

Д. А. Гринюк, ст. преподаватель; И. О. Оробей, доцент; И. Г. Сухорукова, ассистент

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАСХОДОМЕРА

The article is devoted to problems of search and analysis of time-domain parameter of algorithms of measurement electromagnetic flowmeter. The optimum value allow to increase signal-to-noise merit in a measuring scheme flowmeter. The recommendations are resulted at the choice of technical parameters of the electrical circuits.

Электромагнитные расходомеры занимают значительную долю среди приборов, предназначенных для измерения расхода жидкостей. Часто электромагнитное измерение расхода является наиболее оптимальным решением. Например, при построении прибора измерения электрокинетического потенциала (ЭКП) использование электромагнитного расходомера обеспечило организацию алгоритма получения основного параметра [1–2], но погрешность измерения ЭКП во многом определяется точностью детектирования объемного расхода при электроосмосе. Малые объемные расходы жидкости в преобразователе ЭКП увеличивают требования к точности измерения расходомера.

Разработанную принципиальную схему электромагнитного расходомера можно разделить на несколько функциональных частей. Алгоритм формирования измерительного сигнала осуществляется с помощью DA1, DD2, DD3, DA4 (рис. 2). Эти элементы задают частоту и формируют сигнал специальной формы (рис. 1), который через преобразователь напряжение – ток обеспечивает трапецидальную форму тока через катушку (рис. 1, I), создающую магнитное поле в измерительном канале.

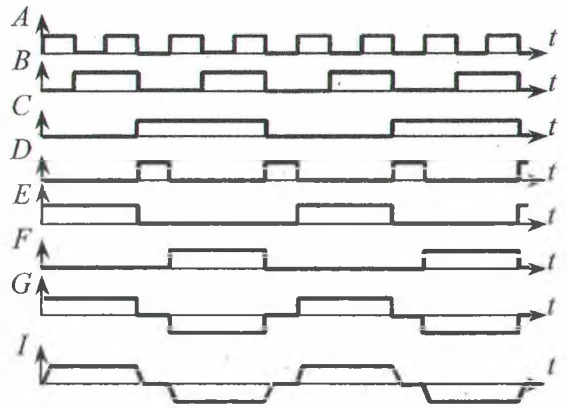


Рис. 1. Временные диаграммы

Использование сложного закона изменения тока через катушку вызвано необходимостью нивелирования погрешностей, обусловленных паразитной трансформаторной ЭДС. Трапецидальная форма тока (рис. 3) является компромиссным решением получения измерительного сигнала электромагнитного расходомера. Дальнейшее увеличение точности и повышение отношения сигнал/шум (SNR) в измерительном тракте достигается за счет уменьшения мощности трансформаторной ЭДС при оптимизации временных зависимостей закона изменения тока в катушке.

