

**Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию**

**Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королева**

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 1994

Составитель А.И. Д а н и л и н

УДК 621.372 (075)

Гармонический анализ периодических сигналов: Метод. указания к лаб. работе /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; сост. А.И. Д а н и л и н. Самара, 1994. 22 с.

Приводятся краткие теоретические сведения о разложении кусочно-непрерывных функций по системе ортогональных функций, спектральном составе периодической последовательности импульсов; даются понятия об амплитудно-частотном и фазочастотном спектрах сигнала, о детерминированных и случайных сигналах. Приводится описание для пользователя программы вычисления АЧХ и ФЧХ спектров периодических сигналов, приведены начальные сведения и требования к домашним заданиям и отчетам, контрольные вопросы для самоподготовки и самопроверки.

Методические указания предназначены для студентов специальности 1905, изучающих курс "Анализ и преобразование сигналов", а также могут быть полезны студентам специальности 2301 и 2303. Подготовлены на кафедре радиотехники.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева

Рецензент проф. В.Д. К у з е н к о в

Ц е л ь р а б о т ы: изучение характеристик спектров непериодических сигналов различной формы при вариациях их основных параметров.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Принципы гармонического анализа распространяются и на непериодические сигналы. Делается это посредством устремления временного интервала T , включающего в себя длительность ($T = t_2 - t_1$) исследуемого сигнала к бесконечности, т.е. $T \rightarrow \infty$.

В этом случае число гармонических составляющих, образующих ряд Фурье, будет бесконечно большим, расстояние между спектральными линиями становится бесконечно малым, а спектр сигнала — сплошным.

Поэтому исследуемый сигнал представляется двойным интегралом Фурье

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} \left[\int_{t_1}^{t_2} S(x) e^{-j\omega x} dx \right] d\omega.$$

Внутренний интеграл называется спектральной плотностью исследуемого сигнала и в общем случае записывается как

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Выражение спектральной плотности через входной сигнал называется также прямым преобразованием Фурье.

Выражение, представляющее входной сигнал через спектральную плотность, называется обратным преобразованием Фурье

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

Выражение спектральной плотности сигнала $S(\omega)$ отличается от выражения для коэффициентов C_n комплексного ряда Фурье периодического сигнала только отсутствием множителя $\frac{1}{T}$, поэтому спектральную плотность также можно представить в виде

$$S(\omega) = A(\omega) - jB(\omega) = |S(\omega)| e^{j\theta(\omega)},$$

где
$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cos \omega t dt;$$

$$B(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \sin \omega t dt.$$

Соответственно модуль спектральной плотности характеризует амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) сплошного спектра непериодического сигнала

$$|S(\omega)| = \sqrt{[A(\omega)]^2 + [B(\omega)]^2},$$

аргумент спектральной плотности характеризует фазочастотную характеристику (ФЧХ) сплошного спектра непериодического сигнала

$$\theta(\omega) = -\arctg \frac{B(\omega)}{A(\omega)}.$$

Модуль спектральной плотности — есть функция четная, а аргументная — нечетная. Поэтому тригонометрическая форма записи обратного преобразования Фурье имеет вид

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)| \cos(\omega t + \theta) d\omega.$$

Спектр одиночного импульса со спектром периодической последовательности таких же импульсов связан соотношением

$$C_n = \frac{S(\omega)}{T},$$

т.е. модуль спектральной плотности одиночного импульса и огибающая линейчатого спектра периодической последовательности, получаемая повторением заданного импульса, совпадают по форме и отличаются только масштабом.

Свойства преобразования Фурье для непериодических сигналов

Сдвиг сигнала во времени $S_2(t) = S_1(t \pm t_0)$ приводит к изменению фазовой характеристики исходной спектральной плотности на величину $\pm \omega t_0$, т.е.

$$S_2(\omega) = e^{\pm j\omega t_0} S_1(\omega);$$

изменение масштаба времени, т.е. сжатие или расширение сигнала во времени в n раз, когда $S_2(t) = S_1(nt)$, приводит, соответственно, к расширению или сжатию во столько же раз модуля его спектральной плотности

$$S_2(\omega) = \frac{1}{n} S_1\left(\frac{\omega}{n}\right);$$

расщепление модуля спектральной плотности на две части, смещенные на $\pm \omega_0$, соответственно, эквивалентно умножению сигнала $S(t)$ на гармоническое колебание $\cos \omega_0 t$ (при $Q=0$), т.е.

