

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ (АЭУ). ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭУ

1. 1. Общие сведения об аналоговых электронных устройствах (АЭУ), принципы их построения

Аналоговые сигналы

Аналоговые устройства предназначены для обработки электрических аналоговых сигналов. Характерной особенностью аналогового сигнала является то, что он полностью подобен – «аналогичен» – порождающему его физическому процессу. Аналоговый сигнал задан на континууме значений времени и представляет собой непрерывное множество значений напряжения.

Примеры аналоговых сигналов

Детерминированные сигналы

Это сигналы, параметры и мгновенные значения которых в любой момент времени могут быть предсказаны с вероятностью единица.

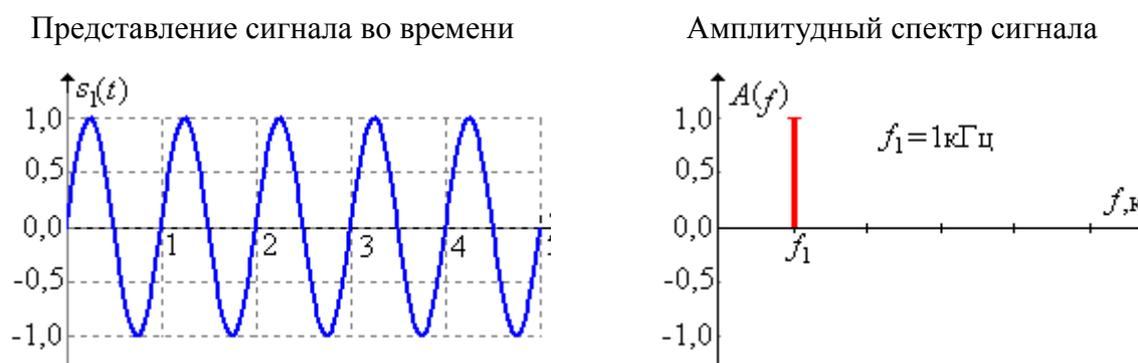
Пример простого сигнала:

– Синусоидальный немодулированный сигнал $s_1(t)$

$$s_1(t) = U_{\max} \sin(2\pi f_1 t + \varphi)$$

В табл. 1.1. представлена эпюра сигнала и его спектр.

Таблица 1.1.



Для передачи сообщений осуществляют модуляцию несущего синусоидального колебания путем изменения его амплитуды, или частоты или фазы.

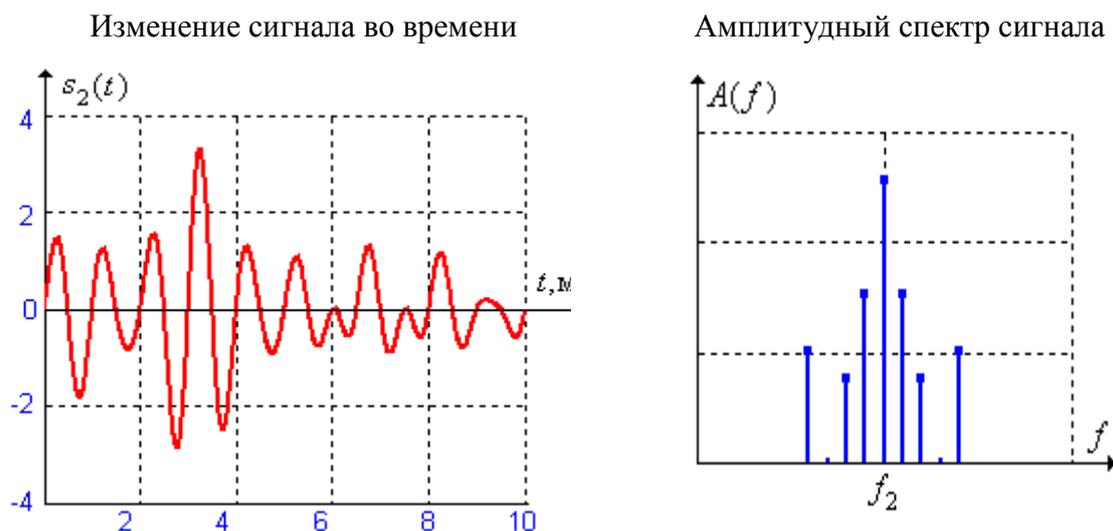
Рассмотрим пример амплитудно-модулированного сигнала:

