

УДК 62-83:621.313.84

**КОРРЕКЦИЯ ВЫХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛЛА
СИНУСНО-КОСИНУСНОГО ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА
ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ****Соловьев Владимир Алексеевич,**д.т.н., профессор кафедры ФН-7 МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, e-mail:
solovjevva@bk.ru**Соловьева Виктория Владимировна,**

к.т.н., доцент кафедры ФН-7 МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, e-mail: soloveyev@mail.ru

Соболев Владимир Афанасьевич,к.т.н., доцент кафедры ФН-7 МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, e-mail:
vasobolev48@yandex.ru**Аннотация**

Представлена структура и изложен принцип действия созданной автоматической системы коррекции амплитуды выходного напряжения элемента Холла синусно-косинусного датчика положения ротора вентильного двигателя при изменении температуры и разбросе параметров элемента Холла. Приведены полученные на схемотехнической модели системы временные диаграммы напряжений, иллюстрирующие процесс коррекции его амплитуды выходного напряжения элемента Холла при пуске и ступенчатых изменениях напряжения управления вентильным двигателем.

Ключевые слова: вентильный двигатель, синусно-косинусный датчик положения ротора, элемент Холла, температурная зависимость, разброс параметров, корректирующий регулятор.

**CORRECTION OF OUTPUT VOLTAGES OF HALL ELEMENTS OF SINE-
COSINE ROTOR POSITION SENSOR OF BRUSHLESS DC MOTOR****Soloviev Vladimir Alekseevich,**D.Sc. (Eng.), Professor of the Department of FN-7, Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, e-mail: solovjevva@bk.ru**Solovieva Victoria Vladimirovna,**Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Department of FN-7, Bauman Moscow State Technical
University, Moscow, e-mail: soloveyev@mail.ru**Sobolev Vladimir Afanasyevich,**

Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Department of FN-7, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: vasobolev48@yandex.ru

ABSTRACT

The structure is presented and the operating principle of the created automatic system for correcting the amplitude of the output voltage of the Hall element of the sine-cosine rotor position sensor of a brushless DC motor with a change in temperature and a spread of Hall element parameters is described. The time diagrams of voltages obtained on the circuit model of the system are presented, illustrating the process of correction of the amplitude of the output voltage of the Hall element during start-up and step changes in the control voltage of the brushless DC motor.

Keywords: brushless DC motor, sine-cosine rotor position sensor, Hall element, temperature dependence, parameter spread, correction regulator.

В датчиках положения ротора (ДПР) вентильных двигателей (ВД) со времени их изобретения широко применяются дискретные элементы Холла. Во второй половине 20-го века зарегистрировано множество авторских свидетельств и иностранных патентов на изобретения ВД, в которых для управления их полупроводниковым коммутатором используются синусно-косинусные ДПР с дискретными элементами Холла. Это объясняется тем, что такие ДПР, обладая дешевой и простой конструкцией, позволяют регулировать электромагнитный момент ВД и осуществлять его реверс изменением напряжения и его полярности на токовых выводах элементов, а при условии идентичности их параметров создать в двигателе равномерный в пределах оборота ротора электромагнитный момент [1, 2].

Элементы Холла практически безынерционны, поэтому их применение в ДПР не имеет ограничений, определяемых числом пар полюсов и номинальной частотой вращения ВД. Выходные напряжения элементов Холла малы, но они могут быть усилены операционными усилителями.

Основными недостатками элементов Холла являются большой разброс и значительная зависимость их параметров от температуры [3]. Это затрудняет серийное производство и взаимозаменяемость ДПР с этими чувствительными элементами, а при использовании их в ВД приводит к возникновению схемотехнически неустранимых пульсаций его электромагнитного момента. Технология изготовления дискретных элементов Холла не позволяет устранить разброс их параметров, а применяемые способы их термокомпенсации эффективны в сравнительно узком диапазоне температур [3].

Практически не подвержены влиянию температуры и разбросу параметров элементов Холла содержащие их магниточувствительные микросхемы, в которых их выходные напряжения преобразуется пороговыми устройствами в напряжение, соответствующее логической 1 или 0. ДПР с такими чувствительными элементами применяют для задания в ВД квазипрямоугольных фазных токов [4].

При повышенных требованиях к равномерности электромагнитного момента в современных ВД для задания синусоидальных фазных токов используются ДПР на основе резольвера, т.е. бесконтактного синусно-косинусного вращающегося трансформатора. Выделение огибающих его выходных напряжений осуществляется специальными микросхемами, которые, как и резольверы для ВД с разным числом пар полюсов, не выпускаются отечественной промышленностью [5].

