

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ



ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
82 НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ВИКЛАДАЧІВ УНІВЕРСИТЕТУ

Одеса 2022

Наукове видання

Збірник тез доповідей 82 наукової конференції викладачів університету
26 – 29 квітня 2022 р.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами.
За достовірність інформації відповідає автор публікації.

Рекомендовано до друку та розповсюдження в мережі Internet Вченою радою
Одеського національного технологічного університету,
протокол № 13 від 24.05.2022 р.

Під загальною редакцією Заслуженого діяча науки і техніки України,
Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки,
д-ра техн. наук, професора Б.В. Єгорова

Укладач Т.Л. Дьяченко

Редакційна колегія

Голова

Єгоров Б.В., д.т.н., професор

Заступник голови

Поварова Н.М., к.т.н., доцент

Члени колегії:

Безусов А.Т., д-р техн. наук, професор
Бурдо О.Г., д-р техн. наук, професор
Віннікова Л.Г., д-р техн. наук, професор
Гапонюк О.І д-р техн. наук, професор
Жигунов Д.О., д-р техн. наук, професор
Іоргачова К.Г д-р техн. наук, професор
Капрельянц Л.В., д-р техн. наук, професор
Коваленко О.О., д-р техн. наук, професор
Косой Б.В., д-р техн. наук, професор
Крусір Г.В., д-р техн. наук, професор
Мардар М.Р., д-р техн. наук, професор
Мілованов В.І., д-р техн. наук, професор
Павлов О.І., д-р екон. наук, професор
Плотніков В.М., д-р техн. наук, професор
Станкевич Г.М., д-р техн. наук, професор
Савенко І.І., д-р екон. наук, професор
Тележенко Л.М., д-р техн. наук, професор
Ткаченко Н.А., д-р техн. наук, професор
Ткаченко О.Б., д-р техн. наук, професор
Хобін В.А., д.т.н., професор
Хмельнюк М.Г., д-р техн. наук, професор
Черно Н.К д-р техн. наук, професор

DIELECTRIC MEASUREMENTS IN NONLINEAR FERROELECTRIC POLYMERS

Prof. S. N. Fedosov, D.Sc. and Prof. A. E. Sergeeva, D.Sc.
Odessa National Technology University, Odessa

Ferroelectric polymers, in particular polyvinylidene fluoride (PVDF) and its copolymers P (VDF-TFE) and P (TrFE), are considered as alternative materials for replacing ceramic ferroelectrics in production of sensors and electromechanical converters [1]. The most important parameter of such materials is the magnitude and stability of the residual ferroelectric polarization P . Such polarization is created in original materials, usually thin films, by electrifying (poling) them in a strong DC electric field, which is carried out either by the sandwich method (a polymer film is located between two metal electrodes), or under the action of corona discharge [2].

Performance characteristics, such as the piezoelectric and pyroelectric coefficients, depend on the magnitude of the residual polarization. At the same time, it is known that the magnitude of the residual polarization in ferroelectric polymers depends on the value of the applied electric field during poling, as well as on the duration of poling, and on temperature [3]. It is also known that a part of the formed residual polarization can be switched back, if the conditions for neutralizing the depolarizing field, which inevitably arises during electrification, are not provided [4].

The dielectric properties of ferroelectric polymers are determined by both the crystalline and amorphous phases. The measurement of dielectric non-linearities, that is, the expansion coefficients of the function $D(E)$ in a power series, is useful for obtaining information about the ferroelectric properties of these materials.

A phenomenological description of ferroelectric materials is given in Landau's theory [5]. The purpose of this presentation is to describe how to make the corresponding measurements of the dielectric properties in practice. Nonlinear ferroelectric P (VDF-TFE) polymer has been used as the typical sample material.

