

Б. Т. Кононов, О. А. Кононова, Д. Ю. Ходак

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДТРИМАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРИ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Предметом вивчення в статті є аналіз способів та засобів забезпечення підвищення точності частоти обертання, забезпечення стійкості та швидкості процесів регулювання частоти обертання, підвищення надійності роботи регуляторів, що використовуються в системах автоматичного регулювання частоти. **Мета** – є опис запропонованих авторами технічних рішень, використання яких дозволить уникнути, при їх застосуванні, негативного впливу зміни фізичних властивостей робочої рідини, що використовуються в регуляторах непрямої дії. **Задача** – обґрунтування технічних рішень, впровадження яких, в практику регулювання частоти обертання вала дизель-генератора, дозволять: підвищити точність підтримання значень частоти обертання, що вимагаються; забезпечити необхідну стійкість системи автоматичного регулювання частоти; підвищити швидкодію процесів регулювання; підвищити надійність регуляторів; усунути негативний вплив на процес регулювання частоти зміни фізичних властивостей робочих рідин, що використовуються в регуляторах непрямої дії. **Висновки:** запропоновані технічні рішення доцільно використовувати як при модернізації існуючих систем автоматичного регулювання частоти обертання, так і при створенні систем регулювання частоти для нових джерел електричної енергії.

Ключові слова: частота обертання; дизель-генератор; точність; стійкість; швидкодія; надійність.

Вступ

Постановка задачі. До показників якості процесів регулювання частоти обертання вала дизель-генераторів будемо відносити такі показники як: точність підтримання частоти обертання; стійкість системи регулювання її швидкодія та надійність [1, 5, 6]. Для регулювання частоти обертання дизель-генераторів, які використовуються в якості автономних та резервних джерел електричної енергії, застосовуються регулятори системи стабілізації, що здатні забезпечувати високу точність підтримання величини, яка регулюється. Поєднання, при регулюванні, частоти обертання регуляторів по відхиленню, які змінюють подачу палива в циліндри двигуна, в випадку, коли значення частоти обертання відрізняється від номінального, та регуляторів по збуренню, що реагують на зміну навантаження, дозволяє отримати бажану швидкодію та високу точність процесу регулювання частоти обертання. Разом з тим, зі зростанням потужності дизель-генераторів, регулятори прямої дії, у яких рухоме зусилля, що створюється відцентровими силами ваги, які обертаються, не здатне забезпечити потрібного перестановочного зусилля. Для отримання потрібного, для переміщення виконавчого органу, зусилля необхідно використовувати регулятори непрямої дії, у яких в якості підсилювача застосовують керований золотник та виконавчий поршень, а в якості робочої рідини застосовують масло, що змащує вузли та агрегати дизелю. Динамічні характеристики гідравлічних підсилювачів регуляторів частоти обертання непрямої дії істотно залежать від фізичних властивостей робочої рідини, які змінюються під дією нагрівання, механічного забруднення та старіння. Це призводить до прояви коливань в процесі регулювання частоти обертання, і як наслідок, до зниження стійкості цього процесу.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1, 2, 10, 11] пропонують, для збільшення запасу стійкості процесу регулювання частоти обертання, викори-

стовувати більш дорогі сорти масла, наприклад, веретенного, у якого фізичні властивості практично не змінюються під час нагрівання та механічного забруднення, й використовувати при цьому, так звану, автономну масляну систему для регулятора частоти обертання, що вимагає введення до її складу автономного масляного насосу, відповідного резервуару, клапанів та трубопроводів [7].

Метою статті є опис запропонованих авторами технічних рішень, використання яких дозволить уникнути, при їх застосуванні, негативного впливу зміни фізичних властивостей робочої рідини, що використовуються в регуляторах непрямої дії.

Результати досліджень

Для отримання характеристик процесу регулювання частоти обертання, які бажано отримати, пропонується, перш за все, забезпечити можливість управління гідропідсилювачем не лише відцентровим вимірником частоти обертання, а й іншим джерелом руху, наприклад, електромагнітом [1]. Відповідна схема такого регулятора частоти обертання наведена на рис. 1. Регулятор містить у своєму складі відцентровий вимірник частоти обертання 1, з'єднаний з виконавчим сервомотором 2, до якого входить поршень 3 та золотник 4, який з'єднаний з механізмом 5 зміни початкової деформації пружини. Орган дозування паливоподачі 6 пов'язаний із поршнем виконавчого сервомотору 3. Золотник 4 кінематично з'єднаний із електромагнітом 7, що має якорь 8 та основну 9 й додаткову 10 обмотки. Диференціюючий підсилювач 11 підключено по своєму входу до додаткової обмотки 10, а по своєму виходу – до входу сумуючого підсилювача 12, до інших входів якого приєднаний вихід додаткової обмотки 10 та вихід додатчика режиму роботи 13. Регулятор працює наступним чином. При зміні частоти обертання дизель-генератора золотник 4, під дією відцентрового вимірника частоти обертання, змінює своє положення. При цьому, змінює своє положення і пов'язаний з

