

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ С ФАЗО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

И.М. Голодный, А.Ю. Синявский, А.В. Санченко
Национальный университет биоресурсов и природопользования
(НУБиП Украины), г. Киев, Украина

На созданной компьютерной модели и лабораторной установке электропривода вентиляционной установки с тиристорным регулятором напряжения станции управления "Климатика 1" получены энергетическая и регулировочная характеристики, формы кривой напряжения и тока, их спектральный состав. Анализ результатов исследований подтвердил адекватность компьютерной модели реальным характеристикам электропривода, отклонение показаний не превышает 5%.

Ключевые слова: полупроводниковые преобразователи напряжения, регулировочная характеристика, энергетическая характеристика, высшие гармоники, компьютерная модель.

Статья поступила в редакцию 31.05.2017

Принято к публикации 19.11.2017

• **Для цитирования:** Голодный И.М., Синявский А.Ю., Санченко А.В. Исследование трехфазного асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением // Вестник ВИЭСХ. 2017. №4(29). С. 139-143.

Актуальность темы. Для регулируемого асинхронного электропривода часто используют полупроводниковые преобразователи напряжения, в частности тиристорные регуляторы [1, 2]. К сожалению, в технической литературе мало уделяется внимания исследованию их рабочих характеристик. Это связано со сложностью или высокой стоимостью проведения таких исследований. С развитием компьютерного моделирования появилась возможность углубить исследования различных характеристик электропривода и сравнить полученные результаты с фактическими данными реального электропривода вентиляционной установки со станцией управления "Климатика-1".

Цель исследования – уменьшение времени и затрат при исследовании регулируемого асинхронного электропривода с помощью компьютерного моделирования и подтверждения адекватности полученных результатов на компьютерной модели результатам реального электропривода вентиляционной установки.

Материалы и методика исследований. Анализ характеристик регулируемого электропривода с тиристорным регулятором напряжения проводился с использованием положений теории электропривода и статистических методов обработки результатов исследований на фи-

зической и компьютерной модели в системе MatLab [3].

Результаты исследований. Для проведения исследований асинхронного электропривода разработана модель (рис. 1), которая состоит из асинхронного двигателя АИРП80-А6У2. Двигатель имеет повышенное сопротивление обмотки ротора, что обуславливает увеличенное скольжение при номинальном моменте, повышенный пусковой момент и небольшую кратность пускового тока. Благодаря этому данный двигатель при вентиляторной нагрузке допускает регулировку частоты вращения в широком диапазоне изменением подведенного напряжения.

Трехфазный тиристорный регулятор напряжения состоит из трех однофазных регуляторов, каждый из которых имеет свою систему управления. Синхронизирующие сигналы пилообразного напряжения с каждой фазы через блоки Voltage Measurement1, Voltage Measurement2, и Voltage Measurement3 поступают на соответствующие системы управления тиристорами. Для облегчения пользования моделью силовые тиристорные блоки фаз А и В и их соответствующие системы управления сгруппированы в подсистемы Subsystem, Subsystem1, Subsystem2, Subsystem3.

