

Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Department of Power supply of Railways, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 793-19-11, e-mail: elsn@mail.ru

VOLTAGE QUALITY ON TRACTION LOAD BUSES OF DC SUBSTATIONS

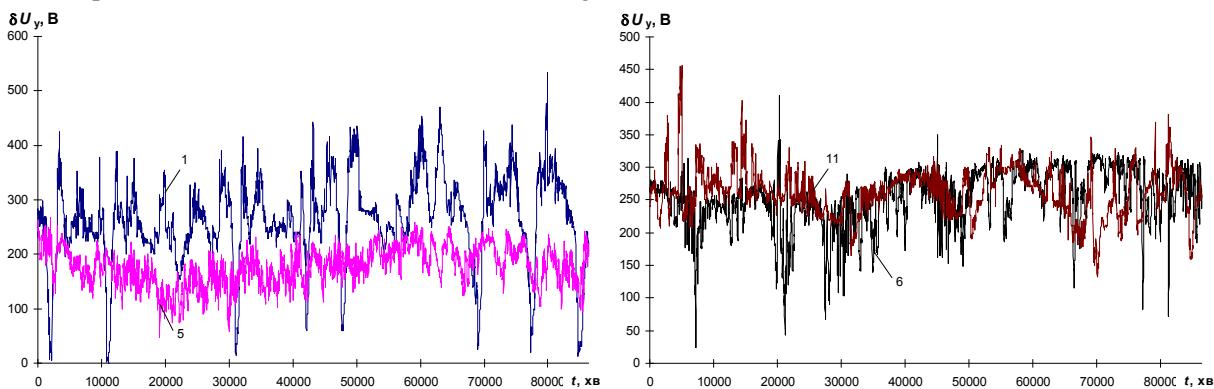
Introduction

Voltage mode on buses of the DC 3,3 kV traction substation influences to operating characteristics of functioning of the electric railways. Thus, dynamic character of voltage leads to conventionality of using the existing norms of voltage levels. These norms need the new estimation criterias of power supplies quality on the DC traction lines. The level of voltage and voltage deviation on traction lines are the most important indicators of power quality for traction power supply systems that give a power to rolling stock. The efforts of specialists over the past decades [1] were directed to ensuring

the necessary level of voltage and minimizing its deviations. In order to investigate the voltage modes the authors have widely used statistical experimental studies [2, 3]. This allows to define the numerical characteristics of the voltage on the DC bus, which can be used for building a intelligent system for controlling the modes of traction lines.

The analysis of experimental researches of voltage modes

The selective results of experimental researches of voltage deviations on traction substations are showed on fig. 1, and statistical characteristics are shown in tab. 1.