$$s_2(t) = U_{\max} [1 + m_1 \cos(2\pi F_1 t + \Phi_1) + m_2 \cos(2\pi F_2 t + \Phi_2) + m_3 \cos(2\pi F_3 t + \Phi_3)] \cos(2\pi f_2 t + \varphi),$$

где f_2 – частота несущего колебания; F_1, F_2, F_3 – частоты модулирующих колебаний; m_1, m_2, m_3 – коэффициенты модуляции.

Этюра амплитудно-модулированного сигнала и его спектр представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2.



Спектр модулированного колебания располагается в диапазоне частот от минимальной до максимальной частоты. В рассмотренном примере это диапазон от частоты $f_2 - F_3$ до частоты $f_2 + F_3$. Амплитудно-частотная характеристика аналогового устройства, которое обрабатывает сигнал, должна быть согласована со спектром сигнала.

Случайный сигнал

К случайным сигналам относят функции времени, значения которых заранее неизвестны. Такими функциями являются, например, электрическое напряжение в звукозаписывающей и звуковоспроизводящей аппаратуре. Этюра такого напряжения приведена на рис. 1.1:

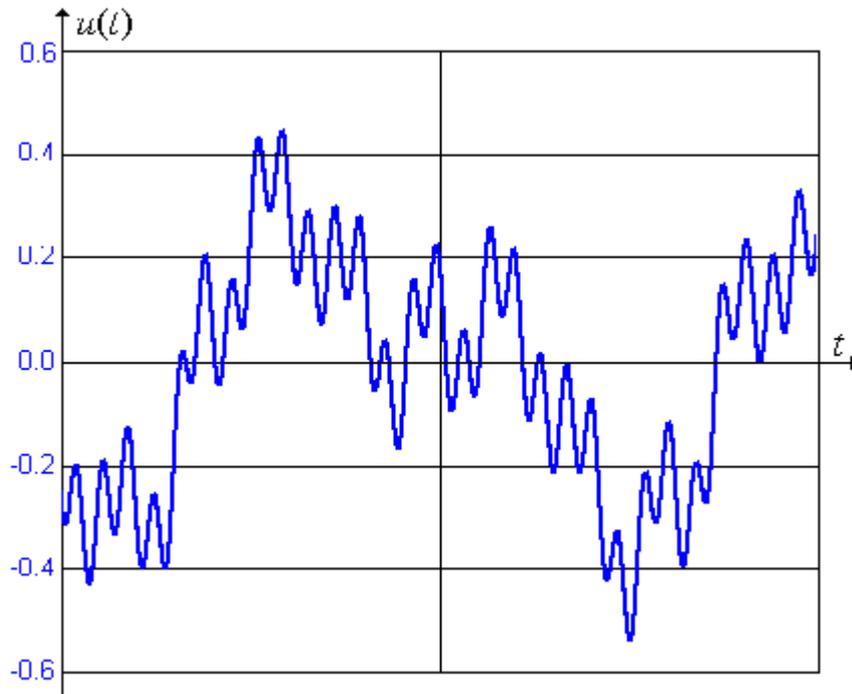


Рис.1.1. Пример случайного сигнала.

По существу, любой сигнал, несущий в себе информацию, должен рассматриваться как случайный. Детерминированные сигналы – «полностью известные», информации уже не содержат.

Кроме аналоговых существуют еще дискретные и цифровые сигналы. Дискретные сигналы представляют собой отсчеты аналогового сигнала в дискретные моменты времени. Цифровые сигналы – это квантованные по уровню дискретные сигналы.

