

УДК 522.51(083.6)

Е. М. ВИННИКОВ, С. С. ТОВЧИГРЕЧКО

МЕТОД И АППАРАТУРА ДЛЯ СЛИЧЕНИЯ ХРОНОМЕТРОВ СЕКУНДНЫМИ РАДИОСИГНАЛАМИ ТОЧНОГО ВРЕМЕНИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Основным параметром для исследования точности рабочих хронометров является значение суточного хода и его вариация при различных температурах, когда приходится пользоваться хронометрами в полевых условиях.

Самый распространенный способ, не требующий какой-либо дорогой аппаратуры, — это сличение с ритмическими радиосигналами точного времени. Однако количество сеансов последних в настоящее время очень ограничено, они передаются только на коротких волнах, а в дальнейшем предполагается полностью прекратить их передачу. Одновременно с этим число сеансов секундных радиосигналов возрастает почти на всех диапазонах волн.

В настоящее время предлагают сличать хронометры с секундными радиосигналами точного времени при помощи печатающего хронографа [1]. Этот способ весьма удобен для лабораторных условий, но совершенно не пригоден для полевых.

Нами была поставлена задача разработать метод сличения хронометров с секундными радиосигналами точного времени, приемлемый для полевых условий.

При сличении хронометров с секундными радиосигналами точного времени на первый взгляд может показаться целесообразным использование в качестве регистрирующей аппаратуры электронных счетчиков. Но в действительности это связано с большими трудностями, так как радиосигналы часто поступают с выхода радиоприемника на фоне помех, многие из которых имеют уровень, близкий, а иногда значительно превосходящий их. Поэтому счетчик будет давать ложные срабатывания, что приведет к искажению результатов сличения.

Для сличения хронометров, регулированных по среднему или звездному времени, с радиосигналами точного времени предлагается использовать идею «нониуса времени» в схеме автоматической сигнализации моментов совпадения сигналов различной частоты. При этом методе астроном, производящий сличение, имеет возможность в процессе приема даже при плохой слышимости и помехах отличить совпадение радиопомехи с импульсами хронометра («ложное совпадение») от совпадения с радиосигналами.

Для осуществления этой идеи предлагается сличение секундных радиосигналов с хронометром, регулируемым по звездному или по среднему времени, производить при помощи вспомогательного промежуточного нониусного прибора, частота импульсов которого отличалась бы от 1 гц или кратной ему частоты на рационально установленную

дробную часть. Сличив такой нониус времени с хронометром, а затем с секундными радиосигналами или наоборот, можно тем самым сличить хронометр с секундными радиосигналами с точностью, соответствующей методу совпадения для данной частоты нониуса времени.

Учитывая многолетний опыт проводившихся в СССР сличений хронометров с ритмическими радиосигналами методом Кука—Прейпича [2], частота которых равна $1,01(6) \text{ гц} \approx 1,0167 \text{ гц}$ (61 сигнал в 1 мин среднего времени), и принимая во внимание удобство сличения с подоб-

ным нониусом времени и обеспечение необходимой точности сличения (два совпадения в 1 мин среднего времени или в 72 сек звездного с погрешностью сличения не более $0,01 \text{ сек}$), было решено подобрать такую частоту сигналов вспомогательного нониуса времени, чтобы во время сличения его с секундными радиосигналами обеспечивались простота, удобство и точность сличений аналогично тому, как это имеет место при сличении хронометра с ритмическими радиосигналами. Такая частота равна $2,0(3) \text{ гц} \approx 2,0333 \text{ гц}$.

