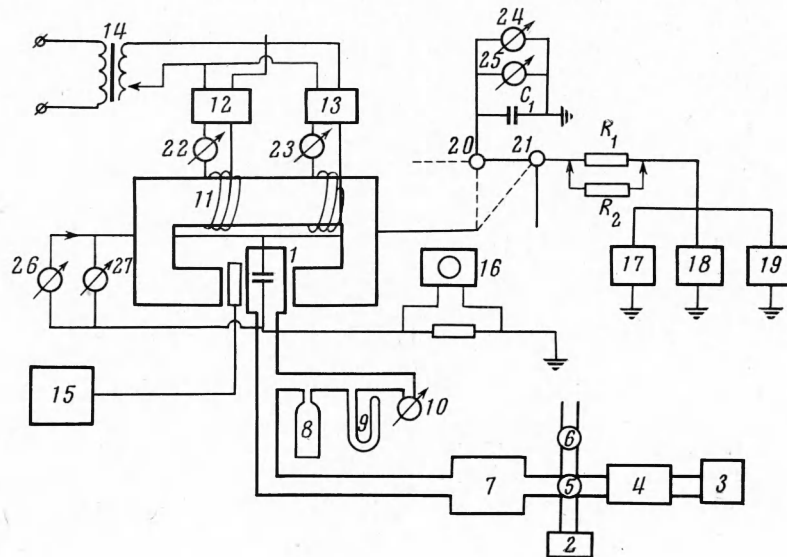


ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ В ВОЗДУХЕ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ю. Д. Нагорных (Новосибирск)

Исследования электрического пробоя газов в поперечном магнитном поле были проведены в работах [1-16]. Наиболее полно рассмотрен случай коаксиальной геометрии электродов [1-10]. Имеющиеся экспериментальные результаты по пробоям между плоскопараллельными электродами [11-14] относятся к узкому диапазону изменения параметров, определяющих пробой (P , d , H , U).

В настоящей работе проводится экспериментальное исследование электрического пробоя в воздухе в поперечном магнитном поле между плоскопараллельными электродами конечного размера в интервале давлений от 650 до $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. при длинах промежутков от 1 до 140 мм и магнитной индукции от 0 до 10600 ес.



Фиг. 1

§ 1. Схема экспериментальной установки представлена на фиг. 1.

Разрядная камера 1 выполнена в виде стеклянной трубки с внутренним диаметром 55 мм, длиной 250 мм с вмонтированными в нее медными электродами Роговского диаметром 50 мм. Рабочая поверхность электродов полирована.

Электромагнит 11 обеспечивал в рабочем объеме (диаметр 200 мм, зазор 80 мм) магнитное поле напряженностью до 12000 э с неоднородностями менее 1% .

Блок источников высокого напряжения 17, 18, 19 (соответственно ВСВ-2, УПУ-1М и BS 222а) позволял плавно изменять напряжение на пробойном промежутке от 0 до 65000 вольт. Откачка разрядной камеры производилась двумя форвакуумными насосами 2, 3 и одним диффузионным 4 (соответственно РР-300, ВН-1 и ЦВЛ-100). Предельное разрежение, полученное в разрядном промежутке, составляло $8 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. Заметим, что на схеме 5 — вакуумный кран, 6 — натекатель, 7 — ресивер.

В качестве рабочего газа использовался атмосферный воздух.

Давление в разрядной камере измерялось в интервале от 0.7 до $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. термопарным вакуумметром 8 (ВТ-2А) в интервале $0.5 - 30$ мм рт. ст. компрессионным манометром 9 и в интервале от 10 до 740 мм рт. ст. — образцовым вакуумметром 10. Напряженность магнитного поля в рабочем объеме измерялась непосредственно перед каждым экспериментом при помощи измерителя (позиция 15 на фиг. 1) магнитной индукции ИМИ-3.

Предметом исследования являлось изучение зависимости величины пробойного напряжения от давления в рабочем промежутке (в интервале от 650 до $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.) и напряженности поперечного магнитного поля (от 0 до 10600 э) при различных длинах промежутка (от 1 до 140 мм).

Измерение величины пробойного напряжения осуществлялось двумя способами.

По первому способу ключом 20 (см. фиг. 1) к разрядному промежутку подключалась батарея конденсаторов C_1 , которая предварительно заряжалась от источника вы-

ского напряжения 17, 18, 19 через зарядное сопротивление R_1 . Если пробой не происходил (потенциал батареи $U < U_*$, где U_* — пробойное напряжение), то ключ 20 возвращал батарею конденсаторов C_1 в исходное положение, и производилась ее подзарядка до более высокого напряжения.