Структурная схема обработки аналогового сигнала

Обработка сигнала включает в себя такие операции, как усиление, фильтрация, интегрирование, дифференцирование, умножение на опорный сигнал и другие операции.

Основные узлы структурной схемы обработки сигнала приведены на рис. 1.2.:



Рис. 1.2. Структурная схема обработки сигналов.

Источник сигнала (например, микрофон) и оконечное устройство (например, громкоговоритель) могут составлять с устройством обработки единый блок или представлять собой самостоятельные блоки, размещаемые в удалении от устройства обработки. Отдельное размещение этих блоков влияет на схемное построение входного и выходного каскадов устройства обработки сигнала. Источник питания обеспечивает энергией питания транзисторы и интегральные микросхемы, входящие в состав устройства.

Устройства обработки могут классифицироваться по виду преобразования входного сигнала (линейные, нелинейные), по функциональному назначению (усилители, фильтры, перемножители), по используемой элементной базе (на дискретных элементах или в виде интегральных микросхем) и т.д.

На рис. 1.3. приведена одна из возможных классификаций устройств обработки.

В соответствии с приведенной классификацией устройства обработки можно разделить на две большие группы: **линейные** и **нелинейные**.

Характерной особенностью линейных устройств является то, что в них выполняются условия, выражающие принцип суперпозиции.

Коэффициент передачи линейного устройства не зависит от амплитуды входного сигнала.

Линейные устройства разделяются на устройства с постоянными и устройства с переменными во времени параметрами. Линейные устройства с постоянными во времени параметрами являются стационарными, их выходные реакции не зависят от того, в какой момент времени поступает входной сигнал.

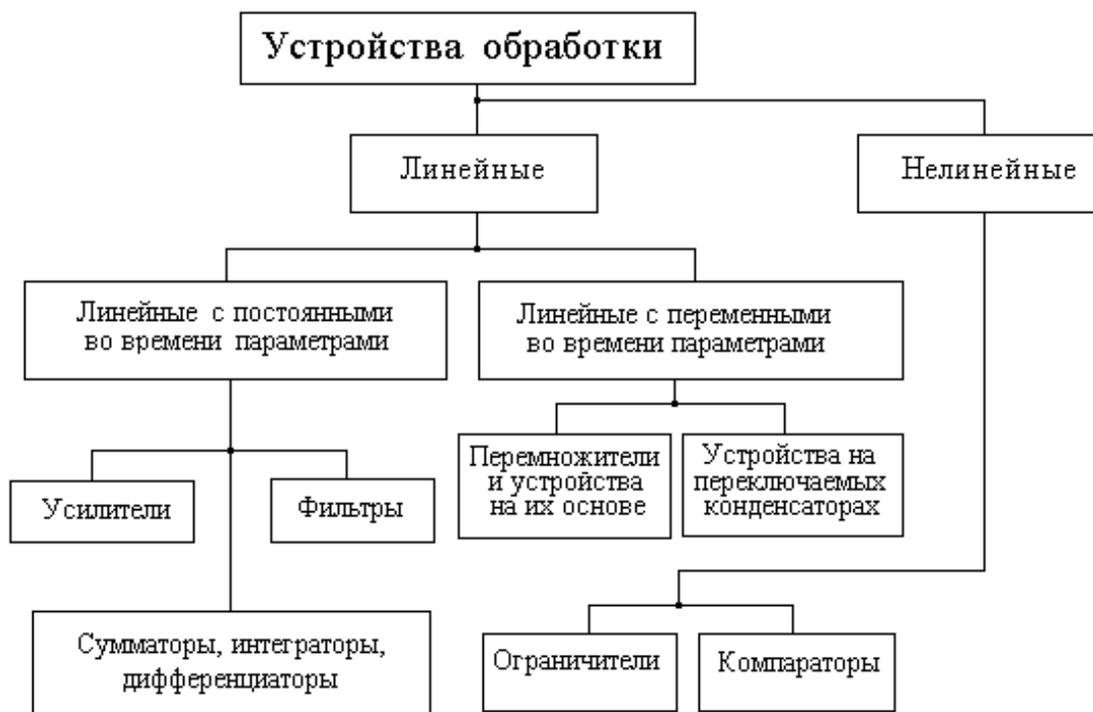


Рис. 1.3. Классификация устройств обработки аналогового сигнала

Устройства с переменными во времени параметрами являются нестационарными, их выходные реакции не инвариантны относительно выбора начала отсчета времени.

