

---

**ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ ЧРЕЗ МОДЕЛИРАНЕ В СРЕДАТА  
НА МАТЛАВ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ЛЕДОТОПЕНЕ  
ПРИ ТЯГОВИ КОНТАКТНИ МРЕЖИ  
ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК – ЧАСТ II**

**Никола Стамболиев, Любомир Секулов**  
[nstamboliev@abv.bg](mailto:nstamboliev@abv.bg), [res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“  
София, ул. „Гео Милев № 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** железопътен транспорт, контактна мрежа, обледяване, влаково движение

**Резюме:** Контактните мрежи за променлив ток са специални конструкции и основното им предназначение е да пренасят електрическа енергия от тяговите подстанции (ТП) до електрическите товари. Те запазват електрическите транспортни средства чрез осъществяване на непрекъснат електрически контакт между контактната мрежа и токоснемателя на транспортното средство. Тяговите контактни мрежи работят при изключително тежки метеорологични и експлоатационни условия, като върху тях непрекъснато действат различни постоянни и променливи електрически и механични сили, породени от загряване, собственото тегло, опъването на проводниците, натиска на токоприемника и др.. Те се експлоатират на открито, поради което върху тях агресивно въздействат и атмосферните фактори - температурни изменения, вятър, сняг и заледяване.

Метеорологичните условия през зимния период подпомагат заледяването на проводниците, в частност образуването на ледена обвивка (кора) върху контактния проводник. По този начин се влошава токоснемането, което от своя страна е предпоставка за нарушаване на графика за движение и пропускателната способност на участъка от железопътната инфраструктура.

Въпреки, че през последните няколко години в нашата страна зимните периоди не са толкова агресивни, има проблемни железопътни участъци, в които ледообразуването по контактната мрежа е значително и създава описаните по-горе проблеми. Известни са редица механични и електрически методи за борба с ледообразуването по контактната мрежа.

За целите на изследването е избран конкретен проблемен участък от контактната мрежа на ЖП транспорт у нас, характеризиращ се с чести обледявания на контактния проводник и нарушаване на графика на движение. В настоящия доклад (част 2), са изследвани конкретни параметри, ограничаващи ледообразуването, при избрано свързване на тяговите подстанционни трансформатори към електроенергийната система и тяговата контактна мрежа. Избран е вариант на запазване на участъка

при несфазирани тягови подстанции. Поради невъзможност изследването да бъде направено в реални експлоатационни условия е избран метод, посредством моделиране на изследвания обект с реалните му параметри в средата на Matlab. Направена е верификация на получените резултати с тези от проведено аналитично изследване.

## 1. Въведение

Поради невъзможност изследването да бъде направено в реални експлоатационни условия е избран метод, посредством моделиране на изследвания обект с реалните му параметри (железопътния участък между подстанции Червена вода и Разград) в средата на Matlab. Моделирането е направено в рамките на три етапа: при сфазирани подстанции(част I); при несфазирани подстанции (част II); честотен метод (част III).

В настоящия доклад е използвана схема, при която уравнилителния ток се получава от неравенство на напреженията по фаза. Двете фидерни зони са свързани посредством ОСП, т.е. ТП Червена вода и ТП Разград работят паралелно. Техните вторични напрежения са еднакви по големина, но са дефазирани на  $60^\circ$ .

### 1. Симулация на Matlab в средата на Simulink на участъка от Червена вода-Разград.

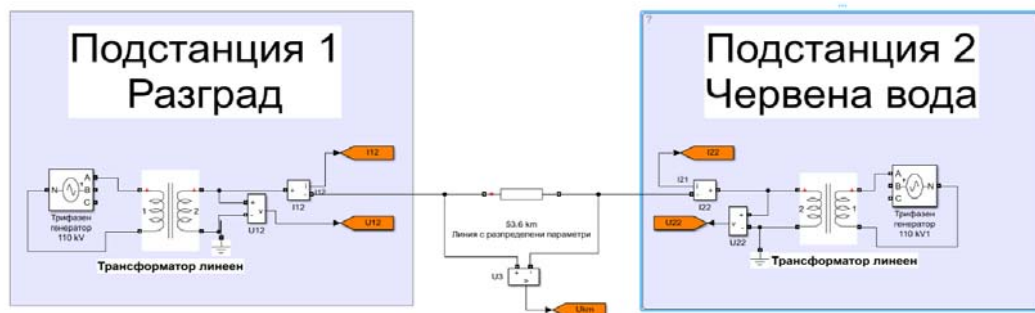
Основните характеристики на Контактен проводник от КМ в дадения участък са показани в таблица 1.

