

## ВИМІРЮВАННЯ ВИСОКООМНОГО ПИТОМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ФОТОПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Лисий Б.М., Колпак Б.Д., канд. техн. наук, с.н.с., Владіміров В.Л., доктор техн. наук, с.н.с.

Державний науково-дослідний інститут "Система", м. Львів

*Описано прецизійні вимірювання швидкозмінних в часі початкового, проміжних і кінцевого значень питомого опору рідких фотополімерних композицій в процесі затвердіння. Наведено загальний аналіз похибок таких вимірювань.*

*The precision measurements of valid initial, intermediate and final meanings of unit resistance of hardening of liquid photopolymeric compositions, which change in time, are described. The common analysis of errors of such measurements is given.*

Проблема встановлення фізичних властивостей матеріалів, інтенсифікація технологічних процесів, автоматизація досліджень і контролю якості продукції вимагає вимірювання швидкозмінних в часі значень параметрів. Таких вимірювань початкового, проміжних і кінцевого значень питомого опору фотополімерних композицій вимагає вивчення процесу затвердіння цих композицій. Ці значення питомого опору звичайно перевищують  $R_x \geq 10^6$  Ом. Традиційні вимірювання опорів  $R_x \geq 10^6$  Ом [1-2] не забезпечують необхідної точності, швидкодії, достатньої чутливості, не усувають дії впливових величин і не автоматизовані. Використання способу [2] забезпечує вимірювання лише початкових значень питомого опору.

Пропонується схема вимірювань (рис. 1), яка дає можливість визначити початкове, проміжні і кінцеве значення питомого опору досліджуваної комірки рідких фотополімерних композицій під час дослідження швидкого процесу їх затвердіння. На рис. 1: 1-досліджувана фотополімерна композиція; ВК - її комірка; 2- екран; 3- вимірювальний електрод; 4- фторопластова прокладка; 5- калібр; 6- високовольтний електрод; 7- рефлексор; 8- джерело ультрафіолетового випромінювання;

КЗК - канал загального користування; ЦДП- цифродрукуючий пристрій; ПЕОМ- персональний комп'ютер. Як робочий еталон використовується котушка електричного опору Р 331 з номінальним значенням  $R_N=10^5$  Ом,  $\delta_{R_N}=0,003\%$ . Крім цього, використовуються міри опорів типів Р4076, Р4078 класу точності 0,02 і вольтметр В7-21 класу точності 0,02 з програмним-керуванням.

