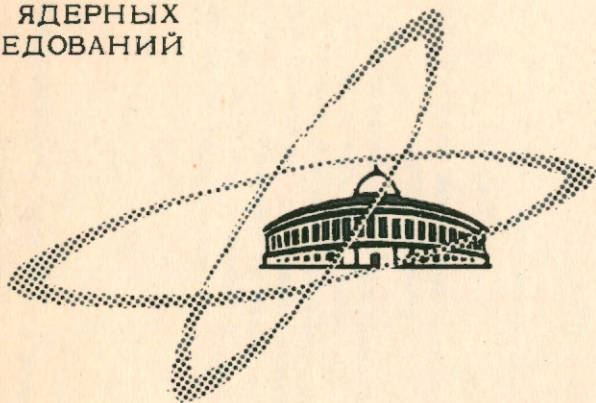


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2641



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В. И. Приходько, В. Г. Тишин

ГЕНЕРАТОРЫ ЦУГА ИМПУЛЬСОВ
ДЛЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1966

2841

В. И. Приходько, В. Г. Тишин

ГЕНЕРАТОРЫ ЦУГА ИМПУЛЬСОВ
ДЛЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

1. Введение

В настоящее время наиболее распространенным типом аналого-цифровых преобразователей (АЦП) являются преобразователи с амплитудно-временной трансформацией. Преобразователь такого типа можно разделить на две основные части: 1) устройство, преобразующее амплитуду исследуемого сигнала в пропорциональный интервал времени; 2) устройство, преобразующее этот интервал в цифровой код (генератор цуга импульсов и адресный счетчик).

Ряд основных характеристик АЦП связан с качеством работы генератора цуга импульсов. К этим характеристикам относятся: 1) стабильность коэффициента преобразования (усиления) АЦП, которая зависит, в частности, от стабильности частоты генератора; 2) время преобразования (быстродействие) АЦП, равное $nT_{ц}$, где $T_{ц}$ - период импульсов в цуге; n - число каналов; 3) дифференциальная нелинейность, зависящая от неравномерности частоты генератора.

Качество работы самих генераторов, в свою очередь, зависит от ряда факторов: изменения напряжения питания, температурного дрейфа, стабильности элементов, типа транзисторов и т.д. Поэтому при проектировании АЦП одним из важнейших этапов является разработка генератора цуга импульсов.

Генератор может быть выполнен по одной из блок-схем, приведенных на рис. 1: ждущий генератор (рис. 1а), непрерывный генератор с фазировкой начала и конца серии (рис. 1б), ждущий генератор с фазировкой конца серии (рис. 1в).

Наиболее простым устройством является ждущий генератор. Это может быть ждущий мультивибратор /1/, /2/, генератор с задержанной обратной связью /3/, генератор синусоидальных колебаний с внешним запуском и дополнительной формировкой /4/. В этих схемах на вход подается прямоугольный импульс с достаточно крутым фронтом и спадом ($t_{ф, сп} \ll T_{ц}$), на выходе генератора получается цуг импульсов, число которых пропорционально длительности запускающего импульса. При разработке ждущих генераторов возникает ряд трудностей, которые не всегда удается преодолеть. В первую

очередь это относится к повышению частоты генератора (особенно в релаксационных схемах). Второй важной особенностью этих схем является вероятность появления неполноценных импульсов в конце цуга. Это явление может привести к существенному уменьшению амплитуды последнего импульса, а так как порог срабатывания первого триггера адресного счетчика различен для двух состояний триггера, то в преобразователе при этом наблюдается значительная неравномерность ширины четных и нечетных каналов.

Непрерывный генератор с фазировкой начала и конца серии /5/ (рис. 1б) лишен этого недостатка. В данном генераторе на вход схемы фазировки (СФ) подается импульс начала линейного разряда емкости, здесь он фазирован с импульсом серии и подается на триггер (Тр), управляющий клапаном (К). На выходе клапана появляется цуг импульсов. Конец цуга фазирован схемой (СФ₂) с импульсом окончания линейного разряда. К числу достоинств этого генератора следует также отнести высокую стабильность частоты (это легко достигается с помощью кварца). Однако конструирование генератора по данной блок-схеме на большую частоту (свыше 10 мгц) встречает известные трудности при схемном решении отдельных узлов.

