

Изследване индуктивното влияние на въздушна линия за високо напрежение върху електротехнически съоръжения

доц. д-р инж. Атанас Червенков,
доц. д-р инж Тодорка Червенкова,
инж. Ивелина Христова
Технически Университет - София

В статията се разглеждат вредните електромагнитни смущения в линии за ниско напрежение и линии за комуникация и пренос на данни, създавани от въздушни електропроводи за високо напрежение. Анализира се индуктивното проникване на електромагнитните смущения в линиите за ниско напрежение и линии за комуникации, разположени в близост до въздушните електропроводи за високо напрежение. Изчислява се взаимната им индуктивност и се определя индуктираното напрежение в проводниците на комуникационните линии.

Въведение

Наличието на електромагнитна връзка между всички електроенергийни обекти е причината те взаимно да си влияят. Това влияние се нарича електромагнитно смущение. За ограничаване на тези смущения и осигуряване на нормална работа на всички технически устройства в и около електроенергийните обекти е необходимо да се изследват начините на проникване на смущенията.

Индуктивното проникване е един от тези начини. То се причинява от паразитни взаимни магнитни потоци между промишлени контури, получени при работата на тези контури или при удар на мълнии, или разряд на статично електричество [5]. Електропроводът за високо напрежение ВН и линията за комуникация (линията за ниско напрежение НН) се разглеждат като два индуктивно свързани контура с взаимна индуктивност M .

Определяне на взаимната индуктивност

Взаимната индуктивност на два линейни контура M_{12} се определя от пълния магнитен поток, обхванат от единия контур и от тока, протичащ през другия контур

$$(1) M_{12} = \frac{\Psi_{2M}}{i_1},$$

където: - Ψ_{2M} е пълния магнитен поток, обхванат от втория контур (комуникационна линия или линия за НН);

- i_1 е тока в първия контур (електропровод ВН).

Предполага се, че магнитната проницаемост на околната среда, в която се затварят магнитните линии на потока на взаимната индукция, не зависи от интензитета на магнитното поле.

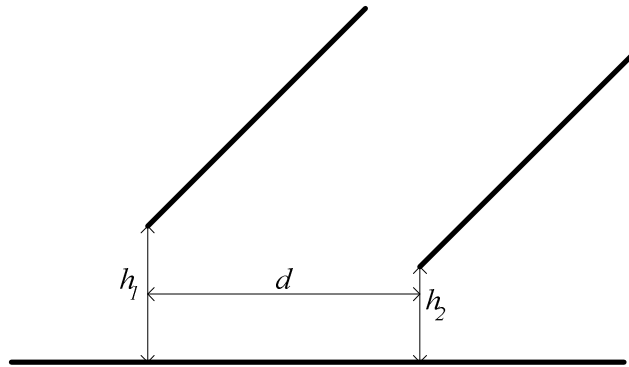
Взаимната индуктивност на два линейни участъка от две линии може да се определи като [3]

$$(2) M = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{l_1} \oint_{l_2} \frac{dl_1 dl_2}{D} \cos\theta,$$

където: - dl_1 и dl_2 са два линейни участъка от двете линии l_1 и l_2 ;

- D е разстоянието между тях;

- θ е ъгъла между тях.



Фиг.1

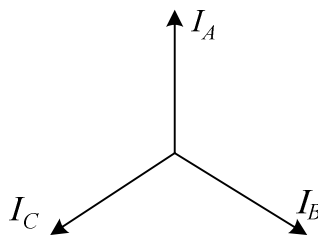
Взаимната индуктивност между проводниците от двете паралелни линии, показани на фиг.1, се определя с израза

$$(3) \quad M = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{d^2 + (h_1 + h_2 + 800 \sqrt{\frac{\rho}{f}})^2}}{\sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}} \quad \text{H/m},$$

- където:
- h_1 е средна височина на провеса на влияещия проводник, m ;
 - h_2 е средна височина на провеса на проводника подложен на влияние, m ;
 - d е разстоянието между проводниците по хоризонтала, m ;
 - ρ е специфичното съпротивление на земята ($\rho = 100 \div 500 \Omega \cdot m$);
 - f е честотата на тока през проводниците на линията ВН, $f=50 \text{ Hz}$;
 - μ_0 е относителната магнитна проницаемост на околното пространство (въздух), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

При изчисляване на индуктивността на сложни контури (многопроводни схеми) в редица случаи е целесъобразно използването на метода на наслагване. Два или повече контура, по които текат токове с една и съща големина (симетрична трифазна система) са еквивалентни един на друг в електромагнитно отношение. При това всеки един от тях може да се получи от другия с добавяне на един или повече проводника, по които текат токове с еднаква големина.

