

Синхронизация по радиоканалу на примере систем, передающих эталонное время

Андрей Кашкаров (ak35@yandex.ru)

Метеостанции, медицинское, специальное и военное оборудование, часы различного назначения оснащены системой синхронизации с сигналами точного времени, что обеспечивает стратегическую безопасность и позволяет автоматически настраивать устройства после включения. Представлен анализ систем дистанционной коррекции точного времени. Даны практические рекомендации для улучшения приёма радиосигналов электронной аппаратуры с функцией Radio Controlled Clock.

Функция синхронизации времени, реализованная в электронных устройствах специального и бытового назначения, обеспечивает не только точность «домашнего», сиречь бытового, электронного хронометра. Точность измеряемого времени важна в любых стратегических исследованиях, разработках, устройствах управления и безопасности. Невозможно преуменьшить важность определения точного значения времени и его синхронизации для электронных устройств бытового и особенно военного назначения. Сбой в таких системах может иметь очень серьёзные последствия. Именно поэтому синхронизация с эталоном времени очень важна. В данной статье мы разберём на примерах ситуацию, когда коррекция времени осуществляется не с помощью электронных систем Интернета вещей или Интернета вообще, а по радиоканалу. Как это происходит? Интеллектуальная технология, разработанная компанией RST, позволяет в автоматическом режиме произвести настройку часов и (или) метеостанции на точное время. Радиосигнал посылается на сверхдлинных волнах трижды

в час (повтор 2 раза) между 20-й и 32-й секундой 19-й, 39-й и 59-й минуты.

Системы синхронизации времени

Существуют различные системы синхронизации времени. Все известные системы корректируют ход цифровых часов как ординарного инструмента учёта времени для миллионов пользователей, не нуждающегося в «ручной» коррекции времени. Однако существует общая проблема: связь по радиоканалу возможна только в условиях гарантированного приёма сигнала на LF. Для синхронизации часов диапазон LF выбран не случайно, а в связи с особенностями прохождения радиосигналов в эфире. В Японии разработана система синхронизации JJY, в США – система WWVB, есть и другие примеры. Для жителей европейской части России удобна немецкая система передачи сигналов точного времени DCF-77, имеющая некоторые особенности. Существуют аналогичные системы передачи в эфир эталонного времени и в России.

Российская Федерация полностью отказалась от массового радиовещания

на длинных волнах примерно 10 лет назад, поэтому радиопередатчики высокой мощности уничтожены или законсервированы. Примеры законсервированного антенного хозяйства передатчиков можно найти на севере и юге Санкт-Петербурга (см. рис. 1). Такие антенные поля могут пригодиться при соответствующей чрезвычайной ситуации – для массового радиовещания и (или) глушения сигналов «вражеских голосов», как это было во времена позднего СССР. По состоянию на 2021 год они бездействуют.

На показанном антенном поле находится площадка № 2 Передающего цеха радиовещания филиала «РТПС – Санкт-Петербургский РЦ». Во второй половине XX века его технические возможности использовались для обеспечения магистральных и зонавых радиосвязей, а также для противодействия вещанию западных радиостанций на СССР с использованием средневолновых передатчиков. Технологический комплекс включает 8 ДВ-передатчиков мощностью 10 кВт. Антенное хозяйство площадки состоит из 4 антенн-мачт типа «вертикальный цилиндр» высотой 50 м каждая, включая одну резервную. Длина радиоволны в диапазоне LF при частоте 77,5 кГц достигает 3868,2 метра, притом что эффективной является антенна в половину или четверть длины волны. Отсюда и размеры антенного поля: для мощного передатчика они расположены на площади в несколько гектаров (см. рис. 1).

Эталонный сигнал времени «отечественного производства» можно получить и в Москве. Это позволяет организовать производство в России собственного оборудования, включая бытовые электронные системы, на примере часов и метеостанций с радиокоррекцией времени. RWM – позывной группы КВ-передатчиков «Москва». Причём ординарный сигнал, взятый за эталон времени, находится во ВНИИФТРИ (Менделеево). Мощность передатчиков на частоте 4996 кГц составляет 5 кВт, на частотах 9996 кГц и 14 996 кГц – 8 кВт.

