

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

Никола Стамболиев, Георги Павлов, Любомир Секулов
nstamboliev@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg, 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 заледаване.

Метеорологичните условия през зимния период подпомагат заледаването 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 I), са изследвани конкретни параметри, ограничаващи ледообразуването при избрано свързване на тяговите подстанционни трансформатори към електроенергийната система и тяговата контактна мрежа. Избран е вариант на захранване на участъка при сфазирани подстанции.

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. Направена е верификация на получените резултати с тези от проведено аналитично изследване. 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 направена симулация на участъка Червена вода - Разград при сфазирани подстанции. Известно е, че съгласно закона на Джаул-Ленц, когато по проводниците протича ток, част от електрическата енергия се трансформира в топлинна енергия. Една част от тази енергия се акумулира в проводниците, вследствие на което тяхната температура се повишава, а останалата част се отдава на околната среда.

Нека да допуснем, че през контактната мрежа преминава ток $I_{don}=const$. След достатъчно по време действие на този ток, загряването на контактната мрежа може да достигне стойност равна на допустимата. Времето за достигане на това загряване на контактната мрежа е в порядъка на $25\div 30$ min [2].

Като се има предвид токоразпределението между носещото въже (през носещото въже преминава около 20 % от общия ток) и контактния проводник, както и големината на допустимия ток (в границите от 600 до 900 A) може да бъде определена необходимата за ефективно разтопяване токова плътност, която до е в границите от 3 до 6 A/mm².

В настоящия доклад се разглежда електрически метод за разтопяване на залежаванията базиращ се на схеми с уравнителни токове посредством моделиране в средата на Matlab.

2. СИМУЛАЦИЯ НА МАТЛАВ 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 [4]

Таблица 1

Дължина на участъка	53.6	km
Площ на Контактен проводник от КМ	1900	m ²
Маса на Контактен проводник от КМ	48025	kg
Сечение на Контактен проводник от КМ	100	mm ²
Плътност на Контактен проводник от КМ	8960	kg/m ³
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

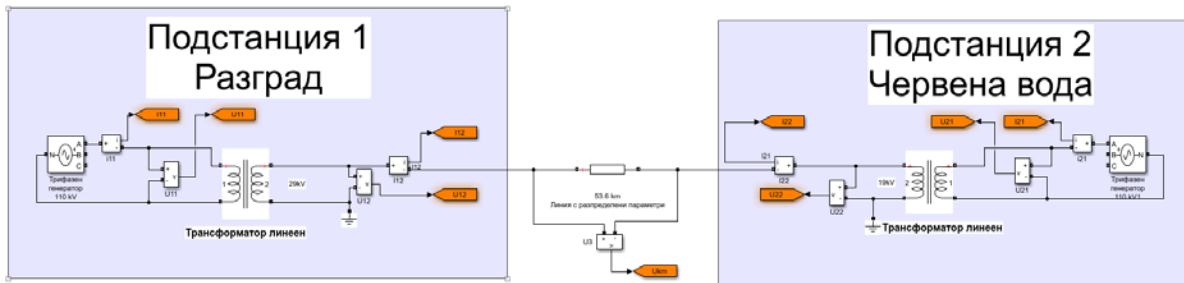
Трансформаторите са със следните параметри.

Таблица 2

Модел	EMPY 10500/110
Мощност	10500 kVA;
Ток нам. ВН	- 95,5 A;
Ток нам. НН	- 382 A;
Напрежение нам. ВН	- 110 ± 12x1,25% kV;
Напрежение нам. НН	- 27,5 kV;

Напрежение на късо съединение $u_k\%$ ВН – НН - 10 %;

На фиг.1 е показана моделираната в средата на *Simulink* електрическа схема на изследвания участък между Червена вода-Разград, като е използвана схема с разпределени параметри на КМ.



Фиг. 1 Моделирана електрическа схема на изследвания участък

На вторичната страна на подстанционните трансформатори са включени измерватели на ток и напрежение. [1]

За симулацията са зададени стойности на вторичната страна на трансформаторите, които са различни и в диапазона на напрежения от 19 kV до 29kV. Изходните напрежения са синфазни (сфазирани подстанции). Симулацията е направена за температурата на околната среда -2°C , като се приема, че проводниците на КМ са обледени, без да се взема предвид скоростта и посоката на вятъра, както и не е отчетена дебелината на леденото покритие.

