

15. Carbon dioxide emissions from energy consumption by source // EIA GOV USA. URL: <https://www.eia.gov/environment/> (date of access: 30.10.2021).
16. Power generation technology comparison from a life cycle perspective (report). URL: <https://www.osti.gov/biblio/1515245> (date of access: 30.10.2021).

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*SOBOLEV Nikita Eduardovich* – 2th year Master Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [n.sobolew.2021@gmail.com](mailto:n.sobolew.2021@gmail.com)

*KRUPNOV Andrey Vladimirovich* – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [AV.Krupnov@yandex.ru](mailto:AV.Krupnov@yandex.ru)

### CITATION FOR AN ARTICLE

Sobolev N.E., Krupnov A.V. Emissions related to electricity production and prospects for energy development // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 1 (13), pp. 39–50.

УДК 537.862

## ТРИИНДУКТИВНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР

*И.П. Попов*

*Курганский государственный университет (г. Курган)*

© Попов И.П., 2022

**Аннотация.** Существуют осцилляторы с взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию либо магнитного, либо электрического поля, а также осцилляторы с взаимным преобразованием потенциальной энергии пружины в энергию либо электрического, либо магнитного поля. Целью работы являлось построение математической модели трииндуктивного осциллятора. Сделан вывод, что в *LLL* осцилляторе происходят свободные колебания тока (без питания извне), следовательно, любая фаза является источником реактивной мощности двух других фаз. Это создает предпосылку снижения потока реактивной мощности в сети за счет взаимной компенсации реактивной мощности фаз. Другими словами, фазы симметричной нагрузки частично могут обмениваться реактивной мощностью между собой, а не с сетью.

**Ключевые слова:** осциллятор, энергия, трииндуктивный, колебания, реактивная мощность, фаза.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-50-55**

### ВВЕДЕНИЕ

Известны два основных вида колебаний: первый обусловлен взаимным преобразованием кинетической энергии груза в потенциальную энергию пружины; второй – энергии магнитного поля катушки в энергию электрического поля конденсатора.

Относительно недавно были описаны следующие виды осцилляторов:  
 $mL$  с взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля [1–3] с собственной частотой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{y}{mL}},$$

где  $y$  – параметрический коэффициент;

$mC$  с взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию электрического поля [4, 5] с собственной частотой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{y}{mC}};$$

$kC$  с взаимным преобразованием потенциальной энергии пружины в энергию электрического поля [6, 7] с собственной частотой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{y_1 C}};$$

$kL$  с взаимным преобразованием потенциальной энергии пружины в энергию магнитного поля [8–10] с собственной частотой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{y_2 L}}.$$

На основе этого возникает вопрос: нельзя ли создать осциллятор с взаимным преобразованием энергии магнитного поля в энергию магнитного же поля другой катушки?

Целью работы является построение математической модели такого осциллятора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке представлена схема  $LLL$  осциллятора в составе синхронной электрической машины [11] и трех катушек индуктивности.

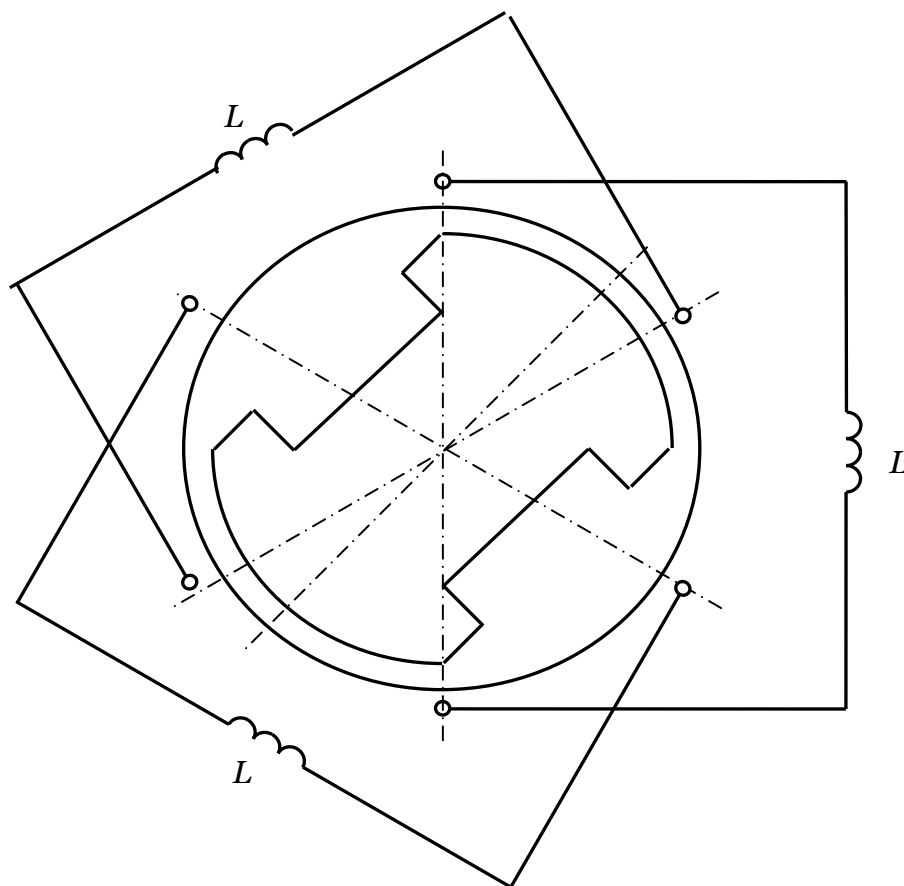
Электрические уравнения  $LLL$  осциллятора:

$$\begin{aligned} BlnR \frac{d\varphi}{dt} \cos \varphi &= L \frac{di_1}{dt}; \\ BlnR \frac{d\varphi}{dt} \cos \left( \frac{2}{3} \pi - \varphi \right) &= L \frac{di_2}{dt}; \\ BlnR \frac{d\varphi}{dt} \cos \left( -\frac{2}{3} \pi - \varphi \right) &= L \frac{di_3}{dt}, \end{aligned}$$

где  $B$  – магнитная индукция в зазоре машины;  $l$  – длина активной части витков якорной обмотки;  $n$  – число витков;  $R$  – радиус якорной обмотки;  $\varphi$  – угол поворота якоря;  $i_1, i_2, i_3$  – токи в катушках.

Отсюда получаем:

$$\begin{aligned} i_1 &= -\frac{BlnR}{L} \sin \varphi; \\ i_2 &= \frac{BlnR}{L} \sin \left( \frac{2}{3} \pi - \varphi \right); \\ i_3 &= \frac{BlnR}{L} \sin \left( -\frac{2}{3} \pi - \varphi \right). \end{aligned}$$

Модель *LLL* осциллятора

Находим механический момент:

$$\begin{aligned}
 & Bln_1 R \cos \varphi + Bln_2 R \cos \left( \frac{2}{3} \pi - \varphi \right) + Bln_3 R \cos \left( -\frac{2}{3} \pi - \varphi \right) = \\
 & = -Bln \frac{BlnR}{L} \sin \varphi R \cos \varphi + Bln \frac{BlnR}{L} \sin \left( \frac{2}{3} \pi - \varphi \right) R \cos \left( \frac{2}{3} \pi - \varphi \right) + \\
 & \quad + Bln \frac{BlnR}{L} \sin \left( -\frac{2}{3} \pi - \varphi \right) R \cos \left( -\frac{2}{3} \pi - \varphi \right) = \\
 & = -\frac{(BlnR)^2}{2L} \sin 2\varphi + \frac{(BlnR)^2}{2L} \sin \left( \frac{4}{3} \pi - 2\varphi \right) + \frac{(BlnR)^2}{2L} \sin \left( -\frac{4}{3} \pi - 2\varphi \right) = \\
 & = -\frac{(BlnR)^2}{2L} \sin 2\varphi + \frac{(BlnR)^2}{2L} \left( \sin \frac{4}{3} \pi \cos 2\varphi - \cos \frac{4}{3} \pi \sin 2\varphi \right) + \\
 & \quad + \frac{(BlnR)^2}{2L} \left( -\sin \frac{4}{3} \pi \cos 2\varphi - \cos \frac{4}{3} \pi \sin 2\varphi \right) = 0.
 \end{aligned}$$

Из этого следует, что ротор вращается без ускорения и  $\varphi = \omega_0 t$ . Получаем выражения:

$$i_1 = -\frac{BlnR}{L} \sin \omega_0 t;$$
$$i_2 = \frac{BlnR}{L} \sin \left( \frac{2}{3} \pi - \omega_0 t \right);$$
$$i_3 = \frac{BlnR}{L} \sin \left( -\frac{2}{3} \pi - \omega_0 t \right).$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В *LLL* осцилляторе происходят свободные колебания тока (без питания извне). Это значит, что любая фаза является источником реактивной мощности двух других фаз. Данное обстоятельство создает предпосылку снижения потока реактивной мощности в сети за счет взаимной компенсации реактивной мощности фаз [12]. Иными словами, фазы симметричной нагрузки частично могут обмениваться реактивной мощностью между собой, а не с сетью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.П., Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф. Инертно-индуктивный осциллятор // *Вестник Курганского государственного университета. Технические науки*. 2013. Вып. 8. № 2 (29). С. 80–81.
2. Попов И.П. Электромеханические или искусственные масса и упругость // *Вестник Псковского государственного университета. Технические науки*. 2016. Вып. 4. С. 89–94.
3. Попов И.П. Накопитель энергии с искусственной инертной емкостью // *Вестник Калужского университета*. 2019. № 4. С. 71–73.
4. Попов И.П. Инертно-емкостная колебательная система // *Зауральский научный вестник*. 2013. № 2 (4). С. 65–66.
5. Попов И.П., Чарыков В.И., Попов Д.П. Электромеханические колебания в системах автоматики // *Вестник НГАУ*. 2014. № 4 (33). С. 173–177.
6. Попов И.П. Спонтанные упруго-емкостные колебания в системах автоматики // *Вестник Морского государственного университета им. адмирала Г.И. Невельского. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии*. 2017. Вып. 78. С. 93–97.
7. Попов И.П. Искусственные масса и упругость // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2016. № 1 (29). С. 7–11.
8. Попов И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации // *Автоматизированные технологии и производства*. 2019. № 1 (19). С. 18–20.
9. Попов И.П. Упруго-индуктивное устройство // *Зауральский научный вестник*. 2011. Вып. 1. С. 181–183.
10. Попов И.П., Чумаков В.Г., Родионов С.С., Шевцов И.В., Низавитин С.С., Михайлов В.В. Упругая емкость в цепи питания пьезоэлектрического преобразователя // *Вестник Курганского государственного университета. Технические науки*. 2016. Вып. 11. № 3 (42). С. 87–89.

