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

ОБ УДАРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

А. Э. Таранов

В современной ультразвуковой технике, в частности в звуколокационных маркшейдерских приборах, все бо́льшее применение находят пьезоэлектрические преобразователи электрической энергии в акустическую. Пьезоэлектрические излучатели, изготовленные на основе керамик титаната бария и титаната-цирконата свинца, в сравнении с вибраторами, изготовленными из других материалов, при больших значениях к. п. д. и удельной излучаемой мощности отличаются технологичностью и низкой себестоимостью.

В практике звуколокационной съемки горных выработок приходится встречаться с задачами измерения расстояния от единиц сантиметров до сотен метров. Так, при ультразвуковой локации стенок технической скважины необходимо фиксировать отражение от участков поверхности, расположенных на расстоянии 15—20 *см* от акустической системы звуколокатора. Минимальное расстояние локации ограничивается так называемой мертвой зоной звуколокатора, величина которой $\Delta R_{\min}$ определяется длительностью зондирующего импульса τ. Если приемный тракт пропускает эффективную ширину спектра импульса, то $\Delta R_{\min}$ определяется из соотношения

$$\Delta R_{\min} = \frac{C_{зв}}{2}\tau,$$

где $C_{зв}$ — скорость звука в среде.

Короткий звуковой импульс и следовательно малые значения ΔR можно получить путем ударного возбуждения электроакустического преобразователя. Генераторное устройство для ударного возбуждения излучателя при малом весе и габаритах отличается простотой конструкции и дешевле генераторов незатухающих синусоидальных колебаний той же мощности.

В ультразвуковой технике широко используют ударное возбуждение магнитострикционных вибраторов. Ударное возбуждение пьезоэлектрических излучателей пока мало применяется.

В ультразвуковой аппаратуре распространен способ ударного возбуждения пьезоэлектрических преобразователей, основанный на использовании электронных усилительных ламп. На сетку открытой лампы, в анодную цепь которой включен параллельный колебательный контур, составленный из индуктивности L и статической емкости излучателя, периодически подаются запирающие импульсы. При этом энергия $W = \frac{I^2L}{2}$, обусловленная током I, протекавшим по индуктивности, выделится в контуре в виде затухающих колебаний. Такой генератор обладает низким к. п. д., что объясняется большой потерей энергии в момент паузы при протекании тока через открытую лампу и применяется для создания звуковых колебаний малой мощности (0,1—0,5 *вт*). Известны аналогичные схемы, построенные на основе блокинг-генератора [1, 6], которые возбуждают в контуре LC_0 затухающие колебания с помощью короткого электрического импульса, близкого по форме к прямоугольному. Подобные генераторы при лучшем к. п. д. являются маломощными ввиду малости энергии, передаваемой коротким электрическим импульсом колебательному контуру вибратора.

Для создания мощных звуковых затухающих колебаний иногда применяют генераторы, построенные на основе механического ключа. Ключ должен быть рассчитан на скоростную коммутацию больших токов и напряжений при отсутствии «дребезга» контактов. Практическое осуществление надежных механических контактов связано с большими трудностями. Недостатком подобной схемы является и то, что подключающаяся на время колебательного процесса к излучателю емкость шунтирует излучатель. При этом заметно уменьшается добротность контура и снижается к. п. д. генератора.

Генераторы с механическим ключом применяются в случаях, когда частоту посылок необходимо синхронизировать

с движением пера самописца. Наиболее применимыми для маркшейдерских звуколокаторов следует считать генераторы ударного возбуждения, выполненные на основе газоразрядных приборов (тиратрона, игнитрона), искровых разрядников (управляемого и неуправляемого, неполярного и униполярного), а также полупроводникового управляемого вентиля-тиристора. Простейшая схема таких генераторов — с медленным зарядом статической емкости излучателя и последующим ее разрядом через газоразрядный прибор. У такой схемы сравнительно высокий к. п. д. Однако ее применение ограничено жесткими требованиями к электрической изоляции пьезоэлектрических преобразователей.

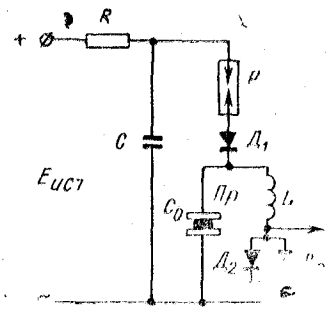


Рис. 1. Схема генератора ударного возбуждения пьезоэлектрического вибратора на основе газоразрядного прибора

Более эффективной для использования в маркшейдерских ультразвуковых приборах следует считать схему, использующую для возбуждения контура LC_0 разряд предварительно заряженного конденсатора C (рис. 1). В данной схеме высокое напряжение действует на излучатель в течение очень короткого отрезка времени, и значительная утечка в цепи преобразователя не приводит к срыву работы устройства.

