

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ В УСКОРЯЮЩИХ РЕЗОНАТОРАХ ЕРЕВАНСКОГО СИНХРОТРОНА

А. З. БАБАЯН, А. Р. ТУМАНЯН

Описано стробирующее устройство, позволяющее одновременно измерять осциллографом уровень высокочастотного напряжения во всех ускоряющих резонаторах, а также облегчающее процесс настройки резонаторов и их оптимального согласования.

Контроль за состоянием ускоряющего поля Ереванского электронного синхротрона [1] осуществляется оператором измерением ВЧ напряжения с измерительной петли каждого резонатора осциллографом.

Нестабильность уровня ВЧ напряжения в резонаторах в основном связана с трудно контролируемым эффектом мультипакции, возникновение которого обусловлено ухудшением вакуума, температурными колебаниями, уходами настройки и т. д. Поэтому возможность оперативного контроля за изменением уровня ВЧ напряжения в резонаторах в процессе эксплуатации синхротрона приобретает существенное значение. Кроме того, при взаимосвязанной системе питания большого количества резонаторов, для оптимального перераспределения ВЧ мощности по резонаторам необходимо обеспечить возможность одновременного измерения уровня напряжения в резонаторах.

Описываемое устройство позволяет контролировать величину напряжения одновременно во всех резонаторах, что облегчает как процесс настройки самих резонаторов, так и проведение работ по согласованию резонаторов с системой распределения высокочастотной мощности.

Продетектированный сигнал с измерительной петли резонатора представляет собой модуляционную кривую ускоряющего напряжения (рис. 1). Стробировав модуляционную кривую каждого резонатора в различные моменты времени, получим серию импульсов, амплитуда каждого из которых пропорциональна значению ВЧ напряжения соответствующего резонатора в выбранный момент времени. Подав эти импульсы на вход осциллографа, запущенного от первого импульса, на экране получим картину распределения ВЧ напряжения в резонаторах (рис. 2).

Блок-схема устройства показана на рис. 3. Запускающий импульс ЗИ, вырабатываемый в системе синхронизации ускорителя, задерживается посредством блока задержки на регулируемое время  $T_{\text{зд.}}$  (рис. 1) относительно момента инжекции и подается на первый формирователь (Ф-1), который вырабатывает импульсы отрицательной по-

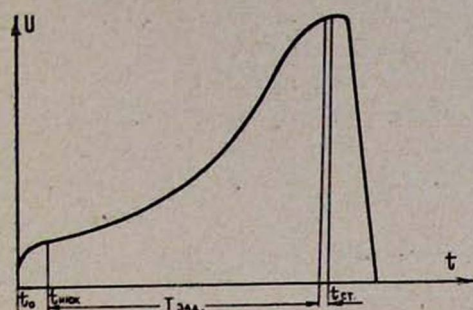


Рис. 1. Огибающая ускоряющего напряжения в резонаторах.

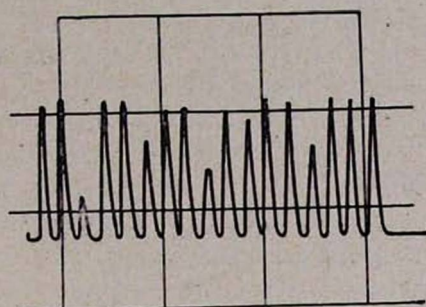


Рис. 2. Распределение стробированных импульсов.

