Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIX, вып. 1, 1969 г.

ОБ ОДНОМ ИЗ СПОСОБОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ С ПРИЕМА НА ПЕРЕДАЧУ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЗВУКОЛОКАТОРОВ

А. Э. Таранов

Один из путей удешевления маркшейдерских звуколокаторов — использование в качестве излучателя и приемника звука единого электроакустического преобразователя. У звуколокаторов с раздельными приемником и излучателем оси характеристик направленности преобразователей обычно разнесены на некоторое расстояние, что затрудняет прием сигналов, отраженных от ближних участков лоцируемой поверхности. Этот недостаток полностью исключен в одновибраторных локаторах, так как характеристики направленности одного и того же электроакустического преобразователя в режимах излучения и приема совпадают.

В настоящее время в ультразвуковой технике для переключения преобразователей из режима приема на режим передачи применяют способы коммутации, основанные на использовании электромеханических реле, газоразрядных приборов и полупроводниковых диодов.

Последний из способов отличается простотой, надежностью и позволяет быстро переключать на «прием—передачу» пьезоэлектрические и магнитострикционные вибраторы.

Рассмотрим работу схемы рис. 1. В момент излучения импульса статическая емкость вибратора C_0 вместе с компенсирующей индуктивностью L образуют параллельный колеба-

тельный контур, настроенный на частоту излучаемых колебаний

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC_0}}. \qquad (1)$$

Этот контур подключен ко вторичной обмотке выходного трансформатора Тр1, согласующего внутреннее активное сопротивление контура $R_{пр}$ с выходным сопротивлением генератора. При действии электрического импульса диоды D_1, D_2, D_3, D_4 не оказывают влияния на работу схемы ввиду малости их сопротивления при больших прямых токах.

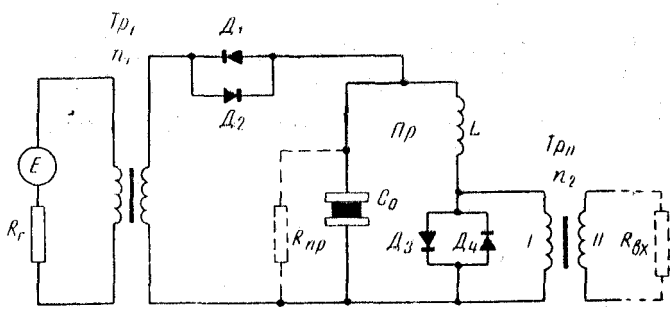


Рис. 1. Схема подключения электроакустического преобразователя к входным цепям усилителя и генератора

В момент паузы между излучаемыми импульсами из-за нелинейности на начальном участке вольтамперных характеристик диоды имеют высокое сопротивление (около 100 *ком*). В данном случае цепи диодов практически разомкнуты. Вследствие этого шумы, поступающие в момент паузы из генератора на вход усилителя, значительно ослабляются.

Преобразователем Пр принимаемые акустические сигналы преобразуются в электрические. Последовательный колебательный контур, составленный из статической емкости $C_{оп}$ и индуктивности L, оказывается подключенным к первичной обмотке входного трансформатора Тр II усилителя.

Максимальный коэффициент передачи энергии преобразователя ко входному активному сопротивлению усилителя $R_{вх}$ (например, транзисторного) равен

$$K_m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{R_{вх}}{r}}. \qquad (2)$$

При этом параметры преобразователя пересчитываются в последовательную эквивалентную схему

$$r = \frac{Z_{\text{пр}}^2}{R_{\text{п}}}, \tag{3}$$

$$C_{\text{оп}} = \frac{1}{\omega_0^2 C_0 Z_{\text{пр}}^2}, \tag{4}$$

где r — активная составляющая в последовательной эквивалентной схеме вибратора; $Z_{\text{пр}}$ — модуль полного сопротивления вибратора.

Тогда

$$K_m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{R_{\text{вх}} R_{\text{п}}}{Z_{\text{пр}}^2}}. \tag{5}$$

При оптимальном коэффициенте трансформации

$$n_{\text{п}} = \sqrt{\frac{R_{\text{вх}} R_{\text{п}}}{Z_{\text{пр}}^2}}. \tag{6}$$

В таком случае эквивалентная добротность, с помощью которой можно определить полосу пропускаемых входной цепью частот, будет

$$Q_{\text{экв}} = \frac{\omega L}{\frac{Z_{\text{пр}}^2}{R_{\text{п}}} + \frac{R_{\text{вх}}}{n^2}}. \tag{7}$$

Подставив в уравнение (7) оптимальное значение n, имеем

$$Q_{\text{экв}} = \frac{Q_{\text{э}}}{2}, \tag{8}$$

где $Q_{\text{э}}$ — электрическая добротность преобразователя в данной среде.

Если входное сопротивление усилителя имеет комплексный характер, т. е. $Z_{\text{вх}} e^{-j\varphi}$, тогда подбором индуктивности

$$L = \frac{r \operatorname{tg} \varphi + \frac{1}{\omega C}}{\omega} \tag{9}$$

обеспечивается в цепи, подключаемой к первичной обмотке трансформатора, угол сдвига фаз, равный, но противоположный по знаку сдвигу фаз в сопротивлении $Z_{\text{вх}}$.

