

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 ω и ω_0 – текущая и резонансная угловые частоты соответственно; m – эффективная масса. Возбуждающий импульс $U(t)$ принят в виде отрезка синусоиды, содержащего целое число полупериодов частоты ω_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; θ – 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

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

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

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

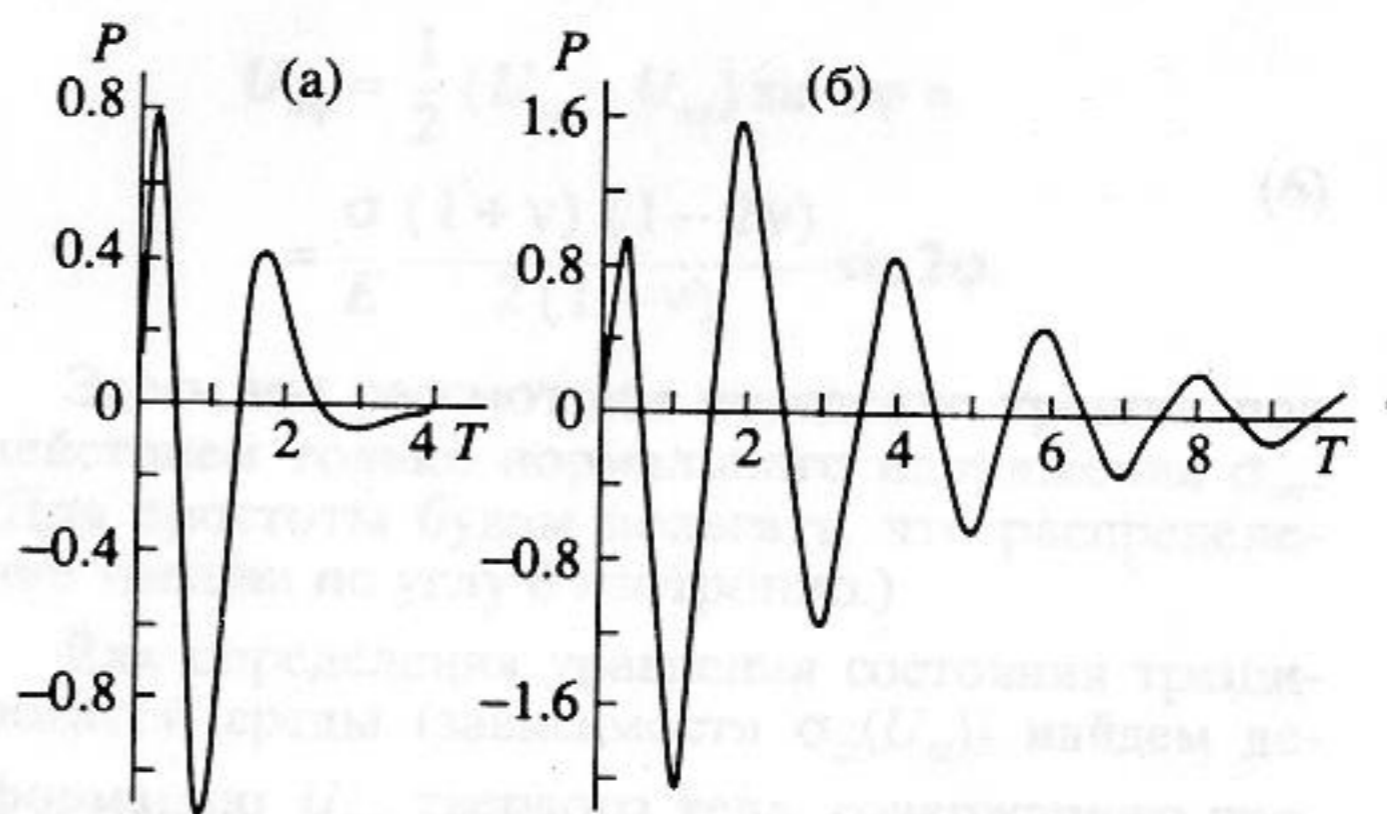


Рис. 1.

