

1. Общие требования и рекомендации по методам измерений частоты радиопередатчиков всех категорий гражданского применения и контроля ее отклонения

1.1 Общие положения

1.1.1 Контроль допустимого отклонения частоты проводят в соответствии с методиками измерений, методиками испытаний, установленными техническими условиями на конкретные типы радиопередатчиков, которые должны соответствовать требованиям Норм 17-13 и методам измерений, изложенным ниже.

Отклонение частоты излучения радиопередатчика должно удовлетворять требованиям, приведенным в Нормах 17-13, с учетом погрешности, приписанной используемой методике измерений.

1.1.2 Контроль допустимого отклонения частот разрешается проводить по характерной частоте спектра сигнала, с нормированным значением отклонения этой составляющей спектра от центральной частоты излучения. В этом случае должна быть точно определена поправка, которая должна быть введена в результат измерения. Эта поправка должна учитываться при расчете отклонения центральной частоты сигнала от номинального значения.

1.1.3 Основными методами измерения, применяемыми при контроле допустимого отклонения частоты радиопередатчиков, являются:

- метод, основанный на использовании электронно-счётных частотомеров;
- методы с использованием анализаторов спектра;
- метод сравнения измеряемой частоты с частотой эталонного генератора.

Таблица 1

Вид сигнала	Метод измерения			
	Измерение с использованием электронно-счётного частотомера (п. 1.4.1)	Измерение с использованием анализатора спектра, настроенного по частоте развертки (п. 1.5.1)	Измерение с использованием анализатора спектра в режиме быстрого преобразования Фурье (п. 1.5.2)	Измерение с помощью метода сравнения измеряемой частоты с частотой эталонного генератора (п. 1.6.1)
Непрерывная несущая (N0N)	+	+	+	+
Телеграфия Морзе (A1x)		+	+	+
Телеграфия Морзе (A2x; H2x)	+	+	+	+
Радиотелеграфия (F1B; F7B)		+	+	+
Факсимильная связь (F1C)		+	+	+
Радиовещание и радиотелефония (A3E)	+	+	+	+
Радиовещание и радиотелефония (H3E; R3E; B3E)		+	+	+
Радиовещание и радиотелефония (F3E)	+	+	+	
Радиотелефония (J3E)	+ ¹	+	+	
Цифровое радиовещание (COFDM)		+	+	
Аналоговое телевизионное вещание (C3F)	+	+	+	+
Радиорелейная связь с ЧПК (F8E)	+	+	+	
Импульсные радарные сигналы		+	+	
Беспроводные телефонные системы (F1D, F2x, F3E, G3E)		+	+	
Системы МДВР "пункт–множество пунктов"		+	+	
Подвижная радиотелефонная служба (G7W, G7D, G7E, D7W, D7D, D7E)		+	+	
Спутниковые службы и системы радиодоступа для беспроводной передачи данных (D1W, D7W, F1D, F7D, F7W, F7DD, F7WD, G1D, G1E, G1F, G1W, G1X, G2D,		+	+	

G7D, G7E, G7F, G7W, G9D, G9W)				
-------------------------------	--	--	--	--

Примечание: для РЭС с излучением класса J3E предусмотрены специальные схемы измерения (п.п. 1.4.2, 1.4.3).

В таблице 1 отмечены возможности использования того или иного метода измерения частоты для контроля различных видов сигналов.

Измерение отклонения частоты может проводиться с подключением к высокочастотному тракту или дистанционно – без непосредственного подключения к нему (т.н. режим измерений при связи между контролируемым передатчиком и измерительным приемником по полю).

При измерении с подключением к высокочастотному тракту должна быть обеспечена возможность управления режимами работы передатчика для установления рекомендуемого режима работы. Если измерение производится дистанционно, то управление режимами работы передатчика не обязательно, но рекомендуется.

1.1.4 Относительная погрешность, при измерении отклонения частоты, должна быть не более $0,1^1$ нормы допустимого отклонения частоты.

