

УДК.621.3.072

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТУРА ДИНАМИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОВОЗА 2М62УК ПРИ ИМИТАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

**В. Н. Шамардина**Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: shamardina@kpi.kharkov.ua**С. М. Лемешко**Государственное предприятие завод “Электротяжмаш”  
просп. Московский, 299, г. Харьков, 61089, Украина. E-mail: sergii.lemeshko@i.ua

Проведено исследование работы контура динамического регулирования напряжения тягового генератора, формирующего управляющие воздействия в канале мощности системы автоматического регулирования электропередачи переменного-постоянного тока тепловоза 2М62УК. Показана эффективность применения алгоритма управления темпом изменения напряжения тягового генератора при имитации нестационарных режимов работы. В программном пакете Simulink исследованы переходные процессы основных координат электропередачи при нагрузке на внешний реостат.

**Ключевые слова:** тепловоз, тяговая электропередача, динамическое регулирование напряжения.

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОНТУРУ ДИНАМІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОВОЗА 2М62УК ПРИ ІМІТАЦІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

**В. М. Шамардіна**Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”  
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: shamardina@kpi.kharkov.ua**С. М. Лемешко**Державне підприємство завод “Електроважмаш”  
просп. Московський, 299, м. Харків, 61089, Україна. E-mail: sergii.lemeshko@i.ua

Проведено дослідження роботи контуру динамічного регулювання напруги тягового генератора, що формує керуючий вплив у каналі потужності системи автоматичного регулювання електропередачі змінно-постійного струму тепловоза 2М62УК. Показано ефективність застосування алгоритму керування темпом зміни напруги тягового генератора при імітації нестационарних режимів роботи. У програмному пакеті Simulink досліджено перехідні процеси основних координат електропередачі при навантаженні на зовнішній реостат.

**Ключові слова:** тепловоз, тягова електропередача, динамічне регулювання напруги.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Как известно, тяговые качества электропередач тепловозов при нестационарных режимах существенно зависят как от вида тяговых электродвигателей (АТД, ДПТ), так и от системы управления. Для обеспечения стабильности функционирования и высокой эффективности в динамических режимах работы применяются противобоксовочные системы, основной принцип которых основан на сравнении электромеханических координат боксующих и небоксующих колесных пар – тока, напряжения и частоты вращения тяговых электродвигателей (ТЭД).

В ряде тепловозов (2ТЭ116УК, 2М62У, ТЭП150) при формировании внешней характеристики тягового генератора (ТГ) устройством блока регулирования электропередачи используется сигнал по максимальному из токов ТЭД, благодаря чему при кратковременных пробоксовках отдельных осей тепловоза напряжение ТГ остается неизменным, т.е. обеспечивается жесткая динамическая внешняя характеристика (ЖДХ). ЖДХ наряду с защитой от боксования и юза колесных пар улучшают противобоксовочные качества электропередачи.

Для повышения противобоксовочных и противоюзных свойств электропередачи в блоке регулирования тепловоза 2М62УК разработан алгоритм динамического регулирования напряжения ТГ (ДРН), посредством которого в нестационарных режимах работы реализовано управление темпом изменения напряжения ТГ для предотвращения развития режимов боксования, юза, а также других, не

прогнозируемых воздействий, возмущающих механическую и электрическую подсистемы тепловоза. Управление и стабилизация напряжения ТГ происходит в зоне 10 % тяговой мощности ТГ.

Основной задачей исследования является оценка динамической устойчивости и функционирования канала регулирования мощности электропередачи тепловоза в условиях отработки напряжения ТГ контуром динамического регулирования при испытательном режиме – нагрузке на внешний реостат.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Объект исследования – двухконтурный канал регулирования мощности системы автоматического регулирования (САР) электропередачи тепловоза 2М62УК с внешним контуром динамического регулирования напряжения ТГ.