Pic. 1. A steady voltage deviation on 3,3 kV buses of DC traction substations

Table 1

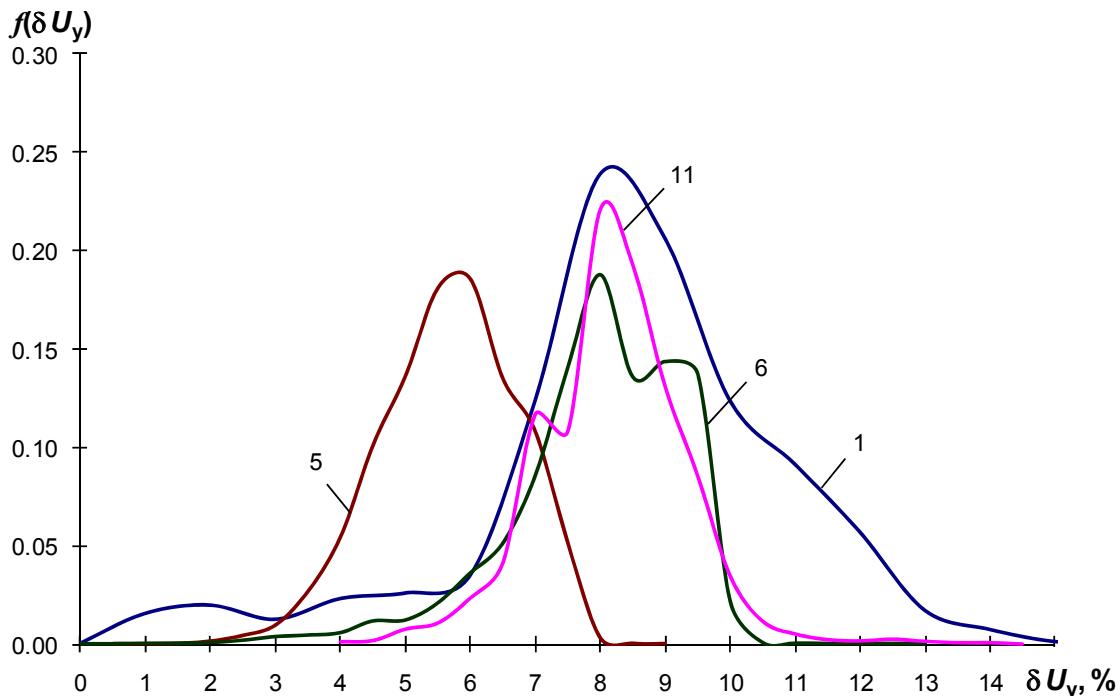
Numerical characteristics of voltage deviation on 3,3 kV feeders

№	Parameters	Number of substation			
		1	5	6	11
1	Mathematical expectation $M(\delta U_y)$, % / V	<u>7,98</u> 263,38	<u>5,41</u> 178,52	<u>7,71</u> 254,28	<u>7,93</u> 261,82
2	Mode $Mo(\delta U_y)$, % / V	<u>8,48</u> 280,00	<u>5,47</u> 192,36	<u>9,23</u> 304,48	<u>7,88</u> 260,00
3	Median $Me(\delta U_y)$, % / V	<u>8,06</u> 266,00	<u>5,47</u> 180,41	<u>7,83</u> 258,25	<u>7,91</u> 261,00
4	Variance $D(\delta U_y)$, % ² / V ²	<u>5,68</u> 6180,27	<u>1,09</u> 1185,08	<u>1,70</u> 1850,87	<u>1,25</u> 1361,69
5	Standard deviation $\sigma(\delta U_y)$, % / V	<u>2,38</u> 78,61	<u>1,04</u> 34,42	<u>1,30</u> 43,02	<u>1,12</u> 36,90
6	Asymmetry $As(\delta U_y)$	-0,74	-0,33	-1,09	0,21
7	Excess $Ex(\delta U_y)$	1,40	-0,17	1,92	1,82

The sharp changes of voltage on buses (fig. 1) corresponds to the following modes of substation: inverter condition – a leap upwards, a rectifier condition – a leap downwards, or changing the traction loads.

The analysis of the obtained results shows that numerical characteristics of a of ΔU distribution differ insignificantly for each given substation (tab. 1). In other words their empirical distributions

have a symmetric character. (fig. 2). It's impossible to find the analytical distribution of voltage for all interval of observation. It is necessary to notice that during calculations of modes of traction power supply systems it's widely used a normal distribution for the description of regularity changes of voltage. At the same time, this approach is approximate and not allows us to gain a necessary accuracy during regulating the modes of operation (tab. 2).



Pic. 2. The empirical distributions of voltage deviations on feeder 3,3 kV for four different substations

Table 2

Numerical characteristics of voltage deviation on 3,3 kV feeders

№	Sub-station	Parameters of the normal distribution	Pearson criterion, χ_e^2	The critical value, χ_{cr}^2	Result
1	S	$\sigma = 72,299 \ M = 3538,9$	1401,4	21,026	Hypothesis is rejected
2	L	$\sigma = 80,842 \ M = 3569,2$	3547,0	22,362	Hypothesis is rejected
3	Sin	$\sigma = 34,425 \ M = 3478,5$	52,709	21,026	Hypothesis is rejected
4	N	$\sigma = 43,2 \ M = 3557,2$	10993,0	26,296	Hypothesis is rejected
5	EI	$\sigma = 130,57 \ M = 3348,8$	728,82	22,362	Hypothesis is rejected

The problem of selection the most appropriate distribution law of the voltage exists also on high-voltage lines [4]. It was proposed to determine its day interval sequences using Instant probability densities, which allowed him to apply a normal distribution for each clock time with their statistical characteristics.

