

УДК 621.317.084.2

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Зубцов В.И., Малухин Г.М., Васюков А.В.

Полоцкий государственный университет, завод «Измеритель»
Новополоцк, Беларусь

В статье приведены результаты исследований и изложены физические основы работы преобразователей.

Быстро развивающаяся вычислительная техника предопределила развитие преобразователей с кодовым и частотно-фазовым выходным сигналом, обладающих более высокой помехоустойчивостью, но зачастую более высокой сложностью и определенным уровнем собственной нестабильности частоты. У аналоговых преобразователей (в частности – пьезоэлектрических) погрешности связаны с выходной мощностью. Таким образом, дальнейшее развитие аналоговых, в том числе и пьезоэлектрических, преобразователей является вполне оправданным, тем более, что преобразование аналогового сигнала в кодовый или частотный не вызывает затруднений.

Используя прямую аналогию между электрическими и механическими параметрами [1], эквивалентную схему пьезопреобразователя можно представить простой схемой (рис. 1). Здесь C , R , L – механические параметры: податливость, масса, сопротивление (вязкое трение) элемента; C_0 – параллельная электрическая емкость пьезоэлектрика, измеренная на низких частотах. Данная схема будет адекватно отражать свойства реальной системы при наличии ряда ограничений на параметры и характеристики системы. Эти условия заключаются в том, что все процессы в резонаторе не должны зависеть от частоты и амплитуды колебаний; в постоянстве температуры в произвольном, но определенном диапазоне, в котором не проявляется перераспределение нелинейно-резонансных кривых (особенно на высоких частотах) [2].

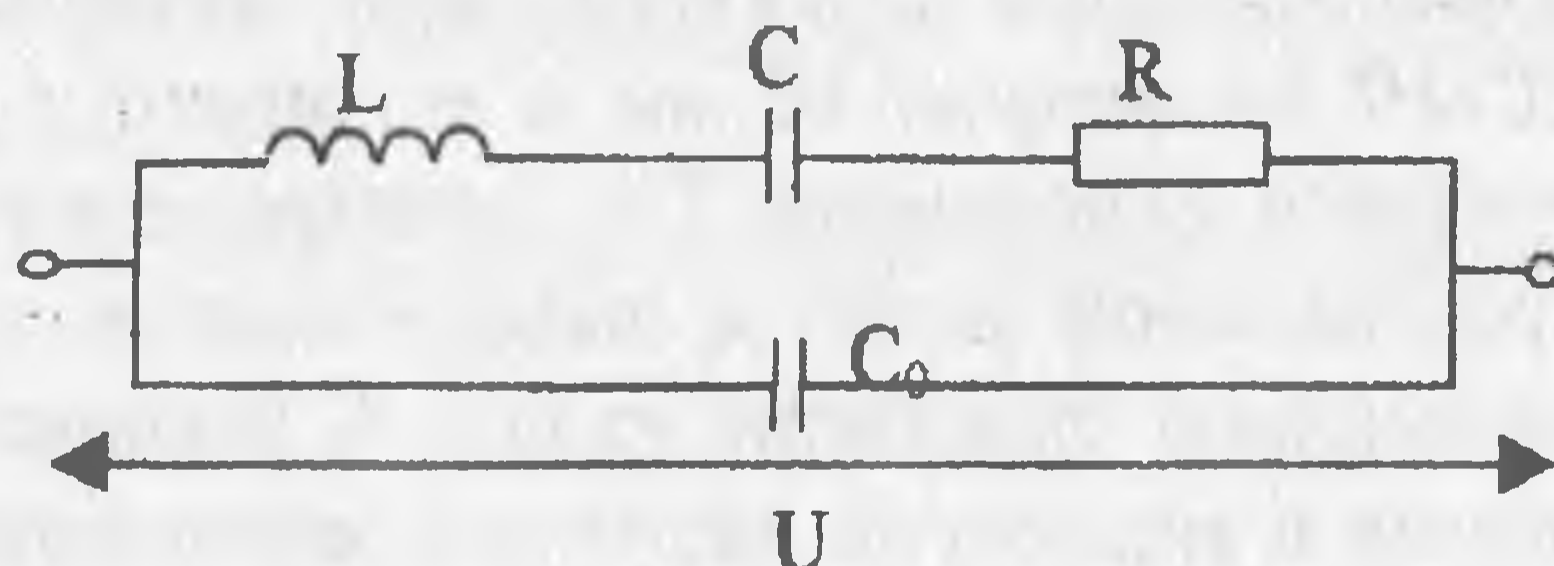


Рис. 1. Эквивалентная схема пьезопреобразователя.

