

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Дремин, И. А. Карпухин. ПМТФ, 1960, 3, 184.
2. Л. В. Альтшулер. УФН, 1965, 85, 2, 197.
3. Р. Мак-Куин, С. Марш, Дж. Тэйлор и др.— В кн.: Высокоскоростные ударные явления. М.: Мир, 1973.
4. О. Андерсон.— В кн.: Физическая акустика/Под ред. У. Мэзона. М.: Мир, 1968.
5. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, 1963, 1, 135.
6. Г. И. Канель. ВИНТИ, Деп. № 477—74.
7. L. Davison, R. A. Graham. Phys. Reports, 1979, 55, 4, 255.
8. D. E. Munson, R. J. Lawrence. J. Appl. Phys., 1979, 50, 10, 6272.
9. Г. И. Канель. ФГВ, 1982, 18, 3, 77.

О РАЗВИТИИ ПРОБОЯ В УДАРНО-СЖАТОМ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКЕ

Е. З. Новицкий, В. Д. Садунов
(Москва)

Пробой в ударно-сжатом сегнетоэлектрике (СЭ) ограничивает энерговыделение взрывного преобразователя энергии на его основе [1—4]. В настоящей работе ставилась задача провести анализ развития в СЭ пробоя в зависимости от моды ударного нагружения — аксиальной и поперечной.

На рис. 1 дано схематическое изображение простейшего взрывного преобразователя сегнетоконденсатора. На рис. 2 показаны репродукции осциллограмм импульсов напряжения $V(t)$ (тока $I(t)$) в короткозамкнутой цепи аксиального и поперечного преобразователей, когда напряжение на электродах сегнетоконденсатора близко к нулю. Здесь показаны также импульсы $V(t)$ в разомкнутых цепях, когда напряжение заметно превышает электрическую прочность ударно-сжатого СЭ.

При поперечном нагружении увеличение напряжения на электродах приводит к сильному искажению начальной П-образной формы импульса. В аксиальном преобразователе форма $V(t)$ одинаково отлична от П-образной и в короткозамкнутой, и в разомкнутой цепи. Для последнего случая с целью объяснения и феноменологического описания наблюдаемых

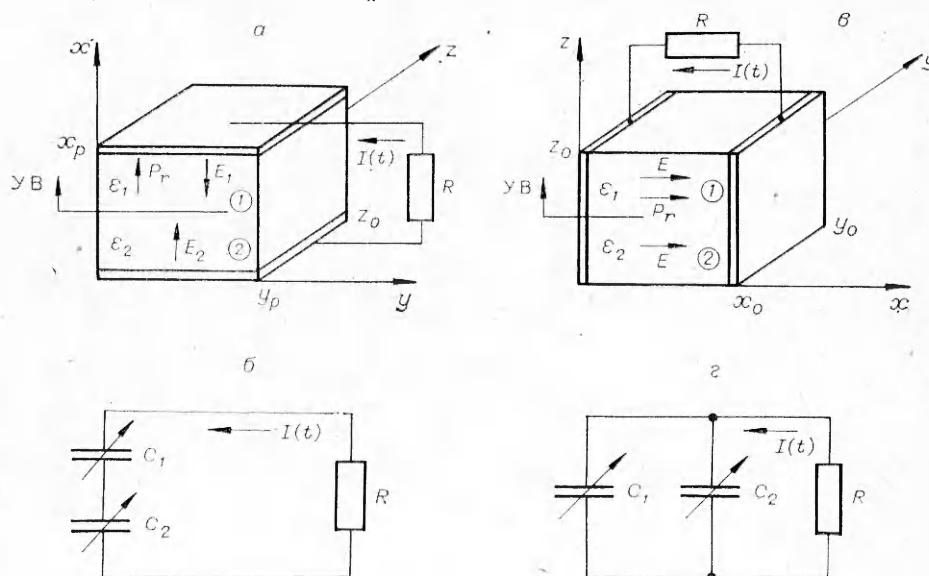
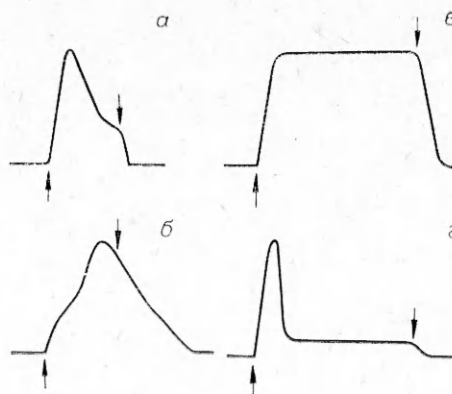