Другую группу аналоговых устройств составляют **нелинейные** устройства. В нелинейных устройствах условия, выражающие принцип суперпозиции, не выполняются. Характеристики этих устройств (например, коэффициент усиления) в сильной степени зависят от уровня входного сигнала. Примерами нелинейных устройств являются ограничитель амплитуды и компаратор. В данном курсе основное внимание уделено линейным устройствам с постоянными во времени параметрами.

1.2. Параметры и характеристики АЭУ

Характеристики линейных стационарных аналоговых устройств

Как известно из курса "Радиотехнические цепи и сигналы", возможны два пути решения задачи о прохождении сигналов через линейные аналоговые устройства.

Один путь основан на временном представлении свойств сигналов и свойств линейных устройств. Другой путь, порой более удобный, использует анализ в частотной области. В этом случае свойства устройств описываются их

частотными характеристиками, которые определяют закон преобразования элементарных гармонических сигналов.

Характеристики в частотной области определяются в режиме, когда в аналоговом устройстве закончились переходные процессы. Искомые характеристики можно рассчитать в процессе проектирования устройства, а можно определить экспериментально, используя схему:

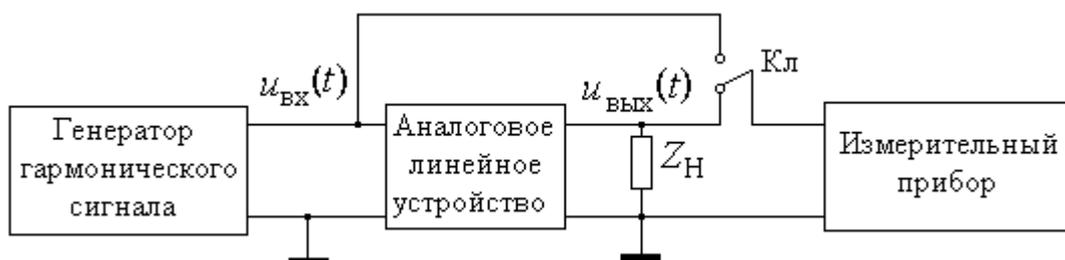


Рис. 1.4. Схема для определения характеристик аналогового устройства

На входе аналогового устройства действует синусоидальный сигнал $u_{\text{вх}}(t)$, поступающий с генератора. На нагрузке устройства Z_N , в общем случае комплексной, возникает напряжение $u_{\text{вых}}(t)$. Измерительный прибор (вольтметр, осциллограф, фазометр) с помощью ключа $Кл$ может подключаться к входу или выходу устройства с целью измерения параметров входного и выходного напряжений (амплитуды, частоты, фазы).

Амплитудная характеристика

Амплитудной характеристикой называется зависимость значений выходного напряжения от значений входного напряжения: $U_{\text{вых}} = KU_{\text{вх}}$. Частота входного синусоидального напряжения находится в полосе пропускания устройства и не меняется в процессе эксперимента.

Вид амплитудной характеристики аналогового устройства зависит от того, какое напряжение – постоянное или переменное – обрабатывается (подвергается фильтрации, усилению и т.д.) в устройстве. Усилитель постоянного тока (УПТ) усиливает и постоянное и переменное напряжения. Вид амплитудной характеристики УПТ зависит не только от абсолютного значения входного напряжения, но и от его знака. Типичный вид амплитудной характеристики УПТ представлен на рис. 1.5.

