

Міністерство освіти і науки України
Національний університет "Чернігівська політехніка"

**ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ В
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ**

Методичні вказівки до курсового проектування
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Обговорено і рекомендовано
на засідання кафедри
електричної інженерії та
інформаційно-вимірювальних
технологій
Протокол №13 від 12.12.23

Чернігів 2023

Основи релейного захисту та автоматики в електроенергетичних системах. Методичні вказівки до курсового проектування для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка". / Укл.: Приступа А.Л. – Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка", 2023. – 43 с.

Укладачі: Приступа Анатолій Леонідович, завідувач кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: Приступа Анатолій Леонідович, завідувач кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Ревко Анатолій Сергійович, доцент кафедри електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки, кандидат технічних наук, доцент

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 ОРГАНІЗАЦІЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	6
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АВАРІЙНОГО РЕЖИМУ	7
3 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	9
3.1 Розрахунок уставок максимального струмового захисту	11
3.2 Розрахунок струмових відсічок	15
4 РОЗРАХУНКОВА ПЕРЕВІРКА ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ	17
4.1 Перевірка повної похибки ТС	18
4.2 Перевірка ТС за другою умовою: $f_{\text{макс}} \leq f_{\text{доп}}$ за максимального значення струму КЗ $I_{\text{к1 макс}}$	20
4.3 Перевірка ТС за третьою умовою: $U_{2 \text{ макс}} \leq U_{2 \text{ доп}}$	21
5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРОЕКТУ	22
5.1 Загальні вимоги до оформлення	22
5.2 Вимоги до оформлення розділів та підрозділів	22
5.3 Оформлення рисунків	23
5.4 Оформлення таблиць	24
5.5 Оформлення формул	25
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	26
Додаток А. Вихідні дані до курсового проекту	27
Додаток Б. Бланк технічного завдання	33
Додаток В. Титульний аркуш пояснювальної записки до курсового проекту	34
Додаток Г. Календарний графік виконання курсового проекту	36
Додаток Д. Довідникові дані силових трансформаторів	37
Додаток Е. Сімейства захисних характеристик запобіжників ПКТ	39
Додаток Ж. Криві граничних кратностей трансформаторів струму 10кВ	42

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВН	–	вища напруга
ЕМ		електрична мережа
КЗ	–	коротке замикання
МП		мікропроцесорний
МСЗ	–	максимальний струмовий захист
НН		нижча напруга
РЗ	–	релейний захист
ТН	–	трансформатор напруги
ТС	–	трансформатор струму

ВСТУП

Курсове проектування є важливою складовою навчального плану підготовки бакалаврів за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", що дозволяє сформуванню та розвинути у студентів вміння та навички самостійно розв'язувати практичні задачі з фаху. Курсовий проект з дисципліни "Основи релейного захисту та автоматики в електроенергетичних системах" є логічним продовженням курсових проектів з дисциплін "Електричні системи і мережі" та "Електрична частина станцій, підстанцій" та дозволяє узагальнити знання, отримані студентами під час вивчення фундаментальних, професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін.

Стандартна тематика курсового проектування спрямована на розрахунок параметрів струмового захисту ліній електропередач (ЛЕП) розподільної електричної мережі (ЕМ). В окремих випадках за погодженням з викладачем студент може обрати індивідуальну тему курсового проекту, пов'язану, наприклад, з тематикою випускної кваліфікаційної роботи.

1 ОРГАНІЗАЦІЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Курсовий проект згідно навчального плану підготовки фахівців за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" передбачено в 7 семестрі.

Курсовий проект складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Завдання на курсове проектування студенти формують відповідно свого прізвища, ім'я та по батькові відповідно до вихідних даних представлених в додатку А. До 15 вересня заповнений бланк технічного завдання (додаток Б) студент має подати на підпис викладачеві.

Пояснювальна записка до курсового проекту має містити титульний аркуш (додаток В), лист технічного завдання, зміст, перелік скорочень, вступ, три основні розділи, висновки, перелік посилань та додатки.

Текст пояснювальної записки оформлюється відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015.[1]

Основні розділи стандартного курсового проекту спрямовані на:

- розрахунок параметрів аварійних режимів;
- розрахунок струмового захисту ЛЕП;
- розрахункова перевірка трансформаторів струму.

Кожен виконаний розділ курсового проекту студенти мають подати на перевірку викладачеві відповідно до календарного графіку (додаток Г).

За правильно та вчасно виконаний розділ студенти отримують 20 балів. За кожен день затримки від 20 балів віднімається 1 бал. Таким чином за роботу над курсовим проектом протягом семестру студенти можуть отримати від 0 до 60 балів.

Текст пояснювальної записки курсового проекту має пройти перевірку на плагіат відповідно до [2].

Наприкінці кожного розділу результати розрахунку мають бути зведені до таблиці.

В додатках можна приводити лістинг програми розрахунків, якщо вони відсутні в тексті пояснювальної записки; технічні параметри пристроїв захисту, тощо.

Графічна частина стандартного курсового проекту має включати в себе наступні креслення:

- еквівалентна схема заміщення фрагменту електричної мережі з нанесеними значеннями опорів елементів та струмів трифазного короткого замикання у розрахункових точках;
- карта селективності релейного захисту;
- схема електрична принципова релейного захисту.

Захист курсового проекту проводиться шляхом співбесіди зі студентом по змісту курсового проекту. Захист курсових проектів проходить протягом залікового тижня згідно розкладу. За захист курсового проекту студент має змогу отримати від 0 до 40 балів, які додаються до балів, набраних студентом протягом семестру за своєчасність виконання певних розділів.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АВАРІЙНОГО РЕЖИМУ

Оскільки в даному курсовому проекті необхідно розрахувати релейний захист для ЛЕП розподільчих електричних мереж, то найбільш розповсюдженими аварійними режимами для них будуть міжфазні (трифазні і двофазні) короткі замикання (КЗ). Методика розрахунку параметрів аварійних режимів приведена в [3-4].

При розрахунку струмів КЗ будемо враховувати наявність на силових трансформаторах пристроїв РПН. Це призведе до зміни опору трансформаторів. Активним опором трансформаторів знехтуємо, у зв'язку з тим, що він набагато менший ніж реактивний. Реактивний опір силових трансформаторів з РПН в максимальному та мінімальному режимі розраховуємо за формулами:

$$X_{T \text{ макс}^*} = \frac{u_{\text{к макс}} \cdot U_{\text{макс ВН}}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{ном ВН}}^2}$$

$$X_{T \text{ мін}^*} = \frac{u_{\text{к мін}} \cdot U_{\text{мін ВН}}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{ном ВН}}^2}$$

де $u_{\text{к макс}}$, $u_{\text{к мін}}$ - напруга КЗ силового трансформатора, що відповідає крайнім положенням перемикача РПН (додаток Д);

$U_{\text{макс ВН}}$, $U_{\text{мін ВН}}$ - максимальна та мінімальна напруга обмотки ВН силового трансформатора, що відповідає крайнім положенням перемикача РПН (додаток Д);

$S_{T \text{ ном}}$ - номінальна потужність силового трансформатора;

S_{σ}, U_{σ} - відповідно базисні потужність та напруга.

$$U_{\text{макс ВН}} = U_{\text{ном ВН}} \cdot (1 + \Delta U_{\text{РПН}})$$

$$U_{\text{мін ВН}} = U_{\text{ном ВН}} \cdot (1 - \Delta U_{\text{РПН}})$$

де $\Delta U_{\text{РПН}}$ - половина сумарного діапазону регулювання РПН.

Слід зауважити, що при цьому варто враховувати технологічні обмеження напруги $U_{\text{макс ВН}}$ (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Найбільша напруга електричної мережі

$U_{\text{ном}}$, кВ	10	20	35	110	150	220	330
$U_{\text{макс}}$, кВ	11,5	23	40,5	126	172	252	373

Розрахункові точки КЗ вибираються з наступних міркувань:

- для максимального струмового захисту (МСЗ) необхідно визначити:
 - 1) максимальне значення струму КЗ в місці встановлення запобіжника з найбільшим струмом плавкої уставки (для узгодження захисної характеристики пристрою захисту);
 - 2) мінімальне значення струму КЗ у найвіддаленішій точці ЛЕП (для перевірки чутливості МСЗ в основній зоні);
 - 3) мінімальне значення струму КЗ за трансформатором 6(10,20)/0,4 кВ (для перевірки чутливості МСЗ в зоні резервування);

- для розрахунку параметрів струмової відсічки (СВ) необхідно визначити:
 - 1) максимальне значення струму КЗ за трансформатором 6(10,20)/0,4 кВ (для вибору струму спрацьовування СВ);
 - 2) мінімальне значення струму КЗ в місці встановлення захисту (для перевірки чутливості СВ).

3 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

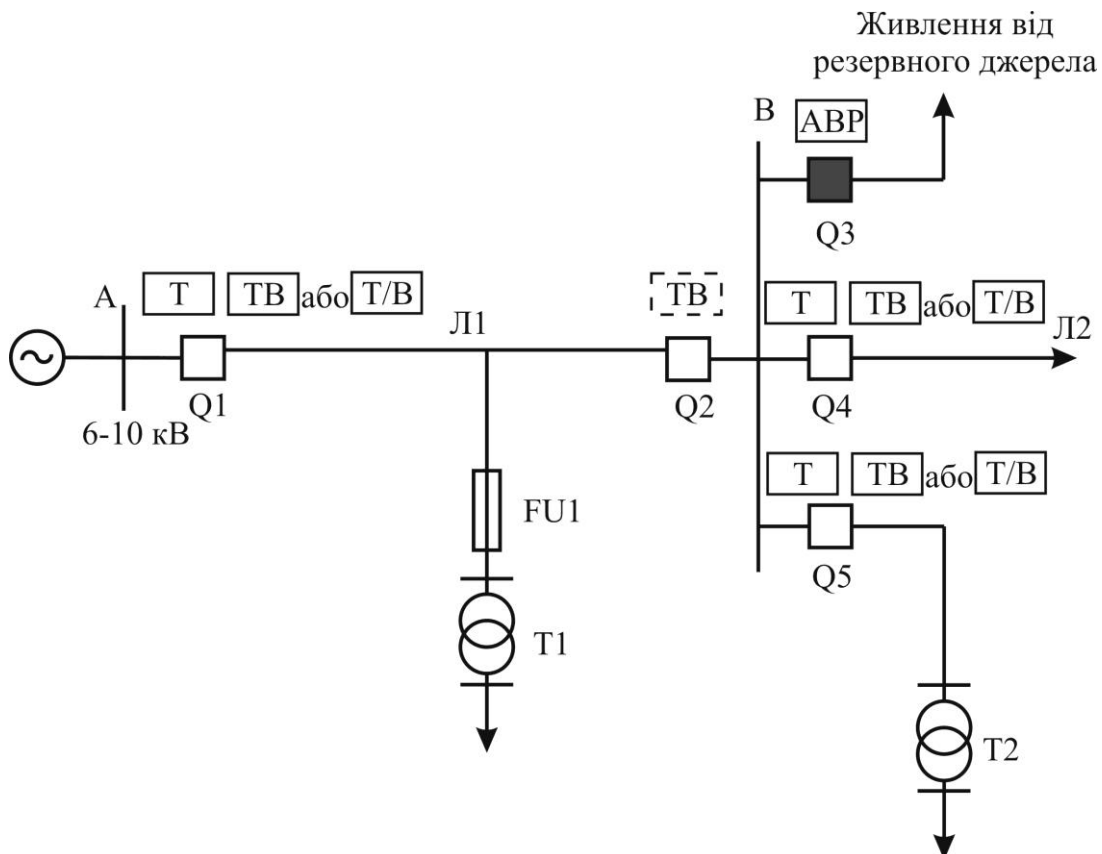
На лініях електропередачі (повітряних і кабельних) у мережах напругою 6-10 кВ, що працюють із ізольованою нейтраллю, повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від багатофазних КЗ і від однофазних замикань на землю [5].

Захист від багатофазних (або міжфазних) КЗ застосовується у двофазному виконанні, причому трансформатори струму встановлюються на тих самих фазах по всій мережі даної напруги (як правило у фазах А і С). Це забезпечує відключення в більшості випадків подвійних замикань на землю тільки одного місця ушкодження. Залежно від вимог чутливості й надійності захист може виконуватися по двох- або трьохрелейній схемі. Трьохрелейна схема застосовується в основному для підвищення чутливості захисту до двофазних КЗ за трансформаторами зі схемою з'єднання обмоток $Y/\Delta-11$ або $\Delta/Y-11$.

На одиночних лініях з однобічним живленням від багатофазних КЗ встановлюється, як правило, двохступінчастий струмовий захист, перша ступінь якого виконана у вигляді струмової відсічки, а друга – у вигляді максимального струмового захисту з незалежною або залежною часо струмовою характеристикою.

На прийомних кінцях одиночних ліній 6-10 кВ із однобічним живленням релейний захист від багатофазних КЗ часто не встановлюється з метою економії апаратури. При КЗ на лінії діє захист, встановлений на живильному кінці і відключає за допомогою вимикача Q1 ушкоджену лінію. Вимикач Q2 на прийомному кінці лінії (рисунок 3.1) у цих випадках може відключитися автоматично від так званого захисту мінімальної напруги, що входить складовою частиною в схему пристрою АВР на підстанції В. Відключення виконується в безструмову паузу, перед тим як пристрій АВР дасть команду на включення нормально відключеного вимикача Q3 з метою відновлення живлення підстанції В від резервного джерела.

Однак виконання релейного захисту доцільно й на прийомному кінці одиночної лінії 6-10 кВ з однобічним живленням. Таке рішення має наступні переваги. По-перше, при КЗ на шинах прийомної підстанції В (рисунок 3.1) раніше відключиться вимикач Q2 на прийомному кінці й неушкоджена лінія Л1 залишиться під напругою (з підключеними до неї підстанціями на відгалуженнях). По-друге, спрацьовування захисту на прийомному кінці і неспрацьовування на живлячому дозволяє оперативному персоналу швидше визначити ушкоджений елемент і відновити електропостачання споживачів. По-третє, по факту спрацьовування захисту на прийомному кінці лінії можна автоматично заборонити дію пристрою АВР підстанції, для того щоб удруге не подавати напругу на ушкоджені шини.



Т – струмова відсічка, ТВ – МСЗ з незалежною характеристикою,
Т/В – МСЗ з залежною характеристикою

Рисунок 3.1 – Типи захистів одиночних ліній 6-10 кВ

На понижуючих трансформаторах 6-10 кВ, а також на блоках лінія-трансформатор цих класів напруги релейний захист виконується за допомогою розглянутих вище двоступінчастих струмових захистів, що діють на відключення вимикача на стороні ВН. Трансформатори відносно невеликої потужності, до 1 МВА, як правило, захищаються плавкими запобіжниками марки ПКТ [6-7].

