

**ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В А-К ЗАЗОРЕ ДИОДА С МАГНИТНОЙ
САМОИЗОЛЯЦИЕЙ**

М.Е. Аширбаев

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.И. Пушкарев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 2а, 634050
E-mail: Muhit_2008@mail.ru

**MEASUREMENT OF MAGNETIC INDUCTION IN THE A-K DIODE'S GAP WITH MAGNETIC
SELF-INSULATION**

M.E.Ashirbayev

Scientific supervisor: Prof., Dr. A.I. Pushkarev
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 2a, 634050
E-mail: Muhit_2008@mail.ru

***Annotation.** This research presents the results of the magnetic field in the A-K gap ion diode with magnetic self-insulation. The studies were performed on the accelerator TEMP-4M, which consists of capacitive storage - voltage impulse generator, double forming line and a diode with magnetic self-insulation. We found there was a discrepancy with the results between the experimental values of the magnetic induction (calculated from sensor readings) and the the simulation program ELCUT may be due to the contribution of electromagnetic interference generated during operation of the ion diode with magnetic self-insulation of electrons.*

Взаимодействие мощных ионных пучков заряженных частиц с твёрдым телом активно исследуется на протяжении более трех десятилетий. Мощные наносекундные ионные пучки используются при обработке и синтезе материалов. Среди известных источников мощных ионных пучков выделяются диодные системы с магнитной изоляцией электронного потока. Исследование распределение индукции магнитного поля в ускоряющем промежутке ионного диода очень важно. В отличие от диода с внешней магнитной изоляцией, в ионном диоде с магнитной самоизоляцией сложно измерить величину магнитной индукции, так как магнитное поле формируется только при работе диода, при приложении напряжения более 200 кВ. Поэтому расчет распределения магнитной индукции в А-К зазоре выполняют по программе ELCUT [1]. Целью выполненных исследований является экспериментальное измерение магнитного поля в А-К зазоре ионного диода с магнитной самоизоляцией.

Исследования выполнены на ускорителе ТЕМП-4М [2], который состоит из емкостного накопителя - генератора импульсных напряжений, двойной формирующей линии и диода с магнитной самоизоляцией. Ускоритель формирует сдвоенные разнополярные импульсы – первый отрицательный (300 - 600 нс, 150 - 200 кВ) и второй положительный (120 нс, 250 -300 кВ). Измерение магнитного поля в А-К зазоре выполнено с помощью датчика, содержащего 10 витков провода диаметром 0.1 мм, диаметр витка 2.4 мм. Расчет индукции магнитного поля выполнен по соотношению [3]:

$$B(t) = \frac{1}{N \cdot S} \int_0^t U(t) dt \quad (1)$$

где U - напряжение с датчика, N - число витков, S – площадь поперечного сечения витка.

На рисунке 1 показана осциллограмма сигнала с датчика магнитного поля и результаты расчета магнитной индукции в А-К зазоре.

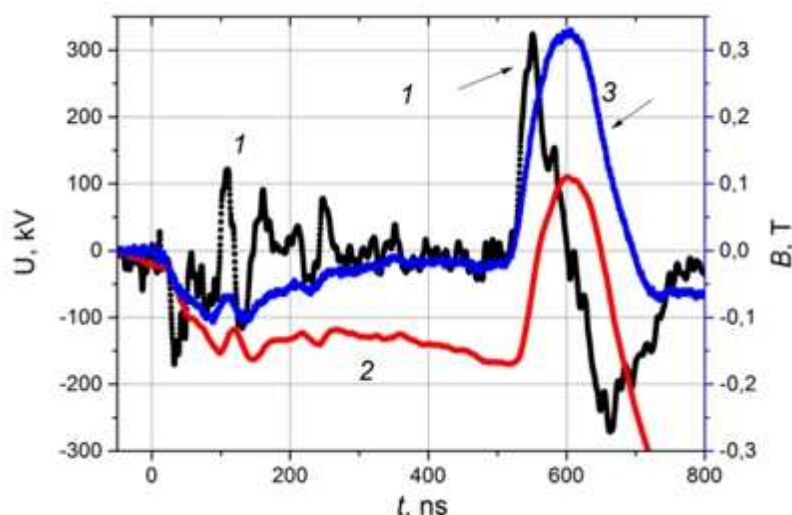


Рис. 1 Осциллограмма сигнала с датчика магнитного поля (1), расчет магнитной индукции в А-К зазоре по показаниям датчика (2) и по программе ELCUT (3)

Выполненные исследования показали значительное расхождение экспериментальных значений магнитной индукции (рассчитанных по показаниям датчика) с результатами моделирования по программе ELCUT. Это может быть связано с вкладом индуктивности датчика и нарушением его работы в режиме контура ударного возбуждения. На рисунке 2 представлена эквивалентная электрическая схема датчика.

