

С.А. Мирончук, В.В. Демьянов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПЧ50/25 ПРИ РАЗНЫХ СХЕМАХ ВКЛЮЧЕНИЯ

Аннотация. Предложена прикладная методика диагностики исправного состояния и правильности схемы подключения параметрического преобразователя частоты. Методика основана на анализе формы выходного напряжения преобразователя частоты. Методика успешно апробирована практически путем лабораторного исследования особенностей функционирования преобразователя частоты ПЧ50/25 при разных схемах включения. Показано, что при разном количестве включенных вторичных обмоток ПЧ50/25 существенно меняется форма выходного напряжения и напряжение начала генерации. Проанализирован спектр выходного напряжения ПЧ50/25. Установлено, что при определенном количестве включения вторичных обмоток в спектре напряжения наблюдается составляющая на частоте 75 Гц с амплитудой 5.5 В. Это наблюдение позволяет рекомендовать использование ПЧ50/25 в качестве генератора сигналов переменного тока с частотой 75 Гц в составе модифицированной системы АЛСН с повышенной помехоустойчивостью.

Ключевые слова: параметрический преобразователя частоты, техническая диагностика электропитающих устройств, помехоустойчивость АЛСН.

S.A. Mironchuk, V.V. Demyanov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF THE OPERATION OF THE PARAMETRIC FREQUENCY CONVERTER PCH50/25 WITH DIFFERENT SWITCHING SCHEMES AND EXTERNAL INFLUENCES

Abstract. A practical method was worked out to provide technical control of the parametric frequency converter health and the correctness of its the circuits set up. The method is based on analysis of the shape of the converter output voltage. The method was approbated successfully by practical examination of performance features of the typical PCH25/50 converter under its different settings. It was demonstrated that different number of the switched semi-coils of the converter results in significant difference in the output voltage shape and in the voltage of the generation initiation. The shape of the output voltage spectra of the convertor was studied. It was found that certain number of switched semi-coils results in appearance of the 75 Hz spectral component with the amplitude of 5.5 volt in in the spectra content. This result allows to recommend the utilization of the PCH50/25 converter as the 75 Hz harmonic signal generator in the content of the modified ALSN with higher noise immunity.

Keywords: parametric frequency converter, technical diagnostics of electric sully devises, ALSN noise immunity.

Введение

Оперативная техническая диагностика электропитающих устройств в процессе эксплуатации и обслуживания является основой надежного функционирования всего технического комплекса систем интервального регулирования движения поездов. Часто могут возникать отказы по причине неправильного подключения типовых устройств электропитания или вследствие внутренних коротких замыканий, которые не приводят к отключению устройства, но вызывают его неправильную работу. Своевременное обнаружение таких отказов является наиболее трудным, а сами такие отказы представляют наибольшую опасность.

Одним из типовых электропитающих устройств, которые широко используются в составе технических комплексов автоблокировки и электрической централизации, является параметрический преобразователь частоты (ПЧ) ПЧ50/25. Несмотря на кажущуюся простоту его конструкции и схемы подключения, возможно некорректное включение секций вторичных обмоток электромагнитного блока ПЧ в цепь нагрузки. Возможно также возникновение

частичного короткого замыкания между витками вторичных обмоток ПЧ. Обе эти ситуации приводят к одному и тому же результату: существенному изменению индуктивности вторичной обмотки. Это вызывает соответственное изменение частоты внутренних колебаний в колебательной системе «вторичная обмотка – блок конденсаторов» ПЧ. Следствием сказанного может стать: нарушение баланса амплитуд и фаз со срывом колебаний 25 Гц на выходе ПЧ; искажение формы выходного напряжения ПЧ и появление широкого спектра гармоник, которые могут приводить к помехам в токораспределительных сетях и к резкому снижению КПД ПЧ. В последнем случае возникает отказ в работе ПЧ, который не проявляется в виде исчезновения напряжения на нагрузке ПЧ, однако требует вмешательства.

Целью данной работы является разработка практической методики технической диагностики параметрического преобразователя частоты в ситуации, когда требуется проверить корректность схемы подключения его вторичных обмоток без разбора корпуса прибора. Кроме этого, в работе предлагается проверить возможность использования ПЧ при специфических схемах подключения его вторичных обмоток для генерации гармонических колебаний с частотой, отличной от 25 Гц.

Параметрический преобразователь частоты ПЧ 50/25

Параметрический преобразователь частоты (ПЧ) – это устройство, которое обеспечивает преобразование напряжения переменного тока частотой 50 Гц в напряжение переменного тока частотой 25 Гц [1].

Принципиальная схема преобразователя частоты ПЧ50/25 представлена на рисунке 1. Конструктивно в состав схемы входит два отдельных блока: электромагнитный преобразовательный блок (БП) и блок конденсаторов (БК) [2].

