

3527

Экз. чит. за

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P9 - 3527

В.М. Лачинов

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ АВТОДИНА
В СЛЕДЯЩЕМ ЗА ПОЛЕМ ЯМР МАГНИТОМЕТРЕ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1967.

P9 - 3527

В.М. Лачинов

**УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ АВТОДИНА
В СЛЕДЯЩЕМ ЗА ПОЛЕМ ЯМР МАГНИТОМЕТРЕ**

Направлено в ПТЭ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

В работе^{/1/} рассмотрено устройство для автоматизации работы ЯМР магнитометра. Сигнал-ошибка получается на выходе ЯМР дискриминатора магнитного поля и управляет частотой автодина, устанавливая ее величину с точностью лучше 10^{-5} в соответствии с измеряемым полем. Прибор производит автоматически поиск сигналов ЯМР и привязку к измеряемому полю в одном из поддиапазонов магнитометра. Диапазон частот автодинов в ЯМР магнитометре обычно ограничен 2-100 МГц, а уровень колебаний в его контуре стабилизируется в области ≈ 1 в^{/2,3,4/}.

Система авторегулирования прибора состоит из двух цепей (1,2) обратной связи. Цепь 1 обеспечивает статическую достаточно быстродействующую подстройку частоты автодина для обеспечения условия ЯМР. Цепь 2, включающая интегрирующий мотор, более инерционна, устраняет статическую ошибку регулирования цепи 1 и осуществляет перестройку частоты автодина в каждом из его поддиапазонов. Соответственно в автодине имеются два варикапных элемента для подстройки и перестройки частоты.

Повышение эффективности и качества работы системы авторегулирования требует, чтобы зависимость частоты автодина от управляющего сигнала была близка к линейной (остальные устройства системы имеют линейную характеристику). В этом случае можно выбрать коэффициент стабилизации системы оптимальным для значений поля во всем поддиапазоне магнитометра.

Как известно, зависимость емкости варикапа от напряжения на нем и частоты автодина от величины емкости в контуре нелинейны. Кривая А на рис. 1 показывает итоговую зависимость частоты автодина в одном из поддиапазонов от управляющего напряжения на варикапе в цепи 2 (рис. 4, Д₁, Д₂). Управляющее напряжение выражается в единицах сопротивления R (ком), которое

пропорционально перемещению движка линейного гелипота относительно заземленного конца, осуществляемому интегрирующим мотором. Крутизна указанной зависимости в начале и конце поддиапазона с перекрытием по частоте $\approx 1,4-1,5$ отличается в ~ 20 раз, что, естественно, заметно снижает качество регулирования системы.

Простое устройство, представленное на рис. 1, делает зависимость частоты автодина от управляющего сигнала цепи 2 практически линейной. К движку гелипота, который имеет сопротивление $R_r = 50 \text{ к}$ и питается от источника $U_{II} = -50 \text{ в}$, подключено сопротивление $R_1 = 10 \text{ к}$ от источника $E = +10 \text{ в}$. Выходное напряжение такой цепи зависит от положения движка гелипота (R) и равно:

$$U = \frac{U_{II} + E(R - R_r) / R_1}{R_r / R_1 + R_r / R - R / R_1} \quad (1)$$

С учетом (1) рассматриваемая зависимость линеаризуется (рис. 1, кривая Б). Таким образом, в цепи 2 обеспечивается постоянство коэффициента усиления по поддиапазону и возможность оптимального выбора его величины.

