

Преобразователь сигналов индуктивного датчика положения ротора

Михаил Сизов (Москва)

В статье предложено заменить синусоидальный источник питания индуктивного датчика на импульсный источник и применить схему выборки-хранения в качестве фазочувствительного выпрямителя. Приведены результаты моделирования преобразователя и принципиальная схема реального устройства.

ВВЕДЕНИЕ

Индуктивные датчики широко применяются в промышленности, их характеристики практически не зависят от окружающей среды. Они пригодны к использованию при температуре от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$, имеют большое время наработки на отказ, дают высокую точность и линейность. Дифференциальные индуктивные датчики обладают наибольшей точностью и линейностью. Описание этого типа датчика можно найти в [1, 2].

Широкое применение индуктивных преобразователей перемещения в следящих системах управления требует создания быстродействующего, простого, надёжного и обладающего высоким КПД устройства для питания и обработки выходных сигналов индуктивного датчика перемещения. Ниже приведено краткое описание датчика, который применяется для контроля положения ротора относительно статора. Сокращённое название датчика – ДПР (датчик положения ротора).

СХЕМА СТАНДАРТНОГО ДПР

На рисунке 1а показан ДПР, состоящий из двух катушек ($L1$ и $L2$), распо-

ложенных симметрично относительно оси статора, который является общим магнитопроводом. Части статора и ротора, которые находятся в поле действия катушек $L1$ и $L2$, изготавливаются из листов электротехнической стали, чтобы уменьшить потери на вихревые токи и повысить точность датчика. Если ось вращения ротора совпадает с осью статора, то зазоры под катушками равны, равны и индуктивности катушек ($L1 = L2$).

«Классическая» схема преобразования сигнала дифференциального индуктивного датчика перемещения, показанная на рисунке 1а, содержит синусоидальный источник питания ДПР, развязывающий трансформатор с выводом средней точки вторичной обмотки, фазочувствительный выпрямитель (ФЧВ), выполненный на перемножителе аналоговых сигналов, и фильтр низкой частоты (ФНЧ) на операционном усилителе $D1$. Выходной сигнал ДПР $\sim U_x$, который зависит от разности индуктивностей катушек $L1$ и $L2$, преобразуется ФЧВ в биполярное напряжение постоянного тока $\sim U_x$, пропорциональное величине смещения рото-

ра относительно центра статора, а знак определяется направлением смещения. Фильтр низких частот уменьшает амплитуду пульсации удвоенной частоты питания ДПР, которая содержится в сигнале $\sim U_x$. Выходной сигнал U_{out} преобразователя перемещения ротора снимается с выхода операционного усилителя $D1$.

Для демонстрации работы классической схемы преобразования сигнала ДПР с помощью программы Electronics Workbench 5.12 была создана электронная модель (DPR-2S.ewb, см. приложение к статье на интернет-странице журнала www.soel.ru). Принципиальная схема модели показана на рисунке 1б. Датчик представлен в виде двух индуктивностей $L1$ и $L2$. Смещение ротора от центра имитировалось изменением значений индуктивностей. Вторичную обмотку трансформатора образуют два источника переменного напряжения, включённых последовательно; ФЧВ представлен в виде идеального перемножителя аналоговых сигналов с коэффициентом передачи $K = 1$, $Y = \sim U_x$ и $X = +E$ (напряжение питания ДПР). Фильтр низких частот образует RC-цепь с частотой среза $F_c = 1,6$ кГц, которая в десять раз ниже частоты напряжения питания ДПР.

С помощью двухлучевого осциллографа и вольтметра, входящих в состав программы моделирования, была исследована работа классической схемы

