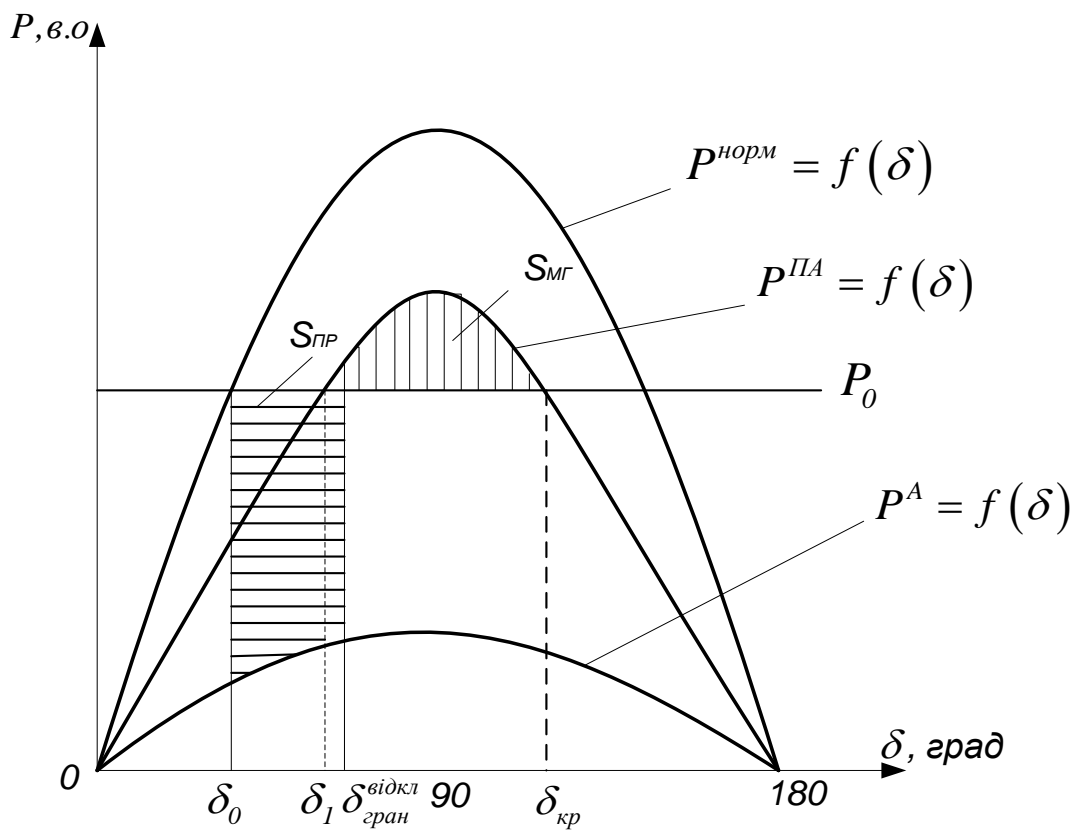


М. П. Свиридов, В. В. Тептя

ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ
РОЗРАХУНОК СТАТИЧНОЇ І ДИНАМІЧНОЇ
СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

М. П. Свиридов, В. В. Тептя

**ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ
РОЗРАХУНОК СТАТИЧНОЇ І ДИНАМІЧНОЇ
СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

Вінниця
ВНТУ
2016

УДК 621.316(075)

ББК 31.27-05я73

Л14

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 26 лютого 2015 р.)

Рецензенти:

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

В. М. Лисогор, доктор технічних наук, професор

С. Ш. Каців, кандидат технічних наук, доцент

Свиридов, М. П.

Л14 **Перехідні процеси. Розрахунок статичної і динамічної стійкості електричної мережі : навчальний посібник / М. П. Свиридов, В. В. Тептя. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 99 с.**

В навчальному посібнику розглядаються загальні питання перехідних процесів та стійкості електричної системи.

Посібник призначений для студентів вузів електроенергетичних спеціальностей.

