

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Г. Л. АРЕШЯН, О. В. ЛЕОНОВ, А. С. ШАХКАМЯН

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ И АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ
 ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМОМЕТРОВ СГК И СВК С АКТИВНЫМ
 ФИЛЬТРОМ

В настоящее время на сейсмических стационарных станциях СССР, в основном, применяются маятниковые электромеханические сейсмометры системы Кириоса с гальванометрической регистрацией сейсмического сигнала [1], основным преимуществом которых является сравнительно малая динамическая погрешность в сейсмическом диапазоне частот. При этом обработка сейсмограмм осуществляется вручную. Для автоматизации процесса обработки сейсмических сигналов необходимо сопрягать сейсмометры с ЭВМ. С этой целью необходимо осуществить операционное преобразование выходного сигнала измерительной обмотки сейсмометрического преобразователя (СП) в цифровой код. Для оптимального выбора параметров операционного преобразователя и анализа динамических характеристик рассмотрим передаточные функции этих сейсмометров. Дифференциальное уравнение движения маятниковой системы (МС) СП имеет следующий вид [1]:

$$J\ddot{\theta} + P_y \dot{\theta} + w\theta = -R_0 m \dot{X}, \quad (1)$$

где J , P_y , θ , m , w — соответственно, момент инерции, коэффициент успокоения, угол поворота, масса и жесткость МС; R_0 — расстояние от оси вращения до центра тяжести; X — смещение почвы.

Если в качестве входной величины МС принять механический момент $M_{вх} = -R_0 m \dot{X}$, а в качестве выходной величины — угол поворота θ МС, то передаточную функцию МС можно представить в виде:

$$W_u(p) = \frac{\theta(p)}{M_{вх}(p)} = \frac{1}{Jp^2 + P_y p + w}. \quad (2)$$

Скорость перемещения МС преобразуется в э. д. с. с помощью магнито-электрического индукционного преобразователя, состоящего из двух обмоток, причем первая из них является измерительной, а вторая служит для подрегулировки коэффициента успокоения МС. Выходные э. д. с. этих обмоток определяются выражениями:

$$e_{из} = -K_{из} \dot{\theta}; \quad e_{р} = -K_p \dot{\theta}, \quad (3)$$

где $K_n = Bl_n R_0$; $K_y = Bl_y R_0$ — электромагнитные постоянные СП; B — индукция постоянного магнитного поля в рабочем зазоре магнитной системы СП; l_n , l_y — соответственно, рабочая длина измерительной обмотки и обмотки успокоения.

Следовательно, для передаточной функции измерительной обмотки получим:

$$W_n(p) = \frac{E_n(p)}{\Theta(p)} = -pK_n. \quad (4)$$

Если через вторую обмотку протекает ток i , то возникает обратное действующий на МС момент успокоения, определяемый выражением:

$$M_y = Bl_y R_0 i = K_y i. \quad (5)$$

При этом ток i создается подключением к второй обмотке соответствующего сопротивления Z_2 . Тогда для передаточной функции цепи успокоения получим:

$$W_{\alpha}(p) = -\frac{M_y(p)}{\Theta(p)} = \frac{K_y^2 p}{Z_2(p)}, \quad (6)$$

где $Z_2(p)$ — оператор общего сопротивления цепи второй обмотки.

На основании этого структурную схему СП можно представить в виде рис. 1, а его эквивалентная передаточная функция будет:

$$W_{\text{сх}}(p) = \frac{E_n(p)}{X(p)} = \frac{p^3 K_n / l_0}{p^2 + p \nu + \omega_0^2 + \frac{K_y^2}{J Z_2(p)} p}, \quad (7)$$

где $\omega_0 = \sqrt{g/l}$ — частота собственных колебаний МС; $l_0 = J/mR_0$ — приведенная длина маятника.

