

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-61-18>

УДК 621.31.33

Лишук Віктор Васильович, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4049-8467>

Мороз Сергій Анатолійович, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>

Заблоцький Валентин Юрійович, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-2921-0031>

Пристапа Станіслав Олексійович, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-3705-1541>

Євсюк Микола Миколайович, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-2421-1844>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ «ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ-АСИНХРОННИЙ ДВИГУН-АВТОМОБІЛЬНИЙ ГЕНЕРАТОР»

Лишук В. В., Заблоцький В. Ю., Приступа С. О., Мороз С. А., Євсюк М. М. Дослідження мехатронної системи «перетворювач частоти-асинхронний двигун-автомобільний генератор». У статті розглянуто мехатронну систему, що складається з приводного асинхронного двигуна АД, що має широкий діапазон регулювання швидкості обертання валу. Це пов'язано з живленням його обмоток напругою змінної частоти від перетворювача частоти ПЧ. В ПЧ регулювання промислової частоти від 50 Гц до 0 Гц дає можливість пропорційно змінювати швидкість обертання валу, тобто від максимальної швидкості до повної зупинки. Перетворювач частоти є інтелектуальним електронним пристроєм з елементами силової електроніки, що має високу швидкодію, візуалізацію та контроль електричних параметрів. Регулятор частоти перетворювача імітує педаль акселерометра автомобіля. Двигун з регульованими обертами приводить в рух автомобільний генератор, що працює в парі з регулятором напруги, навантаженням та зарядкою акумуляторної батареї. Це повністю замінює аналогічну автомобільну систему, де замість двигуна внутрішнього згоряння використано електричний двигун співмірної потужності з генератором. Як показали результати досліджень та випробовувань, даний стенд з високою точністю імітує роботу автомобільного генератора при різних режимах його роботи. Генератор збуджується електромагнітною системою від акумуляторної батареї з паралельним її зарядженням при роботі генератора. Релейний регулятор транзисторного типу регулює напругу на виході генератора в потрібних межах при зміні навантаження і обертів.

Ключові слова: автомобільний генератор, регулятор напруги, перетворювач частоти, асинхронний двигун.

Lyshuk V., Zablotsky V., Prystupa S., Moroz S., Yevsyuk M. Research of the mechatronic system «frequency converter-asynchronous motor-car generator». The article considers a mechatronic system consisting of a drive asynchronous motor AM, which has a wide range of shaft speed regulation. This is due to the power supply of its windings with variable frequency voltage from the frequency converter of the frequency converter FC. In the frequency converter, the regulation of the industrial frequency from 50 Hz to 0 Hz makes it possible to proportionally change the shaft speed, i.e. from maximum speed to a complete stop. The frequency converter is an intelligent electronic device with power electronics elements, which has high speed, visualization and control of electrical parameters. The frequency regulator of the converter imitates the pedal of the car accelerometer. The engine with adjustable speed drives an automobile generator that works in conjunction with a voltage regulator, load and battery charging. This completely replaces a similar automobile system, where instead of an internal combustion engine, an electric motor of comparable power with a generator is used. As the results of research and testing have shown, this stand simulates the operation of an automobile generator with high accuracy in various operating modes. The generator is excited by an electromagnetic system from the battery with its parallel charging during generator operation. A transistor-type relay regulator regulates the voltage at the generator output within the required limits when changing the load and speed.

Keywords: car generator, voltage regulator, frequency converter, asynchronous motor.

Постановка наукової проблеми. У сучасних автомобілях зазвичай застосовується генератор змінного струму з обмоткою збудження, що розташована на роторі. Обмотка збудження, що обертається, з'єднується із зовнішнім електричним колом за допомогою контактних кілець на роторі та графітових щіток, що розташовуються нерухомо на кришці генератора або інтегрованих з регулятором напруги. Такий тип збудження має місце у синхронних генераторах змінного струму, які працюють із паралельною обмоткою збудження.

Генератор є основним джерелом електротроенергії на автомобілі, що живить всі споживачі та заряджає акумуляторну батарею при працюючому двигуні внутрішнього згоряння. Агрегати сучасного автомобіля мають велике електроспоживання і відмова генератора призводить до припинення руху, оскільки акумуляторна батарея не здатна забезпечувати живленням бортову мережу більше 30-40 хвилин [1].

АКБ, працюючи паралельно з генераторною установкою, усуває перевантаження генератора і можливі перенапруги в системі електрообладнання у випадку порушення регулювання або при виході з ладу регулятора напруги та згладжує пульсації напруги генератора.