При сличении нониуса времени с хронометром частоту нониусных импульсов удобно взять такую же, как ритмических сигналов, то есть $1,0167 \text{ гц}$. Для получения наиболее простыми средствами электрических

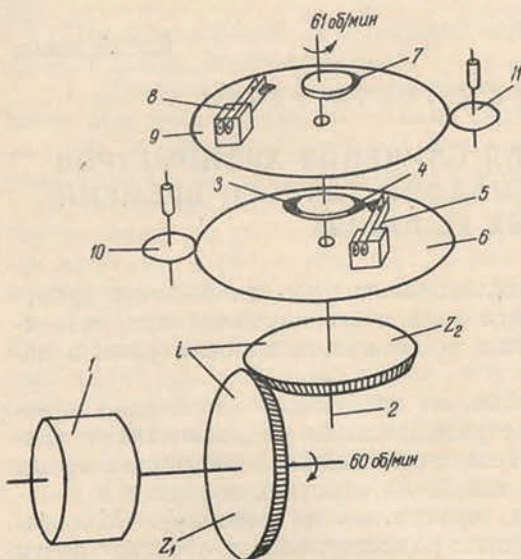


Рис. 1. Кинематическая схема нониусного датчика импульсов.

был изготовлен электромеханический нониусный датчик импульсов, в основу которого положена приведенная принципиальная кинематическая схема (рис. 1).

Вращение оси синхронного двигателя 1 (тип СД-60, частота источника питания 50 гц , напряжение 220 в , относительная нестабильность частоты $1 \cdot 10^{-6}$) со скоростью 60 об/мин при помощи редуктора с отношением

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1,0167}{1} \quad (1)$$

(косозубое зацепление с числом зубьев $z_1=122$, $z_2=120$) передается на ось 2, вращающуюся со скоростью 61 об/мин ($1,0167 \text{ об/сек}$). При помощи кулачков 3 и 4, укрепленных на оси 2 с противоположными фазами (180°), и контактной пары 5 на зубчатом колесе 6, а также кулачка 7 и контактной пары 8 на зубчатом колесе 9, можно получать нониусные импульсы соответственно с частотами $2,0333$ и $1,0167 \text{ гц}$. С помощью трибов 10 и 11 можно производить нужное фазирование этих импульсов.

При сличении секундных радиосигналов с ритмическими импульсами нониусного прибора надо вести счет секундных радиосигналов до момента совпадения определенной секунды с определенным ритмическим импульсом, для установления номера которого необходимо также иметь соответствующее отсчетное устройство. В качестве такого отсчетного устройства мы включили в схему электромеханический счет-

чик импульсов типа АТС. Использование серийного счетчика для определения номера ритмического импульса в момент совпадения с секундным импульсом не только удобно, но и экономически оправдано, так как не требует специального изготовления отсчетного устройства.

При сличении этого же счетчика с хронометром удобнее предварительно, до момента совпадения импульсов счетчика с импульсами хронометра, вести счет по хронометру и, наблюдая за счетчиком, записать показание (номер) по счетчику и показание по хронометру в момент

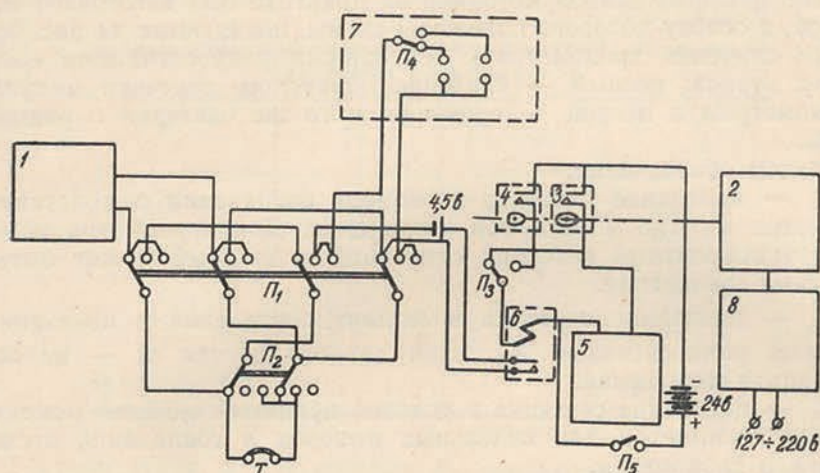


Рис. 2. Функциональная схема лабораторного варианта прибора для сличения хронометров по секундным радиосигналам точного времени.