В данной системе используются типы модуляции NON и A1A. Между 0



Рис. 1. Антенные поля мощных передатчиков в административных границах Санкт-Петербурга

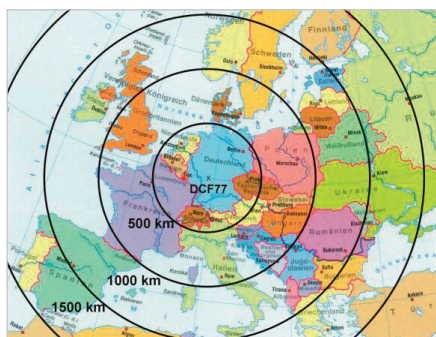


Рис. 2. Карта уверенного покрытия системы DCF-77 (Франкфурт, Германия) в Европе

и 8 минутами после начала часа RWM передаёт немодулированную несущую. На 9-й минуте RWM передаёт собственный позывной в коде азбуки Морзе. Между 10 и 20 минутами после начала часа RWM передаёт радиоимпульсы каждую секунду, удвоенные импульсы обозначают разность между астрономическим (UT1) и атомным координированным (UTC) временем: каждый удвоенный импульс в первой трети минуты обозначает 0,1 с (DUT), во второй – 0,02 с (dUT). Если серии удвоенных импульсов начинаются с 1-й и 21-й секунды, то они обозначают положительную разность, в противном случае – отрицательную. Между 20 и 30 минутами после начала часа RWM передаёт 10 радиоимпульсов в секунду. Цикл и структура передающего сигнала регламентированы ГОСТ 8.323-2016 и повторяются каждые полчаса. В табл. 1 представлена часовая программа работы радиостанции с позывным RWM.

Сигналы времени 56, 57, 58, 59-й секунд, следующие после 9, 14, 19, 24, 29, 39, 44, 49, 54 и 59-й минуты, пропускаются. Альтернативный вариант – позывной RBV – длинноволновый передатчик точного времени и частоты на территории Радиоцентра № 3 (Галдом) с эталоном в том же центре в Менделеево. Сигнал передаётся на частоте $66\frac{2}{3}$ кГц или 66,(6) кГц с излучаемой мощностью 50 кВт. Каждые 100 мс передаётся один бит информации. Структура сигнала представлена в табл. 2.

Сигналы с поднесущей частотой 312,5 Гц используются для маркирования единиц («1») в двоичном коде. Сигналы с поднесущей частотой 100 Гц используются для маркирования нулей («0») в двоичном коде. Каждая секунда состоит из 10 битов: 6 из них фиксированы, два используются для определения конца минуты, два — для передачи информации. Информация о формате секунды в передающем коде представ-

Таблица 1. Часовая программа работы радиостанции с позывным RWM

Время передачи сигналов. Начало	Время передачи сигналов. Конец	Вид сигнала
00 мин 00 с	07 мин 55 с	Сигналы NON
08 мин 00 с	09 мин 00 с	Передатчик выключен
09 мин 00 с	10 мин 00 с	Сигналы опознавания радиостанции
10 мин 00 с	19 мин 55 с	Сигналы A1X, содержащие секундные, минутные метки и информацию DUT1+dUT1
20 мин 00 с	29 мин 55 с	Сигналы A1N с частотой повторения 10 Гц
30 мин 00 с	37 мин 55 с	Сигналы NON
38 мин 00 с	39 мин 00 с	Передатчик выключен
39 мин 00 с	40 мин 00 с	Сигналы опознавания радиостанции
40 мин 00 с	49 мин 55 с	Сигналы A1X, содержащие секундные, минутные метки и информацию DUT1+dUT1
50 мин 00 с	59 мин 55 с	Сигналы A1N с частотой повторения 10 Гц

Таблица 2. Формат десятой доли секунды в передающем сигнале центра с позывным RBV

Начало	Длительность	Вид сигнала
+0 мс	10 мс	Немодулированная несущая
+10 мс	80 мс	Несущая, подвергнутая фазовой модуляции синусоидальными сигналами с поднесущими частотами 100 Гц или 312,5 Гц и индексом модуляции 0,698
+90 мс	5 мс	Немодулированная несущая
+95 мс	5 мс	Несущая отключена

Таблица 3. Формат секунды передающего кода

Начало	Значение
0 мс	Информационный бит № 1
100 мс	Информационный бит № 2
200 мс	Всегда «0»
300 мс	
400 мс	
500 мс	
600 мс	
700 мс	Минутные маркеры (перед началом новой минуты передается «1», во всех остальных случаях — «0»)
800 мс	
900 мс	Всегда «1»

