

10/12-71

Б-272

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 5732

1527/2-71



5732

С.Г. Базиладзе

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ
ИМПУЛЬСОВ

1971

13 - 5732

С.Г. Базиладзе

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ
ИМПУЛЬСОВ**

Направлено в ПТЭ



В ядерной электронике одной из наиболее распространенных задач является формирование стандартных логических (временных) сигналов. Ранее наиболее широко формирователи импульсов применялись в схемах совпадений. Схема совпадений выполнялась в виде отдельного прибора, работающего непосредственно со статистическими импульсами. Стремление к достижению высоких электрических характеристик породило усложнение формирователей, которое привело к выделению их в самостоятельные блоки. Этому способствовало также вызванное увеличением сложности и количества установок стремление разбить их на блоки, выполняющие стандартные функции. Выделение системы из относительно небольшого числа блоков позволяет удовлетворить практически всем требованиям к электронике физического эксперимента. Так, например, формирователь может быть использован для входных и выходных каналов схем совпадений, для получения старт-стопных сигналов в конверторах, для стробирования или блокировки входов и т.д. Выясним, каким требованиям должен удовлетворять формирователь.

Требования, предъявляемые к формирователям
временных интервалов

Формирователи временных интервалов предназначены для работы в основном от импульсов, статистически распределенных по амплитуде и времени. По входу их можно в основном характеризовать:

- 1) диапазоном допустимых амплитуд входных сигналов $\Delta U_{вх}$,
- 2) диапазоном длительностей фронтов входных сигналов при постоянной чувствительности формирователя $\Delta(t_{ф})_{вх}$,
- 3) диапазоном допустимой длительности входных сигналов $\Delta t_{вх}$,
- 4) временной стабильностью срабатывания формирователя от различных по амплитуде ступенчатых входных сигналов (диапазоном длительностей задержек $\Delta t_{з}$).

К числу выходных характеристик формирователей относятся:

- 5) диапазон задаваемых временных интервалов $\Delta t_{выд}$,
- 6) величина мертвого времени $t_{м}$.

Для практического использования важны также такие показатели, как потребляемая формирователем мощность $P_{потр}$, количество прямых и инверсных выходов $N_{вых}$, его размеры (площадь передней панели $S_{п}$), наличие цепей управления, число транзисторов $N_{транз}$.

Выясним, из каких элементов должна состоять блок-схема формирователя (рис. 1). На входе формирователь должен иметь быстродействующий ограничитель импульсов для обеспечения большого динамического диапазона по амплитуде. Включение за ограничителем быстродействующего триггера Шмитта обеспечивает постоянство чувствительности формирователя во времени^{х/}, стабильность времени задержки срабатывания и стандартизацию фронтов ограниченного сигнала. После триггера Шмитта необходимо включение дифференцирующей цепочки для предотвращения повторных срабатываний формирователя при длинных входных сигналах.

^{х/} Важное значение имеет вопрос о пороге отпускания триггера Шмитта. Гистерезис его входной характеристики должен быть минимальным.

Диапазон временных интервалов, обеспечиваемый времязадающим элементом, зависит прежде всего от типа времязадающей цепи. Времязадающие элементы, выполненные с применением линий задержек^{/1/}, имеют небольшой диапазон длительностей выходных сигналов, что связано с конструктивными ограничениями на габариты линий задержек. Большого диапазона можно достичь, используя диоды с накоплением заряда^{/2/} и времязадающие индуктивности^{/1,3/}; наиболее широким диапазоном обладают элементы на основе времязадающих емкостей^{/4,5/}. Отметим, что использование диодов с накоплением заряда и времязадающих емкостей открывает путь к электронной регулировке длительности выходного сигнала. Кроме дифференцирующей и времязадающей цепочек, в цепи сигнала не должно быть других реактивных элементов, т.к. это приведет к сдвигам рабочих точек при больших нагрузках.

