



**Міністерство освіти і науки України**  
**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ**  
**УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки та**  
**комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту**

**ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**Методичні вказівки**

**до виконання лабораторної роботи**

**«Дослідження коронного розряду на проводах та методи розрахунку втрат електричної енергії»**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої**  
**освіти**

**денної форми навчання**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**Харків**

**2023**

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

## ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### Методичні вказівки

до виконання лабораторної роботи «Дослідження коронного розряду на проводах та методи розрахунку втрат електричної енергії»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Затверджено рішенням  
науково-методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Протокол № 4 від 29 січня  
2024 року

Харків

2024

УДК 621.3  
ББК 31.24я7  
К78

Схвалено на засіданні кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту  
Протокол № 4 від 1.11.2023 р.

**Рецензенти:**

**С. О. Тимчук**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ;

**Ю. М. Хандола**, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

К78 Основи електропостачання: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження коронного розряду на проводах та методи розрахунку втрат електричної енергії» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навч. зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун-т; авт.-уклад.: С. А. Попадченко, А. О. Мохонько – Харків: [б. в.], 2023. – 30 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни. Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури. Видання призначена для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**УДК 621.31**

**Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник**, д-р техн. наук.

© Попадченко С. А., Мохонько А. О., 2023

© ДБТУ, 2023

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

### «ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА КОРОНИ НА ПРОВОДАХ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ»

**МЕТА РОБОТИ.** Дослідження явища корони на проводах повітряних ліній електропередачі та набуття навиків розрахунку втрат електричної енергії від появи корони.

#### I. ПРОГРАМА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Прочитати методичні вказівки.
2. Розрахувати напругу появи корони і напруженість електричного поля згідно таблиці 2 і номера бригади.
3. Розрахувати річні втрати електричної енергії згідно даних таблиці 2, номера бригади, для ПЛ відповідного класу напруги.
4. Прочитати п. IV, підготувати таблицю 3 для проведення дослідів.
5. На фізичній моделі дослідження, рис. 2., згідно таблиці 3 за допомогою ватметра виміряти підсумкову потужність і за різницею втрат потужності в трансформаторах напруги визначити втрати потужності на корону.
6. За даними проведеного дослідів визначити похибку між виміряною і розрахунковою величиною втрат потужності на корону.
7. Побудувати залежності  $P_x = f(U_x)$  втрат від напруги за даними дослідів та розрахунку.
8. Зробити висновки по роботі.

#### II. ЗВІТ ПО РОБОТІ ПОВИНЕН МАТИ:

1. Мету роботи.
2. Принципову електричну схему досліджень з вказівкою паспортних даних приладів і апаратів.
3. Розрахунки по п. 2 і 3 програми.
4. Таблицю з даними, та побудовані залежності.
5. Висновки по роботі.

### **ІІІ. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ.**

Передавання електричної енергії значних обсягів на великі відстані здійснюється за допомогою повітряних ліній (ПЛ) з використанням напруг змінного струму: 110, 150, 220, 330, 500, 750 кВ та постійного струму на напругу 800, 1500 кВ.

При передаванні електричної енергії по проводам за певних умов іноді виникає таке явище, як корона.

Коронний розряд, або корона – незавершений самостійний розряд у газі досить високої щільності.

Обов'язковою умовою існування корони є значна неоднорідність електричного поля, що виникає в розрядному проміжку при додатку до електродів напруги.

**Короною** називається лавинно-стримерна стадія розряду в різко неоднорідному полі. В таких полях іонізаційні процеси починаються поблизу електроду з малим радіусом за напруг, менших напруги перекриття проміжку.

Коронний розряд супроводжується світінням, втратою енергії, електромагнітним випромінюванням і може привести до виникнення хімічної реакції.

Струм корони має імпульсний характер з амплітудою 6-8 мкА. На ЛЕП за рахунок значної довжини корони носить

безперервний характер, що може призвести до більших втрат енергії і значних перешкод.

Коронний розряд - це самостійний розряд, при якому ударна іонізація електронами має місце не на всій довжині проміжку, а лише в його частині, у електродів.

Коронний розряд може мати лавинну та стримерну форму. Пробій коронуючого проміжку відбувається за напруги більшої, ніж початкова.

В зовнішній області корони немає електронної лавини, а є лише невеликий об'ємний заряд електронів, що дрейфують до анода у відносно слабкому електричному полі.

При коронному розряді в повітрі разом з електронами утворюються і негативні іони.

Їхній появі сприяє велика густина газу і невелика напруженість поля в зовнішній області корони, тобто малі швидкості руху електронів. Негативні іони утворюються, головним чином, за рахунок реакції прилипання електронів до молекул електронегативного газу (кисню, фтору і т.д.).

Процеси іонізації супроводжуються випромінюванням як у видимій частині спектра, так і короткохвильової.

