индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-604(91)-82

В.А.ВАГАРШАКЯН

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОДНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ

ԵՐԵՎԱՆ 1982 ЕРЕВАН

В данной работе ставится задача определения оптимального времени проведения профилактики для непрерывной системы,назначение и принцип функционирования которой описан в работе [3] .

Обычно профилактический контроль проводится по ранее определенным срокам, что на практике не всегда бывает своевременным. Решение задачи прогнозирования для эксплуатируемой электроники позволяет перейти от диагностирования по срокам к диагностике по состоянию.

Для решения этой задачи воспользуемся методом аналитического прогнозирования. Из выражения передаточной функции указанной системы определим параметры, совокупность которых характеризует состояние объекта в K - мерном пространстве состояний, где координатами пространства служат K параметры системы.

С течением времени радиокомпоненты претерпевают необратимые физико-химические превращения, следовательно, закономерность изменений, происходящих при старении элементов позволяет говорить об определенной закономерности изменения работоспособности системы. Таким образом, состояние нашей системы будет определяться выражением функций состояния $\vec{Q}\,[\varepsilon(t)]$

$$\vec{Q}[\mathcal{E}(t)] = Q[\mathcal{E}_1(t), \mathcal{E}_2(t), \dots \mathcal{E}_k(t)]$$

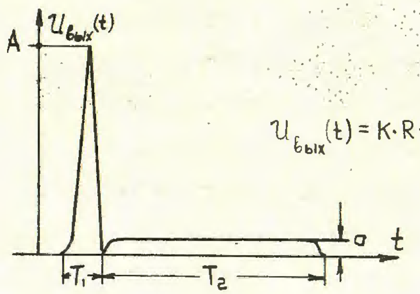
Очевидно, чем дальше вектор состояния $\vec{Q}[\mathcal{E}(t)]$ от гиперповерхности допустимых значений степени работоспособности

$$\vec{Q}(\mathcal{E}^*) = Q(\mathcal{E}_1^*, \mathcal{E}_2^*, \dots \mathcal{E}_k^*),$$

где $\mathcal{E}_i$ – допустимые значения параметров $\mathcal{E}_i(t)$, тем выше степень работоспособности диагностируемого объекта. Следовательно, уровень состояния системы зависит от разности $\vec{\mathcal{E}} - \mathcal{E}^*$, которая определяет расстояние конца вектора до поверхности.

В качестве параметров $\mathcal{E}_i$ выберем значения выходного сигнала в интервале времени $T_1 + T_2$. Исходя из назначения этой системы и требуемых точностей измерения заданы допустимые пределы изменения выходного сигнала. При нормальном режиме функционирования форма выходного сигнала приведена на рисунке. Допустимое отклонение амплитудного значения кривой (1) в интервале $(T_1 + T_2)$ соответственно равно ΔA_1; ΔA_2. Допустимое изменение временных интервалов T_1 и T_2 равно ΔT.

Перейдем к описанию тех изменений A, α, T_1, T_2, которые допустимы для нашей системы. Приведем аналитическое выражение передаточной функции исследуемой системы.



$$U_{вых}(t) = K\cdot R\cdot C(1-e^{-\frac{t}{RC}}) \begin{cases} -\frac{\gamma A}{T_1} + \frac{\beta A}{T_2} & 0<t<T_1 \\ \frac{\gamma A}{T_2} - \frac{\beta A}{T_2} & t_1<t<T_1+T_2 \\ 0 & T_1+T_2<t \end{cases}$$

Наложенные условия работоспособности к передаточной функции системы можно записать в следующей форме.

$$|T_1 - T_1'| < \Delta T \qquad |T_1+T_2-(T_1'+T_2')| < \Delta T$$

$$\left|K R\cdot C(1-e^{-\frac{t_1}{RC}})\cdot\frac{A\cdot(\beta-\gamma)}{T_1} - K'R'C'(1-e^{-\frac{t_1}{RC}})\frac{A'(\beta'-\gamma')}{T_1'}\right| < \Delta A_1$$

$$\left|K\cdot R\cdot C(1-e^{-\frac{t_2}{RC}})\frac{A(\gamma-\beta)}{T_2} - K'R'C'(1-e^{-\frac{t_2}{RC}})\frac{A'(\gamma'-\beta')}{T_2'}\right| < \Delta A_2$$

