

**ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
ПРИБОРА ПРИ ФЛЮКТУАЦИОННЫХ ПОМЕХАХ**

Процесс установления показаний измерительного модуля определяет время измерения при заданной точности либо точность при заданном времени измерения.

Допустим, что измеряемая величина V представлена уровнем напряжения $u(t)$, поступающим на практически безынерционный индикатор с выхода усредняющей цепи с постоянной времени τ . Такая ситуация типична для практики, хотя в ряде случаев роль усредняющей цепи может выполнять и сам индикатор. Тогда относительная погрешность измерения δ при времени измерения определяется в виде

$$\delta = \frac{V - U(t = T_{\text{изм}})}{V} = e^{-T_{\text{изм}}/\tau}$$

Указанная простейшая связь наблюдается лишь при отсутствии помех. В условиях флюктуационных помех, например собственных шумов измерителя $U_{\text{ш}}$, на индикатор поступает смесь измеряемого сигнала с помехой $U_{\Sigma} = U(t) + U_{\text{ш}}$. При этом относительная погрешность δ приобретает случайный характер и представляется в виде

$$\delta = e^{-T_{\text{изм}}/\tau} - \frac{U_{\text{ш}}}{V}$$

Как нетрудно показать, среднеквадратическая погрешность составляет

$$\hat{\delta} = \sqrt{e^{-2\frac{T_{\text{изм}}}{\tau}} + \frac{\sigma_{\text{ш}}^2}{V^2}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{ш}}^2$ — дисперсия шумов на входе индикатора.

В реальной ситуации относительная погрешность (1) содержит две составляющие — систематическую $\delta_{\text{с}} = e^{-\frac{T_{\text{изм}}}{\tau}}$ и случайную, определяемую отношением уровня помехи и сигнала, $\delta_{\text{ш}} = \sigma_{\text{ш}}/V$.

Процесс установления принято считать оконченным, когда наблюдаемое отклонение $U(t)$ от V оказывается под уровнем шумов. Этому условию отвечает соотношение

$$\delta_{\text{с}} = \delta_{\text{ш}}. \quad (2)$$

Соотношение (2) позволяет установить связь между среднеквадратической погрешностью измерения, временем измерения и показателем помехоустойчивости измерителя в форме отношения сигнал/помеха.

При типовой структуре измерителя в форме полосового фильтра линейного детектора — усредняющего фильтра низких

частот можно получить, используя, например работу [1],

$$\delta_{\text{ш}} = \frac{1}{(c/\text{ш})_{\text{вх}}} \sqrt{\frac{2\Delta F}{\Delta f}}, \quad (3)$$

где ΔF — эффективная полоса пропускания ФНЧ; Δf — то же, но для полосового фильтра; $(c/\text{ш})_{\text{вх}}$ — отношение уровней сигнала и шума на входе детектора.

В (3) учтено, что при линейном детектировании сильных сигналов отношение уровней постоянной составляющей и низкочастотного шума на выходе детектора равно входному отношению сигнал/шум и что эффективная ширина спектра низкочастотных флюктуаций в два раза меньше ширины спектра шумов на входе детектора.

Из (2) и (3) имеем, полагая, что время измерения определяется временем установления показаний,

$$T_{\text{изм}} = \tau \ln \left[(c/\text{ш})_{\text{вх}} \sqrt{\frac{\Delta f}{2\Delta F}} \right], \quad (4)$$

и соответственно для среднеквадратической погрешности

$$\hat{\delta} = \sqrt{2}/(V/\sigma_{\text{ш}}) = 2/((c/\text{ш})_{\text{вх}} \sqrt{\Delta f/\Delta F}). \quad (5)$$

Следует отметить, что решение (4) для времени измерения существует, если $(c/\text{ш})_{\text{вх}} \sqrt{\Delta f/2\Delta F} > 1$. В противном случае измеряемый сигнал скрыт помехой.

Основной вывод, который вытекает из (4), состоит в том, что реальное время установления процесса на выходе измерителя и, следовательно, время измерения зависят от помехоустойчивости измерителя, возрастая по логарифмическому закону с ростом отношения сигнала к помехе. При этом среднеквадратическая погрешность изменяется обратно пропорционально уровню сигнала. Отсюда следует, что повышение точности измерений путем увеличения помехоустойчивости измерителя связано с ростом временных затрат на измерение даже при неизменной постоянной времени усредняющего фильтра

$$T_{\text{изм}_2} = T_{\text{изм}_1} (\ln (c/\text{ш})_{\text{вых}_2}) / (\ln (c/\text{ш})_{\text{вых}_1}), \quad (6)$$

где $(c/\text{ш})_{\text{вых}_{1,2}}$ — отношение сигнал/шум на выходе усредняющего фильтра для младшего разряда измеряемого уровня, соответственно исходное и при увеличенной точности.

Приведенные соотношения окажутся полезными при разработке прецизионных измерителей малых уровней типа измерительных приемников, позволяя дать количественную оценку увеличенного времени установления показаний младшего регистрируемого разряда по мере повышения помехоустойчивости измерителя.

1. Гаткин Н. Г., Геранин В. А., Карновский М. И. и др. Помехоустойчивость типового тракта обнаружения сигналов. К.: Техника, 1971. 203 с.

Поступила в редколлегия 10.09.86