

В.И. Гунько, Л.И. Онищенко, И.Ю. Гребенников, А.Я. Дмитришин,
Е.Н. Слепец, С.О. Топоров

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНО- ВОЙ ЖИДКОСТИ ПМС-10 С КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, iipt@iipt.com.ua*

При создании высоковольтных электротехнических устройств особое место занимает выбор пропитывающего жидкого диэлектрика. Наряду с обычными требованиями – высокая электрическая прочность, низкие диэлектрические потери, стойкость к воздействию частичных разрядов, газостойкость – жидкие диэлектрики должны обладать рядом специальных свойств, главным из которых является совместимость с конструкционными материалами. Под совместимостью жидких диэлектриков с конструкционными материалами понимается не только тот факт, что применяемые конструкционные материалы не должны вызывать значительного снижения электрофизических характеристик жидкого диэлектрика, но и сама жидкость в свою очередь не должна ухудшать физико-механические характеристики конструкционных материалов. Отсутствие конкретной информации не позволяет прогнозировать долговечность электротехнических устройств, в частности высоковольтных импульсных конденсаторов, в которых жидкие диэлектрики очень часто эксплуатируются в условиях сильных электрических полей и повышенных температур.

В справочной литературе [1, 2] сведения о взаимном влиянии жидких диэлектриков и конструкционных материалов даны в общей форме – активными катализаторами окисления являются медь и ее сплавы, соли органических кислот и металлов переменной валентности (медь, железо, кобальт и др.), причем для каждого вида жидкого диэлектрика необходимо индивидуально подбирать полимерные материалы, и особенно резины, применяемые для герметизации электротехнических устройств.

При оценке влияния конструкционных материалов на электрофизические характеристики жидких диэлектриков, применяемых в конденсаторостроении [3–5], основное внимание уделяется влиянию полимерных пленок, фольги и слоя металлизации на характеристики жидкостей. При этом совместимость оценивалась по изменению тангенса угла потерь жидких диэлектриков, как одной из наиболее чувствительных характеристик, отражающих работоспособность пропитанной изоляции в целом.

Цель данной работы – оценка влияния конструкционных материалов, применяемых в конденсаторостроении, на электрофизические характеристики полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10, применяемой в качестве пропитывающего диэлектрика высоковольтных импульсных конденсаторов.

Полученные результаты исследований могут быть использованы не только при создании высоковольтных импульсных конденсаторов, но и любых других электротехнических устройств, где применена полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10.

Для проведения исследований были выбраны следующие конструкционные материалы: фольга алюминиевая А5, полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ, поликарбонатная пленка ПК-К, полипропиленовая пленка ПП-КСШ, медь М1, медь, луженная припоем ПОС-40, латунь Л63, трубка стеклоэпоксифенольная, стеклотекстолит СТЭФ-1, полиамид ПА6 марки «Б», сополимер полипропилена 22007-29, резина МБС-М1, резина 51-1434, резина 51-1486, резина ИРП-2052, лак ЛБС-1.

Влияние конденсаторной бумаги марки КОН и фторопласта не рассматривалось, так как, по данным [1, 2], они инертны по отношению к жидким диэлектрикам.

Перед проведением исследований полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10 была подвергнута очистке и стабилизации по соответствующей технологии.

Образцы конструкционных материалов помещались в отдельные стеклянные емкости с полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-10 и выдерживались в течение 24 часов при следующих условиях:

© Гунько В.И. , Онищенко Л.И. , Гребенников И.Ю. , Дмитришин А.Я. , Слепец Е.Н. , Топоров С.О.,
Электронная обработка материалов, 2008, № 1, С. 86–90.

– остаточное давление – не более 6 Па;

– температура – 125^{+5} °С.

После выдержки при указанных условиях емкости с полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-10 и помещенными в них образцами конструкционных материалов охлаждались под вакуумом до температуры окружающей среды и выдерживались в течение 48 часов.

Результаты измерения электрофизических характеристик полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 – относительной диэлектрической проницаемости ϵ , тангенса угла потерь $\operatorname{tg}\delta$, удельного объемного электрического сопротивления ρ_v и электрической прочности $E_{\text{пр.ср}}$ после контакта с конструкционными материалами – показаны в таблице и на диаграммах, приведенных на рис. 1–4. Для наглядности изменения электрофизических характеристик ПМС-10 на диаграммах основной линией показаны значения электрофизических характеристик ПМС-10 до контакта с конструкционными материалами.