1.1.5 Метрологические характеристики используемых средств измерений и вспомогательного оборудования должны обеспечивать необходимую точность измерений. Конкретные требования к ним должны определяться в соответствующих методиках измерений, уточняющих настоящие методы измерений.

1.2 Условия измерений

1.2.1 Условия окружающей внешней среды: температура и давление окружающей среды, относительная влажность воздуха, определяются рабочими условиями, в которых разрешено использование СИ и вспомогательных средств.

При отличии реальных условий измерения от нормальных, в погрешности измерений должна учитываться дополнительная погрешность.

1.2.2 Испытуемый радиопередатчик должен работать в режиме излучения, указанном в приложении А.

Если установление передатчика в указанный режим невозможно, то измерения производятся в одном из штатных режимов, предусмотренных в ТУ на радиопередатчик.

1.2.3 В ходе измерений необходимо исключить влияние электромагнитных излучений и колебаний посторонних источников на результаты измерений и контроля. Требования к допустимым уровням помеховых излучений должны быть определены в соответствующих методиках измерений, уточняющих настоящие методы измерений.

1.2.4 При измерении отклонения частоты уровень сигнала должен превышать уровень шумов на величину, которая обеспечит требуемую погрешность измерений. Такие требования к минимальному значению отношения сигнал/шум должны задаваться конкретной методикой измерений.

1.2.5 Дополнительные условия при дистанционном измерении отклонения частоты.

Условия окружающей внешней среды:

отсутствие осадков;

воздействие на антенну различных факторов окружающей внешней среды, приводящих к увеличению погрешности измерения (самопроизвольное изменение положения измерительной антенны вследствие воздействия на нее ветровой нагрузки, изменение характеристик антенны при расположении в непосредственной близости от отражающих поверхностей, наличие импульсных и других видов помех), должно быть снижено до такого уровня, когда вызываемая этими факторами дополнительная погрешность не будет превышать допустимой

¹ Для радиопередатчиков станций радиоопределения, работающих в режиме импульсной модуляции короткими импульсами в полосе частот 100-10500 МГц, допустимая точность измерения отклонения частоты одного порядка с контролируемой нормой. Для радиопередатчиков с прямым методом стабилизации допускается производить измерения частоты непрерывного сигнала в промежуточных каскадах, начиная с возбуждателя частоты.

величины, установленной конкретной методикой измерений.

Минимальное расстояние между антенной испытуемого передатчика D_a и антенной измерительной установки $D_{иа}$ должно соответствовать дальней зоне этих антенн и определяется одним из следующих уравнений:

$$r_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda_0}, \text{ если } D_a < 0,4 \times D_{иа} \text{ или } D_{иа} < 0,4 \times D_a, \quad (1)$$

где D – максимальный размер раскрыва наибольшей из антенн, м², или

$$r_{\min} = \frac{5D_a D_{иа}}{\lambda_0}, \text{ если } D_a \approx D_{иа} \quad (2)$$

Для слабонаправленных антенн минимальное расстояние между ними должно удовлетворять условию $r_{\min} \geq \lambda$.

Измерительная антенна должна быть установлена в пространстве в соответствии с поляризацией измеряемого сигнала и ориентирована по максимуму принимаемого сигнала.

1.3 Подготовка к выполнению измерений

1.3.1 При подготовке к проведению измерений проводятся следующие работы:

- рекогносцировка района проведения измерений;
- выбор площадок измерений;
- подготовка необходимой измерительной аппаратуры.

Примечание:

При выборе площадок учитывается характер прилегающей местности (рельеф, растительный покров, застройка и пр.), сведения из предыдущих проверок и сведения от оператора связи.

