

Асланян А.Е., д.т.н.,
Захарченко В.П., к.т.н.,
Соколова Н.П.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕЗЕРВНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ ПЕРШОЇ ОСОБЛИВОЇ КАТЕГОРІЇ АЕРОПОРТІВ

Національний авіаційний університет

NataSokolova@bigmir.net

Запропоновано метод оцінки параметрів функціональних елементів резервного джерела живлення аеропорту «безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги» для споживачів першої особливої категорії з метою їх оптимізації

Ключові слова: тиристорний регулятор напруги, споживачі першої особливої категорії, електропостачання, аеропорт, електротехнічні комплекси

Постановка проблеми

Для забезпечення якісною електроенергією та безперебійним її постачанням для споживачів першої особливої категорії аеропорту в аварійному режимі пропонується система резервного живлення «дизель-генератор з зовнішнім ротором – безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги».

Відмінність такої системи від існуючої полягає у використанні зовнішнього ротора як накопичувача енергії та тиристорного регулятора напруги сприятиме надійності постачання живлення для споживачів першої особливої категорії в разі аварії промислової мережі, компенсації реактивної потужності та забезпечує значно більший час підтримки стабільної частоти обертання мотор-генератора в режимі перетворення кінетичної енергії в електричну при аварії в електромережі.

У роботі було поставлено задачу визначення впливу параметрів функціональних елементів такої системи з метою оптимізації її роботи: - забезпечення мінімальної статичної помилки при зміні навантаження, зменшення часу перехідного процесу, що дозволить підвищити якість напруги і, в свою чергу, дозволить подовжити термін служби споживачів електричної енергії та

підвищити рівень їх надійного функціонування.

Аналіз останніх досліджень

Споживачі першої категорії надійності електропостачання - це електроприймачі, перерва в електропостачанні яких може спричинити небезпеку для життя людей, значний матеріальний збиток, розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства, об'єктів зв'язку та телебачення [1].

У всіх службах аеропорту основним видом енергії є електрична енергія. Тому порушення електропостачання практично паралізує діяльність цього складного виробничого об'єднання та призведе до припинення підготовки авіатехніки до польотів затримок рейсів і порушенні регулярності польотів, може спричинити закриття, а при несприятливому збігу обставин є причиною льотної події і навіть катастрофи, тому до надійності електропостачання аеропорту пред'являється підвищену вимогу, які необхідно виконувати [2].

Використання системи «БСГ-ТРН – дизель - генератор з зовнішнім ротором» як резервного джерела живлення дозволить практично миттєво підключити споживачі електричної енергії з основного джерела на аварійне, що в

умовах аеропорту (наприклад світлосигнальна система посадки) при несприятливих погодних умовах дозволить уникнути аварійних та катастрофічних ситуацій.

Постачання якісної електричної енергії до споживачів аеропорту є гарантом забезпечення безпеки авіації та енергетичної безпеки [3-4].

Формулювання цілей статті та постановка завдань

Згідно з нормами технологічного проектування та рекомендаціям ІКАО, електроприймачами першої особливої групи є служби, пов'язані з забезпечення зльоту-посадки повітряних суден з допустимою перервою живлення 1-15с [5].

З метою підвищення якості системи резервного електропостачання важливою задачею є подача якісної напруги до споживачів першої особливої категорії від резервних джерел енергії. Розглянемо систему резервного електропостачання для споживачів електричної енергії першої особливої категорії. В якості системи розглянемо роботу безконтактного синхронного генератора (БСГ) з тиристорним регулятором напруги (ТРН) [5]. Регулювання напруги БСГ здійснюється, як відомо, впливом на струм збудження збудника (З) шляхом фазового управління тиристорами, які, будучи включеними в ланцюг синусоїдальної напруги, періодично відмикаються короточасними керуючими імпульсами, синхронізованими з напругою живлення.

Для оцінки властивостей системи автоматичного управління, а саме виявлення впливу окремих елементів системи регулювання на її стійкість, визначення області можливих значень її параметрів, які забезпечують високу якість перехідних процесів, - було проведено аналіз електричної схеми системи БСГ з ТРН з врахуванням особливостей роботи, конструкції синхронного генератора та принципом дії

тиристорного регулятора напруги, яку представлено на рис 1:

Для проведення моделювання зібрано принципову схему САР напруги БСГ з ТРН (рис. 1), яка складається з тиристорного регулятора напруги (ТРН), обмотки збудження збудника (ОЗЗ), збудник (З), обмотки збудження генератора (ОЗГ), генератора (G) та навантаження (Z_H).

