**Маглюй Сергій Анатолійович. Синтез цифрових регуляторів локальних систем керування основними параметрами газотурбінного двигуна: дисертація канд. техн. наук: 05.13.07 / Науково-виробнича корпорація "Київський ін-т автоматики". - К., 2003.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Маглюй С. А. Синтез** **цифрових регуляторів локальних систем керування основними параметрами газотурбінного двигуна. -**Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07- автоматизація технологічних процесів. - Науково-виробнича корпорація “Київський інститут автоматики”, 2003.  Дисертація присвячена підвищенню якості (зменшенню динамічних похибок і підвищенню швидкодії) цифроаналогових локальних систем автоматичного керування параметрами двовального (двороторного) ГТД (системи керування температурою газу за турбінним блоком, систем керування частотою обертання роторів компресорів низького і високого тиску) шляхом застосування синтезованих цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів.  Розроблені математичні моделі систем керування параметрами ГТД разом із керуючими механізмами і синтезованими оптимальними за швидкодією цифровими регуляторами. Визначені формули оптимальних керуючих діянь на вході об'єктів керування при діянні на вході систем, що лінійно змінюється. Представлена методика параметричного синтезу цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів на основі обчислення оптимальних керуючих діянь на об'єкти керування. На основі запропонованої методики синтезу в інтерактивній системі MATLAB розроблені структурні схеми оптимальних за швидкодією цифрових регуляторів, які можуть бути реалізовані як програмно, так і на інтегральних мікросхемах. Представлені результати досліджень методом математичного моделювання основних систем керування параметрами ГТД з синтезованими регуляторами при детермінованих і довільних діяннях на вході систем керування. | |
| |  | | --- | | 1.Існуючі способи регулювання газотурбінних двигунів засновані, в основному, на вживанні гідромеханічних систем. Компоненти цих систем вимагають дуже високої точності виготовлення і настройки, сигнали керування в них обчислюються механічно, удосконалення гідромеханічних систем є вельми дорогим, алгоритми керування обмежені і їх важко перестроювати. Але гідромеханічні системи мають дуже високу надійність, чим і пояснюється їх широке вживання. Поява все більш складних ГТД, які працюють майже на межі своїх можливостей, розробка надмініатюрних твердотільних великих інтегральних схем, підвищення цін на паливо зумовили розробку електронних цифрових систем з повною “відповідальністю”. Такі системи простіші і легші гідромеханічних, їх набагато легше удосконалювати, причому значно скорочується програма випробувань двигуна. Розробка цифрових систем автоматичного керування параметрами ГТД є актуальною проблемою, а однією з основних задач при проектуванні цифрових систем автоматичного керування є задача синтезу цифрових регуляторів.  2.Вирішена задача синтезу оптимальних за швидкодією цифрових регуляторів для двовального (двороторного) газотурбінного двигуна і досліджені методом математичного моделювання основні локальні системи автоматичного керування параметрами ГТД з синтезованими регуляторами, які забезпечують необхідну якість систем.  3.Розроблені математичні моделі локальних систем автоматичного керування ГТД (системи керування температурою газу за турбінним блоком, систем керування частотою обертання роторів компресорів низького і високого тиску) разом із керуючими механізмами і синтезованими оптимальними за швидкодією цифровими регуляторами. Розроблена методика параметричного синтезу оптимальних за швидкодією цифрових регуляторів на основі обчислення оптимальних керуючих діянь на об'єкти керування при детермінованих і довільних діяннях на вході системи керування. Важливою особливістю структурних схем оптимальних за швидкодією цифрових регуляторів, які одержані по запропонованій методиці, є те, що при практичній реалізації регуляторів на інтегральних мікросхемах їх структурні схеми є одночасно принциповими. Важлива відмінність синтезованих по запропонованій методиці оптимальних за швидкодією регуляторів від відомих “аперіодичних” регуляторів полягає в тому, що вони відпрацьовують не східчасті (ступінчасті), а діяння, які лінійно змінюються і якими апроксимують довільні діяння, що поступають на вхід системи керування. Тому ці регулятори здатні забезпечити більш високу якість систем автоматичного керування, що характеризується поточними похибками розузгодження в замкнутій системі.  