

УДК 691.315.592

Б. К. КАЗБЕКОВА

СОЛЕНОИД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛЬНЫХ
ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Создана установка, позволяющая в небольшом рабочем объеме соленоид получать магнитное поле напряженностью до 700 кЭ для экспериментальных исследований кинетических эффектов в кремнии в классически сильных и квантовых магнитных полях.

Для экспериментальных исследований кинетических эффектов в кремнии в классически сильных и квантовых магнитных полях была создана установка, позволяющая получать в небольшом рабочем объеме соленоид магнитное поле напряженностью до 700 кЭ. Магнитное поле создается разрядом конденсаторной батареи емкостью 2400 микрофард, предварительно заряженной до необходимого напряжения на соленоид, выточенный из бериллиевой бронзы.

Батарея конденсаторов и соленоид образует колебательный контур с частотой

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}. \quad (1)$$

Записанная в конденсаторах энергия, которая почти полностью превращается в энергию магнитного поля, определяется формулой:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}LI^2 + W_{\text{потерь}} = \frac{1}{8\pi} \int H^2 dV + W_{\text{потерь}}. \quad (2)$$

Здесь C – емкость батареи конденсаторов, L – индуктивность контура, R – сопротивление, U – рабочее напряжение, V – объем соленоида, $W_{\text{потерь}}$ – мощность, выделяющаяся в катушке в виде тепла.

Для получения максимального поля необходимо, чтобы L и R имели возможно меньшую величину и, кроме того, выполнялось условие:

$$\frac{R}{2L} \ll \frac{1}{(LC)^{1/2}}.$$

Эти требования приводят к необходимости использования специальных конденсаторов, имеющих минимальную индуктивность, правильного выбора шин, подводящих ток, оптимальной геометрии катушки. Известно, что увеличение мощности источника приводит к увеличению магнитного поля. Однако основная трудность заключается не в возможностях увеличения мощ-

ности источников, а в механической прочности и температурном ограничении соленоида. Величина усилия и повышения температуры за время импульса в соленоидах в зависимости от тока, проходящего по контуру, могут быть выражены формулами:

$$P = \frac{H^2}{8\pi}, \quad \Delta T = \frac{RI^2 \tau_u}{2mC_v}, \quad (3)$$

где P – давление; H – напряженность магнитного поля, m – масса соленоида, C_v – теплоемкость, I – сила тока, проходящего через соленоид, τ_u – длительность импульса.

Как следует из этих формул, для получения сильных импульсных магнитных полей появляется необходимость жесткого требования к соленоидам, так как соленоид должен выдерживать огромные усилия пондеромоторных сил при разряде. При достижении магнитных полей в 600 кЭ в соленоиде возникает нагрузка порядка

$$P = \frac{H^2}{8\pi} 10^{-6} = \frac{36 \cdot 10^6}{8 \cdot 3,14} 10^{-6} = 14400 \frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$$

и

$$\Delta T = 80^\circ \text{C}.$$

Это значит, что соленоид, выточенный из бериллиевой бронзы марки ББ-2 имеющий предел прочности 14000 кг/см^2 , разрушается при таких полях. Однако соленоиды, подверженные закалке и старению при малой длительности поля – 150÷300 мкс., выдерживают поля 700–750 кЭ.

Максимальные механические напряжения, соответствующие максимуму напряженности поля, наблюдаются у внутренней поверхности соленоида. Неравномерное распределение тока в спирали делает недопустимым дефекты на поверхности полезного объема соленоида. Наибольшая плотность тока наблюдается у внутренней поверхности спирали, здесь и возникает



Рис. 1. Разрушенный соленоид

максимальные механические напряжения. Поэтому и трещины, видимые на витке разрушенного соленоида (рис. 1), начинаются у внутренней поверхности спирали и кончаются, не доходя до наружной.

