СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1159150 A

4(51) H 03 D 3/18

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ВСЕСОЮЗНАЯ ПАТЕНТНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3697788/24-09
(22) 31.01.84
(46) 30.05.85. Бюл. № 20
(72) Б.А.Джулай и В.Д.Зибров
(53) 621.376.23(088.8)
(56) 1. Гутников В.С. Интегральная электроника в электроизмерительных устройствах. Л., "Энергия", 1980, с. 159, рис.2-5 б.

2. Авторское свидетельство СССР № 720683, кл. H 03 D 3/18, 1980 (прототип).

(54)(57) 1. УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИНХРОННОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ, содержащее генератор опорного сигнала, операционный усилитель, к выходу которого, являющемуся выходом устройства для синхронной демодуляции амплитудно-модулированных сигналов, подключены последовательно соединенные первый, второй и третий резисторы, а также первый и второй ключи, управляющие входы которых подключены к генератору опорного сигнала, замыкающий контакт первого ключа соединен с общей шиной, а переключающий контакт - с первым выводом четвертого резистора, а также пятый и шестой резисторы, о т л и ч а ю щ е е с я тем, что, с целью повышения стабильности, переключающий контакт первого и замыкающий контакт второго ключей объединены, кроме того, в него введены третий, четвертый и пятый ключи, делитель частоты, элемент ИЛИ, элементы И и ИЛИ-НЕ, объединенные первые входы которых подключены к выходу генератора опорного сигнала непосредственно, а объединенные вторые входы - через делитель частоты, первый вход элемента ИЛИ соединен с выходом элемента И и с управляющим входом третьего ключа, замыкающий контакт которого является входом устройства для синхронной демодуляции амплитудно-модулированных сигналов и подключен к другому выводу третьего резистора и к переключающему контакту второго ключа, а переключающий контакт - к точке соединения второго и третьего резисторов, второй вход элемента ИЛИ подключен к выходу элемента ИЛИ-НЕ и к управляющему входу четвертого ключа, замыкающий контакт которого соединен с общей шиной, а переключающий контакт - с первым выводом пятого резистора, второй вывод которого подключен к точке соединения первого и второго резисторов, выход элемента ИЛИ подключен к управляющему входу пятого ключа, замыкающий контакт которого соединен с вторым выводом четвертого резистора, первый вывод которого подключен к переключающему контакту пятого ключа через шестой резистор, последовательно соединенные первый синхронный детектор, информационный вход которого подключен к выходу операционного усилителя, усилитель переменного напряжения и преобразователь переменного напряжения в постоянное, первый, второй, третий и четвертый выходы которого подключены к точке соединения первого и второго резисторов, к инвертирующему входу операционного усилителя, к переключающему контакту пятого ключа и к неинвертирующему входу операционного усили-

SU (11) 1159150 A (61)

теля соответственно, а опорный вход - к выходу делителя частоты, при этом опорный вход первого синхронного детектора соединен с выходом генератора опорного сигнала.

2. Устройство по п.1, о т л и ч а ю щ е е с я тем, что преобразователь переменного напряжения в постоянное содержит последовательно соединенные второй синхронный детектор, информационный и опорный входы которого являются информационным и опорным входами преобразователя переменного напряжения в постоянное соответственно, и фильтр нижних частот, между выходом которого и общей шиной включены встречно светодиоды первой и второй диодных оптопар, параллельно фотодиодам которых подсоединены седьмой и восьмой резисторы соответственно и выводы которых являются первым, вторым, третьим и четвертым выходами преобразователя переменного напряжения в постоянное.

1

Изобретение относится к автоматике и аналоговой вычислительной технике и может быть использовано для двухполупериодного фазочувствительного детектирования амплитудно-модулированных (АМ) сигналов в измерительной технике.

