

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального
образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ
ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АПЕРИОДИЧЕСКИХ
ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Руководство к лабораторной работе №4 по дисциплине
«Основы теории цепей» и «Теория электрических цепей» для студентов радиотехнического
факультета
всех специальностей

Разработчики:
доцент кафедры ТОР
И.В. Мельникова,
доцент кафедры ТОР

Б.Ф. Голев

Томск 2010

4.1 Цель работы

Усвоить понятия амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), фазочастотных характеристик (ФЧХ) и полосы пропускания цепи (ППЦ) и освоить методику их измерения на примере простых цепей, содержащих резисторы и один из реактивных элементов: конденсатор или катушку индуктивности.

4.2 Домашнее задание

1) По рекомендованной литературе (Л1-Л4) и методическим указаниям к работе изучить определения и методы расчета и измерения передаточных функций электрической цепи, граничных частот коэффициента передачи и полосы пропускания цепи.

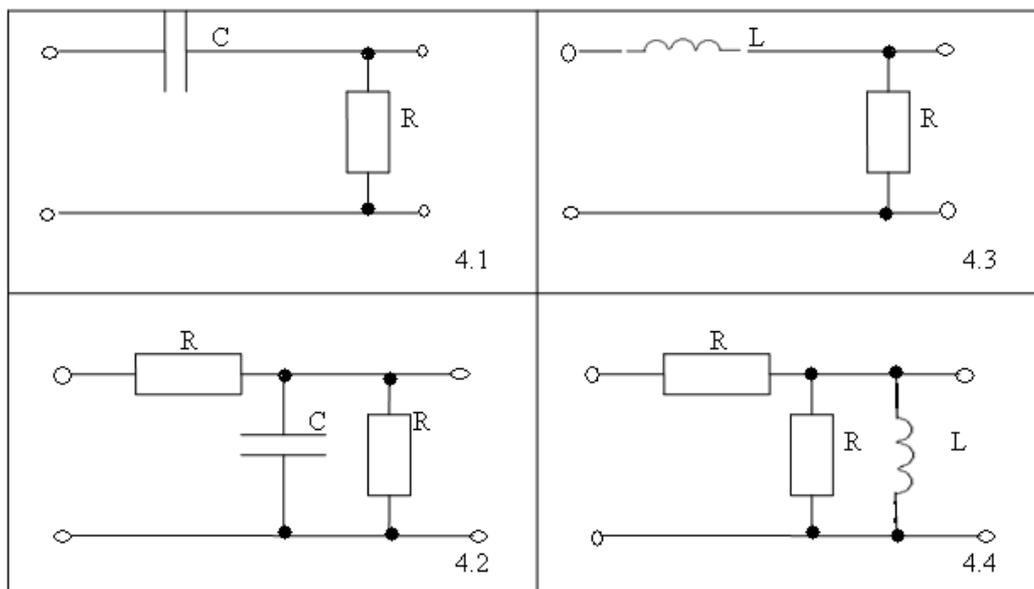
2) Схемы исследуемых цепей заданы таблицей 4.1. Используя вырожденные схемы исследуемых цепей на крайних частотах $f \rightarrow 0$ и $f \rightarrow \infty$, изобразить предполагаемые частотные характеристики $K_u(f)$, $\varphi_k(f)$.

Каждый студент в бригаде выполняет работу индивидуально – один определяет частотные характеристики для цепей 4.1 и 4.2, другой – для цепей – 4.3 и 4.4.

3) Для цепей, указанных в п. 2 домашнего задания, получить аналитические выражения АЧХ и ФЧХ передаточных функций. По полученным выражениям вычислить значения АЧХ и ФЧХ на крайних частотах $f \rightarrow 0$ и $f \rightarrow \infty$ и граничные частоты полосы пропускания. Номиналы элементов: $L = 30$ мГн, $C = 0.03$ мкФ, $R = 1$ кОм.

4) Вычислить значения функций $K_u(f)$, $\varphi_k(f)$ в схеме 4.1(4.3) на частотах 1,25; 2,5; 5; 10; 20 кГц. Построить их графики. Графически определить граничную частоту и полосу пропускания.