Для коротких входных сигналов (рис. 2а) мертвое время формирователя складывается из интервала выдержки $t_{\text{выд}}$ и времени восстановления $t_{\text{восст}}$ времязадающего элемента. Для входных сигналов с коротким передним фронтом и с длительностью, большей, чем $(t_{\text{выд}} + t_{\text{восст}})$, рационально применение дифференцирующего элемента на входе формирователя^{х/} (рис. 1) для ликвидации добавочного мертвого времени, вызванного наличием длинного входного сигнала. Наибольшим временем восстановления обладают схемы с индуктивностью (одновибраторы на туннельных диодах, в которых $t_{\text{восст}} \approx 10 t_{\text{выд}}$ ^{/1,3,6/}). Схемы с линией задержки, как правило, имеют $t_{\text{восст}} = t_{\text{выд}}$ ^{/1/}. Исключения составляют схемы со старт-стопным триггером, в цепь сброса которого включена линия задержки, и схемы с трехуровневым квантованием сигнала^{хх/ /7/}. Такие схемы имеют $t_{\text{восст}} \ll t_{\text{выд}}$, подобное же условие реализовано и в схемах с времязадающей емкостью^{/4,5/} или диодом с накоплением заряда^{/2/}.

^{х/} В этом случае требуется защита входа формирователя как от отрицательных, так и от положительных сигналов.

^{хх/} Которое, естественно, труднее реализовать в наносекундном диапазоне, чем двоичную логику.

До последнего времени усилия разработчиков были направлены в основном на минимизацию времени восстановления формирователей для ликвидации просчётов по окончании времени выдержки (рис. 2б). Однако дальнейший прогресс связан уже с обеспечением требуемого рода работы формирователей, когда вторичный статистический импульс приходит не после, а во время выдержки (рис. 2,а). В этом случае требования к формирователям могут быть различными. Так, например, для блокировки анализатора формирователь (Ф.Б.) не должен запускаться от вторичного входного сигнала во время выдержки (рис. 2, б), т.е. для него $t_M = t_{\text{выд}}$. У формирователей, работающих в каналах антисовпадений (ФАС), вторичный импульс, пришедший в момент времени t_2 (и t_3), должен вызвать продление выходного импульса до момента времени $[t_2 + (t_3) + t_{\text{выд}}$ (рис. 2, в). В каналах же совпадений применение ФБ, а тем более ФАС вызовет появление просчётов. Для исключения просчётов выходной сигнал от первого импульса должен прерываться в момент времени t_2 (и t_3), после чего должен быть сформирован временной интервал, равный $t_{\text{выд}}$ (рис. 2, г).

Наиболее универсальным является формирователь третьего типа (совпадений ФС), поскольку из него с помощью простейших логических схем можно составить первые два. Устройство ФАС получается сдвигом выходного сигнала на время прерывания (рис. 2, д) и логическим суммированием его с исходным выходным сигналом (рис. 2, е). Импульс блокировки можно получить, сочленив устройство ФАС, настроенное на половину времени блокировки (рис. 2, ж), с вторым формирователем, у которого время выдержки равно времени блокировки. Кроме этого, ФБ может быть получен из ФС введением внутренней обратной связи (рис.1), препятствующей отпуску триггера Шмитта.

Важным свойством ФС является также способность разравнивать статистические импульсы, что может существенно снизить требования к быстродействию последующих пересчётных устройств. Для этого ФС дол-

жен иметь инверсный выход (рис. 2, г - рис. 2, и), к которому подключается второй ФС. На выходе второго ФС сдвоенные импульсы будут отстоять друг от друга на стандартный временной интервал, равный $t_{\text{выд}}$. Если подключить к инверсному выходу второго ФС (рис. 2, к) третий, то будет обеспечено разравнивание трех сигналов (рис. 2, а - рис. 2, л) и т.д.

Ввиду возросшей роли ЭВМ в счётчиковой электронике физического эксперимента важным свойством формирователя импульсов может стать возможность электронного управления длительностью выходного сигнала^{/8/}. Это позволяет производить с помощью ЭВМ подбор задержек в каналах, подбирать оптимальное разрешающее время схем совпадений, либо диапазон время-амплитудного конвертора и т.п.

Ниже описывается формирователь, при разработке которого ставилась задача реализовать логику ФС, используя емкость в качестве времязадающего элемента для обеспечения широкого диапазона времен и достижения электронного управления длительностью выходных сигналов.

Описание принципиальной схемы формирователя, краткие характеристики

Принципиальная схема формирователя показана на рис. 3. Ограничитель входных сигналов состоит из двухстороннего последовательного диодного ограничителя (D_1 и D_2) и дифференциальной пары на транзисторах T_1 и T_2 . В коллектор T_2 включена корректирующая индуктивность L_k для предотвращения затягивания заднего фронта импульса транзистором T_2 . Импульс тока с ограничителя запускает триггер Шмитта, выполненный на туннельном диоде D_4 с нелинейной нагрузкой^{/1/}. Отличительная особенность описываемой схемы состоит в том, что дифференциальное сопротивление нагрузки пары транзисторов T_3 (в диодном включении) и T_4 велико как вблизи порога срабатывания, так и вблизи порога от-

пускания. При этом запускающий и сбрасывающий токи текут перед переключением только в туннельный диод, что уменьшает требования к допустимому разбросу параметров и улучшает пороговые свойства триггера.

