

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

УДК 621.31:621.316.9:622.3

КЛЮШНИК В.Г., к.т.н, доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВИТОКИ СТРУМУ В ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ
З НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ СИЛОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

Вступ. Експлуатація технологічних установок, що споживають постійний струм, отримуваний від силових напівпровідникових перетворювачів, породжує проблему електробезпеки таких установок. Проблема ускладнюється тим, що електроживлення постійним струмом здійснюється комбінованими електричними мережами [1], а кола живлення споживачів постійного струму часто мають нестабільний технологічний виток струму на землю. Цей струм, накладаючись на аварійні струми витоку на землю, суттєво ускладнює ідентифікацію останніх.

Постановка задачі. В цій роботі проведено дослідження електромагнітних процесів в комбінованих електричних мережах, що живлять технологічні установки зі споживачами постійного струму, задля виявлення аварійних витоків струму на землю в таких мережах при наявності нестабільних технологічних витоків струму на землю в електричних колах споживачів постійного струму.

Результати роботи. Електропостачання технологічних установок зі значними технологічними витоками струмів на землю здійснюється від трифазних джерел живлення за трипровідною схемою і від індивідуального трифазного трансформатора. Еквівалентну електричну схему такої системи представлено на рис.1.

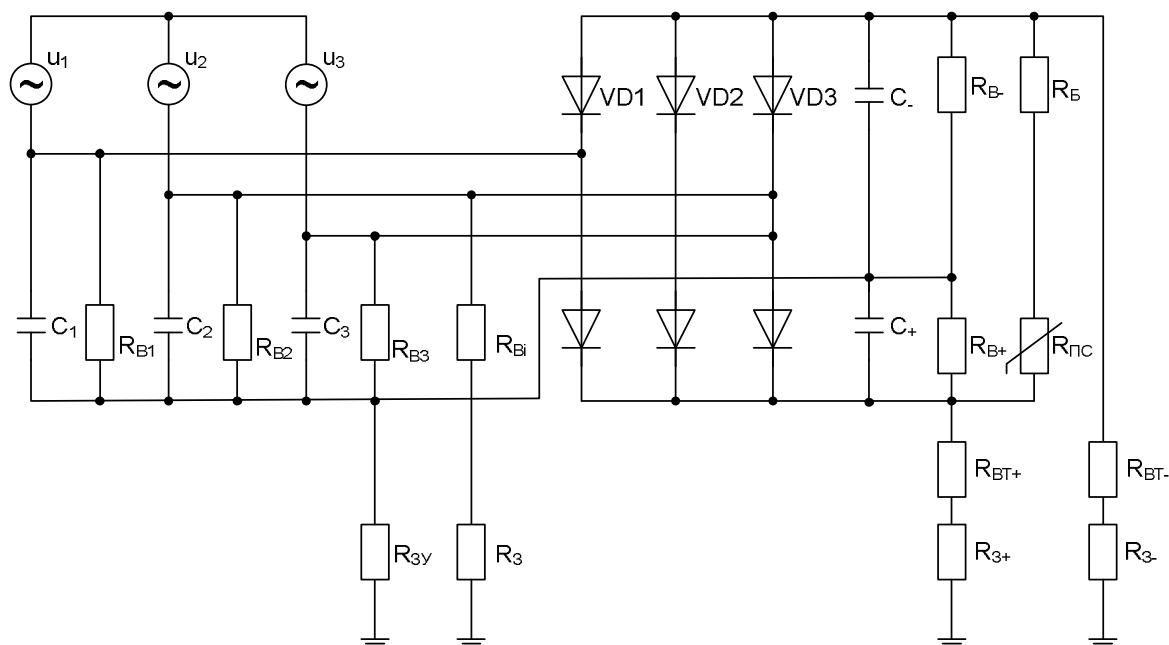


Рисунок 1 – Схема електрична еквівалентна установки технологічної зі споживачами постійного струму

На рис.1 індивідуальний трифазний трансформатор живлення установки змодельовано трьома джерелами синусоїдної напруги u_1 , u_2 , u_3 . Ємності відносно землі вторинних обмоток трансформатора та з'єднань між вторинною його обмоткою та напів-

ровідниковим перетворювачем сумарно представлені конденсаторами C_1, C_2, C_3 . Активні опори ізоляції фаз відносно землі для кола вторинної обмотки трансформатора змодельовано резисторами R_{B1}, R_{B2}, R_{B3} . VD1, VD2, VD3, VD4, VD5, VD6 – силові напівпровідникові вентиля перетворювача. Ємності C_+, C_- – еквівалентні ємностям відносно землі (корпусу установки) позитивного та негативного полюсів відповідно, кіл постійного струму установки включно зі з'єднувальними елементами між напівпровідниковим перетворювачем та споживачем постійного струму. Резисторами R_{B+}, R_{B-} представлено активні опори ізоляції вищезгаданих полюсів (відповідно) відносно землі та включно з ізоляцією з'єднань кіл постійного струму. Споживача постійного струму представлено резистором $R_{СП}$, який загалом може бути нелінійним і отримувати живлення через баластний резистор R_B .

