

УДК 621.373.52

**Вілен РОЙЗМАН,**  
доктор технічних наук, професор,  
Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький

**Андрій ВОЗНЯК,**  
Хмельницький національний університет  
м. Хмельницький

## **РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА ГЕРМЕТИЗАЦІЇ КОНДЕНСАТОРА З РОЗДІЛЮВАЛЬНИМ КІЛЬЦЕМ**

*У статті розглянутий один із варіантів усунення дефекту розгерметизації плівкового конденсатора шляхом введення в шар компаунда розділювального кільця з матеріалу, який не адгезує з компаундом.*

**Ключові слова:** *компаунд, конденсатор, гермовузол, контактний тиск, напруження.*

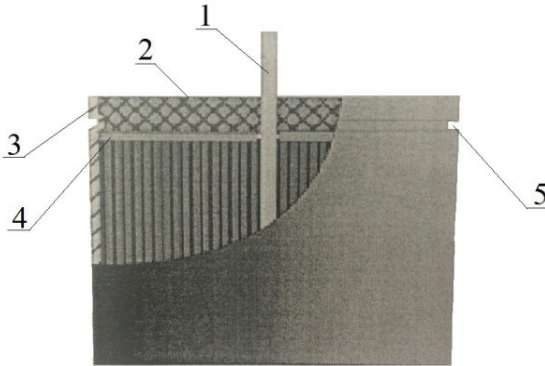
**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Відшаровування та розтріскування компаунда у вузлах вологозахисту в корпусах плівкових конденсаторів.

**Метою статті** є розробка та ліквідація дефекту розгерметизації вузла вологозахисту плівкового конденсатора.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Плівкові конденсатори застосовуються майже у всіх зразках електронної апаратури, зокрема у приладах військової техніки.

© Ройзман В., Возняк А.

В корпусах плівкових конденсаторів К78 та інших мало місце відшаровування та розтріскування компаунда у вузлах вологозахисту їх циліндричних корпусів (рис. 1, 2).



**Рис. 1.** Конструкція плівкового конденсатора:  
1 – вивід; 2 – компаунд; 3 – корпус; 4 – перегородка;  
5 – штампування в корпусі, так званий “зиг”

Теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що ці дефекти відбуваються внаслідок того, що при заливці гарячого компаунда, корпус і вивід розширюються вільно, а в ході охолодження і при термоциклюванні вони вже не можуть звужуватися незалежно, і внаслідок відмінності в коефіцієнтах лінійного температурного розширення матеріалів корпусу і герметизуючого компоненту на границях матеріалів виникає контактний тиск, або натяжіння. Формули для контактного тиску мають вигляд:

$$P_{1k} = \frac{C_2(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T + A_1(\alpha_2 - \alpha_3)T + A_1}{C_1}, \quad (1)$$

$$P_{2k} = \frac{(\alpha_2 - \alpha_3)\Delta T + P_{1k} \cdot A_2}{C},$$

де,  $P_{1k}$  – контактний тиск між першим і другим циліндром,  $P_{2k}$  – контактний тиск між другим і третім циліндром,  $\alpha_i$  – температурний коефіцієнт лінійного розширення,  $\Delta T$  – перепад температури.

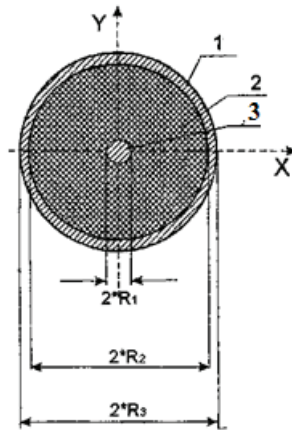


Рис. 2. Поперечний розріз конденсатора: 1 – вивід; 2 – компаунд; 3 – оболонка

Для спрощення введено такі позначення:

$$A_1 = \frac{R_2^2(2-\mu_2)}{E_2(R_2^2 - R_1^2)}; \quad A_2 = \frac{R_1^2(2-\mu_2)}{E_2(R_2^2 - R_1^2)};$$

$$C_1 = \frac{1-2\mu_1}{E_1} + \frac{R_1^2(1-2\mu_2) + R_2^2(1+\mu_2)}{E_2(R_2^2 - R_1^2)};$$

$$C_2 = \frac{R_2^2(1-2\mu_2) + R_1^2(1+\mu_1)}{E_2(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{R_2^2(1-2\mu_3) + R_3^2(1+\mu_3)}{E_3(R_3^2 - R_2^2)}.$$

З цих формул видно, що контактний тиск на межі розділу матеріалів і напруження в компаунді визначаються значеннями фізико-механічних характеристик матеріалів і радіальними розмірами виводу, корпусу і компаунда. Оскільки розміри конкретного екземпляра конденсатора і фізико-механічні характеристики матеріалів постійні, то величина і значення напружень і контактних тисків теж будуть постійними величинами. При цьому можуть бути такі співвідношення характеристик, що герметичність і міцність вузла не будуть забезпечуватися. Тобто в тришаровій конструкції, яка притаманна серійному вузлу вологозахисту, неможливо змінити значення контактного тиску і напружень. Для того, щоб це стало можливим, пропонується ввести

в конструкцію вузла вологозахисту конденсатора концентрично виводу і корпусу циліндричне кільце з матеріалу, який не адгезує з компаундом, КЛТР якого менше КЛТР компаунда. Кільце може бути таких розмірів і з такого матеріалу, який має таку жорсткість, що його можна вважати абсолютно жорстким, у порівнянні з жорсткістю компаунда і в розрахунках не враховувати його деформації, але можна і враховувати, створивши його таким, щоб воно було демпферуючим кільцем.

Наявність цього кільця (рис. 3) з матеріалу, який не адгезує з компаундом, дозволить умовно розбити по висоті тришарову конструкцію на дві двошарові, у кожній з яких у процесі проектування можна в радіальному напрямку змінювати товщину компаунда за рахунок зміни товщини кільця. При цьому конструкції “вивід-компаунд” і “компаунд-корпус” можуть розглядатися як двошарові складені циліндри, навантажені контактним тиском ( $P_{k1}$  та  $P_{k2}$  відповідно) на межах розділу матеріалу компаунда і кільця, де  $P_{k1}$  та  $P_{k2}$  задаються відомими формулами (1).

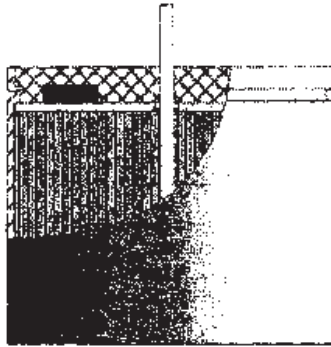


Рис. 3. Конструкція з розділювальним кільцем

Оскільки циліндр з компаунда є зовнішнім в конструкції “вивід-компаунд” і внутрішнім у конструкції “компаунд-корпус”, то радіальне, окружне і осьове напруження в матеріалі компаунда розраховуються за формулами:

у з’єднанні компаунда з виводом

$$\sigma_{1r} = \frac{P_{1k} \cdot R_1^2}{a_1^2 - R_1^2} \cdot \left(1 - \frac{a_1^2}{r^2}\right), \quad (2,a)$$

$$\sigma_{1t} = \frac{P_{1k} \cdot R_1^2}{a_1^2 - R_1^2} \cdot \left(1 + \frac{a_1^2}{r^2}\right), \quad (2,b)$$

$$\sigma_{1z} = \frac{P_{1k} \cdot R_1^2}{a_1^2 - R_1^2}; \quad (2,в)$$

у з'єднанні компаунда з корпусом

$$\sigma_{2r} = \frac{P_{2k} \cdot R_2^2}{R_2^2 - a_2^2} \cdot \left(\frac{a_2^2}{R^2} - 1\right), \quad (3,a)$$