Цепь 1 с быстрой подстройкой частоты автодина отрабатывает достаточно резкие, малые по амплитуде возмущения в установившемся режиме привязки и улучшает переходный режим, при котором амплитуды возмущений относительно рабочей точки достигают больших значений. Если использовать для подстройки частоты автодина варикап цепи 2, то в цепи 1 появится указанная выше неустойчивость коэффициента усиления (\approx в 20 раз) за счет изменения рабочей точки при перестройке частоты по поддиапазону. Применение в цепи 1 отдельного подстроечного варикапа, обычно по схеме рис. 2а, устраняет нежелательный эффект. Однако способ подстройки по схеме рис. 2а, в зависимости от выбора рабочей точки или типа варикапа (рис. 3, пунктир) приводит либо к введению в контур автодина большой дополнительной емкости, что снижает перекрытие по частоте в каждом поддиапазоне его, либо к очень малой крутизне изменения емкости варикапа в рабочей точке от управляющего напряжения. Эти причины, а также общая несимметрия характеристики варикапа, не обеспечивают нужного качества подстройки.

Ниже описывается схема составного варикапа (рис. 2, б) для подстройки частоты автодина, в которой значительно снижены недостатки, присущие обычной схеме. Он состоит из двух последовательно соединенных варикапов, один из которых (D_1) имеет емкость несколько меньшую, чем другой (D_2), как, например, кремниевые варикап Д901Б и диод Д219А (рис. 3, пунктир). Управляющее напряжение $U_y = (0 \div -40 \text{ в})$ подается через сопротивление $R_{c_1} \approx 510 \text{ к}$ к D_1 в точку, которая через емкость C_{II} подсоединяется к контуру автодина. В точку соединения диодов через сопротивление $R_{c_2} \approx 5,1 \text{ м}$ (на порядок большее R_{c_1}) подается опорное напряжение U_0 , задающее рабочую точку составного варикапа. При значениях $|U_y| > |U_0|$ емкость составного варикапа определяется малой емкостью C_1 диода D_1 . С приближением U_y к U_0 значение C_1 начинает быстро возрастать и достигает максимума при равенстве нулю напряжения на D_1 . Этот небольшой интервал $\approx 3-4$ в соответствует сравнительно сильному изменению емкости составного варикапа (рис. 3, сплошные кривые). При $|U_y| < |U_0|$ диод D_1 немного приоткрывается, и очень малый ток протекает через цепь $-R_{c_1}, D_1, R_{c_2}$. Теперь уменьшение $|U_y|$ почти полностью передается на D_2 , так как напряжение на $D_1 \approx 0 \text{ в}$, а $R_{c_1} \ll R_{c_2}$ и приводит к возрастанию C_2 : При $U_y \approx 0 \text{ в}$ напряжение на D_2 достигает $\approx (1-3) \text{ в}$, а емкость составного варикапа своей максимальной величины.

На рис. 2в представлена эквивалентная схема составного варикапа. Зависимость параметров ее от элементов схемы, где R_1 является эффективным сопротивлением D_1 при $|U_y| < |U_0|$, имеет вид:

$$R = \frac{1}{\omega^2 R_1 C_1^2} + \frac{R_1 (C_2 + C_1)^2}{C_2^2} \approx \frac{R_1 (C_2 + C_1)}{C_2^2} \quad (2)$$

$$C = C_2 \frac{1 + \omega^2 R_1^2 C_1 (C_2 + C_1)}{1 + \omega^2 R_1^2 (C_2 + C_1)^2} \approx C_2 \frac{C_1}{C_2 + C_1} \quad (3)$$

Упрощенные выражения получаются для частот, больших 5 Мгц. Из них следует, что емкость составного варикапа приблизительно равна емкости двух последовательно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 . Сопротивление R , определяющее добротность S , в основном зависит от R_1 при $|U_y| < |U_0|$ и соотно-

шения C_1 и C_2 . Из характеристик диодов при малых прямых токах следует, что при амплитуде колебаний в контуре $\approx 0,7-1$ в и напряжении $U_y \approx 0 R_1$ равно ≈ 8 к, а учитывая приблизительное равенство C_1 и C_2 , получим $R \approx 4 R_1$ или более 30к.