Генераторна установка складається з електрогенератора та регулятора напруги. Вони разом з елементами контролю працездатності та захисту від можливих аварійних режимів входять до системи електропостачання автомобіля. Раніше автомобільні генератори постійного струму мали колектор зі щітками, а тепер – напівпровідникові випрямлячі, що вбудовані у нього, щоб змінний струм, що виникає в обмотках синхронного генератора перетворити на постійний.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. На рисунку 1 показано електромагнітну схему синхронного генератора. Магнітопровід статора (якоря) 1 набраний із штампованих пластин електротехнічної сталі (для зменшення втрат на вихрові струми), в пазах якого знаходиться обмотка якоря. Трифазна обмотка складається з трьох однофазних обмоток 2, зсунутих у просторі на 120 електричних градусів одна відносно одної. На полюсах ротора 3 (індуктора) розташована котушка 4 обмотки збудження, кінці якої під'єднують до двох контактних кілець 5, розташованими на валу 6 і ізолювані одне від одного і валу. Ротор генератора приводиться в рух з частотою за допомогою ремінної передачі від двигуна внутрішнього згоряння, а за допомогою щіток 7, що ковзають при його обертанні по кільцях до обмотки збудження подається струм, який, протікаючи по обмотці 4, створює магнітне поле, тобто поле збудження.

Електрична схема генератора наведена на рисунку 2. Обмотки статора генератора підключені за схемою «зірка». Струм на обмотку збудження ОЗ подається від вимикача запалювання ВЗ через регулятор напруги РН через щітки Щ1 та Щ2. Один вивід щіткового вузла має від'ємний потенціал «-», а інший «+» підключений до клемі III. Струм збудження подається від регулятора напруги і створює магнітне поле ротора. При обертанні ротора генератора обмотки статора пронизує змінний магнітний потік і в них індукуються змінна трифазна напруга. Виводи фаз Ф1, Ф2, Ф3 обмоток статора генератора підключені до діодів VD1-VD6 випрямного вузла [1, 5].

У автомобільних генераторах розрізняють такі способи збудження: з постійним магнітом, самозбудженням, діодним мостом і від акумуляторної батареї. Особливістю синхронних машин із збудженням від постійних магнітів є те, що для створення магнітного поля збудження у них використовуються постійні магніти, які розміщуються на роторі. Постійні магніти найчастіше розміщуються на роторі, завдяки чому машина стає безконтактною. Недоліком такої системи є відсутність регулювання струму збудження. Синхронні машини з постійними магнітами широко використовуються як генератори невеликої потужності та мікродвигуни [4].

Основним способом синхронних машин є електромагнітне збудження, суть якого полягає в тому, що на полюсах ротора розміщена обмотка збудження [3]. Електромагнітна система збудження в автомобільних генераторах здійснюється від діодного моста або від акумуляторної батареї. В електромагнітних системах збудження можна регулювати струм збудження, який дає можливість регулювати вихідну напругу генератора. У сучасних автомобільних генераторах використовуються транзисторні регулятори напруги ТРН [1].

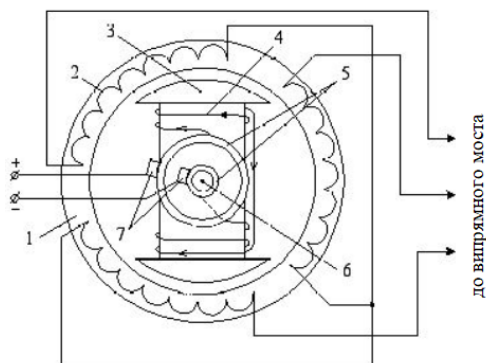


Рис. 1 Електромагнітна схема синхронного генератора

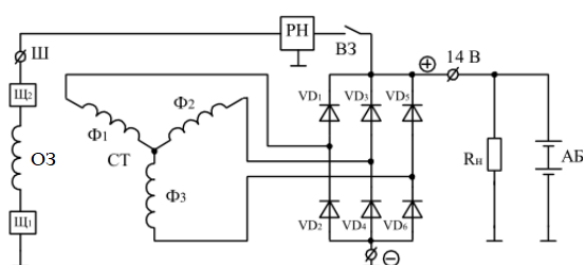


Рис. 2 Електрична схема генератора

Паралельна робота генератора та АКБ протікає при зміні частоти обертання колінчастого валу двигуна внутрішнього згоряння, навантаження і температури в широких межах. У зв'язку з

перерахованими особливостями, враховуючи те, що для нормальної роботи приймачів електричної енергії необхідна стабільність напруги в бортовій мережі, виникає задача регулювання напруги генератора.

