

Поверхностный разряд в однородном поле

Закономерности поверхностного разряда проявляются особенно ярко в однородном электрическом поле. Диэлектрик в виде цилиндра помещается между электродами так, чтобы его торцы плотно прилегали к ним, а образующие цилиндра были бы параллельны силовым линиям поля. В этом случае при условии хорошего контакта между поверхностями образца и электродами однородность поля не нарушается.

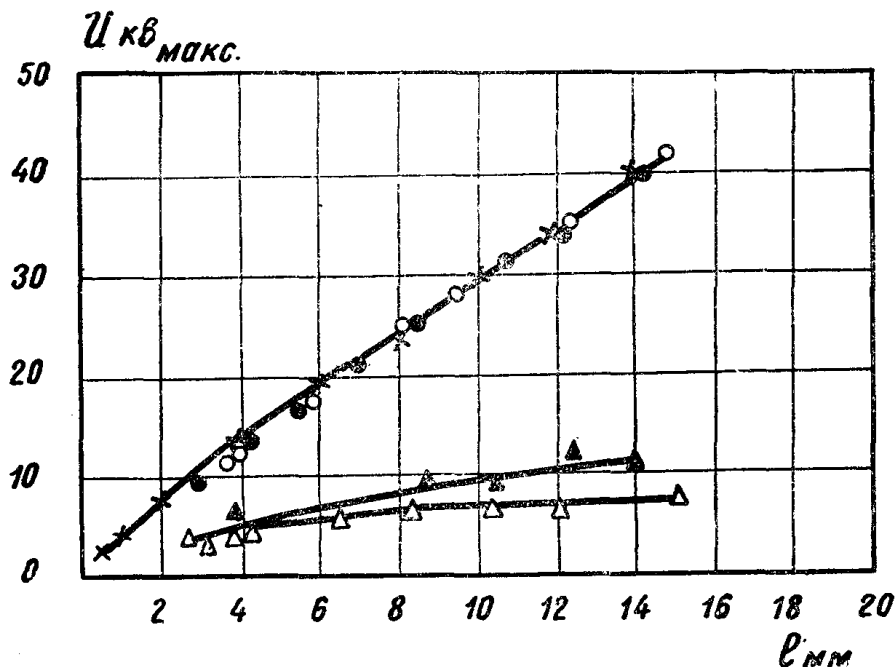
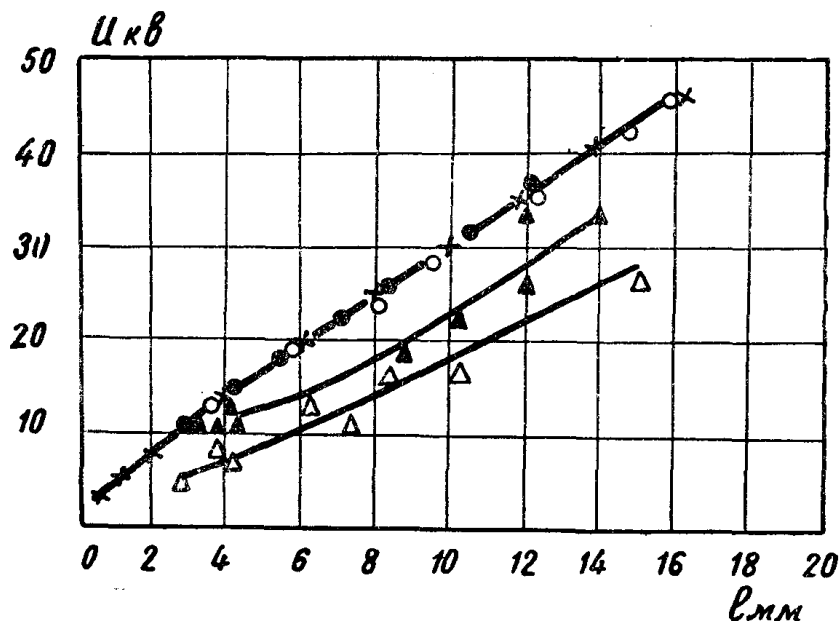


Рис. 1

Зависимость напряжения поверхностного разряда в однородном поле от толщины образцов с посеребренными торцами.

\times — пробой воздуха \bullet — $MgTiO_3$ \circ — $CaTiO_3$
 \blacktriangle — СВТ \triangle — $BaTiO_3$

а) — при постоянном напряжении (f — относительная влажность 39%).



б) — при частоте 50 гц ($f = 37\%$)

Образцы для исследования в однородном поле изготовлялись из следующих титанатов: $MgTiO_3$ ($\epsilon = 12 \div 14$), $CaTiO_3$ ($\epsilon \approx 150$), СВТ (стронций—висмут—титанат) ($\epsilon \approx 750$) и $BaTiO_3$ ($\epsilon = 1200 \div 1500$). Диаметр образцов составлял 10 мм, высота изменялась в пределах 15 мм. На торцы образцов наносились электроды путем вжигания серебра.