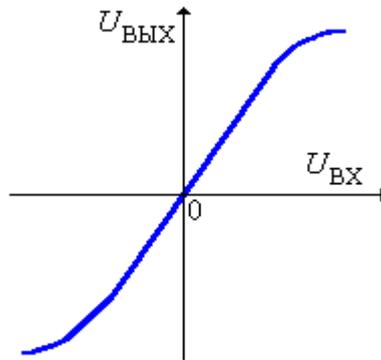


Рис. 1.5. Амплитудная характеристика УПТ

Если аналоговое устройство обрабатывает только переменное напряжение, то снимается амплитудная характеристика по переменному напряжению. В этом случае на вход устройства подается синусоидальное напряжение на одной из частот в том диапазоне, где коэффициент передачи устройства практически не зависит от частоты. Это диапазон равномерного (одинакового) усиления или диапазон «средних частот». Значение частоты (назовем ее "рабочей" – $f_{РАБ}$), на которой снималась характеристика, указывают на графике. При снятии амплитудной характеристики измеряют действующие (эффективные) или амплитудные значения входного и выходного синусоидального напряжения. Так как эти значения существенно положительные, то амплитудная характеристика по переменному напряжению располагается только в первом квадранте координатной плоскости.

При использовании линейного масштаба по осям координат амплитудная характеристика линейного устройства должна представлять собой прямую линию, выходящую из начала координат (штриховая линия на рисунке):

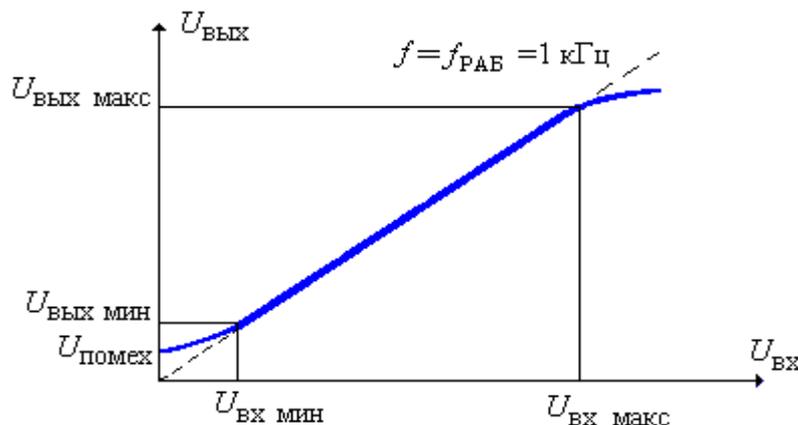


Рис. 1.6. Амплитудная характеристика по переменному напряжению

В реальных устройствах из-за наличия внутренних помех (шумов, фона) с уровнем $U_{\text{ПОМЕХ}}$ выходное напряжение не равно нулю даже в отсутствие входного сигнала. Это приводит к появлению нелинейного участка в начале амплитудной характеристики. С увеличением амплитуды входного сигнала амплитудная характеристика, начиная с некоторого значения, вновь отклоняется от линейного закона. Нелинейность амплитудной характеристики при больших уровнях сигнала обусловлена ограниченностью диапазона изменения токов и напряжений в активных элементах устройства (транзисторах, интегральных микросхемах).

По наклону линейного участка характеристики определяется коэффициент усиления:

$$K = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}.$$

Зададимся допустимым отклонением реальной амплитудной характеристики от идеальной (например, 10%). Найдем область значений амплитуд входного и выходного напряжений, где отклонение реальной характеристики от линейного закона не превышает допустимого. В пределах этой области амплитудную характеристику можно считать линейной с учетом заданного отклонения.

По значениям амплитуд на границах указанной области определяют динамический диапазон входных и выходных сигналов:

$$D_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХМАКС}} / U_{\text{ВХМИН}}$$

$$D_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХМАКС}} / U_{\text{ВЫХМИН}}$$

Если амплитудная характеристика линейная, то $D_{\text{ВХ}} = D_{\text{ВЫХ}}$. Работа устройства в пределах динамического диапазона амплитуд обеспечивает заданный уровень нелинейных искажений.