Відомо, що напругу генератора можна виразити формулою [1]

$$U_{\Gamma} = f(I_{\Sigma}, n) = \frac{CI_{\Sigma}n}{\alpha + \beta I_{\Sigma}} - 2U_0 - R_e I_n, \quad (1)$$

де α, β – коефіцієнти, що залежать від конструкції генератора і застосовуваних при його виготовленні матеріалів, C – конструктивна постійна, n – частота обертання ротора, $2U_0$ – спад напруги на діодах випрямляча, R_e – еквівалентний опір генератора, що враховує опір обмотки якоря (статора) і випрямляча, I_n – середнє значення випрямленого струму навантаження, I_{Σ} – струм в обмотці збудження.

Рівняння (1) показує, що з різних частот n обертання ротора генератора і при змінному навантаженні I_n , стабільність напруги U_{Γ} генератора може бути отримана тільки відповідною зміною магнітного потоку Φ , тобто струму I_{Σ} обмотки збудження. Для цього задіяні регулятори напруги. Всі регулятори напруги (вітчизняні та зарубіжні) стабілізують напругу зміною струму збудження. Якщо напруга зростає або зменшується, то регулятор відповідно зменшує або збільшує струм збудження і регулює напругу генератора у потрібних межах [6].

Закон зміни струму збудження можна представити формулою

$$I_{\Sigma} = \frac{\alpha(U_{\Gamma} + R_e I_n + 2U_0)}{-\beta(U_{\Gamma} + R_e I_n + 2U_0) + Cn}. \quad (2)$$

З формули (2) випливає, що з підвищенням частоти обертання ротора n струм збудження повинен зменшуватись, а при збільшенні навантаження – збільшуватись.

Процес регулювання напруги генератора в таких регуляторах може бути описаний диференціальними рівняннями

$$\left. \begin{aligned} u_i(t) &= R_{\Sigma} I_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{dI_{\Sigma}}{dt}, & 0 \leq t \leq t_i, \\ u_n(t) &= R'_{\Sigma} I_{\Sigma} + L'_{\Sigma} \frac{dI_{\Sigma}}{dt}, & 0 \leq t \leq t_n. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Тут u_i, u_n – напруги, прикладені до кола збудження під час імпульсів t_i і пауз t_n відповідно; R_{Σ}, R'_{Σ} – опори кола збудження під час імпульсів і пауз; L_{Σ}, L'_{Σ} – індуктивності кола збудження під час імпульсів і пауз відповідно.

Розв'язок даної системи рівнянь для середнього значення струму збудження $I_{\Sigma sr}$ (за умови постійності перерахованих вище величин) можна записати у вигляді

$$I_{\Sigma sr} = \frac{u_i}{R_{\Sigma}} [\gamma(1-k) + k] \cdot \left[1 - \frac{(1-k)(1-c)(1-e^{-\gamma T_3}) \left(1 - e^{-\frac{\gamma T_3}{c}} \right)}{T_3 [\gamma(1-k) + k] \cdot \left(1 - e^{-\frac{[\gamma(1-\gamma)]T_3}{c}} \right)} \right], \quad (4)$$

де

$k = \frac{u_n R_{\Sigma}}{u_i R'_{\Sigma}}$ – коефіцієнт, що враховує зміну структури регулювання, $c = \frac{R_{\Sigma} L'_{\Sigma}}{L_{\Sigma} R'_{\Sigma}}$ – коефіцієнт, що враховує

зміну параметрів кола збудження (постійних часу $\tau'_3 = \frac{L'_{\Sigma}}{R'_{\Sigma}}$, $\tau_3 = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}$), $\gamma = t_i/T$ – відносна тривалість імпульсу; $T_3 = T/\tau_3$ – відносна тривалість періоду перемикачів; T – період перемикачів.

Для приводу автомобільного генератора використано асинхронний двигун АД з короткозамкненим ротором потужністю 750 Вт, частота обертання ротора якого регулюється перетворювачем частоти, а максимальне значення становить 3000 об/хв. Тобто, система «ПЧ-АД» імітує роботу двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) при різних його обертах, а відповідно і обертах генератора. Зрозуміло, що це є певна аналогія між приводними двигунами, адже потужність застосовуваного в роботі АД не співмірна з потужністю ДВЗ, але суті процесів генерації електроенергії не змінює.

« Частотний спосіб на сьогодні є одним із найбільш перспективних і широко використовується для регулювання частоти обертання валу асинхронних двигунів. Принцип його полягає в тому, що змінюючи частоту живлячої напруги, можна відповідно до виразу (5) змінювати його частоту обертання холостого ходу, отримуючи тим самим різні штучні механічні характеристики АД » [3].

$$n = \frac{60f}{p}, \quad (5)$$

де p – число пар полюсів статора; n – частота обертання магнітного поля статора.

