

**ВРЕМЕННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Ю. К. ШЕЛКОВНИКОВ, В. Р. ЦИБУЛЬСКИЙ, А. И. ЛЫСОВ

(Представлена научным семинаром кафедры радиотехники)

В последнее время в качестве поверочной аппаратуры для проверки цифровых вольтметров повышенной точности с успехом применяются источники с авторегулированием выходного напряжения (генераторы-калибраторы — ГК). Известно, что основным узлом ГК, определяющим его метрологические характеристики, является преобразователь, осуществляющий компарирование переменного напряжения с постоянным напряжением опоры. Нестабильность преобразователя, как и опорного источника, целиком и полностью входит в нестабильность выходного напряжения ГК. Очевидно, что для генератора с высокой долговременной стабильностью выходного напряжения нужно иметь: либо достаточно большую частоту коммутации переменного напряжения с постоянным, исключаящую долговременную нестабильность преобразователя, либо преобразователь с приемлемой долговременной стабильностью. Требование линейности коэффициента преобразования в широком динамическом диапазоне в данном случае не является доминирующим (преобразователь работает в одной рабочей точке диапазона). Качество преобразователя определяется стабильностью коэффициента передачи, частотной характеристикой, быстродействием.

В данной работе исследована временная стабильность фотоэлектрического преобразователя (ФП), достоинствами которого являются большой коэффициент передачи, отсутствие гальванической связи между управляющей и управляемой цепями, хорошая кратковременная стабильность. Лучшие метрологические характеристики ФП были получены при использовании в качестве преобразователя электрической энергии в световую маломощных ламп накаливания типа НСМ и в качестве световоспринимающего элемента фоторезисторов типа СФ 2-5. Временная нестабильность ламп накаливания обусловлена:

- 1) наличием у некоторых типов серийных ламп поддерживающей траверсы, замыкающей при толчках и вибрации различное число витков спирали, что неизбежно ведет к скачкам сопротивления лампы;
- 2) креплением нити накала способом зажима части спирали, что при вибрации вызывает замыкание витков вблизи токоподводов;
- 3) полупроводниковой структурой (CuO) переходного контакта в точке зажима вольфрама платинитом;
- 4) процессом старения нити, который происходит не только от испарения вольфрама, но и от внутрискруктурных изменений.

Получение малых временных нестабильностей ламп накаливания связано, по крайней мере, с тремя условиями:

- 1) проведением предварительной тренировки ламп перед установкой в аппаратуру (суточным прогревом в номинальном режиме);
- 2) выбором рационального режима работы лампы ($1,1 \div 1,2 I_{зак}$);
- 3) использованием наиболее оптимальной для измерительных цепей конструкции. В данном случае таковой, на наш взгляд, является софитная с приваркой концов нити к траверсам.

Была снята временная стабильность ламп накаливания различных типов (около сотни ламп типа НСМ 6×150 , 9×60 , 6×20 , 12×5 опытных образцов). Исследования показали, что лучшей временной стабильностью (порядка $0,001\%$ за час после предварительного прогрева) обладают отдельные образцы ламп типа НСМ 6×150 софитной конструкции с приваркой прямых концов к токоподводам. Для ламп 6×20 с крючком типичной является нестабильность порядка $0,01 \div 0,05\%$ за час. Критерием стабильности фоторезисторов служит неизменность их светового тока (при постоянном приложенном напряжении и световом потоке), так как другие параметры в процессе эксплуатации практически не изменяются. На колебания светового тока могут влиять прямым или косвенным образом различные факторы: температурный коэффициент, рассеиваемая мощность, температура и относительная влажность окружающей среды и т. д. Основной и причем необратимой составляющей нестабильности фоторезисторов является процесс старения. Старение световоспринимающих элементов вызвано медленным изменением свойств материала светочувствительного слоя и состоянием его поверхности. Этот процесс в значительной степени зависит от технологии изготовления и конструктивных особенностей. Исследование фотосопротивлений ФСК-2П, СФ2-2, СФ3-2, ФСК-Г7, СФ2-5, ОС-4-681-010, фотодиодов КФДМ показало, что в качестве световоспринимающего элемента желательнее использовать фоторезисторы СФ2-5. Изготовленные на основе сернистого кадмия, они отличаются небольшим температурным коэффициентом при низких освещенностях и приемлемой временной стабильностью. Была сделана попытка найти минимальную нестабильность фоторезисторов СФ2-5 путем изменения режима последних (приложенного напряжения и светового потока). Усредненные данные исследования партии фоторезисторов (10 штук) иллюстрированы (рис. 1),

