

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ

В работе рассмотрены вопросы построения систем автоматического измерения скорости вращения, обеспечивающие высокую точность с использованием тахогенераторов, серийно выпускаемых промышленностью.

Сравнивая различные типы тахогенераторов и оценивая возможность их применения в качестве датчика дистанционного измерения скорости вращения механизмов деревообрабатывающих предприятий, установлено, что наибольшему числу требований отвечают тахогенераторы постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и асинхронные тахогенераторы.

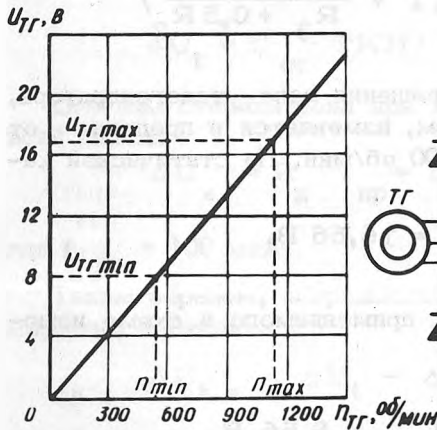


Рис. 1. Статическая характеристика тахогенератора.

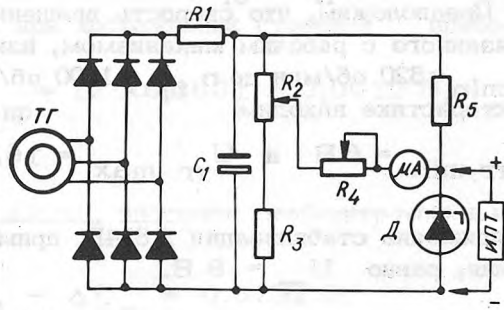


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема системы измерения.

Для измерения скорости вращения принят дифференциальный метод, в основе которого лежит метод сравнения измеряемой величины с эталоном. Разность между измеряемой и известной (эталонной) величинами измеряется прибором. При использовании дифференциального метода точность измерения значительно выше, чем при измерении методом непосредственной оценки. Чем меньше разнятся эталонная и измеряемая величины, тем выше точность измерения. На рис. 1 приведена статическая характеристика  $U=f(n)$  тахогенератора Г-10/4, необходимая для расчета параметров и погрешности измерительной схемы, изображенной на рис. 2.

В схеме, приведенной на рис. 2, за эталонную величину принято напряжение стабилитрона Д, включенного в одно из

плеч измерительного моста. Мост питается измеряемым напряжением тахогенератора  $U_{\text{ТГ}}$ . В измерительную диагональ включен прибор ( $\mu\text{A}$ ). Мост уравновешен и ток в диагонали отсутствует, если соблюдается равенство

$$U_{\text{ТГ}} (R_3 + 0,5 R_2) = U_{\text{СТ}} (R_2 + R_3),$$

где  $R_2$  и  $R_3$  — сопротивления плеч моста, Ом.

При изменении напряжения на  $\pm \Delta U$  через прибор потечет ток, равный

$$\pm I_{\text{пр}} = \frac{\pm \Delta U}{R_4 + 0,5 R_2 \left(1 + \frac{R_4}{R_3 + 0,5 R_2}\right)},$$

где  $\Delta U = U_{\text{ТГ}} - U_{\text{СТ}}$ .

Предположим, что скорость вращения вала тахогенератора, связанного с рабочим механизмом, изменяется в пределах от  $n_{\text{min}} = 520$  об/мин до  $n_{\text{max}} = 1100$  об/мин. По статической характеристике находим

$$U_{\text{ТГ min}} = 6 \text{ В} \quad \text{и} \quad U_{\text{ТГ max}} = 16,66 \text{ В}.$$

Напряжение стабилизации Д814Б, применяемого в схеме измерения, равно  $U_{\text{СТ}} = 8 \text{ В}$ .

$$\Delta U = U_{\text{ТГ max}} - U_{\text{СТ}} = 8,66 \text{ В},$$

Тогда нескомпенсированное напряжение

$$\Delta U = U_{\text{ТГ max}} - U_{\text{СТ}} = 8,66 \text{ В},$$

что составляет

$$A_1 = \frac{\Delta U}{U_{\text{ТГ}}} \cdot 100\% = \frac{8,66}{16,66} \cdot 100\% = 51\%.$$

Для измерения используется прибор с погрешностью  $A_2 = 1\%$ .