золотником яркір 8 електромагніту 7. Переміщення яркоря електромагніту викликає зміну активного опору додаткової обмотки 10. Сигнал з виходу додаткової обмотки 10, пропорційний переміщенню яркоря 8, а, відповідно, й золотника сервомотору, подається на входи сумуючого 12 та диференціюючого 11 підсилювачів. На другий вхід сумуючого підсилювача 12 подається сигнал з виходу диференціюючого підсилювача 11, який пропорційний швидкості переміщення золотника 4. На третій вхід підсилювача 12 подається сигнал від датчика режиму роботи, що відповідає завданню по частоті обертання дизель-генератору при даному навантаженні.

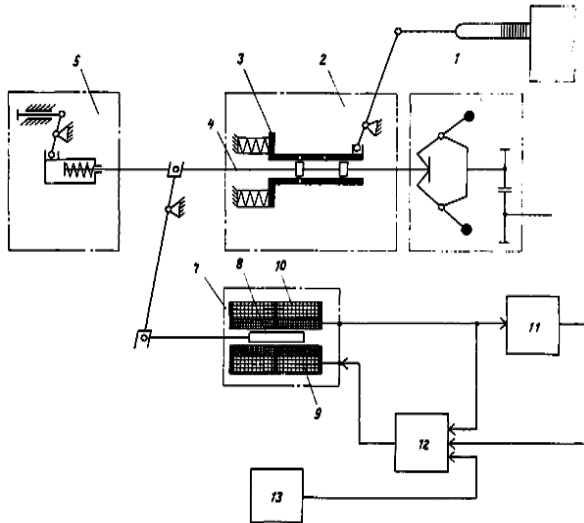


Рис. 1. Схема регулятора частоти обертання з гнучким та жорстким зворотнім зв'язком

Вихідний сигнал підсилювача 12 пропорційний переміщенню і швидкості руху золотника, тому зусилля, що створюються електромагнітом 7, також пропорційне переміщенню і швидкості руху золотника. Це зусилля діє на золотник в напрямі, що є протилежним напрямку його руху, й еквівалентно дії від негативного жорсткого та гнучкого зворотних зв'язків. Створені таким чином зворотні зв'язки мають стабільні характеристики й дозволяють компенсувати негативний вплив, який пов'язаний зі зміною фізичних властивостей робочої рідини гідропідсилювача, що забезпечує отримання стійкості й якості процесу регулювання частоти обертання, що вимагаються.

В випадку, коли для регулювання частоти обертання використовується комбінований регулятор, до складу яких входять регулятор за відхиленням і регулятор за збуренням, схема регулятора дещо відрізняється від розглянутої [4] і має вигляд, наведений на рис. 2. Введення до складу регулятора додаткових елементів дозволяє підвищити швидкодію процесу регулювання частоти обертання й підвищити точність підтримання частоти обертання в випадку зміни в значному діапазоні параметрів дизель-генератора. Регулятор частоти містить у своєму складі відцентровий вимірювач частоти обертання 1, сервомотор 2 з поршнем 3 і золотником 4, механізм зміни початкової деформації пружини вимірювача частоти обертання 5, орган дозування паливоподачі 6, електромагніт 7 з яркорем 8, основну та додаткову обмотки 10, суматор

11, пристрій, що задає режими роботи 12, випрямляч 13, підсилювач 4 та логічний пристрій 15. На входи логічного пристрою 15 подаються сигнали, значення яких визначається навантаженням і частотою обертання. Управління органом дозування паливоподачі здійснюється сервомотором 2, виконавчий золотник 4 якого забезпечує переміщення поршня 3, який діє при умові рівноваги рухомого між силою, яка створюється електромагнітом 7 та силою опору пружинного механізму 5. Додаткова обмотка 10 фіксує зміну струму в основній обмотці 9 й приєднана к одному із входів суматора 11 безпосередньо, а к іншому входу цього суматора через випрямач 11 та підсилювач 14. Третій вхід суматора 11 приєднаний до виходу датчика режиму роботи 12, на вхід якого, як і на вхід логічного пристрою 15, подаються сигнали 16, що пропорційні навантаженню і частоті обертання. Логічний пристрій 15, в залежності від режиму роботи, подає на керуючий вхід підсилювача 14 сигнал, який визначає вид необхідного зворотного зв'язку.

