

**ОБ АВТОРЕ**

Гизатуллин Фарит Абдулганеевич, профессор, зав. кафедрой электрооборудования ЛА и наземного транспорта УГАТУ. Дипл. инженер по электрическим машинам и аппаратам (УАИ, 1972), д-р техн. наук по тепловым двигателям ЛА, элементам и устройствам вы-

числительной техники и систем управления (УГАТУ, 1994). Исследования и разработки в области систем зажигания двигателей ЛА, воспламенения горючих смесей искровыми разрядами, цифровой диагностической аппаратуры для контроля параметров быстротекущих импульсных процессов.

УДК 621.384

**УСИЛИТЕЛЬ ФОТОТОКА  
С КОРРЕКЦИЕЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ФОТОПРИЕМНИКА**

**А. И. ИВАНОВ, А. Д. АБРАМОВ**

Факультет авиационного приборостроения УГАТУ  
Тел: (3472) 23 78 36 E-mail: selena@mail.rb.ru

Описан метод снятия статической характеристики фотоприемника, а также способы ее линеаризации в измерительном усилителе

*Фотоприемник; статическая характеристика; нелинейность*

Одним из вариантов реализации портативного фотоколориметрического анализатора является конструкция с открытым оптическим каналом на основе малогабаритной оптоэлектронной пары типа светодиод-фотодиод и организации импульсного режима работы оптического канала, позволяющего эффективно компенсировать влияние внешней освещенности [1, 2].

При этом измерение концентраций растворов в широком диапазоне оптических плотностей связано с необходимостью работать в области малых световых потоков на начальном участке световой характеристики фотоприемника.

В процессе эксплуатации наиболее подходящих по параметрам чувствительности и площади кристалла фотодиодов типа ФДК-155, ФД-263, ФД-256 было установлено, что их световая характеристика на начальном участке имеет нелинейный характер, который проявляет себя в условиях изменяющейся фоновой засветки. Исследование и анализ характеристики чувствительности фотодиодов, а также разработка простых способов учета нелинейности их световой характеристики послужили целью данной работы.

Известные методики [3] получения характеристик фотоприемников направлены на определение дифференциальной крутизны с использованием моделей абсолютно черного тела и механического модулятора потока излучения. В настоящей работе предлагается методика, использующая неэталонный источник излучения с постоянным световым потоком необходимого спектрального состава, выступающим в качестве относительной единицы измерения падающего на фотодиод излучения. При этом измеряется реакция фотоприемника на постоянный световой поток при кратных ему уровнях фоновой засветки. Предлагается, по сути, способ задания оптической рабочей точки фотодиода, позволяющий с фиксированным шагом изменять падающий на фотоприемник световой поток без использования градуированного источника. Процесс построения статической харак-

теристики является итеративным и поясняется на рис. 1.

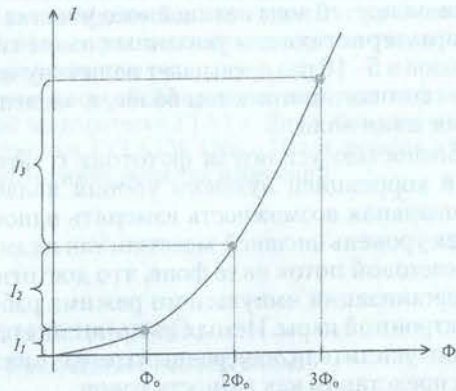


Рис. 1

На первом шаге на фотоприемник воздействует постоянный световой поток  $\Phi_0$ , который создаст на его выходе фототок величиной  $I_1$ . На следующем шаге источник  $\Phi_0$  отключается и замещается источником смещения  $\Phi_{см}$ , создающим фототок, равный величине  $I_1$ , в результате рабочая точка фотодиода перемещается вправо по оси светового потока на величину  $\Phi_0$ . Возобновление потока  $\Phi_0$  вызывает появление уже суммарного фототока  $I_1 + I_2$ . Далее источник  $\Phi_{см}$  замещает удвоенный поток  $\Phi_0$  и создает фототок, равный данной сумме токов, и т. д. Таким образом, по оси абсцисс последовательно откладываются значения светового потока, кратные величине  $\Phi_0$ . Это позволяет равномерно двигаться по оси светового потока с шагом  $\Phi_0$ , независимо от характера и степени нелинейности световой характеристики фотоприемника. Каждая точка статической характеристики определяется как сумма реакций  $I_n$  на суммарный световой поток  $n\Phi_0$ .

