

Параметры радиосигналов, используемые для распознавания ИРИ

Для распознавания источников радиоизлучений (ИРИ) используются различные параметры излучаемых сигналов [1] и наряду с другими используются значения их девиаций частот [2]. Измеренные значения девиаций частот, как правило, не совпадают с их номинальными значениями и у каждого ИРИ это отличие может быть различным как по величине, так и по знаку. Поэтому при радиомониторинге или радиоконтроле определённых видов радиопередач в качестве идентификационного признака ИРИ могут быть использованы величина и знак отклонения фактического значения девиации частоты от его априорно известного номинального значения.

Измерение отклонения фактического значения девиации частоты от его номинального значения

По этому вопросу имеется мало информации. Имеется промышленный образец измерителя девиации частоты ИРЧ-1, который используется для контроля работы передатчиков при частотной манипуляции. Этот прибор применяется совместно с коротковолновым приемником и осциллографом и позволяет осуществлять: измерение девиации частоты в системах ЧТ и ДЧТ, использующих девиацию 500 и 1000 гц; наблюдение формы сигналов при ЧТ и ДЧТ, определение паразитной модуляции. Прибор не может использоваться при других значениях девиации и обладает значительной погрешностью измерений при наличии флуктуационных помех. Классический метод измерения методом интерференционных фигур (фигур Лиссажу) не может применяться при измерениях девиации частоты сигналов ЧТ, так как при скачкообразных изменениях измеряемой частоты при её манипуляции происходит скачкообразное перемещение положения фигур Лиссажу, что затрудняет или полностью исключает возможность проведения измерений. Поэтому в связи с тем, что обычно величины отклонений невелики – порядка 10-20 Гц, в разработках предприятия, в которых участвовал автор статьи, в качестве измерителя применялись устройства, разработанные на основе способа измерения отклонения частоты электрических колебаний от номинального значения по а.с. СССР 392420 [3], которое обладает методической погрешностью менее 0,1 Гц при таких отклонениях частоты. Согласно этому способу из временного интервала, обратно пропорционального частоте $F_0 \pm \Delta F$, где ΔF – измеряемое отклонение частоты, F_0 - известное смещение ΔF по частоте, причём $F_0 \gg \Delta F$, вычитают временной интервал, длительностью обратно пропорциональный частоте F_0 и разностный временной интервал

$$\Delta T = A \left(\frac{1}{F_0 \pm \Delta F} - \frac{1}{F_0} \right)$$

при $F_0 \gg \Delta F$ равен величине $C_1 \Delta F$, где $C_1 = A / F_0^2$. Подсчитывая число импульсов эталонной частоты, заполняющих разностный временной интервал, определяют величину ΔF . Способ обладает малой величиной методической погрешности и простотой в реализации. Однако для того, чтобы получить малую величину погрешности и от флуктуационных помех, приходится усреднять результаты многократных измерений, что приводит к необходимости затрачивать на измерения значительное время.

Повышение точности и быстродействия измерений

Описываемый далее измеритель, основой которого является устройство для измерения частотных параметров электрических сигналов по а.с. СССР 1287029 [4], обладает меньшей погрешностью от флуктуационных помех и большим быстродействием.

Схема измерителя приведена на рис.1.

