УДК 629.3

© А. В. Пузаков, канд. техн. наук, доцент
(Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, Россия)
E-mail: and-rew78@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-199-205

© A. V. Puzakov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Orenburg State University,
Orenburg, Russia)
E-mail: and-rew78@yandex.ru

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗАРЯДНОГО БАЛАНСА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

INSTRUMENTAL MONITORING OF THE VEHICLE CHARGING BALANCE

Инструментальный контроль зарядного баланса позволяет оперативно оценить эффективность работы и техническое состояние элементов системы электроснабжения транспортных средств. Разработаны коэффициенты, позволяющие оценить техническое состояние автомобильного генератора (коэффициент работоспособности) и эффективность его работы при текущем сочетании нагрузки и частоты вращения двигателя. Измерены основные параметры системы электроснабжения с помощью четырехканального регистратора аналоговых данных. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление изменений зарядного баланса автомобиля при возникновении неисправностей автомобильного генератора и стартерной аккумуляторной батареи.

Ключевые слова: автомобильный генератор, регистратор аналоговых данных, зарядный баланс, коэффициент загрузки, коэффициент работоспособности

The instrumental control of the charging balance makes it possible to quickly assess the efficiency and technical condition of the components of the vehicle power supply system. Factors have been developed that allow assessing the technical condition of the automobile alternator (efficiency factor) and its operation efficiency at the current combination of load and engine speed. The main parameters of the power supply system were measured using a four-channel analog data logger. Further research will be aimed at identifying the changes in the charging balance of the vehicle in case of failures of the automotive alternator and accumulator starting battery.

Keywords: automotive electric generator, analog data logger, charging balance, load factor, operability factor.

Наиболее важной системой автомобиля является система электроснабжения, от надежной работы которой зависят все электрические потребители, в том числе отвечающие за безопасность движения. Следовательно, актуальность приобретает задача оперативного определения технического состояния системы электроснабжения [1–5]. Для этого необходимо установить, как изменяются параметры системы электроснабжения в случае исправного состояния генератора и аккумуляторной батареи в процессе эксплуатации. Например, компания АО «АВТОВАЗ» на платформе Профстажировки 2.0 разместила кейс, в котором необходимо разработать новую систему сбора данных (измерительный комплекс) для оценки баланса электроэнергии автомобиля, для определения стартерных характеристик (холодные прокрутки при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), для

замеров напряжений, токов, температур изделий электрооборудования и деталей автомобиля в различных климатических условиях.

Баланс электроэнергии на автомобиле показывает, заряжается ли стартерная аккумуляторная батарея в процессе работы. Для нормальной работы системы электроснабжения необходимо, чтобы зарядный баланс оставался положительным, не допуская прогрессивного разряда аккумуляторной батареи. В настоящее время автомобили не оснащены системами сбора данных для оценки баланса электроэнергии автомобиля, отсутствует теоретическая основа оценки эффективности и технического состояния системы электроснабжения.

Решающее влияние на баланс электроэнергии оказывает токоотдача генератора, зависящая от частоты вращения ротора. Максимальная токо-

отдача генератора описывается токоскоростной характеристикой.

Токоскоростная характеристика — это зависимость тока генератора I_a , подаваемого на питание нагрузки, от частоты вращения n ротора. Характеристика снимается при условии, что весь ток генератора идет на питание нагрузки и напряжение является постоянным (рис. 1).

Для построения токоскоростной характеристики используется формула

$$I_a = I_{a_{\max}} \left(1 - e^{-\frac{n_0 - n_a}{\tau}} \right), \quad (1)$$

где I_a — ток отдачи, А; $I_{a_{\max}}$ — максимальный ток отдачи, А; n_0 — частота вращения ротора начала отдачи, 1/мин; n_a — текущая частота вращения ротора, 1/мин; τ — постоянная времени экспоненты, аппроксимирующей кривую токоскоростной характеристики; вычисляется по формуле

$$\tau = \frac{n_0 - n_p}{\ln \left(1 - \frac{I_p}{I_{a_{\max}}} \right)}, \quad (2)$$

где n_p — расчетная частота вращения ротора, 1/мин; I_p — расчетный ток отдачи, А.

