УДК 541.133:621.319.45:547.898

# ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКЕТОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ОКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНЛЕНСАТОРОВ

© 2019 г. А. С. Кузнецова<sup>a, b, \*</sup>, А. Я. Мехряков<sup>b</sup>, С. В. Волков<sup>b</sup>, О. И. Койфман<sup>a</sup>, М. К. Исляйкин<sup>a, \*\*</sup>

<sup>а</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, Международная научно-исследовательская лаборатория наноматериалов, Научно-исследовательский институт макрогетероциклических соединении просп. Шереметевский, 7, Иваново, 153000 Россия

<sup>b</sup>OAO "Элеконд", Лаборатория алюминиевых конденсаторов ул. Калинина, 3, Сарапул, Удмуртская Республика, 427968 Россия

\*e-mail: kuznetsova.alex.91@gmail.com

\*\*e-mail: islyaikin@isuct.ru

Поступила в редакцию 25.12.2017 г.
После доработки 12.09.2018 г.
Принята к публикации 27.09.2018 г.

Исследовано влияние добавок макрогетероциклических соединений ABAB- и A'BBB-типов, где A-1,3-фенилен или 2,6-пиридин, A'-1,3-фенилен и B-1,3-изоиндолин связаны между собой азамостиками, и их комплексов с медью(II) и кобальтом(II) на температурно-частотные характеристики макетов алюминиевых малогабаритных оксидно-электролитических конденсаторов вертикальной ЧИП-конструкции в диапазоне температур -60...+100°C и диапазоне частот 50 Гц...200 кГц. Показано, что добавки макрогетероциклов и их комплексов уменьшают значения сопротивления и токов утечки макетов в изученных условиях.

*Ключевые слова*: макрогетероциклическое соединение, рабочий электролит, макет алюминиевого оксидного электролитического конденсатора

**DOI:** 10.1134/S0424857019010067

# **ВВЕДЕНИЕ**

Бесперебойная работа конденсаторов — залог стабильного использования различной электроники и техники. Алюминиевые оксидные электролитические конденсаторы (АОЭК) являются наиболее дешевыми и малогабаритными конденсаторами большой емкости для цепей постоянного тока при напряжениях, не превышающих 630 В [1-4]. Вследствие электрохимического газовыделения при протекании тока [5] на обкладках происходит так называемое "вздутие" конденсаторов, т.е. повышение давления внутри корпуса. К сожалению, механизм этого разрушительного процесса изучен недостаточно полно, но есть основания предполагать, что это явление связано с образованием активных частиц радикальной природы [6, 7]. В связи с этим введение специальных химических добавок в рабочие электролиты конденсаторов, способных ингибировать образование радикалов, представляется весьма целесообразным. При этом добавки должны не только эффективно связывать радикалы, но и отвечать противоречивым условиям: снижению сопротивления и увеличению напряжения искрения.

Макрогетероциклические соединения (**Mc**), в частности различные производные гемипорфиразинов, являются объектами интенсивных научных исследований [8—13]. Они обладают практически ценными свойствами, наиболее интересным из которых является способность улавливать и рекомбинировать радикалы [14].

Так медный комплекс Мс 6 принят отечественной промышленностью в качестве термо- и светостабилизатора поликапроамидного волокна под названием "Стабилин-9" [15]. Изучение электропроводности [16, 17] показало, что в твердом состоянии Мс 1-3 и их комплексы с медью 4-6 и кобальтом 7-9 имеют удельную проводимость, колеблющуюся в широком интервале от  $10^{-7}$  до  $10^{-17}$  Ом $^{-1}$  см $^{-1}$ , при этом проводимость при повышении температуры изменяется экспоненциально, т.е. подчиняется закону Ома.

На основании изложенного выше следовало ожидать, что добавки Мс и их металлокомплексов к электролиту могут повысить эффективность работы электролитических конденсаторов. Однако на момент постановки настоящей работы в литературе не содержалось сведений об использовании Мс в этих устройствах. Поэтому целью работы является изучение влияния добавок Мс и их металлокомплексов на температурно-частотные характеристики макетов алюминиевых оксидных электролитических конденсаторов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ЭСП в видимой и УФ-областях регистрировали на спектрофотометре HITACHI U-2001 (Hitachi, Япония) при комнатной температуре в кварцевых прямоугольных кюветах толщиной 10 мм. Элементный анализ проводили на приборе FlashEA 1112 CHNS—О Analyzer (Thermo Scientific, США). ИК-спектры регистрировали на спектрометре AVATAR 360 FT-IR (Fastest-Growing, Канада). Образцы для ИК-спектров в виде таблеток готовили тщательным растиранием образца в КВг и прессованием. MALDI-TOF спектры регистрировали в области положительных ионов без использования матрицы, а также с дигидроксибензойной кислотой (DHB) и α-циано-4-гидрокоричной кислотой (CHCA) в качестве матриц на

приборе Shimadzu Biotech Axima Confidence (Shimadzu, Япония).

