

УДК 621.316.761.2

К.В. Хацевский, доктор технических наук

Омский государственный технический университет, (г. Омск, Россия)

E-mail: xkv-post@rambler.ru**А.А. Сидоренко**, кандидат технических наукВоенная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева
Министерства обороны Российской Федерации, (г. Омск, Россия)E-mail: sidorenko_alex@mail.ru**В.Е. Беляков**, старший преподавательВоенная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева
Министерства обороны Российской Федерации, (г. Омск, Россия)E-mail: vitaliy_belyakov@mail.ru**С.К. Бисимбаев**, курсантВоенная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева
Министерства обороны Российской Федерации, (г. Омск, Россия)E-mail: bisimbaev-serik@mail.ru**М.Г. Григорьев**, кандидат технических наукВоенная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева
Министерства обороны Российской Федерации, (г. Омск, Россия)E-mail: maximus1101@mail.ru

Повышение эффективности системы электроснабжения автомобильного транспорта

***Аннотация.** В статье рассматриваются способ повышения эффективности эксплуатации автомобилей за счёт совершенствования методов обеспечения работоспособности электрооборудования на основе диагностирования генераторов по выходному напряжению. В качестве диагностики предлагается выполнять спектральный анализ вырабатываемого напряжения в режиме холостого хода и по результатам определять состояние различных элементов генератора. Эффективность предлагаемых решений определяется в неразборной диагностике генератора, которая может на основе глубокого обследования определить состояние различных элементов генератора. Этот способ не требует выведения генератора из рабочего состояния, не зависит от его конструкции и может применяться в сложных условиях эксплуатации для получения предварительной информации о состоянии генератора на начальном этапе обслуживания*

***Ключевые слова:** система электроснабжения автомобиля, генератор, электромагнитная совместимость, спектральный анализ*

Введение. Электрооборудование современного автомобиля представляет собой сеть последовательно или параллельно включенных источников и потребителей электрической энергии [2, 3]. Основным источником электроэнергии является автомобильный генератор [4].

Современная генераторная установка состоит из генератора и регулятора напряжения, которой не требует технического обслуживания в процессе эксплуатации. При отказе генераторной установки автомобиль продолжает движение, поскольку его питание обеспечивает аккумуляторная батарея [4].

У современного автомобиля установлено большое количество навесного оборудования, которое обладает большим электропотреблением, и внезапный отказ генератора приводит к остановке транспортного средства, так как аккумуляторная батарея не способна обеспечивать питанием бортовую сеть больше 40–70 км в зависимости от включенных потребителей. Движение автомобиля от аккумуляторной батареи даже с уменьшенным количеством потребителей, а также его недозаряд или перезаряд неблагоприятно сказываются на аккумуляторной батарее. Поэтому возникает необходимость в дополнительном контроле состояния генераторной установки.

В руководящих документах или в инструкциях по эксплуатации транспортных средств оценивают состояние генераторной установки с помощью средств приборной панели автомобиля. На большинстве современных автомобилей установлен цифровой вольтметр, до которого можно добраться через основное меню, что затрудняет считывание информации. Современные сигнализации позволяют определить напряжение генератора как в режиме работы двигателя на холостом ходу, так и определить напряжение аккумуляторной батареи. На ранних выпусках автомобилей устанавливался ещё и амперметр, но ввиду того, что работа генератора рассчитана на весь период эксплуатации автомобиля, кроме замены щеток, то автопроизводитель посчитал излишней его установку. На некоторых автомобилях контроль генераторной установки осуществляется светодиодом. Он позволяет констатировать факт неисправности, но не позволяет определить неисправность генераторной установки на ранней стадии. Конечно, более информативными являются амперметр и вольтметр, но генератор, в

свою очередь, работает параллельно с аккумуляторной батареей, и это снижает возможность своевременного определения симптомов нештатной работы генератора.

Для оценки технического состояния узлов и агрегатов автомобиля разработано большое количество методов диагностирования, отличающихся по измеряемым параметрам, принципу измерения, способу определения, применяемым средствам и т.д. Методы диагностирования автомобилей и их составных частей рассматриваются в работах [7, 8].

Закономерности изменения технического состояния электрооборудования автомобилей в процессе эксплуатации рассмотрены в работах А.В. Акимова, В.Е. Ютта, Ю.П. Чижкова, А. Scacchioli, P. Pisu, G. Rizzoni, X. Zhang, H. Uliyar, L. FarfanRamos, Y. Zhang, M. Salman и других [8].

