ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71741— 2024

ФИЛЬТРЫ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ

Методы измерения параметров частотной характеристики затухания и амплитудно-частотной характеристики

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российский научно-исследовательский институт «Электронстандарт» (АО «РНИИ «Электронстандарт»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 303 «Электронная компонентная база, материалы и оборудование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 октября 2024 г. № 1525-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Метод измерения параметров частотной характеристики затухания 2
4.1 Принцип и режим измерений 2
4.2 Требования к средствам измерения и вспомогательному оборудованию 2
4.3 Подготовка к измерениям 4
4.4 Проведение измерений и обработка результатов 4
4.5 Показатели точности измерения 8
5 Методы измерения параметров амплитудно-частотной характеристики дискриминаторного фильтра 10
5.1 Принцип и режим измерений 10
5.2 Требования к средствам измерения и вспомогательному оборудованию 11
5.3 Подготовка к измерениям 12
5.4 Проведение измерений и обработка результатов 12
5.5 Показатели точности измерений 13
Приложение А (справочное) Метод определения динамической погрешности 15
Приложение Б (справочное) Метод измерения затухания передачи и коэффициента передачи 16
Приложение В (справочное) Метод измерения неравномерности амплитудно-частотной характеристики и временной стабильности выходного уровня напряжения сигнала аппаратуры, применяемой в установках при измерении частотной характеристики затухания и амплитудно-частотной характеристики фильтров 17
Приложение Г (рекомендуемое) Примерный вариант схемы согласующего устройства и расчет затухания передачи, коэффициента передачи и их погрешностей 18

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФИЛЬТРЫ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ

Методы измерения параметров частотной характеристики затухания и амплитудно-частотной характеристики

Piezoelectric and electromechanical filters. Methods for measuring the parameters of the frequency response of attenuation and amplitude-frequency response

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полосовые, режекторные и дискриминаторные пьезоэлектрические и электромеханические фильтры (далее — фильтры) и устанавливает методы измерения следующих параметров частотной характеристики затухания (ЧХЗ) и амплитудно-частотной характеристики (АЧХ):

1) частот среза;
2) средней частоты полосы пропускания (задерживания);
3) относительного затухания на номинальной частоте;
4) подавления несущей;
5) неравномерности затухания;
6) ширины полос пропускания (задерживания) по заданным уровням относительного затухания;
7) коэффициента прямоугольности;
8) гарантированного относительного затухания;
9) относительных отклонений частот срезов;
10) асимметрии ЧХЗ;
11) относительного отклонения средней частоты;
12) относительного отклонения ширины полосы пропускания (задерживания) от номинальной;
13) относительного затухания в побочной полосе пропускания (задерживания);
14) вносимого затухания;
15) затухания передачи;
16) коэффициента передачи;
17) средней частоты рабочей полосы дискриминаторного фильтра;
18) ширины рабочей полосы дискриминаторного фильтра;
19) относительного отклонения ширины рабочей полосы дискриминаторного фильтра;
20) асимметрии АЧХ дискриминаторного фильтра;
21) средней крутизны АЧХ дискриминаторного фильтра;
22) нелинейности АЧХ дискриминаторного фильтра;
23) максимальной ширины рабочей полосы дискриминаторного фильтра.

Общие требования при измерении параметров и требования безопасности для изделий — в соответствии с ГОСТ 71286.

Настоящий стандарт предназначен для применения предприятиями, организациями и другими субъектами научной и хозяйственной деятельности независимо от форм собственности и подчинения, а также федеральными органами исполнительной власти Российской Федерации, участвующими в разработке, производстве, эксплуатации фильтров в соответствии с действующим законодательством.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 57438 Приборы пьезоэлектрические. Термины и определения

ГОСТ Р 71286 Приборы пьезоэлектрические и фильтры электромеханические. Общие требования при измерении параметров

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 57438.

4 Метод измерения параметров частотной характеристики затухания

4.1 Принцип и режим измерений

4.1.1 Измерение параметров ЧХЗ основано на прямом измерении затухания сигнала в фильтре в зависимости от частоты входного сигнала.

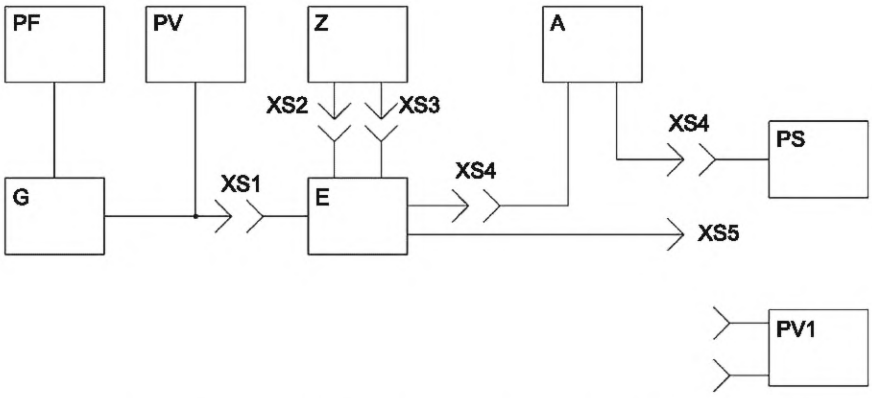
4.1.2 Напряжение на входе фильтра не должно превышать 3 В, если другие значения не установлены в технических условиях (ТУ).

4.1.3 Режимы измерений:

- ручной;
- ручной с автоматическим качанием частоты сигнала;
- автоматический.

4.2 Требования к средствам измерения и вспомогательному оборудованию

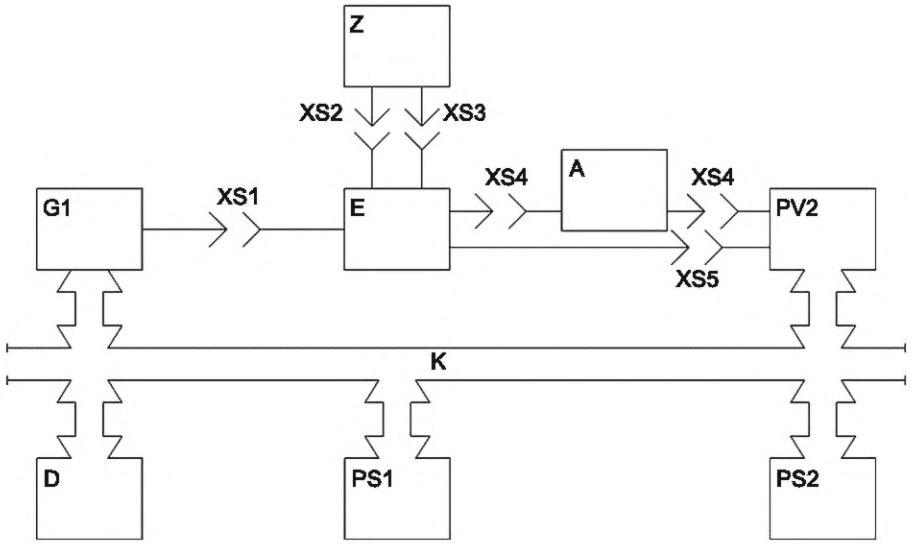
4.2.1 Измерения в ручном режиме следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 1.



PF — частотомер электронно-счетный (при необходимости); G — генератор синусоидальных сигналов; PV — вольтметр; Z — измеряемый фильтр; E — согласующее устройство; A — усилитель (при необходимости); PS — измеритель затуханий; PV1 — вольтметр или измеритель отношений уровней; XS1 — гнездо для подключения генератора; XS2, XS3 — гнезда для подключения фильтра; XS4, XS5 — гнезда для подключения вольтметра или измерителей к выходу и входу фильтра (выходы измерительного и опорного каналов)

Рисунок 1

4.2.2 Измерения в автоматическом режиме следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2.



