

Разработка источника питания для позиции виброакустической диагностики подшипников локомотивного депо

М. Ш. Шадмонходжаев, А. П. Зеленченко

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Шадмонходжаев М. Ш., Зеленченко А. П. Разработка источника питания для позиции виброакустической диагностики подшипников локомотивного депо // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 2. — С. 43–49. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-2-43-49

Аннотация

Цель: Рассмотрены два возможных варианта источников питания: управляемая трехфазная мостовая схема выпрямления с понижающим трансформатором и импульсный преобразователь, получающий питание от сети через неуправляемый трехфазный мостовой выпрямитель (схема Ларионова) для приведения во вращение с требуемой частотой колесно-моторных блоков электровозов и электропоездов на позиции безразборной диагностики подшипников. В обоих случаях предполагается, что источники питания получают электроэнергию от деповской сети 380/220 В, 50 Гц. Выполнено сравнение предлагаемых вариантов источников питания на основании оценки эффективности энергопотребления. В качестве критериев эффективности энергопотребления используются коэффициент мощности и потери мощности в источниках питания. **Методы:** Используются аналитические методы определения потерь мощности в трансформаторе, управляемом трехфазном тиристорном выпрямителе, неуправляемом трехфазном диодном выпрямителе, входном фильтре импульсного преобразователя, IGBT-транзисторе и обратном диоде импульсного преобразователя. **Результаты:** Были определены энергетические показатели: потери мощности в трансформаторе, управляемом трехфазном тиристорном выпрямителе, неуправляемом трехфазном диодном выпрямителе, входном фильтре импульсного преобразователя, IGBT-транзисторе и обратном диоде импульсного преобразователя. На основании проведенной оценки энергетических показателей двух вариантов источника питания сделан вывод о целесообразности применения бестрансформаторной схемы на позиции виброакустической диагностики подшипников. **Практическая значимость:** Предложен вариант энергоэффективного источника питания для позиции безразборной виброакустической диагностики, включающий в себя неуправляемый полупроводниковый выпрямитель и импульсный преобразователь, выполненный с использованием IGBT-транзистора.

Ключевые слова: Электроподвижной состав, виброакустическая диагностика, позиции виброакустической диагностики подшипников, источники питания, выпрямитель, импульсный преобразователь, понижающий трансформатор.

Источник питания (ИП) предназначен для приведения во вращение с требуемой частотой колесно-моторных блоков электрического подвижного состава (ЭПС) на позиции виброакустической диагностики подшипников [1–9].

Рассматриваются два возможных варианта источников питания:

– управляемая трехфазная мостовая схема выпрямления (мост Ларионова) с понижающим трансформатором (рис. 1, I);