Регистрация возникновения пробоя осуществлялась как визуально (по свечению в промежутке), так и при помощи порогового датчика тока 16, который срабатывал только при $I_* \geq 10^3$ а, что позволяло отличать дуговой пробой от тлеющего разряда.

По второму способу напряжение на пробойный промежуток ключом 21 подавалось непосредственно от источника высокого напряжения через сопротивление R_2 . Батарея конденсаторов C_1 включалась при этом параллельно разрядному промежутку. Напряжение на промежутке плавно повышалось до возникновения пробоя, который регистрировался также по величине разрядного тока и падению напряжения на промежутке.



Фиг. 2

Типичные экспериментальные результаты представлены на фиг. 2—4. На фиг. 2 представлена зависимость пробойного напряжения при наличии перпендикулярного магнитного поля U_*^+ (снятая вторым способом) от давления в разрядном промежутке (длина зазора $d = 3$ см) для различных напряженностей магнитного поля H : (1) $H = 0$, (2) $H = 188$ э, (3) $H = 375$ э, (4) $H = 750$ э, (5) $H = 1500$ э, (6) $H = 3000$ э, (7) $H = 6000$ э. Пунктиром обозначено напряжение \bar{U}_*^0 , при котором происходит неустойчивый пробой.

На фиг. 3 показаны снятые двумя способами при постоянной напряженности магнитного поля $H =$

$= 3000$ э зависимости пробойного напряжения U_*^+ от давления при различных длинах промежутка: (1) $H = 0$, (2) $d = 15$ мм — второй способ (U_*^+ — обозначено пунктиром), (3) $d = 7.5$ мм — второй способ, (4) $d = 140$ мм — первый способ, (5) $d = 30$ мм — второй способ (U_*^+ — обозначено штрих-пунктиром), (6) $d = 15$ мм — второй способ, (7) $d = 30$ мм — первый способ, (8) $d = 1$ мм — первый способ, (9) $d = 2$ мм, $H = 3120$ э — по данным Мейера [12]. На фиг. 4 для сравнения даны зависимости \bar{U}_*^+ при $H = 6000$ э, $d = 30$ мм, полученные двумя способами: (1) первый способ (U_*^+ обозначено пунктиром), (2) второй способ, (3) $H = 0$.



Фиг. 3

§ 2. В результате проведенных исследований выяснено следующее.

1) Как видно из анализа фиг. 2, 3, пробойное напряжение U_*^+ для воздуха не является функцией двух параметров pd и Hd , как утверждает теория эквивалентного давления [2,3,10]. Напряжение U_{\min}^+ возрастает с увеличением H и d всегда больше, чем \bar{U}_{\min}^0 , и достигается при более высоких значениях pd , т. е. когда $pd_{\min}^+ > pd_{\min}^0$.

2) Существует область $pd > pd_*$ (H, d), где U_*^+ больше \bar{U}_*^0 и возрастает с увеличением H и d . При $pd < pd_*$ величина \bar{U}_*^+ становится

меньше \bar{U}_*^0 , причем пересечение U_*^+ с \bar{U}_*^0 с увеличением H и d происходит при все более низких значениях p (фиг. 2, 3).

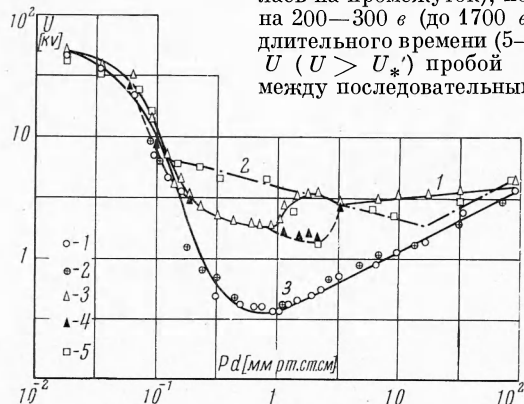
3) Существует $p'(H, d)$, ниже которого U_*^+ возрастает с уменьшением H и d . (см. фиг. 2, 3).

4) С возрастанием p величина \bar{U}_*^+ стремится сверху к U_*^0 , и тем быстрее, чем меньше H и d (см. фиг. 2, 3).

5) В диапазоне давлений $p \lesssim 0,7$ мм рт. ст. существует значительная разница в пробойном напряжении U_*^+ в зависимости от способа подачи его на промежуток (см. фиг. 3, 4). В случае подачи с батареи конденсаторов (первый способ) пробойное напряжение существенно выше. Разница может достигать 10—15 кВ (см. на фиг. 3: $d = 15$ мм, $H = 3000$ э, $10^{-2} \geq p \geq 5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.). С увеличением p и уменьшением d разница уменьшается и при $p \sim 0,5—1$ мм рт. ст. при всех H практически равна нулю.