$$\sigma_{2t} = \frac{P_{2k} \cdot R_2^2}{R_2^2 - a_2^2} \cdot \left(\frac{a_2^2}{R^2} + 1\right), \quad (3,b)$$

$$\sigma_{2z} = \frac{P_{2k} \cdot R_2^2}{R_2^2 - a_2^2}, \quad (3,в)$$

де  $r$ ,  $R$  – поточні радіуси, які змінюються в межах  $R_1 < r < a_1$ ,  $a_2 < R < R_2$ ;  $a_1$ ,  $a_2$  – внутрішній і зовнішній радіуси кільця,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_t$ ,  $\sigma_z$  – відповідно тангенціальне, тангенціальне та осьове напруження.

Аналіз формул показує, що зміна радіусів циліндричних поверхонь компаунда в обох аналізованих двошарових конструкціях дозволяє регулювати величини виниклих у них тисків і напружень. Розміри кільця (його ширина і положення) вибираються так, щоб оптимально задати товщину компаунда в двох двошарових конструкціях, і тим самим – контактні тиски і напруження.

Для вибору значень внутрішнього радіуса кільця ( $a_1$ ) при реалізації запропонованої конструкції вузла герметизації необхідно забезпечити:

1. Збільшення контактного тиску на межі вивід–компаунд, тобто виконання умови  $P_1 > P_2$ .

2. Виконання умови міцності для компаунда, що з урахуванням рівняння (2,a) і того факту, що компаунд за максимально допустимих низьких температур поводить як крихкий матеріал, має вигляд:

$$\sigma_{1max} = \left| \sigma_{1r} \right|_{R=R_1} = \frac{P_{1k} \cdot (R_1^2 + a_1^2)}{a_1^2 - R_1^2} \leq [\sigma], \quad (4)$$

де  $\sigma_{1max}$  – максимальні напруження, які виникають у матеріалі компаунда в конструкції вивід-компаунд;  $[\sigma]$  – величина допустимих для компаунда напружень.

Отже, прийнятним значенням внутрішнього радіуса кільця можна вважати таке, за якого виконується система нерівностей:

$$\begin{cases} P_{1k} = \frac{C_2(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T + A_1(\alpha_2 - \alpha_3)T + A_1}{C_1} > [P_{1k}], \\ \sigma_{1max} = \frac{P_{1k} \cdot (R_1^2 + a_1^2)}{a_1^2 - R_1^2} \leq [\sigma]. \end{cases} \quad (5)$$

Вирішивши кожне з наведених нерівностей, отримаємо:

$$\begin{aligned} a_1 > a_{11} &= \sqrt{\frac{P_{1k} \cdot \left( \frac{1-2\mu_2}{E_2} - \frac{1-2\mu_1}{E_1} \right) + (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta T}{(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot t - P_{1k} \cdot \left( \frac{1-2\mu_1}{E_1} + \frac{1+\mu_2}{E_2} \right)}} \cdot R_1, \\ a_1 \geq a_{12} &= \sqrt{\frac{[\sigma] \cdot \left( \frac{1-2\mu_2}{E_2} - \frac{1-2\mu_1}{E_1} \right) - (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta T}{(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot t - [\sigma] \cdot \left( \frac{1-2\mu_1}{E_1} + \frac{1+\mu_2}{E_2} \right)}} \cdot R_1. \end{aligned} \quad (6)$$

Рішенням системи нерівностей (6) є такі значення  $a_1$ :

$$a_1 > a_{01} = \max\{a_{11}, a_{12}\}, \quad a_{11} - \text{значення внутрішнього радіуса кільця,}$$

розраховане з умови досягнення максимального контактного тиску на межі вивід-компаунд;  $a_{12}$  – значення внутрішнього радіуса кільця,

розраховане з умови забезпечення міцності компаунда.