Некоторым компромиссом между двумя рассмотренными схемами является ждущий генератор с фазировкой конца серии (рис. 1в). Такая схема позволяет устранить уменьшение последнего импульса в цуге и, кроме того, она значительно проще схемы непрерывного генератора с двумя фазировками. Ждущий генератор в этой схеме управляется триггером, на вход 1 которого подается импульс начала разряда емкости. На вход 2 с некоторой задержкой, равной приблизительно $0,3 T_{ц}$, подается с выхода схемы фазировки импульс цуга, следующий непосредственно за импульсом окончания разряда. Таким образом, момент обрыва ЖГ оказывается четко сфазированным с последним импульсом цуга.

Следует заметить, что применение подобной схемы эффективно лишь для малоинерционных генераторов, у которых время затухания меньше длительности периода импульсов цуга.

Из трех описанных выше схем наиболее просты и надежны ждущие генераторы, поэтому они нашли самое широкое применение в АЦП с амплитудно-временной трансформацией. Ниже рассматривается ряд схем ждущих генераторов, а также ждущий генератор с фазировкой конца серии, имеющие частоту импульсов в цуге 10-20 мгц.

II. Ждущие генераторы

Одним из наиболее простых схемных решений генератора цуга с рабочей частотой 10-20 мгц является ждущий мультивибратор^{/1/} (рис. 2). Запуск мультивибратора

осуществляется подачей отрицательного смещения в базу транзистора Т₂. Длительность фронта и спада запускающего импульса не должна превышать 10-20 нсек. Цуг импульсов через эмиттерный повторитель ЭП (Т₃) снимается от коллектора Т₂.

Мультивибратор представляет собой симметричную схему с эмиттерной связью. Для устойчивости по постоянному току в эмиттеры Т₁ и Т₂ включены "связки" (R₄, R₅).

Частота определяется сопротивлениями R₁, R₂, R₃ и емкостями C₁, C₂, а также величиной напряжения питания. Для указанных в схеме номиналов частота импульсов в цуге составляет 10 мгц, амплитуда 4-5 в. Схема работает до 40 мгц без существенного ухудшения качественных показателей^{х)}.

На рис. 3 изображена схема генератора цуга, выполненного на основе генератора синусоидальных колебаний с трансформаторной обратной связью. Генератор собран на транзисторе Т₂. Запуск схемы осуществляется отрицательным прямоугольным импульсом через эмиттерный повторитель Т₁. Цуг импульсов формируется из отрицательной полуволны синусоиды на туннельном диоде типа ЗИ301Б и транзисторах Т₄, Т₅, Т₆. Амплитуда выходных импульсов 6в, частота 12 мгц. Частота импульсов в цуге зависит от параметров контура. Плавное изменение частоты осуществляется триммером С. Достоинством данного генератора является высокая стабильность частоты, присущая схемам подобного типа.

Для получения цуга импульсов с частотой до 100 мгц и более можно применить схему, приведенную на рис. 4^{/3/}. Генератором является туннельный диод, который в исходном состоянии находится в устойчивой рабочей точке. Сопротивление R выбирается таким образом, чтобы с приходом отрицательного запускающего импульса туннельный диод начинал генерировать с частотой, определяемой величиной смещения на нем и индуктивностью L. Предельная частота серии в данном генераторе зависит от быстроты действия схемы формирования (транзисторы Т₁, Т₂, Т₃).

Имеются сообщения об АЦП, в котором преобразование интервала времени в цифровой код происходит с частотой 116 мгц. В этом преобразователе генератор цуга импульсов и триггера адресного счетчика выполнены на туннельных диодах /8/.

Генератор цуга может быть построен на основе LC генератора с емкостной обратной связью (рис. 5)^{/8/}. Запускающий импульс запирает диод Д₁, шунтирующий контур, и в схеме возникают синусоидальные колебания, которые с выхода генератора (эмиттер Т₁) через ЭП (Т₂) поступают на схему формирования (ТД, Т₃, Т₄). Частота колебаний задается параметрами контура. Следует отметить, что данная схема весьма критична к изменениям температуры.

х) Результаты испытания схем на стабильность частоты при изменении напряжения питания и температуры приведены в таблице 1.