Таблица 4.1
Исследуемые электрические цепи



4.3 Лабораторное задание

1) Собрать схему (рисунок 4.1) для исследования частотных характеристик передаточной функции и произвести предварительную калибровку измерительной установки в соответствии с п. В) методических указаний.

Вход индикатора в положении:

- 1- для предварительной калибровки;
- 2- для наблюдения АЧХ на индикаторе X1-40.

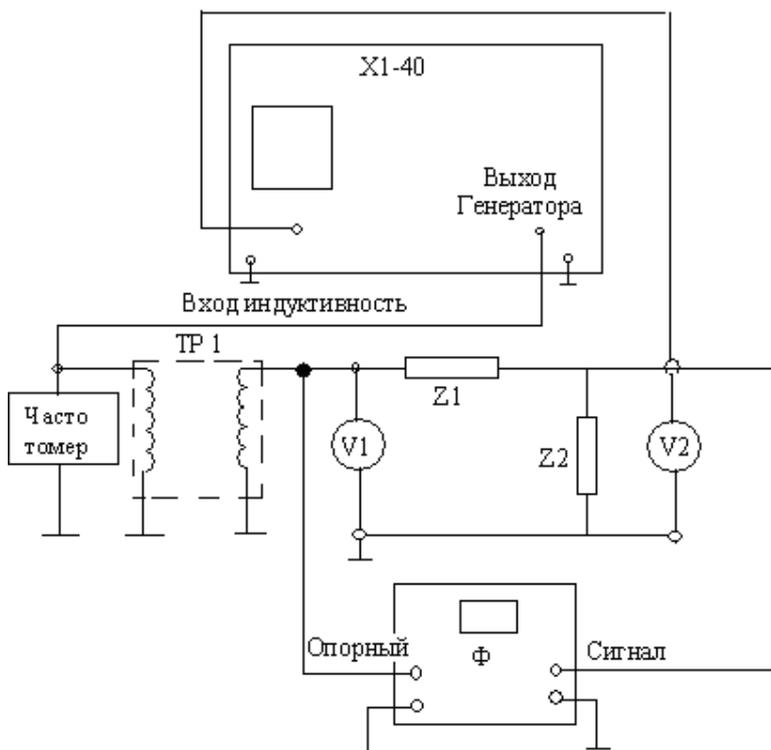


Рис.4.1 Схема подключения приборов для измерения АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи K_u .

2) Измерить значение АЧХ и ФЧХ передаточных функций схем 4.1-4.4 (всех или части из них по указанию преподавателя) для нескольких значений частоты в соответствии с п. Г) методических указаний. Результаты занести в таблицу 4.2. Графики АЧХ скопировать с экрана индикатора X1-40 в масштабе 1:1.

3) Определить граничную частоту полосы пропускания.

4) Сравнить экспериментально полученные результаты с расчетными.

Таблица 4.2

f, кГц							
$U_{1, В}$							
$U_{2, В}$							
$K=U_2/U_1$							
Φ_k							

4.4 Обработка результатов.

- 1) Изобразить на общем рисунке АЧХ, скопированную с экрана Х1-40 (масштаб 1:1) и рассчитанную в домашнем задании, отдельно для каждой из исследуемых схем.
- 2) Изобразить на общем рисунке экспериментальную и рассчитанную ФЧХ отдельно для каждой из исследованных схем.
- 3) Составить таблицы сравнения расчетных и экспериментальных данных для каждой схемы на одной из расчетных частот 2,5; 5 или 10 кГц. В таблицы включить значения частоты f , напряжения $U_{ВХ}, U_{ВЫХ}, |K_U|$, фазовый сдвиг φ_k , граничную частоту $f_{ГР}$, полосу пропускания.
- 4) Сделать выводы по работе.

4.5 Методические указания.

Измерение передаточных характеристик с помощью генератора стандартных сигналов, вольтметра и фазометра (метод единичного источника).

На вход исследуемой цепи подаётся напряжение от генератора гармонических колебаний. Устанавливается частота генератора f , производится измерение напряжений U_1 и U_2 и начальной фазы φ_{U_2} . Отношение напряжений U_2/U_1 даёт значение АЧХ передаточной функции на заданной частоте, а $\varphi_{U_2} = \varphi_k$ - значение ФЧХ на той же частоте. Измерения повторяются на других частотах. Количество измерений определяется характером АЧХ и здравым смыслом.