Токовете в проводниците на електропровод ВН в нормален режим на работа образуват трифазна симетрична система. Токовете в трите фази в нормален режим са равни по амплитуда (ефективна стойност) и са отместени на 120° един спрямо друг. Векторната диаграма на токовете на въздушната линия ВН е показана на фиг.2



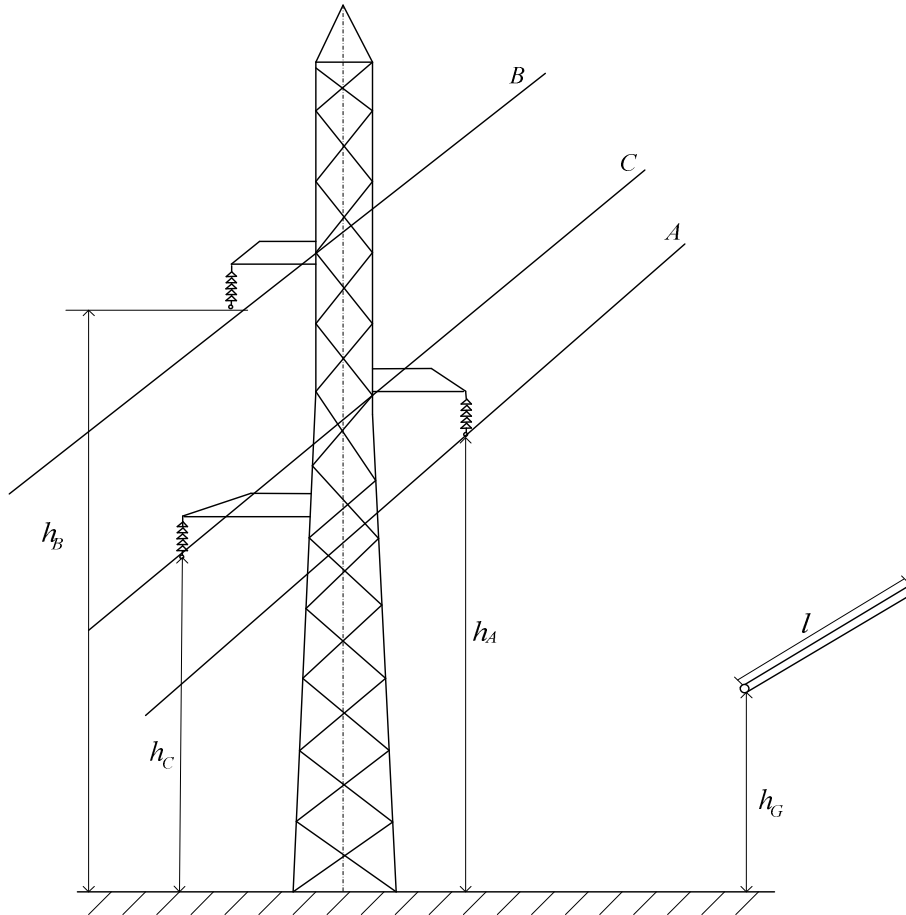
Фиг.2

Определяне индуктивното влияние на електропровод ВН

Разглежда се околното пространство около стълб от електропровод ВН – 220 kV.

Изследванията се извършват за нормален и за аварийен режим. Като приемник на електромагнитните смущения от електропровода ВН се разглежда комутационна линия (или линия за НН).

Схемата на стълба от електропровода (въздушната линия) за ВН е показана на фиг.3.



Фиг.3

Индуктираното е.д.н. в един от проводниците на комутационната линия, изпитваща влиянието на линията ВН в нормален режим на работа, може да се определи с израза

$$(4) \dot{E} = l(\dot{I}_A j \omega M_A + \dot{I}_B j \omega M_{AB} + \dot{I}_C j \omega M_C),$$

където: - \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C са комплексните стойности тока в проводниците, съответно на фази А, В, С;

- M_A , M_B , M_C са взаимните индуктивности между фази А, В, С и комуникационната линия;

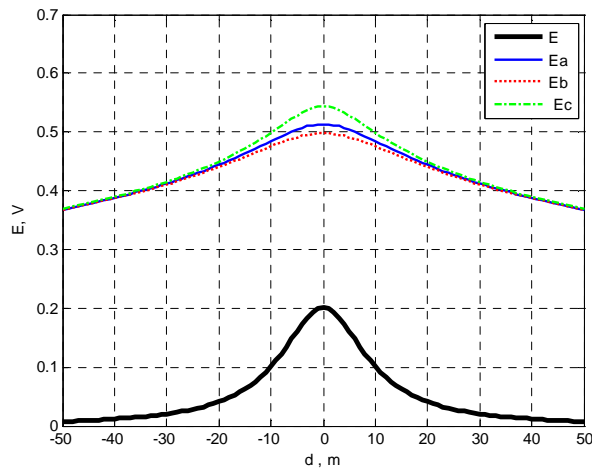
- ω е ъгловата честота на тока;

- l е дължината на участъка от проводника на комуникационната линия.

