DOI: 10.17117/na.2015.11.03.268

Поступила (Received): 27.11.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.11.03.268.pdf>

Марьясов А.В.
Аналог эффекта Ганна в полупроводниковых и
эрозионных свечах систем зажигания
авиационных газотурбинных двигателей

Maryasov A.V.
Analog of the Gann's effect in semiconductor and erosion candles
of the systems of ignition of aviation gas turbine engines

Представлены результаты экспериментальных исследований работы систем зажигания со свечами поверхностного разряда, теоретические и практические выводы по результатам работ. Процессы, происходящие в таких системах зажигания, в действительности отличаются от описанных в теории

This article shows experimental research results of used surface discharge plugs ignition systems activity; also, the article shows theoretical and practical conclusions from these results. The article tells about real processes in such ignition systems differ from processes described in theory

Марьясов Александр Викторович

Бакалавр

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева

Красноярский край, г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31

Maryasov Alexander Victorovich

Bachelor

Siberian state aerospace university named M.F. Reshetnev

Krasnoyarsk, Krasnoyarskiy Rabochiy ave., 31

Данные исследования были предприняты с целью поиска путей повышения эффективности систем зажигания авиационных газотурбинных двигателей.

Как известно, в данных системах применяются свечи поверхностного разряда полупроводниковые и эрозионные [1, 2, 3]. Полупроводником является двуокись титана, частично восстановленная в водороде. В эрозионных свечах на поверхность изолятора между электродами нанесены частицы металла, изолятором является синоксаль, металлические частицы из титана. Межэлектродный промежуток 1 мм для эрозионной и 2 мм для полупроводниковой свечи [4]. Свечи питаются напряжением 3,5 – 5 кВ, а напряжение пробоя для таких промежутков составляет 15 – 20 кВ. В литературе [1, 2, 3] такое низкое пробивное напряжение объясняется тем, что в начале ток протекает в полупроводнике или металлизированном слое, разогревает его, испаряет и ионизирует межэлектродный промежуток, после чего вспыхивает дуга. Теория не объясняет перехода тока из поверхностного слоя в межэлектродное пространство, поскольку с

ростом температуры проводимость этого слоя растёт, так как с ростом температуры растёт подвижность носителей заряда. То есть электронам энергетически выгоднее двигаться в проводящем слое, чем пробивать воздушный зазор.

На рис. 1-3 приведены схемы экспериментального стенда

Совместно с индукционной катушкой КНО-II используется схема понижения частоты смыкания-размыкания контактов, собранная на тиристоре КУ-202Л и конденсаторе К50-16 на 200 мкФ (рис. 3).

Рис. 1. Схема исследования системы зажигания: 1 – агрегат зажигания; 2 – сопротивление 1,7 Ом; 3 – свеча зажигания; 4 – двухканальный осциллограф; 5 – фотодиод; 6 – сопротивление 5 кОм; 7 – выключатель

Для схемы использованы: входное сопротивление $R_1 = 10 \text{ кОм}$; ограничивающие напряжение сопротивления $R_2 = 5 \text{ кОм}$ и $R_3 = 5 \text{ кОм}$.

Рис. 2. Схема исследования напряжения на контактах в первичной цепи индукционной катушки: 1 – сердечник, 2 – первичная обмотка, 3 – вторичная обмотка, 4 – конденсатор, 5 – прерыватель, 6 – свеча

Рис. 3. Схема понижения частоты

Используемые приборы

В качестве основного измерительного прибора применен осциллограф С1-55. Для получения постоянного напряжения 10 В используется источник питания постоянного тока Б5-47. Для получения постоянного напряжения 30 В используется блок питания на 30 В.

При исследованиях в разрыв экрана проводки свечи вставлялся шунт, напряжение с которого подавалось на первый вход с осциллографа. На второй вход подавалось напряжение, пропорциональное току, проходящему через фотодиод, установленный напротив центрального электрода свечи. Таким образом, получили осциллограммы тока разряда и изменения яркости дуги (рис. 1).