их совпадения. При этом следует отметить, что счетчик между сличением его с радиосигналами и хронометром нельзя останавливать. Кроме того, для упрощения техники сличения и обработки результатов нужно, чтобы частота следования импульсов счетчика при сличении его с хронометром была такой же, как при сличении его с радиосигналами, то есть 2,0333 гц. Но частота электрических импульсов, подаваемых на устройство автоматической сигнализации моментов совпадения импульсов, в этом случае, как уже говорилось, должна иметь значение 1,0667 гц.

В соответствии с такими требованиями был разработан и изготовлен макет прибора, функциональная схема которого представлена на рис. 2.

На выходе радиоприемника 1 включается прибор для сличения хронометров с секундными радиосигналами, состоящий из электромеханического нониусного датчика импульсов 2 с электродвигателем СД-60 с частотами 2,0333 гц (импульсный узел 3) и 1,0167 гц (импульсный узел 4), электромеханического счетчика импульсов 5 типа АТС, переключателей Π_1 и Π_2 и головных телефонов Т, реле 6 типа РСМ-2, переключателя Π_3 и гнезд 7 с переключателем Π_4 для включения двух поочередно сличаемых хронометров (как правило один хронометр, но в отдельных случаях может быть и больше). Питание счетчиков 5 и импульсных узлов 3 и 4 осуществляется включением при помощи переключателя Π_2 аккумуляторов напряжением 24 в, питание реле 6 — от 4,5 в, генератора 8 от сети 220 в, 50 гц.

Прибор позволяет производить следующие операции:

1. Левое положение переключателей Π_1 и Π_3 — сличение импульсов прибора, частота которых равна 2,0333 гц, с секундными радиосигналами.

2. Среднее положение переключателя Π_1 и правое положение переключателя Π_2 — сличение нониусных импульсов прибора, частота которых равна 1,0167 гц, с полусекундными импульсами сличаемых хронометров.

3. Правое положение переключателя Π_1 — сличение хронометра с ритмическими радиосигналами (для отдельных случаев передачи по радио ритмических сигналов).

Во время первой и второй операций частота следования на счетчике 5 импульсов остается равной 2,0333 гц.

Для проверки данной методики на практике был изготовлен макет прибора, в основу которого положены схемы, показанные на рис. 1 и 2.

Все сличения хронометра с секундными радиосигналами состоят из двух этапов: первый — сличение нониусного счетчика импульсов с хронометром и второй — сличение этого же счетчика с радиосигналами.

Введем обозначения:

C_n — показание счетчика в момент совпадения с показаниями хронометра X_n , где n — номер совпадения. Для хронометра условно принят трехминутный интервал сличения, за который может быть не более семи совпадений.

\bar{C}_{n_1} — показание счетчика в момент совпадения с показаниями секундных радиосигналов \bar{X}_{n_1} . Для данного случая n_1 — не более одиннадцати совпадений.

C_n^0 — показание счетчика в условно принятый средний момент X_0 сличения хронометра для отдельных номеров n совпадений отсчетов счетчика и хронометра.

$\bar{C}_{n_1}^0$ — показание счетчика в средний момент передачи секундных радиосигналов \bar{X}_0 для отдельных номеров n_1 совпадения его отсчетов с радиосигналами.

Тогда имеем

$$C_n^0 = C_n + (X_0 - \bar{X}_n) \cdot A, \quad (2)$$

$$\bar{C}_{n_1}^0 = \bar{C}_{n_1} + (\bar{X}_0 - \bar{X}_{n_1}) \cdot A, \quad (3)$$

где $A = 2,0333$.

$$C_m = \frac{\sum_1^n C_n^0}{n}, \quad (4)$$

$$\bar{C}_m = \frac{\sum_1^{n_1} \bar{C}_{n_1}^0}{n_1}. \quad (5)$$

Принимая во внимание, что продолжительность между двумя смежными импульсами, следующими с частотой 2,0333 гц, равна 0,4918 сек среднего времени и 0,4932 сек звездного, можно получить показания $X_{\text{ср}}$ и $X_{\text{зв}}$ соответственно для среднего и звездного хронометров в средний момент X_0 передачи секундных радиосигналов:

$$X_{\text{ср}} = X_0 + (\bar{C}_m - C_m) 0,4918, \quad (6)$$

$$X_{\text{зв}} = X_0 + (\bar{C}_m - C_m) 0,4932. \quad (7)$$

Ниже приводится схема записи и обработки сличения среднего хронометра с секундными радиосигналами точного времени станции РЕС-13.