При использовании нелинейной амплитудной характеристики (например, логарифмической) $D_{\text{ВХ}} \neq D_{\text{ВЫХ}}$.

При больших значениях $D_{\text{ВХ}}$ и $D_{\text{ВЫХ}}$ их удобно выражать в децибелах (дБ):

$$D_{\text{ВХ}}[\text{дБ}] = 20 \lg(U_{\text{ВХ МАКС}} / U_{\text{ВХ МИН}})$$

$$D_{\text{ВЫХ}}[\text{дБ}] = 20 \lg(U_{\text{ВЫХ МАКС}} / U_{\text{ВЫХ МИН}})$$

Амплитудно-частотная характеристика

Амплитудно-частотной характеристикой (сокращенно АЧХ) называется зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты. Амплитуда входного сигнала при этом не меняется, и ее значение не должно выходить за пределы линейного участка амплитудной характеристики.

В ряде случаев амплитудно-частотной характеристикой называют зависимость коэффициента передачи (усиления) от частоты – $K(f)$.

При сравнении АЧХ разных устройств удобно рассматривать нормированные АЧХ: $M(f) = K(f)/K_0$. K_0 – коэффициент усиления в полосе частот, где усиление практически не зависит от частоты.

Нормированная АЧХ широкополосного усилителя приведена на рис. 1.7.

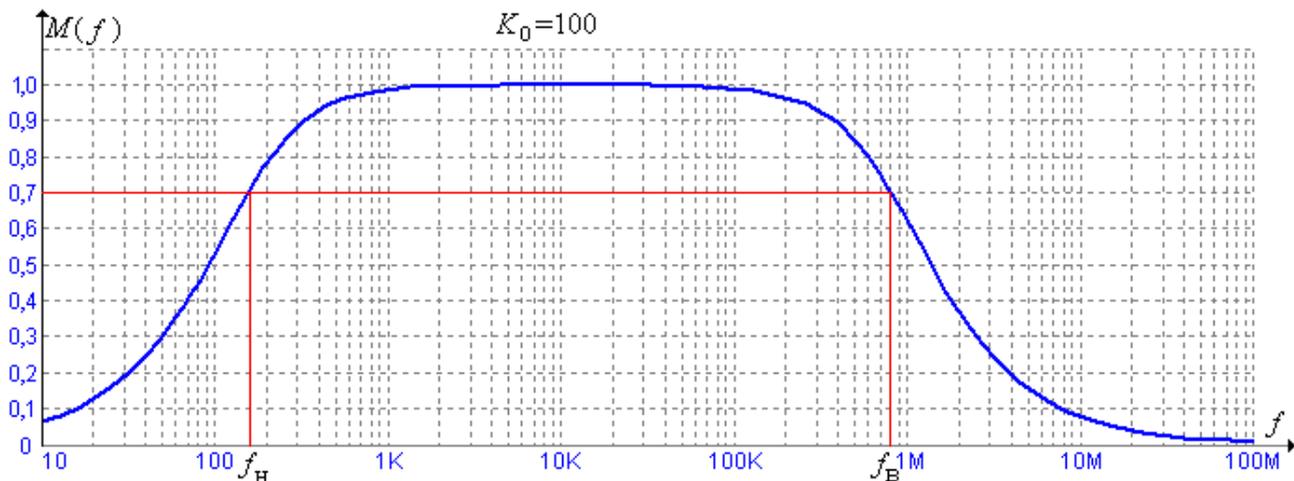


Рис. 1.7. Нормированная АЧХ широкополосного усилителя

Параметры АЧХ

- Граничные частоты: нижняя f_H и верхняя f_B , на которых нормированное значение коэффициента передачи равно $1/\sqrt{2}$ (уровень 0,7).
- Полоса пропускания – диапазон частот от нижней до верхней граничной частоты.