Известен синхронный демодулятор, содержащий операционный усилитель (ОУ), между выходом которого, являющимся выходом синхронного демодулятора, и общей шиной включены первый резистор, второй резистор и ключ, третий и четвертый резисторы, первые выводы которых объединены и являются входом синхронного демодулятора, а вторые выводы подключены к инвертирующему и неинвертирующему входам ОУ соответственно, при этом между неинвертирующим входом ОУ и общей шиной включен пятый резистор [1].

Известный синхронный демодулятор, а также аналогичные ему устройства для синхронной демодуляции на базе ОУ обеспечивают высокую точность, широкий частотный диапазон, имеют относительно малые габариты, легко микроминиатюризируются, однако на точность влияют напряжение смещения нуля и его дрейф. Наибольший частотный диапазон имеют ОУ с непосредственными связями, а также усилители с каналом МДМ (модуляция - демодуляция), построенные по способу обратного преобразования. Последние обеспечивают автоматическую компенсацию напряжения смешения, но только при неизменном коэффициенте усиле-

2

ния ОУ, что выполнимо при большом коэффициенте усиления. Операционные усилители с непосредственной МДМ имеют ограниченный частотный диапазон, так как трудно обеспечить значительную компенсацию напряжения смещения и одновременно обеспечить устойчивость усилителя. Поэтому такие ОУ используют чаще всего при пониженном частотном диапазоне (единицы - десятки килогерц).

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является устройство для синхронной демодуляции АМ сигналов, содержащее генератор опорного сигнала, первый ОУ, к выходу которого, являющемуся выходом устройства для синхронной демодуляции АМ сигналов, подключены последовательно соединенные первый, второй и третий резисторы, второй ОУ, выход которого соединен с вторым выводом третьего резистора, третий ОУ выход которого подключен к инвертирующему входу первого ОУ и точке соединения первого с вторым резисторов через последовательно соединенные четвертый и пятый резисторы, первый и второй ключи, включенные между точками соединения второго и третьего резисторов, четвертого и пятого резисторов и общей шиной соответственно, а управляющие входы соединены с выходом генератора опорного сигнала, при этом между инвертирующими входами второго и третьего ОУ и выходом первого ОУ включены шестой и седьмой резисторы соответственно, между неин-

вертирующим входом первого ОУ и общей шиной включен восьмой резистор, а между неинвертирующими входами второго и третьего ОУ и первым и вторым входами устройства для синхронной демодуляции АМ сигналов - девятый и десятый резисторы соответственно [2].

Известное устройство характеризуется недостаточно высокой стабильностью выходных параметров при воздействии дестабилизирующих факторов, в частности температуры.

Цель изобретения - повышение стабильности выходных параметров устройства для синхронной демодуляции АМ сигналов.

Поставленная цель достигается тем, что в устройстве для синхронной демодуляции АМ сигналов, содержащем генератор опорного сигнала, операционный усилитель, к выходу которого, являющемуся выходом устройства для синхронной демодуляции АМ сигналов, подключены последовательно соединенные первый, второй и третий резисторы, первый и второй ключи, управляющие входы которых подключены к генератору опорного сигнала, замыкающий контакт первого ключа соединен с общей шиной, а переключающий контакт - с первым выводом четвертого резистора, а также пятый и шестой резисторы, переключающий контакт первого и замыкающий контакт второго ключей объединены, в него введены третий, четвертый и пятый ключи, делитель частоты, элемент ИЛИ, элементы И и ИЛИ-НЕ, объединенные первые входы которых подключены к выходу генератора опорного сигнала непосредственно, а объединенные вторые входы - через делитель частоты, первый вход элемента ИЛИ соединен с выходом элемента И и с управляющим входом третьего элемента И и с управляющим входом третьего ключа, замыкающий контакт которого является входом устройства для синхронной демодуляции АМ сигналов и подключен к другому выводу третьего резистора и к переключающему контакту второго ключа, а переключающий контакт - к точке соединения второго и третьего резисторов, второй вход элемента ИЛИ подключен к выходу элемента ИЛИ-НЕ и к управляющему входу четвертого ключа, замыкающий контакт которого соединен с общей шиной, а переключающий контакт - с первым выводом пятого резистора, второй вывод которого подключен к точке соединения первого и второго резисторов, выход элемента ИЛИ подключен к управляющему входу пятого ключа, замыкающий контакт которого соединен с вторым выводом четвертого резистора, первый вывод которого подключен к переключающему контакту пятого ключа через шестой резистор, последовательно соединенные первый синхронный детектор, информационный вход которого подключен к выходу ОУ, усилитель переменного напряжения и преобразователь переменного напряжения в постоянное, первый, второй, третий и четвертый выходы которого подключены к точке соединения первого и второго резисторов, к инвертирующему входу ОУ, к переключающему контакту пятого ключа и к неинвертирующему входу ОУ соответственно, а опорный вход - к выходу делителя частоты, при этом опорный вход первого синхронного детектора соединен с выходом генератора опорного сигнала.