Якщо знехтувати внутрішнім опором трансформатора, що живить установку, та опорами з'єднань в установці, то внутрішній опір трифазної системи установки струмам однофазних витоків на землю (корпус установки) можна визначити співвідношення [2] у комплексній формі:

$$\dot{Z}_0 = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2} \cdot R_{B3} (R_{B1} \cdot R_{B2} + R_{B2} \cdot R_{B3} + R_{B3} \cdot R_{B1}) - j2\pi f (C_1 + C_2 + C_3) R_{B1}^2 \cdot R_{B2}^2 \cdot R_{B3}^2}{4\pi^2 f^2 (C_1 + C_2 + C_3)^2 \cdot R_{B1}^2 \cdot R_{B2}^2 \cdot R_{B3}^2 + (R_{B1} \cdot R_{B2} + R_{B2} \cdot R_{B3} + R_{B3} \cdot R_{B1})^2}, \quad (1)$$

де f – частота напруги трифазної мережі живлення установки, Гц.

Сила струму однофазного витoku на землю через опір R_{B1} (рис.1):

$$\dot{I}_{B\sim} = \frac{\dot{U}_\phi}{\dot{Z}_0 + R_{3y} + R_3 + R_{Bi}}, \quad (2)$$

де R_{3y}, R_3 – опори заземлень установки і другого виводу резистора витoku R_{Bi} (рис.1) відповідно;

\dot{U}_ϕ – комплекс фазної напруги фази, у якій має місце однофазний виток через опір R_{Bi} .

При однополюсному витoku струм тече під дією пульсуючої напруги, створюваної групою вентилів VD1...VD3 (рис.1) для негативного полюса та групою вентилів VD4...VD6 – для позитивного. Якщо величинами ємностей C_+, C_- на схемі рис.1 можна знехтувати, то подвійна амплітуда пульсацій напруги сягає $0,5 U_{\phi m}$, а частота – $3f$. Постійна складова такої напруги визначається відомим співвідношенням [2]

$$U_{cp} = \frac{m \cdot U_{\phi r}}{2\pi} \int_{\frac{\pi(m-2)}{2m}}^{\frac{\pi(m+2)}{2m}} \sin dx, \quad (3)$$

де $U_{\phi r}$ – амплітудне значення фазної напруги;

m – число фаз вторинної обмотки трансформатора установки, яка живить вентиля VD1...VD3 або VD4...VD6 перетворювача;

x – фазовий кут, який відлічується від точки переходу анодної напруги через нуль у позитивному напрямку.

Маючи на увазі, що в схемі рис.1 $m=3$, легко обчислити (3):

$$U_{c3} = 0,827 U_{\phi m}. \quad (4)$$

Якщо знехтувати впливом C_+, C_-, R_{B+}, R_{B-} на величини струмів витoku через опори R_{BT+}, R_{BT-} , то ці величини за аналогією з (2) для режиму неробочого ходу установки, коли $R_{СП} = \infty$, можуть бути визначені співвідношенням:

$$I_{Пcp} = \frac{U_{cp}}{R_0 \cdot R_{3y} + R_{3S} + R_{BTS}}, \quad (5)$$

$$\text{де } R_0 = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2} \cdot R_{B3}}{R_{B1} \cdot R_{B2} + R_{B2} \cdot R_{B3} + R_{B3} \cdot R_{B1}} \quad (6)$$

– визначається з (1) при частоті $f=0$; індекс s для величин R_{3S} , R_{BTS} має значення «+» при обчисленні струму витoku з позитивного полюса і значення «-» – при обчисленні струму витoku з негативного полюса.

При великій (десятки метрів) протяжності з'єднань між перетворювачем установки та її споживачем постійного струму впливом опорів ізоляції R_{B+} , R_B нехтувати не можна і середнє значення струму однополюсного витoku визначається співвідношенням:

$$I_{\text{Псп}} = \frac{R_0 \cdot U_{\text{сп}}}{R_0 \cdot R_{BS} + (R_0 + R_{BS})(R_{3y} + R_{BS} + R_{BTS})}, \quad (7)$$

де складова індексів «s» береться аналогічно наведеному вище для співвідношення (5).

Ємності C_+ , C_- створюють електричні кола для змінних струмів однополюсного витoku на землю, які течуть під дією змінних напруг $u_+(t)$ та $u_-(t)$.

Для визначення змінних складових струмів однополюсних витоків розкладемо залежності $u_+(t)$ та $u_-(t)$ в ряд Фур'є [2]. Через симетрію графіків цих залежностей відносно осі ординат ряди Фур'є для них мають лише косинусоїдні складові з амплітудами:

$$U_{mv} = \frac{\sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{m}{v^2 m^2 - 1} U_{\phi m}. \quad (8)$$

Перша гармоніка розкладу має частоту $3f$ і амплітуду $U_{m1} = 0,2067 \cdot U_{\phi m}$ (для схеми перетворювача рис.1). Крім першої суттєві амплітуди мають друга $U_{m2} = 0,04726 \cdot U_{\phi m}$ та третя $U_{m3} = 0,02068 \cdot U_{\phi m}$. Решта гармонік вищих порядків мають порівняно невеликі амплітуди і при практичних розрахунках ними можна знехтувати.

