

В. Г. НИКИТИН

## К СИНТЕЗУ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ НУЛЬ-ОРГАНОВ

В последнее время в авиационной технике все большее распространение получают нуль-балансные следящие системы, т. е. системы, где отсутствует элемент обратной связи, а воздействие осуществляется непосредственно по входному параметру. В качестве первичных преобразователей таких систем используются трансформаторные преобразователи перемещения. Отказ от классических схем следящих систем продиктован желанием избавиться от различного рода нелинейностей в датчиках и элементах обратной связи. Однако, с другой стороны, нуль-балансным следящим системам присущи все недостатки, свойственные разомкнутым системам: сильная зависимость от изменения внешних условий и напряжения питания. В связи с этим, особенно жесткие требования предъявляются к датчику, поскольку его характеристики определяют характеристики всей системы в целом. Датчик должен иметь:

- 1) малую величину остаточного сигнала или «чистый нуль»;
- 2) стабильность «нулевой точки», т. е. отсутствие дрейфа нуля во времени;
- 3) высокую чувствительность при минимальных габаритах.

Требования линейности статической характеристики и отсутствия фазовых изменений выходного напряжения, столь существенные для обычных датчиков, в данном случае являются необязательными.

Погрешность нуля  $\Delta_0$  возникает из-за геометрической, магнитной и электрической несимметрии датчика. При этом, в измерительной обмотке существует остаточный сигнал  $U_{ост}$ , содержащий в общем случае квадратурную составляющую и высшие гармоники:

$$U_{ост} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin \omega t. \quad (1)$$

Величина  $U_{ост}$  создает неопределенность в отсчете координаты перемещения  $x$ . Эта неопределенность в единицах перемещения определяется:

$$\Delta_0 = \frac{U_{\text{ост}}}{S} = \frac{U_{\text{ост}} \cdot x_{\text{max}}}{U_{\text{max}}}, \quad (2)$$

где  $S$  — чувствительность датчика;

$x_{\text{max}}$  — максимальная координата перемещения;

$U_{\text{max}}$  — максимальное значение выходного сигнала при координате  $x_{\text{max}}$ .

Таким образом, нижний диапазон перемещения ограничен величиной  $\Delta_0$ , являющейся основным критерием датчиков нуль-балансных следящих систем.

На рис. 1 приведена конструкция пневмо-трансформаторного датчика разности давлений с регулируемой магнитной цепью [1], позволяющего полностью избавиться от наличия квадратурной составляющей за счет изменения комплексного магнитного сопротивления магнитопровода. Цилиндрический корпус 1 датчика

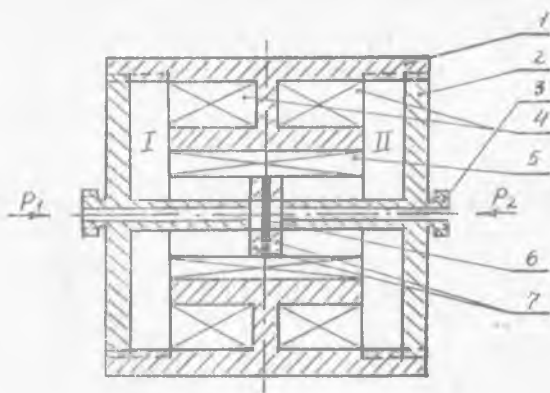


Рис. 1.

является хорошим экраном от воздействия внешних магнитных полей. Подвижные крышки 2 имеют выступы 3 для крепления шлангов, по которым в герметичные полости I и II датчика поступают соответственно давления  $P_1$  и  $P_2$ . Обмотка возбуждения 4 состоит из двух секций, включенных последовательно и встречно. Выходной сигнал снимается с измерительной обмотки 5. Катушка измерительной обмотки состоит из двух половин, между которыми расположена гибкая мембрана 6. Короткозамкнутые витки 7 крепятся на гибкой мембране и смещаются от положения нейтралы в ту или иную сторону, в зависимости от того, какое из давлений  $P_1$  или  $P_2$  больше. Перемещение мембраны преобразуется в электрический сигнал, воздействующий на исполнительный механизм.

Материал магнитопровода — сталь АРМКО, короткозамкнутые витки изготовлены из алюминия.

При питании обмотки возбуждения датчика напряжением  $U=36$  в, частотой  $f=400$  гц остаточный сигнал равен  $U_{ост} = 2$  мв и определяется в основном третьей гармоникой, что при чувствительности  $S=1$  мв/мкм соответствует аддитивной погрешности  $\Delta_0=2$  мкм.

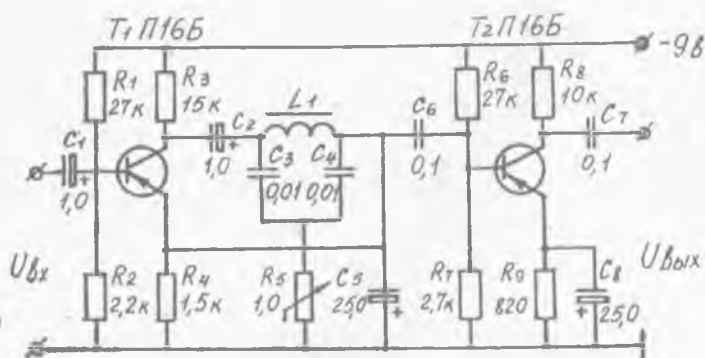


Рис. 2.

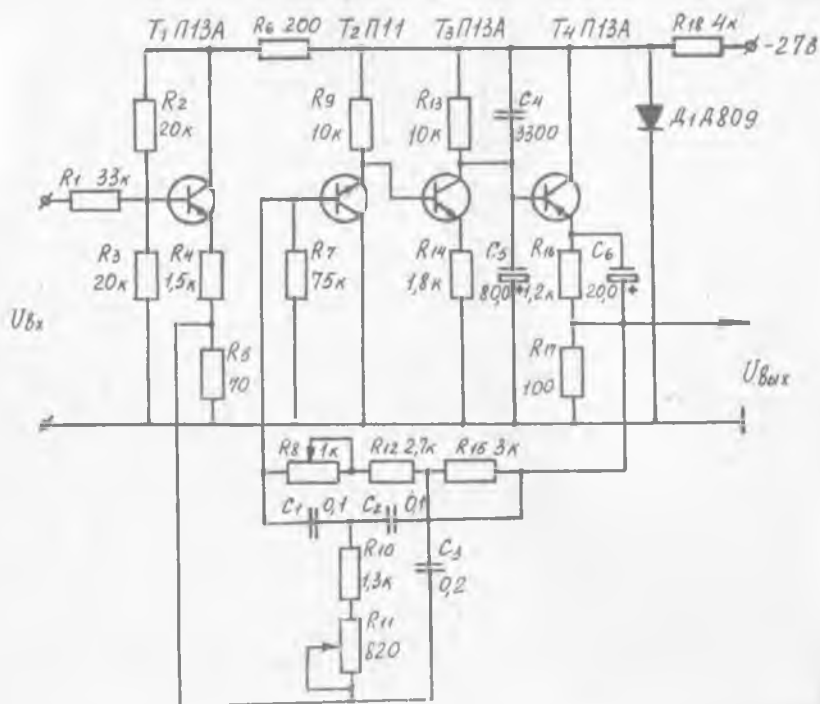


Рис. 3.

Применение пассивных  $LC$ - и  $RC$ -фильтров [2] с целью уменьшения остаточного сигнала приводит к значительному снижению крутизны характеристики преобразователя, наиболее эффективным явилось использование активных фильтров.

На рис. 2 приведена схема активного  $LC$ -фильтра. Схема собрана на двух транзисторах  $T_1$  и  $T_2$ . Избирательность достигается тем, что в цепь обратной связи включен П-образный  $LC$ -фильтр, состоящий из катушки индуктивности  $L_1$  и конденсаторов  $C_3$  и  $C_4$ . Входной сигнал через конденсатор  $C_1$  поступает на базу транзистора  $T_1$ . В целях максимального усиления оба каскада усиления выполнены по схеме с общим эмиттером. Термостабилизация обеспечена тем, что в цепи баз включены делители, состоящие из сопротивлений  $R_1, R_2$  и  $R_6, R_7$ , а в цепи эмиттеров — ячейки отрицательной обратной связи  $R_4, C_5$  и  $R_9, C_8$ . Через П-образный фильтр отрицательная обратная связь поступает с коллектора транзистора  $T_1$  на его эмиттер. Сопротивление  $R_5$  используется для регулировки полосы пропускания. Катушка индуктивности  $L_1$  служит тороидальный ферритовый сердечник.

Основные параметры схемы:

коэффициент передачи—3, полоса пропускания  $P_{0,7} = 630$  гц, входной сигнал от 1 до 90 мв усиливается без искажения.

На рис. 3 приведена схема активного  $RC$ -фильтра. Входной сигнал поступает на базу эмиттерного повторителя на транзисторе  $T_1$ . К сопротивлению  $R_5$  подключены несимметричные плечи фильтра. Симметричные плечи фильтра, состоящие из сопротивлений  $R_8, R_{12}, R_{15}$  и конденсаторов  $C_1, C_2$ , соединены со входом эмиттерного повторителя на транзисторе  $T_2$  и выходом эмиттерного повторителя на транзисторе  $T_4$ . Между эмиттерными повторителями включен усилительный каскад на транзисторе  $T_3$ , собранный по схеме с общим эмиттером. Каскады на транзисторах  $T_2—T_4$  соединены между собой непосредственно. Такое соединение упрощает схему, а отрицательные обратные связи в каждом каскаде стабилизируют режим в целом. Включение двойного Т-образного моста без заземления обеспечивает высокую избирательность и отсутствие генерации при сохранении остальных параметров. Высокоомные сопротивления транзисторов в цепях эмиттера обеспечивают высокую стабильность положения рабочих точек режимов каскадов.

Основные параметры схемы:

коэффициент передачи — 1,5, полоса пропускания  $P_{0,7} = 20$  гц, входной сигнал от 20 мкв до 100 мв усиливается без искажения.

Как показали результаты экспериментальных исследований, наиболее полно всем требованиям, предъявляемым к датчикам нуль-балансных следящих систем, работающих на переменном токе, отвечают трансформаторные нуль-органы, синтезированные на основе дифференциально-трансформаторных преобразовате-

лей перемещения с регулируемой магнитной цепью и активных  $RC$ -фильтров. Аддитивная погрешность таких ноль-органов не превышает  $0,1$  мкм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куликовский Л. Ф., Конюхов Н. Е., Медников Ф. М. Трансформаторные функциональные преобразователи с профилированными вторичными контурами. «Энергия», М., 1971.
  2. Босый Н. Д. Электрические фильтры. «Гостехиздат», К., 1960.
  3. Каралис В. Н. Электронные схемы в промышленности. «Энергия», М.—Л., 1966.
-