

ДИЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

к.т.н. А.М. Панченко, А.Б. Кульчицький, А.С. Рогозін
(подав д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

Розглядаються умови створення обертового моменту, діючого на діелектричне тіло, розміщене в середовищі з іншою діелектричною проникністю в електричному полі.

Відомо, що на діелектрик в електричному полі діють механічні сили. Вони обумовлені поляризаційними зарядами (поверхневими і об'ємними), які виникають в наслідок дії електричного поля. Тобто на кожний елемент поверхні і об'єму тіла діє певна сила. Сили, які діють не на носії зарядів, а в цілому на кристалічну решітку речовини, дістали назву пондеромоторних сил. Прикладом таких сил є дія наелектризованої ебонітової палички на дрібні частки паперу, які до неї притягуються. Таке явище має місце, якщо діелектрична проникність середовища (в нашому випадку повітря) істотно менша у порівнянні з проникністю предмета, на який ми діємо електричним полем. Класичний дослід, описаний в [1], свідчить, що парафіновий шар ($\epsilon \approx 2$) притягується в повітрі ($\epsilon \approx 1$) до зарядженого металевого шару і відштовхується, якщо конструкцію розмістити в ацетоні ($\epsilon \approx 33$) (рис. 1). Це

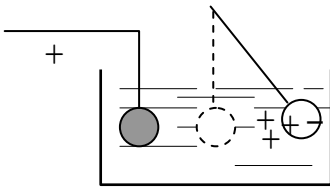


Рис. 1. Парафіновий шар в повітрі і ацетоні

явище обумовлено поляризаційними зарядами, які з'являються на поверхні шару під дією електричного поля.

Розглянемо конструкцію (рис.2), що складається з металевих паралельних пластин до яких підведена постійна висока напруга. Пластини поміщені в скляну посудину і повністю занурені в гліцерин. Проміж пластин розміщений ебонітовий шар. Оскільки питома густина гліцерину і ебоніту близькі між собою, то легко досягти стану, щоб шар був звішений в гліцерині. Діелектрична проникність гліцерину і ебоніту відповідно становить $\epsilon_r = 33$, $\epsilon_e = 3$. При подачі високої постійної напруги на пластини напруженість електричного поля в гліцерині буде в десять разів менша, ніж в ебонітовому шарі. На поверхні шару з'являються поляризаційні заряди з деякою поверхневою щільністю $\sigma_{ш}$, а на межі, яка прилягає до шару в гліцерині, з'являються поляризаційні заряди з щільністю σ_r . Оскільки $\epsilon_e < \epsilon_r$, то і $\sigma_{ш} > \sigma_r$. Тобто сумар-

ний заряд на межі шар - гліцерин змінить свій знак на протилежний. Сказане стосується як лівої, так і правої сторони шару. Отже з лівого і правого боку на шар діють дві сили, F_1 і F_2 однакові за величиною і направлені назустріч (рис.3).

Має місце нестійка рівновага. В наслідок випадкових факторів неоднорідності речовин, флуктуаційних процесів виникне зміщення шару і заряди розподіляться несиметрично відносно лінії прикладання сил F_1 та F_2 . Це призведе до обертання шару. По мірі наростання швидкості зміщення зарядів відносно статичної рівноваги збільшується, а це, в свою чергу, викликає збільшення обертового моменту. Швидкість обертання шару досягає понад 10 тисяч обертів в хвилину. В момент нестійкої рівноваги заряджені області на шарі будуть займати частину поверхні кулі, симетричну відносно найближчої точки кулі (полюса) до електроду. Цю область в подальшому будемо називати електричною плямою. В напрямку її зміщення відбувається обертання кулі. По мірі зростання швидкості зміщення електричної плями збільшується, що призводить до зростання обертового моменту. Так відбувається доти, доки момент не урівноважиться силами тертя шару відносно рідини.