Целью проводимого исследования являлось создание автоматической системы, обеспечивающей при изменении температуры и разбросе параметров элемента Холла синусно-косинусного ДПР стабильность амплитуды его выходного напряжения, заданной напряжением управления электромагнитным моментом ВД.

Амплитуда выходного напряжения элемента Холла при синусоидальном распределении магнитной индукции в воздушном зазоре ДПР составляет

$$U_{x\max} = k_x I_y B_{\max}, \quad (1)$$

где B_{\max} – амплитуда магнитной индукции, действующей на элемент Холла; U_y – напряжение управления на токовых выводах элемента Холла; k_x – чувствительность элемента Холла.

Из выражения (1) следует, что выходное напряжение элемента Холла создается воздействием двух физических величин. Поэтому и его чувствительность зависит от значения чувствительностей по каждой из них. При производстве однотипных элементов Холла стараются выдерживать средние значения их чувствительности $k_{x.cр}$, а также ее составляющих, т.е. чувствительности по напряжению $k_{U.cр}$ и чувствительности по магнитной индукции $k_{B.cр}$. Тогда выражение (1) можно представить в следующем виде

$$U_{x\max} = k_U^* k_{U.cр} k_B^* k_{B.cр} U_y B_{\max} = k_x^* k_{x.cр} U_y B_{\max}, \quad (2)$$

где $k^*U = k_U/k_{U.cр}$ – относительное значение чувствительности элемента Холла по напряжению; $k^*B = k_B/k_{B.cр}$ – относительное значение чувствительности элемента Холла по магнитной индукции; $k^*x = k_x/k_{x.cр}$ – относительное значение чувствительности элемента Холла.

Структурная схема системы, осуществляющей коррекцию амплитуды выходного напряжения элемента Холла при изменении температуры и отклонении составляющих его чувствительности от средних значений, приведена на рис. 1.

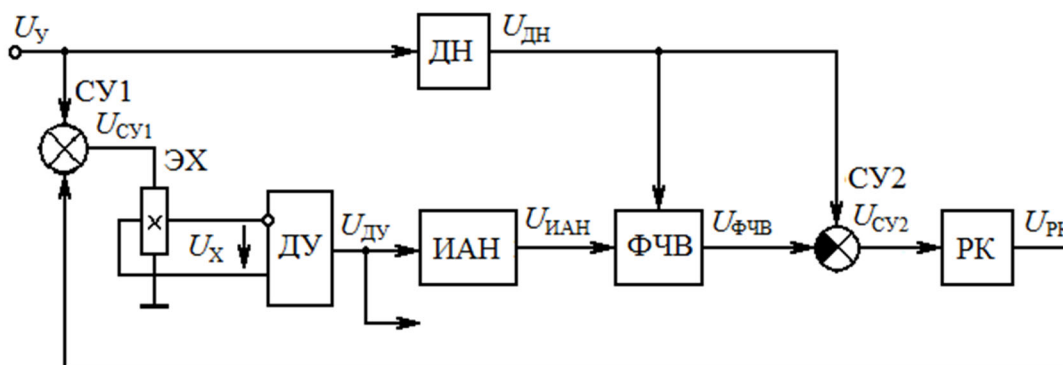


Рис.1. Структурная схема системы стабилизации амплитуды выходного напряжения элемента Холла ДПР

Она состоит из дифференциального усилителя ДУ, усиливающего выходное напряжение элемента Холла ЭХ U_x , измерителя амплитуды напряжения ИАН, фазочувствительного выпрямителя ФЧВ, суммирующего СУ1 и сравнивающего СУ2 устройств и корректирующего регулятора РК.

Объект управления в этой системе образует ЭХ с ДУ. Регулируемой переменной является амплитуда выходного напряжения ДУ $U_{ДУ}$, значение которого задается выходным напряжением делителя напряжения ДН $U_{ДН}$. Оно пропорционально напряжению управления U_y и равно амплитуде выходного напряжения ЭХ при среднем значении его чувствительности $k_{x.cр}$.