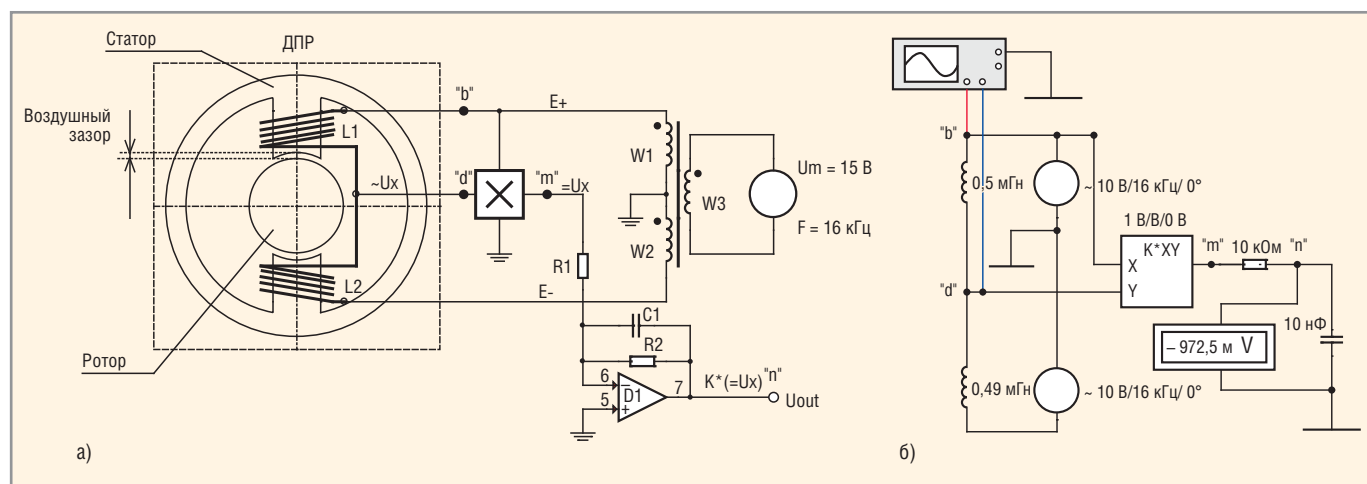


Рис. 1. Преобразователь сигнала ДПР

а) классическая схема; б) принципиальная схема модели

преобразования сигнала ДПР. На рисунках 2а – 2в показаны формы напряжений в различных точках схемы преобразования сигнала ДПР для случая, когда ротор сместился вверх относительно центрального положения (индуктивность L_1 увеличилась, L_2 – уменьшилась). Разность индуктивностей $L_1 - L_2 = 10$ мкГн (соответствует смещению ротора на 100 мкм) преобразуется в постоянное напряжение на выходе $U_{out} = -1000$ мВ, в котором присутствует пульсация размахом 100 мВ.

На рисунке 3а показаны формы напряжений для случая, когда ротор находится в центральном положении. Разность индуктивностей равна нулю ($L_1 - L_2 = 0$), постоянное напряжение на выходе $U_{out} = 0$ мВ, и переменная составляющая также равна нулю.

На рисунке 3б показаны формы напряжений в разных точках схемы преобразования сигнала ДПР для случая, когда ротор сместился вниз относительно центрального положения (индуктивность L_2 увеличилась, L_1 – уменьшилась). Разность индуктивностей $L_2 - L_1 = 10$ мкГн (соответствует смещению ротора вниз на 100 мкм) преобразуется в постоянное напряжение на выходе $U_{out} = 1000$ мВ, в котором присутствует пульсация размахом 100 мВ. Этот эксперимент показывает, что данная схема формирует биполярный сигнал на выходе преобразователя, а знак выходного напряжения определяется направлением смещения ротора от центрального положения.

На рисунке 3в показаны формы напряжений в разных точках схемы преобразования сигнала ДПР для случая, когда ротор сместился вниз на 1 мкм относительно центрального положения. Разность индуктивностей $L_2 - L_1 = 0,1$ мкГн, а постоянное напряжение на выходе $U_{out} = 10$ мВ. Этот вычислительный эксперимент показывает, что ДПР и схема преобразования теоретически имеют высокую чувствительность и линейность.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЮ для ДПР

Классическая схема преобразования сигнала ДПР в виде модели выглядит как простое устройство, однако практическая реализация всех элементов схемы связана с решением сложных технических задач.