Пиковый ток туннельного диода переключается при его срабатывании в транзистор T_4 и подается на нелинейный дифференцирующий элемент, собранный на паре туннельных диодов D_5 и D_6 и дифференцирующей индуктивности L_d . Туннельные диоды срабатывают как одновибраторы от переднего и заднего фронта импульса тока с триггера Шмитта. Импульс с дифференцирующего одновибратора, дающего отрицательный выходной сигнал, подается на эмиттерный повторитель (T_5), к выходу которого подключен зарядный транзистор T_6 . Во время дифференцированного импульса T_6 заряжает времязадающую емкость C_B , после чего он закрывается на интервал ее разряда через эмиттерное сопротивление. Формирователем выходного сигнала является триггер на туннельном диоде D_7 , срабатывающий при выключении T_6 . Если в интервале выдержки пришел вторичный входной сигнал, то зарядный транзистор подзарядит C_B снова до пикового значения. Во время подзаряда выходной триггера (D_7) сбросится в "0" и включится снова на интервал разрядки C_B от пикового значения. Таким образом, производится обрывание первого импульса и формирование второго со стандартной длительностью.

Формирователь выходных уровней тока собран на транзисторах T_7 и T_8 и обеспечивает выходные фронты ≈ 3 нсек. Для уменьшения выходных фронтов до 1,8 нсек можно подключить к коллекторам T_7 и T_8 добавочную пару транзисторов T_9 и T_{10} так, как показано на рис. 3, изменив сопротивление 430 ом в эмиттерах T_7 и T_8 на 820 ом.

Амплитудное значение напряжения, до которого заряжается C_B , регулируется изменением режимного потенциала эмиттер-база повторителя T_5 , производимое либо с передней панели переменным сопротивлением

2к, либо управляющим потенциалом на клемме "Упр. t_{выд}" с разъема питания. Регулировка порога срабатывания формирователя в пределах 50+350 мв производится переменным сопротивлением 2к в базе Т₂, либо управляющим потенциалом на клемме "Упр. U_п" с разъема питания.

Формирователь имеет внутренний вход блокировки (диод Д₁₃), запрещающий отпускание триггера Шмитта, при подключении этого входа к нагруженному выходу схемы реализуется логика работы ФБ (нечувствительность к вторичным импульсам).

Следует отметить принципиальные особенности формирователя, вытекающие из логики его работы. Поскольку заряд времязадающей емкости производится дифференцированным сигналом (так же как и в схемах ФАС /4,5/), в схеме имеется ограничение на предельную величину отношения длительности выходного сигнала к минимальной длительности входного. Величина предела этого отношения равна 5+15 и зависит от диапазона времен, в котором работает формирователь. Кроме того, поскольку выходной сигнал в ФС появляется только после дифференцированного импульса, формирователь имеет принципиально большую задержку выходного сигнала.

В наносекундном диапазоне величина дифференцирующей индуктивности L_д = 0,2 мкГн (12 витков на сопротивлении МЛТ-0,5), а времязадающая емкость C_в = 82 пф, при этом диапазон рабочих выходных интервалов составляет 5+20 нсек. В таблице приведены основные характеристики различных практически используемых /1,3-6,9/ и описываемого формирователей.

На рис. 4 показаны зависимости времени выдержки формирователя (и минимального порога срабатывания) от частоты периодических входных сигналов. Пунктирными линиями для сравнения даны характеристики идеальных схем ФБ, ФАС и ФС для длительности выходного сигнала 20 нсек. На рис. 5 приведены зависимости длительности выходных сигналов от