Отримані штучні характеристики мають високу жорсткість, що надзвичайно важливо для перевантажувальної здатності двигуна.

Перетворювач частоти типу T13 є інтелектуальним електронним перетворювачем, основною складовою якого є інвертор і призначений для регулювання та контролю параметрів асинхронного двигуна (струм статора, частота, реверс) та силової частини інвертора, зокрема температури IGBT-модулів. ПЧ виконаний у вигляді плати з подвійним перетворенням енергії, зокрема напруга мережі спочатку випрямляється у постійну, а потім у змінну синусоїдну регульованої частоти. Регулювання частоти відбувається широтно-імпульсним способом шляхом зміни частоти перемикання, тобто подачі керуючих імпульсів на затвори транзисторів.

На лицьовій стороні корпусу розташовані елементи керування:

- елементи індикації поточного стану;
- кнопки P-K / SHIFT / MENU / ESC, SAVE / LOCK, FWD / REV;
- кнопки для вибору параметрів – ▲ і ▼, ON / OFF;
- ШІМ-регулятор швидкості.

На задній панелі ПЧ здійснюються комутації для підключення двигуна за схемою «трикутник», напруги живлення, вхідних та вихідних керуючих сигналів.

Основні характеристики ПЧ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики ПЧ

Параметр	Величина
Напруга живлення	220-240 V AC, 50/60 Гц
Потужність електродвигуна	≤ 750 Вт
Діапазон можливої зміни частоти:	1,0 – 50,0 Гц
Несуча частота ШІМ	8 кГц
Максимальний вихідний струм	3,86 А
Власна споживана потужність:	≤ 20 Вт
Ступінь волого- та пилозахисту	IP20

На рисунку 3 показано панель керування ПЧ та монтажну схему підключення.

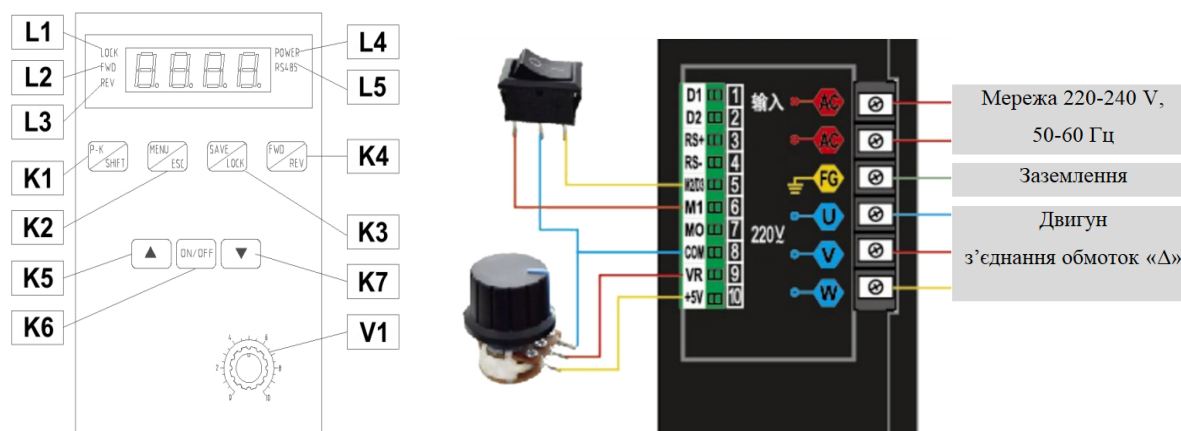


Рис. 3 Панель керування та схема підключення ПЧ

ПЧ оснащений захистом стрибків напруги і тепловим захистом у випадку перевантаження двигуна. При виявленні несправності вихідні силові клеми блокуються.

Наступним елементом досліджуваної системи є регулятор напруги, що може бути вбудованим у генератор. Структурну схему регулятора напруги представлено на рисунку 4.

