

распределения нагрузки. Кроме того, применение приводов с быстроходными двигателями упрощает процесс согласования положений роторов, так как отношение несогласованной величины внутреннего угла  $\Delta\theta_{эл}$  к погрешности монтажа  $\Delta\theta_{мех}$ , обратно пропорционально частоте вращения двигателя и прямо пропорционально числу полюсов.

Особенностью динамики двухдвигательных приводов является возможность возникновения вынужденных колебаний, вызванных накопленной ошибкой в зубчатом зацеплении.

Применение специальных муфт пониженной жесткости позволяет более равномерно распределить нагрузку и ограничить её динамическую составляющую.

#### Список литературы

1. Стюарт М., Джонс Свалбонас (Metso Minerals). Крупногабаритные мельницы измельчения компании Metso Minerals / М. Стюарт, Свалбонас Джонс // Горн. пром-сть. – 2007. – №1 (70). – С.58–64.
2. Виноградов, Б.В. Вынужденные колебания двухдвигательных синхронных приводов барабанных мельниц / Б.В. Виноградов, А.В. Христенко // Наук. вісн. НГУ. – 2012. – №6. – С.72–76.
3. Виноградов, Б.В. Механический аналог синхронного двигателя / Б.В. Виноградов, Д. А. Федин // Научный вестник НГУ. – 2012. – №1. – С.78–82.
4. Виноградов, Б.В. Динаміка барабаних млинів: монографія / Б.В. Виноградов. – Д.: УДХТУ, 2004. – 127 с.

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Самусею В.І.*

УДК 621.337.41

**K. Losina, assistant, S. Yakimets, Ph.D. (tech.), Assoc. Prof.**

*Ukraine, Kremenchuk, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*

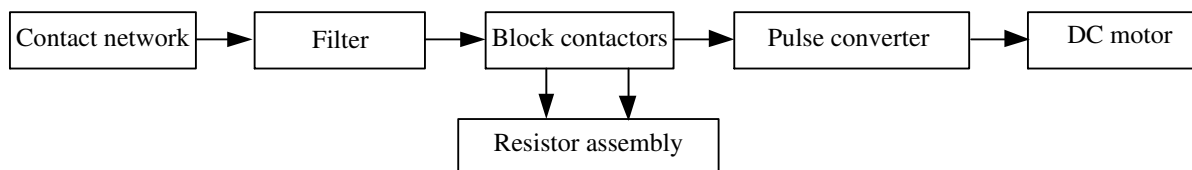
## RESEARCH OF THE POWER EFFECTIVENESS OF THE TRACTION ELECTROTECHNICAL COMPLEX MOTION TRAJECTORY REALIZATION IN A TROLLEYBUS WITH PEAK MOTOR EFFICIENCY

### Introduction

The requirements imposed on traction electrotechnical complex are increasing day by day. This is expressed in raising evaluation of quality, ease of implementation, efficiency, reliability and performance when the necessary criteria for optimality [1] are met.

The control systems of traction electrotechnical complex (TEC) of city electric transport are diverse. They are formed by power electric circuits, which include traction DC motors and devices, machines and converters and auxiliary circles, which include auxiliary electrical machines, heating and lighting devices.

Considerable part of the trolleybuses, operated in the cities of Ukraine, are equipped with rheostat-contact control systems (RCCS) of traction complex [2], the simplified structure is given in Fig. 1.



**Fig. 1. The structure of the electrotechnical complex of trolleybus with RCCS**

Such control systems of traction electrotechnical complexes have certain advantages: simplicity of construction and repair, relatively high controllability. They are characterized by some disadvantages: significant weight and dimension parameters, have high level of electrical energy losses in the resistors.

Development of power semiconductor technology has allowed a new quality mode control system of traction motors: thyristor-pulse, later – transistor-pulse [3] regulatory system, which simplified structure shown in Fig. 2.

