

УДК 621.318.48:621.316

**ВІРТУАЛЬНИЙ ДОСЛІДНИЦЬКИЙ КОМПЛЕКС
«АВТОНОМНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ З АСИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ»**

Н. В. Зачепа, Ю. В. Зачепа, С. А. СергієнкоКременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: natali_2M@mail.ru

Ефективною альтернативою реальних лабораторних стендів при організації практикуму є створення віртуальних дослідницьких комплексів, що дають можливість повністю відтворити фізичні процеси реального об'єкта та візуалізувати їх протікання. Представлено віртуальний комплекс по дослідженню режимів роботи автономного джерела живлення з асинхронним генератором у середовищі графічного програмування LabView. Розроблений комплекс містить дизельний двигун внутрішнього згоряння з автоматичним регулятором частоти обертання, асинхронний генератор із конденсаторним збудженням та системою стабілізації вихідної напруги, низку типових споживачів електричної енергії зі статичним та руховим характером навантаження. Реалізовано можливість виконання широкого спектру досліджень як у штатних, так і в аварійних режимах роботи.

Ключові слова: віртуальний дослідницький комплекс, автономне джерело живлення, асинхронний генератор, ємнісна система збудження.

**ВІРТУАЛЬНИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС
«АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С АСИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ»**

Н. В. Зачепа, Ю. В. Зачепа, С. А. СергиенкоКременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: natali_2M@mail.ru

Эффективной альтернативой реальным лабораторным стендов при организации практикума является создание виртуальных исследовательских комплексов, которые дают возможность полностью воссоздать физические процессы реального объекта и визуализировать их протекание. Представлен виртуальный комплекс по исследованию режимов работы автономного источника питания с асинхронным генератором в среде графического программирования LabView. Разработанный комплекс содержит дизельный двигатель внутреннего сгорания с автоматическим регулятором частоты вращения, асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением и системой стабилизации выходного напряжения, ряд типовых потребителей электрической энергии со статическим и двигательным характером нагрузки. Реализована возможность выполнения широкого спектра исследований как в штатных, так и аварийных режимах работы.

Ключевые слова: виртуальный исследовательский комплекс, автономный источник питания, асинхронный генератор, емкостная система возбуждения.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Навчання шляхом проведення лабораторних робіт є невід'ємною частиною набуття практичних навичок і вмінь. Проте, враховуючи тенденції розвитку вищої освіти, зростання обсягу самостійної роботи студентів з одночасним зменшенням кількості аудиторних занять, недостатньою їх кількістю, а іноді й відсутністю сучасної літератури з технічних дисциплін, необхідністю матеріальних витрат на організацію традиційного лабораторного практикуму [1, 2], ефективною альтернативою реальному лабораторному стенду є створення віртуальних дослідницьких комплексів (ВДК) [3], що є комп'ютерною програмою, яка на моніторі комп'ютера за допомогою засобів комп'ютерної графіки та анімації моделює реальний лабораторний стенд. ВДК включає візуальну й поведінкову імітацію технологічного об'єкта, а також засоби створення керуючого алгоритму з можливістю запуску його на виконання й ґрунтується на ідеї підміни реального об'єкта управління або його фізичної імітації на віртуальний об'єкт керування [4].

Одним із найбільш зручних є середовище графічного програмування NI LabView, зважаючи на його універсальність [5] у створенні гнучких додатків при побудові вимірювальних систем з високими

ергономічними показниками та розробку інтерфейсу користувача, що працює з вимірювальним і керуючим обладнанням [6–8].

На теперішній час досить важливим питанням є безперебійне електропостачання в тих випадках, де технічно неможливо або економічно невигідно використовувати централізоване електропостачання [9]. Як такі автономні джерела живлення найбільш універсальними є електромеханічні генератори змінного струму, серед яких широкі перспективи розкриваються перед асинхронними генераторами, що характеризуються підвищеною надійністю, високими динамічними властивостями, малими масогабаритними розмірами за рахунок підвищених механічних, електромагнітних та теплових навантажень [10].

Метою дослідження є розробка віртуального комплексу як інструменту для дослідження режимів роботи автономного джерела живлення з асинхронним генератором (АДЖ з АГ).

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Згідно з функціональними можливостями програми LabView та принципами створення ВДК, був розроблений алгоритм роботи у вигляді UML-діаграми стану роботи програми (рис. 1).