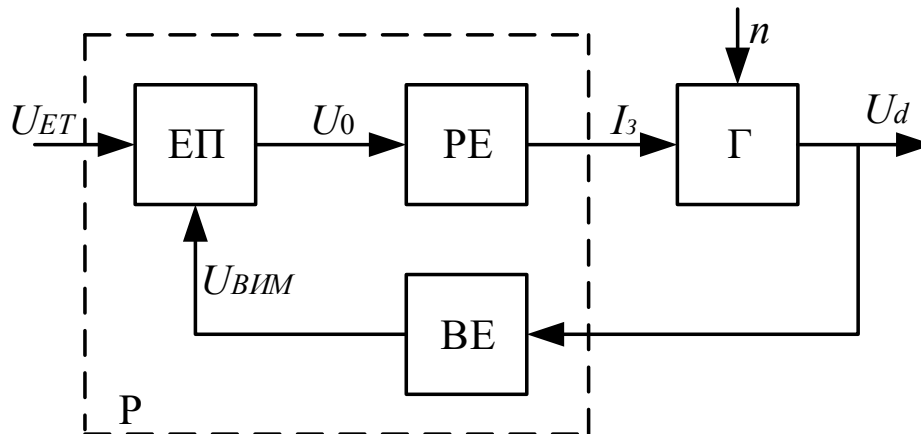


Рис. 4 Структурна схема регулятора

Регулятор P містить вимірювальний елемент $ВЕ$, елемент порівняння $ЕП$ і регулюючий елемент $РЕ$. Вимірювальний елемент сприймає вихідну напругу U_d генератора Γ і перетворює його в сигнал $U_{ВМ}$, який в елементі порівняння порівнюється з еталонним значенням $U_{ет}$. Якщо величина $U_{ВМ}$ відрізняється від еталонної величини $U_{ет}$, на виході компаратора з'являється сигнал U_0 , який впливає на регульований елемент. Він змінює струм I_3 в обмотці збудження ротора так, щоб напруга генератора була в межах 12,8...14,5 В. У генераторах застосовуються електронні транзисторні регулятори релейного типу та регулятори з широтно-імпульсною модуляцією, які є більш ефективнішими. У нашій роботі використано релейний тип регулятора.

Регулятор напруги 22.3702 застосовується у вітчизняних автомобілях і підтримує напругу бортової мережі у заданих межах у всіх режимах роботи при зміні частоти обертання ротора генератора, електричного навантаження та температури навколишнього середовища. Крім того, він може виконувати додаткові функції – захищати елементи генераторної установки від аварійних режимів та перевантажень, автоматично включати в бортову мережу силове коло генератора або обмотку збудження.

Якщо у релейному регуляторі період зміни струму збудження T є змінною величиною (25-200 Герц) і його частота перемикання залежить від режиму роботи генератора, то в регуляторах напруги з ШІМ частота перемикання постійна і дорівнює приблизно 20 кГц, тобто тут маємо більшу швидкість комутації струмів збудження, а заодно й регулювання напруги.

На рисунку 6 до стабілітрону $VD1$ прикладається напруга з виходу генератора (клема D або B_3) через дільник напруги на резисторах $R1, R2$. На низьких обертах при холостому ході напруга генератора низька (близько 13 В), стабілітрон і транзистор $VT1$ закриті. Струм через резистор $R6$ відкриває пару транзисторів $VT2 - VT3$, з'єднаних за схемою Дарлінгтон. При цьому обмотка збудження генератора через перехід емітер-колектор транзистора $VT3$ підключена до кола живлення. Діод $VD2$ забезпечує шлях протікання струму збудження при розімкнутому стані пари транзисторів $VT2, VT3$. Опір $R3$ забезпечує додатний зворотний зв'язок у регуляторі напруги, перетворюючи його на тригер Шмітта з покращеними характеристиками перемикання транзисторів $VT1-VT3$.

Якщо напруга генератора зросла, наприклад, за рахунок збільшення частоти обертання ротора або через зменшення навантаження (вимкнення частини споживачів) в бортовій мережі автомобіля, то стабілітрон $VD1$ пробивається, транзистор $VT1$ відкривається, а транзистори $VT2, VT3$ закриваються, розриваючи коло живлення обмотки збудження. Струм збудження зменшується, напруга генератора зменшується. Стабілітрон $VD1$ знову закривається і процес повторюється. Тривалість відкритого стану транзисторів $VT2, VT3$ буде тим більшою, чим менша напруга бортової мережі відносно опорної.

Таким чином, регулювання напруги генератора регулятором здійснюється дискретно за рахунок відносної зміни часу підключення $t_{\text{вкл}}$ і часу вимкнення $t_{\text{вимк}}$ обмотки збудження від кола живлення. При цьому форма струму в обмотці збудження показана на рисунку 7.

Параметри реле-регулятора:

- номінальна напруга живлення, 14 В;
- номінальний струм збудження, 3 А;
- верхня межа регулювання, $14 \pm 0,5$ В;
- залишкова напруга на виході «Ш», не більше 1 В.