Цей вид газового розряду своєю назвою зобов'язаний ореолу поблизу поверхні електродів, який світиться і його спалахи нагадують корону, тому це явище і отримало таку назву "корона".

Носії електричного заряду, що утворюються в зоні іонізації, під дією сил поля рухаються в цьому полі, тобто. з'являється електричний струм коронного розряду.

Носії зарядів, знак яких збігається зі знаком зарядів електронів, що коронують, виноситься із зони іонізації у зовнішню по відношенню до неї темну частину простору, що отримала назву зовнішньої зони корони.

Внаслідок періодичної зміни полярності дроту на ЛЕП змінної напруги об'ємний заряд кожної фази віддаляється від дроту тільки протягом напівперіоду і при зміні полярності починає притягуватися до дроту.

Зона поблизу поверхні коронуючого електрода, в якій відбуваються процеси іонізації, називається чохлам корони.

Припустимо, що лінія підключається до джерела синусоїдальної напруги в момент  $t_0$  при  $U=0$  (рис. 1, а), синусоїда в різних масштабах відповідає напрузі джерела  $U$ , напруженості поля на поверхні дроту  $E_{np}$  і заряду  $Q_{np} = U \cdot C_0$ , де  $C_0$  – ємність ЛЕП на одиницю довжини за відсутності корони.

У час  $t_1$ , коли напруга на дроті досягне значення  $U_k$  (відповідно і  $E = E_k$ ), загориться корона (рис. 2, а).

У міру зростання напруги від  $U$  до  $U_m(t_1 - t_2)$  в навколишньому просторі створюється надлишковий позитивний заряд (рис. 2 а), який зумовлює збереження постійної критичної напруженості  $E_k$  лежить на поверхні дроту, отже, і постійного заряду на дроті  $Q_{np} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot r_0 \cdot E_k = const.$

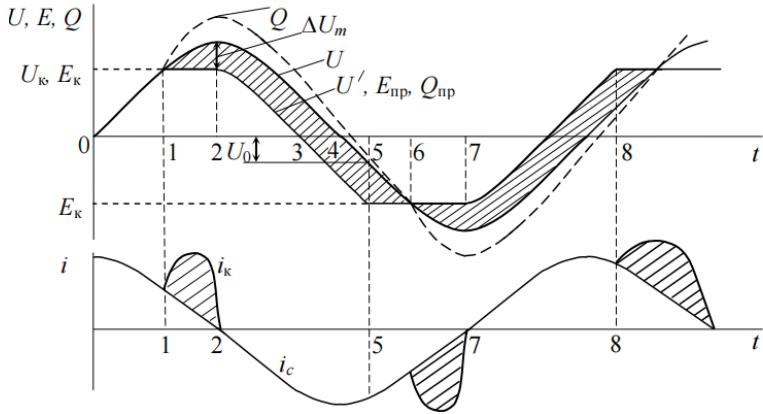


Рисунок 1 - Корона на проводах за змінної напруги:  
*a* - зміна в часі напруги, напруженості електричного поля на проводі і сумарного заряду; *б* - ємнісний струм ( $i_c$ ) і струм корони ( $i_k$ ).

Створювана цим зарядом напруга  $U' = Q_{np} / C_0$  також буде постійною. Різниця напруг  $\Delta U = U - U'$  підтримується об'ємним зарядом  $Q_{об}$ , який із зростанням напруги поступово збільшується. Одночасно збільшується і сумарний заряд  $Q_{\Sigma} = Q_{np} + Q_{об}$ .

Після максимального значення напруги джерела ( $t_2$ ) сумарний заряд із зменшенням напруги зменшується насамперед на дроті.

Як тільки напруженість на дроті стане меншою за критичну, іонізація в чохлах корони припиняється і об'ємний заряд виявляється відрізанним від дроту (рис. 2, б).



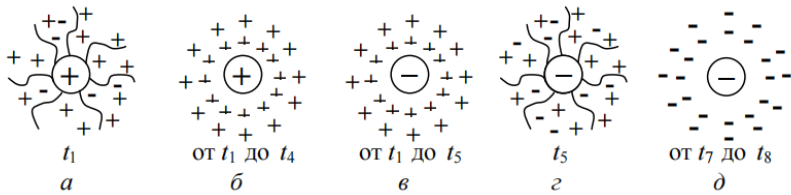


Рисунок 2 - Об'ємний заряд навколо провода в різні моменти часу.

У момент часу  $t_3$  (рис. 1, а) заряд на дроті  $Q_{np}$  дорівнює нулю, а напруга  $U$  зберігається позитивною за рахунок впливу об'ємного заряду і тільки в момент часу  $t_4$ , коли на дроті з'явиться негативний заряд, що створює напруга  $\square U_m$ , результуюча напруга дорівнюватиме нулю (рис. 2, в).

У момент часу  $t_5$  напруженість на дроті досягне критичної і загориться «негативна корона» при  $U = U_0$ . Негативні частинки з чохла корони, рухаючись назустріч позитивним часткам, що будуть рекомбінувати, зменшуючи позитивний об'ємний заряд (рис. 2, г).