1.3.2 Непосредственно перед измерениями на каждой измерительной площадке производятся следующие работы:

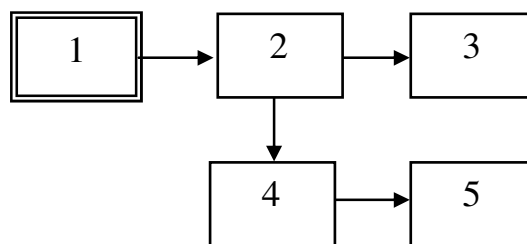
- сбор схемы измерения;
- подготовка СИ к измерениям.

1.3.3 При подготовке СИ их необходимо прогреть в течение времени, указанном в «Руководстве по эксплуатации», при необходимости выполнить настройку и калибровку СИ и измерительных трактов. Вспомогательные устройства необходимо подготавливать в соответствии с правилами, указанными в инструкциях по эксплуатации на эти устройства.

1.4 Контроль допустимого отклонения частоты радиопередатчиков с использованием электронно-счётных частотомеров

1.4.1 Контроль допустимого отклонения частоты радиопередатчиков, основанный на использовании электронно-счётных частотомеров, проводят по схеме подключения оборудования, представленной на рисунке 1.

Допускается подключать электронно-счётные частотомеры к промежуточным каскадам радиопередатчика (возбудителю, предварительному усилителю и др.)



1 – контролируемый радиопередатчик; 2 – устройство связи (направленный ответвитель);

3 – эквивалентное нагрузочное сопротивление (эквивалент антенны); 4 – аттенуатор;

5 – электронно-счётный частотомер.

Рисунок 1 – Схема подключения оборудования при измерении частоты радиопередатчика

с применением электронно-счётного частотомера

Для обеспечения требуемой погрешности измерений возможно использовать частотомер с внешним источником опорной частоты на основе стандарта частоты.

Рабочую частоту радиопередатчика f_n измеряют частотомером (5) с погрешностью не более определённой в п. 1.1.4.

Среднее арифметическое значение Δf_{cp} абсолютных величин разностей между измеренными и присвоенным значениями частоты (Гц) на $n \geq 10$ множестве измерений вычисляют по формуле:

$$\Delta f_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_{ni} - f_n|, \quad (3)$$

где f_{ni} – значение рабочей частоты радиопередатчика, полученное при i -м измерении, Гц;
 f_n – значение присвоенной частоты радиопередатчика, Гц;

Контролируемый передатчик удовлетворяет требованиям Норм, если выполняются условия:

$$\frac{\Delta f_{cp}}{f_n} \leq N \times 10^{-6}, \quad (4)$$

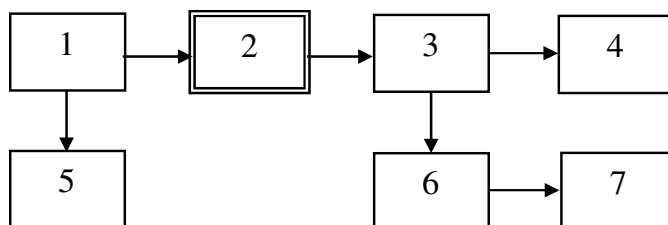
или

$$\Delta f_{cp} \leq N_{abc}, \quad (5)$$

где N и N_{abc} – максимально допустимое отклонение частоты, заданное относительным или абсолютным значением соответственно.

1.4.2 Контроль допустимого отклонения частоты радиопередатчиков с излучениями класса J3E².

Измерения проводят по схеме подключения оборудования, представленной на рисунке 2.



1 – генератор модулирующих сигналов; 2 – контролируемый радиопередатчик (в режиме передачи);

3 – устройство связи (направленный ответвитель); 4 – эквивалентное нагрузочное сопротивление (эквивалент антенны); 5, 7 – электронно-счётные частотомеры; 6 – аттенюатор.

Рисунок 2 – Схема подключения оборудования при измерении частоты радиопередатчика с излучением класса J3E

На вход радиопередатчика подают модулирующий сигнал частотой 1000 Гц с уровнем, при котором выходная мощность радиопередатчика получается равной номинальному значению. Необходимый уровень сигнала на входе измерителя частоты (7) устанавливается аттенюатором (6). Частоту модулирующего сигнала при измерениях поддерживают равной 1000 Гц.