Результаты испытаний на совместимость полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 с конструкционными материалами

Материалы	Характеристики			
	$E_{\text{пр.ср}}$, кВ/мм	ϵ	$\operatorname{tg}\delta$	ρ_v , Ом·см
Фольга алюминиевая А5	16,8	2,61	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{12}$
Полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ	17,2	2,68	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{12}$
Поликарбонатная пленка ПК-К	16,9	2,62	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{12}$
Полипропиленовая пленка ПП-КСШ	17,1	2,63	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{12}$
Сталь Ст3	17,0	2,59	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{12}$
Сталь 45	17,1	2,60	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{12}$
Медь М1	16,4	2,47	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{12}$
Медь, луженная припоем ПОС-40	16,9	2,51	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{12}$
Латунь Л63	16,5	2,50	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{12}$
Трубка стеклоэпоксифенольная	17,2	2,69	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{12}$
Стеклотекстолит СТЭФ-1	17,1	2,68	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{12}$
Полиамид ПА6 марки «Б»	16,9	2,41	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{12}$
Сополимер полипропилена 22007-29	16,8	2,48	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{12}$
Резина МБС-М1	13,6	2,38	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{12}$
Резина 51-1434	16,7	2,55	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{12}$
Резина 51-1486	16,8	2,52	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{12}$
Резина ИРП-2052	8,7	2,31	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{12}$
Лак ЛБС-1	17,1	2,52	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{12}$

Примечание. До испытания на совместимость с конструкционными материалами полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10 имела следующие характеристики: $E_{\text{пр.ср}} = 17,4$ кВ/мм; $\epsilon = 2,64$; $\operatorname{tg}\delta = 4,0 \cdot 10^{-4}$; $\rho_v = 2,5 \cdot 10^{12}$ Ом·см.