УДК 621.311(075)

ББК 31.27-05я73

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Основні вимоги.....	6
1.1 Короткий зміст і склад курсової роботи	6
1.2 Вимоги до пояснювальної записки	6
1.2.1 Правила написання тексту	7
1.2.2 Оформлення формул.....	8
1.2.3 Оформлення ілюстрацій.....	9
1.2.4 Оформлення таблиць	10
1.2.5 Зміст.....	11
1.2.6 Вступ.....	12
1.2.7 Основна частина пояснювальної записки.....	12
1.2.8 Висновки	12
1.2.9 Перелік літературних джерел.....	13
2 Дослідження статичної стійкості простої електричної мережі	14
2.1 Загальні положення.....	14
2.2 Складання схеми заміщення і розрахунок параметрів електричної мережі	15
2.3 Розрахунок і побудова векторних діаграм простої електричної мережі з ТГ і ГГ	18
2.3.1 Векторна діаграма електричної мережі з ТГ	18
2.3.2 Векторна діаграма електричної мережі з ГГ	20
2.4 Характеристика активної потужності простої електричної мережі з ТГ і ГГ	21
2.5 Характеристики активної потужності у випадку складного зв'язку віддаленої станції з шинами приймальної системи.....	23
2.6 Приклад розрахунку режиму простої електричної мережі з побудовою векторної діаграми	25
2.7 Розрахунки коефіцієнтів запасу статичної стійкості ГГ з різними системами АРЗ.....	29
2.8 Розрахунок коефіцієнта запасу статичної стійкості у випадку складного зв'язку віддаленої станції з шинами приймальної системи.....	34
3 Дослідження динамічної стійкості електричної мережі	40
3.1 Загальні положення і основні припущення	40
3.2 Аналіз динамічної стійкості простої електричної мережі способом площин.....	42
3.3 Схеми заміщення і характеристики потужності при короткому замиканні	46
3.4 Застосування правила площин для визначення граничного кута відключення короткого замикання.....	50
3.5 Застосування правила площин для визначення ефективності автоматичного повторного включення (АПВ) ліній електропередач.....	52

3.6 Аналіз динамічної стійкості електричної мережі при трифазному короткому замиканні.....	53
3.7 Розв'язання рівняння руху ротора генератора методом послідовних інтервалів.....	57
3.8 Розрахунок перехідного процесу, викликаного відключенням лінії електропередач	60
3.9 Приклади розрахунку граничного кута і граничного часу відключення трифазного короткого замикання	64
3.10 Приклади розрахунку граничного кута і граничного часу відключення несиметричного короткого замикання.....	72
3.11 Розрахунок ефективності застосування автоматичного повторного включення (АПВ) лінії електропередач	78
Список літератури	86
Додаток А Завдання на курсову роботу	87
Додаток Б Зразок індивідуального завдання на курсову роботу	92
Додаток В Зразок титульної сторінки до курсової роботи	95
Додаток Г Основні формули для перетворення схем.....	96
Словник найбільш вживаних термінів.....	98

ВСТУП

Знання перехідних процесів інженеру-електрику необхідні для прийняття і обґрунтування цілої низки важливих рішень при проектуванні і експлуатації електричних систем і систем електропостачання. Аналіз аварійних режимів і оцінювання їх впливу на роботу основного електрообладнання можливі тільки на підставі розрахунків ustalених і перехідних режимів системи.

Відповідно до навчального плану студенти напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» на 4 курсі навчання виконують курсову роботу, ціллю якої є засвоєння теоретичного матеріалу і здобуття необхідних навиків у вирішенні практичних задач.

Під час виконання курсової роботи студенти зобов'язані не тільки ознайомитися з технологією проведення розрахунків, скільки виробити навиків в розумінні задач і припущень, які покладені в їх основу, навчитися давати інженерну оцінку отриманим результатам.

Розвиток сучасних електроенергетичних систем здійснюється шляхом концентрації виробництва електроенергії на потужних електростанціях і централізації електропостачання від загальної високовольтної мережі, що призводить до зростання ймовірності виникнення важких системних аварій. Тому для забезпечення надійності і ефективної роботи енергосистем необхідні практичні уміння проведення розрахунків перехідних процесів і отримання відповідних навиків їх аналізу.

Курсова робота (КР) містить розрахунки стійкості режимів і аналіз основних факторів, що впливають на запаси статичної і динамічної стійкості.