Если напряжение входного сигнала поддерживать неизменным, например, равным 1В, то АЧХ передаточной функции будет численно совпадать с частотной зависимостью выходного напряжения. Удобнее всего использовать в качестве источника сигнала генератор ЭДС, так как он, по определению, создаёт на подключаемой к нему цепи напряжение E , величина которого не зависит от входного сопротивления цепи. На практике достаточная точность измерения достигается, когда внутреннее сопротивление источника сигнала в 50...100 раз меньше модуля входного сопротивления исследуемой цепи.

Для понижения выходного сопротивления генератора на каждом стенде есть две возможности.

- 1) Сигнал с выхода генератора подается на сигнальную шину через понижающий трансформатор сопротивлений ТР1 панели «Линейные цепи». Выходное сопротивление генератора сигнала понижается до 10 Ом.
- 2) Сигнал с выхода генератора подается на сигнальную шину через специальное устройство ИНУН – источник напряжения, управляемый напряжением с выходным сопротивлением 20 Ом. ИНУН находится на передней панели рабочего стенда. Для работы ИНУН включить

источник питания, так же расположенный на передней панели стенда, тумблеры « сеть» и « » на блоке ИНУН.

Измерение передаточных характеристик с помощью измерителя частотных характеристик Х1-40.

Измерительный прибор Х1-40 предназначен для исследования АЧХ в диапазоне от 20Гц до 1МГц с полосой обзора до 20кГц в диапазоне I и до 30 кГц в диапазоне II (см. Приложение).

А) Для подготовки Х1-40 к работе устанавливается I диапазон и широкая полоса (см. Рекомендуемый порядок действий п. 1),2),3) Приложения).

Б) Выходное сопротивление генератора устанавливается 600 Ом. Сигнал с выхода генератора качающей частоты(ГКЧ) (разъем 1 на рис. П1) на сигнальную шину подается либо через понижающий трансформатор сопротивлений ТР1 панели «линейные цепи», либо через ИНУН. Низкие выходные сопротивления этих промежуточных устройств по сравнению со входными сопротивлениями исследуемых схем ($|Z_{вх}| \geq R = 1 \text{ кОм}$) позволяют считать, что на исследуемые схемы сигнал подается от источника ЭДС.

В) Собирается на макете исследуемая цепь. Вход цепи и вход индикатора Х1-40 (разъем 2 на рис. П.1) подключается к сигнальной шине макета (см. рекомендуемый порядок п.5) Приложения). С помощью ручек 17 и 7 устанавливается единичный уровень входного сигнала – отклонение на 10 больших делений (на весь экран), т. е. производится предварительная калибровка измерительной установки.

Частота устанавливается таким образом, чтобы $f \cong 0$ соответствовало левой границе экранной сетке (см. п.6) Приложения).

Г) Вход индикатора подключается к выходу исследуемой цепи (рис. 4.1). На экране индикатора Х1-40 отображается график АЧХ передаточной функции.

Для измерения ЧХ «по точкам» переходят на «ручной» режим измерения частоты генератора (ручка 10). Значение частоты фиксируют с помощью электронного частотомера, подключаемого к выходу генератора Х1-40 или по собственным частотным меткам.

Если необходимо измерить ФЧХ, то дополнительно ко входу исследуемой цепи подключают вход «опорный», а к выходу сигнал фазометра Ф2-1М.

4.6. Контрольные вопросы

Ниже приведены примеры контрольных вопросов:

- 1) сформулируйте определение АЧХ, поясните, что отражает АЧХ передаточной функции по напряжению;
- 2) сформулируйте определение ФЧХ, поясните, что отражает ФЧХ передаточной функции по напряжению;
- 3) изобразите упрощенную схему для измерения АЧХ передаточной функции с использованием
 - а) вольтметров,
 - б) измерительного прибора Х1-40;
- 4) изобразите упрощенную схему для измерения ФЧХ передаточной функции по напряжению и дайте необходимые пояснения;
- 5) изложите методику определения качественного характера АЧХ для моделей первого и второго порядка с однотипными реактивными элементами;
- 6) изложите методику определения качественного характера ФЧХ для моделей первого и второго порядка с однотипными реактивными элементами;
- 7) сделайте обоснованные предположения о качественном характере АЧХ по K_U для схем, изображенных на рис. 4.2;