4.Проведено дослідження цифроаналогових локальних систем автоматичного керування ГТД з синтезованими оптимальними за швидкодією цифровими регуляторамишляхом математичного моделювання з використанням інтерактивної системи МАТLAB.  5.На підставі наукових результатів, одержаних в дисертаційній роботі, можна проектувати мікропроцесорні локальні системи керування параметрами двовального (двороторного) газотурбінного двигуна (а також двигунів інших типів), які забезпечують оптимальне за швидкодією керування при східчастих (ступінчастих) вхідних діяннях і достатньо високу точність відробітку довільних вхідних діянь шляхом включення в замкнутий контур системи синтезованих оптимальних за швидкодією цифрових регуляторів.  6.Достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджена результатами теоретичних розрахунків і математичного моделювання.  7.Розроблена в дисертації методика синтезу цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів дає можливість проектувати цифрові системи автоматичного керування з високою якістю, яка визначається точністю відробітку задавального діяння і характером перехідного процесу, тобто поведінкою системи як на сталих, так і в перехідних режимах. Одержані в дисертації результати можуть бути використані при створенні перспективних цифрових систем керування параметрами газотурбінних двигунів.  8. Для системи автоматичного керування температурою газу за турбінним блоком ГТД запропонований спосіб компенсації динамічних властивостей датчика температури (термопари) і за умови достатньо точної ідентифікації параметрів ГТД на базових режимах роботи запропонована компенсація динамічних властивостей об'єкта керування. Виконаний синтез цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів для системи автоматичного керування температурою газу без компенсації і з компенсацією динамічних властивостей термопари, а також із одночасною компенсацією динамічних властивостей термопари і об'єкта керування.  9. Досліджені перехідні процеси в системах автоматичного керування температурою газу за турбінним блоком ГТД з синтезованими цифровими регуляторами. Як показують розрахунки і моделювання, при оптимальному керуванні перехідні процеси в системах закінчуються за кроків квантування. Тому тривалість перехідних процесів залежить від величини кроку квантування. Із зменшенням кроку квантування значно зростає амплітуда імпульсів керування, перехідний процес з аперіодичного переходить в коливальний і різко зростає перерегулювання. Таким чином, швидкодія систем обмежується або заданим перерегулюванням перехідних процесів, або допустимим посиленням, необхідним для формування амплітуд імпульсів керування. При заданому перерегулюванні перехідних процесів мінімальні кроки квантування, а значить, і мінімальна тривалість перехідних процесів для різних режимів роботи ГТД виявляються різними.  10. Показано, що в системі автоматичного керування температурою газу двовального (двороторного) стендового ГТД з синтезованими цифровими регуляторами і з компенсацією динамічних властивостей термопари при заданому перерегулюванні не більш 2...3% можна одержати перехідні процеси, час регулювання яких складає не більше 2,2с на максимальному і не більше 2,6с на середньому (крейсерському) режимах роботи ГТД, а за умови компенсації динаміки об'єкта керування цей час скорочується до 1...1,2с на всіх базових режимах роботи двигуна. В результаті моделювання виявлено, що в системі керування температурою газу за турбінним блоком тривалість перехідних процесів зміни частот обертання роторів компресорів низького і високого тиску значно перевищує тривалість перехідних процесів зміни температури газу за турбіною: на максимальному і середньому режимах це перевищення приблизно в 2 рази, а в режимі малого газу - приблизно в 30 разів.  