

ИНДУКЦИОНЕН НЕУТРАЛИЗАТОР НА ОБЕМНИ ЗАРЯДИ С ПОВИШЕНА ЕФЕКТИВНОСТ

Стефан Стефанов¹, Иван Милев², Иван Проданов³

^{1,2,3} Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията се предлага индукционен неутрализатор на обемни заряди, който освен традиционно използваните игловидни разрядни електроди, съдържа допълнителен електрод във вид на пръчка. Изяснява се физическата същност на влиянието на допълнителния електрод върху работата на неутрализатора. Теоретично се доказва, че допълнителният електрод повишава ефективността на неутрализатора. С неговото действие зарядът на изтичащата от тръбопровода диелектрична течност може да се неутрализира напълно.

INDUCTIVE NEUTRALIZER OF BULK CHARGES WITH INCREASED EFFICIENCY

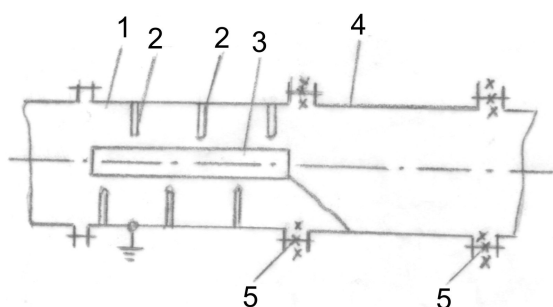
Stefan Stefanov¹, Ivan Milev², Ivan Prodanov³

^{1,2,3} University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. An inductive neutralizer of bulk charges, which apart from the traditionally used point discharge electrodes contains an additional electrode in shape of rod, is treated in the paper. The physical nature of the additional electrode influence on the neutralizer operation is explained. The increase of the neutralizer efficiency by the additional electrode is theoretically proved. The charge of the flowing out insulating liquid can be absolutely neutralized by its action

Изясняването на физическата същност на процеса на образуване и натрупване на заряди в движещо се гориво позволява да се предложи метод за неутрализация на тези заряди с помощта на устройства, които се включват в магистралата за зареждане. Това са различни конструкции индукционни неутрализатори, елиминиращи обемни заряди.

В [1] е предложена конструктивна схема на индукционен обемен неутрализатор на статично електричество с повишена ефективност (фиг. 1).



Фиг.1

Той се състои от корпус 1, игловидни електроди 2, допълнителен електрод – пръчка 3 и накрайник 4, който е изолиран от заземения корпус 1 посредством фланци от електроизолационен материал.

При движението на заредената течност по тръбопровода, вътре в накрайника се натрупва заряд с такъв знак, какъвто е този на нефтопродукта. Посоченият

заряд, а също така и пълният обемен електрически заряд на течността в накрайника, предизвикват повишаване на потенциала на този участък, а следователно и на допълнителния електрод. Под действие на разликата в потенциалите между допълнителния електрод и игловидните електроди възниква ефектът корона, внасящ в обема на течността заряд с противоположен по отношение на течността знак. При това потенциалът на системата допълнителен електрод–накрайник се повишава дотогава, докато в накрайника съществува заряд, т.е. докато става релаксация и натрупване на заряди в него. При това токът през игловидните електроди нараства дотогава, докато сумарният заряд вътре в накрайника не стане равен на нула. По-нататък повишаването на потенциала се прекратява, като зарядът на изхода на неутрализатора напълно се анулира.

При възникване на коронен разряд между електродите 2 и допълнителния електрод 3, през игловидните електроди протича ток на проводимостта I_{γ} . Стойността на този ток зависи от потенциала U на допълнителния електрод, формата и разположението на допълнителния и игловидните електроди, както и от относителната електропроводимост γ на течността:

$$I_{\gamma} = K.U, \quad (1)$$

където K е коефициент на пропорционалност.

На изхода на корпуса 1 съществува ток на течението I_T , който е алгебрична сума на два тока:

$$I_T = \rho \cdot W = \rho_o \cdot W - K \cdot U, \quad (2)$$

където ρ е плътността на обемния заряд на течността на изхода на корпуса 1, c/m^3 ;

- ρ_o - входната плътност на обемния заряд, c/m^3 ;
- W - производителността на препомпване, m^3/s ;
- $\rho \cdot W$ - токът на течението на изхода, A ;
- $\rho_o \cdot W$ - токът на течението на входа, A .

Потенциалът на допълнителния електрод 3 се определя от потенциала на наставката 4 и зависи от общия заряд Q_1 на течността вътре в тази наставка, от заряда Q_2 , натрупан по стените на наставката в резултат на тока на релаксация I_p , както и от електрическия капацитет C на системата наставка 4 и допълнителен електрод 3 спрямо земя:

$$U = \frac{(Q_1 + Q_2)}{C}, \quad (3)$$

където:

$$Q_1 = \rho \cdot V, \quad (4)$$

а

$$Q_2 = \int_o^t \frac{\rho \cdot V}{\tau} \cdot dt. \quad (5)$$

Следователно

$$U = \frac{\rho \cdot V + \int_o^t \frac{\rho \cdot V}{\tau} \cdot dt}{C}, \quad (6)$$

където: V е обемът на наставката 4, m^3 ;

τ - времекопстантата на релаксация на обемния заряд на течността, S ;