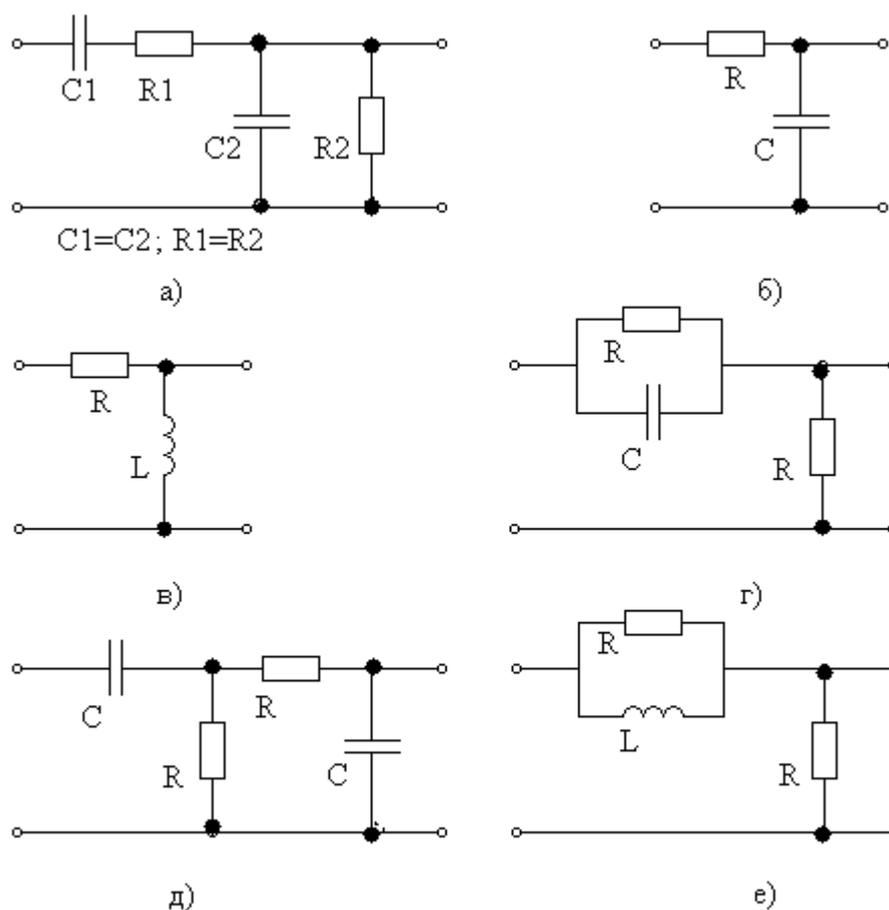


Рисунок 4.2

- 8) сделайте обоснованные предположения о качественном характере ФЧХ коэффициента передачи для схем рис. 4.2;
- 9) для каждой АЧХ, изображенной на рис. 4.3, постройте по две схемы;

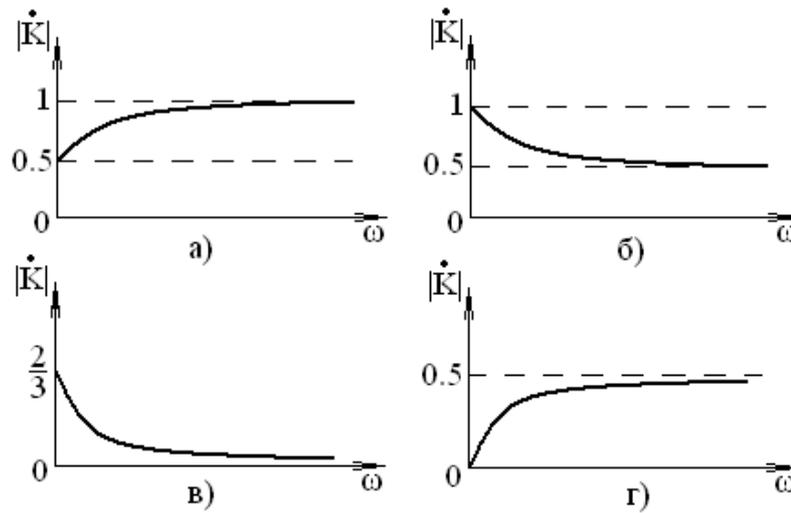


Рисунок 4.3

10) сформулируйте определение ППЦ и изложите методику расчета и экспериментального определения граничных частот полосы пропускания;

