

УДК 681.883.67.001.24

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НА НАПРАВЛЕННОСТЬ АНТЕННЫ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

© 1994 г. С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко

Санкт-Петербургский электротехнический университет

197376 Санкт-Петербург, ул. Попова, 5

Поступила в редакцию 12.05.93 г.

При расчете характеристик направленности (ХН) антенн в импульсных режимах часто полагают заданной форму импульса колебательной скорости  $v(t)$ . Однако в большинстве случаев реально известна форма импульса электрического напряжения  $U(t)$ , возбуждающего преобразователи антенны. В результате переходных процессов в преобразователях форма и длительность импульса  $v(t)$  могут существенно отличаться от таковых для  $U(t)$ , что, в свою очередь, может повлиять на ХН [1]. Обычно используются преобразователи резонансного типа, которые можно характеризовать механической добротностью  $Q$ . Для пьезокерамических преобразователей, нагруженных на водную среду, значения добротности, как правило, превышают единицу. Входная механическая проводимость преобразователя приближенно выражается формулой

$$Y(\omega) = Q / \left\{ \omega_0 m \left[ 1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] \right\},$$

где  $\omega$  и  $\omega_0$  – текущая и резонансная угловые частоты соответственно;  $m$  – эффективная масса. Возбуждающий импульс  $U(t)$  принят в виде отрезка синусоиды, содержащего целое число полупериодов частоты  $\omega_0$ . ХН понимается в интегральном смысле:  $R_p(\theta) = \left[ \int_{-\infty}^{\infty} p^2(\theta, t) dt \right]^{1/2}$ , где  $p(t)$  – звуковое давление;  $\theta$  – угол между направлением на точку наблюдения и нормалью к антенне. Потенциал  $\varphi(t)$ , создаваемый отдельным преобразователем, пропорционален колебательной скорости  $v(t)$ :  $\varphi(t) \sim \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) Y(\omega) e^{j\omega t} d\omega$ , где  $F(\omega)$  – спектральная функция импульса  $U(t)$ . Вводя безразмерную частоту  $\gamma = \omega/\omega_0$  и выражая звуковое давление  $p(t)$  через потенциал, получаем  $p(t) \sim \rho \omega_0^2 j \int_{-\infty}^{\infty} F(\gamma) Y(\gamma) \gamma e^{j\gamma \omega_0 t} d\gamma$ . Интегрирование в бесконечных пределах заменим интегрированием по конечному промежутку  $(-\gamma_b, \gamma_b)$  таким образом, чтобы отброшенная часть спектра была достаточно мала. Далее можно преобразовать интеграл к интегралу по промежутку  $(0, \gamma_b)$ . Введем также безразмерное время  $T = t/(T_0/2)$ , где  $T_0$  – пе-

риод резонансных колебаний. В случае возбуждения, например, одним полупериодом электрического напряжения  $U$  получаем

$$p(T) \sim Q \operatorname{Re} \int_0^{\gamma_b} \frac{\gamma \cos\left(\frac{\gamma\pi}{2}\right) e^{j\Phi}}{1 - \gamma^2 \sqrt{1 + Q^2 \left(\gamma - \frac{1}{\gamma}\right)^2}} d\gamma,$$

где  $\Phi = \gamma\pi T + (1 - \gamma) \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \left[ Q \left( \frac{1}{\gamma} - \gamma \right) \right]$ .

При вычислении интеграла на ЭВМ принято  $\gamma_b = 7$ . При этом в отброшенной части спектра  $F(\gamma) \leq 0.016$  для длительности импульса  $\tau_n = T_0/2$  и  $F(\gamma) < 0.01$  для  $\tau_n = \frac{3}{2} T_0$ . На рис. 1 приведены графики  $p(T)$  для добротностей: а)  $Q = 1$  и б)  $Q = 5$  при  $\tau_n = T_0/2$ . Видно, что даже при весьма низкой добротности  $Q = 1$  импульс звукового давления затянут более чем на три полупериода по сравнению с импульсом электрического напряжения. С увеличением добротности  $Q$  длительность акустического импульса еще более возрастает.

В данной работе рассчитывались ХН линейной антенны из девяти преобразователей, центры которых расположены на расстоянии  $\lambda_0/2$  друг от

