

Экспериментальное исследование погрешностей наведения средств измерений на экстремум освещённости сопряжений растров

В. Н. ЯНУШКИН, Ю. Б. КОЛЯДА, Н. Т. КРУШНЯК

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
Москва, Россия, e-mail: yura_kolyada@mail.ru

Рассмотрено растрово-интерференционное устройство для экспериментального исследования погрешностей наведения средств измерений на экстремум освещённости пространственной шкалы, образуемой сопряжением растров. Предложен преобразователь с совмещёнными функциями сканирования, компенсации, интерполяции и наведения, а также высокоточная цифровая экстремальная фотозлектрическая счётно-интерполяционная система, предназначенная для измерений линейно-угловых перемещений.

Ключевые слова: растрово-интерференционное устройство, наведение, преобразователь с совмещёнными функциями, надёжность.

A raster-interference device for experimental research on pointing to the lighting extreme error for the raster conjugation with spatial scale formed by the lighting extremes taken as zero position and reference point is considered. A converter with combined functions of scanning, compensation, interpolation and navigation (SCIN) and a high accuracy digital extreme photoelectric counting-interpolation system (CEFCICI) intended for measurements of linear-angular moves is offered.

Key words: raster-interference device, pointing error, transducer with combined functions, accuracy, reliability.

В линейно-угловых измерениях доминируют оптико-механические средства измерений (СИ). Из всей совокупности погрешностей таких СИ специалисты выделяют две основные группы, существенно влияющие на точность измерений: погрешности наведения (визирования) и отсчёта. Только одновременное уменьшение этих погрешностей эффективно влияет на точность СИ. Точность нанесения штрихов линейных миллиметровых мер составляет 0,5—1,0 мкм, а круговых лимбов 1—2" [1]. Изменяя диаметр лимба, можно регулировать точность измерений. При необходимости повышения точности измерений штриховые меры компарируют и снабжают аттестатами для введения поправок по каждому интервалу. Использование аттестата позволяет проводить измерения с точностью, превышающей точность изготовления мер.

Для широко используемых визуальных СИ множество физических, физиологических и технологических факторов, влияющих на точность, подробно исследовано и изложено в [2]. Погрешность наведения таких СИ составляет 0,2—0,5 мкм, а погрешность отсчитывания доли интервала (периода) меры с помощью микроскопов — десятые доли микрометра. С момента разработки фотозлектрических микроскопов начался новый этап исследований погрешностей наведения на штрих многозначных мер. Погрешность наведения фотозлектрических микроскопов составляет порядка 0,1 мкм и менее. В фотозлектрических СИ, использующих растровое сопряжение, наведение осуществляют на экстремум освещённости комбинационной картины, принимаемый за нулевое положение. Погрешность при этом определяют из соотношения сигнал—шум, на которое влияют собственный шум измерительного тракта, дрейф схемы преобразования сигнала, колебание амплитуды и частоты питающих напряжений, а также погрешности функций преобразования преобразователей.

Дальнейшее развитие линейно-угловых измерений должно происходить в направлении уменьшения погрешностей наведения и отсчёта доли периода исходной меры и исключения субъективных погрешностей путём автоматизации СИ. Для этого необходимо использовать фотозлектрические микроскопы для наведения и интерполяционные и компенсационные преобразователи для отсчёта доли периода мер, а также уменьшать период мер. Выстраивание цепочки из перечисленных преобразователей (последовательное преобразование) малоэффективно и решение проблемы — в совмещении функций различных преобразователей в одном механизме с охватом всех цепей СИ обратной связью. Так появилась идея создания сканирующего компенсационно-интерполятора наведения (СКИН) — преобразователя с совмещёнными функциями сканирования, компенсации, интерполяции и наведения. Сканирующий компенсационный интерполятор наведения можно использовать в СИ с мерами от 100 мкм и до интерференционных шкал, поскольку они аналогичны шкалам, образуемым в пространстве сопряжения растров [3].

Растрово-гидродинамическая аналогия возникновения комбинационных картин, позволившая создать теорию комбинационных растров, и кинематическое изучение плоского движения жидкости, базирующееся на теории функций комплексного переменного, дало возможность сделать выводы о возможности построения с помощью двух растров очень чувствительного индикатора слабых сигналов [4, 5]. Следовательно, обтюрационное сопряжение растров имеет наибольший коэффициент пропускания (контраст 0,87—0,95) и в этом его основное преимущество. Увеличение же обтюрационного сопряжения растров стремится к бесконечности и поэтому обладает наивысшей чувствительностью. Эти заключения позволили авторам довести индекс интерполяции до 2000—4000 значений в периоде мер.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана успешно разрабатывают прецизионные СИ линейно-угловых перемещений с использованием мелкопериодических мер от интерференционных полей до растровых сопряжений. В настоящее время институт получил статус исследовательского университета, возрождается научно-исследовательская деятельность, восстанавливается утраченная материальная база на современной элементной основе [6, 7]. Поэтому исследования погрешностей наведения цифровых экстремальных фотоэлектрических счётно-интерполяционных систем измерений, предназначенных для линейно-угловых перемещений, остаются актуальными.