Таким чином, розрахований розмір  $a_1$  є мінімальним значенням внутрішнього радіуса кільця, за якого вдається забезпечити виконання зазначених вище умов. Аналогічно можна вибрати такий зовнішній радіус кільця  $a_2$ , за якого:

виконується умова міцності для компаунда в конструкції корпус-компаунд

$$\sigma_{2max} = \left| \sigma_{2l} \right|_{R=a_2} = -\frac{2P_{2k} \cdot R_2^2}{R_2^2 - a_2^2} \leq [\sigma],$$

де  $\sigma_{2max}$  – максимальне напруження, що виникає в матеріалі на межі компаунд-корпус;

максимальне напруження на межі компаунд-корпус не перевищує адгезійного напруження між матеріалами, які з'єднуються.

Для цього з системи нерівностей

$$\begin{cases} \left| \sigma_{2lmax} \right| = -\frac{2P_{2k} \cdot R_2^2}{R_2^2 - a_2^2} \leq [\sigma] \\ \left| \sigma_{2l} \right|_{R=R_2} = -\frac{P_{2k} \cdot (R_2^2 + a_2^2)}{R_2^2 - a_2^2} \leq \sigma_{адз} \end{cases} \quad (7)$$

знаходимо  $a_2 < a_{02} = \min \{a_{21}, a_{22}\}$ , де

$$\begin{aligned} a_{21} &= \sqrt{\frac{[\sigma] \cdot \left( \frac{1-2\mu_2}{E_2} + \frac{R_2^2 \cdot (1-2\mu_3) + R_3^2 \cdot (1+\mu_3)}{E_3 \cdot (R_3^2 - R_2^2)} \right) + 2 \cdot (\alpha_2 - \alpha_3) \cdot \Delta T}{[\sigma] \cdot \left( \frac{R_2^2 \cdot (1-2\mu_3) + R_3^2 \cdot (1+\mu_3)}{E_3 \cdot (R_3^2 - R_2^2)} - \frac{1+\mu_2}{E_2} \right)}} \cdot R_2, \\ a_{22} &= \sqrt{\frac{\sigma_{адз} \cdot \left( \frac{1-2\mu_2}{E_2} + \frac{R_2^2 \cdot (1-2\mu_3) + R_3^2 \cdot (1+\mu_3)}{E_3 \cdot (R_3^2 - R_2^2)} \right) + (\alpha_2 - \alpha_3) \cdot \Delta T}{\sigma_{адз} \cdot \left( \frac{R_2^2 \cdot (1-2\mu_3) + R_3^2 \cdot (1+\mu_3)}{E_3 \cdot (R_3^2 - R_2^2)} - \frac{1+\mu_2}{E_2} \right)}} \cdot R_2, \end{aligned} \quad (8)$$

$a_{21}$  – значення зовнішнього радіуса кільця, розраховане за умови виконання міцності компаунда в конструкції компаунд-корпус;

$a_{22}$  – значення зовнішнього радіуса кільця, розраховане з умови досягнення максимального напруження на межі компаунд-оболонка.

Визначене таким чином значення  $a_{02}$  є максимальним значенням зовнішнього радіуса кільця, за якого забезпечується виконання поставлених умов. При цьому контактний тиск у конструкції компаунд-

корпус менше, ніж у тришаровій конструкції, що досягається за рахунок зменшення прошарку компаунда біля корпусу.