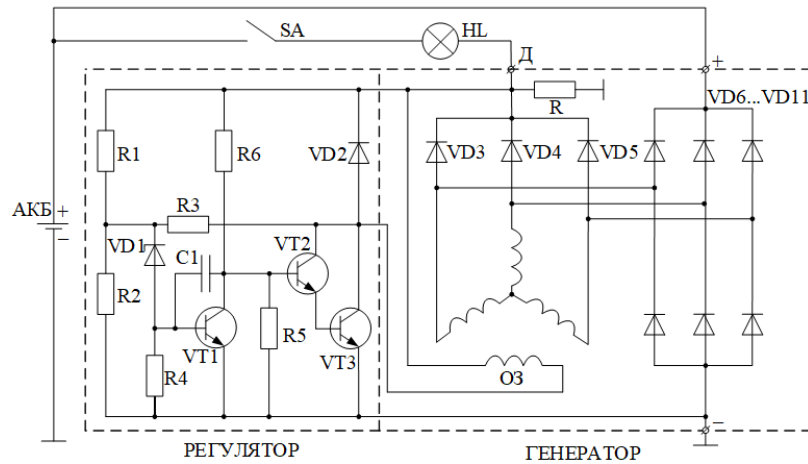


Рис. 6 Електрична схема релейного регулятора

При більшій частоті обертання середнє значення струму збудження I_{32} і параметр $t_{\text{вимк}}$ зменшується, а $t_{\text{вкл}}$ збільшується. При меншій частоті обертання або більшому навантаженні зазначені параметри змінюються протилежним чином.

У застосовуваному РН використовується найпростіший спосіб регулювання, якщо в рівнянні (4) покласти $c = 1$, $k = 0$. У цьому випадку $u_n = 0$, так само, як і мінімальне значення струму збудження $I_{36 \min} = 0$. Тоді рівняння для середнього струму збудження набуде вигляду

$$I_{3cp} = \gamma \cdot \frac{u_i}{R_3} = \frac{t_i}{T} \cdot \frac{u_i}{R_3}, \quad (6)$$

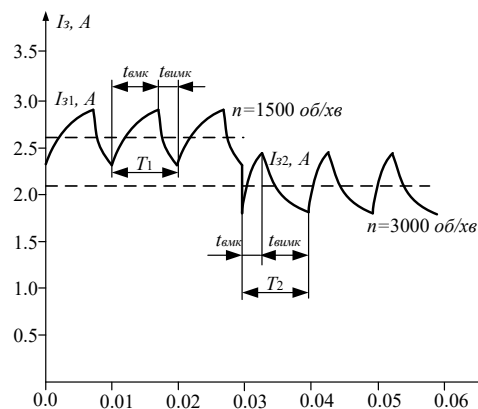


Рис. 7 Форма струму в обмотці збудження при різних швидкостях обертання ротора генератора

Тобто, регулювання напруги автомобільних генераторів можна здійснювати трьома способами:

- 1) з використанням частотно-імпульсної модуляції (ЧІМ) – шляхом зміни періоду імпульсів T при постійній їх тривалості $t_i = \text{const}$;
- 2) з використанням широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) – зміною t_i при $T = \text{const}$;
- 3) комбінований – при одночасній зміні t_i і T .

За аналогією з імпульсними стабілізаторами останній називають релейним способом регулювання.

Експериментальні дослідження характеристик генераторної установки автомобіля виконуються на лабораторному стенді, призначеному для проведення теоретичних, практичних та лабораторних занять. Він дозволяє вивчити системи енергопостачання автомобіля та принцип роботи автомобільних генераторів і реле регуляторів, а також досліджувати характеристики автомобільних генераторних установок. Структурна схема, яка пояснює роботу стенду, наведена на рисунку 8. Ротор генератора 1 приводиться в рух через ремінну передачу від електродвигуна 2.

Керування електродвигуном приводу здійснюється частотним перетворювачем 3. Основні органи керування перетворювача 3, кнопки «Пуск» та «Стоп», а також регулятор частоти обертання електродвигуна 4 виведені на передню панель згідно рисунка 3. З виходу генератора трифазна напруга поступає на випрямляч 5, з якого випрямлена напруга поступає на регулятор напруги 7, струм збудження якого подається на щітки генератора.

Зібрана схема повністю імітує роботу генераторної установки типу 4302.771 на автомобілі. Для імітації навантаження на виході генератора використовується блок навантаження 6 (лампи з ближнім і дальнім світлом) зі ступінчастим регулюванням. Кожна з чотирьох паралельних віток, що ввімкнені паралельно через вимикачі має потужність 105 Вт. Регулятор ПЧ є свого роду автомобільним акселератором, що змінює оберти АД і генератора.