Unfortunately, this approach to description of the regularity changes of voltage on the traction substation buses didn't give for us the necessary result . Tabl.3 shows the example of distribution law selection of voltage on the buses for one of given substations.

Table 3

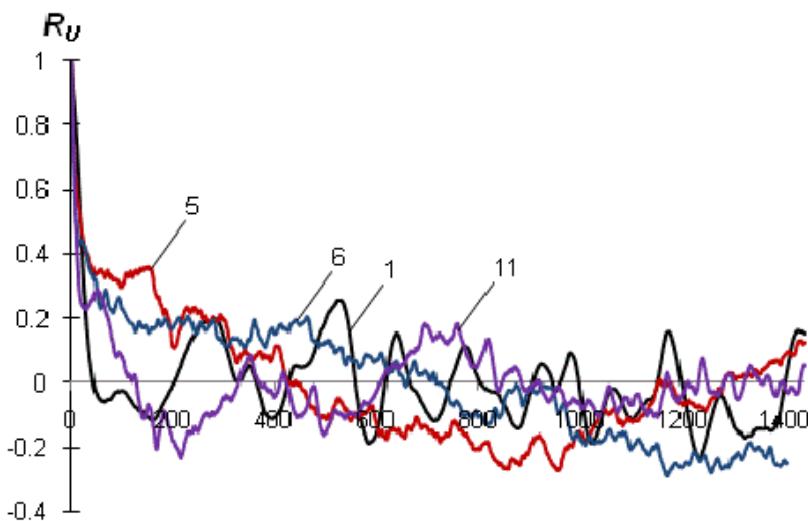
Selection of the best distribution law of voltage on substation S

Nº h.	Distribution law	Parameters	Criterion, χ_p^2	The critical value, χ_{kp}^2	Result (+ / -)
1	Weibull	$\alpha = 159,53 \beta = 3521,9$	5,89	14,07	+
2	Hi-square	$v = 248 \beta = 3244$	18,03	14,07	-
3	Lognormal	$\sigma = 0,0932 \mu = 5,4675 \gamma = 3235$	5,1	14,07	+
4	Weibull	$\alpha = 205,69 \beta = 3479,5$	3,85	14,07	+
5	Beta	$\alpha_1 = 2,7217 \alpha_2 = 3,359$ $a = 3411,9 b = 3521,4$	5,08	14,07	+
6	Lognormal	$\sigma = 0,02396 \mu = 6,9619 \gamma = 2369,5$	5,95	14,07	+
7	Log - logistical	$\alpha = 205,38 \beta = 3438,4$	14,06	14,07	+
8	Relej	$\sigma = 47,584 \gamma = 3388,6$	13,78	14,07	+
9	Inverse gaussian	$\lambda = 6,33 \cdot 10^8 \mu = 8672,8 \gamma = -5223,6$	7,79	14,07	+
10	Weibull	$\alpha = 167,17 \beta = 3482,6$	8,22	14,07	+
11	The normal	$\sigma = 20,422 \mu = 3457,7$	8,27	14,07	+
12	Relej	$\sigma = 47,095 \gamma = 3410$	10,3	14,07	+
13	Weibull	$\alpha = 167,17 \beta = 3482,6$	8,22	14,07	+
14	Normal	$\sigma = 18,744 \mu = 3484,1$	4,5	14,07	+
15	Logistic	$\alpha = 5,8694 \beta = 81,562 \gamma = 3412,9$	30,92	14,07	-
16	Normal	$\sigma = 17,325 \mu = 3502,9$	6,31	14,07	+
17	Normal	$\sigma = 16,13 \mu = 3523,2$	4,81	14,07	+
18	Beta	$\alpha_1 = 1,6859 \alpha_2 = 1,5137$ $a = 3438,6 b = 3551,7$	21,08	14,07	-
19	Log - logistical	$\alpha = 210,49 \beta = 3486,2$	29,06	14,07	-
20	Weibull	$\alpha = 257,83 \beta = 3523,6$	31,01	14,07	-
21	Logistic	$\alpha = 34,463 \beta = 468,03 \gamma = 3026,9$	12,69	14,07	+
22	Erlang	$m = 380 \beta = 1,7967 \gamma = 2796,6$	33,70	14,07	-
23	Weibull	$\alpha = 150,64 \beta = 3490,1$	31,01	14,07	-
24	Log - logistical	$\alpha = 218,6 \beta = 3466,0$	3,46	14,07	+