The ferroelectric contribution to the free energy F is written as the polynomial D

$$F = F_o + (1/2)\alpha \cdot D^2 + (1/4)\gamma \cdot D^4 + (1/6)\delta \cdot D^6 \quad (1)$$

The Landau parameters α , γ and δ generally depend on temperature. Direct determination of the Landau parameters is possible by measuring the dielectric nonlinearities, that is, the coefficients ε_n in the power series expansion of the displacement D in the field E

$$D = P_s + \varepsilon_o \varepsilon_1 E + \varepsilon_o \varepsilon_2 E^2 + \varepsilon_o \varepsilon_3 E^3 + \dots \quad (2)$$

In the paraelectric phase, i.e. at $P_s = 0$, the first nonlinear coefficients are related to the Landau parameters by the following relations

$$\varepsilon_o \varepsilon_1 = 1/\alpha; \quad \varepsilon_o \varepsilon_2 = 0; \quad \varepsilon_o \varepsilon_3 = -\gamma/\alpha^4 \quad (3)$$

The parameters α and γ can be calculated based on the measurement of ε_1 и ε_3 . In particular, the sign ε_3 indicates the order of the phase transition. The presence of the second-order dielectric constant ε_2 in the paraelectric phase can be explained by the action of the bias field E_i

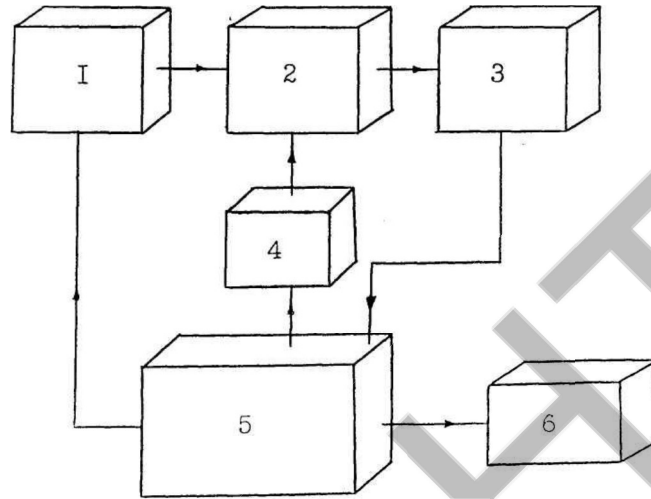
$$D = P_s^o + \varepsilon_o \varepsilon_1^o (E + E_i) + \varepsilon_o \varepsilon_2^o (E + E_i)^2 + \dots \quad (4)$$

where ε_n^o and P_s^o are the nonlinear dielectric constants and the spontaneous polarization of a centrosymmetric material. Coefficients ε_n can be calculated as a function of E_i and ε_n^o . In the paraphase, where all ε_n^o with even n is equal to zero, the approximate equalities are valid

$$\varepsilon_1 \approx \varepsilon_1^O; \quad \varepsilon_2 \approx 3\varepsilon_3^O E_i; \quad \varepsilon_3 \approx \varepsilon_3^O. \quad (5)$$

To find E_i , you can measure ε_2 as a function of the external applied field E_o' and find such a field E_o' , for which $3\varepsilon_3^O (E_i + E_o') = 0$. One can also calculate E_i from the second and third order dielectric constants

$$E_i = \varepsilon_2 / (3\varepsilon_3). \quad (6)$$



1 – Sinusoidal voltage generator; 2 – Thermostat with a sample; 3 – Spectrum analyzer;
4 – Automatic temperature control device; 5 – Computer; 6 – Printer

Fig. 1 – Block diagram of the non-linear dielectric spectroscopy method

In the ferroelectric phase, the second-order dielectric constant depends on the residual polarization P_r and the spontaneous polarization P_s

$$\varepsilon_o \varepsilon_2 = -P_r (\varepsilon_o \varepsilon_1)^3 (3\gamma + 10\delta P_s^2). \quad (7)$$

The temperature dependence $1/\varepsilon_l$ in the ferroelectric phase gives a criterion of whether the value $10 \cdot \delta \cdot P^2$ is small compared to 3γ . In this case, $\varepsilon_2/\varepsilon_l^3$ is proportional to the polarization

$$\varepsilon_o \varepsilon_2 / 3(\varepsilon_o \varepsilon_1)^3 \approx P_r \gamma. \quad (8)$$

Dielectric nonlinearities were measured on P(VDF-TFE) films, on both sides of which electrodes with 176 mm² area were deposited. The measurement scheme is shown in Fig.1. A sinusoidal voltage generator with a high spectral frequency ($V_o = 130$ V, $f = 1000$ Hz) was used as a source. The signal was taken from a 100 Ω load resistor connected in series with the sample. Using a spectrum analyzer, the first, second, and third harmonics were isolated, their amplitude was measured, and ε_l , ε_2 and ε_3 were calculated. The measurements were carried out in a thermostat in the temperature range from 20 to 150 °C during heating and cooling. For each permittivity, the real and imaginary parts were found. Measurements at each temperature took 5-8 min. The results were averaged over ten spectra. The installation was completely computerized.