1 ОСНОВНІ ВИМОГИ

Задачею курсової роботи є закріплення студентами знань, отриманих при вивченні курсу «Перехідні процеси», і практичних навичок по розрахунку статичної та динамічної стійкості електричних мереж.

1.1 Короткий зміст і склад курсової роботи

Завдання на курсову роботу видається індивідуально кожному студенту і містить такі вхідні дані:

- тип і параметри генератора;
- параметри ліній електропередачі;
- значення коефіцієнтів α і $\cos\varphi$;
- параметри силових трансформаторів;
- розрахункову схему електричної мережі.

Завдання на курсову роботу складається викладачем – керівником роботи і затверджується завідувачем кафедри.

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки [1].

Мета курсової роботи полягає в закріпленні теоретичних знань та набутті практичних навичок розрахунку статичної та динамічної стійкості електричної мережі.

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом до 25 – 30 сторінок рукописного тексту на аркушах паперу формату А4. Графічна частина може подаватися в тексті пояснювальної записки у вигляді відповідних рисунків.

Оформлення розрахунково-пояснювальної записки і графічної частини повинно відповідати вимогам діючих стандартів.

КР виконується відповідно до завдання і графіка роботи, виданого керівником роботи.

1.2 Вимоги до пояснювальної записки

При оформленні текстової частини КР необхідно дотримуватись вимог ДСТУ 3008-95.

Пояснювальна записка курсової роботи з врахуванням вимог до нормативно-технічних документів має подаватись на аркушах паперу формату А4 без рамок.

Відступи тексту від країв аркуша: зверху, знизу і зліва – 20 мм; справа – 10 мм. Абзац – 5 знаків. Нумерація сторінок ПЗ в правому верхньому кутку, починаючи зі змісту.

Текст ПЗ виконується відповідно до вимог ГОСТ 2.105-95 одним із застосовуваних друкувальних та графічних пристроїв виведення ЕОМ з ви-

сотою букв і цифр не менше 2,5 мм, (Кегль – №14), через один інтервал (ГОСТ 2.004-88).

Пояснювальна записка належить до текстових документів і подається технічною мовою. Графічна інформація має подаватися у вигляді ілюстрацій (схеми, рисунки, графіки, діаграми тощо). Цифрова – у вигляді таблиць. Кожен розділ рекомендується починати з нової сторінки. Заголовки розділів виконують великими літерами посередині рядка, всі інші – з абзацу малими літерами, починаючи з великої. Слово «Додатки» виконують малими літерами з першої великої літери посередині рядка.

Запис літературного джерела: «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ».

1.2.1 Правила написання тексту

При написанні тексту потрібно дотримуватися таких правил:

а) текст необхідно викладати обґрунтовано в лаконічному технічному стилі;

б) умовні буквені позначення фізичних величин і умовні графічні позначення компонентів повинні відповідати установленим стандартам. Перед буквеним позначенням фізичної величини повинно бути її пояснення (резистор R, конденсатор C);

в) числа з розмірністю потрібно записувати цифрами, а без розмірності словами (відстань – 2 мм, відміряти три рази);

г) позначення одиниць потрібно писати в рядок з числовим значенням без перенесення у наступний рядок. Між останньою цифрою числа і позначенням одиниці потрібно робити пропуск (100 Вт, 2 А);

д) якщо наводиться ряд числових значень однієї і тієї ж фізичної величини, то одиницю фізичної величини вказують тільки після останнього числового значення (1,5; 1,75; 2 мм);

е) позначення величин з граничними відхиленнями потрібно записувати так: 100 ± 5 мм;

ж) буквені позначення одиниць, які входять в добуток, розділяють крапкою на середній лінії (·); знак ділення замінюють косою рисою (/);

и) порядкові числівники потрібно записувати цифрами з відмінковими закінченнями (9-й день, 4-а лінія); при кількох порядкових числівниках відмінкове закінчення записують після останнього (3, 4, 5-й графіки); кількісні числівники записують без відмінкових закінчень (на 20 аркушах); не пишуть закінчення в датах (21 жовтня) та при римських числах (XXI століття);

к) скорочення слів в тексті не допускаються, крім загальноприйнятих в українській мові і установлених в ГОСТ 2.316-68;

