
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 535.8; 538.958
DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-3-219-223

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГАЛЬВАНосКАНЕРОВ ПРИ КАДРОВОЙ РАЗВЕРТКЕ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

С. А. АЛЕКССЕВ, Н. В. МАТВЕЕВ, В. Т. ПРОКОПЕНКО,
А. С. КАШНИКОВ, А. В. ТРЕГУБОВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru*

Представлены результаты анализа и последующего выбора сканирующей системы для кадровой развертки лазерного луча. Обосновывается применение гальваносканера. Рассмотрена работа гальваносканеров на больших частотах сканирования при PID-вариантах управления. Моделирование данного типа сканеров, рассматриваемых как совмещенная механическая и электрическая система, показало наличие отставания во времени отклика системы по отношению к задающему сигналу, которое необходимо учитывать при развертке луча по строке и кадру.

Ключевые слова: сканирующая система, лазерный гальваносканер, система управления, ротор гальваносканера, строчная развертка, кадровая развертка, моделирование, механическая модель, электрическая модель, частотные характеристики сканирования

В настоящее время приборы на основе гальваносканеров нашли применение в таких областях, как лазерные проекционные и сканирующие системы [1, 2], измерительные устройства [3], биомедицинские лазерные установки [4], устройства считывания штрих-кодов [5], лазерные шоу-системы и др. Все гальваносканеры классифицируются по типу приводов и датчиков положения ротора. По типу привода они делятся на 3 категории. Приводы так называемой категории „Moving Iron“ („подвижное железо“) использовались в первых поколениях гальваносканеров, которые обладают относительно высоким значением крутящего момента, но их пиковая производительность ограничена из-за магнитных свойств насыщения железного ротора. Приводы второй категории, называемой „Moving Coil“ (подвижная катушка), обеспечивают высокий крутящий момент по отношению к инерции. Катушка, закрепленная непосредственно на роторе, приводится в движение неодимовыми магнитами с высокой плотностью энергии. Приводы третьей категории, называемой „Moving Magnet“ (подвижный магнит), обеспечивают новый способ вращения ротора. В них также используются неодимовые магниты, что позволяет достичь оптимальной скорости позиционирования. Положение ротора во всех сканерах фиксируется установленным на нем либо емкостным, либо оптическим датчиком (зеркалом).

Гальваносканеры обладают высокой линейностью вращательных характеристик в относительно большом угловом диапазоне (несколько десятков градусов), а также малой инерционностью, что позволяет использовать их на частотах сканирования до нескольких килогерц.

Для получения однородного светового поля при кадровой развертке сменяемость кадров должна составлять несколько десятков герц.

Общая структурная схема лазерной сканирующей системы, обеспечивающей кадровую развертку, показана на рис. 1: используются два гальваносканера, один из которых обеспечивает строчную развертку (по оси X , сканер 1), а второй — кадровую развертку (по оси Y , сканер 2).