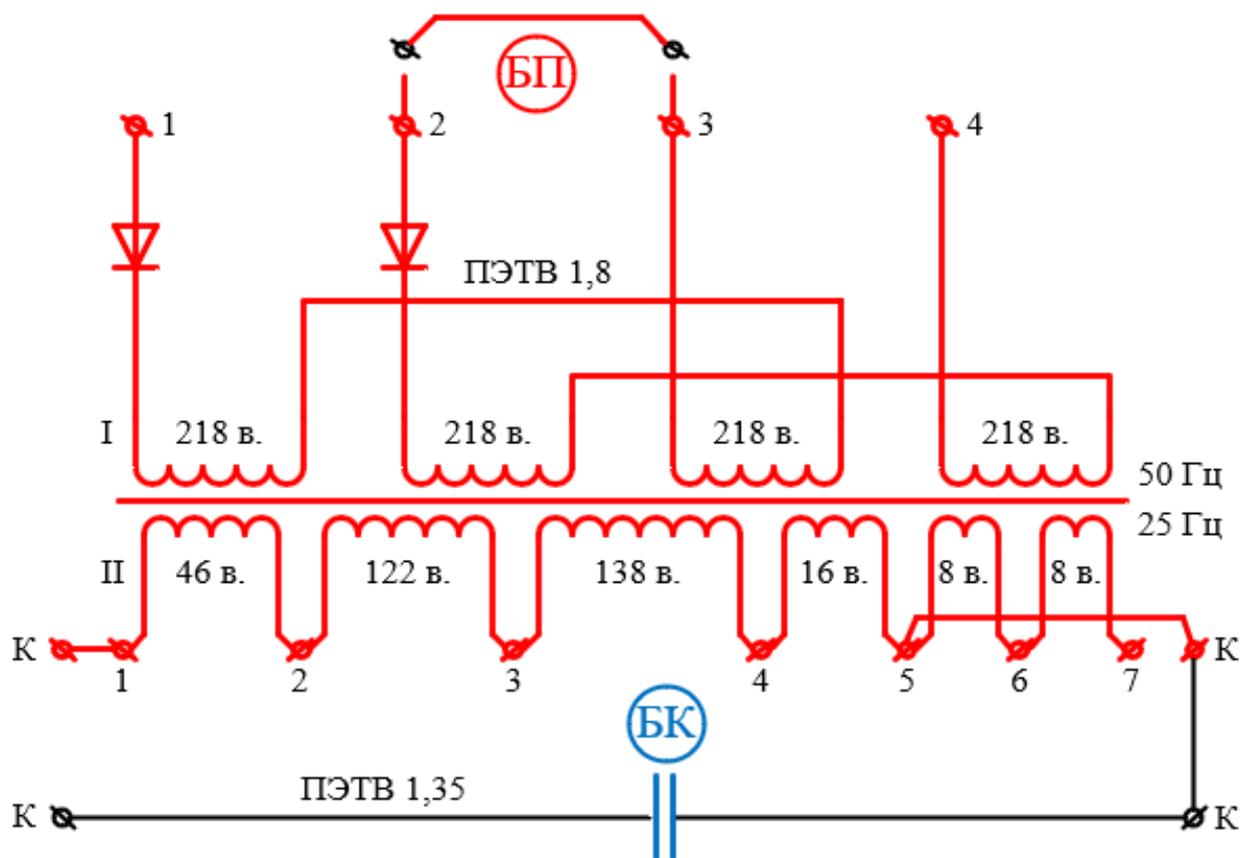


Рис. 1. Принципиальная схема преобразователя частоты ПЧ50/25

Принцип действия преобразователя частоты строится на колебательной системе, которая образуется из вторичных обмоток электромагнитного блока и из конденсаторного блока, который включен параллельно вторичной обмотке электромагнитного блока. Образуется

колебательная система, в которой при внешнем воздействии и при соблюдении условия баланса амплитуды и фаз поддерживаются свободные колебания частотой 25 Гц [2].

Базовая суть работы преобразователя частоты привязана к параметрам колебательной системы, а именно с помощью формулы Томпсона (1)

$$f = \frac{1}{2p\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

где L – индуктивность катушки (Гн);

C – электроёмкость конденсатора (Ф).

f – резонансная частота, это и есть частота собственных колебаний в системе (Гц).

Из формулы (1) видно, что при постоянной ёмкости конденсатора мы можем, изменяя индуктивность, изменять частоту внутренних колебаний в системе [3].