Transfer to noncontact pulse control system significantly changes the scheme and the working conditions of traction complex of trolleybus, improving the traction performance and enhancing economic efficiency of electric traction. Stepless control provides automatic control of the engine, allows to obtain any traction characteristics. Soft start reduces energy loss and improves acceleration of trolleybus at start without increasing engine power, simplifies power circuit trolley. These control systems provide work of traction complex of trolleybus type ZYU-683, 14 Tr [3].

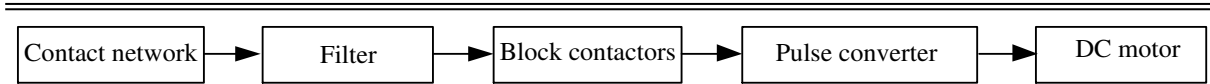


Fig. 2. Structure of the electrotechnical complex of trolley with pulse control system

Analysis of existing traction electric drive control systems has shown that different ways to improve the efficiency of TEC are used. For example, changing the way the engine excitation [4], we can extend its functionality, improve efficiency and reliability. Using additional devices at Tetko work in general, such as batteries [5], we can obtain higher energy-saving characteristics. In the existing control systems these issues are dealt with separately, but the problem of developing effective trajectories for maximum engine efficiency in transistor-pulse control systems is considered insufficiently.

The aim is to analyze the power effectiveness of the trajectory of the traction transistor-pulse electrotechnical trolleybus complex for maximum efficiency.

**Material and research results**

Analysis of modes of trolleybus TEC operation will be considered by the example of a schematic power circuit of TEC with transistor-pulse control system (Fig. 3) [5].

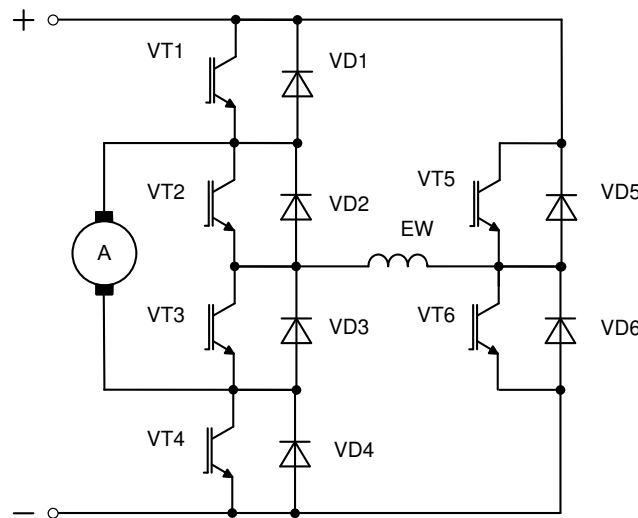


Fig. 3. Principle scheme of TEC with pulse control system

The scheme allows to realize the modes by changing the switching circuit elements (Table 1).

Table 1.

Mode switching semiconductor circuit elements						
Mode	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6
Moving forward in the full magnetic flux	1	0	0	0	0	PWM
Moving forward with the weakening of the magnetic flux	1	0	0	PWM	0	1
Deceleration	0	PWM	0	0	0	1

The problem of definition of good control consists in finding the optimal dynamic modes of electric-transport operation. Optimal control of complex electrotechnical trolleybus can significantly improve its performance.

To implement the control law of transistor-pulse system for maximum engine efficiency according to [7] analyzed and the parameters of optimal movement of trolleybus: the traversed path  $x$ , speed  $v$  and acceleration  $a$  are adjusted according to the following laws:

$$x = \frac{St^2(3T - 2t)}{T^3}; \quad w = \frac{6St(T - t)}{T^3}; \quad a = \frac{6S(T - 2t)}{T^3}, \quad (1)$$

where  $T$  - cycle time;  $t$  - time of pause;  $S$  - cycle path.

For the calculation of loss and efficiency of traction complex in the implementation laws of optimal control a TEC with pulse control system was simulated.

