

## ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕННЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В. А. КАСЬЯНОВ, А. Г. СЕДОЙ, М. М. ШТЕЙН

(Представлена научно-исследовательским институтом  
 ядерной физики, электроники и автоматики)

Запуск любого ускорителя связан с выполнением значительного объема магнитных измерений. Не является исключением в этом отношении и бетатрон.

Из всего многообразия методов магнитных измерений для исследования полей бетатронов наибольшее распространение получил индукционный метод, позволяющий исследовать поля в широком диапазоне индукций с высокой точностью, причем сама измерительная аппаратура при этом сравнительно проста. Поскольку магнитные материалы в

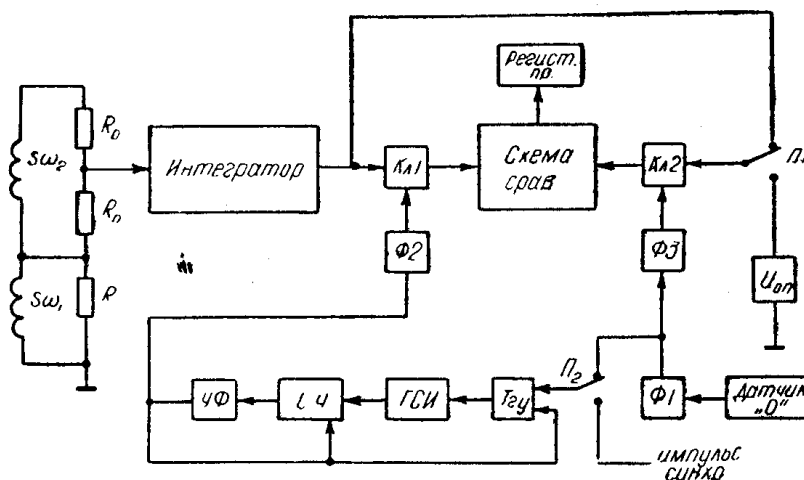


Рис. 1. Блок-схема аппаратуры для магнитных измерений

электромагнитах современных бетатронов загружены максимально и распределение поля в зазоре магнита ускорителя может меняться с ростом индукции, необходимо во многих случаях знать динамику поля в течение цикла ускорения.

Следует отметить, что почти всегда требуется знать лишь относительные характеристики управляющего поля бетатрона. В этом случае с успехом может быть применен нулевой способ измерений, при котором измеряемое поле компенсируется частью опорного.

Блок-схема аппаратуры для исследования переменных магнитных полей, разработанной авторами, приведена на рис. 1.

Рассмотрим работу аппаратуры при измерении относительной величины поля. Опорный датчик  $SW_2$  закреплен неподвижно в исследуемом поле, а измерительный датчик может перемещаться в поле. Разностный сигнал с датчиков подается на схему компенсации, состоящую из  $R_0$ ,  $R_n$ ,  $R$ , и далее на вход интегратора. Выходной сигнал интегратора поступает на схему сравнения, которая определяет соотношение между мгновенными значениями выходного напряжения интегратора в моменты времени, соответствующие нулю поля и уровню опорного поля, при котором проводятся измерения.

В качестве регистрирующего прибора используется встроенный стрелочный индикатор. Процесс измерения заключается в том, что с помощью изменения  $R_n$  добиваются нуля схемы сравнения. Зная  $R_n$  и  $R$ , легко определить отношение

$$\frac{B_{\text{оп}} \cdot SW_2}{B_{\text{изм}} \cdot SW_1}$$

в заданный момент времени.  $B_{\text{оп}}$  и  $B_{\text{изм}}$  — соответственно мгновенные значения индукции опорного и измеряемого полей,  $SW_2$  и  $SW_1$  — потокосцепления соответствующих катушек.

Необходимо заметить, что в подобных ранее известных приборах функцию сравнивающего устройства выполнял осциллограф, на экране которого воспроизводилась кривая выходного напряжения интегратора [1].

Предложенное авторами сравнивающее устройство позволяет свести до минимума влияние дрейфа интегратора на погрешность измерений и делает более удобной работу с приборами. Кроме того, такое схемное решение обеспечивает также измерение абсолютных значений поля. В этом случае датчиком служит калиброванная катушка, а на схему сравнения, наряду с выходным напряжением интегратора, подается регулируемое опорное напряжение  $U_{\text{оп}}$ . Процесс измерения заключается в том, что изменением  $U_{\text{оп}}$  добиваются нуля схемы сравнения. Естественно, что при этом существенное влияние на точность измерений оказывает дрейф нуля интегратора.