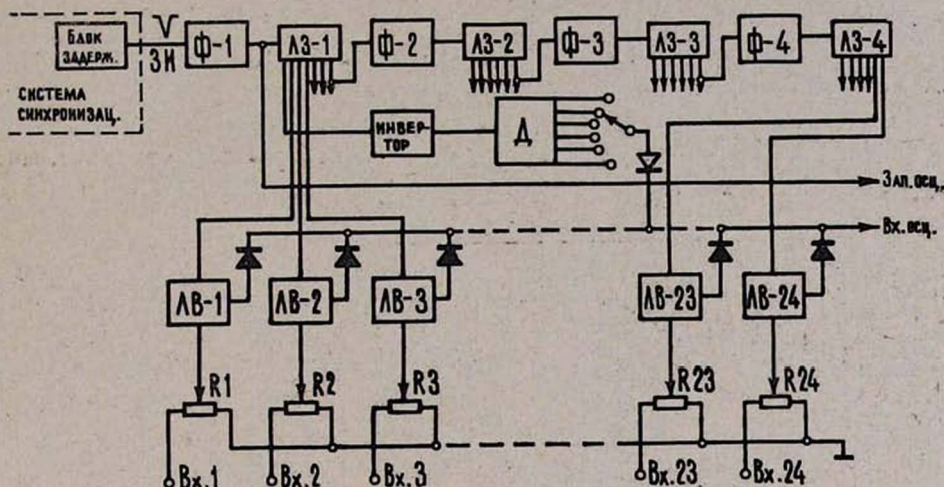


Рис. 3. Блок-схема устройства.

лярности длительностью 0,8 мксек. С формирователя сигнал подается на первую секцию линии задержек типа ЛЗТ-4,0—1200 и задержанные импульсы с интервалом в 2 мксек подаются на отпирание соответствующих линейных ворот ЛВ-1 + ЛВ-6. Последний импульс первой секции линий задержек, задержанный относительно первого импульса на 12 мксек, подается посредством формирователя (Ф-2) на вторую секцию линии задержек ЛЗ-2 для отпирания следующих шести линейных ворот и т. д. Для первоначального выравнивания амплитуд сигналов с настроенных резонаторов в момент горизонтального хода модуляционной кривой, эти сигналы подаются на вход линейных ворот через потенциометры  $R_1 \div R_{24}$ .

Относительный разброс амплитуд сигналов с резонаторов на 5—10% при всех режимах работы ускорителя считается приемлемым. Исходя из этого, нелинейность преобразования сигналов описываемого устройства была принята не более 3,0%. При амплитуде модуляционной кривой 5—25 в максимальная крутизна кривой не превышает

6 мв/мксек. При просмотре стробированных импульсов всех 24 резонаторов за время 48 мксек на участке максимальной крутизны модуляционной кривой, отличие амплитуды импульса последнего резонатора по отношению к первому за счет крутизны кривой не более  $\pm 1\%$ .

Для облегчения установки дежурным персоналом максимального уровня ВЧ напряжения в резонаторах при различных стандартных режимах работы ускорителя, первый импульс с выхода ЛЗ-1 в качестве эталона требуемой амплитуды сигналов подается на осциллограф через делитель напряжения. Коэффициенты деления делителя проградуированы в конечных энергиях ускорения частиц и выбраны на основании экспериментальных усредненных значений требуемых ВЧ напряжений в резонаторах для получения различных стандартных режимов ускорения частиц. Стабильность амплитуды эталонного импульса не хуже  $\pm 1\%$ .

Принципиальная схема устройства показана на рис. 4. Каждый из четырех формирователей представляет собой эмиттерный повторитель и блокинг-генератор, собранные на транзисторах типа П416Б. В качестве импульсного трансформатора используется стандартный трансформатор МИТ-7.

