

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СТРАНЫ

УДК 621.375.826

СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЁТ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.О. Калинина
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)
Ю.Д. Лазутин, В.В. Сускин
(РГРТУ)

Излагаются системные принципы исследования жизненного цикла качества изделий (ЖЦКИ). Рассмотрены первые два этапа жизненного цикла гелий-неоновых лазеров: маркетинг и конструкторская подготовка производства. Рассмотрены CALS-технологии в исследовании ЖЦКИ. Дается описание маркетинговых исследований гелий-неоновых лазеров, применяемых в промышленности. Рассматриваются основные этапы конструкторской подготовки производства гелий-неоновых лазеров, в ходе которых был проведен анализ и корректировка технического задания, были проведены научные и экспериментальные исследования с применением методов физической взаимозаменяемости и теории чувствительности.

Ключевые слова: *жизненный цикл качества изделий, CALS-технологии, маркетинговые исследования, гелий-неоновые лазеры, системные принципы, физическая взаимозаменяемость, стабильность.*

Введение

На современном рынке наукоёмких промышленных изделий решение проблемы повышения их конкурентоспособности проводится в нескольких направлениях. Одним из главных направлений является тотальное управление качеством на основе эффективного управления жизненным циклом изделий (ЖЦИ) с использованием CALS-технологий.

Жизненный цикл (ЖЦ) продукции, как определяет его стандарт ISO 9004 – 1, – это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определённой продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукции. К основным этапам ЖЦ относятся: маркетинг; проектирование и разработка продукции; планирование и разработка процессов; закупки материалов и комплектующих; производство или предоставление услуг; упаковка и хранение; реализация; монтаж и ввод в эксплуатацию; технологическая помощь и сервисное обслуживание; послепродажная деятельность или эксплуатация; утилизация и переработка в конце полезного срока службы. Из приведённых выделим этапы, связанные с обеспечением качества изделий, сформулируем для каждого из этапов цели его исследования, и введём понятие жизненный цикл качества изделий (ЖЦКИ) [1]. Тогда ЖЦКИ будут формировать:

– маркетинг и изучение рынка. Целью этого этапа является разработка технического задания (ТЗ), в котором формулируются основные требования к параметрам, определяющим качество изделия;

– проектирование и разработка продукта. На этом этапе разрабатывается конструкторская документа-

ция, в которой указывается требование к качеству сборочных единиц и изделия согласно ТЗ;

– планирование и разработка процессов. Целью данного этапа является технологическая подготовка производства и оформление технологической документации;

– производство. На этом этапе решается задача выбора заготовок, изготовление сборочных единиц и изделия с заданными в конструкторской документации требованиями к их качеству.

В данной статье будут рассмотрены первые два этапа ЖЦКИ – маркетинг и конструкторская подготовка производства – на примере гелий-неоновых лазеров.

Установленная на этапе содержательного описания множественная характеристика свойств структуры конкретных ЖЦКИ позволяет обоснованно подойти к этапу теоретического изучения выявленных свойств структуры ЖЦКИ. Переход от абстрактного к количественному этапу описания ЖЦКИ можно осуществить на основе использования промежуточных (системных) моделей. Такие модели позволяют установить связь между качественным описанием системы (например с помощью функциональных схем) и количественным описанием системы [2].

CALS-технологии эффективно обеспечивают информационную поддержку изделия на всех этапах жизненного цикла, начиная с маркетинговых исследований и заканчивая утилизацией. Реализация CALS-технологий в практическом плане предполагает организацию единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), объединяющего автоматизированные системы, предназначенные как