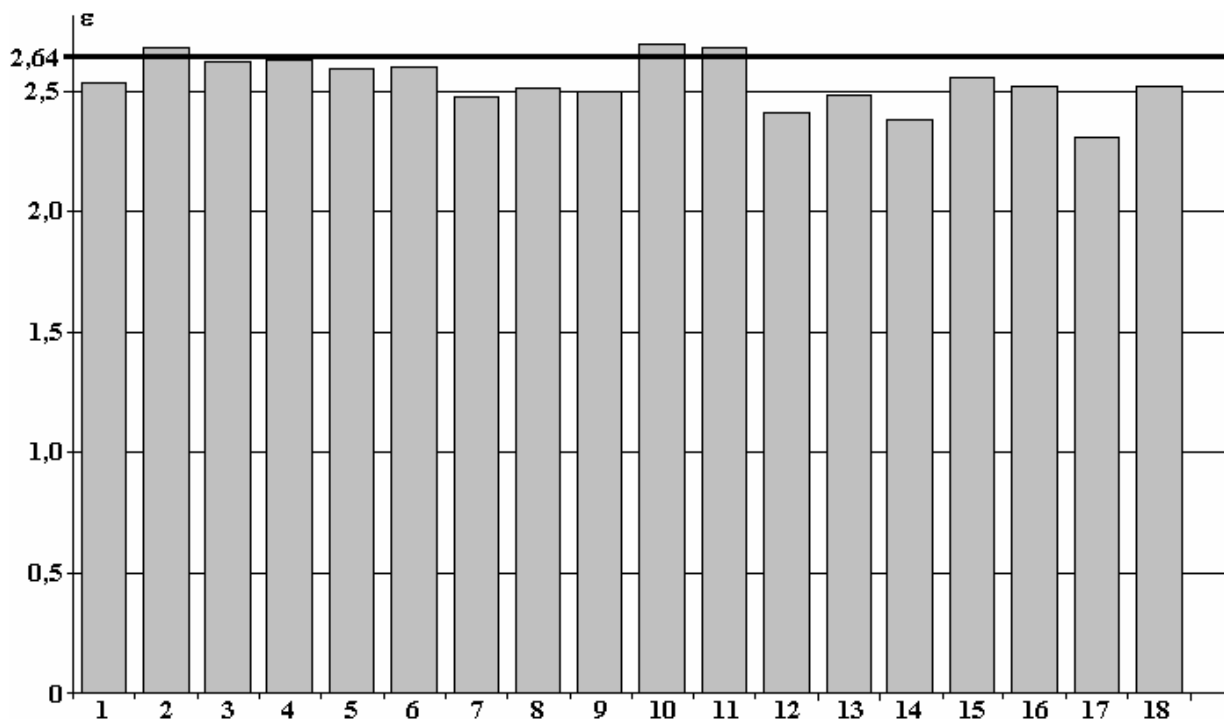


Рис. 1. Изменение относительной диэлектрической проницаемости полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припоем ПОС-40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

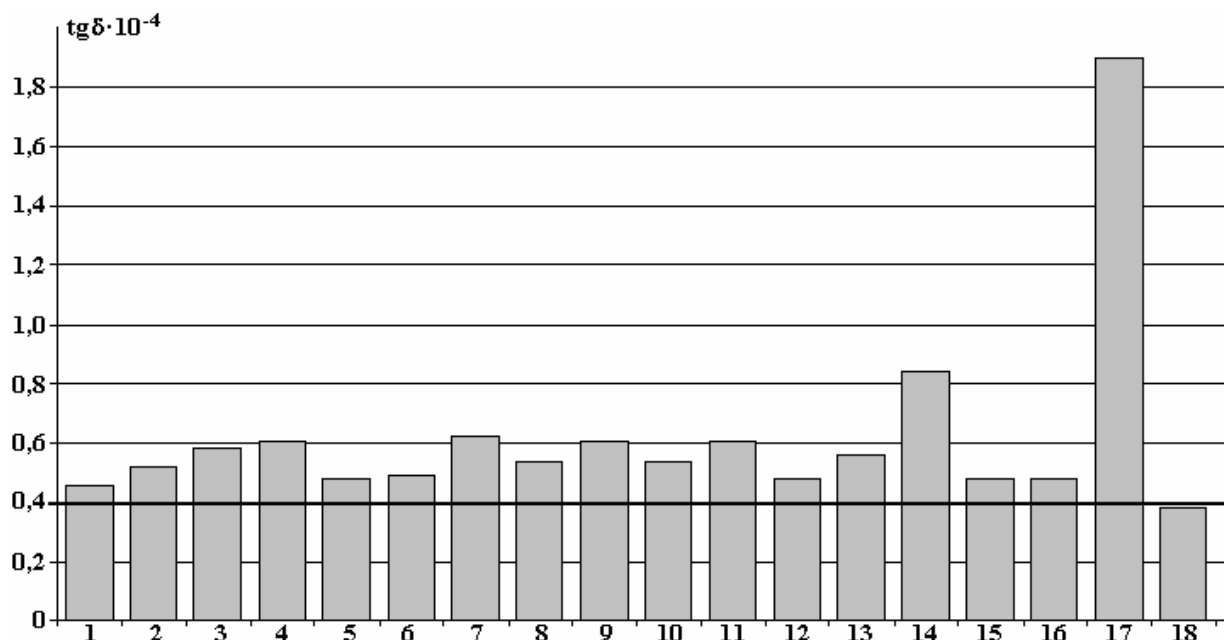


Рис. 2. Изменение тангенса угла потерь полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припоем ПОС-40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