На рис. 3 показаны экспериментально измеренные характеристики составного варикапа с указанными выше значениями элементов при $f = 30$ Мгц для разных значений U_0 . В области максимальной крутизны характеристик (рабочая точка) средняя емкость варикапа значительно меньше, чем соответствующая у Д901Б, а крутизна заметно больше. Вид характеристик достаточно симметричен относительно рабочей точки, что важно при работе системы в переходных режимах. Рабочая точка просто задается в широком диапазоне выбором U_0 . В принципе управление емкостью варикапа можно осуществлять изменением U_0 . Добротность варикапа при $U_y = 0$ и амплитуде колебаний $\approx 0,7$ в была ≈ 50 . Использование в качестве D_1 и D_2 варикапов с другими параметрами позволяет изменять характеристику составного варикапа в широких пределах.

В ЯМР магнитометре использовалась схема автодина (рис. 4), подобная описанной в ^{2,3/}. Особое внимание в ней было уделено снижению начальной емкости в контуре, чтобы получить большее перекрытие в каждом поддиапазоне. Перестройка частоты осуществлялась варикапами D_1 и D_2 , емкость которых изменялась рассмотренным выше способом напряжением (0-50 в) с геликота. В подстроечном составном варикапе использованы диоды Д219А с предельной малой (D_3) и большой (D_4) емкостью. В этом случае емкость варикапа в рабочей точке (-15 в) была $\sim 3,5$ пф при крутизне характеристики $\sim 0,5$ пф/в. Для дополнительного выравнивания усиления в цепи 1 в каждом поддиапазоне и улучшения переходных характеристик системы привязки между входами обоих варикапных устройств включена корректирующая RC цепь. Периодическое воспроизведение сигналов ЯМР осуществлялось модуляцией магнитного поля в объеме протоно-содержащего образца в L_1 с частотой 50 гц. Весьма существенным оказалось введение на выходе пробника после лампового усилительного каскада транзисторного повторителя T_1 . Высокое выходное сопротивление (\approx десятков ком) усилителя и 5-метровый соединительный кабель с последующей схемой приводят к недопустимым наводкам как от источника модулирующих сигналов, так и от внешних электрических помех. Малое выходное сопротивление повторителя практически

устраняет наводки в этой цепи. Назначение остальных цепей указано на рис. 4 и не отличается от ранее описанных^{2,3/}.

Рассмотренная выше схема автодина с устройствами управления частотой использовалась в системе автоматизации работы ЯМР магнитометра^{1/}. Она показала эффективность как в отношении расширения поддиапазонов магнитометра, так и в значительном улучшении качества работы следящей системы в переходном и установившемся режимах.

Л и т е р а т у р а

1. В.М. Лачинов. Препринт ОИЯИ 3014, Дубна 1966; ПТЭ, № 3, (1967).
2. Л.В. Васильев, Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич, А.Г. Комиссаров, В.М. Лачинов, В.И. Прилипко, Ю.И. Сусов, П.Т. Шишляников. Препринт ОИЯИ 2458, Дубна 1965.
3. Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич. Препринт ОИЯИ № 3218, Дубна 1967.
4. H. R. Oppliger, P. Schmid, Hs. H. Gunthard, J. Sci. Instrum., 42, N 12, 865, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 октября 1967 г.