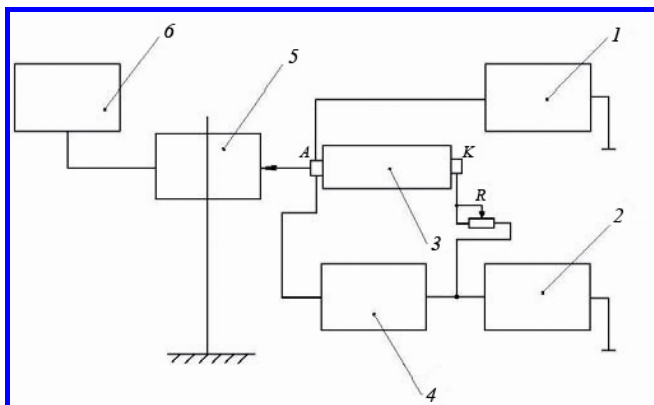


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки: 1 – высоковольтный источник питания с регулировкой величины тока активного элемента; 2 – амперметр; 3 – активный элемент; 4 – киловольтметр; 5 – фотоприёмник ФД-24; 6 – измеритель мощности ИМ-1

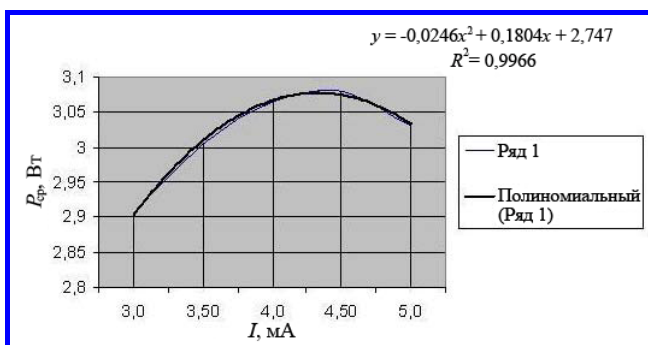


Рис. 2. Сглаженная функция зависимости средней мощности лазерного излучения от тока, потребляемого активным элементом

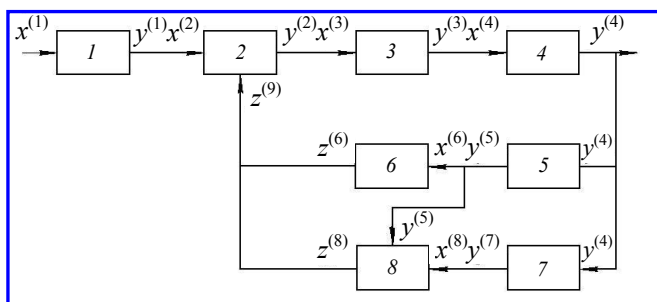


Рис. 3. Структурная схема стабилизированного источника питания гелий-неонового лазера: 1 – выпрямитель; 2 – модулятор; 3 – трансформатор; 4 – умножитель; 5 – датчик тока; 6 – стабилизатор; 7 – блок резисторов; 8 – компаратор

для эффективного решения задач инженерной деятельности, так и для планирования и управления производством и ресурсами предприятия [1].

Рассмотрим основные принципы маркетинговых исследований. Их целью является анализ состояния рынка, прогноз спроса на планируемые изделия и развития их технических характеристик. На данном этапе

жизненного цикла находит применение система CRM (Customer Requirement Management – управление взаимоотношениями с заказчиками). CRM – модель взаимодействия, полагающая, что центром всей философии бизнеса является клиент, а основными направлениями деятельности являются меры по поддержке эффективного маркетинга, продаж и обслуживания клиентов. Среди программных продуктов CRM-системы наиболее широко применяется программа КОМПАС: маркетинг и менеджмент [3].

Среди программных продуктов, используемых в конструкторской подготовке производства, наиболее широко используются программные комплексы T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM, ЛОЦМАН:PLM, а также программы КОМПАС 3D, SolidWorks, P-CAD, Excel.

Маркетинговые исследования гелий-неоновых лазеров

Гелий-неоновые лазеры наиболее изучены, весьма надёжны, монохроматичны (достигнута ширина линии менее 0,1 Гц), имеют малые габариты, массу и стоимость [4]. Проанализировав полученные данные маркетинговых исследований, можно сделать вывод, что основной проблемой существующих гелий-неоновых лазеров является стабилизация их основного параметра – мощности лазерного луча или выходного тока источника питания лазера.