6) Существует область давлений в интервале $0.3 \leq p \leq 3-5$ мм рт. ст. (заштрихована на фиг. 2), где при экспериментах по первому и второму способам отмечалось следующее явление.

При увеличении U с достижением хорошо воспроизводимого U_*' (обозначено пунктиром на фиг. 2) происходил пробой (батарея конденсаторов C_1 полностью разряжалась на промежуток), после чего, даже при увеличении U_*' на 200—300 в (до 1700 в), пробой не возобновлялся в течение длительного времени (5—10 мин). При дальнейшем увеличении U ($U > U_*'$) пробой возобновлялся чаще (однако время между последовательными пробоями оставалось много больше времени зарядки батареи C_1).



Фиг. 4

Затем, при достижении U_*' , происходил устойчивый пробой; $\Delta U = U_*^+ - U_*'$ возрастало с увеличением H и d и достигало максимума при $p \sim 0.5 - 0.6$ мм рт. ст. для всех H и d .

В области $2 \cdot 10^{-2} \leq p \leq 7 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. (не обозначено на фиг. 2, см. фиг. 4) наблюдалась аналогичная картина, однако здесь $\Delta U = U_*^+ - U_*'$ достигало 4—4.5 кВ.

Следует также отметить, что в областях давлений $p < 5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. и $p > 1$ мм рт. ст. наблюдалась хорошая стабильность.

При повторных пробоях без предварительной промывки промежутка атмосферным воздухом пробой происходил при том же напряжении (с точностью до ошибок эксперимента, т. е. 3—5%). При $H = 0$ повторный пробой без промывки всегда происходил при значительно более низких напряжениях.

Поступила 28 IX 1965

ЛИТЕРАТУРА

1. Wehrli M. Funkenpotentiale im transversalen Magnetfelde. Ann. Physik, 1922, В. 69, Н. 4.
2. Haefler R. Die Zündspannung von Gasentladungen unter dem Einfluß eines transversalen Magnetfeldes im Druckbereich von 10 bis 10^{-8} Torr. Acta Phys. Austriaca, 1953, В. 7, Н. 1.
3. Haydon S. C. The equivalent pressure concept for ionization in a transverse magnetic field. Proc. fifth Intern. Conf. on Ionization Phenomena in Gases, Munich 1961, Amsterdam, 1962, vol 1.
4. Blevin H. A., Haydon S. C. The interpretation of breakdown characteristics of electrodeless discharges in transverse magnetic fields. Proc. Phys. Soc., 1963, vol. 81, pt. 3.
5. Sen S. N., Ghosh A. K. Breakdown of an electrodeless discharge in crossed electric and magnetic fields. Proc. Phys. Soc., 1962, vol. 80, pt. 4.
6. Blevin H. A., Haydon S. C., The electrical breakdown of Gases in the presence of crossed electric and magnetic fields. Z. Physik, 1958, Bd. 151, Н. 3.
7. Haydon S. C., Robertson A. G. Pre-breakdown ionization in hydrogen at low pressures. Proc. Phys. Soc., 1961, vol. 78, pt. 1.
8. Somerville J. M. Sparking potentials in a transverse magnetic field. Proc. Phys. Soc., 1952, vol. 65, pt. 8.
9. Goswami S. N. Increase in breakdown potentials of a gas in magnetic fields and the concept of equivalent pressure. Indian J. Phys., 1959, vol. 33, No. 9.
10. Sen S. N., Ghosh A. K. Equivalent pressure concept in crossed electric and magnetic field in electrodeless discharge. Indian J. Phys., 1961, vol. 35, No. 2.
11. Schumann E. Elektrische Durchbruchfeldstärke in Gasen. Berlin, 1923.
12. Meyer E. Zur Deutung des Einflusses eines transversalen Magnetfeldes auf das Funkenpotential. Ann. Physik, 1922, В. 67, н. 1.
13. Meyer E. Der Einfluß eines transversalen Magnetfeldes auf das Funkenpotential in Luft. Ann. Physik, 1919, Bd. 58, Н. 4.
14. Bernstein M. Townsend ionization coefficient for hydrogen in a transverse strong magnetic field. Phys. Rev., 1962, vol. 127, No. 2.
15. Рейхрудель Э. М., Шеретов Э. П. О зажигании разряда в высоком вакууме в цилиндрическом магнетроне с холодным катодом. Радиотехника и электроника, 1964, т. 9, № 4.
16. Потсар, Черниговский. Гашение дугового разряда поперечным магнитным полем. Изв. Ленингр. электротехн. ин-та, 1959, вып. 39.