$$t_1 = \frac{T_1'}{2}, \qquad t_2 = \frac{T_2'}{2}$$

Заметим, что выражение $(1-e^{-\frac{t}{RC}})$ в первом приближении для маленьких t можно заменить выражением $\frac{T}{RC}$, а для больших t $(1-e^{-\frac{t}{RC}}) \approx 1$. С учетом этих изменений наши условия можно записать в таком виде:

$$|T_1 - T_1'| < \Delta T \qquad |T_1+T_2-(T_1'+T_2')| < \Delta T$$

$$\left|\frac{KA(\beta-\gamma)}{T_1}\cdot\frac{T_1'}{2} - \frac{K'A'(\beta'-\gamma')}{T_1'}\cdot\frac{T_1'}{2}\right| < \Delta A_1$$

$$\left|\frac{KA\cdot RC(\gamma-\beta)}{T_2} - \frac{K'A'K'C'(\gamma'-\beta')}{T_2'}\right| < \Delta A_2 \qquad (a)$$

Параметры $K, A, \beta, \gamma, T_1, T_2$ определяются, исходя из эквивалентной схемы исследуемой системы, подробное описание которой изложено в работе [3].

$$K = \frac{R_{30}}{R_H} \qquad A = 0{,}9\,E_H \qquad \gamma = \frac{\Delta R_{35}}{R_{35}} \qquad \beta = \frac{\Delta R_{36}}{R_{36}}$$

$$T_1 = C_8 \cdot R_{эк}, \qquad T_2 = C_8 \cdot \tilde{R},$$

Перепишем условия (a), подставляя значения указанных параметров.

1. $|C_8 \cdot R_{эк} - C_8' R_{эк}'| < \Delta T$

2. $|C_8 R_{эк} + C_8 \cdot \tilde{R}_1 - C_8' R_{эк}' - C_8' \cdot \tilde{R}_1'| < \Delta T$

3. $$\left| \frac{A \cdot \frac{R_{39}}{R_н}\left(\frac{\Delta R_{36}}{R_{36}} - \frac{\Delta R_{35}}{R_{35}}\right)}{C_8 \cdot R_{эк}} - \frac{A' \frac{R_{39}'}{R_н'}\left(\frac{\Delta R_{36}'}{R_{36}'} - \frac{\Delta R_{35}'}{R_{35}'}\right)}{C_8' R_{эк}'} \right| < \frac{2\Delta A_1}{T_1'}$$

4. $$\left| \frac{A \frac{R_{39}}{R_н} \cdot R \cdot C\left(\frac{\Delta R_{35}}{R_{35}} - \frac{\Delta R_{36}}{R_{36}}\right)}{C_8 \cdot \tilde{R}_1} - \frac{A' \frac{R_{39}'}{R_н'} \cdot R' \cdot C'\left(\frac{\Delta R_{35}}{R_{35}} - \frac{\Delta R_{36}}{R_{36}}\right)}{C_8' \tilde{R}_1'} \right| < \Delta A_2, \quad (в)$$

где $C_8', R_{эк}', A', \ldots$ значения этих параметров, которые должны быть, а $C_8, R_{эк}, A$, значения этих же параметров, наблюдаемые во время проверки системы. В неравенствах (в) указаны пределы, где могут меняться выходные характеристики системы. Однако эти условия записаны в неудобной форме. Для конкретной проверки более удобно указать пределы, где может меняться каждый параметр в отдельности. Заметим, что пределы изменения каждого элемента удобно задавать в следующей форме:

$$|C_8 - C_8'| \le \varepsilon_1 C_8' \quad |R_{эк} - R_{эк}'| \le \varepsilon_2 R_{эк}' \qquad \text{и т.д.}$$

Чтобы имело место неравенство (1) в системе (в) необходимо выполнение условия

$$|C_8 R_{эк} - C_8' R_{эк}'| \le |(C_8 - C_8')R_{эк}| + |C_8'(R_{эк} - R_{эк}')| < \varepsilon_1 C_8 R_{эк} +$$

$$+ \varepsilon_2 C_8' R_{эк} \le C_8 \cdot R_{эк}(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \le \Delta T$$

