

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ВЗВЕШИВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ГРУЗОВ

В. В. Скалевой

Одесса

Весовой контроль движущихся грузов, позволяющий осуществить комплексную автоматизацию ряда технологических процессов, имеет большое практическое значение на транспорте, в металлургической, химической и других областях промышленности.

Характерной особенностью определения веса движущихся грузов является то, что измеряемый сигнал не представляет собой постоянной величины, а содержит колебания (динамическую помеху), амплитуда которых в некоторых случаях может достигать десятки процентов от полезного сигнала. Небольшая продолжительность измеряемого сигнала, когда имеется всего 5—10 периодов самой низкочастотной составляющей помехи, обуславливает трудность определения веса груза с высокой точностью.

Известный метод определения кратковременной постоянной величины, на которую накладываются колебания, путем усреднения сигнала при интегрировании его в течение фиксированного времени [1] характеризуется большой сложностью и относительно невысокой точностью. Способ [2], основанный на определении среднего значения двух смежных разнополярных экстремальных значений сигнала, применим только в условиях «гладкой» синусоидальной помехи, т. е. при отсутствии составляющих помехи импульсного характера, что сужает область использования этого способа.

В данной статье рассматривается способ определения кратковременной постоянной величины при наличии динамической помехи с помощью фильтров нижних частот, обладающий высокими метрологическими качествами.

Этот способ иллюстрируется на примере взвешивания движущихся железнодорожных вагонов и может быть использован в других аналогичных случаях.

Типичная осциллограмма выходного напряжения U_c тензодатчиков при прохождении вагона (тележки, оси) через грузоприемную платформу показана на рис. 1. Здесь U_0 — постоянная составляющая, пропорциональная весу, а динамическая составляющая представлена в виде напряжения сложной формы, которое определяется низкочастотными колебаниями вагона ($5 \div 10$ гц) и высокочастотными колебаниями грузоприемной платформы ($20 \div 50$ гц). Интервал времени $t_0 - t_u$, в течение которого можно производить измерение сигнала при существующих размерах вагонов и грузоприемной платформы и при приемлемой для практики скорости $10 \div 5$ км/час, составляет примерно $1 \div 2$ сек.

При определении веса вагона путем измерения случайных мгновенных значений выходного сигнала U_c может возникнуть большая погрешность, так как постоянная составляющая U_0 и амплитудное значение U_c отличаются друг от друга на $5 \div 10\%$.

В условиях короткого сигнала применение обычных методов фильтрации с помощью фильтров нижних частот не может обеспечить приемлемую точность взвешивания. В этом можно убедиться, если определить максимальную погрешность фильтрации

$$\delta_{\max} = \frac{U_{\phi \max} - U_0}{U_0} 100\%,$$

которая показывает отношение максимальной разности между напряжением на выходе фильтра и постоянной составляющей U_0 к значению U_0 .

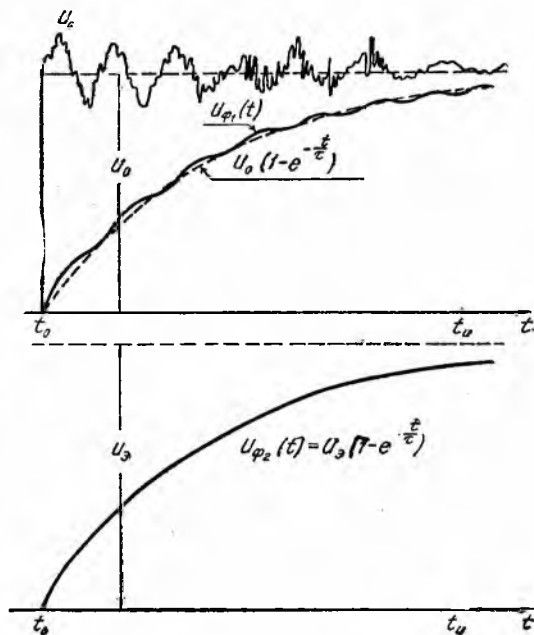


Рис. 1.

Для упрощения анализа в дальнейшем из всех составляющих динамической помехи будем учитывать только самую низкочастотную синусоидальную помеху, поскольку высокочастотные составляющие сильнее подавляются фильтрами и имеют меньшие амплитуды, чем низкочастотные составляющие.

При подаче на вход однозвенного RC-фильтра напряжения

$$U_c = U_0 + U_n \sin(\omega t + \varphi_0),$$

напряжение на выходе фильтра будет равно:

$$U_{\phi}(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + \frac{U_n}{\omega \tau} \left[\cos(\omega t + \varphi_0 - \psi) - \cos(\varphi_0 - \psi) e^{-\frac{t}{\tau}} \right], \quad (1)$$

где $\tau = RC$ — постоянная времени фильтра;

φ_0 — начальная фаза помехи в момент подачи сигнала на фильтр;

$\psi = \arctg \frac{1}{\omega \tau}$ — угол сдвига фазы между напряжениями на входе и выходе фильтра.