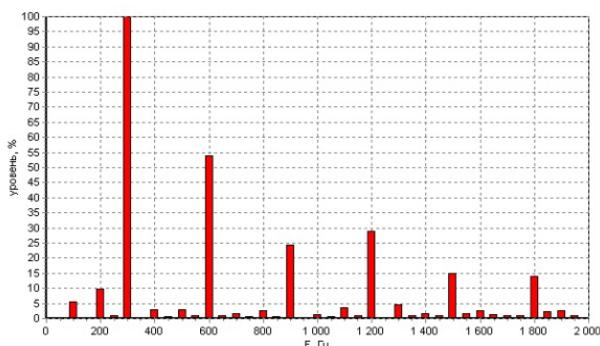
Fig.3 shows the correlation plot of voltage on buses 3.3 kV on traction substations. We can see that they contain explicitly expressed periodic structure. So, the original signal contains nonrandom periodic structure. By means of the Fourier analysis it's demonstrated that harmonics with maximum amplitudes in the range to 1 Hz, first of all, have periods 24, 12, 8 and 4 hour. This approach also became the methodological basis for description of regularity of voltage changes on buses of the DC traction substations [5].

The analysis of experimental researches of voltage harmonics

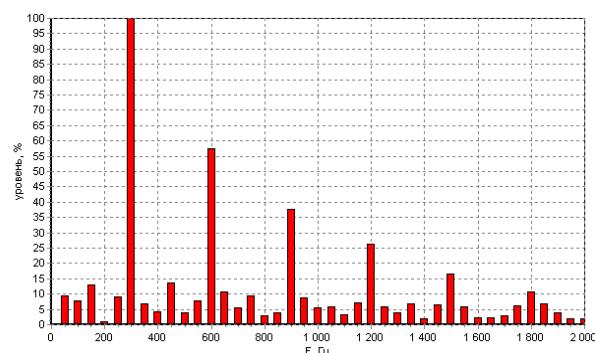
The analysis of the experimental data shows that the spectrum of the rectified voltage on 3,3 kV buses of the traction substations contains a wide spectrum of the harmonics, including canonical and not canonical harmonics. So, it is actually impossible to establish a connection between changing of operational modes of traction substations and spectrum, as well as to assess the level of mutual influence of external power supply system and traction one. As an example, fig. 4-9 shows the typical spectrums of voltage 3.3 kV in different modes of traction substation equipment.