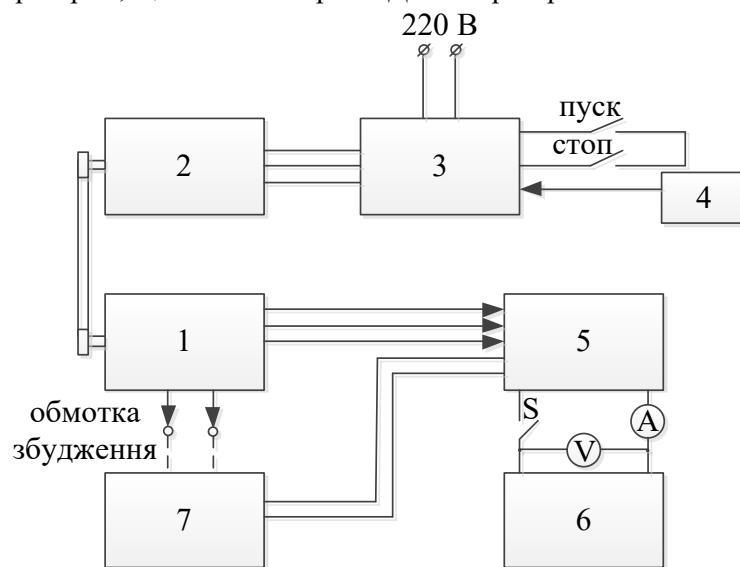


Рис. 8 Структурна схема установки

Для монтажу лабораторного стенду було використано наступне обладнання.

Перетворювач частоти:

- напруга живлення: $\approx 220-240$ В, 50/60 Гц;
- діапазон можливої зміни частоти: $f = 1,0 \dots 50,0$ Гц;
- несуча частота ШІМ при перемиканні транзисторів: $f_{ШІМ} = 8$ кГц;
- споживана потужність електронною схемою керування: $P_{кер} \leq 20$ Вт;

Асинхронний двигун:

- потужність на валу: $P_{ном} = 750$ Вт;
- номінальний споживаний струм: $I_{ном} = 3,86$ А;
- номінальні оберти валу: $n_{ном} = 2920$ об/хв.;
- лінійна напруга (обмотки з'єднані трикутником) $U_{ном} = 220$ В;

Автомобільний генератор:

- номінальна електрична потужність: $P_{ЕЛ} = 500$ Вт;
- номінальна постійна напруга: $U_{ном} = 12,8$ В;
- номінальний струм: $I_{ном} = 40$ А;
- коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,82$;
- струм збудження електронного регулятора: $I_{зб} = 3$ А.

На рисунку 9 показано експериментальну установку.



Рис. 9 Загальний вигляд розробленої лабораторної установки

За допомогою ПЧ, що імітує педаль акселератора автомобіля, тобто оберти двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) встановлюємо три швидкості обертання. Знімаємо зовнішню характеристику генератора $U_G = f(I_G)$ при різних частотах обертання приводного двигуна $n = 800$ об/хв. (умовний холостий хід), $n = 1500$ об/хв., $n = 3000$ об/хв. Результати заносимо в таблицю 2.

Таблиця 2 – Зовнішні характеристики генератора

$n = 3000$ об/хв.	I_G	A	0	7,5	15,1	22,7	30,3
	U_G	B	14,4	14,23	14,1	13,96	13,8
	n	об/хв	3000	2982	2960	2942	2918
$n = 1500$ об/хв.	I_G	A	0	7,7	15,8	24,2	33,1
	U_G	B	13,95	13,65	13,3	13,0	12,7
	n	об/хв	1500	1475	1452	1428	1405
$n = 800$ об/хв.	I_G	A	0	7,9	16,3	25,4	34,7
	U_G	B	13,6	13,25	12,9	12,4	12,1
	n	об/хв	800	770	745	712	685

На рисунку 10 показано електричну схему лабораторної установки. За даними таблиці 2 будуємо зовнішні характеристики, що показані на рисунку 11.

