

УДК 621.313.323

Н. В. Анищенко, И. О. Тукалов, кандидаты техн. наук,
Г. И. Яровой, Р. В. Канунников

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПУСКОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ИНВЕРТОРНОГО ЗАПУСКА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

***Аннотация.** На основании экспериментальных исследований определены оптимальные пусковые параметры системы инверторного запуска дизель-генератора 12ЛДГ500. Результаты проведенных экспериментов позволяют оптимизировать систему инверторного запуска дизелей с помощью тягового синхронного генератора, работающего в режиме двигателя для реализации ее на тепловозах.*

***Ключевые слова:** синхронный тяговый генератор, дизель, инвертор, конденсаторный накопитель электрической энергии, ток возбуждения, ток статора, угол между осями магнитного поля статора и ротора*

**N. Anishenko, PhD., I. Tkalov, PhD.,
G. Iarovi, R. Kanunnikov**

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF OPTIMAL START PARAMETERS OF INVERTER STARTUP SYSTEM OF THE DIESEL-GENERATOR

***Abstract.** On the basis of the experimental researches is determined optimal start parameters of inverter start up system of the diesel-generator 12LDG500. The results of these experiments allow optimizing the inverter startup system of diesel-engines by using synchronous traction alternator in the motor mode to realize it's at the diesel locomotives.*

***Keywords:** traction alternator, diesel-engine, inverter, capacitive storage of electric energy, field current, stator current, angle between stator and rotor magnetic fields*

М. В. Анищенко, И. О. Тукалов, кандидаты техн. наук,
Г. И. Яровой, Р. В. Канунников

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПУСКОВИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ІНВЕРТОРНОГО ЗАПУСКУ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

***Анотація.** На основі експериментальних досліджень визначені оптимальні пускові параметри системи інверторного запуску дизель-генератора 12ЛДГ500. Результати проведених експериментів дозволяють оптимізувати систему інверторного запуску дизельних двигунів за допомогою синхронного тягового генератора, який працює в режимі двигуна для реалізації її на тепловозах.*

***Ключові слова:** синхронний тяговий генератор, дизельний двигун, інвертор, конденсаторний накопичувач енергії, кут між осями магнітного поля статора та ротора, струм збудження, струм статора*

Постановка проблемы

Известна проблема для тепловозов с электропередачей переменного-постоянного и переменного тока с системой запуска дизеля при помощи стартер-генератора постоянного тока [1, 2].

В системах запуска двигателей внутреннего сгорания при помощи синхронной машины с использованием инвертора [3 – 9] в качестве основного источника энергии используется аккумуляторная батарея. В пусковых режимах могут возникать значительные броски разрядного тока аккумуляторной батареи, что приводит к снижению ее полезной емкости и уменьшению срока службы.

Для решения этой проблемы была разработана система инверторного запуска с буферным емкостным накопителем и внедрена в состав дизель-генератора 12ЛДГ500.

Постановка исследования

В период с апреля по май 2014 г. на предприятии ОАО «Коломенский завод», г. Коломна проводились испытания системы инверторного запуска дизель-генератора 12ЛДГ500.

Целью испытаний являлось определение оптимальных параметров работы емкостного накопителя энергии, входящего в состав накопительно-повышающего преобразователя и параметров пускового инвертора, для осуществления запуска дизель-генератора 12ЛДГ500 от тягового генератора ГС567У2 (далее по тексту – СМ) с обеспечением требуемой моментно-скоростной диаграммы пуска.

Изложение основного материала

Система инверторного запуска включает в себя:

– накопительно-повышающий преобразователь СТ23-500, содержащий повышающий преобразователь постоянного тока и конденсаторный накопитель электрической энергии. Конденсаторный накопитель построен на базе суперконденсаторов;

– пусковой инвертор СТ22-2000, который получает питание от накопительно-повышающего преобразователя. Также в составе СТ22-2000 реализован силовой модуль для питания обмотки возбуждения СМ регулируемым постоянным током.

Система регулирования построена с применением современных подходов в области векторного управления синхронным двигателем и алгоритмом бездатчикового определения начального углового положения ротора [10].

© Анищенко Н. В., Тукалов И.О., Яровой Г. И.,
Канунников Р. В., 2014

Основные технические параметры оборудования представлены в таблице.

1. Номинальные параметры накопительно-повышающего преобразователя

Входное напряжение постоянного тока, В	70...80
Напряжение постоянного тока на конденсаторной батарее в заряженном состоянии, среднее значение, В	380
Кратковременный разрядный ток, А	2000
Величина полезной электрической энергии, отдаваемой при одиночной попытке пуска, мДж	1

В ходе испытаний для фиксации параметров системы использовалось специализированное программное обеспечение.

