

А. А. БОЛТЯНСКИЙ, Б. К. РАЙКОВ,
О. П. СКОБЕЛЕВ, Н. М. СТАРОБИНСКИЙ

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ИНДУКТИВНЫМИ ДАТЧИКАМИ

В существующих экспоненциальных преобразователях (ЭП) параметры контуров LR , CR преобразуются в интервалы времени с момента подачи импульса опроса до сравнения напряжения на одном из элементов контура с заданным опорным уровнем [1].

В контуре CR сравнивается напряжение на емкости, в контуре LR — напряжение на внешнем сопротивлении R . Выражения для временных интервалов в обоих случаях аналогичны, если не учитываются проводимость утечки в конденсаторе и активное сопротивление катушки индуктивности:

$$t_{cp} = \tau \ln \frac{1}{1 - n_e}, \quad (1)$$

где для контура CR $\tau = RC$, для RL $\tau = \frac{L}{R}$; $n_e = \frac{U_{on}}{E}$, E — напряжение питания.

$$\Delta T_L = t_{cp1} - t_{cp2} = \frac{2 \Delta L}{R + r_L} \ln \frac{1}{1 - n_e \left(\frac{r_L}{R} + 1 \right)}; \quad (2)$$

где r_L — сопротивление датчика,
 R — добавочное сопротивление.

Разумеется, в реальных условиях t_{cp} зависит от проводимости утечки и активного сопротивления r_L . Особенно значительное влияние оказывает параметр r_L . Это существенно затрудняет построение универсальных преобразователей C , L , R во временной интервал и цифровой эквивалент. Поэтому ЭП с индуктивным контуром, как правило, применяются в том случае, когда преобразуются относительные изменения параметра L при постоянстве r_L . В подобных условиях работает обычный индуктивный датчик перемещений.

Для ЭП с дифференциальным индуктивным датчиком выходной

временной интервал [2, 3] пропорционален разности индуктивностей обоих плеч датчика (рис. 1а).

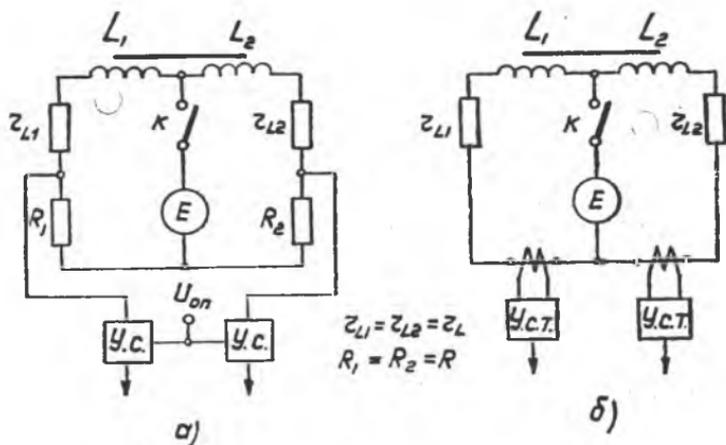


Рис. 1

Чувствительность к первичному параметру — перемещению Δx — имеет вид:

$$S_e = \frac{\Delta T_L}{\Delta x} = 2S_d \frac{q}{q+1} \cdot \frac{1}{r_L} \ln \frac{1}{1 - n_e(q+1)}, \quad (3)$$

где $S_d = \frac{\Delta L}{\Delta x}$ — чувствительность датчика,

$$q = \frac{r_L}{R}.$$

Очевидно, и это подтверждает анализ (3), что r_L уменьшает чувствительность по сравнению с идеальным контуром. В то же время уменьшение добавочного сопротивления R приводит к увеличению чувствительности ЭП. В предельном случае при $R \rightarrow 0$ устройство сравнения напряжений можно рассматривать как устройство сравнения токов с входным сопротивлением $R_{вх} = R = 0$ (рис. 1б). Тогда

$$S_i = 2S_d \frac{1}{r_L} \ln \frac{1}{1 - n_i}, \quad (4)$$

где $n_i = \frac{i_{оп}}{i_{уст}} = \frac{i_{оп} r_L}{E}$; $i_{оп}$, $i_{уст}$ — опорное и установившееся значение тока.

При $n_i \approx 0,63$ $\ln \frac{1}{1 - n_i} = 1$

$$S_i = 2S_d \frac{1}{r_L}. \quad (5)$$

Это соотношение является оптимальным, если порог чувствительности устройства сравнения не меняется с изменением n_i [3].

Если $\ln \frac{1}{1-n_i} = \ln \frac{1}{1-n_e(q+1)}$, то для одного и того же датчика справедливо соотношение

$$\frac{S_i}{S_e} = \frac{q+1}{q}.$$

Отсюда следует, что реализация ЭП с индуктивным датчиком сравнением токов (ЭПТ) всегда предпочтительнее, чем сравнением напряжений (ЭПН).

В существующих устройствах со сравнением по напряжению $q \approx 0,3-0,5$ [3]. Выигрыш в чувствительности ЭПТ составит $\frac{q+1}{q} \approx 4,3-3,0$ раза. Сохранение чувствительности неизменной при переходе на ЭПТ позволяет уменьшить габариты датчика.

Анализ выражения (5) вскрывает дополнительные особенности ЭП с индуктивными датчиками. В частности, они связаны с вариациями некоторых конструктивных элементов датчика. Поскольку чувствительность ЭПТ зависит от двух параметров — ΔL (в числителе) и r_L (в знаменателе), то изменение диаметра провода при сохранении геометрии катушки и коэффициента заполнения не вызывает изменений чувствительности. При изменении объема обмотки датчика в несколько раз (катушки и сердечники датчика идеализированы) чувствительность ЭПТ изменяется во столько же раз. В то же время чувствительность других преобразователей, реагирующих на изменение индуктивности, зависит от объема квадратично. Это обстоятельство становится особенно существенным в свете современных требований миниатюризации существующих датчиков.

Помимо обычных индуктивных датчиков перемещений, представляет интерес работа ЭП с вихретоковыми преобразователями (ВТП). Известно, что изменению индуктивности ВТП в одном направлении соответствует изменение активного сопротивления в другом. Очевидно, что применение ЭПТ в этом случае позволяет реализовать максимальную чувствительность

$$S_i = 2 \frac{\pm \Delta L}{r_L \mp \Delta r_L} \cdot \frac{1}{\Delta x}.$$

По существу выходным параметром здесь следует считать не индуктивность, а постоянную времени.

Таким образом, создание ЭП с токовым сравнением дает преобразователям новые положительные качества. Однако построение ЭПТ в настоящее время связано с известными техническими трудностями в области бесконтактных сильноточных измерительных ключей и быстродействующих прецизионных компараторов тока. Естественно, что токовый компаратор с идеальными свойствами ($R_{вх} \rightarrow 0$), а также идеальный ключ практически невозможны. Поэтому определение «ЭПТ» распространяется на преобра-

зователи с большими $q = \frac{r_L}{R}$, определение «ЭПН» — соответственно на преобразователи с малыми q . Условной границей ЭПТ и ЭПН будем считать $q=1$ (рис. 2).

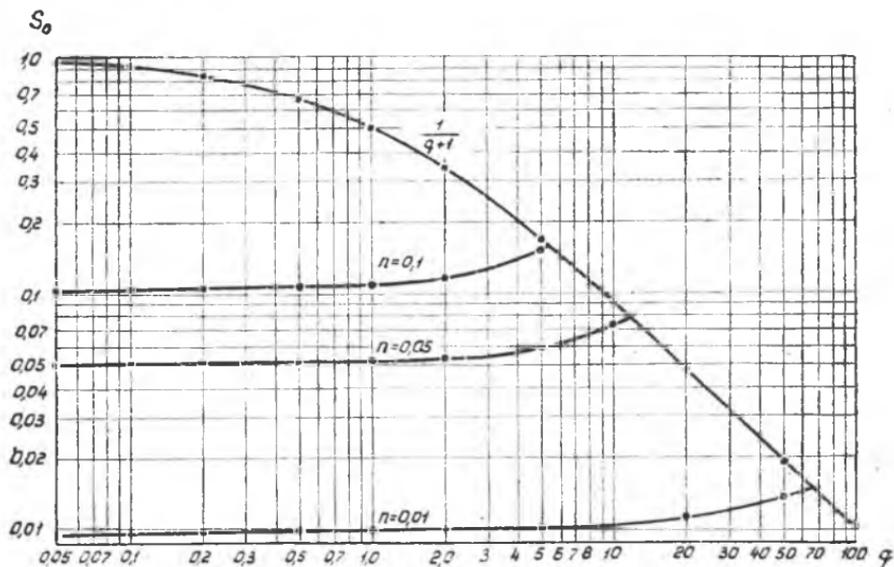


Рис. 2

Ниже рассматривается влияние на чувствительность ЭП величины q и опорного уровня n . Исследование ведется в отношении к некоторой безразмерной чувствительности.

$$S_0 = \frac{S_e}{S_n/R} = \frac{1}{1+q} \ln \frac{1}{1-n_e(1+q)}$$

На рис. 2 представлены результаты расчета $S_0(q)$ при $n_e=0,01 \div 0,1$. Анализ зависимостей $S_0(q)$ показывает, что чувствительность снижается при уменьшении опорного уровня n_e . Кроме того, при малых опорных уровнях наблюдается относительное постоянство S_0 в широком диапазоне изменений q . Естественно, что при небольших q (ЭПН, $q < 1$) влияние r_L существенно меньше, чем при $q > 1$ (ЭПТ). Например, изменение S_0 при $n_e=0,05$ в диапазоне $q=1,0 \div 10,0$ составляет $\approx 40,0\%$, а диапазону $q=0,1 \div 1,0$ соответствует отклонение S_0 всего на $2,0\%$. Столь заметное подавление влияния r_L объясняется свойствами аperiodического переходного процесса, в котором ток в начальные моменты времени определяется в основном возмущающей функцией и инерционными свойствами системы. Возможность подавления может иметь практическое значение при построении универсаль-

ных ЭП. Компенсировать уменьшение выходного сигнала при этом удастся увеличением числа более коротких импульсов опроса и накоплением результатов измерений в цифровом виде в счетном устройстве.

В реальных катушках индуктивности паразитные емкости препятствуют использованию малых опорных уровней. Они вносят колебательность в апериодический переходный процесс. Наибольшую неприятность представляет первый колебательный всплеск, амплитуда которого по экспериментальным данным достигает 0,1Е. Для работы ЭП в таком режиме должны быть разработаны специальные меры по уменьшению влияния паразитных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Новиков. Экспоненциальные время-импульсные преобразователи. Автоматика и телемеханика, т. XVIII, № 8, 1957.
 2. О. П. Скобелев. Время-импульсное устройство преобразования аналоговой информации в цифровую форму. Авторское свидетельство № 177167, Бюллетень изобретений № 24, 1965.
 3. Б. К. Райков, О. П. Скобелев. Цифровой время-импульсный преобразователь информации дифференциальных датчиков. Сб. статей «Автоматические измерительные и регулирующие устройства» вып. 3, Куйбышев, 1967.
-