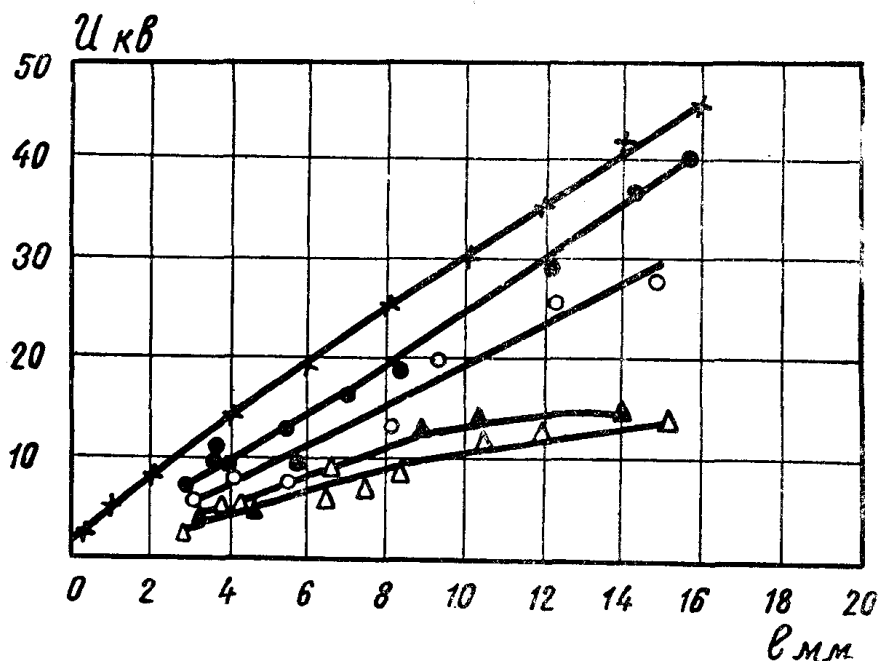


Рис. 2. Зависимость напряжения поверхностного разряда от толщины образцов с непосредственными торцами в однородном поле при частоте 50 гц ($f = 33\%$).

× — пробой воздуха, ● — $MgTiO_3$, ○ — $CaTiO_3$, ▲ — СВТ, △ — $BaTiO_3$

Результаты исследования зависимости напряжения поверхностного разряда от толщины образцов представлены на рис. 1. (Здесь и везде ниже даны амплитудные значения напряжения). Для сравнения на рис. 2 показаны те же самые зависимости, но для случая образцов с непосредственными торцами. Из представленных данных следует, что напряжение поверхностного разряда при относительной влажности 37–39% совпадает с напряжением пробоя воздуха для диэлектриков с величиной диэлектрической проницаемости, не превышающей 150, и не совпадает для диэлектриков с $\epsilon = 1000$. Последнее обстоятельство, по видимому, связано с недостаточно правильной формой керамических цилиндров, что может у диэлектриков с очень большой ϵ заметно нарушить однородность поля, тем самым снизить напряжение разряда. Действительно, в случае явно плохого контакта (рис. 3) напряжение поверхностного разряда имеет меньшую величину, что характерно для всех материалов.

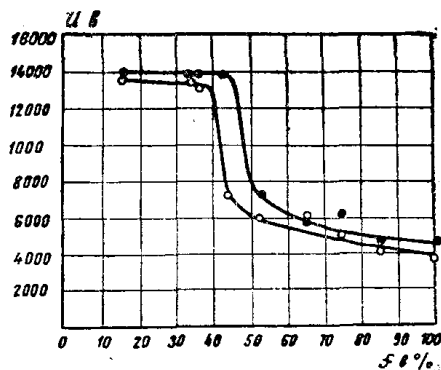


Рис. 3. Зависимость напряжения поверхностного разряда в однородном поле от относительной влажности для образцов из $MgTiO_3$ ($l = 4,1$ мм)

На рис. 3 представлена зависимость напряжения поверхностного разряда от относительной влажности воздуха для образцов из $MgTiO_3$, а на рис. 4—аналогичная зависимость в случае разных материалов для отношения $U_{разр.}/U_{проб.}$ —напряжения поверхностного разряда к напряжению пробоя воздуха.

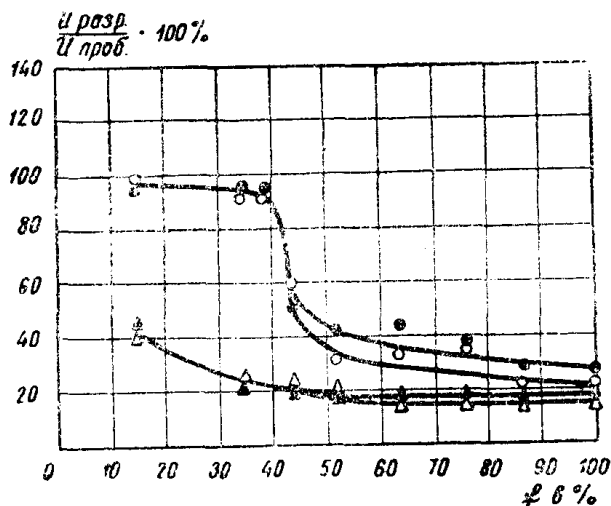
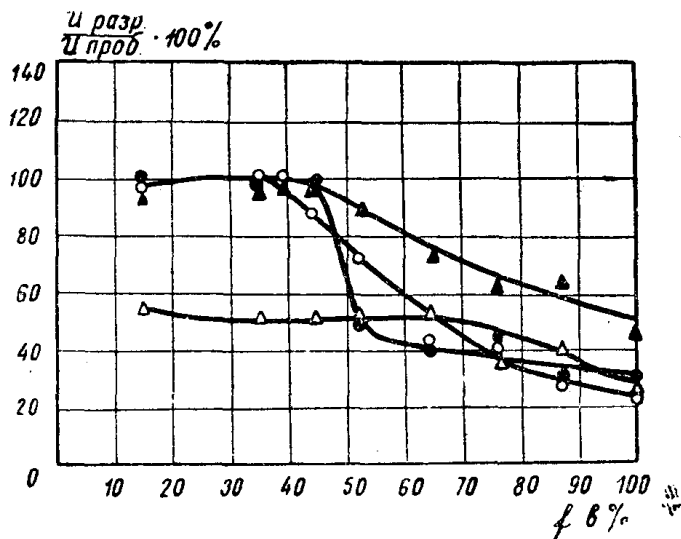


Рис. 4

Зависимость отношения $U_{разр.}/U_{проб.} \cdot 100\%$ от относительной влажности.

