

Рисунок 3 - ФНЧ – фильтр нижних частот; ПНТ – преобразователь напряжение – ток.

В заключение следует отметить, что спроектированный уровнемер имеет стоимость сопоставимую с поплавковым уровнемером, но в то же время во многом превосходит его по точности.

АППРОКСИМАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ОПТРОННЫХ СТРУКТУР ФУНКЦИЯМИ ГАУССА

Матюнин С.А., Борисов А.Б., Иноземцев М.Ю., Савельев А.В.

Известно [1], что удачный выбор аппроксимирующей экспериментальные данные функции во многом определяет простоту и удобство дальнейшего анализа.

Применение наиболее используемых рядов ортогональных функций (например, тригонометрический ряд и др.) зачастую приводит к огромному количеству членов ряда. Например, аппроксимация цуга синусоидальной волны (рис. 1) рядом Фурье дает плохо сходящийся бесконечный ряд. Задача усложняется в случае аналитического анализа и оптимизации характеристик аппаратуры. Такая ситуация возникает, в частности, при аппроксимации характеристик оптоэлектронных элементов многокомпонентных оптронных структур спектрального взаимодействия (МОС) [2], когда возникает необходимость с достаточно высокой точностью знать аналитическую зависимость спектральных характеристик оптоэлектронных элементов (ОЭЭ) от многочисленных факторов. Рассматриваемый ряд гауссиан, может применяться для аппроксимации как выпуклых, так и для многоэкстремальных функций.

Обобщенную структуру любого оптоэлектронного измерительного устройства можно представить [2] в виде источника излучения (ИИ), при-

емника излучения (ПИ) и оптической среды (ОС), передающей излучение от ИИ к ПИ.

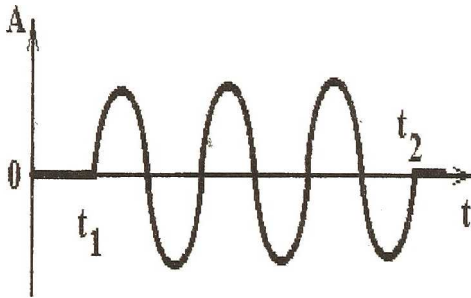


Рисунок 1.

При этом, воздействие информативных параметров может происходить как на ИИ, так и на ОС. Например, в устройствах гальванической развязки аналоговых сигналов – оптронах, воздействие информативного параметра осуществляется посредством управления режимом работы ИИ, а оптоэлектронных аналого-цифровых датчиках перемещения – посредством пространственной модуляции ОС.

Во всех случаях, изменение условий эксплуатации сказывается как на характеристиках ИИ (для светодиодных ИИ температурный коэффициент изменения мощности излучения доходит до 1,5-2 %/°C), так и на характеристиках ОС и ФП. Правда, во многих случаях изменением параметров ОС можно пренебречь. Часто для уменьшения потерь в канале ОС на элементы ИИ, ПИ и ОС (линзы, делители светового потока и др.) наносятся тонкопленочные просветляющие покрытия. При этом, получившиеся элементы МОС обладают совершенно иными спектральными и температурными характеристиками – полученные в результате просветления температурные характеристик МОС в значительной мере отличаются от исходных, а для полупроводниковых ИИ – существенно ухудшаются.

Проведенные экспериментальные исследования элементов МОС позволяют с высокой степенью точности представить их энергетическо-спектральные характеристики в виде:

$$\begin{aligned} \Phi^*(\lambda, t) &= \Phi_M(t) \cdot \Phi[\lambda - \lambda_{\Phi M}(t)], \\ T^*(\lambda, t) &= T_M(t) \cdot T[\lambda - \lambda_{TM}(t)], \\ S^*(\lambda, t) &= S_M(t) \cdot S[\lambda - \lambda_{SM}(t)], \end{aligned} \quad (1)$$

