



TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ
XO'JALIGINI MEXANIZATSIYALASH
MUHANDISLARI INSTITUTI



FAN: ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

ТЕМА

01

Основные виды
электрических
разрядов в газах



Музафаров Шавкат Мансурович

Профессор кафедры
“электроснабжение и возобновляемые
источники энергии”



План лекции:

- Классификация электрического разряда в газах.
- Частичные разряды.
- Электрофизические процессы в газах
- Электрическая дуга

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ГАЗАХ. ЛАВИНЫ ЭЛЕКТРОНОВ

Понятие электрического разряда охватывает все случаи перемещения в диэлектрике под действием электрического поля заряженных частиц (электронов и ионов), образованных в результате ионизационных процессов.

Стационарными называются разряды, при которых физические процессы в диэлектрике (газе) либо сохраняются неизменными, либо меняются настолько медленно, что влияние предыдущих состояний практически не сказывается на последующие. При этом стационарные разряды могут проходить последовательно через разные формы.

К нестационарным относятся все виды разряда, связанные с быстрым изменением состояния промежутка, когда предыдущее его состояние оказывает существенное влияние на последующее. Типичным примером такого разряда является искра.

Самостоятельным называется разряд, который поддерживается в результате ионизационных процессов в диэлектрике (например, в объеме газа) и на поверхности электродов без постороннего ионизатора.

Несамостоятельными называются разряды, которые поддерживаются посторонним ионизатором, вызывающим возникновение свободных электронов. Таким ионизатором могут служить космическое¹ излучение, радиоактивное излучение земной коры, кварцевая лампа и другие источники коротковолнового излучения.

Электрофизические процессы в газах

Частицы газа находятся в состоянии теплового движения, постоянно взаимодействуя (сталкиваясь) друг с другом. Число столкновений z , испытываемых какой либо частицей на пути в 1 см, пропорционально концентрации N . Величина, обратная числу столкновений, $\lambda=1/z$ представляет собой **среднюю длину свободного пробега** частицы.

В таблице представлены средние длины свободного пробега молекул различных газов ($\lambda_{\text{мол}}$) и электронов в них ($\lambda_{\text{эл}}$).

| | H ₂ | N ₂ | O ₂ | H ₂ O | CO ₂ | SF ₆ |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| $\lambda_{\text{мол}}$, МКМ | 0,11 | 0,058 | 0,064 | 0,041 | 0,039 | 0,025 |
| $\lambda_{\text{эл}}$, МКМ | 0,63 | 0,33 | 0,36 | 0,23 | 0,22 | 0,13 |
| $W_{\text{возб}}$, (эВ) | 10,8 | 6,3 | 7,9 | 7,6 | 10 | 6,8 |
| $W_{\text{и}}$, (эВ) | 15,9 | 15,6 | 12,1 | 12,7 | 14,4 | 15,6 |

Действительные длины свободных пробегов подвержены значительному разбросу. Вероятность того, что длина свободного пробега частицы равна или больше x , описывается уравнением Клаузиуса:

$$P(x) = \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right). \quad (1)$$

37% всех частиц имеют скорости больше средних, а 0,005% - больше 10λ .
В электрическом поле на заряженные частицы (ионы и электроны) действует

сила

$$F = eE, \quad (2)$$

где e - заряд частицы; E - напряженность электрического поля.

Энергия, накапливаемая электроном в электрическом поле, равна

$$W_e = eU = eEx \quad (3)$$

где x - расстояние, пролетаемое электроном в направлении поля. Это энергия часто измеряется во внесистемных единицах в электрон-вольтах. Энергия в 1 эВ представляет собой энергию, которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов 1 В. Как видно из таблицы энергии ионизации основных газов $\sim 12 \div 16$ эВ. Эту энергию должен набрать электрон на длине свободного пробега. Например, для O_2 при $\lambda = 0,36$ мкм его энергия должна составить $W_{и} = 12,1$ эВ, т.е. на этой длине должна быть разность потенциалов $U = 12,1$ В, а напряженность поля составлять $E = U/\lambda = 336$ кВ/см

Расстояние, который должен пролететь электрон, чтобы накопить достаточную для ионизации энергию, определяется как

$$x_c = \frac{W_c}{h\nu} = \frac{U_c}{\nu} \quad (4)$$

и зависит от напряженности электрического поля.

Вероятность того, что электрон пролетит путь без столкновений, составляет

$$P(x_{II}) = e \exp\left(-\frac{x_{II}}{\lambda}\right), \quad (5)$$

но это и есть вероятность приобретения электроном энергии, при которой возможна ионизация, т.е. можно считать вероятностью ионизации

Процесс ионизации газа путем соударения нейтральных молекул с электронами называется ударной ионизацией и характеризуется **коэффициентом ударной ионизации α** , который равен числу ионизаций, производимых электроном на пути в 1 см по направлению действия сил электрического поля. Коэффициент α определяется как произведение среднего числа столкновений на пути в 1 см и вероятности ионизации:

$$\alpha = \frac{1}{\lambda} e \exp\left(-\frac{x_{II}}{\lambda}\right). \quad (6)$$

Положительные ионы практически не могут ионизировать молекулы газа по ряду причин: малая подвижность; значительно меньшие, чем у электронов, длины свободного пробега. Частота ионизаций положительными ионами в раз меньше, чем электронами.

