нение уровней сигналов на преобразователях *3* и *4* с уровнем сигнала на преобразователе *1* позволяет сделать выводы о примерной величине потерь, вносимых дифракционной решеткой.

Диаграммы, характеризующие работу различных решеток (линии равных уровней импульсных сигналов, принятых выходным преобразователем в его различных положениях вдоль направления $\varphi = -30°$), представлены на рис. 2. Координаты на плоскости *xy* отнесены к величине λ_0. Уровни сигнала обозначены в условных единицах (одна единица соответствует 0,0005 В). Как видно из рисунка, наилучшими свойствами обладает решетка с переменным шагом расположения неоднородностей. При ее работе действительно наблюдается фокусировка сигнала в расчетной точке.

Зависимость угла φ^1, под которым наблюдается дифракционный максимум первого порядка при падении на дифракционную решетку плоской монохроматической волны, определяется выражением [1]

$$\sin\varphi^1 = \pm \lambda/d, \qquad (1)$$

где λ — длина волны, взаимодействующей с решеткой.

Для проверки выполнения соотношения (1) в области ПАВ излучающий преобразователь возбуждался синусоидальным напряжением амплитудой 10 В, частота которого изменялась на ± 50 кГц от значения 1,5 МГц. При этом наблюдались углы отклонения первого порядка: $\varphi_1{}^1 = -29°$, $\varphi_2{}^1 = -31°$ — для верхнего и нижнего значений частоты соответственно, что полностью соответствует выражению (1).

Изменение угла φ^1 в зависимости от частоты сигнала наблюдалось для решеток всех типов, причем ожидаемая расфокусировка диаграммы решетки с переменным шагом не была значительной.

1. *Калитиевский Н. И.* Волновая оптика. М., Наука, 1971. 376 с.

Поступила в редколлегию 13.08.81

УДК 621.372.5.088

В. Я. ДВОРСКИЙ, мл. науч. сотр.

ПОГРЕШНОСТЬ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ГРУППОВОГО ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ МЕТОДОМ СИМПСОНА

Фоточастотные характеристики $\varphi(\omega)$ каналов связи обычно определяют путем интегрирования группового времени запаздывания $\tau(\omega)$. Формулы для оценки погрешностей интегрирования методами Эйлера $\Delta\varphi_Э(\omega)$ и трапеций $\Delta\varphi_Т(\omega)$ получены в работе [1]

$$\Delta\varphi_Э(\omega) = \int_0^{\omega} \tau(\omega)\, d\omega - \sum_{i=0}^{m-1} \tau(i\Delta\omega)\Delta\omega = \frac{\Delta\omega}{2}[\tau(\omega) - \tau(0)] + \Delta\varphi_Т(\omega); \qquad (1)$$

$$\Delta\varphi_{\text{т}}(\omega) = \int_0^{\omega} \tau(\omega)\,d\omega - \Delta\omega\left[\frac{\tau(\omega)+\tau(0)}{2} + \sum_{i=1}^{m-1}\tau(i\Delta\omega)\right] =$$

$$= \sum_{k=1}^{n} b_k R_k \sin\left(\omega\frac{2\pi k}{\Delta\Omega} - \psi_k\right), \qquad (2)$$

где $R_k = 1 - \pi k\frac{\Delta\omega}{\Delta\Omega}\operatorname{ctg}\left(\pi k\frac{\Delta\omega}{\Delta\Omega}\right)$; $b_k = \Delta\Omega a_k/2\pi k$; $\Delta\Omega$ — полоса интегрирования; $\Delta\omega$ — шаг интегрирования, a_k и ψ_k — амплитуда и начальная фаза k-й гармоники разложения $\tau(\omega)$ в ряд Фурье.

Погрешность метода Симпсона

$$\Delta\varphi_{\text{С}}(\omega) = \int_0^{\omega}\tau(\omega)\,d\omega - \frac{\Delta\omega}{6}\left\{[\tau(0)+\tau(\omega)] + 2\sum_{i=0}^{m-1}\tau(\omega_{2i}) + \right.$$

$$\left. + 4\sum_{i=0}^{m-1}\tau(\omega_{2i+1})\right\}.$$

После несложных преобразований

$$\Delta\varphi_{\text{С}}(\omega) = \frac{1}{3}\left\{\int_0^{\omega}\tau(\omega)\,d\omega - \Delta\omega\left[\frac{\tau(0)+\tau(\omega)}{2} + \sum_{i=1}^{m-1}\tau(i\Delta\omega)\right]\right\} +$$

$$+ \frac{4}{3}\left\{\int_0^{\omega}\tau(\omega)\,d\omega - \frac{\Delta\omega}{2}\sum_{i=0}^{m-1}\tau\left(i\frac{\Delta\omega}{2}\right)\right\} - \frac{2}{3}\left\{\int_0^{\omega}\tau(\omega)\,d\omega - \right.$$

$$\left. - \Delta\omega\sum_{i=0}^{m-1}\tau(i\Delta\omega)\right\}.$$

С учетом выражений (1) и (2) получаем

$$\Delta\varphi_{\text{С}}(\omega) = \sum_{k=1}^{n} b_k Q_k \sin\left(\omega\frac{2\pi k}{\Delta\Omega} - \psi_k\right),$$

где $Q_k = \frac{1}{3}(4R'_k - R_k)$; R'_k — значение множителя R_k при шаге интегрирования $\Delta\omega/2$.

Формулы (3) и (2) отличаются только множителями R_k и Q_k. Расчеты показывают, что относительной погрешности интегрирования порядка $1 \div 3$ % соответствует шаг метода Симпсона, равный $3 \div 7$ шагам метода трапеций.

1. *Гойжевский В. А., Дворский В. Я., Трилис В. Г.* Интегрирование группового времени запаздывания.— Измерение параметров радиотехнических сигналов и цепей в физических исследованиях. Красноярск, 1977, с. 57—60.

Поступила в редколлегию 13.07.81