Fig. 4 shows a principal scheme and the equivalent circuit of DC Motor, using which calculation of the DC Motor in the development of mathematical models in the environment Matlab was conducted.

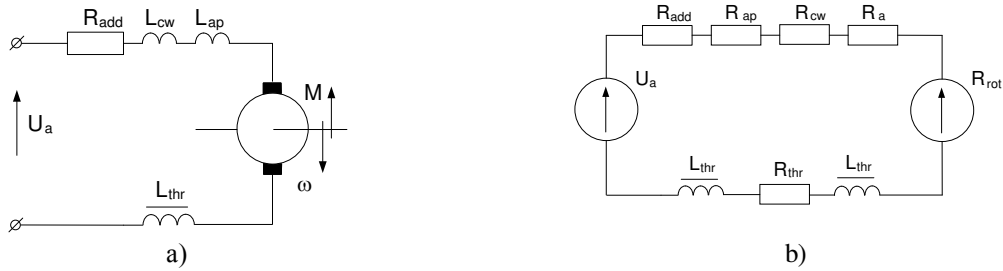


Fig. 4. Schematic diagram (a) and equivalent circuit (b) DC motor sequential excitation, respectively

The scheme model of TEC with pulse control system (Fig. 5, c) the DC Machine block shows DC motor DK-210 with nominal parameters:  $U = 550$  V;  $P_h = 110$  kW;  $n_{ном} = 1500$  rev / min;  $n_{max} = 3900$  rev / min;  $I_h = 220$  A,  $I_{cont} = 185$  A.