Макрогетероциклические соединения **1–3** были получены и очищены в соответствии с методиками [18–21].

Выход 1: 55%.  $\lambda_{\text{max}}$  (lge), (ДМФА), нм: 327 (4.25), 340 (4.08) (328 (4.23), 343 (4.23) [19]).  $T_{\text{пл}} = 379 - 380^{\circ}\text{C}$  (380°C [19]). Найдено, %: С 73.22; Н 4.71; N 18.45. Вычислено для  $C_{28}H_{18}N_6 \cdot H_2O$ , %: С 73.67; Н 4.42; N 18.41. ИК-спектр (КВг),  $\overline{\nu}$ , см<sup>-1</sup>: 3748, 3669, 3446, 3417, 2961, 2922, 2852, 1672, 1577, 1472, 1361, 1262, 1186, 1099, 1051, 956, 874, 804, 693. МАLDI-TOF m/z, Да (DHB): найдено: 439.2, вычислено для  $C_{28}H_{19}N_6^+$ : ЕМ = 439.2 [М + H] $^+$ .

Выход 2: 51%.  $\lambda_{\text{max}}$  (lgε), (ДМФА), нм: 352 (4.22) (354 (4.31) [20]).  $T_{\text{пл}} = 348-350^{\circ}\text{C}$  (3448°C [20]). Найдено, %: С 69.97; Н 3.59; N 25.01. Вычислено для  $C_{26}H_{16}N_8$ , %: С 70.90; Н 3.66; N 25.44. ИК-спектр (КВг),  $\overline{\nu}$ , см<sup>-1</sup>: 3450, 1666, 1577, 1555, 1471, 1430, 1231, 1152, 1099, 771, 690. MALDI-TOF m/z, Да (DНВ): найдено: 441.1, вычислено для  $C_{26}H_{17}N_8^+$ : ЕМ = 441.1 [М + Н]<sup>+</sup>.

Выход **3**: 31%.  $\lambda_{\text{max}}$  (lg $\epsilon$ ), (хлороформ), нм: 506 (3.73). Найдено, %: С 74.59; Н 3.47; N 20.29. Вычислено для  $C_{30}H_{17}N_7$ , %: С 75.78; Н 3.60; N 20.62. MALDI-TOF m/z, Да (DHB): найдено: 476.1, вычислено для  $C_{30}H_{18}N_7^+$ : EM = 476.2 [M + H] $^+$ .

Медные и кобальтовые комплексы **4**—**6** и **7**—**9** получали по общей методике [13, 21].

Выход **4**: 66%. ИК-спектр (КВг),  $\overline{\nu}$ , см<sup>-1</sup>: 3420, 2971, 2926, 2850, 1656, 1553, 1472, 1371, 1297, 1152, 1104, 1042, 877, 773, 708. MALDI-TOF m/z, Да (СНСА): найдено: 499.0, вычислено для  $C_{28}H_{16}N_6Cu^+$ : EM = 499.1 [M]<sup>+</sup>.

Выход **5**: 68%. ИК-спектр (КВг),  $\overline{v}$ , см<sup>-1</sup>: 3380, 2973, 2891, 1620, 1578, 1469, 1430, 1375, 1317, 1259, 1192, 1111, 1084, 882, 812, 775, 705. MALDI-TOF m/z, Да (СНСА): найдено: 502.1, вычислено для  $C_{26}H_{14}N_8Cu^+$ : EM = 502.0 [М] $^+$ .

Выход **6**: 86%. ИК-спектр (КВг),  $\overline{\nu}$ , см<sup>-1</sup>: 3445, 3287, 3258, 3071, 2923, 2847, 1630, 1584, 1542, 1498, 1404, 1313, 1248, 1169, 1079, 1051, 1007. 880, 807, 772, 729, 690. MALDI-TOF m/z, Да (без матрицы): найдено: 536.0, вычислено для  $C_{30}H_{15}N_7Cu^+$ :  $EM = 536.1 \ [M]^+$ .

Выход 7: 52%. MALDI-TOF m/z, Да (CHCA): найдено: 496.0, вычислено для  $C_{28}H_{17}N_6Co^+$ :  $EM = 495.1 [M + H]^+$ .