● — $MgTiO_3$ ○ — $CaTiO_3$ ▲ — СВТ △ — $BaTiO_3$
а) — при постоянном напряжении в однородном поле.



б) — при частоте 50 гц

Как следует из рисунков, напряжение поверхностного разряда совпадает с напряжением пробоя воздуха в области сравнительно малой относительной влажности воздуха (до 40%), в области 40%—50% начинается спад $U_{разр.}$, резкий при постоянном напряжении и более плавный при 50 гц. Для образцов с $\epsilon \approx 1000$ напряжение поверхностного разряда везде ниже $U_{проб.}$ Это объясняется, повидимому, как уже указывалось выше, несовершенством в изготовлении образцов.

Зависимость $U_{\text{разр.}}$ керамических материалов от относительной влажности можно объяснить, воспользовавшись гипотезой [9], согласно которой на поверхности твердых диэлектриков при большой относительной влажности и в сильном электрическом поле образуются сплошные слои влаги, пересекающие образец от одного электрода до другого, причем образование этих слоев облегчено, если поверхность диэлектрика смачивается водой (керамика). Благодаря этим слоям, которые обладают проводимостью значительно большей, чем сам диэлектрик, происходит перезарядка поверхности, т. е. накопление положительных зарядов у катода и отрицательных у анода. Это нарушает первоначальную однородность поля и приводит к тому, что разряд происходит фактически в неоднородном поле, а это в свою очередь снижает $U_{\text{разр.}}$. Последнее предположение было высказано, а также экспериментально проверено Вальтером и Инге [10].

Таким образом, из представленных данных следует, что сплошные слои влаги в случае керамических диэлектриков начинают образовываться при относительной влажности 40—50%.

Так как процесс перезарядки поверхности диэлектрика требует некоторого времени для своего развития, то при высокой частоте он может отсутствовать. Действительно, опыты показали, что при частоте 136 кГц и выше не наблюдается никакой зависимости $U_{\text{разр.}}$ от относительной влажности воздуха.

Исследование зависимости напряжения поверхностного разряда от давления показало, что $U_{\text{разр.}}$ зависит от давления почти также, как $U_{\text{проб.}}$ воздуха, что справедливо при малой относительной влажности воздуха при постоянном напряжении и частоте 50 Гц. В остальных случаях наблюдается резкое расхождение между ними, а именно: $U_{\text{разр.}}$ растет гораздо медленнее с ростом давления чем $U_{\text{проб.}}$

Поверхностный разряд в неоднородном электрическом поле

Поверхностный разряд в неоднородном поле протекает более сложно. Существенное влияние оказывает в этом случае уже имеющаяся неоднородность поля. Таким образом, дополнительные процессы перезарядки поверхности диэлектрика могут не иметь большого значения.

Изучение закономерностей поверхностного разряда в неоднородном поле целесообразно разбить на две стадии; поверхностный разряд в неоднородном поле, тангенциальная составляющая которого к поверхности диэлектрика гораздо больше, чем нормальная, и разряд в поле с ярко выраженной нормальной составляющей поля.

Первый случай простейшего неоднородного поля дает возможность более ясно выяснить влияние неоднородности на протекание поверхностного разряда.

Образцы для исследования были изготовлены в виде плоских дисков из керамических диэлектриков, титанатов MgTiO_3 ($\epsilon = 12 - 14$), CaTiO_3 ($\epsilon \cong 150$), СВТ ($\epsilon \cong 750$), BaTiO_3 ($\epsilon = 1200 - 1500$), а также в виде трубочек из конденсаторных керамических материалов УФ—50 ($\epsilon \cong 7$), ТК—20 ($\epsilon \cong 25$) и Т—80 ($\epsilon \cong 70$). Электроды наносились с помощью вжигания серебра; в случае трубчатых образцов они покрывали весь образец за исключением узкого кольца, по которому проходил разряд, а в случае плоских дисков непокрытой электродами оставалась полоска с расходящимися краями, причем разряд происходил поперек этой полоски. Размеры образцов были следующие: диаметр плоских образцов составлял 23 мм, толщина и расстояние между электродами (ширина полоски) изменялись в зависимости от условий опыта: диаметр трубчатых образцов 4,0 мм, толщина стенок трубки 0,4 мм, длина 35 мм, расстояние между электродами (ширина кольца) определялась условиями опыта. Разряд вдоль поверхности таких образцов

происходил в электрическом поле, которое практически не имеет нормальной составляющей к поверхности диэлектрика.

Исследование зависимости напряжения поверхностного разряда от расстояния между электродами как для плоских, так и для трубчатых образцов показало, что в случае неоднородного поля $U_{разр.}$ может даже превышать $U_{проб.}$ воздуха. Последнее справедливо для материалов с $\epsilon \leq 150$ при сравнительно больших расстояниях между электродами (≈ 10 мм) и относительной влажности 50—60% и выше (постоянное напряжение и 50 гц). Этот факт объясняется, повидимому, тем, что при достаточной относительной влажности перезарядка поверхности диэлектрика может снижать степень неоднородности поля, тем самым повышая $U_{разр.}$ В качестве примера ряд данных представлен на рис. 5.

