

магнитострикционные преобразователи, использующие прямой и обратный эффект магнитострикции.

Свойства Э. п.-приёмника характеризуются его чувствительностью в режиме холостого хода  $\gamma_{xx} = V/p$  и внутр. сопротивлением  $Z_{эл}$ . По виду частотной зависимости  $V/p$  различают широкополосные и резонансные приёмники. Работу Э. п.-излучателя характеризуют: чувствительность, равная отношению  $p$  на определ. расстоянии от него на оси характеристики направленности к  $U$  или  $i$ ; внутр. сопротивление, представляющее собой нагрузку для источника электрич. энергии; акустоэлектрич. КПД  $\eta_{ак/эл} = W_{ак}/W_{эл}$ , где  $W_{ак}$  — активная излучаемая акустическая мощность,  $W_{эл}$  — активная электрич. потребляемая мощность,  $W_{ак} = Z_n v_0^2$  ( $v_0$  — колебат. скорость точки центра приведения на излучающей поверхности,  $Z_n$  — механич. сопротивление акустич. нагрузки, равное сопротивлению излучения  $Z_s$ , при контакте Э. п. со сплошной средой). Перечисленные параметры зависят от частоты. Величины  $p$  и  $\eta_{ак/эл}$  достигают макс. значения на частотах механич. резонанса, вследствие чего мощные излучатели делают, как правило, резонансными. Конструкции Э. п. существенно зависят от их назначения и применения и поэтому весьма разнообразны.

Лит.: Фурдуев В. В. Электроакустика. М.—Л., 1948; Харкевич А. А., Теория преобразователей. М.—Л., 1948; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Ультразвуковые преобразователи, пер. с англ., М., 1972.

**ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОЕ ЭХО** (фононное, или поляризованное, эхо) — явление дополнит. радиоимпульсов при воздействии на пьезоэлектрик двух или более радиоимпульсов. Э. э. — нелинейный эффект, наблюдаемый в пьезоэлектрич. монокристаллах, иногда в порошках пьезоэлектрич. кристаллов. Различают двухимпульсное и трёхимпульсное Э. э.

Для наблюдения двухимпульсного Э. э. исследуемый кристалл 2 (рис. 1) помещают в ёмкостный зазор

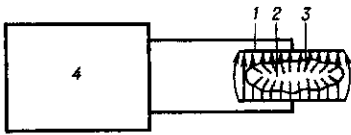


Рис. 1. Схема наблюдения электроакустического эха в пьезоэлектрическом кристалле, помещённом в электрическое поле: 1 — конденсатор; 2 — кристалл; 3 — акустические волны; 4 — импульсный ЯМР-спектрометр.

СВЧ-резонатора или между обкладками конденсатора 1, включённого в контур ВЧ-генератора ЯМР-спектрометра 4. В момент времени  $t=0$  на образец подаётся сигнал — радиоимпульс с частотой заполнения  $\omega$ , а через промежуток времени  $\tau$  — второй импульс с частотой  $2\omega$ . Эффект Э. э. состоит в появлении дополнит. сигнала (отклика) с частотой  $\omega$  через время  $\tau$  после подачи второго импульса. Этот отклик может быть задержан на любой, достаточно большой промежуток времени, не кратный времени прохождения звуковой волны в кристалле.

Механизм эффекта двухимпульсного Э. э. состоит в следующем. Радиоимпульс в момент  $t=0$  (рис. 2, а) возбуждает с поверхности пьезокристалла УЗ-волны, к-рые распространяются в глубь кристалла. Частота этих волн равна  $\omega$ , волновой вектор равен  $k$ , а амплитуда зависит от анизотропии пьезоэлектрич. свойств и упругости кристалла, его ориентации в электрич. поле конденсатора, качества обработки поверхности и амплитуды возбуждающего их электрич. поля. Поле радиоимпульса с частотой  $2\omega$ , подаваемого в момент времени  $\tau$ , взаимодействует нелинейно с системой бегущих УЗ-волн. Это взаимодействие обусловлено нелинейностью пьезоэффекта. Как видно из дисперсионной диаграммы (рис. 3, а), взаимодействие прямой аку-

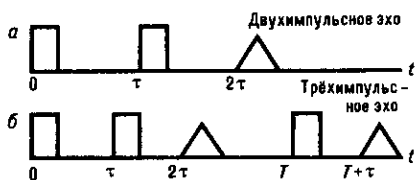


Рис. 2. Временное распределение импульсов двухимпульсного (а) и трёхимпульсного (б) электронного эха.