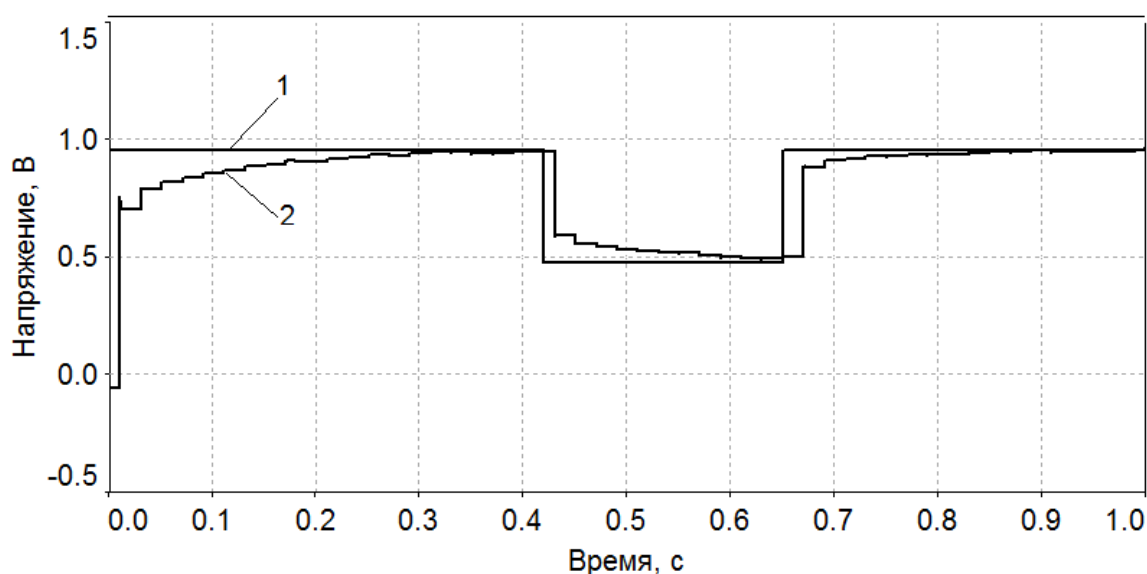
Принцип действия рассматриваемой системы состоит в следующем. Измеренное ИАН напряжение амплитуды выходного напряжения ДУ УДУ после приведения ФЧН его полярности в соответствие с полярностью напряжения ДН УДН и уже как напряжение УФЧВ сравнивается с ним в СУ2. Напряжение их рассогласования УСУ2 поступает на вход РК, выходное напряжение УРК которого подается на второй вход СУ1 и корректирует заданное напряжением УУ напряжение на токовых выводах ЭХ УСУ1. При этом, если напряжение УУ положительной полярности, то при $УДН > УФЧВ$ происходит увеличение напряжения УСУ1, и амплитуда выходного напряжения ДУ УДУ возрастает, а при $УФЧВ > УДН$ уменьшается. Также осуществляется коррекция абсолютного значения УСУ1 и при отрицательной полярности напряжения управления.

В разработанной автоматической системе коррекции амплитуды выходного напряжения элемента Холла ЭХ применяется РК с интегральным законом регулирования. Поэтому, независимо от того, вызвано ли рассогласование напряжений УФЧВ и УДН разбросом чувствительности ЭХ относительно его среднего значения, влиянием на нее температуры или/и изменением напряжения управления УУ, оно после окончания переходного процесса сводится к нулю.

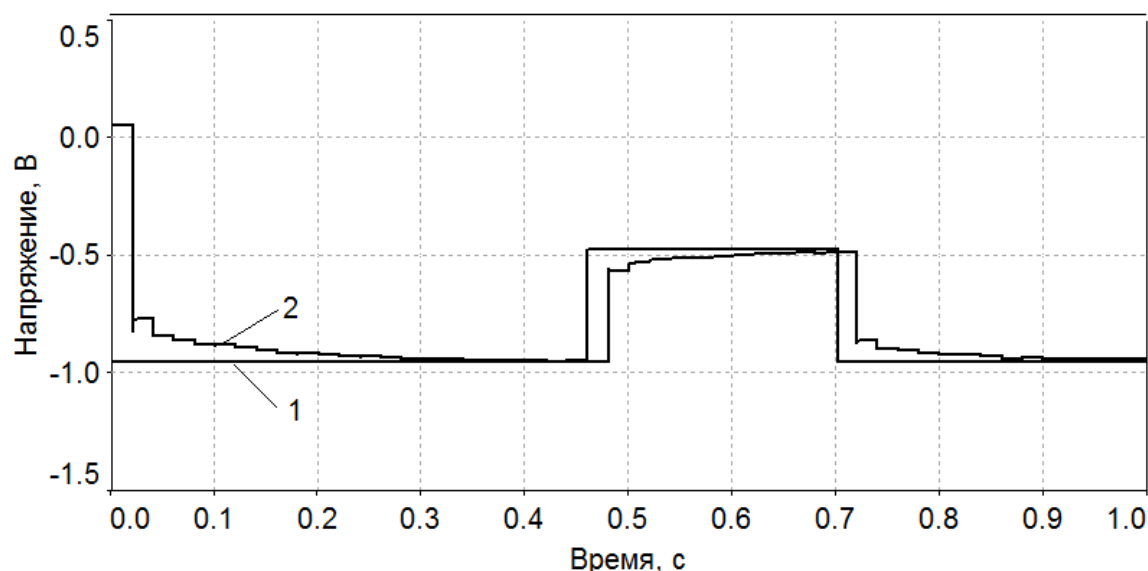
Проверка эффективности действия системы коррекции амплитуды выходного напряжения ЭХ ДПР проводилась на созданной в среде NI Multisim ее схемотехнической модели. В ней ЭХ, принимая во внимание соотношение (2), представлен умножителем с коэффициентами усиления по входам k^*U и k^*B , а магнитная цепь ДПР источником переменного синусоидального напряжения.

