

Магнитометр на датчике Холла для систем управления

Сарока В.В.; Оробей И.О.; Оробей О.И.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
e-mail: viksar@mail.ru

Аннотация – Измеритель индукции на датчике Холла с контурами подавления синфазного сигнала и термостабилизации, работающий на переменном токе с частотой 10^3 Гц. Максимальная относительная погрешность при изменении температуры среды от 0 до 70°C не превышает 0.7% для полей $5 \cdot 10^{-5}$ – 10^{-4} Тл; 0.4% для 10^{-4} – 10^{-3} Тл и 0.1% для 10^{-3} – 0.625 Тл. В диапазоне $5 \cdot 10^{-5}$ – $5 \cdot 10^{-4}$ Тл погрешность определяется синфазным сигналом. Вклад суммарной температурной погрешности составляет не более 0.01 % на 50°C . Разрешающая способность в зависимости от индукции измеряемого поля изменяется от $1.2 \cdot 10^{-7}$ до $1.9 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Ключевые слова: эффект Холла; магнитное поле; индукция; погрешность

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время магнитометры на основе датчиков Холла (д.Х.) широко применяются для прецизионного измерения индукции магнитного поля [1-2]. Однако при разработке расходомеров, радиоспектрометров, исследовании магнитных свойств веществ и т.д. требуется измерение с относительной погрешностью до 1% индукции низкочастотных (до 100 Гц) магнитных полей, амплитуда которых может изменяться в диапазоне $5 \cdot 10^{-5}$ – 1 Тл. Такая чувствительность не обеспечивается известными схемотехническими решениями. В этом случае необходимо принимать меры по уменьшению влияния синфазного сигнала, создаваемого управляющим током д.Х., а также температурных дрейфов преобразователя и схемы.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В докладе описан измеритель индукции на переменном токе в диапазоне полей $5 \cdot 10^{-5}$ –1 Тл с контурами подавления синфазного сигнала и термостабилизации. Принципиальная схема аналогового блока магнитометра приведена на рис.1. Первичным преобразователем устройства является GaAs д.Х. ПХЭ 602.118В, имеющий следующие характеристики: размеры – $3 \times 3 \times 0.6$ мм; входное и выходное сопротивления $R_{ВХ}=2.6$ Ом и $R_{ВЫХ}=3.9$ Ом; магнитная чувствительность $S=0.045$ В/Тл при номинальном управляющем токе $I_V=0.1$ А; остаточное напряжение $3 \cdot 10^{-6}$ В; температурные коэффициенты э.д.с. Холла и остаточного напряжения $K_{ЭДС}=0.0006$ %/К и $K_T=4 \cdot 10^{-8}$ В/К; нелинейность 0.12%; диапазон рабочих температур 1.5–373 К; верхний предел индукции 15 Тл [3]. Цифрами 3 и 4 обозначены токовые выходы д.Х., 1 и 2 – выходы э.д.с. Холла. В условном обозначении д.Х. приведена его схема замещения ($R_X=0.5 \cdot R_{ВХ}$; $R_Y=0.5 \cdot R_{ВЫХ}$).

Магнитометр работает следующим образом. Генератор M_{6-1} – M_{6-3} формирует симметричные прямоугольные импульсы частотой 10^3 Гц. Источник опорных напряжений ± 2.5 В выполнен на M_4 и операционном усилителе (о.у.) M_{1-4} . Генератор управляет коммутатором на M_{5-1} , M_{5-2} , вырабатывающим импульсы задающего напряжения

± 2.5 В частотой 10^3 Гц для источника тока. Контур источника тока включает датчик тока R_1 с дифференциальным усилителем на M_{1-1} и пропорциональный регулятор на M_{1-2} с усилителем мощности T_1 , T_2 . Через д.Х. проходят импульсы тока $\pm I_y$ с частотой 10^3 Гц. Нестабильность их амплитуды, определяемая температурными коэффициентами сопротивления (т.к.с.) R_1 , R_{12} , R_{13} и напряжения M_4 ($\leq \pm 5 \cdot 10^{-6}$ 1/°C), не превышает 0.05% на 50°C .