Рассмотрим работу этой схемы с помощью временных диаграмм (рис. 2). После подключения источника питания $E_{уст}$ к зажимам (+) и (—) емкость C через сопротивление R заряжается до напряжения пробоя искрового разрядника $U_р$ (участок OB временных диаграмм). Благодаря тому, что сопротивление разрядника после пробоя близко к нулю, конденсатор C практически мгновенно заряжает собственную емкость излучателя C_0 до напряжения U_{c0} (участок BC). Если $C_0 = C$, то $U_{c0} \approx \frac{1}{2} U_р$. Экспериментально было установлено, что оптимальным с электрической точки зрения будет значение $C = (1{,}7 \div 2)\, C_0$, когда $U_{c0} \approx 0{,}7\, U_р$.

Оптимальность выбранного отношения $\frac{C}{C_0}$ подтверждается графиком экспериментально установленной зависи-

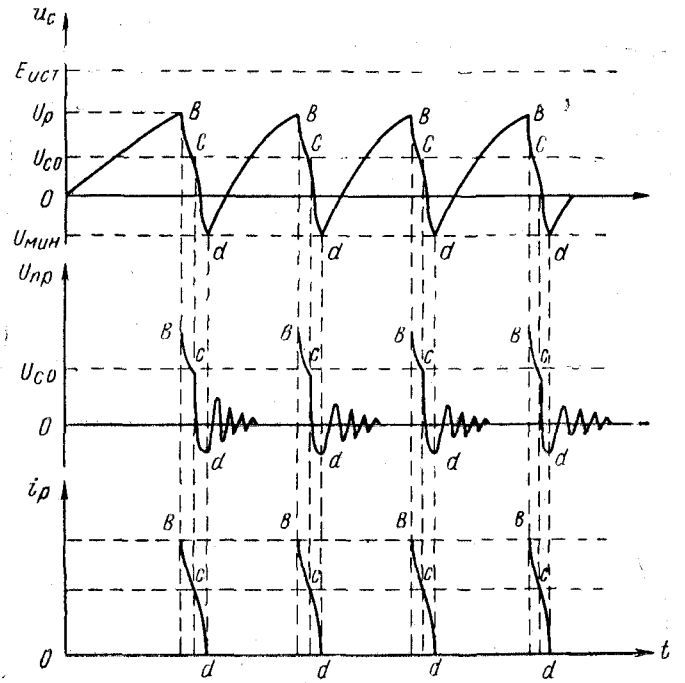


Рис. 2. Временные диаграммы работы схемы генератора ударного возбуждения

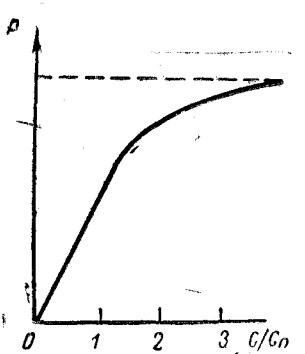


Рис. 3. График зависимости $p=f\left(\frac{C}{C_0}\right)$ при $C_0=\text{const}$

мости $p = f\left(\frac{C}{C_0}\right)$ при $C_0 = \text{const}$ (рис. 3), где p — акустическое давление, развиваемое излучателем на заданном расстоянии. На участке cd в контуре $L(C_0 + C)$ возникают колебания частотой $\omega_{01} = \frac{1}{\sqrt{L(C_0 + C)}}$. В точке d ток i_c в цепи емкости C, меняя свое направление на противоположное, переходит через нулевое значение. Поскольку через диод D_1 ток не может идти в обратном направлении, разрядник деионизируется, отсоединяя емкость C от контура LC_0. В данном случае конденсатор C уже не влияет на процесс колебаний, который продолжается с частотой $\omega_{02} = \frac{1}{\sqrt{LC_0}}$, где $\omega_{02} > \omega_{01}$.

В контуре LC_0, предварительно настроенном на резонансную частоту вибратора, возникнут затухающие колебания, энергия которых расходуется на излучение в среду и внутренние (механические и электрические) потери.

После деионизации разрядника в схеме происходит перезаряд емкости C_0 до напряжения $U_р$, после чего процесс повторяется сначала. Период следования импульсов T определяется постоянной времени цепи заряда емкости C и значениями $E_{ист}$, $U_р$.