где: $\Phi^*(\lambda, t), T^*(\lambda, t), S^*(\lambda, t)$, $\Phi[\lambda - \lambda_{\Phi M}(t)], T[\lambda - \lambda_{TM}(t)], S[\lambda - \lambda_{SM}(t)]$ – абсолютные и относительные спектральные характеристики мощности излучения ИИ, пропускания ОС и чувствительности ПИ соответственно $\Phi_M(t), T_M(t), S_M(t)$ – температурные зависимости максимума излучения

ИИ, пропускания ОС и чувствительности ПИ; $\lambda_{\phi M}(t), \lambda_{LM}(t), \lambda_{SM}(t)$ - температурные зависимости длины волны максимума излучения ИИ, пропускания ОС, чувствительности ПИ; λ, t - длина волны и температура соответственно. При этом характерно, что, практически, не зависимо от физической природы элементов МОС, наблюдается температурный сдвиг их спектральных характеристик.

Так, например, температурная зависимость абсолютной спектральной характеристики излучения арсенидогалиевого инфракрасного диода (АЛ115, АЛ118 и др.) с погрешностью не более 4% в диапазоне температур $-40 \dots +80^\circ\text{C}$ аппроксимируется одной гауссианой:

$$\begin{aligned} \Phi^*(\lambda, t) &= \Phi_M(t) \cdot \Phi[\lambda, t], \\ \Phi[\lambda, t] &= e^{-K_\phi(t) \cdot (\lambda - \lambda_M(t))^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где: $K_\phi(t) = K_{\phi 0} + K_{\phi 1} \cdot (t - t_H) + K_{\phi 2} \cdot (t - t_H)^2 + \dots$ - температурная зависимость полуширины спектральной характеристики; $\lambda_M(t) = \lambda_{M0} + \lambda_{M1} \cdot (t - t_H) + \lambda_{M2} \cdot (t - t_H)^2 + \dots$; $t \in [t_H, t_B]$ - нижнее и верхнее значение температуры.

В тоже время, добавление к данной функции еще одной гауссианы, снижает погрешность аппроксимации почти в десять раз.

В общем случае аппроксимирующий ряд гауссиан $F[\lambda, t]$ будет иметь вид:

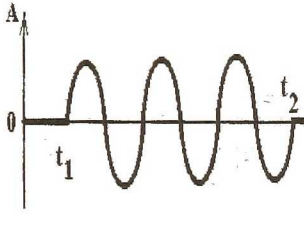
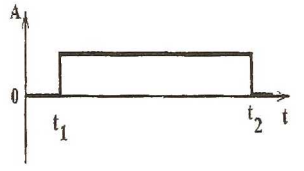
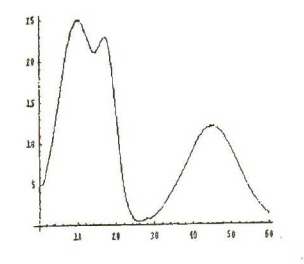
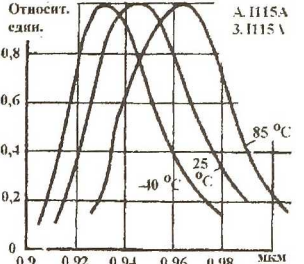
$$F[\lambda, t] = \sum_{i=0}^N A_i(t) \cdot e^{-K_i(t) \cdot [\lambda - \lambda_i(t)]^2}, \quad (3)$$

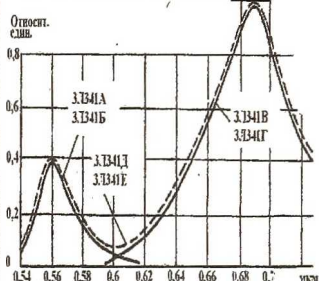
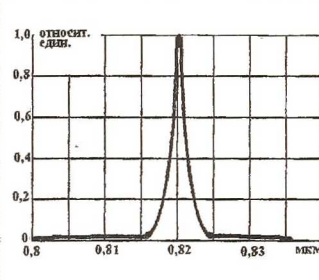
а в качестве критерия оптимальной аппроксимации можно использовать критерий минимума интегральной среднеквадратичной ошибки аппроксимации в заданном диапазоне температур $[t_H, t_B]$:

$$\delta = \int_{t_H}^{t_B} \int_{-\infty}^{\infty} (\Phi[\lambda, t] - \sum_{i=0}^N A_i(t) \cdot e^{-K_i(t) \cdot [\lambda - \lambda_i(t)]^2})^2 d\lambda \rightarrow \min. \quad (4)$$

