

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ИНДУКТИРАНИ НАПРЕЖЕНИЯ ОТ ГРАДСКИЯ ТРАНСПОРТ

П. К. Петров¹, Кр. М. Иванов¹, Г. Ц. Велев¹, Цв. К. Върбов¹

¹Технически университет - Габрово

RESEARCH AND ANALYSIS OF INDUCED VOLTAGES FROM URBAN ELECTRIC TRANSPORT

P. K. Petrov¹, Kr. M. Ivanov¹, G. Ts. Velev¹, Ts. K. Varbov¹

¹Technical University – Gabrovo

Abstract

The report analyzes the process of capacitive charging of large vehicles (cranes, buses, etc.), as well as transporting petroleum products and other flammable liquids when moving under the catenary of trolleybuses. Calculations have been made regarding the safety of the people in them and the possibility of an explosion.

Keywords: electromagnetic compatibility.

ВЪВЕДЕНИЕ

По улиците, по които преминават линиите на градския тролейбусен транспорт, преминава голяма част от градския автобусен и товарен трафик. Съвместяването на трафика се осъществява на дълги участъци, при което пътно превозно средство (ППС) по дълги участъци се движат под контактната електрическа тролейбусна мрежа. Тя е постояннотокова двупроводна, изолирана от земята с номинално напрежение 600 V [1].

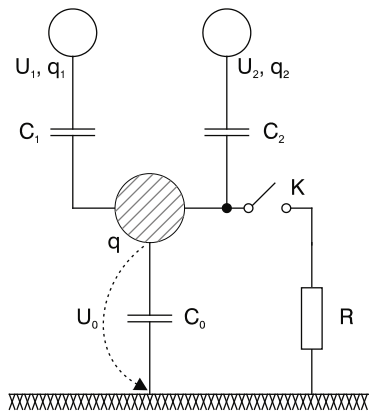
Констатирани са случаи на искров разряд при допирание на пътник до металната част на автобуса, обикновено при качване [2]. Тъй като захранващата контактна мрежа е постояннотокова, липсва магнитната съставяща на индуктираните напрежения при пренебрегване наличните хармонични в изправеното напрежение [7]. Предполага се, че повишаването на електрическия потенциал на ППС с големи габарити е вследствие на заряд при движението му под проводниците на контактната мрежа. Този за-

ряд се натрупва от електростатична индукция, възникваща между проводниците на контактната мрежа и изолираното чрез гумите си превозно средство при триенето във въздуха при движението си под тоководещите проводници [4, 5]. Този заряд може да окаже негативно въздействие на цифровата техника, която навлиза и в електрическия транспорт. [8]

ИЗЛОЖЕНИЕ

За доизясняване на това явление могат да се поставят следните въпроси:

- коя от двете съставлящи е преобладаваща - капацитивната съставляща на индуктираните напрежения или натрупването на електростатични заряди;
- какви електрически потенциали биха се появили, ако върху контактната мрежа или в близост до нея падне мълния;
- каква опасност от възникване на взрив или пожар би възникнала, ако под контактната мрежа се намира автоцистерна, превозваща запалими вещества.



Фиг. 1. Принципно схема за оногледяване на възникването на capacitивна съставяща на индуктираните напрежения.

Потенциалът U_0 на ППС се определя от капацитетите на телата C_1 , C_2 и C_0 [3, 6]. При допир на човек до металната конструкция на ППС неговият потенциал спада до минимална стойност, тъй като C_0 се шунтира от активното съпротивление R на човешкото тяло. На фиг.1 това се илюстрира със затваряне на ключа K . През човешкото тяло със съпротивление R ще протече ток, който се изразява с установена и свободна съставящи.

$$i = i_y + i_{cb}. \quad (1)$$

Величините U_0 , i_y , i_{cb} могат да се определят, като се използват потенциалните уравнения на Максвел:

$$\begin{cases} U_1 = \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2 + \alpha_{10}q \\ U_2 = \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2 + \alpha_{20}q \\ U = \alpha_{10}q_1 + \alpha q_{20} + \alpha_{00}q \end{cases} \quad (2)$$

където: U , q са потенциал и заряд на ППС.