III . Ждущий генератор с фазировкой конца серии

Схема генератора (рис. 6) построена в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 1в^{19/}. Импульс начала линейного разряда емкости подается на вход 1 триггера управления ТУ (туннельный диод ТД 1). Импульс с ТУ усиливается и формируется дифференциальным усилителем (T_1, T_2). Отрицательный перепад напряжения амплитудой 6в с коллектора T_1 , через эмиттерный повторитель T_3 , запускает ждущий генератор (ТД₂). Серия импульсов усиливается транзистором T_5 и на выходе ЭП (T_6) получается кодовая серия в виде пачки положительных импульсов амплитудой 6 в и частотой 20 мгц. Импульс окончания линейного разряда (вход 2) поступает через ЭП (T_7) на схему пропускания СП (ТД₃). На выход СП проходит только один импульс цуга, следующий сразу же после окончания импульса на входе 2. С выхода СП импульс усиливается на T_9 и через ЭП (T_{10}) сбрасывает ТУ. Генератор готов к следующему циклу. Частота ЖГ определяется теми же факторами, что и в схеме генератора, приведенной на рис. 4.

IV . Измерение дифференциальной нелинейности генераторов

Блок-схема устройства для измерения дифференциальной нелинейности генератора изображена на рис. 7. На вход схемы "обострителя" фронта СО подаются импульсы, статистически распределенные во времени. С выхода СО импульсы поступают на нормально открытую схему "И", состояние которой определяется состоянием триггера Тр-2. На выход "И" проходит только один импульс, который запускает блокинг-генератор БГ, управляющий триггерами Тр-1 и Тр-2. Тр-2 устанавливается в состояние "1", тем самым блокируя схему "И" на время, равное $T_1 + T_{бл}$, где T_1 - время работы ждущего генератора ЖГ; $T_{бл}$ - время блокировки устройства при переносе адреса с триггеров счетчика в память. Тр-1 взводится импульсом от БГ, а сбрасывается импульсом от внешнего генератора по входу 2. На выходе Тр-1 появляется отрицательный импульс, который дополнительно формируется дифференциальным усилителем ДУ и подается на ждущий генератор. ЖГ генерирует цуг импульсов, поступающий на вход адресного счетчика. Импульс от внешнего генератора, одновременно со сбросом Тр-1, запускает схему блокировки СБ. На выходе СБ формируются два импульса. Эти импульсы (положительный и отрицательный) дифференцируются и усиливаются соответственно усилителями У-1 и У-2. На У-2 формируется импульс переноса адреса и пуска логики памяти; на У-1 - импульс сброса адресного счетчика и ТР-2.

Частота следования импульсов от внешнего генератора выбирается из условия:

$$T_{ген} > T_{ц} \cdot n_{max} + T_{бл}$$

где $T_{ген}$ - период импульсов генератора; $T_{ц}$ - период импульсов в цуге, n_{max} - число каналов памяти.

Если в течение рабочего цикла на вход 1 импульсы не поступают, то Тр-2 устанавливается в состояние "1" импульсом внешнего генератора и блокирует схему "И" на время $T_{бл}$. Работа устройства поясняется временной диаграммой (рис. 8).

Если на вход 1 поступают импульсы от какого-либо источника ядерного излучения с некоторой средней интенсивностью \bar{N} , то зависимость числа импульсов в канале от его номера подчиняется показательному закону распределения временных интервалов. Это видно из рис. 9, где приведена кривая, характеризующая дифференциальную нелинейность мультивибратора. Чтобы получить "белый" спектр, необходимо выполнить условие $\bar{N} \ll F_{ген}$, но в этом случае время набора информации будет очень большим (для кривой, изображенной на рис. 9, оно равно 5 часам). Поэтому блок-схема установки была несколько видоизменена. Запуск триггера Тр-2 осуществляется импульсом от генератора ГИ-4М, сброс - либо от БГ, либо от импульса со второго выхода ГИ-4М, задержанного относительно первого на время $T_3 = n_{max} T_{ц}$ (для $T_{ц} = 0,1$ мкс и $n_{max} = 500$, $T_3 = 50$ мкс). Частота следования импульсов 10 кгц. На вход 1 подавались импульсы от другого генератора с частотой 7 кгц.

Можно ожидать, что в данном случае равновероятен приход импульса в любой из временных каналов. На рис. 10 приведена кривая, характеризующая дифференциальную нелинейность той же схемы (рис. 2). Время измерения - 30 минут. Сравнивая кривые на рис. 9 и 10, можно заметить, что отклонения кривой (рис. 9) от экспоненты, а кривой (рис. 10) от прямой, носят одинаковый характер. Это указывает на равноправность описанных методов измерения. Результаты измерения дифференциальной нелинейности (без учета статистического разброса) для всех схем, исследованных в данной работе, приведены в таблице II.

V . Измерение стабильности частоты генераторов

Для проверки стабильности частоты генераторов импульс с первого выхода ГИ-4М подавался одновременно на сброс Тр-2 и на вход 1 (рис. 7). Таким образом, продолжительность каждого цикла была одинаковой и равной времени задержки между импульсами. Выбор нужного канала осуществлялся изменением T_3 генератора ГИ-4М.