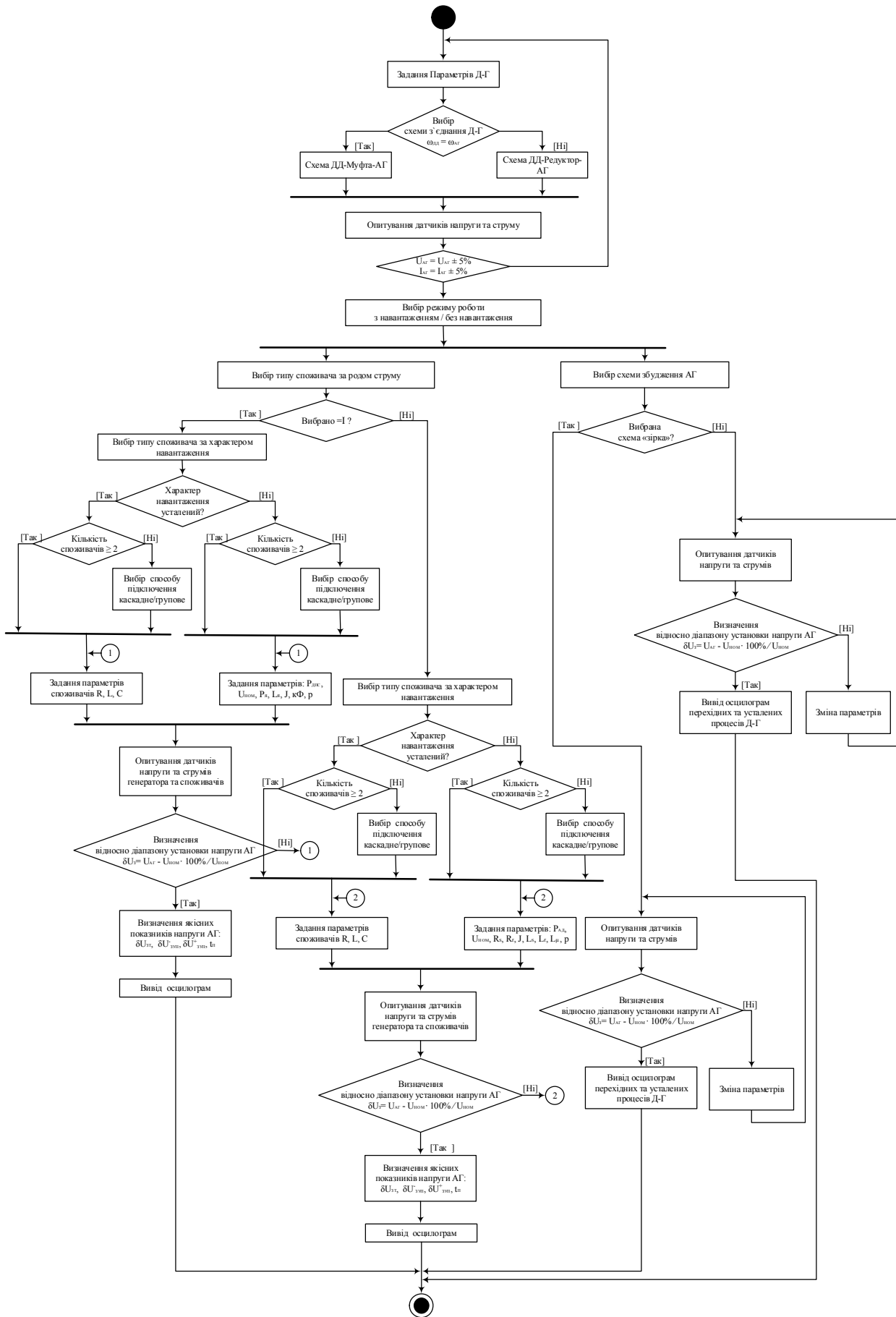


Рисунок 1 – UML-діаграма стану роботи програми

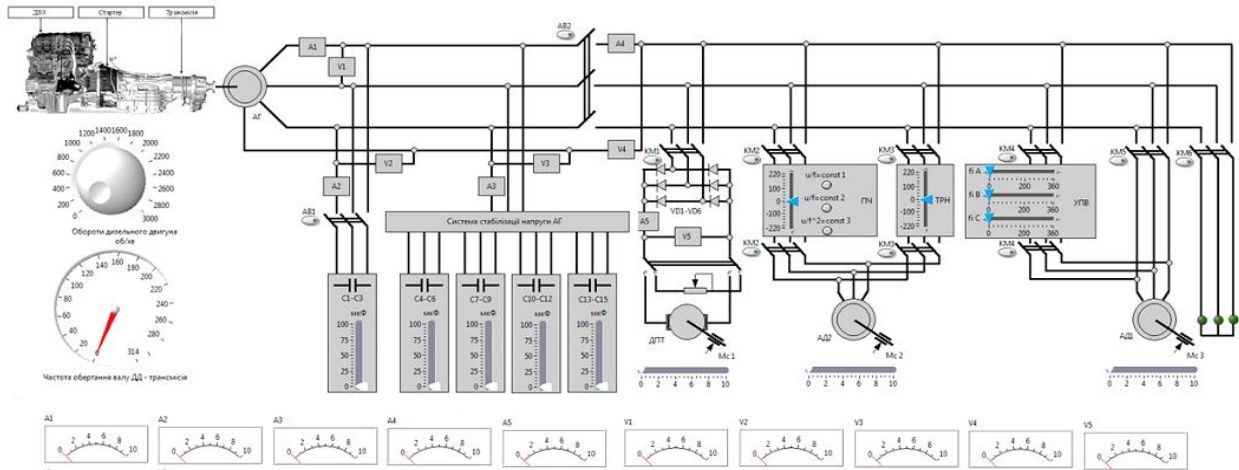


Рисунок 2 – Лицьова панель віртуального лабораторного стану

На рис. 2 зображено лицьову панель віртуально-дослідницького комплексу, яка містить функціональну схему стану з візуалізацією підключення споживачів відповідними перемикачами КМ1–КМ6 та панелі контрольно-вимірювальних приладів поточних значень частоти обертання дизельного двигуна (ДД), напруги V1 та струмів A1 АГ, ємностей збудження A2, A3, V2, V3 та на затискачах споживачів A4, A5, V4, V5.