Для реализации данного метода было разработано устройство, с помощью которого испытаны фотодиоды типов ФДК-155, ФД-263, ФД-256

и по полученным данным методом наименьших квадратов найдена аппроксимирующая аналитическая зависимость для характеристики чувствительности фотодиодов в области рабочих фототоков следующего вида

$$I(\Phi) = C_1 \Phi + C_2 (e^{-\Phi/\tau} - 1), \quad (1)$$

где  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $\tau$  — константы, соответствующие конкретному экземпляру фотодиода.

При исследовании характеристик чувствительности важно оптимально выбрать величину потока  $\Phi_0$  (и, следовательно, число итераций), уменьшение которой повышает информативность, но при этом возрастают требования к стабильности и разрешающей способности измерительных устройств. Для получения характеристики чувствительности с погрешностью 5% величину потока  $\Phi_0$  необходимо выбирать на порядок меньше  $\tau$ .

При разработке фотокориметра с оптоэлектронным оптическим каналом оказалось, что при работе светодиода даже на пределе его энергетических возможностей зона нелинейного участка световой характеристики для указанных выше типов фотодиодов в 5–10 раз превышает величину измеряемого светового потока, тем более, в «зеленом» диапазоне длин волн.

Особенностью усилителя фототока с автоматической коррекцией нулевого уровня является принципиальная возможность измерять одновременно как уровень внешней засветки, так и сам полезный световой поток на ее фоне, что достигнуто за счет организации импульсного режима работы оптоэлектронной пары. Исходя из принципа работы данного усилителя, измеренный с его помощью фототок представим как разность токов

$$I(\Phi_X) = I(\Phi_3 + \Phi_X) - I(\Phi_3), \quad (2)$$

где  $\Phi_X$  — полезный измеряемый световой поток;  $\Phi_3$  — уровень внешней засветки. Запишем это выражение с учетом (3) и найдем величину фототока, создаваемого полезным световым потоком

$\Phi_X$  при некотором уровне внешней засветки  $\Phi_3$ :

$$I(\Phi_X) = C_1 \Phi_X + C_2 e^{-\Phi_3/\tau} (e^{-\Phi_X/\tau} - 1). \quad (3)$$

Разложив экспоненциальное слагаемое выражения (5) в ряд и ограничившись при этом его линейным членом, имеем

$$I(\Phi_X) = C_1 \Phi_X + C_2 (e^{-\Phi_3/\tau} - 1) - \frac{C_2}{\tau} (e^{-\Phi_X/\tau} - 1) \Phi_3. \quad (4)$$

Отсюда видно, что наиболее простым вариантом коррекции нелинейности является поправка вида

$$\Delta = k \Phi_3 + b, \quad (5)$$

где значения коэффициентов  $k$  и  $b$  равны

$$b = C_2 (e^{-\Phi_3/\tau} - 1), \quad k = -\frac{b}{\tau}. \quad (6)$$

Эффективность такой коррекции можно увидеть из рис. 2, на котором изображены графики приведенных к величине  $C_1 \Phi_X$  относительных ошибок в зависимости от величины  $\Phi_3$  подсветки фотоприемника. Номером 1 обозначен график ошибок без коррекции, номером 2 — коррекцией для коэффициентов  $k$  и  $b$ , выбранных согласно (6). Как видно из второй кривой, ее коэффициенты можно уточнить с целью уменьшения абсолютной ошибки, при этом кривая ошибок приобретает вид кривой под номером 3.

