

**ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ ПРИ ТЯГОВА
КОНТАКТНА МРЕЖА И СЪСЕДНИ КАБЕЛНИ ЛИНИИ****Емилия Димитрова¹, Васил Димитров¹**¹ *Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158***ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY FOR TRACTION CONTACT
NETWORK AND NEIGHBORING CABLE LINES****Emiliya Dimitrova¹, Vasil Dimitrov¹**¹ *Todor Kableshkov University of Transport - Sofia***Abstract**

The report examines the influence of the traction contact network on neighboring cable lines from the systems of railway infrastructure (LV lines, signalling lines, communication lines, etc.). They are subjected to magnetic influence and methods are proposed for determining the induced voltages with short-term (short circuit) and long-term action (when a train passes). In order not to allow a decrease in the reliability of the cable lines, the calculated values of the induced voltages must not exceed the permissible limit values for the specific line and the adjacent equipment. In order to reduce the impact, it is suggested that during modernization, fully compensated contact networks (with a return wire) should be provided. In this way, the traction line is close to symmetrical and the emitted electromagnetic fields from the contact and return wire are mutually compensated. The current through the rails and the soil is lowered, which means a significant reduction not only of the magnetic, but also of the galvanic influence.

Keywords: electromagnetic compatibility, traction contact networks, communication lines**ВЪВЕДЕНИЕ**

Под електромагнитна съвместимост (ЕМС) се разбира способността на системите да работят надеждно в условията на различните електромагнитни влияния и способността им да функционират в предназначенията за тях среда без да интерферират с друго оборудване и без самите те да са подложени на неприемливи нива на интерференцията [1]. Електротехническите устройства трябва от една страна да работят в средата, за която са предназначени, без да се влияят от други устройства, а от друга страна да не са източник на електромагнитни влияния над определени нива.

Тяговата контактна мрежа в железопътния транспорт е мощен източник на електромагнитни смущения [2]. До нея, в непосредствена близост, се намират линии на системите за сигнализации и комуникации, линии ниско напрежение на инсталациите в гарите и на битовата мрежа в прилежащите населени места. За тези линии много често се използва общото означение съседни линии (СЛ). Тяговата мрежа може да окаже електрическо, магнитно и галванично влияние на работата на съответните системи и съоръжения, включени към СЛ.

ВЛИЯНИЕ НА КОНТАКТНАТА МРЕЖА ВЪРХУ СЪСЕДНИТЕ ЛИНИИ

Магнитното влияние се поражда от протичащия през контактния проводник (КП) променлив ток и се проявява само когато в участъка има влак. Тъй като силовите линии на магнитното поле се разпространяват във въздушното пространство и под земята, на магнитно влияние са подложени както въздушните, така и кабелните линии (разположени между тяговата подстанция и влака). В този случай смущаващото влияние действа продължително – докато влакът се отдалечи от СЛ. Магнитното влияние се проявява и при късо съединение на КП. Тогава влиянието е краткотрайно – индукираното напрежение е импулс с продължителност, определена от времето за задействане на защитата. За сметка на това амплитудата на индукираното напрежение е по-голяма, тъй като през контактния проводник протича токът на късо съединение.

Електрическото влияние се поражда от напрежението на КП спрямо земя (определя електрическата съставка на излъченото поле). То действа независимо дали в участъка има влак. Силовите линии на електрическото поле се екранират от земната повърхност или от металната обвивка на кабела. На електрическо влияние са подложени само въздушните линии без метална обвивка. Смущаващото влияние, съответно индукираното напрежение, действа продължително.

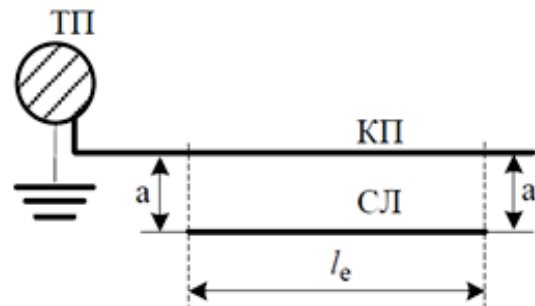
Галваничното влияние се поражда от протичащата през земята част от тяговия ток. На галванично влияние са подложени заземените метални обвивки на кабелите и несиметричните електрически вериги, използващи земята за обратен проводник.

Сближение е такова разположение между СЛ и контактната мрежа, при което в линията възникват опасни или смущаващи влияния. В такъв случай се счита, че линията е в зоната на влияние на КП.

