

СИНТЕЗ СТАБІЛІЗАЦІЙНИХ ВПЛИВІВ НА ЛАЗЕРНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

В роботі розглянуті питання покращення характеристик лазерного випромінювання за рахунок стабілізаційних впливів на його частотні властивості. Проведено синтез структурної схеми двоканальної системи стабілізації на основі модуляторів, що дозволяє суттєво знизити вплив дестабілізуючих факторів.

Ключові слова: лазерне випромінювання, когерентність, стабілізація, амплітудно-частотна характеристика, модулятор частоти.

Вступ. На даний час пристрої лазерної техніки широко застосовуються в різних галузях промисловості. Лазерне випромінювання використовують для керування термоядерними реакціями, застосовують для зварювання, різання матеріалів та інше.

Лазерний промінь в порівнянні зі звичайним світловим променем має ряд переваг: спрямованість, монохроматичність і когерентність. Завдяки спрямованості лазерного променя його енергія концентрується на порівняно невеликій ділянці. Якщо звичайне «біле» світло складається з променів з різними частотами, то лазерний промінь є монохроматичним, тобто має певну частоту і довжину хвилі. За рахунок цього він відмінно фокусується оптичними лінзами, оскільки кут заломлення променя в лінзі постійний. Можливість отримання монохроматичних пучків світла робить лазер незамінним джерелом випромінювання при вирішенні задач зв'язку, метрології та медицини.

Можливість досягнення високих значень потужності та щільності потоку енергії робить лазерний промінь унікальним інструментом для проведення різних операцій в термічних технологіях. Експерименти показали, що лазерна різка і зварювання, поверхневе термозміцнення, плакування і легування дозволяють не лише економити матеріали, але й отримувати нові властивості оброблюваної речовини, недосяжні за допомогою традиційних термічних технологій. Перші результати застосування лазерів в промисловості продемонстрували їх можливості і економічну ефективність застосування в умовах масового виробництва.

Когерентність - це узгоджене протікання в часі кількох хвильових процесів. Некогерентні коливання світлового променя володіють різними фазами, в результаті чого можуть погасити один одного. Когерентні ж коливання викликають резонанс, який підсилює потужність випромінювання. Завдяки вище перерахованим властивостям лазерний промінь може бути сфокусований на дуже маленьку поверхню металу і створити на ній щільність енергії порядку 10^8 Вт/см², яка є достатньою для плавлення металу і, отже, зварювання, різання матеріалу, а також для закалювання, зміцнення поверхні, тобто, майже для всіх технологічних процесів.

Постановка проблеми. Основною перевагою лазерної технології є те, що вона дозволяє виготовляти і обробляти вироби складної форми, а також з крихких, м'яких і твердих металів та сплавів. Однак досить висока ціна промислових лазерів обмежує їх застосування, у зв'язку з чим перед розробниками лазерної техніки постає актуальне завдання покращення параметрів лазерів [1].

Для лазерних технологічних процесів зазвичай використовуються наступні типи лазерів: твердотільні та газові, з поздовжньою або поперечною накачкою газу та газодинамічні. Суттєвим їх недоліком є флуктуація випромінювання за частотою. Нестабільність частоти лазерів характеризуються великим значенням амплітуди низькочастотного дрейфу і малими значеннями високочастотних компонент. Тому є доцільним застосування двох каналів управління системою стабілізації частоти: низькочастотного та високочастотного [2]. Основною задачею синтезу регуляторів для лазера з системою стабілізації частоти є збільшення швидкодії та розподіл енергії перехідного процесу системи за спектром частот між швидким і повільним каналом керування. Крім того, існує потреба в забезпеченні максимально різкого підйому коефіцієнту підсилення зі зменшенням частоти.

Тому необхідно проводити синтез перспективних стабілізаційних систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Стабілізація лазерного випромінювання залишається актуальною проблемою. В даний час у відкритому друці опубліковано ряд інформації в яких представлені:

- дослідження теоретичних питань створення та вдосконалення методів стабілізації [3];
- вимоги технічного забезпечення засобів керування стабілізацією випромінювання в лазерних технологічних системах [4].

Можливості технологічного застосування лазерного випромінювання далеко не вичерпані [1], про що свідчать результати численних новітніх публікацій. Подальший розвиток лазерної техніки і технологій дозволяє виробнику одержати значні переваги в умовах складної конкуренції.

Мета роботи - розробити функціональну схему стабілізації лазерного випромінювання в технологічних процесах.

Основна частина. Модулятори частоти випромінювання лазера умовно поділяють на два види: швидкодіючі, але з малим діапазоном перебудови, або з великим діапазоном перебудови та з малою швидкодією. Тому доцільно застосовувати одночасно два канали впливу: швидкий та повільний.

Розподіл визначатиметься виглядом амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) каналів керування, що залежить від незмінної частини (об'єкту) та змінної частини (регулятора) системи. Під об'єктом керування будемо розуміти лазерне випромінювання технологічної системи, а під регулятором – модулятори частоти.

Вважатимемо, що об'єкт описується лінійною моделлю [5, 6], однак регулятор за цим методом не передбачає перехідного процесу дестабілізації.