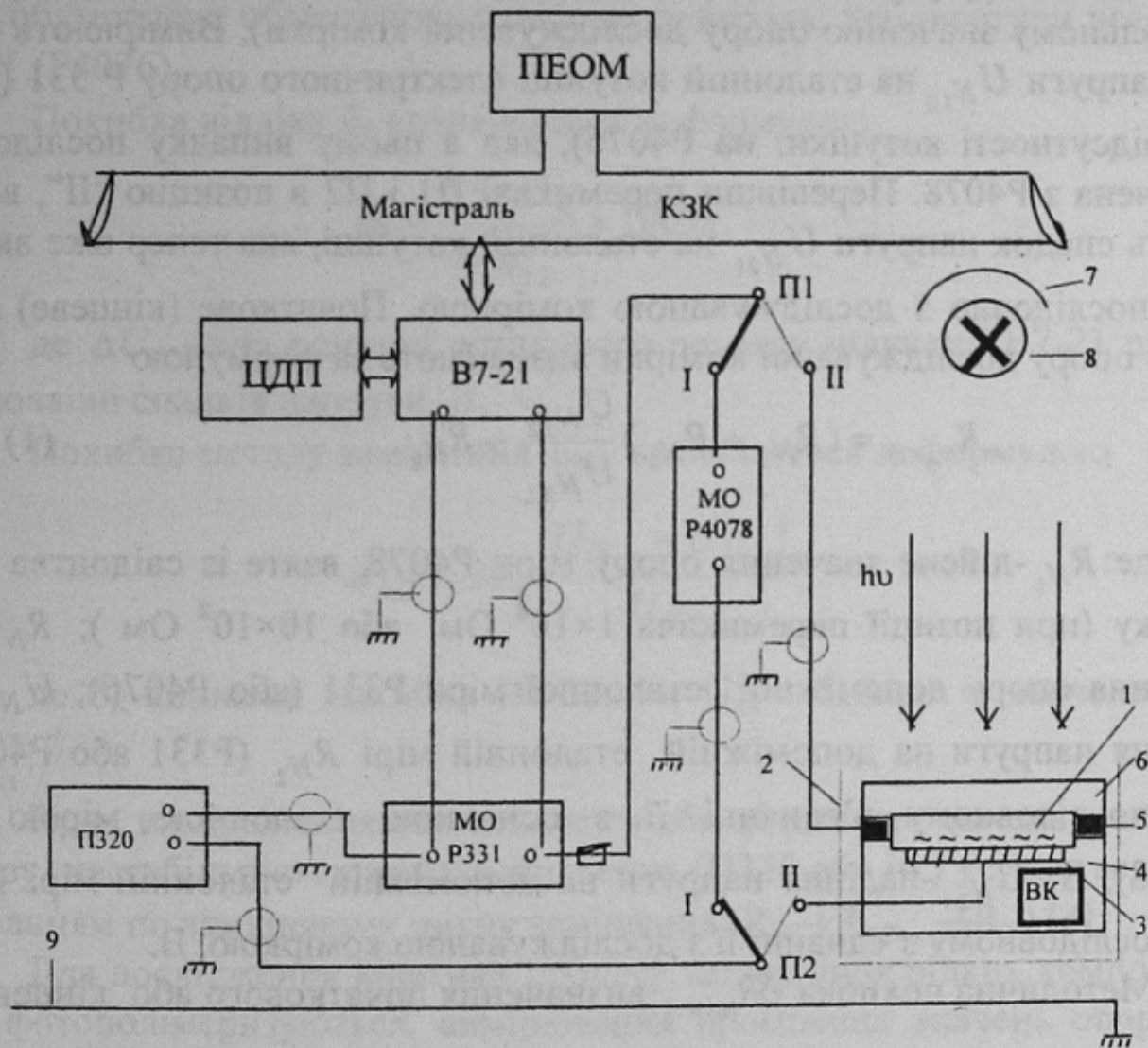


Рисунок 1- Структурна схема вимірювань ( $R_x \geq 10^6$  Ом)

Визначення стабільних початкового і кінцевого значень питомого опору досліджуваної комірки відрізняється від визначення швидкозмінних проміжних значень цього опору. Визначення стабільних значень опору проводиться компенсаційним способом [3-4] в поєднанні з мето-

дом повного заміщення [5]. При вимірюваннях великих опорів опір комутаційних елементів не впливає на результат вимірювання. Отже, вимірювання початкового або кінцевого значень питомого опору досліджуваної комірки здійснюється наступним чином. Перемикачі П1 і П2 встановлюють в позицію "I", а за допомогою декад міри опору Р4078 встановлюють значення опору  $1 \times 10^8$  Ом, що відповідає початковому значенню опору рідкої композиції ( $10 \times 10^8$  Ом відповідає кінцевому максимальному значенню опору досліджуваної комірки). Вимірюють спадок напруги  $U_{N_{1,2}}$  на еталонній котушці електричного опору Р 331 (або, при відсутності котушки, на Р4076), яка в цьому випадку послідовно включена з Р4078. Перевівши перемикачі П1 і П2 в позицію "II", вимірюють спадок напруги  $U_{N_{2,1}}$  на еталонній котушці, яка тепер вже включена послідовно з досліджуваною коміркою. Початкове (кінцеве) значення опору досліджуваної комірки визначають за формулою

$$R_{n.(к.)} = (R_{N_1} + R_{N_2}) \frac{U_{N_{1,2}}}{U_{N_{2,1}}} - R_{N_2}, \quad (1)$$