Загалом розроблений ВДК характеризується широким спектром досліджень режимів роботи АДЖ з АГ [11]. До затискачів генератора є можливість підключення як споживачів постійного (через випрямляч перемикачем КМ1), так і змінного (перемикачами КМ2–КМ5) струмів, підключення яких може носити як одиничний, так і груповий характер (групове або каскадне підключення електричних двигунів). Крім того, реалізовано регульований пуск електричних машин з живленням від АДЖ за рахунок тиристорного регулятора напруги (ТРН) перемикачем КМ3 та перетворювача частоти (ПЧ) перемикачем КМ2. Причому для останнього є можливість вибору одного з трьох основних законів частотного керування шляхом натискання відповідної кнопки на панелі. Замикання ключів КМ4 здійснюється під'єднанням пристрою пофазного включення (ППВ) для реалізації сприятливого пуску АД шляхом регулювання кута затримки на включення кожної фази.

Розробка ВЛК автономного джерела живлення складається з чотирьох основних блоків: дизельного двигуна, асинхронного генератора (АГ), ємнісної системи збудження (ЄСЗ) та блоку підключення споживачів.

Динамічні властивості ДД характеризуються рівнянням

$$Jd\omega_{\partial} / dt = M - M_c, \quad (1)$$

де J – приведений момент інерції двигуна та з'єднаних із ним агрегатів; $M_c = f(\omega_{\partial}; N)$ – момент споживача; $M = f(h; \omega_{\partial})$ – момент обертання

ДД, що залежить від циклової подачі палива, яке визначається положенням h органу управління (рейки, дросельної засувки) та кутової швидкості ω_{∂} колінчатого валу.

Блок-схему моделювання дизельного двигуна в пакеті LabView зображено на рис. 3. ДД містить автоматичний регулятор частоти обертання (РЧД), побудований за принципом Ползунова–Уатта, математична модель якого наведена у [12]. Структурну схему РЧД приведено на рис. 4.

Блок-схему реалізації моделювання АГ у програмному середовищі LabView за математичним апаратом, викладеним нижче, зображено на рис. 5. При складанні математичної моделі АГ було прийнято низку загальноприйнятих припущень, у результаті чого рівняння рівноваги напруг для обмоток фаз статора та ротора у матричній формі матимуть вигляд [12]:

$$\begin{aligned} d[\Psi_s] / dt &= [u_s] - [R_s][i_s]; \\ d[\Psi_r] / dt &= [u_r] - [R_r][i_r] + j\omega[\Psi_r], \end{aligned} \quad (2)$$

де $[u_s] = [u_A \ u_B \ u_C]^T$, $[u_r] = [u_a \ u_b \ u_c]^T$ – транспоновані матриці миттєвих значень фазних напруг статора та ротора відповідно; $[i_s] = [i_A \ i_B \ i_C]^T$, $[i_r] = [i_a \ i_b \ i_c]^T$ – транспоновані матриці миттєвих значень струмів у фазах статора та ротора відповідно; $[\Psi_s] = [\Psi_A \ \Psi_B \ \Psi_C]^T$, $[\Psi_r] = [\Psi_a \ \Psi_b \ \Psi_c]^T$ – транспоновані матриці повних потокосцеплень фазних обмоток статора та ротора відповідно;

$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}$ – матриця активних опорів обмоток статора;

$[R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$ – матриця активних опорів обмоток ротора;

ω – електрична частота обертання.

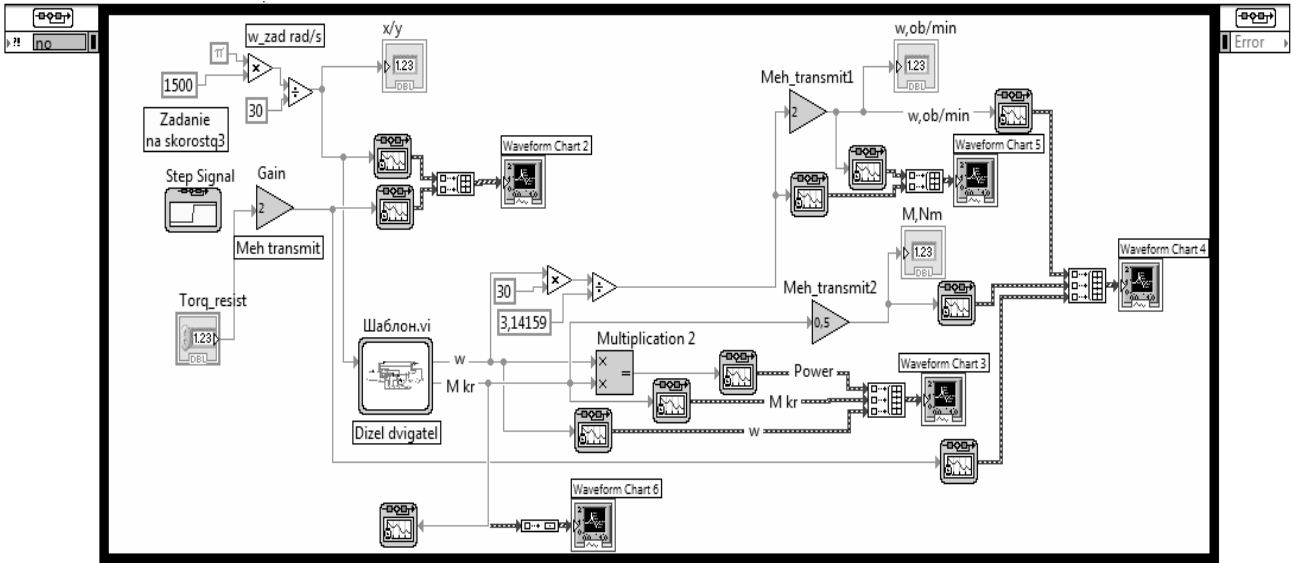


Рисунок 3 – Блок-схема реалізації математичної моделі дизельного двигуна у програмному середовищі LabView