Рис. 1. Схематическое изображение (а, в) и эквивалентные электрические схемы (б, г) аксиального (а, б) и поперечного (в, г) преобразователей.
1 — несжатая зона; 2 — сжатая зона.

Рис. 2. Репродукции осциллограмм $V(t) = RI(t)$, полученных в опытах: с короткозамкнутой (а, в; $R = 1$ и 3 Ом) и разомкнутой (б, г; $R = 0,2$ и 51 кОм) цепями аксиального (а, б) и поперечного (в, г) преобразователей. Стрелками слева направо показаны моменты времени входа и выхода УВ. Опыты проведены с пьезо-керамикой ПКР-1 [2] при давлении ~ 5 ГПа.



кривых $V(t)$ авторами [1, 2] и более ранних работ¹ привлекались такие параметры СЭ, как электропроводность в ударно-сжатом состоянии и гистерезис в несжатой зоне. Пробой рассматривался как естественное завершение процесса электропроводности.

Сравнение и анализ кривых $V(t)$ на рис. 2, однако, дают возможность по-новому осветить особенности развития пробоя в аксиальном и поперечном преобразователях: в первом независимо от режима работы за фронтом УВ всегда отмечаются предпробойные явления, которые не могут закончиться образованием канала пробоя до тех пор, пока ударная волна не выйдет на границу СЭ — электрод; во втором — когда напряжение на обкладках сегнетоконденсатора превзойдет величину электрической прочности СЭ, в его объеме образуется канал пробоя, имеющий конечное сопротивление r , шунтирующее внешнюю нагрузку преобразователя R .

Напомним, что процесс преобразования энергии УВ в электрическую в объеме СЭ состоит в перемещении поляризованных зарядов против сил возбуждаемого электрического поля [4]. При полной деполяризации СЭ в аксиальном преобразователе всегда генерируется максимальное поле $E_{\max} = P(\epsilon_2 \epsilon_0)^{-1}$, где P — поляризация СЭ; ϵ_2 и ϵ_0 — диэлектрические проницаемости ударно-сжатого СЭ и вакуума. В поперечном преобразователе поле может изменяться (регулироваться) от нуля (короткозамкнутая цепь) до E_{\max} (разомкнутая цепь). Не отрицая факта наличия электропроводности в ударно-сжатом СЭ, но и не придавая ему теперь главенствующей роли в объяснении характера $V(t)$, рассмотрим подробнее особенности развития пробоя в аксиальном и поперечном преобразователях. Они, по нашему мнению, могут быть поняты лишь с учетом энергетической природы электрического пробоя.

Действительно, для образования канала пробоя требуется затрата определенного количества энергии $W = x_0 w$, где x_0 — расстояние между электродами исследуемого образца; w — энергия, затрачиваемая на образование единицы длины канала пробоя. Как в поперечном, так и в аксиальном случае W может быть отобрана только от электрического поля, генерируемого при деполяризации СЭ.