Как видно из таблицы 1, наиболее стабильным по всем параметрам является генератор цуга с трансформаторной обратной связью (рис. 3). Для данной схемы при

изменении напряжения питания на $\pm 10\%$ частота меняется на 1%; при изменении температуры от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ изменений на уровне 450 канала не замечено. Дифференциальная нелинейность равна $\pm 0,9\%$.

Мультивибратор имеет наименьшую из всех схем величину дифференциальной нелинейности, но зато он значительно уступает генератору с трансформаторной обратной связью по стабильности частоты. На рис. 9 и 10 виден "выбег" частоты мультивибратора.

Генератор на туннельном диоде (рис. 4) стабилен при изменении температуры, однако критичен к изменениям напряжения питания. Это объясняется тем, что при изменении напряжения меняется смещение на туннельном диоде, что приводит к изменению частоты генерации.

Достоинством данного генератора является возможность получения большой частоты импульсов в цуге (до 200 - 300 мгц).

Ждуший генератор с фазировкой конца серии (рис. 6) в данных условиях не обладает никакими преимуществами по сравнению с остальными схемами. Это объясняется тем, что во всех генераторах тщательным подбором параметров схем и порогов формирователей удалось исключить уменьшение амплитуды последнего импульса серий.

Другой причиной явилось то обстоятельство, что схемы испытывались на частотах 10-20 мгц (это ограничение было наложено быстродействием триггеров адресного счетчика), при фронте и спаде запускающего сигнала, равных 10-20 нсек. В этих условиях сравнительно легко исключить уменьшение амплитуды последнего импульса цуга. Преимущества фазировки проявляются на частотах свыше 20 мгц (при тех же параметрах запускающего импульса).

В разработанном авторами аналого-цифровом преобразователе на 4096 каналов [7] была применена комбинированная схема, представляющая собой генератор с трансформаторной обратной связью, в котором в качестве формирователя используется мультивибратор, работающий в режиме деления частоты 1 : 1.

Таблица I.

	Напряж. питания по ном. - 6в	Напряж. питания по ном. + 6в	Номер канала				
			Схема рис.2	Схема рис.3	Схема рис.4	Схема рис.5	Схема рис.6
	6,0	6,0	I00	I00	I00	I00	I00
	5,7	6,0	-	-	87	-	95
	5,4	6,0	99	I0I	-	99	-
+20°	6,3	6,0	I04	-	I06	I03	-
	6,6	6,0	-	I00	-	-	I05
	6,0	5,7	I05	-	-	-	-
	6,0	5,4	-	99	I00	-	I00
	6,0	6,3	98	-	-	-	-
	6,0	6,6	-	I0I	I00	-	I00
+20°	6,0	6,0	I00	450	I00	I00	I00
+50°	6,0	6,0	I05	450	I00	I09	I04

Таблица П.

	Схема рис.2	Схема рис.3	Схема рис.4	Схема рис.5	Схема рис.6
Дифференц. нелинейн. (в %)	$\pm 0,85$	$\pm 0,9$	$\pm 1,2$	$\pm 1,3$	$\pm 1,05$

Л и т е р а т у р а

1. R.L.Chase. IRE Trans., NS-9,1,(1962), p.4.
2. M.G.Strauss. Rev. Sci. Instr., v.34, no.4(1963) p.335
3. T.W.Flowerday, D.D. Mckibin. Proceed.of IRE, v.49, (1961) no, 8, p. 1409
4. Генерирование электрических колебаний специальной формы, М., "Советское радио", 1951 г.
5. Л.А.Маталин и др. ПТЭ, № 3 (1960) стр. 84.
6. F.Iselin. Instr. Techn. in Nucl. Pulse Analysis, Washington, 1964, p.118.
7. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ 2492, Дубна 1966 .
8. А.Н.Утюжников. Предварительная обработка информация с детекторов излучения. Диссертация. Дубна 1965 г.
9. В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ 2163, Дубна 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 марта 1966 г.

