

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Энс. Чит. зала

2459



Л.В.Васильев, Ю.Н.Денисов, С.А.Ивашкевич,  
А.Г.Комиссаров, В.М.Лачинов, В.И.Прилипко,  
Ю.И.Сусов, П.Т.Шишлянников

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПЛАВНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ  
СТАБИЛИЗИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОЛЯ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

Л.В.Васильев, Ю.Н.Денисов, С.А.Ивашкевич,  
А.Г.Комиссаров, В.М.Лачинов, В.И.Прилишко,  
Ю.И.Сусов, П.Т.Шишлянников

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПЛАВНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ  
СТАБИЛИЗИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОЛЯ**

Направлено в ПТЭ

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Для стабилизации магнитного поля с точностью  $10^{-3}$  % успешно используются стабилизаторы, основанные на явлениях ядерного магнитного резонанса (я.м.р.)<sup>/1,2/</sup>.

Точность стабилизации магнитного поля ядерными стабилизаторами определяется, в основном, стабильностью частоты поперечного высокочастотного магнитного поля, создаваемого в объеме ампулы с "рабочим веществом". Сигнал я.м.р. в ядерных стабилизаторах детектируется или при помощи автодиода с мягким режимом возбуждения, или различными модификациями мостового метода и метода ядерной индукции. Для стабилизации магнитного поля в широком диапазоне значений наиболее удобными являются автодинные детекторы я.м.р., поскольку при изменении величины стабилизируемого поля в датчиках этого типа необходимо регулировать только один параметр схемы - собственную частоту резонансного контура автогенератора. Форма сигнала остается неизменной независимо от генерируемой частоты. В мостовом и индукционном методах перестройка датчика существенно сложнее, так как в этом случае обычно еще необходимо устранить дисперсионную компоненту сигнала я.м.р. Существенным недостатком автодинных детекторов я.м.р. является недостаточная стабильность частоты генерируемого высокочастотного напряжения. Параметрическая стабилизация частоты автодиода обычно не позволяет достичь стабильности лучшей, чем  $10^{-2}$ % за час, но для многих применений такая стабильность недостаточна. Разработанная в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ автоматическая электронно-счетная система установки и стабилизации частоты высокочастотных генераторов<sup>/3/</sup> и быстродействующая (на туннельных диодах и транзисторах) пересчетная декада<sup>/4,5/</sup> позволяют преодолеть противоречивые требования, предъявляемые к стабильности частоты и диапазонам автодинных детекторов я.м.р. в интервале частот, соответствующем обычно используемому в экспериментальной ядерной физике и ускорительной технике магнитным полям от  $5 \cdot 10^{-2}$  до 2,5 тл.

Аналогичные приборы, описанные ранее в работах<sup>/6,7/</sup>, сложны и недостаточно широкодиапазонны.

Блок-схема разработанного стабилизатора магнитного поля показана на рис. 1.

Сигнал я.м.р. детектируется автодинным детектором, частота которого задается и поддерживается неизменной с высокой точностью системой установки и стабилизации

частоты <sup>/8/</sup>. Для обеспечения надежной работы системы стабилизации частоты и поддержания сигнала я.м.р., близкого к максимальному, уровень высокочастотного напряжения на контуре автодина стабилизируется во всем диапазоне рабочих частот. Продетектированный сигнал я.м.р. поступает одновременно на входы контрольного осциллографа и узкополосного фазочувствительного усилителя. Сигнал ошибки, пропорциональный отклонению напряженности магнитного поля от заданной величины, преобразованный фазовым детектором, подается в тракт предварительного усилителя постоянного тока, а затем - на регулирующий блок, нагрузкой которого является корректирующая обмотка стабилизируемого электромагнита. Предварительная установка стабилизируемого значения магнитного поля осуществляется вручную изменением тока в основных обмотках электромагнита. Необходимая величина тока определяется по появлению сигнала я.м.р. на экране контрольного осциллографа.