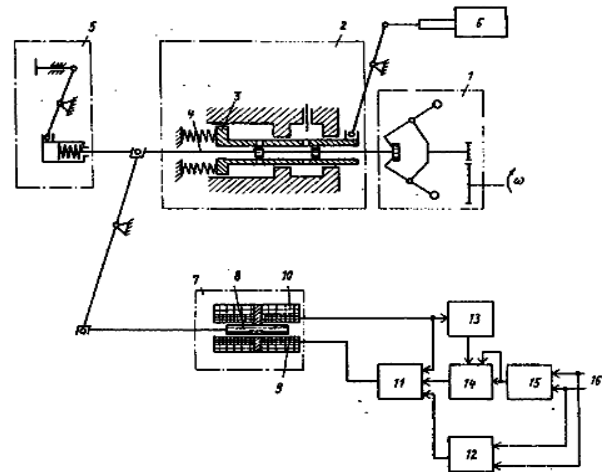


Рис. 2. Комбінований регулятор частоти обертання

При порушенні встановленого режиму роботи сигнали, пропорційні навантаженню й частоті обертання перетворюються в логічному пристрої 15 в сигнал розузгодження, який відкриває підсилювач 14. При цьому, сигнал розузгодження змінює величину струму в основній обмотці 9 електромагніту 7, що фіксується додатковою обмоткою 10. Електрорушійна сила, що виникає в додатковій обмотці 10, подається безпосередньо на другий вхід, а через випрямач 13 і відкритий підсилювач 14 на перший вхід суматора 11. Значення сигналів на першому та другому входах суматора 11 стають достатніми для перекомпенсації електрорушійної сили самоіндукції в основній обмотці 9 електромагніту 7. Тим самим, формується сигнал позитивного гнучкого зворотного зв'язку по величині струму в обмотці 9, при якому сигнал на вхід суматора 11 стає максимальним. Перекомпенсація електрорушійної сили, що виникає в основній обмотці, забезпечує максимальну швидкодію електромагніту 7, що сприяє швидкому переміщенню золотника 4 в такий стан, при якому забезпечується подача палива, що вимагається. При досягненні частоти обертання дизель-генератора значень, що знаходяться в діапазоні заданого швидкісного

режиму, сигнал з виходу логічного пристрою 15, не достатній й для відкриття підсилювача 14. При цьому сигнал на перший вхід суматора 11 не подається, а величина сигналу з виходу суматора 11 зменшується, що приводить до зменшення струму в основній обмотці 9 електромагніту 7 й повернення золотника 4 в стан, при якому забезпечується швидкісний режим, що задається. Зміна струму в основній обмотці 9 фіксується додатковою обмоткою 10, сигнал з виходу якої подається на другий вхід суматора 11, що еквівалентно дії негативного гнучкого зворотнього зв'язку, який заспокоює коливання виконавчого золотника, а тим самим забезпечує підтримку заданої швидкості і точності процесу регулювання частоти обертання. Забезпечити вимагаємо швидкодію процесу регулювання частоти обертання можливо й шляхом використання пружинного демпфера, кинематично зв'язаного з золотником сервомотора і якорем електромагніту, який розміщується в корпусі, що заповнений маслом, при цьому якорь електромагніту поділяє корпус на дві полості, які пов'язані одна з одною через регулювальну гілку [9, 13]. Відповідна схема такого регулятора наведена на рис. 3.