Материалы и методы. Разработка новых методов дополняет диагностику генераторов во время работы, так как выявляет те дефекты, которые не проявились во время эксплуатации. Это позволяет выполнить предупредительный ремонт и устранить дефект или ограничить опасные режимы работы генераторов и сократить период между ревизиями для оценки динамики развития дефекта. Существует большое количество методов технической диагностики генераторной установки. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Для оценки технического состояния генератора вводят дополнительные контролируемые параметры, которые измеряются с помощью программных продуктов на компьютерах. Введение дополнительных программных продуктов иногда упрощает диагностирование, но разработка специальных программ требует определённых навыков, умения и знания языков программирования, вдобавок к этому затраты на программы должны окупаться за счёт потребителей, т.е. за счёт нас.

Самый распространённый и дешёвый с точки зрения экономических затрат метод диагностирования генераторов – это дефектация. Существует два вида дефектации – “на слух” или разборная. С помощью разбора генераторной установки можно определить электрическое сопротивление обмоток статора и ротора, межвитковое и корпусное замыкание, прямое и обратное сопротивление диодов; диаметр и биение контактных колец; износ щёток; люфт подшипников и т.д. К недостаткам такого способа дефектации следует отнести трудоёмкость снятия генератора с автомобиля, так как на автомобилях мало свободного пространства в подкапотном отделении. На некоторых автомобилях для доступа к генератору необходимо вывернуть колесо и демонтировать правое переднее колесо, что увеличивает процедуру прямого диагностирования. После окончания работ требуется обязательное проведение стендовых испытаний генератора, поскольку только проверка соответствия выходных параметров техническим нормативам позволяет устанавливать генератор обратно на автомобиль. Слесари на станциях технического обслуживания автомобилей редко имеют “музыкальный слух”, чтобы точно определить неисправность.

Исследовательские методы позволяют, не разбирая генератор, проводить контроль с меньшими затратами времени, получать результаты измерения [8]. К недостаткам таких методов относятся сложность диагностического оборудования, значительная стоимость самого оборудования и контроля, требуется обучение и высокой уровень квалификации персонала.

К достоинствам осциллографического измерения можно отнести оперативность, достаточную точность, возможность автоматизации измерения диагностических параметров [8].

Результаты анализа существующих осциллографических методов диагностирования автомобильных генераторов показали высокую эффективность, поэтому актуальной задачей является выполнять спектральный анализ вырабатываемого напряжения генератора в режиме холостого хода. Современные спектральные приборы постоянно совершенствуются в соответствии с возрастающими требованиями к точности и чувствительности. В связи с разработкой и внедрением новых технологий создаются спектрометры, которые обеспечивают необходимую производительности и возможность автоматизации процесса анализа.

Целью экспериментальных исследований является проверка адекватности гипотезы, а также определение численных значений параметров математических моделей.

В процессе экспериментальных исследований решались следующие задачи:

– определение взаимосвязи выходного напряжения и тока автомобильных генераторов с изменением функциональных зависимостей;

– проверка гипотезы.

На рисунке 1 приведена структурная схема исследования бортовой сети автомобильной техники.