Втрати енергії при коронуванні якраз і пов'язані з процесом руху та рекомбінації заряджених частинок.

Цей процес триватиме до часу  $t_6$ , після чого почнеться накопичення негативного об'ємного заряду до моменту часу  $t_7$ , коли згасне «негативна корона» (рис. 1, а і рис. 2, д).

Під час горіння корони тієї чи іншої полярності струм корони накладається на синусоїдальний ємнісний струм лінії, який визначається напругою джерела та геометричною

$$\text{ємністю лінії } i_c = C_0 \cdot \frac{dU}{dt}.$$

Зміну форми кривої ємнісного струму при загоранні корони можна спостерігати на екрані осцилографа (рис. 1, б).

При знятті вольт-амперної характеристики корони на проводах ЛЕП змінної напруги за допомогою осцилографа про появу корони можна зробити висновки також про виникнення сплеску струму. Типова картина вольт-амперної характеристики наведена на рис. 3.

Вольт-кулонова характеристика є залежністю миттєвого значення заряду від миттєвого значення напруги джерела.

Вольт-кулонові характеристики при різних амплітудах напруги в стилізованому вигляді наведені на рис. 4 де цифрами відзначені характерні точки, відповідні окремим моментам часу на рис. 1, а.

Прямолінійні ділянки вольт-кулонової характеристики (пунктир) відповідають інтервалам часу, коли корона не горить, змінюється лише заряд на дроті і, отже, нахил вольт-кулонової характеристики визначається геометричною ємністю лінії.

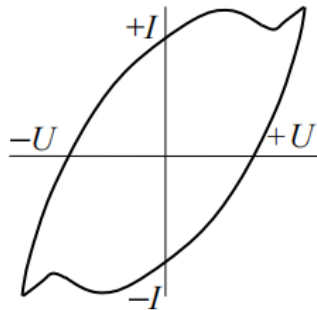


Рисунок 3 - Вольт-амперна характеристика корони.

Втрати за одиницю часу підраховуються як  $P = f \cdot \oint U \cdot dQ$ , тобто, являють собою площу вольт-кулонової характеристики, помножену на частоту.

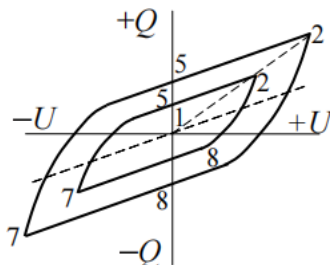


Рисунок 4 - Вольт-кулонова характеристика корони.

Врахування явища корони представляє інтерес у зв'язку з втратами енергії при коронуванні ЛЕП. Наприклад, на лініях надвисокої напруги втрати енергії при коронуванні проводів ЛЕП у погану погоду складають 100 ... 200 кВт на кілометр лінії і більше.

Крім цього, продукти іонізації повітря руйнівно діють на ізоляцію та металеву арматуру.

Коронний розряд також є джерелом акустичного шуму та високочастотного електромагнітного випромінювання (спектр частот 0,154 ... 100 МГц), яке створює перешкоди радіо- і телеприйому. При коронному розряді відбувається іонізація повітря і біля поверхні дроту утворюється об'ємний заряд того ж знаку, що і полярність напруги на дроті. Під дією сил електричного поля іони, що становлять об'ємний заряд, рухаються від дроту. Для їх пересування необхідні

витрати енергії, які визначають здебільшого втрати енергії на корону, оскільки витрати енергії на іонізацію повітря значно менші.

На постійній напрузі розрізняють уніполярну та біполярну корону. Якщо коронує один провід – уніполярна корона.

При уніполярній короні заряди, що генеруються короною, мають той же знак, що і коронуючий провід, під дією електричного поля спрямовуються до землі, де відбувається їх нейтралізація.

При біполярній короні об'ємні заряди проводів різної полярності рухаються назустріч один одному.

Під час зустрічі відбувається рекомбінація іонів різних знаків. Частина іонів проникає у простір поблизу протилежного дроту, що призводить до посилення інтенсивності коронування. Це збільшує втрати на корону.

На змінній напрузі коронний розряд запалюється при досягненні початкової напруги, що дорівнює напрузі запалювання корони  $U_n$  за часом (див. рис. 1, а). Навколо дроту утворюється зона іонізації, яка називається чохлом корони (див. рис. 1, в). З чохла корони позитивні заряди (як на рис. 1, в) виносяться в навколишній простір і  $t_1$  утворюють зовнішній об'ємний заряд (ОЗ). Процес коронування триває до тих пір, поки напруга не досягне  $U_{max}$  при  $t_2$ .

Незважаючи на підвищення напруги до  $U_{max}$ , напруженість на дроті залишається постійною та рівною  $E_n$  через вплив об'ємного заряду. Потім напруга починає знижуватися. Синхронно знижується і напруженість на дроті, що призводить до згасання корони.