следовательно, на ε_1 и ε_2 нужно наложить ограничения

$$2\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \le \frac{\Delta T}{C_8 \cdot R_{эк}}.$$

В частном случае, когда $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ имеем

$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{3 \cdot C_8 \cdot R_{эк}}$$

Вставляя значение ε в исходное выражение получим

$$\Delta C_8 = |C_8 - C_8'| \le \frac{\Delta T}{3R_{эк}} \qquad \Delta R_{эк} = |R_{эк} - R_{эк}'| \le \frac{\Delta T}{3 \cdot C_8}$$

Перейдем к рассмотрению второго неравенства

$$|T_1 + T_2 - (T_1' + T_2')| \le \Delta T$$

$$|C_8 \cdot R_{эк} + C_8 \cdot \tilde{R}_1 - C_8' R_{эк}' - C_8' \tilde{R}_1'| \le \Delta T \qquad (c)$$

Так как изменение каждого параметра отыскивается в виде неравенств

$$|C_8 - C_8'| < \varepsilon \cdot C_8, \quad |\tilde{R}_1 - \tilde{R}_1'| < \varepsilon \tilde{R}, \qquad \text{и т.д.}$$

то вставляя эти обозначения в выражение (С) получим:

$$|C_8 R_{эк} + C_8 \tilde{R}_1 - C_8' R_{эк}' - C_8' \tilde{R}_1' + C_8 R_{эк}' + C_8 R_1' - C_8 R_{эк}' - C_8 \tilde{R}_1'| <$$

$$< |C_8(R_{эк} - R_{эк}') + R_{эк}'(C_8 - C_8') + C_8(\tilde{R}_1 - \tilde{R}_1') + \tilde{R}_1'(C_8 - C_8')| <$$

$$< |C_8 R_{эк}\varepsilon + (1+\varepsilon) R_{эк} \cdot \varepsilon \cdot C_8 + 2C_8 \cdot \varepsilon(1+\varepsilon)\tilde{R}_1| <$$

$$< \varepsilon \cdot C_8 \cdot R_{эк}(2+\varepsilon) + 2C_8 \cdot \tilde{R}_1(1+\varepsilon) \le \Delta T$$

Так как $\varepsilon \ll 1$, то, пренебрегая членами, содержащими ε^2, приходим к неравенству

$$2\varepsilon\,(C_8\cdot R_{эк} + C_8\,\tilde{R}_1) \leq \Delta T$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{2(C_8\cdot R_{эк} + C_8\,\tilde{R}_1)}$$

Решая аналогичным образом остальные неравенства, найдем такое значение ε, которое одновременно удовлетворяет требованиям неравенств (b).

Рассмотрим третье неравенство:

$$\left| \frac{\frac{R_{39}}{R_н}\cdot A\left(\frac{\Delta R_{36}}{R_{36}} - \frac{\Delta R_{35}}{R_{35}}\right)}{C_8\cdot R_{эк}} - \frac{\frac{R'_{39}}{R'_н}\cdot A'\left(\frac{\Delta R'_{36}}{R'_{36}} - \frac{\Delta R'_{35}}{R'_{35}}\right)}{C'_8\cdot R'_{эк}} \right| < \frac{2\Delta A_1}{T_1}$$

обозначая $\left(\frac{\Delta R_{36}}{R_{36}} - \frac{\Delta R_{35}}{R_{35}}\right) = m$ получим:

$$\left| \frac{R_{39}\cdot A\cdot m}{R_н\cdot C_8\cdot R_{эк}} - \frac{R'_{39}\,A'\,m'}{R'_н\,C'_8\,R'_{эк}} \right| \leq \frac{2\Delta A_1}{T_1} \qquad |R_{39} - R'_{39}| \leq \varepsilon\cdot R_{39}, \ldots$$