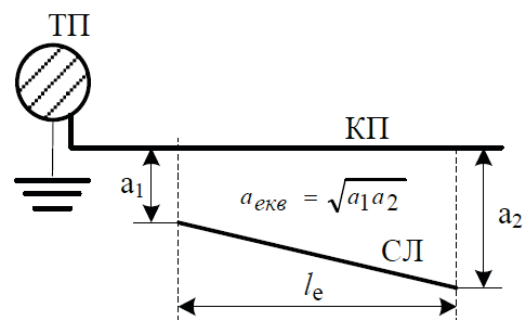
Дължина на сближението (l_e) е дължината на тази част от линията, която се намира в зоната на влияние.

Ширина на сближението е разстоянието между трасето на СЛ и КП. Ако това разстояние е над 10 m, за ширина на сближението може да се вземе разстоянието между СЛ и вертикалната равнина от КП към средната линия между релсите.

Сближението е паралелно, когато ширината е еднаква по цялото протежение на трасето. Когато отклонението на ширината от средната си стойност a не надвишава 10%, сближението се счита за паралелно (фиг. 1). Когато това условие не е изпълнено, сближението е косо (фиг. 2). Дължината на косото сближение $a_{екв}$ е равна на дължината на проекцията на линията върху оста на жп линията.



Фиг. 1. Паралелно сближение



Фиг. 2. Косо сближение

С модернизацията на железопътната инфраструктура проблемите на електромагнитната съвместимост се изострят. От една страна мощността на тягата нараства, а от друга се разширява внедряването на компютърни системи за управление на влаковете, за информация и комфорт на пътниците, за контрол на железопътните

състави. Ето защо жп инфраструктура се характеризира с висока плътност на разнородно електрооборудване и дълги участъци на сближение между контактния проводник и линиите на сигнализиациите и комуникациите.

Цел на доклада е да се предложи методика за определяне влиянието на контактната мрежа върху съседни кабелни линии при модернизация на железопътен участък.

ИЗХОДНИ ТЕХНИЧЕСКИ ДАННИ

При модернизацията е заложена напълно компенсирана въздушна контактна мрежа (Overhead Contact Lines – OCLs) [3]. Характерно за този тип контактна мрежа е, че част от обратния тягов ток тече през обратен проводник. При това положение веригата на тяговата линия не е несиметрична, както при класическата тягова мрежа. Тяговата линия OCLs е близка до симетричната, което означава взаимно компенсиране на излъчените електро-магнитни полета от контактния и обратния проводник и много по-слабо влияние върху съседните линии. Намалването на тока през релсите и почвата означава намаляване на галваничното влияние.

Необходими са данни за следните технически характеристики, касаещи електромагнитната съвместимост:

Контактен проводник (КП):

- проводник, напр. тип CuAg0.1-120 mm²;

- носещо въже, напр. VzII – 70 mm²;

- еквивалентен относителен импеданс на проводника и носещото въже Z_{21} , Ω/km ;

- височина на еквивалентния контактен проводник над глава релса: b_k , m;

- ток през контактния проводник при натоварване, напр. $I_{\text{екв}} = 600$ A.

Обратен проводник (ОП): по линията ще се монтира ОП, напр. стомано-алуминиев тип EN 50182-184-AL1/30-ST1A.

Тягови подстанции (ТП): техните ха-

рактеристики влияят в значителна степен върху излъчваните електромагнитни смущения от контактната мрежа. Необходими са следните данни за ТПС (напр. тип охлаждане и др.):

- Вход от националната енергийна система, напр. открита уредба 110 kV;

- Вторично напрежение на празен ход, напр. $U = 27,5$ kV;

- Номинално изходно напрежение, напр.

$U_n = 25$ kV, 50Hz;

- Номинална мощност S_n , MVA;

- Напрежение на късо съединение на трансформатора u_k , %

- Реактанс на трансформатора $X_{\text{тр}}$, Ω .

В локомотивите се използват електронни преобразуватели, в резултат на което се появяват хармоници с честота 50, 150, 250, 350 Hz и т.н. За защита от хармониците е достатъчно да се използват филтри в тяговите подстанции.

Рецептори са кабелните линии (СЛ), които са уязвими и подлежат на оценка за ЕМС, тъй като електромагнитните влияния се предават посредством тези линии към съответната апаратура. В участъка се полага оптичен кабел, който не подлежи на анализ.

Линии НН на НКЖИ: в участъка са разположени кабелни линии за отопление на стрелки, за осветление на перони и гарови райони, за външно хранване и др. При късо съединение в контактната мрежа в линиите НН и СрН може да се индуктират напрежения, които се наслаgват към напрежението в съответната линия и могат да предизвикат нарушения в нормалната работа на системите.