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,

$$\tau_y = \frac{Q}{A} - \text{установена температура;}$$

$T_H = \frac{C}{A}$ – времеконстанта 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;

τ_0 – начална температура;

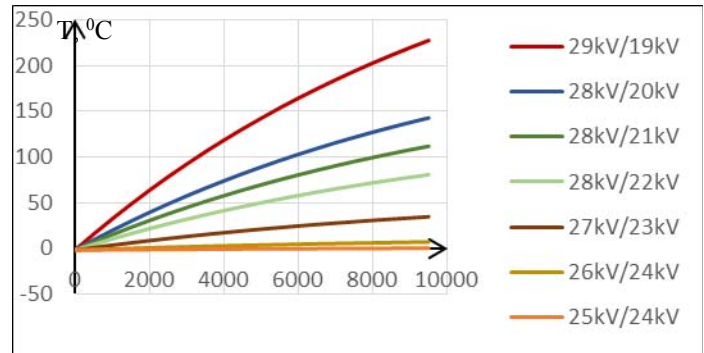
$\tau_{ок}$ – температура на околната среда.

Резултатите от симулацията са показани в Таблица 3.

На фиг. 2 е показано нагряването на проводника на КМ в зависимост от разликата на напреженията в двата трансформатора.

Таблица 3

U12	U22	dU	I _{rms}	C/min	E/min
kV	kV	kV	A	C/min	MJ
25	24	1	22.6	0.023	0.44
26	24	2	46.92	0.094	1.8
27	23	4	95.8	0.38	7.32
28	22	6	144	0.86	16.6
28	21	7	169	1.21	22.8
28	20	8	195	1.6	29
29	19	10	244	2.506	46

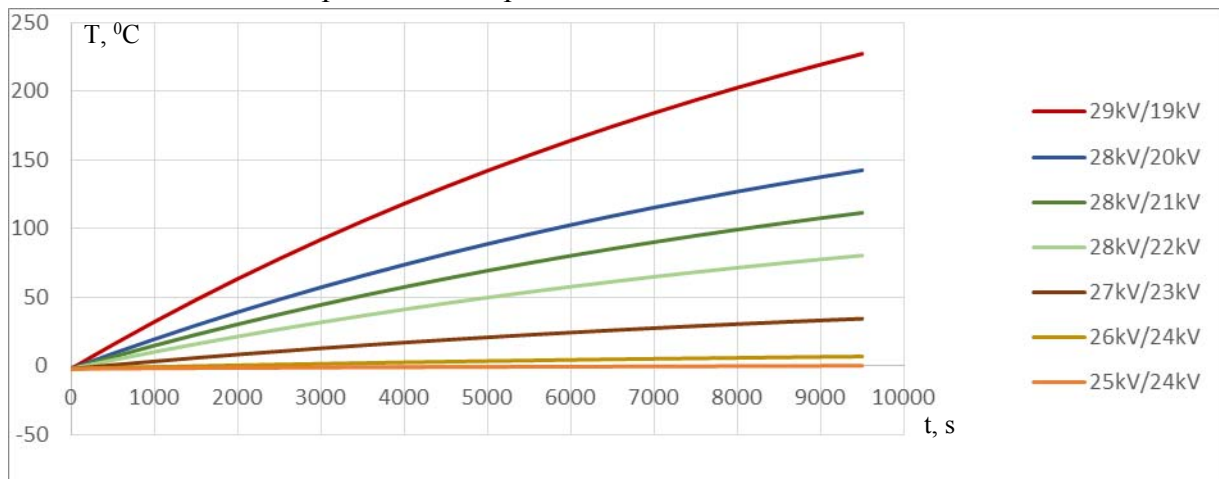


Фигура 2 Изменение на температурата във времето при различни стойности на подстанционните напрежения

Където, U12 и U22 са изходните напрежения на трансформаторите в подстанциите Червена вода - Разград, ΔU е разликата между тези напрежения, I_{rms} е ефективната стойност на тока между двете подстанции и $^{\circ}C/min$ е нарастването на температурата на проводника на КМ за първата минута.