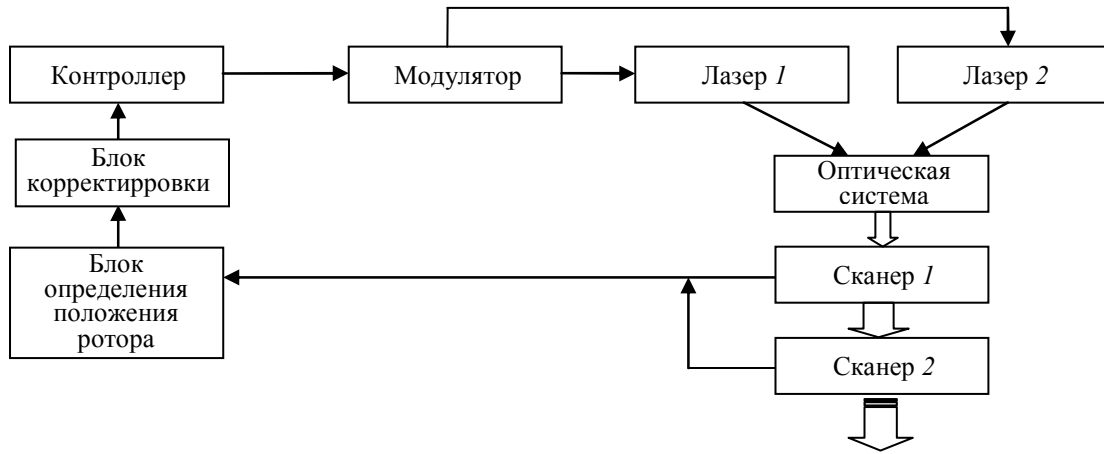


Рис. 1

Гальваносканер можно представить как совмещенную механическую и электрическую модель.

Механическую модель гальваносканера можно описать уравнением движения Ньютона [6]:

$$\frac{\theta}{\tau} = \frac{1}{Js^2 + Bs + K},$$

где θ — угол положения зеркала, J — момент инерции ротора, τ — крутящий момент, B — динамическое затухание ротора, K — коэффициент жесткости, s — время.

Для описания электрической модели гальваносканера сопротивление и индуктивность катушки моделируются как сосредоточенные сопротивление R и индуктивность L . Ток I и напряжение U связаны линейной дифференциальной комбинацией этих параметров. Тогда электрическую модель можно представить как

$$U = RI + Li + E_b; \quad J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + K\theta = \tau,$$

где $\tau = k_t I$; тогда

$$U = L \frac{dI}{dt} + RI + E_b; \quad E_b = k_b \frac{d\theta}{dt},$$

где E_b — обратная ЭДС, k_t — постоянная крутящего момента, k_b — постоянная обратной ЭДС.

Структурная схема совмещенной (механической и электрической) модели гальваносканера [6] представлена на рис. 2.

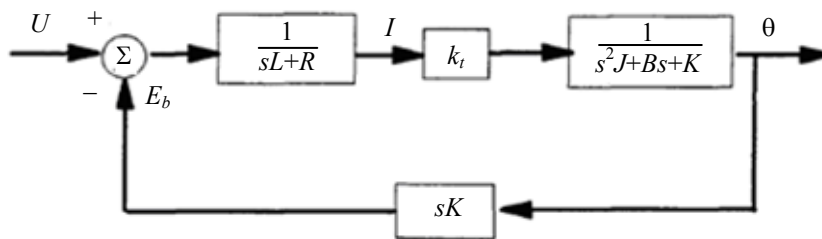


Рис. 2

При управлении гальваносканером модуляция входного сигнала осуществляется по напряжению, обратная связь — по положению зеркала, установленного на роторе, а PID-регулятор корректирует ошибку положения зеркала [7]. Возможно также наличие дополнительной обратной связи по току.

Моделирование гальваносканера в среде MatLab выполнялось на основе библиотеки „Simscape“, объединяющей механические, электрические и другие системы. В „Simscape“ используется подход, называемый „физическая сеть“, также известный как каузальное моделирование. Для построения Simulink-модели гальваносканера все компоненты (блоки), относящиеся к физическим элементам, таким как электродвигатели и операционные усилители, соединяются линиями, по которым передается энергия (рис. 3). Этот подход позволяет представить физическую структуру системы более полно, чем описывающие ее математические выражения.