Исследование зависимости $U_{разр.}$ от толщины плоских образцов при разных частотах показало, что при изменении толщины образцов от 1 до 10 мм напряжение поверхностного разряда не изменяется, хотя снижается по абсолютной величине с ростом частоты. На рис. 6 представлены результаты для одного из исследуемых материалов. Аналогичные данные получены и для остальных диэлектриков.

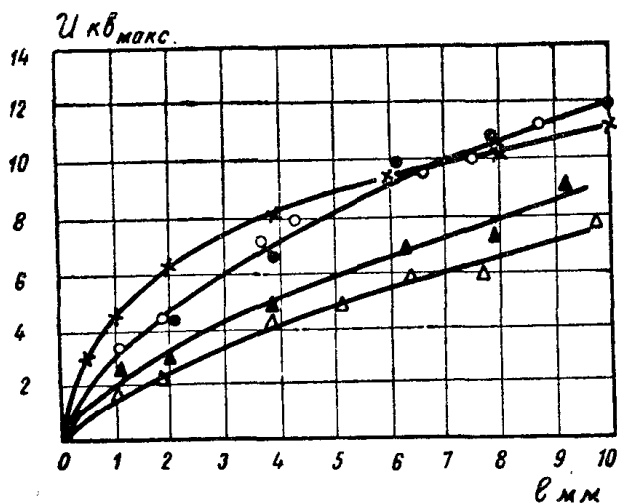


Рис. 5. Зависимость напряжения поверхностного разряда от расстояния между электродами для плоских образцов при частоте 50 гц ($f = 59\%$).

× — пробой воздуха, ● — $MgTiO_3$,
○ — $CaTiO_3$, ▲ — СВТ, △ — $BaTiO_3$.

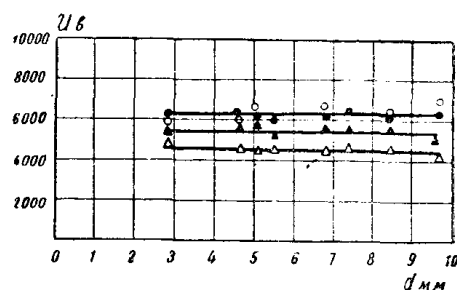


Рис. 6 Зависимость напряжения поверхностного разряда от толщин плоских образцов из $CaTiO_3$ ($f = 53\%$, $l = 3,9$ мм).

○ — пост. напряжение, ● — 50 гц,
▲ — 136 кгц, △ — 1030 кгц.

При изменении влажности воздуха напряжение поверхностного разряда изменяется значительно меньше при постоянном напряжении чем, в однородном поле. Это изменение совсем незначительно при 50 гц. Кроме того, в случае неоднородного поля наблюдается максимум $U_{разр.}$ лежащий при относительной влажности 45—55%. На рис. 7 показаны указанные зависимости для плоских и трубчатых образцов двух исследуемых материалов. Такая же картина наблюдается и у остальных исследуемых диэлектриков. На рис. 8 показано, как зависит $U_{разр.}$ от влажности воздуха по отношению к $U_{проб.}$ которое, как известно, не зависит от влажности. Следует заметить, что при 50 гц $U_{разр.}$ диэлектриков с очень высокой ϵ не достигает $U_{проб.}$ ни при какой относительной влажности воздуха. Аналогичные зависимости для $\frac{U_{разр.}}{U_{проб.}} \times 100\%$ наблюдаются и для трубчатых образцов.

Полученные зависимости $U_{разр.}$ от относительной влажности показывают с одной стороны, что при достаточной влажности воздуха процесс перезарядки поверхности, повидимому, может до некоторой степени умень-

шать степень неоднородности поля. Это приводит к тому, что $U_{разр.}$ увеличивается с ростом влажности, однако, при дальнейшем увеличении влажности наблюдается обратная картина, т. е. степень неоднородности увеличивается и $U_{разр.}$ уменьшается (максимум $U_{разр.}$). С другой стороны,

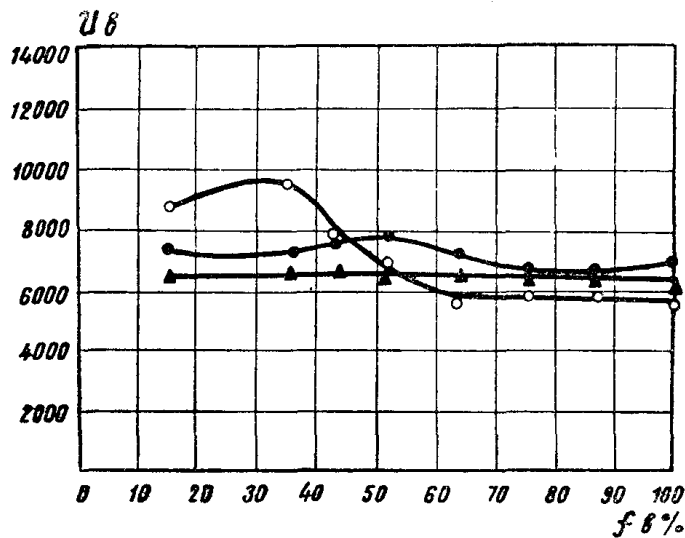
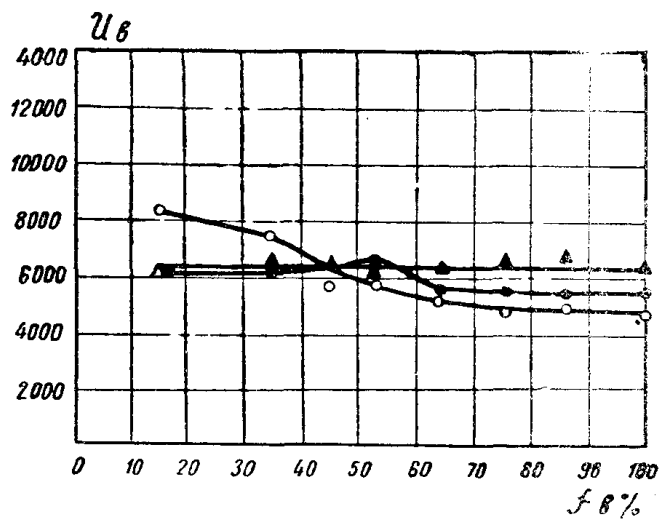


Рис. 7

Зависимость поверхностного разряда от относительной влажности.

