

## IMPROVING OF SINUSOIDAL FORM OF THE OUTPUT VOLTAGE IN SEMICONDUCTOR CONVERTERS

**PhD, Associate Professor Nerubatskyi Volodymyr, Postgraduate Hordiienko Denys**  
*Ukrainian State University of Railway Transport*

Autonomous voltage inverters are one of the most widely used in industry, as well as in the transport of semiconductor power converters [1–4]. In cases where autonomous voltage inverters are used in power supply and control systems of asynchronous and synchronous electric drives, the quality, namely the harmonic composition of the output voltage is not critical, so the motor torque is provided by sinusoidal output current [5, 6]. In a number of technical programs, the quality of the output voltage of stand-alone voltage inverters is a critical parameter.

An example of such autonomous voltage inverters are converters in the composition of electricity generation systems from renewable and alternative power sources, which is shown in Fig. 1.

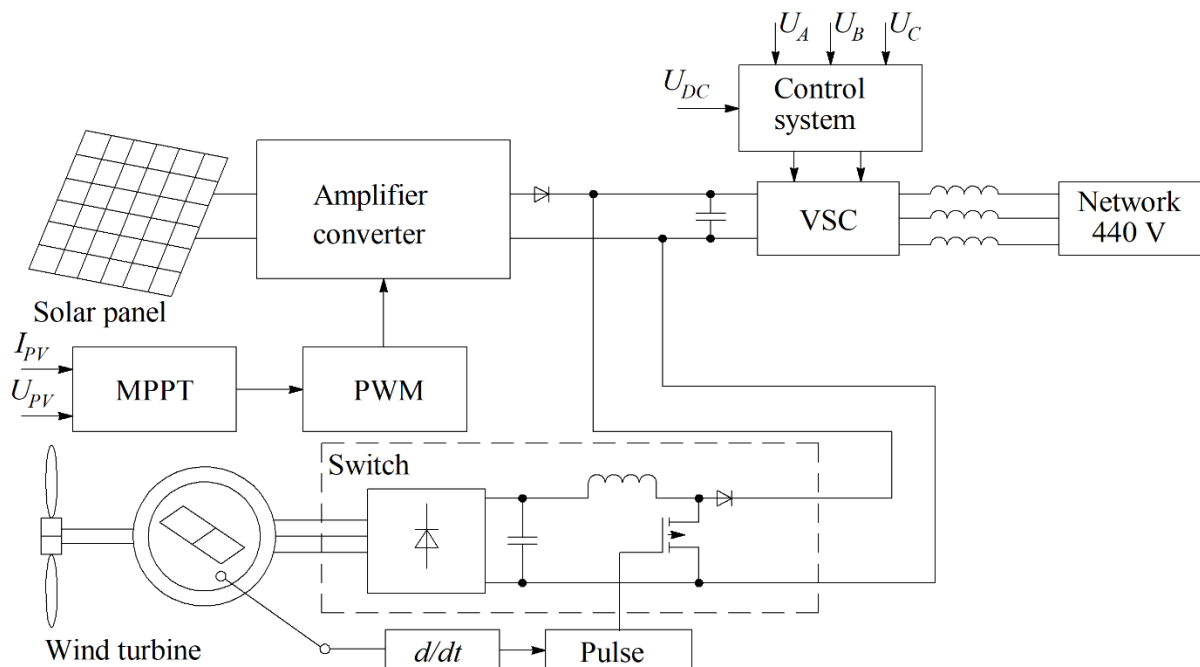


Figure 1 – Converters in the composition of electricity generation systems from renewable and alternative power sources

The task of power semiconductor converters working with alternative energy sources is to generate electricity in the general industrial network or to create an autonomous power supply system [7, 8]. The basic requirements for the quality of electricity generated by voltage inverters are regulated by international standards [9, 10].

Requirements for the allowable value of the total voltage harmonic distortion (*THD*) in general industrial electrical networks in accordance with the international standard IEEE-519 are given in Table 1.

Table 1 – Limits of voltage distortion for harmonics

Voltage value	$U_b$ (%)	$THD_U$ (%)
$U < 69$ kV	3	5
$69$ kV $\leq U < 161$ kV	1.5	2.5
$U \geq 161$ kV	1	1.5

$THD_U$  is determined according to the expression [11, 12]:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}. \quad (1)$$

It is possible to ensure high quality output voltage of two-level inverters by using output sinusoidal filters. The advantage of this solution is the ability to ensure high quality output voltage with minimal economic costs [13, 14].