Период T определяется из формулы

$$T \approx RC \ln \frac{E_{ист}}{E_{ист} - U_р}.$$

В случае применения в схеме управляемого разрядника или тиратрона период следования импульсов определяется периодом следования управляющего сигнала. Для лучшего использования разрядников по току можно применять повышающий трансформатор. Аналогично предыдущему оптимальный режим имеет место при $C = (1{,}7 \div 2) n^2 C_0$, где n — коэффициент трансформации. Если применять униполярный разрядник или тиратрон, то отпадает необходимость в диоде D_1. Генератор, собранный по схеме рис. 1, позволяет использовать электроакустический преобразователь как в режиме излучения, так и в режиме приема, благодаря нелинейным свойствам начальных участков вольтамперных характеристик полупроводниковых диодов D_1 и D_2. При малых сигналах, поступающих с преобразователя ($0 \div 0{,}6$ *в*), сопротивление диодов выше внутреннего

сопротивления преобразователя. При этом ко входу усилителя подключен последовательный колебательный контур, составленный из емкости C_0, индуктивности L и сопротивления излучения преобразователя $r_{\text{вст}}$.

На резонансе в установившемся режиме

$$r_{\text{нст}} = \frac{Z_{\text{п}}^2}{R_{\text{п}}},$$

где $Z_{\text{п}}$ — полное сопротивление вибратора; $R_{\text{п}}$ — потери вибратора в параллельной схеме.

В качестве коммутирующего газоразрядного прибора в вышеописанной схеме могут быть использованы типовые разрядники Р-6, Р-460, Р-360, Р-21 или тиристоры УПВК и ВКДУ. Недостатком применения в таких схемах импульсных тиратронов следует считать необходимость обеспечить включение высокого напряжения только после прогрева накала тиратрона в течение нескольких минут.

В генераторах ударного возбуждения для повышения к. п. д. вместо зарядного сопротивления можно применять индуктивность. При этом, вследствие переходного процесса, напряжение на накопительном конденсаторе может превысить напряжение источника питания почти в два раза.

Формирование акустического импульса сколь угодно малой длительности ограничено величиной механической добротности колебательной системы излучателя, действующего в рабочей среде. Некоторые вопросы, связанные с переходными процессами в стержневых пьезоэлектрических излучателях, рассмотрены П. В. Пономаревым [5].

Излучатели, изготовленные из колец пьезокерамики, при работе на радиальном резонансе рассматриваются как колебательные системы с сосредоточенными параметрами. Для свободных колебаний механических систем акустическое давление

$$p = p_{\text{м}} e^{-t\frac{\omega_1}{2Q}},$$

где $p_{\text{м}}$ — амплитуда акустического давления при $t=0$; Q — добротность механической колебательной системы преобразователя; ω_1 — резонансная частота.

Из формулы следует, что амплитуда давления спадает по экспоненциальному закону. Практически, вследствие влияния на механический колебательный процесс электрической цепи вибратора, закон затухания амплитуд будет отличаться от экс-

поненциального, а длительность процесса может оказаться несколько больше рассчитанной по значению Q.

Для искусственного уменьшения длительности свободных колебаний излучателя можно использовать генератор двойного возбуждения излучателя [6], в котором на излучатель подается два электрических удара, один из которых возбуждает излучатель, а второй через определенное время его тормозит.

Для правильного выбора полосы пропускания приемного тракта звуколокатора следует оценить ширину спектра излучаемого импульса. Спектр импульса в форме затухающей синусоиды может быть вычислен [8] из соотношения

$$S(\omega) = \frac{\omega_1}{\alpha_1^2 - \omega^2 + \omega_1^2 + 2j\alpha\omega},$$

где ω_1 и ω — резонансная и текущая частоты; α — коэффициент затухания.

Значение α можно определить из параметров излучателя $\alpha = \frac{\omega_1}{2Q_{\text{пр}}}$ или найти экспериментально по огибающей амплитуд колебаний акустического импульса.

Полоса пропускания приемного тракта локатора должна быть близка к эффективной ширине спектра Δf принимаемых импульсов.

При условии пропускания 90% энергии импульса [8] для экспоненциального видеоимпульса $\Delta f = \frac{1{,}13}{\tau}$. Приближенно можно считать, что для аналогичного радиоимпульса такая полоса будет в два раза шире, тогда $\Delta f = \frac{2{,}3}{\tau}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бражников Н. И. Ультразвуковые методы. Энергия, 1965.
2. Гершгал Д. А., Фридман В. М. Ультразвуковая аппаратура. Энергия, 1967.
3. Кремниевые управляемые вентили-тиристоры. Техн. справочник под ред. В. А. Лабунцева, А. Ф. Свиридова. Энергия, 1964.
4. Нейман М. С. Курс радиопередающих устройств. Сов. радио, 1965.
5. Пономарев П. В. Переходные процессы в пьезовибраторах. Акустич. журн. АН СССР, т. III, вып. 3, 1957.
6. Смирнов А. Д. Импульсная ультразвуковая измерительная аппаратура. Энергия, 1967.
7. Фрюнгель Ф. Импульсная техника. Энергия, 1965.
8. Харкевич А. А. Спектры и анализы. Физматгиз, 1962.