Характер изменения реактивной составляющей X полного сопротивления Z представлен на рис. 2. При $C \ll C_0$ на низких частотах X имеет емкостный характер и отрицательно. При частоте вынуждающей силы, равной (1), в цепи наступает последовательный резонанс и $X = 0$. При дальнейшем росте частоты X носит индуктивный характер и положительно. При частоте, равной (2), в цепи наступает параллельный резонанс.

На частотах, больших f_A , реактивное сопротивление носит емкостный характер и отрицательно.

$$f_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}, \quad (1)$$

$$f_A = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot \frac{C \cdot C_0}{C + C_0}}} \quad (2)$$

Следовательно, пьезорезонатор ведет себя в цепи как последовательно-параллельный контур, который имеет два резонанса – последовательный и параллельный (так называемый антирезонанс).

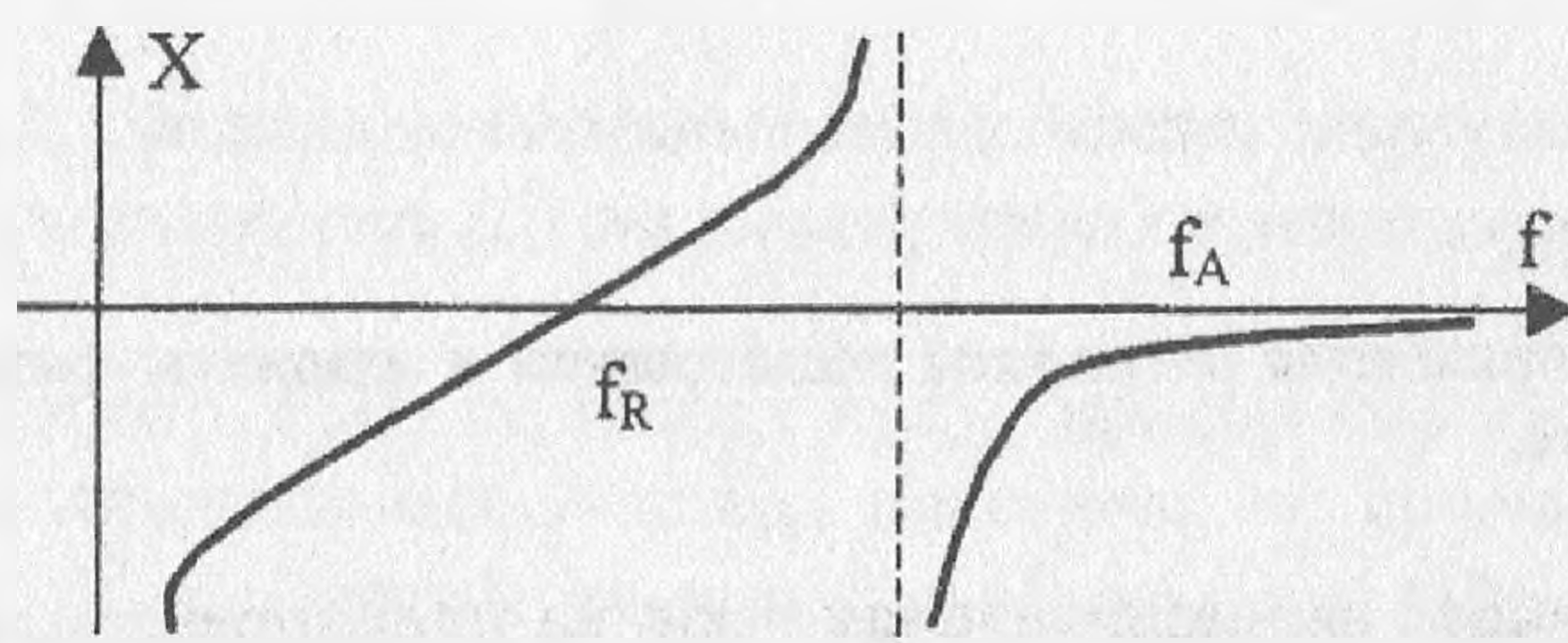


Рис. 2. Характер изменения реактивного сопротивления в зависимости от частоты в эквивалентной схеме.