Преобразователь переменного напряжения в постоянное содержит последовательно соединенные второй синхронный детектор, информационный и опорный входы которого являются информационным и опорным входами преобразователя переменного напряжения в постоянное соответственно, и фильтр нижних частот, между выходом которого и общей шиной включены встречно светодиоды первой и второй диодных оптопар, параллельно фотодиодам которых подсоединены седьмой и восьмой резисторы соответственно и выводы которых являются первым, вторым, третьим и четвертым выходами преобразователя переменного напряжения в постоянное.

На фиг.1 приведена структурная электрическая схема предлагаемого устройства; на фиг.2 - эпюры напряжений, поясняющие работу устройства; на фиг.3 - эквивалентные схемы состояний включения устройства для разных времен его работы.

Устройство для синхронной демодуляции АМ сигналов содержит генератор 1 опорного сигнала, ОУ 2, первый, второй, третий, четвертый, пятый и шестой резисторы 3-8, первый, второй, третий, четвертый и пятый ключи 9-13, делитель 14 частоты, эле-

мент ИЛИ 15, элемент И 16, элемент ИЛИ-НЕ 17, первый синхронный детектор 18, усилитель 19 переменного напряжения и преобразователь 20 переменного напряжения в постоянное, который состоит из второго синхронного детектора 21, фильтра 22 нижних частот, первой и второй диодных оптопар 23 и 24, седьмого и восьмого резисторов 25 и 26.

Устройство для синхронной демодуляции АМ сигналов работает следующим образом.

Генератор 1 опорного сигнала вырабатывает напряжение прямоугольной формы (фиг.2 А), которое далее поступает на делитель 14 частоты, например, на два. Выходные сигналы с генератора 1 опорного сигнала (фиг.2А) и делителя 14 частоты (фиг.2 Б) поступают на вход элементов И 16 и ИЛИ-НЕ 17. На выходе элемента И 16 положительный перепад напряжения возникает при совпадении положительных логических уровней на его входах (фиг.2 В); на выходе элемента ИЛИ-НЕ 17 перепад напряжения положителен при совпадении уровней (логического нуля) на его входах (фиг.2 Г); на выходе элемента ИЛИ 15 перепад напряжения положителен при наличии положительных уровней хотя бы на одном из его входов (фиг.2 Д).

Ключи 10, 11, 12 и 13 переходят в открытое состояние при поступлении на их управляющие входы положительного уровня напряжения (фиг.2 А, В, Г, Д). Ключ 9 в данном случае переходит в закрытое состояние. На фиг.3 эквивалентные схемы приведены для разных состояний ключей 9, 10, 11, 12 и 13, которые возникают в процессе работы устройства: на фиг.3 А приведена эквивалентная схема включения, когда ключи 10, 11 и 13 замкнуты, а ключи 9 и 12 разомкнуты; на фиг.3 Б - эквивалентная схема включения, когда ключ 10 замкнут, а ключи 9, 11, 12 и 13 разомкнуты; на фиг.3 В - эквивалентная схема включения, когда ключ 9 замкнут, а ключи 10, 11, 12 и 13 разомкнуты, на фиг.3 Г - эквивалентная схема включения, когда ключи 9, 12 и 13 замкнуты, а ключи 10 и 11 разомкнуты.