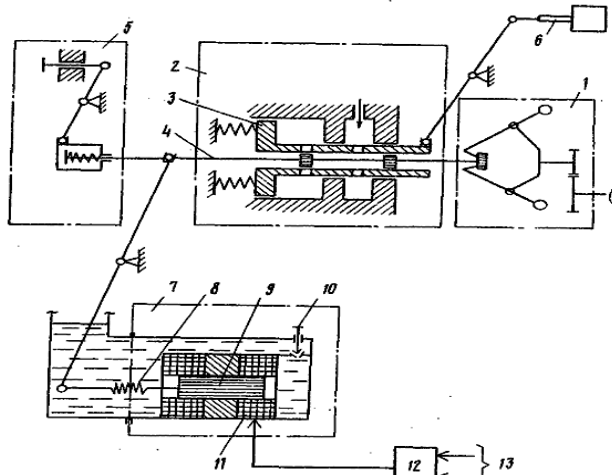


Рис. 3. Регулятор частоти обертання з механічним та гідравлічним демпфером

У цьому регуляторі величина демпфуючого зусилля, що обмежує коливальний рух золотника, а тим самим і стійкість процесу регулювання частоти обертання, визначається як положенням регулювальної гілки 10, так і величиною жорсткості пружинного демпфера 8. При відмовах задатчика чистоти обертання 12 або обмотки 11 електромагніту 7 регулятор лишається працездатним. При цьому стійкість процесу регулювання частоти обертання буде забезпечуватися якорем 9 електромагніту 7, а статична характеристика регулятора буде визначатися величиною жорсткості пружини механізму зміни початкової деформації пружини відцентрованого вимірювача частоти обертання 1.

Для забезпечення безвідмовності роботи регуляторів частоти обертання, що особливо важливо в випадках використання дизель-генераторів в якості джерел електричної енергії для транспортних і судових енергетичних установок при відмовах в колах управління та в колах електромагніту бажано збере-

гти попередній режим роботи. Для реалізації цієї вимоги в регуляторі частоти обертання якорь електромагніту виконують в вигляді осердя і секторних вкладишів, розміщених коаксіально до осердя і підпружинених відносно осердя [1]. Схема регулятора наведена на рис. 4.

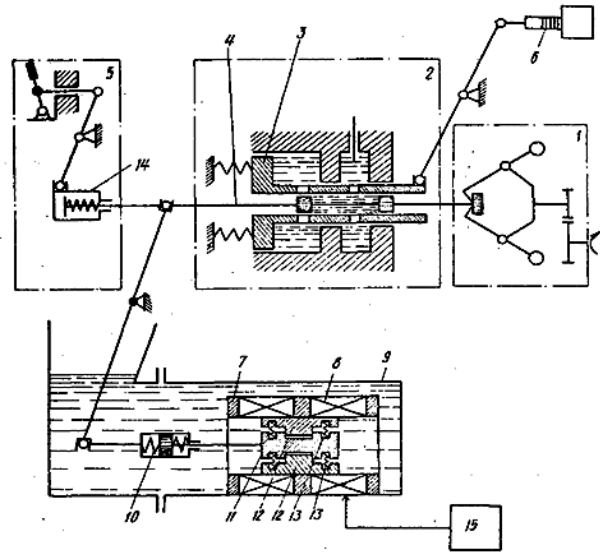


Рис. 4. Регулятор частоти обертання зі спеціальним якорем

У цьому регуляторі при відмовах в електричних колах електромагніту 8 і в колах ланок управління 15 електромагнітні зусилля, що утримують між собою складові частини якоря, становлять рівними нулю і, як наслідок, під дією сил пружності пружин 13, осердя 11 її секторні вкладиші 12 розходяться, а якорь заклинюється і лишається в стані, що мав місце до моменту відмови.

Для забезпечення точності підтримки частоти обертання дизель-генератора, що вимагається, в разі використання електронних систем управління клапанами, які здійснюють подачу палива в циліндри багаточислинного дизеля, й для забезпечення стійкості роботи системи управління паливоподачею в пускових режимах, необхідно мати можливість здійснювати управління паливною системою відповідно до порядку роботи циліндрів дизеля [9]. Схема системи автоматичного регулювання частоти обертання наведена на рис. 5.

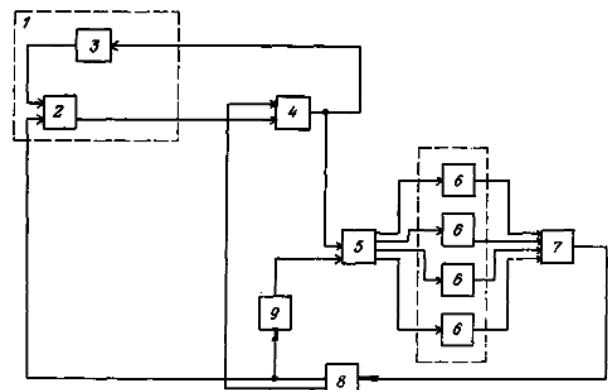


Рис. 5. Схема системи автоматичного регулювання частоти обертання

На рис. 6 наведені часові діаграми імпульсних напруг U_2, U_3, U_4, U_6 та U_9 на виході відповідно до елементів схеми рис. 5 для випадку, якщо кутова частота $\omega \leq \omega_{ном}$ (рис. 6, а), та для випадку, коли кутова частота $\omega \approx \omega_{ном}$ (рис. 6, б). Система автоматичного регулювання частоти обертання містить у