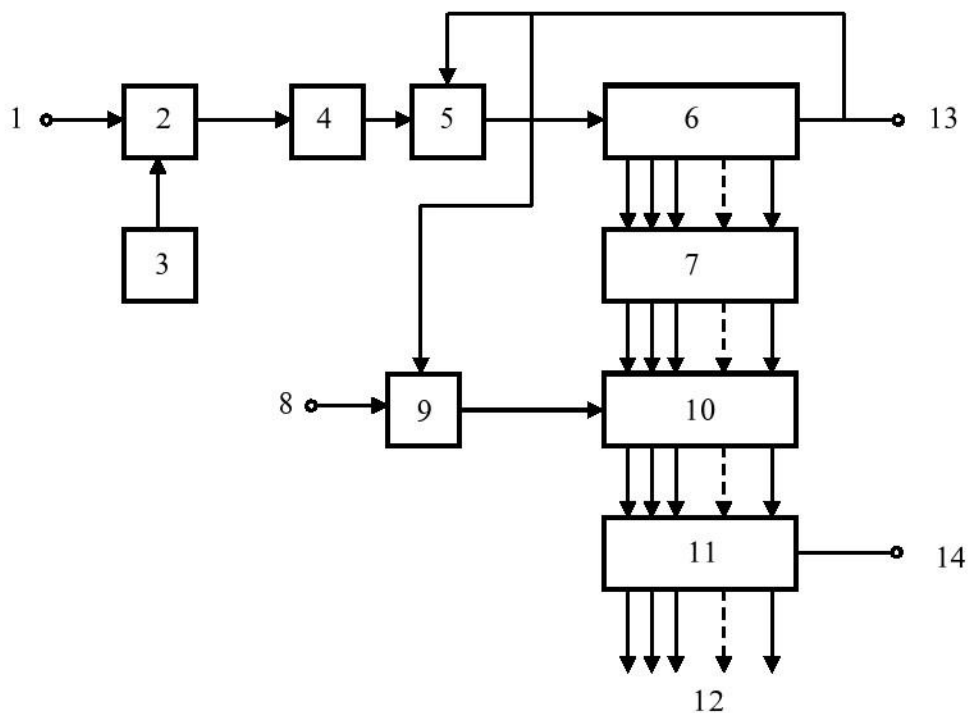


Рис.1 Схема измерительного устройства

Измеритель содержит входную шину 1, преобразователь частоты 2, образцовый генератор 3, входной формирователь 4, элементы И5 и 9, счётчик 6 импульсов,

формирователь 7 кодов множителей, шину 8 эталонной частоты, группу элементов И10, накапливающий сумматор 11, информационные выходы 12, шину 13 «Конец измерений», шину 14 выхода знака отклонения частоты.

На рис.2 представлена диаграмма работы измерителя.

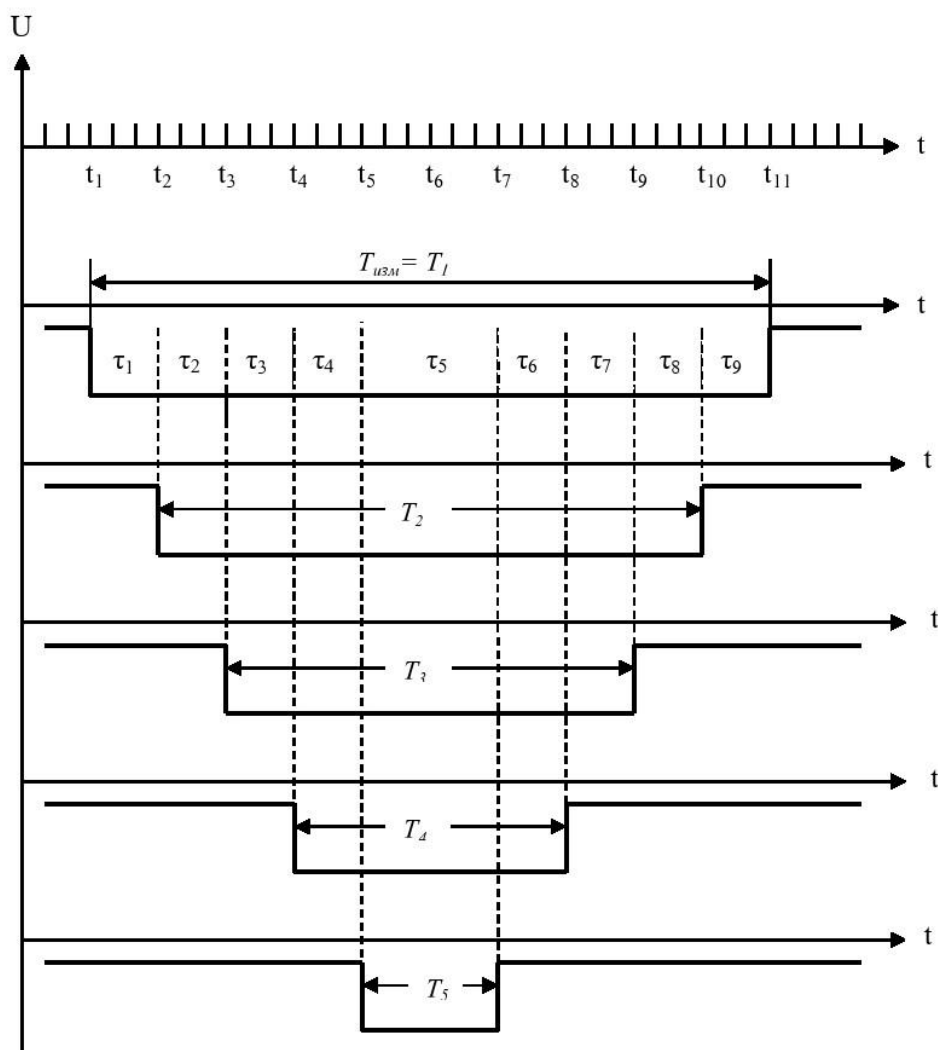


Рис.2. Диаграмма работы

Измеритель работает следующим образом.