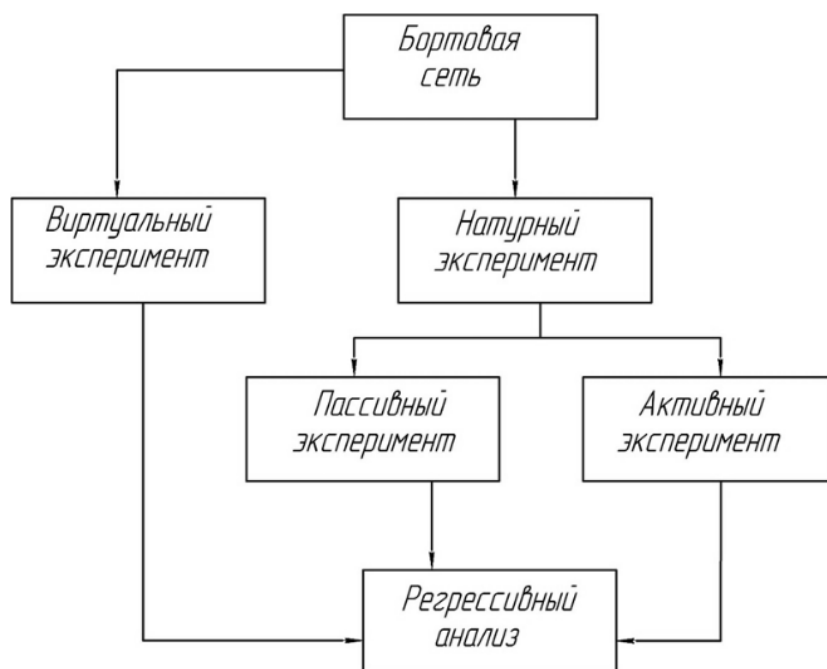


Рисунок 1 – Структурная схема исследования в ЭЭС автомобиля

Экспериментальные исследования проводились натурно и виртуально. Под виртуальным экспериментом понимается некоторое логическое построение, наборы формул из рассмотренных гипотез, алгоритмы и программное обеспечение расчётов (например, MATLAB и др.) на компьютере. Таким образом, виртуальный эксперимент является логической аналогией реального опыта, но уступает ему по объективным причинам.

На рисунке 2 приведена схема электроснабжения потребителей, подключаемых в автомобиле. На схеме показана установка и подключение аппаратных средств измерений при выполнении экспериментальных исследований электромагнитной обстановки (ЭМО) в электрической сети.

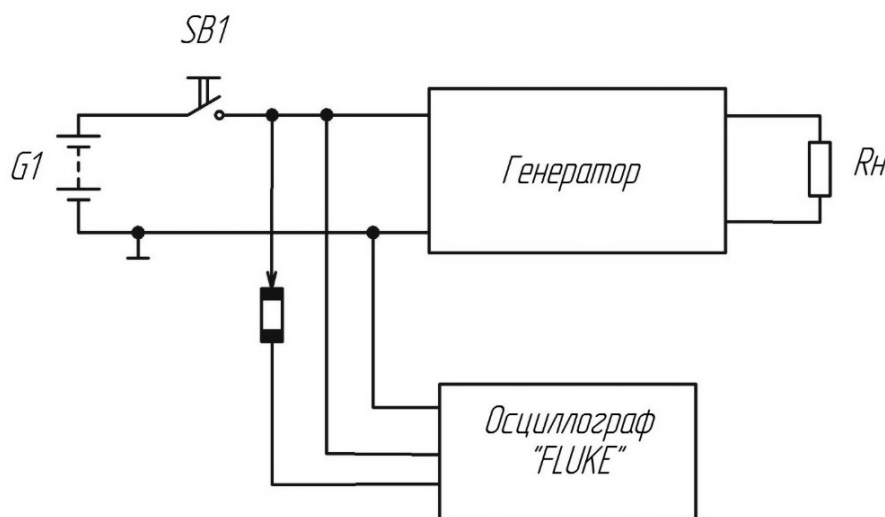


Рисунок 2 – Схема подключения средств измерений при экспериментальных исследованиях

Измерительно-вычислительный комплекс «FLUKE», заводской номер 042, год выпуска 2019, признан пригодным к применению органами стандартизации и метрологии, прошедший поверку и аттестацию, имеет сертификат Госстандарта России. Для обработки результатов измерений имеется программное обеспечение. Длина измерительных кабелей типа РК-50 не превышала 3м.

Исследование ЭМО в системе электроснабжения автомобиля «УРАЛ-43203» можно отнести к сложной, как по количеству электромагнитных явлений (процессов) в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах, так и по их характеру.

Для уменьшения влияния помех на измерения осциллографа он должен быть подключен максимально близко к генератору. В этом случае можно достаточно точно оценить только

помехоэмиссию, т.к. при невыполнении требований стандартов у электрооборудования и особенно его изоляции, подверженной негативному воздействию кондуктивных помех, сокращается срок службы и снижается надёжность, следовательно, увеличивается вероятность отказов.

При невозможности подключения к рецептору и источнику для учета влияния параметров бортовой сети необходимо использовать её эквивалент.

Использование стабилитрона, варистора и других компонентов на клеммах основной цепи может обеспечить необходимую защиту чувствительного оборудования, если между источником импульсных помех и устройством подавления только в том случае не имеется никакого размыкающего выключателя.

Процесс взаимодействия источников и приемников электроэнергии, который определяет параметры питающего напряжения, имеет сложный и нелинейный характер и зависит не только от характеристик и режимов работы источников электроэнергии, но и от характера и режимов работы нагрузки (приемники электроэнергии). Для уменьшения влияния параметров качества электроэнергии на нормальное функционирование приемников электроэнергии, формирующих эксплуатационно-технические свойства ВАТ, необходимо еще на стадии проектирования оценивать совместимость и формировать требования по ее обеспечению на стадии производства.

Электроснабжение автомобиля Урал 43203 осуществляется от генераторной установки Г288Е и регулятора напряжения 2712.3702 (рисунок 3) [9].