де:  $R_{N_1}$  - дійсне значення опору міри Р4078, взяте із свідoctва про повірку (при позиції перемикача  $1 \times 10^8$  Ом або  $10 \times 10^8$  Ом);  $R_{N_2}$  - значення опору допоміжної еталонної міри Р331 (або Р4076);  $U_{N_{1,2}}$  - падіння напруги на допоміжній еталонній мірі  $R_{N_2}$  (Р331 або Р4076) при послідовному з'єднанні її з основною еталонною мірою  $R_{N_1}$  (Р4078), В;  $U_{N_{2,1}}$  - падіння напруги на допоміжній еталонній мірі  $R_{N_2}$  при послідовному з'єднанні її з досліджуваною коміркою, В.

Методична похибка  $\delta R_{n.(к.)}$  визначення початкового або кінцевого значень питомого опору досліджуваної комірки композиції визначається за формулою

$$\delta R_{n.(к.)} = \pm \delta R_{N_2} + \delta_{МЗ} + 2\delta_0 + \delta R_t, \quad (2)$$

де  $\delta R_{N_2} = 0,003$  (або 0,02 для Р4076) - похибка дійсного значення опору допоміжної еталонної котушки Р331 (Р4076) з врахуванням поправки із свідництва про повірку;  $\delta_{M3}$  - гранична похибка методу заміщення [5], яка спричинена нерівністю  $U_{N_{1,2}}$  і  $U_{N_{2,1}}$ ;  $\delta_0$  - похибка відліку (дискретності), яка обумовлена граничним числом розрядів індикації В7-21;  $\delta R_r$  - похибка дійсного значення опору допоміжної еталонної міри, яка обумовлена обмеженою точністю контролю температури всередині Р331 (Р4076).

Похибка відліку  $\delta_0$  визначається за формулою

$$\delta_0 = \frac{0,5\Delta U_K}{U_{N_{2,1}}} \times 100\%,$$

де  $\Delta U_K$  - ціна одиниці останнього розряду індикації В7-21 при вимірюванні спадків напруги, В.

Похибка методу заміщення  $\delta_{M3}$  визначається за формулою

$$\delta_{M3} = 2\delta_K \frac{|U_{N_{1,2}} - U_{N_{2,1}}|}{U_{K6}},$$

де  $\delta_K$  - відносна похибка В7-21, %;  $U_{K6}$  - більше із значень  $U_{N_{1,2}}$  і  $U_{N_{2,1}}$ .

При вимірюваннях початкового або кінцевого значень питомого опору нестабільність джерела живлення (ПЗ20 або ін.) усувається вимірюванням по замкненому циклу заміщення ( $R_N \rightarrow R_{п.(к.)} \rightarrow R_N$ ) [4].

Для дослідження кінетики процесу затвердіння рідких композицій, що фотополімеризуються, вимірювання проміжних значень опору досліджуваної комірки необхідно проводити в динаміці. Після нанесення 3-4 крапель досліджуваної композиції на вимірювальний електрод комірки і переведення перемикачів П1, П2 в позицію П, з допомогою декадних перемикачів ПЗ20 встановлюють напругу, рівну 100 В, закривши вимірювальну камеру світлонепроникливою захисною шторкою. Через 5 хвилин, що необхідні для спадання поляризаційного струму в компо-

зиції, проводять вимірювання напруги  $U_{x_1}$  за допомогою В7-21 на затискачах Р331. Потім, включивши джерело ультрафіолетового випромінювання і знявши захисну шторку, проводять запис результатів падіння напруги  $U_{x_n}$  на затискачах Р331 за допомогою В7-21 кожної секунди (або через кожні 2 сек) на протязі часу, необхідного для дослідження процесу затвердіння композиції (від 1 до 5 хвилин).