11) докажите в общем виде, что граничная частота для обоих выходов в каждой модели (рис. 4. 4) одинакова, выразите $\omega_{гр}$ через параметры модели;

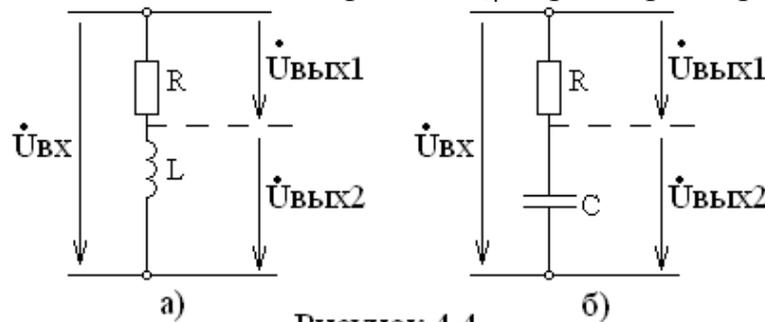


Рисунок 4.4

12) изобразите на общем графике в одинаковом масштабе АЧХ по обоим выходам модели рис. 4.4а (или рис. 4.4б) и прокомментируйте выполнение второго закона Кирхгоффа на граничной частоте;

13) поясните роль трансформатора сопротивлений (ТР1 на рис. 4.1) при измерении АЧХ по коэффициенту передачи;

14) почему при измерении АЧХ с помощью прибора Х1-40 необходимо соблюдать условие: выходное сопротивление генератора сигнала $R_i \ll |Z_{вх}|$ на любой частоте в диапазоне измерения?

15) поясните, на каких частотах и почему фазометр Ф2-1М будет работать неустойчиво или вообще не будет измерять фазовый сдвиг в схемах, АЧХ которых приведены на рис. 4.5;

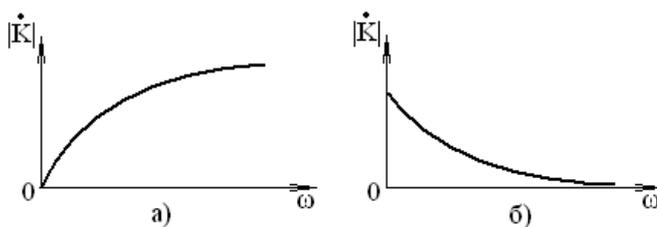


Рисунок 4.3

Рекомендуемая литература

Основная:

1. . Попов В.П. Основы теории цепей.- М.: Высш.шк.,2005.-574с.(252 экз.)

2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей.- СПб.: Лань,2009.-432с.

Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=95

3. Мельникова И.В., Тельпуховская Л.И. Основы теории цепей. Часть 2.- Томск, 2001. – 186 с.

Дополнительная:

1. Лосев А.К. Теория линейных электрических цепей. – Москва: Высшая школа, 1987.-511 с.

2

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЧХ X1-40

Расположение ручек управления на лицевой панели прибора схематично показано на рисунке П1, где приняты следующие обозначения:

- 1 и 2 – соответственно выходной и входной разъемы:
выход 1 от генератора качающейся частоты (ГКЧ),
вход 2 к индикатору X1-40 в виде электронно-лучевой трубки,
- 3,4,5,6 – перемещение и регулировка яркости и фокуса луча,
- 7 – ступенчатая и плавная регулировка усиления по каналу вертикального отклонения (КВО),
- 8 – установить в положение «ЛИН.» и не переключать,
- 9 – установить в положение «ВХОДН.» и не переключать,
- 10 – ручная или автоматическая развертка луча с регулируемой скоростью,
- 11 – переключатель частоты меток и плавная регулировка их амплитуды,
- 12 – 15 – регулировки по частоте, конкретнее:
12 и 13 – регулировка частоты грубо и точно (подстройка),
14 – переключатель диапазонов,
15 – переключатель ширины полосы просмотра с плавной регулировкой,
- 16 – переключатель выходного сопротивления,
- 17 – переключатель и плавная регулировка величины выходного сигнала генератора качающейся частоты,
- 18 – установить в положение « \sim » и не переключать.