Методика проведения экспериментальных исследований погрешностей наведения на экстремум освещённости сопряжения метрологических растров и математическая обработка результатов, показавшая, что предельная погрешность при ручном способе наведения составляет около 0,004 мкм, рассмотрены в [8]. Для уменьшения погрешностей путём исключения дополнительных и субъективных погрешностей наведение необходимо осуществлять в поверяемом и образцовом СИ в автоматическом режиме.

Усовершенствованный вариант установки для указанных целей представляет сочетание СКИН магнитоэлектрического типа и цифровой экстремальной фотоэлектрической счётно-интерполяционной системы в качестве блока обработки информации.

На рис. 1 представлена функциональная схема двухканальной растрово-интерференционной измерительной установки для экспериментальных исследований погрешностей наведения на экстремум освещённости пространственной шкалы, образуемой сопряжением растров. По всем признакам данная установка является компаратором [1]. Растрово-интерференционная система включает поверяемое устройство — цифровой фотоэлектрический длинномер [6] и образцовое измерительное устройство — цифровой фотоэлектрический интерферометр [7, 9]. Процесс измерений заключается в попеременном наведении на экстремумы освещённости пространственных шкал растрового сопряжения и интерференционного поля (картины). Основные элементы и принцип действия вышеперечисленных приборов описаны в [6, 7, 9].

На рис. 2 представлена структурная схема обработки измерительных сигналов. Буквами A , B , C и A' , B' , C' обозначены цепи связи измерительной растрово-интерференционной головки с электронными блоками ЭБ обработки сигналов. Использование в системах измерений сканирующих компенсационных интерполяторов наведения на экстремум освещённости сопряжений растровых мер и интерференционных картин, а также цифровой фотоэлектрической счётно-интерполяционной системы для обработки сигналов позволяет построить оптимальную по составу и оригинальную по решению универсальную систему, позволяющую комплексно решить проблему повышения точности измерений линейных и угловых перемещений [10].

При экспериментальных исследованиях выявлено, что погрешность наведения на экстремумы освещённости пространственных шкал с использованием растрово-интерференцион-

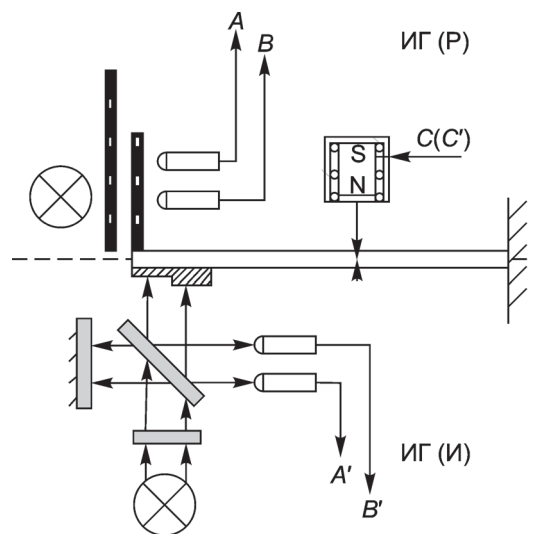


Рис. 1. Функциональная схема растрово-интерференционной головки:

ИГ (Р), ИГ (И) — измерительные головки растровая и интерференционная, соответственно

ной измерительной головки и цифровой экстремальной фотоэлектрической счётно-интерполяционной системы измерений составляет $\pm 0,5$ дискрет отсчёта. В неё входят систематическая, случайная и дополнительная погрешности. Автоматическое наведение позволяет исключить субъективную погрешность, которую можно определить благодаря повышенной точности интерференционного преобразователя, оцениваемой как $\lambda/2000$, где $\lambda = 0,6054$ мкм (для криптона 86) [7]. Случайную погрешность определяют при многократном наведении на экстремум освещённости пространственной шкалы. Для сокращения температурной цепи индикаторные элементы растрового и интерференционного преобразователей (индикаторный растр и интерферентное зеркало) устанавливают на общем якоре СКИН. Дополнительные погрешности входят в погрешность наведения и определяются соотношением сигнал—шум измерительного тракта. Для конкретного СИ погрешность наведения на экстремум освещённости пространственной шкалы можно определить только экспериментально и с использованием СКИН и цифровой экстремальной фотоэлектрической счётно-интерполяционной системы измерений, так как такие СИ всегда наводятся автоматически на экстремум освещённости пространственной шкалы сопряжений растров и интерференционной картины.