Разработан алгоритм и программа решения задачи (4) методом Гаусса-Зейделя. В таблице 1 приведены результаты аппроксимации ряда тестовых функций и сравнение их с результатами аппроксимации тригонометрическим рядом. Как видно из таблицы 1 для многих функций количество членов ряда и погрешность аппроксимации для ряда гауссиан значительно ниже, чем для ряда Фурье.

Таблица 1.

Функция	Рисунок	Аппр. функ-ция	Средн. огн. погрешн.	Количество членов ряда
$\Phi(\lambda) = \begin{cases} 0, \text{ при } t \leq t_1, t \geq t_2 \\ \sin(\omega t), \text{ при } t_1 \leq t \leq t_2 \end{cases}$		pГ	0,1	8
		pФ	0,04	12
$\Phi(\lambda) = \begin{cases} 0, \text{ при } t \leq t_1, t \geq t_2 \\ 1, \text{ при } t_1 \leq t \leq t_2 \end{cases}$		pГ	0,04	6
		pФ	0,08	10
$\Phi(\lambda) = e^{-K_{\phi}(\lambda - \lambda_0)^2} + e^{-K_{\phi}(\lambda - \lambda_1)^2} + e^{-K_{\phi}(\lambda - \lambda_2)^2}$		pГ	0,009	4
		pФ	0,1	8
Спектральная характеристика ИК светодиода АЛ115А		pГ	0,095	3
		pФ	0,01	10

Спектральная характеристика светодиода АЛ341Е (желтый)		рГ	0,012	6
		рФ		12
Спектральная характеристика узкополосного интерференционного фильтра $\Phi(\lambda) = \frac{A}{B + D \cdot \sin^2(2\pi n_2 d_2 / \lambda)}$		рГ	0,023	6
		рФ		13

Примечание рГ- аппроксимация-гауссианами; рФ- аппроксимация рядом Фурье

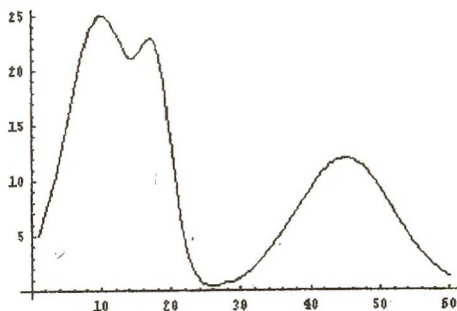


Рис.2. График исходной функции.

На рисунках 2-6 представлены зависимости исходной тестовой функции (п.3 таблицы 1), результаты и погрешности аппроксимации, сравнительная зависимость погрешности аппроксимации от количества членов аппроксимирующих рядов.

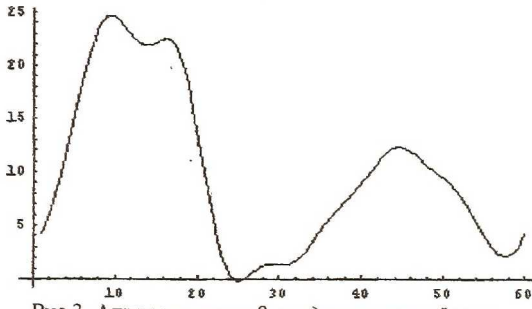


Рис.3. Аппроксимация 8-ю членами ряда Фурье.