Але після згасання корони (після  $t_2$ ) у просторі навколо дроту залишається позитивним зовнішній об'ємний заряд, який ще віддаляється від дроту (див. рис. 1, в).

Виникнення коронного розряду в момент  $t_1$  призводить до появи струму корони  $i_k$ , який накладається на ємнісний струм лінії та спотворює синусоїду струму (рис. 1, б). Тривалість піків струму корони дорівнює тривалості її горіння, тобто від  $t_1$  до  $t_2$  (або  $t_4 - t_5$ ,  $t_6 - t_7$ ).

При змінній напрузі коронування проводів інтенсивніше, ніж за постійної напруги, та інших рівних умов втрати енергії на корону значно більше.

На показники коронного розряду - початкова напруга, втрати енергії, радіоперешкоди, шум - значний вплив надають погодні умови. Атмосферні опади різко знижують початкову напругу корони.

Якщо знехтувати падінням напруги в коронуючому шарі, то можна прийняти, що радіус проводів, а отже, і ємність лінії періодично збільшуються, причому коливання цих величин відбувається з частотою, в 2 рази більшою, ніж частота мережі (період цих змін закінчується протягом напівперіоду робочої частоти).

Так як на втрату енергії при короні в лінії істотно впливають атмосферні явища, то при розрахунку втрат необхідно враховувати такі основні види погоди: хороша погода, дощ, мороз, сніг.

Самостійний розряд у його початковій стадії недостатньо інтенсивний, тому корона виходить невидимою. При невидимій короні вже є втрати, які виявляються приладами.

Критичну коронну напругу можна визначити як напругу, в якій запалюється самостійний розряд, виникає помітний струм через проміжок і починаються збільшуватися втрати.

Крім цих величин практично цікавить визначення напруженості поля і напруги видимої корони, потужності втрат на коронування і радіуса коронуючого шару.

Самостійний розряд у його початковій стадії недостатньо інтенсивний, тому корона виходить невидимою. При невидимій короні вже є втрати, які виявляються приладами. Коли погода (температура та вологість повітря) сприяє втратам на корону, доцільно зменшити напругу на лінії до певної величини.

Для ЛЕП 110÷220 кВ найменша розрахункова величина діаметра проводів (без корони) становить відповідно 1÷2 см.

Так, для уникнення корони на лініях з напругою 110кВ переріз дроту роблять рівним мінімум 95 кв.мм, для 150кВ – 120 кв.мм, для 220 кВ – 240 кв.мм.

Крім того, на високовольтних ЛЕП застосовують антикоронні кільця, що являють собою тороїди з провідного матеріалу, зазвичай металу, який прикріплений до терміналу або іншої апаратної частини високовольтного обладнання. Роль коронуючого кільця полягає у розподілі градієнта електричного поля та зниженні його максимальних значень нижче за поріг корони, таким чином коронний розряд запобігається повністю, або руйнівні ефекти розряду хоча б переносяться від цінного обладнання — на кільце.

Вибір перерізу проводів ПЛ наведених класів напруг проводиться за критеріями економічності та забезпеченням умов, щоб максимальна напруженість електричного поля на поверхні проводів була меншою початкової коронної, тобто  $E_{P.MAX} < 0,9E_0$ .

Напруженістю електричного поля називається сила, що діє на позитивний електричний заряд, розташований у відповідній точці поля.

За нормальних атмосферних умов (атмосферний тиск 760 мм. ртутного стовпа (1013,3 Па); температура навколишнього середовища плюс 20 °С (273 °К), відносна вологість 65%, що відповідає вмісту в одному м<sup>3</sup> повітря 11 грам води) повітря (суміш газів) має надзвичайно великий електричний об'ємний опір  $R_V = \infty$ .

Але властивість повітря бути ізолятором між струмопровідними частинами зберігається до критичної напруженості електричного поля  $E_0$ . Для невеликих радіусів провoda ( $R < 1$  см) розрахунок критичної напруженості електричного поля (появи корони) визначається за формулою Піка [3]:

$$E_0 = 30,3\delta \left(1 + \frac{0,298}{\sqrt{\delta r}}\right), \text{ кВ/см; } (\times 10^5 \text{ В/м}), \quad (1)$$

де  $\delta$  - відносна щільність повітря,

$r$  - зовнішній радіус провoda, см.

Відносна щільність повітря визначається за формулою

$$\delta = \frac{0.386 \cdot P}{273^\circ + t}, \quad (2)$$

де  $P$  – атмосферний тиск, мм. рт. ст.;

$t$  – температура навколишнього середовища °С.

За умови що температура навколишнього середовища плюс 20°С, тиск 760 мм. рт. ст., відносна щільність дорівнює одиниці і при виконанні розрахунків та проведенню досліду, величину відносної щільності прийняти рівною одиниці.