На основе маркетинговых исследований был выбран тип лазеров (гелий-неоновые), которые отличаются высокой оптической однородностью, максимальной когерентностью и т. д. В результате маркетинговых исследований был выбран гелий-неоновый лазер ЛГН-212-1М, применяемый в быстродействующем контрольно-измерительном оборудовании. Вследствие этого и было принято решение снизить нестабильность лазерного излучения с 10 до 0,1 %. Для решения этой задачи необходимо применить системный подход к исследованию источника питания и метод физической взаимозаменяемости, которые позволят выявить дестабилизирующие факторы и добиться требуемой стабильности лазерного излучения. Также была внесена корректировка технического задания, в частности, изменена допустимая нестабильность мощности лазерного излучения гелий-неонового лазера ЛГН-212-1М.

Конструкторская подготовка производства

Аналитические модели зависимости средней мощности лазерного излучения от выходного тока источника питания отсутствуют, следовательно, необходимы экспериментальные исследования на основе методов оптимизации. Для определения оптимального значения выходного тока источника пита-

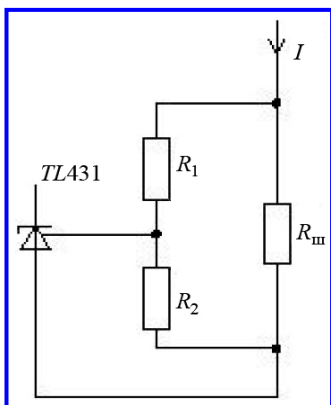


Рис. 4. Эквивалентная схема обратной связи по току

ния (или тока, потребляемого активным элементом) было решено применить метод крутого восхождения (Бокса-Уилсона), так как он объединяет существенные элементы метода Гаусса-Зайделя, градиентного метода и полного факторного эксперимента (дробного факторного эксперимента). Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. В ходе эксперимента было исследовано 15 типовых активных элементов [5].

Исходными являются случайные значения выходного тока источника питания в пределах от 3 до 5 мА (по методу Парето). На выходе получали случайные значения мощности лазерного излучения.

Из обработанных статистических данных получен усреднённый график функции зависимости средней мощности лазерного излучения от выходного тока источника питания. После нахождения линии тренда (аппроксимация в виде параболы) получен график (рис. 2). Функцией оптимизации в данном случае является мощность лазерного излучения, а аргументом является выходной ток источника питания.

Таким образом, выяснено, что оптимальный потребляемый ток, при котором нестабильность мощности лазерного излучения минимальна, равен 4,4 мА.

Также на этапе конструкторской подготовки производства была проанализирована структура источника питания гелий-неонового лазера ЛГН-212-1М и, в частности, её несовершенства [2, 5, 6]. Выявлены факторы, дестабилизирующие выходной ток, и обоснована необходимость введения дополнительной обратной связи (рис. 3 – блоки 7, 8) [7].

Эквивалентная схема обратной связи по току показана на рис. 4.

Для неё была рассчитана целевая функция:

$$U = \frac{IR_{ш}R_2}{R_1 + R_2}.$$

Для обоснования допусков на элементы обратной связи был проведён расчёт физической взаимозаменяемости. Результаты выглядят следующим образом:

$$\Delta R_{ш} = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \cdot 1620; \quad \Delta R_{ш} = 0,5\%;$$

$$\Delta R_1 = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \cdot 10000; \quad \Delta R_1 = 2\%;$$

$$\Delta R_2 = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \cdot 22000; \quad \Delta R_2 = 5\%.$$

В соответствии с рассчитанными допусками выберем элементы обратной связи:

– С2-29В-0,125-1,62 кОм ± 0,5%-1,0-Б ОЖО.467.130 ТУ (резистор $\Delta R_{ш}$);

– С2-29В-0,125-10,0 кОм ± 2%-1,0-А ОЖО.467.130 ТУ (резистор ΔR_1);

– С2-29В-0,125-20,5 кОм ± 5%-1,0-С ОЖО.467.130 ТУ (резистор ΔR_2).