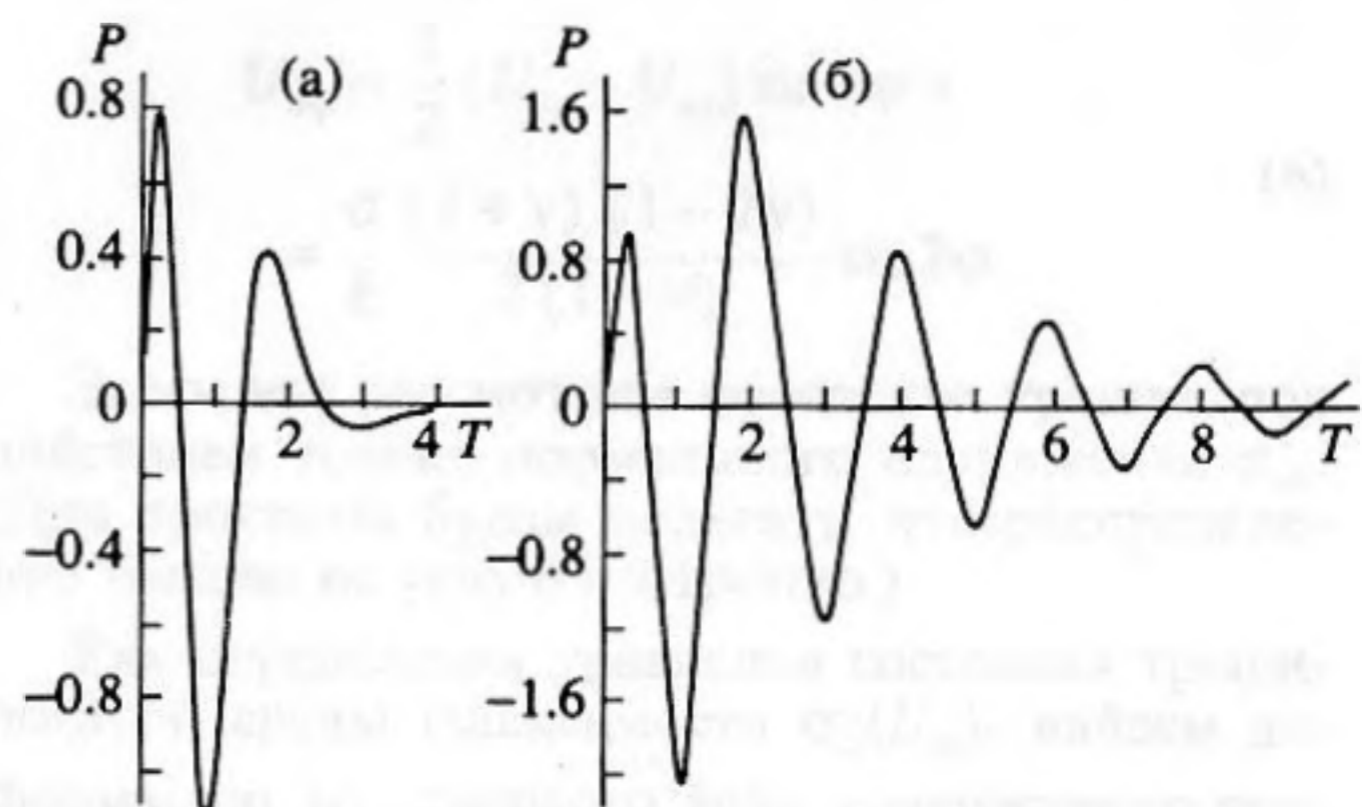


Рис. 1.