Фазочастотная характеристика

Фазочастотной характеристикой (сокращенно ФЧХ) называется зависимость фазы выходного сигнала от частоты $\varphi(f)$. Фаза входного сигнала устанавливается равной нулю.

Параметры ФЧХ

- Значения фазы выходного сигнала на граничных частотах.
- Диапазон частот, в котором фаза выходного сигнала линейно зависит от частоты. В этом диапазоне обеспечивается постоянство группового времени задержки входного сигнала.

График ФЧХ широкополосного усилителя приведен на рис. 1.8.

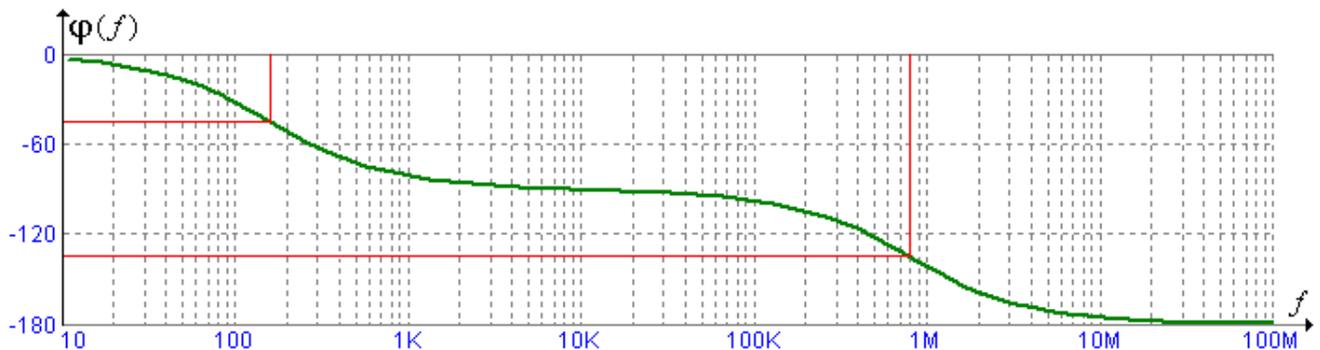


Рис. 1.8. ФЧХ широкополосного усилителя

Входное сопротивление

Аналоговое устройство при подключении к источнику сигнала потребляет часть его мощности, нагружая его своим входным сопротивлением $Z_{ВХ}$. Входное сопротивление является в общем случае комплексной величиной и может быть представлено выражением:

$$Z_{ВХ} = |Z_{ВХ}| \cdot \exp(j\varphi_{Z_{ВХ}}),$$

где $|Z_{ВХ}|$ – модуль входного сопротивления, $\varphi_{Z_{ВХ}}$ – его фаза.

Выходное сопротивление

Выходное сопротивление определяет нагрузочную способность устройства, т.е. способность обеспечивать постоянный уровень напряжения на выходных зажимах при изменении сопротивления нагрузки. В общем случае выходное сопротивление является комплексной величиной:

$$Z_{ВЫХ} = |Z_{ВЫХ}| \cdot \exp(j\varphi_{Z_{ВЫХ}}),$$

где $|Z_{ВЫХ}|$ – модуль входного сопротивления, $\varphi_{Z_{ВЫХ}}$ – его фаза.

В диапазоне частот до нескольких мегагерц комплексные входное и выходное сопротивления аналогового устройства представляют собой параллельное соединение сопротивления и емкости.

Временные характеристики

Временные характеристики – это характеристики переходных процессов в аналоговом устройстве. Они используются при анализе искажений импульсного сигнала при его прохождении через устройство. Наибольшее применение имеет переходная характеристика, с помощью которой определяют время нарастания и спад плоской вершины выходного импульса.

Переходная характеристика в области малых времен

Если рассматривать один каскад, то выражение для переходной характеристики имеет вид:

$$g(t) = 1 - \exp(-t/\tau_B), \quad (1.1)$$

где τ_B – постоянная времени, связанная с верхней граничной частотой каскада: $\tau_B = 1/2\pi f_B$.