G1 — генератор синусоидальных сигналов программируемый; D — процессор; Z — измеряемый фильтр; E — согласующее устройство; PS1 — устройство отображения (при необходимости); A — усилитель (при необходимости); PV2 — вольтметр или измеритель отношений уровней цифровой; PS2 — устройство регистрации; XS1 — гнездо для подключения генератора; XS2, XS3 — гнезда для подключения фильтра; XS4, XS5 — гнезда для подключения измерительных приборов к выходам измерительного и опорного каналов; K — цифровой канал

Рисунок 2

4.2.3 Электронно-счетный частотомер должен обеспечивать погрешность измерения частоты в пределах 0,1 от допустимого по ТУ отклонения частоты среза фильтра.

4.2.4 Генератор синусоидального сигнала должен обеспечивать:

- соответствие рабочему диапазону частот фильтра;
- достаточный для контроля гарантированного относительного затухания фильтра уровень сигнала (с учетом минимального затухания в фильтре и ослабления сигнала в согласующем устройстве и кабельных линиях);
- нестабильность уровня за время измерения в пределах 0,1 допустимой неравномерности затухания в полосах пропускания фильтра;
- подавление спектральных составляющих в полосе измерителя затухания на 10 дБ больше гарантируемого относительного затухания фильтра;
- средний уровень шумов $a_ш$, дБ, за пределами полосы $\pm 5 \cdot 10^{-5} f_г$, где $f_г$ — частота генератора, если полоса пропускания измерителя затухания $П_1$ шире этой полосы в соответствии с выражением

$$a_ш < -\left(a_{гар} + 10 \lg \frac{П_1 - 10^{-4} f}{П_2} + 10\right), \quad (1)$$

где $a_{гар}$ — гарантированное относительное затухание фильтра, дБ;

$П_2$ — полоса пропускания анализатора спектра при измерении уровня шумов в сигнале генератора, Гц;

- режим стоп-метки при автоматическом качании частоты.

Примечание — Соответствие генераторов требованиям частоты спектра допускается подтверждать фактическими испытаниями генераторов.

4.2.5 Согласующее устройство должно обеспечивать:

- соответствие ТУ входных и выходных полных нагрузочных сопротивлений фильтра;
- согласование с параметрами измерительной аппаратуры;
- затухание входного сигнала больше, чем гарантированное относительное затухание фильтра на $10 + a_{вн}$, дБ;

- установление и поддержание номинальных значений электрических параметров с погрешностями, в пределах которых обеспечиваются показатели точности измерения параметров ЧХЗ, установленных в ТУ.

4.2.6 Усилитель должен обеспечивать:

- соответствие рабочему диапазону частот фильтра;
- согласование с измерительной аппаратурой;
- соответствие диапазону усиливаемых напряжений;
- частотную нестабильность собственной АЧХ в пределах 0,2 допустимой неравномерности затухания в полосах пропускания фильтра;
- нестабильность коэффициента усиления за время измерения в пределах 0,2 допустимой неравномерности затухания в полосе пропускания фильтра.

4.2.7 Измеритель затуханий должен обеспечивать:

- рабочий диапазон частот фильтра;
- динамический диапазон измеряемых затуханий;
- соответствие сопротивлению кабельной линии с учетом согласующего устройства с подключенным фильтром;
- отсчет показаний в децибелах;
- погрешность измерения относительных затуханий в пределах $\pm 0{,}2\delta_{f_c} \cdot S$, где δ_{f_c} — допустимое относительное отклонение частоты среза от номинала, S — дифференциальная крутизна ЧХЗ фильтра на частоте среза, дБ;
- неравномерность собственной АЧХ в пределах 0,2 допустимой неравномерности затухания в полосах пропускания фильтра;
- погрешность измерения частоты с помощью стоп-метки в пределах 0,2 допуска на отклонение частоты среза от номинала.

4.2.8 Вольтметр или измеритель отношений уровней должен обеспечивать:

- диапазон частот измеряемых напряжений;
- динамический диапазон измеряемых напряжений;
- соответствие выходному сопротивлению согласующего устройства с фильтром;
- погрешность измерения отношения напряжений в двух точках ЧХЗ фильтра в пределах $\pm 0{,}2\delta_{f_c} \cdot S$;
- неравномерность собственной АЧХ в пределах 0,2 допустимой неравномерности затухания в полосах пропускания фильтра.

4.3 Подготовка к измерениям

4.3.1 Подготавливают аппаратуру к работе в соответствии с эксплуатационной документацией.

4.3.2 При измерении на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 1, определяют частоту генератора близкой к номинальной частоте измеряемого фильтра или полосу и время качания частоты.

4.3.3 При измерениях на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2, вводят в программу процессора исходные данные (настраивают программу на измеряемый тип фильтра).

4.3.4 Для измерителей затуханий, не имеющих автоматической установки нуля, проводят калибровку уровня сигнала в соответствии с эксплуатационной документацией.

4.3.5 Установку частоты, время и полосу качания частоты устанавливают в соответствии с ТУ, при этом скорость качания частоты не должна превышать значений, при которых динамические погрешности измерения превышают 30 % основной погрешности.

4.3.6 При измерениях в автоматическом режиме шаг измерения частоты (интервалы частот) устанавливают в соответствии с ТУ с таким расчетом, чтобы в полосе пропускания (задерживания) было не менее 10 точек. При этом учитывают, что размер шага и скорость качания частоты не должны превышать значений, при которых погрешность аппроксимаций и динамическая погрешность измерений превышают в сумме 30 % основной погрешности.

Примечание — Скорость качания частоты и размер шага приведены в приложении А.

4.4 Проведение измерений и обработка результатов

4.4.1 Подключают фильтр к согласующему устройству. Изменением частоты генератора находят частоту минимального затухания $f_{a_{min}}$ в полосе пропускания или другую частоту, установленную в ТУ. Изменением напряжения генератора и регулировкой чувствительности измерителя затуханий

(напряжений) устанавливают показания измерителя затухания или вольтметра на уровень минимального затухания $a_{min}(U_0)$, например 0,10,20 дБ (конец шкалы), если иной не указан в ТУ, принятый в дальнейшем за начальный уровень затуханий (условный «нуль»).

Уменьшением или увеличением частоты генератора относительно $f_{a_{min}}$ измеряют затухание на частотах, заданных в ТУ (номинальной, несущей и т. д.) $a_{f_{ном}}$ ($U_{f_{ном}}$).

Последовательным изменением частоты генератора в сторону ее уменьшения и увеличения относительно $f_{a_{min}}$ по нижнему уровню затухания a_{min} зафиксированному измерителем затуханий с учетом a_{min}, регистрируют по частотомеру нижние и верхние частоты срезов полос пропускания f_{c1}, f_{c2} (для полосового и режекторного фильтров) и f_{c5}, f_{c6} (для режекторного фильтра). Одновременно измеряют максимальное затухание a_{max} между частотами f_{c1} — f_{c2} для полосового фильтра и частотами f_{c5} — f_{c1}, f_{c2} — f_{c6} для режекторного фильтра. При этом для режекторного фильтра регистрируют граничные частоты побочных полос задерживания $\Delta f_{п.п}$ (при их наличии и в соответствии с требованиями ТУ) по уровню a_{max}, если иное не оговорено в ТУ, и максимальное затухание в побочных полосах $a'_{п.п}$ или на частоте побочного резонанса $f_{п.п}$.

Изменением частоты генератора в сторону ее уменьшения и увеличения относительно $f_{a_{min}}$ по верхнему уровню затухания a_2, зафиксированному измерителем затуханий с учетом a_{min}, регистрируют по частотомеру верхние и нижние частоты срезов полос задерживания f_{c3}, f_{c4} (для полосового и режекторного фильтров) и f_{c5}, f_{c6} (для полосового фильтра). Одновременно измеряют минимальное гарантированное затухание $a'_{гар}$ между частотами f_{c3} — f_{c4} для режекторного фильтра и частотами f_{c5} — f_{c3}, f_{c4} — f_{c6} для полосового фильтра. При этом для полосового фильтра регистрируют граничные частоты побочных полос пропускания $\Delta f_{п.п}$ (при их наличии и в соответствии с требованиями ТУ) по уровню $a'_{гар}$, если иное не оговорено в ТУ, и минимальное затухание $a'_{п.п}$ в побочных полосах или на частоте побочного резонанса $f_{п.п}$.