Розподілення поверхневого заряду в умовах кінематичної рівноваги обумовлює появу обертового моменту, який підтримує початкове обертання. Переміщення поверхневого заряду забезпечується об'ємним струмом через середовище. Значення моменту можливо розрахувати після знаходження напруженості електричного поля в шарі та в міжелектродному просторі. Відомо, що напруженість електричного поля діелектричного шару [2] в середовищі дорівнює

$$E = \frac{3\epsilon_{ш}}{\epsilon_r + 2\epsilon_{ш}} E_0, \quad (1)$$

де $\epsilon_r, \epsilon_{ш}$ - діелектричні проникності гліцерину та ебоніту; E_0 - напруженість електричного поля при відсутності шару.

Головний вектор пондеромоторних сил, що діє на будь - який об'єм, обмежений замкнутою поверхнею S , розраховується за формулою

$$F_i = \oint_s T_{rш} dS_{ш}, \quad (2)$$

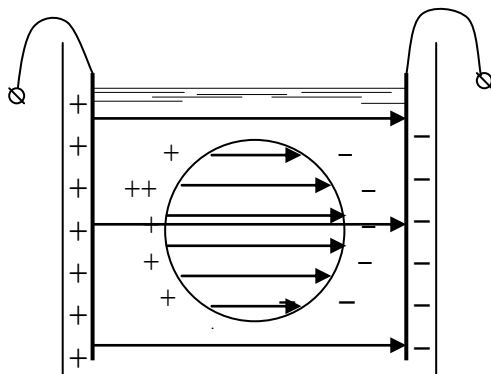


Рис. 2. Розподілення зарядів в системі ебоніт - гліцерин

де $\mathbf{T}_{\text{гш}}$ - максвеловський тензор натягу, який дорівнює

$$\mathbf{T}_{\text{гш}} = \frac{\epsilon}{4\pi} \left(\mathbf{E}_{\text{г}} \mathbf{E}_{\text{ш}} - \frac{1}{2} \mathbf{E}^2 \right), \quad (3)$$

де $\mathbf{E}_{\text{г}}$, $\mathbf{E}_{\text{ш}}$ - напруженість електричного поля в гліцерині і ебонітовому шарі. Виконуючи операції з тензором Максвела [3] для овальних тіл, з певними припущеннями можемо записати

$$\vec{\mathbf{M}}_z = 4\bar{\omega}\epsilon_0 \mathbf{E}_0^2 (\gamma_{\text{г}} \epsilon_{\text{ш}} - \gamma_{\text{ш}} \epsilon_{\text{г}}) / \mathbf{D}, \quad (4)$$

де \mathbf{M}_z - момент відносно осі; $\gamma_{\text{г}}$, $\gamma_{\text{ш}}$ - відповідно провідність гліцерину і шару; \mathbf{D} - електрична індукція (зміщення).

Таким чином, обертовий момент буде направлений в напрямку зміщення шару. Це означає, що обертовий момент підтримує початкове обертання незалежно від його напрямку. Обертовий момент обумовлений виключно дією тангенціальних складових напруженості електричного поля на вільні електричні заряди. В рухомому середовищі з'являється конвекційний струм, який впливає на швидкість зростання щільності заряду. В статичній рівновазі максимальний заряд знаходиться на найближчій до електроду точці шару. Під впливом швидкості заряди перерозподіляються, як вказано на рис.4.