На рис. 3 приведена принципиальная схема пьезотрансформаторного устройства. Вначале входная величина модулирует электрическое переменное напряжение $U_{\text{возб}}$, затем при обратном пьезоэффекте энергия преобразуется в механическую, при прямом пьезоэффекте происходит обратное преобразование.

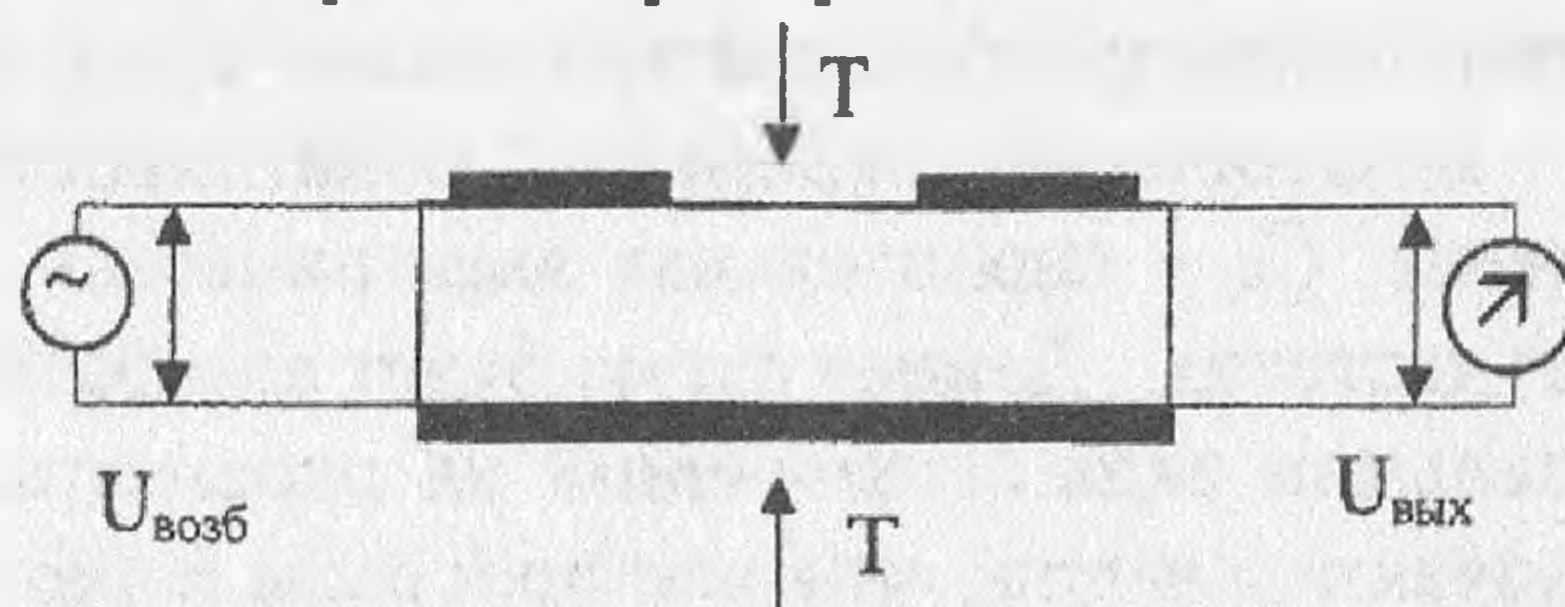


Рис. 3. Принципиальная схема пьезотрансформаторного устройства.