За удобство при обработката, система (2) може да се запише в матричен вид:

$$\begin{cases} [U_\Phi] = [\alpha_\Phi][q_\Phi] + [\alpha_C]q \\ U = [\alpha_P][q_\Phi] + \alpha_{00}q \end{cases}, \quad (3)$$

където: $[U_\Phi]$, $[q_\Phi]$ са матрици стълбове от зарядите q_1, q_2 ;

$$[\alpha_C] = \begin{vmatrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{20} \end{vmatrix};$$

$$[\alpha_\Phi] = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{vmatrix}; [\alpha_P] = \begin{vmatrix} \alpha_{10} & \alpha_{20} \end{vmatrix}.$$

От първото уравнение на (3) се определя $[q_\Phi]$:

$$[q_\Phi] = [\alpha_\Phi]^{-1}([U_\Phi] - [\alpha_C]q). \quad (4)$$

Това решение се замества във второто уравнение на системата (3) и се получава:

$$U = [\alpha_P][\alpha_C]^{-1}[U_\Phi] - \left\{ \alpha_{00} - ([\alpha_P][\alpha_\Phi]^{-1}[\alpha_C]) \right\} q \quad (5)$$

където: съгласно [1] - $U_0 = [\alpha_P][\alpha_C]^{-1}[U_\Phi]$;

$$A = \alpha_{00} - [\alpha_P][\alpha_\Phi]^{-1}[\alpha_C].$$

След заместване (5) добива вида:

$$U = U_0 + A.q. \quad (6)$$

Анализът на (6) се извършва в следната последователност:

- моментната стойност на потенциала на ППС преди допир на човек ще бъде $U = U_0$, тъй като $q = 0$;

- след допир на човек до проводящите части на ППС потенциала се определя от активното съпротивление на човека R и i_{cb} т.е.

$$U = R i_{cb}. \quad (7)$$

Свободната съставяща на тока добива вида:

$$i_{cb} = -l \frac{dq}{dt}. \quad (8)$$

След заместване на (8) в (7) се получава израз за напрежението, който може да се замести в (6). Получава се уравнение по отношение на заряда q , чието решение е представено в (10).

$$-Rl \frac{dq}{dt} - Aq = U_0, \quad (9)$$

$$q = \frac{U_0}{A} \left(e^{-\frac{A}{Rl}t} - 1 \right). \quad (10)$$

След заместване на решението за q от (10) в (8) за свободната съставяща се получава:

$$i_{cb} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{A}{Rl}t}. \quad (11)$$

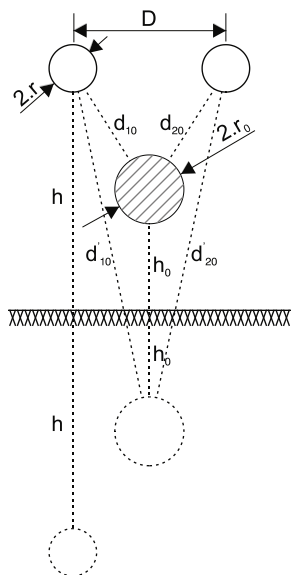
Тъй като контактната мрежа е постояннокова установена съставяща за тока няма да има, а най-голямата стойност на протичащия през човека ток ще бъде в момента на допир, т.е. при $t = 0$ (11) добива вида:

$$i_{MAX} = \frac{U_0}{R} . \quad (12)$$

Времеkonстантата на затихване на процеса ще бъде:

$$\tau = \frac{Rl}{A} . \quad (13)$$

Схемата, показваща параметрите, които участват при изчисляването на потенциалните коефициенти е показана на фиг. 2, аналитичните изрази са дадени в (14).



Фиг. 2. Схема, онагледяваща параметрите за изчисляване на потенциалните коефициенти

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{11} = \alpha_{22} &= \frac{1}{2\pi \varepsilon_0} \ln \frac{2h}{r} \\ \alpha_{12} = \alpha_{21} &= \frac{1}{2\pi \varepsilon_0} \ln \frac{\sqrt{(2h)^2 + D^2}}{D} \\ \alpha_{00} &= \frac{1}{2\pi \varepsilon_0} \ln \frac{2h}{r} \\ \alpha_{10} &= \frac{1}{2\pi \varepsilon_0} \ln \frac{d'_{10}}{r} \\ \alpha_{20} &= \frac{1}{2\pi \varepsilon_0} \ln \frac{d'_{20}}{d_{20}} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Означенията на фиг. 2 са както следва:
 h – височина на контактната мрежа ($h = 4 \text{ m}$);
 h_0 – височина на ППС (автобус, автоцистерна) спрямо земята ($h_0 = 2,5 \text{ m}$);
 r – радиус на проводниците на контактната мрежа ($r = 8,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}$);
 r_0 – радиус на еквивалентното проводящо тяло, което имитира ППС ($r_0 = 1,25 \text{ m}$);
 D – разстояние между контактните проводници ($D = 0,9 \text{ m}$).