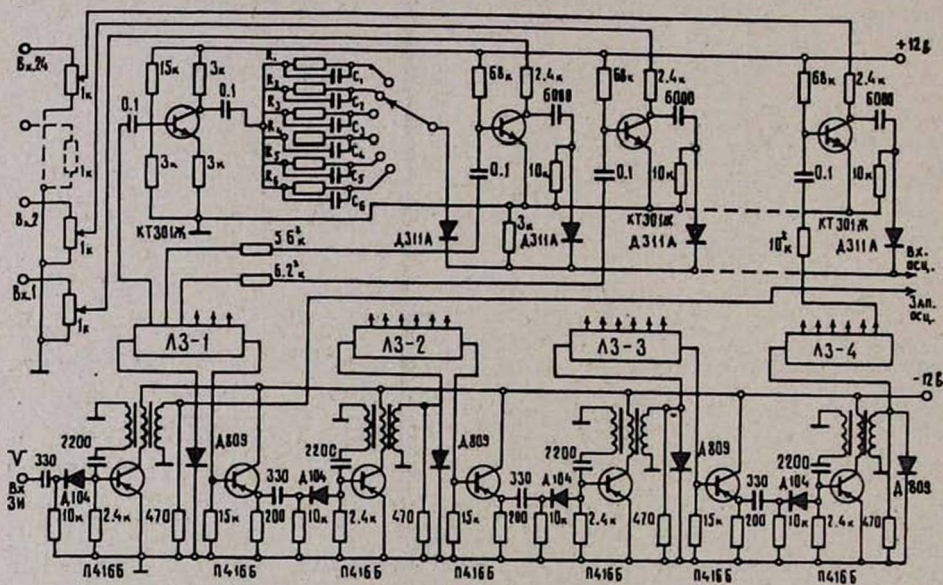


Рис. 4. Принципиальная схема устройства.

Линейные ворота ЛВ-1 ÷ ЛВ-24 работают по принципу насыщенного транзисторного ключа с общим эмиттером [2]. Условие насыщения транзистора  $\beta i_b > \frac{E_k}{R_k}$  легко выполняется наложением ограничения на  $E_k \leq 25$  в и соответствующим выбором значений  $R_k$  и  $R_b$  для транзистора КТ 301Ж. При подаче отрицательного импульса с амплиту-

дой более 1,6 в с линии задержки на базу транзистора ворота запираются и напряжение на коллекторе скачком возрастает до  $U_k = E_k$ . Для обеспечения запирающего импульса на уровне напряжения срабатывания ворот длительности менее 1,2 мксек значения сопротивлений  $R^*$ , последовательно включенных в цепь управления линейных ворот, подбираются при наладке. Необходимо также отметить, что значение сопротивления  $R_k$  в цепи коллектора линейных ворот выбирается также из условия уменьшения возможности затягивания фронтов стробированного импульса.

Устройство питается от источника напряжения, стабилизированного с точностью  $\pm 0,1\%$ . Были проведены экспериментальные исследования стабильности показаний устройства.

При этом на все 24 входа устройства подавалось постоянное напряжение, стабилизированное с точностью  $\pm 0,05\%$ . Амплитуды стробированных импульсов измерялись после предварительного шестичасового прогрева устройства через каждый час в течение суток. Изменение окружающей температуры находилось в пределах  $17-22^\circ\text{C}$ . По результатам всех измерений выходного напряжения определены средние значения

$$U(t_i) = \frac{\sum_{k=1}^{24} U_k(t_i)}{24}, \quad \bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^{24} \bar{U}(t_i)}{24}$$

и для каждого часа измерения определена относительная погрешность

$$\delta = \frac{\bar{U}(t_i) - \bar{U}}{\bar{U}},$$

где  $U_k(t_i)$  — амплитуда стробированного импульса  $k$ -го резонатора в  $i$ -ый час измерений. На рис. 5 показана зависимость  $\delta = f(t)$ , кри-