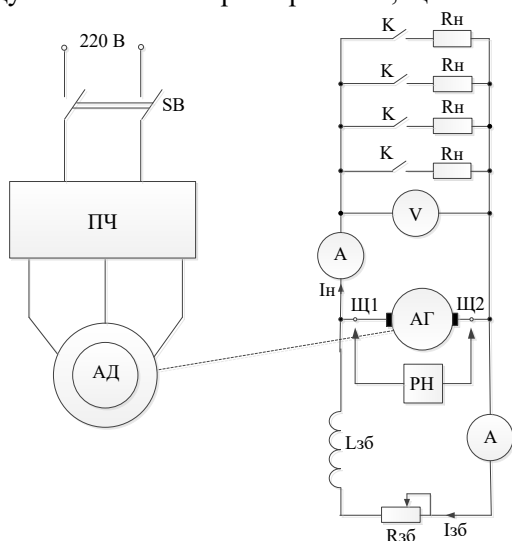


Рис. 10 Електрична схема для дослідження автомобільного генератора

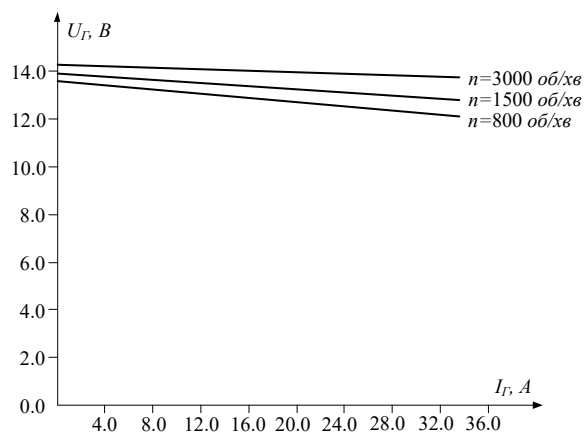


Рис. 11 Зовнішні характеристики автомобільного генератора

Як видно з експерименту розроблений лабораторний стенд на основі напівпровідникового перетворювача частоти повністю показала свою працездатність та відповідає за характеристиками реальному автомобільному генератору.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Розроблено конструкцію лабораторного стенду системи ПЧ-АД-АГ, проведено його випробовування в умовах, максимально наближених до експлуатації автомобільного генератора, тобто в холостому ході та навантаженні. На даний час дану систему використано в лабораторному практикумі в навчальному процесі при підготовці здобувачів за освітньою програмою «Автомобільна електроніка» при читанні курсів «Електропривід транспортних засобів», «Електричне та електронне обладнання автомобілів». Це актуально в сьогоденній час в зв'язку обмеженим фінансуванням лабораторного обладнання у ВНЗ України.

Список бібліографічного опису

1. Артюх О. М. Електронні системи керування транспортними засобами / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 556 с.
2. Бороденко Ю.М. Діагностика електрообладнання автомобілів / Ю.М. Бороденко, Ю.М. Дзюбенко, О.М. Биков: навчальний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2014. – 300с.
3. Жуйков В.Я. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами / В.Я. Жуйков, С.П. Денисюк. – К.: Текст, 2010. – 264 с.
4. Махно О.О. Автономні перетворювачі. Навч. посібник / О.О. Махно, В.В. Семенов, О.В. Будьонний, Н.А. Омельчук. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 126 с.
5. Мигаль В.Д. Практичні основи діагностування автомобільних двигунів / В.Д. Мигаль, В.А. Корогодський, О.І. Воронков, І.М.Нікітченко. – Харків, ХНАДУ, 2021. – 412 с.
6. Шавьолкін О. О. Енергетична електроніка: навч. посібник / О.О. Шавьолкін. – К.: КНУТД, 2017. – 396 с.

Referenses

1. Artiukh O. M. Elektronni systemy keruvannia transportnyimi zasobamy / O. M. Artiukh., O. V. Dudarenko, V. V. Kuzmin. – Zaporizhzhia : NU «Zaporizka politehnika», 2021. 556 s.
2. Borodenko Yu.M. Diahnostyka elektroobladnannia avtomobiliv / Yu.M. Borodenko, Yu.M. Dziubenko, O.M. Bykov: navchalnyi posibnyk. – Kharkiv: KhNADU, 2014. – 300s.
3. Zhuikov V.Ya. Enerhetychni protsesy v elektrychnykh kolakh z kliuchovymy elementamy / V.Ya. Zhuikov, S.P. Denysiuk. – K.: Tekst, 2010. – 264 s.
4. Makhno O.O. Avtonomni peretvoriuvachi. Navch. posibnyk / O.O. Makhno, V.V. Semenov, O.V. Budonnyi, N.A. Omelchuk. – Zaporizhzhia: ZDIA, 2009. – 126 s.
5. Myhal V.D. Praktychni osnovy diahnostuvannia avtomobilnykh dyvhuniv / V.D. Myhal, V.A. Korohodskyi, O.I. Voronkov, I.M.Nikitchenko. – Kharkiv, KhNADU, 2021. – 412 s.
6. Shavolkin O. O. Enerhetychna elektronika: navch. posibnyk / O.O. Shavolkin. – K.: KNUTD, 2017. – 396 s.