По переходной характеристике в области малых времен определяют такой важный параметр, как время нарастания выходного напряжения t_H при подаче на вход устройства прямоугольного импульса. Этот параметр характеризует задержку между моментом поступления на вход прямоугольного импульса и моментом, когда выходное напряжение практически достигнет стационарного значения. Пусть установившееся значение выходного напряжения равно $U_{уст}$. Принято *временем нарастания* называть значение интервала, в пределах которого выходное напряжение нарастает от уровня $0,1U_{уст}$ до $0,9U_{уст}$.

Полагая в (1.1) $g(t)$ равным последовательно 0,1 и 0,9, определяем t_H :

$$t_H = 2,2\tau_B \quad (1.2)$$

Переходная характеристика в области больших времен

Выражение для переходной характеристики имеет вид:

$$g(t) = \exp(-t/\tau_H), \quad (1.3)$$

где τ_H – постоянная времени, она связана с нижней граничной частотой каскада: $\tau_H = 1/2\pi f_H$. По переходной характеристике в области больших времен определяют параметр – спад плоской вершины импульса, обозначается как Δ . Спад возникает из-за заряда вспомогательных конденсаторов – разделительных и блокировочных. Значение спада определяется выражением:

$$\Delta = \tau_{И} / \tau_H, \quad (1.4)$$

где $\tau_{И}$ – длительность входного прямоугольного импульса. Расчет спада по выражению (1.4) можно выполнять, если значение спада не превышает 20%.

На рис. 1.9 приведены эпюры входного и выходного импульсов и отмечены параметры импульсных искажений: время нарастания t_H и спад плоской вершины импульса Δ .

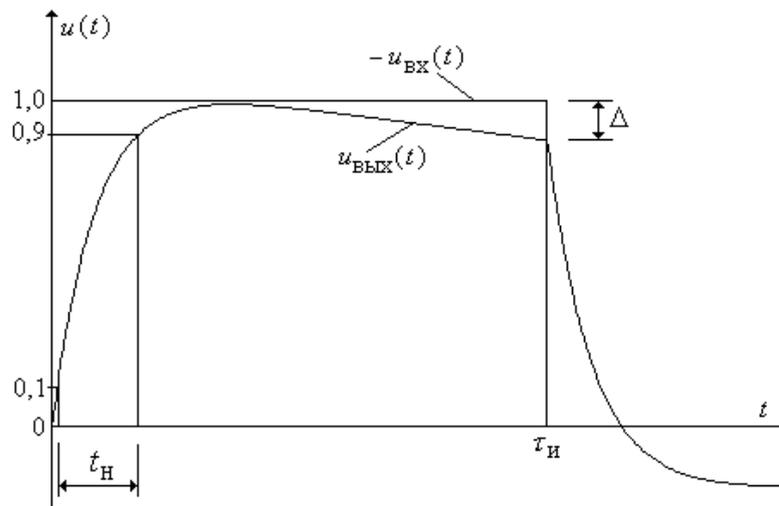


Рис. 1.9. Эпюры импульсов на входе и выходе каскада.

Контрольные вопросы

1. Что такое аналоговый сигнал? Приведите примеры аналоговых сигналов.
2. Какова структурная схема обработки сигнала? Расскажите о назначении отдельных блоков схемы.
3. Какие признаки используются при классификации аналоговых устройств? Приведите одну из возможных схем классификации.
4. Что является характерной особенностью линейных устройств? Приведите примеры линейных устройств.

5. Что такое амплитудная характеристика? Изобразите структурную схему для снятия амплитудной характеристики.

6. Что такое АЧХ? Как снимается АЧХ? Назовите параметры АЧХ.

7. Что такое ФЧХ? Каким требованиям должна удовлетворять ФЧХ для неискаженной передачи формы сигнала?

8. Какие параметры характеризуют импульсные искажения?

ВПЕРЕД