Принципиальная схема автодинного детектора я.м.р. вместе со схемой стабилизации уровня генерации показана на рис. 2. Весь необходимый диапазон частот от 2 до 100 Мгц перекрывается шестью поддиапазонами, переключение которых производится заменой легко съемных катушек индуктивности  $L_K$  колебательного контура автодина. Катушки намотаны непосредственно на стеклянные запаянные ампулы с "рабочим веществом" - водой, в которую добавлено небольшое количество парамагнитных ионов трехвалентного железа ( $Fe(NO_3)_3$ ). Одновременно с заменой катушки  $L_K$  меняется и сопротивление в катоде генераторной лампы  $R_K$ , что позволяет иметь в каждом поддиапазоне мягкий режим возбуждения автодина. Эти сопротивления или устанавливаются в съемной головке датчика, или переключаются многопозиционным переключателем, находящимся собственно в датчике. Следует отметить, что режим возбуждения оказывается достаточно близким к оптимальному во всем рабочем диапазоне частот всего при четырех (а не шести) величинах сопротивления  $R_K$ . Параметры катушек  $L_K$  и оптимальные значения  $R_K$  для каждого поддиапазона приведены в таблице 1.

Стабилизация амплитуды генерируемого высокочастотного напряжения производится изменением напряжения анодного питания генераторной лампы. Высокочастотный сигнал с катода этой лампы через развязывающий эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе с граничной частотой  $f_T = 400$  Мгц, поступает на детектор (диоды Д18). Постоянное напряжение с выхода детектора, пропорциональное амплитуде высокочастотного напряжения на контуре автодина, усиливается УПТ на лампе 6Ж5Б и поступает на сетку регулирующей лампы 6Н16Б, включенной последовательно с генераторной лампой.

Т а б л и ц а 1

№ поддиапазона	Частота автодина Мгц	Диапазон магнитн. полей $10^{-4}$ тл	$R_1$ ком	Параметры катушки $L_K$				
				$\phi$ ампулы мм	Число витков катушки	$\phi$ про-вода мм	Тип про-вода	Длина намотки мм
1	2,05 - 4,05	475 - 950	13	7,5	160	0,05	ПЭЛ	12
2	3,9 - 7,5	915 - 1760	13	6,5	90	0,1	ПЭЛ	11
3	6,8 - 14	1550 - 3280	5,1	5	60	0,1	ПЭЛ	9
4	12 - 25	2820 - 5860	3	3	42	0,14	ПЭЛ	7,5
5	23 - 50	5400 - 11750	3	3	14	0,2	ПЭЛ	2,5
6	48 - 116	10800 - 27200	1	1,5	6	0,2	ПЭЛ	1,5

Номинальное значение амплитуды высокочастотного напряжения задается изменением катодного смещения лампы 6Ж5Б при помощи потенциометра  $R_1$ . Уровень генерации автодина контролируется по показаниям микроамперметра типа М592, установленного в блоке питания датчика.

Контрольный осциллограф, принципиальная схема которого приведена на рис. 3, аналогичен описанному в работе <sup>/8/</sup>.

Во время предварительной (ручной) установки необходимой величины тока магнитного поля и контроля режима работы автодинного детектора я.м.р. магнитное поле в объеме ампулы с "рабочим веществом" модулируется с частотой 50 гц. В режиме стабилизации для повышения быстродействия системы регулирования модуляция магнитного поля осуществляется с частотой  $\approx 2,5$  кгц. На рис. 4 показана принципиальная схема низкочастотного генератора опорной частоты 2,5 кгц, фазочувствительного усилителя, включающего в себя узкополосный усилитель и фазовый детектор, и предварительного усилителя постоянного тока. Максимальный коэффициент усиления резонансного усилителя составляет  $\approx 70$ , а полоса пропускания  $\approx 200$  гц.

Коэффициент преобразования фазового детектора равен  $\approx 20$ .