Проведены пуски дизеля до заданной частоты вращения для различных уставок параметра пуска – угла между осями магнитного поля статора и ротора θ . Графики переходных процессов приведены на рис. 1. Общими уставками являются: амплитудное значение фазного тока статора (I_s) 1200 А, ток возбуждения (I_f) 50 А. На рис. 1 обозначен уровень скорости вращения ротора $n = 210$ об/мин, по достижению которой обороты дизеля устойчиво контролируются регулятором дизеля.

Проведены пуски дизеля до заданной частоты вращения для различных уставок I_s . Графики переходных процессов напряжения в звене (U_d) и n приведены на рисунке 2. Общими уставками являются: $I_f = 50$ А и угол $\theta = 120^\circ$, при котором как видно из рис. 1, СМ реализует максимальный момент, а время пуска минимально.

На рис. 3 приведено изменение основных контролируемых параметров: I_s , I_f , θ , n , U_d и величины линейного напряжения (U_s) статорной обмотки СМ в процессе пуска при принятых оптимальных для системы инверторного запуска дизель-генератора 12ЛДГ500 значениях уставок: $I_s = 1200$ А, $\theta = 120^\circ$, $I_f = 50$ А.

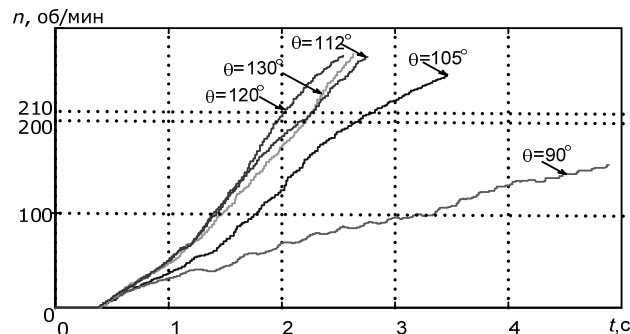


Рис. 1. Частота вращения вала ротора СМ при пуске для различных уставок θ

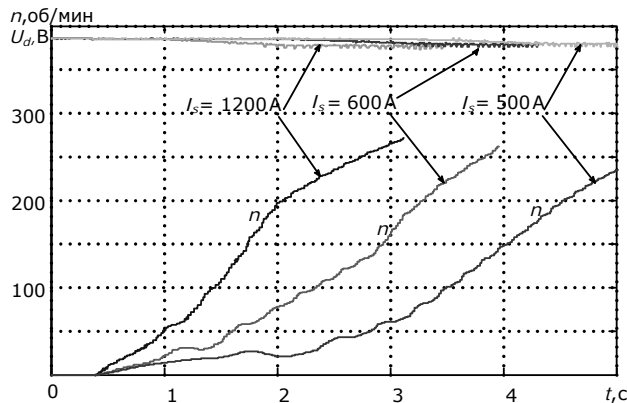


Рис. 2. Переходные процессы при пуске для различных уставок тока статора

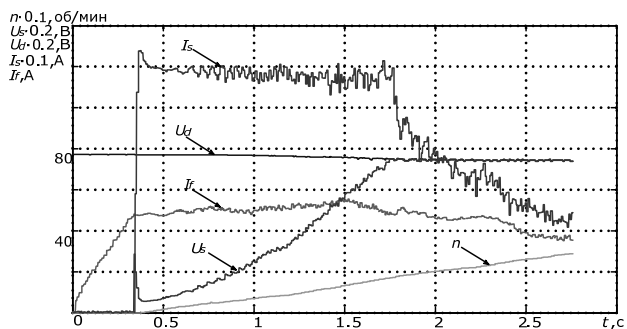


Рис. 3. Переходные процессы при пуске

Выводы

В результате проведенных испытаний системы инверторного запуска дизель-генератора 12ЛДГ500 был определен угол между осями магнитного поля статора и ротора, при котором время пуска минимально. Установлены основные зависимости параметров пускового инвертора и их влияние на качество переходных процессов при пуске. Результаты проведенных экспериментов позволяют оптимизировать систему инверторного запуска для реализации ее на тепловозах.

Список использованной литературы

1. Яровой Г. И. Система инверторного запуска тепловозного дизеля тяговым синхронным генератором / Г. И. Яровой // Вісник Східно-українського нац. університету ім. Володимира Даля. – Л : вид-во СХУ ім. В. Даля, 2012. – № 5(176). – Ч. 1. – С. 161 – 163.
2. Филонов С. П. Тепловоз 2ТЭ116 / С. П. Филонов, А. И. Гибалов, В. Е. Быковский и др. // 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1985. – 328 с.
3. Maalouf A., (2009), Sensorless Control of Brushless Exciter Synchronous Starter Generator Using Extended Kalman Filter, *Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE*, pp. 2581 – 2586.
4. Cai W., (2004), Comparison and Review of Electric Machines for Integrated Starter Alternator Applications, *Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE*.
5. Griffio A., (2011), Sensorless Starting of a Wound-Field Synchronous Starter/Generator for Aerospace

Applications”, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on June 2011*, Vol. 59, Issue 9, pp. 3579 – 3587.