$$\int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j\omega t} \cos \omega_0 t dt = \frac{1}{2} [S(\omega - \omega_0) + S(\omega + \omega_0)];$$

дифференцирование сигнала по времени $\frac{dS_1(t)}{dt} = S_2(t)$

видоизменяет спектральную плотность следующим образом:

$$S_2(\omega) = j\omega S_1(\omega);$$

интегрирование сигнала во времени $S_2(t) = \int S_1(t) dt$ видоизменяет спектральную плотность следующим образом:

$$S_2(\omega) = \frac{1}{j\omega} S_1(\omega);$$

суммарному колебанию $S(t) = S_1(t) + S_2(t) + \dots$ соответствует спектральная плотность

$$S(\omega) = S_1(\omega) + S_2(\omega) + \dots;$$

произведению двух сигналов $S(t) = f(t)g(t)$ в частотной области соответствует свертка их спектральных плотностей

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(x) F(\omega - x) dx;$$

для непериодических сигналов переменные ω и t в преобразовании Фурье взаимозаменяемы, т.е.

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{-j\omega t} d\omega;$$

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Энергия в спектре непериодического сигнала связана со спектральной плотностью равенством Парсевала

$$\mathcal{E} = \int_{-\infty}^{\infty} S^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 d\omega.$$

Т е о р е м а К о т е л ь н и к о в а

Произвольный непериодический сигнал, высшая частота спектра которого не превышает f_B , полностью может быть восстановлен, если известны выборочные значения этого сигнала, взятые через равные промежутки времени $t = \frac{1}{2f_B}$.

Это фундаментальное положение позволяет дискретизировать непериодический сигнал, обрабатывать его выборки с гарантией последующего восстановления мгновенных значений сигнала с заданной точностью.

Аналитическое выражение ряда Котельникова для сигнала $S(t)$ записывается как

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S\left(\frac{n}{2f_B}\right) \frac{\sin \omega_B \left(t - \frac{n}{2f_B}\right)}{\omega_B \left(t - \frac{n}{2f_B}\right)};$$

где n - номер выборки.

Аналитическое выражение теоремы Котельникова (или теоремы отсчетов) в частотной области

$$S(\omega) = \sum_{n=-f_B T_s}^{f_B T_s} S\left(n \frac{2\pi}{T_s}\right) \frac{\sin \frac{T_s}{2} \left(\omega - n \frac{2\pi}{T_s}\right)}{\frac{T_s}{2} \left(\omega - n \frac{2\pi}{T_s}\right)}.$$

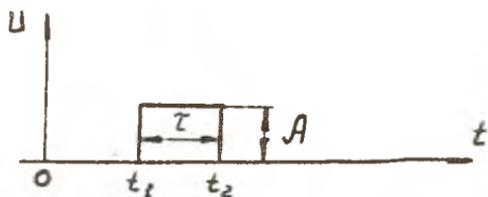
2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Рассчитать и построить АЧХ и ФЧХ спектральной плотности одиночного видеопульса, представленные на рисунке, для следующих случаев:

1. $t_1 = 0,4T$;
2. $t_1 = 0,25T$;
3. $t_1 = 0,5T$;

$$4. t_1 = 1\tau;$$

$$5. t_1 = 2\tau.$$



Значения длительности импульса τ и его амплитуды приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

№ п/п	параметры	
	τ , мкс	A, В
1	1	1
2	10	2
3	50	4
4	100	5
5	500	10

Номер варианта домашнего задания определяется преподавателем индивидуально для каждого студента. Например, 4.3 означает: $t_1 = 1\tau$; $\tau = 50$ мкс; $A = 4$ В.