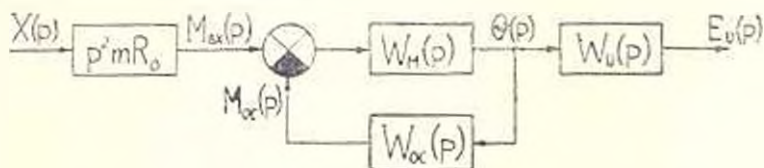


Рис. 1.

Если вторая обмотка нагружается активным сопротивлением, то

$$Z_2(p) = R_2 (1 + pT_2), \quad (8)$$

где R_2 — суммарное активное сопротивление цепи нагрузки, включающее сопротивление обмотки успокоения; $T_2 = l_2/R_2$ — постоянная времени цепи нагрузки; l_2 — индуктивность второй обмотки.

Для сейсмометров СГК и СВК $L_2 < 0.1$ Гн, $R_2 > 25$ Ом, поэтому учитывая, что частота сейсмических колебаний не превышает 20 Гц,

можно пренебречь значением pT_0 по сравнению с единицей в выражении (8). Тогда для передаточной функции $W_{\text{вы1}}(p)$ получим:

$$W_{\text{вы1}}(p) = - \frac{p^2 K_n / I_0}{p^2 + (P_y + K_y^2 / R_2) p + \omega_0^2} \quad (9)$$

Следовательно, подключение ко второй обмотке активного сопротивления увеличивает коэффициент успокоения МС. Если ко второй обмотке подключается последовательно резистор и конденсатор с емкостью C , то

$$Z_2(p) = \frac{1}{p} L_2 \left(p^2 + \frac{1}{T_2} p + \omega_2^2 \right), \quad (10)$$

где $\omega_2^2 = 1/L_2 C$.

Тогда для передаточной функции получим:

$$W_{\text{вы2}}(p) = - \frac{p^2 K_n / I_0}{p^2 + P_y p + \omega_0^2} \cdot \frac{K_y^2}{p^2 + p/T_2 + \omega_2^2} \quad (11)$$

Анализ полученного выражения показывает, что подключение к обмотке успокоения резистора и конденсатора приводит к изменению эквивалентной частоты собственных колебаний и коэффициента успокоения МС. Тогда для сейсмического диапазона частот при $T_0 = 0,004$ с, $C > 100$ мкф ($\omega_2^2 \geq 10^5$ с $^{-2}$) эквивалентную передаточную функцию сейсмометра можно записать в виде:

$$W_{\text{вы}}(p) = \frac{E_2(p)}{X(p)} = \frac{p^2 K_n / I_0}{p^2 + 2D_{01} \omega_{01} p + \omega_{01}^2}, \quad (12)$$

где D_{01} , ω_{01} , K_n — соответственно, приведенные степень успокоения и частота собственных колебаний МС, а также коэффициент успокоения.

Тогда для амплитудно-частотной характеристики получим:

$$W_{\text{вы}}(\omega) = - \frac{\omega K_n / I_0}{V(\mu^2 - 1)^2 + 4D_{01}^2 \mu^2} \quad (13)$$

где $\mu = \omega_{01}/\omega = T_0/T_1$, $T_0 = 2\pi/\omega_{01}$; T_1 — период сейсмических колебаний.

В стационарных сейсмометрах типа СГК и СВК $D_{01} \geq 0,45$, $\omega_{01} \geq 0,5$ с $^{-1}$. Из выражения (13) следует, что выходная э. д. с. измерительной обмотки пропорциональна скорости перемещения почвы в сейсмическом диапазоне частот. Для получения сигнала, пропорционального перемещению почвы, выходную э. д. с. e_n необходимо интегрировать. Наиболее целесообразно применение электронного интегратора на базе операционного усилителя (ОУ). Учитывая, что длительность непрерывной работы сейсмометров очень большая, при наличии