$$\left| \frac{(R_{39} - R'_{39})A\cdot m}{R_н\cdot C_8\cdot R_{эк}} + \frac{R'_{39}(A - A')\cdot m}{R_н\cdot C_8\cdot R_{эк}} + \frac{R'_{39}\cdot A'(m - m')}{R_н\cdot C_8\cdot R_{эк}} + \frac{R'_{39}\cdot A'\cdot m'}{C_8\cdot R_{эк}}\left(\frac{1}{R_н} - \frac{1}{R'_н}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{R'_{39}}{R'_н}\cdot\frac{A'm'}{R_{эк}}\left(\frac{1}{C_8} - \frac{1}{C'_8}\right) + \frac{R_{39}}{R'_н}\,\frac{A'\cdot m'}{C'_8}\left(\frac{1}{R_{эк}} - \frac{1}{R'_{эк}}\right) \right| \leq \frac{R_{39} - R'_{39}\cdot A\cdot m}{R_н\cdot C_8\cdot R_{эк}} +$$

$$+ \frac{R_{39}}{R_н}\;\frac{(A - A')m}{C_8\cdot R_{эк}} + \ldots \leq \frac{\varepsilon\cdot R'_{39}\cdot A\cdot m}{R_н\cdot C_8\cdot R_{эк}} + \frac{\varepsilon\, R'_{39}\cdot A'\cdot m'}{R_н\cdot C_8\cdot R_{эк}} + \ldots \leq \frac{2\Delta A_1}{T'_1}$$

Пренебрегая членами, содержащими ε^2, получим:

$$\frac{6\cdot\varepsilon\, R'_{39}\cdot A'\cdot m'}{R'_н\cdot C'_8\cdot R'_{эк}} \leq \frac{2\Delta A_1}{T'_1}.$$

Неравенство (c) будет иметь место, если

$$\varepsilon \leq \frac{\Delta A_1\cdot R'_н\cdot C'_8\cdot R'_{эк}}{3\,R'_{39}\cdot A'\cdot m'\cdot T'_1}.$$

Рассмотрим четвертое неравенство

$$\left| \frac{R_{39}\cdot A\cdot R\cdot C\cdot m}{R_н\cdot C_8\cdot \tilde{R}_1} - \frac{R'_{39}\cdot R'\cdot C'\cdot A'm}{R'_н\cdot C'_8\cdot \tilde{R}'_1} \right| \leq \Delta A_2. \quad (d)$$

Аналогичными рассуждениями легко убедиться, что при условии

$$\frac{8\varepsilon\cdot R'_{39}\cdot R'\cdot C'A'\cdot m'}{R'_н\cdot C'_8\cdot \tilde{R}'_1} \leq \Delta A_2$$

имеет место неравенство (d).Следовательно, на ε следует наложить еще одно условие

$$\varepsilon \leq \frac{\Delta A_2\cdot R'_н\cdot C'_8\cdot \tilde{R}'_1}{8\cdot R'_{39}\cdot R'\cdot C'A'm'}$$

Очевидно, что наименьшее значение ε удовлетворяет всем неравенствам (b). Вставляя численные значения параметров $(A', R'_н, C'_8 \ldots)$ в выражения $(\varepsilon_1 - \varepsilon_4)$ получаем:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{34} \qquad \varepsilon_2 = \frac{1}{37{,}5} \qquad \varepsilon_3 = \frac{1}{38} \qquad \varepsilon_4 = \frac{1}{31{,}5}$$

$$\varepsilon_3 < \varepsilon_2 < \varepsilon_1 < \varepsilon_4 \qquad \varepsilon_3 = 0{,}03$$

Однако нас интересует тот факт, как долго величины параметро нашей системы будут находиться в пределах допустимых отклонений. Для определения этого времени для каждого элемента воспользуемся тем известным фактом, что надежность радиодеталей и радиокомпонентов по времени распределена по экспоненциальному закону.

$$P_i = e^{-\lambda_i t},$$

где λ_i - частота отказов, величина которого для конкретного радиокомпонента приводится в справочниках.

Ниже приведем таблицу λ_i для использованных нами элементов.