Выполненное домашнее задание является допуском к выполнению экспериментальной части лабораторной работы и должно содержать расчеты и построенные на отдельных графиках и в одинаковом масштабе ФЧХ и АЧХ. Расчеты и построения проводить в диапазоне частот от $f = 0$ до $f = 2/\tau$.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Лабораторная работа поставлена и выполняется на ПЭВМ типа IBM. Для того, чтобы войти в программу выполнения работы, необходимо войти в директорию *DAN*, затем выбрать файл "*furie exe*", который является запускающим. Запустить программу, для чего нажать на клавишу "*enter*". Если директория и запускающий файл выбраны правильно, то на экране дисплея появится заставка с краткой характеристикой программы, ознакомившись с информацией которой можно входить непосредственно в программу лабораторной работы (нажать клавишу "*enter*"). Высвечивается окно со следующими надписями:

Loard fale - установочный файл;
Select sids - выбор сигнала;
Furie - Фурье преобразование;
Options - опции (установки);
Quit - выход из программы.

Клавишами (\leftarrow), (\rightarrow), перемещающими курсорное окно, можно выбрать любой из перечисленных режимов. Режимы включаются нажатием клавиши "*enter*".

" *Loard file* " - предусматривает загрузку из отдельно сформированных специализированных файлов.
" *Select sids* " - в этом режиме вашему вниманию предлагается 6 различных типов видеосигналов:

1. Одиночный импульс с $t_1 = 0$.
2. Пачка униполярных прямоугольных импульсов либо сдвинутый во времени одиночный импульс.
3. Пачка биполярных прямоугольных импульсов либо одиночный биполярный импульс.
4. Пачка треугольных униполярных импульсов либо сдвинутый во времени одиночный треугольный импульс.
5. Пачка биполярных пилообразных импульсов либо одиночный биполярно-несимметричный импульс.
6. Пачка трапециевидальных униполярных импульсов либо сдвинутый во времени одиночный униполярный трапециевидальный импульс.

Набрав на клавиатуре номер необходимых видеоимпульсов, нажать клавишу " *enter* ", после чего программа переходит в режим задания временных характеристик импульсов.

В силу того, что программа Фурье-анализа выполнена на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ), временные параметры видеоимпульсов задаются количеством точек преобразования, а не в реальном временном масштабе. Для примера рассмотрим описание временных характеристик униполярного прямоугольного видеоимпульса для случая

$$\tau = 1 \text{ мкс} ; t_1 = 1 \text{ мкс}.$$

В режиме " *Options* " устанавливаются длина сигнала T в диапазоне (10...2000) точек дискретизации, например, 100. Тогда $T = t_1 + \tau = 2 \text{ мкс} \leftarrow 100$ точек дискретизации. Соответственно $t_1 = 50$ точек дискретизации; $\tau = 50$ точек дискретизации. Отметим, что выбранный масштаб - соотношение между длиной сигнала и длительностью импульса - должен соблюдаться при выполнении всех пунктов лабораторной работы.

После того как найдены количественные характеристики видеоимпульса, необходимо их с клавиатуры ввести в компьютер. " *Options* " - в этом режиме устанавливаются параметры ДПФ и задаются некоторые сервисные функции. После того как курсорное окно установлено на режим " *Options* ", нажатие клавиши " *enter* " приводит к запуску этого режима.

На экране монитора появляется список параметров, которые оператор по своему желанию может установить:

частота дискретизации: 1,00000...Гц;

длина сигнала (для режима " *Select sids* "): 10...2000;

вывод спектра: *xor* ;

вывод фазы: *xor* ;

вывод фазы: Да.

Для того, чтобы задать параметры ДПФ, необходимо клавишами " \uparrow ", клавишами " \downarrow " курсорное окно подвести на нужный Вам параметр, нажатие клавиши " *enter* " высвечивает подокно: Длина сигнала (10...2000): 500. Клавишей " \leftarrow " "Забой" стирает старое значение и вводят с клавиатуры новое, после чего при нажатии клавиши " *enter* " новая установка оказывается выполненной. Аналогично поступают с остальными параметрами ДПФ.

К сервисным возможностям программного обеспечения относятся установки "вывод спектра", "вывод фазы", облегчающие наблюдение спектральных картин с помощью подсвеченной координатной сетки.

Если оператор хочет получить спектральную диаграмму процесса с подсвеченной координатной сеткой, то необходимо установить курсорное окно на "вывод спектра" и нажатием клавиши "enter" высветить подокно, затем выбрать режим "normal" и снова нажать "enter".

— Аналогичные операции выполняются с нормализацией вывода фазы. Кроме этого, чтобы не загромождать спектральную диаграмму графиками распределения фазы, оператор в режиме "вывод фазы" — "Да", "Нет" может отказаться от вывода графика фазы на экран монитора. После того как будут установлены все требуемые параметры, необходимо выйти из режима "Options", подведя курсорное окно на "выход в основное меню" и, нажав клавишу "enter", выйти из режима "Option".

