

дженням димових газів забезпечує, окрім економії палива, значний екологічний ефект завдяки зменшенню витрати палива на 5,2-9,8 % та розчиненню в утвореному конденсаті окисів вуглецю та азоту.

Виконані розрахунки економічності теплоутилізаційної установки з комбінованим використанням утилізованої теплоти показують, що термін окупності витрат на її впровадження для котлів малої та середньої потужності в комунальній сфері не перевищує 2 років.

Висновки:

1. Для опалювальних котельних установок запропоновано вдосконалену теплоутилізаційну технологію з комбінованим використанням утилізованої теплоти для нагрівання зворотної тепломережної води та води системи хімічне водоочищення за дотримання умов антикорозійного захисту димових труб.
2. Показано, що використання запропонованої технології забезпечує підвищення коефіцієнта використання теплоти палива КВП котельної установки в межах опалювального періоду на 5,2-9,8 % і відповідне зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Література

1. Фялко Н.М. Термодинамическая оптимизация и анализ эффективности теплоутилизационной системы котельных агрегатов / Н.М. Фялко, Ю.В. Шеренковский, А.И. Степанова, Г.А. Пресич, Р.А. Навродская, О.Е. Малецкая, Г.А. Гнедаш // Промышленная теплотехника : сб. науч. тр. – 2012. – Т. 34, № 2. – С. 59-66.
2. Баскаков А.П. Анализ возможностей глубокого охлаждения продуктов сгорания котельных установок / А.П. Баскаков, В.А. Мунц, Н.Ф. Филипповский, О.А. Раков, Е.В. Черепанова // Промышленная энергетика : сб. науч. тр. – 2009. – № 10. – С. 53-58.
3. Кудинов А.А. Охлаждение продуктов сгорания природного газа в конденсационных теплоутилизаторах / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина // Промышленная энергетика : сб. науч. тр. – 2010. – № 4. – С. 39-43.
4. Фялко Н.М. Эффективность применения конденсационных теплоутилизаторов в системах теплоснабжения / Н.М. Фялко, И.З. Аронов, Р.А. Навродская, Г.А. Пресич // Промышленная теплотехника : сб. науч. тр. – 2003. – Т. 25, № 3. – С. 36-41.
5. Фялко Н.М. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок с глибоким охлаждением дымовых газов / Н.М. Фялко, Р.А. Навродская, С.И. Шевчук, Г.А. Пресич, Г.А. Гнедаш // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии : сб. науч. тр. – Сер.: Технические и естественные науки. – 2014. – № 2(15). – С. 13-17.

Навродская Р.А. Повышение эффективности теплоутилизационных технологий для котельных установок коммунальной теплотенергетики

Проанализированы современные теплоутилизационные технологии для газопотребляющих котельных установок коммунальной теплотенергетики и определены пути повышения их тепловой эффективности. Предложена усовершенствованная технология утилизации теплоты отходящих газов с использованием комбинированной теплоутилизационной системы, предназначенной для нагревания обратной теплотенетевой воды и холодной воды системы химводоочистки. Проведены исследования тепловой эффективности данной системы и определены уровни повышения коэффициента использования теплоты топлива КИТ котельной установки на протяжении отопительного периода.

Ключевые слова: отопительные котельные установки, теплоутилизация, глубокое охлаждение отходящих газов, тепловая эффективность.

Navrodska R.A. Improving the Efficiency of Heat Utilization Technologies for Municipal Heating Boilers

The analysis of modern heat utilization technologies for gas-working boilers of municipal power system is done. The ways for improving of their effectiveness are found. An advanced technology is proposed for exhaust gas heat utilization using heat utilization combined system for heating backward water of heating network and cold water of chemical water treatment system. A study of the heating efficiency of the system is provided. The levels of factor improvement of utilization of heat fuel of boiler system for heating season are determined.

Keywords: heating boilers, heat utilization, deep cooling of exhaust gases, heat efficiency.