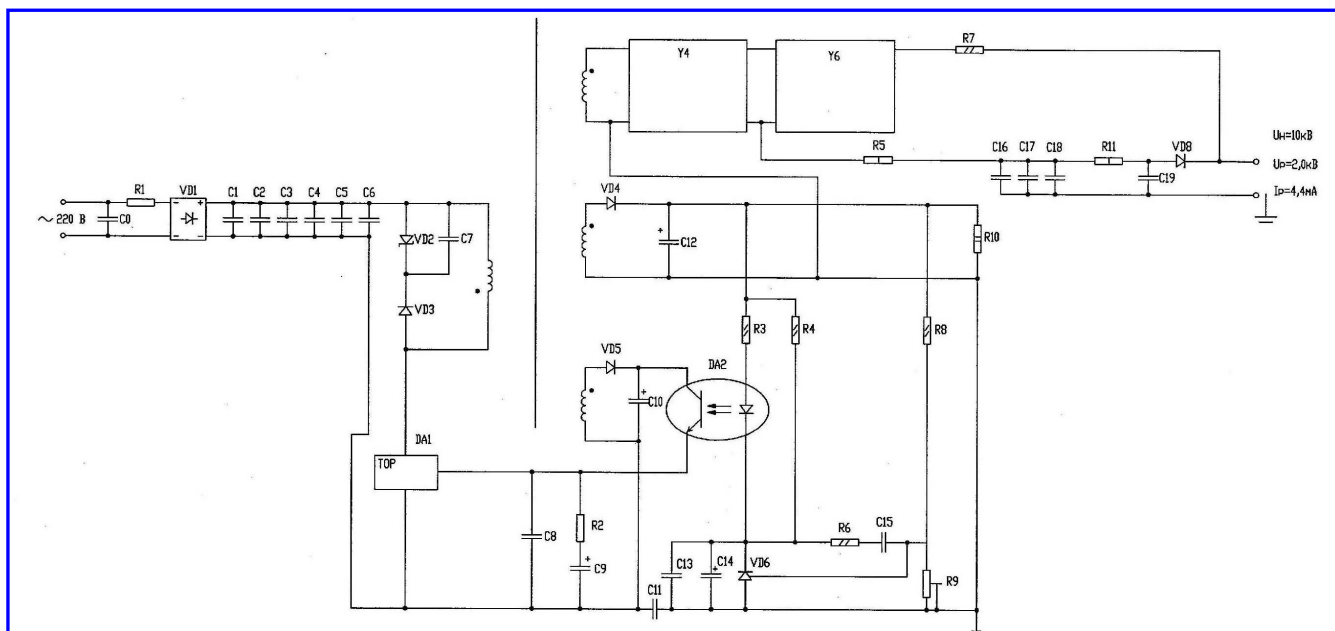


Рис. 5. Исходная электрическая принципиальная схема источника питания гелий-неонового лазера ЛГН-212-1М