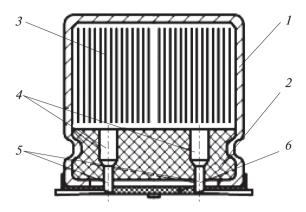
Выход **8**: 38%. MALDI-TOF m/z, Да (DHB): найдено: 497.0, вычислено для  $C_{26}H_{14}N_8Co^+$ :  $EM=497.1~[M]^+$ .

Выход **9**: 27%. MALDI-TOF m/z, Да (без матрицы): найдено: 532.0, вычислено для  $C_{30}H_{15}N_7Co^+$ :  $EM = 532.1 \ [M]^+$ .

Добавки Мс 1—3 и их металлокомплексов 4—9 растворяли в N,N-диметилформамиде и вводили в электролит со следующим соотношением компонентов (%): диметилформамид — 73.1, этиленгликоль — 19.4, *n*-нитроанизол — 1.1, себациновая кислота — 1.9, N-этилдиизопропиламин — 1.9, вода — 2.6. Концентрацию добавок Мс подбирали экспериментально: максимальное количество, растворимое в основном составе электролита, которое не приводило к коррозии экспериментального образца при определении формующей способности.

Определение напряжения искрения проводили с использованием предварительно оксидированного образца алюминиевой фольги на источнике питания постоянного тока GPR-100H05D (Good Will Instrument Co., Россия) при постоянном значении тока 1 мА, медленно повышая напряжение до начала искрения в соответствии с методикой [22]. Определение формующей способности проводили аналогичным способом с использованием предварительно травленого образца алюминиевой фольги на источнике питания GPR-100H05D при значении тока 125 мА в течение 10 мин при постоянном максимальном напряжении без искрения.

Измерение удельного сопротивления объектов исследования при нормальных условиях (температура электролита ( $20\pm1$ )°С) проводили на кондуктометре модели "712 Conductometr" (Metrom, Швейцария), помещая ячейку кондуктометра в



**Рис. 1.** Макет конденсатора с проволочными выводами ЧИП-конструкции: 1 – алюминиевый корпус, 2 – втулка, 3 – секция, 4 – алюминиевые проволочные выводы, 5 – сталемедные проволочные выводы, 6 – ЧИП-плошалка

электролит и фиксируя значение проводимости, при этом температура электролита контролировалась по термометру сопротивления Pt 1000. Измерение удельной проводимости при минусовых температурах проводили на том же кондуктометре "712 Conductometer", проводя термостатирование электролита в климатической испытательной камере. Температуру электролита контролировали по термометру сопротивления Pt 1000 [22].

Измерения при испытаниях макетов конденсаторов с объемом выборки n=2...5 на воздействие пониженной ( $-60\pm1^{\circ}\mathrm{C}$ ) и повышенной ( $+100\pm1^{\circ}\mathrm{C}$ ) температуры, определение значения тока утечки ( $I_{yr}$ , мкА) при подаче постоянного напряжения при различных частотах и температуре, а также измерение электрических характеристик конденсаторов проводили на РМЭ-8 (Россия), IR-meter 1855 (QuadTech, Канада), LCR-meter 7600 (IETLAB, США) [22].

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами было показано [23, 24], что добавки безметальных Мс 1 и 2, а также комплексов 6 и 7 практически в 2 раза снижают значение сопротивления как при нормальных условиях ( $\rho_{20}$ ), так и при пониженной температуре ( $\rho_{-60}$ ), не сокращая при этом напряжения искрения ( $U_{\rm u}$ ) и формовки ( $U_{\rm ф}$ ), а также практически не влияя на значение остаточного тока ( $I_{\rm ост}$ ) (табл. 1).

Добавки использовались в каталитических количествах, концентрация в основном зависела от растворимости Мс и их металлокомплексов в основном составе электролита.