Сличение и вычисление значений в колонках X_n , C_n , \bar{X}_n , \bar{C}_n , выполняется таким образом.

Сличение, как правило, должно происходить в два этапа: первый — сличение счетчика с хронометром до передачи секундных радиосигналов и второй — сличение счетчика с секундными радиосигналами. Для того, чтобы увидеть сходимость результатов сличения хронометра с секундными радиосигналами, мы провели еще контрольное сличение счетчика с хронометром после передачи секундных радиосигналов.

Таблица 1
Данные сличения счетчика с хронометром до передачи секундных радиосигналов

X_n	C_n	$(X_n - X_0) \cdot A$	\bar{C}_n
12 ^h 51 ^m 16,0 ^s	(853)7	+150,46	8687,46
(46,5)	(859)9	+ 88,45	8687,45
(52)16,0	(865)9	+ 28,47	8687,47
(46,5)	(872)1	- 33,55	8687,45
(53)16,0	(878)1	- 93,53	8687,47
(53)46,5	8843	-155,54	8687,46
$X_0 = 12^h 52^m 30^s$			$C_m = 8687,46$

1 этап (табл. 1). В колонке X_n записываем часы и минуты по хронометру, от которых начнется сличение его показаний с показаниями счетчика, предварительно поставив в среднее положение переключатель P_1 и в правое — переключатель P_3 . Электрические импульсы от нониусного прибора будут следовать с частотой 1,0167 *гц* (счетчик будет работать с частотой 2,0333 *гц*). Затем, взяв на 51-й минуте хронометра (в данном примере с этой минуты началось сличение) счет его секунд, начиная с 1-й, держим его в уме и смотрим на меняющиеся показания счетчика, чтобы заметить момент совпадения его импульсов с импульсами хронометра. Когда такое совпадение произойдет, записываем последнюю цифру показания счетчика, соответствующую указанному моменту. Далее, не производя счет секунд по хронометру, продолжаем следить за показаниями счетчика и снова записываем по нему последнюю цифру его показания в моменты совпадения с хронометром. Аналогично сличение ведется в следующую минуту (в данном примере — 52-я). Сличение в последнюю минуту отличается тем, что последний отсчет совпадения со счетчика снимается полностью, а по хронометру записывается последняя минута сличения. Это сравнительно легко сделать, так как в связи с прекращением сличения все внимание переключается на этот последний отсчет. Используя записанные данные, вычисляем по ним полные отсчеты по счетчику и недостающие по хронометру следующим образом. Чередование совпадения показаний счетчика с хронометром происходит по хронометру на целых секундах и полусекундах с интервалом, близким к 30 *сек*, в котором «нониусных полусекунд» 61. Поэтому, исходя из последних цифр двух последних отсчетов, можно заключить, что полная разность показаний данных отсчетов счетчика — 62. Тогда мы записываем второй отсчет снизу, вычитая из последнего 62, то есть записываем (878)1. Так как 62 «нониусные полусекунды» приблизительно равны 61 полусекунде по хронометру, то последний отсчет по хронометру должен быть 46,5 *сек*. Вычисление остальных показаний счетчика и хронометра производится аналогично изложенному для последней минуты сличения.

II этап (табл. 2). Переключатели P_1 и P_3 ставятся в левое положение. Так как при данном положении переключателей частота следования электрических импульсов составляет 2,0333 μ , то техника сличений счетчика с секундными радиосигналами совсем не отличается от общезвестной техники сличения среднего хронометра с ритмическими радиосигналами, если не считать того, что в нашем случае вместо хронометра используется счетчик. Восстановление недописанных показаний выполняется аналогично методу, изложенному для табл. 1.