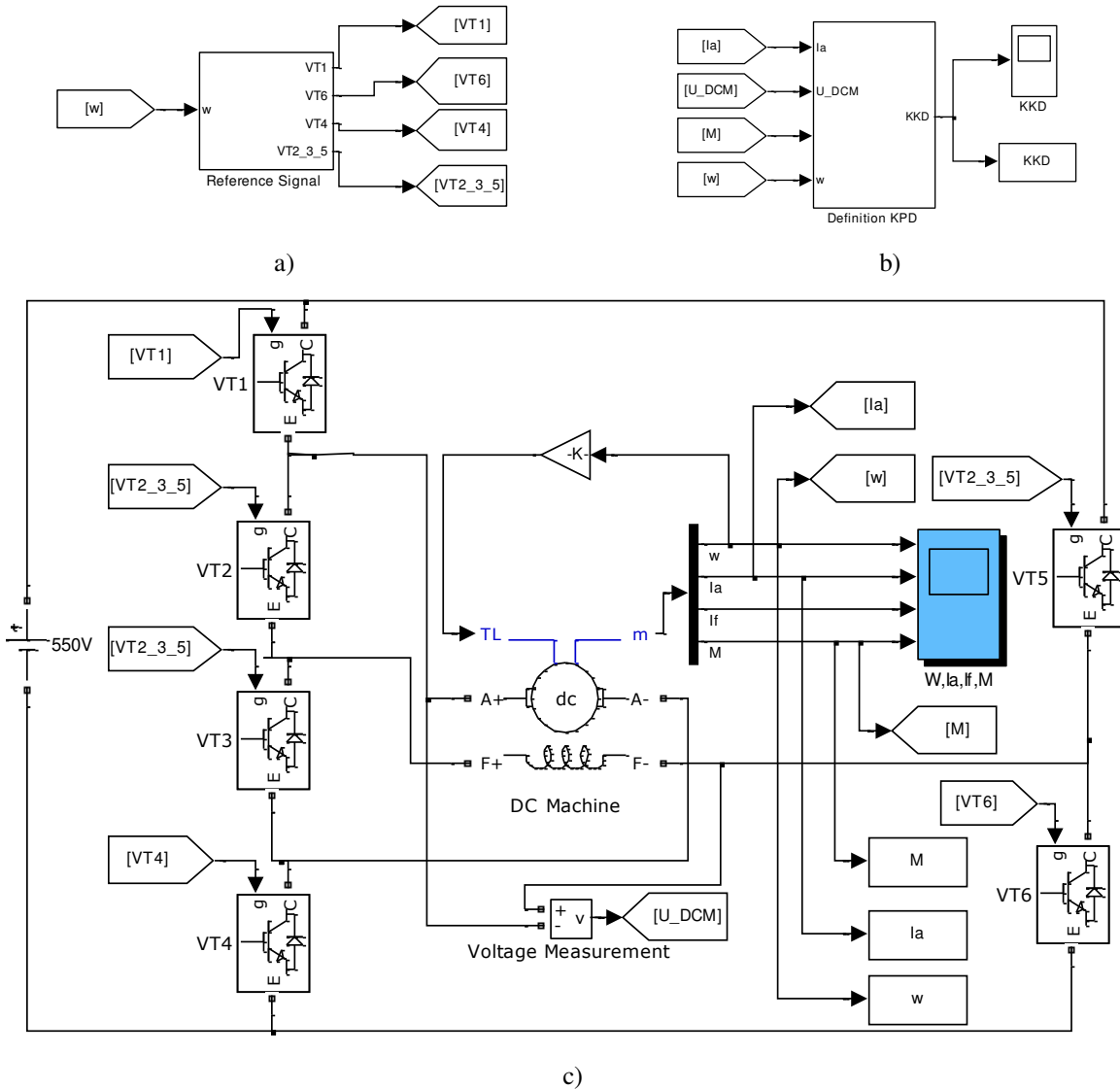


Fig. 5. Schematic model TEC with impulse control system

Transistors VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, shunted diodes, are part of the pulse converter. Subsystem Definition KPD (Fig. 5, b) calculates efficiency of the motor by the expression:

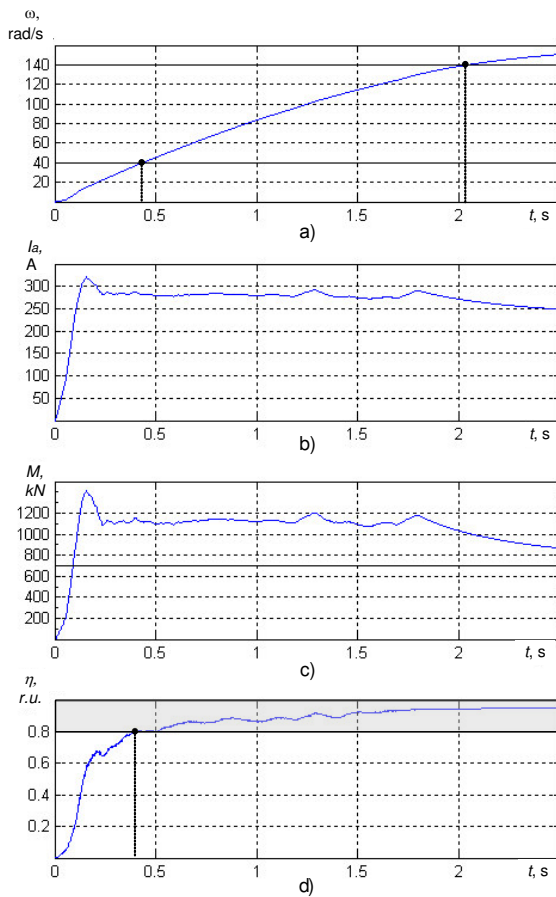
$$\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}} = \frac{M\omega}{I_a U}, \quad (2)$$

where  $M$  - moment of resistance;  $\omega$  - angular frequency of rotation of the motor;  $I_a$  - armature current;  $U$  - voltage armature.