Для исследования влияния добавок Мс были выбраны алюминиевые малогабаритные оксидно-электролитические конденсаторы вертикальной ЧИП-конструкции (рис. 1), предназначенные для работы в цепях постоянного и пульсиру-

Электролит	Без добавок	1	2	3	4	5	6	7	8	9
c, ммоль/л	_	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.005	0.04	0.3	0.1
$U_{\scriptscriptstyle \mathrm{M}},\mathrm{B}$	622	617	622	613	546	580	608	603	586	617
$U_{\Phi}$ , B	620	650	630	550	450	500	640	620	500	500
$I_{ m oct}$ , м ${ m A}$	7	7	7	37	22	27	5	5	20	34
$\rho_{20}$ , Ом см	3976	3546	3891	3636	3269	2797	3974	3651	3238	3575
$\rho_{-60}$ , Ом см	18057	16520	18 3 1 5	16279	17652	18685	17730	16617	17473	16812

**Таблица 1.** Результаты испытаний добавок **1**—**9** на напряжения искрения  $U_{\rm u}$  и формовки  $U_{\rm \phi}$ , сопротивления при температуре 20°C  $\rho_{20}$  и -60°C  $\rho_{-60}$ , а также на величину остаточного тока рабочего электролита  $I_{\rm ост}$ 

**Таблица 2.** Результаты испытаний макетов радиальных конденсаторов с применением рабочего электролита, содержащего **1**, **2**, **6**, **7**, при температуре  $+25^{\circ}$ C на значения емкости  $C_{\text{ном}}$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ , полного Z и эквивалентного R последовательного сопротивления и токов утечки  $I_{yT}$ 

№ п/п	Mc	$C_{\text{ном}}$ , мк $\Phi$ $f = 50 \ \Gamma$ Ц	$tg\delta$ , % $f = 50 \Gamma$ ц	Z,	Ом	<i>R</i> , Ом f= 100 Гц	$I_{ m yr}$ , мк ${ m A}$	
	1410			f= 50 Гц	$f$ = 100 к $\Gamma$ ц		1 мин	5 мин
1	_	$20.6 \pm 0.1$	$4.7 \pm 0.0$	$154.6 \pm 0.7$	$3.2 \pm 0.0$	$6.0 \pm 0.1$	$8.3 \pm 0.6$	$3 \pm 0.2$
2	1	$20.5 \pm 0.2$	$4.9 \pm 0.1$	$155.4 \pm 1.1$	$3.6 \pm 0.1$	$6.4 \pm 0.1$	$11 \pm 1.0$	$4 \pm 0.1$
3	2	$20.5 \pm 0.2$	$4.5 \pm 0.1$	$155.5 \pm 1.3$	$3.2 \pm 0.1$	$5.9 \pm 0.0$	9 ± 1.4	$3.5 \pm 0.5$
4	6	$20.7 \pm 0.1$	$5.2 \pm 0.1$	$153.7 \pm 0.3$	$3.6 \pm 0.1$	$6.7 \pm 0.3$	$8.8 \pm 0.5$	$3 \pm 0.0$
5	7	$20.5 \pm 0.3$	$3.8 \pm 0.3$	$155.4 \pm 2.2$	$2.5 \pm 0.2$	$4.6 \pm 0.3$	$8.3 \pm 0.9$	$3 \pm 0.1$

ющего тока вторичных источников питания и преобразовательной техники. Значение номинальной емкости для макетов конденсаторов  $C_{\text{ном}} = 22 \text{ мк}\Phi$ , а номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 450 \text{ B}$ , с удельным зарядом 2 984 мкКл/см³, величиной тангенса угла диэлектрических потерь (100 Гц, 25°С) tg $\delta$  не более 0.25% и значением тока утечки (5 мA, 25°С)  $I_{\text{ут}}$  не более 396 мкA, устойчивые в температурном диапазоне -60...+100°С.

На первом этапе проводили определение и контроль значений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь при стандартных частотах измерения: 50, 100,  $120 \, \Gamma \mu$ , 1, 10, 100,  $200 \, \kappa \Gamma \mu$  [22]. Величину тока утечки отсчитывали после подачи на конденсатор измерительного напряжения че-

рез 5 мин  $\pm$  10 с. Полное и эквивалентное последовательное сопротивление измеряли при стандартных частотах [25]. Полученные данные по влиянию добавок на свойства макетов конденсаторов при нормальных условиях ( $\pm$ 25°C) представлены в табл. 2.

Было установлено, что все макеты конденсаторов соответствуют нормам, при этом добавка 7 значительно снижает значение сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь. Далее проводили испытания на воздействие повышенной (+100°С) и пониженной (-60°С) температуры среды при постоянном напряжении  $U_{\text{ном}} = 450 \text{ B}$  (табл. 3).