На выходе радиопередатчика измеряют частоту сигнала f_{ni} и определяют отклонение измеренной частоты от присвоенного значения f_n по формуле:

² Измерение отклонения частоты излучений, носящих импульсный характер, (например, излучения судовых РЭС) выполняют с использованием анализатора спектра в соответствии с п. 1.5.

$$\Delta f_{ni} = |f_{ni} - (f_{\pi} \pm 1000)|, \text{ Гц} \quad (6)$$

В формуле (6) «+» соответствует передаче верхней боковой полосы, «-» – передаче нижней боковой полосы.

Повторяют (не менее 10 раз) измерения, и для каждого i -го измерения определяют по формуле (6) отклонение Δf_{ni} .

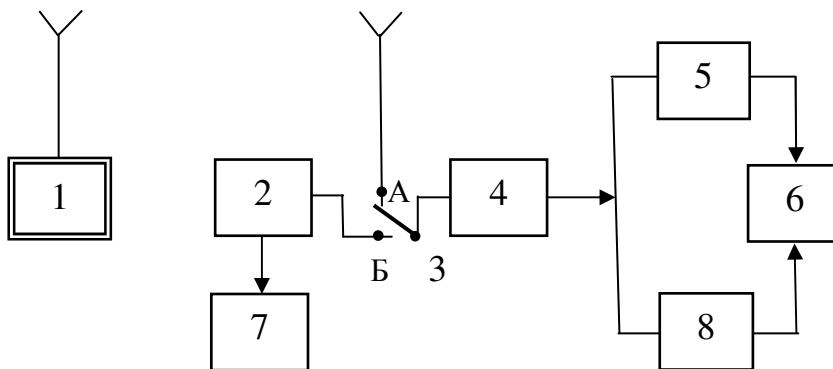
Рассчитывают среднее арифметическое значение разностей между измеренными частотами и присвоенной частотой на множестве измерений $n \geq 10$ по формуле:

$$\Delta f_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta f_{ni}, \quad (7)$$

где Δf_{ni} – определяется по формуле (6).

Контролируемый передатчик удовлетворяет норме, если выполняются условия (4) или (5).

1.4.3 Контроль допустимого отклонения частоты радиопередатчиков с излучениями класса J3E может проводиться дистанционно по схеме подключения оборудования, представленной на рисунке 3.



1 – контролируемый радиопередатчик; 2 – синтезатор частот; 3 – переключатель; 4 – радиоприёмник; 5, 8 – полосовые фильтры, настроенные на первую и вторую гармоники основной частоты речевого спектра; 6 – осциллограф; 7 – электронно-счётный частотомер.

Рисунок 3 – Схема подключения оборудования при дистанционном измерении частоты радиопередатчика с излучением класса J3E

Проводят настройку радиоприёмника (4) (переключатель (3) в положении А), добиваясь максимального значения передаваемого сигнала и устойчивости фигуры Лиссажу на экране осциллографа.

Переключатель (3) переводят в положение Б, частоту синтезатора частот (2) устанавливают по нулевым биениям на выходе усилителя низкой частоты радиоприёмника. Частоту синтезатора частот, которая в этом случае будет равна частоте f_{ni} подавленной несущей, измеряют с помощью электронно-счетного частотомера (7).