$$\begin{aligned} d_{10} = d_{20} &= \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + (h - h_0)^2} \\ d'_{10} = d'_{20} &= \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + (h + h_0)^2} \end{aligned} ; \quad (15)$$

U_ϕ – напрежение на контактния проводник ($U_\phi = 600 \text{ V}$);

- за анализа се приема съпротивлението на човека ($R = 1000 \Omega$);

l – дължина на ППС ($l = 10 \text{ m}$);

След реализиране на изчисленията по посочените изходни данни се получават следните резултати:

$$U_0 = 76,97 \text{ V}; \quad A = 1,835 \cdot 10^{10}; \quad \tau = 0,545 \mu\text{s}; \quad i_{MAX} = 76,97 \text{ mA}.$$

Като се има предвид факта, че минималната енергия на възпламеняване на бензин е $W_{MIN} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ [3], а приблизителният капацитет на ППС например бензиновоз е $C = 1000 \text{ pF}$, максимално допустимото напрежение на ППС спрямо земя, при който е възможно възникване на взрив е:

$$U_{MAX} = \sqrt{\frac{0,1 W_{MIN}}{C}} = 173,2 \text{ V}$$

От това следва, че при движение под контактната мрежа зареждането е 2,3 пъти по-малко от U_{MAX} и следователно опасност от взрив не съществува.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От получените числени резултати могат да се направят следните изводи:

- Пътното превозно средство (автобус, цистерна) се зарежда до сравнително ниски стойности на напрежението, което не представлява опасност за човека;
- Понеже времеконстантата е малка, разрядът протича за кратко време, което е благоприятно;
- от предходните два извода следва, че съпроводящият разряда звуков ефект (пукане) може да предизвика стресова ответна реакция (рязко дръпване, неволен удар, препъване и т. н.), което да завърши с травма;
- през летния сезон, когато има продължително засушаване и високи температури, превозните средства натрупват електрически заряди от триенето във въздуха и пътната настилка до напрежения 170-500 V [4,5], което превишава значително изчисленияте. Обикновено те са причина за проявата на описаните по-горе ефекти;

Препоръчва се ППС и особено автобусите да имат антистатична връзка с пътната настилка, чрез която да се намалява нивото на електрическия потенциал. За автоцистерни, превозващи петролни продукти споменатата антистатична връзка с пътната настилка е задължителна съгласно ПП на Закона за движение по пътищата.

REFERENCE

- [1] Сопов, В. И., Н. И. Щуров, Системы электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе, часть 2, Учебник для вузов, Университеты России, 2017 // Sopov, V. I., N. I. Shturov, Sistemay elektrosnabzhenia elektricheskogo transporta na postoyannom, chast 2, Uchebnik dlya vuzov, Universitetay Rossii, 2017.
- [2] Анев, Г. и др., Вредни действия на електричеството и защита от тях, София, Техника, 1987 // Anev, G. i dr., Vredni deystvia na elektrichestvoto i zashtita ot tyah, Sofia, Tehnika, 1987.
- [3] Саранин, В. А., О взаимодействиях двух-электрически заряженных проводящих шаров, УФН, том 42, стр. 385–390 // Saranin, V. A., O vzaimodeystvii dvuhelektricheski zaryazhennaih provodyashtih sharov, UFN, tom 42, str. 385–390.
- [4] Дядова, В., Статично електричество в промишлеността. София, Профиздат, 1980 // Dyadova, V., Statchno elektrichestvo v promishlenosta. Sofia, Profizdat, 1980
- [5] Стройни, Я., Статично електричество – въпроси и отговори, София, Техника, 1981 // Stroyni, Ya., Statchno elektrichestvo – vpravosi i otgovori, Sofia, Tehnika, 1981.
- [6] Желамский, М. В., Электромагнитное позиционирование подвижных объектов, Москва, изд. ФИЗМАТЛИТ, 2013. с. 320 // Zhelamskiy, M. V., Elektromagnitnoe pozitsionirovanie podvizhnaih obaektov, Moskva, izd. FIZMATLIT, 2013. s. 320.
- [7] EN 61000-4-2:1995, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test.
- [8] Gankova-Ivanova Zw., Wirtschaftliche Herausforderungen der Digitalisierung der Energetik, 30 Years FDIBA, Proceedings of the 9th FDIBA Conference, Sofia, Bulgaria, 26-27 November, 2020, S. 51-54