Основними параметрами запобіжників є:

- номінальна напруга, яка дорівнює напрузі електричної мережі;
- номінальний струм плавкої вставки, який залежить від номінальної потужності трансформатора, для захисту якого він встановлюється (таблиця 3.1)

Таблиця 3.1 - Рекомендовані значення номінальних струмів плавких вставок запобіжників ПКТ

Потужність трансформатора, кВА	Номінальна напруга ВН, кВ	
	6	10
25	8	5
40	10	8
63	16	10
100	20	16
160	31,5	20
250	50	31,5
400	80	50
630	160	80

- номінальний струм відключення, який має бути більше максимального струму короткого замикання в місці встановлення запобіжника. Промислово випускаються запобіжники з номінальним струмом відключення: (12,5, 20, 31,5, 40) кА.

Сімейства типових захисних характеристик запобіжників ПКТ представлено в додатку Е.

3.1 Розрахунок уставок максимального струмового захисту

Розрахунок параметрів спрацьовування максимальних струмових захистів головним чином складається з вибору струму спрацьовування вимірювальних органів захисту та витримки часу логічного елемента затримки, тобто уставок по струму та за часом.

Обрані уставки по струму й за часом повинні забезпечувати правильну роботу захисту, що відповідає вимогам селективності, чутливості, швидкодії й надійності.

При виборі уставок може виявитися непридатність попередньо прийнятої схеми й навіть типу релейного захисту.

Струм спрацьовування максимального струмового захисту (МСЗ) вибирається за трьома умовами:

- неспрацьовування захисту при надструмах післяаварійних перевантажень, тобто після відключення КЗ на попередньому елементі мережі;
- узгодження чутливості захистів наступного і попереднього елемента;
- забезпечення необхідної чутливості захисту до всіх видів КЗ в основній зоні захисту та у зонах далекого резервування (рисунок 3.2).

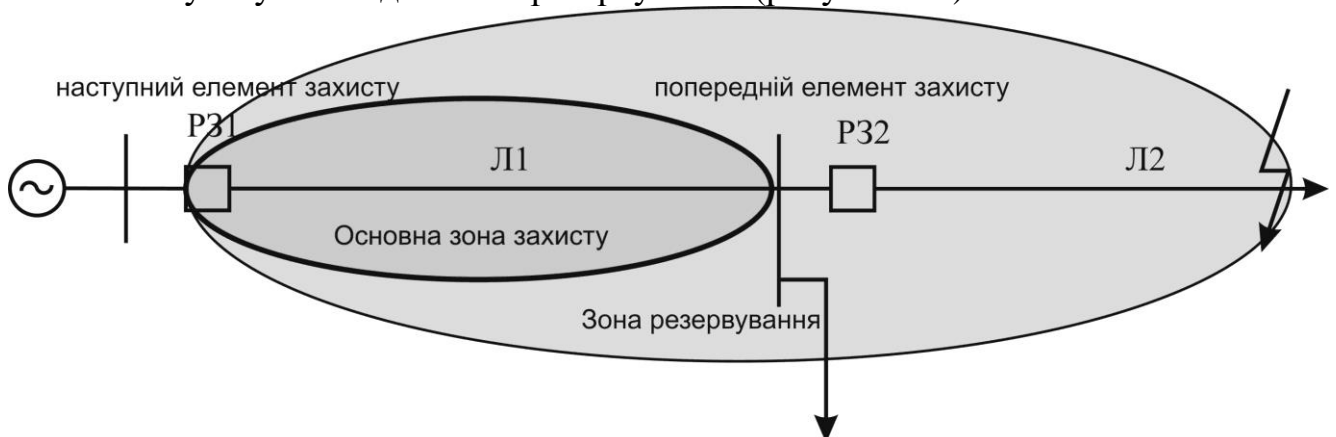


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема для вибору уставок релейного захисту

По першій із цих умов струм спрацьовування максимального струмового захисту $I_{СЗ}$ розраховується за формулою:

$$I_{СЗ} = \frac{k_H \cdot k_{СЗП}}{k_{П}} I_{РОБ.МАКС.} \quad (3.1)$$

де k_H – коефіцієнт надійності, залежить від пристрою РЗ, який представляє вимірювальний орган (орієнтовні значення представлені k_H в таблиця 3.1);

k_{Π} – коефіцієнт повернення максимальних реле струму або комплектних пристроїв захисту, (значення k_{Π} представлено в технічній документації на відповідний пристрій захисту);

$k_{СЗП}$ – коефіцієнт самозапуску навантаження, дорівнює відношенню максимального значення струму при самозапуску навантаження $I_{СЗП}$ до максимального реального значення робочого струму ($I_{РОБ.МАКС}$) елемента, для якого розраховується захист

$$k_{СЗП} = \frac{I_{СЗП}}{I_{РОБ.МАКС}}. \quad (3.2)$$

Таблиця 3.2 – Залежність розрахункових коефіцієнтів від типу реле струму

Тип реле струму	k_{Π}	$k_{НУ}$
РТВ	1,2-1,4	1,4-1,5
РТ-40	1,1-1,2	1,2-1,4
РТ-80	1,1-1,2	1,3-1,4
РСТ 11, РСТ 13	1,15	1,1-1,3
мікропроцесорні пристрої РЗ	1,1	1,1-1,3

Максимальне значення робочого струму ($I_{РОБ.МАКС}$) елемента, для якого розраховується захист, визначається з урахуванням його максимально допустимого тривалого перевантаження. Наприклад, для трансформаторів 6-10 кВ потужністю до 630 кВА допускається тривале перевантаження до 1,6-1,8 номінального струму, для трансформаторів двохтрансформаторних підстанцій 110 кВ – до 1,4-1,6 номінального струму. Для деяких елементів перевантаження взагалі не допускається (кабелі напругою вище 10 кВ, реактори). Значення допустимих максимальних навантажень визначають диспетчерські служби.

За умовою узгодження чутливості захистів наступного і попередніх елементів струм спрацьовування захисту розраховується за формулою:

$$I_{СЗЗ} \geq \frac{k_{НУ}}{k_{р}} \left[\sum_1^n I_{СЗ ПОПЕР.МАКС.(n)} + \sum_1^{N-n} I_{РОБ.МАКС.(N-n)} \right] \quad (3.3)$$

де $k_{НУ}$ – коефіцієнт надійності узгодження (таблиця 3.1);

$k_{р}$ – коефіцієнт струморозподілу, що враховується тільки при наявності декількох джерел живлення, при одному джерелі живлення дорівнює 1;

$\sum_1^n I_{СЗ ПОПЕР.МАКС.(n)}$ – найбільша з геометричних сум струмів спрацьовування

максимальних струмових захистів паралельно працюючих попередніх елементів (n); при різниці між кутами фазового зрушення напруги й струми для всіх попередніх елементів n не більше 50° припустиме арифметичне додавання замість геометричного;

$\sum_1^{N-n} I_{РОБ.МАКС.(N-n)}$ – геометрична сума максимальних значень робочих струмів

всіх попередніх елементів (N), за винятком тих, із захистами яких виконується

узгодження (n); при приблизно однорідному навантаженні припустиме арифметичне додавання замість геометричного.

Згідно [5] необхідно виконувати узгодження чутливості захистів у всіх випадках, коли можлива дія захисту наступного елемента через відмову внаслідок недостатньої чутливості захисту попереднього елемента.

З отриманих по виразах (3.1) і (3.3) значень струмів спрацьовування захисту вибирається найбільше, а потім визначається струм спрацьовування реле:

$$I_{CP} = \frac{k_{CX}^{(3)}}{k_I} I_{C3} \quad (3.4)$$

де $k_{CX}^{(3)}$ - коефіцієнт схеми, який показує у скільки разів струм в реле більше ніж струм у вторинній обмотці ТС при нормальному симетричному режимі роботи елемента, для якого розраховується захист; при схемі з'єднань обмоток реле та ТС – "зірка" $k_{CX}^{(3)}=1$, при схемі з'єднань обмоток реле та ТС – "трикутник" $k_{CX}^{(3)} = \sqrt{3}$;

k_I - коефіцієнт трансформації ТС.

Струм спрацьовування I_{CP} виставляється на реле, тому часто називається *уставкою по струму*. Для захистів, виконаних на струмових реле із плавким регулюванням струму спрацьовування (цифрові реле), отримане значення I_{CP} приймається за уставку по струму. Для захистів і реле зі ступінчатим регулюванням струму спрацьовування (електромеханічні реле) підбирається найближче більше значення уставки по струму.

Чутливість захисту оцінюється за допомогою коефіцієнту чутливості $k_{ч}$, який показує наскільки струм $I_{P.MIN}$, що протікає в реле при різних видах КЗ перевищує уставку:

$$k_{ч} = \frac{I_{P.MIN}}{I_{CP}} \quad (3.5)$$

Мінімальні значення струму в реле $I_{P.MIN}$ вибирається при найбільш несприятливих умовах: найбільшому опорі енергосистеми (мінімальний режим) і найбільшому опорі до місця КЗ на елементі, для якого розраховується захист. Для вибору мінімального значення струму в реле розглядаються всі види КЗ.

МСЗ вважається чутливим, якщо $k_{ч} \geq 1,5$ при КЗ в основній зоні захисту, та $k_{ч} \geq 1,2$ при КЗ в зоні резервування.

Збільшення чутливості максимального струмового захисту може бути досягнуто наступними способами:

- застосуванням більш досконалих реле, що дозволяє зменшити уставку по струму;
- зменшенням значень струму самозапуску за допомогою попереднього відключення частини моторного навантаження;
- автоматичним секціонуванням ліній електропередачі за допомогою вимикачів із захистом з метою зменшення довжини зон захисту, а відповідно і $I_{P.MIN}$;

– можливою неселективною роботою МСЗ лінії при невеликих значеннях струму КЗ всередині трансформаторів, приєднаних до цієї лінії через запобіжники типу ПКТ напругою 6-10 кВ.

Якщо захист виконано на змінному оперативному струмі по схемі з дешунтуванням котушок відключення, розрахунок коефіцієнту чутливості необхідно виконувати з врахуванням дійсної струмової похибки ТС після дешунтування.

Витримка часу максимальних струмових захистів уводиться для вповільнення дії захисту з метою забезпечення селективності дії захисту наступного елемента стосовно захистів попередніх елементів. Для цього витримка часу (або час спрацьовування) захисту $t_{CЗ}$ лінії Л1 (рисунок 3.1) вибирається більшою, ніж у захистів попередніх елементів.

$$t_{CЗ} = t_{CЗ\text{ ПОПЕР.}} + \Delta t \quad (3.6)$$

де $t_{CЗ\text{ ПОПЕР.}}$ – час спрацьовування МСЗ попереднього елемента;

Δt – ступінь селективності.

Величина Δt залежить від точності роботи пристроїв, що забезпечують витримку часу. Для захисту з незалежною характеристикою Δt визначається точністю реле часу:

- для реле часу з годинниковим механізмом типу РВ, ЭВ – $\Delta t=0,4-0,6$ с,
- для реле часу типу РВМ – $\Delta t=0,5-0,6$ с,
- для напівпровідникових реле часу – $\Delta t=0,4-0,6$ с.

Для захисту з залежною характеристикою Δt визначається точністю комбінованого пускового органу захисту:

- для індукційних реле типу РТ-80 – $\Delta t=0,5-0,6$ с,
- для реле типу РТВ – $\Delta t=0,8-1$ с,
- для МП пристроїв РЗ – $\Delta t=0,2-0,4$ с.

Ступінь селективності повинна забезпечуватись:

- при узгодженні захистів з залежними характеристиками – при максимальному значенні струму КЗ на початку попередньої ділянки;
- при узгодженні захистів з незалежною та залежною характеристиками – при струмі спрацьовування наступного захисту з незалежною характеристикою.

Недоліками МСЗ є зростання витримок часу, особливо істотне для головних елементів у багатоступінчастих електричних мережах. Для подолання цього недоліку використовуються реле часу з підвищеною точністю роботи (електронні), максимальні реле струму з залежними характеристиками, сполучення максимальних струмових захистів і струмових відсічок. Зменшити час дії МСЗ можна також шляхом підвищення струму спрацьовування, якщо це не призводить до зменшення чутливості.

Після вибору витримок часу максимальних струмових захистів за умовою селективності необхідно в ряді випадків перевіряти термічну стійкість елемента, для якого розраховується захист, тобто допустимість проходження максимального струму КЗ протягом обраного часу дії захисту. Це пояснюється тим, що термічний вплив електричного струму прямо пропорційний часу його

проходження. При неприпустимо тривалому проходженні великого надструму може відбутися небезпечний перегрів струмоведучих частин або ізоляції та руйнування елемента.

3.2 Розрахунок струмових відсічок

Струмова відсічка захищає тільки частину лінії електропередачі, яка розташовується ближче до джерела живлення.

Селективність струмової відсічки миттєвої дії забезпечується вибором її струму спрацьовування I_{CB} більшим, ніж максимальне значення струму КЗ $I_{K3\text{МАКС}}$ при ушкодженні наприкінці лінії електропередачі, для якої розраховується захист або на стороні НН понижуючого трансформатора:

$$I_{CB} \geq k_H \cdot I_{K3\text{МАКС}} \quad (3.7)$$

Значення коефіцієнта надійності k_H для струмових відсічок без витримки часу, встановлених на лініях електропередачі та понижуючих трансформаторах, наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта надійності k_H для струмових відсічок ліній і трансформаторів

Тип реле	Значення k_H для відсічок	
	ліній	трансформаторів
РТ-40	1,2-1,3	1,3-1,4
РСТ 11, РСТ 13	1,15	1,15
РТ-80 (електромагнітний елемент)	1,5-1,6	1,6
РТМ	1,4-1,5	1,5-1,6
мікропроцесорні пристрої РЗ	1,1-1,15	1,1-1,15

При визначенні максимального значення струму КЗ при ушкодженні наприкінці лінії електропередачі напругою 35 кВ і нижче розглядається трифазне КЗ при роботі енергосистеми в максимальному режимі, при якому електричний опір енергосистеми є мінімальним.

Визначення максимального значення струму трифазного КЗ за трансформатором з регулюванням напруги необхідно робити при такому положенні регулятора напруги, що відповідає найменшому опорі трансформатора.

Вибір струму спрацьовування відсічки трансформатора за умовою (3.7), як правило забезпечує також відбудову відсічки від кидків струму намагнічування.