	$\partial U_{вх},$ в	$\partial t_{вх},$ нсек	$\partial t_{з},$ нсек	$\partial t_{вх\partial},$ нсек	$\partial t_{м.}$ нсек	$P_{номр.}$ вт	$N_{вых}$	$S_{п.}$ см ²	Электр. Управ.	$M_{транс}$
EGG [4]	-0,1; ±300	4 ÷ ∞	14 ÷ 13	5 ÷ 150	ФАС $t_{вх} + 8$	2,9	1 × 2 + 1	38	Запрет срабат.	20
LRS [5]	-0,1; ±100	4 ÷ ∞	9 ÷ 8	3 ÷ 150	ФАС(ФБ) $5 + t_{вх} / 2$	4,9	2 × 2 + 2	76	Запрет срабат.	20
SEN (CERN)	$(t_{фл\partial} \times 2) \text{ нсек}$ -0,05; ±24	4 ÷ ∞	12 ÷ 7	Блок 3 + задержка	ФБ $2 t_{вх} + 2$	7,1	2 × 2 + 2	76-блок задержка	HEM	12
CERN [3]	$(t_{фл\partial} \times 2) \text{ нсек}$ -0,05; ±24	4 ÷ ∞	11 ÷ 7	3; 5; ... 100	ФБ $5 t_{вх}$	7,1	2 × 2 + 2	76	HEM	11
ORTEC [9]	-0,15; ±100	4 ÷ ∞	11 ÷ 9	4	ФБ 6	3,1	2	76	HEM	-
УФВЭ [6]	-0,25; ±40	4 ÷ 2 $t_{вх}$	10 ÷ 6	5	ФБ $2 t_{вх}$	1,1	1 × 2	64	HEM	3
ЛВЭОУ [1]	-0,1; ±50	4 ÷ ∞	11 ÷ 8	5; 10; ... 50	ФБ $3 t_{вх}$	3,0	2	64	HEM	10
Описываемый	-0,1; ±50	4 ÷ ∞	18 ÷ 16	5 ÷ 20	ФАС(ФБ) $t_{вх} + 5$	1,8	1 + 1 (2 + 2)	64	$U_{п.т.м}$	8 (12)

амплитуды на входе формирователя, проявляющиеся при большой частоте (более 10 МГц) входных сигналов. Пунктирной линией дана зависимость выходной задержки от величины входного сигнала. Штрих-пунктирная прямая отражает практическую независимость максимальной рабочей частоты от входного сигнала. На рис. 6 иллюстрируется зависимость времени выдержки и порога срабатывания от величины управляющих потенциалов. Как видно из рис. 6, формирователь может быть использован как интегральный дискриминатор с электронной регулировкой порога.

На рис. 7 приведены результаты измерения временной стабильности порога срабатывания двух формирователей. Температурный дрейф порога $k_u = -0,7$ мв/град.С, а длительности выходного импульса $k_t = +0,06$ нсек/град. С.

При использовании схемы в другом диапазоне времен необходимо изменить величины дифференцирующей индуктивности и времязадающей емкости. Так, если $L_d = 30$ мкГн и $C_v = 0,03$ мкФ, тогда $t_{вх\partial} = 0,5 + 5,0$ мсек, а длительность входных сигналов должна быть не менее 0,1 мсек. Для устранения ограничения на минимальную длительность входного сигнала необходимо применять промежуточный формирователь блокировочного типа для импульса, запускающего времязадающий элемент.

Схема выполнена на pnp-транзисторах типа 1Т313В и pnp-транзисторах типа 1Т311Е. Для применения только в микросекундном или миллисекундном диапазоне их можно соответственно заменить на 1Т308В и КТ301. Туннельные диоды: D_4 - ЗИ306Л, $D_5 + D_7$ - ЗИ301А; диоды $D_1 + D_3$ - быстрые германиевые диоды с легированием золотом (либо D_1, D_2 - КД503Б, D_3 - Д311), $D_9 + D_{11}$ - КД503Б, D_{12} - Д311, D_{13} - Д18. Опорный диод D_8 типа Д814А.

Автор считает своим долгом выразить благодарность И.Ф. Колпакову за помощь в работе, П.К. Маньякову за ценные дискуссии и А.А. Рюмину за монтаж схем.

Литература

1. В.А. Арефьев, С.Г. Басиладзе, В.Я. Гвоздев, А.Г. Грачёв, И.Ф. Колпаков, П.К. Маньяков, Н.М. Никитюк, В.А. Смирнов. Система быстрых электронных блоков для физических экспериментов. Сообщение ОИЯИ, 13-5447, Дубна, 1970.
2. В.И. Рыкалин, З. Цисек. Универсальный формирователь импульсов ФЭУ, Препринт ОИЯИ, P13-5689, Дубна, 1971.
3. H. Verweij, G. Vismara. Preprint CERN, 69-26, NPD, Geneva, 1969.
4. EGG. Nuclear Instrumentation System Catalog, Mod T120/N, USA Salem, 1969.
5. Le CROY Research Systems Catalog, Mod. 161, West Nyack, N.Y., 1969.
6. Ю.Б. Бушнин, А.Ф. Дунайцев, В.А. Сенько. Унифицированная система функциональных модулей логической электроники с максимальной скоростью счёта 100 Мгц. Материалы симпозиума по наносекундной ядерной электронике. Дубна, VI -67, Препринт ОИЯИ, 13-3700, Дубна, 1968.
7. Ю.Г. Будяшов, В.Г. Зинов. ПТЭ, №1, 129-130 (1970).
8. F. Pozar. Nucl. Instr. and Meth., 91, No1, 253-267, 1971.
9. ORTEC Instruments for Research Catalog, Mod. 417, USA, Oak Ridge, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел

2 апреля 1971 года.

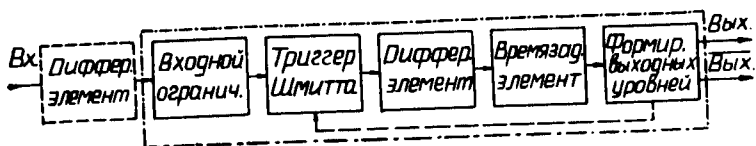


Рис. 1. Блок-схема формирователя импульсов.

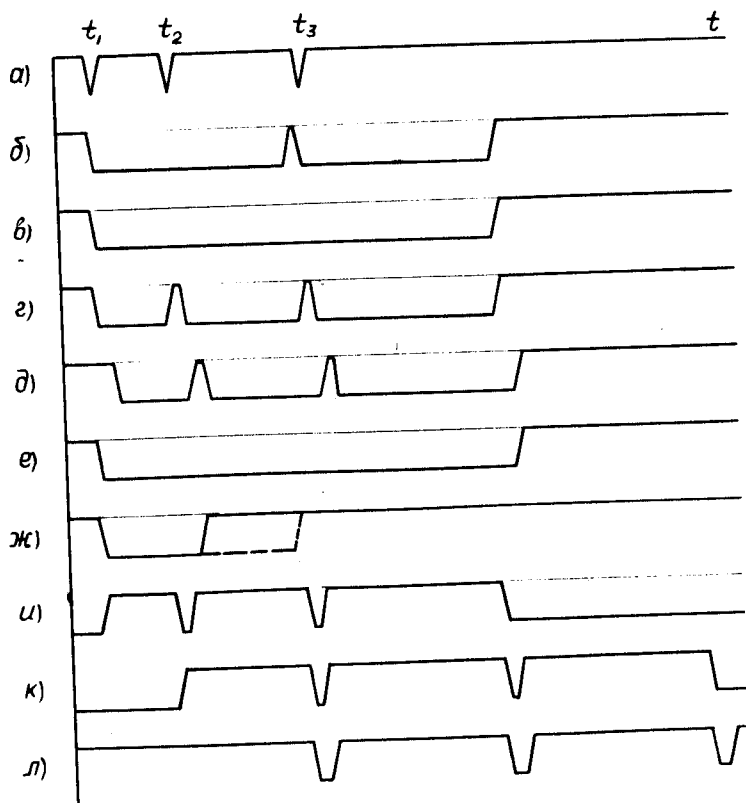


Рис. 2. Временные диаграммы работы различных типов формирователей: а) входные сигналы, б) выходные сигналы ФБ, в) выходные сигналы ФАС, г) выходные сигналы ФС, д) выходной сигнал ФС со сдвигом, е) суммарный сигнал, эквивалентный ФАС, ж) запускающий сигнал второго ФС в устройстве блокировки, и) инверсный выходной сигнал второго ФС, к) инверсный выходной сигнал второго ФС, л) выходной сигнал третьего ФС.

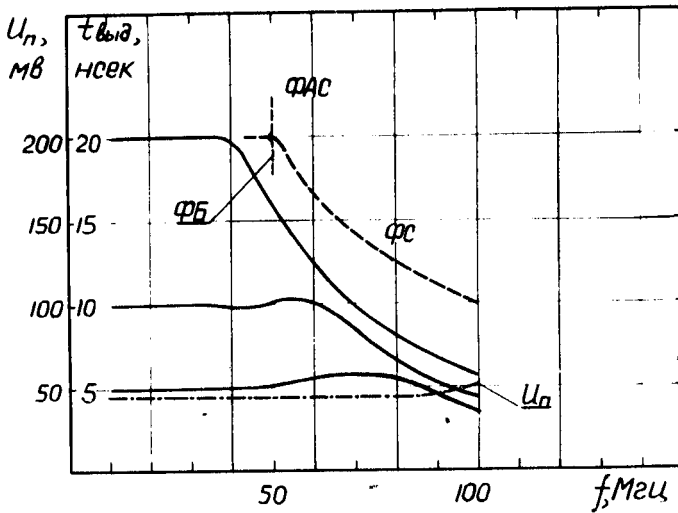


Рис. 4. Зависимость времени выдержки $t_{\text{выд}}$ и порога формирователя от частоты входных сигналов.