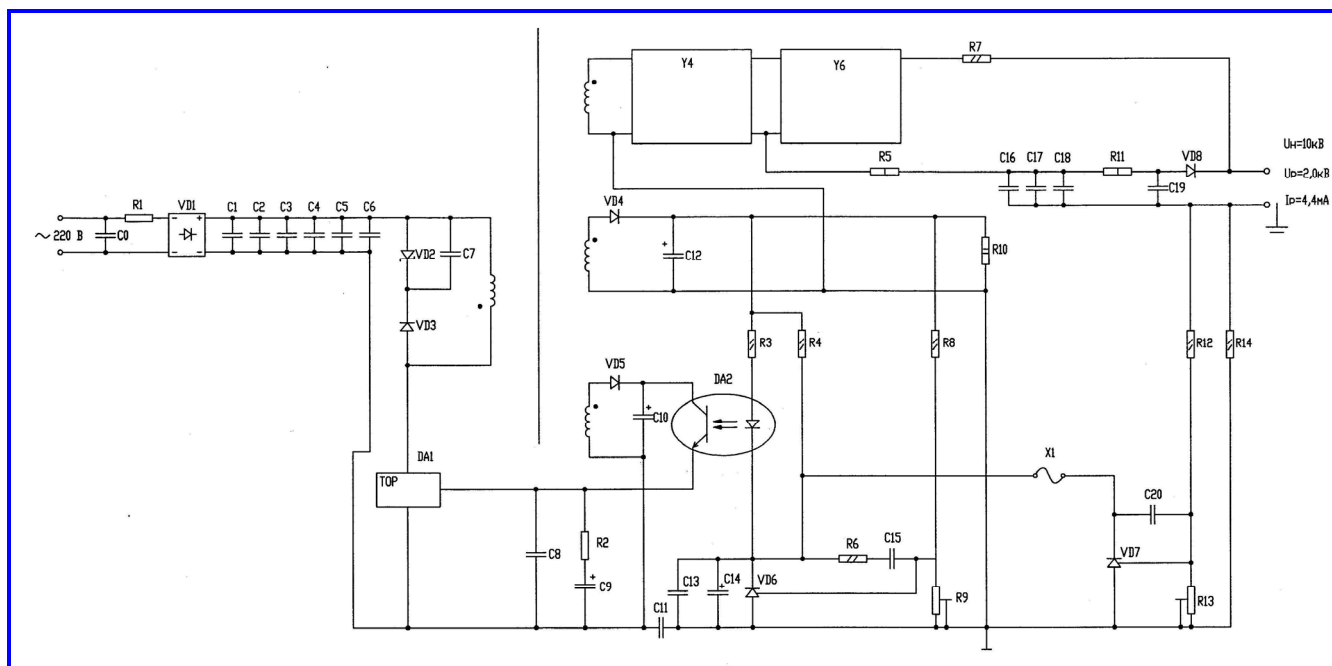


Рис. 6. Электрическая принципиальная схема стабилизированного источника питания гелий-неонового лазера ЛГН-212-1М

По результатам проведённых исследований был разработан печатный узел блока стабилизированного источника питания гелий-неонового лазера ЛГН-212-1М.

Первоначальная схема блока источника питания показана на рис. 5.

После оптимизации, т. е. введения дополнительной обратной связи, электрическая схема источника питания показана на рис. 6.

По результатам проведённых исследований были внесены изменения в техническое задание на разработку гелий-неонового лазера ЛГН-212-1М, который будет поставляться как на внутренний рынок РФ, так и в Индию, Китай, республику Беларусь и др.

Таким образом, поставленная задача стабилизации лазерного излучения с 10 до 0,1 % была выполнена.

Литература

1. Шевченко В. Ф. Принципы формализации исследования жизненного цикла качества изделий / В. Ф. Шевченко, В. Ю. Лазутин // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. – 2008. – Т. 2. – С. 128 – 130.

2. Лазутин Ю. Д. Методы исследований абстрактных технологических процессов / Ю. Д. Лазутин. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1980 – 89 с.

3. Тимофеев М. И. Маркетинг : учебное пособие / М. И. Тимофеев. – 2005. – 137 с.

4. Бруннер В. Справочник по лазерной технике : пер. с нем. / В. Бруннер. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 544 с. : ил.

5. Лазутин Ю. Д. Структурный анализ и выбор управляемых параметров в производстве электронных приборов / Ю. Д. Лазутин. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1978. – 52 с.

6. Лазутин Ю. Д. Методы теории чувствительности в технологии производства электронных приборов / Ю. Д. Лазутин. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1979 – 128 с.

7. Чуляева Е. Г. Исследование и разработка частотно-стабилизированных лазеров для прецизионных измерений : диссертация ... доктора технических наук : 05.27.02. – Рязань, 2005. – 252 с.

Поступила в редакцию 25.01.2011

Анна Олеговна Калинина, инженер, т. (495) 366-30-11, e-mail: vniiem@vniiem.ru.
Юрий Дмитриевич Лазутин, канд. техн. наук, доцент, т. (4912) 46-02-98.
Виктор Васильевич Сускин, д-р техн. наук, профессор, т. (4912) 46-02-98.