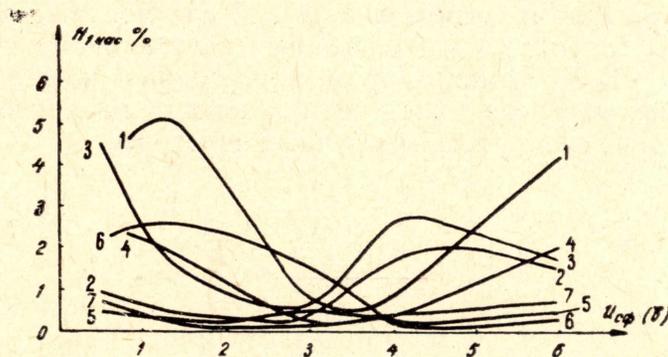


Рис. 1

где показана нестабильность фоторезисторов при различных приложенных напряжениях и световых потоках. Кривая 1 соответствует освещенности, при которой сопротивление фоторезистора $R_{\phi} = 145 \text{ ком}$, кривая 2—75 ком, 3—53 ком, 4—25 ком, 5—10 ком, 6—8 ком и 7—2 ком.

Из-за технологического разброса параметров фоторезисторов (в частности, для одной освещенности значения сопротивлений фоторезисторов могут отличаться в $2 \div 3$ раза) затруднительно дать практические рекомендации (например, график зависимости приложенного

к фоторезисторам напряжения от их освещенности для получения минимальной нестабильности). Тем не менее можно отметить, что наиболее целесообразно прикладывать к фоторезисторам напряжение $2 \div 4$ в. Но и в этом диапазоне для получения минимальной нестабильности потребуется дополнительная подстройка режима. Для режима $U_{\phi} = 3$ в, $R_{\phi} = 30$ ком была снята временная нестабильность за 5 часов без прогрева 70 фоторезисторов СФ2-5. Результаты показали, что время установления режима (утомляемость) для СФ2-5 составляет $30 \div 40$ минут, кратковременная нестабильность за 10 минут в установленном режиме $0,01\%$.

Следовательно, при оптимальной настройке ФП стабильность в установленном режиме определяется и лампочками, и фоторезисторами. В первых образцах ГК, созданных на кафедре радиотехники ТПИ, использовались компараторы разновременного сравнения, нестабильность выходного напряжения которых в основном определялась компаратором, так как нестабильность опорного источника составляла $0,001 \div 0,003\%$ за час. Временной дрейф выходного напряжения указанных ГК был:

ГК-4 — $0,03\%$ за 15 мин;
ГК-5 — $0,03\%$ за 15 мин;
ГК-6 — $0,01\%$ за 10 мин;
ГК-7 — $0,01\%$ за 10 мин.

Средняя нестабильность за минуту менее $0,005\%$. Долговременная нестабильность ФП исключалась сравнением переменного напряжения с постоянным с помощью ручного уравновешивания в момент измерения. Одним из путей улучшения метрологических характеристик ГК явилось создание дифференциальных компараторов на основе двух ФП с идентичными монотонными характеристиками старения. Имея снятые временные характеристики ламп накаливания и фоторезисторов, нетрудно подобрать два ФП с примерно аналогичными кривыми дрейфа. В таком преобразователе выходной дрейф и время прогрева меньше, чем в преобразователях разновременного сравнения. ГК-10 с дифференциальным ФП имеет временной дрейф менее $0,01\%$ за 10 минут. Дрейф, определяемый неидентичностью пар ФП, можно снизить, изменяя коэффициенты передачи пар (токи ламп, освещенность). После монтажа ФП в генератор проводится окончательная сквозная настройка на минимальную нестабильность, ГК-8 с компаратором, настроенным подобным образом, после трех часов прогрева имеет нестабильность порядка $0,005\%$ за 4 часа работы без дополнительных ручных подстроек.