стрикции пьезоэлектрич. свойств и упругости кристалла, его ориентации в электрич. поле конденсатора, качества обработки поверхности и амплитуды возбуждающего их электрич. поля. Поле радиоимпульса с частотой  $2\omega$ , подаваемого в момент времени  $\tau$ , взаимодействует нелинейно с системой бегущих УЗ-волн. Это взаимодействие обусловлено нелинейностью пьезоэффекта. Как видно из дисперсионной диаграммы (рис. 3, а), взаимодействие прямой аку-



Рис. 3. Дисперсионные диаграммы, поясняющие образование двухимпульсного (а) и трёхимпульсного (б) электроакустического эха.

стрич. волны  $(\omega, k)$  и внеш. электрич. поля  $(2\omega, 0)$  приводит к генерации обратной волны  $(\omega, -k)$ . Поэтому второй импульс с частотой  $2\omega$  в момент  $\tau$  меняет направление распространения всех акустич. волн на обратное, а ещё через один промежуток времени  $\tau$  эти волны приходят в исходные точки, т. е. на поверхность пьезоэлектрич. кристалла, причём в момент прихода все волны вновь находятся в фазе. На поверхности кристалла происходит преобразование акустич. волн  $(\omega, k)$  в электрич. сигнал с частотой  $\omega$ , к-рый и воспринимается как отклик, т. е. сигнал Э. э. Амплитуда последнего зависит от эффективности преобразования переменного поля в УЗ-колебания и обратно, от затухания УЗ-волн в кристалле, а также от степени нелинейности. Форма импульса определяется анизотропией линейных и нелинейных пьезоэлектрич. коэффициентов. При увеличении времени задержки  $\tau$  амплитуда импульса Э. э. уменьшается, т. к. увеличивается время пробега ультразвукового импульса и его затухание в кристалле. В принципе, величина  $\tau$  может быть значительно больше времени пробега звука в кристалле в одном направлении, т. е. волна до поворота её вторым импульсом может испытывать многократные отражения. Такой эффект наблюдается в пьезоэлектрич. порошках. Понижение темп-ры снижает поглощение УЗ-волн и, следовательно, увеличивает сигнал Э. э.

Трёхимпульсное эхо наблюдается примерно по такой же схеме, но в этом случае, помимо второго импульса в момент  $\tau$  (рис. 2, б), на кристалл подаётся ещё третий импульс в момент  $T$  с частотой  $2\omega$ . При этом отклик наблюдается в момент  $T+\tau$ . Временная структура наблюдаемых в этом случае сигналов более сложна. При этом, как и раньше, первый импульс возбуждает с поверхности пьезоэлектрика УЗ-волны, распространяющиеся по всем направлениям в глубь кристалла. Второй импульс в момент  $\tau$  производит две операции: возбуждает, как и первый, УЗ-волны и меняет на обратное направление распространения акустич. волн, возбуждённых первым импульсом. Т. о., в кристалле навстречу друг другу распространяются прямые и обратные волны, нелинейное взаимодействие к-рых приводит к появлению в пространстве взаимодействия постоянной составляющей, как это следует из дисперсионной диаграммы (рис. 3, б). При наличии в кристалле примесей постоянная составляющая выводит их из состояния равновесия, и т. о. в пространстве фиксируется информация о взаимодействии прямой и обратной волн. Третий импульс в момент времени  $T$  воздействует на неоднородные в пространстве примесные состояния и возбуждает акустич. волну, к-рая от этих примесей распространяется к поверхности кристалла, где благодаря пьезоэффекту восстанавливается в виде электрич. сигнала. При этом время  $T$  должно быть меньше времени релаксации, в течение к-рого восстанавливается равновесное распределение примесей, нарушен-