Источник питания ДПР, состоящий из синусоидального задающего гене-

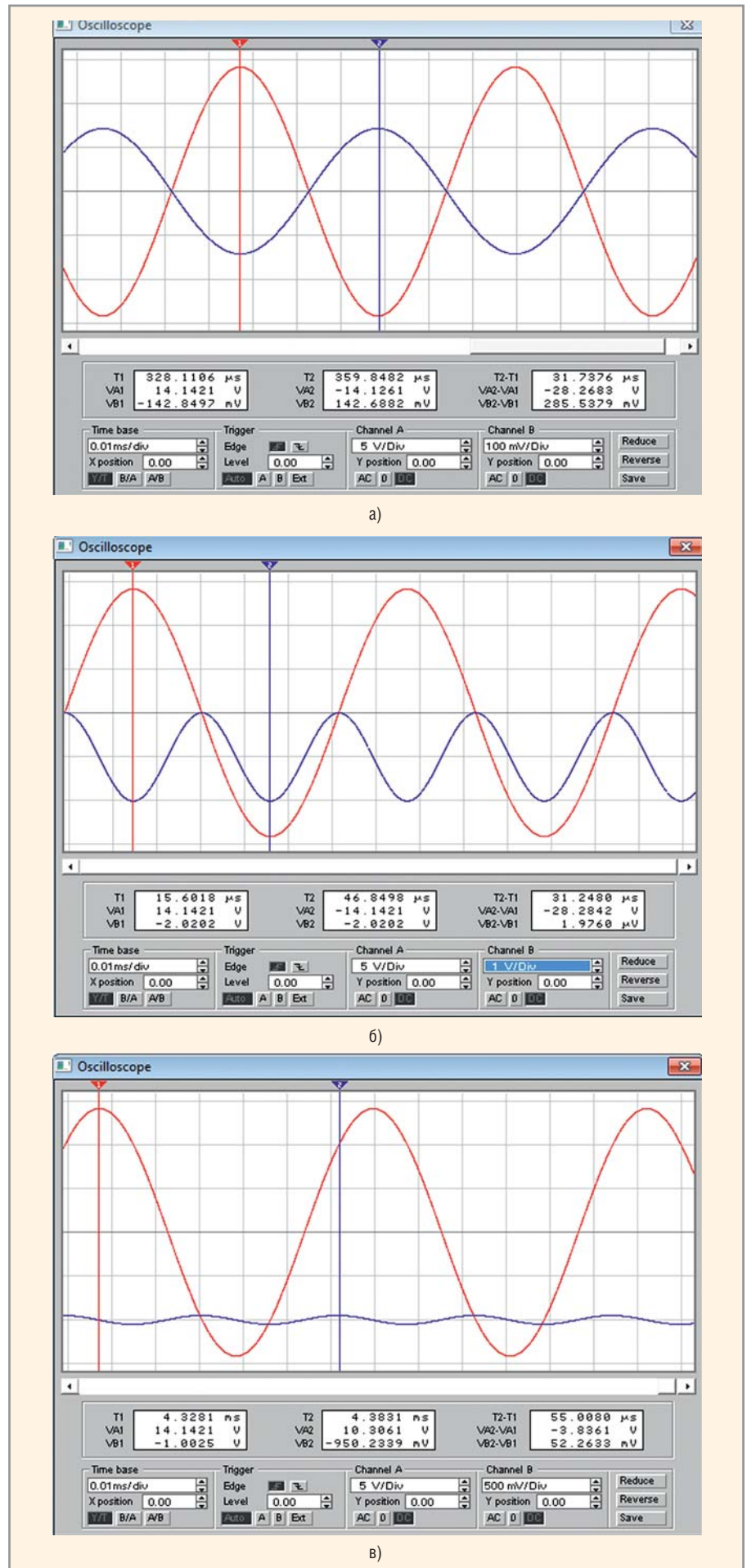


Рис. 2. Форма напряжений в контрольных точках

а) б (красный) и d (синий); б) б (красный) и m (синий); в) б (красный) и n (синий)