В процессе движения автомобиля частота вращения ротора и сила тока генератора изменяются в широких пределах. Отношение этих параметров представляет собой коэффициент работоспособности генератора k_w , который мо-

жет быть использован для оценки технического состояния автомобильного генератора.

Величина, косвенно характеризующая эффективность работы генератора, —

$$k_w = \frac{I_a}{n_a}. \quad (3)$$

Изменение k_w в диапазоне частот автомобильного генератора показано на рис. 1. Наибольшей эффективностью генератор обладает в зоне средних частот вращения (1500–2500 1/мин), что согласуется с данными исследователей [6, 7].

В работах [1, 8] доказывается, что возникновение неисправности даже на ранней стадии развития ведет к снижению силы тока генератора (снижению токоскоростной характеристики генератора) (рис. 2). Следовательно, величина k_w может быть использована для оценки технического состояния автомобильного генератора [9–12].

В качестве ключевых параметров системы электроснабжения были приняты силы тока генератора, сила тока аккумуляторной батареи и напряжение бортовой сети [14]. Регистрация перечисленных параметров осуществлялась с помощью четырехканального регистратора аналоговых данных OnSet НОВО UX120-006М. Этот прибор позволяет фиксировать в памяти значения постоянного напряжения в диапазоне от 0 до 2,5 В с сохранением в памяти до 16 млн значений. Схема подключения регистратора к системе электроснабжения представлена на рис. 3.

Рис. 1. Токоскоростная характеристика автомобильного генератора

Рис. 2. Влияние неисправностей на токоскоростную характеристику генератора

Поскольку эффективность работы генератора определяется частотой вращения ротора, то осуществлялась запись показаний частоты вращения коленчатого вала путем подключения диагностического сканера ELM327 Wi-Fi к разъему OBD-II и передачи данных на планшетный компьютер с помощью программного обеспечения OBD Fusion.

Измерение напряжения бортовой сети осуществлялось подключением датчика постоянного напряжения CABLE-ADAP24 к выводам аккумуляторной батареи.

Для измерения силы тока генератора осуществлялось подключение датчика постоянного напряжения CABLE-ADAP5 к выводам токоизмерительных клещей Hantek CC-650A.

На рис. 4 приведены результаты изменения частоты вращения двигателя внутренне-

Рис. 3. Схема подключения измерительной аппаратуры:

A1 — электронный блок управления двигателя внутреннего сгорания; A2 — диагностический сканер ELM327 Wi-Fi; A3 — планшет; A4 — четырехканальный регистратор аналоговых данных OnSet HOBO UX120-006M; B1 — датчик положения коленчатого вала; B2 — датчик постоянного напряжения CABLE-ADAP24; B3, B4 — датчики постоянного напряжения CABLE-ADAP5; G1 — автомобильный генератор; GB1 — аккумуляторная батарея; HL1 — контрольная лампа; R1-Rn — задействованные потребители; S — выключатель зажигания, S1, Sn — выключатели задействованных потребителей; T1, T2 — токоизмерительные клещи Hantek CC-650A; X1 — диагностический разъем DLC

го сгорания в процессе движения автомобиля. Среднее значение частоты вращения составило $n_{\text{ср}} = 1762$ 1/мин.

Сила тока генератора при движении автомобиля не остается постоянной величиной, так как зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, а также числа и мощности задействованных потребителей [14]. Среднее значение силы тока составило 31,2 А, однако наблюдались моменты времени с низкой нагрузкой (15 А) и высокой (55 А) нагрузкой на генератор (рис. 5).

Загрузкой генератора можно назвать отношение силы тока потребителей в текущий момент времени к потенциальным возможностям генератора для данной частоты вращения:

$$Z_a = \frac{I_{ai}}{I_a^{\max}(n_i)}, \quad (3)$$

где I_{ai} — текущее значение силы тока генератора, А; $I_a^{\max}(n_i)$ — сила тока генератора по токоскоростной характеристике для текущего значения частоты вращения ротора генератора, А.

Изменение коэффициента загрузки при работе генератора представлено на рис. 6.