При розрахунку струмової відсічки лінії електропередачі, по якій живиться кілька трансформаторів, необхідно відповідно до умови (3.7) забезпечити неспрацьовування відсічки при КЗ за кожним із трансформаторів на відгалуженнях від лінії і додатково перевірити надійність неспрацьовування відсічки при сумарному значенні кидків струму намагнічування всіх трансформаторів, підключених до лінії, для якої розраховується захист, і до

попередніх ліній, якщо вони одночасно включаються під напругу. Умова відбудови відсічки від кидків струму намагнічування трансформаторів має вигляд

$$I_{CB} \geq k_H \cdot \sum I_{TR\text{НОМ}} \quad (3.8)$$

де $I_{TR\text{НОМ}}$ – сума номінальних струмів всіх трансформаторів, які можуть одночасно включатися під напругу по лінії, для якої розраховується захист;

k_H – коефіцієнт надійності, значення якого залежить від часу спрацьовування струмової відсічки.

При виконанні відсічення на реле РТМ, власний час спрацьовування якого може становити всього лише один період (20 мс), варто приймати найбільше значення $k_H \geq 5$, а при виконанні відсічки за схемою із проміжними реле приймається менше значення $k_H \approx 3-4$, оскільки сумарний час спрацьовування максимального реле струму й проміжного реле цих схем становить близько 5 періодів (100 мс) і значення кидків струму намагнічування за цей час помітно знижується.

Чутливість струмових відсічок оцінюється коефіцієнтом чутливості, а також величиною (довжиною) частини лінії електропередачі, що захищається. Коефіцієнт чутливості визначається за формулою (3.5).

4 РОЗРАХУНКОВА ПЕРЕВІРКА ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

Трансформатори струму, що використовуються в схемах релейного захисту зазвичай виконують дві функції:

- вимірювального перетворювача;
- джерела оперативного струму (для підстанцій зі змінним оперативним струмом).

Отже відповідно до цього трансформатори струму повинні забезпечувати необхідну точність згідно [5] для вимірювання струму до спрацювання вимірювального органу захисту. Та забезпечення надійності роботи контактів РЗА після спрацювання вимірювального реле, коли трансформатор струму переходить в режим роботи джерела оперативного струму. Крім того трансформатори струму повинні перевірятись на відсутність небезпечних перенапруг у вторинних кола.

Відповідно до цього ТС мають забезпечувати:

- 1) повну похибку перетворення струму не більше 10% при розрахункових умовах $I_{\text{прозр}}$;
- 2) надійну (без вібрації) роботу контактів вимірювальних органів захисту при максимальному струмі КЗ $I_{\text{кл макс}}$, коли зростає струмова похибка $f_{\text{макс}}$ трансформатору струму внаслідок насичення магнітопроводу ТС ($f_{\text{макс}} \leq f_{\text{доп}}$);
- 3) відсутність небезпечних перенапруг у вторинних кола трансформаторів струму при максимальному струмі КЗ.

При визначенні розрахункових умов перевірки $I_{\text{прозр}}$ варто враховувати тип релейного захисту, який підключено до вторинної обмотки ТС:

- для струмової відсічки та максимального струмового захисту з незалежною характеристикою точна робота трансформаторів струму потрібна лише при струмі спрацювання захисту ($I_{\text{с.з.}}$)

$$I_{\text{прозр}} = 1,1 \cdot I_{\text{с.з.}},$$

коефіцієнт 1,1 урахує максимально можливу допустиму повну похибку з якою може працювати трансформатор струму в цьому режимі;

- для максимального струмового захисту із залежною захисною характеристикою $t_{\text{сз}} = f(I_{\text{кз}})$

$$I_{\text{прозр}} = I_{\text{узг}},$$

де $I_{\text{узг}}$ відповідає первинному струму КЗ, при якому виконується узгодження за часом наступного й попереднього захистів і визначається ступінь селективності Δt ;

- для поздовжніх диференціальних захистів (трансформаторів, генераторів, шин, ліній) $I_{\text{прозр}}$ приймається рівним найбільшому значенню струму при зовнішньому КЗ, тобто КЗ поза зоною дії диференціального захисту;

- для дистанційного спрямованого (струмового спрямованого) захисту ліній з однобічним живленням $I_{\text{прозр}}$ приймається рівним найбільшому значенню струму КЗ в кінці першої зони захисту (наприкінці лінії).

В даному курсовому проекті варто виконати лише розрахункові перевірки ТС, які виконуються на етапі проектування. Під час експлуатації можливе більш точне експериментальне визначення характеристик ТС і коригування результатів розрахунку.

4.1 Перевірка повної похибки ТС

Дана перевірка ТС на етапі проектування може бути виконана двома способами:

- по кривим граничних кратностей (КГК) $k_{10} = f(Z_H)$,
- по паспортним даним ТС: по номінальному значенню опору навантаження ТС Z_H при номінальній кратності струму $k_{\text{ном}}$

Розрахункова перевірка ТС за умовою $\varepsilon < 10\%$ за кривими граничної кратності (КГК).

Криві КПК для деяких вітчизняних ТС наведено в додатку Ж. Приклад КГК представлено на рисунку 4.1.

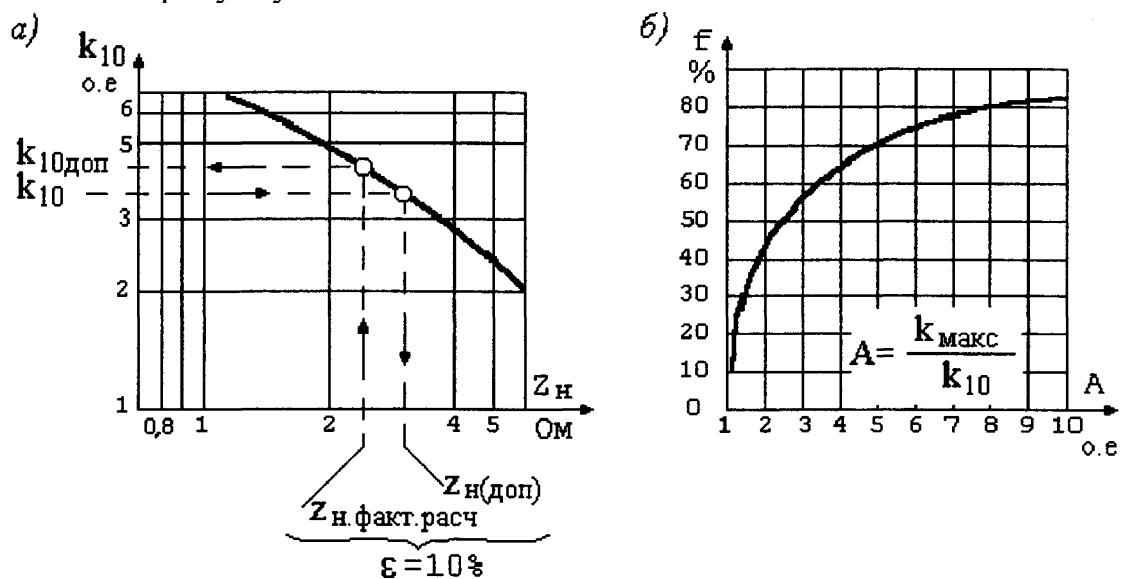


Рисунок 4.1 – Крива граничних кратностей одного з типів ТС (а) і залежність $A = \psi(f)$, загальна для всіх типів вітчизняних ТС (б).

Для визначення за КГК допустимого значення опору вторинного навантаження Z_H , за якого повна похибка ТС $\varepsilon = 10\%$, необхідно обчислити для конкретного розрахункового струму значення k_{10} - граничної кратності:

$$k_{10} = \frac{I_{\text{расч}}}{I_{\text{ном}}}, \quad (4.1)$$

де $I_{\text{ном}}$ – первинний номінальний струм ТС.

За КГК, що відповідає типу, класу вторинної обмотки і коефіцієнту трансформації ТС, знаходиться значення Z_H (рисунок 4.1). Залежно від схеми

з'єднання ТТ і реле, і від виду електроустановки, що захищається, проєктувальник обирає переріз з'єднувальних проводів (кабелів) між ТС і реле.

Розрахункова перевірка ТС на 10%-ву похибку за паспортними даними ТС.

На таблиці ТСТ або в його паспорті вказується номінальне значення кратності струму k_H (m_H або n_H), за якого допускається опір навантаження, що дорівнює Z_H , і забезпечується при цьому $\varepsilon < 10\%$. Якщо відомі фактичне розрахункове значення $Z_{H, \text{факт. розр.}}$ (наприклад, із проєкту) і повний опір вторинної обмотки ТТ Z_2 (із паспорта), можна визначити допустиме значення $k_{10 \text{ доп}}$, а потім порівняти його зі значенням k_{10} , отриманим за виразом (4.1) для цієї електроустановки. Допустиме значення кратності визначається за виразом:

$$k_{10} = k_H \frac{z_2 + z_H}{z_2 + z_{H \text{ факт. розр.}}} \quad (4.2)$$

Розрахункові формули для визначення $Z_{H, \text{факт. розр.}}$ для різних схем з'єднання ТС при різних видах КЗ наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахункові формули для визначення $Z_{H, \text{факт. розр.}}$

№	Схема з'єднання ТС та вторинного навантаження	Вид КЗ	Вираз для розрахунку опору вторинного навантаження
1		трёхфазне двухфазне	$Z_{H, \text{расч}} = r_{\text{пр}} + z_p + r_{\text{пер}}$
		однофазне	$Z_{H, \text{расч}} = 2 r_{\text{пр}} + z_{p, \phi} + z_{p, 0} + r_{\text{пер}}$
2		трёхфазне	$Z_{H, \text{расч}} \approx \sqrt{3} r_{\text{пр}} + z_{p, \phi} + z_{p, \text{обр}} + r_{\text{пер}}$
		двухфазне АВ або ВС	$Z_{H, \text{расч}} = 2 r_{\text{пр}} + z_{p, \phi} + z_{p, \text{обр}} + r_{\text{пер}}$
		двухфазне за трансформатором Y/Δ-11	$Z_{H, \text{расч}} = 3 r_{\text{пр}} + z_{p, \phi} + 2 z_{p, \text{обр}} + r_{\text{пер}}$
3		трёхфазне	$Z_{H, \text{расч}} = \sqrt{3} (2 r_{\text{пр}} + z_p) + r_{\text{пер}}$
		двухфазне АС	$Z_{H, \text{расч}} = 4 r_{\text{пр}} + 2 z_p + r_{\text{пер}}$
		двухфазне АВ або ВС	$Z_{H, \text{расч}} = 2 r_{\text{пр}} + z_p + r_{\text{пер}}$
4		трёхфазне двухфазне	$Z_{H, \text{расч}} = 3 r_{\text{пр}} + 3 z_p + r_{\text{пер}}$
		однофазне	$Z_{H, \text{расч}} = 2 r_{\text{пр}} + 2 z_p + r_{\text{пер}}$
5		-	$z'_{H, \text{расч}} = 0,5 z_{H, \text{расч}}$
6		-	$z'_{H, \text{расч}} = 2 z_{H, \text{расч}}$

Для зменшення похибок ТС часто практикується послідовне включення двох вторинних обмоток ТС. "Сумарна" ВАХ розташовується значно вище, ніж ВАХ однієї з обмоток. Кожна ордината U_2 "сумарної" ВАХ являє собою суму ординат ВАХ двох обмоток ТС.

Для зменшення похибки ϵ можуть знадобитися й інші заходи: зменшення опору вторинного навантаження $Z_{н.факт.розрах.}$ і навіть заміна трансформаторів струму.

4.2 Перевірка ТС за другою умовою: $f_{\max} \leq f_{\text{доп}}$ за максимального значення струму КЗ $I_{к1 \max}$.

Порядок визначення максимального значення струмової похибки f_{\max} такий:

– обчислюється максимальна кратність струму КЗ по відношенню до первинного номінального струму ТТ за виразом::

$$k_{\max} = \frac{I_{1к.макс}}{I_{1ном}}; \quad (4.3)$$

– визначається максимальне значення коефіцієнта А:

$$A_{\max} = \frac{k_{\max}}{k_{10\text{доп}}}, \quad (4.4)$$

де $k_{10\text{доп}}$ – допустима кратність струму КЗ, що відповідає $\epsilon = 10\%$ за $Z_{н.факт.розрах.}$; може бути визначена розрахунком або графічно за відповідною кривою граничної кратності;

– визначається f_{\max} за залежністю $A = \psi(f)$, яка наведена на рисунку 4.1,б.

– порівнюється отримане значення f_{\max} із допустимим значенням $f_{\text{доп}}$, за якого забезпечується надійне замикання контактів електромеханічних реле (ЕТ-520, РТ-40, ИМБ, РБМ), а також правильна орієнтація спрямованих реле всіх типів і задана часострумова характеристика дискових індукційних реле (ИТ-80, РТ-80).

На підставі результатів досліджень різних типів реле можна орієнтуватися на такі значення $f_{\text{доп}}$ у відсотках:

Реле струму ЕТ-520	- 13
РТ-40 (модернізовані)	- 50
РТ-80(ИТ-80)	- 50
Статичні реле РСТ	- 80
Реле опору всіх типів	- 50
Реле напряму потужності:	
РБМ-171,172 (після 1970 р.)	- 30
РБМ-177,178 (після 1970 р.)	- 20
Статичні реле РМ	- 50

Для правильної орієнтації статичних реле напряму потужності та різних реле опору головною умовою є обмеження кутової похибки ТС δ , яка за $f = 50\%$ дорівнює 45° .

Якщо виконано умову $f_{\text{макс}} < f_{\text{доп}}$, то забезпечується надійне функціонування типів реле, що перевіряються, за максимальних значень струмів КЗ.

Якщо в результаті розрахунку виявилось $f_{\text{макс}} > f_{\text{доп}}$. Слід розглянути кілька можливих заходів:

- заміна наявних реле на такі, у яких вище значення $f_{\text{доп}}$, наприклад, замінити реле РБМ-178 на реле РМ-12; також не слід залишати в експлуатації струмові захисти з реле ЕТ-520, а замінювати їх сучасними цифровими струмовими захистами;

- зменшення похибки $f_{\text{макс}}$, що можна здійснити або зменшенням значення $Z_{\text{н.факт.розрах.}}$, або зменшенням $k_{\text{макс}}$ шляхом збільшення коефіцієнта трансформації ТС і, отже, $I_{1\text{ном.}}$, або шляхом послідовного ввімкнення двох вторинних обмоток ТС; кожний із цих заходів дасть зниження $f_{\text{макс}}$ на якусь кількість відсотків, і ці відсотки можна скласти (арифметично); розглянута методика та залежність $A = \psi(f)$ на рисунку 4.1,б дають змогу легко зробити ці розрахунки.