В поперечном преобразователе эта энергия целиком принадлежит электрическому полю сегнетоконденсатора, поскольку его несжатая и сжатая зоны включены параллельно и ограничивающие их электроды (обкладки отвечающих им конденсаторов) всегда совмещены с электродами сегнетоконденсатора. Соответственно заряды, сосредоточенные на этих обкладках, всегда являются зарядами проводимости и могут обеспечить передачу энергии от электрического поля сегнетоконденсатора к зародившемуся и развивающемуся каналу пробоя в СЭ.

В аксиальном преобразователе генерируемая в СЭ электрическая энергия также накапливается на соответствующих емкостях несжатой и сжатой зон и также может быть отнесена к емкости всего сегнетоконденсатора. Однако в отличие от поперечного случая одна из обкладок

¹ Библиографию см. в [1—3].

каждой из этих зон совпадает с фронтом УВ, который является непроводящей поверхностью. На ней сосредоточены связанные заряды поляризации, перемещающиеся с фронтом УВ. Это означает, что энергия от электрического поля, существующего в объеме сегнетоконденсатора, не может быть передана ни к одному из микрообъемов ударно-сжатого СЭ, подготовленному к образованию канала пробоя протекавшими в нем предпробойными процессами. Следовательно, невозможно и образование канала пробоя до тех пор, пока фронт УВ не совместится со вторым электродом ударно-нагружаемого образца, так что заряды, перемещаемые фронтом УВ, приобретают необходимую подвижность и будут способны переносить энергию в место развития пробоя.

С точки зрения потерь заряда деполяризации рассмотренная картина развития пробоя означает:

в аксиальном преобразователе, когда в объеме СЭ происходит полная деполяризация, электропроводность, пред- и пробойные явления имеют место всегда и в разной степени в зависимости от давления в УВ, дефектности образца, ориентации направления движения УВ (положительная или отрицательная) уменьшают величину заряда, протекающего через нагрузку; на кривых $I(t)$ или $V(t)$ это отражается в виде провалов, спадов и других дефектов, отличающих эти кривые от П-образных;

в поперечном преобразователе (при тех же условиях) до тех пор, пока действующее в СЭ электрическое поле не достигнет некоторой критической величины, пред- и пробойные явления не возникают, потеря заряда, протекающего через нагрузку, не наблюдается, кривые $I(t)$ или $V(t)$ сохраняют П-образную или близкую к ней форму. По-видимому, это связано с тем, что в данном случае и электропроводность не сказывается существенно на потерях заряда деполяризации.

Таким образом, особенности развития пробоя в аксиальном и поперечном взрывном преобразователях энергии носят принципиальный характер. Возможность регулировки величины электрического поля в поперечном преобразователе [2, 4] и, следовательно, возможность управления пред- и пробойными явлениями делают его предпочтительным по сравнению с аксиальным. Этот вывод еще в большей степени подтверждает выводы [4].

Поступила в редакцию 29/IV 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. P. C. Lysne, C. M. Percival. Ferro — electric, 1976, 10, 129.
2. Е. З. Новицкий, В. Д. Садунов, Г. Я. Карпенко. ФГВ, 1978, 14, 4, 115.
3. Lee Davison, R. A. Graham. Phys. Reports, 1979, 55, 4, 255.
4. Е. З. Новицкий, В. Д. Садунов.— В кн.: Детонация. Черноголовка, 1980.

ГЕТЕРОГЕННАЯ (ГАЗ — ПЛЕНКА) ДЕТОНАЦИЯ. ПРАВИЛО ОТБОРА СКОРОСТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ, ПЕРЕБОГАЩЕННЫХ ГОРЮЧИМ

С. А. Лесняк, В. Г. Слуцкий
(Москва)

В отличие от однородных газовых систем, где область распространения детонации ограничена составами, близкими к стехиометрическому [1], в гетерогенных системах (пленка горючего на стенках трубы, заполненной газообразным окислителем) возможно распространение процесса при практически бесконечно больших значениях массовых отношений горючего и окислителя [2, 3].

Схематическое изображение детонационного фронта, распространяющегося в трубе постоянного сечения S , заполненной газообразным окис-