При использовании установки с автоматическим качанием частоты измерения затуханий и частоты проводят с помощью стоп-метки в соответствии с инструкциями по эксплуатации приборов.

4.4.1.1 Частоты срезов f_c, Гц, в ручном режиме измерений определяют прямым отсчетом показаний.

В автоматическом режиме измерений частоту срезов f_c допускается определять по формуле

$$f_c = f_i + (f_{i+1} - f_i)\frac{a_{1(2)} - a_{f_i}}{a_{f_{i+1}} - a_{f_i}}, \quad (2)$$

где f_i, a_{f_i} — измеренные частота и затухание в точке ЧХЗ слева от заданного уровня затухания $a_{1(2)}$ для определяемой частоты среза;

f_{i+1}, a_{i+1} — измеренные частота и затухание в точке ЧХЗ справа от заданного уровня затухания $a_{1(2)}$ для определяемой частоты среза.

Примечание — Допускаются и более сложные аппроксимации частот срезов с применением машинной обработки и большего числа измерений около заданного уровня частоты среза.

4.4.1.2 Среднюю частоту полосы пропускания (задерживания) $f_{ср}$, Гц, определяют по формуле

- полосы пропускания

$$f_{ср} = \frac{f_{c1} + f_{c2}}{2}; \quad (3)$$

- полосы задерживания

$$f_{ср} = \frac{f_{c3} + f_{c4}}{2}, \quad (4)$$

где f_{c1}, f_{c2} — частоты среза по нижнему уровню a_1, Гц;

f_{c3}, f_{c4} — частоты среза по верхнему уровню a_2, Гц.

4.4.1.3 Относительное затухание на номинальной частоте $a_{ном}$, несущей или другой заданной частоты подавления, определяют по формуле

$$a_{ном} = a_{f_{ном}} - a_{min} \quad (5)$$

или

$$a_{ном} = 20\lg\frac{U_{f_{ном}}}{U_0}, \quad (6)$$

где $a_{f_{ном}}(U_{f_{ном}})$ — затухание (уровень напряжения), измеряемое(ый) на номинальной частоте или другой измеряемой частоте;

$a_{min}(U_0)$ — начальный уровень затухания.

4.4.1.4 Неравномерность затухания в полосе пропускания или заданной полосе Δa, дБ, определяют по формуле

$$\Delta a = a_{max} - a_{min}, \quad (7)$$

где a_{max}, a_{min} — максимальное и минимальное (экстремальные) значения затуханий в полосе пропускания.

При измерении неравномерности затухания относительно затухания на заданной частоте Δa, дБ, принимают большее из двух значений, вычисляемых по формуле

$$\Delta a = \pm(a_{зад} - a_{min}) \quad (8)$$

или

$$\Delta a = \pm(a_{зад} - a_{max}), \quad (9)$$

где $a_{зад}$ — затухание, измеренное на заданной частоте.

Примечание — Неравномерность затухания измеряют при наличии не менее трех экстремальных значений затуханий в полосе пропускания, если не заданы иные условия.

4.4.1.5 Ширину полосы пропускания (задерживания) Δf_1 (Δf_2), Гц, определяют по формуле

$$\Delta f_1 = f_{c2} - f_{c1}, \quad (10)$$

$$(\Delta f_2 = f_{c4} - f_{c3}). \quad (11)$$

4.4.1.6 Ширину нижней полосы задерживания (пропускания) по верхнему a_2 (нижнему a_1) уровню относительного затухания фильтра Δf_3, Гц, определяют по формуле

$$\Delta f_3 = f_{c3} - f_{c5}, \quad (12)$$

$$(\Delta f_3 = f_{c1} - f_{c5}), \quad (13)$$

где f_{c5} — нижняя частота полосы задерживания (пропускания) фильтра, Гц.

4.4.1.7 Ширину верхней полосы задерживания (пропускания) по верхнему a_2 (нижнему a_1) уровню относительного затухания фильтра Δf_4, Гц, определяют по формуле

$$\Delta f_4 = f_{c6} - f_{c4}, \quad (14)$$

$$(\Delta f_4 = f_{c6} - f_{c2}), \quad (15)$$

где f_{c6} — верхняя частота среза полосы задерживания (пропускания) фильтра, Гц.

4.4.1.8 Коэффициент прямоугольности полосового (режекторного) фильтра $K_{п.ф}$ определяют по формуле

$$K_{п.ф} = \frac{\Delta f_2}{\Delta f_1}, \quad (16)$$

$$\left(K_{п.ф} = \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2}\right), \quad (17)$$

где Δf_1 — ширина полосы пропускания (задерживания) по нижнему уровню относительного затухания фильтра;

Δf_2 — ширина полосы пропускания (задерживания) по верхнему уровню относительного затухания фильтра.

4.4.1.9 Гарантированное относительное затухание $a_{гар}$, дБ, определяют по формуле

$$a_{гар} = a'_{гар} - a_{min}, \quad (18)$$

где $a'_{гар}$ — минимальное значение затухания в полосах задерживания.

4.4.1.10 Асимметрию ЧХЗ полосового (режекторного) фильтра А, %, определяют по формуле

$$A = \frac{\Delta f'_{2(1)} - \Delta f''_{2(1)}}{2\Delta f_{2(1)}} \cdot 100, \quad (19)$$

где $\Delta f'_{2(1)}$ — полоса частот ниже средней частоты полосового (режекторного) фильтра по верхнему (нижнему) уровню относительного затухания, вычисляемая по формуле

$$\Delta f'_2 = f_{ср} - f_{с3}, \quad (20)$$

$$(\Delta f'_1 = f_{ср} - f_{с1}); \quad (21)$$

$\Delta f''_{2(1)}$ — полоса частот выше средней частоты полосового (режекторного) фильтра по верхнему (нижнему) уровню относительного затухания, вычисляемая по формуле

$$\Delta f''_2 = f_{с4} - f_{ср}, \quad (22)$$

$$\Delta f''_1 = f_{с2} - f_{ср}. \quad (23)$$

4.4.1.11 Относительное отклонение средней частоты полосы пропускания (задерживания) $\delta f_{ср}$ определяют по формуле

$$\delta f_{ср} = \frac{f_{ср} - f_{ном}}{f_{ном}} \quad (24)$$

или $\delta f_{ср}$, %, по формуле

$$\delta f_{ср} = \frac{f_{ср} - f_{ном}}{f_{ном}} \cdot 100, \quad (25)$$

где $f_{ном}$ — номинальное значение частоты фильтра.

4.4.1.12 Относительное отклонение частот срезов $\delta f_с$ определяют по формуле

$$\delta f_с = \frac{f_с - f_{с\ зад}}{f_{ном}} \quad (26)$$

или $\delta f_с$, %, по формуле

$$\delta f_с = \frac{f_с - f_{с\ зад}}{f_{ном}} \cdot 100, \quad (27)$$

где $f_{с\ зад}$ — заданное значение частоты среза.

4.4.1.13 Относительное отклонение ширины полосы пропускания (задерживания) к номинальной частоте $\delta\Delta f$ определяют по формуле

$$\delta\Delta f = \frac{\Delta f - \Delta f_{ном}}{f_{ном}} \quad (28)$$

или $\delta\Delta f$, %, по формуле

$$\delta\Delta f = \frac{\Delta f - \Delta f_{ном}}{f_{ном}} \cdot 100, \quad (29)$$

где Δf — измеренное значение ширины полосы пропускания (задерживания), Гц;

$\Delta f_{ном}$ — номинальное значение ширины полосы пропускания (задерживания), Гц.

4.4.1.14 Относительное затухание в побочной полосе пропускания (задерживания) $a_{п.п}$, дБ, определяют по формуле

$$a_{п.п} = a'_{п.п} - a_{min}, \quad (30)$$

где $a'_{п.п}$ — измеренное значение затухания в побочной полосе.