Методика технической диагностики состояния ПЧ

Техническое состояние оценивается параметрами напряжения начала срыва генерации и параметрами выходного напряжения (амплитуда, форма и спектральный состав). Предполагается, что эти параметры меняются при возникновении неисправности в преобразователе частоты, либо при неправильном включении его вторичных обмоток, либо при замыкании части вторичных обмоток.

Для исследования этих параметров на преобразователе частоты используем два прибора: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), который подключается на вход ПЧ и осциллограф, который подключается на выход ПЧ. С помощью осциллографа возможно оценить форму напряжения и в случае неправильного включения обмоток, либо замыкания накоротко части этих обмоток мы должны наблюдать искажение формы сигнала.

Предлагается методика диагностики, которая позволяет при неизвестной схеме включения преобразователя частоты оценить его работоспособность и устранить возможную неисправность, вызванную либо замыканием части обмоток, либо неправильным включением.

Методика заключается в следующем:

1) для технической диагностики состояния преобразователя частоты используется ЛАТР и осциллограф;

2) согласно схеме включения, подключаем на вход преобразователя частоты ЛАТР, на выход – осциллограф;

3) после подключения необходимого оборудования, подключаем схему в сеть питания;

4) используя ЛАТР плавно подаем напряжение на преобразователь частоты;

5) когда уровень напряжения станет необходимым для начала генерации, на осциллографе получим форму сигнала и частоту генерации;

6) если форма сигнала имеет синусоидальный вид, а частота преобразования 25 Гц, значит сам ПЧ находится в исправном состоянии;

7) если форма сигнала будет иметь нелинейные искажения, значит имеется межвитковое замыкание, либо неправильное подключение схемы;

8) для того, чтобы проверить на неправильное подключение, используя схему подключения ПЧ, правильно подключаем необходимые выводы БП к БК;

9) после этого также плавно подаем напряжение с помощью ЛАТР;

10) когда уровень напряжения станет необходимым для начала генерации, на осциллографе получим форму сигнала и частоту генерации;

11) если после переключения схемы форма сигнала имеет синусоидальный вид, а частота преобразования 25 Гц, значит сам ПЧ находится в исправном состоянии, а предыдущее подключение было неправильным;

12) если все-таки форма не соответствует необходимой, значит в ПЧ имеются межвитковые замыкания, либо некорректно включены вторичные обмотки электромагнитного блока ПЧ в цепи нагрузки.

Исследование особенностей работы ПЧ при разных схемах включения

Схема для исследования преобразователя частоты с подключением измерительного оборудования представлена на рисунке 2.