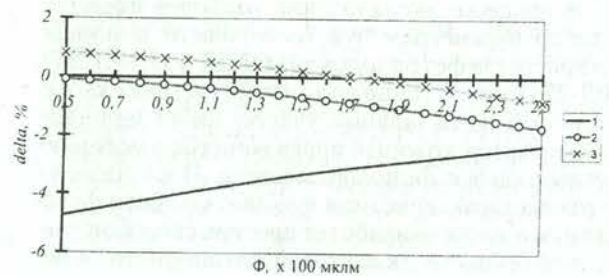


Рис. 2

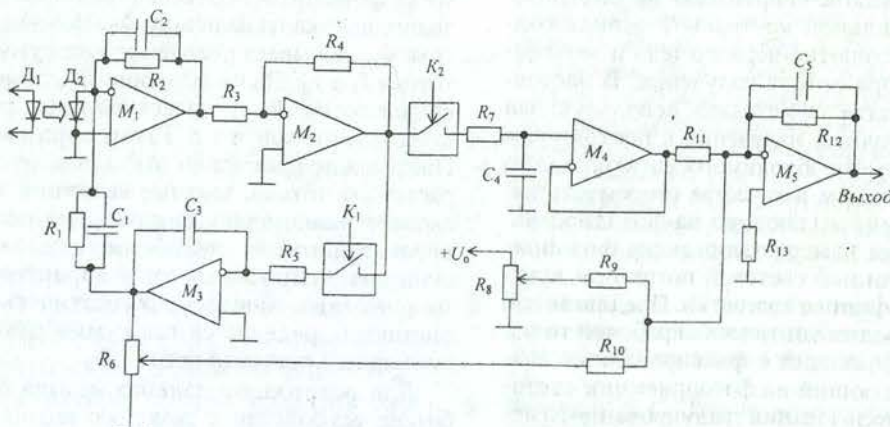


Рис. 3

На рис.3 изображен фрагмент принципиальной схемы измерительного усилителя [2], дополненный цепью коррекции нелинейности. В частности, введен реализованный на операционном усилителе  $M_5$  сумматор выходного напряжения усилителя и напряжения поправки. С помощью потенциометров  $R_6$  и  $R_8$  устанавливаются значения коэффициентов  $k$  и  $b$  соответственно.

Еще одним вариантом уменьшения погрешности измерения является способ, при котором рабочая точка фотоприемника стабилизируется отдельным контуром обратной связи по уровню внешней засветки при помощи дополнительного источника потока смещения. Это позволяет стабилизировать рабочую точку фотоприемника при изменении условий внешней освещенности и соответственно устранить влияние нелинейности его характеристики чувствительности.

Для экземпляров фотоприемников с малым коэффициентом нелинейности можно ограничиться лишь введением постоянной подсветки, достаточной для того, чтобы сместить рабочую точку фотоприемника с нелинейного участка в линейную область.

Последние два варианта требуют введения дополнительного источника светового потока в измерительный канал, что связано с усложнением конструкции оптического блока, а также с необходимостью в дополнительных аппаратных затратах на схему управления источником подсветки.

Описанный способ линейной коррекции по уровню внешней засветки был реализован в анализаторе фотокolorиметрическом портативном АФП-01, прошедшем испытания для целей утверждения типа средств измерений. Погрешность от нелинейности фотоприемника в АФП-01 имеет величину не более  $\pm 0,001$  по оптической плотности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухитдинов М. А., Мусаев Э. С. Светоизлучающие диоды и их применение. М.: Радио и связь, 1988. 80 с.
2. Иванов А. И., Абрамов А. Д. Усилитель фототока с автоматической коррекцией нулевого уровня // Приборы и техника эксперимента. 1998. № 2. С. 57–59.
3. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учебное пособие для вузов. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-е), 1977. 600 с.

#### ОБ АВТОРАХ

**Иванов Анатолий Иванович**, профессор каф. промышленной электроники УГАТУ. Дипл. инженер электронной техники (НЭТИ, 1966), канд. техн. наук по элементам и техническим средствам систем управления (УАИ, 1973). Исследования в области систем управления силовыми установками.

**Абрамов Алексей Джоржович**, аспирант каф. промышленной электроники УГАТУ. Дипл. инженер электронной техники (УГАТУ, 1996). Исследования в области фотокolorиметрических измерений.

УДК 621.9.011

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

**В. В. ПОСТНОВ**

Факультет авиационно-технологических систем УГАТУ  
Тел: (3472) 23 05 26

Изложены особенности напряженно-деформированного состояния зоны контакта инструмента с деталью при нестационарном резании металлов. Разработана модель процесса стружкообразования, учитывающая влияние скорости изменения элементов режима резания на уровень и характер изменения деформаций и напряжений на контактных поверхностях инструмента. Приведены экспериментальные данные по результатам исследования деформаций и сил резания при нестационарной обработке жаропрочных никелевых сплавов

*Нестационарность резания; скорость и ускорение резания; зона сдвига*

#### ВВЕДЕНИЕ

Большинство процессов механообработки реализуется при нестационарном нагружении режущих инструментов. Это может быть обусловлено как переменностью внешних факторов — режима обработки, физико-механических параметров обрабатываемой заготовки, жесткости технологической системы, — так и внутренней нестабильностью процесса резания, связанной с циклическим характером стружкообразования, значительным градиентом удельных нагрузок, температур и скоростей деформации на контактных поверхно-

стях инструмента, изменением температурно-силовой нагруженности зоны обработки вследствие необратимого роста износа режущего инструмента.

Эффективное использование мехатронных станочных систем требует разработки физически обоснованных математических моделей контактных процессов, учитывающих закономерности нестационарного нагружения режущего инструмента. Разработка таких моделей составила цель настоящей работы, определила ее необходимость и актуальность.