**Таблица 3.** Результаты испытаний макетов радиальных конденсаторов с применением рабочего электролита, содержащего **1**, **2**, **6**, **7**, при повышенной ( $+100^{\circ}$ C) и пониженной ( $-60^{\circ}$ C) температуре среды на значения емкости  $\Delta C$ , токов утечки  $I_{\rm yr}$ , тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg}\delta$ , полного Z и эквивалентного R последовательного сопротивлений

№ п/п	Мс	+100°C		−60°C					
		$\Delta C$ , % $(f = 50 \ \Gamma_{\rm II})$	<i>I</i> <sub>ут</sub> , мкА (1 мин)	$\Delta C$ , % $(f = 50 \Gamma \text{II})$	$tg\delta, \%$ $(f = 50 \Gamma_{\text{Ц}})$	$Z_{-60}/Z_{+25}$ ( $f = 50 \ \Gamma$ ц)	$R$ , Ом $(f = 100 \ \Gamma \text{ц})$		
1	_	$4.9 \pm 0.0$	$180 \pm 20$	$-9.3 \pm 0.1$	$65.2 \pm 1.9$	$1.32 \pm 0.01$	$107.2 \pm 2.6$		
2	1	$5.6 \pm 0.2$	$245 \pm 15$	$-10 \pm 0.1$	$72.2 \pm 3.4$	$1.37 \pm 0.02$	$119.8 \pm 6.6$		
3	2	$5.1 \pm 0.3$	$290 \pm 10$	$-8.8 \pm 0.1$	$57.2 \pm 0.3$	$1.27 \pm 0.01$	$94.0 \pm 1.4$		
4	6	$5.6 \pm 0.2$	$460 \pm 25$	$-10.2 \pm 0.3$	$69.2 \pm 0.5$	$1.36 \pm 0.00$	$114.0 \pm 1.2$		
5	7	$5.6 \pm 0.3$	$155 \pm 15$	$-15.2 \pm 1.4$	$112.3 \pm 9.9$	$1.78 \pm 0.16$	$197.3 \pm 8.9$		

**Таблица 4.** Результаты испытаний макетов радиальных конденсаторов с использованием рабочего электролита 1, 2, 6, 7, на воздействие повышенной температуры ( $+100^{\circ}$ C) без электрической нагрузки и на воздействие изменения температуры среды ( $-60^{\circ}$ C ...  $+100^{\circ}$ C) на значения емкости  $\Delta C$ , тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg}\delta$  и токов утечки  $I_{vr}$ 

№ п/п	Мс	без элект	+100°С грической нагр	рузки	Изменение температуры среды - 60+100°C			
		$\Delta C$ , % $(f = 50 \Gamma_{\rm H})$	$tg\delta$ , % $(f = 50 \Gamma_{\text{II}})$	<i>I</i> <sub>ут</sub> , мкА (5 мин)	$\Delta C$ , % $(f = 50 \Gamma \text{II})$	tgδ, % (f = 50 Гц)	<i>I</i> <sub>ут</sub> , мкА (5 мин)	
1	_	$-0.73 \pm 0.24$	$2.9 \pm 0.2$	$890 \pm 10$	$-0.73 \pm 0.14$	$4.1 \pm 0.1$	$13.5 \pm 4.5$	
2	1	$-1.02 \pm 0.05$	$3.1 \pm 0.0$	$290 \pm 90$	$-0.49 \pm 0.06$	$4.2 \pm 0.1$	$12.5 \pm 5.5$	
3	2	$-0.93 \pm 0.20$	$3.3 \pm 0.0$	$620 \pm 190$	$-0.49 \pm 0.00$	$4.4 \pm 0.3$	$10.0 \pm 4.0$	
4	6	$-1.14 \pm 0.03$	$3.2 \pm 0.1$	$470 \pm 90$	$-0.24 \pm 0.03$	$4.5 \pm 0.3$	$17.5 \pm 5.5$	
5	7	$-0.10 \pm 0.68$	$2.5 \pm 0.2$	$5200 \pm 300$	$0.49 \pm 0.00$	$2.7 \pm 0.1$	$40 \pm 28$	

В процессе воздействия повышенной температуры среды, значение изменения емкости  $\Delta C_{\rm u}$  не должно превышать 15%, а величина тока утечки не должна быть выше 1980 мкА [25]. В этом случае все добавки соответствуют нормам, при этом добавка 7 незначительно снижает значение тока утечки. Важной характеристикой конденсаторов при пониженной температуре является минимальное значение  $Z_{-60}/Z_{+25}$ , определяемое соотношением значений удельных сопротивлений. Как следует из данных, приведенных в табл. 3, добавка 2 уменьшает величину этого показателя.