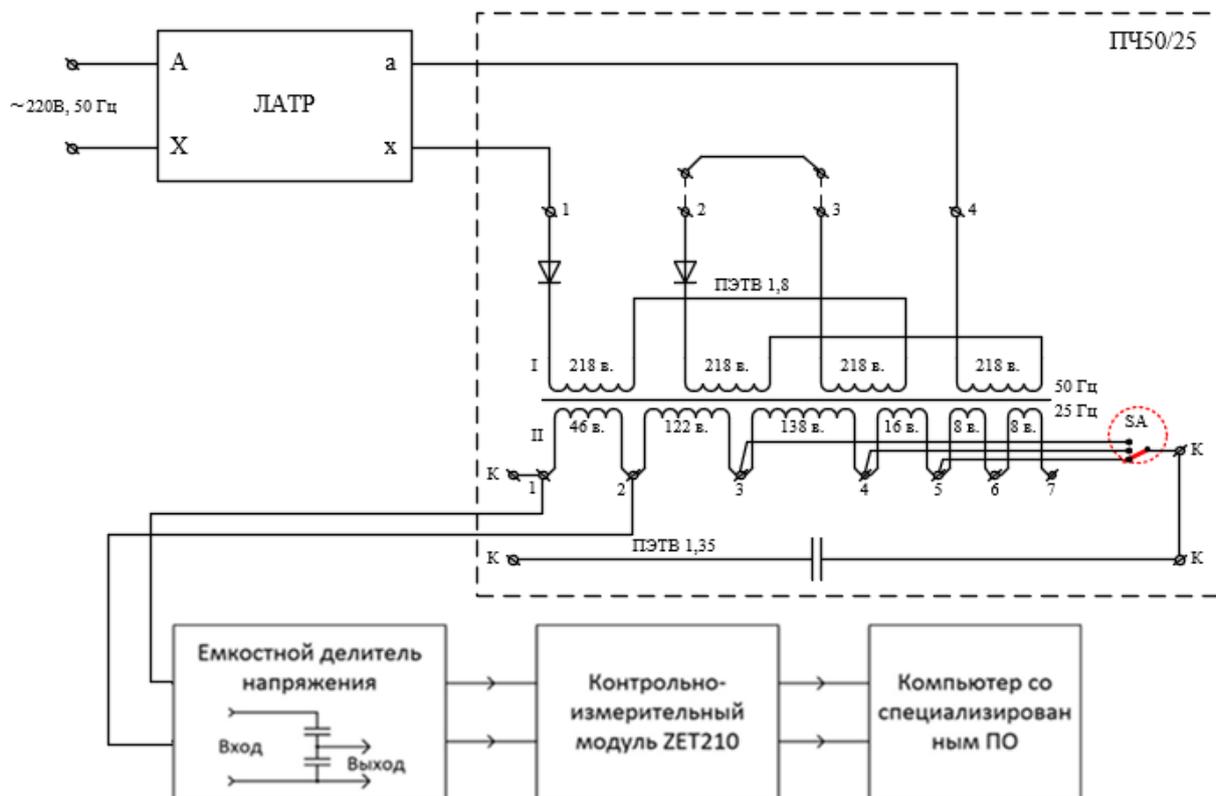


Рис. 2. Схема для исследования преобразователя частоты с подключением измерительного оборудования

На рис.2 изображены такие устройства, как лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), который позволяет плавно регулировать входное напряжение переменного тока на исследуемом устройстве в пределах от 0 до 220 В; контрольно-измерительный модуль аналого-цифрового преобразователя ZET210 предназначен для оцифровки и измерений параметров сигналов постоянного уровня и переменного напряжения; компьютер со специализированным программным обеспечением (ПО) даёт пользователю все необходимые средства анализа данных в выбранной области, а также различные средства записи исходных сигналов и результатов измерений.

Поскольку максимальное входное напряжение измерительного устройства слишком мало для поставленной задачи, было принято решение использовать ёмкостной делитель для снижения напряжения до допустимого уровня. Схема ёмкостного делителя напряжения представлена на рисунке 3.

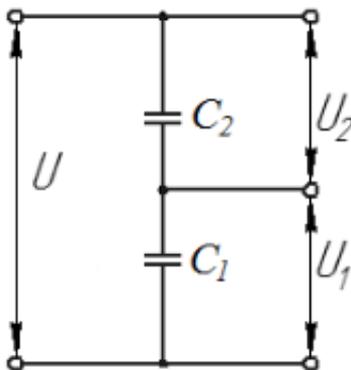


Рис. 3. Схема ёмкостного делителя напряжения

Расчёт ёмкостного делителя напряжения производится по следующим исходным данным: общее напряжение $U = 220$ В., нижнее плечо $C_1 = 70$ мкФ., верхнее плечо $C_2 = 1$ мкФ., частота $f = 50$ Гц.

Найдем реактивное сопротивление ёмкости по формуле (2)

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}. \quad (2)$$

Подставим численные значения в формулу (2)

$$X_{c1} = \frac{1}{2\pi fC_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 70} = 3,183 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

$$X_{c2} = \frac{1}{2\pi fC_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 1} = 4,547 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Найдем напряжение на выходе делителя напряжения по формуле (3)

$$U_1 = \frac{U \cdot X_{c2}}{X_{c1} + X_{c2}}. \quad (3)$$

Напряжение на выходе делителя напряжения равно

$$U_1 = \frac{220 \cdot 4,547 \cdot 10^{-5}}{3,183 \cdot 10^{-3} + 4,547 \cdot 10^{-5}} = 3,099 \text{ В}.$$

Ёмкостные делители напряжения позволяют измерять высокие переменные напряжения с помощью низковольтных вольтметров, обеспечивая точное повторение формы высокого напряжения на низковольтном выходе. При этом коэффициент делителя напряжения составляет 71.

При помощи ключа SA изменяем количество подключаемых вторичных обмоток. Входное напряжение подаётся на вход ПЧ, на зажимы 1 и 4 для подключения 220 В. С помощью ЛАТР необходимо подавать напряжение до такого уровня, пока не начнётся генерация колебаний.

При правильном подключении вторичных обмоток, а именно, когда ключ SA переведен в нижнее положение, в момент, когда напряжение достигает уровня в 160 В., происходит генерация колебаний преобразователя частоты. Форма сигнала представлена на рисунке 4.