Таблица 1

Дължина на участъка	53.6	km
Площ на Контактен проводник от КМ	1900	m <sup>2</sup>
Маса на Контактен проводник от КМ	48025	kg
Сечение на Контактен проводник от КМ	100	mm <sup>2</sup>
Плътност на Контактен проводник от КМ	8960	kg/m <sup>3</sup>
Специфичен топлинен капацитет на Контактен проводник от КМ	447	J/kg/K
Комплексно съпротивление на Контактен проводник на КМ, релса и н.в.	0,183+j0575	Ω/km
Капацитет на КМ	11	nF/km

Релсовият път е със следните характеристики – релси тип 49Е1; Носещото въже на КМ са Vz 70 mm<sup>2</sup> и Контактен проводник CuETP 100 mm<sup>2</sup>; Трансформаторите са модел ЕМРУ 10500/110.

На фиг.1 е показана електрическата схема на изследвания участък между Разград и Червена вода с разпределени параметри на КМ.

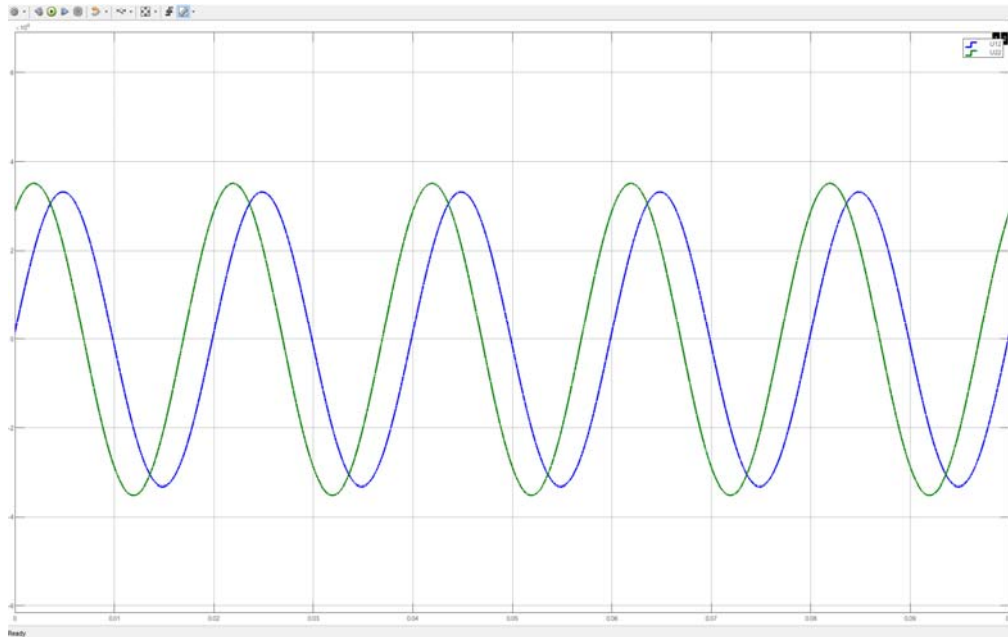


Фиг. 1 Електрическа схема на изследвания участък

На вторичната страна на трансформаторите има измерватели на ток и напрежение. В схемата са заложили обобщени стойности на съпротивлението, капацитета и индуктивността на КМ, носещите въжета и релсовия път показани в Таблица 1.

За симулацията са зададени стойности на вторичната страна на трансформаторите, които са еднакви и са в диапазона на напрежения от 19 kV до 29kV. Изходните напрежения са дефазирани на  $60^\circ$ . Симулацията е извършена за температурата на околната среда  $-2^\circ\text{C}$ .

Напреженията U12 и U22 на вторичните намотки на трансформаторите на двете подстанции са дефазирани на  $60^\circ$  и графично са показани на фиг. 2.