своєму складі задатчик 1, виконаний у вигляді генератору імпульсів, що є управляємим, фільтр низьких частот 3, генератор управляючих імпульсів 4, розподільник імпульсів 5, блок управління клапанами 6, дизель 7, датчик кутової частоти обертання валу 8, одновібратор 9.

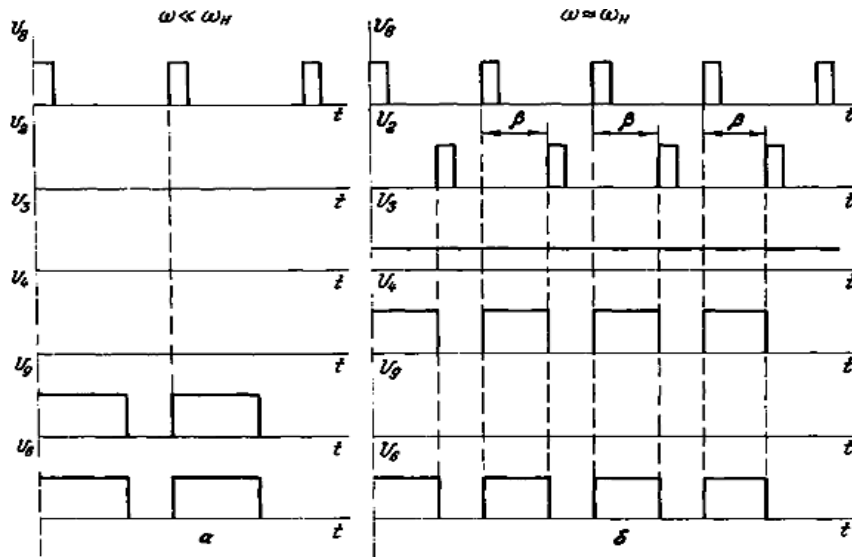


Рис. 6. Часові діаграми імпульсних напруг U_2, U_3, U_4, U_6 та U_9

В процесі пуску і в випадку, якщо кутова частота обертання валу значно менше номінального значення, тобто тоді, коли $\omega \ll \omega_{ном}$ (рис. 6, а), існує сигнал на першому виході датчика кутової частоти обертання 8. Імпульсна послідовність U_8 , яка надходить з першого виходу датчику 8 забороняє роботу генератору імпульсів 2, що управляється, і запускає одновібратор 9. Оскільки генератор імпульсів 2, якій управляється, не працює і немає вихідного сигналу на другому виході датчика 8, на виході генератора 4 управляючих імпульсів немає і напруга на вході та на виході фільтра низьких частот 3 дорівнює нулю. При цьому, на вхід розподільника імпульсів 5 подається імпульсна послідовність U_9 з виходу одновібратора 9. Тривалість імпульсів з виходу одновібратора 9 обирається таким чином, щоб вона відповідала максимальній подачі палива в циліндри дизеля. Розподільник імпульсів 5, відповідно до порядку роботи циліндрів, пропускає імпульси на вхід блока управління клапанами 6, час відкриття яких дорівнює тривалості управляючих імпульсів з виходу одновібратора 9 й відповідає максимальній подачі палива.

В випадку, якщо кутова частота обертання валу дизеля ω приблизно дорівнює номінальному значенню $\omega_{ном}$, тобто знаходиться в смузі захоплення генератора імпульсів 2, якій управляється, відбувається перемикання виходів датчика 8 й напруга на його першому виході зникає, а на другому виході з'являється імпульсна послідовність U_8 , частота слідування імпульсів якої дорівнює частоті обертання валу двигуна. При цьому знімається заборона з генератору імпульсів 2, якій управляється, і на вхід генератора управляючих імпульсів подається імпульсна послідовність з виходу генератора імпульсів 2, якій управляється, (рис. 6, б). Частота ω_0 слідування імпульсів з виходу генератора 2 при відсутності управляючої напруги на його вході обирається більшою номінальної частоти обертання $\omega_{ном}$. Імпульсна послідовність U_2 для генератора 4 є такою, що скидає. Тривалість напруги U_4 на виході генератора 4 визначається фазовим зсувом між імпульсними послідовностями U_8 та U_2 і залежить від початкової різниці частот ω_0 та ω_8 . Напруга U_4 з виходу генератора 4 через фільтр низьких частот 3 подається на вхід генератора імпульсів 2, якій управляється. При цьому відбувається переналаштування частоти слідування імпульсів з виходу генератору імпульсів 2 та її автоматичне змінення до значення при якому $\omega_2 \approx \omega_8$, тобто відбувається захоплення частоти генератора імпульсів, що управляється. Значення частоти ω_2 при цьому дорівнює

льсна послідовність з виходу генератора імпульсів 2, якій управляється, (рис. 6, б). Частота ω_0 слідування імпульсів з виходу генератора 2 при відсутності управляючої напруги на його вході обирається більшою номінальної частоти обертання $\omega_{ном}$. Імпульсна послідовність U_2 для генератора 4 є такою, що скидає. Тривалість напруги U_4 на виході генератора 4 визначається фазовим зсувом між імпульсними послідовностями U_8 та U_2 і залежить від початкової різниці частот ω_0 та ω_8 . Напруга U_4 з виходу генератора 4 через фільтр низьких частот 3 подається на вхід генератора імпульсів 2, якій управляється. При цьому відбувається переналаштування частоти слідування імпульсів з виходу генератору імпульсів 2 та її автоматичне змінення до значення при якому $\omega_2 \approx \omega_8$, тобто відбувається захоплення частоти генератора імпульсів, що управляється. Значення частоти ω_2 при цьому дорівнює

$$\omega_2 = \omega_0 - K_2 U_3, \tag{1}$$

де ω_0 – частота слідування імпульсів з виходу генератора 2 при відсутності управляючої напруги на його вході; K_2 – коефіцієнт підсилення генератора 2; U_3 – напруга на виході фільтра низьких частот.

Напруга U_3 , яка подається на вхід управляемого генератора імпульсів 2, дорівнює

$$U_3 = K_3 U_{4cp}, \tag{2}$$

де K_3 – коефіцієнт підсилення фільтра низьких частот; U_{4cp} – середнє значення напруги на виході генератора управляючих імпульсів 4.

Після захоплення частоти генератора імпульсів 2, що управляється, їм здійснюється відпрацювання імпульсів з частотою, яка дорівнює частоті обертання валу дизелю. Імпульсна послідовність U_2 зсунута за фазою в бік відставання від імпульсної послідовності U_8 на кут β , якій пропорційний величині управляючої напруги, що необхідна для налаштування частоти генератора імпульсів, що управляється, до значення ω_8 . При подачі на вхід генератора імпульсів 4, що управляється, імпульсної послідовності U_2 , зсунутої в бік відставання на кут β , середня напруга на виході цього генератора дорівнює

$$U_{4cp} = K_4\beta, \quad (3)$$

де K_4 – коефіцієнт підсилення генератору 4.

Відповідно до співвідношень(1-3) та вимоги $\omega_2 = \omega_8$ знаходимо, що кут відставання β пропорційний ковзанню фактичної частоти обертання вала дизеля по відношенню до фіксованої частоти ω_0 генератора імпульсів, що управляється, тобто

$$\beta = \frac{\omega_0 - \omega_8}{K_2 K_3 K_4}. \quad (4)$$

Таким чином, величина кута зсуву за фазою β , а тим самим і тривалість управляючих імпульсів з виходу генератора 4 пропорційні відхиленню частоти обертання від заданого значення. Чим більш це відхилення, тим більше тривалість відкритого стану клапанів блоку 6 й більше палива подається в циліндри дизеля. При умові підтримання постійного тиску в системі паливоподачі тривалість подачі палива визначає кількість палива, що дається в циліндр дизеля. Система, що розглядається, правильно працює й випадку зменшення навантаження, коли фактичне значення частоти обертання ω_8 стає більшим номінального значення частоти обертання $\omega_{ном}$.

В випадку, якщо $\omega_8 > \omega_{ном}$, величина кута фазового зсуву β буде менше значення $\beta_{ном}$, яке відповідає значенню $\omega_{ном}$, тим самим тривалість подачі палива в циліндрі зменшується, що дозволяє знизити частоту обертання вала дизелю до номінального значення.