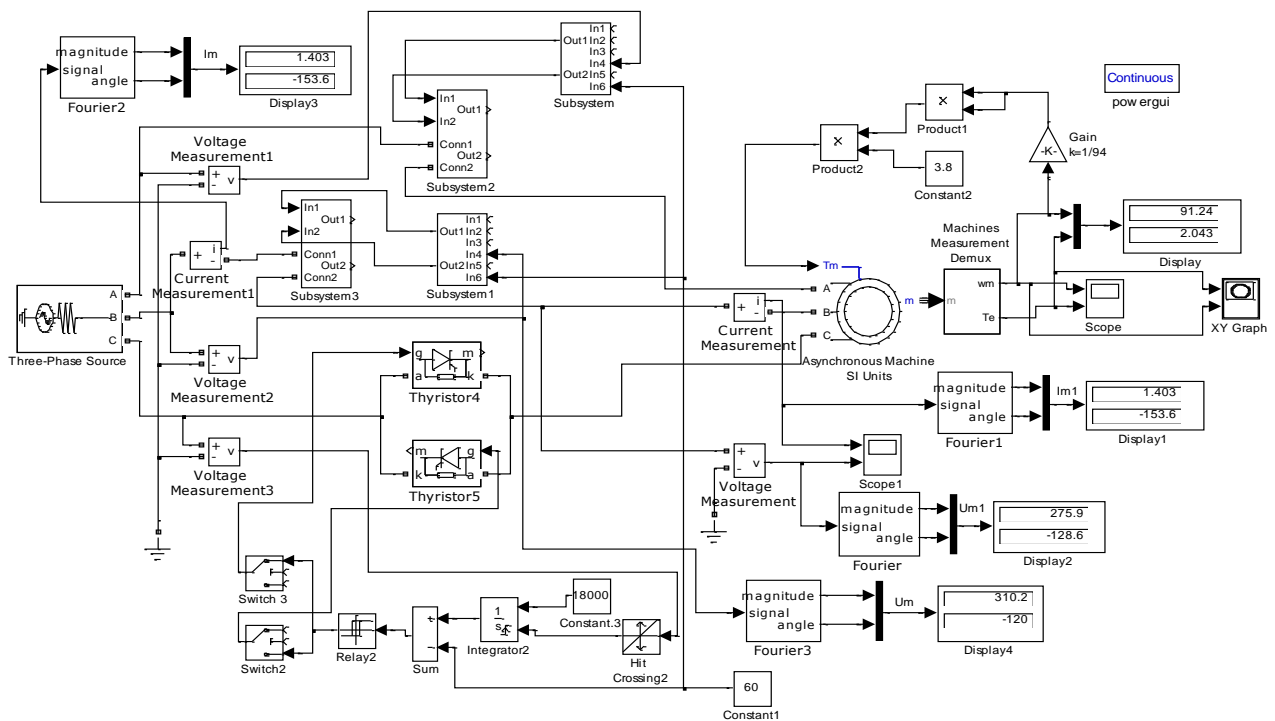


Рис. 1. Модель трехфазного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением

Блоками Gain, Product1, Constant2 и Product2 создана вентиляторная нагрузка для электродвигателя (пусковой момент не отражен).

Угол открывания тиристоров на всех фазах задается блоком Constant1.

Модель имеет набор виртуальных измерительных приборов, позволяющих проводить исследования энергетических, регулировочных, электромеханических, электромагнитных характеристик. В частности для исследования электромагнитных характеристик использованы блоки: измерение мгновенных значений тока и напряжения на выходе тиристорного регулятора – виртуальный осциллограф Scope1, анализ спектрального состава тока и напряжения проводился с помощью блока Scope1 с использованием блока Powergui.

Блоки Fourier, Fourier1, Fourier2 предназначены для измерения гармонических составляющих тока, напряжения на нагрузке, напряжения питания (верхние значения) и их начальных фаз (нижнее значение).

Исследования характеристик, как на модели, так и на лабораторном стенде, проводились при установившемся режиме работы электропривода и изменении величины напряжения от $0,34U_H$ до U_H .

Для регулировочной характеристики $\omega^* = f(U^*)$ значения скорости соответствующему

напряжению записывали с измерительного блока Display (верхнее значение). Значение мощности для энергетической характеристики $P^* = f(U^*)$ определяли как произведение $P^* = M\omega/P_H$, где M – текущее значение электромагнитного момента электродвигателя (блок Display, нижнее значение).

Рабочие характеристики (рис. 2), полученные на компьютерной модели, приведены в относительных единицах, то есть текущие значения величин разделены на соответствующие их номинальные значения.

Для сравнения полученных результатов на компьютерной модели с помощью цифрового осциллографа Vellman, комплекта измерительного К-505, тахометра Д-1ММ и цифрового мультиметра ДМК-32 были проведены исследования на лабораторном стенде регулируемого электропривода осевого вентилятора ВО-7,1М с двигателем АИРП80А6У2. Линейное напряжение на электродвигателе меняли с помощью тиристорного преобразователя напряжения станции "Климатика-1" с фазо-импульсным управлением. По результатам исследований получили зависимости в относительных единицах $\omega^* = f(U^*)$, $P^* = f(U^*)$. Они приведены на рис. 2 в виде маркеров, соответственно, для регулировочной характеристики - треугольник Δ , для энергетической - х.

При сравнении полученных результатов (рис. 2), видно, что отклонение показаний компьютерной модели и лабораторного стенда не превышает 5%. То есть можно сказать, что результаты исследований подтвердили адекватность компьютерной модели реальным характеристикам электропривода.

На рис. 3 приведены формы кривых тока и напряжения на нагрузке трехфазного тиристорного регулятора.