Результаты экспериментов показали сильные различия действительности с теорией. В эксперименте ток возрастает ступенчато, в начале каждой ступеньки происходит вспышка (рис. 2), во время которой происходят высокочастотные колебания. При этом идёт непрерывное падение напряжения. Исходя из этих наблюдений можно сделать вывод, что межэлектродный проводящий слой в свече имеет падающий участок вольтамперной характеристики. При наличии такого участка в полупроводниках происходит образование домена – участка, в котором отсутствуют быстрые носители зарядов. Это явление соответствует эффекту Ганна в полупроводниках [5].

Рис. 4. Ток разряда (верхняя осциллограмма) и яркость дуги (нижняя осциллограмма)

Рис. 5. Ток разряда (нижняя осциллограмма) и яркость дуги (верхняя осциллограмма)

Механизм разряда в эрозионных свечах можно представить следующим образом. В начале слой, в который внедрены частицы металла, не проводит электрического тока. По мере роста напряжения начинается движение зарядов вследствие туннельного эффекта. Когда напряжение превысит критическое для эффекта Ганна, в слое образуется домен, к которому прикладывается почти всё напряжение. Размеры домена невелики (меньше 0,1 мм), и напряжения вполне хватает для пробоя воздушного промежутка над доменом. Поскольку напряжение на свечу подаётся через разрядник, в начале разряда оно намного больше критического, то есть разряд начинается с нижней точки падающего участка вольтамперной характеристики. Процесс повторяется несколько раз, каждый раз при более низком напряжении, до тех пор, пока напряжение не станет ниже критического. Затем разряд идёт в поверхностном слое без пробоя. В полупроводниковых свечах процесс происходит аналогично, только в самом начале происходит скачок тока без образования дуги, который убирает быстрые носители зарядов.

Зажигание топливовоздушной смеси происходит только во время горения дуги, которая составляет не более 5% от цикла разряда. Чем больше время разряда тем большая зона горения образуется, тем больше вероятность того что эта зона горения станет самоподдерживающейся. Связано это с тем, что потери тепла пропорциональны квадрату радиуса зоны, а количество тепла в ней пропорционально кубу радиуса. Радиус пропорционален времени горения дуги и скорости движения фронта горения. Большая по размерам зона содержит больше теплоты, теряет ее меньше, объем ее растет быстрее.

Выводы.

1. Для повышения эффективности необходимо увеличить время горения дуги. Для этого на свечу необходимо подать напряжение выше критического и поддерживать его всё время необходимое для зажигания топливовоздушной смеси.

2. Полупроводниковые свечи необходимо убрать как неэффективные, так как они используют значительную часть энергии разряда для нагрева полупроводника.

3. Явление названо аналогом эффекта Ганна, поскольку в металлизированном изоляторе нет второй зоны проводимости, а эффект Ганна, как известно, возникает в двухзонных полупроводниках [5].

Список используемых источников:

1. Решетов С.А., Кононов С.П., Максимов Н.В. и др. Электрооборудование воздушных судов. М.: Транспорт, 1991. 319 с.
2. Варшавский А.С., Николаев А.Д., Полонский Ш.Б., Яковлев В.М. Авиационный электропривод. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1962.
3. Алабин М.А., Кац Б.М., Литвинов Ю.А. Запуск авиационных газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1968. 228 с.
4. Скуридин А.А. Авиационные запальные свечи для поршневых и реактивных двигателей. М., 1958. 96 с.
5. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние. 1990. 352 с.

© 2015, Марьясов А.В.

Аналог эффекта Ганна в полупроводниковых и эрозионных свечах систем зажигания авиационных газотурбинных двигателей

© 2015, Maryasov A.V.

Analog of the Gann's effect in semiconductor and erosion candles of the systems of ignition of aviation gas turbine engines