"Furie" — этот режим обеспечивает выполнение ДИФ над выбранной и описанной последовательностью импульсов.

Для того, чтобы войти в этот режим, необходимо курсорное окно подвести к "Furie" и нажать клавишу "enter". После этого на экране монитора формируется окно, в котором сверху изображен заданный оператором сигнал, в нижнюю часть окна выводится спектральная диаграмма и графики фазовых распределений.

Повторное нажатие клавиши "enter" видоизменяет содержимое окна — в верхней части появляются надписи:

"print of numbers" — (Space), которая напоминает, что распечатать на принтере параметры выбранной гармоники можно, нажав клавишу (Space) — пробел;

"print of grafics" — (F 4), которая напоминает, что распечатать графики сигнала, спектральную диаграмму и графики фазы можно, нажав клавишу (F 4);

"main menu" — (ESC), которая напоминает, что выход в предыдущее подменю выполняется нажатием клавиши (ESC).

Под перечисленными выше надписями формируется табл. 2, в которую выводятся количественные значения частоты, амплитуды и фазы.

Под таблицей располагается спектральная диаграмма и фазовая характеристика. Нажимая клавишу (←), (→), и тем самым подводя курсорную линию на спектральной диаграмме к характерной частоте, можно

просмотреть амплитуды и значения фазы в этом месте спектра, а в таблице прочитать количественные значения.

Т а б л и ц а 2

N	Frequency		Amplitude		Phase		
	$f/F_{\text{гускр}}$	H_z	A/A_{max}	dB	rad	P_i	degru

После того, как работа со спектральной диаграммой и таблицей значений закончена, нажатие клавиши "enter" переводит программу к изначальному окну.

Перемещение курсорного окна на "Quit" и нажатие клавиши "enter" позволяет выйти полностью из программы Фурье-анализа.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. По варианту домашнего задания составить описание униполярного импульса в параметрах ДИФ.

4.2. Войти в программу лабораторной работы и ввести рассчитанные параметры импульса.

4.3. Сравнить результаты домашнего расчета с компьютерными (форма спектра, характерные частоты, ФЧХ).

4.4. Получить спектральные диаграммы для случаев

$$t_1 : 0\tau ; 0,25\tau ; 0,5\tau ; \tau .$$

Сделать выводы о влиянии смещения на спектральную плотность сигнала

$$t_2 - t_1 : 0,25\tau ; 0,5\tau ; \tau ; 2\tau .$$

Сделать выводы о влиянии на спектральную плотность сигнала изменения длительности импульса.

4.5. Выбрать двуполярный импульс и для варианта домашнего задания (имеется в виду $t_1 ; \tau$) рассчитать его параметры для ДИФ и ввести их в компьютер. Затем повторить п. 4.4.

4.6. Выбрать треугольный униполярный импульс. По варианту домашнего задания рассчитать его параметры для ДИФ и ввести в компьютер. Затем повторить п. 4.4. Кроме этого, задавая различные времен-

ные значения вершины треугольного импульса и тем самым искажая его симметричную форму, оценить влияние несимметрии импульса на АЧХ и ФЧХ спектральной плотности сигнала.

4.7. Выбрать двуполярный пилообразный импульс. Рассчитать его временные соотношения в параметрах ДИФ по номеру варианта домашнего задания. Затем повторить п. 4.4. Варьируя характерными временными отметками, оценить влияние вертикальной асимметрии импульса на АЧХ и ФЧХ.

4.8. Выбрать униполярный одиночный трапецеидальный импульс. Для варианта домашнего задания рассчитать его параметры для ДИФ и ввести в компьютер. Затем повторить п. 4.4.

П р и м е ч а н и е. Для большей наглядности спектральных диаграмм (АЧХ и ФЧХ) рекомендуется выбирать длительности импульсов в следующих соотношениях с "длиной сигнала" T в параметрах ДИФ:

для импульса №1: $0,004T < \tau < 0,1T$;

для импульса №2: $0,996T < \tau < 0,9T$;

для импульса №3: $0,004T < \tau < 0,2T$;

для импульса №4: $0,992T < \tau < 0,6T$;

для импульса №5: $0 < \tau < 0,006T$.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Цель работы.