Рівняння об'єкту має вигляд:

$$\sum_{i=0}^n a_i p^i X(p) = bU(p),$$

де $U(p)$ - напруга живлення системи;

$X(p)$ - об'єкт керування;

a_i, b - коефіцієнти;

p - оператор диференціювання (оператор Лапласа).

Рівняння замкнутої системи має вигляд:

$$C_m(p)X(p) = \sum_{j=0}^m c_j p^j X(p) = c_0 V(p), \quad (1)$$

де $V(p)$ - вплив регулюючої системи;

c_j та c_0 - стаціонарні параметри системи керування;

C_m - шуми системи.

Запропонований метод передбачає спосіб синтезу регулятора, що забезпечує асимптотичне наближення рівняння (1) замкнутої системи до вигляду:

$$\left(\sum_{j=0}^r \alpha_j \mu^j p^j \right) \left(\sum_{i=0}^m c_i p^i X(p) \right) = c_0 V(p),$$

де $\alpha_0 = 1$; α_j - коефіцієнти регуляції;

μ - малий параметр, який обернено пропорційний коефіцієнту підсилення системи.

Метод ґрунтується на граничних співвідношеннях виду

$$\lim_{\mu \rightarrow 0} \left\{ \left(\sum_{i=0}^n a_i p^i \right) \sum_{j=0}^r \alpha_j \mu^j p^j \right\} = a_0 \sum_{i=0}^n a_i p^i + a_n \sum_{j=1}^r \alpha_j \mu^j p^{n+1}.$$

Асимптотична структурна схема такої системи стабілізації частоти лазерного випромінювання представлена на рис. 1 і містить: фільтр, регулятор та об'єкт стабілізації.

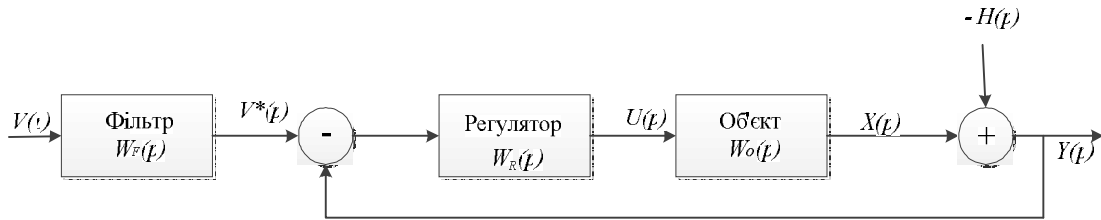


Рис. 1. Структурна схема системи стабілізації:
 $W_R(p)$ та $W_O(p)$ - передатні функції регулятора та об'єкта відповідно;
 $H(p)$ та $Y(p)$ - дестабілізуючі впливи

Оскільки для опису системи стабілізації передатна характеристика фільтра має вигляд $W_F(p) = \frac{1}{c_1 p + c_0}$, то при $V = 0$ вона не визначена і не впливає на систему.

Рівняння регулятора має вигляд: $\mu(\mu d_1 p + d_0)U(p) = (c_1 p + c_0)[-Y(p) + V^*(p)]$,

де d_0, d_1 - коефіцієнти регулювання; $V^*(p) = \frac{c_0 V(p)}{c_1 p + c_0}$ - деяка проміжна змінна.

Регулятор здійснює диференціювання з великим коефіцієнтом підсилення $K = \mu^{-1}$. Іншими словами, регулятор відновлює нахил логарифмічної АЧХ. З теорії [5] слідує, що знаючи d_1 та μ , можна забезпечити стабільність об'єкта.

Забезпечення розподілу по модуляторах. Нехай АЧХ об'єкту має ділянку, на якій нахил зберігає своє значення протягом часу T . Масштабуванням керуючого сигналу можна забезпечити рівність АЧХ одиниці в потрібній точці. Далі синтез регулятора зводиться до синтезу низькочастотної частини АЧХ, оскільки високочастотна частина на якість системи не впливає. При цьому потрібно розділити керуючий сигнал на дві компоненти та забезпечити подачу цих компонент на відповідні модулятори.

Для розподілу по модуляторах необхідно і достатньо, щоб АЧХ швидкого каналу перевищувала АЧХ повільного каналу в зоні високих частот. Область частот, де АЧХ співрозмірні, як правило, мінімізують. Для цього вони не повинні бути паралельними поблизу ділянки їх перетину. Чим більший кут перетину АЧХ швидкого та повільного каналів, тим краще розподіляються моди по модуляторах. Цим вимогам задовольняють передатні функції трактів керування:

$$W_1 = \frac{b}{1 + bT p} \text{ - передатна функція швидкого каналу;}$$

$$W_2 = \frac{K^2}{(1 + GK p)^2} \text{ - передатна функція повільного каналу, де } K^2 \gg b \gg G^2 \gg G \gg 1.$$

На рис. 2 представлені форми АЧХ передатних функцій модуляторів.