Раптова зміна величин опорів однополюсних витоків R_{BT+} , R_{BT-} (рис.1) спричиняє зміну за експоненційним законом у часі постійних складових струмів однополюсних витоків на землю. Постійні часу таких змін визначаються величинами ємностей C_1 , C_2 , C_3 , а також C_+ , C_- і активними опорами кіл заряду-розряду цих ємностей. При великих опорах R_{3+} , R_{3-} , як це має місце, наприклад, в установках плазмового розширення свердловин при роботі цих установок на залістистих кварцитах Криворізького залізорудного басейна, постійні часу кіл заряду-розряду сягають одиниць секунд.

Співвідношення (1), (2), а також (5), (6) та (7) отримані для електричної системи із зосередженими параметрами, яка моделює реальні системи з розподіленими параметрами (кабельні з'єднання, ізоляція струмоведучих частин установок і т.ін.). Правомірність такого моделювання перевірена в лабораторних умовах на дослідно-промисловому зразку установки плазмового розширення свердловин в гірських породах великої міцності, який розроблено в інституті Геотехнічної механіки НАН України (ІГТМ НАНУ).

Прямі вимірювання струмів однофазних та однополюсних витоків на землю у поєднанні з прямими вимірюваннями опорів ізоляції фаз та ізоляції полюсів відносно землі, а також ємностей цих складових комбінованої електричної мережі на землю показали, що струми витоків на землю можуть відрізнитись від обчислених за наведеними вище співвідношеннями в межах 2-10% від виміряних величин, тобто в межах похибок вимірювань струмів витoku на землю.

Висновки. Аналіз струмів однофазних та однополюсних витоків на землю в електричних колах установок з комбінованими електричними мережами за допомогою співвідношень, наведених в цій роботі, створює підґрунтя до формулювання вихідних технічних вимог до апаратури контролю цих струмів, яка є основою системи захисного відключення таких установок задля електробезпеки їх експлуатації.

Експериментальні дослідження електромагнітних процесів в установках плазмового розширення свердловин в лабораторних умовах показали, що вихідні припущення, які було взято при виводі кількісних співвідношень, наведених в цій роботі, дають можливість обчислити величини струмів витоку на землю в комбінованих електричних мережах з достатньою для потреб розробки апаратури їх контролю точністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок / В.П.Колосюк. – М.: Недра, 1980. – 334с.: ил.
2. Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники: в 2-х т. Том 1 / Л.Р.Нейман, К.С.Демирчян. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 536с.: ил.

Надійшла до редколегії 17.03.2014.

УДК 621.371: 621.314.4

ДОРОШЕНКО О.І., к.т.н., доцент
ВОДІЧЕВ В.А., д.т.н., професор

Одеський національний політехнічний університет

ЩОДО ФІЗИЧНИХ ОСНОВ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Вступ. Зважаючи на вимоги безпеки та технічні перешкоди доступу до діючого електрообладнання електроенергетичних систем (ЕЕС), у практиці досліджень їх режимів широко використовують математичне моделювання [1]. Для цього достатньо написати математичні рівняння, які зв'язують параметри елементів ЕЕС з параметрами її режиму, і віднайти алгоритм їх розв'язання із застосуванням сучасної обчислювальної техніки. Але для деяких сучасних дослідників створення математичної моделі стає самоціллю, а фізична сутність явища відходить на другий план [2]. Таке ставлення до моделювання призвело до того, що на сьогодні в електроенергетиці існують дві електромагнітні концепції [3].

Перша – електродинаміка Фарадея-Максвелла, що сформувала фундамент уявлення про електромагнетизм. Її основа – учення про електромагнітне поле як про реальну фізичну субстанцію – своєрідне середовище, динаміка якого визначає дію електричних сил між зарядженими частинками (їх електричними зарядами).

Друга – математична концепція. В ній поле – визначена у просторі математична функція і не більше того. Це значно спрощує розв'язання багатьох прикладних задач завдячуючи тому, що вплив великої кількості фізичних факторів, діючих на предмет дослідження, можна замінити тільки одним чисельним значенням напруженості поля у конкретній точці, яка визначає кінцеву силу, що діє у цій точці. Одночасно з цим, зникає і поняття фізичної природи електромагнетизму та прозорість дії його внутрішнього механізму.

Постановка задачі. *Аналіз відомих рішень.* За пропозицією [4] моделювання будь-якого електроенергетичного процесу ЕЕС необхідно проводити у два етапи:

1. Ідейно-теоретична модель, що дає відповіді на питання: Як? Чому так?
2. Реально-математична модель, що відповідає на питання: Скільки? Чому стільки?

Мета цієї роботи – не зменшуючи ролі та значення математичної складової моделювання в електроенергетиці, розробити ідейно-теоретичну основу моделювання, яка розкриває реально фізичну основу процесу електропередачі.