Оба каскада предварительного УПТ построены по параллельно-балансной схеме с общим эмиттером. Корректирующие RC-цепочки на входе УПТ и между каскадами обеспечивают устойчивость системы регулирования. Параметры этих цепочек рассчитываются или подбираются для каждой конкретной системы стабилизации в зависимости от характеристик используемых корректирующих катушек.

Общий коэффициент усиления УПТ (с учетом деления сигнала корректирующими цепочками) составляет 50. Максимальная величина управляющего напряжения, развиваемого на выходе УПТ, достигает  $\pm 30$  в.

Принципиальная схема регулирующего блока-мощного усилителя постоянного тока показана на рис. 5. Усилитель обеспечивает получение тока в корректирующей обмотке  $I_k$  до  $\pm 3a$ . Блок питается регулируемым нестабилизированным выпрямителем. Номинальные значения напряжения и тока на выходе выпрямителя (при  $I_k = 0$ ) составляют соответственно 30 в и 0,5 а.

В регулирующем блоке предусмотрена защита оконечных каскадов от перегрузки, возникающей при резком изменении величины магнитного поля стабилизируемого электромагнита. С этой целью последовательно с корректирующей обмоткой магнита включена катушка максимального реле  $P_1$ , настроенного на срабатывание при токе  $I_k$ , превышающем  $\pm 3,5$  а. Если ток коррекции превысит эту величину, то максимальное реле своими замыкающими контактами включит промежуточное реле  $P_1$  (типа МКУ-48). При включении этого реле одна пара его контактов разомкнет цепь питания силового исполнительного реле  $P_2$ , вторая обеспечит блокировку контактов реле  $P_1$  ("самоподхват"), а третья включит сигнальную лампочку на передней панели прибора. Для того, чтобы вернуть схему в исходное состояние (после ликвидации причины превышения максимально допустимого значения тока коррекции), необходимо нажать кнопку  $K$ .

В описываемом приборе величина магнитного поля, которую необходимо заставить, набирается декадным шестизрядным переключателем непосредственно в единицах измерения поля - эрстедах. Минимальная величина "шага" перестройки в диапазоне полей 500-2500 э равна 0,01 э, а для полей 2500-23500 э - 0,1 э. Точность стабилизации частоты автодинного детектора я.м.р. не менее  $\pm 1 \cdot 10^{-3}\%$  для любого установленного значения поля. Коэффициент стабилизации системы в зависимости от величины магнитного поля колеблется в диапазоне от 100 до 400. Ток в основных обмотках электромагнита необходимо стабилизировать с точностью 0,05-0,1%.

Разработанный тип ядерного стабилизатора может быть широко использован для стабилизации магнитных полей поворачивающих и сепарирующих магнитов, работающих совместно с ускорителями; электромагнитов циклотронов; поляризующих магнитов; магнитов, используемых при проверке и калибровке различных датчиков магнитного поля и т.д.

## Л и т е р а т у р а

1. А. Лёше. Ядерная индукция. ИЛ 1963.
2. Л.В. Васильев, Ю.Н. Денисов, Преприят ОИЯИ № 1463, Дубна 1963.
3. А.Г. Комиссаров, В.И. Прилико и др. Преприят ОИЯИ № 2204, Дубна 1965.
4. Ю.Н. Денисов, В.М. Лачинов, В.И. Прилико. ПТЭ, № 4, 83 (1965).
5. П.И. Гавриц, Ю.Н. Денисов, А.Г. Комиссаров и др. ПТЭ, № 2, 94 (1965).
6. Г.П. Мельников, В.И. Щербатых. Труды пятой научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике. Том 1, стр. 207, Госатомиздат 1962.
7. C.A. Vincent, D. Kaine, W.G. King. Nucl. Instr. and Methods, 16, 163 (1962).
8. Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич. Выпуск издательства ГОСИНТИ № 17-63-438/2, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 ноября 1965 г.