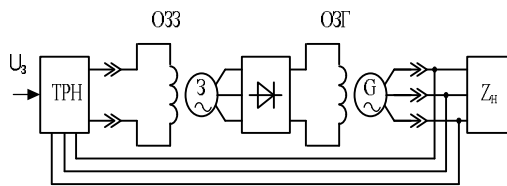


Рис. 1. Принципова схема САР напруги БСГ з тиристорним регулятором

Основними функціонально-необхідними елементами (ФНЕ) схеми є :

- об'єкт управління – безконтактний трифазний синхронний генератор (G),
- вимірювально-перетворювальний елемент - тиристорний регулятор напруги (ТРН),
- виконавчий елемент - (ОЗЗ + З) і трифазний випрямляч,
- регулюючий орган - обмотка збудження генератора (ОЗГ),
- зовнішній вплив - навантаження (Z_H).

На основі визначених необхідних елементів складемо структурно-функціональну схему БСГ з ТРН (рис.2).

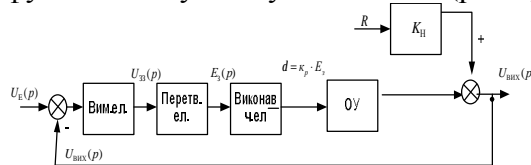


Рис. 2. Структурно-функціональна схема БСГ з ТРН

Враховуючи те, що досліджувана система є системою стабілізації, а не відслідковуючою системою, можна використати пропорційний закон управління:

$$d = \kappa_p \cdot E_з$$

де κ_p - коефіцієнт пропорційності регулятора, вибір якого забезпечує

мінімальний час тривалості перехідного процесу при обмеженнях по перерегулюванню для забезпечення низької динамічної помилки;

E_3 - значення фазної ЕРС збудника.

Передавальні функції (ПФ) окремих елементів системи мають вид:

- ПФ ТРН:

$$W_{\text{ТРН}}(p) = \frac{U_{33}(p)}{U_{\text{внх}}(p)} = \frac{k_{\text{ТРН}}}{T_{\text{ТРН}}p + 1}$$

- ПФ ланцюга обмотки збудження збудника:

$$W_{33}(s) = \frac{k_{33}}{T_{33}s + 1}$$

- ПФ ланцюга обмотки збудження генератору:

$$W_{3г}(s) = \frac{k_{3г}}{T_{3г}s + 1}$$

Отримані ПФ зводимо до структурно-ланкової схеми САР (рис.3):

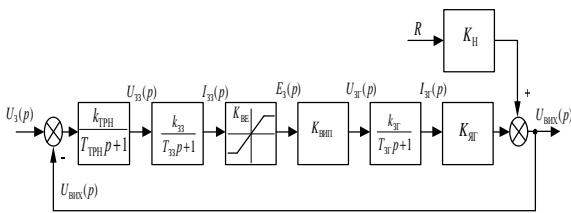


Рис. 3. Структурно-ланкова схема САР БСГ з ТРН

На рис. 3 зображено наступні умовні позначення: $K_{\text{вип}}$ - коефіцієнт пропорційності випрямляча; $K_{\text{яг}}$ - коефіцієнт пропорційності ланцюга якоря генератора; $K_{\text{еб}}$ - еквівалентний коефіцієнт підсилення нелінійної характеристики збудника при холостому ході для обраного режиму стабілізації; k_H - коефіцієнт пропорційності в ланцюзі навантаження (трансформатор струму); $T_{\text{ТРН}}$ – постійна часу ТРН; $k_{\text{ТРН}}$ - коефіцієнт підсилення ТРН; U_{33} – напруга збудження збудника; $U_3(p)$ – задане значення напруги; k_{33} - коефіцієнт підсилення обмотки збудження збудника; T_{33} - постійна часу обмотки збудження збудника; $k_{3г}$ - коефіцієнт підсилення обмотки збудження генератору; $T_{3г}$ - постійна часу обмотки збудження генератору.