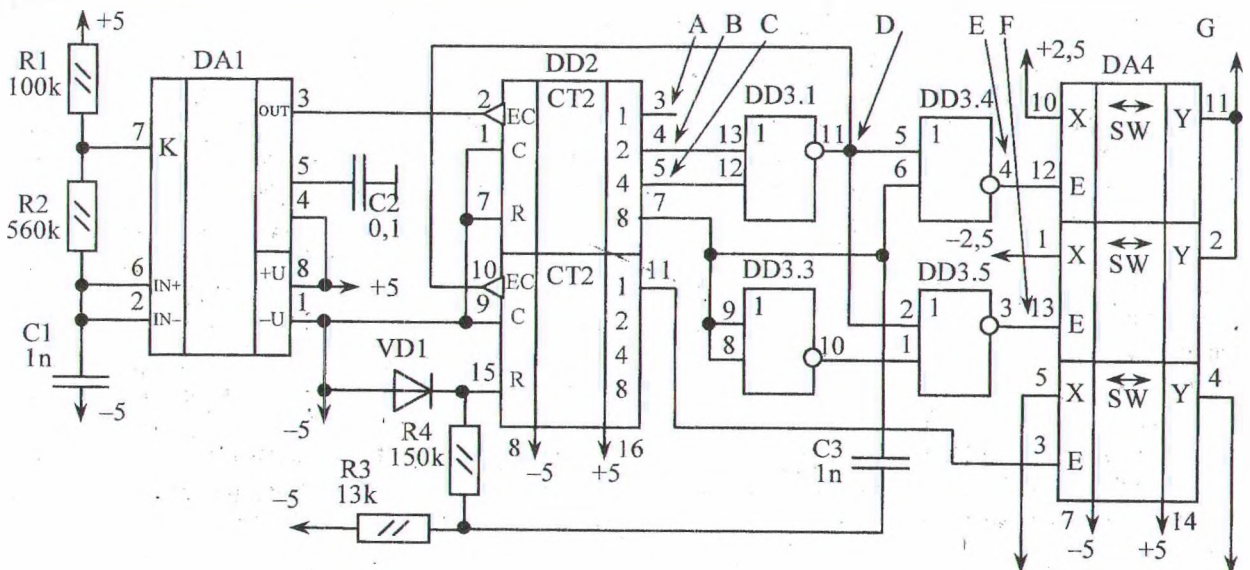


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема

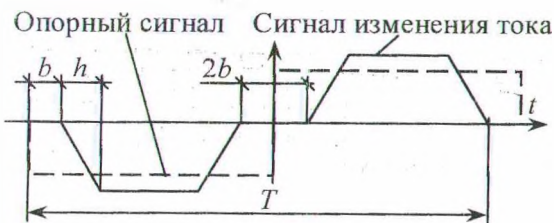


Рис. 3. Трапециидальный сигнал

SNR оптимизировали вариацией b и h при различных видах трансформаторной ЭДС. С достаточной точностью можно допустить, что трансформаторная ЭДС описывается как реакция звена реального дифференцирования, имеющего передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{K_f p}{T_f p + 1} \quad (1)$$

Форма, амплитуда и длительность трансформаторной помехи в основном зависят от h , K_f и T_f . Если параметр h можно варьировать, то K_f и T_f зависят от характеристик первичного преобразователя, состояния электродов и параметров измеряемой среды (рис. 4). В работе произведена оценка влияния T_f на отношение сигнал/шум, что позволяет наилучшим образом выбирать частоту и другие параметры измерительной схемы.

Анализ характеристик проводился с использованием гармонического анализа. Для сигнала изменения тока (рис. 3) разложение в ряд Фурье дает следующий результат:

$$f_s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{8}{h\omega^2 k^2} \sin\left(\omega k \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\omega k \left(\frac{\pi-h}{2} - b\right)\right) \times \sin\left(\omega k \frac{h}{2}\right) \sin(\omega k t).$$

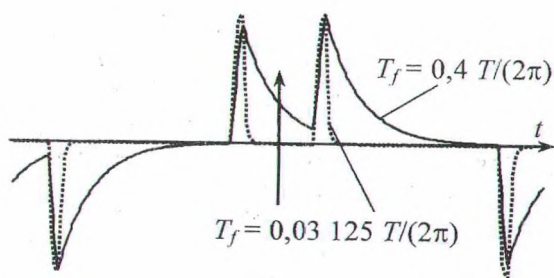


Рис. 4. Формы трансформаторной ЭДС

С учетом (1) временная зависимость сигнала трансформаторной ЭДС будет иметь вид

$$f_N(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{8}{h\omega^2 k^2} \sin\left(\omega k \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\omega k \left(\frac{\pi-h}{2} - b\right)\right) \times \sin\left(\omega k \frac{h}{2}\right) \sin\left(\omega k t + \arctg \frac{1}{T_f \omega k}\right) \frac{\omega k K_f}{\sqrt{1 + (T_f \omega k)^2}}.$$

Опорный сигнал описывается выражением

$$f_R(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{\pi \omega k} \left(\sin\left(\omega k \frac{\pi}{2}\right) \right)^2 \sin(\omega k t).$$

В измерительной схеме с помощью опорного сигнала происходит выделение полезной составляющей. Мощность сигнала на выходе схемы синхронного детектирования [3] соответствует интегрированию квадрата среднего значения временной функции за ее период с умножением на -1 при отрицательном опорном сигнале (для идеального фильтра низких частот на выходе синхронного детектора). Исходя из теоремы Парсеваля

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega$$

мощность сигнала можно определить как сумму квадратов амплитуд нулевых гармоник после перемножения $f_R(t)$ на $f_S(t)$ или $f_M(t)$.

При увеличении параметра паузы b мощность сигнала и помехи уменьшаются по различным зависимостям, что обуславливает наличие максимума в отношении мощности полезного сигнала P_S к мощности помехи P_N . Анализ зависимостей (рис. 5–10) показывает, что на положение максимума существенно влияет значение скорости нарастания тока и T_f . Увеличение h способствует увеличению отношения сигнал/шум, однако существуют физические ограничения на повышение h , обусловленные особенностями процесса измерения в электромагнитных расходомерах и электродными процессами. Оптимальное (максимальное) значение характеристик $SNR(b)$ подвержено влиянию как T_f , так и h . При $T_f > 0,125T/(2\pi)$ на положение максимума практически перестает влиять h , что определяет критерий выбора максимальной рабочей частоты измерительного преобразователя. Градиент приращения величины максимума позволяет рекомендовать усложнение схемы только при реализации соотношения $h > T/25$.

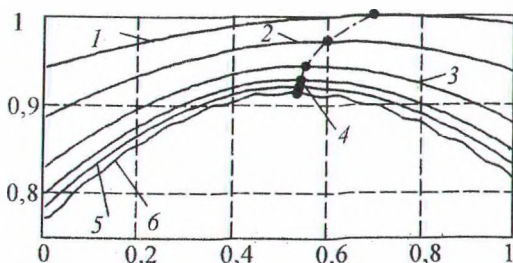


Рис. 5. Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных b/b_{max} при $T_f = 0,625T/(2\pi)$. 1 – $h = T/8$; 2 – $h = T/12,5$; 3 – $h = T/25$; 4 – $h = T/50$; 5 – $h = T/100$; 6 – $h = T/1000000$