Якщо передбачається ввімкнути дві обмотки одного класу, ефективність цього заходу оцінюють у такий спосіб:

а) за відповідною кривою граничної кратності (рисунок 4.1,а) визначається $k_{10\text{доп}}$ для $0,5Z_{\text{н.факт.розрах.}}$, вважаючи, що фактичне навантаження розподілиться між обмотками ніби порівну;

б) за новим, більшим значенням $k_{10\text{доп}}$ визначається коефіцієнт $A_{\text{макс}}$ за виразом (4.4), який може виявитися значно меншим, ніж у разі використання тільки однієї обмотки цього ТС;

в) для меншого значення $A_{\text{макс}}$ визначається за рисунком 4.1,б нове, менше значення $f_{\text{макс}}$.

Якщо передбачається включити послідовно дві вторинні обмотки різних класів (наприклад, "Р" і "0,5"), то необхідно для визначення нового значення $k_{10\text{доп}}$ побудувати сумарну криву граничних кратностей. Ця крива ляже правіше КГК для класу "Р" і, отже, за того самого значення $Z_{\text{н.факт.розрах}}$ отримаємо більше $k_{10\text{доп}}$.

4.3 Перевірка ТС за третьою умовою: $U_{2\text{ макс}} \leq U_{2\text{ доп}}$

Значення $U_{2\text{ макс}}$ на затискачах вторинної обмотки ТС визначається за виразом:

$$U_{2\text{ макс}} = \frac{I_{\text{к1.макс}}}{n_{\text{т}}} \cdot Z_{\text{н.факт.расч.}}$$

де $I_{\text{к1 макс}}$ – діюче значення періодичної складової струму КЗ.

Значення $U_{2\text{ доп}}$ дорівнює випробувальній напрузі 1000 В, яку має бути прикладено до вторинних кіл захисту протягом 1 хв за частоти 50 Гц.

5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРОЕКТУ

5.1 Загальні вимоги до оформлення

Курсовий проект повинен бути оформлений у відповідності з вимогами ДСТУ 3008-2015 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення».

Текст курсової роботи має бути виконаний на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 (розмір 210x297 мм) з використанням текстового редактора Word. Для основного тексту використовується шрифт Times New Roman, розмір 14 з полуторним міжрядковим інтервалом. Текст звіту необхідно друкувати, дотримуючись наступних розмірів полів: верхнє, ліве та нижнє – не менше 20 мм, праве – не менше 10 мм.

Заголовки структурних елементів курсової роботи (ЗМІСТ, ВСТУП, РОЗДІЛ, ВИСНОВКИ, ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ, ДОДАТКИ) друкують великими напівжирними літерами і розташовують посередині сторінки. Заголовки підрозділів друкують маленькими напівжирними літерами (крім першої великої) з абзацу. Крапку в кінці заголовка (розділу чи підрозділу) не ставлять, але якщо заголовок складається з двох або більше речень, їх розділяють крапкою.

Текст курсової роботи повинен поділятися на абзаци, кожен з яких містить самостійну думку. Абзац починається з нового рядка з великої літери на відстані 1,25 см від полів (допускається відступ від 1 см до 1,5 см, але однаковий у всьому документі).

Всі сторінки повинні бути пронумеровані. Перелік посилань та додатки також включаються в загальну нумерацію. На титульному аркуші та аркуші індивідуального завдання номер не проставляється, але вони включаються в загальну нумерацію сторінок. Нумерація сторінок здійснюється арабськими цифрами внизу сторінки без крапки у кінці.

Загальний обсяг курсової роботи (без титульного аркуша, завдання, переліку джерел посилання та додатків) повинен становити 20-30 сторінок друкованого тексту.

5.2 Вимоги до оформлення розділів та підрозділів

Кожен розділ пояснювальної записки до курсового проекту має починатись з нової сторінки. Номер розділу ставлять після слова РОЗДІЛ, після номера крапку не ставлять, друкують заголовок розділу.

Підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку.

Перелік посилань.

Перелік посилань складається в порядку посилання в тексті. Посилання на джерела інформації наводять в квадратних дужках, вказуючи порядковий номер за списком.

Бібліографічний опис джерела в переліку записується відповідно до ДСТУ 8302:2015.

Приклад правильного запису переліку посилань:

1. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О., та ін. Метрологія та вимірвальна техніка: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво “Бескид Біт”, 2003. – 544с.

2. ...

Додатки.

Кожен додаток повинен починатися з нової сторінки, мати заголовок надрукований великими літерами угорі сторінки симетрично відносно тексту.

Посилання на додатки в тексті дають за формою: «... наведено в додатку А», або (додаток А), «... наведено в таблиці В.5». Кожен додаток необхідно починати з нової сторінки, вказуючи зверху посередині рядка слово «Додаток» і через пропуск його позначення. Додатки позначають послідовно великими українськими буквами, за винятком букв Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь.

Кожен додаток повинен мати тематичний (змістовний) заголовок, який записують посередині рядка малими літерами, починаючи з великої.

Ілюстрації, таблиці, формули нумерують в межах кожного додатка, вказуючи його позначення: «Рисунок Б.3 – Найменування»; «Таблиця В.5 – Найменування» і т. п.

Додатки, розміри яких більше формату А4, враховують як одну сторінку і згортають за форматом аркушів курсової роботи.

5.3 Оформлення рисунків

Розміщення рисунків можливо або безпосередньо в тексті або в додатках.

В тексті рисунок розміщують посередині аркуша, симетрично до тексту після першого посилання на нього або на наступній сторінці, якщо на даній він не вміщується.

Між рисунком та текстом має бути відступ в один рядок.

Рисунок має бути обов’язково підписаним, таким чином: «Рисунок 1.1 – Назва рисунку». Крапку в кінці не ставлять, знак переносу не використовують. Між написом «Рисунок 1.1» та його назвою ставить тире.

Рисунок і його назва повинні розділятися не натисканням клавіші «Enter», а натисканням комбінації клавіш «Shift+Enter». У цьому випадку обидві рядки вважаються одним абзацом.

Нумерують ілюстрації в межах розділів, вказуючи номер розділу і порядковий номер ілюстрації в розділі, розділяючи крапкою.

На кожен рисунок в тексті має бути посилання. Посилання виконують за формою: «...приведено на рисунку 2.1.» або в дужках за текстом (рисунок 2.1), на частину ілюстрації: «... приведені на рисунку 2.2, б». Посилання на раніше наведені ілюстрації дають зі скороченим словом «дивись» відповідно в дужках (див. рисунок 2.3). Допускається скорочення, тобто замість «рисунок ...» – «рис. ...».

5.4 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.

На всі таблиці мають бути посилання за формою: «наведено в таблиці 2.1»; «... в таблицях 2.1 – 2.5» або в дужках по тексту (таблиця 2.6). Посилання на раніше наведену таблицю дають з скороченим словом «дивись» (див. таблицю 1.4) за ходом чи в кінці речення.

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

Графу «номер» в таблицю не включають. При необхідності нумерації, номери вказують в боковику таблиці перед найменуванням рядка.

Найменування граф може складатися із заголовків і підзаголовків, які записують в однині, симетрично до тексту графи малими буквами, починаючи з великої. Якщо підзаголовок складає одне речення із заголовком, то в цьому випадку його починають з малої букви. В кінці заголовків і підзаголовків граф таблиці крапку не ставлять.

Якщо всі параметри величин, які наведені в таблиці, мають одну й ту саму одиницю фізичної величини, то над таблицею розміщують її скорочене позначення (г/с). Якщо ж параметри мають різні одиниці фізичних величин, то позначення одиниць записують в заголовках граф після коми (обсяг викиду, т/рік).

Текст заголовків і підзаголовків граф може бути замінений буквеними позначеннями, якщо тільки вони пояснені в попередньому тексті чи на ілюстраціях.

Найменування рядків записують в боковику 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.

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

Таблиці нумерують в межах розділів і позначають зліва над таблицею, 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.

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 частини таблиці розміщують поряд, то в кожній частині повторюють головку таблиці, а при розміщенні однієї частини під іншою – повторюють боковик.

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 (при його наявності) таблиці розміщують тільки над першою частиною, а над іншими частинами зліва пишуть «Продовження таблиці 3.2» без крапки в кінці.

5.5 Оформлення формул

Кожну формулу записують з нового рядка, симетрично до тексту, посередині сторінки.

Між формулою і текстом необхідно залишити не менше одного рядка.

Пояснення наводять безпосередньо 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 пояснення повинен починатися із абзацу зі слова «де» і без будь-якого знака після нього.

Всі формули нумерують в межах розділу арабськими числами. 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.

Одиницю вимірювання, при необхідності, беруть в квадратні дужки.

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

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

Якщо формула велика, то її можна переносити в наступні рядки. Перенесення виконують тільки математичними знаками, повторюючи знак на початку наступного рядка. При цьому знак множення « \cdot » замінюють знаком « \times ».

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)».

Використання сканованих формул забороняється! Всі формули мають бути набрані за допомогою об'єкта «Microsoft Equation 3.0».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання: ДСТУ 3008-2015. – [Чинний від 2017-07-01] – К.: ДП "УкрНДНЦ", 2016. – 26.
2. Положення про академічну доброчесність студентів та науково-педагогічних працівників Чернігівського національного технологічного університету – Режим доступу: <http://stu.cn.ua/media/files/pdf/akd-p.pdf>
3. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. Вид. 2-е, доправ. та доп. / Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен/ За ред. Академіка НАН України Г.Г.Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 597с.
4. О. В. Гай, В. М. Бодунов Електромеханічні перехідні процеси в електричних системах [Текст] : навчальний посібник. - К. : ЦП "Компринт", 2020. - 399 с
5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Міненерговугілля України, 2017, 617с.
6. Релейний захист електроенергетичних систем / Є.І. Сокол, Г.А. Сендерович, О.Г. Гриб та ін. - Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. - 306 с.
7. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. - 533с.
8. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем / О.С. Яндульський, О.О. Дмитренко. - Київ: НТУУ "КПІ", 2016. - 103с.

Додаток А.
Вихідні дані до курсового проекту

Таблиця А.1 – Вихідні дані

Літера	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	L1, км	L2, км	L3, км	L4, км	Тип лінії	U1, кВ	к _{с.з.}	тип реле	схема ЕМ
А	TM-250	TM-400	TM-160	TM-630	TM-630	0,2	0,2	0,2	0,2	ПЛ	6	1,5	РТ-85	рис. А.1
Б	TM-400	TM-630	TM-630	TM-160	TM-400	0,3	0,3	0,3	0,3	ПЛ	6	2	УЗА-АТ	рис. А.2
В	TM-630	TM-160	TM-250	TM-250	TM-160	0,4	0,4	0,4	0,4	ПЛ	6	2,5	РС80	рис. А.3
Г	TM-160	TM-250	TM-400	TM-400	TM-250	0,5	0,5	0,5	0,5	КЛ	6	1,5	РЗЛ-01	рис. А.4
Д	TM-250	TM-400	TM-160	TM-630	TM-630	0,6	0,6	0,6	0,6	КЛ	10	2	МРЗС-05	рис. А.5
Е	TM-400	TM-630	TM-630	TM-160	TM-400	0,7	0,7	0,7	0,7	ПЛ	10	2,5	РТ-85	рис. А.6
Є	TM-630	TM-160	TM-250	TM-250	TM-160	0,8	0,8	0,8	0,8	ПЛ	10	1,5	УЗА-АТ	рис. А.7
Ж	TM-160	TM-250	TM-400	TM-400	TM-250	0,9	0,9	0,9	0,9	КЛ	10	2	РС80	рис. А.8
З	TM-250	TM-400	TM-160	TM-630	TM-630	1	1	1	1	КЛ	10	2,5	РЗЛ-01	рис. А.1
І	TM-250	TM-400	TM-160	TM-630	TM-630	1,1	1,1	1,1	1,1	КЛ	10	1,5	МРЗС-05	рис. А.2
Ї	TM-400	TM-630	TM-630	TM-160	TM-400	1,2	1,2	1,2	1,2	ПЛ	10	2	РТ-85	рис. А.3
Й	TM-630	TM-160	TM-250	TM-250	TM-160	1,3	1,3	8,5	1,3	КЛ	10	2,5	УЗА-АТ	рис. А.4
К	TM-160	TM-250	TM-400	TM-400	TM-250	1,4	1,4	2,5	1,4	КЛ	6	1,5	РС80	рис. А.5
Л	TM-250	TM-400	TM-160	TM-630	TM-630	1,5	1,5	2	1,5	ПЛ	10	2	РЗЛ-01	рис. А.6
М	TM-400	TM-630	TM-630	TM-160	TM-400	1,6	1,6	2,2	1,6	ПЛ	6	2,5	МРЗС-05	рис. А.7
Н	TM-630	TM-160	TM-250	TM-250	TM-160	1,7	1,7	2,7	1,7	ПЛ	6	1,5	РТ-85	рис. А.8
О	TM-160	TM-250	TM-400	TM-400	TM-250	1,8	1,8	3,2	1,8	КЛ	10	1,5	УЗА-АТ	рис. А.1
П	TM-250	TM-400	TM-160	TM-630	TM-630	1,9	1,9	3,7	1,9	КЛ	6	2	РС80	рис. А.2
Р	TM-400	TM-630	TM-630	TM-160	TM-400	0,4	0,4	4,2	0,4	КЛ	6	2,5	РЗЛ-01	рис. А.3
С	TM-630	TM-160	TM-250	TM-250	TM-160	0,5	0,5	4,7	0,5	КЛ	6	1,5	МРЗС-05	рис. А.4
Т	TM-160	TM-250	TM-400	TM-400	TM-250	0,6	0,6	5,2	0,6	КЛ	6	2	РТ-85	рис. А.5
У	TM-250	TM-400	TM-160	TM-630	TM-630	0,7	0,7	5,8	0,7	ПЛ	6	2,5	УЗА-АТ	рис. А.6

