температуру може спричинити відмову цих пристроїв.

Деякі блоки живлення дозволяють розширений діапазон температур, якщо знижена або обмежена вихідна потужність. Технічні специфікації цих блоків живлення містять криві дерейтингу, як показано на рис. 3, де показана максимальна температура для певних умов навантаження. Дерейтинг також може знадобитися при нижчих температурах. При дуже низьких температурах значення деяких компонентів, особливо електролітичних конденсаторів,

можуть бути значно відмінними від нормальних умов. Це може призвести до збільшення пульсацій напруги та проблем із запуском.

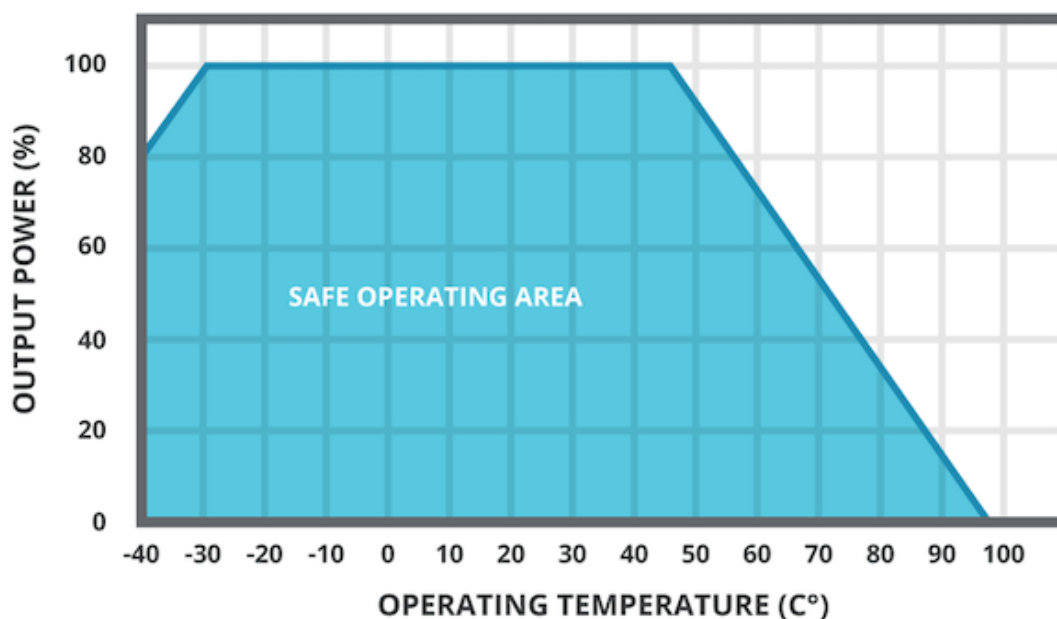


Рисунок 3.10 – Розширення діапазону температури при зниженні потужності

Відсутність зовнішніх компонент

Продуктивність блоку живлення може серйозно постраждати від відсутності зовнішніх компонентів або з'єднань. Продуктивність, вказана в технічних специфікаціях, іноді характеризується використанням певної схеми, часто для імітації типового застосування. Якщо під час тестування не застосовується подібна схема, продуктивність може відрізнитися від зазначеної. Наприклад, деякі блоки живлення потребують зовнішньої ємності на вході та/або виході для продуктивності та стабільності. Невключення рекомендованих або необхідних зовнішніх компонентів може негативно вплинути на продуктивність або навіть призвести до відмови.

Ще один набір часто відсутніх компонентів - це резистори підтягування та опускання, які можуть знадобитися для забезпечення відомої напруги для включення/вимкнення. Резистор підтягування, наприклад, створює додаткове коло навколо критичних компонентів і гарантує, що добре визначена напруга

зберігається навіть при відкритому перемикачі; резистор опускання, з іншого боку, утримує напругу близько до нуля при відкритому перемикачі.

ЕМІ може бути проблематичною для деяких імпульсних блоків живлення через кількість генерованого ними шуму. З внутрішніми блоками живлення мінімальне фільтрування може бути включене внутрішньо для зменшення розмірів і збільшення гнучкості дизайну. У цих випадках може знадобитися зовнішнє фільтрування для відповідності певним вимогам. Наприклад, блок живлення може стверджувати, що він розроблений для відповідності випромінюванням класу В, але без зовнішнього фільтрування відповідає лише класу А. Це означає, що застосування класу В потребуватиме додаткового зовнішнього фільтрування. У цих випадках технічна специфікація часто містить рекомендовані схеми для відповідності класу В.

Деякі блоки живлення включають з'єднання для контролю напруги, які по суті виводять петлю зворотного зв'язку за межі блоку живлення, як показано на рис. 3.11. Це дозволяє блоку живлення компенсувати імпеданс кабелів та роз'ємів і забезпечує більш точне регулювання на навантаженні. Якщо ці з'єднання для контролю напруги не використовуються, їх зазвичай потрібно замкнути на виході. Якщо залишити їх відкритими, петля зворотного зв'язку може залишитися відкритою, і вихід буде неконтрольованим.