л) не дозволяється:

– допускати професійних або місцевих слів і виразів (техніцизмів);

– після назви місяця писати слово «місяць» (не «в травні місяці», а «в травні»);

- використовувати вирази: «цього року», «минулого року», потрібно писати конкретну дату «в червні 2001 року»;
- використовувати позначення одиниць фізичних величин без цифр, необхідно писати повністю: «кілька кілограмів» (за винятком оформлення таблиць і формул);
- з'єднувати текст з умовним позначенням фізичних величин за допомогою математичних знаків (не «швидкість = 5 км/год», а «швидкість дорівнює 5 км/год», не «температура дорівнює -5 °С», а «температура дорівнює мінус 5 °С»);
- використовувати математичні знаки <, >, o, №, %, sin, cos, tg, log та ін. без цифрових або буквених позначень. В тексті потрібно писати словами «нуль», «номер», «логарифм» і т. д.;
- використовувати індекси стандартів (ДСТУ, СНіП, СТП) без реєстраційного номера.

1.2.2 Оформлення формул

Кожну формулу записують з нового рядка, симетрично до тексту. Між формулою і текстом пропускають один рядок.

Умовні буквені позначення (символи) в формулі повинні відповідати установленим ГОСТ 1494-77. Їх пояснення наводять в тексті або зразу ж під формулою. Для цього після формули ставлять кому і записують пояснення до кожного символу з нового рядка в тій послідовності, в якій вони наведені у формулі, розділяючи крапкою з комою. Перший рядок повинен починатися з абзацу з слова «де» і без будь-якого знака після нього.

Всі формули нумерують в межах розділу арабськими цифрами. Номер вказують в круглих дужках з правої сторони, в кінці рядка, на рівні закінчення формули. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в розділі, розділених крапкою. Дозволяється виконувати нумерацію в межах всього документа.

Приклад

Таким чином, момент тертя в кернових опорах

$$M_m = - k G^{1,5}, \quad (1.1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

G – вага рухомої частини вимірювального механізму.

Одиницю вимірювання, за необхідності, беруть в квадратні дужки

$$I = \frac{U}{R} [A]. \quad (1.2)$$

Числову підстановку і розрахунок виконують з нового рядка, не нумеруючи. Одиницю вимірювання беруть в круглі дужки. Наприклад,

$$I = \frac{220}{100} = 2,2 (A).$$

Розмірність одного й того ж параметра в межах документа повинна бути однаковою.

Формула є частиною речення, тому до неї застосовують такі ж правила граматики, як і до інших членів речення. Якщо формула знаходиться в кінці речення, то після неї ставлять крапку. Формули, які йдуть одна за одною і не розділені текстом, відокремлюють комою.

Посилання на формули в тексті дають в круглих дужках за формою: «... в формулі (5.2)»; «... в формулах (5.7, ..., 5.10)».

1.2.3 Оформлення ілюстрацій

Ілюстрації розміщують в тексті або в додатках.

В тексті ілюстрацію розміщують симетрично до тексту після першого посилання на неї або на наступній сторінці, якщо на даній вона не уміщується без повороту.

На всі ілюстрації в тексті ПЗ мають бути посилання. Посилання виконують за формою: «... показано на рисунку 3.1.» або в дужках за текстом (рисунок 3.1), на частину ілюстрації: «... показані на рисунку 3.2, б». Посилання на раніше наведені ілюстрації дають зі скороченим словом «дивись» відповідно в дужках (див. рисунок 1.3).

Наведена форма запису (рисунок ...) відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 та допускає скорочення, тобто замість «Рисунок ...» – «Рис. ...».

Між ілюстрацією і текстом пропускають один рядок.

Всі ілюстрації в ПЗ називають рисунками і позначають під ілюстрацією симетрично до неї за такою формою: «Рисунок 3.5 – Найменування рисунка». Крапку в кінці не ставлять, знак переносу не використовують. Якщо найменування рисунка довге, то його продовжують у наступному рядку, починаючи від найменування.

Нумерують ілюстрації в межах розділів, вказуючи номер розділу і порядковий номер ілюстрації в розділі, розділяючи крапкою. Дозволяється нумерувати в межах всього документа.