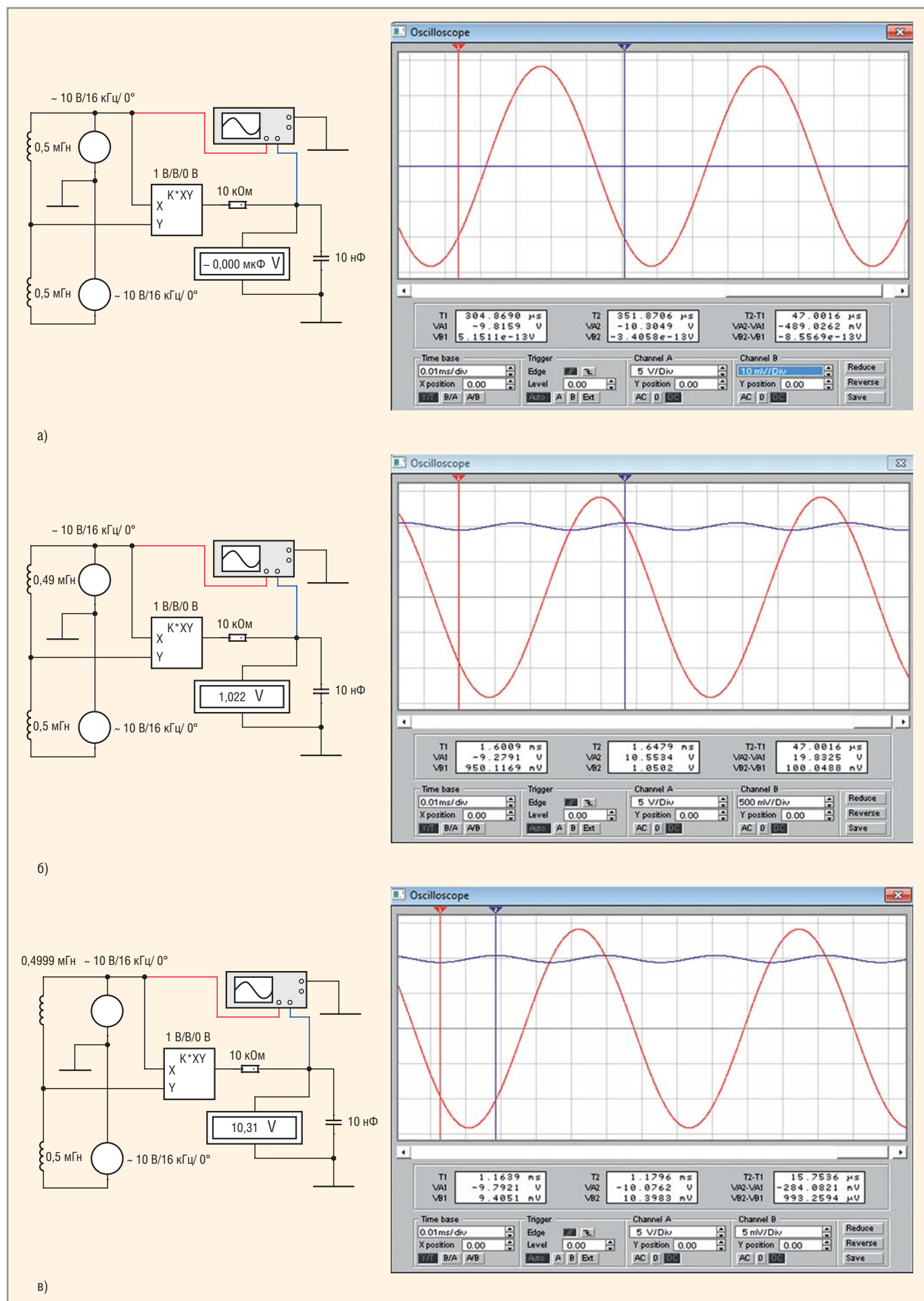
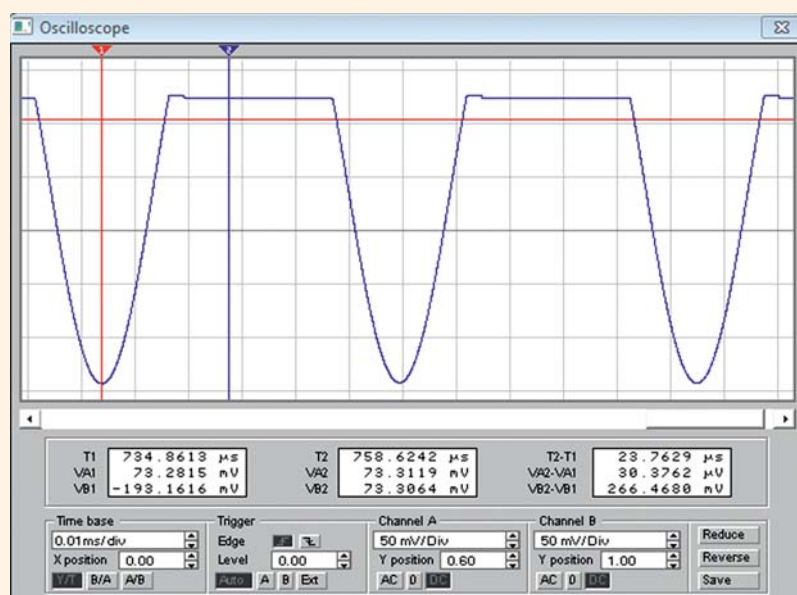
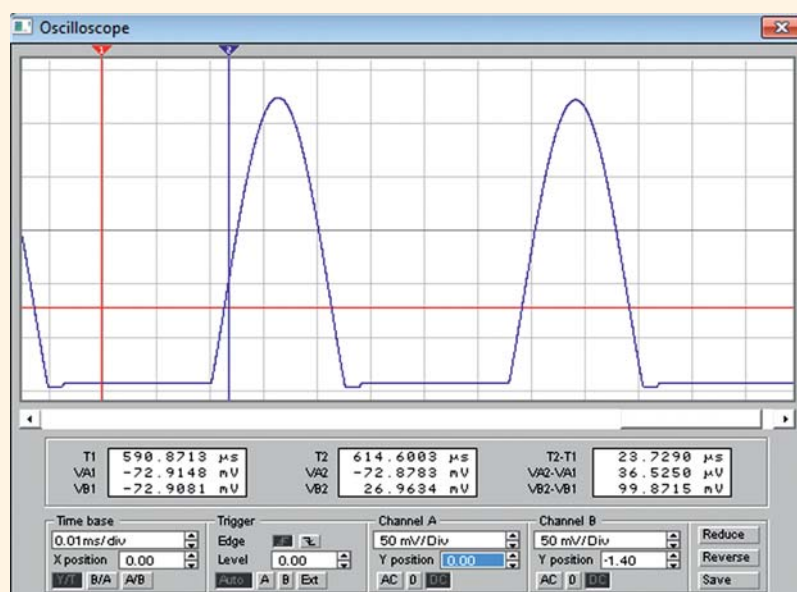


Рис. 3. Форма напряжений в контрольных точках в и н

 а) $L_1 = L_2$; б) $L_2 - L_1 = 10 \text{ мкГн}$; в) $L_2 - L_1 = 0,1 \text{ мкГн}$