**Фиг 2 Напрежения на вторичната страна на трансформаторите в подстанция Разград и Червена вода**

За температурата на проводника от КМ над околната среда е валидна следната зависимост.

$$(1) \tau = \tau_y \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}}\right) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_H}} + \tau_{ок}, ^\circ\text{C}$$

Където,

$\tau_y = \frac{Q}{A}$  – установена температура. Времето, за което се достига равновесна температура без да се отдава температура в околната среда;

$T_H = \frac{c}{A}$  – времева константа на нагряването, която характеризира скоростта на нагряването на КМ(градиент на нарастване).;

$c$  – специфичен топлинен капацитет на материала;

$Q$  – количество топлина;

$A$  – контактната площ;

$t$  – времето за нагряване на проводника;

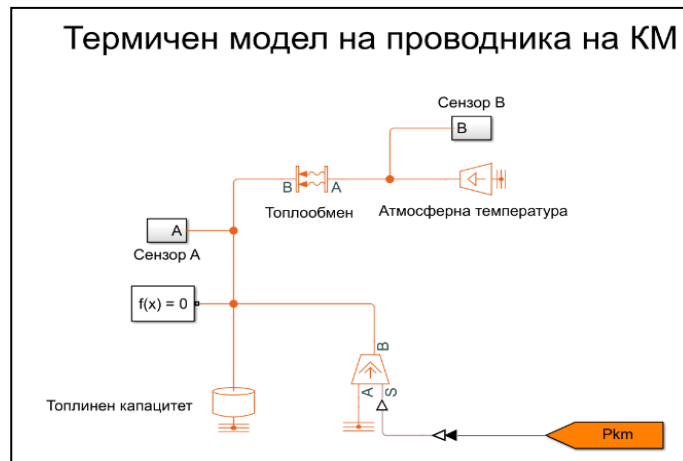
$\tau_0$  – начална температура;

$\tau_{ок}$  – температура на околната среда.

Уравнение на нагряването.

$$(2) \tau = \tau_y \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_y}}\right), \text{ } ^\circ\text{C}$$

Разработен е термичен модел на КМ показан на фиг. 3 в който са заложили параметрите на КМ от изследвания участък



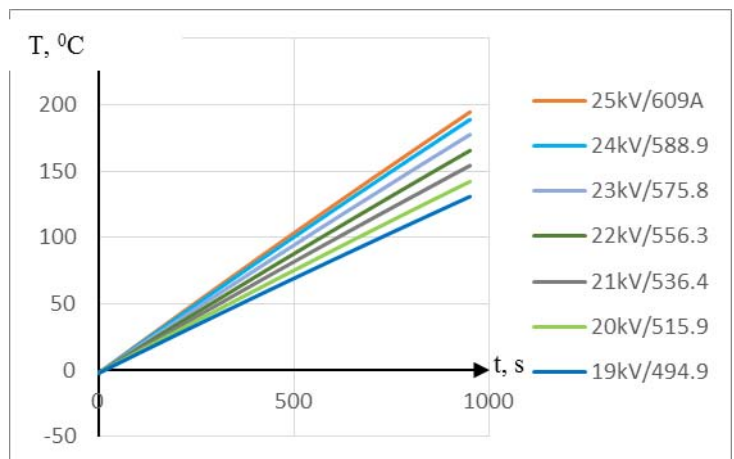
Фиг 3 Термичен модел на проводника на КМ

В термичния модел са заложили конкретните стойности на параметрите на КМ от изследвания участък.

Резултатите от симулацията са показани в Таблица 2. Резултатите за нагряването на проводника във функция от времето и при различни стойности на изходното напрежение на трансформаторите са показани графично на фиг. 4

Таблица 2

U12 = U22	I <sub>rms</sub>	°C/min	E/min
kV	A	°C/min	MJ
25	609.3	14.813	278
24	588.9	11.963	270
23	575.8	11.24	254
22	556.3	10.54	237
21	536.4	9.77	221
20	515.9	9.04	204
19	494.9	8.31	188



Фигура 4 Нарастване на температурата във функция от времето

Където, U12 и U22 са изходните напрежения в трансформаторите в подстанциите Разград и Червена вода, I<sub>rms</sub> е ефективната стойност на тока между двете подстанции и °C/min е нарастването на температурата на проводника на КМ за първата минута.