Для моделювання вводимо наступні позначення:

$$k_{\text{ТРН}} = k_1, T_{\text{ТРН}} = T_1; k_{33} = k_2, T_{33} = T_2; k_{3г} = k_3, T_{3г} = T_3.$$

$$K_{\text{вип}} = k_4, K_{\text{яг}} = k_5, K_{\text{еб}} = k_6, K_H = k_7.$$

Для розімкнутого контуру управління- ПФ має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}$$

Введемо позначення:

$$k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 = K, \text{ то}$$

$$W(s) = \frac{K}{T_1 T_2 T_3 s^3 + (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) s^2 + (T_1 + T_2 + T_3) s + 1}$$

ПФ замкнутої системи відповідно до заданої напруги U_3 має вид:

$$\Phi_{U_3}^{U_{\text{внх}}}(s) = \frac{U_{\text{внх}}(s)}{U_3(s)} = \frac{W(s)}{1 + W(s)} = \frac{K}{Q(s) + K} \quad (1)$$

ПФ замкнутої системи за навантаженням R має вид:

$$\begin{aligned} \Phi_R^{U_{\text{внх}}}(s) &= \frac{U_{\text{внх}}(s)}{R(s)} = \frac{K_H \cdot Q(s)}{Q(s) + K} \\ &= \frac{K_H (T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}{\Delta(s)} \end{aligned} \quad (2)$$

де $\Delta s = 1 + W(s) = Q(s) + K$ – характеристичний поліном

Характеристичний поліном замкнутої системи визначається за формулою $1 + W(s) = 0$

$$\Delta(s) = T_1 T_2 T_3 s^3 + (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) s^2 + (T_1 + T_2 + T_3) s + 1 + K = 0 \quad (3)$$

Якщо врахувати, що $K = K_p K_r$, де $K_p = k_1 k_2 k_4 k_6 = \text{var}$, $K_r = k_3 k_5 = \text{const}$, то чим більше K_p , тим точніше робота системи в сталому режимі, але при цьому зменшується запас стійкості, тобто погіршуються динамічні властивості.

Для оцінки динамічних властивостей системи доцільно використовувати метод стандартних коефіцієнтів [6] для співвідношення (3). Нормуємо характеристичне рівняння (2), для цього ділимо всі коефіцієнти на вільний доданок і вводимо нову змінну так, щоб коефіцієнт при старшому за

ступенем доданку став рівним одиниці. В результаті отримуємо вираз (4).

$$p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + 1 = 0, \quad (4)$$

$$\text{де: } A_2 = \frac{a_2}{\sqrt[3]{a_3^2 a_0}}, \quad A_1 = \frac{a_1}{\sqrt[3]{a_3 a_0^2}}, \quad p = s \sqrt[3]{\frac{a_3}{a_0}},$$

З виразу (3):

$$a_0 = K + 1, \quad a_1 = (T_1 + T_2 + T_3),$$

$$a_2 = (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3),$$

$$a_3 = T_1 T_2 T_3,$$

$$w_0 = \sqrt[3]{\frac{a_0}{a_3}} - \text{параметр розміщення}$$

коренів характеристичного рівняння.

Згідно [68], система третього порядку має наступні оптимальні параметри: при $A_1 = A_2 = 3$ система має перерегулювання $S = 5\%$, нормований час перехідного процесу $t_n = 6$, а реальний час перехідного процесу $t_n = \frac{t_n}{w_0}$. Для

отримання оптимального розв'язку системи визначимо параметри регулятора використовуючи стандартні значення параметрів і заданий час перехідного процесу.

Задані параметри:
 $k_r = k_3 k_5 = 0.05, \quad T_3 = 0.4 \text{ с}, \quad t_n = 6$
 ($t_n = 2 \text{ с}, w_0 = 3 \text{ с}^{-1}$).

Шукані параметри:
 $T_1, T_2, k_p = k_1 k_2 k_4 k_6$.

За отриманими значеннями

$$T_1 = 0,307, \quad T_2 = 0,307, \quad k_p = 0,289$$

можна обрати відповідний тиристорний регулятор напруги, що дозволить зменшити час запуску резервного джерела в разі аварії промислової мережі.

При оцінці статичних властивостей системи автоматизованої управління (САУ) потрібно забезпечити заданий коефіцієнт статизму по впливу збурення, а також визначити помилку відтворення заданого впливу. Коефіцієнт статизму замкнутої САУ характеризує статичну помилку, обумовлену впливом збурюючої дії.

Точність регулювання напруги при змінному навантаженні визначається коефіцієнтом статизму системи за ПФ:

$$c = \Phi_R^{U_{\text{н}}}(s) \Big|_{s=0} = \frac{k_7}{1+K} \leq c_{\text{доп}}$$

статична похибка

Зробимо статичний розрахунок системи - коефіцієнту k_7 для забезпечення умови $\chi_{\text{доп}} = 0.03$. Для дотримання значення коефіцієнту статизму $\chi_{\text{доп}} = 0.03$ необхідно обирати трансформатор струму в колі навантаження із значенням коефіцієнту трансформації: $k_7 \leq 0.03$

Для оцінки динамічних властивостей системи та порівняльного аналізу зробимо її імітаційне моделювання в системі Матлаб (рис. 4, рис. 5).

