

міцності для металів з урахуванням фізичних характеристик поблизу вершини корозійної тріщини, в процесі електрохімічної реакції на границі між металом і ґрунтовим електролітом для трубопроводів, резервуарів та інших металевих конструкцій.

1. Похмурський В. Вплив умов навантаження на опірність конструкційних сталей корозійно-механічному руйнуванню в сірководнево-місних розчинах / В. Похмурський, М. Хома, Г. Круцан, М. Чучман // *Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій: під заг. ред. В. В. Панасюка*. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2009. – С. 765–770. 2. Джала Р. Система збалансованих показників для дослідження корозійних дефектів / Р. Джала, В. Юзевич, М. Мельник, О. Семенюк // *Вимірвальна техніка та метрологія*. – 2011. – № 72. – Р. 130–134. 3. Чучман М. Корозійна та корозійно-

механічна тривкість низьколегованої трубної сталі підвищеної міцності в морській воді / М. Чучман, Г. Круцан, М. Хома, А. Дячук // *Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів: У 2-х т. / Спецвипуск журналу “Фізико-хімічна механіка матеріалів”*. – № 7. – Львів: ФМІ НАНУ, 2008. – Т. 2. – С. 819–823. 4. Панасюк В. В. Основы механики разрушения / В. В. Панасюк, А. Е. Андрейкив, В. З. Партон. – К.: Наук. думка, 1988. – 488 с. 5. Зарецкий С. А. Электрохимическая технология неорганических веществ и химические источники тока: учебник для учащихся техникумов / С. А. Зарецкий, В. Н. Сучков, П. Б. Животинский. – М.: Высшая школа, 1980. – С. 16. 6. Юзевич В. М. Диагностика матеріалів і середовищ. Енергетичні характеристики поверхневих шарів / В. М. Юзевич, П. М. Сопрунюк. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, вид-во “СПОЛОМ”, 2005. – 292 с.

УДК 621.317.39:578.087

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ І ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ У ЗЕРНІ

© Куцевол Олег, Куцевол Микола, Кучерук Володимир, 2012

Вінницький національний аграрний університет

*Проаналізовано складові діелектричних втрат у зерні як діелектричному матеріалі й одержано аналітичні вирази, що пов'язують їх із інформаційними параметрами первинного перетворювача на базі ємнісного чутливого елемента.*

*Проведен анализ составляющих диэлектрических потерь в зерне как диэлектрическом материале и получены аналитические выражения, связывающие их с информационными параметрами первичного преобразователя на базе емкостного чувствительного элемента.*

*The analysis of making dielectric losses in grain as a dielectric material is carried out and analytical expressions which connect them with information parameters of the primary converter on the basis of a capacitor sensitive element are received.*

**Вступ.** Контроль вологості зерна і зернопродуктів супроводжується значними похибками, викликаними наявністю нестабільних діелектричних втрат, які є наслідком поляризаційних ефектів від дії електричного поля.

Відомо [1], що електрична схема заміщення діелектричного матеріалу в ємнісному давачі передбачає складові від дії різного роду поляризаційних ефектів (рис. 1).

На схемі рис. 1 виділяють такі складові:  $R_{np}$  – опір наскрізної провідності;  $C_0$  – ємність давача без діелектричного матеріалу;  $C_e$ ,  $C_i$  – елементи, відповідно електронної та іонної пружної поляризації, які не призводять до діелектричних втрат і з'являються на

надвисоких частотах;  $R_{d,p}$ ,  $C_{d,p}$  – відповідно, опір діелектричних втрат і ємність дипольно-релаксаційної поляризації;  $R_{i,p}$ ,  $C_{i,p}$  – відповідно, опір діелектричних втрат і ємність іонно-релаксаційної поляризації;  $R_{e,p}$ ,  $C_{e,p}$  – відповідно, опір діелектричних втрат і ємність електронно-релаксаційної поляризації;  $R_M$ ,  $C_M$  – відповідно, опір діелектричних втрат і ємність міграційної поляризації.