В последната колона е изразходваната енергия за нагряване на проводника за една минута.

## 2. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направената симулация на Matlab за участъка от Червена вода до Разград, съгласно резултатите представени в таблица 2, се установява, че най-голям ток се получава при напрежение 25 kV. Големината на тока е 609.3, А, от гледна точка на допустимите токове на контактната мрежа и останалите съоръжения е задоволителна и подходяща, за да може контактната мрежа да се загрее до необходимата температура и да се постигне желани резултат на ледотопене. В рамките на 5min, съгласно характеристиките показани на фиг.4 ледотопеното може да се осъществи при всички изходни напрежения на вторичната намотка на подстанционния трансформатор. При всички изследвани напрежения установената температура е над 1000 °С, която е недопостима за материалите от която е изградена мрежата, което налага надежден контрол на температурата на нагряване. Изследването се обосновава на факта, че голям брой съседни тягови подстанции в ЖП транспорт са несфазирани. Подобен метод за ледотопене може да се използва само в случаите, когато има инсталирана подходяща амтоматика за дефазирание на напреженията на първичната страна на един от двата трансформатора.

### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Димитров Г., И. Петров, И. Ангелов, М. Вълков. Универсален микропроцесорен регулатор за управление на отоплителни уреди в електрически транспортни средства. , Механика, транспорт, комуникации, том 13, брой 3/3, 2015 г, статия №1250, стр. X-49 – X-54., 2015г.
- [2] Златков М. – “Контактната мрежата за градски електротранспорт като възобновяем енергиен източник” , Младежки Научен Форум “МЛАД ФОРУМ“ ВТУ Тодор Каблешков 2016.05.16. Научно списание „Механика Транспорт Комуникации“ ISSN 2367-6558 (print) том 5, брой 1, 2016 г. статия № 1299, ISSN 2367-6612 (online) <http://www.mtc-aj.com> <https://mtc-aj.com/article.1299.bg.htm>, 2016г.
- [3] Карякин Р.Н. Тяговые сети переменного тока. Транспорт, Москва, 1964 г.
- [4] Техническа документация на тягови подстанции и КМ експлоатирани в железопътния транспорт.

# INVESTIGATION AND ANALYSIS THROUGH MODELING IN THE MATLAB ENVIRONMENT OF THE POSSIBILITIES OF ICE MELTING IN AC ACTIVE TRAIN NETWORKS - PART II

Nikola Stamboliev, Lubomir Sekulov  
[nstamboliev@abv.bg](mailto:nstamboliev@abv.bg), [res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** railway transport, overhead contact line, ice, train movement

**Abstract:** AC OCLS are special constructions and their main purpose is to transmit electricity from traction substations (TP) to electrical loads. They supply electric vehicles by making continuous electrical contact between the catenary and the pantograph of the vehicle. Traction contact networks operate in extremely severe meteorological and operational conditions, and they are constantly exposed to various constant and variable electrical and mechanical forces caused by heating, own weight, wire tension, pantograph pressure, etc .. They are operated outdoors, due to which they are aggressively affected by atmospheric factors - temperature changes, wind, snow and icing.

The meteorological conditions during the winter period support the icing of the conductors, in particular the formation of an ice shell (crust) on the contact conductor. In this way, the current collection deteriorates, which in turn is a prerequisite for the violation of the traffic schedule and the capacity of the section of the railway infrastructure.

Although in the last few years in our country the winter periods are not so aggressive, there are problematic railway sections in which the ice formation on the contact wire is significant and creates the problems described above. A number of mechanical and electrical methods for combating ice formation on the catenary are known.

For the purposes of the study, a specific problematic section of the contact network of railway transport in our country was selected, characterized by frequent icing of the contact wire and violation of the traffic schedule. In this report (part II), specific parameters limiting the ice formation are studied, when the connection of the traction substations to the power system and the traction catenary is selected. A variant of power supply of the section at non-phased traction substations is chosen. Due to the impossibility to perform the research in real operating conditions, a method was chosen by modeling the studied object with its real parameters in the Matlab environment. Verification of the obtained results was made with those of the conducted analytical research.