○ — пост. напряжение ● — 50 гц ▲ 435, 5 кгц

а) — для плоских образцов из $MgTiO_3$
($l = 3,9$ мм, $d = 1,7$ мм).



б) — для трубчатых образцов из УФ-50 ($l = 3,2$ мм).

видно, что при 50 гц $U_{разр.}$ зависит от влажности в меньшей степени чем при постоянном напряжении. Повидимому, в неоднородном поле процесс перезарядки более длительный, чем в однородном поле, так что рассматриваемая зависимость не может проявиться достаточно ярко уже при 50 гц. Как видно из рис. 7, при малой относительной влажности $U_{разр.}$ совпадает с $U_{проб.}$, несколько превышает его в максимуме и затем становится меньше $U_{проб.}$ При высокой частоте (~ 450 кгц) $U_{разр.}$, так же как и в однород-

ном поле, не зависит от относительной влажности воздуха, что справедливо как для плоских, так и для трубчатых образцов.

Исследование зависимости напряжения поверхностного разряда от давления для плоских трубчатых образцов показало, что $U_{разр.}$ растет с

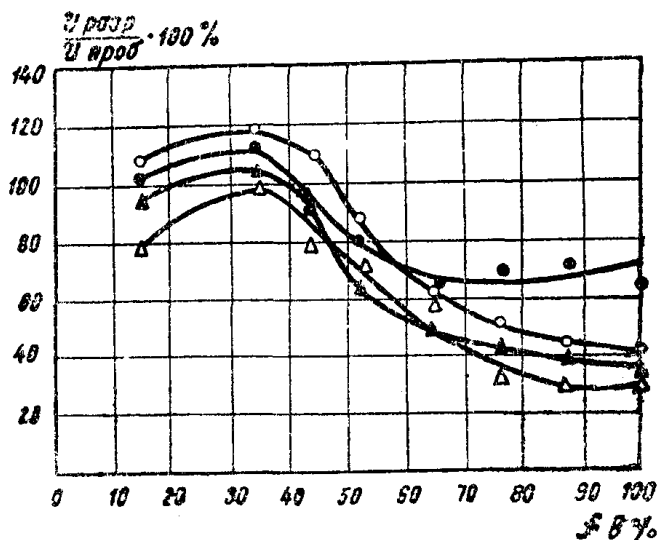
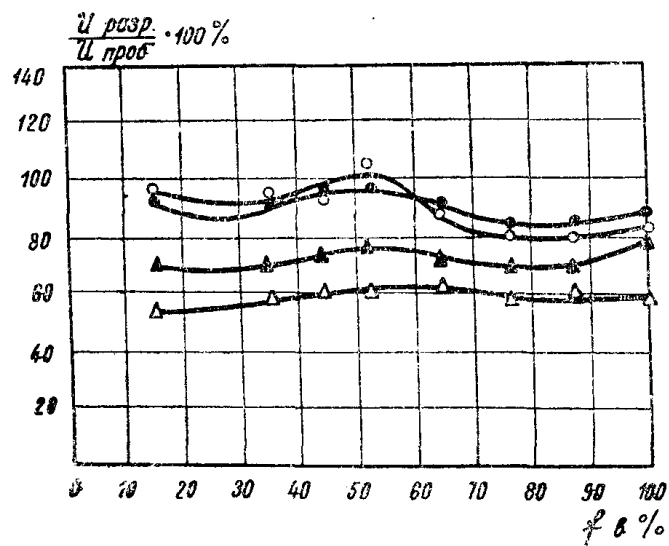


Рис. 8

Зависимость отношения $\frac{U_{разр.}}{U_{проб.}} \cdot 100\%$ от относительной влажности для плоских образцов

● — $MgTiO_3$ ○ — $CaTiO_3$ ▲ — CBT △ — $BaTiO_3$

а) — при постоянном напряжении



б) — при частоте 50 гц.

увеличением давления. При малой относительной влажности и при величине произведения $\epsilon \cdot \nu$ (ϵ — диэлектрическая проницаемость, ν — частота поля гц), приблизительно меньшей $10^6 \div 10^7$, зависимость $U_{разр.}$ от давления может только незначительно отличаться от соответствующей зависимости для $U_{проб.}$ даже при давлениях, близких к атмосферному. В остальных случаях $U_{разр.}$ растет более медленно, чем $U_{проб.}$ В качестве примера рассмотрим рис. 9, на котором представлены зависимости $U_{разр.}$ исследуемых

диэлектриков от давления при частоте 136 кГц. Из этого рис., а также из следующих (рис. 10 и 11) следует, что с ростом произведения $\epsilon \cdot \nu$ $U_{разр.}$ уменьшается по абсолютной величине. Так, $U_{разр.}$ не зависит от частоты для $MgTiO_3$ ($\epsilon = 12$, рис. 10) и резко зависит для $BaTiO_3$ ($\epsilon \cong 1200$, рис. 11). В случае трубчатых образцов замеченные выше закономерности также имеют место. Данные, показывающие зависимость $U_{разр.}$ (в вольтах) исследуемых диэлектриков от частоты, приведены в табл. 1 (давл.—нормальное относительная влажность $f = 30\%$, температурная —комнатная.).