На рис.4 приведены экспериментальные характеристики преобразователя из пьезокерамического материала ЦТС-19 диаметром 10 мм и толщиной 1 мм при разных значениях статического механического напряжения T и электрическим возбуждением $U_{\text{возб}} = 10$ В. Помимо основной резонансной частоты, пьезорезонатор имеет частоту антирезонанса, на которой $U_{\text{вых}}$ минимально. Как видно из рис. 4, увеличение напряжения приводит к сглаживанию максимума и минимума частотной характеристики и некоторому смещению: максимум уменьшается, а минимум, соответствующий частоте антирезонанса, увеличивается. Физически это объясняется реакцией упругости пластины и реакцией ее массы. На рис. 5 приведены выходные характеристики пьезорезонансного преобразователя, из которых видно, что на антирезонансной частоте больший (~ на 50%) линейный участок. Достигается это за счет незначительной потери чувствительности. Увеличение линейности объясняется ростом коэффициента электромеханической связи[3].

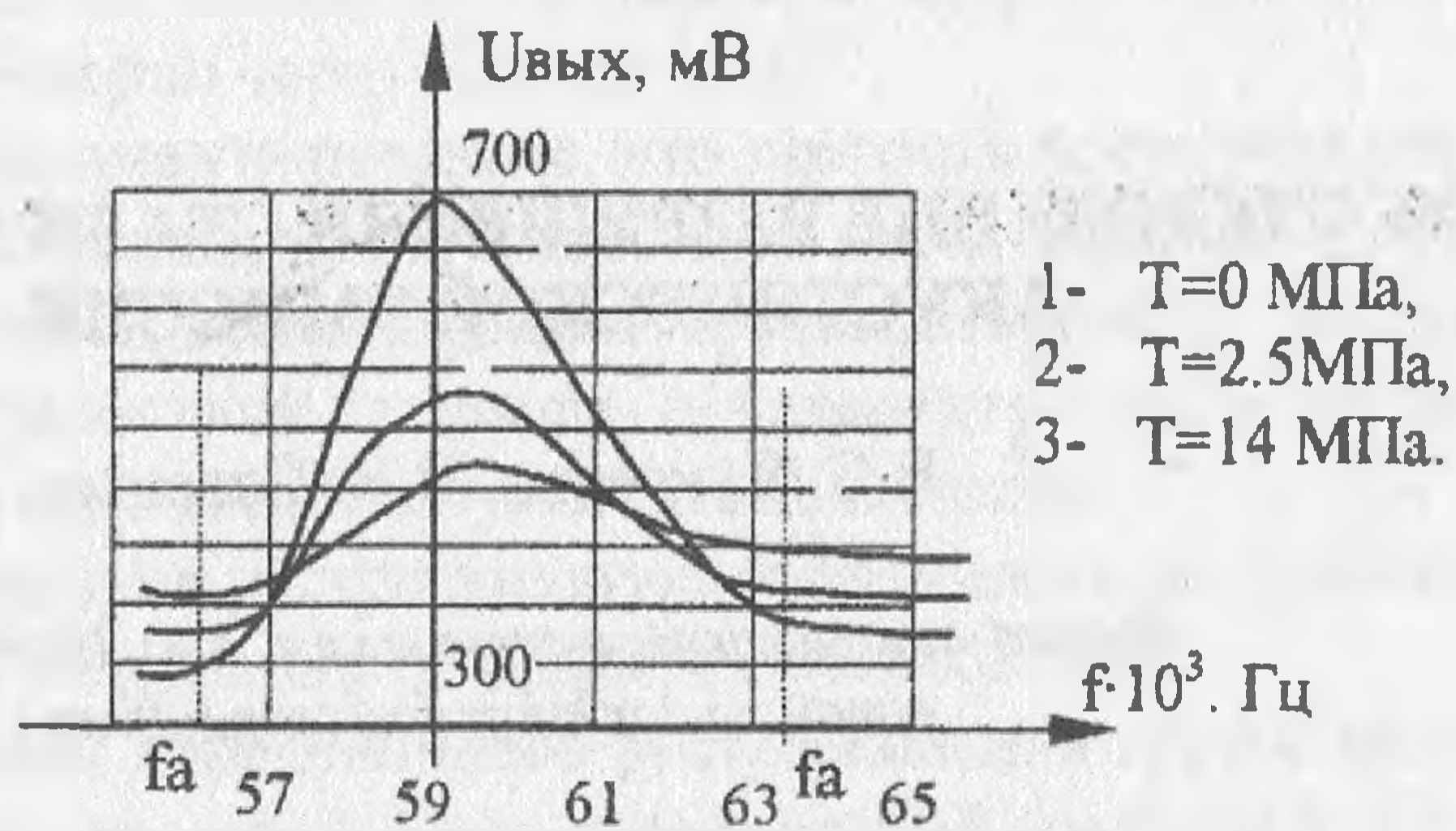


Рис. 4. АЧХ пьезотрансформаторного устройства при различных механических напряжениях T