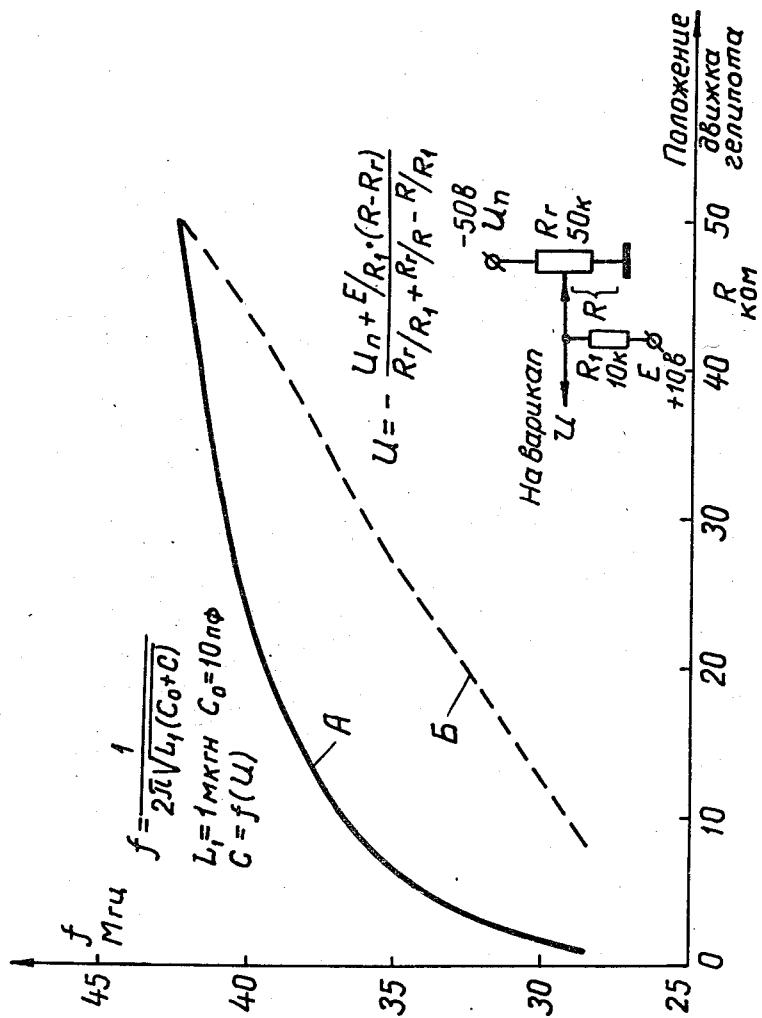


Рис. 1. Зависимость частоты автодина от положения движка управляющего гелиота и линеарзация ее.

