

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

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 $\epsilon = 19$ in a zero field, while $\epsilon = 9$ when the ferroelectric polarization reaches saturation and $\epsilon = 30$ 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

$$P = \varepsilon_o (\varepsilon - 1)E, \quad (1)$$

where ε_o is the permittivity of a vacuum; ε is the dielectric permittivity of the sample.

It is known from the theory of dielectrics that ε depends on the concentration of the atoms n_a and that of dipoles n_d , the atomic polarizability α , the static dipole moment p , and the temperature T [2]

$$\varepsilon = 1 + \frac{1}{\varepsilon_o} \left(n_a \alpha + \frac{n_d p^2}{3kT} \right), \quad (2)$$

where k is Boltzmann's constant.

It is also known [3] that the dipole moment p of the $-\text{CF}_2\text{-CH}_2-$ unit in PVDF is $p=7.6 \cdot 10^{-30}$ C·m, while $m_d = 9 \cdot 10^{-26}$ kg (dipole mass). It is also known that the densities of amorphous ρ_a and crystalline ρ_c phases in PVDF are different ($\rho_a = 1.68$ g/cm³, $\rho_c = 1.93$ g/cm³), and therefore the concentrations of dipoles are also different ($n_{cr} = 2.1 \cdot 10^{28}$ m⁻³ and $n_{am} = 1.8 \cdot 10^{28}$ m⁻³). Thus, the concentration of atoms in the crystalline and amorphous phases are $n_{cr}' = 1.26 \cdot 10^{29}$ m⁻³ and $n_{am}' = 1.08 \cdot 10^{29}$ m⁻³. Atomic polarization is usually calculated as $\alpha = 2\pi\varepsilon_o r^3$, where $r \approx 10^{-10}$ m is the average radius of the atom.

Substituting the above values into (2), we obtain the value of the dielectric constant in amorphous and in crystalline phases at room temperature $\varepsilon_a = 11.3$, $\varepsilon_c = 12.9$. The obtained values are in good agreement with the values of the dielectric constant of PVDF commonly given in literature [4,5].

In the amorphous phase of PVDF, there are dipoles $-\text{CF}_2\text{-CH}_2-$ oriented to some degree under action of the external field creating some additional polarization P' , proportional to the field strength E . Polarization P' is reversible, that is, it completely disappears at zero field similarly to the electronic and dipole components of the full polarization. von Seggern and Fedosov [6] have found that there is a reversible component of polarization in PVDF equal to 1.6 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ at $E = 160$ MV/m.

Assuming that the polarization P' is responsible for this polarization component, its influence can be taken into account as an additional part of the dielectric constant in the amorphous phase equal to 8.3. Thus, it seems that the dielectric constant of the amorphous phase is actually equal to $\varepsilon_a = 19.6$.

However, it should be noted that contributions of electronic and dipole components to polarization P' are different. This follows from the experimental data that P' is formed in about 50 μs at $E = 160$ MV/m and it disappears during the same time during the short circuiting. Consequently, the constant time of this relaxation process is of the order of 1 μs , while the electronic and dipole polarization components follow the field almost instantaneously.

Considering above calculated data and discussions we used in our subsequent calculations the following numerical values of the PVDF dielectric constant: $\varepsilon_c = 12.9$ and $\varepsilon_a = 19.6$.

Literature

1. Furukawa T., Phase Trans. Part B. 18, 143 (1989).
2. Fedosov S. N., Sergeeva A. E. et al., High-molecular compounds. 41, 7 (1999).
3. Kussner B., Eberle G., Eisenmenger W., Fedosov S. N., Sergeeva A. E., J. Mater. Sci. Lett. 16, 368 (1997).
4. Koga K., Ohigashi H. J., Appl. Phys. 59, 2142 (1986).
5. Roh Y., et al., IEEE Trans. Ultrason. Ferroel. & Freq. Contr. 49, 836 (2002).
6. von Seggern H., Fedosov S. N., IEEE Trans. Diel. Electr. Insul. 7, 543 (2000).

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

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ»

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

СЕКЦІЯ «ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ»

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

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА МЕХАТРОНІКА»

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