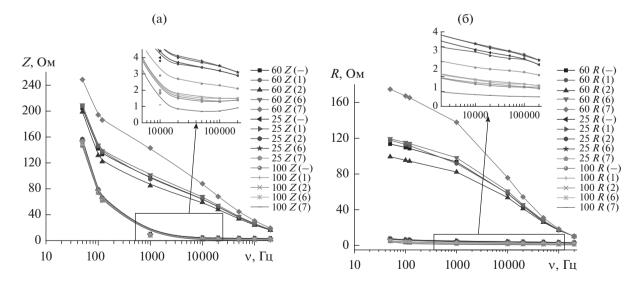
На последнем этапе были проведены испытания макетов конденсаторов с добавками на воздействие повышенной температуры (+100°С) без электрической нагрузки в течение 96 ч и на воздей-

ствие изменения температуры среды -60...+100°C (табл. 4).

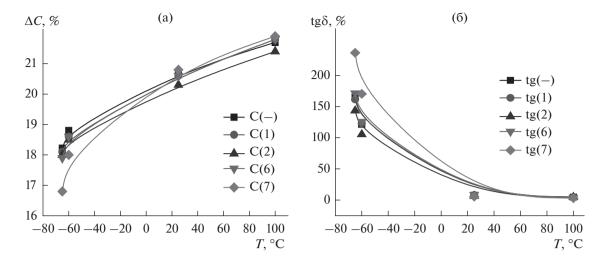
По данным табл. 4 видно, что добавки **1**, **2** и **6** значительно сокращают значения токов утечки, что позволяет увеличить продолжительность работы конденсатора.

Характер зависимости изменения полного сопротивления Z (импеданс) и эквивалентного последовательного сопротивления R макетов конденсаторов с рабочим электролитом без добавок и с добавками Mc 1, 2, 6 и 7 от частоты v при температуре  $-60^{\circ}$ C (60Z и 60R),  $25^{\circ}$ C (25Z и 25R) и  $100^{\circ}$ C (100Z и 100R) приведен на рис. 2.

Характер зависимости изменения значений емкости  $\Delta C_{\rm u}$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\rm tg\delta$  макетов конденсаторов от температуры приведен на рис. 3.



**Рис. 2.** Характер зависимости полного сопротивления Z (а) и эквивалентного последовательного сопротивления R (б) макетов конденсаторов с рабочим электролитом без добавок и с добавками Mc 1, 2, 6 и 7 от частоты при значениях температуры -60, 25 и 100°C.



**Рис. 3.** Характер зависимости изменения емкости  $\Delta C$  (a) и тангенса угла потерь tg  $\delta$  (б) макетов конденсаторов с рабочим электролитом без добавок и с добавками Mc 1, 2, 6 и 7 от температуры.

При исследовании влияния добавок Мс и их металлокомплексов на температурно-частотные характеристики макетов конленсаторов было показано, что добавки 1 и 6 значительно уменьшают величины токов утечки при воздействии повышенной температуры без электрической нагрузки, а 2 значительно уменьшает сопротивление при пониженной температуре. Положительное влияние может быть объяснено рекомбинированием Мс свободных радикалов, возникающих в результате электрохимических процессов на обкладках конденсатора. Маловыраженный положительный эффект может быть следствием низкой концентрации Мс, поэтому для дальнейших испытаний предлагается использовать макрогетероциклические соединения с объемными заместителями, которые усиливают растворимость в органических растворителях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что добавки незамещенных макрогетероциклических соединений и их металлокомплексов уменьшают значения сопротивления при пониженной ( $-60^{\circ}$ C) и уменьшают величины токов утечки при воздействии повышенной ( $+100^{\circ}$ C) температуры макетов алюминиевых малогабаритных оксидно-электролитических конденсаторов вертикальной ЧИП-конструкции в диапазоне частот 50  $\Gamma$ ц-200 к $\Gamma$ ц, и могут быть рекомендованы для дальнейших испытаний.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 14-23-00204П. Исследование макрогетероциклических соединений и их металлокомплексов проведено с использованием ресурсов Центра

коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО "ИГХТУ". Испытания макетов алюминиевых оксидных электролитических конденсаторов проведены с использованием ресурсов лаборатории алюминиевых конденсаторов ОАО "Элеконд".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Невский, О.И., Гришина, Е.П. *Барьерные оксидные пленки на алюминии*. Иваново: ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2003. 84 с. [Nevskii, O.I. and Grishina, E.P., *The barrier oxide films on aluminum* (in Russian), Ivanovo: GOU VPO ISUCT, 2003. 84 p.]
- 2. Ренне, В.Т. Электрические конденсаторы. Л.: Энергия, 1969. 592 с. [Renne, V.T., The electrolytic capacitors (in Russian), L.: Energy, 1969. 592 р.]
- 3. Закгейм, Л.Н. Электролитические конденсаторы. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963. 294 с. [Zakgeym, L.N., *The electrolytic capacitors* (in Russian), M.—L.: Gosenergoizdat, 1963. 294 р.]
- 4. Меркулов, В.И. Основы конденсаторостроения. Томск: Изд. ТПУ, 2001. 121 с. [Merkulov, V.I., Basics of capacitors construction (in Russian), Tomsk: Izd. TPU, 2001. 121 р.]
- 5. Гуревич, В.И. Электролитические конденсаторы: особенности конструкции и проблемы выбора. Компоненты и технологии. 2012. № 5. С. 28. [Gurevich, V.I., The electrolytic capacitors: features of design and problems of choice, Komponenti I technologii (in Russian), 2012, no. 5, p. 28.]
- 6. Ross, S.D., Petersen, R.C., and Finkelstein, M., Electrolytic capacitor. Patent US3,052,829 (USA). 1962.
- Takechi, K., Higashi, Sh., Mizuno, F., Nishikoori, H., Iba, H., and Shiga, T., Stability of Solvents against Superoxide Radical Species for the Electrolyte of Lithium-Air Battery, ECS Electrochemistry Letters, 2012, vol. 1, no. 1, p. A27.

- 8. Fernánrez-Lazáro, F., Torres, T., Hauschel, B., and Hanack, M., Hemiporphyrazines as Targets for the Preparation of Molecular Materials: Synthesis and Physical Properties, *Chem. Rev.*, 1998, vol. 98, no. 2, p. 563.
- 9. de la Torre, G., Vazquez, P., Aguillo-Lopez, F., and Torres, T., Role of Structural Factors in the Nonlinear Optical Properties of Phthalocyanines and Related Compounds, *Chem. Rev.*, 2004, vol. 104, p. 3723.
- Islyaikin, M.K., Danilova, E.A., Romanenko, Yu.V., Khelevina, O.G., and Lomova, T.N., Synthesis, Structure Peculiarities and Biological Properties of Macroheterocyclic Compounds, BRILL: Leiden-Boston, 2008, p. 219.
- 11. Исляйкин, М.К., Данилова, Е.А., Кудрик, Е.В. Макрогетероциклические соединения. Строение. Синтез. Свойства. В кн.: Успехи химии порфиринов, отв. редактор проф. Голубчиков О.А. СПб.: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 1999, Т. 2, С. 300. [Islyaikin, M.K., Danilova, E.A., and Kudrik, E.V., Macroheterocyclic compounds. Structure. Synthesis. Properties, In: Advances in Porphyrin Chemistry (in Russian), Golubchikov O.A., Eds, SPb: Izd-vo NII Khimii SPbGU, 1999, vol. 2, p. 300.]
- 12. Islyaikin, M.K. and Danilova, E.A., Structural analogs of tetrapyrrole macrocycles and their biological properties, *Russ. Chem.l Bull. International Edition*, 2007, vol. 5, no. 4, p. 689.
- 13. Смирнов, Р.П., Бородкин, В.Ф., Лукьянова, Г.И. Синтез металлических комплексов несимметричных макроциклов. *Изв. вузов. Химия и хим. технол.* 1964. вып. 1. С. 118. [Smirnov, R.P., Borodkin, V.F., and Luk'yanova, G.I., Synthesis of metallocomplexes of nonsymmetrical macrocycles, *Izv. vuzov. Khimiya i khim. technologiya* (in Russian), 1964, vol. 1, p. 118.]
- 14. Смирнов, Р.П., Смирнов, Л.Н., Харитонов, В.М. Термостабилизация поликапроамидных волокон металлсодержащими макрогетероциклическими соединениями. *Тр. ИХТИ*. 1972. вып. 14. № 4. С. 111. [Smirnov, R.P., Smirnov, L.N., and Charitonov, V.M., Thermal stabilization of polycaproamide fibers with metal-containing macroheterocyclic compounds, *Tr. IKhTI* (in Russian), 1972, vol. 14, no. 4, p. 111]
- 15. Баранова, А.С., Барышникова, Г.С., Глазунова, Н.А., Делюстро, В.М., Золотарева, К.А., Маслова, И.П., Пугачева, Л.А., Скрипко, Л.А. *Химические добавки к полимерам.* М.: Химия, 1981. 264 с. [Baranova, A.S., Barishnikova, G.S., Glazunova, N.A., Delustrovo, V.M., Zolotareva, K.A., Maslova, I.P., Pugacheva, L.A., and Skripko, L.A., *Chemical additives to polymers* (in Russian), M.: Chemistry, 1981. 264 p.]
- 16. Федоров, Л.М., Смирнов, Р.П., Колесников, Н.А., Альянов, М.И. Электропроводность макрогетероциклических соединений и их металлических комплексов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 1972. Т. 15. № 4. С. 537. [Fedorov, L.M., Smirnov, R.P., Kolesnicov, N.A., and Al'yanov, M.I., Electrical conductivity of macroheterocyclic compounds and their metallocomplexes, *Izv. vuzov. Khimiya i khim. technologiya* (in Russian), 1972, vol. 15, no. 4, p. 537.]
- 17. Fernandez-Lazaro, F., Rodríguez-Morgade, S., and Torres, T., Synthesis and electrical properties of metal-