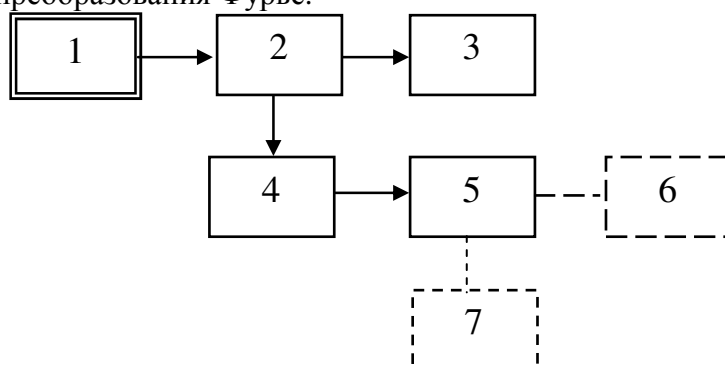
Измерение f_{ni} повторяют не менее 10 раз ($n \geq 10$). Обработку результатов измерений проводят по методике п. 1.4.2. Контролируемый передатчик удовлетворяет норме, если выполняются условия (4) или (5).

1.5 Контроль допустимого отклонения частоты радиопередатчиков с использованием анализатора спектра

1.5.1 Контроль допустимого отклонения частоты радиопередатчика, основанный на использовании анализаторов спектра проводят по схемам подключения оборудования, представленных на рисунках 4 и 6.

Измерения проводят как в режиме с отключенной модуляцией, так и в штатном режиме работы передатчика.

При применении анализатора спектра для измерения отклонения частоты возможно использование двух методов: метод с использованием анализатора спектра, настраиваемого по частоте развертки, и метод с использованием анализатора спектра в режиме быстрого преобразования Фурье.



- 1 – контролируемый радиопередатчик; 2 – устройство связи (направленный ответвитель);
 3 – эквивалентное нагрузочное сопротивление (эквивалент антенны); 4 – аттенюатор;
 5 – анализатор спектра; 6 – внешний частотомер; 7 – стандарт частоты.

Рисунок 4 – Схема подключения оборудования при измерении частоты радиопередатчика с применением анализатора спектра.

1.5.2 Подготовка к измерениям отклонения частоты с использованием анализатора спектра, настраиваемого по частоте развертки, в части, касающейся выбора испытательного сигнала и установки параметров анализатора спектра, проводится в соответствии с методами измерения ширины полосы радиочастот и внеполосных излучений радиопередатчиков, используемых для контроля требований Норм 19-13.

Вычисляют значение присвоенной полосы частот $B_{\text{п}}$ радиопередатчика по формуле:

$$B_{\text{п}} = B_{\text{н}} + (2 \times N_{\text{абс}}), \quad (8)$$

где $B_{\text{п}}$ – значение присвоенной полосы частот, Гц;

$B_{\text{н}}$ – значение необходимой ширины полосы частот, Гц;

$N_{\text{абс}}$ – норма на допустимое отклонение частоты радиопередатчика.

На спектрограмме, отображенной на экране анализатора спектра, находят две точки, лежащие на пересечении выбранного уровня с составляющими спектра сигнала, превышающими этот уровень, и имеющих минимальную и максимальную частоту. Разность значений по оси частот этих двух точек равна $B_{\text{п}}$.