	коэффиц. нагрузки	интенсивность отказов	кол-во элементов
резисторы	I,0	0,0015	50
конденсаторы	0,6	0,00045	I5
транзисторы	0,6	0,002	I4
диоды	0,4	0,00I	I0
микросхемы	0,6	0,002	I2

Рассчитаем P_i - вероятность того, что величина i - ого элемента будет находиться в пределах допустимых изменений.

$$P_i(|x_i - m_{x_i}| < \varepsilon \cdot m_{x_i})$$

Под вероятностью безотказной работы P_i будем понимать вероятность события, состоящего в том, что величина каждого элемента в течение некоторого времени не выйдет за допустимые пределы ($\pm\varepsilon m_{x_i}$). Будем считать, что величина каждого элемента представляет случайную величину с нормальным распределением $N(m_{x_i}\ \sigma_i)$, где m_i равно номинальному значению i - ого элемента, а σ_i определим из условия $3\sigma_i = \Delta z$, где Δz - максимальный разброс от номинального значения. Для множества радиокомпонентов Δz составляет $\pm$ 10% от номинального значения, следовательно

$$3\sigma_i = 0{,}1 \cdot m_i \qquad \sigma_i \approx 0{,}003\, m_i$$

Посчитаем вероятность попадания случайной величины X_i в интервал

$$(m_{x_i} - \varepsilon m_{x_i}\ ,\ m_{x_i} + \varepsilon m_{x_i})\ (m_{x_i} - \tfrac{\varepsilon}{2} m_{x_i}) \le X_i \le (m_{x_i} + \tfrac{\varepsilon}{2} m_{x_i})$$

$$P_i(x) = \int_{m_i - \frac{\varepsilon}{2} m_{x_i}}^{m_i + \frac{\varepsilon}{2} m_{x_i}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_i} e^{-\frac{(x-m_i)^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} \int_{-\frac{\varepsilon}{2} m_i}^{\frac{\varepsilon}{2} m_i} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt, \quad t = \gamma - m_i$$

$$P_i(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\varepsilon m}{2\sigma}}^{\frac{\varepsilon m}{2\sigma}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy = \Phi\left(\frac{\varepsilon m}{2\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{\varepsilon m}{2\sigma}\right), \quad y = \frac{t}{\sigma}$$

Пользуясь таблицей для табулированной функции $\Phi(z)$ получаем:

$$\Phi\left(\frac{3}{2}\right) - \Phi\left(-\frac{3}{2}\right) = 0{,}8663\ 8$$

Следовательно, величины контролируемых нами параметров в лучшем случае могут находиться в допустимых пределах с полученной вероятностью P_i = 0,86. Приведенные оценки справедливы для начального момента времени t_0. Прогнозирование изменений параметров системы, изменяющихся по нормальному закону, сводится к прогнозированию изменений параметров m_{x_i} и σ_{x_i} в последующие моменты времени $t_1, t_2, \ldots t_n$. Однако наша задача заключается в определении ближайшего времени профилактики, начиная с момента эксплуатации t_0. Следовательно, на основе имеющейся информации для начального момента времени t_0, время до ближайшего ожидаемого отказа можно определить из следующего выражения:

$$P_{н\phi} = \exp\left[-\sum_{i=1}^{n} n_i \lambda_i T\right] \cdot P_i \qquad (e) \qquad P_i = 0{,}86 \quad P_{н\phi} = 0{,}85,$$

где $P_н$ - заданная вероятность нормального функционирования описанной системы. Вставляя численные значения в выражение (e) высчитаем величину T, определяющую время невыхода выходной характеристики системы за допустимые пределы с вероятностью 0,86

$$T = -\frac{\ln\frac{0.85}{0.86}}{0,14375}\cdot 10^{3} \approx 220\,ч.$$

T = 220 ч соответствует времени ближайшей профилактической проверки состояния описанной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонов А.А. Прогнозирование характеристик надежности автоматизированных систем. М.: Энергия, 1971.
2. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. Под редакцией И.А.Ушакова.
3. Вагаршакян В.А., Мкртчян Г.Г.Диагностический анализ аналоговой аппаратуры системы контроля параметров пучка. Препринт ЕФИ, 1982.
4. Митрейкин Н.А., Озерский А.И. Надежность и испытания радиодеталей и радиокомпонентов. М.: Радио и связь 1981.
5. Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика. М.: Высшая школа 1975.

Рукопись поступила 30 сентября 1982 г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 641 ВФ- 04062 Тираж 299

Препринт ЕФИ Формат издания 60 x 84/16

Подписано к печати 30/XII-82 1.0 уч-изд.л. Ц. 15 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, Маркаряна 2