

К ВОПРОСУ О РАССТРОЙКАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКА

Е. А. Заболотская, С. И. Солуян

В работе [1] описан параметрический усилитель ультразвука, основанный на взаимодействии волн, распространяющихся под углом друг к другу. Необходимый угол между взаимодействующими волнами определяется условиями синхронизма. Оценим область допустимых отклонений угла от угла синхронизма φ , определяемого выражением (8) работы [1]. Напишем укороченные уравнения (12) работы [1] в координатах p и q : p — координата вдоль направления распространения волны сигнала, q — вдоль направления разностной волны.

$$\frac{\partial P}{\partial p} = \alpha Q^*; \quad \frac{\partial Q}{\partial q} = \alpha P^*. \quad (1)$$

Исключая Q и Q^* из уравнений (1), получим уравнение для комплексной амплитуды волны сигнала:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial p \partial q} = |\alpha|^2 P. \quad (2)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$P = P_0 e^{a p + b q}, \quad (3)$$

или в координатах x, z

$$P = P_0 e^{\frac{1}{2} \left(\frac{a-b}{\cos \varphi} x + \frac{a+b}{\sin \varphi} z \right)}. \quad (4)$$

Коэффициенты a и b должны удовлетворять уравнению:

$$ab = |\alpha|^2. \quad (5)$$

Если волна сигнала распространяется вдоль направления синхронизма, то a и b вещественные. Чтобы удовлетворить граничным условиям (17) работы [1], нужно положить

$$a = b = |\alpha|, \quad |\alpha| / \sin \varphi [1]. \quad (6)$$

Коэффициент усиления волны в этом случае равен

Допустим, что волна сигнала отклонилась от направления синхронизма на малый угол $\Delta\varphi$. Тогда коэффициенты a и b становятся комплексными. Чтобы удовлетворить уравнению (5) и граничным условиям (17) работы [1], a и b должны быть комплексносопряженными:

$$a = |\alpha| e^{i\psi}, \quad b = |\alpha| e^{-i\psi}. \quad (7)$$

Тогда выражение (4) примет вид

$$P = P_0 e^{i \frac{|\alpha| \sin \Psi}{\cos \varphi} x + \frac{|\alpha| \cos \Psi}{\sin \varphi} z}. \quad (8)$$

Отсюда видно, что нарушение условий синхронизма приводит к уменьшению коэффициента нарастания волны и к изменению волнового вектора. Обозначим измененный волновой вектор волны сигнала через \mathbf{k}_1' . Он имеет компоненты:

$$k_{1x}' = k_{1x} + \frac{|\alpha| \sin \Psi}{\cos \varphi}; \quad k_{1z}' = k_{1z}. \quad (9)$$

Взаимное расположение волновых векторов волны накачки (\mathbf{k}_n) волны сигнала (\mathbf{k}_1) и измененного волнового вектора волны сигнала (\mathbf{k}_1') показано на фиг. 1. При $\psi = \pm\pi/2$ волна сигнала не усиливается, при этом

$$k_{1x}' = k_{1x} \pm \frac{|\alpha|}{\cos \varphi}, \quad (10)$$

$$\Delta\varphi = \pm \frac{|\alpha|}{k} \operatorname{tg} \varphi. \quad (11)$$

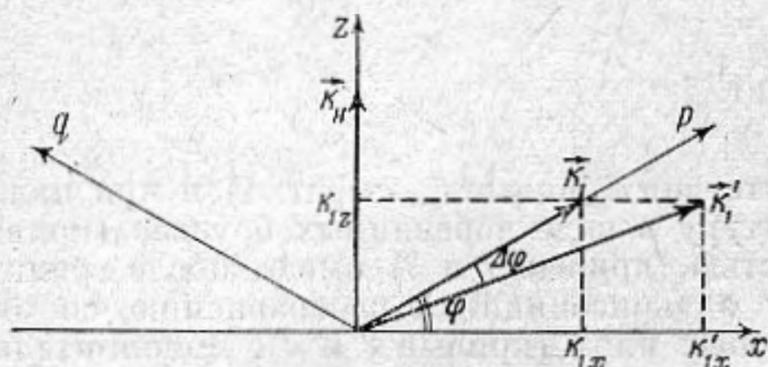
Теперь рассмотрим, каковы допустимые расстройки между волнами по частоте. Пусть частота сигнала $\omega + \Delta\omega$, частота накачки 2ω , разностная частота $\omega - \Delta\omega$. Угол φ уже не является углом синхронизма. Определим угол синхронизма φ' для данного

