

УДК 531.112(045)

А. П. Козлов, канд. техн. наук, доц.,
М. В. Осипова

ИЗМЕРИТЕЛЬ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Показана необходимость измерения скорости подвижного объекта. Приведен краткий обзор и анализ существующих технических средств, пригодных для решения проблемы. Рассмотрены технические решения конструкций элементов измерителя начальной скорости подвижного объекта, структурная схема устройства измерения начальной скорости подвижного объекта. Результаты проделанной работы могут быть использованы для проектирования рассматриваемого устройства.

Ключевые слова: начальная скорость, подвижный объект, геодезический метод, емкостный преобразователь, информационный импульс.

Введение. Состояние экономики Украины на сегодня требует более широкой автоматизации производства в различных областях отечественной промышленности, внедрения новых средств автоматизации и их дальнейшего усовершенствования. Прежде всего это относится к серийному производству. Автоматизация технологического процесса изготовления деталей, сборки узлов изделия дает возможность создавать конкурентоспособную продукцию. Средства автоматизации, робототехника позволяют увеличить объём выпускаемой продукции, уменьшить затраты на изготовление, снизить себестоимость и цену продукции, обеспечив при этом её высокое качество. В свою очередь, это повышает спрос на продукцию и рентабельность производства. Разработка и внедрение средств автоматизации в отечественную промышленность являются актуальными. Для автоматизации технологического процесса изготовления или сборки технического объекта или его деталей необходимо выполнять измерения параметров его движения: перемещение, скорость, ускорение, угловые перемещения и др. Для измерения этих параметров необходимо иметь такие устройства, с помощью которых возможно измерение с требуемой точностью. В частности, достаточно часто требуется измерять начальную скорость выхода детали из изготавливающего устройства с целью расчётов параметров движения захватывающего устройства, которое обеспечивает передачу детали к следующему аппарату обработки. Исходя из выше приведенного, очевидна необходимость разработки измерителя начальной скорости подвижного объекта.

Постановка задачи. Для измерения начальной скорости подвижного объекта требуется устройство, удовлетворяющее выше описанные условия. Для этого необходимо:

- 1) провести обзор и анализ существующих методов и технических средств с целью поиска пригодных для реализации технических решений;
- 2) разработать конструкцию измерителя, реализующего выбранный метод;
- 3) разработать структурную и функциональную схемы измерителя.

Поиск путей решения. Обзор и анализ существующих методов и технических средств измерения скорости движения подвижного объекта показали следующее. Для измерения скорости подвижных объектов применяются аэрометрический, тепловой, термодинамический, механический, локационный, доплеровский, инерциальный, геодезический методы измерения. Из перечисленных методов могут рассматриваться только локационный и геодезический методы измерения скорости подвижного объекта, так как реализация устройств, построенных по этим методам, требует встраивания измерителя в подвижный объект, что является в рассматриваемом случае неприемлемым.

Локационный метод измерений в зависимости от частоты колебаний воздушной среды или электромагнитного поля подразделяют на ультразвуковой (акустический),

радиотехнический, оптический и лазерный методы [1 – 3]. В основном локационный метод применяют для измерения расстояний, дистанций до подвижного объекта, его перемещений. Для оценки скорости движения объекта необходимо выполнять дифференцирование информационного сигнала. Это, в свою очередь, приводит к дополнительным погрешностям, которые вызваны дифференцированием шумовой составляющей полезного сигнала, что часто приводит к нецелесообразности применения метода.

Для измерения начальной скорости подвижного объекта наиболее приемлемым, на наш взгляд, является геодезический метод.

Суть **геодезического** метода заключается в следующем: измеряется интервал времени Δt , за который подвижный объект проходит некоторое базовое расстояние. Базовым расстоянием может быть продольный размер подвижного объекта, или расстояние между опорными точками специально созданной конструкции.

Если за базовое расстояние принимают продольный размер подвижного объекта L , то скорость движения объекта определится как $V = L/\Delta t$, где Δt – интервал времени, за который подвижный объект проходит базовое расстояние.

Для формирования информационного импульса применяют индуктивные, фотометрические или емкостные датчики (преобразователи). Информационный импульс получают путем включения датчика в какую-либо измерительную схему, например, схему измерительного моста переменного тока, на выходе которого формируется информационный импульс.