Для визначення проміжних значень опору композиції застосовується інший спосіб. На схемі рис.1 маємо:

$$\frac{U_1}{R_N + R_{x_n}} = \frac{U_{x_n}}{R_N},$$

де:  $U_1$  - значення напруги, що виставлене за допомогою П320, В;  $R_N$  - дійсне значення опору еталонної міри Р331, Ом;  $U_{x_n}$  - падіння напруги на еталонній мірі опору Р331 (Р4076) в кожний необхідний для відліку момент часу, включаючи і момент повного затвердіння композиції, В.

В результаті простих перетворень одержуємо співвідношення

$$R_{x_n} = \frac{R_N (U_1 - U_{x_n})}{U_{x_n}}, \quad (3)$$

за допомогою якого визначаються проміжні значення опору комірки при дослідженнях кінетики процесу затвердіння рідких фотополімерних композицій. Методична похибка  $\delta R_{x_n}$  всіх значень опорів визначається згідно формули (2).

Для автоматизації цих вимірювань до еталонного вольтметра В7-21 підключена ПЕОМ та цифродрукуючий пристрій. Границі абсолютних похибок початкового, кінцевого і проміжних значень опору комірки при дослідженнях кінетики процесу визначають за формулою

$$\Delta R_{x_n(n),в} = m_{\Delta j} \pm K \sigma_{\Delta j}, \quad (4)$$

де  $m_{\Delta j}$ ,  $\sigma_{\Delta j}$  - відповідно оцінки математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення значення опору в  $j$ -й точці діапазону вимірювання;  $K$ -коефіцієнт Ст'юдента (при  $P=0,95$  приймають  $K=2$ ).

Приймаючи до уваги стандартні для статистичних вимірювань припущення, складові формули (4) визначаємо таким чином:

$$m_{\Delta_j} = \Delta_S = 0,5n \cdot \sum_{i=1}^{2n} \Delta_i,$$

де  $2n$  - число спостережень при визначенні  $\Delta_S$  ( $n$  приймають рівним 20 або 40);  $\Delta_i$  -  $i$ -та реалізація (відлік) похибки. Оцінку СКВ при відсутності варіації визначають за стандартною формулою

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{2n} (\Delta_i - \Delta_S)^2}{2n - 1}}.$$

### Висновок

Запропонований у роботі спосіб вимірювань дозволяє визначати з високою швидкодією, чутливістю і точністю (яка в 60-80 разів вища за спосіб [1]) початкове, кінцеве і швидкозмінні в часі проміжні значення питомого опору комірки при дослідженнях кінетики процесу затвердіння рідких фотополімерних композицій, що забезпечує уточнення фізичних властивостей цього процесу, і дає можливість вивчати та реєструвати характеристики технологічних процесів з швидкозмінними в часі високоомними значеннями питомих опорів. Спосіб може знайти застосування в різних галузях промисловості, особливо в поліграфії.

### Список джерел

1. МИ 1695-87. ГСИ. Меры электрического сопротивления многозначные, применяемые в цепях постоянного тока. Методика поверки. Изд-во стандартов, 1988.
2. Б. М. Лысый, В. Л. Владимиров, Б. Д. Колпак, И. В. Поверка высокоомной меры с помощью двух низкоомных катушек сопротивления // Измерительная техника. 1995. №10. С.53-55.
3. А.с.1084698 (СССР) Устройство для поверки многозначной меры сопротивления постоянного тока/ С.А. Андрусак, В.Л. Владимиров, В.Х. Местечкин и Н.М. Яворенко. // Бюл. Изобрет., №13, 1984.
4. А.с.1368809 (СССР) Устройство для поверки многозначной меры сопротивления/ Н.Н. Андрусак, А.С. Андрусак, С.А. Андрусак, Г.С. Дуфанец и Б.М. Лысый. // Бюл. Изобрет., №3, 1988.
5. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин/ За ред. Е. С. Поліщука// Київ, "Вища школа," 1978. -351 с.