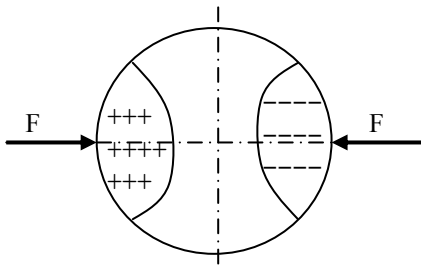


Рис. 3. Пара сил, яка діє на шар

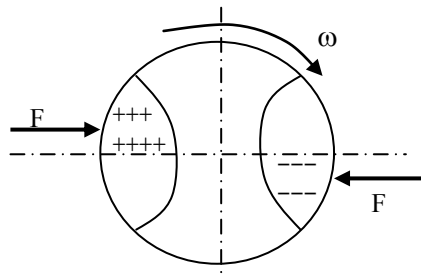


Рис. 4. Розподіл зарядів при порушенні рівноваги

Дещо подібне явище спостерігається, якщо простір між електродами заповнити спиртом, а потім до центру ввести трансформаторне масло. На деякий час утворюється джгут, що швидко обертається, із трансформаторного масла, дещо подібний до конфігурації смерчу “Торнадо”. Можливо припустити, що подібні явища існують в природі. Так при грозі на поверхні землі зростає напруженість електричного поля, і якщо у вологе повітря з певною діелектричною проникністю заноситься з пустелі сухе повітря з пиловими домішками з істотно меншою діелектричною проникністю, то може виникнути ефект, який ми розглянули. Але в такому випадку обертається не шар, а циліндр (пилова суміш сухого повітря) з вертикальною віссю обертання. Якщо це так, то можливо спрогнозувати

і шляхи боротьби з подібними явищами.

На рис.5 зображені горизонтальні електроди 1, на які подано високу постійну напругу. Міжелектродний простір заповнений гліцерином і в ньому розміщений ебонітовий шар. Пунктирні лінії 2 відповідають можливим осям обертання шару. Відштовхуюча сила від електродів діє на шар в вертикальній площині. Напрямок обертання шару і положення осі обертання залежить від випадкових факторів, але відомо, що вісь обертання обов'язково буде знаходитися в площині, паралельній електродам. Початкове обертання буде підтримуватися і вісь обертання зафіксується (ефект гіроскопа).

Існують певні можливості використання розглянутої конструкції як гіроскопа. Інформацію про взаємне переміщення осі обертання шару і пластин електродів можливо знімати, використовуючи світловий промінь, який направлено на підготовлені поверхні шару, і це можливо робити одночасно по трьох взаємоперпендикулярних площинах.

Можливо замінити шар діелектричним циліндром, встановити його на вісь, з боків розмістити електроди і заповнити відповідною рідиною. Ефект обертання також буде спостерігатися, але швидкості будуть дещо менші. Використання такого варіанту як двигуна в прямому розумінні мабуть не буде доцільним із-за неможливості накопичити значні потужності в електричному полі.

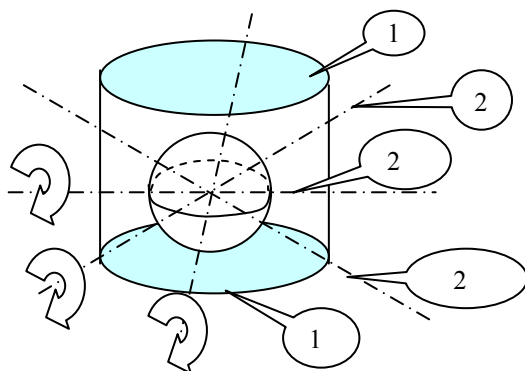


Рис.5. Можливі вісі обертання шару в електричному полі

ЛІТЕРАТУРА

1. Калашников С. Г. Электричество. – М.: Наука, 1985. – 576 с.
2. Сегаль А.М. Электромагнитное поле. – Л.: СЗПИ, 1963. – 140 с.
3. О движении диэлектриков в электрическом поле / Ю.С. Карпов, В.А. Красноперов, Ю.Т. Окунев, В.В. Пасынков // Физика диэлектриков. Труды всесоюзной конф., ноябрь 1958. – М. – 1960. – С. 124 - 131.
4. Поливанов К.М. Электродинамика движущихся тел. – М.: Энергоиздат, 1982. – 192 с.

Надійшла до редколегії 27.08.2001