- lotriazolehemiporphyrazines, *Synthetic Metals*, 1994, vol. 62, no. 3, p.281.
- 18. Elvidge, J.A. and Linstead, R.P., Conjugated Macrocycles. Part XXIV. A New Type of Cross-conjugated Macrocycle, related to the Azaporphins, *J. Chem. Soc.*, 1952, p. 5000.
- 19. Clark, P.F., Elvidge, J.A., and Linstead, R.P., Conjugated Macrocyclar. Part XX V. Cross-conjugated Macrocycles with Inner Great Rings of 16, 20, and 24 Atoms, *J. Chem. Soc.*, 1954, p. 2490.
- 20. Elvidge, J.A. and Golden J., Conjugated Macrocycles. Part XXVIII.\* Adducts from Diimimisoindoline and Arylene-*m*-diamines, and a New Type of Cross-conjugated Macrocycle with Three-quarters of the Chromophore of Phthalocyanine, *J. Chem. Soc.*, 1957, p. 700.
- 21. Смирнов, Р.П. Спектры поглощения макрогетероциклического соединения с внутренним окном подобным фталоцианину. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 1967. Т. 10. вып. 11. С. 1262. [Smirnov, R.P., Absorption spectra of macroheterocyclic compound with phthalocyanine-like inside cavity, *Izv. vuzov. Khimiya i khim. technologiya* (in Russian), 1967, vol. 10, no. 11, p. 1262.]
- 22. ГОСТ 28885—90. Конденсаторы. Методы измерений и испытаний, Москва: ИПК Изд-во стандартов, 1992. 29 с. [GOST 28885—90. Capacitors. Methods of measurement and testing (in Russian), Moscow: IPC Izd-vo standartov, 1992. 29 р.]
- 23. Кузнецова, А.С., Исляйкин, М.К. Влияние добавок макрогетероциклических соединений на свойства рабочих электролитов. Тез. докл. региональной студенческой научной конференции ДНИ НАУКИ—2013 "Фундаментальные науки специалисту нового века". Иваново: ФГБОУ ВПО Иван. гос. хим.технол. ун-т., 2013. Т. 1, С. 133. [Kuznetsova, A.S. and Islyaikin, M.K., The influence of the macroheterocyclic compounds dopants on properties of working electrolyte, Conf. Proc. Regional'noi studencheskoi nauchnoi conferencii DNI NAUKI—2013 "Fundamental'nie nauki specialistu novogo veka" (in Russian), Ivanovo: FGBOU VPO IGKhTU, 2013. vol. 1, p. 133.]
- 24. Кузнецова, А.С., Исляйкин, М.К. Изучение влияния добавок макрогетероциклических соединений и их металлокомплексов на параметры электролита. Тез. докл. VI международной научной конференции "Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии". Иваново: ИХР им. Г.А. Крестова РАН, 2014, С. 121. [Kuznetsova, A.S. and Islyaikin, M.K., The influence of the macroheterocyclic compounds and their metallocomplexes dopants on parameters of electrolyte, Conf. Proc. VI mezdunarodnoi nauchnoi conferencii "Sovremennie metodi v teoreticheskoi i experemental'noi electrochimii" (in Russian), Ivanovo: IKhR im. G.A. Krestova RAN, 2014, p. 121.]
- 25. ГОСТ Р МЭК 60384—1—2003. Конденсаторы постоянной емкости для электронной аппаратуры. Часть 1. Общие технические условия. Москва: Госстандарт России, 2004. 45 с. [GOST R MEC 60384—1—2003. Capacitors of constant capacity for electronic equipment. Part 1, General specifications (in Russian), Moscow: Gosstandart Rossii, 2004. 45 p.]