Линии на сигнализиациите: съоръжения за осигурителни системи и комуникации, подложени на електромагнитни влияния от контактната мрежа, в участъка са: сигнали, стрелкови обръщателни апарати (СОА), датчици за свободност и заетост на релсовия път, бализи и броячни точки, детектори на загreti букси, магистрален кабел.

МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ИНДУКТИРАНИТЕ В СЪСЕДНИТЕ ЛИНИИ НАПРЕЖЕНИЯ

Индуктираните в съседни кабелни линии напрежения са резултат от магнитното влияние на контактната мрежа (при въздушни СЛ трябва да се отчитат магнитното и електрическото влияние). Изчисленията се провеждат в съответствие с принципа „най-тежкия случай“. Определят се два вида индутирани напрежения, които съвместно могат да определят *опасното влияние* на контактната мрежа:

- $U_{кр}$ – краткотрайно индутирано напрежение, свързано с режим на късо съединение, при който в контактната мрежа протича най-голям ток (представява импулс с висока амплитуда);
- $U_{пр}$ – продължително действащо индутирано напрежение (контактната мрежа е натоварена, но в режим, при който може да работи продължително време).

Краткотрайното напрежение е импулс с продължителност, определена от времето за задействане на защитата – през контактния проводник протича токът на късо съединение $I_{кск}$, който може да достигне стойности до 15 kA. $U_{кр}$ се изчислява съгласно израза:

$$U_{кр} = U_{кркп} - U_{крон} \quad (1)$$

където $U_{кркп}$ и $U_{крон}$ са индутираните в СЛ напрежения при късо съединение от тока в контактния и обратния проводник, съответно:

$$U_{кркп} = \omega \cdot I_{кск} \sum_{i=1}^n M_{кпi} \cdot S_i \cdot l_i \quad (2)$$

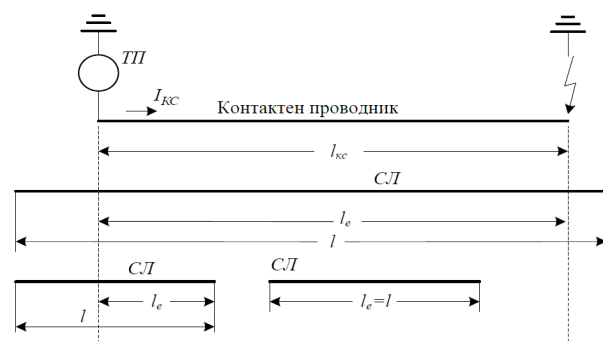
$$U_{крон} = \omega \cdot I_{ксон} \sum_{i=1}^n M_{олi} \cdot S_i \cdot l_i \quad (3)$$

където ω е ъгловата честота; $I_{кск}$ и $I_{ксон}$ са съответно токовете на късо съединение през контактния и обратния проводник; $M_{кпi}$ и $M_{олi}$ са съответно специфичната взаимна индуктивност между контактния

/ обратния проводник и СЛ за i -тия участък на сближение; S_i е общият коефициент на екраниране за i -тия участък на сближение; l_{ei} е дължината на i -тия участък на сближение.

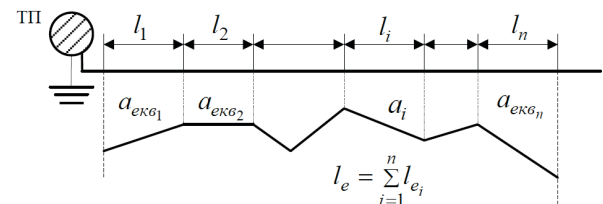
На фиг. 3 са дадени различни възможни случаи на сближение. Когато цялата линия е в зоната на влияние на тяговата мрежа, дължината на сближението (l_e) е равна на дължината на цялата линия (l). Възможно е част от линията да е извън зоната на влияние. Тогава дължината на сближението се определя само от зоната на влияние.

Реално трасето на линията е такова, че ширината на сближението се променя – *сложно сближение* (фиг. 4). Дължината му е сума от дължините на отделните сближения.



Фиг. 3. Варианти на сближения

Общият коефициент на екраниране зависи от коефициентите на екраниращо действие на релсите, на заземителното въже, на металната обвивка на СЛ, на жилата на СЛ и на други кабели в същия канал [4].