Индуктивный датчик представляет собой круглую катушку, индуктивность которой изменяется при перемещении подвижного объекта через катушку. Измерение длительности импульса, как правило, реализуют цифровыми микросхемами. Следует отметить, что для эффективной работы индукционного датчика необходимо, чтобы подвижный объект обладал магнитными свойствами, т. е. имел, например, стальной немагнитный корпус. На немагнитный материал (латунь, бронза, пластмасса и др.) датчик реагировать не будет.

Фотометрический метод получения информационного импульса основан на прерывании подвижным объектом светового луча. Датчик, построенный на этом принципе, представляет собой систему «источник света – светоприемник», обычно, «светодиод – фотодиод». Для повышения надежности получения полезной информации датчик имеет специальную конструкцию, на которой размещают несколько излучателей и фотоприемников. Два датчика, размещенные на базовом расстоянии L , позволяют измерить начальную скорость подвижного объекта по вышеприведенному алгоритму. Рассмотренный метод подвержен внешним влияющим факторам, таким, как внешние излучения, запыленность и задымленность воздуха, что снижает эффективность его применения.

Более приемлемым, на наш взгляд, является формирование информационного импульса с помощью емкостных датчиков. Для измерения перемещений в технике достаточно широко применяются емкостные датчики. Подавляющее большинство технических решений используют конструкции датчиков с однородным полем (рис. 1). С целью устранения влияния краевого (неоднородного) поля в современных конструкциях применяют экраны и так называемые охранные электроды [4; 5]. Как видно из рис. 1, подвижный объект должен быть заземлен, а электроды датчика иметь изоляционное покрытие. Длина подвижного объекта принимается за базовое расстояние L . Формирование информационного импульса выполняется включением датчика в схему четырехплечевого измерительного моста переменного тока. Мост предварительно уравнивается, При входе в межэлектродное пространство подвижного объекта баланс

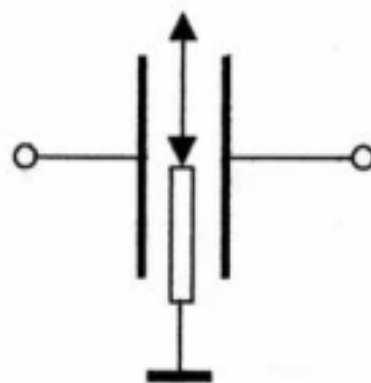


Рис. 1. Конструкция датчика с однородным полем

нарушается. Конструкция устройства имеет небольшие габариты, определяемые в основном размерами подвижного объекта. Параметры воздушнoгазовой среды практически не влияют на полезный сигнал. Однако рассмотренная конструкция и схема измерения имеют ряд недостатков. Для формирования однородного электромагнитного поля электроды преобразователя имеют плоскую прямоугольную форму и размещаются параллельно относительно друг друга. Для обеспечения заземления подвижного объекта необходимо разработать специальную конструкцию. При размещении в межэлектродном пространстве подвижного объекта, имеющем в общем случае разнообразные формы, однородность поля нарушается. Это влияет на форму информационного импульса, однако на его длительность, определяющую скорость движения, неоднородность поля не влияет. Таким образом, очевидна возможность применения емкостного преобразователя с неоднородным полем.

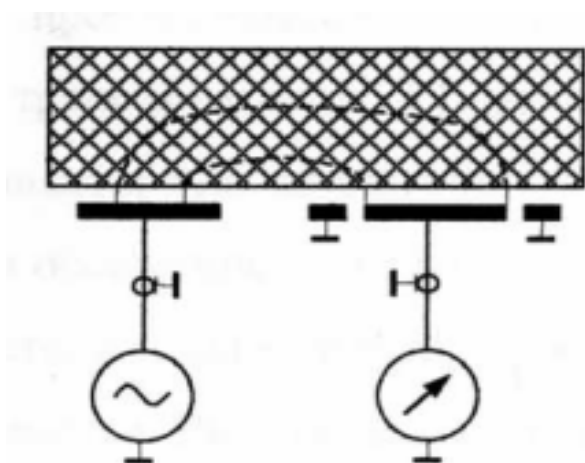


Рис. 2. Иллюстрация эффекта краевого поля

В некоторых датчиках, например в толщиномерах, в силу необходимости размещения датчика только с одной стороны контролируемого материала, используют конструкции датчиков с неоднородным («открытым») полем [6]. Статическая характеристика датчика в этом случае нелинейная. Действие таких датчиков основано на эффекте краевого поля (рис. 2). Изменение емкости датчика вызывается внесением тела, диэлектрическая проницаемость которого отличается от диэлектрической проницаемости окружающей его среды, т. е. в пространстве электромагнитного поля, созданного электродами емкостного датчика. Датчик с «открытым» неоднородным электромаг-

нитным полем более приемлем для решения рассматриваемой проблемы.