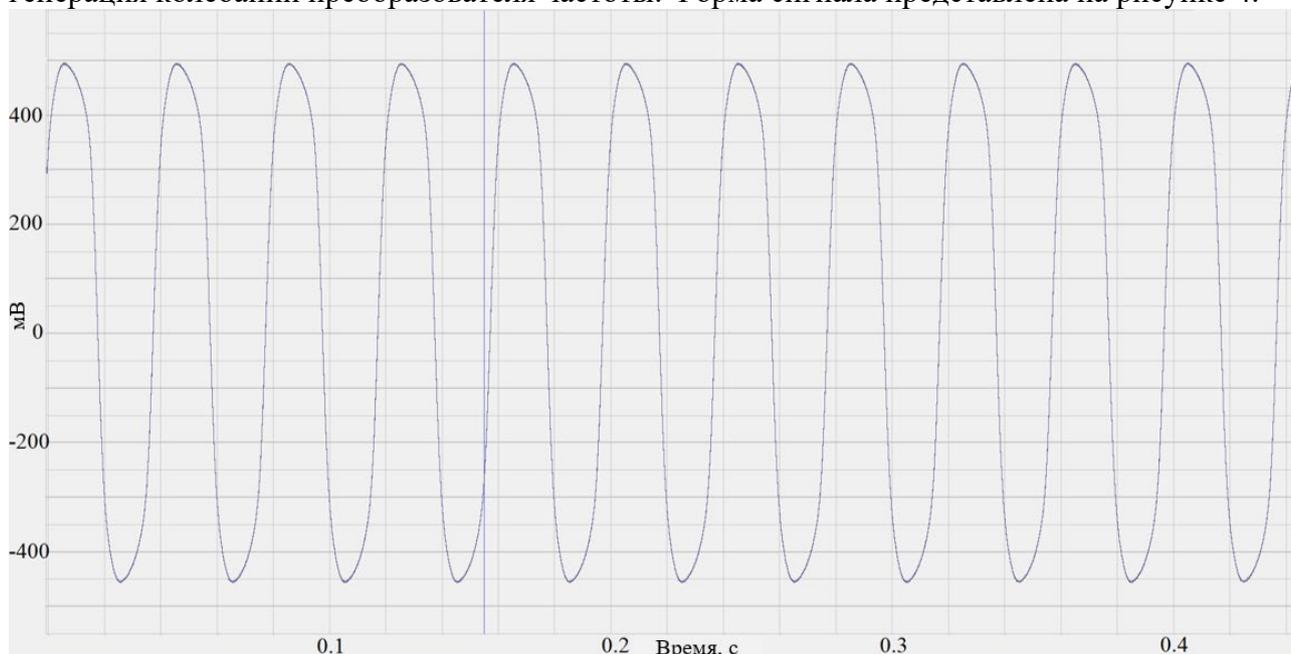


Рис. 4. Оциллограмма генерации колебаний

При правильном подключении, либо при отсутствии короткого замыкания вторичных обмоток форма сигнала должна иметь синусоидальный вид, что наблюдается на рисунке 4.

Исследуем схему, когда включается 2 вторичные обмотки с общим количеством витков равным 168 (ключ SA переведен в верхнее положение).

В тот момент, когда напряжение достигает уровня в 100 В., происходит генерация колебаний преобразователя частоты. Форма сигнала представлена на рисунке 5.



Рис. 5. Осциллограмма генерации колебаний при напряжении 100 В

На рисунке 4 видно, что ПЧ выполнил свою основную функцию, преобразование частоты 50 Гц в частоту 25 Гц, при этом форма сигнала имеет слегка искаженный вид.

Если подать дополнительное напряжение до уровня 160 В, происходит изменение формы выходного напряжения. Форма сигнала представлена на рисунке 6.