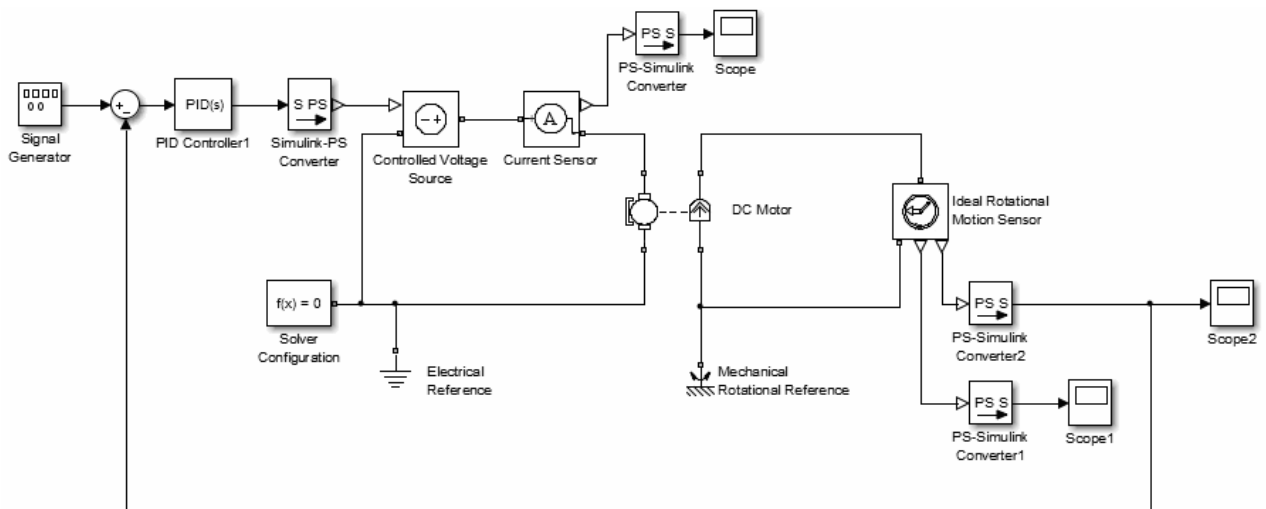


Рис. 3

В качестве объектов для моделирования были выбраны два сканера VM500 и VM2500+ компании “Cambridge Technology” (Великобритания), механические и электрические параметры которых приведены в таблице.

Параметр	VM500	VM2500+
Диаметр зеркала, мм	4—6	10—15
Максимальный угол поворота зеркала, ...°	±50	±40
Постоянная крутящего момента, Н·м/А	0,004	0,0078
Сопротивление катушки, Ом	3,5	1,9
Индуктивность катушки, мГн	0,23	0,13
Момент инерции ротора, г·см ²	0,028	0,5

Результаты моделирования гальваносканеров VM2500+ и VM500 при синусоидальном входном сигнале приведены на рис. 4, 5 соответственно, где зависимости, представленные на графиках „а“, построены при частоте сканирования $\omega=4,4$ кГц и угле развертки $\theta=5^\circ$, а на графиках „б“ — при $\omega=600$ Гц и $\theta=22^\circ$; кривая 1 соответствует задающему сигналу, кривая 2 — отклику системы. Графики на рис. 4 получены при следующих значениях коэффициентов PID-регулятора: $P=3,73480815850657$; $I=436,200498429854$; $D=0,00710511990583979$; $N=2287902,90913902$, а графики на рис. 5 — при следующих: $P=0,715338355964812$; $I=83,5852707011352$; $D=0,00136023593042699$; $N=2288958,78546398$. Синусоидальный сигнал был выбран вследствие периодически повторяемого растра, не изменяющегося во времени. В аналогичном режиме работают резонансные системы [8].