Таблица 1

Частота / Предмет исследования	Постоянное напряжение	50 кГц	136 кГц	450 кГц	1 мГц
Плоские электроды без диэлектрика $l = 3,95$ мм	9000	8000	8000	8000	8000
Плоские образцы из $MgTiO_3$ $l = 3,90$ мм, $d = 1,6$ мм	9500	7000	6500	6250	6000
Плоские образцы из $CaTiO_3$ $l = 3,90$ мм, $d = 2,2$ мм	10000	7500	6750	6750	4750
Плоские образцы из СВТ $l = 3,90$ мм, $d = 2,3$ мм	9000	5500	4000	4000	3500
Плоские образцы из $BaTiO_3$ $l = 4,00$ мм, $d = 2,0$ мм	8000	4500	2500	—	—
Трубчатые электроды без диэлектрика $l = 3,40$ мм	8000	7500	6500	6000	6000
Трубчатые образцы из УФ-50 $l = 3,30$ мм	8000	6000	6000	6000	6000
Трубчатые образцы из Тк-20 $l = 3,20$ мм	8500	7000	6500	6500	6000

Зависимость $U_{разр.}$ от частоты, проявляющаяся тем более резко, чем выше ϵ исследуемого диэлектрика и частота поля,— обусловлена, по видимому, влиянием емкостных токов вдоль поверхности диэлектрика на процесс пробоя воздуха в непосредственной близости от поверхности.

При наличии нормальной составляющей к поверхности диэлектрика процесс поверхностного разряда в неоднородном поле протекает сложнее. Поле с ярко выраженной нормальной составляющей к поверхности создается при помощи серебрения нижней поверхности плоских образцов и

соединения ее с одним из электродов. В случае трубчатых образцов серебром покрывалась внутренняя поверхность трубочки.

Опыт показал, что в этом случае $U_{разр.}$ имеет более низкую величину, чем соответствующее $U_{разр.}$ в поле без нормальной составляющей. Так,

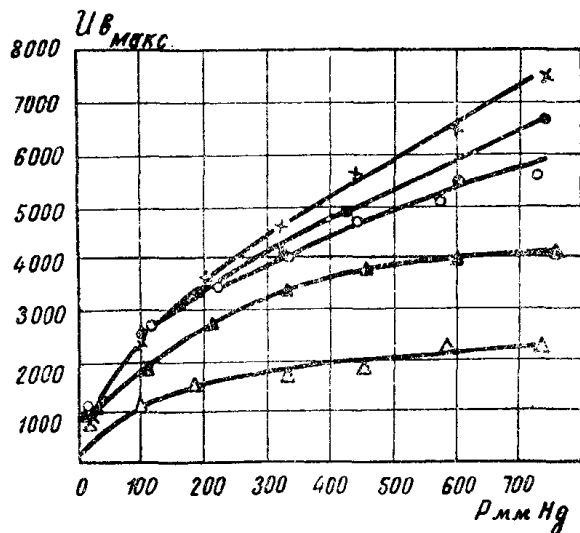


Рис. 9. Зависимость напряжения поверхностного разряда от давления для плоских образцов при частоте 136 кГц ($l=3,9$, $d=20$ мм, $f=60\%$)

× — пробой воздуха, ● — $MgTiO_3$, ○ — $CaTiO_3$,
▲ — СВТ, △ — $BaTiO_3$.

для образцов из $CaTiO_3$ при 750 мм ($f=60\%$) $U_{разр.}=6200$ в в случае, когда нормальной составляющей поля к поверхности можно пренебречь, и $U_{разр.}=4000$ в при тех же условиях, но при наличии нормальной составляющей. Кроме того, в последнем случае наблюдается зависимость $U_{разр.}$

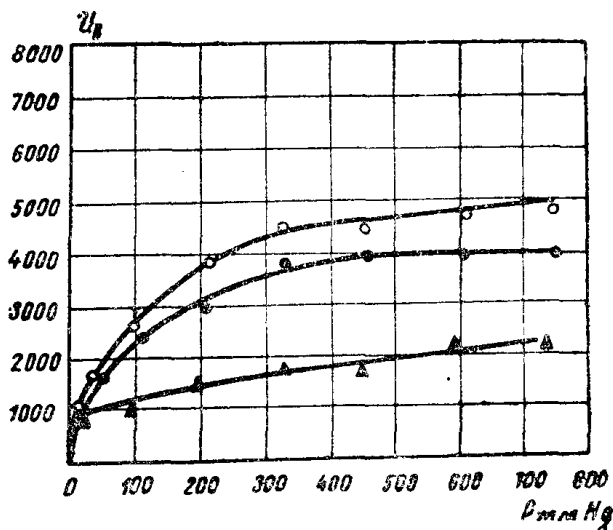


Рис. 10. Зависимость напряжения поверхностного разряда от давления для плоских образцов из $MgTiO_3$ при разных частотах ($l=3,95$ мм, $d=1,6$ мм, $f=61\%$)

○ — пост. напряжение, ● — 50 гц, ▲ — 136 кГц,
△ — 459 кГц, × — 939 кГц.

от толщины образцов, чего не наблюдалось раньше, а именно $U_{разр.}$ исследуемых диэлектриков несколько уменьшается при уменьшении толщины диэлектрика.