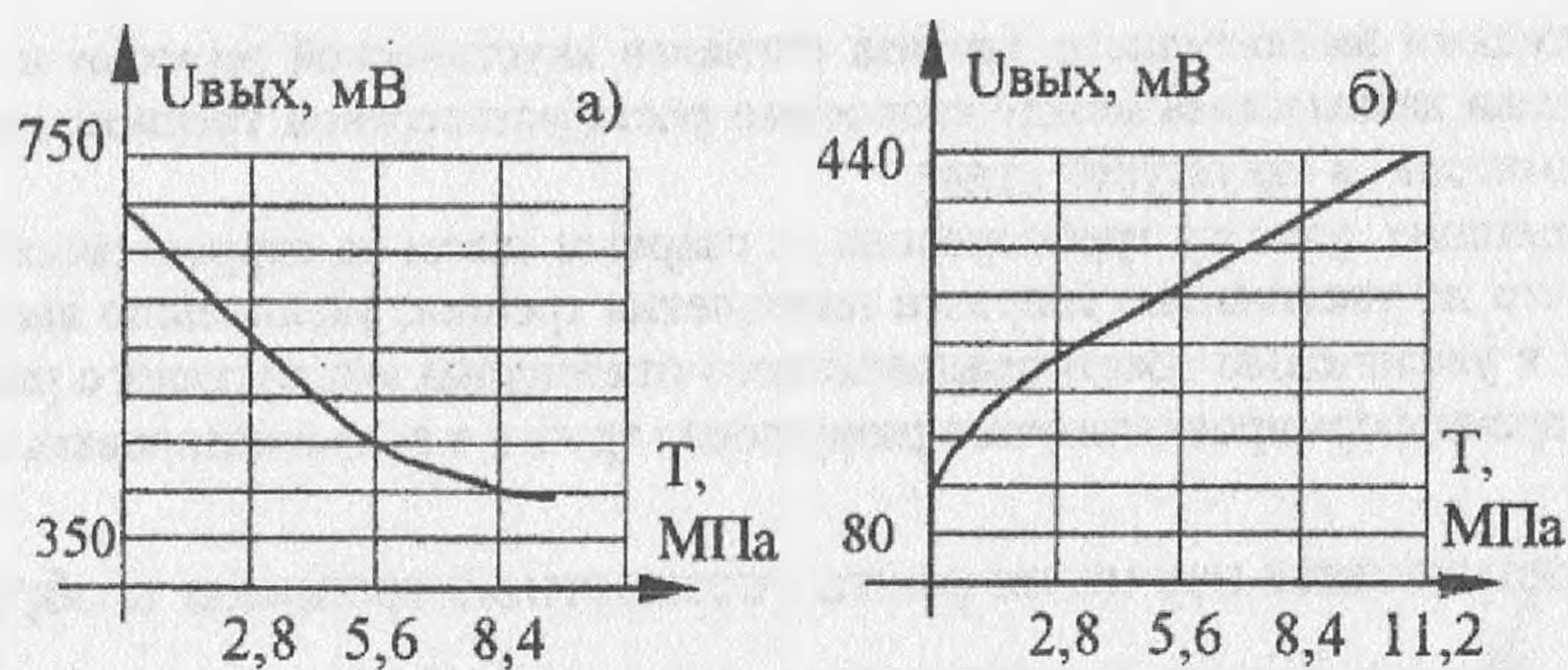


Рис. 5. Выходные характеристики пьезопреобразователя на резонансной (а) и антирезонансной (б) частоте

Рассмотренные здесь преобразователи могут применяться для измерения статических напряжений в нелинейно-упругих средах, расширяя одну из основных характеристик - диапазон линейности измерений.

Список литературы

1. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергия, 1978.
2. Нуберт Т.Г. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. – М.: Энергия, 1970.
3. Окадзаки К. Пособие по электротехническим материалам. – М.: Энергия, 1979.