Испытания модели системы проводились в установившихся и в переходных режимах при ступенчатых изменениях напряжения управления U_y . При их исследовании частота источника переменного напряжения с $U_{max} = 1В$, имитирующего изменение магнитной индукции в воздушном зазоре ДПР, изменялась в пределах $f = 2,5 Гц \dots 200 Гц$, напряжение управления амплитудой выходного напряжения элемента Холла обеих полярностей в диапазоне $|U_y| = (0,05 \dots 1,0) |U_{y_{max}}|$, а относительные чувствительности задавались в пределах $k^*U = 0,7 \dots 1,2$, $k^*B = 0,7 \dots 1,2$ и $k^*x = 0,6 \dots 1,4$ при различных сочетаниях значений k^*U и k^*B .

На рис. 2а, б представлены временные диаграммы напряжений УДН и УФЧВ при ступенчатых изменениях напряжения управления УУ положительной и отрицательной полярности. Они получены при $f = 50 Гц$, $k^*U = 0,8$, $k^*B = 0,9$ и $k^*x = k^*U k^*B = 0,72$.



а)



б)

Рис.2. Временные диаграммы выходных напряжений ДН и ФЧВ при ступенчатых изменениях напряжения управления U_y положительной а) и отрицательной б) полярности: 1 – напряжение УДН, 2 – напряжение УФЧВ

Анализ временных диаграмм на рис. 2а, б показывает, что в момент пуска системы и в моменты ступенчатых изменений напряжения управления U_y между выходными напряжениями ДН и ФЧВ устанавливается соотношение $|U_{ФЧВ}| = k \cdot |U_{ДН}|$. После окончания переходного процесса устанавливается равенство $|U_{ФЧВ}| = |U_{ДН}|$, т.е. независимо от значения чувствительности элемента Холла и температуры амплитуда его выходного напряжения становится равной амплитуде элемента Холла со средним значением чувствительности при рабочей температуре его эксплуатации.

По результатам испытания схемотехнической модели созданной системы коррекции амплитуды выходного напряжения элемента Холла можно сделать следующие выводы.

1. Предложенная автоматическая система позволяет нейтрализовать влияние температуры и разброса чувствительности на амплитуду выходного элемента Холла, расположенного в воздушном зазоре датчика ротора вентильного двигателя

2. Функциональные узлы этой системы могут быть выполнены на отечественных микросхемах и операционных усилителях.

3. Применение дискретных элементов Холла с предложенной системой коррекции амплитуды их выходного напряжения позволяет заменить ими резольвер в синусно-косинусном датчике положения ротора вентильного двигателя.

Список литературы:

1. Kröger G. Kollektorlose Gleichstrommotoren // Archiv für technischen Messen (ATM). April 1968. S. 79-82.
2. Овчинников И.Е., Лебедев Н.И. Бесконтактные двигатели постоянного тока. Л.: Наука, 1979. 270 с.
3. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. М.: ДМК Пресс, 2001. 544 с.
4. Электрические следящие приводы с моментным управлением исполнительными двигателями: Монография / Баранов М.В., Бродовский В.Н., Зимин А.В., Каржавов Б.Н. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 240 с.

5. Практика приводной техники. Сервоприводы // SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG, Bruchsal, Germany, издание 09/2006. 142 с. Режим доступа: <http://www.deltronix.su/doc/11322853.pdf> (дата обращения 19.11.2024).

References:

1. Kröger G. Kollektorlose Gleichstrommotoren // Archiv für technischen Messen (ATM). April 1968. S. 79-82.
2. Ovchinnikov I.E., Lebedev N.I. Contactless DC Motors. L.: Nauka, 1979. 270 p.
3. Baranochnikov M.L. Micromagneto-electronics. Vol. 1. M.: DMK Press, 2001. 544 p.
4. Electric Tracking Drives with Torque Control of Actuating Motors: Monograph / Baranov M.V., Brodovsky V.N., Zimin A.V., Karzhavov B.N. - M.: Publishing House of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, 2006. 240 p.
5. Drive Engineering Practice. Servo Drives // SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG, Bruchsal, Germany, edition 09/2006. 142 p. Access mode: <http://www.deltronix.su/doc/11322853.pdf> (date of access 19.11.2024).