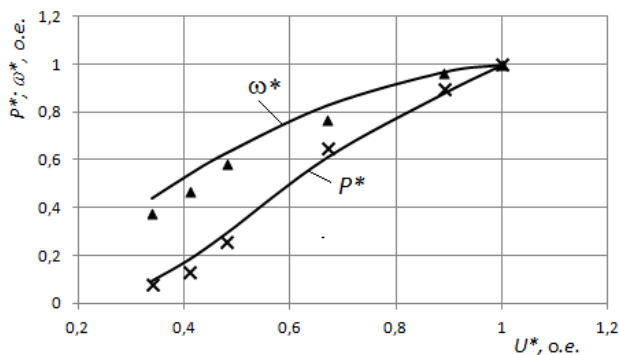


Рис. 2. Рабочие характеристики трехфазного регулируемого асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением

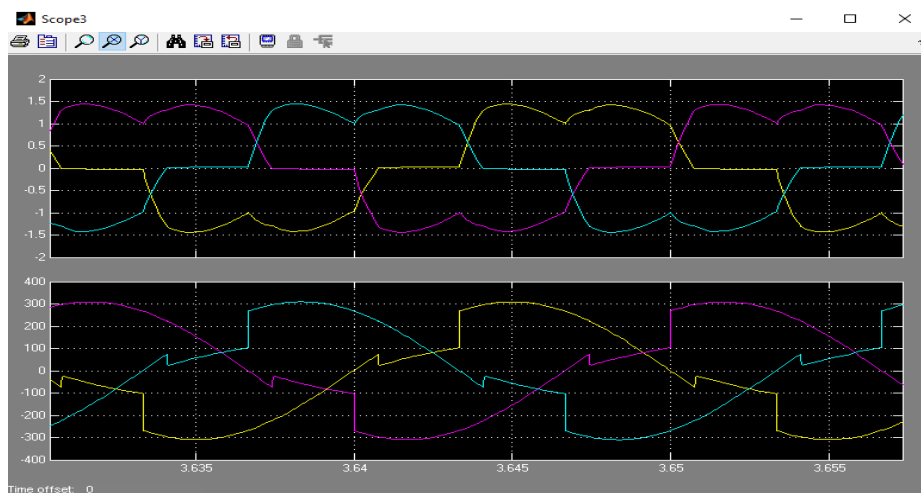
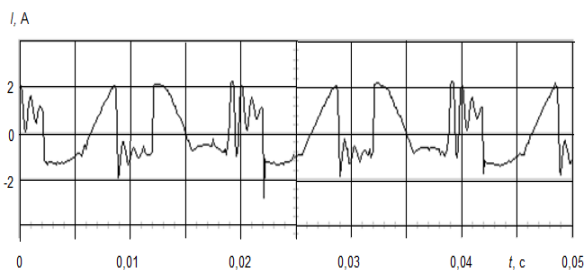
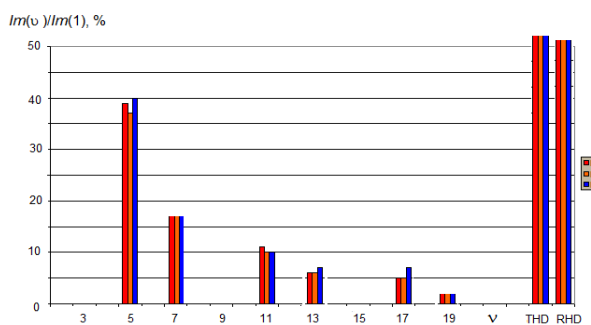


Рис. 3. Мгновенные значения тока (верхняя кривая) и напряжения (нижняя кривая) в нагрузке при $U_{\phi m}(1) = 275 \text{ В}$



а



б

Рис. 4. Форма кривой тока (а) и спектр тока (б), полученные на лабораторном стенде при $U_{\phi m}(1) = 130 \text{ В}$

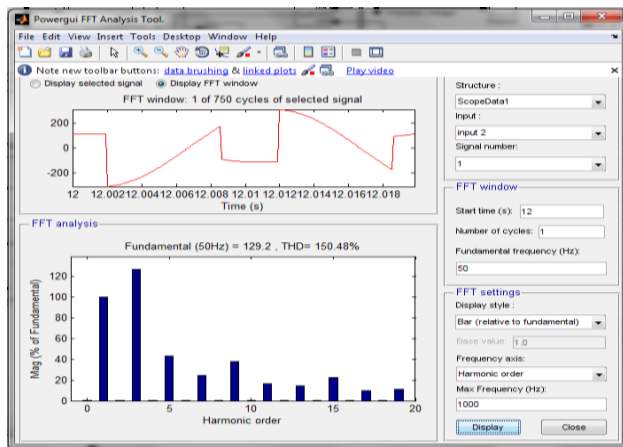
Как видно из рис. 3, рабочий тиристор из-за наличия индуктивности в нагрузке закрывается с некоторым опозданием, когда ток через него достигает нулевого значения. Форма кривой тока имеет провал в верхней части синусоиды. Это обусловлено тем, что на данном участке отключена одна фаза. Если рассмотреть форму кривой напряжения, то из рисунка видно, что на выключенной фазе напряжение не равно нуле-

вому значению. Потенциал напряжения формируется двумя другими включенными фазами. То есть создается перекося фазных напряжений на обмотках двигателя.