Продовження таблиці А.1

Літера	ТР1	ТР2	ТР3	ТР4	ТР5	L1, км	L2, км	L3, км	L4, км	Тип лінії	U1, кВ	к _{с.з.}	тип реле	схема ЕМ
Ф	ТМ-400	ТМ-630	ТМ-630	ТМ-160	ТМ-400	0,8	0,8	6,2	0,8	ПЛ	10	1,5	РС80	рис. А.7
Х	ТМ-630	ТМ-160	ТМ-250	ТМ-250	ТМ-160	0,9	0,9	6,7	0,9	КЛ	10	2	РЗЛ-01	рис. А.8
Ц	ТМ-160	ТМ-250	ТМ-400	ТМ-400	ТМ-250	1	1	7,3	1	ПЛ	10	2,5	МРЗС-05	рис. А.1
Ч	ТМ-250	ТМ-400	ТМ-160	ТМ-630	ТМ-630	1,1	1,1	7,7	1,1	ПЛ	10	1,5	РТ-85	рис. А.2
Ш	ТМ-400	ТМ-630	ТМ-630	ТМ-160	ТМ-400	1,2	1,2	8,2	1,2	КЛ	6	2	УЗА-АТ	рис. А.3
Щ	ТМ-630	ТМ-160	ТМ-250	ТМ-250	ТМ-160	1,3	1,3	1,9	1,3	КЛ	6	2,5	РС80	рис. А.4
И	ТМ-160	ТМ-250	ТМ-400	ТМ-400	ТМ-250	0,4	0,4	1,5	0,4	КЛ	6	1,5	РЗЛ-01	рис. А.5
Ю	ТМ-250	ТМ-400	ТМ-160	ТМ-630	ТМ-630	0,3	0,3	4,4	0,3	ПЛ	10	2	МРЗС-05	рис. А.6
Я	ТМ-400	ТМ-630	ТМ-630	ТМ-160	ТМ-400	0,2	0,2	3	0,2	ПЛ	6	2,5	РТ-85	рис. А.7
Ь	ТМ-630	ТМ-160	ТМ-250	ТМ-250	ТМ-160	0,8	0,8	2,5	0,8	КЛ	6	1,5	УЗА-АТ	рис. А.8