To meet the requirements for the harmonic distortion coefficient of the shape of the output voltage of the sine filter less than 5 %, the amplitude of the higher harmonics from the voltage inverter must be suppressed [15, 16]. The resonant frequency of the filter must be related to the modulation frequency of the inverter in two orders:

$$f_c = \frac{F_{PWM}}{100}, \quad (2)$$

where  $f_c$  is the cutoff frequency of the LC filter,  $F_{PWM}$  is the PWM frequency in the self-commutated voltage inverter.

A simulation model was developed in Matlab / Simulink software to confirm the formation of a sinusoidal shape of the output voltage of a sinusoidal filter with a  $THD_U$  value  $< 5 \%$  and limiting the starting current of the filter capacitors. The developed simulation model of the studied system is shown in Fig. 2.

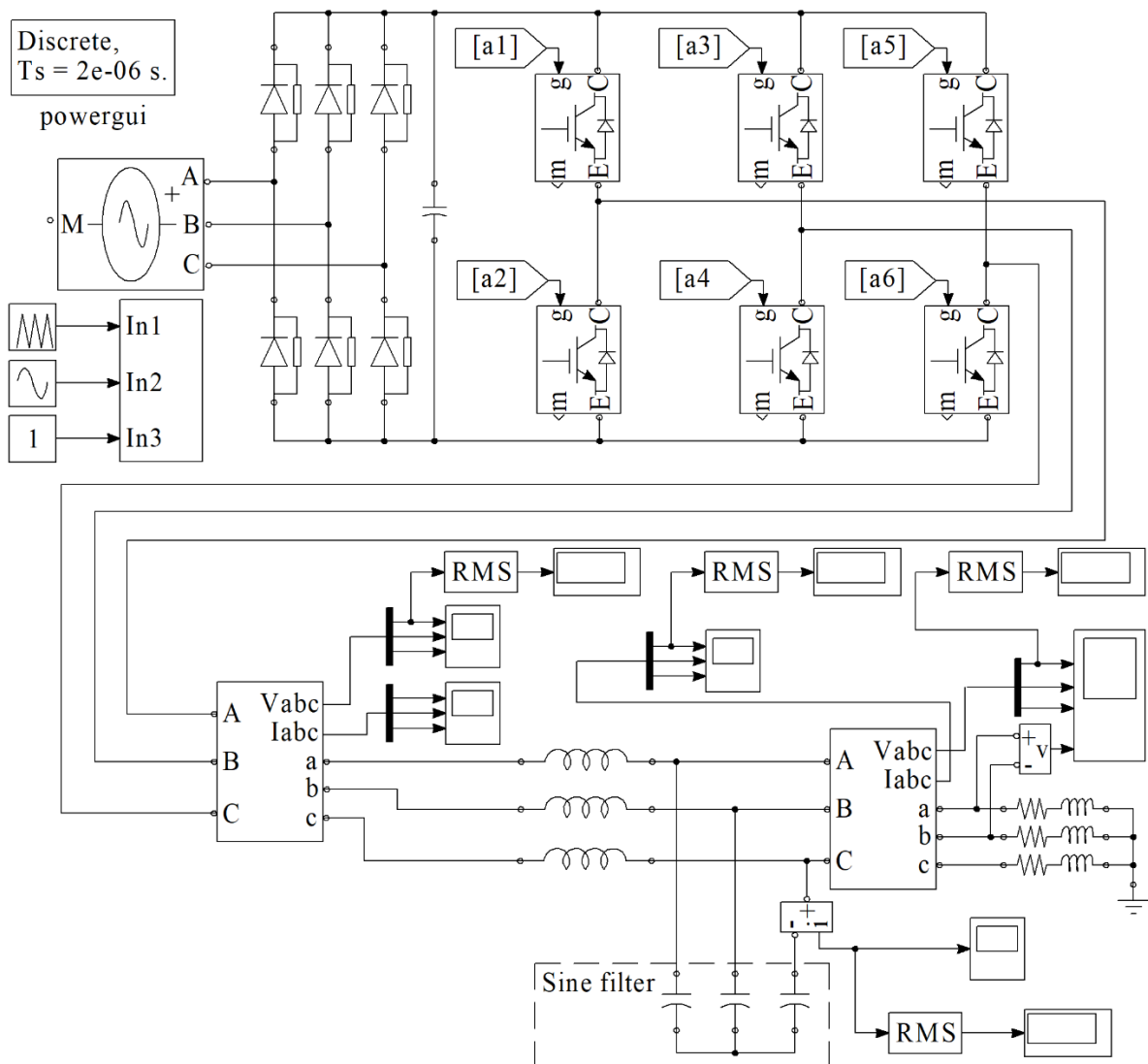


Figure 2 – Simulation model with sine filter