При изчисленията се приемат дължини - $l=1$ m, $h_A = 13$ m, $h_B = 15$ m, $h_C = 10$ m, $h_G = 2$ m.

Индуктираното е.д.н. на смущение (по модул) в проводниците на комуникационната линия, създадено от електропровода ВН в нормален режим на работа, за различни стойности на разстоянието d между двете изследвани линии, е

показано на фиг. 4. Показани са и е.д.н., индуцирани от всеки един проводник поотделно.



Фиг.4

Резултатите от изчисленията - фиг. 4 показват, че сумарното е.д.н. не е равно на нула, въпреки симетрията на токовете на трифазната система за ВН. Това се дължи на различното разстояние между комуникационната линия и отделните фази на електропровода за ВН. При това сумарното е.д.н. е по-малко от е.д.н., индуцирано от тока на всяка една фаза поотделно.

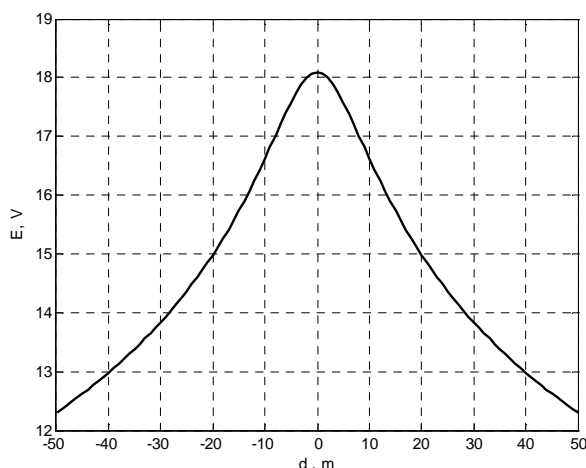
При аварийен режим на работа на електропровода ВН, например при късо съединение в една от фазите, преобладаващо влияние върху взаимноиндукционния магнитен поток оказва повредената фаза.

В този случай, индуцираното електродвижещо напрежение в комуникационната линия, изпитваща смущаващото влияние на линията ВН, се определя с израза

$$(5) E_{kc} = l \cdot I_{kc} \cdot j\omega M_1,$$

- където:
- I_{kc} е тока на късо съединение в повредената фаза на линията ВН, A;
 - M_1 е взаимната индуктивност между повредената фаза и комуникационната линия;
 - l е дължината на участъка от проводника на комуникационната линия.

Резултатите от изчисленията за индуцираното е.д.н. на смущение в проводниците на комуникационната линия, създадено от електропровода ВН в аварийен режим на работа, са показани на фиг. 5.



Фиг.5

Индуктираното е.д.н. на смущение при аварийен режим на работа на електропровода ВН има същия характер, но много по-големи стойности, в сравнение с тези при нормален режим.

Заклучение

Изчислена е взаимната индуктивност между линия ВН и линия за комуникация (линия за НН), разположена в близост до проводниците на линията ВН.

Определено е индуктираното напрежение в проводниците на комуникационната линия в случаите на нормален и аварийен режим на работа на електропровода ВН.

Индуктираното сумарно е.д.н. на смущение в комуникационната линия, в нормален режим на работа не е равно на нула, въпреки симетрията на токовете на трифазната система за ВН. Сумарното е.д.н. е по-малко от е.д.н., индуктирано от тока на всяка една фаза.

При аварийен режим на работа на електропровода ВН, индуктираното е.д.н. на смущение в комуникационните линии има значително по-големи стойности в сравнение с нормалния режим на работа. Макар и краткотрайни тези смущения може да нарушат нормалната работа на комуникационните линии или линиите НН, разположени в непосредствена близост до електропровод за ВН.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ – София-2013 г. по Проект № 132ПД0004-16.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley, 1992.
2. E. Nabiger, Electromagnetic Compatibility, Hüthig, 1998.
3. Калантаров П.Л., Л.А. Цейтлин, Расчет индуктивностей, Ленинград, Энергоатомиздат, 1986.
4. Генков Н. Т., В.Т. Захариев, Механична част на електрическите мрежи, София, изд. на ТУ-София, 1990.
5. Червенкова Т, И. Христова, Източници на електромагнитни смущения и начините на проникването им в електротехнически обекти, Годишник на ТУ-Сливен, том 5 2013.
6. Харлов Н.Н., Электромагнитная совместимость в электроэнергетике, Издательство ТПУ, Томск 2007.