4.4.1.15 Побочную полосу пропускания (задерживания) $\Delta f_{п.п}$, Гц, определяют по формуле

$$\Delta f_{п.п} = \Delta f_{п.п2} - \Delta f_{п.п1}, \quad (31)$$

где $\Delta f_{п.п2}$, $\Delta f_{п.п1}$ — граничные частоты побочной полосы пропускания (задерживания), измеренные на заданном уровне (правая и левая соответственно).

4.4.2 Измерение вносимого затухания проводят путем измерения затухания (уровня напряжения) на выходном нагрузочном сопротивлении фильтра (гнездо XS4) при закороченных соединительной перемычкой гнездах XS2 и XS3 $a_з(U_з)$, без перемычки с фильтром $a_ф(U_ф)$ на частоте минимального затухания (если другой не установлено в ТУ), или измерением отношений уровней напряжений на выходе и входе фильтра (гнезда XS4 и XS5 соответственно) при закороченных гнездах $U_з/U_{вх}$ и без перемычки $U_ф/U_{вх}$.

Примечание — Требование к перемычке устанавливают в ТУ на конкретные типы фильтров.

4.4.2.1 Вносимое затухание $a_{вн}$, дБ, определяют по формуле

$$a_{вн} = a_{ф} - a_{з}, \quad (32)$$

или

$$a_{вн} = 20\lg\frac{U_{з}}{U_{ф}}, \quad (33)$$

где $a_{ф}(U_{ф})$ — затухание (напряжение), измеренное без соединительной перемычки на выходном нагрузочном сопротивлении фильтра (гнездо XS4);

$a_{з}(U_{з})$ — затухание (напряжение), измеренное с соединительной перемычкой на выходном нагрузочном сопротивлении фильтра (гнездо XS4).

4.4.3 Измерение затухания передачи $a_{пер}$, коэффициента передачи $K_{пер}$ проводят нижеприведенным образом.

На частоте минимального затухания или на другой частоте, установленной в ТУ, переключают измеритель затуханий (уровня напряжения) на входном нагрузочном сопротивлении фильтра (гнездо XS5) и изменением уровня выходного напряжения генератора, при необходимости, и чувствительностью измерителя затухания устанавливают его показания на начальный уровень затухания $a_{min}(U_{0})$, если иной не установлен в ТУ.

Затем переключают вход измерителя затухания (вольтметра) к разъему XS4 (выходное нагрузочное сопротивление фильтра) и регистрируют показания измерителя $a_{ф}(U_{ф})$.

4.4.3.1 Затухание передачи $a_{пер}$, дБ, определяют по формуле

$$a_{пер} = a_{ф} - a_{min}, \quad (34)$$

или

$$a_{пер} = 20\lg\frac{U_{ф}}{U_{0}}, \quad (35)$$

где $a_{ф}(U_{ф})$ — затухание (уровень напряжения) на выходном нагрузочном сопротивлении фильтра (гнездо XS4);

$a_{min}(U_{0})$ — затухание (уровень напряжения) на входном нагрузочном сопротивлении фильтра (гнездо XS5).

4.4.3.2 Коэффициент передачи $K_{пер}$ определяют по формуле

$$K_{пер} = \frac{U_{ф}}{U_{0}}, \quad (36)$$

или

$$K_{пер} = 10^{\frac{a_{ф}-a_{min}}{20}}. \quad (37)$$

Примечание — При необходимости учета затухания и коэффициента передачи, вносимых согласующим устройством с применением несимметричных нагрузок фильтра, расчет $a_{пер}$ и $K_{пер}$ приведен в приложении Б.

4.5 Показатели точности измерения

4.5.1 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится относительная погрешность измерения частот срезов δ_{f_c}, определяемая по формуле

$$\delta_{f_c} = \pm\frac{1{,}96\sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{1{,}73}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_3}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_4}{1{,}73}\right)^2}}{S}, \quad (38)$$

где Δ_1 — абсолютная погрешность измерителя, дБ;

Δ_2 — нестабильность выходного уровня сигнала генератора за время измерения, дБ;

Δ_3 — частотная неравномерность собственной АЧХ измерительной аппаратуры в интервале частот измерения, дБ (приведена в приложении В);

Δ_4 — абсолютная погрешность измерения за счет погрешности установления частоты, определяемая по формуле

$$\Delta_4 = \delta_f \cdot S, \tag{39}$$

где δ_f — относительная погрешность установления частоты (погрешность частотомера);

S — крутизна ЧХЗ в измеряемой точке, определяемая по формуле

$$S = \frac{2h \cdot f_c}{f(h) - f(-h)}, \tag{40}$$

где h — половина симметричного интервала затухания относительно заданного уровня (принимают для нижнего уровня затухания — 1 дБ; для верхнего уровня затухания — 2 дБ);

$f(h)$, $f(-h)$ — граничные значения частот принятого интервала для измерения S.

4.5.2 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится относительная погрешность измерения средней частоты $\delta_{f_{ср}}$, определяемая по формуле

$$\delta_{f_{ср}} = \pm \frac{\sqrt{f_{c1}^2 \cdot \delta_{f_{c1}}^2 + f_{c2}^2 \cdot \delta_{f_{c2}}^2}}{f_{c1} + f_{c2}}, \tag{41}$$

где $\delta_{f_{c1}}$, $\delta_{f_{c2}}$ — погрешности измерения частот срезов, определяемые по формуле (38).

4.5.3 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится относительная погрешность измерения ширины полосы пропускания (задерживания) $\delta\Delta_f$, определяемая по формуле

$$\delta_{\Delta f} = \pm \frac{1{,}96\sqrt{f_{c1}^2 \dot{\sigma}^2[f_{c1}] + f_{c2}^2 \dot{\sigma}^2[f_{c2}]}}{f_{c2} - f_{c1}}, \tag{42}$$

где $\dot{\sigma}^2[f_{c1}]$, $\dot{\sigma}^2[f_{c2}]$ — дисперсии относительной случайной составляющей погрешности измерения частот срезов f_{c1} и f_{c2}, определяемая по формуле

$$\dot{\sigma}^2[f_{c1}],\ \dot{\sigma}^2[f_{c2}] = \sum_{i=1}^{i=10} \left(f_{ci} - \overline{f_c}\right) / 9\overline{f_c}, \tag{43}$$

где f_{ci} — результат i-го (i = 1, 2, … , 10) измерения частоты среза;

$\overline{f_c}$ — среднее арифметическое значение результатов 10 измерений частот срезов;

f_{c2}, f_{c1} — измеренные частоты срезов, по которым определяется полоса пропускания (задерживания).

4.5.4 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью находится абсолютная погрешность относительного (к номинальной частоте) отклонения частот срезов $\Delta\delta_{f_c}$, относительного отклонения ширины полосы пропускания (задерживания) $\Delta\delta_{\Delta f}$, определяемая по формулам (44), (45) соответственно:

$$\Delta\delta_{f_c} = \pm\delta_{f_c}, \tag{44}$$

$$\Delta\delta_{\Delta f} = \pm\delta_{\Delta f}, \tag{45}$$

где δ_{f_c} — погрешность измерения частот срезов, определяемая по формуле (38);

$\delta_{\Delta f}$ — погрешность измерения ширины полосы пропускания (задерживания), определяемая по формуле (42).