а)



б)

Рис. 5. Форма напряжений в контрольных точках d (синий) и m (красный)

а) $L_1 = 510$ мкГн, $L_2 = 490$ мкГн; б) $L_1 = 490$ мкГн, $L_2 = 510$ мкГн

Для демонстрации работы предложенной схемы преобразования сигнала ДПР с помощью программы Electronics Workbench 5.12. была создана электронная модель (DPR-1S.ewb, см. www.soel.ru). Принципиальная схема модели показана на рисунке 4а. Датчик представлен в виде двух индуктивностей L_1 и L_2 , смещение ротора от центра имитировалось изменением их значений. Трансформатор Т1 имеет коэффициент трансформации 2 (отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной), ФЧВ представлен схемой выборки-хранения, выполненной на электронном ключе (S1),

резисторе R3 и конденсаторе C2; операционный усилитель (A1) обеспечивает согласование и усиление выходного сигнала схемы выборки-хранения. Источник постоянного напряжения V1 и генератор прямоугольных импульсов V2 – стандартные элементы программы моделирования. Остальные элементы схемы – это модели реальных элементов преобразователя сигналов ДПР. Работу устройства удобно описывать по его электронной модели, т.к. с помощью двухлучевого осциллографа и вольтметра, входящих в состав программы моделирования, можно увидеть форму сигналов и измерить

напряжения с точностью до милливольт в любой точке схемы.

Устройство для преобразования сигналов ДПР состоит из источника питания и схемы преобразования выходных сигналов ДПР в биполярное напряжение, пропорциональное величине перемещения ротора. Источник питания содержит:

- транзисторный ключ (Q1);
- развязывающий трансформатор (Т1), вторичная обмотка которого имеет отвод от средней точки;
- конденсатор (C1), образующий последовательный колебательный контур с первичной обмоткой трансформатора;
- диод (D1), который обеспечивает возврат электромагнитной энергии, запасённой в индуктивных элементах схемы, в источник питания постоянного тока;
- источник питания постоянного тока (V1) с выходным напряжением 15 В;
- генератор прямоугольных импульсов (V2) с частотой 16 кГц;
- резистор (R1) в цепи управления транзистором (Q1);
- резистор (R2) для контроля тока в цепи первичной обмотки трансформатора (Т1).

Имитатор ДПР образуют две индуктивности (L_1 и L_2), соединённые последовательно. Питание на имитатор поступает от вторичной обмотки трансформатора, а выходной сигнал ДПР снимается с общей точки индуктивностей (L_1 и L_2) относительно средней точки вторичной обмотки трансформатора. Когда индуктивности равны ($L_1 = L_2$), это соответствует положению ротора в центре зазора относительно статора. Смещение ротора имитируется изменением номиналов индуктивностей. В преобразователе сигналов ДПР входят схема выборки-хранения и операционный усилитель (A1).

Опуская описание переходных процессов, которые происходят в схеме при включении питания преобразователя, рассмотрим работу схемы в установившемся режиме. Генератор прямоугольных импульсов (ГПИ) формирует положительные прямоугольные импульсы типа «меандр», которые определяют два такта работы схемы (см. рис. 4б). На первом такте, когда положительный импульс открывает транзисторный ключ Q1, на первичную обмотку трансформатора подаётся постоянное напряжение 15 В от

источника питания V1. В это время напряжение на вторичной обмотке трансформатора тоже имеет прямоугольную форму. Под действием этих напряжений происходит линейное нарастание тока в первичной обмотке трансформатора и в обмотках индуктивных датчиков преобразователя перемещений (L1 и L2), и электромагнитная энергия запасается во всех индуктивных элементах схемы (см. рис. 4в).

Вторичная обмотка трансформатора и два индуктивных датчика образуют измерительную мостовую схему. Если индуктивности и активные потери в датчиках одинаковы, то напряжение в измерительной диагонали моста равно нулю. При изменении параметров одного из датчиков, напряжение в измерительной диагонали моста пропорционально изменяется. На этом такте работы преобразователя измеряемое напряжение имеет прямоугольную форму.

На втором такте, когда транзисторный ключ Q1 закрывается, к первичной обмотке трансформатора подключаются конденсатор и диод, которые были зашунтированы тран-

зистором во время первого такта. Суммарная индуктивность всех датчиков, приведённая к первичной обмотке трансформатора, и конденсатор C1 образуют колебательный контур, в котором начинается колебательный переходный процесс. В начале переходного процесса напряжение на конденсаторе равно нулю, а ток в первичной обмотке имеет максимальное значение. Форма напряжения на конденсаторе и ток в первичной обмотке трансформатора показаны на рисунке 4в. Форма напряжения (b) соответствует положительной полуволне синусоиды, а ток (c) имеет косинусоидальную форму.