Пояснювальні дані розміщують під ілюстрацією над її позначенням.

У випадку, коли ілюстрація складається з частин, їх позначають малими буквами українського алфавіту з дужкою (а), б)) під відповідною частиною. В такому випадку після найменування ілюстрації ставлять двокрапку і дають найменування кожної частини за формою:

а) – найменування першої частини; б) – найменування другої частини або за ходом найменування ілюстрації, беручи букви в дужки:

Рисунок 3.2 – Структурна схема (а) і часові діаграми (б) роботи фазометра

Якщо частини ілюстрації не вміщуються на одній сторінці, то їх переносять на наступні сторінки. В цьому випадку, під початком ілюстрації вказують повне її позначення, а під її продовженнями позначають «*Рисунок 3.2 (продовження)*». Пояснювальні дані розміщують під кожною частиною ілюстрації.

1.2.4 Оформлення таблиць

Таблицю розміщують симетрично до тексту після першого посилання на даній сторінці або на наступній, якщо на даній вона не уміщується і таким чином, щоб зручно було її розглядати без повороту або з поворотом на кут 90° за годинниковою стрілкою.

ДСТУ 3008-95 пропонують такий запис таблиці:

Таблиця _____ – _____
(номер) (назва таблиці)

На всі таблиці повинні бути посилання за формою: «*наведено в таблиці 3.1*»; «... *в таблицях 3.1 – 3.5*» або в дужках по тексту (*таблиця 3.6*). Посилання на раніше наведену таблицю дають з скороченим словом «*дивись*» (див. таблицю 2.4) за ходом чи в кінці речення.

Таблицю розділяють на графи (колонки) і рядки. У верхній частині розміщують головку таблиці, в якій вказують найменування граф. Діагональне ділення головки таблиці не допускається. Ліву графу (боковик) часто використовують для найменування рядків. Допускається не розділяти рядки горизонтальними лініями. Мінімальний розмір між основами рядків – 8 мм. Розміри таблиці визначаються об'ємом матеріалу.

Графу «№ з/п» в таблицю не вносять. За необхідності нумерації, номери вказують в боковикі таблиці перед найменуванням рядка.

Якщо всі параметри величин, які наведені в таблиці, мають одну й ту саму одиницю фізичної величини, то над таблицею розміщують її скорочене позначення (*мм*). Якщо ж параметри мають різні одиниці фізичних величин, то позначення одиниць записують в заголовках граф після коми (*Довжина, мм*).

Найменування рядків записують в боковикі таблиці у вигляді заголовків в називному відмінку однини, малими буквами, починаючи з великої і з однієї позиції. В кінці заголовків крапку не ставлять. Позначення одиниць фізичних величин вказують в заголовках після коми.

Для опису визначеного інтервалу значень в найменуваннях граф і рядків таблиці можна використовувати слова: «*більше*», «*менше*», «*не більше*», «*не менше*», «*в межах*». Ці слова розміщують після одиниці фізичної величини:

(*Напруга, В, не більше*),

а також використовують слова «*від*», «*більше*», «*до*»:

(*Від 10 до 15; більше 15; до 20*).

Дані, що наводяться в таблиці, можуть бути словесними і числовими.

Таблиці нумерують в межах розділів і позначають зліва над таблицею за формою: «Таблиця 4.2 – Найменування таблиці». Крапку в кінці не ставлять. Якщо найменування таблиці довге, то продовжують у наступному рядку, починаючи від слова «Таблиця». Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці в розділі, розділених крапкою. Дозволяється нумерувати в межах всього документа.

Таблиця може бути великою як в горизонтальному, так і у вертикальному напрямках або, іншими словами, може мати велику кількість граф і рядків. В таких випадках таблицю розділяють на частини і переносять на інші сторінки або розміщують одну частину під іншою чи поряд.

Якщо в кінці сторінки таблиця переривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частині таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю, не проводять.

При перенесенні частин таблиці на інші сторінки, повторюють або продовжують найменування граф. Допускається виконувати нумерацію граф на початку таблиці і при перенесенні частин таблиці на наступні сторінки повторювати тільки нумерацію граф.