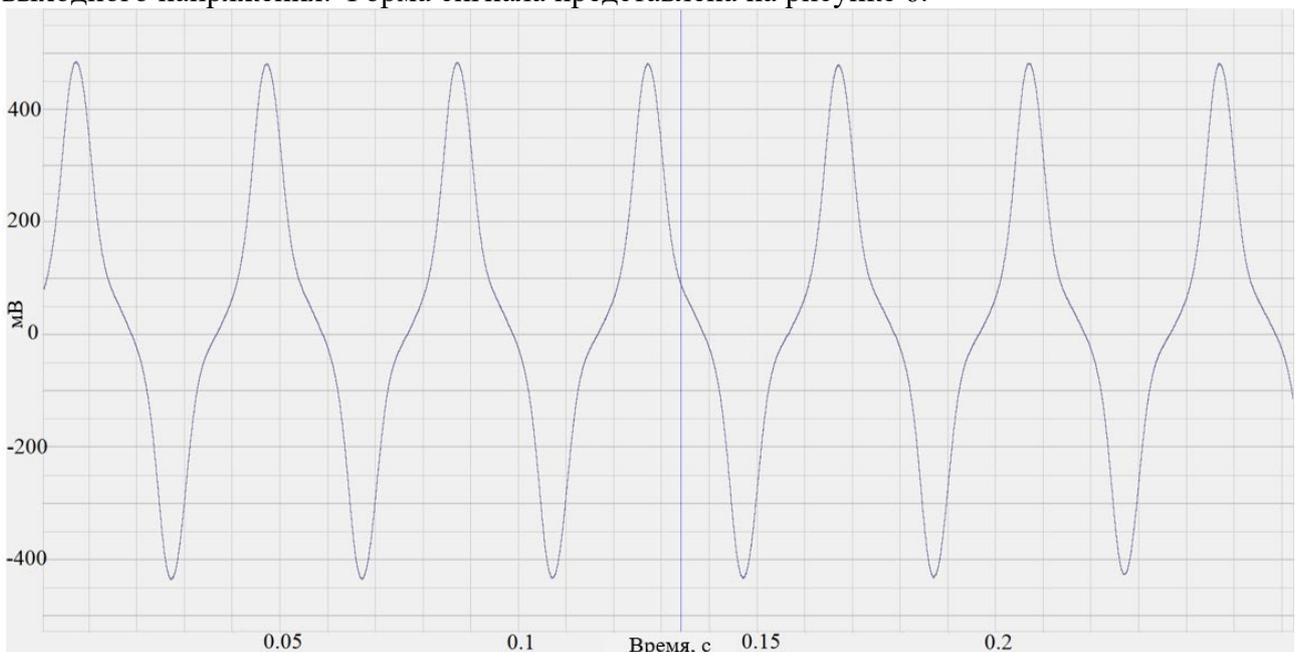


Рис. 6. Осциллограмма генерации колебаний при напряжении 160 В

При напряжении равном 196 В происходит повторная генерация колебаний, и форма выходного приобретает следующий вид, представленный на рисунке 7.

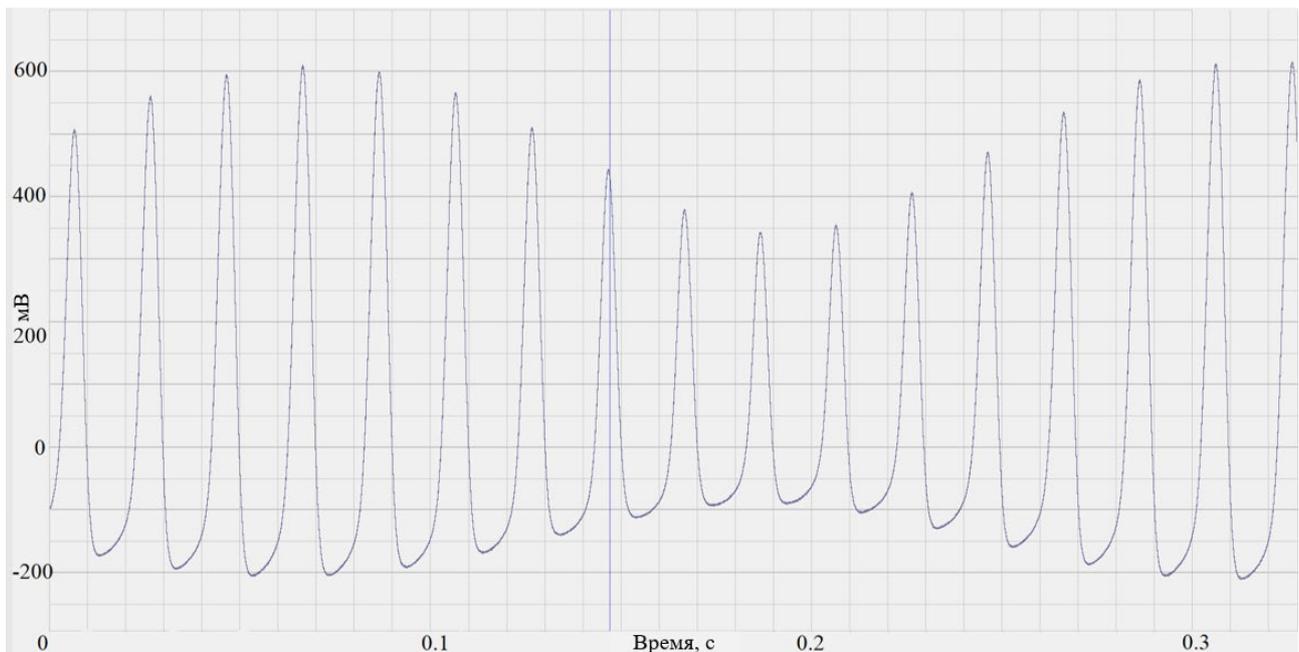


Рис. 7. Осциллограмма генерации колебаний при напряжении 196 В

Произошел обратный процесс, из частоты 25 Гц преобразование в частоту 50 Гц.