Колебательный переходный процесс заканчивается, когда напряжение на конденсаторе C1 меняет знак. В этот момент открывается диод D1, и ток первичной обмотки, который изменил направление за время колебательного переходного процесса, начинает протекать в источник питания V1. Происходит возврат электромагнитной энергии, запасённой в индуктивных элементах датчика преобразователя, в источник питания V1. Напряжение на конденсато-

ре C1 в это время не изменяется и равно падению напряжения на диоде (0,7 В), а ток первичной обмотки линейно уменьшается до нуля в конце второго такта работы преобразователя. Транзисторный ключ Q1 должен быть открыт до окончания второго такта, чтобы обеспечить непрерывность тока в первичной обмотке трансформатора. Это определяет требования к длительности импульсов генератора. Затем процесс циклически повторяется.

На рисунке 5 показана работа схемы выборки-хранения для двух положений ротора: смещения вверх (L1 = 510 мкГн и L2 = 490 мкГн) и смещения вниз (L2 = 510 мкГн и L1 = 490 мкГн). По результатам измерения осциллографа (окна с числами на лицевой панели) видно, что погрешность запоминания выходного сигнала ДПР (d), когда напряжение имеет прямоугольную форму, не превышает 0,01 мВ при полезном сигнале 73 мВ. Усилитель A1 обеспечивает требуемый коэффициент преобразования перемещения ротора в напряжение на выходе устройства (n).

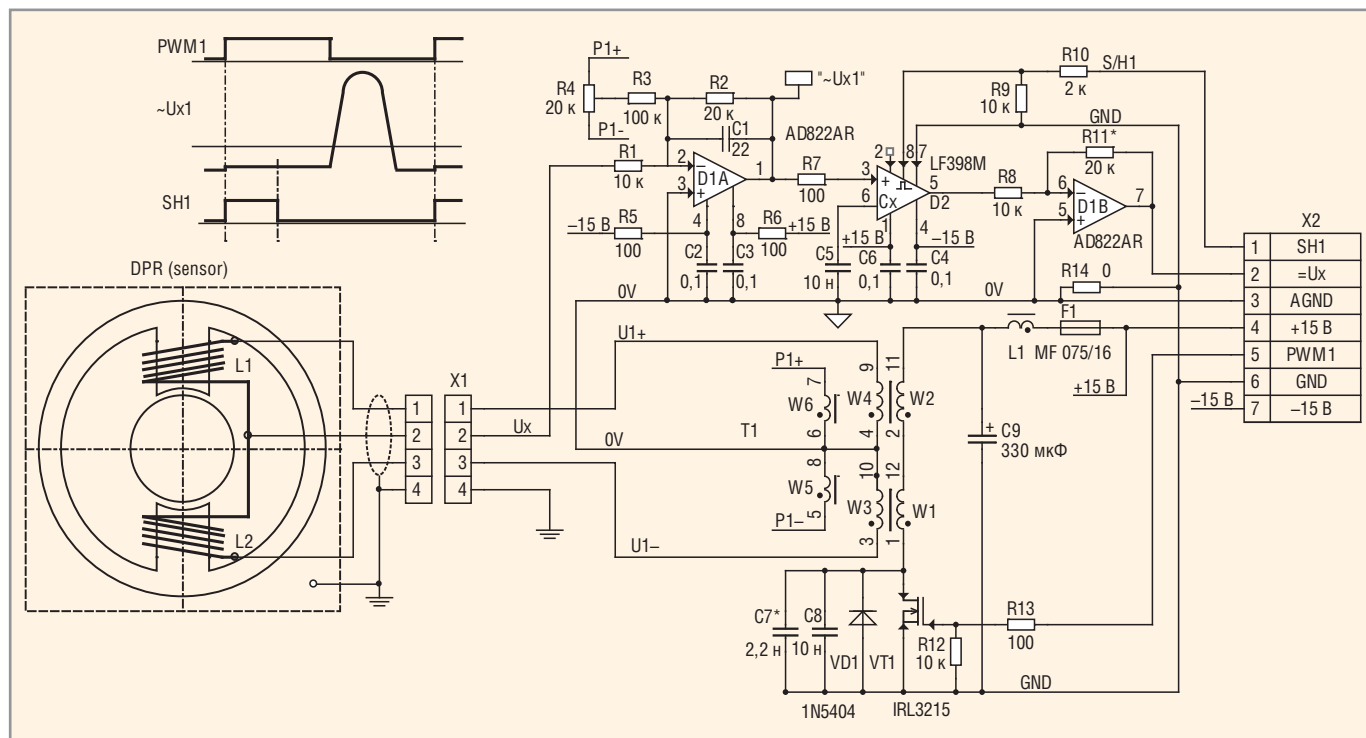


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема преобразователя сигнала ДПР

