

**A1 2.00** Выразите условие балансировки моста как соотношение **только** между номиналами его элементов. При какой частоте  $f_{\text{bal}}$  происходит балансировка?

Ответ:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{R_4}{R_3} - \frac{R_2}{R_1}$$
$$f_{\text{bal}} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

**A2 4.00** С помощью моста Вина как можно точнее найдите ёмкости выданных вам конденсаторов. Оцените погрешность полученных ответов.

*Примечание:* Поскольку «земля» генератора и осциллографа общие, то при подключении приборов в схему напрямую, один из компонентов моста Вина будет фактически исключен из цепи (два его вывода будут иметь одинаковый потенциал). Чтобы решить эту проблему необходимо использовать трансформатор. Одну его обмотку необходимо подключить к мосту Вина, а со второй обмотки снимать данные на осциллографе.

*Примечание:* Трансформатор втыкайте только в маленькую макетную плату, поскольку его ножки могут повредить контакты большой!

Номиналы резисторов –  $1.00 \pm 0.01 \text{ кОм} \times 2$ ,  $2.00 \pm 0.02 \text{ кОм}$  и  $22.0 \pm 0.5 \text{ Ом}$ . Для более точного определения ёмкостей имеет смысл увеличить частное  $\frac{R_4}{R_3}$  и уменьшить  $\frac{R_2}{R_1} \implies R_1 = 2 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 22 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ кОм}$ . Тогда погрешностью слагаемого  $\frac{R_2}{R_1}$  можно будет фактически пренебречь. Мост Вина, собранный таким образом, позволяет измерить ёмкости конденсаторов 1 – 6. Для измерения ёмкости конденсатора 7 можно подключить оставшийся резистор 1 кОм последовательно с реостатом. Результаты измерений приведены в таблице ниже. Для более точного измерения малых ёмкостей можно использовать и другие сборки моста, к примеру, взять  $R_3 = 2 \text{ кОм}$ .

Ответ:

| № конденсатора              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ёмкость $C$ , нФ            | 102 | 148 | 208 | 302 | 424 | 664 | 954 |
| Погрешность $\Delta C$ , нФ | 3   | 4   | 6   | 11  | 14  | 19  | 26  |

**B1 2.00** Найдите передаточную функцию моста Вина  $H(f)$ . При какой частоте  $f_0$  эта функция имеет особенность? На какую величину  $H_\infty$  передаточная функция выходит в пределе больших и малых частот?

Ответ:

$$H(f) = \frac{1}{3} \frac{|1 - \Omega^2|}{\sqrt{(1 - \Omega^2)^2 + 9\Omega^2}}, \quad \Omega = 2\pi f R_1 C_1$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}, \quad H_\infty = \frac{1}{3}$$

**B2 1.00** Соберите частотный фильтр из имеющегося у вас оборудования. Подав на вход синусоидальный сигнал, найдите минимальную экспериментально достижимую величину передаточной функции  $H_{\text{exp min}}$ .

Единственный способ собрать требуемый мост – использовать  $C_1 = C_0$  и реостат в качестве  $R_3$  и  $R_4$ . Стоит отметить, что при минимизации передаточной функции напряжение на осциллографе будет колебаться с частотой, в 2 раза превышающей входную. Таким образом, реальная передаточная функция моста вина ограничена нелинейными эффектами.

Ответ:

$$H_{\text{exp min}} = 0.02 \dots 0.03$$

**B3 1.00** Предложите метод, позволяющий отфильтровать постоянную компоненту и несущую гармонику сигнала диода и найдите относительную амплитуду  $\frac{U_{\text{high}}}{U_{\text{in}}}$  высших гармоник. Оцените погрешность, используя результат предыдущего пункта.

*Подсказка:* Можете считать, что передаточная функция моста Вина выходит на константу достаточно быстро. Учтите, что передаточная функция трансформатора не обязательно равна 1!

Настроив генератор на частоту  $f_0$ , мы можем отфильтровать несущую гармонику. Постоянная компонента исчезает, поскольку для подключения осциллографа используется трансформатор.

Измерим относительную амплитуду сигнала на осциллографе (частота этого сигнала должна быть равна  $2f_0$ ),  $\frac{U_{out}}{U_{in}} \sim 0.08$ . Измерим передаточную функцию трансформатора на частоте  $f_0$ , подключив его напрямую к источнику. Получим  $H_{trans} \approx 0.5$ . Передаточная функция моста Вина по условию  $= 1/3$ . Тогда

$$\frac{U_{high}}{U_{in}} = \frac{3}{H_{trans}} \frac{U_{out}}{U_{in}} \sim 0.5, \quad \Delta \left( \frac{U_{high}}{U_{in}} \right) = \frac{3H_{exp\ min}}{H_{trans}} \sim 0.1$$

Ответ:

$$\frac{U_{high}}{U_{in}} = 0.5 \pm 0.1$$