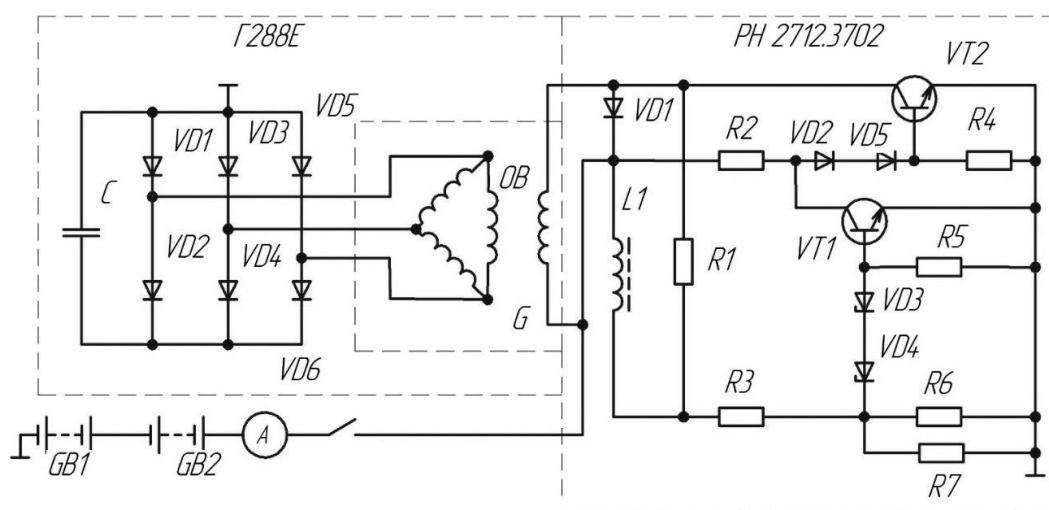


Рисунок 3 – Генератор Г288Е и регулятор напряжения 2712.3702

Генераторная установка представляет собой трехфазную синхронную электрическую машину со встроенным выпрямительным блоком, помехоподавляющим конденсатором, щеткодержателем с регулятором напряжения и системой с протяжной вентиляцией [9].

Результаты. При изучении явлений используется осциллограф с указанием места его подключения (рисунок 4).

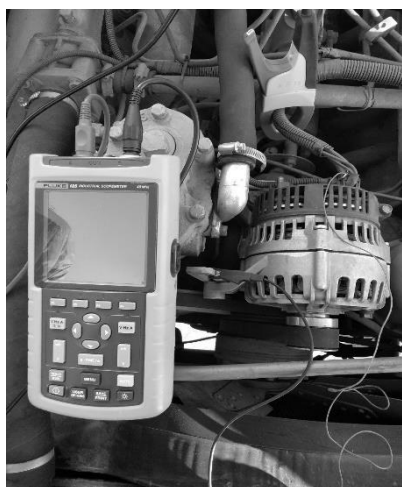


Рисунок 4 – Схема подключения измерительно-вычислительного комплекса «FLUKE» при экспериментальных исследованиях на автомобиле «УРАЛ-43203»

Исследования спектрального анализа производились на автомобилях «УРАЛ-43203» с пробегом 1900 км (рисунок 5б) и с пробегом 28870 км (рисунок 5а) в летний период. Исследования производились на холостом ходу ($n_{xx}=800$ об/мин) без нагрузки и с включением ближнего света.



Рисунок 5 – Результаты исследования спектрального анализа на автомобиле «УРАЛ-43203»
а) система неисправна; б) система исправна

Спектральный анализ также производился на автомобиле «КАМАЗ-5350» (рисунок 6). Генераторная установка предназначена для питания всех потребителей автомобиля электрической энергией при работающем двигателе и для поддержания напряжения в бортовой сети автомобиля в пределах $(28,4 \pm 0,6)$ В.