Особенности работы преобразователя сигналов ДПР:

- переключение транзисторного ключа Q1 и диода D1 происходят в моменты, когда напряжение на конденсаторе C1 равно нулю;
- форма выходного сигнала преобразователя повторяет форму напряжения на первичной обмотке трансформатора; имеется плоская часть напряжения и синусоидальная. Плоская часть опрашивается схемой выборки-хранения с последующим преобразованием в выходной сигнал (n);
- источник питания ДПР имеет высокий КПД, поскольку активные потери в схеме определяются только сопротивлением обмоток трансформатора и датчиков, падением напряжения на диоде и транзисторном ключе;

- простая схема источника питания обеспечивает высокую надёжность всего устройства;
- использование ГПИ для управления транзистором упрощает синхронизацию переменного напряжения питания ДПР с тактовой частотой контроллера системы управления объектом, в которой используется ДПР.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ РЕАЛЬНОГО ДПР

На рисунке 6 показана принципиальная электрическая схема реального устройства, содержащая основные элементы модели. Предлагаемая схема преобразователя сигналов дифференциального индуктивного датчика впервые была применена в системе магнитного подвеса (МП) ротора электрической машины [4]. Принцип работы магнитного подшипника (подвеса) основан на использовании левитации, создаваемой электрическими и магнитными полями. Электромагнитные подшипники позволяют без физического контакта осуществлять подвес вращающегося вала и его относительное вращение без трения и износа. Система МП состоит из двух радиальных активных подшипников и одного осевого. Активный подшипник – четыре электромагнита, два дифференциальных индуктивных датчика положения ротора и система управления, которая по сигналам

датчиков, управляет токами в электромагнитах и поддерживает ротор в центре воздушного зазора [5]. В схеме считывания использована ИС выборки-хранения LM398M (KP1100CK2) и элементы R3, R4, W5 и W6 для настройки нулевого уровня выходного сигнала, когда ротор находится в центре.

На рис. 7 приведены результаты испытания реального осевого датчика при смещении ротора на ± 700 мкм относительно центрального положения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показано, как можно упростить схему преобразователя сигналов ДПР и повысить надёжность всего устройства, если использовать элементы схемы транзисторного усилителя мощности строчной развёртки электронно-лучевых кинескопов и схему выборки-хранения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. Энергия, 1966.
2. <http://electricalschool.info/2009/12/09/induktivnye-datchiki.html>.
3. <http://spetrovich.narod.ru/img7/razvertka.htm>.
4. http://www.snr.com.ru/e/about_bearings/about_bearing.htm.
5. http://imlab.narod.ru/MechSys/M_Bear/M_Bear.htm.

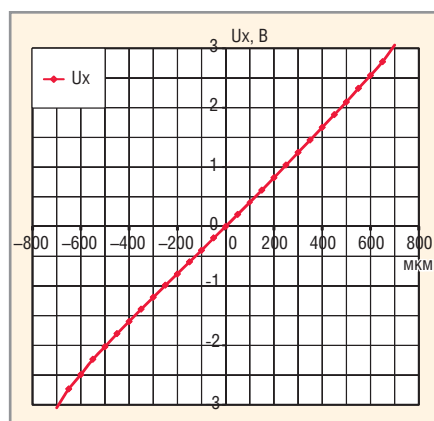
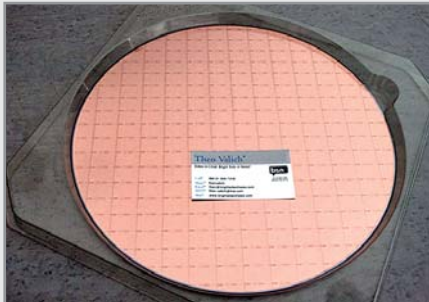


Рис. 7. Результаты испытания осевого датчика

Новости мира News of the World Новости мира

GlobalFoundries: поставлено 250 тыс. 32-нм пластин, AMD работает над 28-нм чипами

Компания GlobalFoundries, один из ведущих контрактных производителей полупроводниковых чипов в мире, имеющая заводы в разных частях света, сообщила, что её фабрика Fab 1 в Дрездене поставила для AMD уже более четверти миллиона кремниевых пластин с чипами, производимыми с соблюдением 32-нм норм High-K Metal Gate (HKMG).



Несмотря на внедрение ряда новых и сложных элементов как в процесс дизайна чипов, так и в технологии производства, наращивание поставок 32-нм кристаллов превзошло показатели освоения предыдущих 45-нм норм за те же периоды развития.

Ранее в этом месяце GlobalFoundries сообщила о выкупе оставшейся доли акций AMD, и теперь она целиком принадлежит арабской компании ATIC (Advanced Technology Investment Company). Независимость от AMD, как считает GlobalFoundries, позволит ей стать более привлекательной для своих партнёров. Тем не менее, тесные связи двух компаний, некогда бывших одной семьёй, сохраняются – AMD остаётся одним из ведущих и стратегических клиентов.