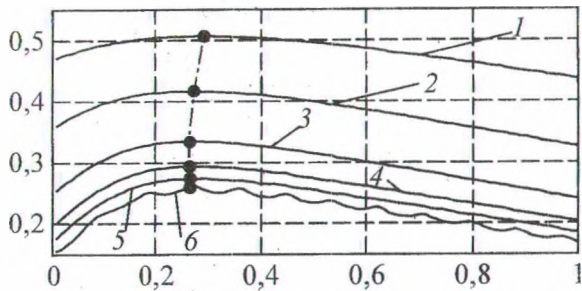


Рис. 6. Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных b/b_{\max} при $T_f = 0,125T/(2\pi)$. 1 - $h = T/8$; 2 - $h = T/12,5$; 3 - $h = T/25$; 4 - $h = T/50$; 5 - $h = T/100$; 6 - $h = T/10\ 000\ 000$

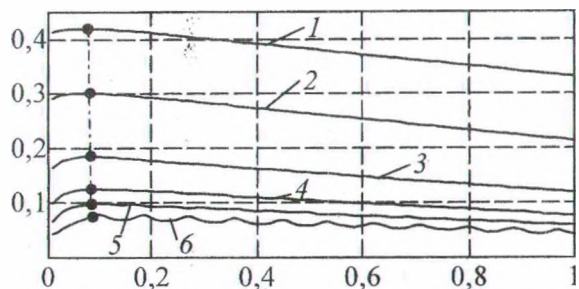


Рис. 7. Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных b/b_{\max} при $T_f = 0,03\ 125T/(2\pi)$: 1 - $h = T/8$; 2 - $h = T/12,5$; 3 - $h = T/25$; 4 - $h = T/50$; 5 - $h = T/100$; 6 - $h = T/10\ 000\ 000$

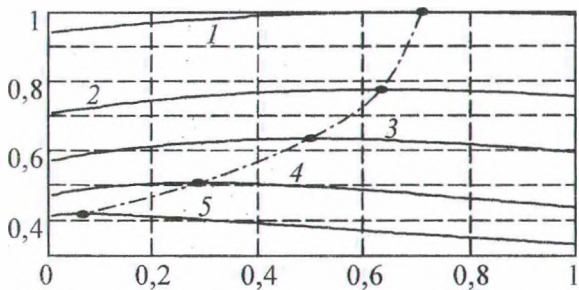


Рис. 8. Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных b/b_{\max} при $h = T/8$: 1 - $T_f = 0,625T/(2\pi)$; 2 - $T_f = 0,4T/(2\pi)$; 3 - $T_f = 0,25T/(2\pi)$; 4 - $T_f = 0,125T/(2\pi)$; 5 - $T_f = 0,03\ 125T/(2\pi)$

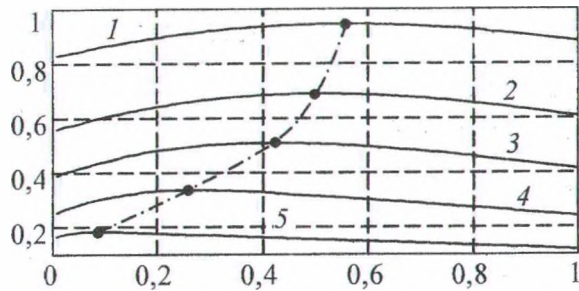


Рис. 9. Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных b/b_{\max} при $h = T/25$: 1 - $T_f = 0,625T/(2\pi)$; 2 - $T_f = 0,4T/(2\pi)$; 3 - $T_f = 0,25T/(2\pi)$; 4 - $T_f = 0,125T/(2\pi)$; 5 - $T_f = 0,03\ 125T/(2\pi)$

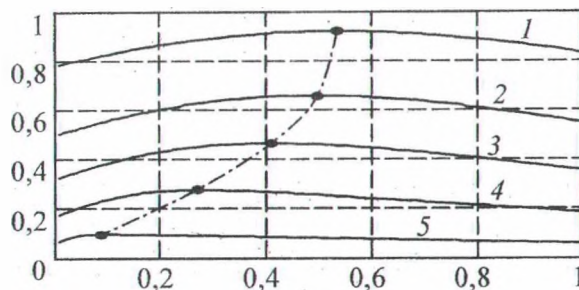


Рис. 10. Нормализованная зависимость отношения сигнал/шум для различных b/b_{\max} при $h = T/100$. 1 - $T_f = 0,625T/(2\pi)$; 2 - $T_f = 0,4T/(2\pi)$; 3 - $T_f = 0,25T/(2\pi)$; 4 - $T_f = 0,125T/(2\pi)$; 5 - $T_f = 0,03\ 125T/(2\pi)$

Литература

1. Оробей И. О., Гринюк Д. А., Жарский С. Е., Кузьмицкий И. Ф. Измеритель электрокинетического потенциала // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 3. – С. 1–4.
2. Оробей И. О., Гринюк Д. А., Жарский С. Е., Кузьмицкий И. Ф. Электромагнитный измеритель микрорасходов // Датчики и системы. – 2005. – № 3. – С. 46–49.
3. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. – М.: Мир, 1983. – 312 с.