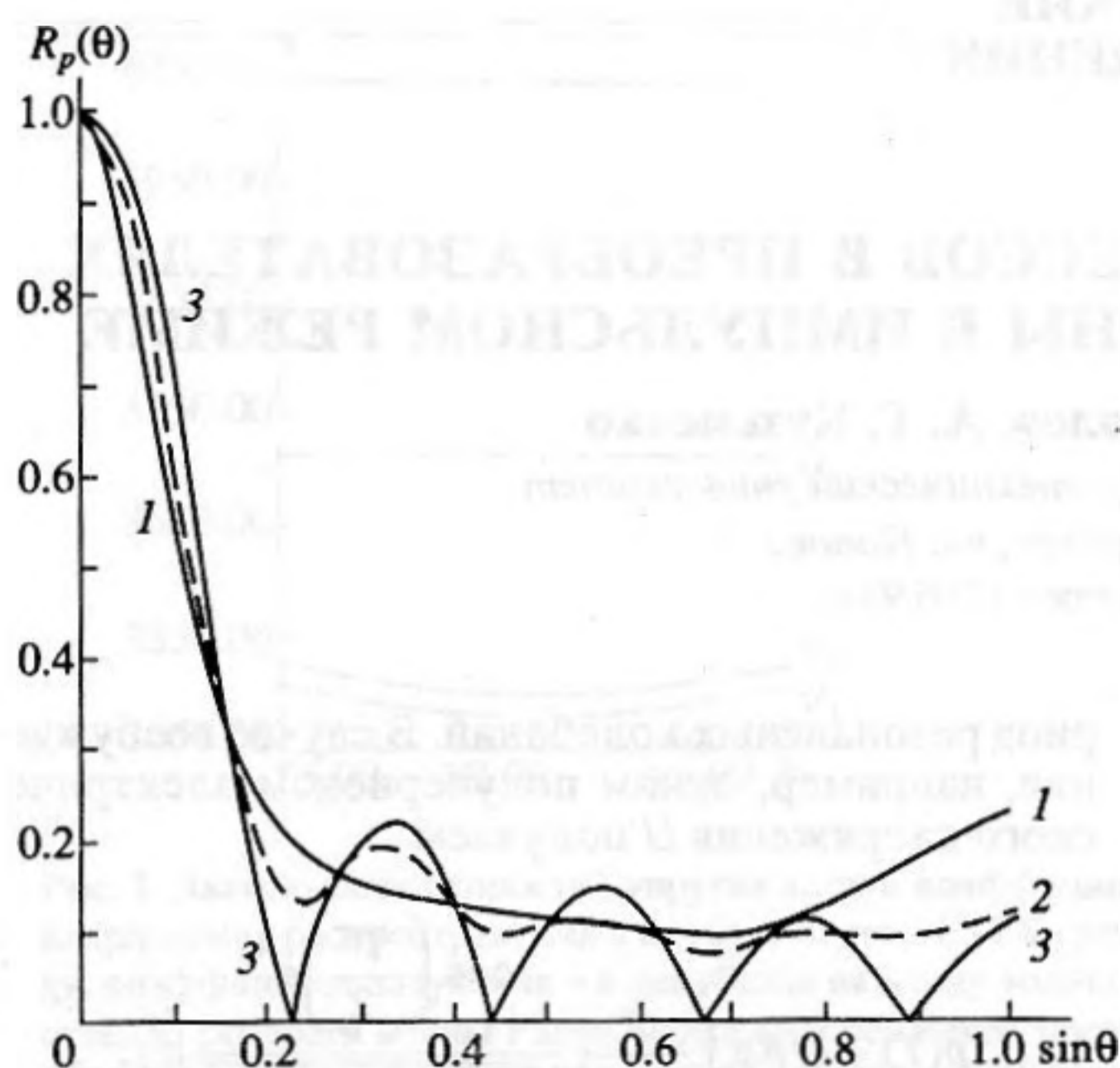


Рис. 2.

друга. При этом предполагалось, что можно пренебречь взаимодействием преобразователей в антенне. Учет взаимодействия потребовал бы конкретизации геометрической формы и размеров преобразователей, а также заметно усложнил бы задачу. Основное внимание здесь уделялось влиянию частотных свойств преобразователей на ХН. Обозначим  $T^* = \left(t - \frac{r_0}{c}\right) / \left(\frac{T_0}{2}\right)$ ,

где  $r_0$  — расстояние от центра антенны до точки наблюдения. Суммируя давления, создаваемые каждым из источников, с учетом геометрической разности хода между ними, получаем  $p(T^*) = \sum_{i=-J}^J p_i \left[ \left(\frac{T_0}{2}\right) (T^* + i \sin \theta) \right]$ . Если при расчетах учитывается  $N$  периодов переходного процесса на преобразователе, то  $p_i(T^*) \neq 0$  при ус-

ловии  $0 \leq T^* + i \sin \theta \leq 2N$ . Поэтому суммирование по  $i$  нужно выполнять с учетом этого условия. Обозначим через  $J$  число источников на половине антенны (кроме нулевого). Учитывая, что  $i$  может принимать наибольшие по модулю значения  $\pm J$ , а  $(\sin \theta)_{\max} = 1$ , из предыдущих неравенств получим условие для максимального времени существования сигнала в точке наблюдения  $-J \leq T^* \leq 2N + J$ . Это условие используется для определения пределов интегрирования по времени в формуле для ХН. Расчет ХН производился на ЭВМ ЕС-1061. На рис. 2 приведены расчетные ХН при возбуждении антенны одним полупериодом электрического напряжения. Кривая 1 соответствует добротности  $Q = 1$ , а кривая 2 —  $Q = 5$ . Для сравнения приведена кривая 3 — ХН антенны в непрерывном режиме. Можно видеть, что в области главного лепестка ХН кривые 1 и 2 мало отличаются. Основные отличия проявляются в области больших углов  $\theta$ . С увеличением добротности  $Q$  начинают появляться боковые максимумы и минимумы, положение которых соответствует ХН в непрерывном режиме. Кроме того, с увеличением  $Q$  уменьшается уровень ХН при углах  $Q$ , близких к  $90^\circ$ .

Расчеты, выполненные также для ряда других значений  $Q$ , в том числе и  $Q < 1$ , показали, что ХН в области основного лепестка слабо зависит от добротности преобразователя и не очень существенно отличается от ХН в непрерывном режиме. Это можно объяснить тем обстоятельством, что даже низкодобротный преобразователь далек от идеально широкополосного. Из широкого спектра электрического импульса преобразователь вырезает область частот вблизи резонансной частоты  $f_0$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домаркас В.И., Кажис Р.-И.Ю. Контрольно-измерительные пьезоэлектрические преобразователи. Вильнюс: Минтис, 1975.