Уменьшение $U_{разр.}$ при наличии нормальной составляющей поля к поверхности диэлектрика может быть объяснено [3] тем, что в результате действия этой составляющей поля прораствание заряда происходит с некоторым трением, так как заряды как бы „прижимаются“ к поверхности диэлектрика; это вызывает добавочную термическую ионизацию и снижение $U_{разр.}$. Весьма вероятно, что в этом случае действие нормальной составляющей поля сводится также к тому, что имеет место осаждение зарядов на поверхности диэлектрика у электрода, одноименных с этим электродом [14]. Благодаря этому электроды как бы приближаются друг к другу, что также вызывает снижение $U_{разр.}$ по величине.

Зависимость $U_{разр.}$ от толщины диэлектрика, наблюдающаяся при наличии нормальной составляющей поля к поверхности, связана [13] с тем, что при достаточной величине отношения l/d (l —расстояние между электродами, d —толщина диэлектрика) большинство силовых линий поля проходит сквозь диэлектрик, поэтому $U_{разр.}$ растет с увеличением d .

Поверхностный разряд и закон Пашена

В однородном поле в случае малой относительной влажности воздуха при постоянном напряжении или 50 гц закон Пашена достаточно хорошо выполняется и при разряде вдоль поверхности диэлектрика [9]. При относительной влажности 50—60% и выше, а также при высокой частоте и большой диэлектрической проницаемости материала закон Пашена выполняется лишь приближенно в некоторых интервалах изменения параметров p, ϵ, ν (p —давление).

В случае поверхностного разряда в неоднородном поле, которое рассматривалось в основном в настоящей работе (нормальной составляющей поля к поверхности диэлектрика можно пренебречь), закон Пашена выполняется приближенно для плоских и трубчатых образцов с $\epsilon < 150$ при всех частотах (l изменялась от 1 до 10 мм, p —от 75 до 750 мм рт. ст. и не выполняется для образцов с большей величиной ϵ (например, для СВТ и $BaTiO_3$).

Невыполнимость закона Пашена говорит о том, что при поверхностном разряде могут иметь место процессы, не отвечающие законам подобия газового разряда. Наиболее вероятным процессом, нарушающим закон подобия в рассматриваемом случае, является, повидимому, нагревание поверхности диэлектрика, а, следовательно, и объема газа у поверхности, обусловленное диэлектрическими потерями. Кроме того, при большой величине диэлектрической проницаемости материала необходимо строго при-

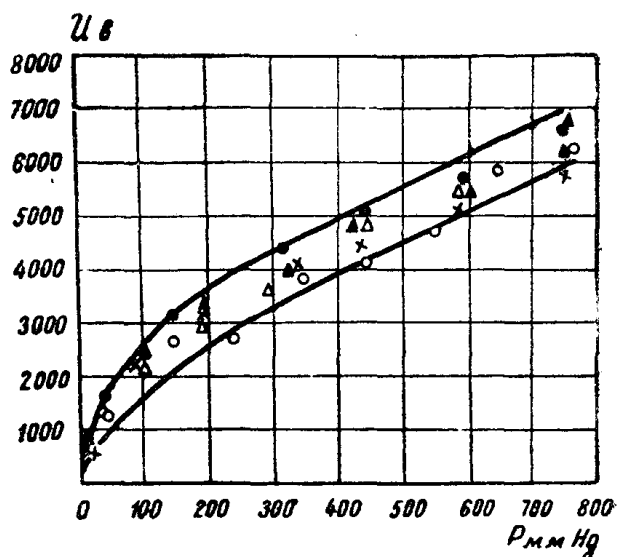


Рис. 11. То же для $BaTiO_3$ ($l = 4,0$ мм, $d = 2,1$ мм, $f = 60\%$).

○ — пост. напряжение, ● — 50 гц, ▲ — 136 кГц.

держиваться подобного изменения размеров образца при изменении расстояния между электродами, хотя выполнимость закона Пашена показывает, что это несущественно в рассматриваемом случае для диэлектриков с $\epsilon < 150$.

Как было видно выше, для плоских и трубчатых образцов с $\epsilon < 150$ закон Пашена выполняется приблизительно. В этом случае при $p \times l > 400$ мм рт. ст. наблюдается пропорциональность между $U_{разр.}$ и $p \times l$, т. е.

$$U_{разр.} = k (p \times l).$$

Постоянная k может быть определена из измерений $U_{разр.}$ при разных давлениях. Зная k , можно определить $U_{разр.}$ при любых давлениях и расстояниях между электродами.

Таблица 2

Частота	Предмет исследования	Постоянное напряжение	в		
			50 гц	136 кгц	1 мгц
	Плоские образцы	2,4	3,0	2,0	2,0
	Трубчатые образцы	2,5	3,5	3,5	3,4

В табл. 2 представлены значения постоянной k в $\frac{\text{мм. мм рт. ст.}}{\text{мм. мм рт. ст.}}$ для плоских и трубчатых образцов ($\epsilon \approx 10$) при разных частотах (температура комнатная, влажность 60%).

Выводы

В результате проделанной работы показано следующее:

1. Напряжение поверхностного разряда керамических диэлектриков в однородном поле всегда равно или меньше соответствующего напряжения пробоя воздуха и очень чувствительно при больших ϵ к качеству однородности поля.

2. В неоднородном электрическом поле напряжение поверхностного разряда, также ниже, чем соответствующее напряжение пробоя воздуха, однако в некоторых случаях при достаточной влажности может превышать его.

3. В неоднородном поле с резко выраженной нормальной составляющей к поверхности диэлектрика $U_{разр.}$ значительно снижено.