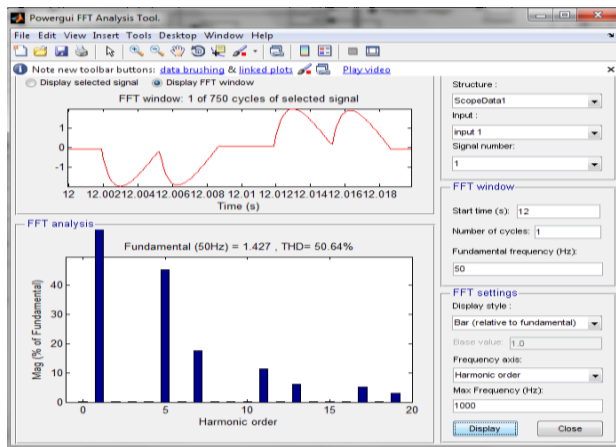
Для сравнения на рис. 4, а приведена форма кривой тока, полученная на лабораторном стенде при амплитудном значении выходного напряжения тиристорного регулятора первой гармоники $U_{\phi m}(1) = 130 \text{ В}$. Как видно из ри-

сунка 4, кривая, аналогично рис. 3 и 5, б (верхнее окно), имеет провалы тока в верхней части синусоиды. Кривая тока лабораторного стенда более искажена по сравнению с кривой тока,

смоделированной на модели. Это объясняется тем, что модель не учитывает искажения, обусловленные внешними возбудителями.

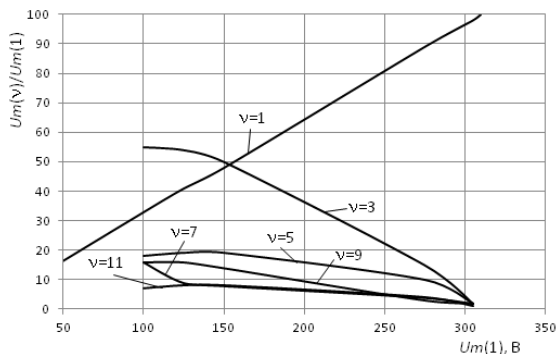


а

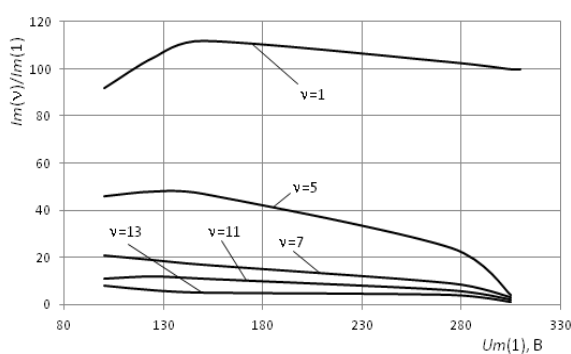


б

Рис. 5. Спектр выходного напряжения (а) и тока (б), полученных при $U_{\phi m(1)} = 130$ В



а



б

Рис. 6. Гармоничный состав выходного напряжения (а) и тока (б) трехфазного тиристорного регулятора асинхронного электропривода

Спектр выходного напряжения и тока, полученный на компьютерной модели, приведен на рис. 5. Спектр выходного напряжения содержит все нечетные гармоники. Спектр тока имеет также нечетные гармоники кроме третьей и кратных ей. Для сравнения, аналогичный вид имеет спектр тока, полученный на лабораторном стенде (рис. 4, б).

Выводы и перспективы

Результаты исследований на компьютерной модели энергетической и регулировочной характеристик, формы кривой выходного напряжения и тока трехфазного тиристорного регулятора напряжения асинхронного электропривода и их гармоничный состав подтвердили адекватность результатам исследований на лабораторном стенде регулируемого электропривода со станцией управления "Климатика-1". Отклонение показаний не превышают 5%.

Исследованиями установлено, что рабочий тиристор, из-за наличия индуктивности в нагрузке, закрывается с некоторым опозданием, когда ток через него достигает нулевого значения. На выключенной фазе напряжение не равно нулевому значению. Потенциал напряжения формируется двумя другими включенными фазами. То есть создается перекося фазных напряжений на обмотках двигателя.