Структурная схема САР и объекта регулирования, состоящего из тиристорного преобразователя возбуждения ( $W_{ТПВ}$ ), синхронного генератора ( $W_{ТГ}$ ) и реостата ( $W_{РН}$ ), представлена на рис. 1.

Для создания имитационной модели канала мощности электропередачи и исследования динамических процессов преобразования электрических координат с учетом всех основных факторов и нелинейностей, отраженных в [1], применим набор программных расширений – Simulink, Control System Toolbox и при необходимости другие инструменты моделирования.

При исследовании электрических переходных процессов в рассматриваемом канале регулирования электропередачи особо следует проанализировать

характер изменения во времени следующих координат:

- $\bar{U}_G$  – выпрямленное напряжение ТГ;
- $U'_G$  – увеличенное напряжение ТГ для имитации нестационарного режима работы (вольтодобавка);
- $U_{y.M}$  – сигнал управления внутреннего контура;

- $U_{y.д}$  – сигнал управления внешнего контура;
- $U_{z.д}$  – сигнал задания внешнего контура;
- $U_{z.MT}$  – сигнал задания канала мощности;
- $U_{z.M4}$  – сигнал задания канала мощности в пределах 10 % от заданной мощности;

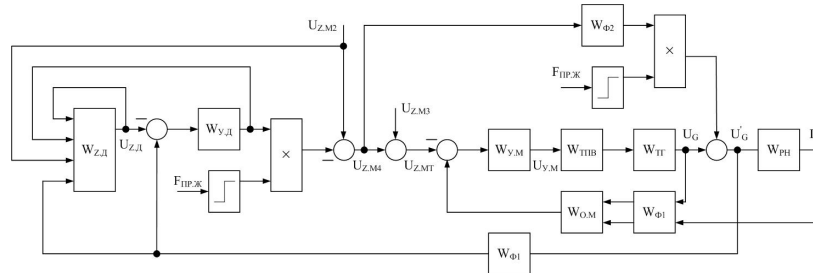


Рисунок 1 – Модель двухконтурной САР мощности электропередачи тепловоза 2М62УК

-  $U'_{z.M}$  – сигнал задания мощности формируется в функции частоты линейного напряжения вспомогательного генератора (ВГ) в составе тягового агрегата. При этом

$$U_{z.M2} = 0,1U'_{z.M}; U_{z.M3} = 0,9U'_{z.M}.$$

Зададим исходные параметры для моделирования системы при нагрузке на внешний реостат:

- частота вращения дизеля 1800 мин<sup>-1</sup>;
- ток ТГ 3000 А;
- ток возбуждения ТГ 130 А.

До введения сигнала вольтодобавки ( $F_{пр.ж}=0$ ) и подключения внешнего контура ДРН рассмотрим формирование и выход на установившиеся значения основных координат САР мощности и объекта регулирования.

В зоне ограничения канала мощности напряжение ТГ выходит на установившееся значение 610 В с общей постоянной времени объекта регулирования (рис. 2). При этом в блоке  $W_{z.д}$  формируются дискретные сигналы  $F_{д1}$ ,  $F_{д3}$  и сигнал  $U_{z.д}$ , стремящийся выйти с постоянной времени (п.в.) 2 с к сигналу  $\bar{U}_G$ , равному  $U_G$ . При отработке контура ДРН и выполнении условия  $U_{y.д} \leq 0,1 \cdot U_{z.M2}$  в блоке  $W_{z.д}$  формируется дискретный сигнал  $F_{д2}$ , при этом нарастание  $U_{z.д}$  до напряжения ТГ происходит замедленно с п.в., равной 120 с (рис. 3). При равенстве значений  $\bar{U}_G$  и  $U_{z.д}$  сигнал задания динамического контура осциллирует около установившегося значения сигнала напряжения, соответствующего заданной точке на внешней характеристике ТГ (рис. 4).