Глибина поляризації пропорційна до діелектричної проникності матеріалу, модуль якої:

$$e = \frac{C}{C_0}, \quad (1)$$

де  $C$  – уявна ємність матеріалу, викликана поляризаційними ефектами та струмом провідності;  $C_0$  – початкова ємність давача, в якому розміщено матеріал.

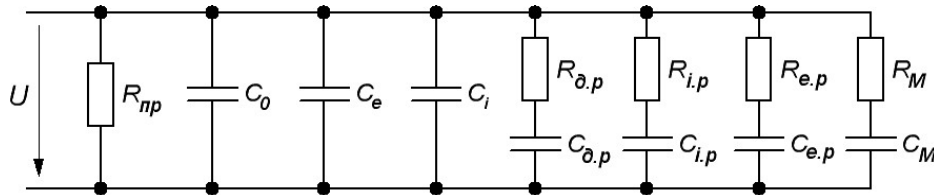


Рис. 1. Електрична схема заміщення діелектричного матеріалу в широкому діапазоні частот

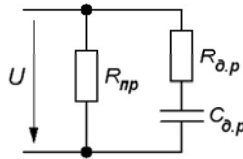


Рис. 2. Спрощена еквівалентна схема діелектричного матеріалу

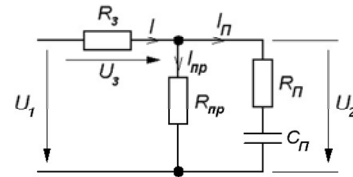


Рис. 3. Еквівалентна схема первинного перетворювача

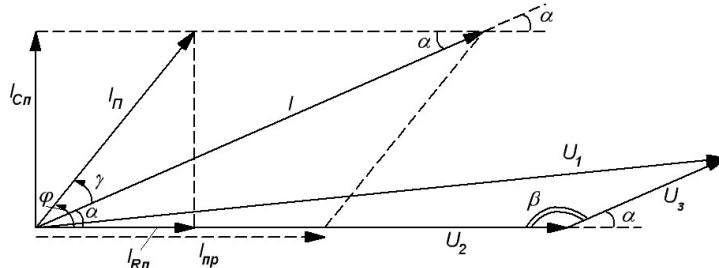


Рис.4. Векторна діаграма струмів і напруг в еквівалентній схемі первинного перетворювача із дослідним зерном

**Результати досліджень.** Оскільки визначити окремі складові різних видів поляризації неможливо, то для подальшого аналізу доцільно повну схему заміщення звести до спрощеного еквівалента (рис. 2),  $R_M$ ,  $C_M$  – відповідно, еквівалентні опір і ємність діелектричних втрат, зумовлені усіма видами поляризації. Дослідження поляризації зерна як діелектричного матеріалу із втратами проведено в первинному перетворювачі, еквівалентну схему якого наведено на рис. 3.

Векторну діаграму струмів і напруг в еквівалентній схемі рис. 3 показано на рис. 4.

Відомо [1], що струм втрат  $I$  складається із струму провідності  $I_{np}$  і абсорбційного поляризаційного струму  $I_n$ . Графік зміни струму втрат при дії на діелектрик постійного електричного поля показано на рис. 5.

З рис. 5 видно, що струм  $I_{np}$  можна легко знайти, якщо вимірювати струм втрат у діелектрику в момент часу  $t \geq 1$  хв від початку дії постійної напруги на діелектрик. Еквівалентна схема первинного

перетворювача для цього моменту часу показана на рис. 6. Користуючись рис. 6, знаходимо:

$$I_- = \frac{U_{3-}}{R_3}; R_3 + R_{np} = \frac{U_{1-}}{I_-}; R_{np} = \frac{U_{1-}}{I_-} - R_3. \quad (2)$$