5.2. Результаты домашнего расчета.

5.3. Таблицы или распечатки спектральных диаграмм.

5.4. Выводы о полученных результатах, сопоставление их с теоретическими положениями.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ УСТНЫХ ОТВЕТОВ

6.1. Каким образом изменится спектр периодического сигнала, если период его повторения устремить в бесконечность?

6.2. Какая связь существует между сплошным спектром непериодического сигнала и линейчатым спектром соответствующего периодического сигнала?

6.3. Запишите и прокомментируйте выражение для спектральной плотности непериодического сигнала.

6.4. Как связаны между собой длительность импульса и ширина его спектра?

6.5. Каков спектр единичного скачка?

6.6. Каков спектр единичного импульса?

6.7. Каков спектр радиоимпульса?

6.8. Как определить полосу частот, в которой заключена заданная часть энергии сигнала?

6.9. Сравнить спектры периодической последовательности видеоимпульсов и пачки из нескольких этих же импульсов?

6.10. В чем заключается сущность теоремы Котельникова?

6.11. В чем заключается сущность теоремы отсчетов в частотной области?

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

К каждому вопросу необходимо правильно выбрать аналитическое выражение.

7.1. Спектр непериодических сигналов.

7.2. Обратное преобразование Фурье.

7.3. Энергия непериодического сигнала.

7.4. Выражение корреляционной функции непериодического детерминированного сигнала.

7.5. Выражение свертки.

7.6. Выражение спектра произведения двух функций.

7.7. Спектр суммы сигналов.

7.8. Спектр задержанного сигнала.

7.9. Спектр сигнала, масштаб которого по оси ординат изменен в a раз.

7.10. Спектр сигнала, масштаб времени которого изменен в a раз.

7.11. Спектр продифференцированного сигнала.

7.12. Спектр проинтегрированного сигнала.

7.13. Спектр сигнала $S(t) \cos \omega_0 t$.

7.14. Спектр сигнала $S(t) \sin \omega_0 t$.

7.15. Спектр сигнала $S(t) e^{j\omega_0 t}$.

7.16. Спектр сигнала $a_1 S_1(t) + a_2 S_2(t)$.

7.17. Спектр сигнала $S(at)$.

7.18. Спектр сигнала $S(t - t_0)$.

7.19. Спектр свертки.

7.20. Размерность спектра непериодического сигнала.

7.21. Размерность корреляционной функции непериодического сигнала.

Аналитические выражения

$$7.22. \quad E = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |G(\omega)|^2 d\omega.$$

$$7.23. \quad \frac{1}{T} \int_0^T S(t) S(t - \tau) dt.$$

$$7.24. \quad G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt.$$

$$7.25. \quad \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} |G(\omega)|^2 d\omega.$$

$$7.26. \quad S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

$$7.27. \quad \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} S_1(t) S_2(t) dt = 0.$$

$$7.28. \quad \frac{j}{2} G(\Omega - \omega_0) - \frac{j}{2} G(\Omega + \omega_0).$$

$$7.29. \quad j\Omega G(\Omega).$$

$$7.30. \quad G(\Omega - \omega_0).$$

$$7.31. \quad G(\omega e^{-j\omega t_0}).$$

$$7.32. \quad G(\omega)K(j\omega).$$

$$7.33. \quad B; A.$$

$$7.34. \quad a_1 G_1(\Omega) + a_2 G_2(\Omega) + \dots + a_n G_n(\Omega).$$

$$7.35. \quad B^2; A^2.$$

$$7.36. \quad \frac{1}{a} G\left(\frac{\Omega}{a}\right).$$

$$7.37. \quad \frac{1}{j\Omega} G(\Omega).$$

$$7.38. \quad \frac{1}{2} G(\Omega - \omega_0) + \frac{1}{2} G(\Omega + \omega_0).$$