соотношения частот. Из фиг. 2 видно

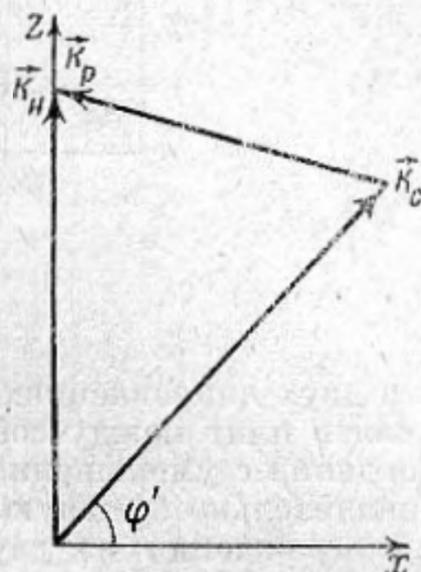
$$k_p^2 = k_c^2 + k_n^2 - 2k_c k_n \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi'\right), \quad (12)$$

где k_p — волновое число разностной волны, k_c — волновое число волны сигнала, k_n — волновое число волны накачки. Выражая волновые числа через частоты и скорости волн и считая $\Delta\omega$ малой величиной, получим

$$\sin \varphi' = \sin \varphi + \frac{\cos^2 \varphi}{\sin \varphi} \frac{\Delta\omega}{\omega} \quad (13)$$



Фиг. 1



Фиг. 2

т. е. изменение частоты на $\Delta\omega$ эквивалентно отклонению от направления синхронизма на угол $\Delta\varphi$, определяемый выражением

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta\omega}{\omega} \operatorname{ctg} \varphi. \quad (14)$$

Учитывая соотношение (11), можно определить область допустимых изменений частоты

$$\frac{|\Delta\omega|}{\omega} < \frac{|\alpha|}{k} \operatorname{tg}^2 \varphi. \quad (15)$$

Таким образом, допустимые рассогласования между волнами по углу (11) и по частоте (15) определяются только нелинейными свойствами среды.

Оценим величину $\Delta\omega/\omega$. Для этого запишем выражение (15) в виде

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{2\pi} \frac{\lambda}{l_e}, \quad (16)$$

где l_e — длина, на которой сигнал усиливается в e раз, λ — длина волны сигнала.

Если в усилителе используется нелинейность упругих свойств твердого тела, то $\lambda/l_e \sim 10^{-3}$.

Если же усилитель основан на нелинейном взаимодействии подвижных электронов с пьезоэлектрическими полями в CdS [2], то $\lambda/l_e \sim 10^{-2}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Заболотская, С. И. Солуян, Р. В. Хохлов. Параметрический усилитель ультразвука. Акуст. ж., 1966, 12, 2, 188—191.
2. Е. А. Заболотская, С. И. Солуян, Р. В. Хохлов. Комбинированный ультразвуковой усилитель. Акуст. ж., 1966, 12, 4, 435—442.

Кафедра волновых процессов
Московского государственного университета

Поступило в редакцию
23 ноября 1965 г.

УДК 534.833.522.4:62.022

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ДВОЙНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

В. И. Заборов, Л. Н. Блячко

При проектировании двойных звукоизолирующих ограждений важное значение имеет правильный выбор соотношений физико-геометрических параметров плит, составляющих двойное ограждение. Теоретическая сторона этого вопроса обсуждалась в работе [1]. Ниже приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований.