

быстродействующие ключи. Если ключи не удовлетворяют требованиям точности вследствие ограниченного быстродействия, то необходимо снизить ω_0 , то есть увеличивать L и C . В реализованном преобразователе при использовании катушки индуктивности с параметрами $L = 0,1 \text{ Гн}$, $C = 50 \text{ пф}$, $Z = 10 \text{ ом}$ и ключевых элементов на МОП-транзисторах типа ИКТ902 с временем переключения $T \approx 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$ погрешность от влияния конечного времени коммутации составляла менее 0,1%.

Авторы выражают благодарность профессору Г.Г.Меньшикову за ценные советы при написании данной работы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Болтянский А.А., Васин Н.Н., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Коммутационное преобразование напряжения низкого уровня. "Измерительная техника", 1974, № 4.
2. Меньшиков Г.Г. Линеинные элементы импульсных устройств. Изд.ЛЭИС, Л., 1972.
3. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. Гос.изд. физ-матем. лит., М., 1958.

УДК 621.317

Л.Э.Вилоп

АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ С ДВУХТАКТНЫМ ИНТЕГРИРОВАНИЕМ ДЛЯ ИНДУКТИВНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Интегрирующие измерительные преобразователи (ИП), среди которых наибольшее распространение получили преобразователи с двухтактным интегрированием, как правило, используются с генераторными и резисторными первичными преобразователями (ПП) [1]. Возможность получения высокой чувствительности без ухудшения помехоустойчивости, а также простота структуры и инвариантность к нестабильности ряда элементов измерительной схемы обуславливают интерес к применению подобных ИП для индуктивных ПП с малой девиацией выходного параметра. Структура ИП при этом существенно упрощается, если для получения информации о величине инерционного параметра используется пе-

реходный процесс, возбуждаемый в измерительной цепи, содержащей И и Ш. Таким образом, в одном устройстве возможно совмещение достоинств интегрирующих И с достоинствами методов измерения, основанных на тестовых переходных режимах [2] .

В статье приводится анализ уравнения преобразования И с двухтактным интегрированием для дифференциального индуктивного Ш, дается оценка нелинейности статической характеристики и времени преобразования в функции отношения длительности тестового импульса к постоянной времени Ш.

На рис.1 представлена структурная схема ИШ, содержащая источники питания, ключи, разрядный резистор, блок управления, нуль-орган, триггер и интегратор тока, на вход которого включены катушки дифференциального индуктивного Ш.

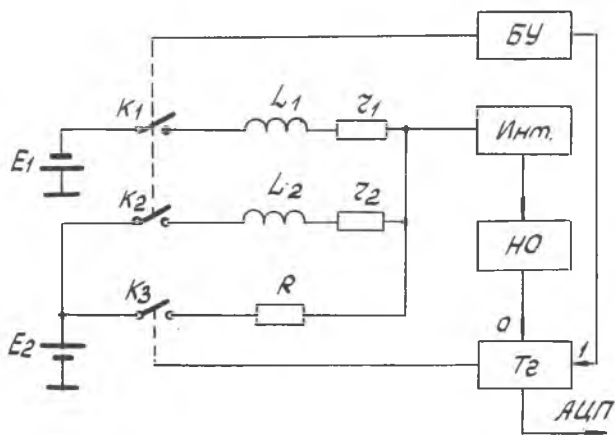


Рис. 1.

При условии идеальности ключей и интегратора тока для сим-

метричного разбаланса индуктивностей ($L_1 = L_0 - \Delta L$, $L_2 = L_0 + \Delta L$, $L_0 = \frac{L_1 + L_2}{2}$; $\Delta L = \frac{L_2 - L_1}{2}$), одинаковых активных сопротивлений катушек ($r_1 = r_2 = r_0$) и равных э.д.с. источников питания ($E_1 = E_2 = E$) переходные процессы в измерительных цепях описываются дифференциальными уравнениями

$$(L_0 - \Delta L) \frac{di_1}{dt} + r_0 i_1 = E, \quad (L_0 + \Delta L) \frac{di_2}{dt} + r_0 i_2 = E$$

решения которых при нулевых начальных условиях имеют вид

$$i_1 = \frac{E}{r_0} [1 - e^{-\frac{t}{\tau_0(1-m)}}], \quad i_2 = \frac{E}{r_0} [1 - e^{-\frac{t}{\tau_0(1+m)}}],$$

где $\tau_0 = \frac{L_0}{r_0}$; $m = \frac{\Delta L}{L_0}$

В первом такте синхронно на время τ_u , определяемое хронометрирующим устройством блока управления замыкаются ключи K_1 и K_2 . Разностный ток катушек подаётся на вход интегратора, заряд которого по окончании импульса равен $\int_0^{\tau_u} (i_1 - i_2) dt$

Для повышения чувствительности в первом такте можно производить многократное возбуждение переходного процесса. При этом на ПИ подаётся серия импульсов напряжения со скважностью необходимой для полного рассеяния энергии, накопленной в индуктивности за время τ_u . Тогда по окончании первого такта заряд ёмкости интегратора равен

$$q_u = N \int_0^{\tau_u} (i_1 - i_2) dt, \tag{1}$$

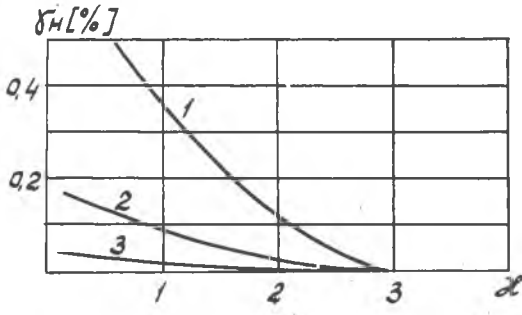
где N - количество импульсов в серии

Во втором такте импульсом блока управления триггер переводится в состояние "1", замыкая при этом ключ K_3 . На вход интегратора подаётся ток разряда

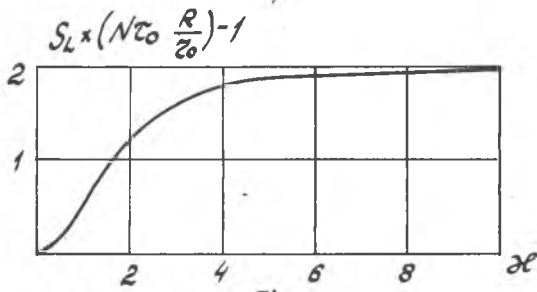
$$I = \frac{E}{R} \tag{2}$$

Продолжительность, фиксируемого нуль-органом полного разряда, соответствующая длительности импульса на выходе триггера

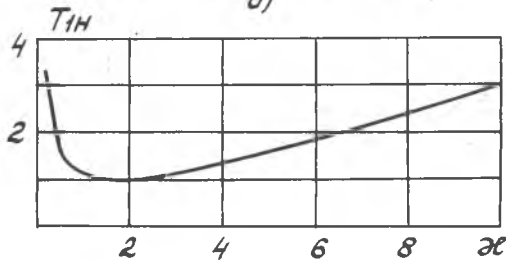
$$T = \frac{q_u}{I} \tag{3}$$



a)



b)



c)

Рис. 2.

Выражение (3) представляет уравнение преобразования ИИ с двухтактным интегрированием. Подставляя в (3) (1) и (2), получим уравнение преобразования интегрирующего ИИ с дифференциальным индуктивным ШИ.

$$T = N C_0 \frac{R}{\tau_0} \left[2m + (1-m)e^{-\frac{\mathcal{H}}{1-m}} - (1+m)e^{-\frac{\mathcal{H}}{1+m}} \right] \quad (4)$$

где $\mathcal{H} = \frac{\tau_{\text{ш}}}{\tau_0}$

Из (4) следует, что измерительная схема инвариантна к величине э.д.с. источников E_1 и E_2 (при условии их равенства), дрейфу нуля-органа и нестабильности ёмкости интегратора.

При $\mathcal{H} < 0,1$ формулу (4) с точностью до третьего члена разложения экспонент можно записать в виде

$$T = N C_0 \frac{R}{\tau_0} \mathcal{H}^2 \frac{m}{1-m^2} \quad (5)$$

В соответствии с (5) статическая характеристика интегрирующего ИИ с индуктивным ШИ обладает нелинейностью, которая, как следует из приведённых на рис. 2а графиков зависимостей $f_H = f_H(\mathcal{H})$ (для кривой 1 $m = 0,2$; 2 $m = 0,1$; 3 $m = 0,05$), рассчитанных для формулы (4) методом равномерных приближений, с увеличением \mathcal{H} уменьшается и при $\mathcal{H} = 2,93$ становится равной нулю.

При $\mathcal{H} \ll 1$ в формуле (4) можно пренебречь экспоненциальными членами. Тогда $T = 2 N C_0 \frac{R}{\tau_0} m$, то есть статическая характеристика линейна и не зависит от $\tau_{\text{ш}}$.

Дифференцируя (4) по m получим выражение для определения чувствительности преобразователя

$$S_{\tau_{\text{ш}}} = N C_0 \frac{R}{\tau_0} \left[2 - \left(1 + \frac{\mathcal{H}}{1-m}\right) e^{-\frac{\mathcal{H}}{1-m}} - \left(1 + \frac{\mathcal{H}}{1+m}\right) e^{-\frac{\mathcal{H}}{1+m}} \right]$$

зависимость которой от \mathcal{H} для $m = 0$, приведена на рис. 2б.

Максимальное значение T , соответствующее m_{max} и обеспечивающее необходимую разрешающую способность аналого-цифрового преобразования, в каждом конкретном случае является величиной заданной и определяется частотой заполнения временного интервала в

АЦШ. При этом представляет интерес зависимость длительность первого такта интегрирования ($T_i = \sqrt{L_0 C_0}$), необходимой для получения требуемой чувствительности преобразователя, (без учета времени рассеяния энергии, накопленной в катушках Ш, после каждого импульса), от параметра \mathcal{K} . Используя формулу (4), нетрудно получить

$$T_i = \frac{\mathcal{K} T}{\frac{R}{Z_0} [2m + (1-m)e^{-\frac{\mathcal{K}}{Tm}} - (1+m)e^{-\frac{\mathcal{K}}{Tm}}]} = T_i(\mathcal{K})$$

Из графика нормированной зависимости $T_{iH} = T_i(\mathcal{K})/T_i(\mathcal{K}_{opt})$

приведённого на рис. 2в, следует, что функция $T_{iH} = T_{iH}(\mathcal{K})$ имеет минимум при $\mathcal{K} \approx 1,75$. При $\mathcal{K} < \mathcal{K}_{opt}$, T_i , необходимое для получения заданного T с уменьшением \mathcal{K} увеличивается, так как при малых значениях \mathcal{K} в соответствии с (5) чувствительность пропорциональна \mathcal{K}^2 (см. рис. 2б). При $\mathcal{K} > \mathcal{K}_{opt}$ чувствительность S_L увеличивается незначительно и за счёт увеличения C_0 происходит рост T_i .

Экспериментальная проверка лабораторного макета с серийным индуктивным Ш давления ($L_0 = 0,8$ мГн, $Z_0 = 12$ Ом) показала, что для $T_0 = 128$ мксек, $N = 4$, $E = 3$ в, при диапазоне изменения выходного параметра Ш $m = 0 + 0,05$ интегрирующий ИП имеет разрешающую способность $1/2000$ при нелинейности сквозной статической характеристики $0,1\%$.

Результаты анализа могут быть использованы при разработке интегрирующих ИП для индуктивных Ш, а также для определения характеристик интегрирующих ИП с существующими Ш.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мартяшин А.И. и др. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. М., "Энергия", 1976.

2. Болтянский А.А., Райков Б.К., Скобелев О.П., Старобинский Н.М. Построение преобразователей при использовании свойств переходных процессов. Измерительная техника, 1969, № 4, с 38-40.