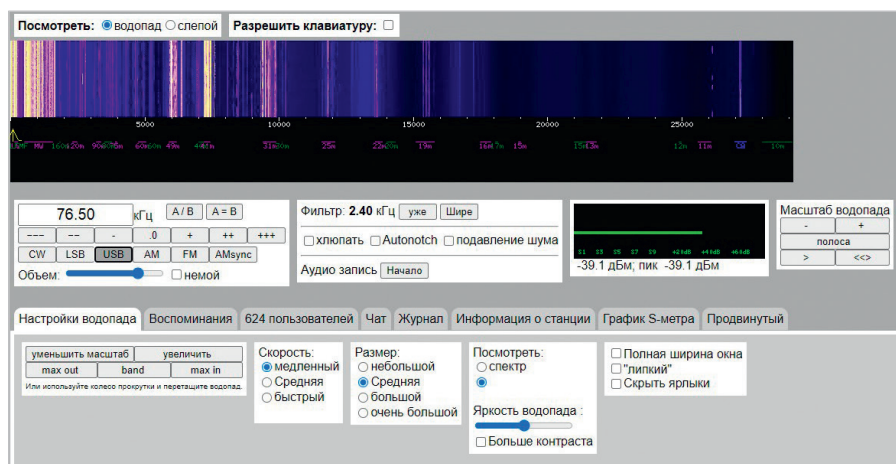


Рис. 3. Скриншот настройки виртуального радиоприёмника [1]

лена в табл. 3. В табл. 4 представлены сведения о формате временного кода.

Европейская система DCF-77

Для того чтобы послушать периодический сигнал точного времени «на слух», необходимо задать частоты 77,5 кГц при USB-модуляции. Есть возможность записать этот сигнал в память ПК, но это не главное. При наличии реального (не ПК) радиоприёмника, принимающего радиосигналы в диапазоне LF, получатся примерно те же результаты. Так можно понять структуру сигнала точного времени.

В России ориентируются на систему DCF-77 как наиболее доступную. Длинноволновая (LF) радиостанция мощностью радиоизлучения более 50 кВт

работает на частоте 77,5 кГц и передаёт сигналы в AM. Эта система известна с 50-х гг. XX века. О начале его круглосуточного вещания писали в 1959 году, в 1973-м к передаче по радиоканалу точного времени добавлена информация о текущей дате. А первые наручные часы «Аккутрон» с радиокоррекцией, с электромеханическим балансиrom и встроенным микрорадиоприёмником выпущены в США в 1962 году фирмой Hamilton Watch Company. На рис. 2 представлена карта покрытия системы DCF-77, на которой можно увидеть Россию и другие страны.

На веб-странице [1] в режиме онлайн организован настраиваемый приёмник HF, MF и LF. Это проект радиоклуба ETGD при университете Твен-