$$7.39. \quad B^2 C; A^2 C.$$

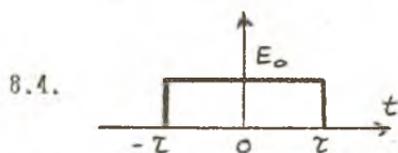
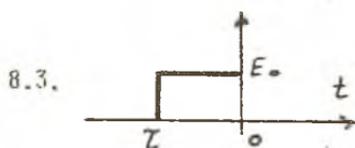
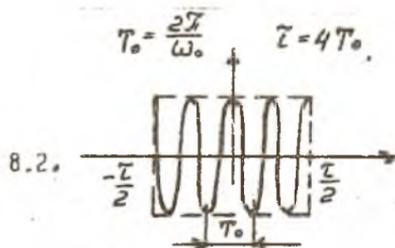
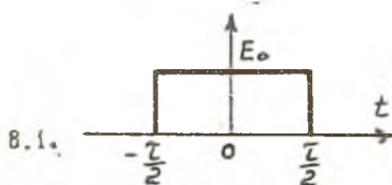
$$7.40. \quad \frac{1}{2} e^{-j\omega_0 t} G(\Omega - \omega_0) + \frac{1}{2} e^{j\omega_0 t} G(\Omega + \omega_0).$$

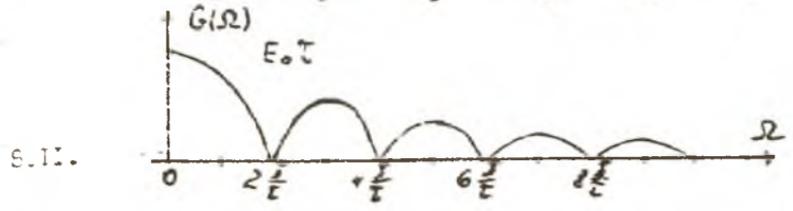
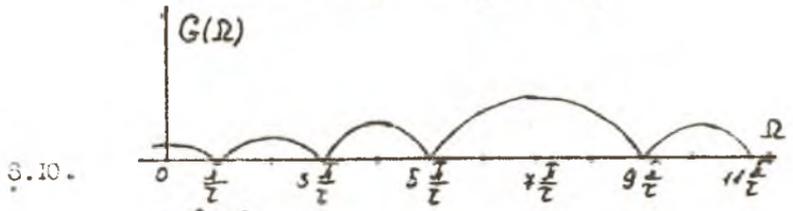
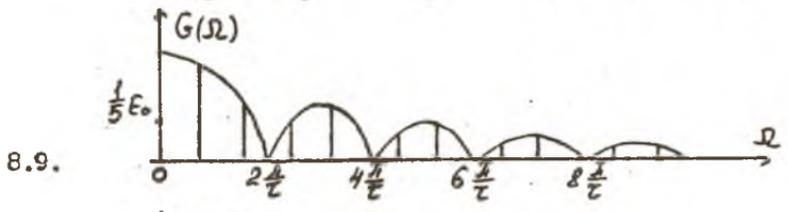
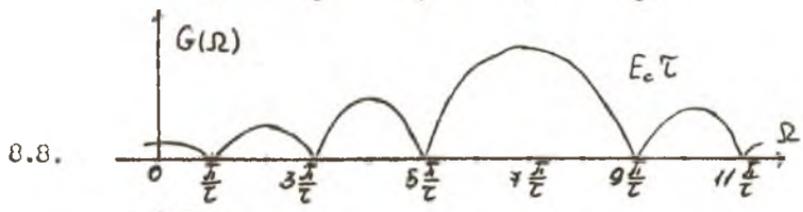
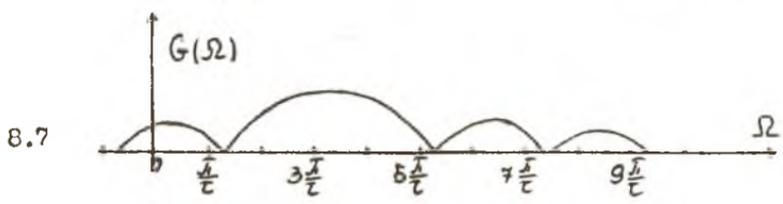
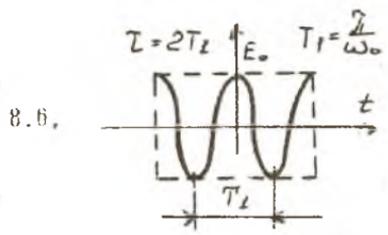
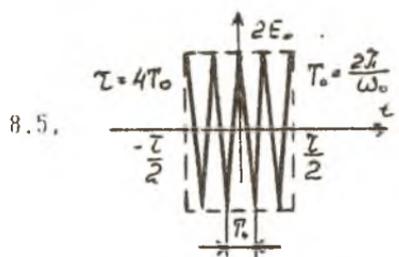
$$7.41. \quad \frac{B^2}{C}; \frac{A^2}{C}.$$