Из эквивалентных схем включения фиг.3 А, Б видно, что при открытом ключе 10 независимо от состояний ключей 13 и 11 коэффициент передачи по входному сигналу равен $K=+1$, так как за счет действия отрицательной обратной связи через резистор 3, при достаточно большом коэффициенте усиления ОУ 2, входной ток через второй и третий резисторы 4 и 5 не протекает, а его входное сопротивление становится достаточно большим.

Напряжение смещения нуля на выходе ОУ 2 зависит от состояния ключа 11 при открытом ключе 10 (фиг.3 А, Б):

$$U_{см}^{А} = U_{см\,оу}\left(1+\frac{R3}{R4}\right); \qquad (1)$$

$$U_{см}^{Б} = U_{см\,оу}\left(1+\frac{R3}{R4+R5}\right), \qquad (2)$$

где $U_{см\,оу}$ - напряжение смещения нуля на выходе ОУ 2;

R3, R4 и R5 - величины сопротивлений соответственно первого, второго и третьего резисторов 3, 4 и 5.

При поступлении на управляющий вход ключей 9 и 10 отрицательного перепада напряжений (лог."0", фиг.3 В, Г) ключ 10 переходит в закрытое состояние, а ключ 9 - в открытое. Коэффициент передачи по входному сигналу независимо от состояний ключей 12 и 13 равен

$$K_{-} = -\frac{R3}{R4+R5},$$

так как токи от действия входного сигнала через включенный четвертый, пятый и шестой резисторы 6, 7, и 8 не протекают.

Для выполнения условия равенства $|K_{-}|=|K_{+}|=1$ величины сопротивлений второго и третьего резисторов 4 и 5 целесообразно выбирать так, чтобы R4+R5=R3. В противном случае на выходе ОУ 2 присутствует переменная составляющая напряжения с частотой входного сигнала (фиг.2 Е).

Напряжение смещения нуля на выходе ОУ 2 зависит от состояния ключа 12 (фиг.3 В, Г):

$$U_{см}^{В} = U_{см\,оу}\left(1+\frac{R3}{R4+R5}\right); \qquad (3)$$

$$U_{см}^{Г} = U_{см\,оу}\left[1+\frac{R3}{(R4+R5)\,\|\,R7}\right], \qquad (4)$$

где R7 - величина сопротивления пятого резистора 7.

Из сравнения выражений (1)...(4) видно, что $U_{см}^{Б} = U_{см}^{В}$. Для соблюдения равенства $U_{см}^{А} = U_{см}^{Г}$ необходимо, чтобы

$$R7=\frac{R4(R4+R5)}{R5}=\frac{R4\ R3}{R5}.$$

В данном случае в процессе работы устройства напряжение смещения нуля на выходе ОУ 2 имеет вид, показанный на фиг.2 Ж, ввиду того что во времени за напряжением $U_{см}^{А}$ следуют напряжения $U_{см}^{В}$, $U_{см}^{Б}$ и $U_{см}^{Г}$ (фиг.2 А, В, Г, Д).

Рассмотрим теперь влияние входных токов ОУ 2 на выходной сигнал в процессе работы устройства.

Обозначим величины сопротивлений (сопротивления утечек) между инвертирующим и неинвертирующим входами ОУ 2 и общей шиной соответственно через r1 и r2, а входные токи по данным входам соответственно через I1 и I2. Тогда напряжение смещения на выходе ОУ 2 (за счет влияния входных токов) определяется из выражения

$$U_{см_1}=I2r2\left(1+\frac{R3}{r1}\right)-I1R3. \qquad (5)$$

Для уменьшения влияния входных токов целесообразно номиналы резисторов выбирать так, чтобы r2=r1//R3, т.е. чтобы выполнялось равенство сопротивлений утечки по обоим входам ОУ. В данном случае

$$U_{см_I}=(I2-I1)R3 \qquad (6)$$

Из выражения (6) следует, что при соблюдении равенства r2=r1//R3 выходное напряжение смещения $U_{см\,I}$ имеет характер постоянного напряжения. При $(I2-I1)\to 0$ из выражения (6) видно, что $U_{см_I}\to 0$.