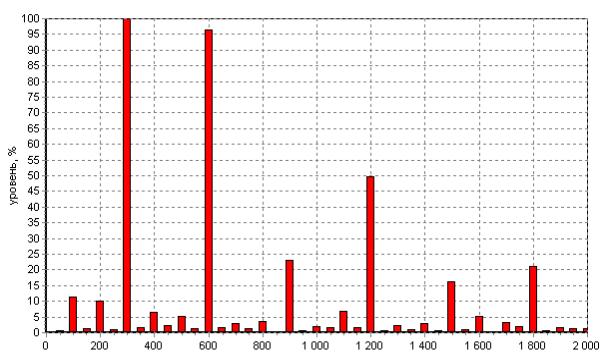
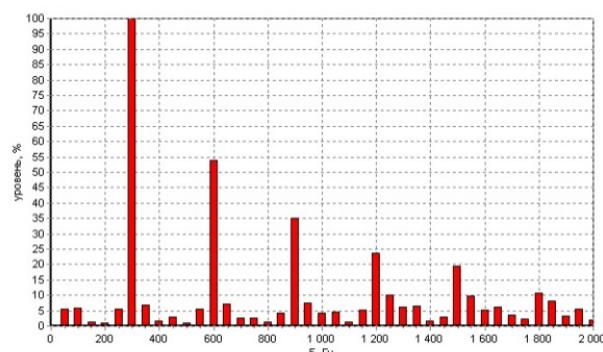
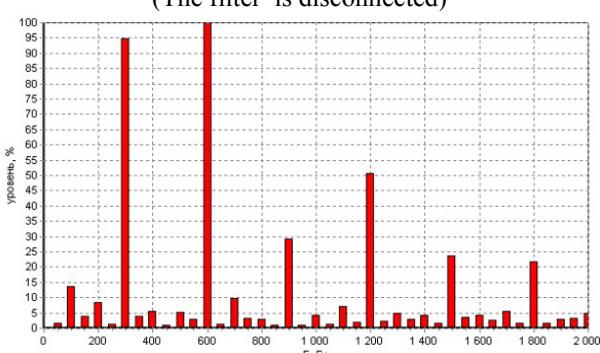
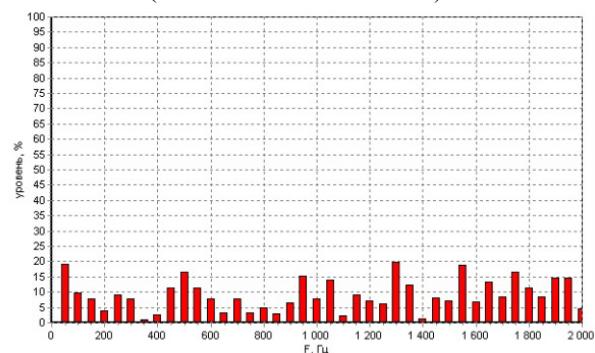
Pic. 3. Autocorrelation functions of voltage on buses 3,3 kV for the different substations



Pic. 4. Spectrum of Voltage 3,3 kV, rectified mode



Pic. 5. Spectrum of voltage 3,3 kV, inverter mode

Pic. 6. Spectrum of voltage 3,3 kV, rectified mode
(The filter is disconnected)Pic. 7. Spectrum of voltage 3,3 kV, inverter mode
(The filter is disconnected)Pic. 8. Spectrum of voltage 3,3 kV, inverter mode
11/16/2007 11:10 (the filter is switched on 2 elements)Pic. 9. Spectrum of voltage 3,3 kV, forced mode
(the traction load is disconnected)

The analysis of experimental researches of voltage harmonics

Analysis of the long-term results of experimental studies of the voltage modes on DC railways performed at the Department of "Power supply of railways" allows to make the following conclusions:

- the voltage modes on buses of the traction substations, as well as on feeders of traction substation are defined by random factors and have a weak correlation between each others;

- the numerical characteristics of the distribution laws of ΔU differ only a little between each others for each of the given substations. Thus, their empirical distributions have the symmetric shape. Investigation of the voltage distribution law for all interval is a complex task. Therefore, it's better using the analytical expressions in the polynomial form for the tasks of the regulation of modes on traction lines;

- the spectrum of rectified voltage on 3,3 kV buses of traction substations contains a wide amount of harmonics including canonical and not canonical ones. Thus, it's actually impossible to find out a correlation between changing of operational modes of traction substations and spectrums.

Internal reviewer Kuznetsov V. G.