Интегралното уравнение (6) определя режима на работа на неутрализатора до началото на коронния разряд на игловидните електроди 2 (момента $t = t_o$), т.е. до достигане на началния потенциал на короната U_o . При $U = U_o$ и $t = t_o$ от (6) за времето t_o се получава:

$$t_o = U_o \frac{C \cdot \tau}{\rho_o \cdot V} - \tau.$$

Решението на интегралното уравнение (6) има вида:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \rho_o \Big|_{0 \leq t \leq t_o} \\ u \quad t_o &= U_o \frac{C \cdot \tau}{\rho \cdot V} - \tau \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

След заместване на (6) в (2) се получава:

$$I_T = \rho \cdot W = \rho_o \cdot W - \frac{K \cdot V}{C} \left(\rho + \frac{1}{\tau} \int_o^t \rho \cdot dt \right). \quad (8)$$

Уравнение (8) описва процесът на неутрализация, когато наставката и допълнителният електрод достигнат стойност на потенциала U_o и в процеса на неутрализация се включва токът на короната на игловидните електроди. При това

$$\rho = \rho_o \cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}} \Big|_{t_o \leq t \leq \infty} \quad (9)$$

След заместване на (9) в (8) се получава

$$\rho_o \cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}} \cdot W = \rho_o \cdot W - \frac{K \cdot V}{C} \left(\rho_o \cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}} \cdot \frac{1}{\tau} \int_o^t \rho_o \cdot e^{-\frac{S-t_o}{\tau'}} \cdot dS \right)$$

или

$$W = W \cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}} - \frac{K \cdot V}{C} + \frac{K \cdot V}{C} \cdot \frac{\tau'}{\tau} + \frac{K \cdot V}{C} \cdot \frac{\tau'}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau'}}.$$

Ако се положи $W + \frac{K \cdot V}{C} = D$ се получава

$$D - W \cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}} = \tau' \left(\frac{K \cdot V}{C \cdot \tau} + \frac{K \cdot V}{C \cdot \tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau'}} \right),$$

$$\text{откъдето } \tau' = \frac{D - W \cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}}}{\frac{K \cdot V}{C \cdot \tau} \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'}} \right)}, \quad (10)$$

т.е. $\tau' = F(\tau')$. Следователно трябва да се намерят неподвижните точки на функцията $F(\tau')$ [2]. За тази цел се избира интервал $[\tau'_1, \tau'_2]$, $\tau'_1 > 0$. Ако $\tau' \in [\tau'_1, \tau'_2]$, то

$$\tau'_1 \leq \frac{D - W \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau'}}}{\frac{K \cdot V}{C \cdot \tau} \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'}} \right)} \leq \tau'_2 \quad (11)$$

$$F'(\tau') = \frac{dF(\tau')}{d\tau'} = \frac{1}{\frac{K \cdot V}{C \cdot \tau}} \cdot \frac{\left(D - W \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau'}} \right) \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'}} \right) - \left(D - W \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau'}} \right) \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'}} \right)}{\left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'}} \right)^2} =$$

$$= \frac{C \cdot \tau}{K \cdot V} \cdot \frac{e^{-\frac{t}{\tau'}} \left(-W \cdot t \cdot e^{-\frac{t_0}{\tau'}} + W \cdot t_0 \cdot e^{-\frac{t_0}{\tau'}} + W \cdot t_0 \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau'}} - W \cdot t - \frac{K \cdot V}{C} - t \right)}{\left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'}} \right)^2} \quad (13)$$

Като се има предвид, че $\frac{dF(\tau')}{d\tau'}$ се определя с израза (13), то неравенството $\left| \frac{dF(\tau')}{d\tau'} \right| \leq 1$ може да бъде удовлетворено при подходящ избор на параметрите K, V, C, W и t . Следователно от принципа за свиващите изображения $F(\tau')$ има единствена неподвижна точка в интервала $[\tau'_1, \tau'_2]$, която може да се намери като граница на редицата от последователни приближения, образувана по следния начин:

$$\tau'_n = F[\tau'_{n-1}], \quad (14)$$

като $\tau'_{(0)}$ се избира произволно от интервала $[\tau'_1, \tau'_2]$, т.е.

$$\tau'_{(1)} = \frac{D - W \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau'_{(0)}}}}{\frac{K \cdot V}{C \cdot \tau} \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'_{(0)}}} \right)}$$

Препоръчана за публикуване от Катедра "Електротехника", МЕМФ

За да се продължи анализа трябва да се изследва дали $F(\tau')$ е свиваща се функция, т.е. изпълнено ли е условието

$$|F'(\tau')| < 1 \quad (12)$$

Производната на функцията $F(\tau')$ има вида:

$$\tau'_{(2)} = \frac{D - W \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau'_{(1)}}}}{\frac{K \cdot V}{C \cdot \tau} \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau'_{(1)}}} \right)}$$

и т.н.

В заключение може да се направи изводът, че първоначално зарядът на изхода на неутрализатора се стреми към нула с времеконстанта τ , а след достигане на потенциала U_0 между електродите 2 и 3 - с времеконстанта τ' . При това токът на проводимостта повишава ефективността, като сам участва в процеса на неутрализация, съкращавайки времето, за което зарядът на изхода на неутрализатора се елиминира напълно.

Литература

- Стефанов, С., И. Милев, И. Проданов. Особенности на електризацията на диелектрични течности от преливащи магистрала в приемни резервоари и устройства за ограничаване на появилото се статично електричество. Годишник на МГУ, том 47, св. III, София, 2004, стр. 73-75.
- Angelov V. C. Fixed point theorems en uniform spaces and applications. Czechoslovak Mathematical Journal V.37(112), 1987, 19-33.