Из фиг.3 следует, что $r1^{А}=R4$, $r1^{Б}=r1^{В}=R4+R5$, $r1^{Г}=(R4+R5)//R7$, а $r2^{А}=r2^{Г}=R8//R6$, $r2^{Б}=r2^{В}=R8$, где R6 и R8 – величины сопротивлений четвертого и шестого резисторов 6 и 8. $R7=\frac{R_4 R_3}{R_5}$

С учетом того, что и R4+R5=R3 находим, что $r1^{Г}=R4$. Таким образом, $r1^{А}=r1^{Г}$.

Поскольку r2 следует выбирать с учетом равенства r2=r1//R3, то можно записать:

$r2^{Б}=r2^{В}=R8=(r1^{Б}=r1^{В})//R3=(R4+R5)//R3=\frac{R3}{2}$, $R8=\frac{R3}{2}$; $r2^{А}=r2^{Г}=R8//R6=(r1^{А}=r1^{Г})//R3=R4\ //\ R3$.

Пусть R4=mR3, где m<1 – коэффициент пропорциональности. Тогда $R8//R6=\frac{R8\cdot R6}{R8+R6}=\frac{R3R6}{R3+2R6}=R4//R3=\frac{m}{m+1}=R3$,

откуда $R6=\frac{m}{1-m}\cdot R3$.

Следовательно, выполнение условий $R6=\frac{R3}{2}$ и $R8=\frac{m}{1-m}R3$ позволяет поддерживать равенство сопротивлений утечек по обоим входам ОУ 2 для всех рабочих состояний устройства, что исключает появление переменного напряжения на его выходе.

Таким образом, на выходе ОУ присутствуют напряжения, определяемые входным сигналом (фиг.2 Е), напряжением смещения нуля (фиг.2 Ж) и постоянным напряжением, пропорциональным разности входных токов (6).

На информационный вход первого синхронного детектора 18 поступает только переменная составляющая выходного напряжения ОУ 2 (фиг.2 Е,Ж).

Так как сигнал на выходе первого синхронного детектора 18 периодически меняет полярность с частотой генератора 1 опорного сигнала (фиг.2 А), то переменная составляющая, возникающая при неравенстве коэффициентов передачи K_+ и K_- (фиг.2 Е), на выходе первого синхронного детектора 18 преобразуется в постоянное напряжение (фиг.2 И), а переменная составляющая, пропорциональная напряжению смещения нуля, сохраняет свою форму, но сдвигается на 90° и по фазе отличается от сигнала с выхода делителя 14 частоты на два на ±180° (фиг.2 К). Фаза переменного напряжения на выходе первого синхронного детектора 18 зависит от знака напряжения смещения нуля.