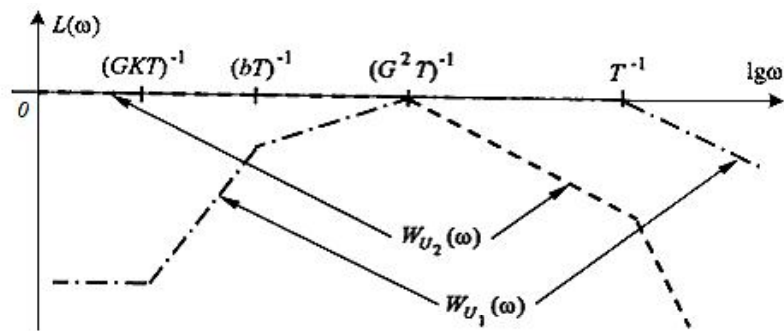


Рис. 2. Логарифмічні АЧХ передатних функцій модуляторів

Таким чином, розподіл по модуляторах досягається двократним нахилом АЧХ повільного каналу, тобто введенням в регулятор необхідної кількості інтеграторів. При цьому нахил АЧХ швидкого каналу забезпечується однократним інтегруванням в області, що знаходиться набагато раніше точки її перетину з АЧХ повільного каналу та набагато пізніше точки її перетину з віссю частот.

Розглянемо структурну схему стабілізуючої системи з двома модуляторами (рис. 3).

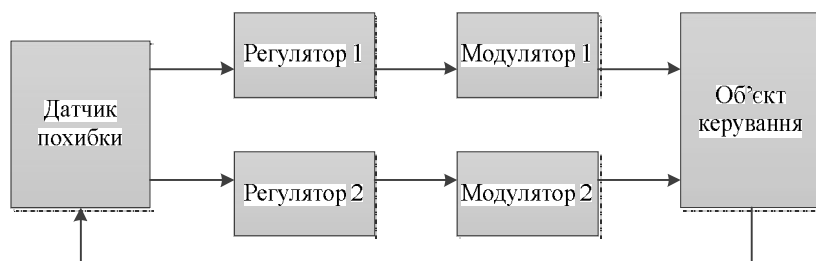


Рис. 3. Структурна схема двоканальної системи стабілізації

Регулятор містить два паралельних канали, причому АЧХ регулятора швидкого каналу доповнює АЧХ швидкого модулятора до інтегруючої ланки першого порядку, а АЧХ регулятора повільного каналу доповнює АЧХ повільного модулятора до інтегруючої ланки другого або більш високого порядку. Зворотній зв'язок забезпечує замкнутість системи керування.

Висновки. Запропоновано двоканальну систему стабілізації параметрів лазера та метод її реалізації, що дозволяє знизити вплив дестабілізуючих факторів.

Частотно-стабілізовані лазери мають ряд переваг, серед яких можна відзначити наступні: спектральний діапазон випромінювань у видимій і ближній інфрачервоній областях, невелику споживану потужність, компактність конструкції, здатність працювати в широкому діапазоні температур навколишнього середовища (від -50 до +50 °С).

Створення таких лазерів пов'язане з вирішенням двох технічних проблем:

- формуванням одночастотного випромінювання в робочих модах випромінювання (однієї або двох);
- стабілізацією частоти випромінювання в кожній з мод.

Рішення першої проблеми пов'язане з розробкою відповідних конструкцій випромінювачів, що володіють необхідними параметрами для здійснення стабілізації частоти. Рішення другої проблеми головним чином пов'язане з розробкою ефективних методів і засобів стабілізації частоти випромінювання, які дозволять знизити технічні флуктуації частоти до необхідного для споживачів рівня.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шуайбов О.К. Лазерні джерела випромінювання та їх застосування в мікроелектроніці: [навч. посіб.] / О.К. Шуайбов, І.І. Опачко, І.Е. Качер, М.П. Чучман // Ужгород: Видавництво ДВНЗ «УжНУ», 2009. - 234 с.
2. Митюхин С.Т. Импульсные лазеры на плотных газах: физика процессов и экспериментальная техника / С.Т. Митюхин; под ред. В.Г. Багрова. - Изд. Томского университета, 1992. - 141 с.
3. [Garrison J.C. Quantum Optics / J.C. Garrison, R.Y. Chiao.](#) - Oxford University Press. - 2008 (UK). - 716 p.
4. Jerome F. [Quantum Cascade Laser](#) / F. Jerome, F. Capasso, D.L. Sivco, C. Sirtori // Science 264 (5158): [DOI:10.1126](#). - 2004 (USA) - PP.553-556.
5. Звездин В.В. Синтез и анализ системы автоматического управления лазерным технологическим комплексом / В.В. Звездин, С.М. Портнов, И.Н. Кузнецов, Р.А. Кисаев // Проектирование и исследование технических систем : Межвузовский науч. сб. - Наб. Челны: ИНЭКА, 2010. - № 15. - С.95-100.
6. Технологические процессы лазерной обработки: [учеб. пособ. для вузов] / под ред. А.Г. Григорьянца. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 664 с.

Надійшла: 12.01.2012

Рецензент: д.т.н., проф. Рибальський О.В.