При этом максимальное значение коэффициента передачи и соответствующего ему коэффициента трансформации будет

$$K = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{Z_{вх}\cos\varphi}{r}}, \tag{10}$$

$$n = \sqrt{\frac{Z_{вх}\cos\varphi}{r}}. \tag{11}$$

В данном случае, в момент излучения, сопротивление контура C_0L не будет чисто активным, поэтому для правильного согласования генератора и вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_I$ следует дополнительно подключить реактивное сопротивление

$$X = -\frac{R_п}{\operatorname{tg}\varphi}. \tag{12}$$

Рассмотрим случай, когда входное сопротивление усилителя имеет почти емкостный характер. Например, сопротивление цепи сетка—катод элек тронной лампы, для которой справедливо соотношение

$$R_g \gg \frac{1}{\omega C_{ск}}, \tag{13}$$

где R_g и $C_{ск}$ — активное сопротивление и емкость в цепи сетка—катод.

Выберем значение индуктивности первичной обмотки входного трансформатора $L_{вх}$ такое, чтобы совместно с межвитковой емкостью $C_м$ и емкостью $C_{ск}$ создавался параллельный колебательный контур, настроенный на рабочую частоту

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{вх}(C_{ск}n^2 + C_м)}}. \tag{14}$$

Рассмотрим действие эквивалентной схемы входной цепи в режиме приема, пересчитав сопротивления цепи вторичной обмотки трансформатора $Тр_I$ в первичную (рис. 2). Трансформатор $Тр_{II}$ полагаем идеальным.

Пьезоэлектрический преобразователь представим в виде эквивалентного генератора, э. д. с. которого E. Последовательно с генератором включено эквивалентное внутреннее сопротивление преобразователя r и $C_{оп}$.

На резонансной частоте, когда можно считаться только с активными сопротивлениями, коэффициент передачи схемы равен

$$K_{\text{р}} = n \frac{\frac{R_g}{n^2}}{\frac{R_g}{n^2} + r}. \qquad (15)$$

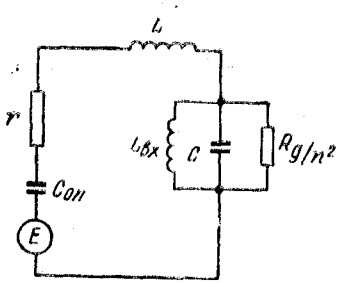


Рис. 2. Эквивалентная схема входной цепи в режиме приема

Если принять

$$n = \sqrt{\frac{R_g}{r}}, \qquad (16)$$

то максимальный коэффициент передачи будет

$$K_{\text{рм}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_g}{r}}. \qquad (17)$$

Определим функциональную зависимость между коэффициентом передачи и рабочей частотой.

Сопротивление последовательного контура в эквивалентной схеме в зависимости от обобщенной расстройки $\xi_{\text{п}}$ [2] будет

$$\dot{Z}_{\text{п}} = r(1 + j\xi_{\text{п}}), \qquad (18)$$

где

$$\xi_{\text{п}} \approx 2Q_{\text{п}} \frac{\Delta\omega}{\omega_0}. \qquad (19)$$

Полное сопротивление параллельного контура $\dot{Z}_{вх}$ определится как

$$\dot{Z}_{вх} = \frac{\frac{R_g}{n^2}}{1+\xi_{вх}^2} - j\frac{\xi_{вх}\frac{R_g}{n^2}}{1+\xi_{вх}^2}, \tag{20}$$

где

$$\xi_{вх} \approx 2Q_{вх}\frac{\Delta\omega}{\omega}. \tag{21}$$

Тогда

$$\dot{K} = n\frac{\dot{Z}_{вх}}{\dot{Z}_{п}+\dot{Z}_{ск}} = \frac{1}{\frac{\dot{Z}_{п}}{\dot{Z}_{вх}}+1}. \tag{22}$$

Найдем отношение

$$\frac{\dot{Z}_{п}}{\dot{Z}_{вх}} = \frac{r(1+j\xi_{п})}{\frac{R_g}{n^2(1+\xi_{вх}^2)} - j\frac{\xi_{вх}R_g}{n^2(1+\xi_{вх}^2)}} =$$

$$= \frac{r(1+j\xi_{п})(1+\xi_{вх}^2)\left(\frac{R_{вх}}{n^2}+j\xi_{вх}\frac{R_{вх}}{n^2}\right)}{\frac{R_g^2}{n^2}+\xi_{вх}^2\frac{R_g^2}{n^2}}. \tag{23}$$

Выразим добротность параллельного контура $Q_{вх}$ через добротность последовательного контура $Q_{п}$

$$Q_{вх} = dQ_{п} \tag{24}$$

или

$$\xi_{вх} = d\,\xi_{п}.$$

Тогда

$$\frac{\dot{Z}_{п}}{\dot{Z}_{вх}} = \frac{rn^2}{R_g}[j\xi_{п}(d+1)+(1-\xi_{п}^2 d)]. \tag{25}$$