4.5.5 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится абсолютная погрешность измерения неравномерности затухания $\Delta_{\Delta a}$, определяемая по формуле

$$\Delta_{\Delta a} = \pm 1{,}96\sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{1{,}73}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_3}{3}\right)^2}. \tag{46}$$

4.5.6 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью находится относительная погрешность измерения коэффициента прямоугольности $\delta_{K_{п.ф}}$, %, определяемая по формуле

$$\delta_{K_{п.ф}} = \pm 1{,}96\sqrt{\frac{f_{c4}^2 \dot{\sigma}^2[f_{c4}] + f_{c3}^2 \dot{\sigma}^2[f_{c3}]}{(f_{c4} - f_{c3})^2} + \frac{f_{c1}^2 \dot{\sigma}^2[f_{c1}] + f_{c2}^2 \dot{\sigma}^2[f_{c2}]}{(f_{c2} - f_{c1})^2}} \cdot 100. \tag{47}$$

4.5.7 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью находится абсолютная погрешность измерения затухания на номинальной (заданной) частоте $\Delta_{a_н}$, подавления несущей $\Delta_{a_н}$, вносимого затухания $\Delta_{a_{вн}}$, затухания передачи $\Delta_{a_{пер}}$, гарантированного затухания $\Delta_{a_{гар}}$, затухания в побочной полосе $\Delta_{a_{п.п}}$, определяемая по формуле

$$\Delta_{a_{(...)}} = \pm 1{,}96\sqrt{\dot{\sigma}^2\left[\dot{\Delta}_{a_1}\right] - \dot{\sigma}^2\left[\dot{\Delta}_{a'_1}\right]}, \tag{48}$$

где $\dot{\sigma}^2\left[\dot{\Delta}_{a_1}\right]$, $\dot{\sigma}^2\left[\dot{\Delta}_{a'_1}\right]$ — дисперсии случайной составляющей абсолютной погрешности измерения затуханий в точках, соответствующих верхнему a_1 и нижнему a'_1 значениям измеряемых затуханий, определяемые по серии из 10 измерений по формуле

$$\dot{\sigma}^2\left[\dot{\Delta}_{a_1}\right],\ \dot{\sigma}^2\left[\dot{\Delta}_{a'_1}\right] = \sum_{i=1}^{i=10} a'_{1(1)} - \overline{a}'_{1(1)} \,/\, 9\overline{a}'_{1(1)}, \tag{49}$$

где $a'_{1(1)}$ — результат i-го (1, 2, …, 10) измерения затуханий a'_1 или a_1;

$\overline{a}'_{1(1)}$ — среднее арифметическое значение результатов 10 измерений затуханий a'_1 или a_1.

4.5.8 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится абсолютная погрешность измерения асимметрии ЧХЗ в полосе пропускания (задерживания) Δ_A, определяемая по формулам:

- в полосе пропускания

$$\Delta_A = \pm\frac{\sqrt{2\left(f_{c1}^2\dot{\sigma}^2\left[f_{c1}\right] + f_{c2}^2\dot{\sigma}^2\left[f_{c2}\right]\right)}}{f_{c1} - f_{c2}}; \tag{50}$$

- в полосе задерживания

$$\Delta_A = \pm\frac{\sqrt{2\left(f_{c3}^2\dot{\sigma}^2\left[f_{c3}\right] + f_{c4}^2\dot{\sigma}^2\left[f_{c4}\right]\right)}}{f_{c3} - f_{c4}}, \tag{51}$$

где $\dot{\sigma}^2\left[f_{c1(3)}\right]$, $\dot{\sigma}^2\left[f_{c2(4)}\right]$ — дисперсии относительной случайной составляющей погрешности измерения частот срезов f_{c1}, f_{c2}, f_{c3}, f_{c4}, определяемые по формуле (43).

4.5.9 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится относительная погрешность измерения коэффициента передачи $\delta_{K_{пер}}$, %, определяемая по формуле

$$\delta_{K_{пер}} = \pm 1{,}64\sqrt{2\left(\frac{\delta_и}{1{,}73}\right)^2 + \left(\delta_{K_{с.у}}\right)^2}, \tag{52}$$

где $\delta_и$ — погрешность измерителя;

$\delta_{K_{с.у}}$ — погрешность, вносимая согласующим устройством (см. приложение Г).

5 Методы измерения параметров амплитудно-частотной характеристики дискриминаторного фильтра

5.1 Принцип и режим измерений

5.1.1 Измерение параметров АЧХ дискриминаторного фильтра основано на измерении уровня напряжения постоянного тока на выходе фильтра в зависимости от частоты на входе фильтра.

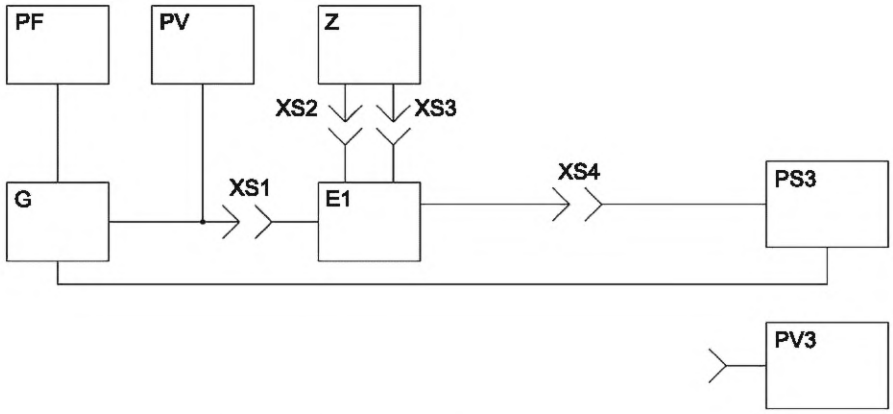
5.1.2 Напряжение сигнала на входе фильтра не должно превышать значения, установленного в ТУ на фильтры конкретных типов.

5.1.3 Режимы измерений:

- ручной;
- ручной с автоматическим качанием частоты;
- автоматический.

5.2 Требования к средствам измерения и вспомогательному оборудованию

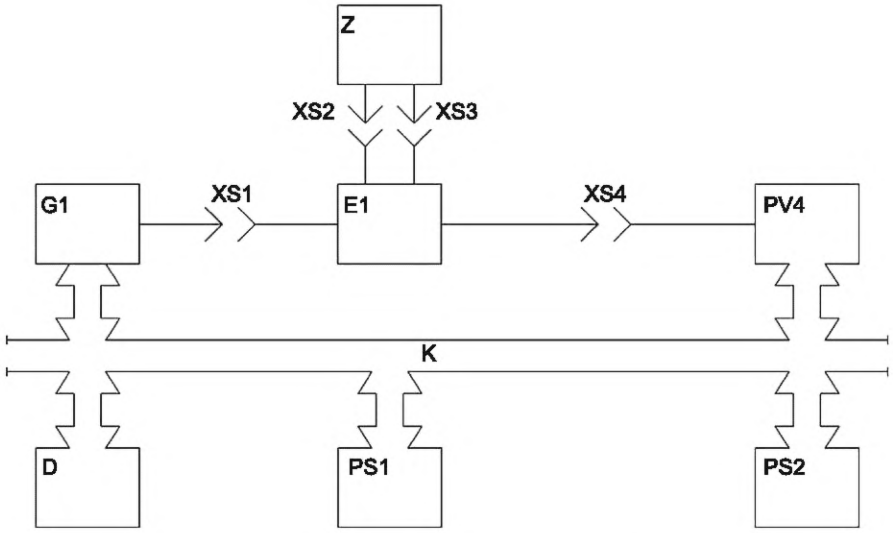
5.2.1 Измерения в ручном режиме следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 3.



PF — частотомер электронно-счетный (при необходимости); G — генератор синусоидальных сигналов; PV — вольтметр; Z — измеряемый фильтр; E1 — согласующее устройство; PS3 — измеритель АЧХ; PV3 — вольтметр постоянного тока; XS1 — гнездо для подключения генератора; XS2, XS3 — гнезда для подключения фильтра; XS4 — гнездо для подключения измерителя АЧХ или вольтметра постоянного тока к выходу фильтра

Рисунок 3

5.2.2 Измерения в автоматическом режиме следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 4.



G1 — генератор синусоидальных сигналов программируемый; D — процессор; Z — измеряемый фильтр; E1 — согласующее устройство; PS1 — устройство отображения; PV4 — вольтметр постоянного тока цифровой; PS — регистрирующее устройство; XS1 — гнездо для подключения генератора; XS2, XS3 — гнезда для подключения фильтра; XS4 — гнездо для подключения вольтметра постоянного тока к выходу фильтра; K — цифровой канал

Рисунок 4

5.2.3 Генератор синусоидальных сигналов должен обеспечивать:

- соответствие рабочей полосе частот дискриминаторного фильтра;
- соответствие выходного уровня требованиям ТУ;
- соответствие сопротивлению кабельной линии;
- частотную неравномерность выходного уровня в пределах 0,1 поля допуска на нелинейность АЧХ фильтра.