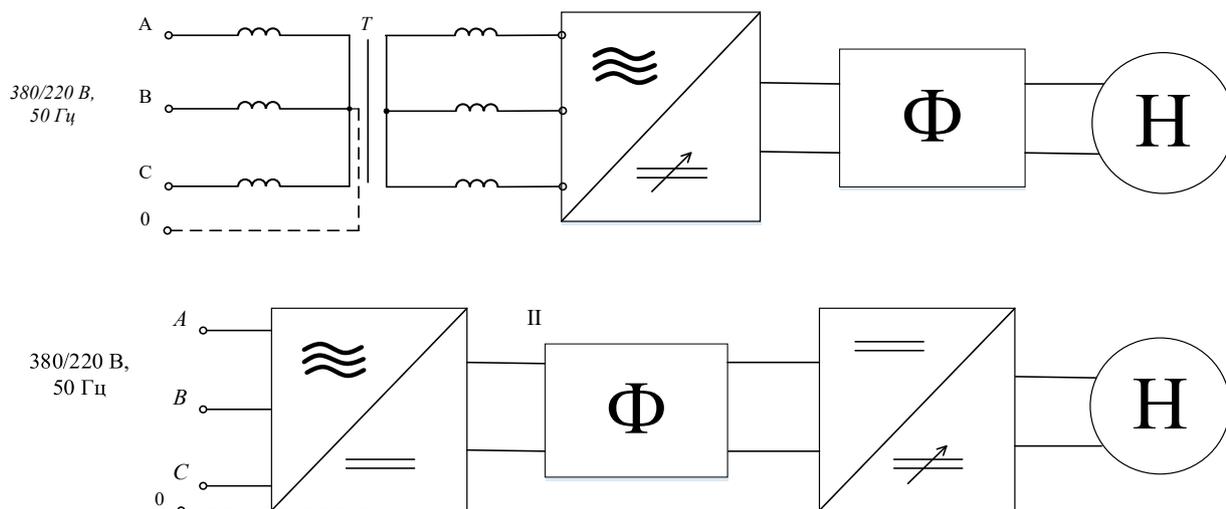


Рис. 1. Управляемый трехфазный трансформаторный выпрямитель (I)
и безтрансформаторный трехфазный выпрямитель
с импульсным преобразователем (II):
Ф — фильтр; Н — нагрузка

– импульсный преобразователь, получающий питание от сети через управляемый трехфазный мостовой выпрямитель (рис. 1, I).

В обоих случаях предполагается, что ИП получают электроэнергию от сети 380/220 В, 50 Гц.

Опыт эксплуатации ИП на позициях виброакустической диагностики локомотивных депо позволил определить параметры их нагрузки:

- ток длительного режима — 100 А;
- максимальное напряжение на стороне выпрямленного тока — 180 В.

Целью статьи является рассмотрение предлагаемых вариантов источников питания на основании оценки эффективности энергопотребления. В качестве критериев эффективности энергопотребления используются коэффициент мощности и потери мощности в ИП.

Оценка коэффициента мощности трансформаторного источника питания, сделанная в [10], показала, что он не превышает 0,73.

Опыт проектирования полупроводниковых преобразователей показывает, что радикальным путем увеличения коэффициента мощности является применения систем импульсного регулирования.

Применение сочетания управляемого выпрямителя и широтноимпульсного преобразователя позволяет получить коэффициент мощности ИП, практически равный 1.

Потери мощности в трансформаторном ИП определяются суммой потерь в трансформаторе и управляемом выпрямителе.

Оценка потерь мощности в понижающем трансформаторе ИП выполнена на основании технических данных трехфазного преобразовательного трансформатора ТС(3)П — 40/0,7 — УЗ.

Потери мощности в обмотках P_M равны, Вт [11, 12]:

$$P_M = P_K \cdot K_H^2 = 1100 \cdot 0,89^2 = 871,31,$$

где P_K — мощность короткого замыкания;

$K_H = 0,89$ — коэффициент нагрузки трансформатора.

Потери в стали определяются потерями холостого хода и равны, Вт:

$$P_x = 280.$$

Тогда общие потери в понижающем трансформаторе составляют P_{Tp} , Вт:

$$P_{Tp} = P_c + P_M = 280 + 871,31 = 1151,31.$$

Потери в тиристорах (диодах) выпрямительного блока определяются выражением [11]:

$$P_T = U_0 \cdot I_{cp} + R_d \cdot K_\phi^2 \cdot I_{cp}^2,$$

где $U_0 = 1,05$ В — пороговое напряжение на тиристоре;

$I_{cp} = 33,3$ А — средний ток, протекающий через тиристор;

$R_d = 0,56 \cdot 10^{-3}$ Ом — динамическое сопротивление тиристора;

$K_\phi = 1,1$ — коэффициент формы тока.

Тогда потери в выпрямительном блоке составят:

$$P = 6 \cdot P_T = 6 \cdot (1,05 \cdot 33,3 + 0,56 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1^2 \cdot 33,3^2) = 214,3.$$

Общие потери мощности в трансформаторном ИП равны, Вт:

$$P_{ИПТ} = P_{Tp} + P = 1151,31 + 214,3 = 1365,6.$$

Потери мощности в бестрансформаторном источнике питания включают в себя: потери мощности в неуправляемом трехфазном выпрямителе, потери мощности в конденсаторе входного фильтра, потери мощности в IGBT-транзисторе и потери мощности в обратном диоде импульсного преобразователя.