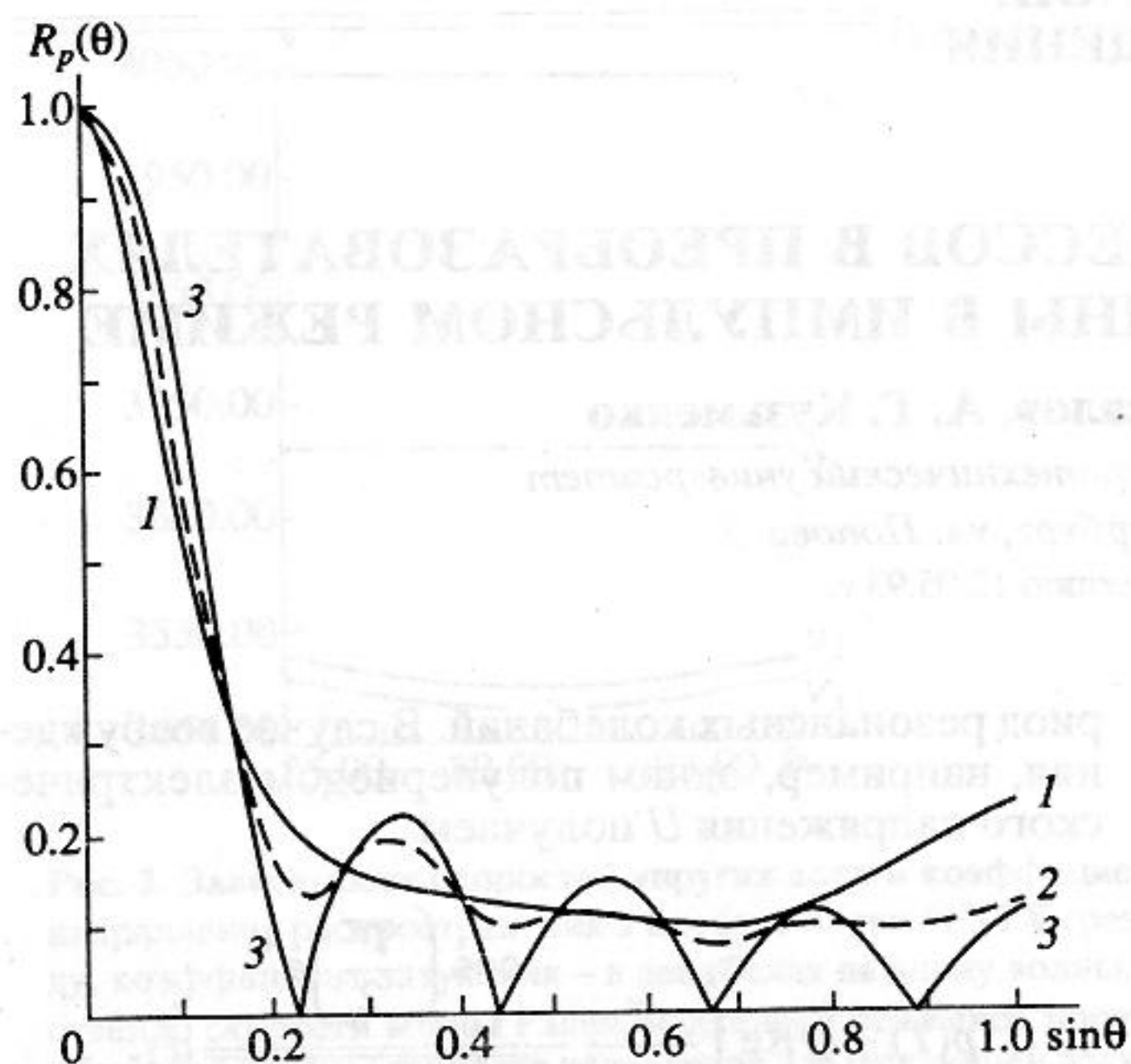


Рис. 2.

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 преобразова-

телей 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 θ . 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 θ , близких к 90° .

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.