- система регулювання напруги до корекції;

$$W(s) = \frac{1}{10s^3 + 29s^2 + 10.4s + 1}$$

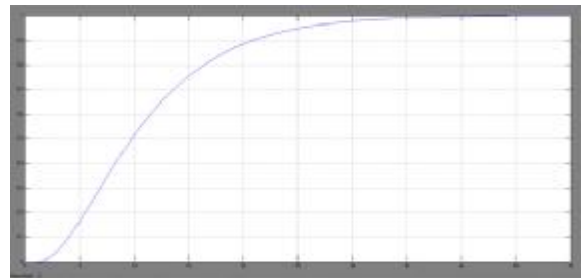


Рис. 4. Графічне зображення дослідження динамічних властивостей характеристик систем до корекції

- система регулювання напруги після корекції;

$$W(s) = \frac{1}{s^3 + 3.2s^2 + 2.56s + 1}$$

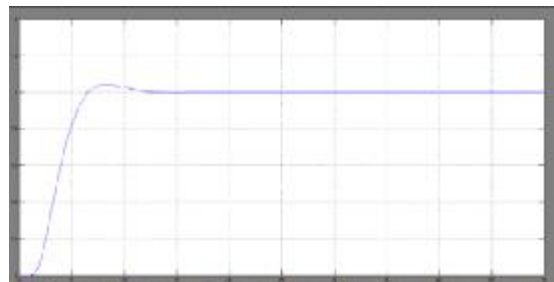


Рис. 5. Графічне зображення дослідження динамічних властивостей характеристик систем після корекції

Отже, в результаті аналізу та визначення параметрів регулятора напруги для аварійного джерела енергії системи БСГ з ТРН тривалість перехідного процесу регулювання вихідної напруги в допустимих межах зменшився майже у 7 разів (з 35с до 5,5 с). На практиці це може бути досягнуто шляхом виборів параметрів тиристорного регулятора напруги.

Запропонована система може працювати в комплексі з програмою прогнозування стану системи електропостачання споживачів першої особливої категорії, що сприятиме зменшенню часу переходу живлення з основного джерела (при його відмові) на резервне (аварійне). Час прогнозування має бути достатнім для виведення в робочий режим дизельного агрегату (аварійної системи енергопостачання світлосигнальної системи).

Висновки

У статті пропонується метод оцінки впливу функціональних елементів системи безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги «БСГ-ТРН», яку пропонується використати в системі резервного живлення споживачів першої особливої категорії аеропортів з дизель-генератором з зовнішнім ротором (накопичувачем зовнішньої енергії).

Розуміння цього впливу дає можливість при проектуванні та виробництві систем регулювання напруги, визначивши необхідні параметри їх функціональних елементів, забезпечити мінімальну статичну помилку при зміні навантаження, зменшити час перехідного процесу, тим самим підвищити якість напруги, що в свою чергу дозволить подовжити строк

служби споживачів електричної енергії та підвищити рівень їх надійного функціонування.

Використання системи «БСГ-ТРН – дизель - генератор з зовнішнім ротором» як резервного джерела дозволить практично миттєво підключити споживачі електричної енергії з основного джерела на аварійне, що в умовах аеропорту (наприклад світлосигнальна система посадки) при несприятливих погодних умовах уникнути аварійних, а то й катастрофічних ситуацій.

Список літератури

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), изд. 7, 2001. – 200 с.
2. Дос 9157 АН/901. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 5. Электрические системы, издание первое, ИКАО, 1983. – 123 с.
3. Безпека авіації / [В.П.Бабак, В.П.Харченко, В.О.Максимов та ін.]; За ред. В.П.Бабака. — К.: Техніка, 2004. — 583 с.: іл., табл.
4. Величко Ю. К. Электроснабжение аэропортов [Текст] / Ю. К. Величко. – К. : КМУГА, 1996. – 312 с.
5. Наставление по электросветотехническому обеспечению полетов в гражданской авиации (НАЭСТОП ГА). – М.: Воздушный транспорт, 1987. – 128 с.
6. Н.И. Соколов Аналитические методы синтеза линеаризованных систем автоматическое регулирования. Машиностроения, 1966. – 320 с.

Статтю подано до редакції 12.05.2016