Президент и исполнительный директор AMD Рори Рид (Rory Read) отмечает: «Всего за один квартал мы смогли увидеть более чем двукратное увеличение выхода годных кристаллов с 32-нм нормами, что позволило нам завершить 2011 г. с поставками, превосходящими наши требования. Основываясь на успешном развёртывании 32-нм норм, мы нацелены на движение вперёд к освоению 28-нм норм с GlobalFoundries». Это интересное заявление, ибо после проблем с поставками 32-нм чипов и отмены компанией AMD 28-нм процессоров Wichita и Krishna ходили слухи о возможном производстве новых 28-нм кристаллов уже на мощностях TSMC. Теперь они развеяны – гибридные чипы 2013 г. Kabini и Temash будет производить GlobalFoundries.

Исполнительный директор GlobalFoundries Аджит Маноча (Ajit Manocha) подчёркивает: «Мы провели ряд организационных и операционных изменений, которые привели к существенному росту скорости производства и важным прорывам в наращивании доли годных кристаллов. И учитывая тот факт, что наш 28-нм техпроцесс использует ту же технологию, что и 32-нм, AMD и другие клиенты получают значительную пользу от быстрого улучшения производственных характеристик передовых 32-нм APU».

Вдобавок сообщается, что строительство Fab 1 недавно завершено, что делает завод крупнейшим из подобных в Европе. В январе этого года компания сообщила, что в 2012 г. она собирается потратить на капитальные издержки более 3 млрд. долл. для расширения мощностей в Сингапуре, Германии и Нью-Йорке.

<http://www.brightsideofnews.com/>

Новая Sony: стратегия Казуо Хираи по восстановлению компании

В последние месяцы Sony сталкивается с массой трудностей, включая продолжающиеся уже много лет проблемы в телевизионной области, значительное изменение налогового бремени и так далее: всё это, по прогнозам самой компании, приведёт к тому, что убытки в отчётом 2011 г. составят гигантскую сумму в \$6,4 млрд. Недавно новый исполнительный директор компании Sony Казуо Хираи (Kazuo Hirai), вступивший официально в должность 1 апреля, провёл пресс-мероприятие в токийском головном офисе компании, где поделился своими планами, получившими имя One Sony, относительно реорганизации электронного гиганта.



Господин Хираи сообщил всем, что воспринимает анонсированные потери очень серьёзно. Ключом же к восстановлению, по его мнению, должно стать усиление основных успешных направлений бизнеса Sony – цифровое формирование изображений, игры и мобильный сектор, – наряду с восстановлением убы-

точного телевизионного подразделения, разумеется.

Бизнес цифрового формирования изображений – главная сила Sony, по мнению Казуо Хираи. И хотя рост сегмента цифровых компактов не ожидается в обозримом будущем из-за подъёма популярности смартфонов, он полагает, что преимущества компании в области зеркальных камер со сменными объективами позволят ей расти быстрее прочих участников рынка и создать стабильный источник прибыли.

В мобильной сфере реорганизация Sony подразумевает объединение смартфонов, планшетов и компьютеров VAIO в одну структурную единицу во главе с новым исполнительным директором Sony Mobile Кунимаса Сузуки (Kunimasa Suzuki). Дабы оставаться конкурентоспособной на этих сложных мобильных рынках, целью компании станет двукратное сокращение времени разработки и вывода на рынок новых продуктов.

Одной из основных задач компании является возвращение прибыльности своему некогда очень успешному телевизионному подразделению. Для этой цели господин Хираи предполагает сократить постоянные издержки на внушительные 60%, а переменные – на 30% посредством продолжения реструктуризации, включающей увольнение 10 тыс. человек (о чём уже ранее ходили слухи) и уменьшение числа моделей на 40% в отчётом 2012 г.

Исполнительный директор уверен, что ЖК-телевизоры по-прежнему останутся королями рынка и Sony необходимо сохранить концентрацию на этом сегменте, продолжая одновременно развитие и внедрение новых технологий вроде OLED или Crystal LED. Впрочем, он ничего не сказал о том, когда мы можем ожидать появления Crystal LED на рынке. По мнению Казуо Хираи, правильное управление вернёт ТВ-подразделению прибыльность уже в 2013 г.

Стоит напомнить, что внушительные восемь лет Sony лишь теряет деньги на производстве телевизоров – такая ситуация не может продолжаться вечно. Кстати, когда господину Хираи был задан вопрос о том, существует ли вероятность сотрудничества японских производителей телевизоров по аналогии с созданием полупроводниковой японской компании Japan Display, занимающейся развитием и производством панелей для мобильных устройств, глава Sony не дал комментариев.

<http://www.theverge.com/>