В исходном состоянии счётчик импульсов 6 установлен в ноль, элементы И5 и 9 открыты, формирователь кодов множителей 7 вырабатывает код числа $K_0=0$.

Сигнал с выхода промежуточной частоты радиоприёмного устройства РПУ с частотой $f_{0пр} + f_{дв}$, где $f_{0пр}$ – промежуточная частота РПУ, $f_{дв}$ – девиация частоты, например, верхней спектральной составляющей сигнала ЧТ, отклонение девиации которой от номинального значения $f_{двном}$ необходимо измерить, подаётся на преобразователь

частоты 2. На второй вход преобразователя частоты подаётся сигнал от образцового генератора 3 с частотой $f_{0пр} + F_0 + f_{двном}$ и с выхода преобразователя снимается сигнал с частотой $F_0 + (f_{двном} - f_{дв}) = F_0 + \Delta F$. Здесь ΔF – подлежащее измерению отклонение фактического значения девиации от номинального, при этом $F_0 \gg \Delta F$. Этот сигнал поступает на входной формирователь 4, импульсы с выхода которого поступают на счётчик импульсов 6 в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_{10}, t_{11}$ (см. диаграмму на рис.2). При поступлении первого импульса в момент времени t_1 формирователь кодов множителей вырабатывает код числа $K_1=1$. Импульсы с частотой $f_{эт}$, подаваемые на вход 8 измерителя, поступают на импульсные входы группы элементов И10. Так как в данном случае на управляющие входы этой группы элементов И10 подан код числа $K=1$, каждый импульс, поступающий на импульсные входы группы элементов И10, проходит через них, и начиная с момента времени t_1 накапливающий сумматор 11 просто суммирует импульсы, поступающие на вход 8. Поэтому в интервале τ_1 (см. рис 2б) в накапливающем сумматоре образуется число N_1 , пропорциональное длительности этого интервала.

В момент времени t_2 происходит запись ещё одной единицы в счётчик 6, формирователь кодов множителей вырабатывает код числа $K=2$ и поэтому в интервале τ_2 в накапливающем сумматоре к числу N_1 прибавляется число N_2 , пропорциональное удвоенному значению длительности этого интервала.

Аналогичный процесс повторяется до момента времени t_5 , после которого формирователь кодов множителей начинает вырабатывать коды не возрастающих более значений K_i . В момент времени t_6 вырабатывается значение кода $K_6=K_5=5$, далее $K_7=4, K_8=3, K_9=2, K_{10}=1$.

Таким образом, к моменту времени t_{11} в накапливающий сумматор записывается число

$$N_x = [\sum_{k=1}^{n-1} (\tau_k) K_k] f_{эт}$$

При отсутствии флуктуационных помех все интервалы равны между собой и равны

$$\tau_i = \frac{a}{F_0 + \Delta F},$$

где a - число импульсов сигнала с частотой $F_0 + \Delta F$ в интервале τ_i .

Поэтому

$$N_x = (f_{эт} \sum_{k=1}^{n-1} K_k) \frac{a}{F_0 + \Delta F}$$

В исходном состоянии в накапливающий сумматор вписывается число $N_0 = N_{ном}$, где $N_{ном}$ - число, накапливаемое сумматором в процессе работы измерителя в случае равенства измеряемой и номинальной частот. Это число вычитается из N_x и поэтому результирующее число импульсов

$$N_{рез} = N_x - N_{ном} = a f_{эт} \sum_{i=1}^{n-1} K_i \left(\frac{1}{F_0 + \Delta F} - \frac{1}{F_0} \right)$$

$$\text{и при } \Delta F \ll F_0 \quad N_{рез} = -\Delta F \frac{a f_{эт} \sum_{i=1}^{n-1} K_i}{F_0^2}$$

Если $\Delta F = 0$, $N_{рез} = 0$ и на шине 14 появляется потенциальный перепад в связи с переполнением накапливающего сумматора.