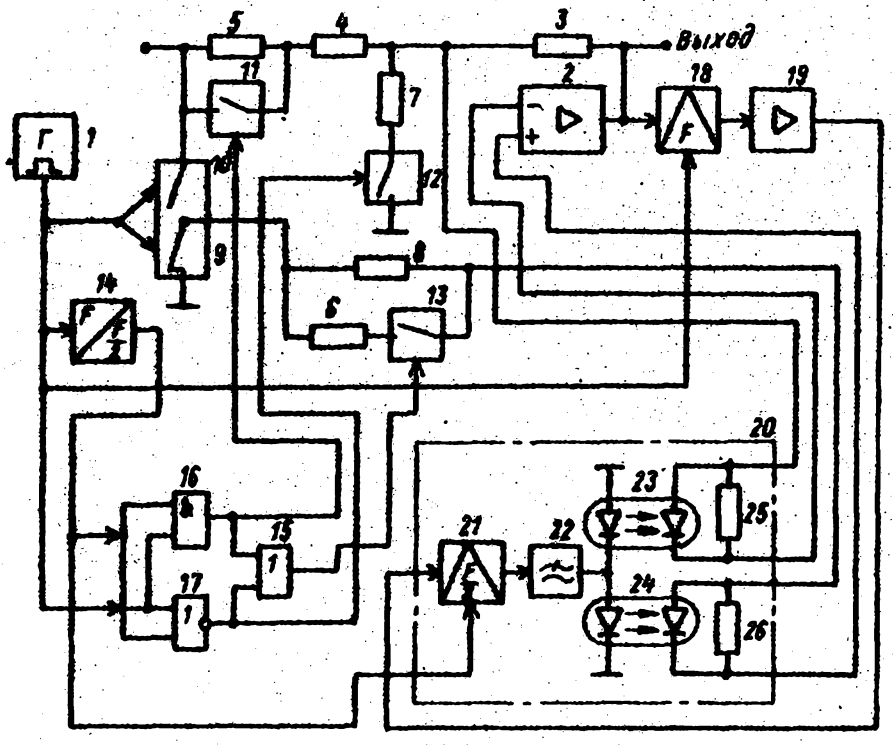
Переменный сигнал, пропорциональный напряжению смещения нуля, усиливается усилителем 19 переменного напряжения, поступает на вход второго синхронного детектора 21 преобразователя 20 переменного напряжения в постоянное. Так как второй синхронный детектор 21 меняет знак коэффициента передачи для входного сигнала с той же частотой, что и входной сигнал, то его выходное напряжение постоянно, и пропорционально напряжению смещения нуля (фиг.2 Л). После фильтрации высокочастотных составляющих фильтром 22 нижних частот сиг-

нал поступает на светодиоды первой и второй диодных оптопар 23 и 24.