в ОУ напряжения смещения нуля и ее дрейфа получится нежелательное накопление погрешности на выходе интегратора. Для уменьшения этой погрешности необходимо производить периодическую установку нуля ОУ и применять активный полосовой низкочастотный фильтр по схеме Рауха. Передаточная функция такого фильтра (рис. 2) определяется выражением [2]:

$$W_{\Phi}(p) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2 p^2 + [R_2 + R_3(i + R_2/R_1)] C_2 p + 1}. \quad (14)$$

При $R_1 = R_2 < 0,001 R_3$ получим:

$$W_{\Phi}(p) = -\frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{1}{\tau_1 \tau_2} \cdot \frac{1}{p^2 + 2D_{\Phi} \omega_{\Phi} p + \omega_{\Phi}^2}, \quad (15)$$

где

$$\omega_{\Phi} = 1/\sqrt{\tau_1 \tau_2}; \quad \tau_1 = R_2 C_1; \quad \tau_2 = R_3 C_2; \quad T_{\Phi} = 2\pi \sqrt{\tau_1 \tau_2}; \quad D_{\Phi} = \sqrt{\tau_2/\tau_1}.$$

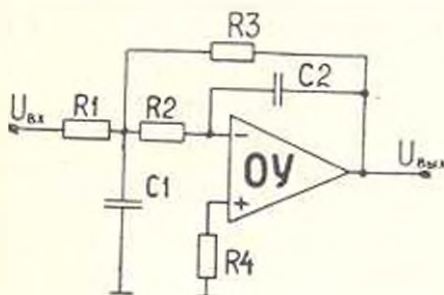


Рис. 2.

Амплитудно-частотную характеристику этого фильтра можно представить в виде:

$$W'_{\Phi}(\omega) = \frac{K_{\Phi}}{\sqrt{1 + (u_{\Phi} - 1/u_{\Phi})^2 + 4D_{\Phi}^2}}, \quad (16)$$

где

$$K_{\Phi} = -\frac{1}{2\omega R_1 C_2}; \quad u_{\Phi} = \omega_{\Phi}/\omega = T_{\Phi}/T_{\Phi}.$$

При подключении этого фильтра к измерительной обмотке СИ для передаточной функции и амплитудно-частотной характеристики сейсмометра с фильтром получим:

$$W_c(p) = -\frac{p^2 \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\tau_1 \tau_2} \right) \cdot K_u/I_0}{(p^2 - 2D_{st}\omega_{st}p + \omega_{st}^2)(p^2 + 2D_{\Phi}\omega_{\Phi}p + \omega_{\Phi}^2)}, \quad (17)$$

$$W_c(\omega) = \frac{K_u/I_0 \cdot 1/2R_1 C_2}{\sqrt{(u^2 - 1)^2 + 4D_{st}^2} \cdot \sqrt{1 + (u_{\Phi} - 1/u_{\Phi})^2 + 4D_{\Phi}^2}}, \quad (18)$$

Из этого выражения следует, что коэффициент передачи (увеличение) сейсмометра с активным фильтром будет:

$$K_0 = K_n / I_0 R_1 C_2 \quad (19)$$

При гальванометрической регистрации частотная характеристика сейсмографа определяется выражением [1]:

$$U(\omega) = \frac{V_0}{\sqrt{(1 - u^2)^2 + 4D_0^2 u^2} \sqrt{1 + \xi}} \quad (20)$$

где $\xi = (1/u_1 - u_2)^2 / 4D_1^2$; $u_1 = T_\infty / T_1$; D_1 ; T_1 — соответственно, коэффициент успокоения и период собственных колебаний гальванометра; V_0 — увеличение сейсмографа.

Выражение (20) отличается от (18) вторым членом знаменателя. Для сейсмометров СГК и СВК $T_0 = 12,5$ с, $T_1 = 1,2$ с, $D_0 = 5$, следовательно, при $0,2 \text{ с} < T_\infty < 10$ с получим $0,016 < u < 0,8$, $0,16 < u_1 < 8,3$ и $0,36 < \xi < 0,65$. Принимая для фильтра $D_\phi = 10$, $T_\phi = 2$ с ($\tau_1 = 56$ мс, $\tau_2 = 5,6$ с), получим $0,092 < (u_\phi - 1/u_\phi)^2 / 4D_\phi^2 < 0,245$.