Сигнал задания и нагрузку (вывод 4 д.Х.) в структуре источника тока можно присоединить к общей точке аналогового блока. При этом синфазное напряжение на выходах э.д.с. Холла определяется управляющим током и $R_{ВХ}$. Относительная погрешность, обусловленная синфазным сигналом, имеет вид

$$\delta_C = 0.5 \cdot R_{ВХ} \cdot I_y \cdot (B \cdot S \cdot 10^{0.05 K_C})^{-1},$$

где B , Тл – индукция измеряемого магнитного поля; K_C , дБ – коэффициент подавления синфазного сигнала усилителем э.д.с. Холла. Для дифференциального усилителя на дискретных элементах (например, на прецизионных о.у. типа ОР-07А) K_C определяется балансом резисторов и не превышает 70 дБ, что приводит к большим δ_C для полей 10^{-4} – 10^{-3} Тл. Высокий K_C (до 130 дБ на частотах до 60 Гц) достигается в интегральных измерительных усилителях, но на 10^3 Гц он падает до 70–100 дБ. Дополнительное подавление синфазного сигнала на 40 дБ осуществляет контур регулирования, состоящий из сумматора на M_{1-3} и усилителя мощности T_3 , T_4 . Подавление синфазного сигнала определяется равенством R_7 и R_8 (0.1% С2-29В) и коэффициентом усиления R_{10}/R_7 . Отбор M_7 обеспечивает его $K_C=100$ дБ на 10^3 Гц, что с учетом $K_C=40$ дБ контура подавления синфазного сигнала дает $\delta_C < 0.6$ % для поля $5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Усилитель переменной составляющей э.д.с. Холла состоит из дифференциального измерительного M_7 и выходного M_8 усилителей. Коэффициент усиления по напряжению M_7 составляет $K=1+49.4/R_{22} \approx 44$, (R_{22} в кОм). Переключение диапазонов осуществляется изменением коэффициента усиления в каскаде M_8 . Диапазон 0–1 Тл обеспечивается цепочкой R_{17} , R_{19} ; 0–0.1 Тл – R_{16} , R_{18} . Максимальному значению индукции в диапазоне соответствует амплитуда 4 В на выходе M_8 . Огибающую сигнала выделяет синхронный детектор на M_{5-3} , M_9 , постоянная времени которого (~ 1 мс) ограничивает частоту измеряемого поля. Низкоомный выход формирует усилитель на M_{10} . Чувствительность по полю на выходах СА и С составляет 4 и 10 В/Тл в диапазоне 0–1 Тл или 40 и 100 В/Тл в диапазоне 0–0.1 Тл.

Погрешности аналоговой части обусловлены суммарной нелинейностью, синфазным сигналом, температурными дрейфами и погрешностями калибровки. Нелинейность статической характеристики определяется парамет-

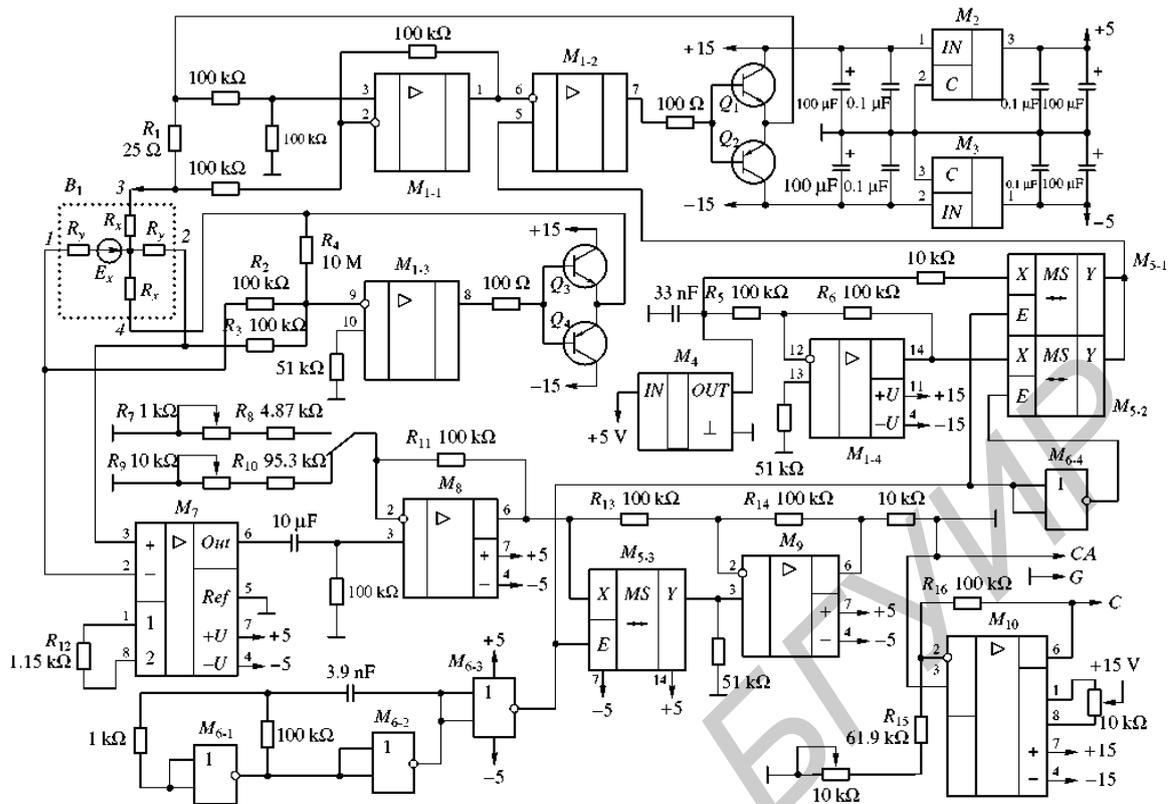


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема аналогового блока датчика Холла