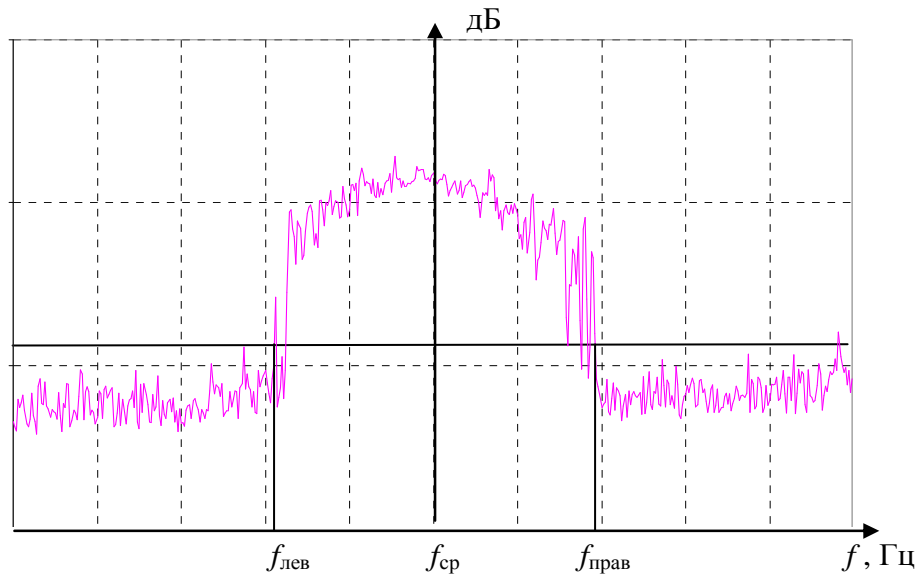


Рисунок 5 – Иллюстрация метода определения $f_{ср}$.

Измеряют значения частот этих точек $f_{лев}$ и $f_{прав}$ (см. рисунок 5). Вычисляют среднюю частоту присвоенной полосы частот $f_{ср.i}$ и её отклонение $\Delta f_{ср.i}$ от присвоенной частоты по формулам:

$$f_{ср.i} = 0,5 \times (f_{лев} + f_{прав}) \quad (9)$$

$$\Delta f_{и.i} = |f_{ср.i} - f_{п}| \quad (10)$$

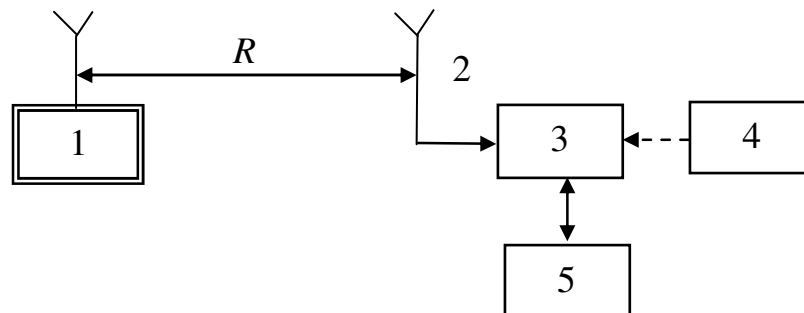
Аналогичную процедуру измерений повторяют n раз ($n \geq 10$).

Для каждого i -го измерения по формуле (10) рассчитывают величину отклонения $\Delta f_{и.i}$.

Рассчитывают среднее арифметическое значение разностей $\Delta f_{и.i}$ на множестве измерений $n \geq 10$ по формуле (7), в которой $\Delta f_{и.i}$ определено по формуле (10).

Контролируемый передатчик удовлетворяет норме, если выполняются условия (4) или (5).

При дистанционном измерении частоты радиопередатчика оборудование подключают по схеме, представленной на рисунке 6.



1 – контролируемый радиопередатчик; 2 – измерительная антенна; 3 – анализатор спектра;
4 – стандарт частоты; 5 – компьютер.

Рисунок 6 – Схема подключения оборудования при дистанционном измерении частоты радиопередатчика с применением анализатора спектра.

При дистанционных измерениях должны соблюдаться условия измерений, приведенные в подразделе 1.1.5.

1.5.3 Метод измерения центральной частоты радиосигналов радиоэлектронных

средств основан на обработке мгновенного спектра радиосигнала с целью определения его средней частоты излучения – «центра тяжести».

Примечание.

При использовании этого метода вводится предположение о том, что «центр тяжести» совпадает с частотой сигнала и спектр сигнала симметричен.

Собирают измерительную установку в соответствии со структурной схемой, приведенной на рисунке 4, если измерение производят с подключением к высокочастотному тракту, или в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 6, если измерение выполняется дистанционно. Анализатор спектра должен работать в режиме быстрого преобразования Фурье для получения мгновенного спектра радиосигнала.

Обработку измерений проводят с помощью специального программного обеспечения, входящего в состав анализатора спектра. Алгоритм обработки заключается в следующем.

По спектрограмме сигнала определяется средний уровень шума и, для уменьшения погрешности измерения, отбрасываются отсчеты с уровнем менее чем на 6 дБ превышающих уровень шума.