УДК 681.5:004.[8+94]

Доц. Д.А. Наговський, канд. техн. наук –
Херсонська державна морська академія

ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ СУДНОВИХ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ

Досліджено проблеми управління судновими генераторами в перехідних режимах. Розглянуто наявні системи генерації напруги та регулятори. Наочно наведено судовий синхронний генератор як об'єкт класичної теорії автоматичного управління, його принципову схему та модель у пакеті програм Simulink Matlab, а також структурну схему системи регулювання напруги змінного струму. Показано закономірності процесу управління напругою синхронних генераторів та надано рекомендації стосовно співвідношення "точність регулювання / стійкість".

Вступ. Розвиток сучасних морських суден різного призначення характеризується вирішенням питань, спрямованих на раціональне використання електроенергії та застосування оптимізованих режимів роботи енергетичних установок. Основними джерелами електроенергії на судні є дизель-генератори. Навантаження на електроенергетичну систему судна постійно змінюється у процесі експлуатації [1]. Спираючись на це, можна констатувати, що перехідний режим роботи генераторів займає чималу частку в загальному періоді їх роботи. Робота у перехідному режимі зумовлює провали напруги та інші відхилення від показників якості електроенергії, що негативно позначається на стані електрообладнання суден. Тому дослідження процесу регулювання напруги судових генераторів у перехідних режимах роботи є **актуальним завданням**.

Методи і матеріали. Як відомо, широке застосування безщіткових генераторів із збудниками і випрямлячами, що обертаються, в автономних системах електропостачання зумовлено зростанням потужностей синхронних генераторів, а відповідно, і збільшенням потрібних потужностей збудження, які залишають 1-1,5 % і більше від потужності генераторів [1, 4].

Один з основних недоліків таких систем є інерційність діючої системи, яка визначається постійною часу збудника і може становити 0,3-0,5 с, що істотно знижує ефективність регулювання збудження. Потрібно зазначити, що в сучасних системах генерації як регулятори напруги застосовують транзисторні регулятори. При цьому транзистор працює в режимі ключа. Величина ж струму збудження регулюється зміною шпаруватості, тобто співвідношення відкритого і закритого стану силового транзистора. Спрощену силову схему живлення обмотки збудження збудника (генератора) представлено на рис. 1.

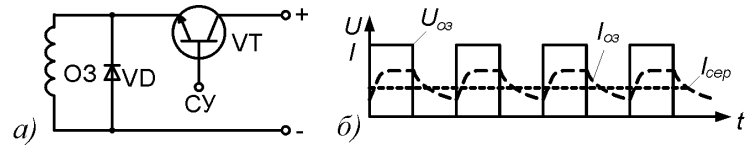


Рис. 1. Принципова схема живлення обмотки збудження транзисторного регулятора (а) і характеристика зміни напруги і струму збудження (б)

Розглянемо процеси регулювання напруги змінного струму на прикладі системи регулювання, що складається з контактної синхронного генератора і транзисторного регулятора, електричну схему якої наведено на рис. 2.

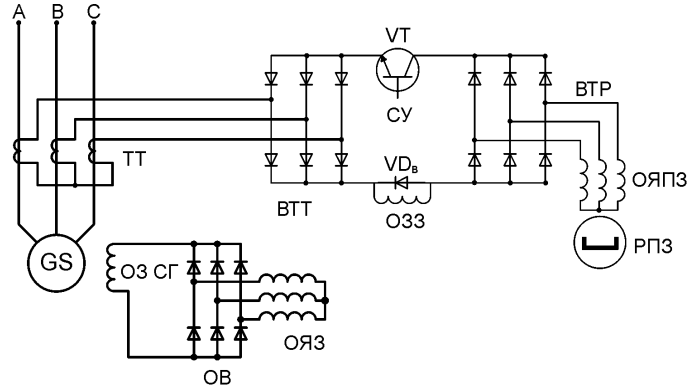


Рис. 2. Принципова комбінована схема регулювання напруги генератора [1]: GS – синхронний генератор (СГ); O3 СГ – обмотка збудження СГ; OВ – обертовий випрямляч; OЯЗ – обмотка якоря збудника; РПЗ – ротор підбудника; OЯ ПЗ – обмотка якоря підбудника; ВТР – випрямляч транзисторного регулятора напруги; VT – силовий транзистор регулятора напруги; CY – система управління силового транзистора регулятора напруги; O3З – обмотка збудження збудника; VDв – діод шунтувальний O3З; ВТТ – випрямляч струмового трансформатора генератора; ТТ – трансформатор струму СГ