Voltage is one of the parameters of the traction power grid mode, and affects the energy performance of its functioning. Characteristics of electricity transmission networks are pulling for a change of the consumers and change their operation modes, restrictions imposed by train each other depending on their relative position, as well as limitations due to ensuring the transportation process. Voltage level at the traction substation buses and hence on the current collectors locomotives, depends not only on changes in traction load, but also from changes in load and foreign consumers district energy system, while the nature of factors that affect the voltage is nonlinear and non-stationary. At the same voltage level as an indicator of the quality of the functioning of the traction power supply system must be regarded as a parameter, which optimizes the transmission and consumption of electricity for electric rolling stock. In this regard, the regulation voltage in traction network has always been one of the most important practical tasks. To answer how to manage stress regime in the traction power supply system can be divided into three groups: local, zonal control and centralized management. Their use is intended to achieve the overall optimum. The development of modern computing technology provides the possibility of recording the parameters modes networks with more accurate and high-speed devices, and also used for data processing and rapid means of modern microprocessor and computer technology. This allows spanning more productively use the results to adjust the parameters of their operation modes. When running on energy saving measures today questions of optimal control mode voltage are of particular relevance. For optimum operation control traction networks necessary to perform analysis of their functioning in real time. One component of this process is an assessment of the law of distribution bus voltage traction substation, as one of the main parameters of the regime.

Keywords: voltage quality, direct current, traction load, substation, statistic, distribution law.

REFERENCES

1. Sychenko V. G. *Pokaznyky jakosti elektrozhivlennja u ttagovyh merezah postijnogo strumu* [Quality Indicators traction power in DC networks]. *Praci Incytutu elektrodynamiki NAN Ukrayiny. Special'nyj vypusk. Chastyna 2* [Proceedings Intstytutu Electrodynamics of NAS of Ukraine. Special Issue. Part 2], 2011, pp. 5-13.
2. Miroshnichenko R. I. *Rezhimy raboty elektrifitsirovannykh uchastkov* [Modes electrified sections]. Moscow, Transport Publ., 1982. 207 p.
3. Markvardt G.G. *Primenenie teorii veroyatnostey i vychislitel'noy tekhniki v sisteme energosnabzheniya* [Application of probability theory and computer technology in the power supply system]. Moscow, ransport Publ., 1972. 224 p.
4. Dovgalyuk O. M. *Otsenka zakona raspredeleniya funktsii napryazheniya v pitayushchikh elektricheskikh setyakh* [Evaluation of the distribution law of the stress function in the supply of electrical networks]. *Svitlotekhnika ta elektroenergetika – Light and electricity*, 2008, no.1, pp.70-75.
5. Sychenko V. G. *Metodologiya modelirovaniya otkloneniy napryazheniya v podsistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya postoyannogo toka* [Modeling methodology voltage deviations in the subsystems of the traction power supply DC]. *Girnicha elektromekhanika ta avtomatika. Naukovo-tehnichniy zbirnik NGU* [Mining Electromechanics and Automation. Scientific and technical collection NMU], 2012, no.89, pp.48-53.

External reviewer Denisuk S. P.

УДК 621.321, 621.311

В. Г. СИЧЕНКО (ДНУЗТ)

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, кафедра Електропостачання залізниць, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.: (056) 793-19-11, ел. пошта: elsnz@mail.ru