Доцільно відмітити, що абсолютна щільність повітря при температурі повітря 20 °С, тиску 760 мм. рт. ст. (133Па) має величину

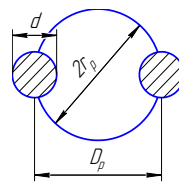
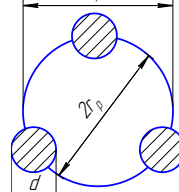
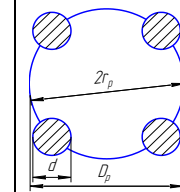
$$\delta_{a0} = \frac{0,465 \cdot P}{273 + t} = 1,205 \text{ кг/м}^3 \quad (3)$$

З метою зменшення втрат електричної енергії від корони провода фаз розщеплюють на  $n$  - ну кількість:

220, 330 кВ – два, вищі напруги – три, чотири і більше.

В формулу (1) підставляють величину еквівалентного радіуса, див. таблицю 1.

Таблиця 1 - Еквівалентні радіуси і для деяких типів розщеплення проводів фаз [6].

Характеристика провода	Ескіз розщепленого провода фази		
			
К-сть проводів в фазі	2	3	4
Радіус розщеплення, $r_p$	$\frac{D_p}{2}$	$\frac{D_p}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{2}D_p}{2}$
Еквівалентний радіус, $r_3$	$\sqrt{r_p \cdot D_p}$	$\sqrt[3]{r_p \cdot D_p}$	$\sqrt[8]{2} \cdot \sqrt[4]{r \cdot D_p^3}$



При розрахунку напруженості електричного поля з  $n$  – проводів фази користуються еквівалентним радіусом і базовою формулою [3,5]:

$$E_k = 24,5m\delta\left(1 + \frac{0,613}{r_e \cdot \delta}\right), \text{ кВ/см (} 10^5 \text{ В/м)} \quad (4)$$

де  $m$  – коефіцієнт не гладкості проводу,  $m = 0,98 \dots 0,82$ .

В інженерній практиці доцільно визначати величину напруги при якій з'явиться корона. Корона на проводах виникає в разі коли діюче значення лінійної напруги досягне критичної величини [4,5]:

$$U_k = 84 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot r \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r}, \text{ кВ} \quad (5)$$

де  $m_1$  – коефіцієнт не гладкості проводу, для багатодротових скручених проводів  $m_1 = 0,83 \dots 0,87$ , для одного проводу  $m_1 = 1$ .

$m_2$  – коефіцієнт за допомогою якого враховують стан погоди, для нормальної сухої погоди  $m_2 = 1$ , інших умов  $m_2 = 0,8$ .

$\delta$  - відносна кількість.

Слід відмітити [4], що при розташуванні проводів в фазі на одній прямій корона на середнім проводі наступає при напрузі на 4% меншій, а на крайніх проводах на 6% більшою від розрахованої за формулою (5).

Втрати потужності рекомендуються визначати за формулою В. І. Левитова [3]:

$$P = 350 \cdot \omega \cdot \frac{C^2}{C_e - C} \cdot U_k^2 \cdot F\left(\frac{U_\phi}{U_k}\right), \text{ кВт/км} \cdot \text{фаза} \quad (6)$$

де  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  кругова частота,

$C_L, C_C$  – відповідно робоча ємність між фазами та еквівалентна ємність об'ємного заряду, Ф/км.

$F \cdot \left( \frac{U_\phi}{U_k} \right)$  – функція за якою враховуються види погоди,

конструкція підвісу проводів і інші фактори.

Для спрощення розрахунку які ведуться за формулою (6) втрати потужності на корону допускається визначати за формулою [4]:

$$\Delta P = \frac{0,18}{\delta} (U_i - U_k)^2 \sqrt{\frac{r}{D}} = \frac{\Delta U_{ik}^2}{R_k}, \quad (7)$$

де  $U_i, U_k$  - відповідно міжфазна напруга і напруга появи корони, кВ;

$\Delta U_{ik}$  - різниця потенціалів напруги провідника і шару повітря;

$R_k$  - опір коронного шару повітря.

Втрати потужності і електричної енергії на корону на протязі року змінюються по величині в залежності від метеопараметрів та наявності на проводах відкладень у вигляді крапель дощу, туману, ожеледі, мокрого та сухого снігу.

За даними [1, 2] для території України прийняті розрахункові види погоди таблиця 2:

- хороша погода з ймовірністю появи – 0,803;
- дощової з ймовірністю появи – 0,074;
- сухого снігу з ймовірністю появи - 0,09;
- ожеледі і інших відкладень в зимовий сезон 0,033.