Вычисляется приблизительный центр тяжести спектрограммы из условия:

$$\int_{F_{нач}}^{f_0} S(f)df = \int_{f_0}^{F_{кон}} S(f)df, \quad (11)$$

где $F_{нач}$ и $F_{кон}$ – граничные частоты полосы обзора;

S_i – значение спектральных составляющих, мкВт.

Интегрирование осуществляется численным методом. Выполнение условия определяется по изменению знака разности двух интегралов. Номер шага (частоты) k на котором произошла смена знака определяет положение центра тяжести.

Вычисление центральной частоты сигнала осуществляется с помощью линейной интерполяции по формуле

$$f_{иi} = -\frac{a}{b}, \quad (12)$$

где $a = \frac{\Delta I_k - \Delta I_{k-1}}{f_k - f_{k-1}}$, $b = \Delta I_k - \frac{\Delta I_k - \Delta I_{k-1}}{f_k - f_{k-1}} f_k$ – коэффициенты линейной

интерполяции;

ΔI – левый интеграл из выражения (11).

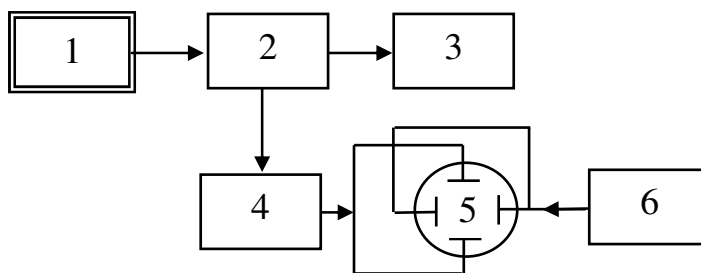
Выполняют не менее $n \geq 10$ наблюдений частоты. Обработку результатов ведут в соответствии с выражением (3).

Контролируемый передатчик удовлетворяет норме, если выполняются условия (4) или (5).

1.6 Контроль допустимого отклонения частоты радиопередатчиков, основанный на методе сравнения измеряемой частоты с частотой генератора эталонной частоты

1.6.1 Измеряемое значение рабочей частоты радиопередатчика $f_{и}$ определяют из условия равенства или известной кратности другой частоте, принимаемой в качестве опорной частоты $f_{оп}$. Для индикации равенства или кратности этих частот применяют осциллограф (осциллографический способ).

Схема подключения оборудования приведена на рисунке 7.



1 – контролируемый радиопередатчик; 2 – устройство связи (направленный ответвитель);
 3 – эквивалентное нагрузочное сопротивление (эквивалент антенны); 4 – аттенуатор; 5 – осциллограф;
 6 – генератор образцовой частоты.

Рисунок 7 – Схема подключения оборудования при измерении частоты радиопередатчика осциллографическим способом

Для определения f_{ii} осциллографическим способом (при i -м измерении) напряжение f_{ii} подают на вход усилителя горизонтального отклонения (синхронизация, вход «X»), а напряжение f_{ii} – на вход усилителя вертикального отклонения осциллографа (вход «Y»). Внутренний генератор развертки осциллографа выключают.

Изменением $f_{оп}$ добиваются получения на экране электроннолучевой трубки неподвижной или медленно вращающейся фигуры Лиссажу. Если последняя представляет собой наклонную прямую, эллипс или окружность, то сравниваемые частоты равны.

Точность измерений зависит от точности градуировки шкалы генератора опорной частоты и от стабильности сравниваемых частот.

Измерения f_{ii} повторяют не менее 10 раз ($n \geq 10$). Обработку результатов измерений проводят по формуле (3).

Контролируемый передатчик удовлетворяет норме, если выполняется одно из условий (4) или (5).

Рекомендуемые режимы работы радиопередатчиков при измерении допустимых отклонений частоты

А.1 Общие положения

А.1.1 Измерения допустимых отклонений частоты перечисленных в таблице А.1 типов передачи проводят с использованием основного эксплуатационного класса излучения передатчика.