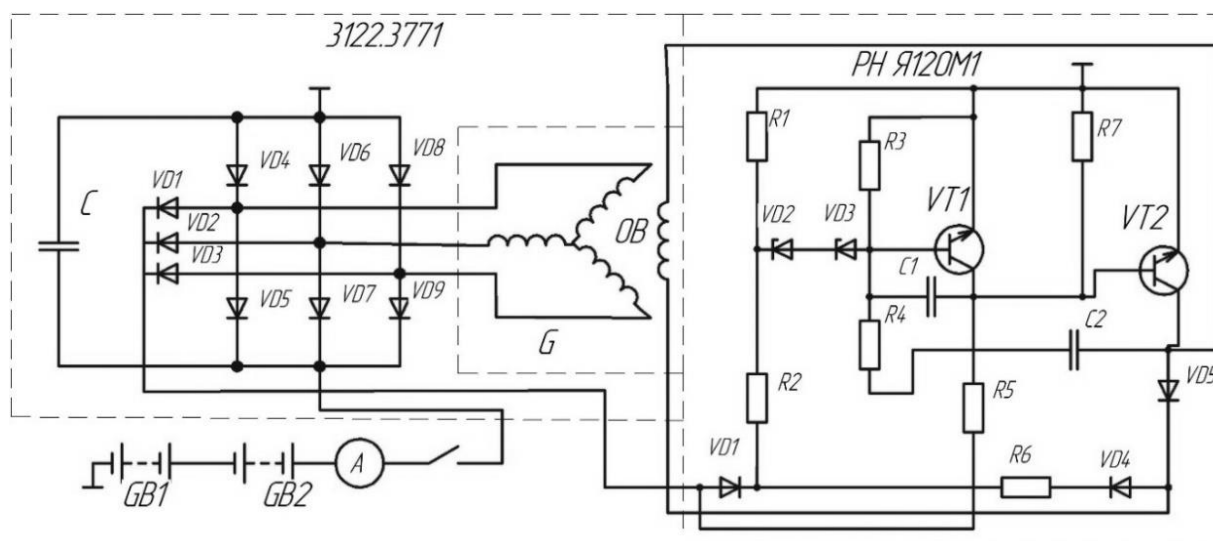


Рисунок 6 – Генератор 3122.3771 и регулятор напряжения Я120М12И

Исследования спектрального анализа производились на автомобиле «КАМАЗ-5350» с указанием точек подключения (рисунок 7). На рисунке 8 показаны результаты исследования спектрального анализа на автомобиле «КАМАЗ-5350»



Рисунок 7 – Схема подключения измерительно-вычислительного комплекса «FLUKE» при экспериментальных исследованиях на автомобиле «КАМА3-5350»



Рисунок 8 – Результаты исследования спектрального анализа на автомобиле «КАМА3-5350»

В настоящее время широкое распространение получило компьютерное проектирование и испытание электронных схем в таких средах схемотехнического моделирования, как Electronics Workbench, DesignLab, P-Spice, MicroLogic, LabVIEW, NI Multisim, Matlab и др. На этапе начального освоения методов проектирования и испытания электронных устройств наиболее приемлемым средством, на наш взгляд, является программная среда NI Multisim14 компании Electronics Workbench Group, входящей в корпорацию National Instruments.

Большое количество и разнообразие моделей электронных устройств, средств анализа и виртуальных приборов делает среду MS14 удобным инструментом для демонстрации и визуализации.

Расчётная модель, представленная ниже, позволяет увидеть спектральный анализ (рисунок 9).

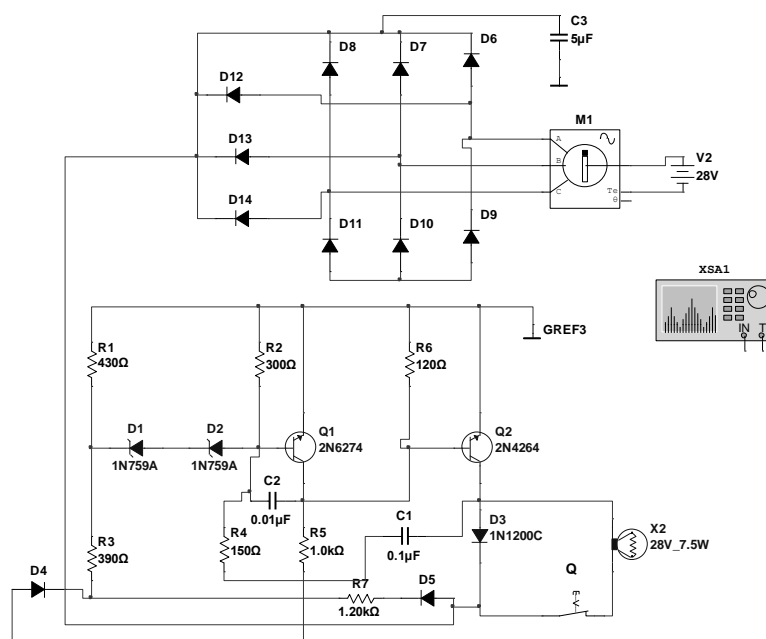


Рисунок 9 – Модель синхронного генератора 3122.3771 и регулятора напряжения Я120М12И в программе Multisim 14

В программе Multisim можно имитировать основные неисправности генератора (рисунок 10) как электрические и механические:

- обрыв фазы;
- межвитковое замыкание;
- утечка;
- короткое замыкание;
- «сухое» трение подшипника.