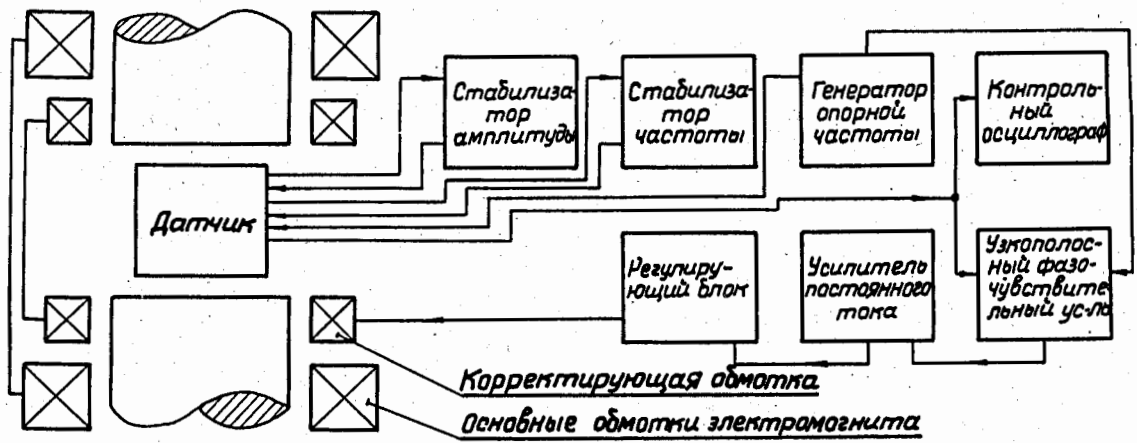


Рис. 1. Блок-схема ядерного стабилизатора магнитного поля.

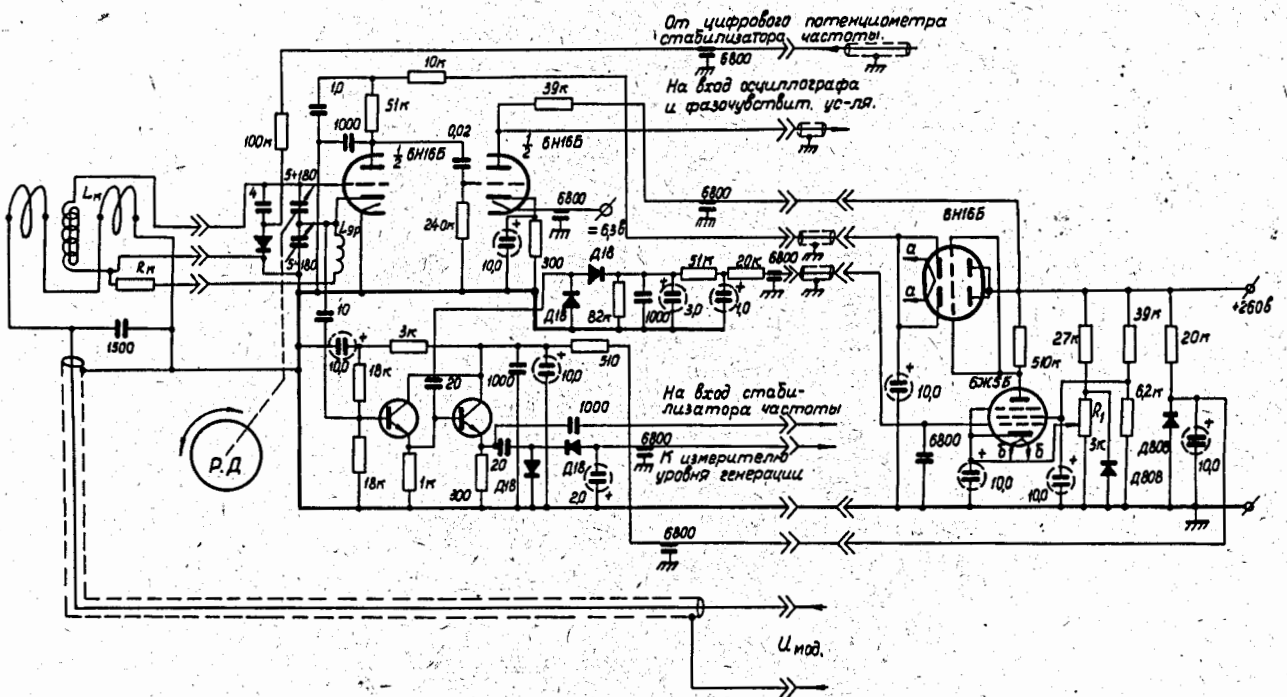


Рис. 2. Принципиальная схема автодинного детектора со схемой стабилизации уровня генерации.