А.1.2 Измерения проводят при максимальной скорости передачи для нормальных условий эксплуатации. Во всех случаях, где это возможно, измерения проводят без использования модуляции. Для классов излучения, приведённых в таблице А.1, включают модулирующие частоты, стандартные (максимальные) для данного класса излучения и испытываемой системы. Для обеспечения однозначности результатов измерений в таблице А.1 даны рекомендуемые режимы модуляции.

Таблица А.1

Тип передачи и её характеристика	Обозначение класса излучения	Режим работы радиопередатчика при контроле
Амплитудная модуляция (манипуляция)		
<p>Одна боковая полоса, - несущая подавлена - несущая ослаблена - две независимые боковые полосы.</p> <p>Примечание: Для этих классов излучения при измерениях учитывается «смещение» номинала присвоенной излучению частоты от номинала несущей частоты</p>	<p>J3E R3E</p>	<p>1. Излучение несущей без модуляции. 2. Излучение одной боковой полосы с модулирующей частотой 1000 Гц.</p>
<p>Факсимиле.</p> <p>Одна боковая полоса, несущая ослаблена</p>	R3C	Излучение одной боковой полосы в режиме передачи изображения (чёрного - при негативной модуляции, белого - при позитивной модуляции) при максимальной пиковой мощности огибающей
<p>Многоканальная тональная телеграфия.</p> <p>Одна боковая полоса с ослабленной несущей</p>	R7B	Излучение одной боковой полосы, модулированной в одном из каналов одновременно двумя тонами, при уровне каждого тона, равном 50% значения мощности огибающей. Рекомендуемые модулирующие частоты 400 Гц и 700 Гц.
Телевидение (только изображение), частично подавлена боковая полоса	C3F	Излучение несущей при уровне мощности, соответствующем уровню чёрного поля.

Тип передачи и её характеристика	Обозначение класса излучения	Режим работы радиопередатчика при контроле
Случаи, не предусмотренные выше, например, комбинированная передача телефонии и телеграфии; две независимые боковые полосы	A9W, B9W,	Излучение двух боковых полос, каждая из которых модулирована одним тоном с уровнем, равным 50% значения, соответствующего максимальной пиковой мощности огибающей. Рекомендуются модулирующие частоты 400 Гц и 700 Гц.
Частотная модуляция (манипуляция)		
Телеграфирование одноканальное (включая цифровую передачу)	F1B, F1D	Излучение с максимальной мощностью и максимально возможной скоростью манипуляции.
Двойное частотное телеграфирование	F7B	Излучение одной максимальной из четырёх частот манипуляции
Телеграфирование многоканальное (включая цифровую передачу)	F7D, F7W и подобные	Излучение с максимальной мощностью и максимально возможной скоростью манипуляции.
Телефония, радиовещание, звуковое сопровождение телевидения	F3E	1. Излучение несущей без модуляции. 2. Излучение с максимальной мощностью и модулирующей частотой 3000 Гц
Широкополосный сигнал с частотной манипуляцией поднесущих	F9D, F9W	Излучение всех поднесущих с одинаковым уровнем
Фазовая модуляция (манипуляция)		
Непрерывная фазоманипулированная несущая	G1B G1D G7D G7W	1. Излучение несущей при максимальной мощности (без модуляции). (Примечание: учитывается применяемый характер уплотнения каналов для систем многоканальной передачи) 2. Излучение с максимальной мощностью и максимально возможной скоростью манипуляции.
Широкополосный сигнал с относительной фазовой манипуляцией поднесущих	G9W	Излучение всех поднесущих с одинаковым уровнем при максимальной суммарной мощности (без модуляции)
Импульсная модуляция (манипуляция)		
	Все классы излучения, кроме PON	Излучение серии импульсов при максимальной пиковой мощности огибающей (измеренной при отсутствии модуляции)