Потери в выпрямительном блоке определены при

$$U_0 = 0,8 \text{ В}; R_d = 4,623 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$I_{\text{ср}} = 33,3 \text{ А}; K_{\text{ф}} = 1,1$ и составляют, Вт:

$$P_{\text{в}} = 197,05.$$

Пульсационные потери в конденсаторе входного фильтра $P_{\text{Сф}}$ равняются, Вт [13]:

$$P_{\text{Сф}} = 2\pi f C_{\text{ф}} \left(\frac{0,83 \cdot \Delta U_{\text{Сф}}}{2\sqrt{2}} \right)^2 \text{tg}\delta = 2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot 250 \cdot 10^{-6} \left(\frac{0,83 \cdot 25}{2\sqrt{2}} \right)^2 \cdot 0,1 = 1,69,$$

где $\Delta U_{\text{Сф}} = 25 \text{ В}$ — действующее значение переменной составляющей напряжения на конденсаторе фильтра;

$f = 200 \text{ Гц}$ — частота регулирования импульсного прерывателя;

$\text{tg}\delta = 0,1$ — тангенс угла потерь;

$C_{\text{ф}} = 250 \text{ мкФ}$ — емкость конденсатора входного фильтра.

Мощность потерь в импульсном прерывателе, образованном IGBT-транзистором равна, Вт:

$$P_{\text{в}} = (E_{\text{вкл}} + E_{\text{выкл}}) \cdot f_{\text{ШИП}} + I_{\text{С}} \cdot U_{\text{СЕ}} \cdot \lambda_{\text{max}} = 14,25 \cdot 10^{-3} \cdot 200 + 100 \cdot 1,76 \cdot 0,25 = 46,85,$$

где $E_{\text{вкл}} = 6,20 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$ — энергия включения IGBT-транзистора;

$E_{\text{выкл}} = 8,05 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$ — энергия выключения IGBT-транзистора;

$U_{\text{СЕ}} = 1,76 \text{ В}$ — напряжение сток — исток IGBT-транзистора;

$\lambda_{\text{max}} = 0,25$ — максимальная скважность импульсов [1];

$I_{\text{С}} = 100 \text{ А}$ — значение тока стока IGBT-транзистора.

Потери мощности в обратном диоде импульсного преобразователя P_{VD0} определены

при $U_0 = 0,78 \text{ В}; R_{\text{д}} = 2,12 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$

$I_{\text{ср}} = 75 \text{ А}; K_{\text{ф}} = 1,1$ и равны 72,93 Вт.

Общие потери мощности в бестрансформаторном ИП составляют, Вт:

$$P_{\text{ИПБ}} = P_{\text{в}} + P_{\text{Сф}} + P_{\text{в}} + P_{\text{VD0}} = 197,1 + 1,69 + 46,85 + 72,93 = 318,57.$$

Таким образом, при коэффициенте мощности, практически равном 1, общие потери мощности в бестрансформаторном источнике питания почти в 4 раза меньше, чем в источнике питания, содержащем трансформатор и управляемый выпрямитель.

Полученные результаты сравнения позволяют сделать вывод о более высокой энергоэффективности бестрансформаторной схемы.

На основании проведенной оценки энергетических показателей двух вариантов источника питания можно сделать вывод о целесообразности применения бестрансформаторной схемы на позиции виброакустической диагностики подшипников.