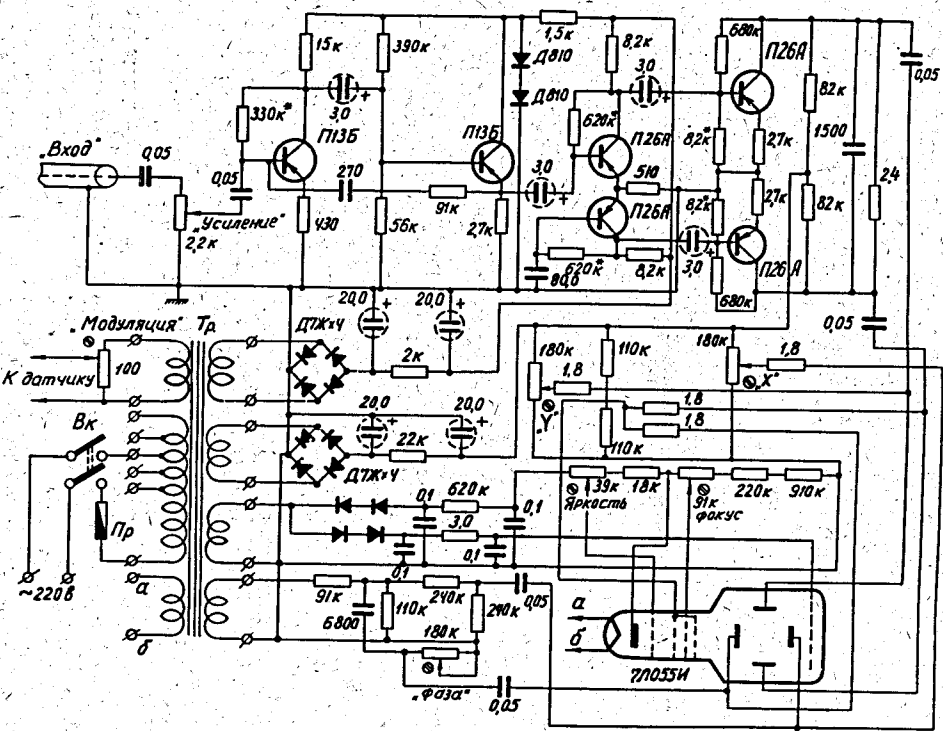


Рис. 3. Контрольный осциллограф.