Сравнивая выражения частотных характеристик сейсмометров с активным фильтром (18) и гальванометрической регистрацией (20), приходим к выводу, что сейсмометр с активным фильтром имеет сравнительно лучшую частотную характеристику и широкие возможности по регулировке параметров сейсмометрического канала.

При синусоидальном колебании почвы $x = x_m \sin \omega t$, амплитуда выходной э. д. с. e_m будет:

$$e_m = \frac{K_n \omega X_m}{I_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - u^2)^2 + 4D_0^2 u^2}}, \quad (21)$$

где $\omega = 2\pi/T_\infty$.

На основании этого выражения для СГК-3 при $K_n \approx 1,75$ В·с/рад, $I_0 = 27$ см, $T_\infty = 10$ с, $X_m = 10^{-3}$ мм, получим $e_m = 5$ мкВ. Это значение является минимальным, которое необходимо регистрировать. Следовательно, максимально допустимое значение суммарного сигнала помехи на входе фильтра должно быть не более 1,5 мкВ. Наибольшее значение выходного напряжения СГК-3 (при $T_\infty = 0,1$ с, $X_m = 5$ мм) будет около 2 В.

Для коэффициента передачи сейсмометра СГК-3 с фильтром получим:

$$K_0 = 6,48 / 2R_1 C_2, \text{ мВ/мм.}$$

Для повышения точности преобразования весь диапазон измерений целесообразно разбить на два поддиапазона — от 0,001 до 0,070 мм и от 0,070 до 5 мм. Тогда для этих поддиапазонов получим, соответственно, $K_{01} = 140$ В/мм и $K_{02} = 2,0$ В/мм ($R_1 C_1 = 23$ мкс и $R_1 C_2 = 1,62$ мс соответственно). Для построения фильтра при входных сигналах не менее 3 мкВ наиболее целесообразно применять ОУ типа МЛ14806.

Применение фильтра дает возможность непосредственного преобразования значения смещения почвы в цифровой код с помощью аналого-цифрового преобразователя среднего быстродействия и ввода кодированного результата в ЭВМ с целью хранения сейсмограмм в цифровом запоминающем устройстве. При этом возможна параллельная обработка сейсмической информации для определения координат эпицентра и силы землетрясения. Имеется также возможность непосредственного наблюдения сейсмического сигнала на экране электронного осциллографа в процессе землетрясения.

ЕрПН им. К. Маркса

10. IX 1982

Գ. Լ. ԱՐԵՇԱՆ, Օ. Վ. ԼԵՈՆԻՎ, Ա. Ս. ՇԱՀՄԱՏՅԱՆ

ԱՆՏԻՎ ՀԻՄՏՐՈՎ ԸՂԻԿ ՆՎ ՇԵՔ ՏՐՊԻ ՍԵՅՍՄՈՂՈՑՏՐԵՐԻ ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ՀՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԸ ՆՎ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ա. Վ. Փ. Ի. Ն. Վ.

Դիտարկվում են սեյսմոմետրի փոխանցման ֆունկցիաները: Որոշվել է ելքային լարման և հանդստացման փափույթի շղթայի դիմադրության ազդեցությունը սեյսմոմետրի դինամիկական պարամետրերի վրա: Դիտարկվել է չափման կանաչում ակտիվ ֆիլտր մտցնելու հարցը: Որոշվել է կանաչի փոխանցման ֆունկցիան ակտիվ ֆիլտրի առկայության դեպքում, ստացվել են բանաձևեր կանաչը ամպլիտուդա-հաճախականային բնութագրի և ուժեղացման հաշվարկի համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР, южн. ред. Аранианич З. Н. /— М.: Наука, 1974.— 213 с.
2. Марше Ж. Операционные усилители и их применение.— М.: Энергия, 1974.— 216 с.