

А. А. Болтянский, Ю. В. Пшеничников

### СИСТЕМА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ С РЕЗОНАНСНЫМ ИНДУКТИВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Прогрессивным направлением в автоматизации процессов механической обработки изделий в точном машиностроении является применение систем активного контроля.

Широко распространенные устройства активного контроля, построенные на основе электроконтактных и пневматических датчиков, обладают рядом существенных недостатков. Они имеют невысокую эксплуатационную надежность, сравнительно низкую точность и стабильность выдачи команд. Кроме того, эти приборы не дают возможности наблюдать за фактическим изменением припуска в процессе обработки. Наиболее простыми и надежными являются индуктивные датчики, работающие на промышленной частоте. В этом случае выходное напряжение датчика, пропорциональное оставшемуся припуску, сравнивается с опорными напряжениями, соответствующими величинам припуска, при которых производится переключение режимов и прекращение процесса обработки.

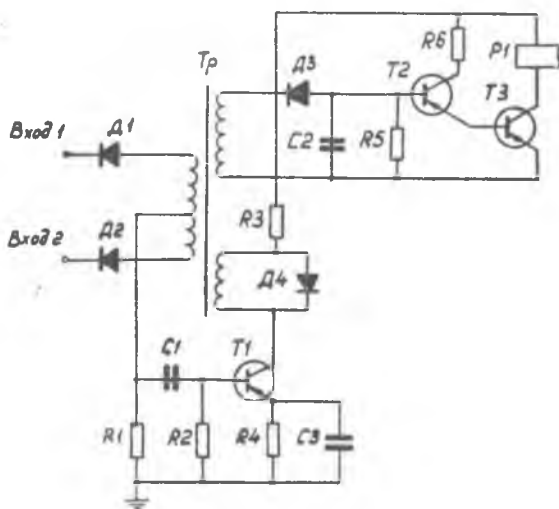


Рис. 1.

В настоящее время разработаны высокостабильные схемы срав-

нения (нуль-органы) с порогом чувствительности порядка 10—15 МКВ. Однако эти схемы весьма сложны и ненадежны.

В предлагаемом приборе активного контроля применен диодно-регенеративный нуль-орган на транзисторах (рис. 1), позволяющий сравнивать два напряжения с точностью до 1—2 мв.

Основой схемы нуль-органа служит блокинг-генератор с положительной и отрицательной обратными связями, в цепи которых включены соответственно диоды Д1 и Д2, образующие совместно с сопротивлением  $R_1$  диодную схему сравнения (рис. 1).

Отрицательное напряжение датчика  $U_d$  подается на Вход 1 нуль-органа, отрицательное опорное напряжение  $U_{оп}$  — на Вход 2.

Знак и степень результирующей обратной связи зависят от соотношения сопротивлений сравнивающих диодов, которое в свою очередь определяется соотношением напряжений  $U_d$  и  $U_{оп}$ . При  $U_d < U_{оп}$  сопротивление диода Д2 в цепи отрицательной обратной связи меньше сопротивления диода Д1 в цепи положительной обратной связи и результирующая обратная связь отрицательна. Работа блокинг-генератора невозможна. При  $U_d > U_{оп}$  результирующая обратная связь становится положительной и появляется возможность генерации. Разность  $\Delta U = U_d - U_{оп}$ , при которой возникает генерация, определяется из условия самовозбуждения нуль-органа:

$$\frac{1}{r_d} - \frac{1}{r_d} > \frac{1}{k \cdot r_{вх}} \quad (1)$$

где  $r_d^+$  и  $r_d^-$  — соответственно сопротивления диодов в цепях положительной и отрицательной обратных связей;

$k$  и  $r_{вх}$  — соответственно коэффициент усиления и входное сопротивление усилителя (для малых сигналов), полученного при размыкании обратных связей блокинг-генератора.

Как видно из условия (1), основным фактором, определяющим величину и стабильность порога чувствительности, является крутизна мо-вольтных характеристик сравнивающих диодов в окрестности точки  $u = 0$ .

Лучшими в этом отношении характеристиками обладают транзисторы в диодном включении (база соединена с коллектором) [1].

Выбранный нуль-орган определяет требования к чувствительности датчика и измерительной схемы.

Точность срабатывания окончательной команды 0,1 мк можно обеспечить при крутизне выходной характеристики  $U_d = f(\delta) = -20 - 30 \frac{mv}{mk}$ . Для надежности желательно до  $100 \frac{mv}{mk}$ . Для удобства настройки и коррекции режимов необходимо иметь линейную зависимость  $U = f(\delta)$  в пределах 100—150 мк.