Таблица 2

Данные сличения счетчика с секундными радиосигналами

№ серий передач	\bar{X}_{n_i}	\bar{C}_{n_i}	$(\bar{X}_0 - \bar{X}_{n_i}) \cdot A$	$\bar{C}_{n_i}^0$
I	12	(916) 7	+280,60	9447,60
	(42)	(922) 8	+219,60	9447,60
II	12	(928) 9	+158,60	9447,60
	(42)	(935) 0	+ 97,60	9447,60
III	12	(941) 1	+ 36,60	9447,60
	(42)	(947) 2	- 24,40	9447,60
IV	13	(953) 5	- 87,43	9447,57
	(42)	(959) 4	-146,40	9447,60
V	13	(965) 7	-209,43	9447,57
	(42)	971 6	-268,40	9447,60
$\bar{X}_0 = 12^h 57^m 30^s$			$\bar{C}_m = 9447,59$	

Цифры, взятые в скобки во всех трех таблицах, получены путем вычисления указанным способом после окончания всех сличений.

Следует отметить, что при достаточном опыте можно вполне успеть записывать не одну последнюю цифру по счетчику, а две, что несколько упростит обработку сличений, хотя и без этого она довольно проста.

Вычисление остальных колонок в таблицах выполняется по изложенным в тексте формулам и дополнительных разъяснений не требует.

После вычислений X_0 , C_m , \bar{C}_{n_i} — первого и второго сличений, подставляя их в формулу (6), получаем

$$X_{cp} = 12^h 58^m 43,83^s.$$

Поправка хронометра U^d по отношению к всемирному времени, полученная по его сличению до передачи секундных радиосигналов, имеет значение:

$$U^d = X_0 - X_{cp} = - 1^m 13, 83^s.$$

Так как промежуток времени $X_{cp} - X_0 \approx +6,2^m$, а суточный ход хронометра $\omega \approx -3,2^s$, то поправка к U^d за ход хронометра $\Delta\omega$ следующая:

$$\Delta\omega = \frac{-3,2^s \cdot 6,2^m}{1440^m} = 0,01^s.$$

Тогда U_u^d — исправленное значение U^d — равно

$$U_u^d = U^d + \Delta\omega^d = - 1^m 13, 84^s.$$

Проведя аналогичные вычисления для контрольного (табл. 3) и второго этапов сличений, определим исправленное значение поправки

хронометра U_u^n , найденное по отношению к всемирному времени по его сличению после передачи радиосигналов:

$$U_u^n = -1^m 13,84^s.$$

Как видим, два независимых сличения хронометра с секундными радиосигналами точного времени, выполненные до и после передачи этих радиосигналов, дали одинаковые значения до сотых долей секунды.

Таблица 3

Данные контрольного сличения счетчика с хронометром после передачи секундных радиосигналов

X_n	C_n	$(X_0 - X_n) \cdot A$	C_n°
13h 9m 18,0s (48,5)	(073) 7 (079) 7	+146,40 + 84,38	0883,40 0883,38
10 18,0 (48,5)	(085) 9 (092) 1	+ 24,40 - 37,62	0883,40 0883,38
11 18,0 (48,5)	(098) 1 104 3	- 97,60 -159,62	0883,40 0883,38

$X_0 = 13h 10m 30s$ $C_m = 0883,39$

Для упрощения вычислений колонок $(X_0 - X_n) \cdot A$ и $(\bar{X}_0 - \bar{X}_n) \cdot A$ следует вычислить таблицу. Максимальное значение аргумента $(\bar{X}_0 - \bar{X}_n)$ таблицы 300 сек.

Полученные точностные данные сличения на лабораторном варианте макета прибора, а также относительная простота этих сличений позволили нам разработать полевой вариант прибора с тем, чтобы рекомендовать его для работ в полевых условиях, например, при определении долгот астрономических пунктов.

Полевой вариант прибора должен отличаться от лабораторного меньшими габаритами как механической, так и электрической частей, а также экономичностью потребления питания.