Таблица 4. Формат временного кода

Секунда	Информационный бит № 1		Информационный бит № 2		Секунда	Информационный бит № 1		Информационный бит № 1	
	Вес бита	Значение	Вес бита	Значение		Вес бита	Значение	Вес бита	Значение
00	1	Всегда «1»	1	Всегда «1»	30	4	8	Укороченная Юлианская дата TJD (0000–9999)	
01	0	Не используется, всегда «0»	+0,1	DUT1 (+0,1...+0,8 с) Позиционно-единичный код	31	2	4		
02	0		+0,2		32	1	2		
03	+0,02	dUT1 (+0,02...+0,10 с) Позиционно-единичный код	+0,3	DUT1 (+0,1...+0,8 с) Позиционно-единичный код	33	10	1	Месяц (01–12)	Не используется, всегда «0»
04	+0,04		+0,4		34	8	0		
05	+0,06		+0,5		35	4	0		
06	+0,08		+0,6		36	2	0		
07	+0,10		+0,7		37	1	0		
08	0	Не используется, всегда «0»	+0,8	DUT1 (-0,1...-0,8 с) Позиционно-единичный код	38	4	0	День недели 1 = Понедельник 7 = Воскресенье	
09	0		-0,1		39	2	0		
10	0		-0,2		40	1	0		
11	-0,02	dUT1 (-0,02...-0,10 с) Позиционно-единичный код	-0,3	DUT1 (-0,1...-0,8 с) Позиционно-единичный код	41	20	0	День месяца (1–31)	
12	-0,04		-0,4		42	10	0		
13	-0,06		-0,5		43	8	0		
14	-0,08		-0,6		44	4	0		
15	-0,10		-0,7		45	2	0		
16	0	Не используется, всегда «0»	-0,8	Не используется, всегда «0»	46	1	0	Час (00–23)	Не используется, всегда «0»
17	0	0	Не используется, всегда «0»	47	20	0			
18	±	ΔUT Разность между московским временем и UTC, выраженная целым количеством часов. С 26.10.2016 ΔUT = +3	8000	Укороченная Юлианская дата TJD (последние 4 цифры модифицированной Юлианской даты) (0000–9999)	48	10	0		
19	10		4000		49	8	P1		
20	8		2000		50	4	P2		
21	4		1000		51	2	0		
22	2		800		52	1	0		
23	1	400	23	1	40	P3	ΔUT (биты 18–23)	Биты проверки на чётность	
24	0	200	24	0	20	P4	Год (биты 25–32)		
25	80	Год (00–99)	100	25	10	P5	Месяц+день недели (биты 33–40)		
26	40		80	26	8	P6	День (биты 41–46)		
27	20		40	27	4	P7	Час (биты 47–52)		
28	10		20	28	2	P8	Минута (биты 53–59)		
29	8		10	29	1	1	0		Не используется, всегда «0»

Примечание: закрашенные биты – фиксированные.

те. На рис. 3 представлен скриншот настройки онлайн радиоприёмника.

Интерпретация сигналов точного времени в электронных устройствах

Сигнал точного времени принимается в кодированном виде и декодируется аппаратными средствами. Если опустить детали декодирования сигнала типичной АМ с применением огибающей сигнала с помощью преобразования Гильберта и сглаживания после фильтрации на выходе, получим сигнал почти прямоугольной формы, который можно наглядно анализировать (см. рис. 4).

Упрощённо это выглядит как битовая последовательность с относительно простой структурой сигнала. Как видно из рис. 5, импульсы поделены на секундные интервалы. К примеру, когда расстояние между импульсами составляет 0,1 с (при длине импульса 0,9 с), к битовой последовательности добавляются «0», а если расстояние 0,2 с (длина импульса 0,8 с), то добавляют «1». Конец каждой минуты обозначается импульсом длиной 2 с, битовая последовательность обнуляется, и заполнение начи-

нается заново. В результате получаем последовательность бит, что в конкретном примере для двух минут выглядит таким образом:

```
0011110110111000001011000001010
000100110010101100010011000;
0001111100110110001010100001010
000100110010101100010011000.
```

В сигнале присутствует дополнительный «слой» данных, где последовательность бит закодирована с помощью FM. Эта дополнительная страховка делает передачу сигналов корректировки времени универсальной и обеспечивает устойчивое декодирование данных даже в зоне неуверенного приёма.

Биты передаются один раз в 1 с. Таким образом получается 59 бит информации. На рис. 5 представлена схема распределения информации.

Поясним данную схему. Первые 15 бит не используются, они зарезервированы на случай чрезвычайных ситуаций. Активный бит А1 указывает на то, что с наступлением следующего часового периода «хронометраж» переводится на летнее время. Бит А2 указывает, что в следующий час будет добавлена одна дополнительная секунда, которая используется для коррек-

ции времени в соответствии с вращением Земли. Остальные биты кодируют часы, минуты и дату. Видно, что декодирование может быть организовано совсем несложным способом с применением простых микроконтроллеров по системе электронного подсчёта длины импульсов, сравниваемых с 60 битами, и в конце каждой минуты получается точное время.

Варианты развития идеи

Синхронизировать время можно посредством GPS-модуля с интерфейсом RS-432, выдающего информацию о координатах в NMEA, но и в этом способе есть проблемные вопросы, например, необходимость располагать приёмник в условной видимости спутника (желательно нескольких), что не всегда приемлемо. В условиях ограниченного помещения можно создать инженерное решение в формате беспроводной синхронизации, когда устройство по радиоканалу «раздаёт» сигнал точного времени в пределах одного здания, помещения. В условиях ограниченного помещения это можно осуществить на частоте 433 МГц с помощью коммутатора Lightcom-S100-8 с интерфейсом