11. Виконаний синтез цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів для локальних систем автоматичного керування частотами обертання роторів компресорів низького і високого тиску стендового ГТД на базових режимах його роботи і досліджені системи з синтезованими цифровими регуляторами. Показано, що для максимального режиму роботи ГТД час регулювання для систем керування частотою обертання ротора компресора низького тиску і компресора високого тиску приблизно однаковий і дорівнює 1,2 с, але стале значення для системи керування частотою обертання ротора компресора низького тиску приблизно в 2,1 рази більше, ніж стале значення для системи керування частотою обертання ротора компресора високого тиску. На середньому (крейсерському) режимі роботи ГТД час регулювання для системи керування частотою обертання ротора компресора низького тиску приблизно рівний 0,95 с, час регулювання для системи керування частотою обертання ротора компресора високого тиску приблизно рівний 1,25 с; стале значення для системи керування частотою обертання ротора компресора низького тиску приблизно в 3,2 рази більше, ніж стале значення для системи керування частотою обертання ротора компресора високого тиску. В режимі малого газу роботи ГТД час регулювання для системи керування частотою обертання ротора компресора низького тиску приблизно рівний 2,3 с, час регулювання для системи керування частотою обертання ротора компресора високого тиску приблизно рівний 3 с; стале значення для системи керування частотою обертання ротора компресора низького тиску приблизно в 2,6 рази більше, ніж стале значення для системи керування частотою обертання ротора компресора високого тиску.  12. Показано, що керування частотами обертання роторів компресорів низького і високого тиску значно впливає на зміну температури газу за турбінним блоком ГТД. При цьому в системі керування частотою обертання ротора компресора низького тиску при відробітку східчастого вхідного діяння стале відхилення температури від первинного на максимальному і середньому базових режимах роботи ГТД значно менше ніж в системі керування частотою обертання ротора компресора високого тиску. Відхилення температури в перехідних процесах в цих системах відбувається із значним перерегулюванням, особливо в режимі малого газу.  13. Дослідження системи автоматичного керування температурою газу ГТД на базових режимах роботи при подачі на вхід системи еквівалентного гармонійного діяння , яким апроксимується довільне вхідне діяння з максимальною частотою рад/с і прискоренням (рад/с)2 (таке діяння для цієї системи достатньо швидкозмінне), показує, що оптимальний за швидкодією цифровий регулятор забезпечує якісну роботу системи на максимальному і середньому (крейсерському) режимах роботи газотурбінного двигуна. Максимальна поточна похибка розузгодження (без урахування початкового викиду у момент захоплення вхідного сигналу) на максимальному і середньому (крейсерському) режимах дорівнює 0,006. В режимі малого газу система працює значно гірше - максимальна поточна похибка розузгодження в системі 2,2.  14. Дослідження систем автоматичного керування частотами обертання роторів компресорів низького і високого тиску на базових режимах роботи ГТД при подачі на вхід системи еквівалентного гармонійного діяння , яким апроксимується довільне вхідне діяння з максимальною частотою рад/с і прискоренням (рад/с)2 (таке діяння для цих систем достатньо швидкозмінне), показує, що оптимальні за швидкодією цифрові регулятори забезпечують якісну роботу систем. Навіть при такому швидкозмінному діянні максимальна поточна похибка розузгодження (без урахування початкового викиду у момент захоплення вхідного сигналу) на всіх режимах роботи ГТД не перевищує 0,5. При зменшенні частоти еквівалентного гармонійного діяння (зменшенні максимальної швидкості і прискорення довільного вхідного діяння) точність слідкування зростає (зменшується поточна похибка розузгодження).  15. Синтезовані по запропонованій методиці цифрові оптимальні за швидкодією регулятори забезпечують оптимальні перехідні процеси з перерегулюванням не більш 2...3% мінімальним часом регулювання, а також достатньо малі похибки розузгодження в сталих режимах роботи ГТД. Крім того, що вельми важливе, оскільки параметри регулятора визначаються через параметри об'єкта керування, то за умови ідентифікації параметрів об'єкта такі регулятори набувають функцію самонастройки, а системи керування параметрами ГТД стають адаптивними. | |