Функциональная схема полевого варианта прибора для сличения хронометра с секундными радиосигналами точного времени приведена на рис. 3. В отличие от лабораторного в полевом варианте вместо сетевого напряжения 220 в с частотой 50 гц для питания генератора 8 применяется аккумуляторная батарея на 24 в, а сам генератор портативный и обеспечивает необходимую стабильность частоты.

Данным требованиям вполне удовлетворяет биметаллический камертонный генератор типа КГ-1800, серийно выпускаемый отечественной промышленностью [3, 4]. Этот генератор может быть настроен на частоту 800 гц. Конструктивно он оформлен в виде герметизированной латунной коробки размером 53×38×35 мм, то есть объемом приблизительно 70,5 см³. Вес этого генератора 230 г.

Для получения частоты 50 гц необходимо применить триггерный делитель в 16 раз, состоящий из четырех триггеров, выполненных на кремниевых триодах типа П-103. Такой делитель серийно выпускается отечественной промышленностью. Он смонтирован на плате с размерами 180×50 мм, вес 80 г, то есть его размеры близки к школьному пеналу. На рис. 3 блок 8 — камертонный генератор с делителем частоты.

Полученное на выходе переменное напряжение с частотой 50 гц усиливается транзисторным усилителем 9 до напряжения 12 в и подводится в качестве питающего к двигателю 2 (СД-60), обмотка которого

перемотана проводом диаметром 0,4 мм до заполнения каркаса. Усилитель имеет размеры 80×50 мм, вес около 200 г.

Камертонный генератор КГ-1800 выдает частоту с нестабильностью, не превышающей $2 \cdot 10^{-7}$ на 1°C , что может привести к вариации суточного хода не более 0,1 сек при колебании температуры на 5°C . Стабильность температуры с такой погрешностью можно обеспечить в полевых условиях даже при пассивном термостатировании.

Данный генератор должен обеспечить постоянство хода за весь период сличения нониусного датчика с хронометром и с радиосигналами

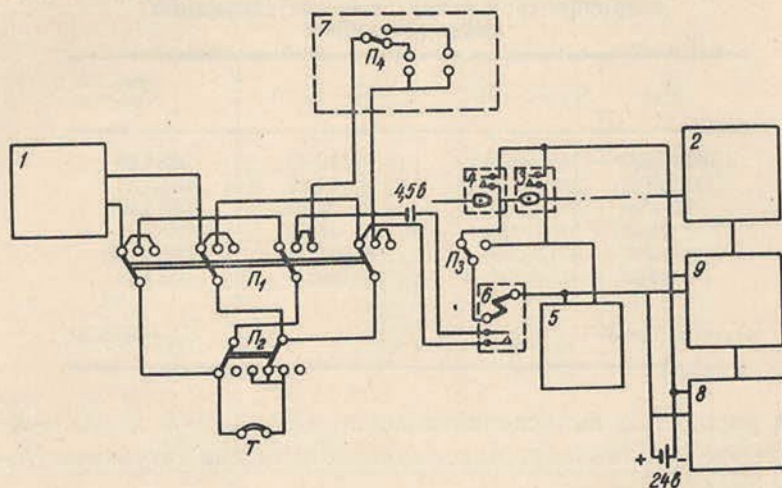


Рис. 3. Функциональная схема полевого варианта прибора для сличения хронометров по секундным радиосигналам точного времени.

точного времени (около 10 мин) с погрешностью порядка 0,001 сек. Легко видеть, что такая точность генератором обеспечивается.

Таким образом, полевой вариант метода сличения хронометров с секундными радиосигналами точного времени может быть использован и внедрен в практику в полевых условиях.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность старшему инженеру А. И. Орловой за проведение экспериментальных сличений на макете описанного лабораторного варианта прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлова А. И. «Измерительная техника», 1968, № 11.
2. Цветков К. А. Курс практической астрономии. Геодезиздат, М., 1951.
3. Шполянский В. А. Электрочасовые системы. «Машиностроение», М., 1968.
4. Шполянский В. А., Чернягин Б. М. Электрические приборы времени. «Машиностроение», М., 1964.

Работа поступила
30 мая 1969 года.