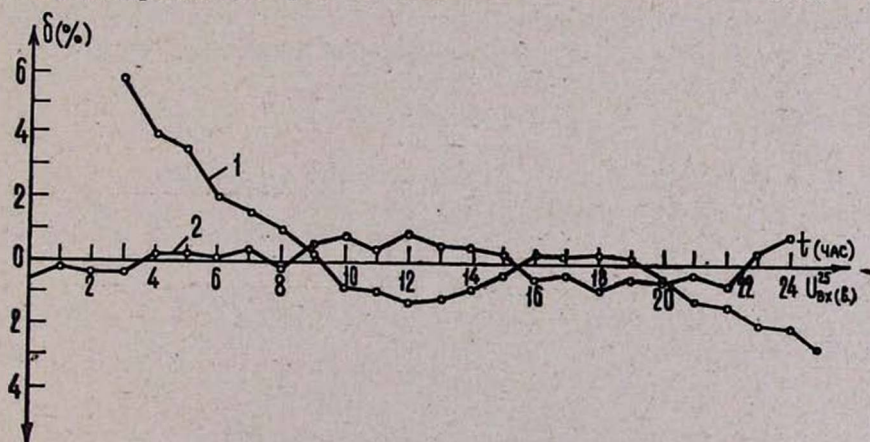


Рис. 5. Графики погрешности работы устройства.

вая — 2. Из рисунка видно, что стабильность показаний устройства не хуже  $\pm 1\%$ .

Была исследована также нелинейность коэффициента передачи устройства. Для этого на входы устройства подавалось регулируемое в пределах 0–25 в постоянное стабилизированное напряжение. По результатам измерений амплитуд стробированных импульсов определено значение нелинейной добавки к усредненной аппроксимирующей прямой

$$U_{\text{вых}i} = kU_{\text{вх}i} + a, \text{ т. е. } \delta_u = \frac{(kU_{\text{вх}i} + a) - \overline{U_{\text{вых}i}}}{\overline{U_{\text{вых}i}}}, \text{ где } U_{\text{вх}i} - i\text{-ое значение}$$

входного напряжения, усредненное по всем резонаторам. На рис. 5 построена зависимость  $\delta_u = f(U_{\text{вх}})$  — кривая 1. Из рисунка видно, что в интервале изменения входного напряжения 5–25 в нелинейная добавка  $\delta_u$  не превышает  $\pm 3\%$ .

Эксплуатация описанного устройства на Ереванском электронном синхротроне заметно повысила эффективность работы ускорителя благодаря сокращению и облегчению процесса настройки ВЧ системы и оптимизации загрузки резонаторов по мощности, что привело к увеличению суммарного ускоряющего напряжения на орбите пучка примерно на 20%. Заметного влияния одного резонатора на другой не обнаружено.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность А. И. Барышеву за оказанную помощь в работе.

Ереванский физический институт

Поступила 6.IV.1972.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. И. Барышев, Э. А. Дудковский и др., Аппаратура системы высокочастотного питания ускоряющих резонаторов Ереванского синхротрона. Труды совещания по ускорителям, М., 1968, 11, 115–117.
2. Н. Г. Степаненко, Основы теории транзисторов и транзисторных схем, Энергия, М., 1967.

ՍՍՐԲ, ԵՐԵՎԱՆՅԱՆ ՄԻՆԷՐՈՏՐՈՆԻ ԱՐԱԳԱՅՆՈՂ ՌԵԶՈՆԱՏՈՐՆԵՐՈՒՄ  
ԼԱՐՄԱՆ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ՄԻՋԱՄԱՆԱԿՑԱ ՍՏՈՒԳՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա. Չ. ԲԱԲԱՅԱՆ, Ա. Ռ. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ

Նկարագրված է հատող սարք, որը թույլ է տալիս օսցիլոգրաֆի օգնությամբ միաժամանակ չափել բարձր հաճախականությամբ լարման մակարդակները բոլոր արագացնող ռեզոնատորների վրա, ինչպես նաև հեշտացնում է ռեզոնատորների կարգավորումը և նրանց լավագույն համաձայնեցումը:

#### A DEVICE FOR SIMULTANEOUS CONTROL OF VOLTAGE LEVEL IN THE ACCELERATING CAVITIES AT THE YEREVAN SYNCHROTRON

A. Z. BABAYAN, A. R. TUMANIAN

A strobe device has been described allowing simultaneous measurement on an oscillograph the level of high-frequency voltage in all accelerating cavities that helps to control easily the cavities and their optimal correspondence.