Однако положительные ионы, бомбардируя катод, могут освободить из него электроны.

В процессе ионизации газа возникает большое количество возбужденных частиц, которые, переходя в нормальное состояние, испускают фотоны. Если энергия фотона превышает энергию ионизации

$$h \nu \geq W_{и}, \quad (7)$$

где ν - частота излучения; $h = 4,15 \text{ эВс}$ - постоянная Планка, то при поглощении его атомом или молекулой освобождается электрон, происходит акт фотоионизации газа.

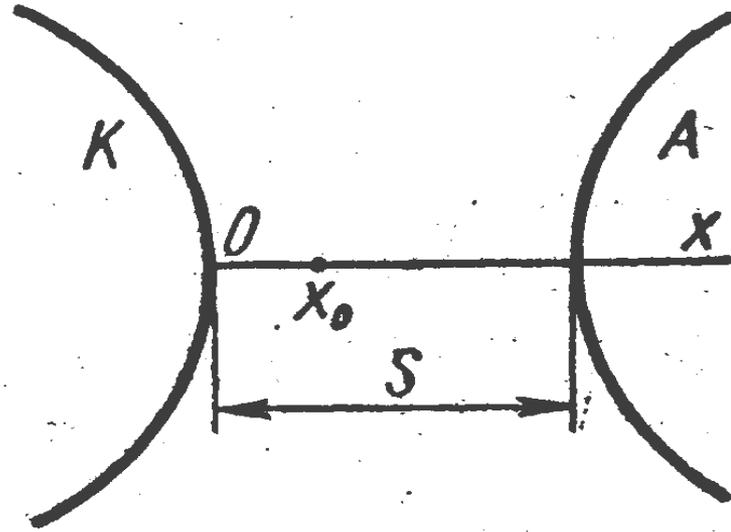


Рис. 1. Разрядный промежуток

где $\alpha(x)$ — коэффициент ударной ионизации; $\eta(x)$ — коэффициент присоединения электронов к нейтральным молекулам газа; $N_e(x)$ — число электронов в лавине в текущей точке x на расстоянии $x-x_0$ от точки x_0 возникновения первого электрона (рис. 1). Следовательно,

$$dN_e/N_e(x) = [\alpha(x) - \eta(x)] dx, \quad (2)$$

откуда после интегрирования получаем число электронов в лавине, прошедшей путь $x-x_0$,

$$N_e(x) = \exp\left\{\int_{x_0}^x [\alpha(x) - \eta(x)] dx\right\}. \quad (3)$$

В частном случае однородного поля $\alpha(x) = \text{const}$, $\eta(x) = \text{const}$ и

$$N_e(x) = \exp[(\alpha - \eta)(x - x_0)]. \quad (4)$$

После прохождения лавины электронов в объеме газа остаются положительные и отрицательные ионы, распределение которых вдоль пути лавины определяется формулами:

$$dN^+/dx = \alpha(x)N_e(x) = \alpha(x)\exp\left\{\int_{x_0}^x [\alpha(x) - \eta(x)] dx\right\}$$

$$dN^-/dx = \eta(x)N_e(x) = \eta(x)\exp\left\{\int_{x_0}^x [\alpha(x) - \eta(x)] dx\right\}$$