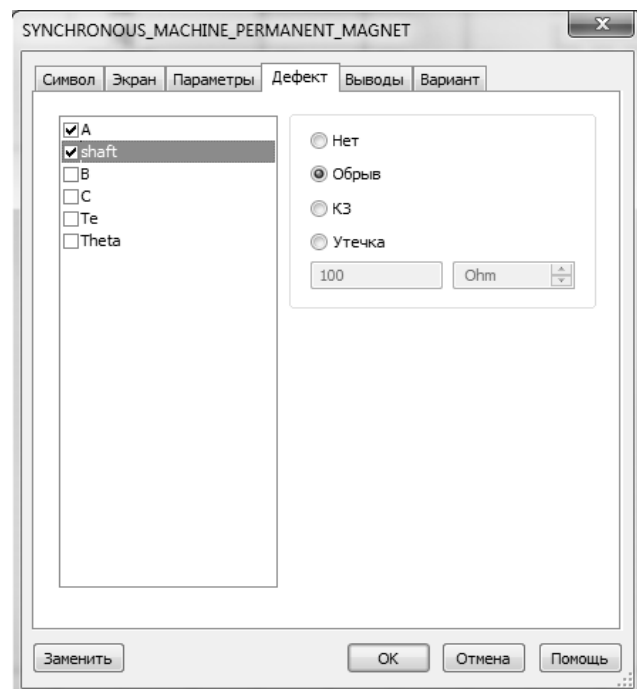


Рисунок 10 – Окно задания неисправностей

Чтобы получить результаты ЭМС, в рабочее окно модели добавлен блок «Spectrum Analyzer» (рисунок 11).

Он служит для измерения амплитуды гармоник с заданной частотой. Также он может измерить мощность сигнала и частотных компонент, определить наличие гармоник в сигнале.

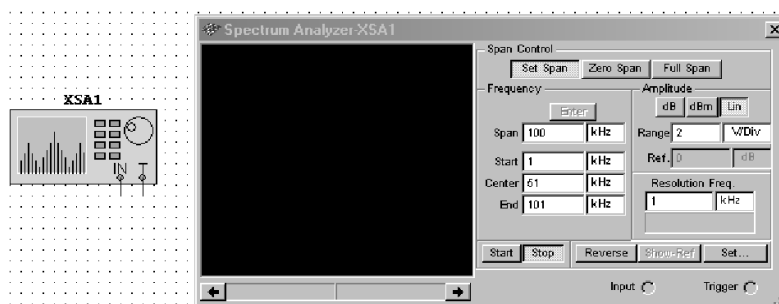


Рисунок 11 – Окно настройки спектрального анализатора

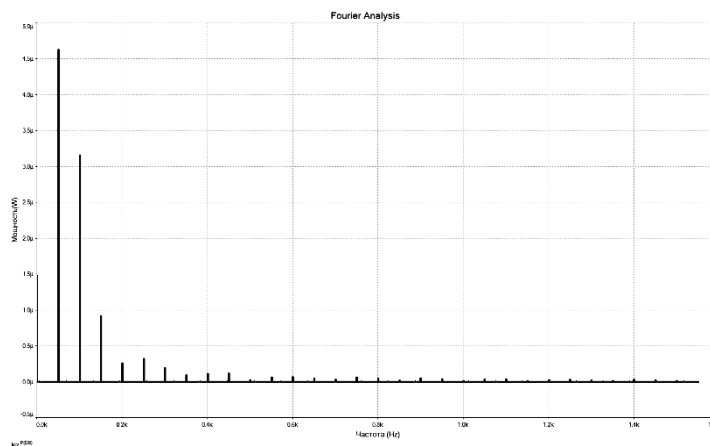


Рисунок 12 – Спектр переменной составляющей напряжения

Обсуждение. Результаты работы спектрального анализатора отображаются в частотной области, а не временной. Обычно сигнал – это функция времени, для её измерения используется осциллограф. Иногда ожидается синусоидальный сигнал, но он может содержать дополнительные гармоники, в результате чего невозможно измерить его уровень. Если же сигнал измеряется спектральным анализатором, получается частотный состав сигнала, то есть определяется амплитуда основной и дополнительных гармоник.

В результате проведенных исследований (рисунок 8) установлена закономерность лобового подшипника генератора и 27 гармоники, даны рекомендации по его замене.