З метою спрощення аналізу вважаємо, що за зміни збудження збудника в процесі роботи регулятора напруга підбудника не змінюється ($\Delta U_{n3}=0$). Крім того, нехтуємо інерційністю транзисторного регулятора напруги, оскільки його постійна часу T_p невелика, порівняно з постійними часу збудника T_{33} і генератора T . З урахуванням цих допущень, рівняння динаміки елементів системи регулювання напруги [2, 3] представимо в такому вигляді:

- рівняння генератора

$$u = \frac{k_3}{T_3 \cdot p + 1} \cdot u_3 + \gamma v + \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho; \quad (1)$$

- рівняння збудника

$$u_3 = \frac{k_{33}}{T_{33} \cdot p + 1} \cdot u_{33} + \gamma_3 v; \quad (2)$$

- рівняння транзисторного регулятора напруги в генераторах з фазовим компаундуванням систем

$$u_{33} = -\frac{k_u + k_I + k_K}{T_p + 2\lambda T_p + 1} \cdot u, \quad (3)$$

де: k_u, k_I, k_K – коефіцієнти посилення каналів регулювання за напругою, струму генератора і коректора напруги відповідно; T – постійна часу компаундування трансформатора, з урахуванням постійних часу трансформаторів струму, напруги і дроселя; λ – коефіцієнт загасання.

У цьому випадку характеристичний поліном систем представлятиметься рівнянням

$$\frac{k_p \cdot k_{33} \cdot k_3}{(T_p^2 + 2\lambda T \cdot p + 1) \cdot (T_{33} \cdot p + 1) \cdot (T_3 \cdot p + 1) + k_p \cdot k_{33} \cdot k_3}. \quad (4)$$

Аналіз цього рівняння показує, що стійкість системи може бути забезпечена відповідним вибором коефіцієнта посилення за напругою, за струмом і коректора. Тоді, як показано вище, питання стійкості розв'язати значно простіше.

Системі рівнянь (1)-(4) відповідає структурна схема системи регулювання напруги (рис. 3).

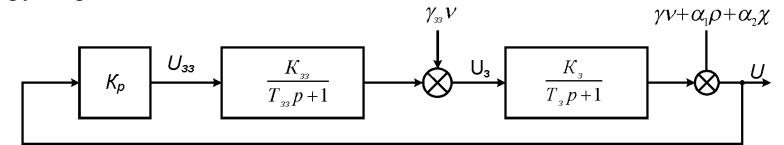


Рис. 3. Структурна схема системи регулювання напруги змінного струму

Передавальна функція цієї системи регулювання за управління (відхилення напруги генератора), що діє на вхід регулятора напруги, має вигляд:

$$\phi(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{k_p \cdot k_{33} \cdot k_3}{T_{33} \cdot T_3 \cdot p^2 + (T_{33} + T_3) \cdot p + 1 + k_p \cdot k_{33} \cdot k_3}. \quad (5)$$