Рис. 4. Изменение частоты вращения коленчатого вала

Рис. 5. Изменение силы тока генератора

Среднее значение коэффициента загрузки автомобильного генератора составило $Z_a = 0,387$, максимальное значение коэффициента загрузки достигало $Z_{a_{\max}} = 0,93$, что объясняется сочетанием низкой частоты вращения ротора и высоким потреблением электроэнергии. Таким образом, коэффициент загрузки более объективно оценивает зарядный баланс автомобиля, поскольку разряд батареи возможен даже при штатной работе автомобиля.

Дальнейшие исследования будут направлены на выявление изменений зарядного баланса автомобиля при возникновении неисправностей автомобильного генератора [15] и стартерной аккумуляторной батареи.

Выводы

1. Зарядный баланс автомобиля показывает, заряжается ли аккумуляторная батарея в процессе работы автомобиля. Для нормальной работы системы электроснабжения необходимо, чтобы зарядный баланс оставался положительным, не допуская прогрессивного разряда аккумуляторной батареи. Решающее влияние на баланс электроэнергии оказывает токоотдача генератора, зависящая от частоты вращения ротора. Максимальная токоотдача генератора описывается

токоскоростной характеристикой, зависящей от технического состояния генератора.

2. В процессе движения автомобиля частота вращения ротора и сила тока генератора изменяются в широких пределах, определенных экспериментально. Отношение этих параметров представляет собой коэффициент эффективности генератора, который может быть использован для оценки технического состояния автомобильного генератора.

3. Среднее значение коэффициента загрузки автомобильного генератора $Z_a = 0,387$ и максимальное его значение достигало $Z_{a_{\max}} = 0,93$, что объясняется сочетанием низкой частоты вращения ротора и высоким потреблением электроэнергии. Таким образом, коэффициент загрузки более объективно оценивает зарядный баланс автомобиля, поскольку разряд батареи возможен даже при штатной работе автомобиля.

4. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление изменений зарядного баланса автомобиля при возникновении неисправностей автомобильного генератора и стартерной аккумуляторной батареи.

Рис. 6. Изменение коэффициента загрузки автомобильного генератора

Библиографический список

1. Adamiec M., Dziubiński M., Siemionek E. "Research of the alternator on the stand-efficiency aspect" *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering* 421, 2018. DOI 10.1088/1757-899X/421/2/022001
2. Wang S., Wang L., Shen P., Liu B. "Monitoring system for vehicle power supply based on CAN bus". 2008 *Eighth Int. Conf. on Intelligent Systems Design and Applications* (Kaohsiung). Pp. 323–326. DOI 10.1109/ISDA.2008.32
3. Diebig M., Frei S., Reitingner H., Ullrich C. "Modeling of the automotive power supply network with VHDL-AMS". 2010. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 1–6. DOI 10.1109/VPPC.2010.5729074
4. Nagashima N., Nishimura R., Ochiai R., Fujita G., Fukuda T. "Construction of Highly-Accurate Simulation Model in Automobile's Power System". 7th WSEAS International Conference on Electric Power System High Voltages Electric Machines. 2010.
5. Mazlan R. K., Dan R. M., Zakaria M. Z., Hamid A. H. A. "Experimental study on the effect of alternator speed to the car charging system" *MATEC Web of Conf.* 90 01076. 2017.
6. Li W., Suozzo C., Onori S., Rizzoni G., Salman M.A., Zhang F. "Experimental calibration and validation of fault diagnosis of automotive electric power generation system" *Proc. ASME Dynam. Syst. Control Conf.* 2008. Pp. 1317–1324.
7. Parkash V., Kumar D., Kumar C., Rajoria R. (2013) "Failure mode and effect analysis of automotive charging system" *Int. j. of software & hardware research in engineering* 3. 2013. Pp. 53–57.
8. Dziubinski M. (2004) "Computer tests of alternator reliability" 1st int. workshop "Advanced methods and trends in production engineering". 2004. Pp. 87–91.
9. Murken M., Kubel D., Kurz A., Thanheiser A., Gratzfeld P. "Fault analysis of automotive claw pole alternator rectifier diodes" *Conf. on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles* (Nottingham). 2018. Pp. 1–6.
10. Kodali A., Zhang Y., Sankavaram C., Pattipati K., Salman M. "Fault diagnosis in the automotive electric power generation and storage system (EPGS)" *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 18. 2013. Pp. 1809–1818.
11. Scacchioli A., Rizzoni G., Salman M., Li W., Onori S., Zhang X. "Model-based diagnosis of an automotive electric power generation and storage system" *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 44. 2014. Pp. 72–85.
12. Unutulmaz M.G., Ergene L.T. "Excitation current control of a claw pole automotive alternator". 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems. 2013. Pp. 1–6.
13. Zhang X., Uliyar H., Farfan-Ramos L., Zhang Y., Salman M. "Fault diagnosis of automotive electric power generation and storage systems" *Proc. Int. Conf. Control Appl.* (Yokohama, Japan, September 8–10). 2010. Pp. 719–724.
14. Пилюгин А. А., Покровский В. В., Пузаков А. В. Экспериментальное определение тока генератора в процессе движения автомобиля // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международн. научн.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (4–6 декабря 2019 г.). В 2 т. Тюмень: ТИУ, 2020. Т. 1. С. 348–351.
15. Puzakov A. "Physical modeling of failures of the automotive alternator" *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 643. 2019. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012019