Обозначив относительную амплитуду динамической помехи через $A = \frac{U_n}{U_0}$, и, учитывая ее наиболее неблагоприятные фазы, получим

$$\delta_{\max} = \left[\left(1 + \frac{A}{\omega \tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{A}{\omega \tau} \right] 100\%.$$

Поскольку $A \ll 1$, а $\omega \tau > 1$, то это выражение можно упростить до вида

$$\delta_{\max} = \left(e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{A}{\omega \tau} \right) 100\%. \quad (2)$$

Если в этом выражении t принять фиксированной величиной, а τ — переменной, то для каждого значения t существует вполне определенная величина τ_{opt} , при которой погрешность фильтрации принимает наименьшее значение. Для определения τ_{opt} приравняем производную $\frac{d\delta_{\max}}{d\tau} = 0$.

ваемый вагон окажется полностью на грузоприемной платформе). Тогда напряжение на выходе каждого фильтра (см. рис. 1, а, б) будет

$$U_{\phi 1}(t) = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \frac{U_n}{\omega \tau} [\cos(\omega t + \varphi_0 - \psi) - \cos(\varphi_0 - \psi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}],$$

$$U_{\phi 2}(t) = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

где $\tau = RC$ — постоянная времени фильтров.

Выходное напряжение $U_{\phi 2}(t)$ питает измерительный делитель ИД автокомпенсатора, а выходное напряжение $U_{\phi 1}(t)$ подается непосредственно на вход нуля-органа НО. При приближении переднего колеса вагона к концу грузоприемной платформы замыкаются контакты $1P_2$ и $2P_2$ и компенсатор включается на измерение. После измерения в измерительном делителе устанавливается код $m(t)$, представляющий напряжение $U_{\phi 1}(t)$, как часть напряжения $U_{\phi 2}(t)$, т. е.

$$m(t) = \frac{U_{\phi 1}(t)}{U_{\phi 2}(t)} = m_0 + \frac{m_0 A}{\omega \tau (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})} [\cos(\omega t + \varphi_0 \psi) - \cos(\varphi_0 - \psi) e^{-\frac{t}{\tau}}]. \quad (5)$$

В этом выражении m_0 представляет собой код постоянной составляющей U_0 измеряемого сигнала U_c , а второй член — погрешность определения U_0 . Эту погрешность по аналогии с предыдущим примером можно выразить в виде

$$\delta_{\max} = \frac{m(t)_{\max} - m_0}{m_0} 100\% = \frac{100 A}{\omega \tau} \frac{1 + e^{-\frac{t}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{t}{\tau}}} \%. \quad (6)$$

Отсюда следует, что для уменьшения $\delta_{\max}$ необходимо увеличивать τ (уменьшать $\frac{t}{\tau}$). Это приводит к уменьшению выходного напряжения на фильтре, что в условиях низкого уровня напряжения тензодатчиков (десятки милливольт) может ухудшить инструментальную точность измерения. Если из соображения сохранения условий измерений сигнала низкого уровня допустить уменьшение выходного напряжения на фильтре до

$$U_{\phi 1}(t) = (0,5 + 0,7) U_0, \quad (7)$$

то отсюда можно определить максимальную величину постоянной времени фильтра для каждого фиксированного значения времени t .

$$\tau_{\max} = (0,8 \div 1,4) t. \quad (8)$$

Результаты вычислений $\delta_{\max}$ по формулам (3, 4, 6, 8) для случая $A = 0,1$ $\omega = 31,4$ (5 гц) сведены в таблицу.

t , сек	Простой однозвенный RC-фильтр		Компенсатор с однозвенным RC-фильтром	
	τ_{opt} , сек	$\delta_{\max \text{ opt}}$, %	$\tau_{\max}$, сек	$\delta_{\max}$, %
0,5	0,1	3,85	0,4 $\div$ 0,7	1,42 $\div$ 1,38
1	0,175	2,16	0,8 $\div$ 1,4	0,71 $\div$ 0,68
1,5	0,245	1,52	1,2 $\div$ 2,1	0,5 $\div$ 0,45
2	0,315	1,18	1,6 $\div$ 2,8	0,35 $\div$ 0,34

Расчеты показывают, что рассмотренный способ обеспечивает существенное уменьшение погрешности определения постоянной величины в условиях действия помех. Дальнейшее уменьшение погрешности возможно при использовании в автокомпенсаторе более сложных фильтров.

Новый способ взвешивания по сравнению с известным способом интегрирования сигналов в течение фиксированного времени имеет меньшую методическую погрешность. Кроме того, при построении весоизмерительных устройств по новому способу борьбы с влиянием динамических помех на точность взвешивания сигнал тензодатчиков фильтруется в течение всей его деятельности, а не в течение фиксированного времени, что дает возможность уменьшать методическую погрешность путем увеличения продолжительности измеряемого сигнала (за счет некоторого снижения скорости движения вагона).

Основными преимуществами нового способа фильтрации полезного сигнала от динамических помех являются:

малая величина методической погрешности;

возможность применения для измерения простых относительно медленнотекущих релейных автокомпенсаторов, так как соотношение (5) справедливо для любого $t > 0$;

простота технических средств, применяемых для реализации данного способа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспресс-информация, серия КИТ, 1959, вып. 17.
2. Н. П. Похило. Способ взвешивания движущихся грузов, авт. свид. № 158430 с приоритетом от 19/IX 1962 г.
3. Н. П. Похило, В. В. Скалевой. Способ повышения точности тензометрического взвешивания движущихся железнодорожных вагонов. Заявка в Комитет по делам изобретений и открытий № 829525/26—10 от 6/IV 1963 г.
4. Г. И. Атабеков. Теория линейных электрических цепей, «Советское радио», 1960.