

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

В.И. Ярмоленко, А.Л. Приоров

Сигналы в радиотехнических и телекоммуникационных системах

Учебное пособие

*Рекомендовано
Научно-методическим советом университета
для студентов, обучающихся по специальности
Радиофизика и электроника*

Ярославль 2006

УДК 621.391
ББК 3 841-01 я 73
Я 75

*Рекомендовано
редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного издания. План 2006 года.*

Рецензенты:

научно-производственное предприятие
«Ярославское конструкторское бюро радиоприборов»;
кандидат физико-математических наук, доцент А.И. Чегодаев

Ярмоленко, В.И. Сигналы в радиотехнических и телекомму-
Я 75 никационных системах: учебное пособие / В.И. Ярмоленко,
А.Л. Приоров; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2006. – 100 с.

ISBN 5-8397-0506-3 (978-5-8397-0506-7)

Рассматриваются вопросы описания и формирования сигналов в радиотехнических и телекоммуникационных системах. Излагается общая теория различных методов модуляции. Приводятся основные характеристики методов модуляции. Рассматриваются основные вопросы фазовой телеграфии, оптимальный способ передачи бинарных сигналов, проблема создания фазочувствительного детекторного устройства, вопросы реализации каналов связи с фазовой манипуляцией. Излагаются основные принципы относительной фазовой телеграфии, вопросы многоканальной фазовой телеграфии.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 013800 Радиофизика и электроника (дисциплина «Сигналы в РТС», блок ДС), очной и заочной форм обучения.

Табл. 10. Рис. 45. Библиогр.: 15 назв.

УДК 621.391
ББК 3 841-01 я 73

© Ярославский
государственный
университет, 2006
© Ярмоленко В.И.,
Приоров А.Л., 2006

ISBN 5-8397-0506-3 (978-5-8397-0506-7)

Введение

В современных радиотехнических и телекоммуникационных системах широко используются как традиционные, так и новые радио- и телекоммуникационные сигналы. К традиционным можно отнести сигналы с амплитудной, частотной и фазовой модуляцией. А к новым – различные модификации упомянутых сигналов, например сигналы с минимальным частотным сдвигом, многоуровневая амплитудная, частотная и фазовая модуляция, комбинированные виды модуляции и др. Такое деление сигналов является чисто условным, по нашему мнению.

Сведений по упомянутым сигналам недостаточно, и вся информация разбросана по разным книгам, научным журналам, монографиям.

Авторы ставили перед собой задачу – в наиболее простой и доступной форме изложить имеющийся у них материал. Это и описание сигналов с помощью математических выражений, отражение специфики и особенностей таких сигналов, их временных и спектральных характеристик. Кроме того, рассмотрены вопросы помехоустойчивости, определения ширины полосы частот, занимаемой такими сигналами, а также вопросы формирования и приема этих сигналов.

В пособие вошли известные материалы работ С.И. Баскакова, Н.Т. Петровича и др. Во вторую часть пособия должны войти материалы Л. Варакина, А.В. Пестракова, Дж. Спилкера и других российских и зарубежных авторов.

По материалам, изложенным в пособии, написан ряд методических указаний по выполнению лабораторных работ.

Пособие предназначено для студентов физического факультета, обучающихся по специальностям Радиофизика и электроника и Радиотехника, очной и заочной форм обучения. Оно также будет полезно специалистам, занимающимся разработкой и проектированием радиотехнических и телекоммуникационных систем, студентам и аспирантам родственных специальностей.

1. МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ

Сигналы, поступающие из источника сообщений (микрофон, передающая телевизионная камера, датчик телеметрической системы), как правило, не могут быть непосредственно переданы по радиоканалу. Дело не только в том, что эти сигналы недостаточно велики по амплитуде. Гораздо существеннее их относительная *низкочастотность*. Чтобы осуществить эффективную передачу сигналов в какой-либо среде, необходимо перенести спектр этих сигналов из низкочастотной области в область достаточно высоких частот. Данная процедура получила в радиотехнике название *модуляции*.

1.1. Сигналы с амплитудной модуляцией

Прежде чем изучать этот простейший вид модулированных сигналов, рассмотрим кратко некоторые вопросы, касающиеся принципов модуляции любого вида.