Если $\Delta F < 0$, на шине 14 также появляется потенциальный перепад.

Если $\Delta F > 0$, на шине 14 потенциальный перепад не возникает.

Таким образом, число импульсов, которое зафиксировано накапливающим сумматором к концу измерительного цикла пропорционально ΔF , а уровень логического сигнала на шине 14 («0» или «1»), определяет знак отклонения частоты.

Покажем, что такой измеритель за одно и то же время измерительного цикла, что и у устройств, реализующих способ измерения отклонения частоты электрических колебаний от номинального значения по а.с. СССР 392420 [3], обладает меньшей погрешностью измерения от флуктуационных помех.

Пусть длительности циклов измерений этих устройств одинаковы и составляют $T_{изм} = (t_{11} - t_1)$ (рис. 2) и среднеквадратичная величина флуктуаций фронтов этого интервала времени составляет $\sigma_{фр}$. Тогда величина флуктуаций всего интервала $T_{изм}$ составит $\sigma_{фр} \sqrt{2}$. Для данного измерителя и устройств по а.с. 392420 при $F_0 \gg \Delta F$ справедливо следующее соотношение.

$$\Delta T = A \frac{\Delta F}{F_0^2},$$

где A – количество интервалов τ_i во временном интервале T_i (см.рис.2).

Поэтому, если измерение осуществляется за один интервал, так, как в устройствах по данному а.с., погрешность измерения частоты за один цикл измерения $T_{изм} = T_1$ составит

$$\sigma_{f1} = \sigma_{T1} F_0^2 / A_1$$

Однако в описываемом устройстве измерение осуществляется несколькими «вложенными» циклами измерений разной длительности и результаты измерений усредняются за время $T_{изм}$. А так как циклы имеют разную длительность, веса таких измерений отличаются друг от друга и каждый из них подсчитывается по формуле $r_i = (\sigma_{f1} / \sigma_{fi})^2$, что в данном случае составляет $r_i = (A_i / A_1)^2$.

Известно [5], что дисперсия ошибки среднего весового равна дисперсии единицы веса, делённую на сумму весов наблюдений. Поэтому для устройства, функционирующего согласно диаграммы рис.2, погрешность измерения частоты за один цикл измерения, включающий «вложенные» циклы, будет равна

$$\sigma_{\text{ср.вес}} = \frac{\sigma_{f1}}{\sqrt{1+0,64+0,36+0,16}} = \frac{\sigma_{f1}}{1,47}.$$

Таким образом, при одном и том же времени измерений данный измеритель обладает в 1,47 раза меньшей погрешностью измерения от флуктуационных помех, чем устройство, функционирующее согласно способу измерений по а.с. 392420, что обеспечивает также двукратное повышение быстродействия. Если же количество «вложенных» циклов может быть увеличено по сравнению с диаграммой рис.2 – а целесообразность такого увеличения возможна после оценки степени корреляционных связей между ними – то погрешность измерений может быть ещё более снижена.

Выводы. Показана возможность создания измерителя отклонений фактических значений девиаций частот сигналов ЧТ от их априорно известных номинальных значений. Измеритель обладает малой погрешностью измерений от флуктуационных помех и повышенным быстродействием. Данные, полученные в результате измерений, могут быть использованы при радиомониторинге или радиоконтроле определённых видов радиопередач в качестве идентификационных признаков ИРИ сигналов частотной телеграфии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселёв Д.Н., Перфилов О.Ю. Радиомониторинг и распознавание радиоизлучений. – М.: Горячая линия Телеком, 2015.
2. А.Н. Колесников, С.А. Колесников. Идентификация сигналов источников радиоизлучений на основе метода обучения линейного порогового элемента. Режим доступа http://cybersafetyunit.com/download/pdf/Article_Kolysnikov.pdf (Дата обращения 10.05.2016)
3. Способ измерения отклонения частоты электрических колебаний от номинального значения. Авт.свид. на изобретение 392420 СССР, М.Кл. G 01 г 23/10, Н.К.Тёмкин - № 1653573/18-10, опубл.27.7.1973 Бюлл.№ 32
4. Устройство для измерения частотных параметров электрических сигналов. Авт.свид. на изобретение 1287029 СССР, М.Кл. G 01 г 23/10, Н.К.Тёмкин - №

3382346/24-21, опубл.30.01.87 Бюлл.№ 4

5.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М. Высш.шк., 1999