На фигура 3 са показани резултатите от симулацията за установената температура на проводника на КМ. [3]

В таблица 2 са получените стойности на температурата на проводника в зависимост от тока и времето за нагряване.



Фигура 3 Установена температура на проводника на КМ

В таблица 4 са показани стойностите на температурите при различни напрежения на вторичната намотка на подстанционните трансформатори, като цветно са маркирани стойностите та желаната температура.

Таблица 4

t	22.6A	46.92A	95.8A	144A	169A	195A	244A
s	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
500	-1.83292	-1.31649	0.779591	4.284457	6.654	9.012	15.47
1000	-1.67307	-0.66258	3.438856	10.29687	14.93	19.55	32.18
1500	-1.52015	-0.03697	5.983006	16.04901	22.85	29.63	48.17
2000	-1.37384	0.561563	8.417022	21.55215	30.43	39.27	63.46
2500	-1.23387	1.134182	10.74567	26.81706	37.68	48.5	78.1
3000	-1.09995	1.682013	12.97352	31.85407	44.62	57.32	92.1
3500	-0.97184	2.206129	15.10493	36.67302	51.25	65.77	105.5
4000	-0.84926	2.707557	17.14407	41.28338	57.6	73.84	118.3
4500	-0.732	3.187279	19.09494	45.69415	63.68	81.57	130.6
5000	-0.61981	3.646235	20.96135	49.91399	69.49	88.97	142.3
5500	-0.51248	4.085322	22.74698	53.95116	75.05	96.04	153.5
6000	-0.40979	4.505402	24.4553	57.81356	80.37	102.8	164.2
6500	-0.31155	4.907298	26.08968	61.50877	85.45	109.3	174.5
7000	-0.21756	5.291796	27.6533	65.04401	90.32	115.5	184.3
7500	-0.12764	5.659649	29.14924	68.42622	94.98	121.4	193.7
8000	-0.04161	6.011579	30.58042	71.66202	99.44	127.1	202.7
8500	0.040689	6.348274	31.94965	74.75774	103.7	132.5	211.3
9000	0.11943	6.670394	33.2596	77.71945	107.8	137.7	219.6
9500	0.194761	6.978569	34.51285	80.55296	111.7	142.7	227.5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направената симулация на изследвания участък, съгласно резултатите представени в таблица 2, се установява, че най-голям ток се получава при разлика от 10 kV между изходните напрежения в трансформаторите на двете съседни подстанции – Разград и Червена вода. Максималната големина на тока при 244A осигурява установена температура от 400 °C при загряване 16 часа и 35 min, което е нерентабилно и би разрушило проводника. О друга страна при 33 минути нагриване би осигурило 64,4 °C, което е достатъчно за ледотопене. Това е възможно най-бързото ледотопене при тези условия и за този конкретен участък като се използва разликата в напреженията в трансформаторите на подстанциите. При подходящ избор на разликата в напреженията на двете подстанции ледотопеното би могло да се извършва без да се прекъсва движението на подвижния състав.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Димитров В., Г. Неджиб, Анализ на напреженови трансформатори при реконструкция на подстанция 110/10 kV, Международна научна конференция „Транспорт-2019“, Боровец, 3 - 5 октомври 2019, научно списание “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 17, брой 3/3, 2019, стр. X-35 – X-40, статия № 1873, 2019 г.
- [2] Карякин Р.Н. Тяговые сети переменного тока. Транспорт, Москва, 1964 г.
- [3] Томчева М. Изследване и анализ на параметрите на видовете токоизправителни схеми, експлоатирани в токоизправителни станции, Четвърта научна конференция с международно участие „Комуникации, електрообзавеждане и информатика в транспорта – KEIT 2018“, 28.09. - 30.09.2018 г., гр. Банско, (сп. Механика, Транспорт, Комуникации. том 16, брой 3/2, 2018 г., ISSN 1312-3823, стр. X105-X110), 2018г.
- [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 I

Nikola Stamboliev, Georgi Pavlov, Lubomir Sekulov
nstamboliev@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg, 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 I), specific parameters limiting the ice formation at selected connection of the traction substations to the power system and the traction catenary are investigated. A variant of power supply of the section at phased substations has been 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.