Several series of experiments were carried out on non-polarized and polarized, non-annealed and annealed P(VDF-TFE) films during their heating and cooling in the temperature range of 20-150 °C. Obtained experimental results and their discussion are presented in a separate paper.

Literature

1. Sessler G. M. Electrets (ed.). – v.1, Third Edition, Morgan Hill: Laplacian Press, 1999.
2. Giacometti J. A., Fedosov S., Costa M. M. // Braz. J. Physics. 1999, 29, No. 2, 269–279.
3. Fedosov S. N., von Seggern H. // J. Appl. Physics. 2008, **103**, No.1, 014105–014109.

4. Fedosov S. N., H. von Seggern, // J. Appl. Physics. 2004, **96**, No. 4, 2173-2180.
5. Landau L. D., Lifshits E. M. Theoretical physics (vol. VIII), M.: Science, 1982, 621 p.

THEORETICAL CALCULATION OF THE DIELECTRIC PERMITTIVITY OF A TYPICAL FERROELECTRIC POLYMER

Prof. S. N. Fedosov, D.Sc. and Prof. A. E. Sergeeva, D.Sc.
Odessa National Technology University, Odessa

Ferroelectric polymers have an advantage over traditional ferroelectric materials due to their good mechanical properties. At the same time, the value and stability of the ferroelectric polarization in ferroelectric polymers are not sufficient to ensure their wide scale practical application in the field of sensors and actuators. That is why an understanding of polarization related phenomena in ferroelectric polymers is important for improving their electrical properties.

In the last few decades several groups have worked on ferroelectric switching in poly (vinylidene fluoride) (PVDF) and its copolymers. A qualitative charge trapping model has been put forward that assumes an instantaneous alignment of dipoles that flip back if not compensated by trapped charges. However, the large depolarization current that would result from the flipping back was not observed experimentally.

Another opinion exists stating that in ferroelectric polymers charges play only a minor role in processes of high field polarization switching which is assumed to be accomplished in microseconds. This assumption, however, contradicts experimental data. It was shown that the ferroelectric polarization continues to grow for times of five to six orders of magnitude longer than the usually assumed switching times.

In this respect an important detail was not given enough consideration, namely, that PVDF is a semicrystalline material composed of a non-ferroelectric amorphous phase occupying about 50% of the volume and a crystalline phase generally containing ferroelectric crystallites along with paraelectric α crystals. Ferroelectric and paraelectric parts exhibit different dielectric constants and polarization field dependencies. It has been shown that the presence of conductivity in a polymer-ceramic composite delays the polarization switching. However, this idea has not been adopted for ferroelectric polymers.

Despite numerous studies, the exact value of the dielectric permittivity ε of PVDF, a typical ferroelectric polymer, is unknown, because reported values of ε are in the range 2 - 30 depending on the method of measurement or the calculation methodology, as well as the technology of obtaining, structure and composition of samples.

Experimentally measured values of the dielectric permittivity usually are not reliable, if the commonly used method of Sawyer–Tower is applied. The reason is dependence of the obtained values on of the applied electric field frequency. Maxwell's relaxation time in ferroelectric polymers are in the order of seconds, while standard frequency of the electric hysteresis measurements is 1000 Hz. Under this condition, induction does not keep up with the field, and the hysteresis loop became distorted.

PVDF is the two-component semi-crystalline material consisting of the ferroelectric β -phase (50-90 %) and amorphous phase (10-50 %). Furukawa [1] has found that ε is a function of the applied field, namely $\varepsilon = 19$ in a zero field, while $\varepsilon = 9$ when the ferroelectric polarization reaches saturation and $\varepsilon = 30$ when the polarization is zero near the coercive field.