Висновки

1. Запропоновані технічні рішення регуляторів частоти обертання вала дизель-генераторів дозволяють отримати жорсткі та гнучкі зворотні зв'язки в системах регулювання частоти обертання, на характеристики яких не впливають зміни під час роботи фізичних властивостей робочих рідин, що використовуються в регуляторах непрямой дії.

2. Використання в регуляторах частоти обертання вала дизель-генераторів золотників, управління якими здійснюється за допомогою електромагнітів, дозволяє створювати комбіновані регулятори частоти обертання, до складу яких входять регулятори за відхиленням і регулятори за збуренням, й забезпечувати при цьому точність підтримання частоти обертання, яка вимагається, швидкодію і стійкість процесу регулювання й надійність регулятора при відомих окремих його елементів.

3. Використання в електронних системах управління клапанами подачі палива системи автоматичної фазової підбудови частоти дозволить забезпечити нормальне функціонування системи автоматичного регулювання частоти як під час пуску дизель-генератора, так і в інших режимах його роботи.

4. Запропоновані технічні рішення доцільно використовувати як при модернізації існуючих систем автоматичного регулювання частоти обертання вала дизель генератора, так і при систем регулювання частоти для нових джерел електричної енергії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кононов Б.Т., Самойленко Б.Ф., Кононов В.Б. Релейний захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів. Підручник. Х.: МОУ, ХУПС, 2007. 384 с.
2. Закладний О.М., Праховник Л.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода. Навч. пос. К.: Кондор, 2005. 408 с.
3. Метельский В.П. Электричні машини та мікромашини. Навч. пос. Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. 660 с.
4. Андрієнко В.М., Куєва В.П. Электричні машини. Навч. пос. Київ : НУХТ, 2010. 366 с.
5. Яцун М.А. Электричні машини. Підр. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. 366 с.
6. Белікова Л.Я, Шевченко В.П. Электричні машини. Навч. пос. Одеса : Наука і техніка, 2012. 478 с.
7. Буряк В.Н. Эксплуатация систем электропостачання. Підручник. Х.:ХНУКГ, 2012. 431 с.
8. Кононов Б.Т., Сахно А.В., Сулема Д.В. Регулятор частоты электромашинного преобразователя постоянного напряжения в переменное. Зб. наук. праць ХУПС. Вип. 3 (11). Х.: ХУПС, 2009. С. 82-84.
9. Кононов Б.Т. Уравнивание частот при синхронизации синхронного генератора. Системи управління навігації та зв'язку : зб. наук. праць. Вип. 3 (19). Полтава : ПНТУ, 2011. С. 77-80.
10. Кононов Б.Т., Мушаров А.О. Дослідження стійкості перехідних процесів в електричних колах при ферорезонансі. Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. Тематичний випуск 51 (1024). Проблеми вдосконалення електричних машин і апаратів. Харків : НТУ «ХПІ», 2013. С. 82-90.
11. Кононов Б.Т., Мушаров А.О. Дослідження стійкості ферорезонансних систем. Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ, Х.: ХУПС, 2013. № 4 (13).С. 208-209.

12. Кононов Б.Т., Бачу Р.І. Підвищення точності при визначенні ступеня нерівномірності частоти обертання дизеля. Системи озброєння і військової техніки. Х.: ХУПС, 2013. № 2 (34). С. 104-106.
13. Кононов Б.Т., Рябуха Н.М., Щека В.М. Управління якістю електричної енергії. Системи обробки інформації : зб. наук. праць. Вип. 3 (36). Х.: ХУПС, 2013. – С. 158-167.