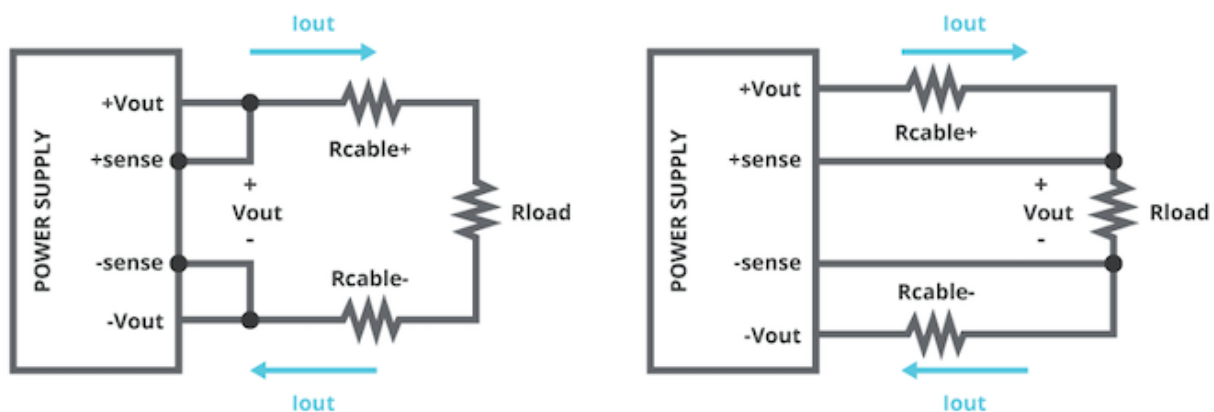


Рисунок 3.11 – Вихідні підключення, коли не використовується (ліворуч) і коли використовуються датчик напруги (праворуч)

Таким чином, п'ять поширених проблем блоків живлення включають проблеми з напругою та струмом на вході та виході, зворотну полярність, проблеми з температурою та відсутність зовнішніх компонентів. Уважне врахування проектних специфікацій та декілька додаткових розрахунків можуть дозволити уникнути, захистити від або пом'якшити ці проблеми.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		71

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовані процеси уніфікації та стандартизації електричного обладнання, а також взаємодія України з міжнародними енергетичними системами, особливо через ENTSO-E. Дослідження висвітлює важливість гармонізації українських стандартів з міжнародними нормами для поліпшення ефективності та безпеки використання електрообладнання, а також для інтеграції в глобальну енергетичну мережу.

Дослідження показує, що участь України в міжнародних стандартизаційних організаціях та інтеграція з ENTSO-E відкриває шлях до більшої сумісності та ефективності в міжнародній енергетичній співпраці. В роботі також визначено, що уніфікація стандартів сприятиме не лише поліпшенню енергетичної інфраструктури України, але й забезпечить кращу інтеграцію з європейськими та світовими енергетичними ринками.

Рекомендації, висунуті у роботі, зосереджені на необхідності збільшення участі України у міжнародних стандартизаційних ініціативах та на розробці внутрішніх політик, які б сприяли адаптації та впровадженню міжнародних стандартів у національну практику. Також підкреслюється важливість подальших досліджень у сфері розробки та впровадження технологічних інновацій, які дозволять Україні не лише відповідати міжнародним стандартам, але й активно впливати на їх формування.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		72

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The unification process of the electricity markets in Europe / July 27, 2015.
– URL: <https://magnuscmd.com/the-unification-process-of-the-electricity-markets-in-europe/>
2. Power supply regulations, requirements, and standards / December 15, 2021
By Jeff Shepard. – URL: <https://www.powerelectronicstips.com/power-supply-regulations-requirements-and-standards-faq/>
3. Power Supply Safety Standards, Agencies, And Marks / CUI Inc. – URL: <https://www.cui.com/catalog/resource/power-supply-safety-standards-agencies-and-marks>
4. Five challenges in power supply design / February 26, 2018 By Lee Teschler. – URL: <https://www.powerelectronicstips.com/five-challenges-power-supply-design/>
5. Understanding and Addressing 5 Key Power Supply Issues / November 05, 2021 by Ron Stull, CUI. – URL: <https://www.allaboutcircuits.com/industry-articles/understanding-and-addressing-5-key-power-supply-issues/>
6. ENTSO-E Grid Disturbance Definitions For The Power System Above 100 kV
7. Regional Group Nordic, Nordic and Baltic Grid Disturbance Statistics 2019, ENTSO-E, 2020.
8. Incident Classification Scale Subgroup, Incident Classification Scale, ENTSO-E, 2019.
9. Жежеленко І. В. Електромагнітна сумісність у системах електропостачання / І. В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г.Г. Півняк, Ю.Л. Саєнко. – Д., Нац. гірнич. ун-т, 2009. – 319 с.
10. Сиченко В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Саєнко, Д. О. Босий. – Дн-вськ: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2015. – 344 с.

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
						73
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

11. ДСТУ EN 61000-2-4:2017 Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 2-4. Електромагнітна обстановка. Рівні сумісності щодо низькочастотних кондуктивних завад для промислових підприємств (EN 61000-2-4:2002, IDT; IEC 61000-2-4:2002, IDT)

12. Electromagnetic Compatibility in Power Systems / Francesco Lattarulo, Elsevier Science, 2007, ISBN 978-0-08-045261-6, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045261-6.X5000-2>

13. Adolf J. Schwab Elektromagnetische Verträglichkeit / Springer, 1994. – ISBN 0387576584, 9780387576589. – 518 p.

14. Kenneth L. Kaiser Electromagnetic Compatibility Handbook / ISBN 9780849320873, 2568 Pages, 2321 B/W Illustrations Published September 29, 2004 by CRC Press

					02.15.EE2221.KPM.2024-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		74