All components of the polarization in the non-ferroelectric phase of PVDF are linear, whereas, the ferroelectric nonlinear component PF in the ferroelectric phase consists of electron and dipole components. The polarization P in linear dielectrics is proportional to the applied field strength E

ПІДВИЩЕННЯ МАРКЕТИНГОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТУРИСТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ В УКРАЇНІ ПІСЛЯВОЄННОГО ПЕРІОДУ ЧЕРЕЗ ТЕХНОЛОГІЇ ГІБРИДНОЇ РЕАЛЬНОСТІ	196
Меліх О.О.	
РОЛЬ ТРАНСКОРДОННОГО СПІВРОБІТНИЦТВА В ПРОЦЕСІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНИ	198
Ліганенко М.Г.	
ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ЕКСКУРСІЇ	199
Шекера С.С., Іванченков В.С.	
БРЕНД-МЕНЕДЖМЕНТ ТУРИСТИЧНОЇ ДЕСТИНАЦІЇ ЯК ВІЗУАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОСУВАННЯ ТУРІВ (на прикладі м. Одеса)	200
Шекера С.С., Орлова М.Л.	

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ»

КЕРУВАННЯ ЗАПАСАМИ ЗЕРНА НА ПІДПРИЄМСТВАХ: КОНЦЕПТУАЛЬНІ МОДЕЛІ СТВОРЕННЯ, ОБРОБКИ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ВИТРАЧАННЯ ЗАПАСІВ	202
Світлий І.М.	
ОБҐРУНТУВАННЯ СИНТЕЗУ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ КООРДИНАЦІЇ РЕГУЛЬОВАНИХ ЗМІННИХ У ВИЗНАЧЕНИХ ОБ'ЄКТАХ КЕРУВАННЯ	203
Гурський О.О., Гончаренко О.Є., Дубна С.М.	
АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ЛІНІЙ ЗЕРНОВИХ ТЕРМІНАЛІВ	204
Хобін В.А., Степанов М.Т., Кір'язов І.М., Шестопалов С.В.	
ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ПЛІДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ ЯК ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ	207
Якубаш І.В., Мазур О.В.	
ЗАСТОСУВАННЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В АГРОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСАХ	209
Габуєв К.О., Єгоров В.Б.	

СЕКЦІЯ «ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ»

ВИЩА МАТЕМАТИКА ТА БІЗНЕС-СТАТИСТИКА	212
Вітюк А.В., Нужна Н.В.	
ДОСЛІДЖЕННЯ АМАРАНТОВОЇ ОЛІЇ, ОТРИМАНОЇ ХОЛОДНИМ ВІДЖИМАННЯМ	213
Задорожний В.Г.	
ЛАМІНАРНА ПЛІВКОВА КОНДЕНСАЦІЯ ДВОКОМПОНЕНТНОЇ ПАРИ НА ВЕРТИКАЛЬНІЙ СТІНЦІ ДЕФЛЕГМАТОРА	214
Коновенко Н.Г., Осадчук Є.О.	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВНУТРІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМИ РІВНЯННЯМИ	216
Коновенко Н. Г., Федченко Ю.С., Черевко Є.В.	
EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE EFFECTIVE CONDUCTIVITY OF POLYVINYLIDENE FLUORIDE (PVDF) FILMS	218
Sergeeva A.E., Fedosov S.N.	
DIELECTRIC MEASUREMENTS IN NONLINEAR FERROELECTRIC POLYMERS	220
Fedosov S.N., Sergeeva A.E.	
THEORETICAL CALCULATION OF THE DIELECTRIC PERMITTIVITY OF A TYPICAL FERROELECTRIC POLYMER	222
Fedosov S.N., Sergeeva A.E.	
МОДЕЛЬ ІЗІНГА. ФОРМУВАННЯ СУСПІЛЬНОЇ ДУМКИ	224
Швець В.Т.	
ПСЕВДОПОТЕНЦІАЛ З ПЕРШИХ ПРИНЦИПІВ І РІВНЯННЯ СТАНУ МЕТАЛІЧНОГО ГЕЛІЮ	226
Швець В.Т., Черевко Є.В.	

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА МЕХАТРОНІКА»

ЕЛЕКТРОПРИВОД ДУТТЬОВИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА В КОТЛАХ	227
Бабіч В.Ф., Осадчук П.І., Войт І.В.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ	230
Галіулін А.А., Осадчук П.І., Кобзар О.В.	