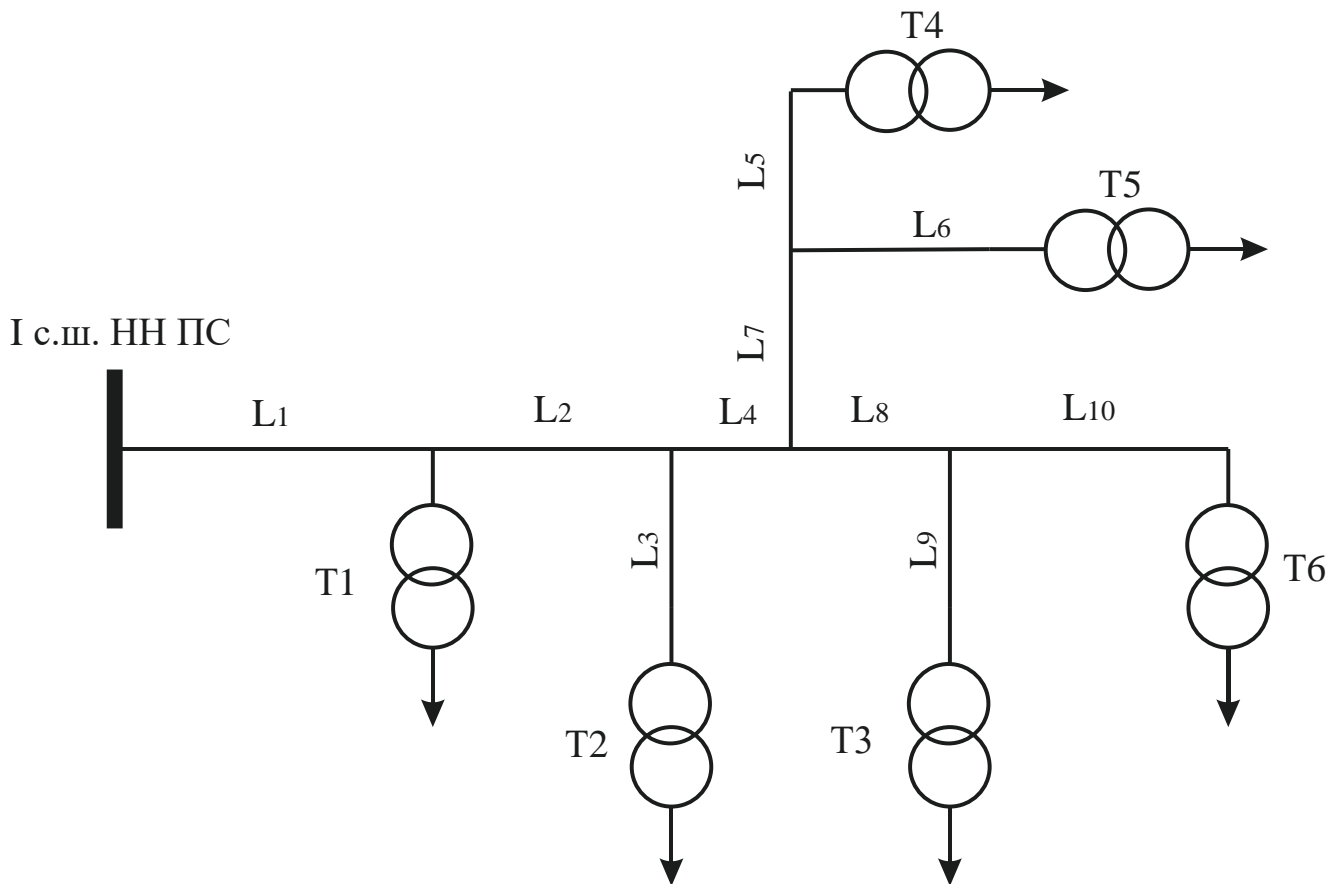


Рисунок А.1 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

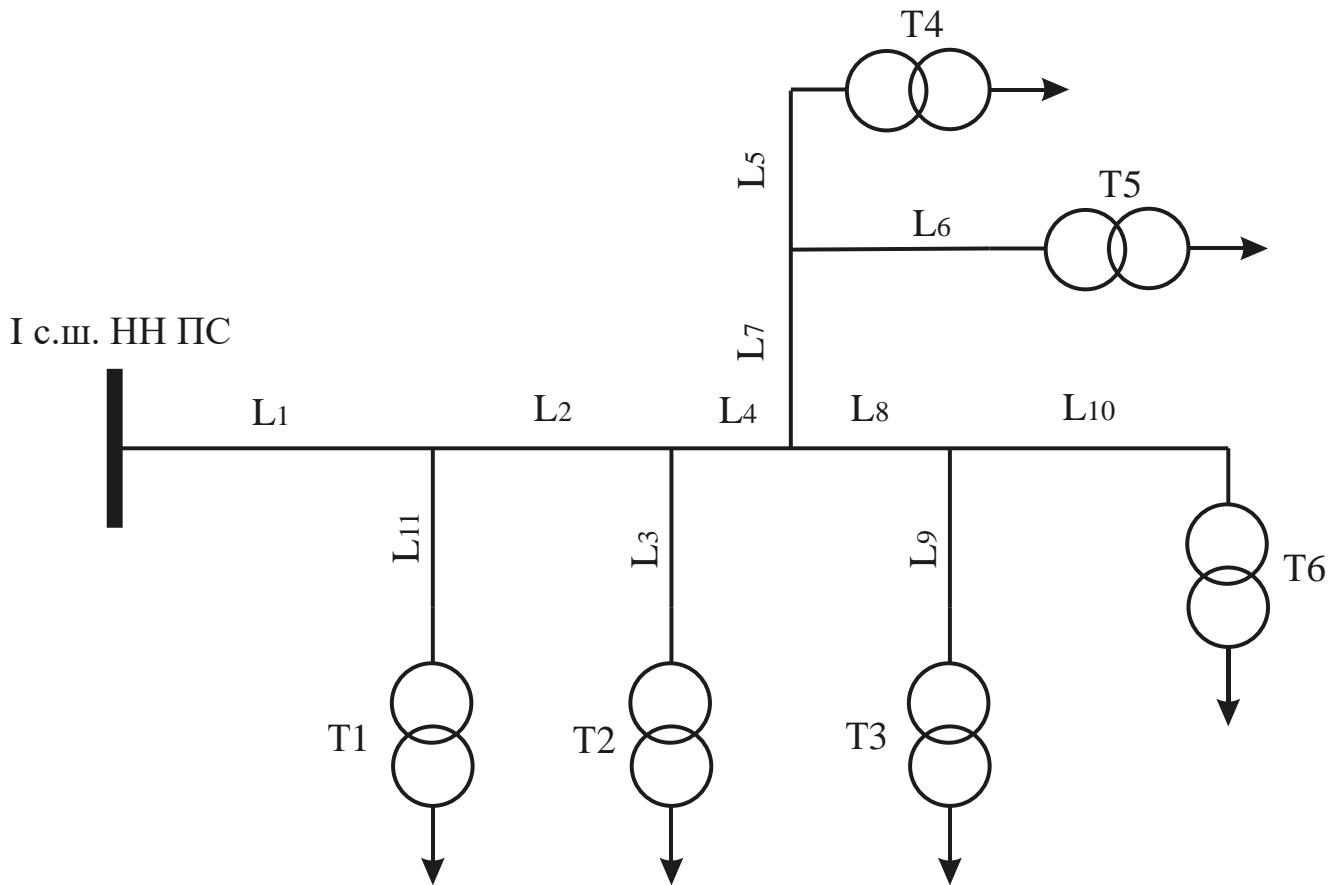


Рисунок А.2 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

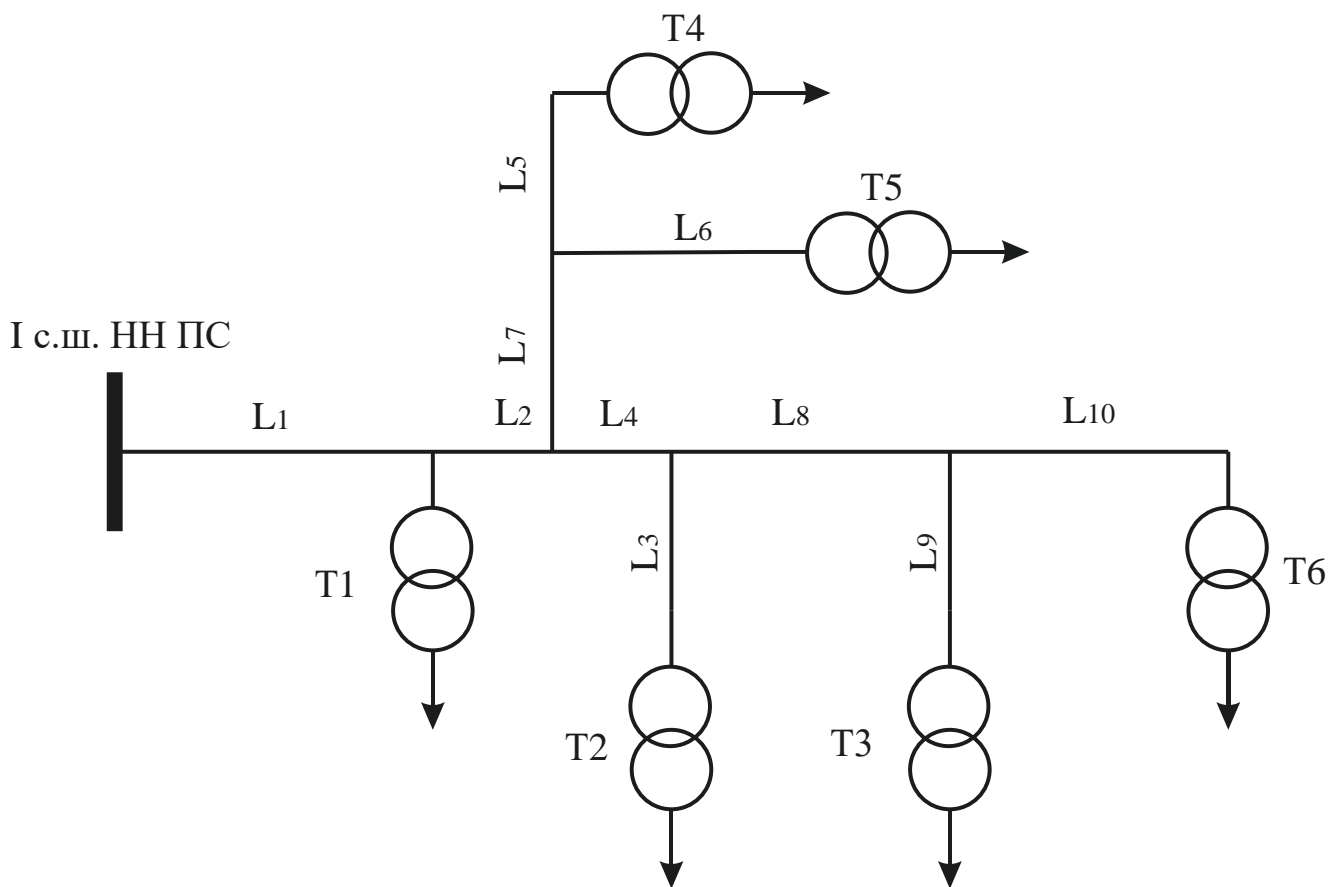


Рисунок А.3 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

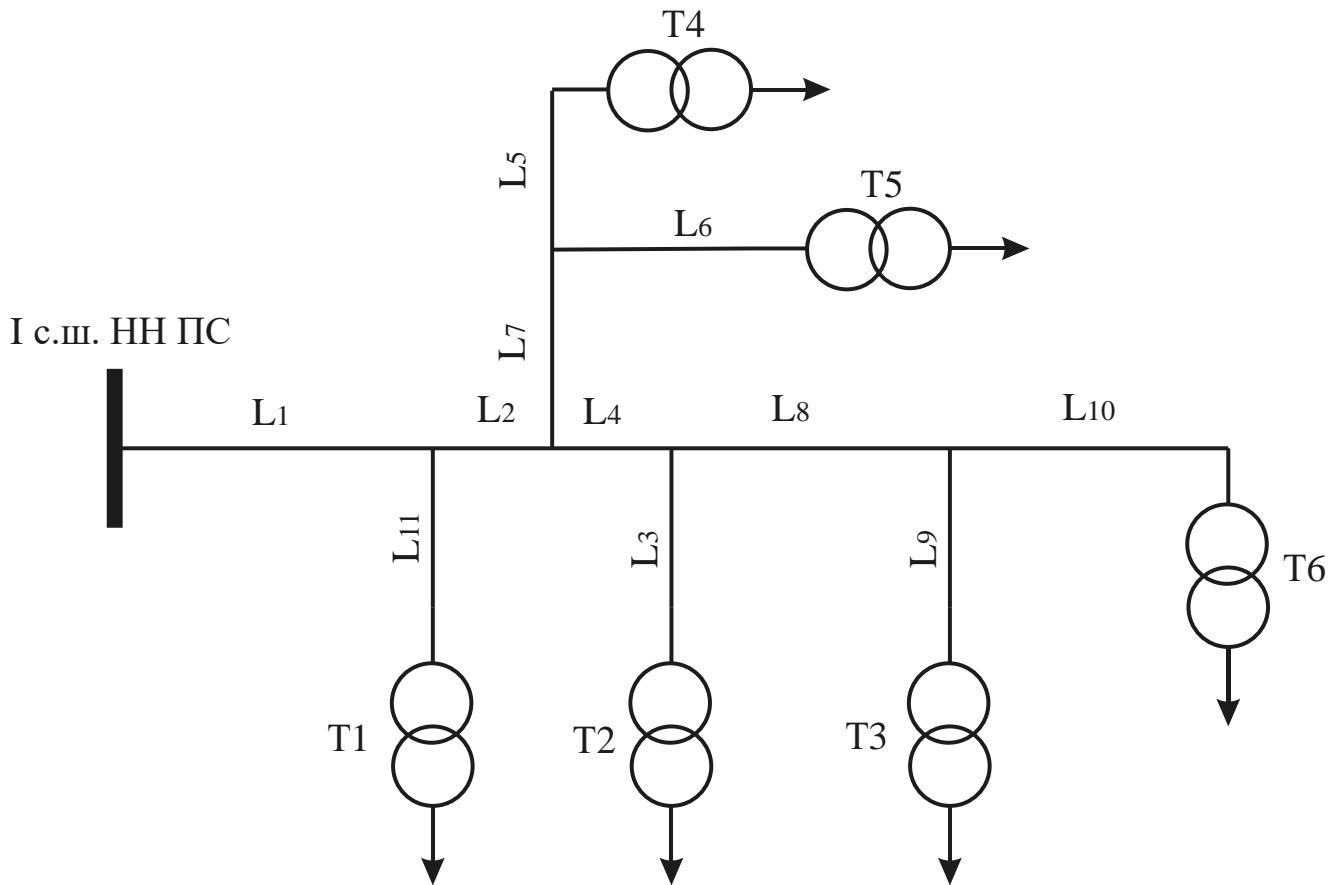


Рисунок А.4 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

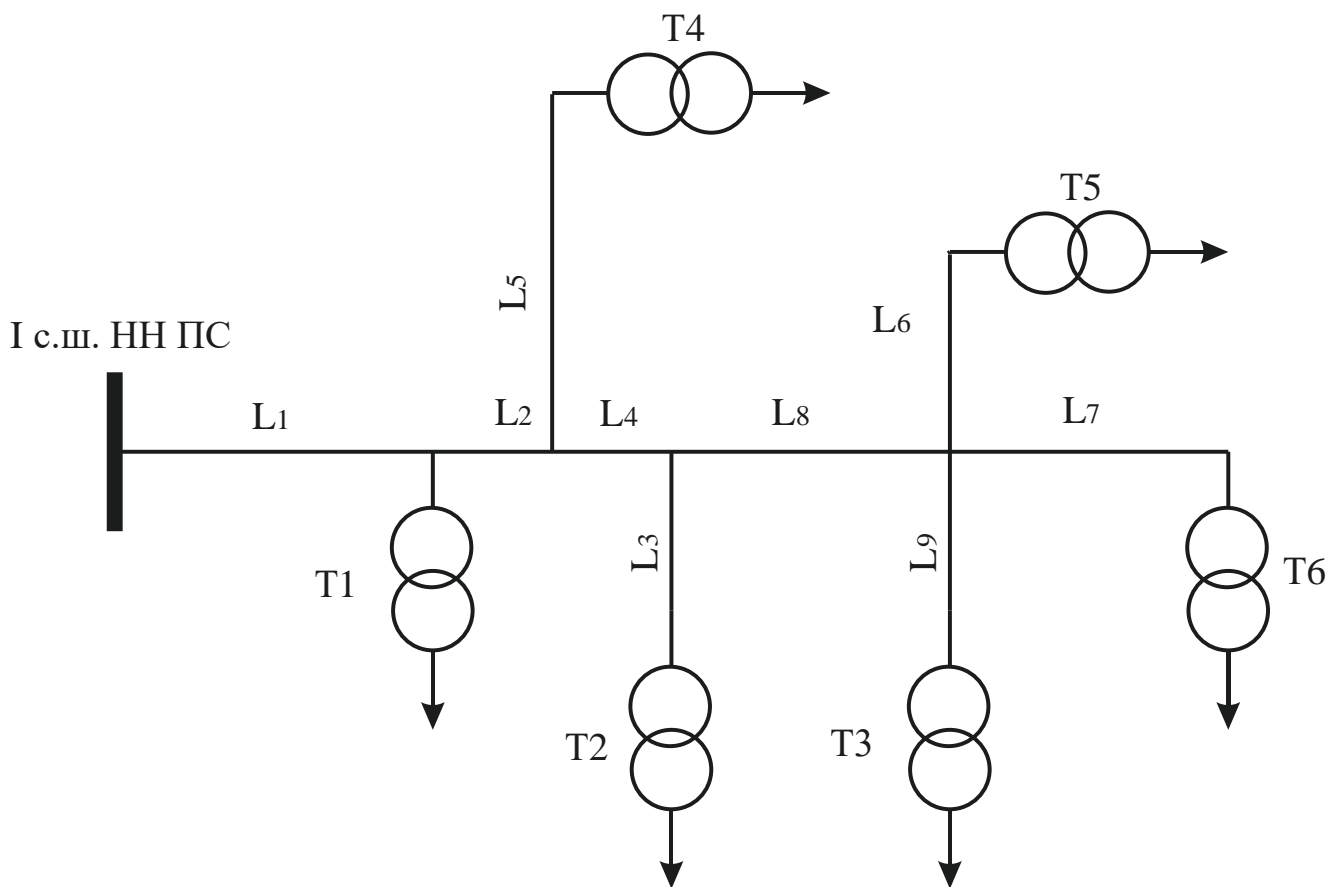


Рисунок А.5 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

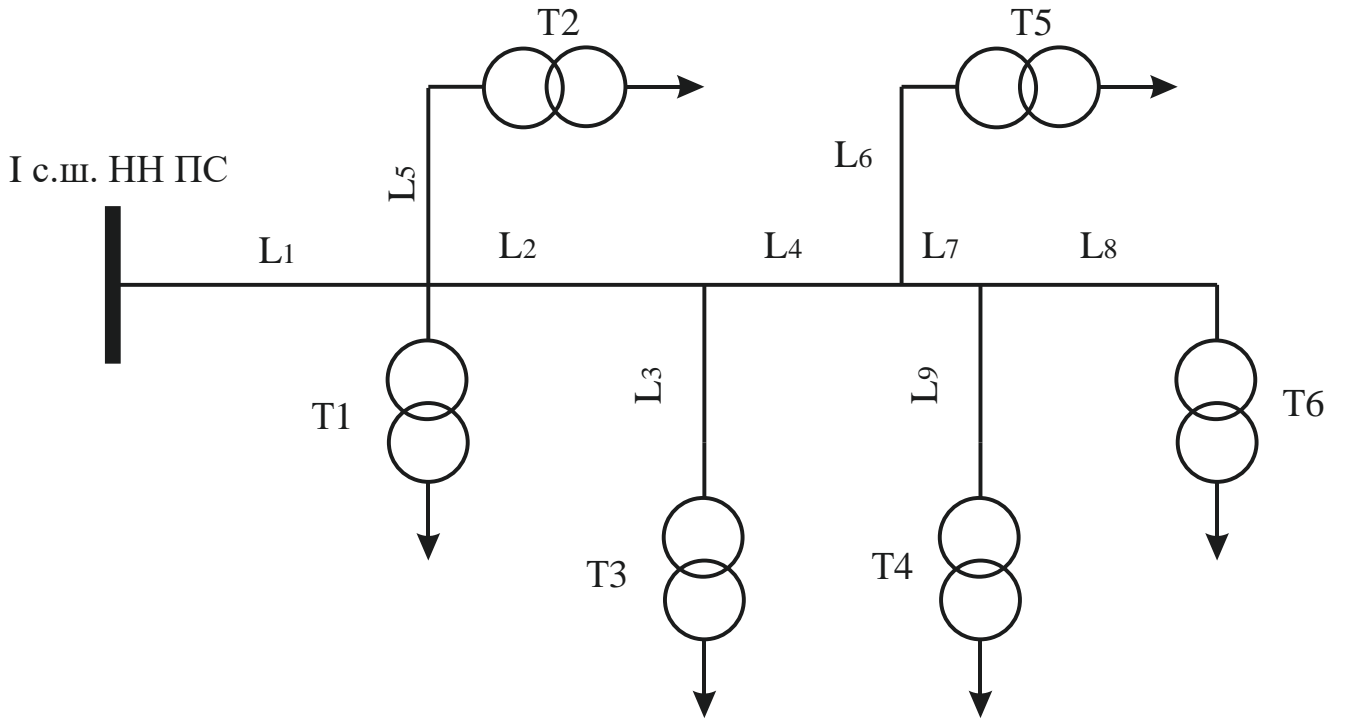


Рисунок А.6 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

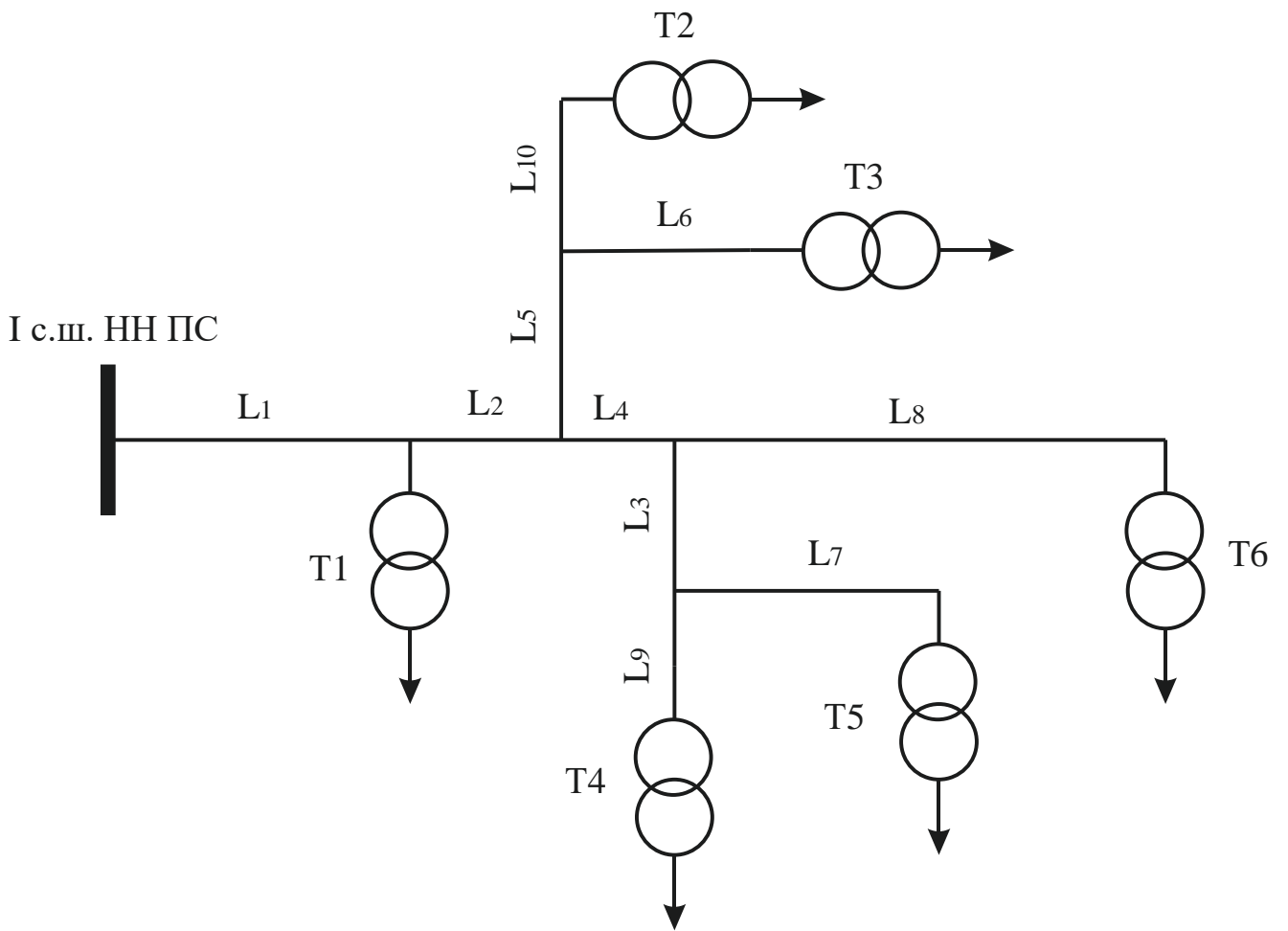


Рисунок А.7 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

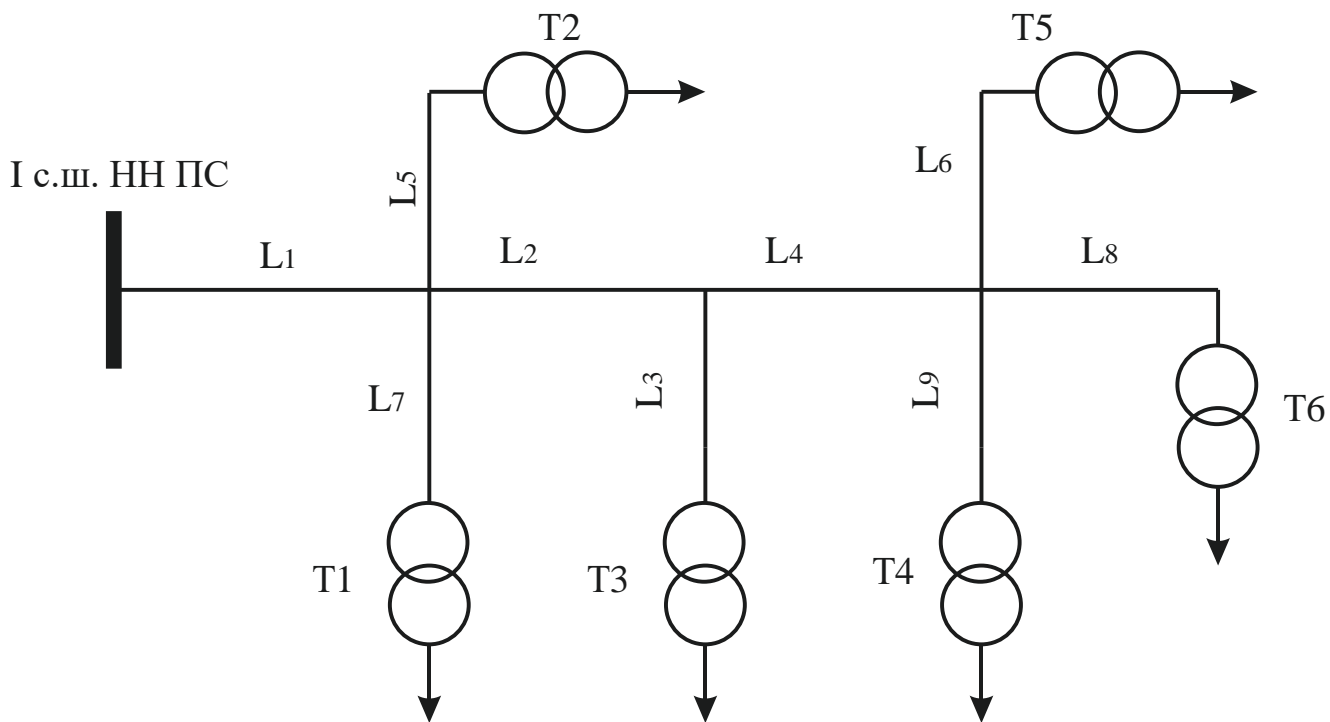


Рисунок А.8 - Схема фрагменту розподільчої електричної мережі

Додаток Б.
Бланк технічного завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"
Навчально-науковий інститут електронних і інформаційних технологій
Кафедра електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ЕПВТ

_____ Приступа А.Л.

« ____ » _____ 20__ р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт здобувача вищої освіти
освітнього ступеня "бакалавр" з дисципліни

"Основи релейного захисту та автоматики в електроенергетичних системах"

(П.І.Б.)