Непронумерованные ручки в процессе настройки и работы не трогать!

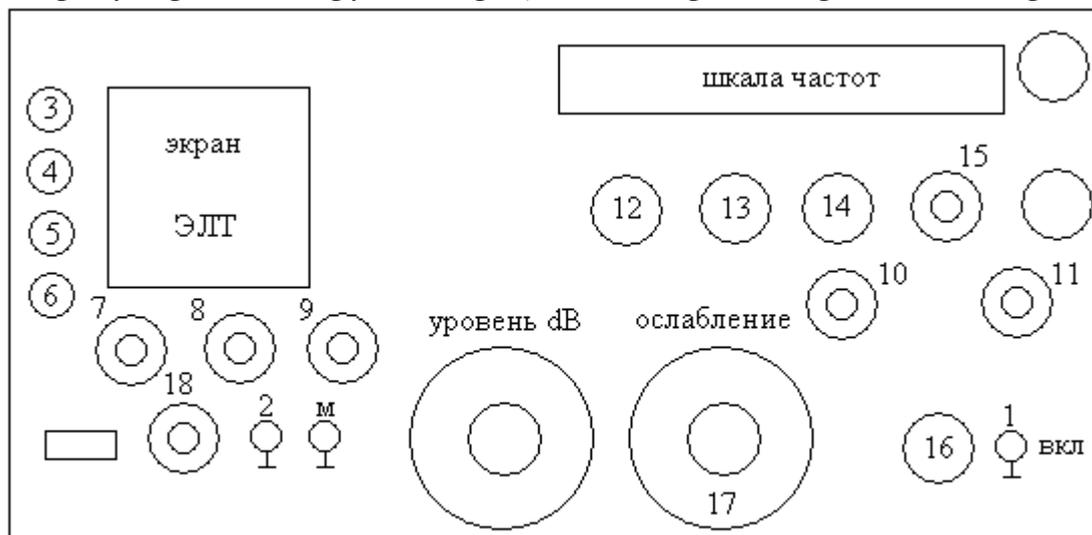


Рисунок П1

Подготовка прибора X1 – 40 к работе.

Настройку прибора X1-40 начинать не ранее, чем через 20 минут после включения!

Рекомендуемый порядок действий:

1) 8 – «лин.», 18 – «~», 9 – «входн.», 10 – «период S=3», 11 – «откл.», 17 – в положение, соответствующее 0 dB;

2) установить переключателем 14 частотный диапазон: I – для исследования в низкочастотной области; II – для исследования в области высоких частот;

3) переключателем 15 установить требуемую полосу (в работах №4 - №7 «широкая» и плавная регулировка вправо до упора);

Положение переключателя 14	Положение переключателя 15	
	широкая	узкая
I: 20 Гц – 40 кГц	от 1 до 20 кГц	от 0.1 до 1 кГц
II: 10 кГц – 1 мГц	от 3 до 30 кГц	от 0.3 до 3 кГц

4) установить переключателем 16 требуемое $R_{\text{вых}}$;

5) при анализе АЧХ K_U , если $|K_U| \leq 1$, следует входной сигнал, действующий на цепь, подать на вход 2 и добиться, чтобы луч перемещался по периметру сетки 10*10 на экране ЭЛТ, используя ручки:

5 – смещение \leftrightarrow , после настройки ручку 5 не трогать,

6 – добиться совмещения обратного хода луча с нижней линией сетки,

7 – добиться совмещения прямого хода луча с верхней гранью сетки, используя ручки 7 и 17;

6) при работе в I диапазоне удобно минимальную частоту генератора (практически $f=0$) совместить с левым краем экранной сетки - настроиться на нулевые биения:

11 – метки выключить,

10 – в положении «руч.», плавной регулировкой переместить луч на левый край сетки

12 и 13 – добиться нулевых биений (световая точка сначала вытянется в вертикальную линию и затем упадет до нуля);

После настройки на нулевые биения ручки 12 и 13 не трогать!

Примечание: контроль частоты внутри диапазона можно осуществлять с помощью частотомера или используя метки 11 через 10 кГц или 1 кГц в зависимости от полосы наблюдения.