Это также дает возможность работать с высокой точностью не только по эталону с нулевым припуском, но и по аттестации образцовой детали.

При питании схемы промышленной частотой относительно просто чувствительность порядка  $100 \frac{mv}{\mu k}$  можно получить (рис. 2), используя резонансный мост с кольцевым детектором [1], [2].

Запас по чувствительности позволяет работать с малыми токами  $J_1$  и  $J_2$  в облегченном тепловом режиме.

Однако в мостовых схемах с кольцевым детектором на полупроводниковых диодах невозможно реализовать высокую чувствительность в широком диапазоне перемещений, т. к. при значениях  $U_d > U_{крт.}$  измерительная цепь шунтируется малым прямым сопротивлением диодов.  $U_{крт.}$  определяется по вольтамперным характеристикам и составляет для германиевых диодов 0,2—0,3 в, для кремниевых 0,4—0,6 в.

Рассмотрим момент, когда полярность выходного напряжения  $U_v$  соответствует рис. 2.

В положительный полупериод питающего напряжения открыты диоды  $D_2$  и  $D_4$ . Падение напряжения на проводящих диодах определяется в/а характеристикой (рис. 3).

В то же время к непроводящим диодам  $D_1$  и  $D_3$  приложено отпирающее напряжение  $U_v - U_{оп.}$  Нормальная работа схемы обеспечивается в области напряжений  $U_v$ , меньших напряжения отпираения  $U_0$ , начиная с которого прямое сопротивление диодов  $D_1$  и  $D_3$  заметно падает.

Таким образом, при значениях  $U_v = U_{кр} < U_{п} + U_0$  шунтирующее действие диодов не будет сказываться. Если  $U_v$  становится больше  $U_{крт.}$  диоды открываются и характеристика  $U_v = f(\delta)$  становится резко нелинейной.

Тот же вывод можно сделать для отрицательного полупериода  $U_{пнт.}$  и для другой полярности  $U_v$ .

По в/а характеристикам германиевых и кремниевых диодов, приведенных на рис. 3, определяем  $U_0$  и  $U_{п.}$

Германиевые диоды:

$$u_{п} = 0,2 \text{ в при } J_1 = 25 \text{ ма; } u_0 = 0,1 \text{ в;}$$

$$u_{кр} = 0,3 \text{ в.}$$

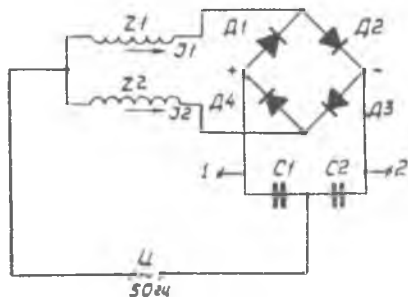


Рис. 2.

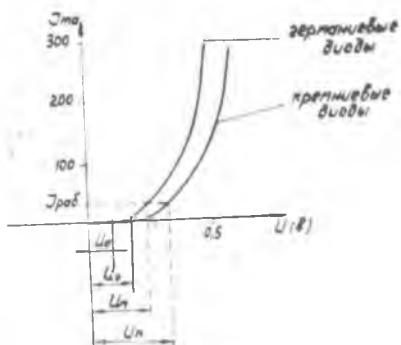


Рис. 3.

Вольтамперная характеристика такого составного диода приведена на рис. 4. В этом случае  $U_o = U_n = 10-13$  в (в зависимости от типа стабилитрона).

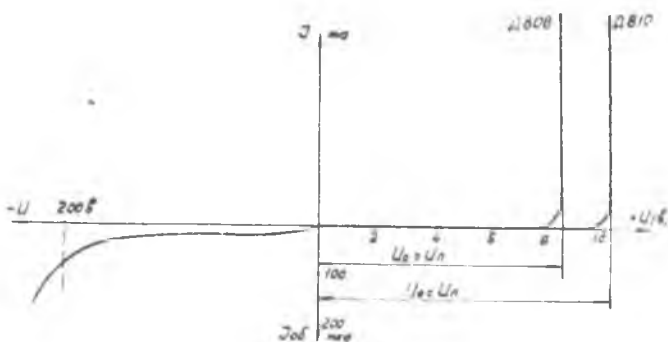


Рис. 4.

При этом возможно получение выходного напряжения порядка 20—26 в. При необходимости получения еще больших напряжений следует последовательно включить несколько кремниевых стабилитронов. Сравнительные характеристики  $U_B = f(\delta)$  при работе измерительной схемы на германиевых, кремниевых и составных диодах представлены на рис. 5.

Увеличение выходного напряжения значительно расширяет область применения мостовых схем с кольцевыми детекторами.

Ранее эти схемы работали в основном с указывающими приборами, требующими для полного отклонения не более 0,1 в.

Напряжение выхода измерительной схемы сравнивается в нуль-оргane с опорным напряжением.

Когда амплитуда выходного напряжения превысит опорное, происходит срабатывание нуль-органа.

Кремниевые диоды:

$$i_n = 0,35 \text{ в; при } J_2 = 25 \text{ ма;}$$

$$u_0 = 0,25 \text{ в. } u_{кр} = 0,6 \text{ в.}$$

Таким образом, на выходе мостовой схемы с кольцевым детектором  $U_{в \text{ max}} = 0,6$  в, что совершенно недостаточно.

В измерительной схеме прибора активного контроля для получения больших напряжений в плечи кольцевого детектора включается кремниевый стабилитрон встречно с диодом обычного типа.

Частота следования импульсов определяется частотой пульсирующего напряжения, т. е. равна 100 гц.

Однако полупериоды выходного напряжения могут значительно отличаться по амплитуде, если характеристики диодов кольцевого детектора неидентичны.

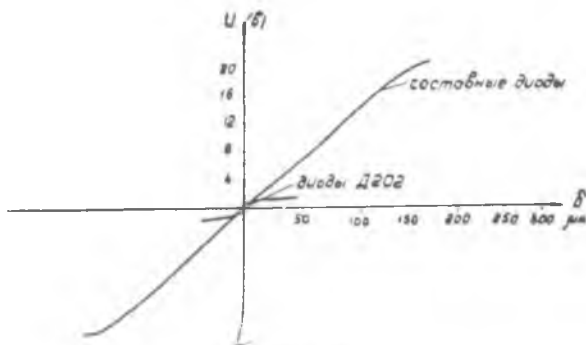


Рис. 5.

В этом случае частота следования импульсов будет в 2 раза меньше, т. е. 50 гц.

Устойчивую генерацию с частотой 50 гц фиксирует ключевой элемент нуля-органа.

Постоянная времени интегрирующей цепочки  $RC$  на входе ключевого элемента подобрана так, что импульсы с частотой следования менее 50 гц не вызывают его срабатывания. Этим устраняются ложные срабатывания релейного блока от сильных помех.

В качестве измерителя в приборе активного контроля используется дифференциальный индуктивный датчик плунжерного типа, состоящий из двух цилиндрических сердечников магнито-мягкой стали (ст—2; ст—5), которые одновременно образуют корпус датчика (рис. 6). Магнитные цепи катушек замыкаются через воздушные зазоры  $\delta_1$  и  $\delta_2$ .

Выбор начального воздушного зазора  $\delta = \delta_1 + \delta_2$  определяет область линейной зависимости  $u_v = f(\delta)$ . В нашем случае 1%-я нелинейность обеспечивается при  $\frac{\delta}{\delta_{\text{изм}}} > 3$  начальный зазор  $\delta = 1,5$  мм.

Датчик практически нечувствителен к внешним магнитным полям, т. к. стальной корпус является надежным экраном.

Конструкция датчика выполнена с учетом уменьшения его температурной погрешности. Стальной плунжер и немагнитный измерительный стержень соединены так, что при колебаниях температуры изменение линейных размеров этих элементов направлено в противоположные стороны. При этом отношение  $\frac{\delta_1}{\delta_2}$  не зависит от

температуры. Некоторое изменение начального зазора мало сказывается на чувствительности.

Принципиальная электрическая схема всего устройства представлена на рис. 7.

Питание схемы осуществляется феррорезонансным стабилизатором напряжения.

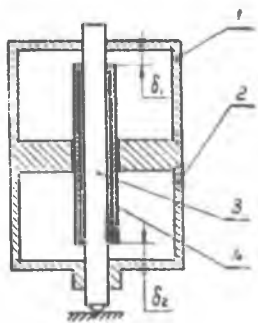


Рис. 6.

В процессе обработки индуктивный датчик следит за изменением размеров детали и на выходе измерительной схемы растет напряжение пропорционально снятому припуску.

Это напряжение подается на вход 1 схемы сравнения. На вход 2 подаются опорные напряжения, соответствующие переходу с черновой на чистовую обработку (предварительная команда) и концу обработки (окончательная команда). Напряжение, определяющее предварительную команду, создается разностью двух напряжений  $U_1 - U_2$ . Напряжение  $U_1$  определяет конец обработки, т. е. соответствует размеру образцовой детали.

Система двух независимых источников опорных напряжений позволяет настраивать прибор только по одной окончательной команде.

Припуск на чистовую обработку устанавливается заранее и не меняется при установке окончательной команды.

Когда напряжение датчика возрастает до уровня первого опорного напряжения  $U_1 - U_2$ , срабатывает ключевой элемент нуля-органа  $T-3$  и включается реле  $PI$ .

Для нормальной работы релейного блока производится регулировка последовательности замыкания контактов реле  $PI$ .

Первым замыкается контакт  $P_{11}$  — реле самоблокируется. Затем контактом  $P_{12}$  на схему сравнения подается другое опорное напряжение, прекращается генерация нуля-органа и ключ  $T-3$  закрывается. Последним замыкается контакт  $P_{13}$ , подготавливающий цепь второго реле.

Одновременно реле  $PI$  переключает подачу с черновой на чистовую и включает сигнализацию. Окончательная команда (включение реле  $PII$ ) отключает подачу.

Концевой выключатель ВК, установленный на станке, возвращает схему в исходное состояние. С помощью делителя  $\frac{R_2}{R_1}$  на вход измерительной схемы подается регулируемое отрицательное опорное напряжение, смещающее нулевую точку характеристики  $U(\delta)$ , что дает возможность использовать больший линейный участок.

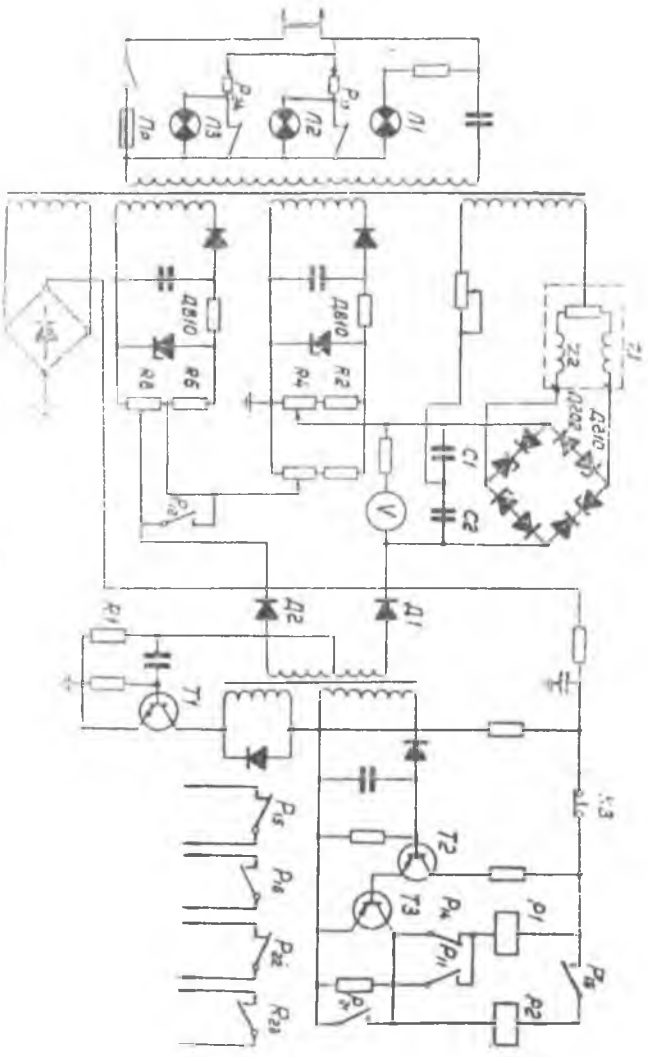


Рис. 1.

Опорные напряжения дополнительно стабилизированы кремниевыми стабилитронами.

Прибор успешно прошел лабораторные и производственные испытания.

Дрейф нуля за семь часов работы не превышает 0,5 мк. Возможна работа контрольного устройства по образцовому, эталонному датчику. Вместо опорных напряжений на схему сравнения подается напряжение эталонного датчика, соответствующее заданным размерам обрабатываемой детали. Такая работа исключает погрешности, связанные с колебаниями температуры окружающей среды, напряжения и частоты питания. Указывающий прибор — вольтметр, включенный непосредственно на выход измерительной схемы, дает возможность вести визуальное наблюдение за ходом обработки.

---