Taking into account the modulation frequency of the voltage inverter, the requirements for limiting the allowable value of the starting current of the filter capacitor and the requirement to ensure the harmonic distortion ratio relative to the IEEE-519 standard, the inductance and capacitance of the sine filter can be determined by:

$$L = \sqrt{\frac{1}{(\pi \cdot F_{PWM})^2} \cdot \left(\frac{U_{DC}}{2,7 \cdot I_{max} \cdot K_1}\right)^2}; \quad (3)$$

$$C = \sqrt{\frac{1}{(\pi \cdot F_{PWM})^2} \cdot \left(\frac{U_{DC}}{2,7 \cdot I_{max} \cdot K_1}\right)^2}, \quad (4)$$

where  $U_{DC}$  is the inverter DC voltage,  $I_{max}$  is the maximum allowable inverter current,  $K_1$  is the set current margin factor,  $F_{PWM}$  is the inverter PWM frequency.

In Fig. 3 shows the results of simulation of a frequency converter with a sine filter.

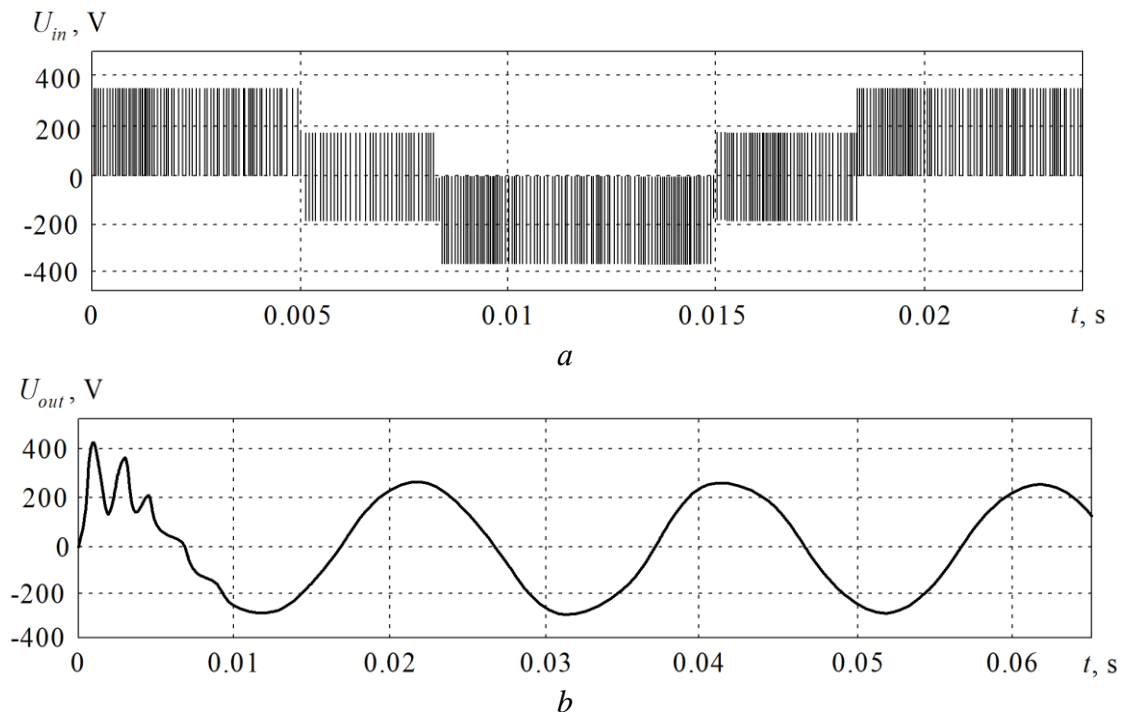


Figure 3 – The results of simulation:

- a* – the shape of the input phase voltage of the sine filter;
- b* – the shape of the output phase voltage of the sine filter

As can be seen from Fig. 3, the shape of the output voltage of the sinusoidal filter after the transition process is almost sinusoidal.