5.2.4 Согласующее устройство должно обеспечивать:

- соответствие полным (входному и выходному) нагрузочным сопротивлениям фильтра;
- соответствие входным и выходным сопротивлениям измерительной аппаратуры и кабельных линий;
- отклонение электрических параметров от номинальных значений в пределах, в которых погрешности измерения параметров АЧХ фильтра не превышают 0,1 допусков, установленных в ТУ.

5.2.5 Измеритель АЧХ должен обеспечивать:

- соответствие диапазону измеряемых напряжений;
- соответствие выходному сопротивлению нагрузки согласующего устройства;
- относительную погрешность измерения напряжений в пределах 0,1 поля допуска на нелинейность АЧХ фильтра.

5.2.6 Вольтметр постоянного тока должен обеспечивать:

- соответствие диапазону измеряемых напряжений;
- соответствие выходному сопротивлению нагрузки согласующего устройства;
- относительную погрешность измерения напряжений в предела 0,1 поля допуска на нелинейность АЧХ фильтра.

5.3 Подготовка к измерениям

5.3.1 Подготавливают аппаратуру в соответствии с эксплуатационной документацией.

5.3.2 При измерениях на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 3, устанавливают частоту генератора или полосу и время качания.

Скорость изменения частоты не должна превышать значений, при которых динамические погрешности измерений превышают 30 % основной погрешности.

5.3.3 При измерениях на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 4, настраивают программу на измеряемый тип фильтра.

Размер шага и скорость измерения частоты не должны превышать значений, при которых погрешность аппроксимаций и динамическая погрешность измерения превышают 30 % основной погрешности.

5.4 Проведение измерений и обработка результатов

5.4.1 Устанавливают напряжение выходного сигнала генератора на разъеме XS1 по уровню и частоте в соответствии с ТУ.

Подключают фильтр к согласующему устройству.

Устанавливают и регистрируют частоту генератора, равной средней частоте фильтра $f_{ср}$, при которой АЧХ фильтра проходит через нуль напряжения $U_0 = 0$.

Перестраивая частоту генератора вниз, затем вверх по отношению к средней частоте, регистрируют частоты f_{c_1}, f_{c_3}, f_{c_2}, f_{c_4}, соответствующие заданному и максимальному значениям выходного напряжения U_{c_1}, U_{c_3}, U_{c_2}, U_{c_4}.

Примечание — При автоматическом качании частоты напряжения частоты регистрируют при помощи стоп-метки либо в соответствии с указаниями, приведенными в эксплуатационной документации.

5.4.2 При измерении на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 4, среднюю частоту $f_{ср}$ и частоту срезов f_c допускается измерять при напряжениях, ближних по значению, слева и справа от заданных уровней.

5.4.2.1 Среднюю частоту $f_{ср}$, Гц, определяют по формуле

$$f_{ср} = \frac{f_i U_i + f_{i+1} U_{i+1}}{U_i + U_{i+1}}, \tag{53}$$

где f_i, U_i — частота и напряжение в точке АЧХ первой слева от перехода АЧХ через нуль, Гц, В;

f_{i+1}, U_{i+1} — частота и напряжение в точке АЧХ первой справа от перехода АЧХ через нуль, Гц, В.

5.4.2.2 Частоты срезов f_c, Гц, определяют по формуле

$$f_c = \frac{f_{i+1}\left(U_c - U_{f_i}\right) + f_i\left(U_{f_{i+1}} - U_c\right)}{U_{f_{i+1}} - U_{f_i}}, \tag{54}$$

где f_i, U_{f_i} — частота и напряжение в точке АЧХ слева от заданного уровня напряжения для определяемой частоты среза;

f_{i+1}, $U_{f_{i+1}}$ — частота и напряжение в точке АЧХ справа от заданного уровня напряжения для определяемой частоты среза.

5.4.3 Ширину рабочей полосы $\Delta f_р$, Гц, определяют по формуле

$$\Delta f_р = f_{с_1} - f_{с_2}, \quad (55)$$

где $f_{с1}$, $f_{с2}$ — частоты, измеренные при заданных уровнях напряжения.

5.4.4 Максимальную ширину рабочей полосы Δf_g, Гц, дискриминаторного фильтра определяют по формуле

$$\Delta f_g = f_{с4} - f_{с3}, \quad (56)$$

где $f_{с4}$, $f_{с3}$ — частоты срезов фильтра, определяемые по максимальному значению выходного напряжения.

При измерениях в соответствии с 5.4.2 определяют по интерполяционным формулам программы на конкретный тип фильтра.

5.4.5 Относительное отклонение ширины рабочей полосы $\delta\Delta_{f_р}$ определяют по формуле

$$\delta\Delta f_р = \frac{\Delta f_р - \Delta f_{р\ зад}}{f_{ном}}, \quad (57)$$

где $\Delta f_{р\ зад}$ — заданное значение ширины рабочей полосы, Гц.

5.4.6 Среднюю крутизну АЧХ дискриминаторного фильтра $S_{ср}$, В/Гц, определяют по формуле

$$S_{ср} = \frac{2U_{вых}}{f_{с2} - f_{с1}}, \quad (58)$$

где $U_{вых}$ — модуль выходного напряжения на границах рабочей полосы, по которому определялись $f_{с1}$, $f_{с2}$.

5.4.7 Определение нелинейности АЧХ проводят следующим образом: измеряют выходное напряжение в рабочей полосе фильтра через равные частотные интервалы ΔF, установленные в ТУ, но не менее 10 интервалов, и регистрируют $U_{i...n}$ при $f_{i...n}$.

Нелинейность АЧХ $S_{отн}$, %, определяют по формуле

$$S_{отн} = \frac{S_{ср} - S_{max}}{S_{ср}} \cdot 100, \quad (59)$$

где S_{max} — максимальная дифференциальная крутизна АЧХ, определяемая на участке (интервале) АЧХ с наибольшим приращением выходного напряжения, как отношение

$$S_{max} = \frac{\Delta U}{\Delta F}, \quad (60)$$

где ΔF — принятый интервал частот при измерениях АЧХ;

ΔU — приращение напряжения на принятом интервале ΔF.

5.4.8 Асимметрию АЧХ фильтра A, %, определяют по формуле

$$A = \frac{\Delta f_1' - \Delta f_1''}{\Delta f_р} \cdot 100, \quad (61)$$

где $\Delta f_1'$ — полоса частот ниже средней частоты режекторного фильтра по нижнему уровню относительного затухания, определяемая по формуле (21);

$\Delta f_1''$ — полоса частот выше средней частоты режекторного фильтра по нижнему уровню относительного затухания, определяемая по формуле (23).

5.5 Показатели точности измерений

5.5.1 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится относительная погрешность измерения средней частоты рабочей полосы фильтра $\delta_{f_{ср}}$ и частот срезов $\delta_{f_с}$, определяемая по формуле

$$\delta_{f_{ср}}, \delta_{f_с} = \pm \frac{1{,}96\sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{1{,}73}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_4}{1{,}73}\right)^2}}{S_{ср} \cdot f_{ном}}, \quad (62)$$

где Δ_1 — погрешность измерения напряжения, В;

Δ_2 — нестабильность выходного уровня сигнала генератора за время измерения, В;

Δ_4 — абсолютная погрешность измерения за счет погрешности установления частоты, определяемая

$$\Delta_4 = \delta_f \cdot S_{ср} \cdot f_{ном}, \quad (63)$$

где $S_{ср}$ — средняя крутизна АЧХ, В/Гц;

$f_{ном}$ — номинальное значение средней частоты.

5.5.2 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится относительная погрешность измерения ширины рабочей полосы $\delta_{\Delta fр}$, определяемая по формуле

$$\delta_{\Delta f_р} = \frac{\sqrt{f_{с2}^2 \cdot f_{с1}^2}}{\Delta f_р} \cdot \delta_{f_с}, \quad (64)$$

где $\delta_{f_с}$ — погрешность определения частот срезов, определяемая по формуле (62).