ЯКІСТЬ НАПРУГИ НА ШИНАХ ТЯГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПДСТАНЦІЙ ПОСТИЙНОГО СТРУМУ

Напруга є одним з параметрів режиму тягової електричної мережі, та впливає на енергетичні показники її функціонування. Особливостями передачі електроенергії по тяговій мережі є зміна положення споживачів і зміна режимів їх роботи, обмеження, що накладаються поїздами один на одного залежно від їх взаємного розташування, а також обмеження пов'язані, загалом, із забезпеченням перевізного процесу. Рівень напруги на шинах тягової підстанції і, отже, на струмоприймах електровозів, залежить не лише від зміни тягового навантаження, але і від зміни навантаження районних споживачів і живлячої енергосистеми, при цьому характер чинників, що впливають на напругу, є нелінійним і нестационарним. При цьому рівень напруги, як показник якості функціонування системи тягового електропостачання, повинен розглядатися як деякий параметр, що оптимізує передачу і споживання електроенергії для електрорухомого складу. У зв'язку з цим регулювання напруги в тяговій мережі завжди було одним з важливих практичних завдань. На сьогоднішній день способи управління режимом напруги в системі тягового електропостачання можуть бути розділені на три групи: місцеве управління, зонне управління та централізоване управління. Їх застосування передбачає досягнення загального оптимуму. Розвиток сучасної обчислювальної техніки дає можливість реєстрації параметрів режимів роботи мереж за допомогою більш точних та швидкодіючих приладів, а також використовувати для їх обробки сучасні і швидкодіючі засоби мікропроцесорної і комп'ютерної техніки. Це дозволяє більше продуктивно використовувати отримані результати для коригування параметрів режимів їх роботи. В умовах виконуваних на сьогодні заходів по енергозбереженню питання оптимального керування режимом напруги мають особливу актуальність. Для оптимального управління режимами роботи тягових мереж необхідно виконувати аналіз функціонування їх в реальному часі. Однією із складових цього процесу є оцінка закону розподілу напруги на шинах тягової підстанції, як одного з головних параметрів режиму.

Ключові слова: якість напруги, постійний струм, тягове навантаження, підстанція, статистика, закон розподілу.

Внутрішній рецензент *Кузнецов В. Г.*

Зовнішній рецензент *Денисюк С. П.*

УДК 621.321, 621.311

В. Г. СЫЧЕНКО (ДНУЖТ)

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна,
Кафедра Электроснабжение железных дорог, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: (056) 793-19-11, эл. почта: elsnz@mail.ru

КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ ТЯГОВОЙ НАГРУЗКИ ПОДСТАНЦИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Напряжение является одним из параметров режима тяговой электрической сети, и влияет на энергетические показатели ее функционирования. Особенностями передачи электроэнергии по тяговой сети являются изменение положения потребителей и изменение режимов их работы, ограничения, которые накладываются поездами друг на друга в зависимости от их взаимного расположения, а также ограничения обусловленные, в целом, с обеспечением перевозочного процесса. Уровень напряжения на шинах тяговой подстанции и, следовательно, на токоприемниках электровозов, зависит не только от изменения тяговой нагрузки, но и от изменения нагрузки районных потребителей и внешней энергосистемы, при этом характер факторов, которые влияют на напряжение, является нелинейным и нестационарным. При этом уровень напряжения, как показатель качества функционирования системы тягового электроснабжения, должен рассматриваться как некоторый параметр, который оптимизирует передачу и потребление электроэнергии для электроподвижного состава. В связи с этим регулирование напряжения в тяговой сети всегда было одним из важных практических заданий. На сегодняшний день способы управления режимом напряжения в системе тягового электроснабжения могут быть разделены на три группы: местное управление, зонное управление и централизованное управление. Их применение предусматривает достижение общего оптимума. Развитие современной вычислительной техники обуславливает возможность регистрации параметров режимов работы сетей с помощью более точных и быстродействующих приборов, а также использовать для их обработки современные и быстродействующие средства микропроцессорной и компьютерной техники. Это позволяет более производительно использовать полученные результаты для корректировки параметров режимов их работы. При выполняемых на сегодня мероприятий по энергосбережению вопросы оптимального управления режимом напряжения имеют особенную актуальность. Для оптимального управления режимами работы тяговых сетей необходимо выполнять анализ функционирования их в реальном времени. Одной из составляющих этого процесса есть оценка закона распределения напряжения на шинах тяговой подстанции, как одного из главных параметров режима.

Ключевые слова: качество напряжения, постоянный ток, тяговая нагрузка, подстанция, статистика, закон распределения.

Внутренний рецензент *Кузнецов В. Г.*

Внешний рецензент *Денисюк С. П.*

© Sychenko V. G., 2013