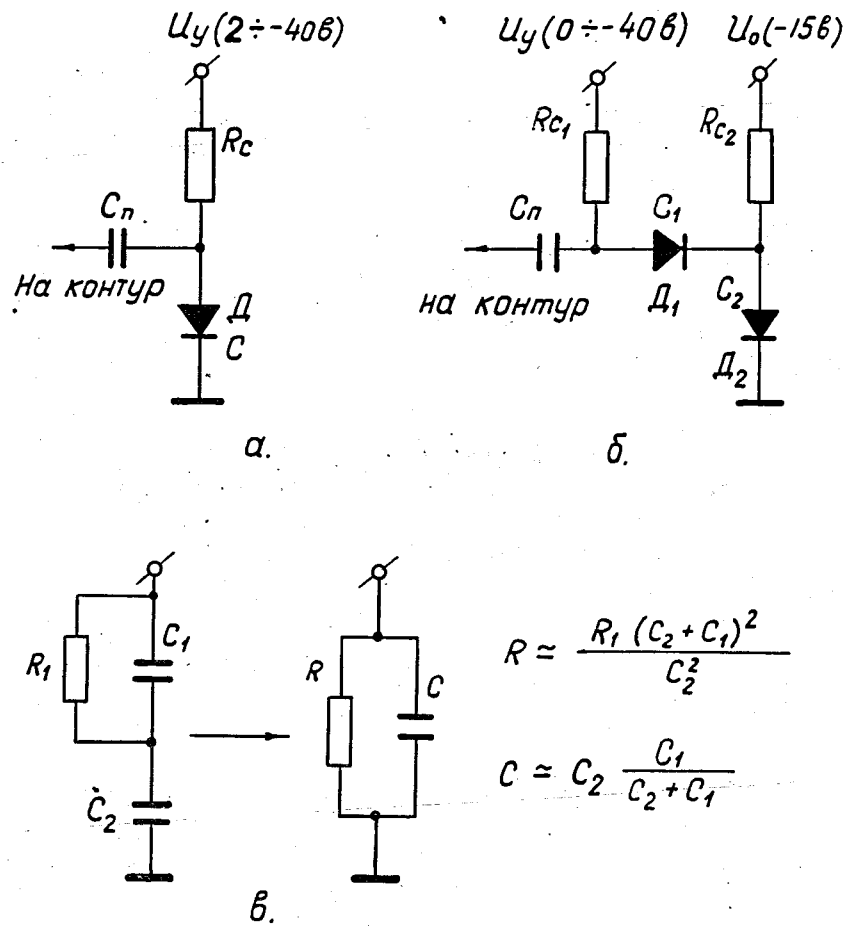


Рис. 2. Составной варикап и его эквивалентная схема.