Понятие несущего колебания. Идея способа, позволяющего перенести спектр сигнала в область высоких частот, заключается в следующем. Прежде всего в передатчике формируется вспомогательный высокочастотный сигнал, называемый *несущим колебанием*. Его математическая модель $u_{\text{нес}}(t) = f(t; a_1, a_2, \dots, a_m)$ такова, что имеется некоторая совокупность параметров a_1, a_2, \dots, a_m , определяющих форму этого колебания. Пусть $s(t)$ – низкочастотное сообщение, подлежащее передаче по радиоканалу. Если по крайней мере один из указанных параметров изменяется во времени пропорционально передаваемому сообщению, то несущее колебание приобретает новое свойство – оно несет в себе информацию, которая первоначально была заключена в сигнале $s(t)$.

Физический процесс управления параметрами несущего колебания и является модуляцией.

В радиотехнике широкое распространение получили системы модуляции, использующие в качестве несущего простое гармоническое колебание, имеющее три свободных параметра U , ω и φ .

$$u_{\text{нес}}(t) = U \cos(\omega t + \varphi), \quad (1.1)$$

Изменяя во времени тот или иной параметр, можно получать различные виды модуляции.

Принцип амплитудной модуляции. Если переменной оказывается амплитуда сигнала $U(t)$, причем остальные два параметра ω и φ неизмен-

ны, то имеется *амплитудная модуляция* несущего колебания. Форма записи амплитудно-модулированного сигнала, или АМ-сигнала, такова:

$$u_{ам}(t) = U(t) \cos (\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1.2)$$

Осциллограмма АМ-сигнала имеет характерный вид (см. рис. 1.1). Обращает на себя внимание симметрия графика относительно оси времени. В соответствии с формулой (1.2) АМ-сигнал есть произведение *огнивающей* $U(t)$ и *гармонического заполнения* $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$. В большинстве практически интересных случаев огибающая изменяется во времени *гораздо меньше*, чем высокочастотное заполнение.

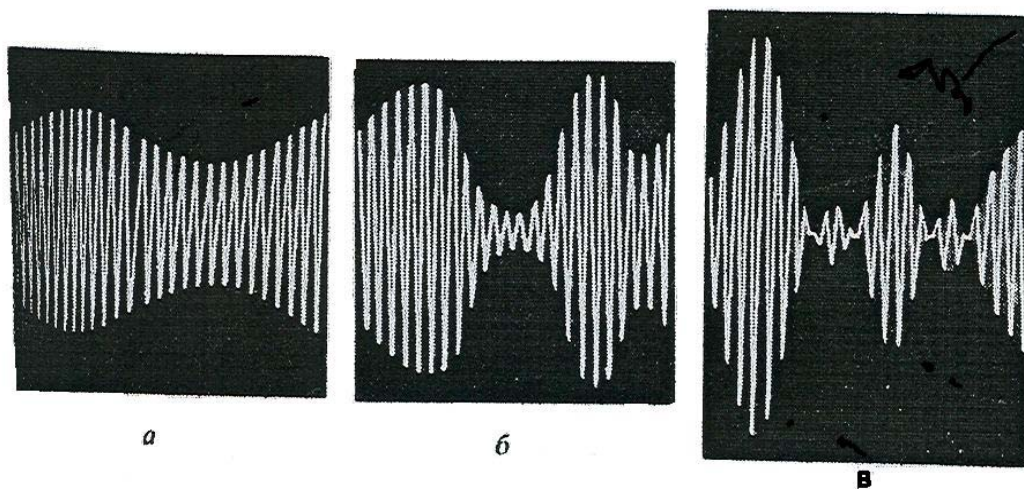


Рис. 1.1. АМ-сигналы при различных глубинах модуляции:
а – неглубокая модуляция; б – глубокая модуляция; в - перемодуляция

При амплитудной модуляции связь между огибающей $U(t)$ и модулирующим полезным сигналом $s(t)$ принято определять следующим образом:

$$U(t) = U_m[1 + M_s(t)]. \quad (1.3)$$

Здесь U_m – постоянный коэффициент, равный амплитуде несущего колебания в отсутствие модуляции; M_s – *коэффициент амплитудной модуляции*.

Величина M_s характеризует глубину амплитудной модуляции. Смысл этого термина поясняется осциллограммами АМ-сигналов, изображенными на рис. 1.1, а – в.

При малой глубине модуляции относительное изменение огибающей невелико, т.е. $|M_s(t)| \ll 1$ во все моменты времени независимо от формы сигнала $s(t)$.

Если же в моменты времени, когда сигнал $s(t)$ достигает экстремальных значений, имеются приближенные равенства $M_{Smax}(t) \approx 1$ или $M_{Smin}(t) \approx -1$, то говорят о глубокой амплитудной модуляции. Иногда вводят дополнительно