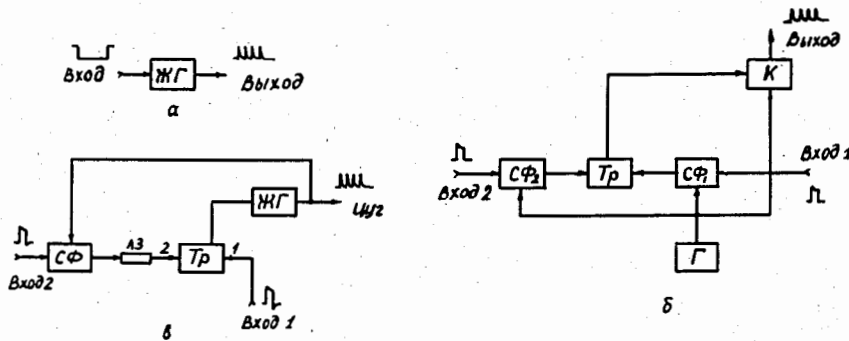


Рис. 1. Блок-схемы генераторов цуга импульсов для АЦП:
а) ждущий генератор; б) непрерывный генератор с фазировкой начала и конца серии; в) ждущий генератор с фазировкой конца серии.

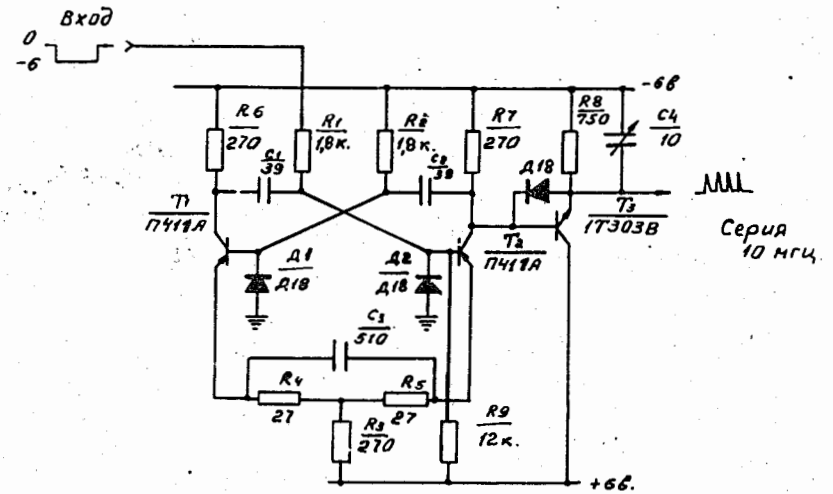


Рис. 2. Ждущий мультивибратор.

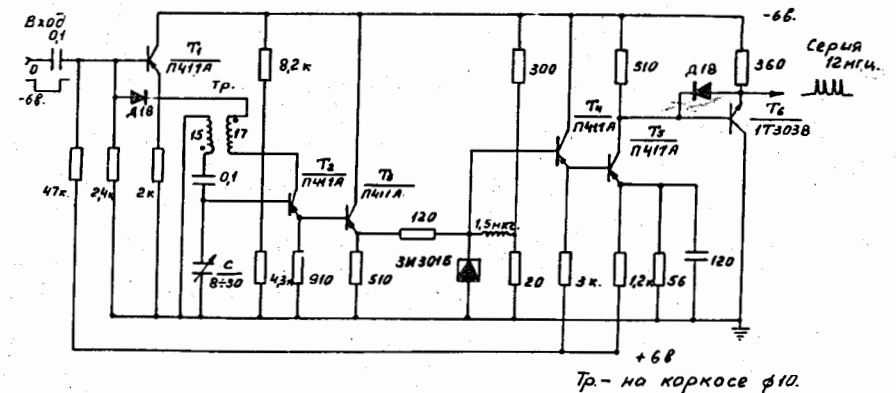


Рис. 3. Ждущий генератор с трансформаторной обратной связью.

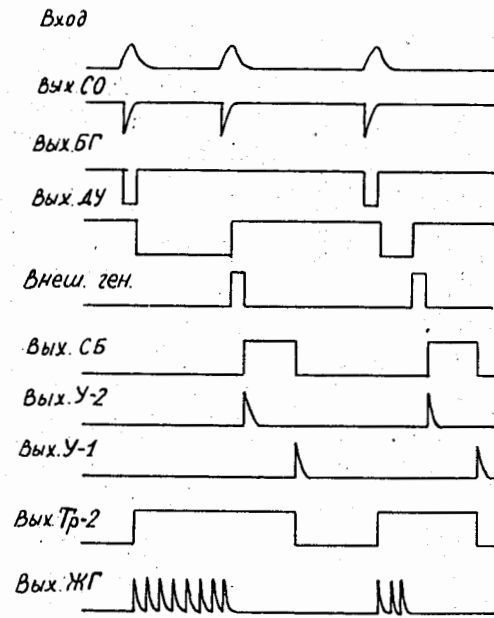


Рис. 8. Временная диаграмма.