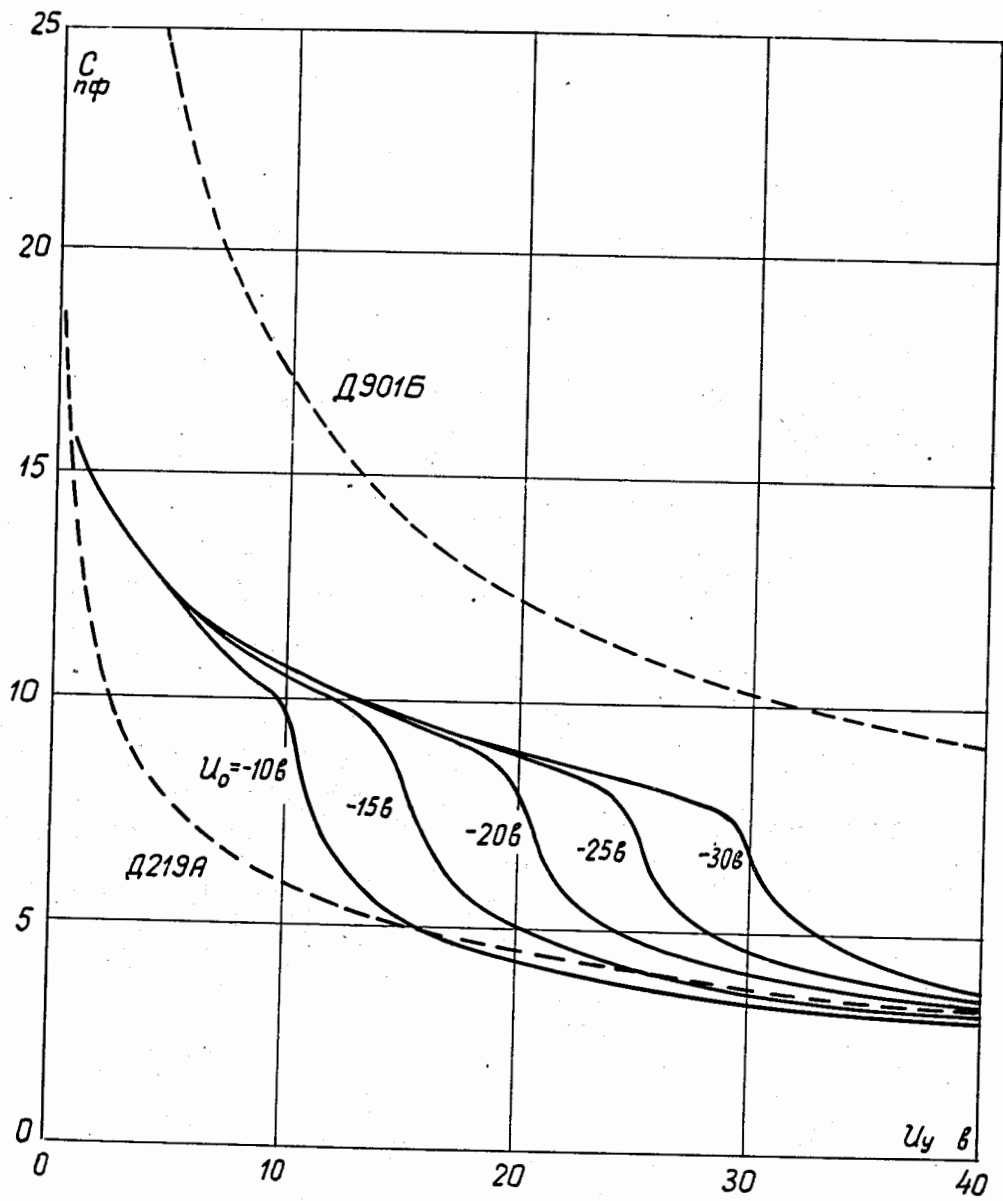


Рис. 3. Характеристики составного варикапа.

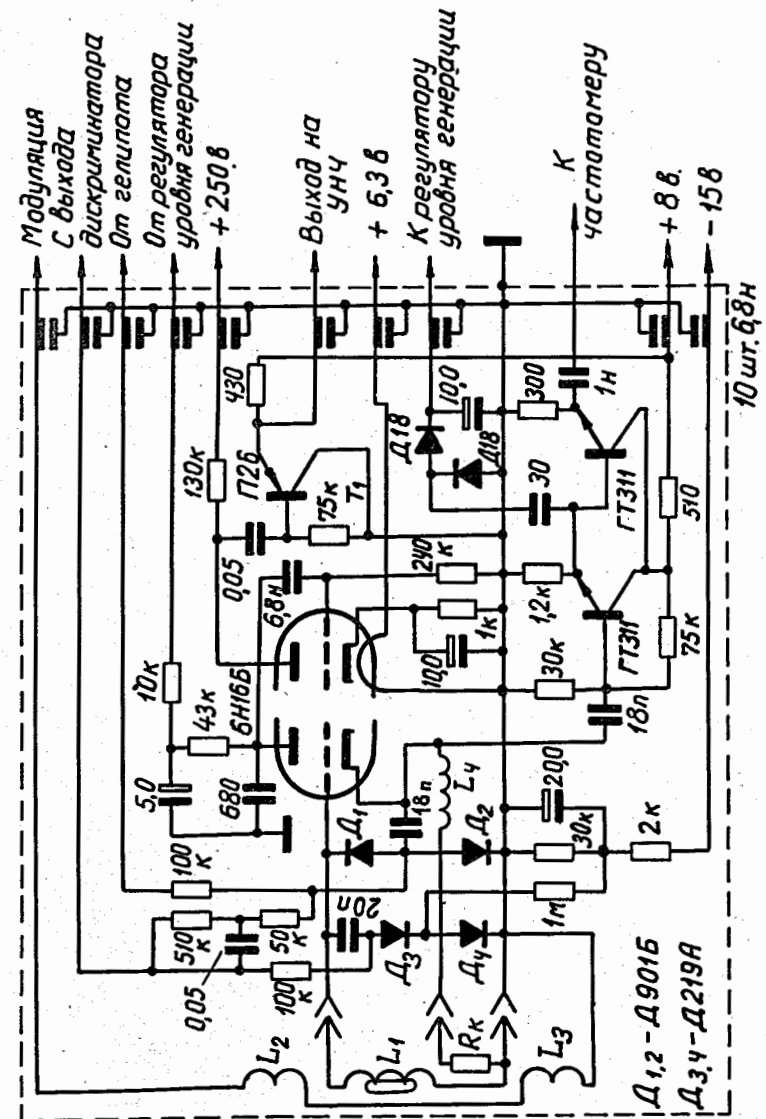


Рис. 4. Схема автодина ЯМР магнитометра с целями управления.