11. Попов И.П. Амплитудно-частотные особенности режимов нагрузки синхронной электрической машины // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 2 (6). С. 49–56.
12. Павлов В.Д. Автокомпенсация реактивной мощности в электрических сетях // *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*. 2021. Т. 14. № 6. С. 684–688. DOI: 10.17516/1999–494X-0342.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*ПОПОВ Игорь Павлович* – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», 640020, г. Курган, ул. Советская, д. 63/4. E-mail: *ip.popov@yandex.ru*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Попов И.П. Трииндуктивный осциллятор // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 1 (13). С. 50–55.

---

### TRI-INDUCTIVE OSCILLATOR

*I.P. Popov*

*Kurgan State University (Kurgan)*

**Abstract.** There are oscillators with mutual conversion of the kinetic energy of the load into the energy of either a magnetic or electric field, as well as oscillators with mutual conversion of the potential energy of the spring into the energy of either an electric or magnetic field. The aim of the work was to build a mathematical model of three inductive oscillators. In the LLL of the oscillator, free current fluctuations occur (without external power supply), therefore, any phase is a source of reactive power of the other two phases. This circumstance creates prerequisites for reducing the flow of reactive power in the network due to mutual compensation of the reactive power of the phases. In other words, the phases of a symmetrical load can at least partially exchange reactive power among themselves, and not with the network.

**Keywords:** oscillator, energy, tri-inductive, oscillations, reactive power, phase.

#### REFERENCES

1. Popov I.P., Sarapulov F.N., Sarapulov S.F. Inert-inductive oscillator. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2013. Iss. 8. No. 2 (29), pp. 80–81. (In Russian).
2. Popov I.P. Electromechanical or artificial mass and elasticity. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2016. Iss. 4, pp. 89–94. (In Russian).
3. Popov I.P. Energy storage device with an artificial inert capacity. *Vestnik Kaluzhskogo universiteta*. 2019. No. 4, pp. 71–73. (In Russian).

4. Popov I.P. Inert-capacitive oscillatory system. *Zaural'skiy nauchnyy vestnik*. 2013. No. 2 (4), pp. 65–66. (In Russian).
5. Popov I.P., Charykov V.I., Popov D.P. Electromechanical vibrations in automation systems. *Vestnik NGAU*. 2014. No. 4 (33), pp. 173–177. (In Russian).
6. Popov I.P. Spontaneous elastic-capacitive oscillations in automation systems. *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta im. admirala G.I. Nevel'skogo. Seriya: Avtomaticheskoye upravleniye, matematicheskoye modelirovaniye i informatsionnye tekhnologii*. 2017. Iss. 78, pp. 93–97. (In Russian).
7. Popov I.P. Artificial mass and elasticity. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016. No. 1 (29), pp. 7–11. (In Russian).
8. Popov I.P. Spontaneous elastic-inductive oscillations in technical means of automation. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva*. 2019. No. 1 (19), pp. 18–20. (In Russian).
9. Popov I.P. Elastic-inductive device. *Zaural'skiy nauchnyy vestnik*. 2011. Iss. 1, pp. 181–183. (In Russian).
10. Popov I.P., Chumakov V.G., Rodionov S.S., Shevtsov I.V., Nizavitin S.S., Mikhailov V.V. Elastic capacitance in the power supply circuit of a piezoelectric converter. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskoye nauki*. 2016. Iss. 11. No. 3 (42), pp. 87–89. (In Russian).
11. Popov I.P. Amplitude-frequency features of load modes of a synchronous electric machine. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo. Elektrotekhnika i khimicheskiye tekhnologii»*. 2020. No. 2 (6), pp. 49–56. (In Russian).
12. Pavlov V.D. Autocompensation of reactive power in electrical networks. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii*. 2021. Vol. 14. No. 6, pp. 684–688. DOI: 10.17516/1999-494X-0342.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*POPOV Igor Pavlovich* – Senior Lecturer of the Department of Technology of Mechanical Engineering, Machine Tools and Instruments, Kurgan State University, 63/4, Sovetskaja St, Kurgan, 640020, Russia. E-mail: *ip.popow@yandex.ru*

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Popov I.P. Tri-inductive oscillator // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 1 (13), pp. 50–55.