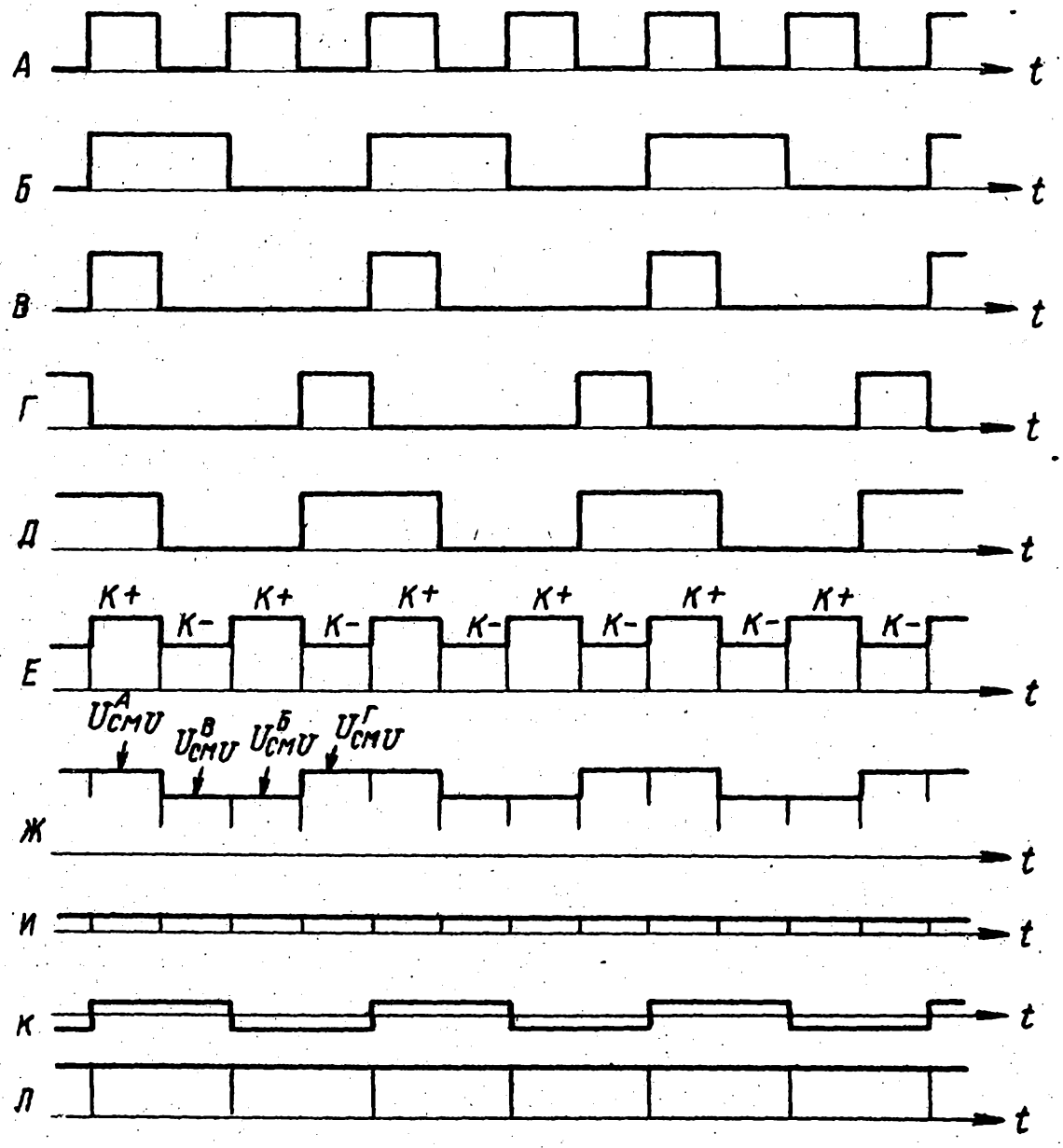
В зависимости от знака напряжения смещения нуля ОУ2 меняется полярность напряжения на выходе фильтра 22 и, следовательно, ток течет только через один из светодиодов, так как светодиоды диодных оптопар 23 и 24 включены встречно-параллельно: при положительном напряжении на выходе фильтра 22 ток протекает через светодиод второй диодной оптопары 24, при отрицательном - через светодиод первой диодной оптопары 23.

Так как фотодиоды диодных оптопар 23 и 24 работают в энергетическом режиме, фото-ЭДС вырабатывается либо диодной оптопарой 23 на первом и втором выходах преобразователя 20, либо диодной оптопарой 24 на третьем и четвертом его выходах, компенсирует напряжение смещения нуля ОУ 2 любой полярности, поскольку фотодиоды оптопар 23 и 24 подключены к входам ОУ 2 одноименными выводами. За счет действия отрицательной обратной связи по напряжению смещения нуля при достаточно большом коэффициенте усиления усилителя 19 достигается почти полная компенсация напряжения смещения нуля ОУ 2 напряжениями на выходах преобразователя 20. Седьмой и восьмой резисторы 25 и 26 выравнивают выходное сопротивление преобразователя 20, уменьшая его влияние на работу устройства. Включение выходов преобразователя 20 в цепь утечки по обоим входам ОУ2 позволяет уменьшить влияние входных токов на выходной сигнал, так как симметрирует входные цепи ОУ2.