6. Girardin A., and Friedrich G., (2006), Optimal Control for a Wound Rotor Synchronous Starter Generator, *Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE*, pp. 14 – 19.

7. Coroban-Schramel V., Boldea I., and Andreescu G.-D., (2010), Active-Flux-Based Motion-Sensorless Vector Control of Biaxial Excitation Generator/Motor for Automobiles, *Industry Applications, IEEE Transactions on, Dec 2010*, Vol. 47, Issue 2, pp. 812 – 819.

8. Chabour F., Vilain J.-P., and Masson P., (2007), Sensorless Control of a wound Rotor Synchronous belt-driven Starter-Alternator”, *Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on*

9. Nozari, (1995), Sensorless Synchronous Motor Drive for use on Commercial Transport Airplanes, *Industry Applications, IEEE Transactions on, Jul/Aug 1995*, Vol. 31, Issue 4, pp. 850 – 859.

10. Яровой Г. И. Определение начального углового положения ротора синхронного генератора в бездатчиковой системе инверторного запуска дизель-агрегата / Г. И. Яровой, Р.В. Канунников, Н. В. Анищенко // Вестник Нац. техн. университета «ХПИ». Проблемы автоматизованого электропривода. Теория і практика. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2013. – № 36(1009). – С. 475 – 477.

Получено 17.07.2014

References

1. Jarovoj G.I. Sistema invertornogo zapuska teplovoznogo dizelja tjavovym sinhronnym generatorom [The Inverter System Startup Diesel Synchronous Traction Generator], (2012), *Visnik Shidno-Ukrains'kogo nac. Universitetu im. Volodimira Dalja*, Lugans'k, Ukraine, *Vidvo SNU im. V. Dalja*, No. 5(176), Vol. 1, pp. 161 – 163 (In Russian)

2. Filonov S.P., Gibalov A.I., Nikitin E. A. et al. Teplovoz 2TE116 [Locomotive 2TE116], (1996), Moscow, Russian Federation, *Transport*, 334 p. (In Russian).

3. Maalouf A., (2009), Sensorless Control of Brushless Exciter Synchronous Starter Generator Using Extended Kalman Filter, *Industrial Electronics, 2009, IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE*, pp. 2581 – 2586.

4. Cai W., (2004), Comparison and Review of Electric Machines for Integrated Starter Alternator Applications, *Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE*.

5. Griffa A., (2011), Sensorless Starting of a Wound-Field Synchronous Starter/Generator for Aerospace Applications”, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on June 2011*, Vol. 59, Issue 9, pp. 3579 – 3587.

6. Girardin A., and Friedrich G., (2006), Optimal Control for a wound Rotor Synchronous Starter Generator, *Industry Applications Conference, 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE*, pp. 14 – 19.

7. Coroban-Schramel V., Boldea I., and Andreescu G.-D., (2010), Active-Flux-Based Motion-Sensorless Vector Control of Biaxial Excitation Generator/Motor for

Automobiles, *Industry Applications, IEEE Transactions on, Dec 2010*, Vol. 47, Issue 2, pp. 812 – 819.

8. Chabour F., Vilain J.-P., and Masson P., (2007), Sensorless Control of a Wound Rotor Synchronous Belt-Driven Starter-Alternator”, *Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on*

9. Nozari, (1995), Sensorless Synchronous Motor Drive for use on Commercial Transport Airplanes, *Industry Applications, IEEE Transactions on, Jul/Aug 1995*, Vol. 31, Issue4, pp. 850 – 859.

10. Jarovoj G.I., Kanunnikov R.V., and Anishchenko N.V. Opredelenie nachal'nogo uglovogo polozhenija rotora sinhronnogo generatora v bezdatchikovej sisteme invertornogo zapuska dizel'-agregata [Determination of the Initial Angular Position of the Rotor of a Synchronous Generator for the Inverter System Startup Diesel unit], (2013), *Vestnik Nac. Tehn. Universiteta "HPI". Problemi Avtomatizovanogo Elektroprivoda. Teorija i Praktika. NTU "HPI"*. Chuprikov, Ukraine, No. 36 (1009)., pp 475 – 477 (In Russian).



Анищенко
Николай Васильевич,
канд. техн. наук, каф. автоматизированных электромеханических систем нац. технического ун-та «ХПИ»



Тукалов
Игорь Олегович,
канд. техн. наук, каф. автоматизированных электромеханических систем нац. технического ун-та «ХПИ»



Яровой
Геннадий Иванович,
зав. научно-исследовательским и проектно-конструкторским отделом тяговых электрических передач, ГП завод «Электротяжмаш».
E-mail: tjaga@spetm.com.ua



Канунников
Роман Васильевич,
ст. научный сотрудник научно-исследовательского и проектно-конструкторского отдела тяговых электрических передач, ГП завод «Электротяжмаш».
E-mail: 7en7e@rambler.ru