A feature of the method (equations 3, 4) is to determine the filter parameters that provide sinusoidal output voltage  $THD_U < 5\%$ , taking into account the PWM modulation frequency of the voltage inverter and taking into account the requirements of limiting the starting current of the filter capacitor.

1. Хоменко І. В., Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Стасюк І. В. Електроенергетика України. Структура, керування, інновації: монографія. Харків: НТУ «ХП», ТОВ «Планета-Прінт». 2020. 132 с.
2. Rylatt R. M. Exploring Smart Grid possibilities: a complex system modelling approach. Smart Grid. Vol. 1, No. 1. 2015. P. 1–15.

3. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Контроль і планування енерговикористання на залізничному транспорті. Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології». 2019. С. 227–230.
4. Suslov K., Solonina N., Stepanov V. A principle of power quality control in the intelligent distribution networks. 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). 2015. P. 260–264. DOI: 10.1109/SEDST.2015.7315218.
5. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Застосування енергетичного аудиту з метою зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів тяговим рухомих складом залізниць. Тези стендових доповідей та виступів учасників 32-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». 2019. № 4 (додаток). С. 13–14.
6. Ganesh P., Shanmugavadivu N., Santha K. Single-Phase 63-Level Modular Multilevel Inverter fed Induction Motor Drive for Solar PV Applications. 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES). 2018. P. 596–604. DOI: 10.1109/icees.2018.8443287.
7. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Підвищення енергоефективності системи тягового електропостачання електричного рухомого складу за допомогою інтегрованої системи Smart Grid. Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики». Херсон: ПП «Резнік». 2020. С. 165–168.
8. Kumar S. S., Sasikumar M. An approach of hybrid modulation in fusion seven-level cascaded multilevel inverter accomplishment to IM drive system. 2016 Second International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM). 2016. P. 383–387. DOI: 10.1109/iconstem.2016.7560980.
9. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Інтелектуальне багаторівневе управління на залізничному транспорті. Тези доповідей першої міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології. Трускавець-Харків, 24-30 січня. 2020. С. 90–92.
10. Ahmadzadeh T., Sabahi M., Babaei M. Modified PWM control method for neutral point clamped multilevel inverters. 14th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). 2017. P. 765–768.
11. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Tsybulnyk V., Philipjeva M., Korneliuk S. Energy efficient conversion system of a distributed solar photovoltaic station with power filtration function. International scientific journal «Industry 4.0». Vol. 5, Issue 5. 2020. P. 214–217.
12. Gupta K. K., Jain S. A multilevel Voltage Source Inverter (VSI) to maximize the number of levels in output waveform. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2013. Vol. 44. P. 25–36. DOI: 10.1016/j.ijepes.2012.07.008.
13. Kaszewski A., Ufnalski B., Grzesiak L. M. The LQ controller for the 3-phase 4-leg inverter with an LC output filter – Choosing the right reference frame. 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE). 2013. P. 484–493. DOI: 10.1109/epe.2013.6631891.
14. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А., Веренко Л. І. Особливості використання рекуперативного гальмування на електричному рухомому складі електрифікованих залізниць постійного струму. Тези стендових доповідей та виступів учасників 33-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків, 30 жовтня. 2020. № 3 (додаток). С. 26–27.
15. Vdovin V. V., Kotin D. A., Pankratov V. V. Parameters determination in the sine filters for AFE converters and VSI with PWM. 2014 15th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 2014. P. 383–386. DOI: 10.1109/edm.2014.6882553.
16. Schobre T., Mallwitz R., Automated Design Method for Sine Wave Filters in Motor Drive Applications with SiC-Inverters. 2020 22nd European Conference on Power Electronics and Applications. 2020. DOI: 10.23919/EPE20ECSEurope43536.2020.9215952.