Таким чином, річні втрати електричної енергії на корону за ймовірної появи погоди, визначаються за формулою:

$$\Delta W_k = \sum_1^4 \Delta W_i = T_p \cdot L(\lambda_{xn} P_{xn} + \lambda_{cc} P_{cc} + \lambda_o P_o + \lambda_o P_o), \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (8)$$

де  $T_p$  – кількість годин включеного під напругу стану ПЛ,  
 $T_p=8760$  годин;

$L$  – довжина лінії електропередавання відповідного класу напруги, див. табл. 2.;

$\lambda_{xn}, \lambda_{cc}, \lambda_o, \lambda_o$  - ймовірність появи і-го виду погоди відповідно: хороша, сухий сніг, дощ, ожеледь.

$P_{xn}, P_{cc}, P_o, P_o$  - відповідно питомі втрати потужності на одиницю довжини лінії класу напруги, кВт/км, див. табл. 2.

Середня річна величина втрат потужності на корону:

$$P_{cp} = \frac{\Delta W_k}{8760}, \text{ кВт} \quad (9)$$

На рис. 1 зображена крива напруги  $U$  і ємнісний струм  $I_C$ , випереджаючий напругу на  $90^\circ$ . У момент часу  $t_1$  напругу на проводі досягає критичного значення  $U_{кз}$ , виникає спалах коронного розряду. Утворені в лавинах коронного розряду електрони поглинаються проводом, що веде до різкого підйому струму корони. У міру зростання напруги стримери подовжуються, і по ним безперервно протікає струм, що збільшує величину позитивного об'ємного заряду.

З моменту  $t_2$  інтенсивність іонізації починає зменшуватися, так як збільшений об'ємний позитивний заряд зменшує напруженість на проводі.

Коли напруга досягає максимуму ( $t_3$ ) стримери розпадаються, корона гасне. Позитивний об'ємний заряд виявляється відрізанним від проводу. Від максимального значення напруги ( $t_3$ ) до нуля ( $t_4$ ) струм підтримується за рахунок відштовху-

вання позитивного об'ємного заряду від проводу, що має також позитивний заряд.

Після моменту  $t_4$  напруга на проводі стає негативною, позитивний об'ємний заряд починає переміщатися до проводу. У момент  $t_5$  відбувається спалах негативної корони, винос електронів з області іонізації створює стрибок негативного струму. При підході напруги до мінімуму іонізація загасає, і струм підтримується за рахунок руху негативних іонів.

У техніці високих напруг корона є небажаним явищем. Поява корони між дротами високої напруги приводить до збільшення втрат при передачі енергії, руйнуванню поверхні ізоляторів і т. п.

Коронний розряд знаходить застосування в електрофільтрах для очищення газів, і деяких типах лічильників частинок. Розроблена серія стабілізаторів високої напруги з використанням коронного розряду.

Коронний розряд застосовується в озонаторах для вироблення озону з повітряного або чистого кисню, в плазмохімічних процесах, для електричної обробки полімерних матеріалів перед їх склеюванням або фарбуванням для поліпшення адгезії.

Слабкострумовий коронний розряд застосовується в медицині для проведення фізіотерапевтичних процедур.

#### IV. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ВИМІРЮВАННЮ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ПРИ ПОЯВІ КОРОНИ.

1. Вивчити принципову електричну схему проведення дослідів, рис 1.

Виберіть бригадира на час проведення бригадою дослідів.

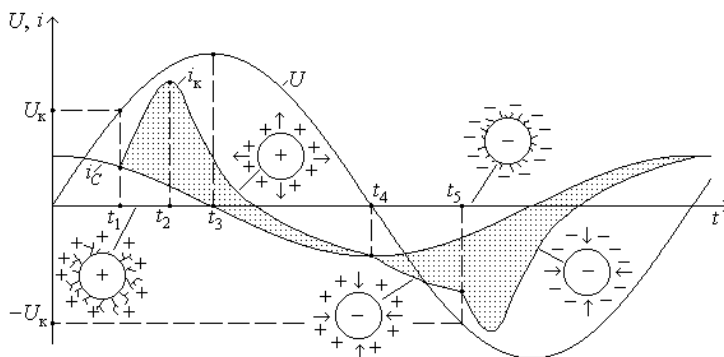


Рисунок 1 - Корона на провадах при змінній напрузі

2. Прослухайте інструктаж від керівника виконання лабораторної роботи в високовольтних установках.

3. Запишіть паспортні дані приладів та обладнання.

4. Перед включенням установки проведення дослідів визначте ціну поділки ватметра за умови, що  $I=5A$ , коефіцієнт трансформації трансформаторів напруги  $2 \times 35000/100=700$ .

5. Перевірте і установіть регулятор автотрансформатора TV1 в нульове положення.

6. За умови, що на території лабораторної установки, за огорожею, відсутні люди, закрийте двері огорожі, поставте клямку на двері (замкнуться контакти БК1, БК2).

7. Отримайте дозвіл у керівника робіт на проведення дослідю.

8. Ввімкніть вимикачі SA1, SA2 і за допомогою кнопки «Пуск» включіть установку під напругу.

9. Згідно підготовленої таблиці 3 встановіть регулятором напругу 50 В, запишіть покази ватметра в таблицю 3. В такій же послідовності підвищуйте напругу до 100В.