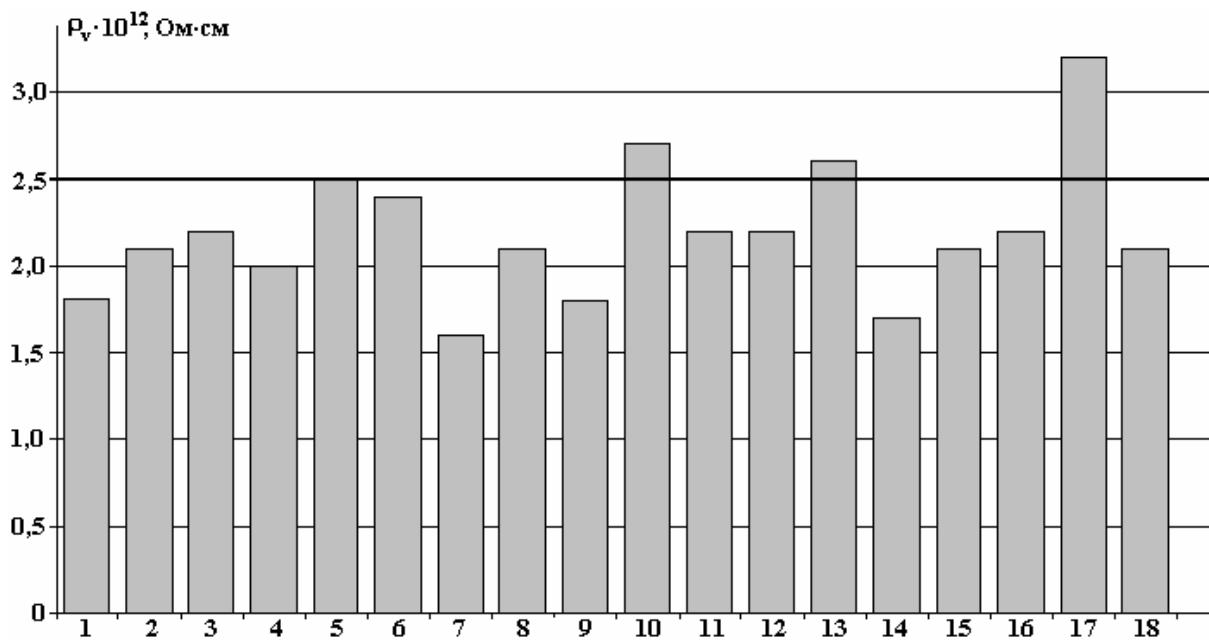


Рис. 3. Изменение удельного объемного электрического сопротивления полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припоем ПОС-40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