Разработка конструкции измерителя. Приняв во внимание вышеизложенное, предлагается схема построения устройства, представленная на рис. 3. Корпус устройства 1

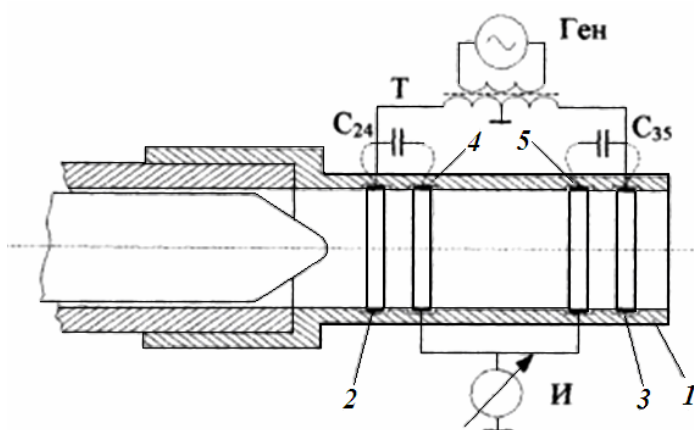


Рис. 3. К принципу построения измерителя начальной скорости: 1 – корпус устройства измерения скорости; 2, 3 – высокопотенциальные электроды; 4, 5 – низкопотенциальные электроды; Т – плечевой трансформатор; Ген – генератор питания измерительного моста; И – индикатор

имеет внутренние размеры сечения, соответствующие размерам подвижного объекта. Это может быть круглое или прямоугольное сечение. На внутренней поверхности корпуса выполнены проточки, в которых на изоляторах размещают 4 электрода датчика 2 – 5. Технически конструкция выполняется разборной. Корпус устройства 1 крепится на выходное устройство. Электроды 2, 4 и 3, 5 образуют конденсаторы с неоднородным полем, которые включены в схему трансформаторного измерительного моста. Ввиду идентичности конструкции и размеров электродов конденсаторов при отсутствии подвижного объекта измерительный мост будет

сбалансирован, то есть на выходе моста сигнал практически равен нулю. При перекрытии подвижным объектом первой пары электродов 2, 4 баланс нарушается, на выходе моста появляется сигнал (рис. 4), величина которого быстро нарастает по мере перекрытия подвижным объектом зоны действия конденсатора C_{24} . При последующем движении подвижного объекта аналогично перекрывается зона действия конденсатора C_{35} . При перекрытии обеих зон подвижным объектом измерительный мост сбалансировается. Форма и длительность первого (стартового) импульса определяются конфигурацией передней части подвижного объекта и расстоянием между зонами конденсаторов. Анализ функционирования первой части устройства показывает возможность определения скорости движения по длительности первого импульса, если за базовое расстояние принять расстояние между зонами конденсаторов L_k . Тогда скорость движения определяется как $V = L_k / \Delta t_1$.

Последующее движение подвижного объекта открывает зону действия конденсатора C_{24} . Мост разбалансируется, но сигнал разбаланса будет иметь противоположный знак. При выходе подвижного объекта из устройства мост снова сбалансирован. Полученный информационный импульс также дает информацию о скорости $V = L_k / \Delta t_2$. Если использовать в качестве базового расстояния продольный размер подвижного объекта $L_{по}$, то можно определить скорость как $V = L_{по} / \Delta t_3$.

Таким образом, емкостный преобразователь выдает комбинированную информацию, что позволяет существенно повысить точность измерения при соответствующей ее обработке.

Разработка измерительной схемы устройства. Для реализации рассмотренного принципа действия устройства разработана структурная схема измерителя скорости (рис. 5). Измеритель состоит из емкостного преобразователя, представляющего собой систему электродов СЭ, конструкция которого показана на рис. 3, плечевых элементов ПлЭ, которые в совокупности с системой электродов СЭ составляют измерительный мост, предварительного усилителя ПУ, детектора, формирователя импульсов ФИ, триггера Тр, генератора тактовых импульсов ГТИ, логического элемента «И», 10-разрядного счетчика и вычислителя значения начальной скорости V , а также генератора питания измерительного моста переменного тока. Схема функционирует следующим образом. При перекрытии подвижным объектом зоны действия конденсатора C_{24} на выходе моста появляется сигнал. Далее сигнал детектируется и подается на формирователь импульсов ФИ. Его применение необходимо для надежного управления триггером Тр. Первый импульс перебрасывает триггер, сигнал которого, поступая на вход логической схемы «И», открывает поступление через второй вход логической схемы «И» импульсов генератора тактовых импульсов ГТИ на счетный вход счетчика импульсов. Второй импульс перебрасывает триггер, снимая сигнал разрешения. Счет прекращается.