З наведених міркувань випливає, що при введенні в прошарок компаунда додаткового кільця, максимальні розміри якого  $a_{01}$  та  $a_{02}$ , вдається забезпечити міцність і герметичність вузла вологозахисту, а також досягти позитивного ефекту, у порівнянні з тришаровою конструкцією аналізованого вузла. При практичній реалізації зазначеної конструкції вузла герметизації прийнятними можуть бути визнані будь-які радіуси кільця, які лежать у межах ( $a_1 > a_{01}$  та  $a_2 < a_{02}$ ) і зручні з технічної, економічної та інших точок зору. Що стосується висоти кільця, то вона залежить від конкретного виробу. У всіх випадках висота кільця повинна бути не менше половини висоти гермовузла, щоб із запасом забезпечити надійність по висоті заливання (рис. 2).

Як видно з формул і фізичних міркувань, розділювальне кільце виконує такі функції: при охолодженні гермовузла воно утримує частину компаунда біля корпусу, тому що КЛТР кільця менше КЛТР компаунда, зменшуючи енергію його відриву від корпусу, і дає можливість частині компаунда навколо виводу вільно, не “чіпляючись” за корпус, притискатися до виводу; при нагріванні гермовузла кільце утримує частину компаунда біля виводу, зменшуючи енергію його відриву від виводу, і дає можливість частині компаунда біля корпусу вільно, не “упираючись” у вивід, притискатися до корпусу. Експериментальна перевірка повністю підтвердила ефективність розділювального кільця.

**Висновки.** Використання розділювального контактний тиск кільця в конструкції вузла захисту від вологи дозволяє підвищити герметичність корпусу плівкового конденсатора (або іншої ємності, що містить вузол герметизації схожої конструкції).

*Рецензент – кандидат технічних наук, доцент Бойко Ю. М.*

*Ройзман В., Возняк А. Разработка конструкции узла герметизации с разделительным кольцом*

В статье рассмотрен один из вариантов устранения дефекта разгерметизации пленочного конденсатора путем введения в слой ком-



паунда разделительного кольца из материала, который не адгезирует с компаундом.

**Ключевые слова:** *компаунд, конденсатор, гермоузел, контактное давление, напряжение.*

*Royzman V., Voznyak A.* **Developing design of sealing joint with separating ring**

The film capacitors such as K78 and others are likely to sustain exfoliation and cracking compound in waterproof joints in their cylindrical cases. Theoretical and experimental research has testified that such defects occur as consequence of case and lead expansion, that progresses independently when hot compound is casted, and their contraction that can no longer remain independent while cooling and thermo-cycling. Difference in linear thermal expansion coefficients inherent to materials of the case and the sealing component causes the border contact pressure and tension in between them.

In order to eliminate this defect the recommendation is made to complement waterproof joint with cylindrical ring insertion concentrically to the lead and case. The ring is made from material which has no adhesion with compound and whose thermal expansion is less than that of compound. The ring can have such size and material that it would represent such rigidity that is assumed absolutely rigid in comparison with rigidity of compound so then its deformation is not considered for calculations, or else it is considered if it is made so as to represent a damping ring.

Presence of this ring of material that has no adhesion to compound allows conventionally dividing in height the three-layer structure into two two-layer ones, in each of which the thickness of compound can be radially varied by changing ring thickness at the stage of developing its design. Therewith two structures, which are “lead and compound” and “compound and case”, can be considered as two-layer composite cylinders loaded by contact pressure in the border between materials of compound and ring.

The calculations indicate that insertion of additional ring into compound layer succeeds to provide strength and sealing for waterproof joint

and also achieves positive effect in comparison with three-layer structure of the analyzed joint.

The separating ring carries out the following functions: when the sealed joint is cooled it holds the part of compound near the case, because thermal expansion of the ring is less than that of the compound, reducing energy of its tearing from the case and lets the part of compound around the lead freely expand towards the lead with no clinging to the case; when the sealed joint is heated the ring holds part of compound near the lead reducing energy of its tearing from the lead and lets the part of compound near the case freely expand towards the case with no pressing against the lead, therefore its using provides sealing improvement of the film capacitor case (or any other container that has similar sealing unit) what has been experimentally proven.

**Keywords:** *compound, capacitor, sealing joint, contact pressure, stress.*