Заключение. Максимальное относительное отклонение результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет не более 4,4 %; относительное отклонение результатов экспериментальных исследований и аналитических результатов не превышает 8,6 %. Расхождение результатов теоретических и аналитических исследований составляет не более 8,4 %. Степень адекватности теоретических и аналитических исследований достаточна для решения поставленных в работе задач.

Причины расхождения результатов могут быть объяснены принимаемыми в моделях допущениями, приближенными значениями некоторых параметров, участвующих в расчетах, а также погрешностями проводимых измерений.

Предложенный метод позволит спрогнозировать возможную неисправность системы электроснабжения любого автомобиля. Кроме того, при работе генератора в линиях связи может возникнуть множество помех различного рода, способных нарушить нормальную работу потребителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Баловнев Д.И. Экспресс-диагностика генераторов переменного тока / Д.И. Баловнев // Известия вузов. Электромеханика, 2014. – № 4. – С. 45 – 48.
- 2 Малкин В.С. Техническая диагностика: учебное пособие / В.С. Малкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 268 с.
- 3 Сафиуллин Р. Н. Электротехника и электрооборудование транспортных средств / Р.Н. Сафиуллин, В. В. Резниченко, М. А. Керимов – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 400 с.
- 4 Надёжность в технике. Термины и определения: ГОСТ Р 53480-2009 – М.: Стандартинформ, 2010. – 15 с.

- 5 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений: ГОСТ Р 8.563–2009 – [Введен 2010–15–04]. – М.: Издательство стандартов, 2010. – 21 с.
- 6 Мигаль В.Д. Методы технической диагностики автомобилей: учебное пособие / В.Д. Мигаль, В.П. Мигаль. – М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 416 с.
- 7 Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобилей: справочное пособие в 6 томах. Том 3. Методы диагностирования / В.Д. Мигаль, В.П. Мигаль. – М.: ООО «ИПЦ «Маска», 2013. – 548 с.
- 8 Пузаков А.В. Методика диагностирования автомобильных генераторов по параметрам выходного напряжения: дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Пузаков. – Оренбург, 2016. – 157 с.
- 9 Гумелёв В.Ю. Электрооборудование автомобилей семейства «Мотовоз-1». Генераторная установка: устройство, обслуживание, предупреждение и устранение неисправностей: учебное пособие / В.Ю. Гумелёв, Н.Л. Пузевич, А.В. Писарчук, В.Д. Рогачёв Е.В. – Рязань, Ряз. высш. возд.-дес. ком. уч-ще, 2012. – 114 с.

REFERENCES

- 1 Balovnev, D.I. (2014). Ekspres-diagnostika generatorov peremennogo toka [Express diagnostics of alternators]. Izvestiya vuzov. Elektromekhanika - University news. Electromechanics, 4, 45-48 [in Russian].
- 2 Malkin, V.S. (2013). Tekhnicheskaya diagnostika: uchebnoe posobie [Technical diagnostics]. Sankt-Peterburg: Lan [in Russian].
- 3 Safiullin, R. N. (2019). Elektrotehnika i elektrooborudovanie transportnyh sredstv [Electrical Engineering and Electrical Equipment of Vehicles]. Sankt-Peterburg: Lan [in Russian].
- 4 Nadyozhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Reliability in technology. Terms and Definitions]. (2010). GOST R 53480-2009. Moscow: Standartinform [in Russian].
- 5 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Metodiki (metody) izmereniy [State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement procedures (methods)]. (2010). GOST R 8.563–2009 – [Vveden 2010–15–04]. Moscow: Izdatelstvo standartov [in Russian].
- 6 Migal, V.D., Migal, V.P. (2014). Metody tekhnicheskoy diagnostiki avtomobiley [Methods of technical diagnostics of cars]. Moscow: ID FORUM: NIC INFRA-M [in Russian].
- 7 Migal, V.D., Migal V.P. (2013). Tekhnicheskaya diagnostika avtomobiley: spravocnoe posobie v 6 tomah. Tom 3. Metody diagnostirovaniya [Technical diagnostics of cars]. Moscow: ООО «IPC «Маска» [in Russian].
- 8 Puzakov, A.V. (2016). Metodika diagnostirovaniya avtomobilnyh generatorov po parametram vyhodnogo napryazheniya [Diagnostic technique for automotive alternators by output voltage parameters]. Extended abstract of candidate's thesis. Orenburg [in Russian].
- 9 Gumelev, V.Yu., Puzevich, N.L., Pisarchuk, A.V. & Rogachev V.D. (2012). Elektrooborudovanie avtomobiley semeystva «Motovoz-1». Generatornaya ustanovka: ustroystvo, obsluzhivanie, preduprezhdenie i ustranenie neispravnostey [Electric equipment of cars of the Motovoz-1 family. Generator set: device, maintenance, warning and troubleshooting]. Ryazan: Ryaz. vyssh. des. kom. uch-shche [in Russian].