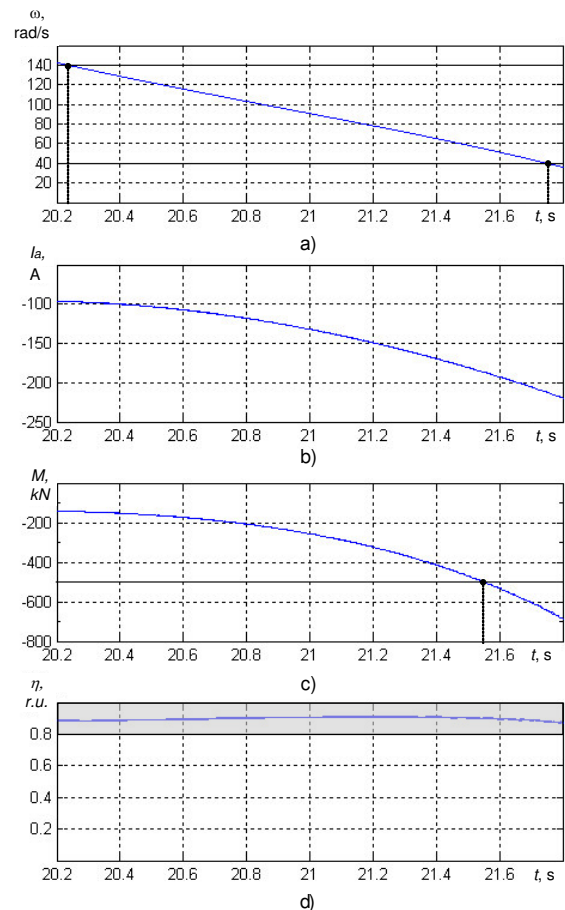
According to Table 1 and the set of trajectories of change of speed (1) subsystem Reference Signal (Fig. 5, a) generates the control signal, pulse-width modulation and the pulse distribution to control terminals of transistors.

The experiment resulted in obtaining characteristics of transients in TEC of trolleybus in the mode of acceleration (Fig. 6) and the mode of deceleration (Fig. 7) by changing the control signal of pulse converter to a parabolic law (1). In Fig. 6, d and Fig. 7, d a zone of the highest efficiency considering of published data DC Motor DK-210 can be observed.

At low speed (less than 40 rad/s) in acceleration and deceleration modes an ineffective mode of TEC operation is observed (Fig. 6, 7). At high speed, especially in the mode of deceleration, a decrease in performance of TEC operation can be seen (Fig. 7, d).



**Fig. 6. Characteristics of the motor at the mode of acceleration:**  
**a) the angular speed b) the armature current;**  
**c) the moment of resistance d) motor efficiency**



**Fig. 7. Characteristics of the motor at the mode of deceleration:**  
**a) the angular speed b) the armature current;**  
**c) the moment of resistance d) motor efficiency**

### Conclusion

1. The simulation of TEC with pulse control system has been made and the characteristics of transients in the acceleration and deceleration modes for parabolic optimal control law have been obtained.

2. An order of switching gates of semiconductor pulse converter and modes for optimal control of traction electrotechnical complex of trolleybus have been determined.

3. In the mode of acceleration and deceleration at low speed of traction electrotechnical complex of trolleybus there is ineffective operation.

#### References

1. Bakurov A. R. Reduce the power consumption power drive electrical transport. – Kazan : KGEU, 2005. – 256 p.
2. Koriahyna E.E., Koskyn O.A. Electric equipment of trams and trolleybuses. – Moscow : Transport, 1982. – 296 p.
3. Bohdan N.V. Trolleybus. The theory, design, calculation. – Minsk : Uradzhaj, 1999. – 346 p.
4. Patent № 2322751. MPK H02P7/298, H02P3/14, B60L9/12, B60L7/10. Control device of traction drive / Hlushenkov V.A., Fylyn Iu.Y., Khmarskyi V.N, 20.04.2008, № 11.
5. Patent № 83778. MPK (2013.01), H02P 7/00. Device for regulation traction drive with saving energy / Kurys L.V., Losina K.I., Byalobrzheski O.V., 26.11.2012, № 22.
6. Patent № 2005125490/11 MPK B60L 15/08. Traction drive / Maznev AS., Evstafev A.M., 20.01.2007, № 2.
7. Losina K.I. Energy efficiency control of electrical complex of trolleybus // Elektromekhanichni ta enerhetychni systemy, metody modeliuвання ta optymizatsii, March 28–29, 2012. – Kremenchuk, KrNU, 2012. – P. 237-239.
8. Sinchuk O.M., Lutvuns'kuj L.B., Fedorchenko K.I. The development of energy-efficient algorithm for optimal control of traction motor vehicle // Zbirnyk naukovykh prats XII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii “Problemy enerhoresursozberezhennia v elektrotekhnichnykh systemakh. Nauka, osvita i praktyka. – Kremenchuk, KDU, 2010. – P. 18-21.  
*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Сінчуком О.М.*