Оценка возможности использования ПЧ в качестве генератора напряжения высших гармоник

Известно, что для питания рельсовых цепей на участках электрифицированных железных дорог используется параметрический преобразователь частоты (ПЧ) [4]. На отечественных железных дорогах повсеместное распространение при электротяге переменного тока получила система АЛСН с несущей частотой 25 Гц, что обусловлено её практической простотой получения из промышленной частоты [5, 6]. Но в полосе частот от 0 до 22 Гц действуют низкочастотные помехи, возникающие от негативного влияния магнитного поля от остаточной неравномерной намагниченности рельсов, рельсов, уложенных в колею или на концах шпал, а также от элементов инфраструктуры. Особенность данной помехи заключается в том, что её спектр частично лежит в полосе пропускания фильтра для несущей частоты 25 Гц, и, соответственно, данная помеха проходит через фильтр, тем самым искажая временные параметры числового кода, что может привести к сбою в работе системы АЛСН [5, 7].

Поэтому эффективным решением для повышения помехозащищенности локомотивной аппаратуры АЛСН от действия указанных помех может стать переход на частоту несущей 75 Гц. Исследование работы ПЧ может позволить получить генератор высших гармоник, в частности, гармонику на частоте 75 Гц.

Спектральный состав частот представлен на рисунке 8. По вертикальной и горизонтальной осям в логарифмическом масштабе отмечены амплитуда гармоник выходного напряжения (В) и частота (Гц) соответственно.

В частности, при такой схеме включения мы можем наблюдать спектральный состав напряжения и видим, что здесь наблюдается гармоника на частоте 75 Гц. Амплитуда этой гармоники, с учётом коэффициента делителя составляет 5,5 В.

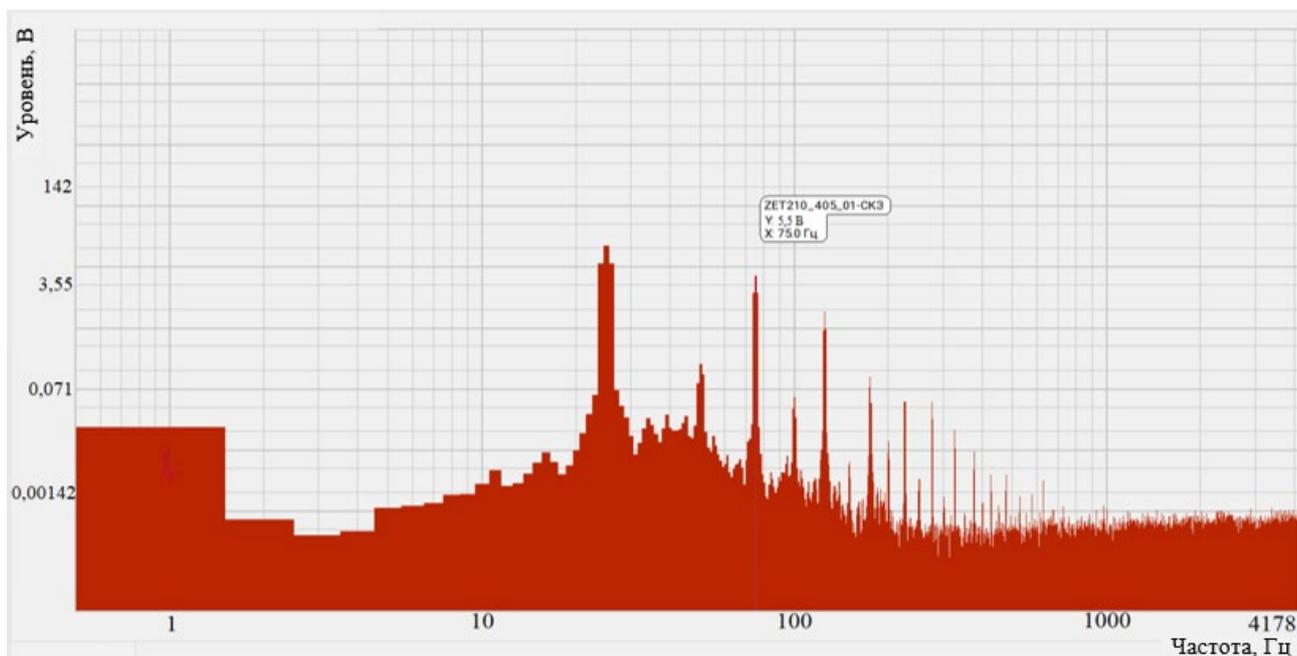


Рис. 8. Спектральный состав

При дальнейшем развитии схемы включения преобразователя частоты, можно выделить эту гармонику, усилить, а именно, с применением полосового фильтра, и получить генератор напряжения переменного тока частотой 75 Гц, который можно использовать для построения системы АЛСН с несущей частотой 75 Гц.