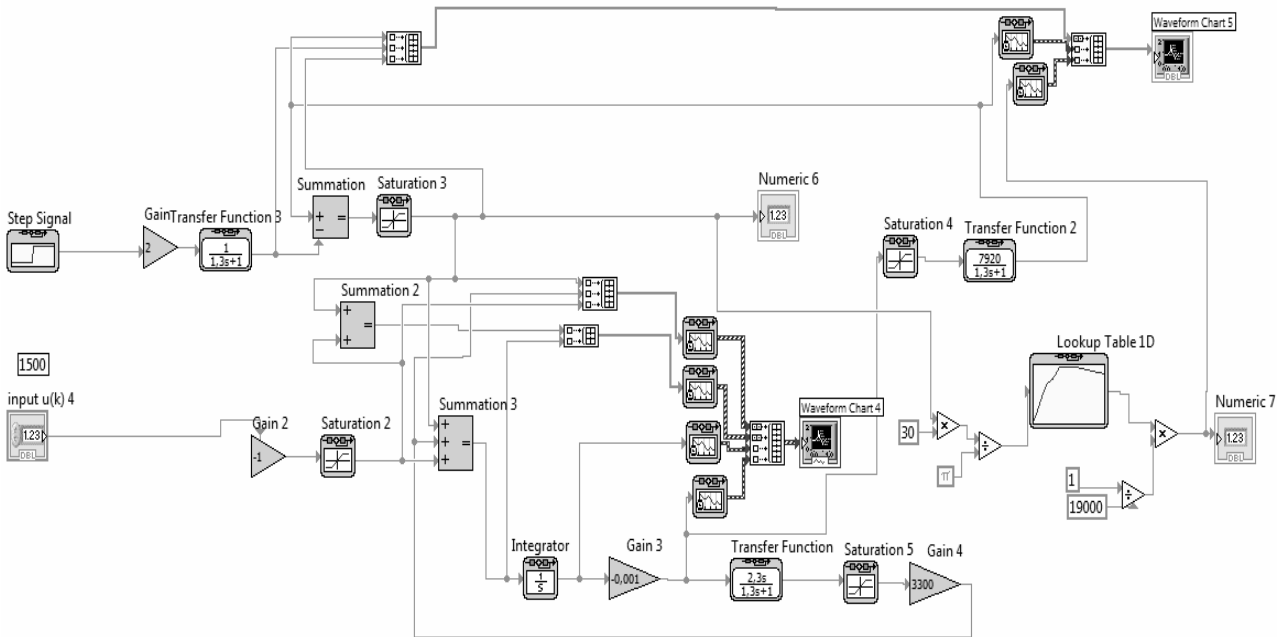


Рисунок 4 – Блок-схема реалізації регулятора частоти обертання дизельного двигуна у пакеті LabView

Вирази для потокозчеплень статора мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 \psi_A &= L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Aa} i_a \cos \gamma + \\
 &+ M_{Ab} i_b \cos(\gamma + 2\pi/3) + \\
 &+ M_{Ac} i_c \cos(\gamma - 2\pi/3); \\
 \psi_B &= L_B i_B + M_{BA} i_A + M_{BC} i_C + M_{Bb} i_b \cos \gamma + \\
 &+ M_{Bc} i_c \cos(\gamma + 2\pi/3) + \\
 &+ M_{Ba} i_a \cos(\gamma - 2\pi/3); \\
 \psi_C &= L_C i_C + M_{CA} i_A + M_{CB} i_B + M_{Cc} i_c \cos \gamma + \\
 &+ M_{Ca} i_a \cos(\gamma + 2\pi/3) + \\
 &+ M_{Cb} i_b \cos(\gamma - 2\pi/3);
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

для ротора:

$$\begin{aligned}
 \psi_a &= L_a i_a + M_{ab} i_b + M_{ac} i_c + M_{aA} i_A \cos \gamma + \\
 &+ M_{aC} i_C \cos(\gamma + 2\pi/3) + \\
 &+ M_{aB} i_B \cos(\gamma - 2\pi/3); \\
 \psi_b &= L_b i_b + M_{ba} i_a + M_{bc} i_c + M_{bB} i_B \cos \gamma + \\
 &+ M_{bA} i_A \cos(\gamma + 2\pi/3) + \\
 &+ M_{bC} i_C \cos(\gamma - 2\pi/3); \\
 \psi_c &= L_c i_c + M_{cb} i_b + M_{ca} i_a + M_{cC} i_C \cos \gamma + \\
 &+ M_{cB} i_B \cos(\gamma + 2\pi/3) + \\
 &+ M_{cA} i_A \cos(\gamma - 2\pi/3),
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

де γ – кут між осями обмоток «А» та «а»; $L_A, L_B, L_C, L_a, L_b, L_c$ – індуктивності фаз статора та ротора відповідно; $M_{AB}, M_{AC}, \dots, M_{ab}, M_{ac}, \dots$ – взаємодуктивності між обмотками статора та ротора відповідно; M_{Aa}, M_{Ba}, \dots – взаємодуктивності між обмотками статора та ротора.

Залежність параметра взаємодуктивності L_μ від струму намагнічування i_μ враховує насичення магнітопровода в моделі АГ [12] (рис. 6):

$$L_\mu = 1/(a + bi_\mu^2), \quad (5)$$

де a, b – коефіцієнти апроксимації кривої намагнічування.

Струм намагнічування i_μ АГ визначається через складові $i_{\mu A}, i_{\mu B}, i_{\mu C}$ за відповідними осями фаз статора.