Аналіз виразу показує, що система регулювання напруги стійка за будь-яких позитивних значень коефіцієнтів k_p, k_{33}, k_3 , оскільки корені характеристичного полінома (знаменника передавальної функції замкненої системи) $A(p) = T_{33} \cdot T_3 \cdot p^2 + (T_{33} + T_3) \cdot p + 1 + k_p \cdot k_{33} \cdot k_3$ завжди має негативну дійсну частину. Тому проблема забезпечення стійкості таких систем регулювання, як правило, не виникає. Помилку регулювання напруги $u = \Delta U(p)$ за дії обурення $F = \{v, \rho, \chi\}$, подамо у вигляді

$$u = \phi_F(p) \cdot F = \frac{(T_{33} p + 1) \cdot (T_3 p + 1)}{(T_{33} \cdot p + 1) \cdot (T_3 \cdot p + 1) + k_p \cdot k_{33} \cdot k_3} \times \left[\left(\gamma + \gamma_3 \cdot \frac{k_3}{T_3 p + 1} \right) \cdot v + \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho \right], \quad (6)$$

де: $\phi_F(p)$ – передавальна функція замкненої системи регулювання з обурення; v – приріст кутової швидкості; χ, ρ – прирости реактивного та активного опорів навантаження генератора; $k_3 = \frac{\partial U}{\partial U_3}$ – коефіцієнт, що характеризує чутливість;

$k_{33} = \frac{1}{R_{330}} \cdot \frac{\partial U_3}{\partial I_{33}}$ – коефіцієнт, що характеризує чутливість; $T_{33} = \frac{L_{330}}{R_{33}}$ – постійна часу ланцюга обмотки збудження.

У разі ступінчастої зміни обурення, наприклад опори навантаження, напруга на виході генератора миттєво змінюється на величину

$$\Delta U(t=0) = u(p \rightarrow \infty) = \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho,$$

а в новому сталому режимі роботи системи воно відрізнятиметься від початкового (заданого) значення на величину статичної помилки

$$\Delta U(t \rightarrow \infty) = u(p=0) = \frac{(\gamma_3 + \gamma_3 k) \cdot v + \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho}{1 + k_p \cdot k_{33} \cdot k_3}. \quad (7)$$

Характер перехідного процесу в системі регулювання виразу і величина статичної помилки залежать від співвідношення коефіцієнтів посилення і постійних часу, які, своєю чергою, залежать від режиму роботи і характеру навантаження генератора. Значення коефіцієнтів k_3, k_{33} і постійних часу T_3, T_{33} визначаються станом магнітних систем генератора і збудника.

У міру насичення магнітних ланцюгів машини (за збільшення струмів збудження) ці коефіцієнти і постійні часу зменшуються. Тому за великих значень струму навантаження (особливо реактивного навантаження) перехідні процеси наближаються до аперіодичного вигляду, а за малих струмів навантаження – мають коливальний характер (рис. 4, б).