Библиографический список

1. Шадмонходжаев М. Ш. Позиция диагностики межкатушечных соединений тягового двигателя / М. Ш. Шадмонходжаев, А. П. Зеленченко // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. — 2019. — № LXXIX — С. 78–81.
2. Шадмонходжаев М. Ш. Позиция виброакустической диагностики подшипников качения электрического подвижного состава / М. Ш. Шадмонходжаев, А. П. Зеленченко // Тяговый подвижной состав. — 2019. — № 210 — С. 80–81.
3. Зеленченко А. П. Основы диагностики подшипников качения электрического подвижного состава: учеб. пособие / А. П. Зеленченко, Н. В. Орехова, Д. В. Федоров. — СПб.: ПГУПС, 2001. — 28 с.
4. Зеленченко А. П. Техническая диагностика электрического подвижного состава: учеб. пособие / А. П. Зеленченко, А. Е. Цаплин, И. А. Ролле. — СПб.: ПГУПС, 2016. — 67 с.
5. Определение состояния подшипникового узла методом акустической эмиссии: метод. указания к лабораторной работе / Сост. А. П. Зеленченко. — СПб.: ПГУПС, 2004. — 8 с.
6. Зеленченко А. П. Надежность электрического подвижного состава: учебное пособие / А. П. Зеленченко — СПб.: ПГУПС, 2001. — 36 с.
7. Зеленченко А. П. Устройства диагностики тяговых двигателей электрического подвижного состава / А. П. Зеленченко — М.: МПС РФ Департамент кадров и учебных заведений Учеб. Метод. кабинет, 2002 — 37 с.
8. Зеленченко А. П. Диагностические комплексы электрического подвижного состава: учеб. пособие / А. П. Зеленченко, Д. В. Федоров. — М.: Учеб. Метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. — 112 с.
9. Зеленченко А. П. Информационные технологии и системы диагностики при эксплуатации и обслуживании электрического подвижного состава: учебное пособие / А. П. Зеленченко, В. О. Иващенко. — СПб.: ПГУПС, 2017. — 50 с.
10. Зеленченко А. П. Источник питания для позиции безразборной диагностики подшипников / А. П. Зеленченко, А. А. Богдан, М. Ш. Шадмонходжаев // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2021. — Т. 18. — Вып. 4. — С. 554–560.
11. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи: учеб, для вузов ж.-д. / А. Т. Бурков. — М.: Транспорт, 1999. — 464 с.
12. Бурков А. Т. Электроника и преобразовательная техника: учебник: в 2 т. / А. Т. Бурков. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию железнодорожном транспорте», 2015.
13. Ранькис И. Я. Оптимизация параметров тиристорных систем импульсного регулирования тягового электропривода / И. Я. Ранькис. — Рига: Зинатне, 1985. — 183 с.

Дата поступления: 18.03.2022

Решение о публикации: 06.05.2022

Контактная информация:

ШАДМОНХОДЖАЕВ Муродилла Шухратиллаевич — аспирант; smurodilla@gmail.com

ЗЕЛЕНЧЕНКО Алексей Петрович — канд. техн. наук, доц.; v-zelenchenko46@mail.ru

Development of a Power Source for Vibroacoustic Diagnosis Position of Locomotive Depot Bearings

M. Sh. Shadmonkhodjaev, A. P. Zelenchenko

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Shadmonkhodjaev M. Sh., Zelenchenko A. P. Development of a Power Source for Vibroacoustic Diagnosis Position of Locomotive Depot Bearings. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 2, pp. 43–49. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-2-43-49

Summary

Purpose: Two possible variants of power sources are considered: controlled three-phase bridge rectifier circuit with a step-down transformer and a pulse converter, getting power from the mains via uncontrolled three-phase bridge rectifier (Larionov circuit) for bringing into rotation with the required frequency of wheel-motor units of electric locomotives and electric trains at the position of indiscriminate diagnosis of bearings. In both cases, it is assumed that power sources receive electro-energy from a depot circuit — 380/220 V, 50 Hz. The comparison of proposed power supply options based on the assessment of energy consumption efficiency is carried out. A capacity coefficient and capacity loss in power supplies are used as measures for energy-consumption efficiency. **Methods:** Analytical methods are used to determine capacity losses in a transformer, controlled three-phase thyristor rectifier, uncontrolled three-phase diode rectifier, input filter of a pulse converter, IGBT transistor and reverse diode of a pulse converter. **Results:** Energetical indicators were determined: power losses in a transformer, a controlled three-phase thyristor rectifier, an uncontrolled three-phase diode rectifier, an input filter of a pulse converter, an IGBT transistor and a reverse diode of a pulse converter. Based on the pursued assessment of the energetical indicators of power supply two options, it is concluded on feasibility of transformer-free circuit application in bearings' position of vibration-acoustic diagnosis. **Practical importance:** A variant of an energy-efficient power supply for the position of indiscriminate vibroacoustic diagnosis is proposed, which includes an uncontrolled semiconductor rectifier and a pulse converter, accomplished using an IGBT transistor.