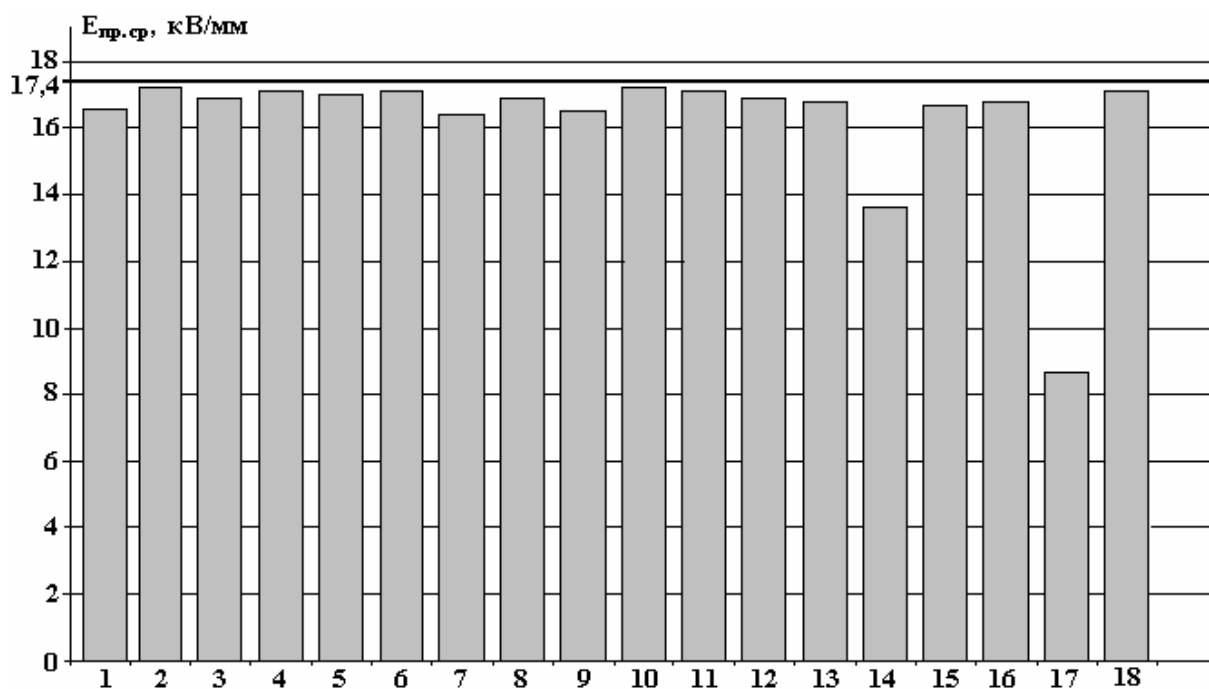


Рис. 4. Изменение электрической прочности полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 после контактирования с конструкционными материалами. 1 – фольга алюминиевая А5; 2 – полиэтилентерефталатная пленка ПЭТ-КЭ; 3 – поликарбонатная пленка ПК-К; 4 – полипропиленовая пленка ПП-КСШ; 5 – сталь Ст3; 6 – сталь 45; 7 – медь М1; 8 – медь, луженная припоем ПОС-40; 9 – латунь Л63; 10 – трубка стеклоэпоксифенольная; 11 – стеклотекстолит СТЭФ-1; 12 – полиамид ПА6 марки «Б»; 13 – сополимер полипропилена 22007-29; 14 – резина МБС-М1; 15 – резина 51-1434; 16 – резина 51-1486; 17 – резина ИРП-2052; 18 – лак ЛБС-1

Как показали результаты проведенных исследований, почти все конструкционные материалы, выбранные для проведения экспериментов на совместимость с полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-10, за исключением резин МБС-М1 и ИРП-2052, не оказывают существенного влияния на изменение характеристик ПМС-10. Так, электрическая прочность жидкости после контактирования с резинами МБС-М1 и ИРП-2052 снизилась соответственно на 21,8 и 50%, а тангенс угла потерь ПМС-10 возрос соответственно от 2,1 до 5 раз.

Влияние меди и ее сплавов (латуни Л63) на характеристики полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 не столь заметно, как влияние этих материалов на характеристики трансформаторного масла [6], но и в данном эксперименте медь, луженная припоем ПОС-40, оказывает меньшее влияние на характеристики жидкости по сравнению с влиянием меди и латуни Л63.

Обобщая результаты проведенных исследований по оценке влияния конструкционных материалов на электрофизические характеристики полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10, можно сделать следующие выводы:

– рассмотренные конструкционные материалы существенно не ухудшают электрофизические характеристики полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10;

– в конструкциях электротехнических устройств, где используется полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10, все медные токоведущие части должны быть облужены;

– для эксплуатации в контакте с полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-10 могут быть рекомендованы следующие типы резин – 51-1434 и 51-1486.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехнические материалы. Справочник / В.Б. Березин, Н.С. Прохоров, Г.А. Рыков и др. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Энергоатомиздат, 1983. 504 с.
2. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В. Корицкого и др. Т.1. 3-е изд. перераб. М.: Энергоатомиздат, 1986. 386 с.
3. Андреев А.М., Журавлева Н.М., Александрова Н.П., Галахова Н.М. Изменение эксплуатационных характеристик пленочно-пропитанной изоляции конденсаторов вследствие взаимодействия ее компонентов // М.: Электротехника. 1996. № 3. С. 69–71.
4. Журавлева Н.М., Андреев А.М., Молодова Л.А., Луцкая Т.В. Выбор пропитывающих жидкостей для высоковольтных пленочных конденсаторов. М.: Электротехника, 1994. № 4. С. 55–58.
5. Андреев А.М., Журавлева Н.М., Сажин Б.М., Луцкая Т.В. Оценка удельной энергоемкости пленочных конденсаторных структур, пропитанных жидкими диэлектриками. М.: Электротехника. 1994. № 9. С. 57–60.
6. Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Топоров С.О., Фещук Т.А. Исследование совместимости трансформаторного масла Т-1500 с конструкционными материалами // Электронная обработка материалов. 2006. № 5. С. 77–79.

Поступила 24.08.07

Summary

In the article is reviewed influencing structural materials on the basic electrophysical characteristics (electric strength, relative dielectric permability, loss tangent, per-unit-volume electric resistance) of poly-methylsilyloxan liquid PMS-10.