4. Напряжение поверхностного разряда как в однородном, так и в неоднородном электрических полях резко зависит от относительной влажности окружающего воздуха при постоянном напряжении и 50 гц и не зависит при частоте 136 кгц и выше.

5. Напряжение поверхностного разряда уменьшается с ростом частоты тем сильнее, чем больше диэлектрическая проницаемость диэлектрика (что справедливо приблизительно при $\epsilon \nu > 10^6 - 10^7$, где ϵ —диэлектрическая проницаемость, ν —частота в гц).

6. Закон Пашена в случае поверхностного разряда выполняется только в некоторых интервалах изменения давления и расстояния между электродами, которые в свою очередь обусловлены формой электрического поля,

частотой поля, величиной диэлектрической проницаемости материала и относительной влажностью воздуха.

Настоящая работа выполнена под руководством проф. Г. И. Сканави, которому автор выражает свою глубокую благодарность.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Kampeschulte, Arch. Electrotechn. **29**, 525, 1931.
2. C. Reher, Arch. Electrotechn. **25**, № 4, 277, 1931.
3. Toepler, Arch. Electrotechn. **10**, 157, 1921. Arch. Electrotechn. **18**, 549, 1927.
4. H. Eisler, Zs. Techn. Physik **18** № 2, 33, 1937.
5. F. W. Maxstadt, El. Eng. **53**, 1062, 1934.
6. F. Obenaus, F. Steyer, ETZ **35**, 793, 1940.
7. Б. Вул и И. Гольдман, Изв. АН СССР, сер. физ. № 4, 577, 1936.
8. Ф. А. Квинтер и А. Петерсон „Электричество“, № 4, в. I, 1933.
9. H. Ritz, Arch. Electrotechn. **26**, 58, 1932.
10. L. Inge und A. Walter, Arch. Elechotechn. **26**, № 6, 409, 1932.
11. A. Roth, Hochspannungstechnik, 3-te. Wien, 1950.
12. М. И. Мантров „Электричество“, № 9, 54, 1940.
13. С. И. Пекар и Л. И. Шер, ЖТФ, **14**, № 10–11, 623, 1944.
14. А. П. Александров и др. Физика диэлектриков под ред. А. Ф. Вальтера., ГТТИ, Ленинград, Москва. 1932.

Москва, физический институт
им. П. Н. Лебедева АН СССР

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
5	15 сверху	Зинерман	Зингерман
9	2 снизу	пробивкой напряженности	пробивной напряженностью
13	4 сверху	$\varepsilon_m \cong 4 \frac{h}{2\pi}$	$\varepsilon \cong 4 \frac{h}{2\pi} \omega$
24	подпись под рисунком	рис.	рис. 9.
50	14 сверху	$\frac{1}{M_L^{ак}} = \left\{ \frac{1}{M} \right.$	$\frac{1}{M_L^{ак}} = \left\{ \frac{1}{M_-} \right.$
53	10 сверху	$\frac{df^{1/2}}{d\varepsilon}$	$\frac{df^{1/2}}{d\varepsilon}$
57	5 сверху	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{1,3\varepsilon}} e^{-\frac{q}{E}(\varepsilon - I)^2} \right)$	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{1,3\varepsilon}} \right) e^{-\frac{q}{E}(\varepsilon - I)^2}$
64	Уравнение (87)	$l_2(\varepsilon_2, \varepsilon_1) = l_1 e^{-\frac{1}{l_0}}$	$l_2(\varepsilon_2, \varepsilon_1) = l_1 e^{-\frac{l_1}{l_0}}$
65	18 снизу	$I \div 2\varepsilon_p$	$I + 2\varepsilon_p$
85	7 снизу	$10^{14} \cdot \frac{\pi \cdot 0,52 \cdot 10^{-2}}{4} \cdot 10^{-}$	$10^{14} \cdot \frac{\pi \cdot 0,52 \cdot 10^{-2}}{4} \cdot 10^{-2}$
111	2 сверху	производимости	проводимости
111	8 и 10 сверху	активизации	активации
120	5 сверху	прочности химического	прочности от химического
135	литерат. 6	стр. . .	стр. 113
147	11 снизу	$\varepsilon \cong 1000$	$\varepsilon \approx 1000$
148	подпись к рис. 4.	<i>Иразр. Ипроб.</i>	<i>Иразр. / Ипроб.</i>
204	рис. 1	KbBr	RbBr
253	подпись к рис. 6	$2 - f = 4 \cdot 10^3 \text{ гц}; 3 - f = 10^2 \text{ гц}$	$2 - f = 4 \cdot 10^2 \text{ гц}; 3 - f = 10^3 \text{ гц}$
273	7 сверху	KCl	KCl
290	подпись к рис. 4	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
294	1 снизу	от 10	от 10^{-4} при $f = 2 \cdot 10^7$ до 6 10
282		таблица	таблица 2
324	3 сверху	стр. 269	стр. 251
336	16 снизу	[3,4]	[3]
337	10 сверху	[5]	[4]
337	4 снизу	[6]	[5]
337	1 снизу	[7]	—
338	2 сверху	[8]	[6]
338	4 и 5 сверху	[9,10]	[7,8]
339	8 снизу	[11,12]	[9,10]
340	14 сверху	[13]	[11]
347	23 снизу	[14]	[12]
347	3,4 снизу	[15]	—
348	17 снизу	[16]	[13]
350	4 сверху	$\psi_{\varphi} [M] x = \text{Const}$	$\psi_{\varphi} [M] x = \text{Const}$
451	1 снизу	механический	технический