Із рис. 3 і 4 визначимо:

$$I_{np} = \frac{U_2}{R_{np}}; I = \frac{U_3}{R_3};$$

$$b = \arccos \frac{U_2^2 + U_3^2 - U_1^2}{2U_2U_3}; a = 180^\circ - b;$$

$$I_{\Pi} = \sqrt{I_{np}^2 + I^2 - 2I_{np}I \cos a};$$

$$g = \arccos \frac{I_{\Pi}^2 + I^2 - I_{np}^2}{2I_{\Pi}I}; j = a + g. \quad (3)$$

Одержані величини дають змогу знайти дійсну та уявну складові струму  $I_{\Pi}$  та тангенс кута діелектричних втрат досліджуваного зразка зерна як діелектричного матеріалу:

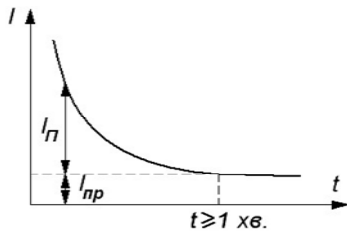


Рис. 5. Графік зміни струму втрат від часу в процесі поляризації діелектрика

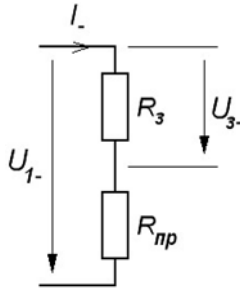


Рис. 6. Еквівалентна схема первинного перетворювача із діелектричним матеріалом на постійному струмі

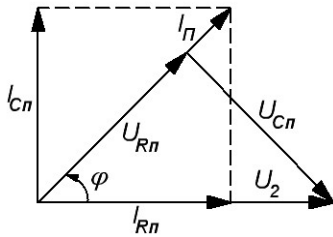


Рис. 7. Векторна діаграма діелектричного матеріалу

$$I_{R\Pi} = I_{\Pi} \cos j ;$$

$$I_{C\Pi} = I_{\Pi} \sin j ; \quad \operatorname{tg} d = \frac{I_{R\Pi}}{I_{C\Pi}}. \quad (4)$$

Відомо [2], що діелектрична проникність матеріалу – величина комплексна

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'', \quad (5)$$

де  $\epsilon'$  – дійсна складова комплексної діелектричної проникності;  $\epsilon''$  – уявна складова комплексної діелектричної проникності.

Для того, щоб знайти складові комплексної діелектричної проникності, скористаємось діаграмою (рис. 7), одержаною з діаграми (рис. 4).

Із діаграми рис. 6:

$$U_{C\Pi} = U_2 \sin j ; \quad X_{C\Pi} = \frac{U_{C\Pi}}{I_{\Pi}}.$$

Оскільки

$$X_{C\Pi} = \frac{1}{\omega C_{\Pi}},$$

знаходимо  $C_{\Pi}$

$$C_{\Pi} = \frac{1}{\omega X_{C\Pi}},$$

і дійсну складову комплексної діелектричної проникності можна знайти за виразом

$$\epsilon' = \frac{C_{\Pi}}{C_0}. \quad (6)$$

Скориставшись тим, що тангенс кута діелектричних втрат пов'язаний із складовими комплексної діелектричної проникності залежністю [3]

$$\operatorname{tg} d = \frac{\epsilon''}{\epsilon'},$$

знаходимо її уявну складову:

$$\epsilon'' = \epsilon' \cdot \operatorname{tg} d. \quad (7)$$

**Висновок.** Із проведених досліджень видно, що виміряні напруги  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  у первинному перетворювачі (рис. 3) дають змогу визначити діелектричні втрати матеріалу в діапазоні частот. Це можна використати під час побудови вологоміра зерна із покращеними метрологічними характеристиками.

1. Богородицький Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б.М. *Электротехнические материалы: учебник для вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат., ленингр. отд., 1985. – 304 с.* 2. Кричевский Е. С., Волченко А. Г., Галушкин С. С. *Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.* 3. Бугров А. В. *Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества. – М.: Машиностроение, 1982. – 94 с.*