5.5.3 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится абсолютная погрешность измерения относительного отклонения ширины рабочей полосы $\Delta_{\delta\Delta f}$, определяемая по формуле

$$\Delta_{\delta\Delta f} = \pm\delta_{\Delta f_р} \quad (65)$$

или $\Delta_{\delta\Delta f}$, %, по формуле

$$\Delta_{\delta\Delta f} = \pm\delta_{\Delta f_р} \cdot 100. \quad (66)$$

5.5.4 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится погрешность измерения средней крутизны $\delta_{S_{ср}}$, %, определяемая по формуле

$$\delta_{S_{ср}} = \pm 1{,}96\sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{U_{вых} \cdot 1{,}73}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\Delta f_р}}{1{,}96}\right)^2}, \quad (67)$$

где $\delta_{\Delta f_р}$ — погрешность измерения ширины рабочей полосы, определяемая по формуле (64).

5.5.5 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится абсолютная погрешность измерения нелинейности АЧХ $\Delta_{S_{отн}}$, %, определяемая по формуле

$$\Delta_{S_{отн}} = \pm\frac{1{,}96 \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{1{,}73}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_4}{1{,}73}\right)^2}}{S_{ср} \cdot \Delta F}, \quad (68)$$

где ΔF — принятый интервал частот при измерениях нелинейности АЧХ.

5.5.6 Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится абсолютная погрешность измерения асимметрии АЧХ Δ_A, %, определяемая по формуле

$$\Delta_A = \pm\sqrt{2}\left(\frac{0{,}65\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_4^2}}{S_{ср} \cdot \Delta f_р}\right) \cdot 100, \quad (69)$$

где $\Delta f_р$ — абсолютная погрешность измерения ширины рабочей полосы.

Приложение А
(справочное)

Метод определения динамической погрешности

А.1 Настоящее приложение устанавливает метод экспериментального определения динамической погрешности и позволяет определить скорость качания частоты и размер шага (интервала) частоты при измерениях в режимах с автоматическим качанием частоты.

А.2 Проведение измерений

Измерения проводят на установке, применяемой для контроля фильтров.

Устанавливают фильтр конкретного типа в согласующее устройство.

В ручном режиме измеряют частоты среза f_{c1} у полосового фильтра по уровню a_1 или f_{c2} — у режекторного фильтра по уровню a_2.

Затем устанавливают качание частоты (снизу вверх) с заданной скоростью или с заданным шагом изменения и скоростью и повторно измеряют эти же частоты f'_{c1} или f'_{c2}.

А.3 Обработка результатов

А.3.1 Абсолютную динамическую погрешность $\Delta' f_{c1}$ или $\Delta' f_{c2}$, Гц, определяют по формулам (А.1), (А.2) соответственно:

$$\Delta' f_{c1} = f'_{c1} - f_{c1}, \tag{А.1}$$

$$\Delta' f_{c2} = f'_{c2} - f_{c2}. \tag{А.2}$$

А.3.2 Относительную (к основной) динамическую погрешность $\delta'_{f_{c1}}$ или $\delta'_{f_{c2}}$, %, определяют по формулам (А.3), (А.4) соответственно:

$$\delta'_{f_{c1}} = \frac{\Delta' f_{c1}}{\Delta f_{c1}} \cdot 100, \tag{А.3}$$

$$\delta'_{f_{c2}} = \frac{\Delta' f_{c2}}{\Delta f_{c2}} \cdot 100. \tag{А.4}$$

А.3.3 Скорость качания частоты и шаг частоты, при которых выполняется условие

$$\Delta' f_{c1}\left(\delta'_{f_{c1}}\right) \le \frac{1}{3}\Delta f_{c1}\left(\delta_{f_{c1}}\right), \tag{А.5}$$

принимают при измерениях.

Приложение Б
(справочное)

Метод измерения затухания передачи и коэффициента передачи

Б.1 Настоящее приложение устанавливает метод измерения и расчет затухания передачи и коэффициента передачи, при необходимости, учета затухания, вносимого согласующим устройством, при измерении параметров фильтров, у которых входное сопротивление не равно выходному $R_{вх} \neq R_{вых}$.

Б.2 Принцип и условия измерения

Принцип и условия измерения по 4.1.

Б.3 Требования к средствам измерения и вспомогательному оборудованию

Аппаратура по 4.2.

Б.4 Подготовка к измерениям

Подготовка к измерениям по 4.3.

Б.5 Проведение измерений и обработка результатов

Б.5.1 На частоте минимального затухания $f_{a_{min}}$, если другая не указана в ТУ, переключают измеритель затуханий (уровня напряжения) ко входу фильтра (гнездо XS5) и изменением уровня выходного напряжения генератора, при необходимости, и чувствительностью измерителя затухания, устанавливают его показания на исходный уровень $a_0(U_0)$, как правило, 0 дБ (или конец шкалы, если измеряют напряжение вольтметром).

Затем переключают вход измерителя к разъему XS4 (на входное нагрузочное сопротивление фильтра) и регистрируют показание измерения $a_ф(U_ф)$.

Б.5.2 Затухание передачи $a_{пер}$, дБ, определяют по формуле

$$a_{пер} = a_ф - a_0 - a_{с.у}, \quad (Б.1)$$

$$a_{пер} = 20\lg\frac{U_ф}{U_0} - a_{с.у}, \quad (Б.2)$$

где $a_ф(U_ф)$ — затухание (напряжение) на выходном нагрузочном сопротивлении фильтра;

$a_0(U_0)$ — затухание (напряжение) на входном нагрузочном сопротивлении фильтра;

$a_{с.у}$ — затухание в согласующем устройстве, где учитываются ослабление до входа фильтра (обычно 6 дБ), ослабления на выходах опорного канала и согласующего звена, а также отношение входного нагрузочного сопротивления фильтра к выходному $R_{вх}/R_{вых}$.

При измерениях непосредственно на выходе фильтра при наличии гнезда XS6 (см. приложение Г) и при условии принимаемого равенства ослаблений на входе фильтра и на выходе опорного канала затухания $a_{с.у}$ определяют по формуле

$$a_{с.у} = -10\lg\frac{R_{вых}}{R_{вх}}. \quad (Б.3)$$

Пример расчет $a_{с.у}$ приведен в приложении Г.

Б.5.3 Коэффициент передачи $K_{пер}$ определяют по формуле

$$K_{пер} = K_{с.у}^{-1}\frac{U_ф}{U_0}, \quad (Б.4)$$

где $K_{с.у}$ — коэффициент передачи согласующего устройства, учитывающий ослабление сигнала до входа фильтра (обычно в два раза), а также отношение коэффициентов передач на входе опорного канала и выходе согласующего устройства.

При измерениях непосредственно на выходе фильтра при наличии гнезда XS6 (см. приложение Г) при условии равенства ослаблений сигнала на входе фильтра и выходе опорного канала коэффициент $K_{с.у}$ равен 1.

Пример расчета $K_{с.у}$ приведен в приложении Г.

Приложение В
(справочное)

Метод измерения неравномерности амплитудно-частотной характеристики и временной стабильности выходного уровня напряжения сигнала аппаратуры, применяемой в установках при измерении частотной характеристики затухания и амплитудно-частотной характеристики фильтров

В.1 Настоящее приложение устанавливает метод экспериментального определения погрешностей Δ_3 и Δ_2, применяемых при расчетах суммарной погрешности измерения параметров ЧХЗ и АЧХ фильтров, если они не приведены в эксплуатационной документации.

В.2 Проведение измерений

На установке, применяемой для контроля параметров фильтров, проводят измерения следующим образом:

- гнезда для подключения фильтров XS2 и XS3 закорачивают перемычкой и регулировкой выходного уровня генератора, на частоте $f_{ном}$, устанавливают показания измерителя затухания или вольтметра, принятое за начальный уровень отсчета при измерениях ЧХЗ фильтра. Затем устанавливают частоту генератора, равную частоте среза f_{c1} и регистрируют показание измерителя затухания (вольтметра) a'_1 (U'_1), перестраивая генератор на частоту f_{c2}, показание измерителя затухания (вольтметра) a''_1 (U''_1).