К.В. Хацевский, техника ғылымдарының докторы
Омбы мемлекеттік техникалық университеті (Омбы қ., Ресей)
E-mail: xkv-post@rambler.ru

А.А. Сидоренко, техника ғылымдарының кандидаты
Ресей Федерациясы Қорғаныс Министрлігінің Армия генералы А.В. Хрулевтің атындағы Әскери логистика академиясы (Омбы қ., Ресей)
E-mail: sidorenko_alex@mail.ru

В.Е. Беляков, аға оқытушы
Ресей Федерациясы Қорғаныс Министрлігінің Армия генералы А.В. Хрулевтің атындағы Әскери логистика академиясы (Омбы қ., Ресей)
E-mail: vitaliy_belyakov@mail.ru

С.Қ. Бисимбаев, кадет
Ресей Федерациясы Қорғаныс Министрлігінің Армия генералы А.В. Хрулевтің атындағы Әскери логистика академиясы (Омбы қ., Ресей)
E-mail: bisimbaev-serik@mail.ru

М.Г. Григорьев, техника ғылымдарының кандидаты
Ресей Федерациясы Қорғаныс Министрлігінің Армия генералы А.В. Хрулевтің атындағы Әскери логистика академиясы (Омбы қ., Ресей)
E-mail: taximus1101@mail.ru

Автомобиль көлігін электрмен жабдықтау жүйесінің тиімділігін арттыру

Мақалада электр генераторларының шығыс кернеуі бойынша диагностикасы негізінде электр жабдықтарының жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз ету әдістерін жетілдіру арқылы автокөлік жұмысының тиімділігін арттыру жолдары қарастырылған. Диагностика ретінде бос тұрған режимде пайда болған кернеуге спектрлік талдау жасау және алынған нәтижелерден генератор элементтерінің күйін анықтау ұсынылады. Ұсынылған шешімдердің тиімділігі мұқият тексеру негізінде генератордың әртүрлі элементтерінің күйін анықтай алатын генератордың бөлінбейтін диагностикасы арқылы анықталады. Бұл әдіс генераторды жұмыстан шығаруды қажет етпейді, оның құрылымына тәуелді емес және генераторды күрделі пайдалану жағдайларында техникалық қызмет көрсетудің бастапқы кезеңінде генератордың жай-күйі туралы алдын-ала ақпарат алу үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: автомобильді электрмен жабдықтау жүйесі, генератор, электромагниттік үйлесімділік, спектрлік талдау.

K.V. Khatsevsky, Doctor of Technical Sciences

Omsk State Technical University (Omsk, Russia)

E-mail: xkv-post@rambler.ru

A.A. Sidorenko, Candidate of Technical Sciences

Military academy of material and technical support of the name of General A. B. Khrulev Ministry of Defense of the Russian Federation (Omsk, Russia)

E-mail: sidorenko_alex@mail.ru

V.E. Belyakov, senior teacher

Military academy of material and technical support of the name of General A. B. Khrulev Ministry of Defense of the Russian Federation (Omsk, Russia)

E-mail: vitaliy_belyakov@mail.ru

S.K. Bisimbaev, cadet

Military academy of material and technical support of the name of General A. B. Khrulev Ministry of Defense of the Russian Federation (Omsk, Russia)

E-mail: bisimbaev-serik@mail.ru

M.G. Grigoriev, Candidate of Technical Sciences

Military academy of material and technical support of the name of General A. B. Khrulev Ministry of Defense of the Russian Federation (Omsk, Russia)

E-mail: maximus1101@mail.ru

Improving the efficiency of the road transport power supply system

The article discusses a way to increase the efficiency of automobile operation by improving methods for ensuring the operability of electrical equipment based on the diagnosis of generators by output voltage. As a diagnosis, it is proposed to perform a spectral analysis of the generated voltage in idle mode and to determine the state of various generator elements from the results. The effectiveness of the proposed solutions is determined by the non-separable diagnostics of the generator, which, based on a thorough examination, can determine the state of various elements of the generator. This method does not require taking the generator out of operation, does not depend on its design and can be used in difficult operating conditions to obtain preliminary information about the state of the generator at the initial stage of maintenance.

Key words: car power supply system, generator, electromagnetic compatibility, spectral analysis.