



УДК 53.088

**РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ КАНАЛА НАПРЯЖЕННОСТИ УСТРОЙСТВА
ИЗМЕРЕНИЯ ВЕБЕР-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Лобов И.Р., Бранчукова Д.А., Перегудова О.О.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск

В данной статье рассматривается расчет погрешности канала напряженности устройства измерения вебер-амперной характеристики электромагнитов постоянного тока. При изготовлении измерительных приборов, параметры которых лежат в пределах заданных допусков, погрешность нуля (аддитивная погрешность) и чувствительности (мульти-пликативная) являются величинами случайными и имеют законы распределения, близкие к нормальным

Ключевые слова: электромагнит, диагностика, контроль, вебер-амперная характеристика

**CALCULATION OF THE VOLTAGE CHANNEL ERROR OF THE DEVICE
FOR MEASURING THE WEBER-AMPERE CHARACTERISTIC OF DC
ELECTROMAGNETS**

Lobov I.R., Branchukova D.A., Peregudova O.O.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article discusses the calculation of the error of the strength channel of the device for measuring the weber-ampere characteristics of DC electromagnets. In the manufacture of measuring devices, the parameters of which lie within the specified tolerances, the error of zero (additive error) and sensitivity (multiplicative) are random quantities and have distribution laws close to normal

Keywords: electromagnet, diagnostics, control, weber-ampere characteristic

Рассчитаем аддитивную погрешность датчика Холла за счет влияния остаточного напряжения:

$$\delta_{ДХ} = \frac{U_{ост}}{U_{ВХ ном}} \cdot 100\% .$$

Остаточное напряжение для выбранного датчика ПХЭ602 117Б при индукции 0 Тл составляет $\pm 0,0005$ В/А. При токе управления 15 мА, остаточное напряжение составит

$$U_{ост} = \pm 0,0005 \cdot I_{упр} = \pm 0,0005 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 50 \text{ мкВ},$$

для первого предела

$$\delta_{ДХ} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{26 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,1923 \%,$$

для второго предела

$$\delta_{ДХ} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,26} \cdot 100\% = 0,0192 \%,$$

для третьего предела

$$\delta_{ДХ} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{2,6} \cdot 100\% = 0,0019 \%.$$

Дополнительная погрешность от влияния температуры:



$$\gamma_{tX} = TKe_x \cdot \Delta t,$$
$$\gamma_{tX} = 0,03 \cdot 20 = 0,6\%.$$

Расчет погрешности операционных усилителей. Рассчитаем аддитивные погрешности усилителей.

Для предварительного усилителя (DA3):

для первого предела

$$\delta_{cm1} = \frac{4 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 10^3}{26 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,1308\% ,$$

для второго предела

$$\delta_{cm1} = \frac{4 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 10^3}{0,26} \cdot 100\% = 0,0131\% .$$

для третьего предела

$$\delta_{cm1} = \frac{4 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 10^3}{2,6} \cdot 100\% = 0,0013\% .$$

Для масштабирующего усилителя (DA7):

для первого предела

$$\delta_{cm2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3}{34 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,0126\% ,$$

для второго предела

$$\delta_{cm2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3}{0,34} \cdot 100\% = 0,0013\% ,$$

для третьего предела

$$\delta_{cm2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3}{3,4} \cdot 100\% = 0,0001\% .$$

Суммарная аддитивная погрешность всего каскада усиления на операционных усилителях *OP177A*, включающего предварительный усилитель и масштабирующий усилитель, равна

для первого предела

$$\delta_{cm\Sigma} = \sqrt{(0,1308)^2 + (0,0126)^2} = 0,1314\% ,$$

для второго предела

$$\delta_{cm\Sigma} = \sqrt{(0,0131)^2 + (0,0013)^2} = 0,0131\% .$$

для третьего предела

$$\delta_{cm\Sigma} = \sqrt{(0,0013)^2 + (0,0001)^2} = 0,0013\% .$$

Относительная мультипликативная погрешность усилителей определяется нелинейностью резисторов, включенных в обратную связь. Выбраны прецизионные резисторы С2-29В с погрешностью 0,05%.