Спектр выходного напряжения содержит все нечетные гармоники. Высшая 3 гармоника напряжения доминирует. В процессе снижения выходного напряжения она приближается к основной и при $U_m(1) < 150$ В даже превышает основную.

Форма кривой тока имеет провал в верхней части синусоиды. Это обусловлено тем, что на данном участке отключена одна фаза.

Спектр тока имеет нечетные гармоники кроме третьей и кратных ей. Первая высшая гармоника 5, она доминирует и наиболее искажает форму тока. Максимальное значение 5 гармоника принимает при значении выходного напряжения на уровне 130 В.

По результатам моделирования, можно утверждать, что компьютерная модель пригодна для использования при разработке трехфазного регулируемого электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением.

Литература

1. Регулированный электропривод: учебник для вузов / Под ред. И.М. Голодного. – К.: ООО "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с. [укр.].
2. Глазенко Т.А. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой

мощности / Т.А. Глазенко, В.И. Хрисанов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. – 170 с.

3. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК: учебное пособие для студ. вузов / С.Г. Герман-Галкин. – С.-Пб.: КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

Сведения об авторах:

Голодный Иван Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода и электротехнологий, e-mail: golodnyi@ukr.net

Синявский Александр Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода и электротехнологий, e-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Санченко Александр Владимирович – аспирант, e-mail: aleksandr sansash@ukr.net
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (НУБиП Украины), Киев, Украина.

INVESTIGATION OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH PHASE-PULSE CONTROL THYRISTOR VOLTAGE REGULATOR

I. Golodnyi, A. Sinyavsky, A. Sanchenko

The modern asynchronous controlled electric drive is based on the use of semiconductor voltage converters of various types, which, due to complexity or high cost, pay little attention to the study of various performance characteristics. With the development of computer modeling, it became possible to deepen the research of these processes. The aim of the work is to reduce the time and costs for studying a controlled asynchronous electric drive by computer simulation and to confirm the adequacy of the results obtained on the model and physical installation. The materials and methods of research. The analysis of the performance of the regulated electric drive with the chosen control method was carried out using the provisions of the electric drive theory and statistical methods for processing the results of research on the physical and computer model in the MatLab system. The results of the research. In order to analyze the characteristics of a three-phase adjustable asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control, a computer model is developed in MatLab, the power circuit of which consists of an alternating voltage source, two thyristors in each phase, connected counter-parallel and the motor AIRP80A6U2. On the created computer model and laboratory installation of the adjustable electric drive of the ventilation system with thyristor regulation of the voltage by the control station "Klimatika 1", the energy and regulating characteristics, the shapes of the voltage and current curve and their spectral composition were obtained. Conclusion and perspectives. Analysis of the results of the studies confirmed the adequacy of the com-

puter model to real electromagnetic processes, the deviation of the indications does not exceed 5%. The results of the studies on the computer model are suitable for use in the development of a three-phase asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control.

Keyword: semiconductor voltage converters, control characteristic, power characteristic, higher harmonics, computer model.

References

1. Regulirovannyj jelektroprivod: uchebnik dlja vuzov [Adjustable Electric] / under ed. Golodnyi I.M. – Kiev, Ltd. "ZP "Komprynt", 2015. – 509 ps. (In Ukrainian)
2. Glazenki T.A., Khrisanov V.I. Poluprovodnikovye sistemy impul'snogo asinhronnogo jelektroprivoda maloj moshhnosti [The semiconductor system of low power asynchronous electric pulse]. – Leningrad, Energoatomizdat, 1983. – 170 ps. (In Russian)
3. German-Galkin S.G. Silovaja jelektronika: Laboratornye raboty na PK: uchebnoe posobie dlja stud. vuzov [Power Electronics: Laboratory work on the PC]. – St. Petersburg, KORONA print, 2002. – 304 ps. (In Russian)

Authors:

I. Golodnyi – Ph.D. (Engineering), e-mail: golodnyi@ukr.net

A. Sinyavsky – Ph.D. (Engineering), e-mail: sinyavsky2008@ukr.net

A. Sanchenko – postgraduate, e-mail: aleksandr sansash@ukr.net
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

• **For citation:** Golodnyi I.M., Sinyavsky A.Yu., Sanchenko A.V. Investigation of three-phase asynchronous electric drive with phase-pulse control thyristor voltage regulator. *Vestnik VIESH*. 2017; 4(29): 139-143 (In Russian)