Для задания момента измерения в приборе имеется блок задержки, в состав которого входят десятичный суммирующий счетчик СЧ на 4 декады, генератор счетных импульсов ГСИ на частоту 1 мГц, триггер управления  $T_y$  и формирователи  $\Phi 1$ ,  $\Phi 2$ ,  $\Phi 3$ , УФ.

Блок задержки может работать в двух режимах:

1. Отсчет задержки идет от момента времени, соответствующего прохождению поля через нуль.

2. Отсчет задержки идет от момента прихода внешнего синхроимпульса.

Индикатором перехода поля через нуль («датчик 0») служит пиктрансформаторный датчик (пикер). В исходном положении  $T_y$  находится в нулевом состоянии, ГСИ не работает. При работе блока задержки в первом режиме импульсом пикера  $T_y$  переводится в состояние «1». Импульсы с ГСИ поступают на счетчик. При достижении требуемой задержки усилитель-формирователь УФ выдает импульс-отметку. Этим импульсом счетчик гасится.  $T_y$  перебрасывается в «0».

Во втором режиме блок работает аналогично, но перевод  $T_y$  в «1» осуществляется в момент прихода внешнего синхроимпульса. В приборе предусмотрена возможность использования в качестве устройства сравнения и регистрации осциллографа, для чего имеется смеситель, к одному из входов которого подсоединяется выход интегратора, а на два других поступают импульсы-метки от  $\Phi 3$  и  $\Phi 4$ .