Такая система, как известно, обеспечивает более высокую помехоустойчивость на участках, оснащенных электротягой переменного тока, поскольку частота 75 Гц находится дальше от потенциальных квазипрерывных помех, которые вызваны остаточной намагниченностью рельсов. Причем такая схема будет обладать лучшими массогабаритными характеристиками, характеристиками энергопотребления по сравнению с классическим вариантом преобразователя частоты 50/75 Гц.

Заключение

В результате работы предложена практическая методика оценки технического состояния ПЧ и схемы его включения по характеристике выходного напряжения. Показана принципиальная возможность использовать ПЧ как генератор гармонических колебаний с частотой выше, чем частота 25 Гц. В частности, с частотой 75 Гц, при соответствующей доработке может использоваться как источник сигнала несущей для работы систем АЛСН с повышенной помехоустойчивостью.

Работа выполнена в рамках государственного задания по государственной работе «Проведение прикладных научных исследований» на тему «Разработка требований, стандартной унифицированной методики и нормативно-технической документации для проведения мобильных независимых испытаний аппаратуры спутниковой навигации для железнодорожного транспорта» № 124061000026-8 от 10.06.2024.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электропитание устройств автоматики, телемеханики и связи : практикум / В.В. Демьянов, М.Э. Скоробогатов. – Иркутск : ИрГУПС, 2023. – 117 с.
2. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 5 кн. Книга 2. 5-е изд. - М.: ООО «НПФ «ПЛАНЕТА», 2020. – 872 с.
3. Шаряпов А.М. Электротехника : учебное пособие / А.М. Шаряпов, Г.В. Вагапов: Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. – 136 с.

4. Багуц В.П. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.П. Багуц, Н.П. Ковалев, А.М. Костроминов. – М.: Транспорт, 2011. – 286 с.

5. Трофимов Ю.А. Устойчивость работы локомотивных устройств АЛС на участках с электротягой переменного тока / Ю.А. Трофимов, А.В. Пультяков // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2011. – Т.1. – С. 207-211.

6. Дмитриенко И.Е., Дьяков Д.В., Сапожников В.В. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.

7. Пультяков А.В. Комплексные решения по повышению устойчивости работы устройств автоматической локомотивной сигнализации на участках с электротягой переменного тока / А.В. Пультяков, Ю.А. Трофимов, М.Э. Скоробогатов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2015. – Т.1. – С. 328-332.

REFERENCES

1. Elektropitanie ustroystv avtomatiki, telemekhaniki i svyazi [Power supply of automation, telemechanics and communication devices] : practicum / V.V. Demyanov, M.E. Skorobogatov. – Irkutsk : IrGUPS, 2023. – 117 p.

2. Equipment for railway automation and telemechanics: Handbook: in 5 books. Book 2. 5th ed. - M.: OOO NPF PLANETA, 2020. – 872 p.

3. Sharyapov A.M. Elektrotehnika [Electrical Engineering]: textbook / A.M. Sharyapov, G.V. Vagapov: Ministry of Education and Science of Russia, Kazan National University. research. technol. un-t. – Kazan : KNITU Publishing House, 2023. – 136 p.

4. Baguts, V.P. Elektropitanie ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi [Power supply of railway automation, telemechanics and communication devices]: textbook for universities of railway transport / V.P. Baguts, N.P. Kovalev, A.M. Kostrominov. – M.: Transport, 2011. – 286 p.

5. Trofimov, Yu.A. Stability of operation of locomotive devices of the ALS on sections with alternating current electric traction / Yu.A. Trofimov, A.V. Pulyakov // Transport infrastructure of the Siberian region. – 2011. – V. 1. – P. 207-211.

6. Dmitrienko I.E., Dyakov D.V., Sapozhnikov V.V. Izmereniya i diagnostirovanie v sistemakh zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi [Measurements and diagnostics in railway automation, telemechanics and communication systems]. – M.: Transport, 1994. – 263 p.

7. Pulyakov, A.V. Integrated solutions for increasing the stability of automatic locomotive signaling devices on sections with alternating current electric traction / A.V. Pulyakov, Yu.A. Trofimov, M.E. Skorobogatov // Transport infrastructure of the Siberian region. – 2015. – Vol. 1. – P. 328-332.

Информация об авторах

Мирончук Станислав Алексеевич – студент группы СОД.2-19-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mironchuk120920@yandex.ru;

Демьянов Владислав Владимирович – д.т.н., профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sword1971@yandex.ru.

Authors

Mironchuk Stanislav Alekseevich – student of group SOD.2-19-1, Faculty of «Transport Support Systems», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mironchuk120920@yandex.ru;

Demyanov Vladislav Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation, Telemechanics and Communication, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sword1971@yandex.ru.