У всіх випадках найменування (за його наявності) таблиці розміщують тільки над першою частиною, а над іншими частинами зліва пишуть «Продовження таблиці 4.2» без крапки в кінці.

1.2.5 Зміст

Зміст розташовують безпосередньо після анотації, починаючи з нової сторінки. До змісту входять: перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів; вступ; послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) суті проекту (роботи); висновки; рекомендації; перелік посилань; назви додатків і номери сторінок, які містять початок матеріалу.

Назви заголовків змісту повинні однозначно відповідати назвам заголовків пояснювальної записки за текстом. Нумерація сторінок повинна бути наскрізною. Форми подавання розділів та підрозділів в змісті для курсових робіт показані нижче.

КР

1 Аналіз ...

1.1 Огляд ...

1.1.1 ...

2 Заголовок другого розділу

2.1 Заголовки підрозділів

2.1.1 ...

3 Заголовок третього розділу

3.1 Заголовки підрозділів

3.1.1 ...

При виконанні курсових робіт обсяг пояснювальної записки враховується до додатків. Якщо додатки курсових робіт підтверджують цінність результату проектування, то обсяг пояснювальної записки з додатками повинен мати наскрізну нумерацію.

1.2.6 Вступ

Вступ пишуть з нової пронумерованої сторінки з заголовком «Вступ» посередині великими літерами з більш високою насиченістю (жирністю) шрифту.

Текст вступу повинен бути коротким і висвітлювати питання актуальності, значення, сучасний рівень і призначення курсового проекту (роботи). У вступі і далі за текстом не дозволяється використовувати скорочені слова, терміни, крім загальноприйнятих.

Вступ висвітлює:

- стан розвитку проблеми в даній галузі, до якої має відношення розробка;
- галузь використання та призначення;
- мету та загальну постановку задачі;
- актуальність, яка повинна подаватись в останньому абзаці вступу, з метою стислого викладання суті розробки цього напрямку.

1.2.7 Основна частина пояснювальної записки

Основна частина пояснювальної записки до курсових робіт містить аналітично-розрахункову частину.

1.2.8 Висновки

Висновки оформляють з нової пронумерованої сторінки посередині (ДСТУ 3008-95) великими буквами більш високої насиченості.

Висновки є заключною частиною, підсумком прийнятого конструкторського рішення виконаного проекту із зазначенням досягнутих параметрів та переваг об'єкта порівняно з існуючими аналогами, з можливими рекомендаціями прикладного застосування та шляхами (перспективами) удосконалення спроектованого об'єкта.

В тексті пояснювальної записки бажано давати висновки до кожного розділу, що є постановкою задачі до наступного.

1.2.9 Перелік літературних джерел

Форма запису «Перелік посилань» відповідає формі запису вступу, основної частини та висновків.

Список містить перелік літературних джерел, на які повинні бути обов'язкові посилання в тексті пояснювальної записки. Література (книги, статті, патенти, журнали) в загальний список записується в порядку посилання на неї в тексті.

Посилання на літературу наводять в квадратних дужках [...], вказуючи порядковий номер за списком.

Словник найбільш вживаних термінів

автоматичне повторне включення (АПВ)	automatic repeated including (ARI)
автоматичне регулювання збудження (АРЗ)	automatic control of excitation (ACE)
активна потужність	active power
векторна діаграма	vectogram
гідрогенератор (ГГ)	hydrogenerator
динамічна стійкість	dynamic firmness
електрична мережа	electric network
електропередача	electric transmission
електрорушійна сила (ЕРС)	electromotive force (EMF)
кут	corner
напруга	tension
опір	resistance
поздовжня вісь	longitudinal axis
поперечна вісь	transverse axis
реактивна потужність	reactive-power
режим	mode
система	system
статична стійкість	static firmness
струм	current
схема заміщення	chart of substitution
турбогенератор (ТГ)	turbogenerator
холостий хід	idling
частота	frequency

Навчальне видання

**Свиридов Микола Павлович
Тептя Віра Володимирівна**

**ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ.
РОЗРАХУНОК СТАТИЧНОЇ І ДИНАМІЧНОЇ
СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

Навчальний посібник

Редактор Є. Плетньова

Оригінал-макет підготовлено В. Тептя

Підписано до друку
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад. пр. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.