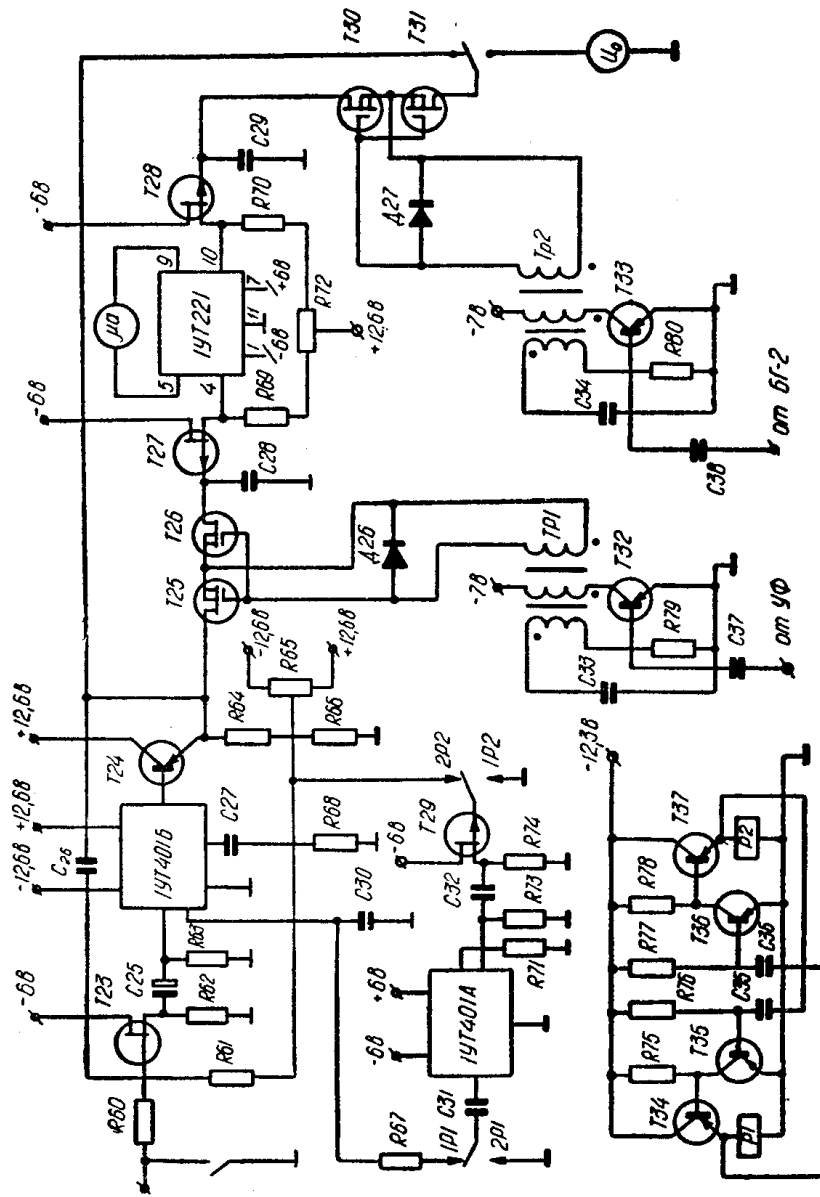


Рис. 2. Принципиальная схема интегратора и устройства сравнения

Прибор полностью выполнен на полупроводниковых приборах. Ключи Кл1 и Кл2 собраны на полевых транзисторах типа КП301Б и имеют сопротивление в разомкнутом состоянии не менее  $10^9$  ом, что позволило добиться весьма малого времени фиксации мгновенного значения выходного напряжения интегратора (1,5 мксек).

При проектировании прибора особенное внимание было обращено на разработку усилителя постоянного тока (УПТ) интегратора. Используя интегральные схемы, удалось создать сравнительно простой и надежный УПТ, схема которого приведена на рис. 2. УПТ состоит из основного усилителя, в качестве которого используется интегральный усилитель типа 1УТ401Б с коэффициентом усиления 2000 и схемы автоматической подстройки нуля, которая, в свою очередь, состоит из цепи суммирования входного и части выходного сигналов ( $R_{61}$ ,  $R_{64}$ ,  $R_{66}$ ) и канала М-ДМ. В канал М-ДМ входит усилитель переменного напряжения на интегральной схеме 1УТ401А с модулятором и демодулятором, выполненными на основе реле типа РЭС-49.

Частота переключения реле выбрана равной 20 гц. За счет синфазного включения модулятора и демодулятора и уменьшения времени включенного состояния реле удалось расширить полосу пропускания канала М-ДМ до 5 гц, причем при замкнутой цепи обратной связи пульсации на выходе интегратора не превышают 3 мв.

К выходу основного усилителя подсоединен эмиттерный повторитель для того, чтобы уменьшить влияние помех, возникающих при коммутации ключей схемы сравнения.

### Технические характеристики прибора

1. Диапазон измеряемых полей  $0,02 \div 2$  тл.
2. Ошибка измерения показателя радиального спада поля  $n$ , вносимая интегратором и устройством задержки,  $\leq 0,1\%$ .

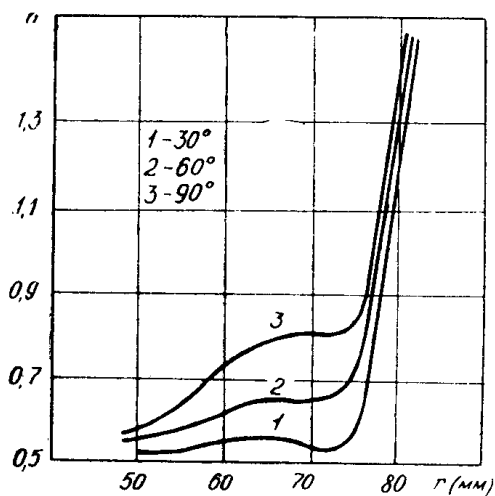


Рис. 3. 1 — фаза питающего напряжения  $\Phi = 18^\circ$ ; 2 —  $\Phi = 72^\circ$ ; 3 —  $\Phi = 90^\circ$

В качестве примера на рис. 3 приведена картина изменения  $n$  от фазы питающего напряжения для бетатрона ПМБ-6.

3. Точность измерения абсолютной величины индукции поля  $\leq 1\%$ .

4. Диапазон задержек  $0 \div \div 10\,000$  мксек.

5. Дискретность установки времени задержки — 1 мксек.

6. Вес  $\approx 8$  кг.

7. Габариты прибора  $480 \times 400 \times 230$  мм.

Прибор изготовлен в НИИЯФ ЭА при ТПИ и успешно применяется для магнитных измерений в бетатронах. С его помощью, в частности, была промерена динамика поля в бетатроне с импульсным питанием на 6 мэв, а также выяснена причина «самосброса» электронов в серийном бетатроне ПМБ-6. В качестве примера на рис. 3 приведена картина изменения  $n$  от фазы питающего напряжения для бетатрона ПМБ-6.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Алексеев, Л. В. Ваулин и др. Методы и аппаратура для измерений магнитного поля ереванского синхротрона. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. М., Атомиздат, 1970.