рами д.Х. и тракта усиления. Она не превышает 0.2% в диапазоне $5 \cdot 10^{-2}$ –1 Тл и может быть уменьшена на порядок при калибровке. Температурные погрешности обусловлены дрейфами напряжений смещения, входных токов и K_T д.Х., а также $K_{ЭДС}$ и дрейфами коэффициентов усиления.

Применение схемы на переменном токе с синхронным детектированием позволяет подавить температурные дрейфы напряжений смещения, входных токов M_7 – M_9 и K_T . По выводу СА приведенный к выводам Холла дрейф не превышает 10^{-10} В/°С ($\approx 2 \cdot 10^{-9}$ Тл/°С); по выводу С из-за дрейфа M_{10} он увеличивается до 10^{-8} В/°С. Работа на переменном токе с синхронным детектированием не влияет на температурные погрешности от $K_{ЭДС}$ (0.03% на 50 °С) и дрейфов коэффициентов усиления. Отбором по т.к.с. и температурному коэффициенту усиления (до $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ 1/°С) R_{18} – R_{20} , R_{22} , R_{25} , R_{26} , R_{30} , R_{31} и M_7 погрешности от дрейфов коэффициента усиления снижены до 0.1% на 50 °С.

Дальнейшее подавление температурных погрешностей обеспечивает система термостабилизации д.Х. и электронного блока. Ее термодатчиком является сам датчик Холла, для входного сопротивления которого в диапазоне 0–100 °С экспериментально получена зависимость $R_{вх} = 3.6 \cdot 10^3 + 2.65t$; где t , °С – температура д.Х. Датчик находится в тепловом контакте с корпусом аналогового блока.

Преобразование температуры в напряжение осуществляется последовательно соединенными дифференциальным усилителем напряжения с токовых выводов д.Х. и синхронным детектором, схемы которых аналогичны приведенным на рис.1. Напряжение синхронного детектора подается на триггер Шмитта, который управляет транзисторным коммутатором тока нагревателя (резистор 50 Ом, 5 Вт), установленного на корпусе блока. Пределы стабили-

зации температуры д.Х. (66–70 °С) определяются зависимостью $R_{вх}$ от t , коэффициентом усиления и гистерезисом триггера. Температурная стабилизация уменьшает суммарную температурную погрешность до 0.01 % на 50 °С.

Напряжение с СА поступает на блок цифровой обработки, схема и принцип работы которого представлен в [2]. Он включает Δ - Σ аналогово-цифровой преобразователь (а.ц.п.) с источником опорного напряжения, генератор, монитор питания со сторожевым таймером, однокристалльный микроконтроллер с памятью программ, индикатор, приемопередатчик сигналов интерфейса RS-232 и оптоэлектронный переключатель режимов работы.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Калибровка измерителя производилась по магнитометру на ядерном магнитном резонансе в полях 0.4, 0.2 и 0.1 Тл. Для индукций 0.05, 0.01, 10^{-3} , 10^{-4} и 10^{-5} Тл калибровка осуществлялась в поле катушек Гельмгольца. Поле Земли учитывалось переориентацией д.Х. на 180°. В малых полях время цифрового усреднения отсчетов а.ц.п. достигало 100 с. После калибровки максимальная относительная погрешность при изменении температуры окружающей среды от 0 до 70 °С в диапазоне полей $5 \cdot 10^{-5}$ – 10^{-4} Тл не превышает 0.7%; 10^{-4} – 10^{-3} Тл – 0.4%; 10^{-3} –0.625 Тл – 0.1%.

- [1] О.И. Андронов., В.Г. Бровченко, В.И. Дудин, А.Г. Ольховский и др. // ПТЭ. 1997. №3. С. 64.
- [2] Magnetometer Based on a Hall-Effect Transducer / I.O. Orobei, I.F. Kuz'mitskii, D.A. Grinyuk, S.E. Zharskii, V.V. Saroka, M.V. Maksimova // Instrument and Experimental Techniques. – 2003. – Vol. 46, No. 2. – P. 271–274.
- [3] Паспорт преобразователя ПХЭ 602118В по ТУ ПЯМО.343.502