Для проведения имитации нестационарного режима введем дискретный сигнал вольтодобавки  $F_{пр.ж}$ , включив его в момент времени 20 с с одновременным подключением к САР внешнего контура ДРН. Сигнал вольтодобавки воздействует на канал регулирования мощности тягового генератора.

В процессе этого воздействия сигнал задания мощности ТГ скачкообразно снижается вследствие формирования максимального значения сигнала управления внешним контуром  $U_{y.д}$ , который, в свою очередь, через сигнал  $U_{z.M4}$  воздействует на общее задание мощности – сигнал  $U_{z.MT}$ . С уменьшением задания мощности происходит снижение выходной координаты регулирования, т.е. напряжения ТГ до величины 580 В. При этом степень снижения зависит от величины вольтодобавки.

Под действием рассогласования сигналов  $\bar{U}_G$  и  $U_{z.д}$  и сформированного дискретного сигнала  $F_{д1}$  сигнал задания внешнего контура  $U_{z.д}$  увеличивается. Происходит повышение сигнала задания мощности и, соответственно, напряжения с замедленным темпом, определяемым сигналом  $U_{z.д}$ . После нарастания сигнала  $U_{z.д}$  до значения увеличенного сигнала напряжения  $U'_G$  происходит восстановление сигнала задания мощности и напряжения ТГ до предыдущих режиму значений. Такой процесс необходим в поездных режимах для исключения повторного срыва в боксовании.

Диаграммы переходных процессов напряжения ТГ и сигналов, формирующихся в САР мощности, приведены на рис. 2–4, 6.

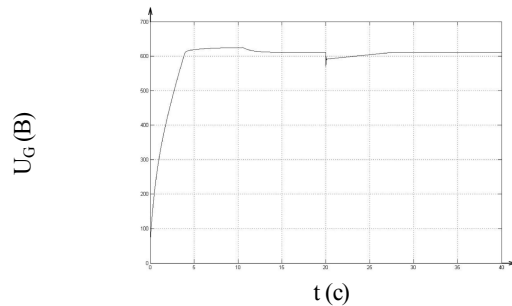


Рисунок 2 – Диаграмма изменения напряжения ТГ  $U_G$ , В

При включении сигнала вольтодобавки длительность  $t_{п}$  процесса изменения напряжения ТГ, которое сначала уменьшается, а затем возрастает с замедленным темпом до начального значения, составляет порядка 9 с.

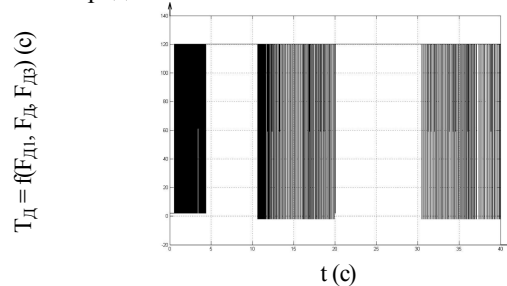


Рисунок 3 – Диаграмма формирования постоянной времени  $T_d$  сигнала задания внешнего контура

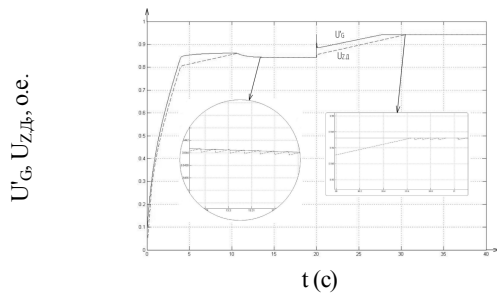


Рисунок 4 – Диаграмма формирования сигналов увеличенного напряжения  $U_G$  и задания внешнего контура  $U_{ZД}$ , о.е.