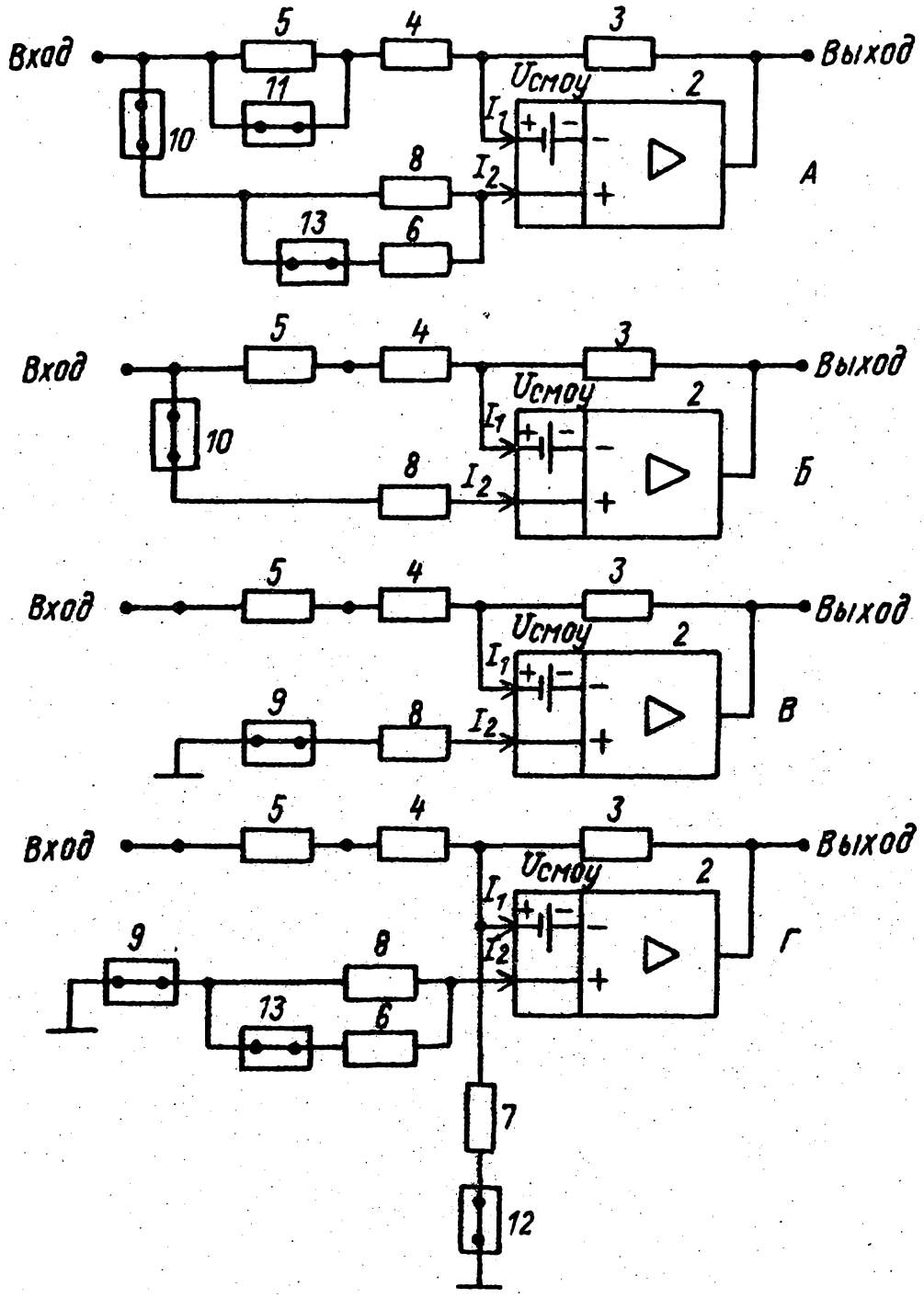
В предлагаемом устройстве напряжение смещения нуля и его дрейф могут быть уменьшены в 100-1000 раз. Благодаря этому становится возможным использование операционных усилителей с полевыми транзисторами на входе.



Фиг.1



Фиг. 2



Фиг.3

Составитель А.Осипович
Редактор И.Рыбченко Техред М.Гергель Корректор В.Бутяга
Заказ 3607/55 Тираж 872 Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д.4/5
Филиал ППП "Патент", г.Ужгород, ул.Проектная, 4