УДК 629.423.1

*Т.Ю. Сухоніс, Ю.О. Миколаєнко, О.В. Бялобржеський, канд. техн. наук*

*(Україна, м. Кременчук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського)*

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПОЗАШТАТНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ІНВЕРТОР – АСИНХРОННИЙ ДВИГУН ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДВОСИСТЕМНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА**

**Вступ.** Тяговий електротехнічний комплекс електровозів із системою напівпровідниковий перетворювач – асинхронний двигун є одним із перспективних, незважаючи на розвиток електровозобудування [3]. Надійність цих комплексів визначається, насамперед, нормальним функціонуванням інверторного перетворювача та асинхронного тягового двигуна. Прикладом електровозів з використанням таких технічних рішень можуть бути магістральні двосистемні електровози ЕП10, ЕП20. Будь-який тяговий комплекс має позаштатні режими роботи з подальшим можливим переростанням їх в аварійні у разі помилкового спрацювання елементів системи керування, виходу з ладу окремих силових блоків, електричних кіл та елементів [5]. Системи керування, цими електровозами мають широкі функціональні можливості [2], однак вони не мають вузлів ідентифікації позаштатної ситуації. Тому функціонування тягового електротехнічного комплексу електровоза не може бути якісним без рішення задачі оцінки нештатних ситуацій з поточним чи подальшим їх аналізом. Отже, актуальною задачею є дослідження параметрів режиму роботи силової схеми тягового електротехнічного комплексу електровоза у позаштатних ситуаціях.

**Мета роботи.** Аналіз структури тягового електротехнічного комплексу двосистемного електровоза, розробка моделі комплексу та дослідження режимів роботи у позаштатних ситуаціях.

**Матеріал та результати досліджень.** На початку розвитку електрифікації вітчизняної залізниці на електрорухомому складі використовувались тягові комплекси виключно постійного струму, які мають свої переваги (простота регулювання швидкості та обертового моменту тягового двигуна, робота з перевантаженням тощо). З часом їх почали замінювати на більш перспективні системи зі змінним струмом. Хоча наразі системи змінного струму прийняті як основні, системи з постійним струмом також продовжують використовувати [1]. Обидві системи об'єднують за допомогою станцій стикування, де відбувається заміна локомотивів постійного та змінного струму. Для виключення цих операцій та прискорення процесу використовують двосистемні електровози. Сучасний рівень напівпровідникової техніки дозволяє раціонально та ефективно реалізувати схемні рішення обох систем на певній апаратній базі.

На рис. 1 наведено схеми силових кіл двосистемного електровоза при живленні його від мережі постійного та змінного струму. При розробці силових схем багатосистемних електровозів завжди намагаються як найбільше використовувати основне тягове обладнання з метою оптимізації масогабаритних показників та вартості комплексу необхідних електричних апаратів.

Ключовими елементами, що визначають побудову силової схеми (рис. 1) тягового електротехнічного комплексу, є силові напівпровідникові пристрої перетворювача (випрямляч (В) та інвертор ( $I_{\text{и}}$ )) Для оптимальної роботи перетворювачів використовують специфічні схеми з'єднання електричних машин (М) (подвійна зірка на електровозі ЕП10) [2].