Ємнісну систему збудження генератора (рис. 7) реалізовано шляхом включення конденсаторів у статорне коло, тому як напругу джерела живлення $[u_s]$ слід підставити падіння напруги на кон-

денсаторах для всіх трьох фаз статора генератора:

$$[u_s] = (-1/C) \int_0^t [i] dt + [u_0], \quad (6)$$

де $[i] = [i_{cA} \ i_{cB} \ i_{cC}]^T$ – транспонована матриця миттєвих значень струмів, що протікають в ємностях; $[u_0] = [u_{0A} \ u_{0B} \ u_{0C}]^T$ – транспонована матриця миттєвих значень фазних напруг у початковий момент часу $t = t_0$; C – ємність конденсаторів збудження.

Реалізацію математичної моделі механічної частини АГ зображено на рис. 8, рівняння руху якої має вигляд:

$$d\omega_m / dt = (M - M_G) / J, \quad (7)$$

де ω_m – механічна частота обертання АГ; J – момент інерції агрегату; M_G – електромагнітний момент АГ відповідно:

$$M_G = pL_\mu [(i_{\mu B} - i_{\mu C})i_A + (i_{\mu C} - i_{\mu A})i_B + (i_{\mu A} - i_{\mu B})i_C] / \sqrt{3}. \quad (8)$$