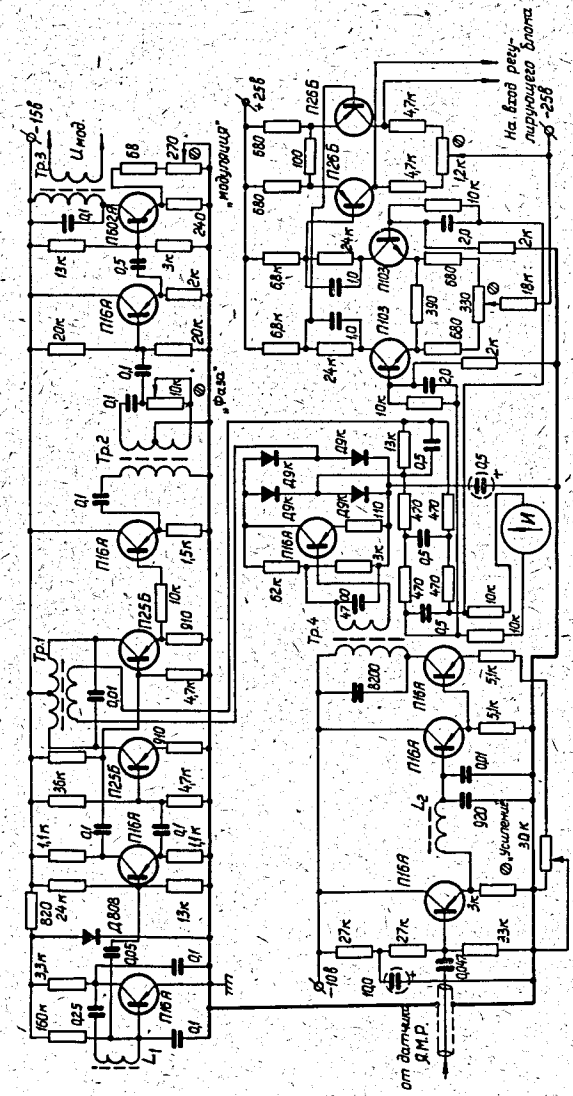


Рис. 4. Принципиальная схема генератора опорной частоты, фазочувствительного усилителя и предварительного УИТ.

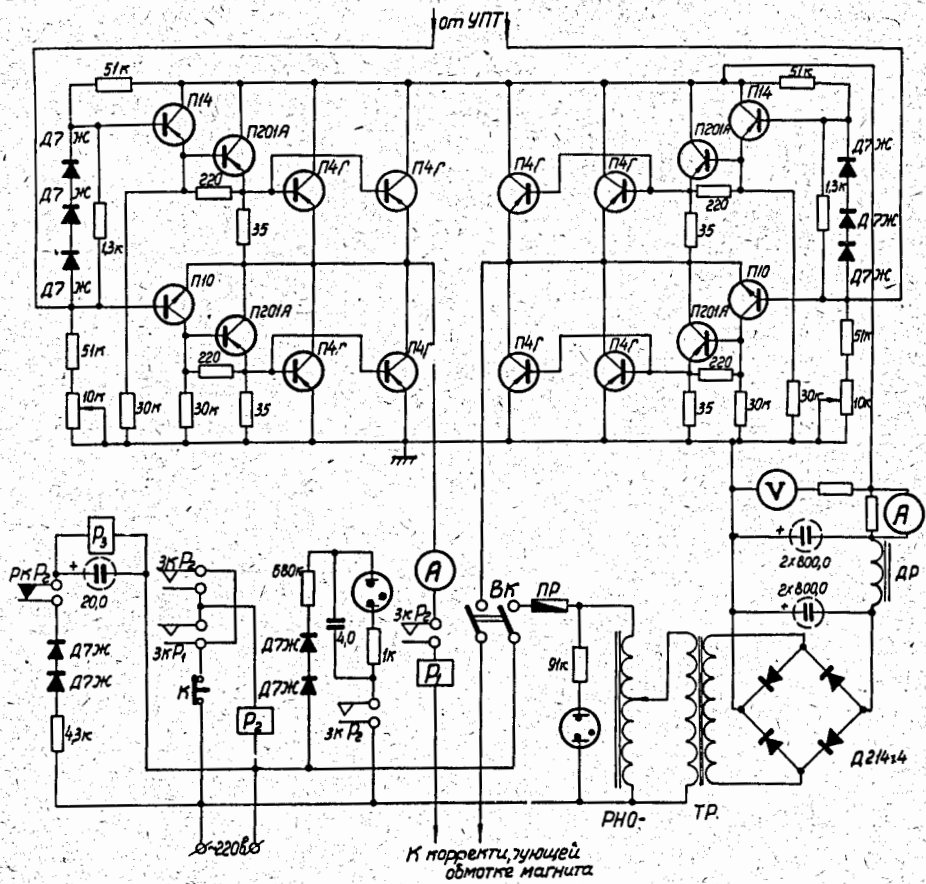


Рис. 5. Принципиальная схема регулирующего блока.