Фиг. 4. Сложно сближение

Стойностите на специфичната взаимна индуктивност между контактния / обратния проводник и СЛ се определят от

сближението a (разстоянието между линията и влияещия проводник – КП или ОП) и специфичната проводимост на почвата σ :

$$M_i = 10^{-4} \ln \left[1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a_{екв_i}^2 \cdot \sigma \cdot f} \right], H / km \quad (4)$$

където: $a_{екв_i}$ е ширината на $i^{томо}$ сближение, m (определя се съгласно фиг. 2 и 4); σ – относителна проводимост на почвата в района, $1/\Omega \cdot m$; f – честотата на влияещия ток в КП / ОП (50 Hz).

Токът на късо съединение се изчислява с израза:

$$I_{кc} = \frac{U_n}{\sqrt{\left[2U_n^2 \left(\frac{1}{S_{кc}} + \frac{u_k}{100S_n} \right) + X_0 \cdot I_{кc} \right]^2 + [R_0 \cdot I_{кc}]^2}} \quad (5)$$

където: U_n е номинално захранващо напрежение на контактната мрежа; $S_{кc}$ е мощност на трансформатора при късо съединение на шините на подстанцията; S_n е номиналната мощност на трансформатора; u_k е напрежение на късо съединение на трансформатора, %; X_0 и R_0 са съответно реактивната и активната съставки на еквивалентното съпротивление на контактния и обратния проводници и релсите, Ω/km ; $I_{кc}$ е дължината на частта от контактната мрежа, включена в окъсената верига, km.

Токът на късо съединение е максимален, когато възниква непосредствено до тяговата подстанция, но тогава СЛ няма да бъде подложена на влиянието му. Влиянието е максимално, когато $I_{кc}$ е изчислен за най-неблагоприятния случай – късо съединение в единия край на участъка, в който е разположена линията.

Продължителното напрежение се определя за режим, при който през контактния проводник при натоварване протича максимално допустимия ток за продължително време ($I_{екв} = 600$ А). Изчислява се съгласно следните изрази:

$$U_{np} = U_{np_{кн}} - U_{np_{он}} \quad (6)$$

$$U_{np_{кн}} = \omega \cdot I_{екв_{кн}} \cdot K_{\phi} \cdot \sum_{i=1}^n M_{кн_i} S_i I_{e_i} \quad (7)$$

$$U_{np_{он}} = \omega \cdot I_{екв_{он}} \cdot K_{\phi} \cdot \sum_{i=1}^n M_{он_i} S_i I_{e_i} \quad (8)$$

където K_{ϕ} е коефициент, който характеризира увеличаването на индуктираното напрежение вследствие несинусидалната форма на тяговия ток. Приема се $K_{\phi} = 1,15$.

Определянето на стойностите на всички величини е съгласно методиката за $U_{кр}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разгледано влиянието на тяговата контактна мрежа върху съседни кабелни линии от системи на железопътна инфраструктура (линии НН, осигурителни, комуникационни и др.). Те са подложени на магнитно влияние и са предложени методики за определяне на индуктираните напрежения с краткотрайно (при късо съединение) и продължително действие (при преминаване на влак) – $U_{кр}$ и U_{np} . За намаляване на влиянието се предлага при модернизация да се предвидат напълно компенсирани контактни мрежи (с обратен проводник) – по този начин тяговата линия е близка до симетричната и излъчените електромагнитни полета от контактния и обратния проводник взаимно се компенсират. Токът през релсите и почвата е понижен, което означава значително намаляване не само на магнитното, а и на галваничното влияние.

След определянето на индуктираните напрежения те трябва да се съобразят с допустимите за конкретната съседна линия и да се вземат мерки за изключване на прилежащата апаратура при надвишаване на пределните стойности.

REFERENCE

- [1] Ivanov E., Electromagnetic compatibility, Sofia, 2011 // Иванов Е., Електромагнитна съвместимост, София, 2011.

- [2] Zakaryukin V., Electromagnetic compatibility of devices of electrified railways, Methodological manual, Irkutsk State University of Railways, 2003 // Закарюкин В., Электромагнитная совместимость устройств электрифицированных железных дорог, Методическое пособие, Иркутский государственный университет путей сообщения, 2003.
- [3] EN 50149:2012 Railway applications. Fixed installations. Electric traction. Copper and copper alloy grooved contact wires // БДС EN 50149:2012 Железопътна техника. Стационарни инсталации. Електрическа тяга. Профилни контактни проводници от мед и медни сплави. 2018
- [4] Ivanov E., Methodological guidelines for assessing the influence of the contact network on adjacent lines, Sofia, 2015 // Иванов Е., Методическо ръководство за оценка на влиянието на контактната мрежа върху съседни линии, София, 2015.