Для предварительного усилителя

$$\gamma_{\kappa1} = \gamma_{R16} + \gamma_{R10} = 0,05 + 0,05 = 0,1\%.$$

Для масштабирующего усилителя:



$$\gamma_{\kappa 3} = \gamma_{R23} + \gamma_{R31} = 0,05 + 0,05 = 0,1\%.$$

Суммарная мультипликативная погрешность:

$$\gamma_{\kappa \Sigma} = \sqrt{(0,1)^2 + (0,1)^2} = 0,1414\%.$$

Дополнительная погрешность обусловлена в основном влиянием изменения температуры окружающей среды. Примем $\Delta t = 30$ °С.

При изменении температуры внешней среды дополнительная погрешность усилителя может быть определена:

$$\delta_i = \frac{TKe_{cm}}{U_{вхном}} \cdot \Delta t \cdot 100\% .$$

Для предварительного усилителя:

для первого предела

$$\delta_{i1} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{26 \cdot 10^{-3}} \cdot 20 \cdot 100\% = 0,0023\% ,$$

для второго предела

$$\delta_{i1} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{0,26} \cdot 20 \cdot 100\% = 2,3 \cdot 10^{-4}\% ,$$

для третьего предела

$$\delta_{i1} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{2,6} \cdot 20 \cdot 100\% = 2,3 \cdot 10^{-5}\% .$$

Для масштабирующего усилителя:

для первого предела

$$\delta_{i2} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{34 \cdot 10^{-3}} \cdot 20 \cdot 100\% = 0,0018\% ,$$

для второго предела

$$\delta_{i2} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{0,34} \cdot 20 \cdot 100\% = 1,8 \cdot 10^{-4}\% ,$$

для третьего предела

$$\delta_{i2} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{3,4} \cdot 20 \cdot 100\% = 1,8 \cdot 10^{-5}\% .$$

Суммарная дополнительная погрешность операционных усилителей равна:

для первого предела

$$\delta_{i\Sigma} = \sqrt{(0,0023)^2 + (0,0018)^2} = 0,0029\% ,$$

для второго предела

$$\delta_{cm\Sigma} = \sqrt{(2,3 \cdot 10^{-4})^2 + (1,8 \cdot 10^{-4})^2} = 2,9 \cdot 10^{-4}\% ,$$

для третьего предела

$$\delta_{cm\Sigma} = \sqrt{(2,3 \cdot 10^{-5})^2 + (1,8 \cdot 10^{-5})^2} = 2,9 \cdot 10^{-5}\% .$$

Рассчитаем дополнительную погрешность от резисторов в обратных связях усилителей.

$$\gamma_{iR} = TKC \cdot \Delta t \cdot 100\% ,$$



где ТКС – температурный коэффициент сопротивления, для С2-29В ТКС=50·10⁻⁶ Ом/°С

$$\gamma_{tR10} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 100\% = 0,1\% ,$$

$$\gamma_{tR\Sigma} = \gamma_{tR10} \cdot \sqrt{m} ,$$

где m – число однотипных резисторов.

$$\gamma_{tR\Sigma} = 0,1 \cdot \sqrt{6} = 0,2449\% .$$

Расчет погрешности блока усиления с переменным коэффициентом усиления. То есть для первого предела измерений коэффициент усиления будет равен:

$$k_{\partial 1} = \frac{R33 + R_k}{R23} = \frac{1450 + 0,075}{10} = 145,0075 ,$$

для второго предела:

$$k_{\partial 2} = \frac{R32 + R_k}{R23} = \frac{145 + 0,075}{10} = 14,50075 ,$$

для третьего предела:

$$k_{\partial 3} = \frac{R31 + R_k}{R23} = \frac{14,5 + 0,075}{10} = 1,45075 .$$

Погрешность рассчитаем по формуле:

$$\gamma_{\text{БВ}} = \frac{k_{\text{д}} - k}{k} \cdot 100\% .$$

$$\gamma_{1\text{БВ}} = \frac{k_{\text{д}1} - k_1}{k_1} \cdot 100\% = \frac{145,0075 - 145}{145} \cdot 100\% = 0,0052\% ,$$

$$\gamma_{2\text{БВ}} = \frac{k_{\text{д}2} - k_2}{k_2} \cdot 100\% = \frac{14,50075 - 14,5}{14,5} \cdot 100\% = 0,0517\% ,$$

$$\gamma_{3\text{БВ}} = \frac{k_{\text{д}3} - k_3}{k_3} \cdot 100\% = \frac{1,45075 - 1,45}{1,45} \cdot 100\% = 0,5172\% .$$