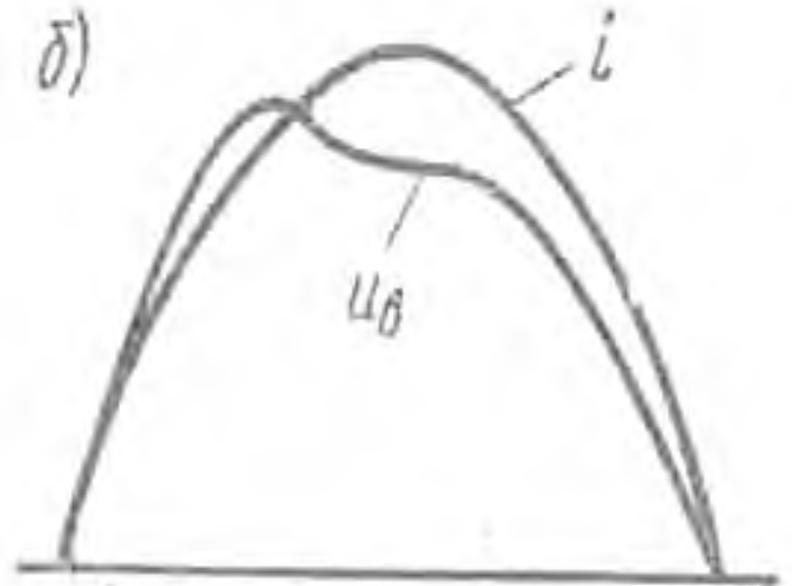
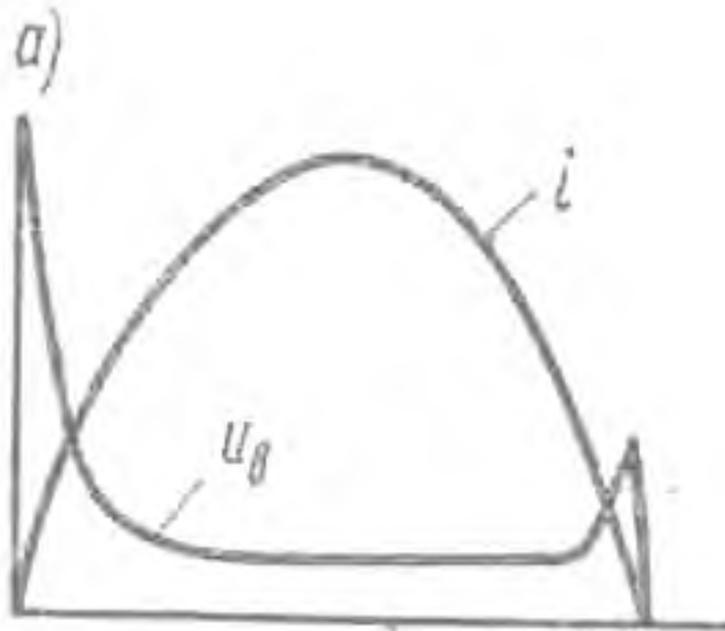
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА

- Самостоятельный электрический разряд в газах или парах металла.
- При достаточной мощности источника тока электрический разряд в диэлектриках заканчивается дугой.
- Свойства электрической дуги:
 - Большая плотность тока;
 - Низкое Катодное падение напряжения (5...20 В)
- Температура катодной области и в столбе дуги в результате интенсивной ионизации достигает до десяти тысяч градусов. Цельсия.

Для достаточно длинной дуги условие теплового баланса на единицу длины дуги может быть записано в виде

$$E_d I_d = d_d f(T) \quad (1)$$

где E_d , I_d – напряженность и ток в стволе дуги; d_d – диаметр дуги;
 $f(T)$ – возрастающая функция температуры



Падение напряжения на дуге за полупериод переменного напряжения: а – при обдувании потоком воздуха: б – в спокойном воздухе

Падение напряжения в дуге в цепи имеющей активное сопротивление
Актив қаршилиққа эга бўлган занжирда ёйда кучланишни пасайиши

$$U_d = U - IR \quad (2)$$

С другой стороны при учете уравнения (1) напряжение дуги равно

$$U_d = E_d l_d = A I_d^n l_d \quad (3)$$

где l_d - *длина дуги*

Приравнивая правые части уравнения получим

$$I_d = (I^n/A)(U - IR) \quad (4)$$

или

$$I_d = (I^n U/A)(1 - IR/U) = (I^n U/A)(1 - I/I_{кз}) \quad (5)$$

здесь $I_{кз} = U/R$ – *ток металлического замыкания*

В (4) уравнении выберим любое значение длины дуги и приравняв нулю получим

$$\frac{dl_{\text{д}}}{dl} = \frac{1}{A} \left[n I_{\text{экс}}^{n-1} U - (n+1) I_{\text{экс}}^n R \right] = 0$$

или

$$I_{\text{экс}} = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{U}{R} = \frac{n}{n+1} I_{\text{к.з.}}$$

ЗДЕСЬ $I_{\text{экс}}$ — ТОК ПРИ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЕ ЛУГИ;

$$l_{\text{д max}} = \frac{I_{\text{к.з.}}^n U}{A} \cdot \frac{n^n}{(n+1)^{n+1}}$$

Adabiyotlar:

1. Alston, L.L., High Voltage Technology, Oxford University Press, Oxford (2007).
2. Seely, S., Electromagnetic Fields, McGraw-Hill, New York (2003).
3. Kuffej, E. and Zaengl, W.S., High Voltage Engineering Fundamentals, Pergamon Press, Oxford (2004).
4. Hamidov N. Yuqori kuchlanish texnikasi va izolytsiya.- T.: «Fan va texnologiya», 2012, 200 b.
5. Г.Н. Александров, В.Л. Иванов М.В. Костенко Техника высоких напряжений. Под редак. М.В. Костенко. М.: Высшая школа.1993.- 528 с.



TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ
XO'JALIGINI MEXANIZATSIYALASH
MUHANDISLARI INSTITUTI



Благодарю за внимание



Музафаров Шавкат Ма

Профессор кафедры
“электроснабжение и возобновляемые
источники энергии



+ 998 71 237 1957



s.xidirov@tiame.uz



@SanatXidirov