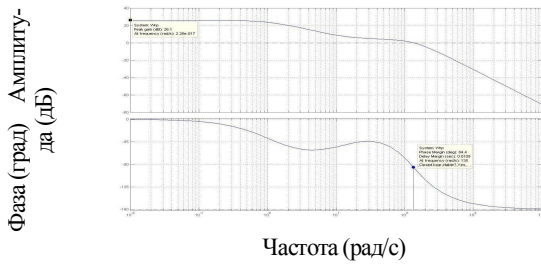


Рисунок 5 – Амплитудно- и фазочастотная характеристики канала мощности САР

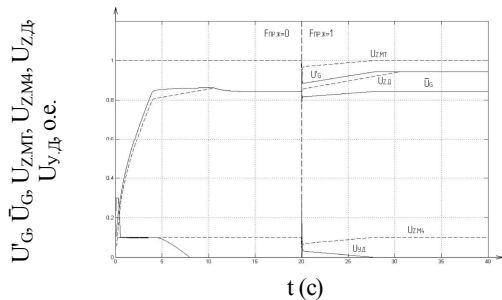


Рисунок 6 – Диаграмма формирования сигналов канала мощности САР

**ВЫВОДЫ.** Основные результаты работы:

- создана модель системы канал мощности САР блока регулирования – тиристорный преобразователь возбуждения – тяговый генератор (в составе агрегата) – внешний реостат (рис. 1), позволяющая исследовать переходные режимы работы и их зависимости от изменения параметров цепи;
- в ходе моделирования проведена имитация нестационарного режима работы электропередачи с подключением внешнего контура динамического регулирования напряжения ТГ;
- получены и детально проанализированы переходные процессы, действующие в САР и объекте регулирования, при вольтодобавке напряжения ТГ в условиях нагрузки на реостат;
- исследована работа контура ДРН и ограничиваемой скорости нарастания величин мощности и напряжения ТГ в условиях реостатной настройки тяговой электропередачи. Это позволило косвенно оценить работу системы в поездных режимах при возникновении процессов боксования и его отработки контуром ДРН, что прогнозируемо должно обеспечить благоприятное протекание процессов, уменьшение длительности протекания нестационарных процессов, снижение перегрузок в колесно-моторных блоках;

- на основе критерия Найквиста осуществлен синтез амплитудно-частотных характеристик одно- и двухконтурной моделей и оценена устойчивость системы при принятых значениях регуляторов мощности и динамического регулирования. При этом определено, что запас по фазе  $\Delta\varphi_3$  и амплитуде  $h = \Delta L(\omega)$  гораздо выше рекомендуемых значений при проектировании САР – не менее  $30^\circ$  и не менее 14 дБ, соответственно (рис. 5).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Колесник И.К., Кузнецов Т.Ф., Липовка В.И. и др. Электропередачи тепловозов на переменном постоянном токе. – М.: Транспорт, 1978. – 149 с.

**RESEARCH OF DYNAMIC CONTROL VOLTAGE LOOP OF THE DIESEL LOCOMOTIVE 2M62UK TRACTION GENERATOR BY NON-STATIONARY CONDITIONS IMITATION**

**V. Shamardina**

The National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”  
ul. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: shamardina@kpi.kharkov.ua

**S. Lemeshko**

State Enterprise Plant “Electrotyazhmash”  
prosp. Moskovskiy, 299, Kharkov, 61089, Ukraine. E-mail: sergii.lemeshko@i.ua

A research of the dynamic control voltage loop of the traction generator is conducted, which forms the controlling influences in the capacity path of the automatic regulation system of the AC-DC diesel locomotive 2M62UK. The efficiency of algorithm for voltage rate variation control of traction generator by non-stationary conditions imitation is shown. The transient primary coordinates of electric transmission by an external load rheostat in a software package Simulink are researched.

**Key words:** diesel locomotive, traction electric transmission, dynamic voltage regulation.

**REFERENCES**

1. Kolesnik I.K., Kuznetsov T.F., Lipovka V.I. and oth. AC-DC electric transmissions of diesel locomotives. – М.: Transport, 1978. – 149 p. [in Russian]

Стаття надійшла 25.07.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Чорним О.П.