REFERENCES

1. Kononov, B.T., Samoilenko, B.F. and Kononov, V. B. (2007), *Relay protection and automatics in power supply systems of military objects*, KNAFU, Kharkiv, 384 p.
2. Zakladnyj, O.M., Prahovnyk, L.V. and Solovey, O.I. (2005), *Energy saving by means of industrial electric drive tutorial*, Kondor, Kyiv, 408 p.
3. Metelskiy, V.P. (2010), *Electric machines and micromachines*, ZNTU, Zaporizhzhya, 660 p.
4. Andrienko, V.M. and Kueva, V.P. (2011), *Electric machines*, NUHT, Kyiv, 366 p.
5. Yatsun, M.A. (2011), *Electric machines*, Polytechnic Publishing House, Lviv, 366 p.
6. Belikova, L.Y. and Shevchenko, V.P. (2012), *Electric machines*, Science and Techniques, Odesa, 478 p.
7. Buryak, V.N. (2012), *Operation of power supply system*, KNUCH, Kharkiv, 431 p.
8. Kononov, B.T., Sakhno, A.V. and Sulema D.V. (2009), “The frequency controller of the electric machine converter DC to AC”, *Collection of scientific works*, No. 3 (11), KNAFU, Kharkiv, pp. 82-84.
9. Kononov, B.T. (2011), “Equalization of frequencies during synchronization of a synchronous generator”. *Navigation and communication control systems*, Collection of scientific works, No. 3 (19), pp. 77-80.
10. Kononov, B.T. and Musharov, A.O. (2013), “Investigation of the stability of transient processes in electric circuits with ferroresonance”, Nunciata NTU «KPI», *Collection of scientific works*, Thematic issue. Problems of improvement of electric machines and apparatuses, NTU «KPI», Kharkiv, No. 51 (1024), pp. 82-90.
11. Kononov, B.T. and Musharov, A.O. (2013), “Investigation of the stability of ferro-resonance systems”, *Science and techniques of Air Force of Armed forces of Ukraine*, No. 4 (13), Kharkiv, pp. 208-209.
12. Kononov, B.T. and Bachu, R.I. (2013), “Improved accuracy in determining the degree of unevenness of the diesel engine's rotational speed”, *Arms and military equipment systems*, No. 2 (34), Kharkiv, pp. 104-106.
13. Kononov, B.T., Ryabuha, N.M. and Scheka, V.M. (2013), “Quality management of electric energy”, *Information processing systems*, No. 3 (36), KNAFU, Kharkiv, pp. 158-167.

Надійшла (received) 15.05.2017

Прийнята до друку (accepted for publication) 10.10.2017

**Обеспечение поддержки показателей качества
при регулировке частоты вращения вала дизель-генератора**

Б. Т. Кононов, Е. А. Кононова, Д. Ю. Ходак

Предмет изучения в статье – анализ способов и средств обеспечения повышения точности частоты вращения, обеспечение стойкости та скорости процессов регулирования частоты вращения, повышение надёжности работы регуляторов, которые используются в системах автоматического регулирования частоты. **Цель** – описание предложенных авторами технических решений, использование которых позволит избежать негативного воздействия изменения физических свойств рабочей смеси, которая используется в регуляторах непрямого действия. **Задача** – обоснование технических решений, внедрение которых в практику регулирования частоты вращения вала дизель-генератора, позволит: повысить точность требуемых значений частоты вращения; обеспечить необходимую стойкость системы автоматического регулирования частоты; повысить быстродействие процессов регулирования; повысить надёжность регуляторов; устранить негативное влияние на процесс регулирования частоты изменения физических свойств рабочих смесей, которые используются в регуляторах непрямого действия. **Выводы:** предложенные технические решения целесообразно использовать как при модернизации существующих систем автоматического регулирования частоты вращения, так и при построении систем регулирования частоты для новых источников электрической энергии.

Ключевые слова: частота вращения; дизель-генератор; точность; стойкость; быстродействие; надёжность.

**Providing support for quality indicators
when adjusting rotational speed of the diesel generator shaft**

B. Kononov, H. Kononova, D. Khodak

The subject of the study in the article is an analysis of ways and means to improve the accuracy of the rotation frequency, ensuring the stability and speed of the processes of speed control, increasing the reliability of the regulators that are used in automatic frequency control systems. **The purpose** is to describe the technical solutions proposed by the authors, the using of which will avoid the negative impact of changes in the physical properties of the working mixture used in regulators of indirect action. **The task** is justification of technical solutions, the introduction of which, in the practice of adjusting the rotational speed of the shaft of the diesel generator, will: increase the accuracy of the required values of the speed of rotation; ensure the necessary stability of the automatic frequency control system; to increase the speed of the regulatory processes; increase reliability of regulators; to eliminate the negative effect on the process of regulating the frequency of changes in the physical properties of working mixtures, are used in regulators of indirect action. **Conclusion:** the proposed technical solutions should be used both in the modernization of existing automatic speed control systems and in the construction of frequency control systems for new sources of electric energy.

Keywords: speed; diesel generator; accuracy; durability; speed; reliability.