Следовательно, погрешность измерения напряжения тахогенератора равна

$$A_3 = A_2 \cdot A_1 = 0,51\%.$$

Учитывая, что тахогенератор вносит в измерение погрешность  $A_4 = 0,1\%$ , определим суммарную погрешность

$$A_5 = A_3 + A_4 = 0,51 + 0,1 = 0,61\%.$$

Погрешность, вносимая в измерение стабилитроном, складывается из температурной нестабильности и статизма характеристики. Статизм определяется динамическим сопротивлением, которое для стабилитрона Д 814 Б равно  $R_D = 12 \text{ Ом}$ . Температурная нестабильность оценивается температурным коэффициентом напряжения (ТКН), равным  $0,09\%$ . Если считать, что диапазон изменения температуры окружающей среды составляет  $10^\circ \text{C}$ , то температурная погрешность равна

$$\Delta U_t = U_{\text{ст}} \cdot \text{ТКН} \cdot t = \frac{8 \cdot 0,09 \cdot 10}{100} = 0,072 \text{ В}.$$

Статизм стабилитрона при прохождении стрелкой прибора всей шкалы

$$\Delta U_n = R_D I_{\text{пр}} = 12 \cdot 0,0001 = 0,0012 \text{ В},$$

где  $I_{\text{пр}} = 100 \text{ мкА}$ .

Таким образом, погрешность, вносимая стабилитроном в измерение, составит

$$\Delta U_{t,n} = \Delta U_t + \Delta U_n = 0,0732 \text{ В}.$$

Абсолютная погрешность измерения скорости дифференциальным методом равна

$$\Delta U_{\text{диф}} = \frac{U_{\text{тг}} \cdot A_5}{100} = \frac{16,66 \cdot 0,61}{100} = 0,1 \text{ В}.$$

Суммарная погрешность измерения скорости составляет

$$\Delta U_{\Sigma} = \pm (\Delta U_{t,n} + \Delta U_D) = 0,1732 \text{ В}$$

или

$$A_{\Sigma} = \frac{U_{\Sigma}}{U_{\text{тг}}} \cdot 100 = 1,03\%.$$

Максимальная погрешность измерения скорости методом непосредственной оценки при использовании приборов того же класса точности составит около  $2\%$ .

Повысить точность измерения схемы можно путем использования вместо стабилитрона стабилизированного источника постоянного тока (рис. 2). В этом случае будет отсутствовать погрешность, вносимая в измерения стабилитроном и тогда

$$A_{\Sigma} = \frac{\Delta U_{\Sigma}}{U_{\text{тр}}} \cdot 100 = \frac{0,1 \cdot 100}{16,66} = 0,6\%.$$

Остальные элементы измерительной схемы рассчитываются следующим образом. Примем ток через ветвь  $R_2 - R_3$  равный 1 мкА. При этом суммарное сопротивление этой ветви будет 16,66 кОм. На резисторах  $R_3 + 0,5R_2$  должно падать напряжение 8 В.

$$\text{Тогда } R_3 + 0,5R_2 = 8 \text{ кОм.} \quad (1)$$

Из-за неточности подбора сопротивлений резисторов и напряжения стабилитрона предусмотрим регулировку напряжения в пределах 7%. Тогда  $R_3 = 4,7$  кОм, а  $R_2 = 3,8$  кОм. Для нахождения  $R_4$  в уравнение (1) подставим  $I_{\text{пр}} = 100$  мкА и  $\Delta U = 0,235$  В, а также и найденные значения сопротивлений резисторов  $R_2$  и  $R_3$ . В результате получим  $R_4 = 17,5$  кОм.

Поскольку сопротивление измерительного прибора составляет 1,5 кОм, то последовательно с ним нужно включить резистор с переменным сопротивлением. Так как ток через стабилитрон составляет 4 - 5 мкА, то следовательно,  $R_5 = 1$  кОм.

Расчет погрешностей и параметров схемы с тахогенератором постоянного тока может быть приведен аналогично.

Рассмотренная выше схема измерения скорости вращения была использована при исследовании режимов резания группы фрезерных станков на Минском заводе строительных деталей.

В.И. Микулинский

## НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

При цилиндрическом фрезеровании, когда плоскость резания параллельна оси вращения фрезы, на обработанной поверхности образуются кинематические неровности, снижающие качество