References

1. Adamiec M., Dziubiński M., Siemionek E. Research of the alternator on the stand-efficiency aspect. *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering* 421, 2018. DOI 10.1088/1757-899X/421/2/022001
2. Wang S., Wang L., Shen P., Liu B. Monitoring system for vehicle power supply based on CAN bus. 2008 *Proc. of the Eighth Int. Conf. on Intelligent Systems Design and Applications* (Kaohsiung), pp. 323–326. DOI 10.1109/ISDA.2008.32
3. Diebig M., Frei S., Reitingner H., Ullrich C. Modeling of the automotive power supply network with VHDL-AMS. 2010. *Proc. of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 1–6. DOI 10.1109/VPPC.2010.5729074
4. Nagashima N., et al. Construction of highly-accurate simulation model in automobile's power system. *Proc. of the 7th WSEAS International Conference on Electric Power System High Voltages Electric Machines*. 2010.
5. Mazlan R.K., Dan R. M., Zakaria M. Z., Hamid A. H. Experimental study on the effect of alternator speed to the car charging system. *MATEC Web of Conf.*, 2017, vol. 90, article no. 01076.
6. Li W., et al. Experimental calibration and validation of fault diagnosis of automotive electric power generation system. *Proc. of the ASME Dynam. Syst. Control Conf.*, 2008, pp. 1317–1324.
7. Parkash V., Kumar D., Kumar C., Rajoria R. Failure mode and effect analysis of automotive charging system. *Int. j. of software & hardware research in engineering*, 2013, no. 3, pp. 53–57.
8. Dziubinski M. Computer tests of alternator reliability. *Proc. of the 1-st int. workshop "Advanced methods and trends in production engineering"*, 2004, pp. 87–91.
9. Murken M., et al. Fault analysis of automotive claw pole alternator rectifier diodes. *Proc. of the Conf. on*

Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles. Nottingham, 2018, pp. 1–6.

10. Kodali A., et al. Fault diagnosis in the automotive electric power generation and storage system (EPGS). *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2013, no. 18, pp. 1809–1818.

11. Scacchioli A., et al. Model-based diagnosis of an automotive electric power generation and storage system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2014, no. 44, pp. 72–85.

12. Unutulmaz M. G., Ergene L. T. Excitation current control of a claw pole automotive alternator. *Proc. of the 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems*, 2013, pp. 1–6.

13. Zhang X., et al. Fault diagnosis of automotive electric power generation and storage systems. *Proc. of the Int. Conf. Control Appl.* (Yokohama, Japan, September 8–10), 2010, pp. 719–724.

14. Pilyugin A. A., Pokrovskiy V. V., Puzakov A. V. *Eksperimental'noe opredelenie toka generatora v protsesse dvizheniya avtomobilya* [Experimental determination of the generator electric current in the process of driving a car]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (4–6 dekabrya 2019 goda) «Problemy funktsionirovaniya sistem transporta»* [Proceedings of the International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists (December 4–6, 2019) “Problems of functioning of transport systems”]. In 2 vols. Tyumen', TIU Publ., 2020, vol. 1, pp. 348–351.

15. Puzakov A. Physical modeling of failures of the automotive alternator. *Proc. of the IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 643. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012019