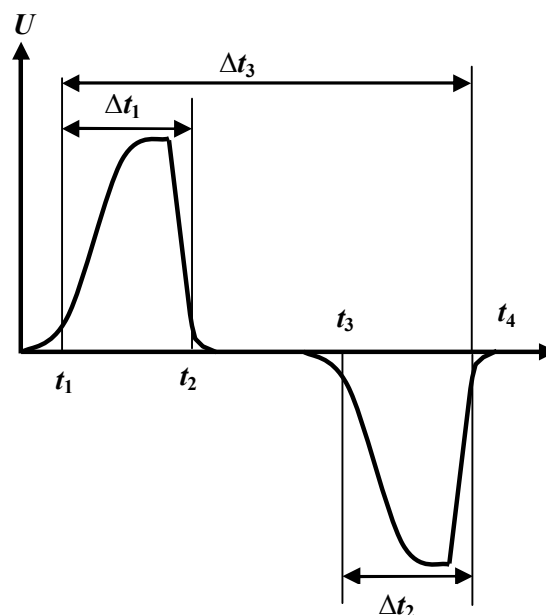


Рис. 4. Выходной сигнал емкостного преобразователя измерителя начальной скорости

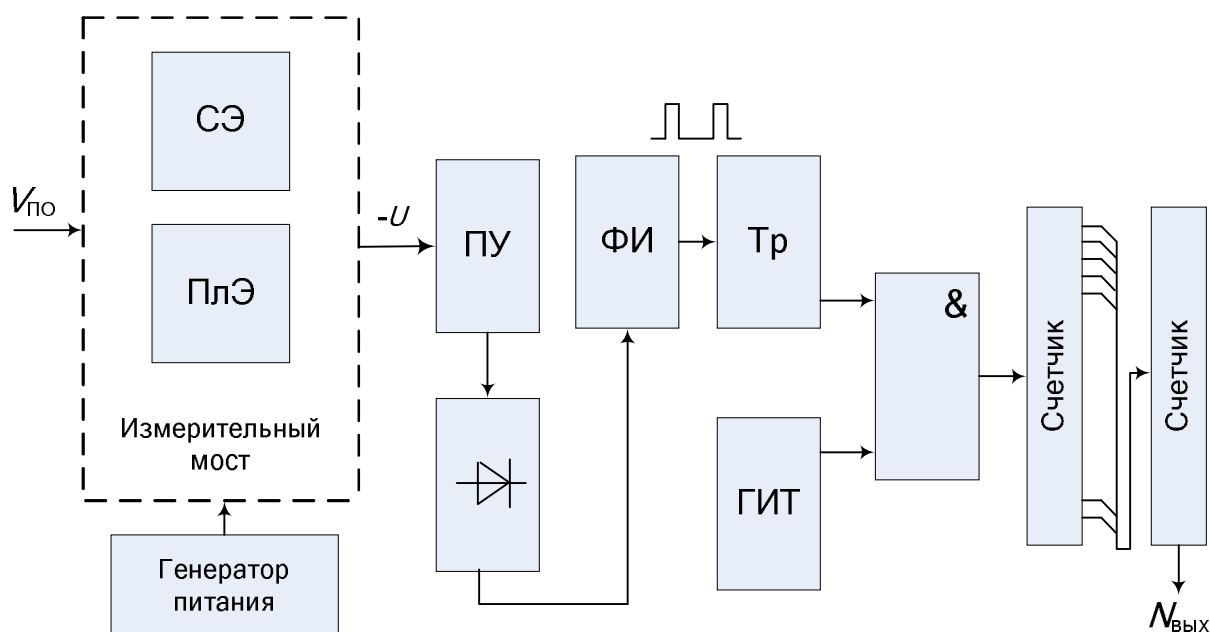


Рис. 5. Структурная схема измерителя скорости: СЭ – система электродов; ПлЭ – плечевые элементы измерительного моста; ПУ – предварительный усилитель; ФИ – формирователь импульсов; Тр – триггер; ГТИ – генератор тактовых импульсов; & – логическая схема «И»