$$7.42. \quad \frac{B}{\Gamma_4}; \frac{A}{\Gamma_4}; BC; AC.$$

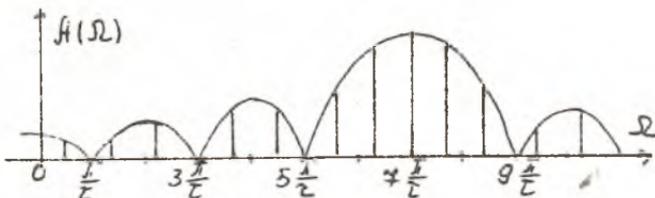
8. ГРАФИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Ниже приведены эюры неперидических сигналов, к каждому из них нужно правильно выбрать соответствующий спектр.

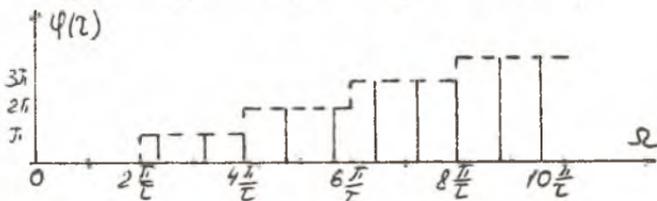




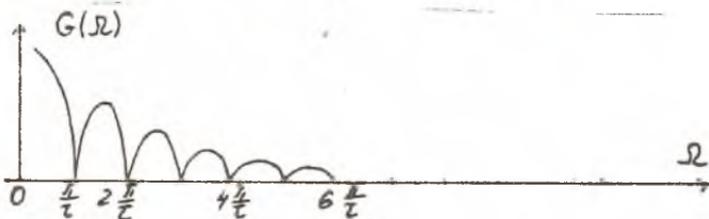
8.12.



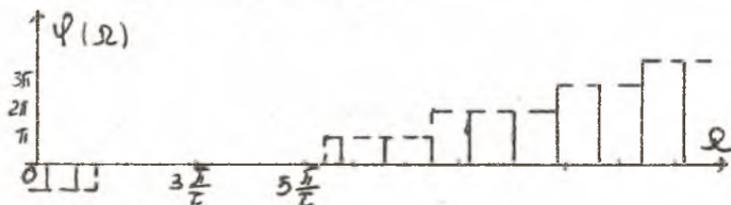
8.13.



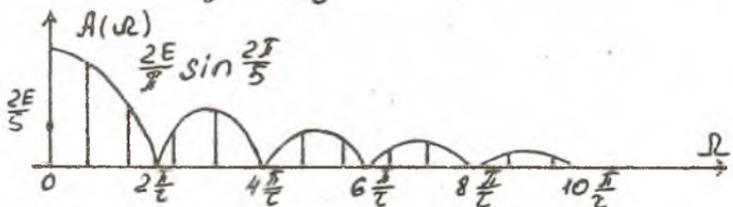
8.14.



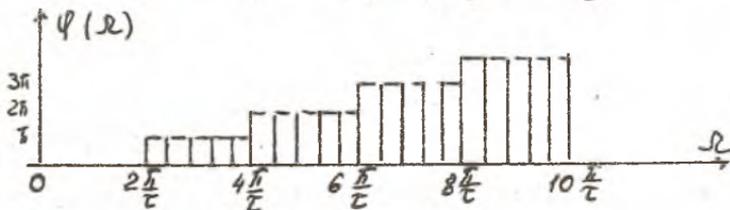
8.15.



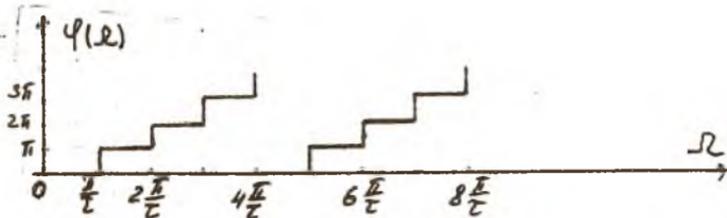
8.16.