В наших экспериментах использовались соленоиды с постоянным наружным диаметром 30 мм, а внутренние диаметры, предназначенные для создания разных по величине напряженности магнитных полей, колебались от 6 до 14 мм. Число витков в различных соленоидах варьировалось в пределах 27-50. Толщина одного витка равнялась 0,8-1,0 мм, а шаг имел в свободном состоянии 3-4 мм (рис. 2). Изолирующие прокладки между витками спирали соленоида вытачивались из высококачественной слюды (мусковита) толщиной 0,15-0,2 мм на токарном станке. Соленоид с маловитковой изоляцией из слюды (стекло текстолиты) запрессовался в цилиндрическую обойму из нержавеющей стали (имеющую разрез по образующей), внутри которой, в свою очередь, также запрессована изолирующая текстолитовая втулка, и затем зажимался между двумя массивными медными фланцами с помощью восьми латунных шпилек в осевом направлении. Шпильки изолированы от торцевых фланцев текстолитовыми втулками. Разрез катушки в собранном виде показан на рис. 3. Такая конструкция позволяла погружать соленоид в сосуд с жидким азотом и сохранить температуру последнего неизменной, ибо за время импульса катушка успевает нагреваться до 80°C, что недопустимо по условию эксперимента.

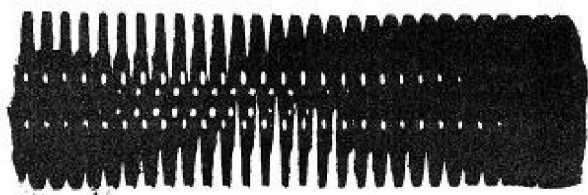


Рис. 2. Соленоид из бериллиевой бронзы

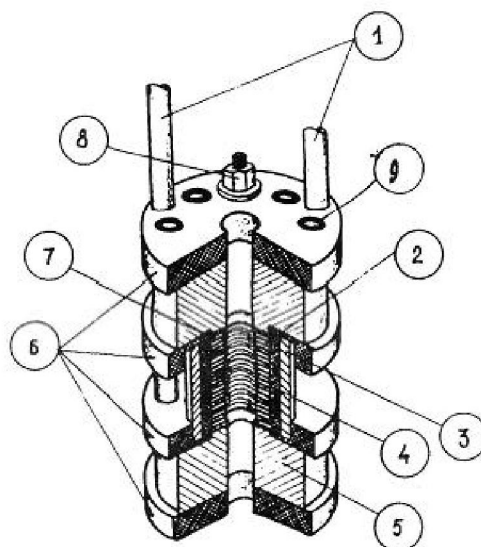


Рис. 3. Разрез катушки в собранном виде: 1 – электроды из меди; 2, 7 – межвитковая изоляция и соленоид; 3, 4 – оправка соленоида; 8 – латунные шпильки 8 мм; 9 – эбонитовая втулка

Нагрев катушки приводит к увеличению ее электросопротивления, вследствие чего ток через нее, а значит и генерируемые в ней магнитные поля, уменьшаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Факидов И.Г., Завадский Э.А. Получение сильных импульсных магнитных полей // ФММ. 1958. 6. 569.
2. Карасик В.Р. Физика и техника сильных магнитных полей. М., 1964.
3. Орагулыев Б. Кандидатская диссертация. Гальваномагнитные свойства кремния в сильных импульсных магнитных полях. 1966.
4. Паркинсон Д., Малхолл Б. Получение сильных магнитных полей. М.: Атомиздат, 1971.
5. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. Изд.-во «Мир», 1972.

Резюме

Классикалық күшті және квантталған магниттік кремнийдің кинетикалық эффектісін экспериментті зерттеулер жасау үшін және соленоидтің кіші жұмыстық көлемінде 700 кЭ дейін кернеулікте магниттік өріс тудыратын құрылғы жасақталды.

Summary

There is an installation which allows mining the solenoid of magnetic field intensity in small working volume of up to 700 magnetic-printing for the experimental researches of kinetic effects in silicon in classically strong and quantizing magnetic fields.

Актауский государственный университет им. Ш. Еенова

Поступила 2.10.07г.