Полученный на выходе счетчика двоичный код соответствует интервалу времени Δt_3 . Измеренная начальная скорость подвижного объекта вычисляется по формуле

$$V = L f / N,$$

где L – базовое расстояние (в рассматриваемой схеме за базовое расстояние принимается продольный размер подвижного объекта); f – частота генератора тактовых импульсов; N – количество импульсов, зафиксированное счетчиком. Выходной информационный сигнал выдается в виде двоичного кода. При необходимости его можно преобразовать для цифровой индикации или в аналоговый вид для управления или записи на магнитный носитель.

Погрешность измерения интервала времени Δt возникает в двоичном счетчике вследствие колебания последних двух разрядов. Два последних разряда заполняются тремя импульсами. Следовательно, погрешность измерений будут нести три последних импульса, то есть $\Delta N = 3$ имп.

Для осуществления измерения с погрешностью не более 5 % необходимо чтобы $N = \Delta N \cdot 100 / 5 = 3 \cdot 100 / 5 = 60$ имп. Отсюда частота ГТИ для интервала времени $\Delta t = 0,5 \cdot 10^{-3}$ с.

$$f = N / \Delta t = 60 / 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,12 \text{ МГц.}$$

Для скорости 500 м/с – $\Delta t = L / V = 0,2 \text{ м} / 500 \text{ м/с} = 0,4 \cdot 10^{-3}$ с.

Расчетные значения частот ГТИ для скоростей 400 и 500 м/с и ряда значений погрешности приведены в таблице.

К расчету требуемой частоты ГТИ

Скорость, м/с	Частота ГТИ, кГц, при погрешности				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
400	600	300	200	150	120
500	750	380	250	188	150

Таким образом, задача измерения начальной скорости сводится к измерению длительности импульса на выходе емкостного преобразователя. Последнее несложно осуществить средствами цифровой электроники.

Выводы. Разработанная конструкция измерителя начальной скорости подвижного объекта, построенная на геодезическом методе измерения, является несложной и может быть реализована для внедрения в комплекс технических средств автоматизации технологического процесса изготовления деталей или сборки технического объекта. Измерительная схема устройства легко реализуется существующими компонентами, что позволит наладить производственный процесс изготовления измерителей скорости движения деталей. Точность измерений, которая может быть достигнута предлагаемой измерительной схемой, позволит существенно повысить производительность автоматизированного производства.

Список литературы

1. Горбатов А. А. Акустические методы измерения расстояний и управления /А. А. Горбатов, Г. Е. Рудашевский – М.: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
2. Бузов Н. И. Маловысотная радиолокация. – М.: Транспорт, 1980. – 262 с.
3. Федоров Б. Ф. Лазерные приборы и системы летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
4. Гриневич Ф. Б. Трансформаторные измерительные мосты / Ф. Б. Гриневич, А. Л. Грохольский, К. М. Соболевский, М. П. Цапенко; под ред. К. Б. Карандеева. – М.: Энергия. – 1970, – 280 с.
5. Гриневич Ф. Б. Измерительные компенсационно-мостовые устройства с емкостными датчиками / Ф. Б. Гриневич, А. И. Новик. – К.: Наук. думка, 1987 – 112 с.
6. Бугров А. В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества. – М.: Машиностроение, 1982. – 96 с.

А. П. Козлов, М. В. Осипова

Вимірювач початкової швидкості рухомого об'єкта

Показано необхідність вимірювання швидкості рухомого об'єкта. Наведено стислий огляд та аналіз існуючих технічних способів, які придатні для вирішення проблеми. Розглянуто технічні рішення конструкцій елементів вимірювача початкової швидкості рухомого об'єкта, функціональну, структурну схему пристрою вимірювання початкової швидкості рухомого об'єкта. Результати проведеної роботи можуть бути використані для проектування розглянутого пристрою.

A. P. Kozlov, M. V. Osypova

The initial velocity measuring device

The article highlights the necessity of measuring the velocity of a moving object. An overview and analysis of existing technical facilities suitable for solving the problem is given. The technical solutions for designing of initial velocity measuring elements for a moving object, functional and structural schemes of the initial velocity measuring device are considered. The results of this scientific research may be used to design the considered device.