10. Після проведення дослідю за допомогою регулятора TV1 знижуйте напругу до нульової величини. За допомогою кнопки «Стоп», вимкніть установку, вимкніть вимикач SA1, SA2.

11. Відкрийте двері огорожі і за допомогою штанги, при доторканні одним кінцем штанги з заземлюючим провідником до високовольтних клем трансформаторів зніміть залишкову напругу.

12. Здайте робоче місце керівнику робіт.

За формулою (10) визначте втрати потужності на корону і запишіть дані в строчку 6., таблиця 3.

Формула розрахунку втрат потужності фізичної моделі лабораторних досліджень, рис. 1 має вигляд:

$$\begin{aligned} P_k &= \sqrt{2} \cdot \frac{0,18}{\delta} (U_i - U_k)^2 \sqrt{\frac{d}{D}} = 0,254 \sqrt{\frac{0,15}{36}} (U_i - U_k)^2 = \\ &= 0,0164 (U_i - U_k)^2, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $d$  – діаметр провідника,  $d=0,15$  см;  
 $D$  – відстань між провідниками,  $D=36$  см.

Втрати потужності на корону, розраховані за формулою (10) моделі відповідають точності декільком точкам процесу іонізації повітря під дією сил напруженості електричного поля.

Напруга корони для моделі визначається за формулою

$$U_k = 84m_1m_2\delta d \cdot \lg \frac{D_{cp}}{d} = 12,6 \lg \frac{36}{0,15}, \text{ кВ} \quad (11)$$

Визначте втрати потужності на корону, строчка 5 таблиця 3.

Величини втрат активної потужності на корону в лабораторній роботі визначаються, як різниця (строчки 4 і 5 таблиця 3) між сумарною величиною втрат, виміряною ватметром і втратами потужності в трансформаторах напруги, за формулою:

$$P_k = P_\Sigma - P_m, \text{ Вт} \quad (12)$$

де  $P_m$  - втрати потужності в трансформаторах, наведені в таблиці 3, строчка 4,

$P_\Sigma$  - підсумкова величина втрат.

Визначте відносну похибку між виміряною величиною і розрахунковою, строчка 5, 6, 7, таблиця 3.

Побудуйте залежності зміни втрат потужності на корону від напруги,

$$P_k = f(U_2), \text{ таблиця 3.}$$



*Tsiplakov S. (a)*



*Tsiplakov S. (b)*



*Tsiplakov S. (c)*



*Tsiplakov S. (d)*



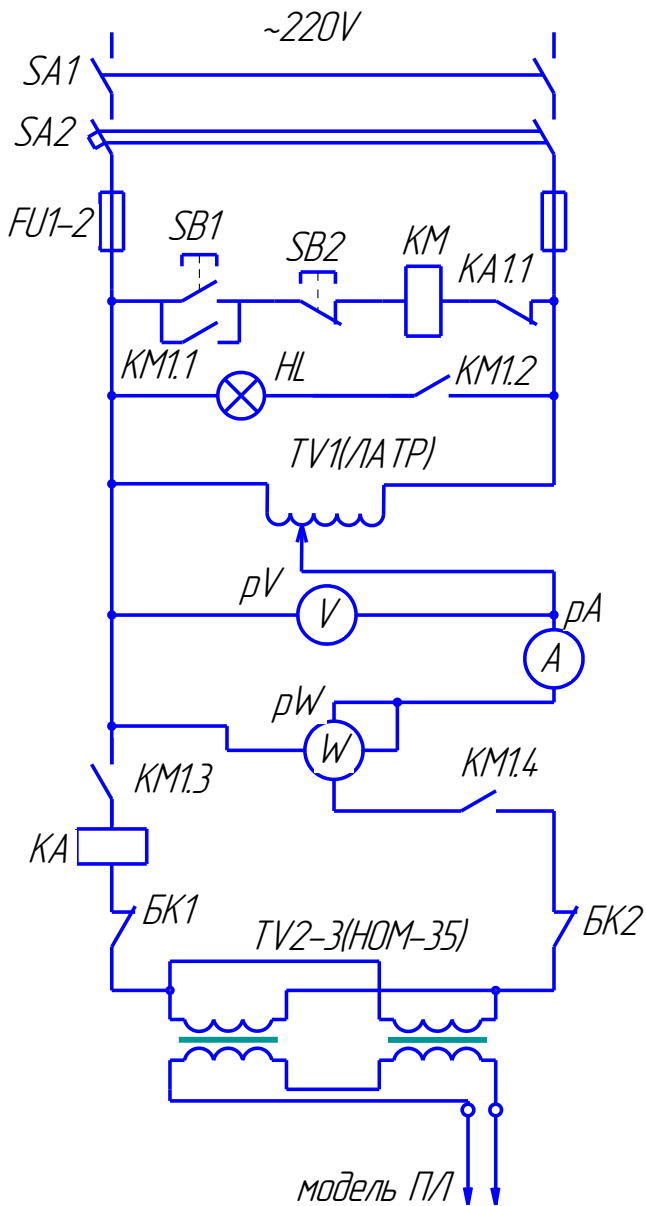


Рисунок 2 – Електрична схема установки для досліджень втрат активної потужності на «корону»

Таблиця 2 – Питомі втрати на корону, усереднені по конструкції фази.