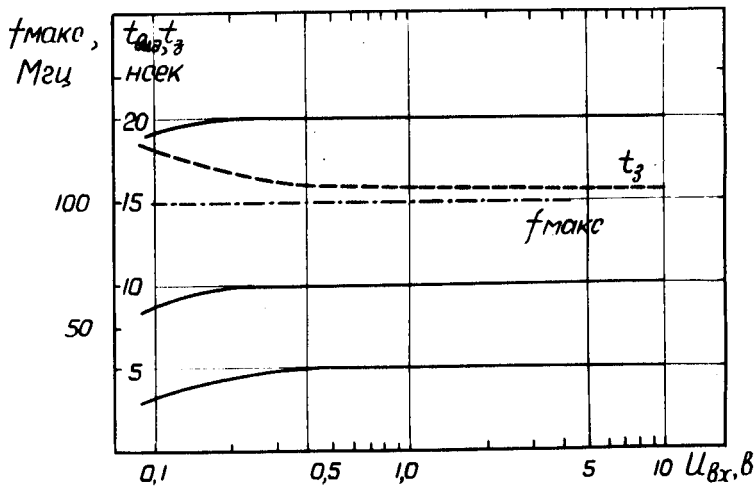


Рис. 5. Зависимости времени выдержки $t_{\text{выд}}$, длительности задержки $t_з$ и предельной рабочей частоты формирователя $f_{\text{макс}}$ от амплитуды входных сигналов.

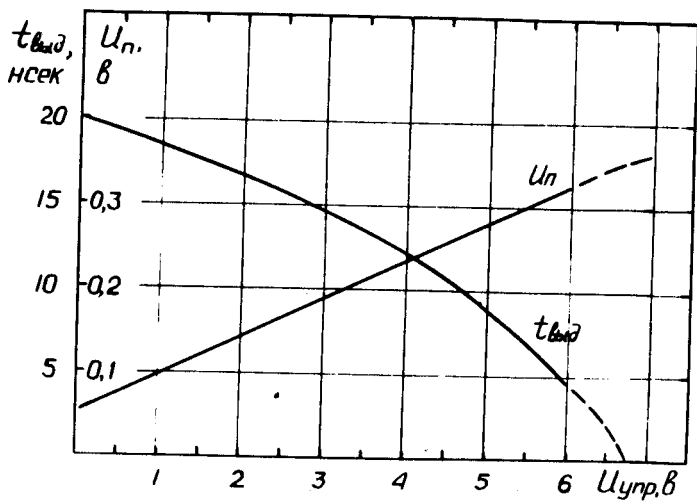


Рис. 6. Регулировочные характеристики формирователя.

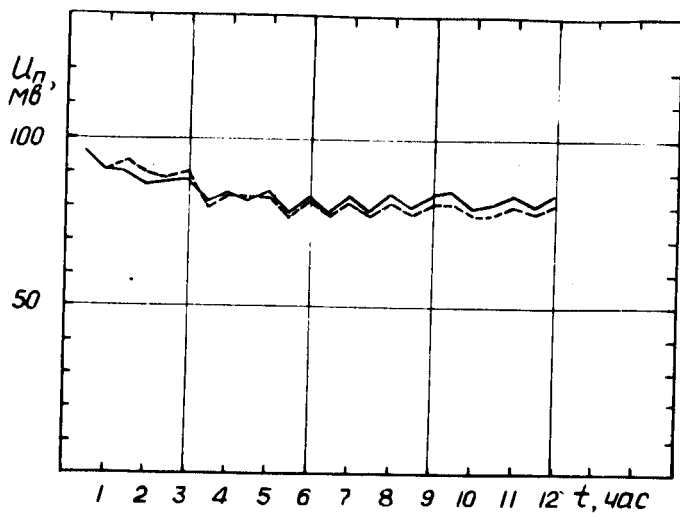


Рис. 7. Диаграмма временного дрейфа порогов двух формирователей.