Для спроектованої в курсовому проєкті "Електрична частина станції, підстанції" підстанції виконати розрахунок параметрів аварійних режимів з врахуванням можливості регулювання напруги силових трансформаторів (автотрансформаторів) для максимального та мінімального положення перемикача РПН. Розрахувати параметри аварійних режимів для заданої ЛЕП в розрахункових точках, необхідних для налаштування параметрів релейного захисту. Вважати, що ділянки ЛЕП розподільчої електричної мережі виконані проводом (кабелем) перерізом 35 мм²

Розрахувати ступінчастий струмовий захист лінії __кВ (однієї з ЛЕП, що живляться від спроектованої підстанції). Виконати розрахункову перевірку трансформаторів струму __кВ. Побудувати карту селективності (захист трансформаторів __/0,4 кВ виконано запобіжниками). Привести схему електричну принципову розрахованого релейного захисту.

Рисунок ТЗ.1 – Схема розподільної електричної мережі

Таблиця ТЗ.1 – Вихідні дані

Завдання підготував
керівник

(підпис)

(ПІБ)

« ____ » _____ 20__ р.

Завдання одержав
студент

(підпис)

(ПІБ)

« ____ » _____ 20__ р.

Додаток В
Титульний аркуш пояснювальної записки до курсового проекту

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"
Навчально-науковий інститут електронних та інформаційних технологій
Кафедра електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій

Допущено до захисту

Зав. кафедри ЕПВТ

к.т.н., доц.

_____ Приступа А.Л.

« ____ » _____ 20__ р.

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни "Основи релейного захисту та автоматики в електроенергетичних
системах"

ОП "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

освітній рівень "бакалавр"

тема: _____

Виконавець: студент гр. _____

(прізвище, ім'я, по батькові,)

(підпис)

Керівник: _____

(посада) (науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище, ім'я, по батькові,)

(підпис)

Чернігів 20__

Зворотна сторона титульного аркушу

Я, _____, підтверджую, що даний курсовий проєкт є моєю власною письмовою роботою, оформленою з дотриманням цінностей та принципів етики і академічної доброчесності відповідно до Кодексу академічної доброчесності Національного університету «Чернігівська політехніка». Я не використовував/ла жодних джерел, крім процитованих, на які надано посилання в роботі.

Дата

Підпис

Додаток Г
Календарний графік виконання курсового проекту

Прізвище, ім'я та по-батькові студента	Відмітка про виконання				
	Отримання технічного завдання на курсове проектування (кінцевий термін 15.09.20XX)	Розрахунок аварійних режимів (кінцевий термін 15.10. 20XX)	Розрахунок струмового захисту ЛЕП (кінцевий термін 01.12. 20XX)	Розрахункова перевірка трансформаторів струму (кінцевий термін 20.12. 20XX)	Захист курсового проекту (заліковий тиждень, відповідно до графіку захисту)

Додаток Д
Довідникові дані силових трансформаторів

Таблиця Д.1 - Довідникові дані двохомоткових трансформаторів 35кВ

Номінальна потужність, кВА	Ступені регулювання, %	Номінальна напруга відпайки ВН, кВ	Напруга короткого замикання, %	
			ВН-НН	ВН-НН ₁ (НН ₂)
1000-2500	-9	31,85	6,85	-
	+9	38,15	6,00	-
4000-6300	-9	31,85	8,60	-
	+9	38,15	7,00	-
10000	-12	32,34	7,30	-
	+12	41,16	8,80	-
16000	-12	32,34	9,10	-
	+12	41,16	11,00	-
25000	-12	32,34	9,80	17,28
	+12	41,16	11,45	20,24
32000	-12	32,34	11,86	21,22
	+12	41,16	13,80	24,46
40000	-12	32,34	11,73	21,12
	+12	41,16	13,93	24,76

Таблиця Д.2 - Довідникові дані двохомоткових трансформаторів 110кВ

Номінальна потужність, кВА	Ступені регулювання, %	Номінальна напруга відпайки ВН (НН), кВ	Напруга короткого замикання, %	
			ВН-НН	ВН-НН ₁ (НН ₂)
2500	-12	9,68	10,26	-
	+15	12,65	10,85	-
6300	-16	96,58	10,58	-
	+16	133,42	11,72	-
10000	-16	96,58	10,49	-
	+16	133,42	11,73	-
16000	-16	96,58	10,09	-
	+16	133,42	11,05	-
25000	-16	96,58	10,44	19,40
	+16	133,42	11,34	20,40
32000	-16	96,58	10,35	18,84
	+16	133,42	11,02	20,12
40000	-16	96,58	10,05	19,02
	+16	133,42	10,66	20,30
63000	-16	96,58	10,44	18,40
	+16	133,42	10,91	19,64

Таблиця Д.3 - Довідникові дані трьохобмоткових трансформаторів 110кВ

Номінальна потужність, МВА	Ступені регулювання, %	Номінальна напруга відпайки ВН, кВ	Напруга короткого замикання, %	
			ВН-СН	ВН-НН
6,3	-16	96,58	9,94	17,08
	+16	133,42	11,07	18,28
10	-16	96,58	10,75	17,68
	+16	133,42	11,77	19,04
16	-16	96,58	10,11	17,14
	+16	133,42	11,28	18,57
25	-16	96,58	9,95	17,49
	+16	133,42	10,78	18,30
40	-16	96,58	9,95	18,22
	+16	133,42	11,05	18,85
63	-16	96,58	9,83	18,49
	+16	133,42	10,57	18,91

Таблиця Д.4 - Довідникові дані двохообмоткових трансформаторів 220,330 кВ

Номінальна потужність, МВА	Положення приводу РПН	Номінальна напруга відпайки ВН (НН), кВ	Напруга короткого замикання, %	
			ВН-НН	ВН-НН ₁ (НН ₂)
32	1	257,6	12,0	21,0
	27	202,4	11,0	19,0
40	1	257,6	12,3	21,0
	27	202,4	11,8	19,0
63	1	257,6	12,0	21,0
	27	202,4	11,0	19,0
40	1	369,6	9,0	18,2
	27	290,4	14,5	24,4
63	1	369,6	9,0	16,4
	27	290,4	14,5	21,2

Таблиця Д.5 - Довідникові дані трьохобмоткових трансформаторів 220кВ

Номінальна потужність, МВА	Положення приводу РПН	Номінальна напруга відпайки ВН, кВ	Напруга короткого замикання, %	
			ВН-СН	ВН-НН
25	1	257,6	13,5	20,5
	27	202,4	12,5	19,5
40	1	257,6	10,1	19,3
	27	202,4	16,9	27,3

Додаток Е
Сімейства захисних характеристик запобіжників ПКТ

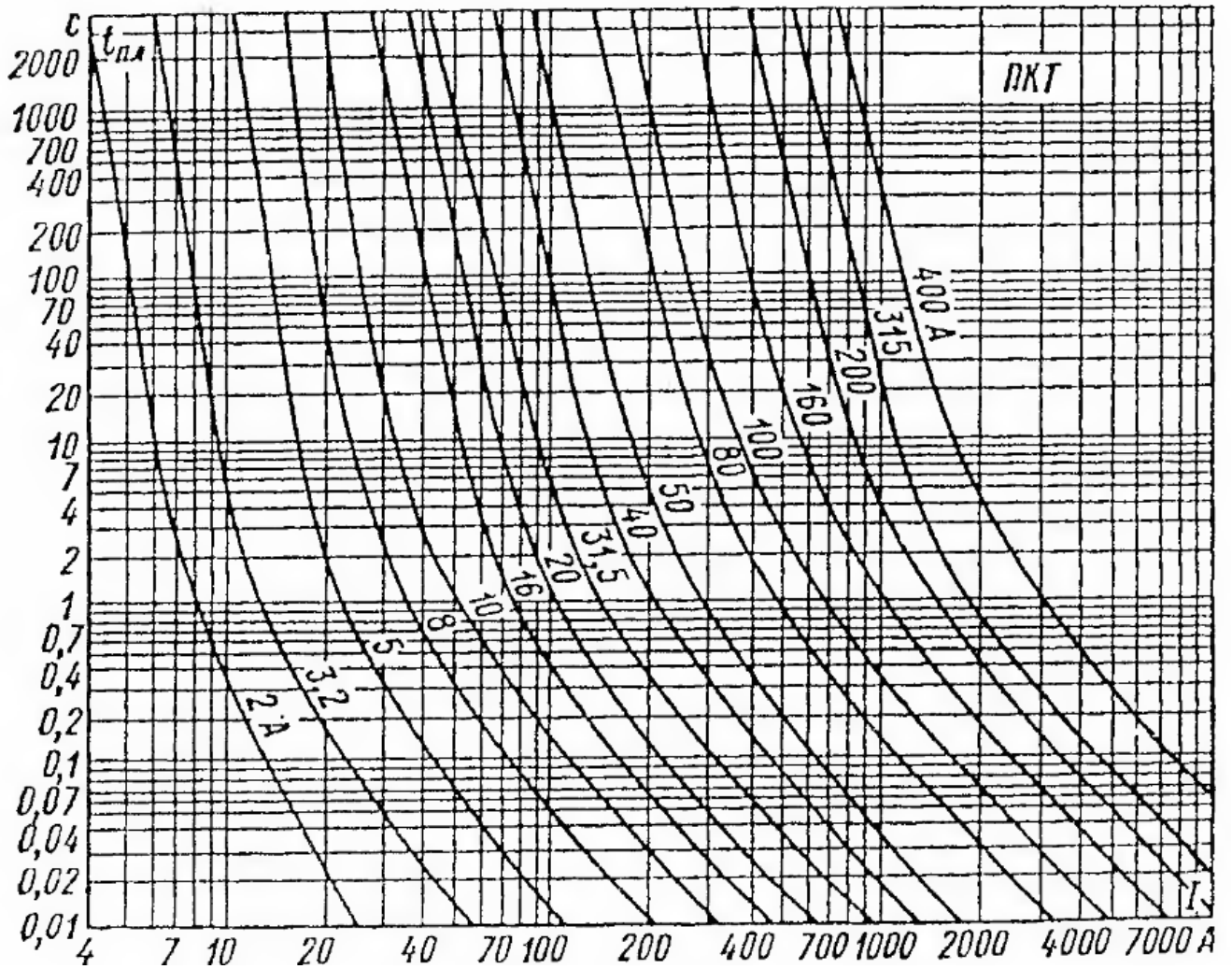


Рисунок Е.1 - Часо-струмові характеристики запобіжників ПКТ напругою 6 кВ з номінальними струмами відключення 20 кА, 40 кА

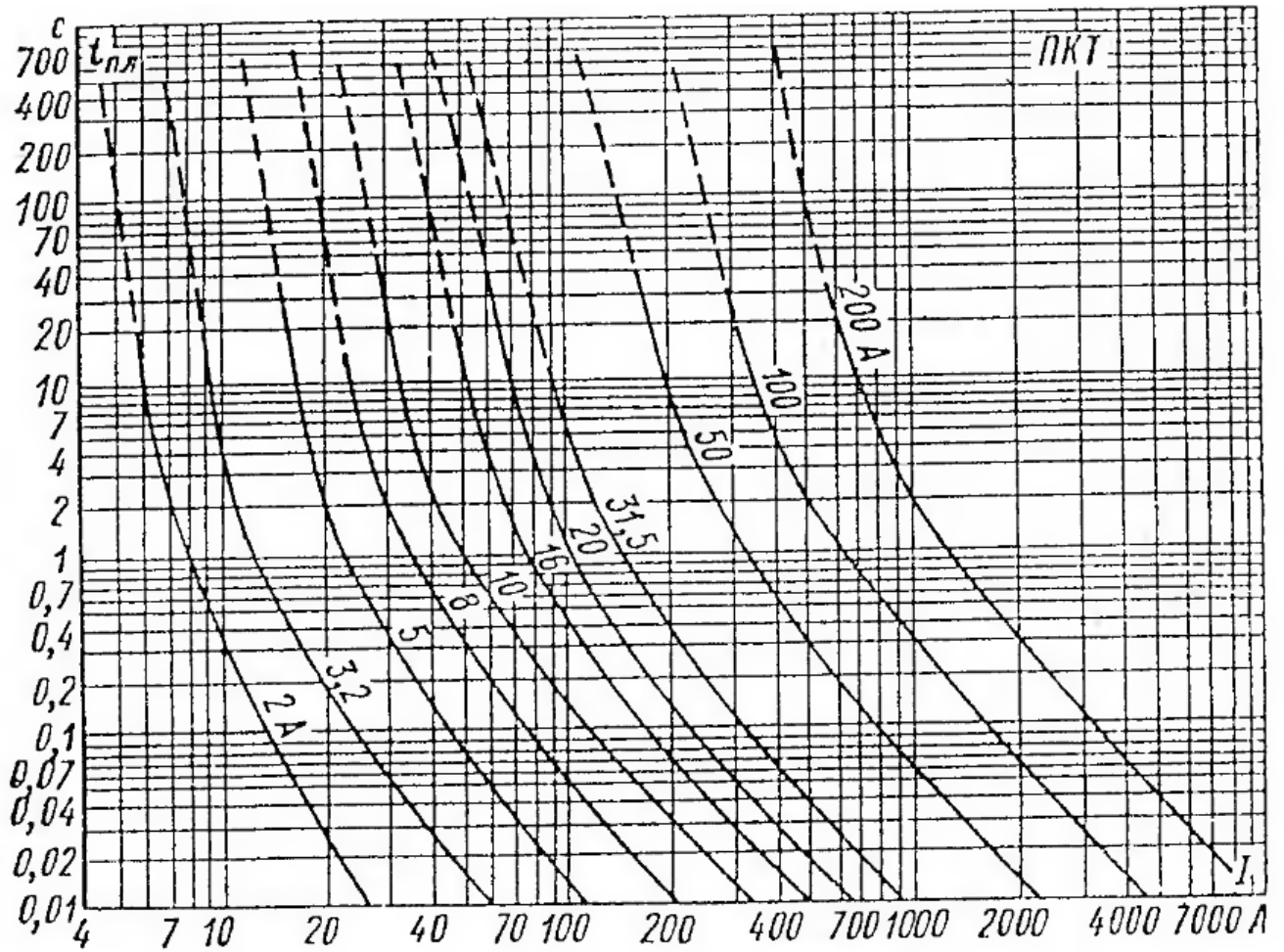


Рисунок Е.2 - Часострумові характеристики запобіжників ПКТ напругою 10 кВ з номінальними струмами відключення 12,5 кА