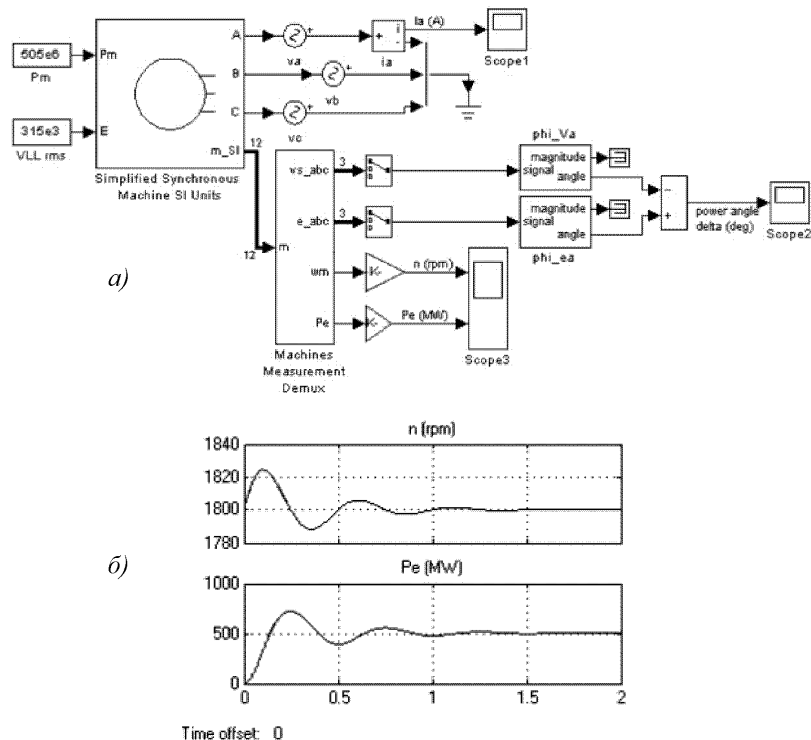


Рис. 4. Модель синхронного генератора у системі Matlab Simulink (а); перехідні процеси в генераторі за малих струмів, отримані на моделі (б)

Статична помилка регулювання напруги від однієї і тієї ж величини обурення із збільшенням попереднього навантаження генератора збільшується як внаслідок зменшення коефіцієнтів k_3, k_{33} , так і у зв'язку із збільшенням коефіцієнтів посилення системи регулювання напруги за обуренням $\gamma, \gamma_{33}, \gamma_{п3}, \alpha_1, \alpha_2$.

Висновки. Потрібна точність стабілізації напруги генераторів змінного струму забезпечується відповідним вибором величини коефіцієнта посилення регулятора k_p . При цьому варто мати на увазі, що з підвищенням точності системи регулювання напруги запас її стійкості зменшиться. Тому в разі збільшення коефіцієнта посилення регулятора напруги потрібно передбачати і заходи щодо підвищення запасу стійкості системи регулювання.

Література

1. Толстов А.А. Устройство и эксплуатация судовых синхронных генераторов : учебн. пособ. [для студ. ВУЗов морск. спец.] / А.А. Толстов. – Одесса : Изд-во ОНМА, 2006. – 150 с.
2. Баранов А.П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации : учебник [для студ. ВУЗов] / А.П. Баранов, М.М. Раимов. – СПб. : Изд-во "Элмор", 1997. – 232 с.
3. Мелинский Г.А. Устойчивость энергосистем / Г.А. Мелинский, Г.В. Меркурьев. – Кн. 1. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://www.cpk-energo.ru/metod/u1/mml1.pdf>
4. Вольдек А.И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник [для студ. ВУЗов] / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб. : Изд-во "Питер", 2010. – 350 с.

Наговский Д.А., Дощенко Г.Г. Проблемы автоматического регулирования напряжения судовых синхронных генераторов

Исследованы проблемы управления судовыми генераторами в переходных режимах. Рассмотрены существующие системы генерации напряжения и регуляторы. Наглядно приведены судовой синхронный генератор как объект классической теории автоматического управления, его принципиальная схема и модель в пакете программ Simulink Matlab, а также структурная схема системы регулирования напряжения переменного тока. Показаны закономерности процесса управления напряжением синхронных генераторов и даны рекомендации относительно соотношения "точность регулирования/устойчивость".

Nagovskyy D.A., Doschenko G.G. Some Problems of Automatic Voltage Regulation of Ship Synchronous Generators

The problems of managing ship generators in transient conditions are studied. The existing voltage generation systems and regulators are examined. The ship synchronous generator as an object of classic automatic control theory, its basic scheme and model in Simulink Matlab software package, and block diagram of the AC voltage regulation are described. Some regularities of control voltage synchronous generators and recommendations concerning the relationship between "regulation accuracy/stability" are shown.

Keywords: voltage generation systems, ship synchronous generator, Simulink Matlab software package, regulator.

УДК 630.375.1 Доц. І.М. Рудько, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

ПОТРЕБА І ПЕРЕДУМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛІСОЗАГОТІВЕЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КАНАТНИХ ДОРІГ ЛІСОПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Охарактеризовано переваги та недоліки використання підвісних канатних установок для виконання трельовально-транспортних операцій у процесі лісозаготівлі. Проаналізовано нормативну базу та досвід розроблення і виготовлення канатних транспортних засобів на вітчизняних галузевих підприємствах. Зазначено передумови та обґрун-