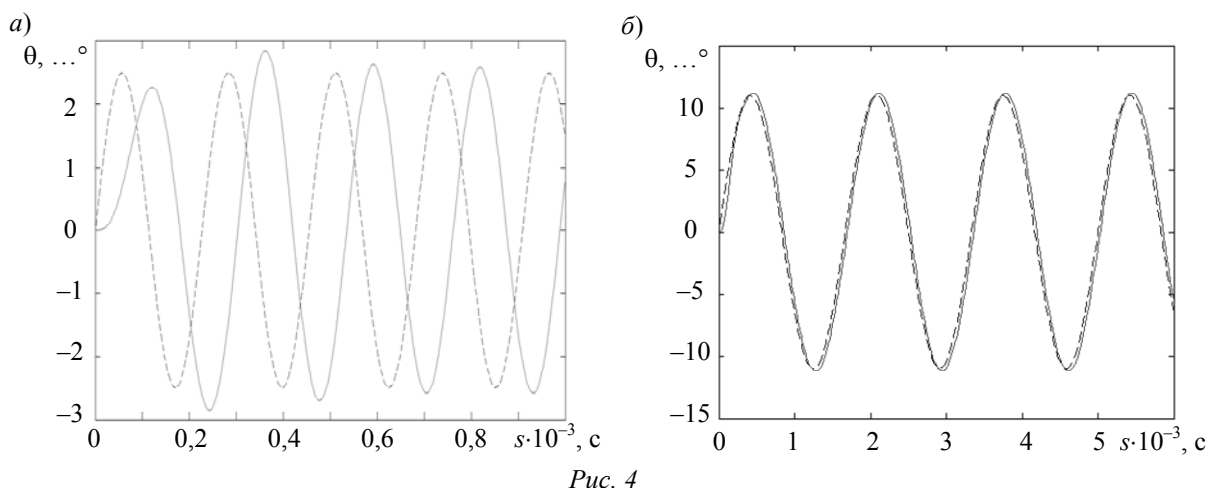


Рис. 4

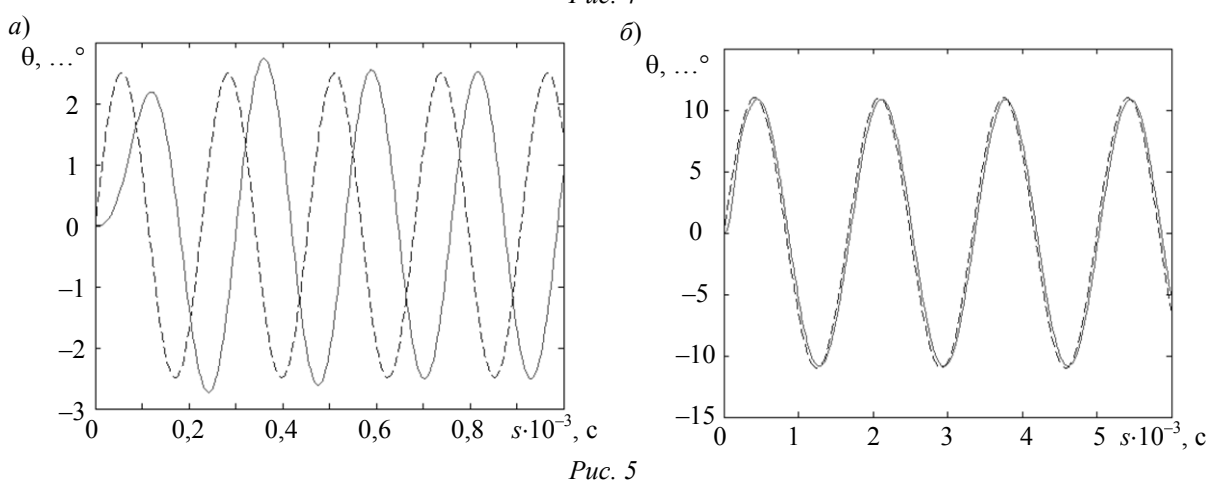


Рис. 5

Анализ рис. 4 и 5 показывает, что с повышением частоты сканирования увеличивается рассогласование параметров гальваносканеров. Так, выход на рабочую амплитуду при $\omega=4,4$ кГц у обоих гальваносканеров осуществляется за 0,5 мс. Наблюдаемая разница в фазах не является критичной, так как она постоянна, а генерируемый растр статичен. Тем не менее задержку по фазе между задающим сигналом и сигналом отклика необходимо учитывать при модуляции лазерных источников излучения и синхронизации координат X и Y при кадровой развертке лазерных лучей. Точность по фазе превышает 0,1 мс при требуемой производительности в 4,4 кГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pat. 20070085936 USA. Laser Projection System / *J. P. Callison, J. S. Pease, R. W. Pease*. Nov., 2006.
2. Pat. 6594090 B2 USA. Laser Projection Display System / *B. E. Kruschwitz, A. F. Kurtz*. June, 2003.
3. Pat. 3900260 A 19 USA. Method and Apparatus for Measuring the Distance and/or Relative Elevation Between Two Points in/on Opto-Electronic Manner / *W. Gerhard*. Aug., 1975.
4. *Yun S. H., Boudoux C., Pierce M. C., De Boer J. F., Tearney G. J., Bouma B. E.* Extended-cavity semiconductor wavelength-swept laser for biomedical imaging / *IEEE Photonics Technology Letters*. 2004. P. 293—295.
5. Pat. 5504316 USA. Laser Scanning System and Scanning Method for Reading 1-D and 2-D Barcode Symbols / *R. Bridgelall, J. Katz, D. P. Goren, P. Dvorkis, Y. Li*. Apr., 1996.
6. *Keane J.* Full State Feedback Control of Galvanometer Scanning System: Master's Thesis / Dublin City University. 1994.

7. *Widlok M.* Advanced Methods of Galvoskanner Position Control with Integrated Power Module: Candidate's Thesis / University of Science and Technology in Cracow. 2007.
8. Официальный сайт MatLab [Электронный ресурс]: <<http://www.matworks.com/products/simscape/>>, 15.01.2014 г.

Сведения об авторах

- Сергей Андреевич Алексеев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра световых технологий и оптоэлектроники
- Николай Вадимович Матвеев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра световых технологий, механики и оптики; E-mail: matveev_nv@mail.ru
- Виктор Трофимович Прокопенко** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра световых технологий, механики и оптики; E-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru
- Александр Сергеевич Кашиников** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра световых технологий и оптоэлектроники; E-mail: alex44_rus@mail.ru
- Александр Витальевич Трегубов** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра световых технологий и оптоэлектроники; E-mail: tregubov@mail.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой световых технологий, механики и оптики

Поступила в редакцию 03.12.15 г.

Ссылка для цитирования: Алексеев С. А., Матвеев Н. В., Прокопенко В. Т., Кашиников А. С., Трегубов А. В. Моделирование работы системы гальваносканеров при кадровой развертке лазерного луча // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 3. С. 219—223.

MODELLING OF SYSTEM OF GALVANOMETER SCANNERS OPERATION AT FRAME SCANNING OF LASER BEAM

S. A. Alekseev, N. V. Matveev, V. T. Prokopenko, A. S. Kashnikov, A. V. Tregubov

*ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru*

Analysis of scanning systems for frame scanning of laser beam is presented; the use of galvano scanners is justified. Galvanometer scanner operation under PID control at high frequency of scanning is studied. Modeling of this type of scanner considered as a combination of mechanical and electrical systems demonstrates the system response to lag behind the control signal in time, the effect is to be accounted for when the scan of the beam line is performed.

Keywords: scanning system, laser galvanoscanner, control system, rotor of galvanoscanner, horizontal scanning, frame scanning, mechanical model, electrical model, frequency characteristics of scanning

Data on authors

- Sergey A. Alekseev** — PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics
- Nikolay V. Matveev** — PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics; E-mail: matveev_nv@mail.ru
- Viktor T. Prokopenko** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics; E-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru
- Aleksander S. Kashnikov** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics; E-mail: alex44_rus@mail.ru
- Aleksander V. Tregubov** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics; E-mail: tregubov@mail.ifmo.ru

For citation: Alekseev S. A., Matveev N. V., Prokopenko V. T., Kashnikov A. S., Tregubov A. V. Modelling of system of galvanometer scanners operation at frame scanning of laser beam // Izv. vuzov. PriBORostroenie. 2016. Vol. 59, N 3. P. 219—223 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-3-219-223