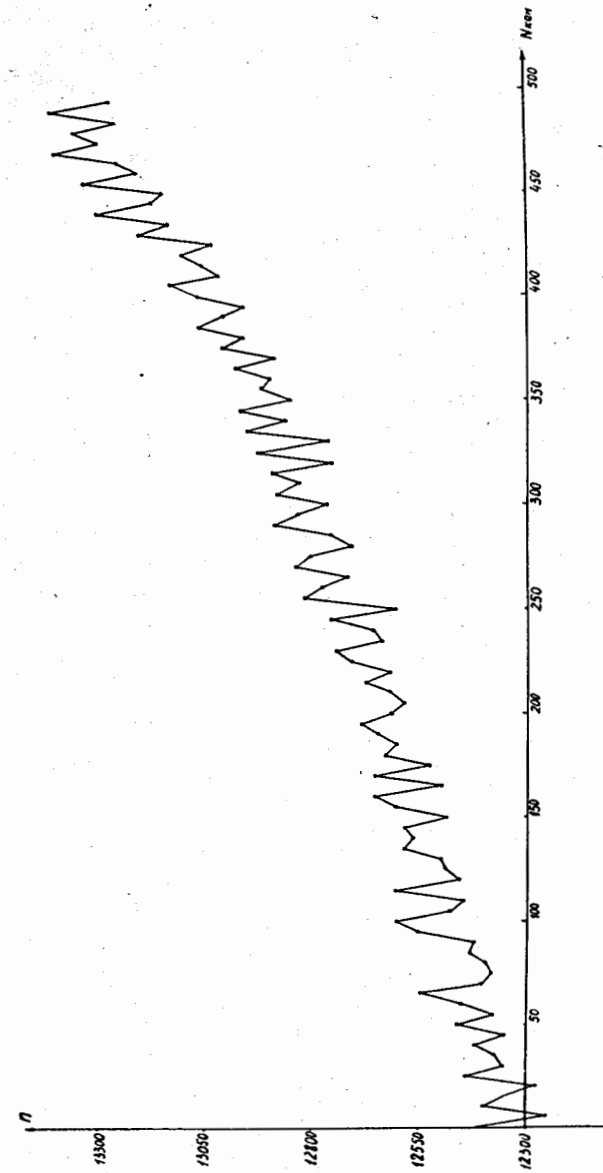


Рис. 9. Кривая дифференциальной нелинейности для мультивибратора (измерение с источником).

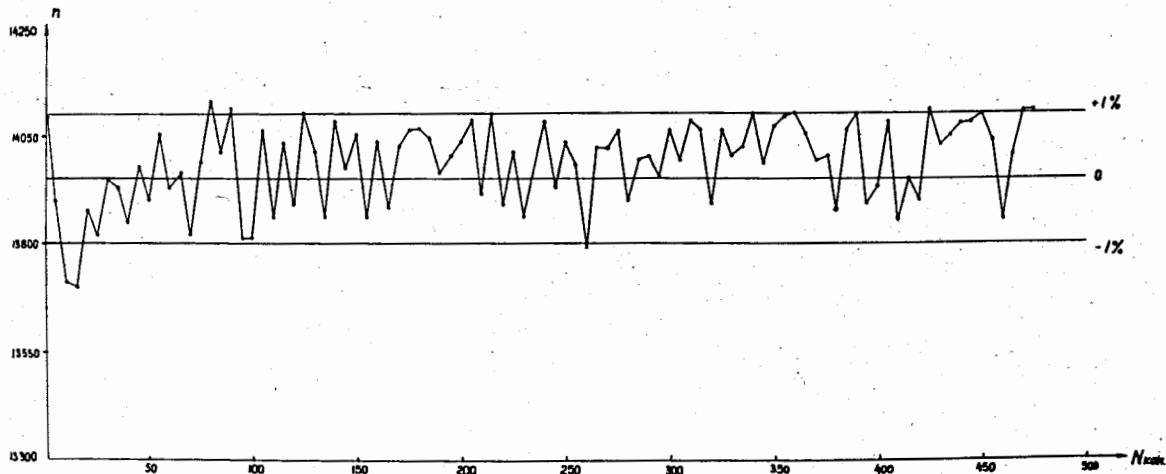


Рис. 10. Кривая дифференциальной нелинейности для мультивибратора (измерение с генератором).