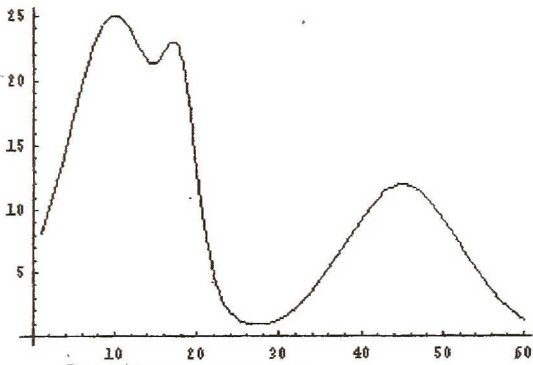


Рис.4. Аппроксимация 4-мя гауссианами.

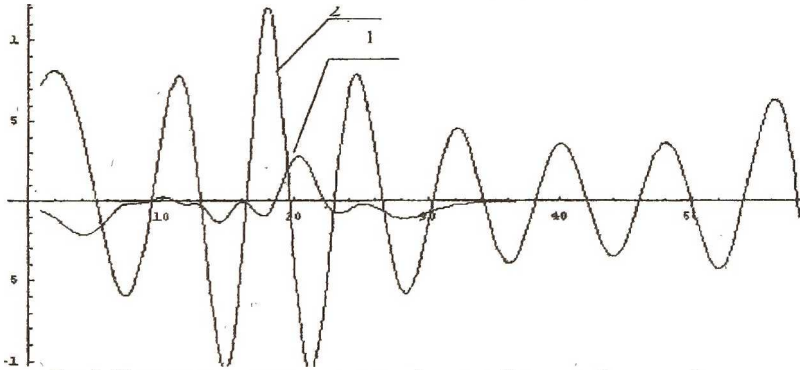


Рис.5. Погрешность аппроксимации: 1- рядом гауссиан, 2- рядом Фурье.

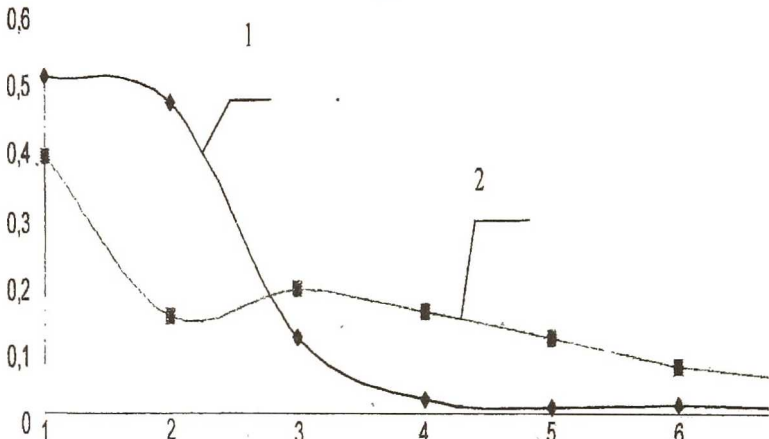


Рис. 6. Зависимость максимальной относительной погрешности аппроксимации от количества членов ряда: 1 – ряд гауссиан, 2 – ряд Фурье.

Как видно из сравнения рисунков 2-6, предложенный ряд достаточно эффективен для аппроксимации спектральных характеристик элементов МОС.

Список использованных источников

1. Н.Н. Калиткин. Численные методы. Наука, М., 1978
2. С.А. Матюнин. Многокомпонентные оптоэлектронные аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. Научно-техническая конференция "Датчик-2001". Крым, Судак. 24-31 мая 2001.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Тюлюков П.В., Иванов В.В.

Для измерения магнитных полей был разработан прибор "Мираж", включающий пять трехкомпонентных феррозондовых датчиков и блок обработки и запоминания информации. Блок обработки имел оперативную и долговременную память. Результаты измерений включались в состав телеметрической информации, которая два раза в сутки передавалась на наземный пункт приема.

Во время орбитального полета магнитное поле измерялось в пяти точках приборного отсека КА "Фотон" и раз в пять секунд результаты измерений записывались в энергонезависимую память (флэш-память), которая сохраняет информацию и после отключения питающего напряже-