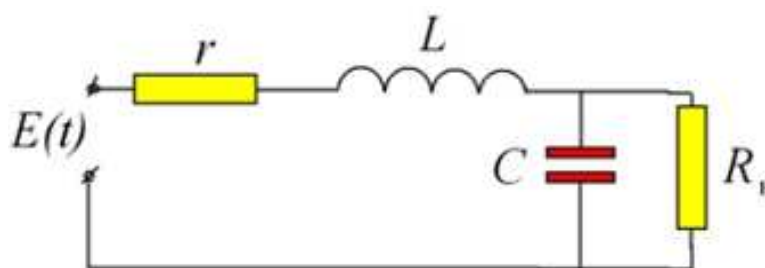


Рис. 2. Эквивалентная схема датчика магнитного поля: R_n - сопротивление нагрузки, r , L и C – сопротивление проводника, индуктивность и межвитковая емкость датчика соответственно

Согласно закону электромагнитной индукции, для катушки, находящейся в переменном магнитном поле, электродвижущая сила равна:

$$E(t) = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

где N — число витков, Φ — магнитный поток через один виток ($\Phi=BS$).

Тогда из второго уравнения Кирхгофа получим:

$$N \cdot S \frac{dB}{dt} = \frac{L}{R_n} \frac{dU_n}{dt} + U_n \quad \text{где } U_n = R_n \cdot I \quad (2)$$

При большой индуктивности датчика магнитного поля L первое слагаемое в правой части соотношения (2) будет давать значительный вклад и расчет магнитной индукции по уравнению (1) будет содержать значительную погрешность. Для оценки этой погрешности мы выполнили расчет изменения магнитной индукции по полному току в диоде по программе ELCUT (кривая 3 рис. 1), первого слагаемого в соотношении (2) и сравнение с результатами измерений. Для соленоида диаметром 2.4 мм с 10 витками $L = 143$ нГн [4]. Сопротивление нагрузки датчика магнитного поля равно волновому сопротивлению сигнального кабеля (50 Ом). Результаты расчетов показаны на рисунке 3.

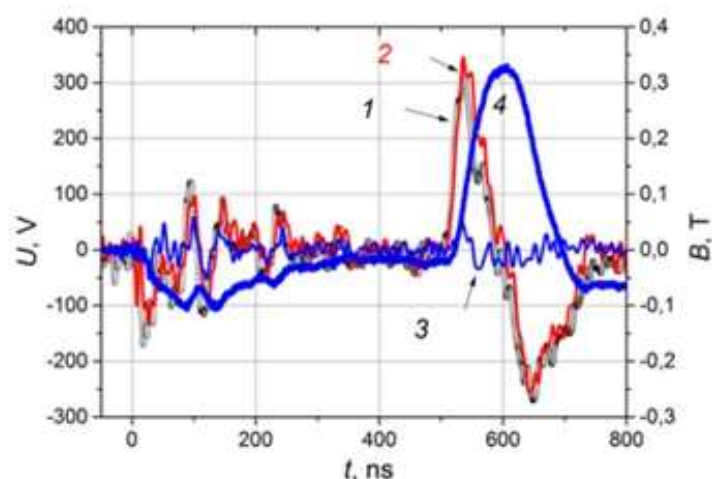


Рис. 3. Осциллограмма сигнала с датчика магнитного поля (1, точки), расчетное напряжение по соотношению 2 при $L = 0$ (кривая 2), первое слагаемое в правой части соотношения 2 (кривая 3). Кривая 4 - расчет магнитной индукции в А-К зазоре по программе ELCUT

Выполненные исследования показали, что в наших экспериментальных условиях датчик магнитного поля работает в режиме контура ударного возбуждения. Вклад индуктивности датчика в расчетные значения магнитной индукции незначителен. Расхождение экспериментальных значений магнитной индукции (рассчитанных по показаниям датчика) с результатами моделирования по программе ELCUT может быть обусловлено вкладом электромагнитных помех, формируемых при работе ионного диода с магнитной самоизоляции электронов.

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания Наука, проект № 2159.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пушкарев А.И., Исакова Ю.И., Сазонов Р.В., Холодная Г.Е. Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывоэмиссионным катодом. - М: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 240 с.
2. Pushkarev A.I., Isakova Yu.I. A gigawatt power pulsed ion beam generator for industrial application // Surface & Coatings Technology 228 (2013) S382–S384
3. Степанов А.В., Ремнев Г.Е. Влияние конфигурации магнитного поля ионного диода на параметры ионного пучка // Приборы и техника эксперимента, 2009, №4, с. 1-5.
4. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. - Л., Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1986. – 488 с.