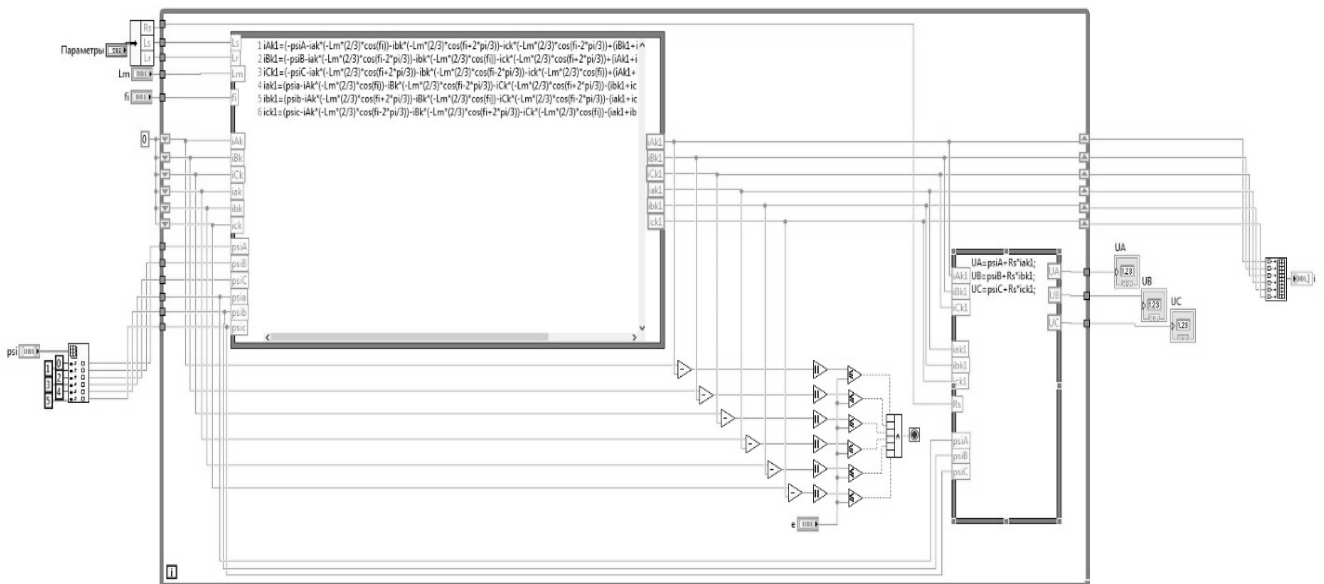


Рисунок 5 – Математична реалізація АГ у пакеті LabView

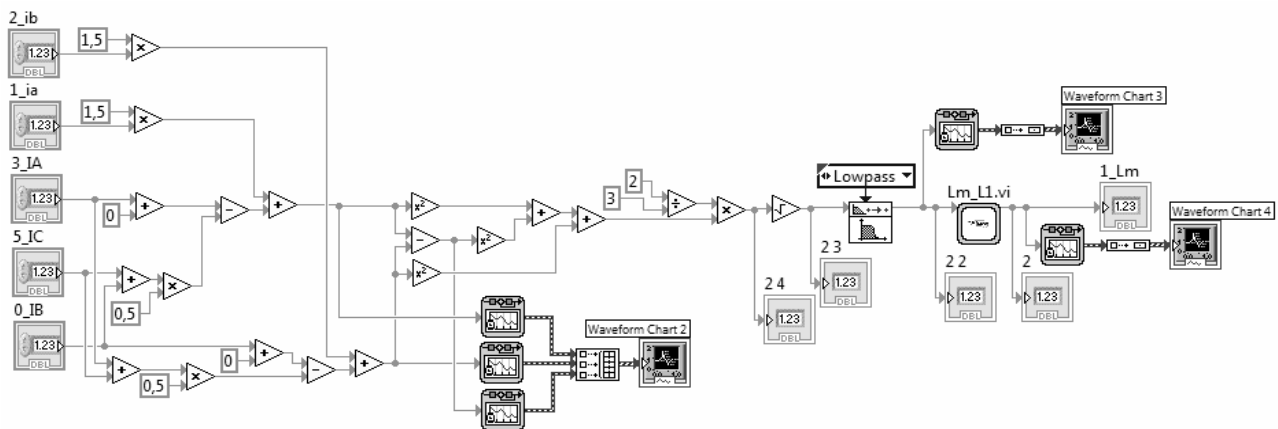


Рисунок 6 – Контур намагнічування, реалізований у пакеті LabView

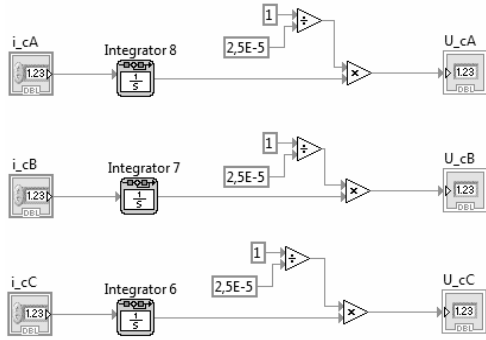


Рисунок 7 – Реалізація ЄСЗ у пакеті LabView

Всі параметри дизельного двигуна, асинхронного генератора, ємнісної системи збудження та споживачів електричної енергії як постійного, так і змінного

струмів можна задавати або на лицьовій панелі стенду, або у відповідному вікні завдання параметрів.

Зовнішній вигляд вікна завдання параметрів електрообладнання віртуального лабораторного стенду приведено на рис. 9.

Вікно візуалізації кривих перехідних процесів за досліджуваними параметрами дає можливість моніторингу роботи всіх елементів ВДК. На рис. 10 наведені характеристики дизельного двигуна (потужність, крутний момент, задана й фактична частоти обертання, хід паливної рейки), асинхронного генератора (напряга та струми фаз А, В, С), споживача електричної енергії змінного струму (напряга та струм, частота обертання та момент асинхронного двигуна) отримані на розробленому віртуальному дослідницькому комплексі.

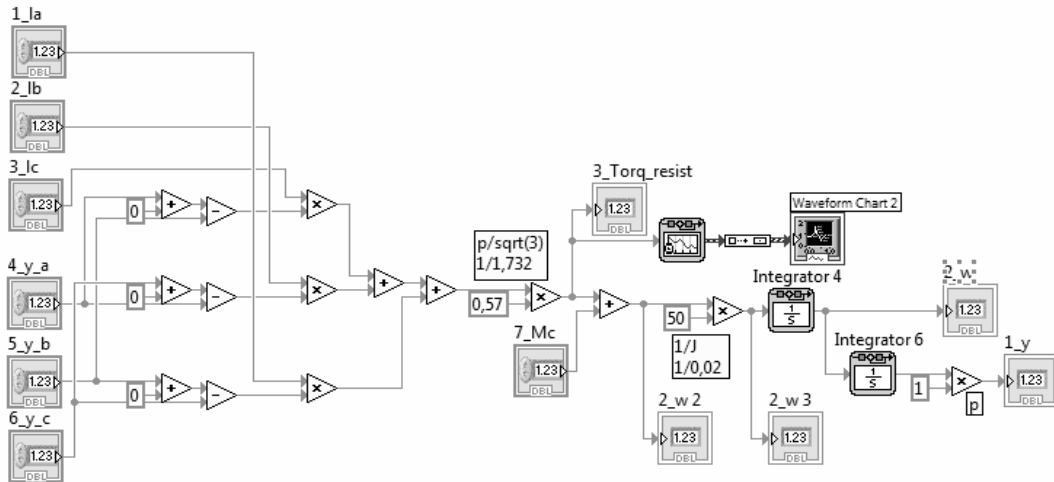


Рисунок 8 – Блок-схема механічної частини АГ у програмному середовищі LabView

Параметри дизельного двигуна (ДД)		Параметри споживачів електричної енергії	
Номінальна потужність, Вт	2200	Статичне навантаження:	
Номінальна швидкість обертання, об/хв	1500	Активний опір, Ом	0
Хід паливної рейки, мм	75	Індуктивність, мГн	0
Передавальне число редуктора	2	Ємність, мкФ	0
Параметри асинхронного генератора (АГ)		Рухове навантаження:	
Номінальна потужність, Вт	1200	<i>асинхронний двигун (АД)</i>	
Номінальна швидкість обертання, об/хв	2900	Номінальна потужність, Вт	АД1: 0 АД2: 0
Номінальна напруга, В	220	Номінальна швидкість обертання, об/хв	0
Номінальний струм, А	2,9	Номінальна напруга, В	0
Активний опір статора, Ом	9,37	Номінальний струм, А	0
Індуктивний опір статора, Ом	7,03	Активний опір статора, Ом	0
Наведений активний опір ротора, Ом	5,13	Індуктивний опір статора, Ом	0
Наведений індуктивний опір ротора, Ом	6,05	Наведений активний опір ротора, Ом	0
Кількість пар полюсів	1	Наведений індуктивний опір ротора, Ом	0
Момент інерції, Н м	0,02	Кількість пар полюсів	0
Параметри ємнісної системи збудження (ЄСЗ)		Момент інерції, Н м	0
Ємність конденсатора, мкФ		Індуктивність намагнічування, мГн	0
Фаза А	30	<i>двигун постійного струму (ДПС)</i>	
Фаза В	30	ДПС 1	
Фаза С	30	Номінальна потужність, Вт 2	0
		Номінальна швидкість обертання, об/хв 2	0
		Номінальна напруга, В 2	0
		Номінальний струм, А 2	0
		Активний опір обмотки якоря, Ом	0
		Індуктивність обмотки якоря, мГн	0
		Магнітний потік, Вб	0
		Момент інерції, Н м 2	0