Keywords: Electric rolling stock, vibroacoustic diagnosis, positions of bearing vibroacoustic diagnosis, power sources, rectifier, pulse converter, step-down transformer.

References

1. Zelenchenko A. P., Bogdan A. A., Shadmonkhodzhaev M. Sh. Istochnik pitaniya dlya pozitsii bezrazbornoy diagnostiki podshipnikov [Power supply for the position of in-place diagnostics of bearings]. *Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Petersburg State University of Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2021, vol. 18, I. 4, pp. 554–560. (In Russian)
2. Shadmonkhodzhaev M. Sh., Zelenchenko A. P. Pozitsiya diagnostiki mezhkatushechnykh soedineniy tyagovogo dvigatelya [Position of diagnostics of intercoil connections of a traction motor]. *Transport: problemy, idei, perspektivy* [Transport: problems, ideas, prospects]. 2019, I. LXXIX, pp. 78-81. (In Russian)

3. Shadmonkhodzhaev M. Sh. Pozitsiya vibroakusticheskoy diagnostiki podshipnikov kacheniya elektricheskogo podvizhnogo sostava [Position of vibroacoustic diagnostics of rolling bearings of electric rolling stock]. *Tyagovyy podvizhnoy sostav* [Traction rolling stock]. 2019, I. 210, pp. 80-81. (In Russian)
4. Zelenchenko A. P., Orekhova N. V., Fedorov D. V. *Osnovy diagnostiki podshipnikov kacheniya elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Fundamentals of diagnostics of rolling bearings of electric rolling stock]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2001. 28 p. (In Russian)
5. Zelenchenko A. P., Tsaplin A. E., Rolle I. A. *Tekhnicheskaya diagnostika elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Technical diagnostics of electric rolling stock]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2016. 67 p. (In Russian)
6. *Opredelenie sostoyaniya podshipnikovogo uzla metodom akusticheskoy emissii: metod. ukazaniya k laboratornoy rabote* [Determining the state of the bearing unit by the method of acoustic emission]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2004. 8 p. (In Russian)
7. Zelenchenko A. P. *Nadezhnost' elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Reliability of electric rolling stock]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2001. 36 p. (In Russian)
8. Zelenchenko A. P. *Ustroystva diagnostiki tyagovykh dvigateley elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Devices for diagnosing traction motors of electric rolling stock]. Moscow: MPS RF Departament kadrov i uchebnykh zavedeniy Ucheb. Metod. Cabinet Publ., 2002. 37 p. (In Russian)
9. Zelenchenko A. P. *Diagnosticheskie komplekсы elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Diagnostic complexes of electric rolling stock: textbook. allowance]. Moscow: Ucheb. Metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte Publ., 2014. 112 p. (In Russian)
10. Zelenchenko A. P. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy diagnostiki pri ekspluatatsii i obsluzhivanii elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Information technologies and diagnostic systems for the operation and maintenance of electric rolling stock]. St. Petersburg: PGUPS Publ. 2017. 50 p. (In Russian)
11. Burkov A. T. *Elektronnaya tekhnika i preobrazovateli* [Electronic equipment and converters]. Moscow: Transport Publ. 1999. 464 p. (In Russian)
12. Burkov A. T. *Elektronika i preobrazovatel'naya tekhnika* [Electronics and converter technology]. Moscow: FGBOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu zheleznodorozhnom transporte» Publ., 2015. (In Russian)
13. Ran'kis I. Ya. *Optimizatsiya parametrov tiristornykh sistemg impul'snogo regulirovaniya tyagovogo elektroprivoda* [Optimization of the parameters of thyristor systems for pulse control of a traction electric drive]. Riga: Zinatne Publ., 1985. 183 p. (In Russian)

Received: March 18, 2022

Accepted: April 06, 2022

Author's information:

Murodilla Sh. SHADMONKHODJAEV — Postgraduate Student; smurodilla@gmail.com

Aleksey P. ZELENCHENKO — PhD in Engineering, Associate Professor;

v-zelenchenko46@mail.ru