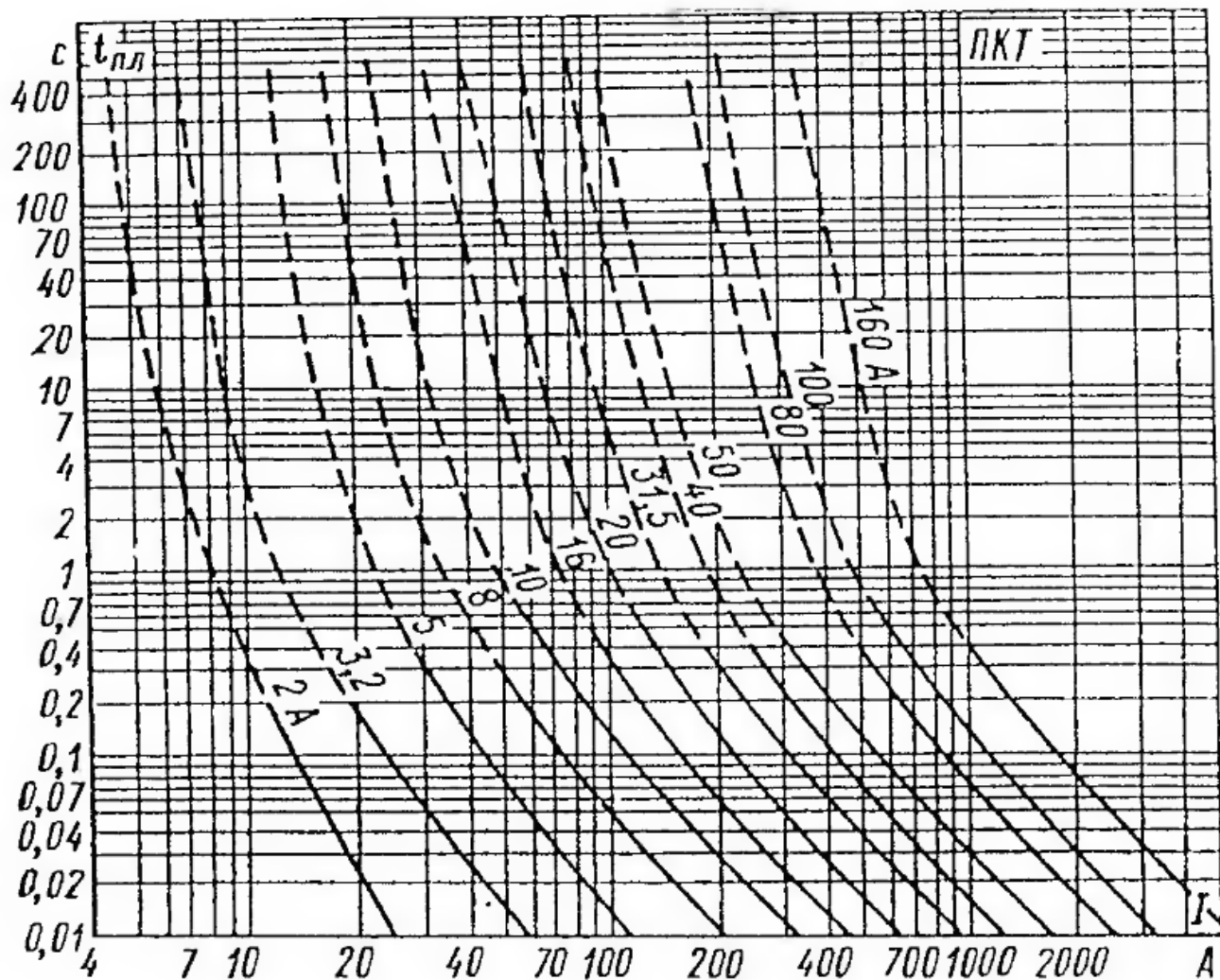


Рисунок Е.3 - Часострумові характеристики запобіжників ПКТ напругою 10 кВ з номінальними струмами відключення 20 кА, 31,5 кА

Додаток Ж
Криві граничних кратностей трансформаторів струму 10кВ

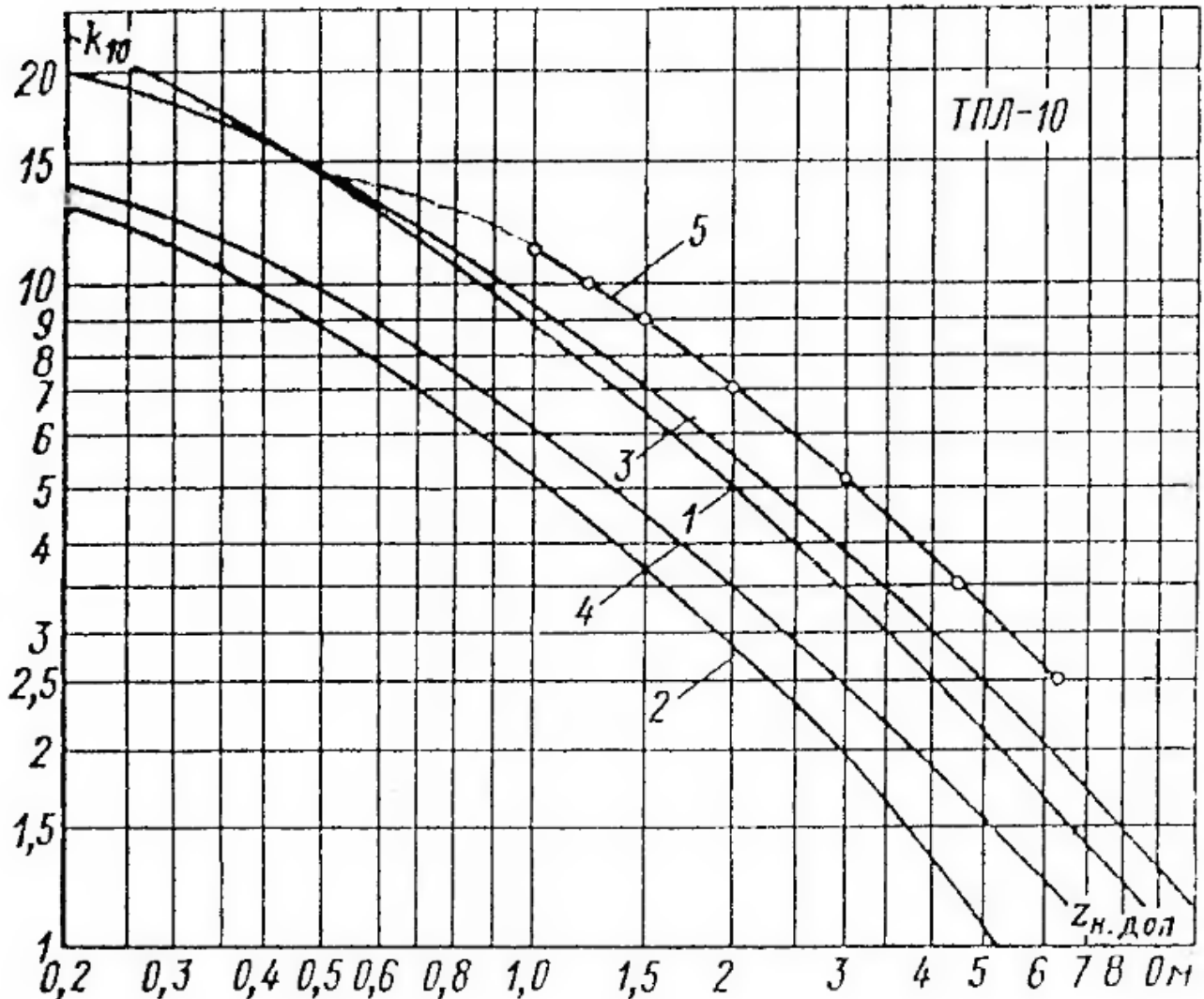


Рисунок Ж.1 - Криві граничних кратностей для ТС типу ТПЛ-10:

1 - для $K_I=5/5-300/5$ класу "Р"

2 - для $K_I=5/5-300/5$ класу "0,5"

3 - для $K_I=400/5$ класу "Р"

4 - для $K_I=400/5$ класу "0,5"

5 - сумарна для послідовного включення обмоток класу "Р" та "0,5", $K_I=5/5-300/5$

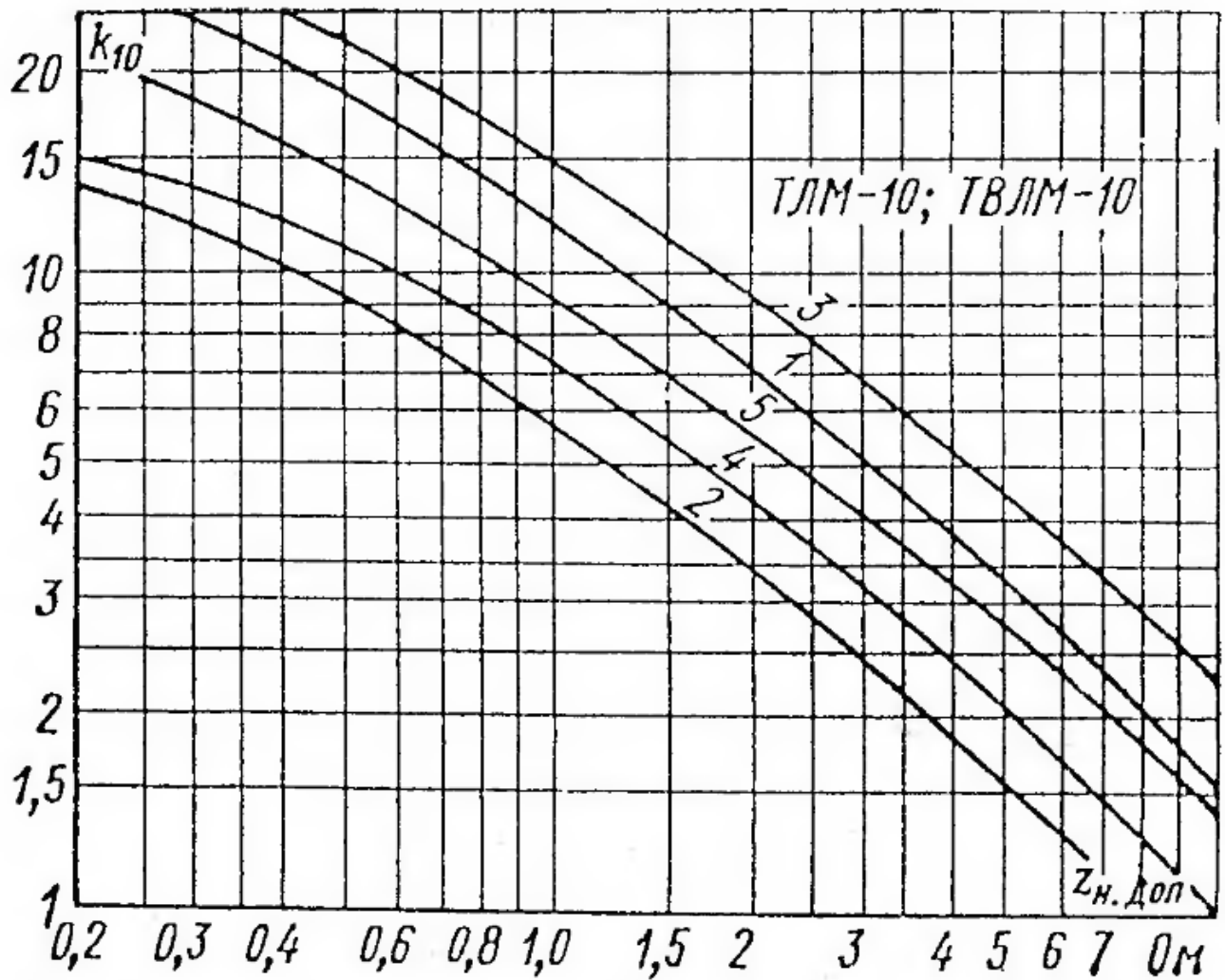


Рисунок Ж.2 - Криві граничних кратностей для ТС типу ТЛМ-10, ТВЛМ-10:

- 1 - для $K_I=50/5-300/5, 1000/5$ (ТЛМ) та $K_I=20/5-300/5, 600/5, 1000/5$ (ТВЛМ) класу "P"
- 2 - для $K_I=50/5-300/5$ (ТЛМ) та $K_I=20/5-300/5, 600/5$ (ТВЛМ) класу "0,5"
- 3 - для $K_I=400/5-800/5, 1500/5$ (ТЛМ, ТВЛМ) класу "P"
- 3 - для $K_I=400/5-800/5, 1000/5$ (ТЛМ, ТВЛМ) класу "0,5"
- 5 - для $K_I=1500/5$ (ТЛМ, ТВЛМ) класу "0,5"