Рисунок 9 – Вікно панелі завдання параметрів АДЖ з АГ у пакеті LabView

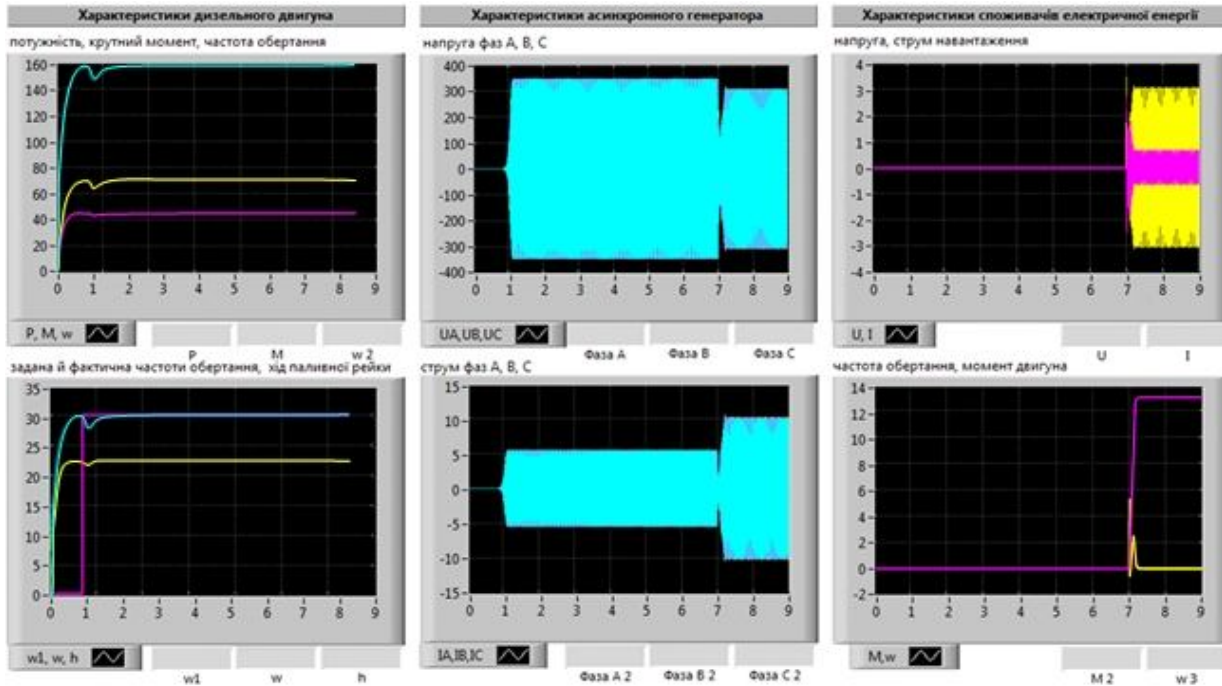


Рисунок 10 – Вікно візуалізації параметрів перехідних процесів АДЖ з АГ та споживачів

ВИСНОВКИ. Складні соціально-політичні умови розвитку нашої країни при збереженні актуальності питання підвищення якості освіти, відображеного в державних програмах, спонукають до застосування під час навчання віртуальних лабораторних комплексів, які характеризуються різноманіттям вибору складу об'єктів дослідження, завдань і форм виконання лабораторних робіт; принциповою можливістю застосування в освітньому процесі найбільш сучасних і перспективних технологій.

Основу розглянутого в роботі комплексу складають математичні моделі, завдяки чому ВДК дозволяють досліджувати процеси, ідентичні процесам у реальних фізичних об'єктах. Об'єкти віртуального комплексу поведуться аналогічно фізичним об'єктам у штатних та аварійних режимах роботи.

Незважаючи на об'єктивні економічні переваги (постійний розвиток єдиної навчально-лабораторної й наукової бази, зниження витрат на навчальне обладнання), застосування ВДК у навчальному процесі має суттєві соціальні складові: організацію ефективної самостійної роботи; кількісне й якісне підвищення рівня отримуваних знань; вивчення відповідних навчальних курсів з одночасним виконанням практичних і лабораторних робіт під час самостійної та індивідуальної роботи.

Зазначені ВДК легко можна інтегрувати до електронних навчально-методичних комплексів дисциплін, наприклад, для організації якісного заочного (дистанційного) навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрущенко В.П. Основні тенденції розвитку вищої освіти на рубежі століть // Вища освіта України. – 2001. – Вип. 1. – С. 11–17.

2. Степко М.Ф., Болюбаш Я.Я., Шинкарук В.Д. та ін. Вища освіта України і Болонський процес: навчальний посібник / За ред. В.Г. Кременя. – Тернопіль: Навчальна книга, Богдан, 2004. – 384 с.

3. Чорний О.П., Лашко Ю.В., Коваль Т.П. Особливості процесу підготовки фахівців інженерних спеціальностей // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. – Вип. 2/2013 (2). – Режим доступу до журналу: <http://eetecs.kdu.edu.ua>

4. Тревис Дж. LabView для всех. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.

5. Евдокимов Ю.К., Кирсанов А.Ю. Организация типовой дистанционной автоматизированной лаборатории с использованием LabVIEW-технологий в техническом вузе // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Сб. трудов Международной конференции, Москва, 14–15 ноября 2006. – Режим доступу: http://www.ict.edu.rux/lib/index.php?id_res=3630

6. Батоврин В.К., Бессонов А.С. LabView: практикум по основам измерительных технологий: учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 208 с.

7. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В. Опыт разработки открытых образовательных ресурсов на основе технологии виртуальных приборов // Открытое образование. – 2009. – Вып. 5. – С. 117–124.

8. Петров М.Н., Белехов Н. Построение интерфейса виртуального измерительного прибора // Вестник Новгородского государственного университета. – 2003. – Вып. 23. – С. 96–99.

9. Лукутин Б.В., Сипайлов Г.А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей. – Фрунзе: Изд-во «Илим», 1987. – 136 с.

10. Григораш О.В. Современное состояние и перспективы применения асинхронных генераторов в автономной энергетике // Промышленная энергетика. – 1995. – Вып. 3. – С. 29–32.

11. Зачепа Ю.В., Зачепа Н.В., Сергиенко С.А. Программно-логічний комплекс для дослідження ди-

зель-генераторних установок з асинхронними генераторами // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – Вип. 12 (1121). – С. 330–333.

12. Зачепа Ю.В. Математическая модель формируемого источника автономного электропитания на базе дизель-генератора // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1/2015 (29). – С. 26–37.

VIRTUAL RESEARCH COMPLEX "AUTONOMOUS POWER SUPPLY WITH ASYNCHRONOUS GENERATOR"

N. Zachepa, Yu. Zachepa, S. Sergiienko

Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: natali_2M@mail.ru

Creation of virtual research complexes which gives an opportunity to fully recreate the physical processes of a real object and visualize their course is an effective alternative to real laboratory stands at the organization of the workshop. A virtual research complex for investigation of modes of autonomous power supply with asynchronous generator in the graphic programming environment LabView is presented. Designed complex includes diesel internal combustion engine with an automatic control speed, asynchronous generator with capacitor excitation and stabilization of the output voltage, number of typical consumers of electricity and the static nature of motor load. There was implemented the possibility of performing a wide range of studies in both regular and emergency modes.

Key words: virtual laboratory complex, autonomous power supply, induction generator, capacitive excitation system.

REFERENCES

1. Andrushchenko, V.P. (2001), "Major trends in higher education at the turn of the century", *Vishcha osvita Ukraini*, Vol. 1, pp. 11–17. (in Ukrainian)

2. Stepko, M.F., Bolyubash, Ya.Ya., Shinkaruk, V.D. et al. (2004), *Vishcha osvita Ukraini i Bolonskiy protses: Navchalniy posibnik* [Higher education Ukraine and the Bologna Process: Tutorial], Navchalna kniga, Ternopil. (in Ukrainian)

3. Chornyi, O.P., Lashko Yu.V. and Koval, T.P. (2013), "Features of process of training of engineering specialties", *Inzhenerni ta osvitni tekhnologiyi v elektrotekhnichnikh i kompyuternikh sistemakh*, Vol. 2, no. 2, Available at: <http://eetecs.kdu.edu.ua> (in Ukrainian)

4. Trevis, Dzh. (2005), *LabView dlya vsek* [LabView for all], DMK Press; PriborKomplekt, Moscow. (in Russian)

5. Yevdokimov, Yu.K. and Kirsanov, A.Yu. (2006), "Organization of a typical remote automated laboratory using LabVIEW-technology in a technical college", *Obrazovatelnyye, nauchnyye i inzhenernyye prilozheniya v srede LabVIEW i tekhnologii National Instruments: Sb. trudov Mezhdunarodnoy konferentsii*, [Educational, scientific and engineering applications with LabVIEW and Technology National Instruments: Proceedings of the International Conference], Moscow, November 14–15, 2006, Available at: http://www.ict.edu.rux/lib/index.php?id_res=3630 (in Russian)

6. Batovrin, V.K. and Bessonov, A.S. (2005), *LabView: praktikum po osnovam izmeritelnykh tekhnologiy: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [LabView: workshop on the basics of measurement technology: a manual for schools], DMK Press, Moscow. (in Russian)

7. Batovrin, V.K., Bessonov, A.S. and Moshkin, V.V. (2009), "Experience in the development of open educational resources based on virtual instrumentation", *Otkrytoye obrazovaniye*, Vol. 5, pp. 117–124. (in Russian)

8. Petrov M.N. and Belekhov M.N. (2003), "Building a virtual interface meter Postroyeniye interfeysa virtualnogo izmeritelnogo pribora", *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*, Vol. 23, pp. 96–99. (in Russian)

9. Lukutin, B.V. and Sipaylov, G.A. (1987), *Ispolzovaniye mekhanicheskoy energii vobnovlyayemykh prirodnykh istochnikov dlya elektrosnabzheniya avtonomnykh potrebiteley* [Using the mechanical energy from renewable natural sources of power supply for the autonomous consumers], Izd. «Ilim», Frunze. (in Russian)

10. Grigorash, O.V. (1995), "Modern condition and prospects of application of asynchronous generators in the autonomous power", *Promyshlennaya energetika*, Vol. 3, pp. 29–32. (in Russian)

11. Zachepa Yu.V., Zachepa N.V. and Sergiyenko, S.A. (2015), "Software and logical complex for research of diesel generator sets with asynchronous generators", *Visnik Natsionalnoho tekhnichnoho universitetu «Kharkivskiy politekhnichniy institut»*, Vol. 12, no. 1121, pp. 330–333. (in Ukrainian)

12. Zachepa, Yu.V. (2015), "Mathematical model of autonomous power supplies generated on the basis of diesel generator", *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi: shchokvartalniy naukovovirobnichiy zhurnal*, Vol. 1, no. 29, pp. 26–37. (in Russian)

Стаття надійшла 12.11.2015.