№ п/п	Номиналь на напруга	Питомі втрати потужності на корону, кВт/км, річна ймовірністю $\lambda$ погоди				Довжина лінії, км	Кількість проводів в фазі	Середньо геометрична відстань, см [6]	Періз діаметр, мм <sup>2</sup>	Розрахункова річна втрата ел.ен. кВт·год
		хороша погода, $\lambda_{\text{хр}} = 0,803$	сухий сніг $\lambda_{\text{сн}} = 0,09$	дощ $\lambda_{\text{д}} = 0,074$	паморозок $\lambda_{\text{п}} = 0,033$					
1	750	4,2	16,55	60,0	122,5	400	4	195	АСО 700	
2	500	2,3	8,8	29,0	76	300	3	140	АСО 500	
3	400	1,3	5,0	18,1	54,4	200	3	130	АСО 400	
4	330	0,9	3,9	13,0	28,8	250	2	110	АСО 300	
5	220	0,3	1,1	3,0	12,0	200	2	80	АСО 300	
6	154	0,12	0,35	1,2	4,2	300	1	65	АСО 240	
7	110	0,03	0,12	0,35	1,2	350	1	50	АСО 185	

Таблиця 3 – Виміряні та розрахункові дані

№ з/п	№ досліду	1	2	3	4	5
	Параметри					
1.	Первинна напруга, В	60	70	80	90	100
2.	Вторинна напруга, кВ $U_2 = n_{mi} \cdot U_1$	42	49	56	63	70
3.	Виміряна підсумкова величина потужності $P_\Sigma$ , Вт					
4.	Втрати потужності в трансформаторах $P_m$ , Вт	62,5	82,5	104	131	145
5.	Втрати на корону, Вт $P_K = P_\Sigma - P_m$					
6.	Розрахункова величина втрат на корону (8), $P_{PK}$ , Вт					
7.	Відносна похибка $\pm \delta\% = \frac{P_K - P_{PK}}{P_K} \cdot 100$					

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається напруженістю електричного поля, поясніть фізику явища?
  2. Від яких параметрів залежить напруженість електричного поля появи корони?
  3. Поясніть необхідність розщеплення проводів фази. Для яких класів напруги і на яку кількість проводів виконується розщеплення?
  4. Які методи застосовують щоб зменшити втрати електричної енергії на корону?
  5. Від яких параметрів залежить втрата потужності на корону?
  6. Лінії якого класу напруг необхідно перевіряти на втрати від дії корони?
  7. В чому полягає складність розрахунку втрат потужності та електричної енергії?
- д–во ТПУ, 2008. – 119 с.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

2. Буйний Р. О. Зменшення втрат потужності на корону в лініях електропередавання напругою 330—750 КВ/ Р. О. Буйний, З. О. Тимошенко – Вінниця: Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 6. С. 68-73.

4. Бутенко В.А. Техника высоких напряжений: учебное пособие/ В. А. Бутенко, В. Ф. Важов, Ю. И. Кузнецов, Г. Е. Куртенков, В. А. Лавринович, А. В. Мытников, М. Т. Пичугина, Е. В. Старцева – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 119 с.

5. Важов В. Ф. Техника высоких напряжений: курс лекций / В. Ф. Важов, В. А. Лавринович. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 150 с.

6. Єрмолаєв С.О. Проектування систем електропостачання в АПК/ С. О. Єрмолаєв, В. Ф. Яковлев, В. О. Мунтян, В. В. Козирський, І. П. Радько, Ю. М. Куценко – Мелітополь: видавництво Люкс , 2009 р. – 570 с.

7. Коваленко О. І. Основи електропостачання сільського господарства: Навчальний посібник / О. І. Коваленко, Л. Р. Коваленко, В. О. Мунтян, І. П. Радько. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011 – 462 с.

8. Красько А. С. Техника высоких напряжений (изоляция и перенапряжения): курс лекций: в 2 ч./ А. С. Красько, Е. Г. Пономаренко, – Минск: БНТУ, 2011. – Ч. 1: Электрические разряды в газах. Внешняя изоляция воздушных линий и распределительных устройств. Внутренняя изоляция. - 119 с.

Навчальне видання

## ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки

до виконання лабораторної роботи  
«Дослідження коронного розряду на проводах та методи  
розрахунку втрат електричної енергії»

Автори-укладачі:

ПОПАДЧЕНКО Світлана Анатоліївна  
МОХОНЬКО Анна Олександрівна

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр.  
Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44