Подставляя в полученную формулу соотношение (22), имеем

$$\dot{K} = \frac{n}{\frac{rn^2}{R_g}\left[\left(1-d\xi_{п}^2+\frac{R_g}{rn^2}\right)+j\xi_{п}(d+1)\right]}. \tag{26}$$

Модуль выражения (26) будет

$$K = \frac{n}{\frac{rn^2}{R_g}\sqrt{\left(1 - d\xi_{\text{п}}^2 + \frac{R_g}{rn^2}\right)^2 + \xi_{\text{п}}^2 (d+1)^2}}. \qquad (27)$$

Из (15) и (27) найдем выражение для частотной характеристики исследуемой цепи

$$\frac{K}{K_{\text{р}}} = \frac{1}{\frac{r}{r + \frac{R_g}{n^2}}\sqrt{\left(1 - d\xi_{\text{п}}^2 + \frac{R_g}{rn^2}\right)^2 + \xi_{\text{п}}^2 (d+1)^2}}. \qquad (28)$$

Графическое ее выражение представлено на рис. 3.

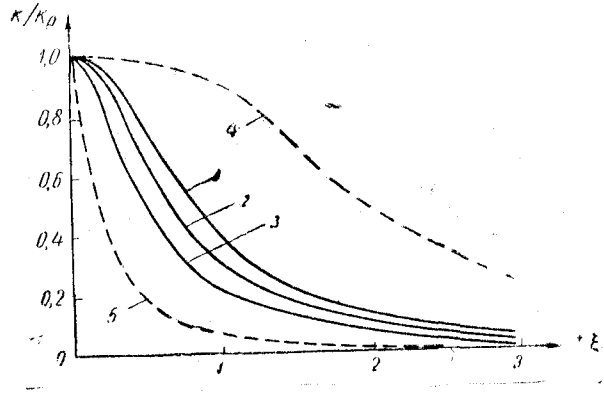


Рис. 3. Графики зависимости $\frac{K}{K_{\text{р}}} = f(\xi_{\text{п}})$.

Пунктир: $4 - d=1$; $5 - d=20$ при $\frac{R_g}{n^2 r} = 1$; сплошные: $2 - \frac{R_g}{n^2 r} = 1{,}5$; $3 - \frac{R_g}{n^2 r} = 1$; $1 - \frac{R_g}{n^2 r} = 0{,}5$ при $d=5$

Определим относительную полосу пропускания и эквивалентную добротность исследуемой цепи $Q_{\text{экв}}$.

Приравняем правую часть уравнения (28) к отношению

$$\frac{K}{K_{\text{р}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0{,}7.$$

После преобразований получим

$$\xi_{\text{п}}^4 - \xi_{\text{п}}^2\left(\frac{2\frac{R_{\text{вх}}}{rn^2}}{d} - 1 - \frac{1}{K^2}\right) - \left(\frac{1+\frac{R_g}{rn^2}}{d}\right) = 0. \qquad (29)$$

Решим его относительно

$$\xi_{\text{п}\,0,7} = \sqrt{\frac{2\frac{R_g}{rn^2}d - d^2 - 1}{2d^2} \pm \sqrt{\frac{\left(2\frac{R_g}{rn^2}d - d^2 - 1\right)^2}{4d^4} + \left(\frac{1+\frac{R_g}{rn^2}}{d}\right)^2}}. \qquad (30)$$

Из формул (30) и (19) получим величины полосы пропускания и эквивалентной добротности исследуемого контура

$$\frac{2\Delta\omega_0}{\omega_0} \approx \frac{1}{Q_{\text{экв}}} \approx \frac{\xi_{\text{п}\,0,7}}{Q_{\text{п}}}. \qquad (31)$$

В большинстве случаев при использовании электроакустических преобразователей на резонансной частоте добротность $Q_{\text{п}} \ll Q_{\text{вх}}$. Поэтому искомая полоса пропускания определится добротностью параллельного контура, шунтированного активным сопротивлением R_g. Тогда

$$Q_{\text{экв}} \approx \frac{\omega_0}{2\Delta\omega} \approx \frac{Q_{\text{вх}}}{1+\frac{R_g}{rn^2}}. \qquad (32)$$

Если подставить n из (16), то

$$Q_{\text{экв}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{2}. \qquad (33)$$

Заданное значение $Q_{\text{экв}}$ может быть получено путем выбора R_g, а также других параметров, которые влияют на величину активных потерь в трансформаторе Тр_{II}.

Приведенные соотношения для пьезоэлектрического преобразователя справедливы и при использовании магнитострикционных преобразователей. При этом роль индуктивности L в последовательном контуре выполняет статическая индуктив-

ность вибратора, а в качестве статической емкости подключается дополнительная емкость C.

В качестве коммутирующих диодов обычно используют кремниевые диоды типов Д 209 и Д 226.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкиев В. П. Гидроакустические рыбопоисковые и навигационные приборы. Судостроение, 1967.

2. Зернов Н. В., Карпов В. Г. Теория радиотехнических цепей. Энергия, 1965.

3. Полякова Л. Н. Синтез входных и выходных цепей широкополосных усилителей. Связь, 1966.