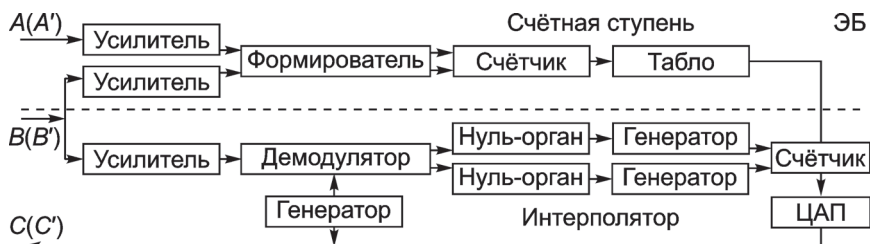


Рис. 2. Структурная схема обработки измерительных сигналов:

ЭБ — электронный блок; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь

Л и т е р а т у р а

1. **Крупин Н. Я.** Оптико-механические измерительные приборы. М.: Машгиз, 1962.
2. **Федоров А. Д.** Исследование метрологической точности проекционных измерительных приборов типа УИМ, БМИ и БП: Автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук. М., 1955.
3. **Янушкин В. Н.** Разработка и исследование сканирующих компенсационных интерполяторов для устройств точного измерения перемещений: Автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук. М., 1975.
4. **Мироненко А. В.** Фотоэлектрические измерительные системы А. В. Мироненко. М.: Энергия, 1967.
5. **Валюс Н. А.** Растровая оптика. М.: Госкомиздат, 1949.
6. **Янушкин В. Н., Коляда Ю. Б., Крушняк Н. Т.** Длинномер фотоэлектрический цифровой // Измерительная техника. 2013. № 10. С. 23—24.

7. **Янушкин В. Н., Коляда Ю. Б.** Прецизионные фотоэлектрические преобразователи перемещения в нанометрии // Измерительная техника. 2014. № 8. С. 16—18.

8. **Янушкин В. Н.** Экспериментальное исследование погрешности наведения на экстремум освещённости сопряжения метрологических растров // Применение оптико-электронных приборов в измерительной технике: Сб. докладов семинара МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского. 1973. С. 53.

9. **Коляда Ю. Б., Королёв Ю. С., Крушняк Н. Т., Разгулин В. Г., Янушкин В. Н.** Цифровой фотоэлектрический интерферометр для измерения перемещений // Измерительная техника. 2001. № 6. С. 17—18.

10. **А. с. 1422002 СССР.** Устройство для измерения перемещений / А. В. Мироненко // Открытия. Изобретения. 1988. № 33.

Дата принятия 26.05.2015 г.

ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

004.738.2

Результаты экспериментальных исследований реальной неопределённости шкал времени потребителей NTP-серверов уровня Stratum 1

И. Ю. БЛИНОВ, С. Н. КАГАН, С. А. СЕМЁНОВ

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, г. п. Менделеево, Московская обл., Россия, e-mail: skagan@vniiftri.ru

Дана краткая информация о NTP-серверах ВНИИФТРИ. Приведены данные экспериментальных исследований по определению реального расхождения системных шкал времени компьютеров потребителей относительно UTC(SU) при синхронизации по группе NTP-серверов уровня Stratum 1, а также результаты удалённого мониторинга шкал времени NTP-серверов.

Ключевые слова: NTP-сервер, шкала времени, синхронизация, мониторинг, смещение.

Brief information on VNIIFTRI Stratum 1 NTP servers is provide. Experimental research data for determining real systematic timescale difference of user's computers relating to UTC(SU) with synchronization of group NTP servers of Stratum 1 level is presented. Remote monitored results of NTP servers timescales are shown.

Key words: NTP-server, timescale, synchronization, monitoring, uncertainty.

Широкое распространение компьютерных систем привело к появлению нового класса потребителей точного времени. Это различные технические системы, использующие компьютеры и требующие синхронизации их системного времени с точностью от нескольких миллисекунд до секунды. Например, системы, применяющие электронную регистрацию финансовых операций, в которых обязательна оцифровка времени совершения сделки, системы синхронизации многочисленных локальных компьютерных сетей, регистрации продолжительности телефонных переговоров в обычных и сотовых телефонных системах, временного трафика в сети Интернет и др.

Для синхронизации системного времени компьютеров можно использовать различные методы и средства, опирающиеся на систему передач эталонных сигналов частоты и времени по различным каналам связи. Однако для компьютеров, подключённых к глобальной сети Интернет, наиболее простым и удобным является применение синхронизации по имеющимся в сети эталонным серверам времени — NTP-серверам. На сегодняшний день синхронизация времени в компьютерных сетях происходит с использованием специально разработанных стандартных протоколов. Самый популярный протокол синхронизации шкал времени компьютеров — протокол NTP (Network Time Protocol) версии v.4,