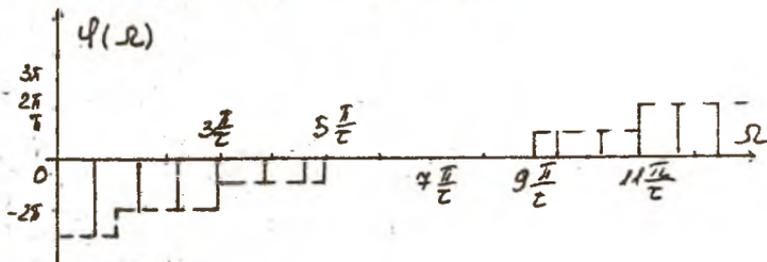
8.17.



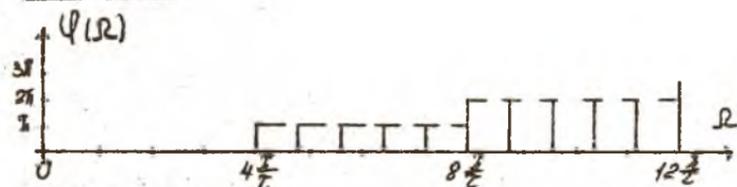
8.18.



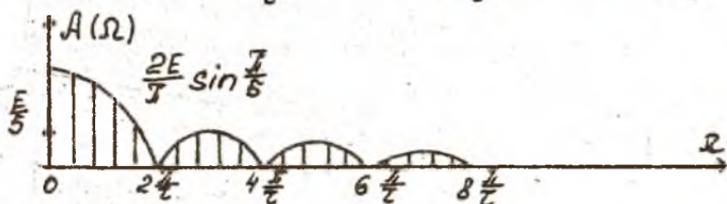
8.19.



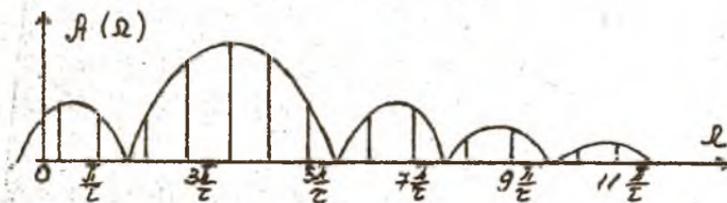
8.20.



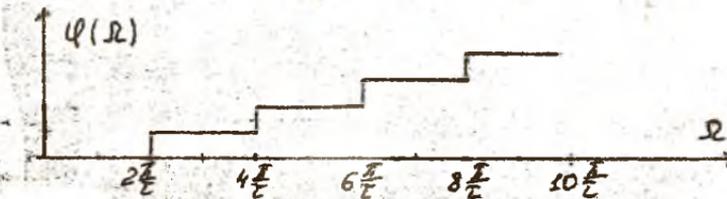
8.21.

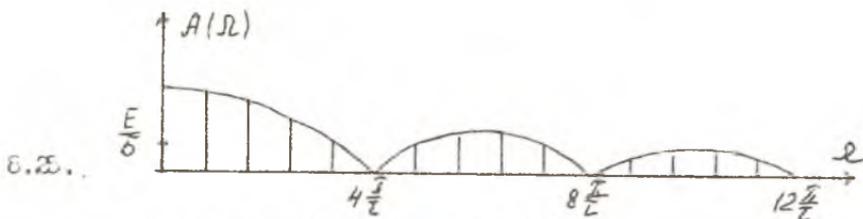


8.22.



8.23.





РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы.: Учебник для вузов. 4-е изд. М.: Радио и связь, 1986.

Баснаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1988.

Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов /Под ред. К.А. Самойло. М.: Радио и связь, 1982.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Составитель Д а н и л и н Александр Иванович

Редактор Т.И. К у з н е ц о в а
Техн. редактор Н.М. К а л е н ю к
Корректор Н.С. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 7.06.94. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л, 1,16.
Усл. кр.-отт. 1,28. Уч.-изд.л. 1,12. Тираж 100 экз.
Заказ 276. Арт. С-71мр/94.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С.П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного аэрокосмического
университета им. академика С.П. Королева.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.