Проводят не менее 10 повторных измерений $a'_1 \ldots a'_{10}$ ($U'_1 \ldots U'_{10}$) и $a''_1 \ldots a''_{10}$ ($U''_1 \ldots U''_{10}$).

В.3 Обработка результатов

В.3.1 Неравномерность собственной АЧХ применяемой аппаратуры Δ_3, дБ, определяют по формуле

$$\Delta_3 = |\overline{a}' - \overline{a}''| \qquad (В.1)$$

или

$$\Delta_3 = \left| 20 \lg \frac{\overline{U}'}{\overline{U}''} \right|, \qquad (В.2)$$

где $\overline{a}'(\overline{U}')$ и $\overline{a}''(\overline{U}'')$ — среднеарифметические значения показаний измерителя затуханий или вольтметра на частоте среза f_{c1} и f_{c2} соответственно.

В.3.2 Нестабильность выходного уровня генератора Δ_2, дБ, определяют по формуле

$$\Delta_2 = \frac{3(\sigma' + \sigma'')}{2}, \qquad (В.3)$$

где σ' и σ'' — среднеарифметические отклонения показаний определяют по формулам:

$$\sigma' = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{i=10} \left(a'_i - \overline{a'} \right)^2 \right) / (n-1)}, \qquad (В.4)$$

$$\sigma'' = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{i=10} \left(a''_i - \overline{a}'' \right)^2 \right) / (n-1)}, \qquad (В.5)$$

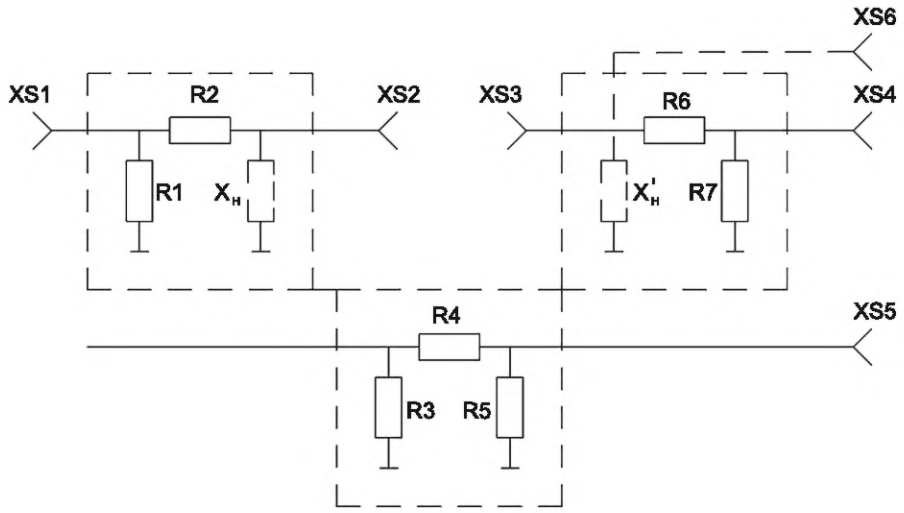
где a'_i и a''_i — отдельные показания измерений затуханий на частотах f_{c1} и f_{c2} соответственно;

n — количество измерений a_i.

Приложение Г
(рекомендуемое)

Примерный вариант схемы согласующего устройства и расчет затухания передачи, коэффициента передачи и их погрешностей

Г.1 Для получения входного и выходного нагрузочных полных сопротивлений фильтра, соответствующих указанным в стандартах или ТУ на фильтр конкретного типа, а также для подключения к согласующему устройству измерительной аппаратуры с входными и выходными сопротивлениями, менее указанных в стандартах или ТУ на фильтр конкретного типа, применяют схему соединения элементов согласующего устройства, приведенную на рисунке Г.1.



XS1 — гнездо для подключения генератора; XS2, XS3 — гнезда для подключения фильтра; XS4, XS5 — гнезда для подключения аппаратуры для измерения ослабленных уровней напряжений на выходе фильтра и на входе согласующего устройства; R1—R7 — сопротивления; $X_н$, $X'_н$ — реактивные составляющие входного и выходного нагрузочных полных сопротивлений $Z_{вх}$, $Z_{вых}$

Рисунок Г.1

Г.2 Затухание передачи $a_{с.у}$, дБ, вносимое согласующим устройством, определяют по формуле

$$a_{с.у} = 20\lg\left(\frac{R_5}{R_4 \cdot r + R_5 \cdot r + R_4 \cdot R_5} \cdot \frac{R_6 \cdot r + R_7 \cdot r + R_6 \cdot R_7}{R_7}\right) - 10\lg\left[-\frac{R_6 + \frac{R_7 \cdot r}{R_7 + r}}{\left(R_2 + \frac{r_л}{2} \cdot 4\right)}\right], \quad (Г.1)$$

где r — входное сопротивление измерителя;

$r_л$ — сопротивление кабельной линии со стороны генератора.

Примеры

1 Фильтр с одинаковыми нагрузочными полными сопротивлениями, т. е.

$$R_2 + \frac{r_л}{2} = R_6 + \frac{R_7 \cdot r}{R_7 + r}, \quad (Г.2)$$

и согласующее устройство следует взять с равными сопротивлениями

$$R_4 = R_6 \text{ и } R_5 = R_7.$$

Имеем $a_{с.у}$ = 6 дБ.

2 Согласующее устройство для фильтра с затуханием передачи 12 дБ с учетом возможности измерения затухания передачи по близким показаниям прибора (уменьшается инструментальная погрешность и исключается необходимость в переключении пределов измерений при переходе с выхода на вход согласующего устройства) для этого

$$20\lg\left(\frac{R_5}{R_7} \cdot \frac{R_6 \cdot r + R_7 \cdot r + R_6 \cdot R_7}{R_4 \cdot r + R_5 \cdot r + R_4 \cdot R_5}\right)$$

взято равным — 18 дБ.

Имеем $a_{с.у}$ = –18 + 6 = –12 дБ.

При измерениях на входе и выходе согласующего устройства при равных показаниях расчетом затухания передачи получают 12 дБ.

Г.3 Допустимое абсолютное отклонение вносимого затухания передачи от расчетного значения $\Delta a_{с.у}$, дБ, определяют по формуле

$$\Delta a_{с.у} = \pm \frac{|\delta R| \sqrt{n}}{12}, \quad (Г.3)$$

где δR — допустимое относительное отклонение сопротивлений от номинальных значений, %;

n — количество сопротивлений (резисторов), влияющих на погрешность.

Пример — Сопротивление резисторов имеют допустимое относительное отклонение от номинальных значений ±5 %.

Имеем $\Delta a_{с.у} = \pm \frac{5\sqrt{6}}{12} = \pm 1$ ***дБ.***

Г.4 Коэффициент передачи, вносимый согласующим устройством, определяют по формуле

$$K_{с.у} = \frac{R_6}{2R_4} \cdot \frac{R_4 \cdot r + R_5 \cdot r + R_4 \cdot R_5}{R_6 \cdot r + R_7 \cdot r + R_6 \cdot R_7}, \quad (Г.4)$$

Пример — $R_4 = R_6$ и $R_5 = R_7$. Имеем $K_{с.у} = \frac{1}{2}$.

Г.5 Допустимое относительное отклонение коэффициента передачи, вносимого согласующим устройством $\delta K_{с.у}$, %, определяют по

$$\delta K_{с.у} = \pm \sqrt{n} \cdot \delta R. \quad (Г.5)$$

Пример — Сопротивления имеют допуск ±5 %.

Имеем $\delta K_{с.у}$ = ±12,25 %. $\delta K_{с.у} = \pm \sqrt{6} \cdot 5 = \pm 12,25$ ***%.***

УДК 621.372.542:006.354 ОКС 31.140

Ключевые слова: фильтры пьезоэлектрические, фильтры электромеханические, методы измерения параметров, частотная характеристика затухания, фазовый сдвиг, амплитудно-частотная характеристика

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 30.10.2024. Подписано в печать 22.11.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru