

# Лекция № 12

## Раздел 1. Гироскопические приборы и системы

### Тема 1.3. Курсовые системы

**Комплексирование информации в курсовых системах**

**10. Недостатки датчиков курса**

**11. Комплексирование датчиков курса**

## 10. Недостатки датчиков курса

Основным измерителем курса в курсовых системах служит гирополукомпас, выдающий потребителям ортодромический курс. Гироскопический датчик, как правило, работает непрерывно, а остальные датчики включаются в зависимости от условий работы. Магнитные (индукционные), гироскопические, астрономические и радиотехнические датчики курса имеют различные преимущества и недостатки.

### Недостатки индукционных датчиков курса

Магнитные (индукционные) датчики определяют направление магнитного меридиана. Они достаточно просты и автономны, но их использование невозможно вблизи магнитных полюсов из-за малого значения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли, магнитных аномалий в полярных районах, имеют большие погрешности при виражах самолета.

В магнитных (индукционных) датчиках курса, несмотря на компенсацию постоянных методических погрешностей, остаются случайные погрешности от изменений магнитного поля Земли и влияния переменного магнитного поля ЛА, эволюции ЛА.

## Недостатки индукционных датчиков курса

Возникают методические погрешности из-за воздействия ускорений на чувствительный элемент и отклонения его от плоскости горизонта. На чувствительный элемент кроме горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли в этом случае действует и вертикальная составляющая этого вектора. Эти погрешности имеют синусоидальный характер и зависят кроме ускорения от широты места и курса самолета. При взлете самолета с углами тангажа более  $15^\circ$  будет также накапливаться дополнительная погрешность магнитного датчика.

Эти погрешности, как и погрешности астро- и радиодатчиков курса, носят высокочастотный характер.

## Недостатки гироскопических датчиков курса

Гирополукомпасы устойчиво работают независимо от широт, однако они не способны определять заданное опорное направление относительно поверхности Земли. Из-за «дрейфа» главной оси гироскопа они требуют периодической коррекции.

Полная погрешность гироскопических датчиков курса складывается **из методических погрешностей:**

- начальной выставки курса, азимутального ухода гироскопа из-за перемещения самолета, из-за неточной компенсации вследствие вращения Земли, от воздействия ускорений на систему горизонтальной коррекции измерения ортодромического курса, из-за бокового отклонения от ортодромии, дистанционной передачи сигнала от гироагрегата на указатели;

- **инструментальных погрешностей:** из-за разбаланса, от люфтов в опорах, температурного расширения ротора, из-за трения в осях карданова подвеса гироскопа, из-за изменения кинетического момента гироскопа, из-за несовершенства следящих систем и дистанционных передач.

Погрешности гирополукомпасов носят низкочастотный характер вследствие медленно нарастающих уходов («дрейфа»).

## Недостатки астро - и радиодатчиков

Астродатчики обладают высокой точностью измерения курса ЛА, но зависят от условий видимости астросветил. Они не могут быть использованы вблизи экватора в условиях близости Солнца к зениту.

Радиодатчики требуют расположения наземных радиостанций по маршруту полета. Их функционирование зависит от естественных и искусственных радиопомех.

Одновременное использование разнородных датчиков курса в курсовых системах позволяет исключить присущие им недостатки за счет взаимной компенсации их погрешностей, улучшить динамические характеристики. Такие комплексные системы обладают помехозащищенностью, надежностью измерения курса, независимостью от условий применения.

## 11. Комплексование датчиков курса

Анализ недостатков измерителей курса показал, что ни один из указанных методов и приборов не может обеспечить измерение курса во всех районах Земли, в любое время суток, при различной погоде. Однако в одних и тех же условиях полета недостатки одного метода в какой-то мере могут быть скомпенсированы достоинствами другого. Осуществить такую компенсацию позволяет функциональное соединение нескольких измерителей курса в единую систему.

Основным курсовым прибором курсовой системы (КС) служит гирополукомпас, обеспечивающий измерение и выдачу потребителям ортодромического курса в любых условиях эксплуатации, в любое время суток и во всех широтах земного шара. Поэтому основным режимом работы КС является режим «ГПК».

Индукционный (магнитный) компас и астрокомпас в составе КС выполняют роль корректоров гирополукомпаса. Коррекция периодически осуществляется для исключения накопившихся погрешностей от уходов гироскопа под влиянием различных возмущающих факторов.

## 11. Комплексование датчиков курса

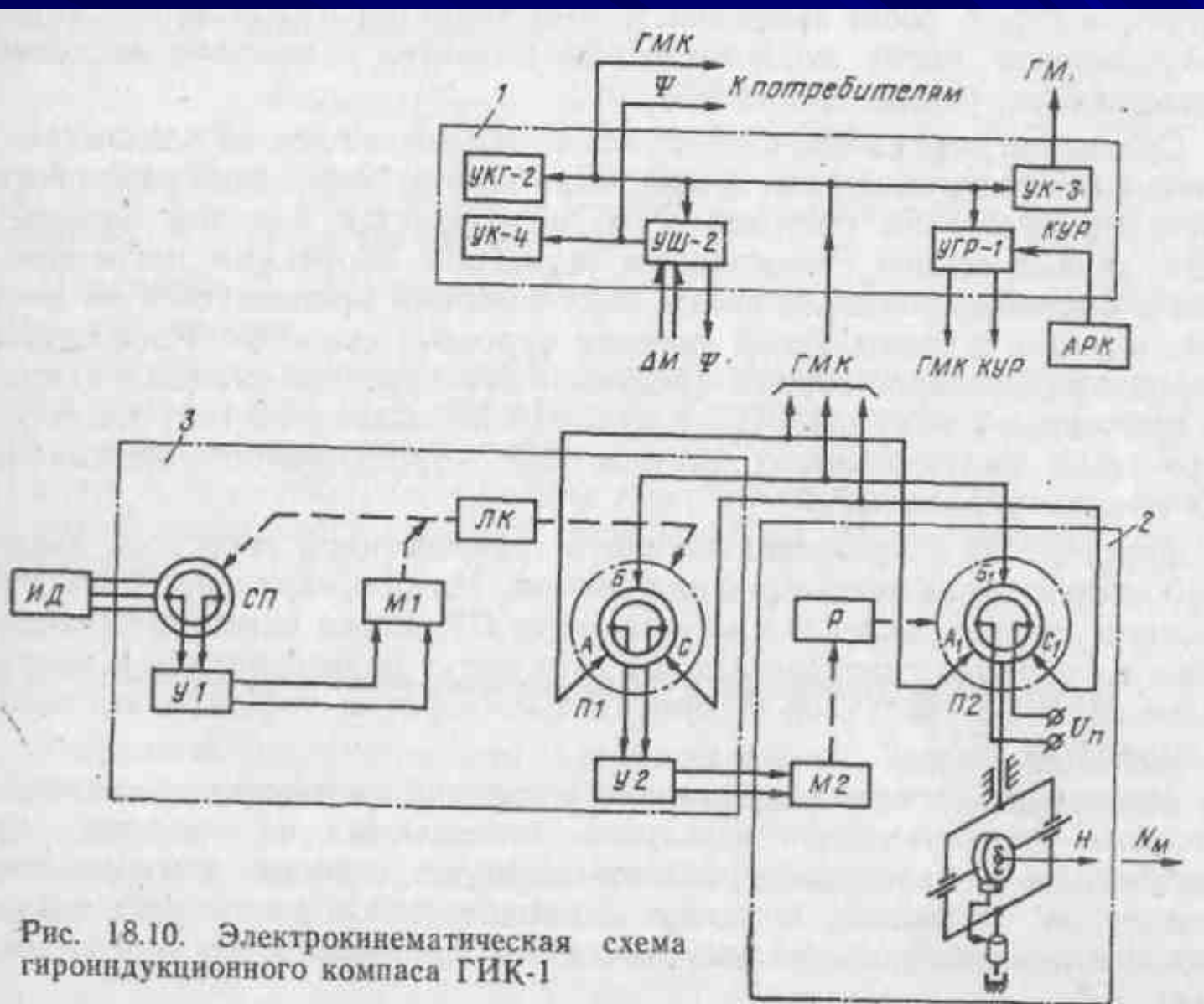
Для этой цели в общей схеме КС предусмотрены специальные системы коррекции от индукционного (магнитного) и астрономического компасов, переключение на которые определяют остальные два режима работы КС: магнитной коррекции (МК) и астрокоррекции (АК).

В комплексных курсовых системах учитываются особенности погрешностей различных датчиков курса.

Сравнение диапазонов частот погрешностей гироскопических и индукционных датчиков показывает, что они отличаются друг от друга. При комплексировании различных датчиков курса это обстоятельство используется для так называемого динамического сглаживания (взаимной коррекции погрешностей) с помощью фильтров связи. Этот принцип используется во всех действующих в гражданской авиации курсовых системах.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования



Принцип комплексования на примере простейшего представителя курсовых систем — гириндукционного компаса ГИК-1

Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гириндукционного компаса ГИК-1



# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования

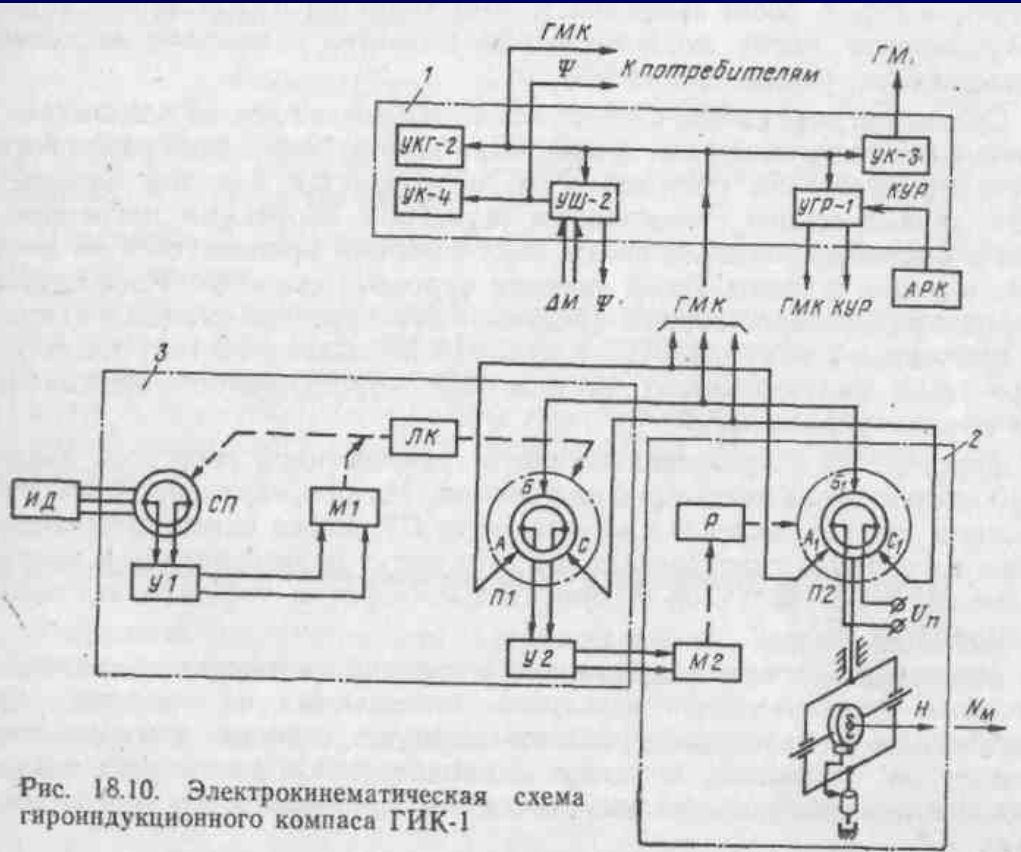


Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гироиндукционного компаса ГИК-1

Схема состоит из гироагрегата 2, индукционного датчика ИД, коррекционного механизма 3 и группы указателей 1. Гироагрегат 2 представляет собой трехстепенной гироскоп, имеющий систему горизонтальной коррекции. На оси наружной рамы гироскопа жестко закреплен потенциометр П2, щетки которого установлены на корпусе гироагрегата так, что могут разворачиваться двигателем М2 через редуктор Р относительно корпуса гироагрегата и потенциометра П2.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования

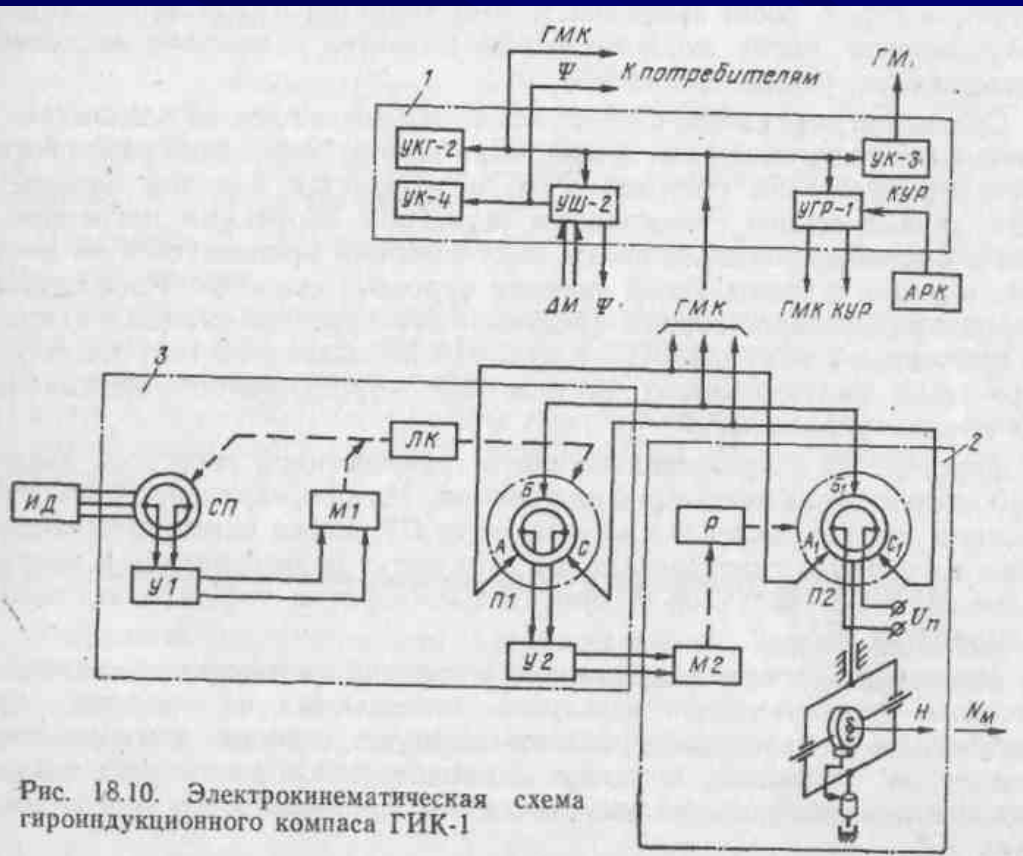
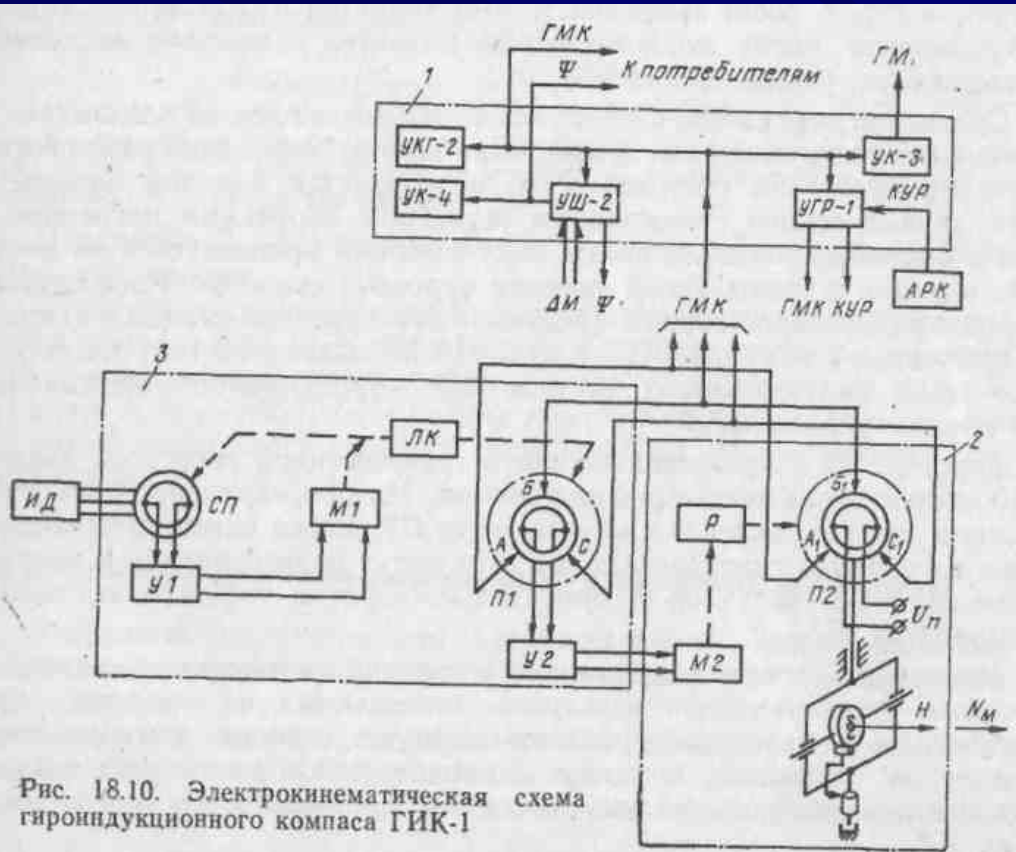


Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гироиндукционного компаса ГИК-1

Магнитная система индукционного датчика состоит из трех индукционных чувствительных элементов, помещенных на поплавке, закрепленном в кардановом подвесе корпуса датчика, заполненного жидкостью. Жидкость, поплавок и кардановый подвес обеспечивают положение магнитной системы, близкое к горизонтальному при эволюциях ЛА.

# 11. Комплексование датчиков курса

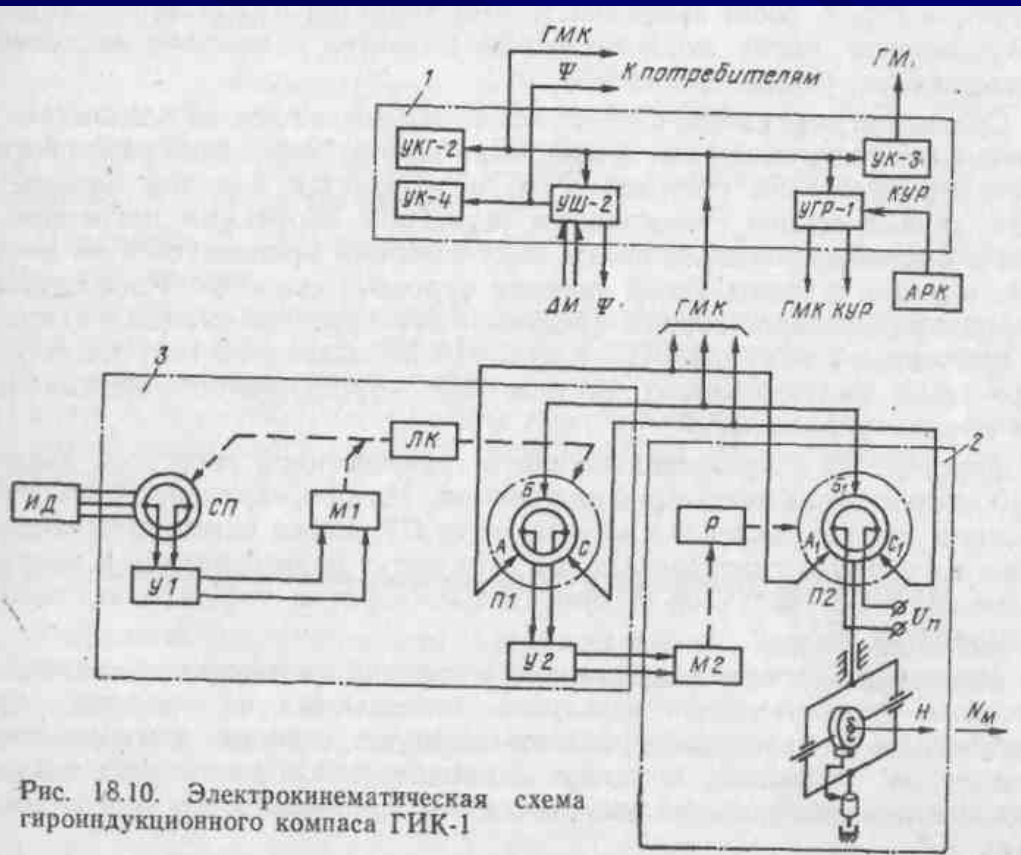
## Электрокинематическая схема комплексования



Коррекция гироскопа осуществляется с помощью индукционного датчика. При отклонении продольной оси ЛА от направления магнитного меридиана с индукционного датчика поступает сигнал в сельсинную следящую систему, состоящую из сельсина-приемника СП, усилителя У1 и двигателя М1. Следящая система через лекальный корректор ЛК разворачивает щетки потенциометра П1 на угол, пропорциональный углу отклонения ЛА от магнитного меридиана.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования



При повороте ЛА щетки потенциометра П2, связанные с корпусом гироагрегата, также развернутся относительно корпуса потенциометра, закрепленного на оси наружной рамы гироскопа.

Потенциометрическая следящая система, состоящая из потенциометров П1, П2, усилителя У2, двигателя М2 и редуктора Р, будет согласована. Потенциалы точек  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  изменяются из-за нарушения пространственного положения щеток потенциометра П2 относительно точек его питания.

В результате электрический сигнал на выходе потенциометров будет пропорционален гиромагнитному курсу  $\psi_{ГМК}$ .

# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования

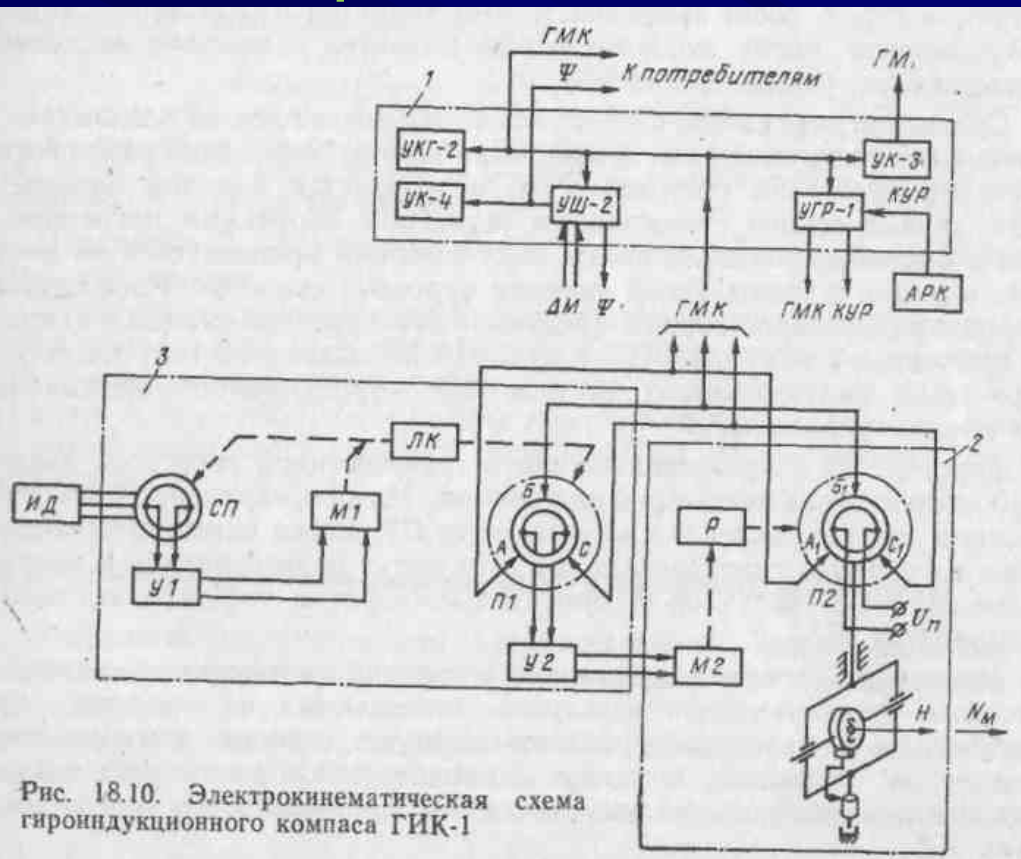


Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гироиндукционного компаса ГИК-1

Если курс ЛА не меняется, но происходит уход оси гироскопа, то корпус потенциометра П2 разворачивается относительно щеток, потенциалы точек  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  потенциометра П2 изменятся. Это приведет к рассогласованию потенциометрической следящей системы. На выходе потенциометра П1 появится напряжение, и двигатель М2 через редуктор развернет щетки потенциометра П2 до согласования следящей системы, пока потенциалы точек А, Б, С и  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  не станут прежними.

Отмеченное возможно в случае, если скорость отработки следящей системы будет больше скорости ухода гироскопа. При этом собственный уход гироскопа компенсируется.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования

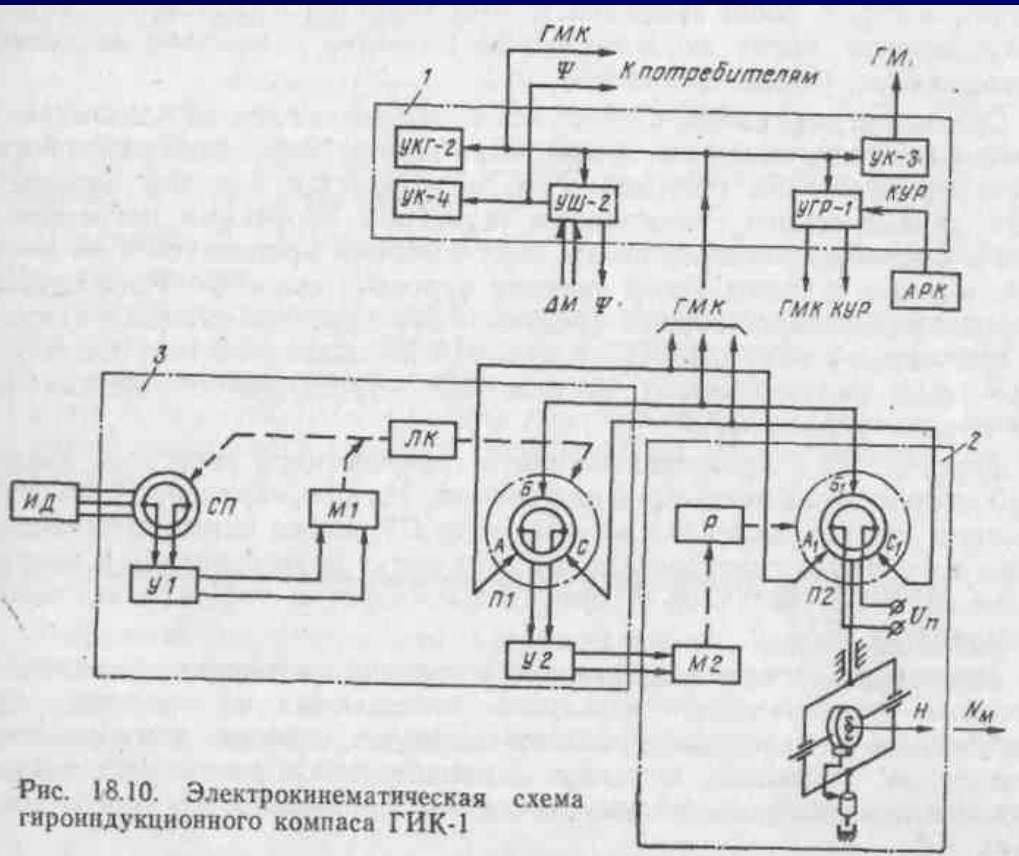


Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гироиндукционного компаса ГИК-1

Если имеют место колебания магнитной системы датчика при неизменном курсе ЛА, то положение щеток потенциометра П1 относительно точек А, Б, С изменяется. Напряжение, снимаемое со щеток потенциометра П1, после усилителя У2 подается на двигатель М2, который через редуктор Р повернет щетки потенциометра П2 в положение, при котором следящая система будет согласована.

За счет выбора соответствующего передаточного числа редуктора скорость обработки следящей системы будет меньше, чем скорость колебаний магнитной системы датчика.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования

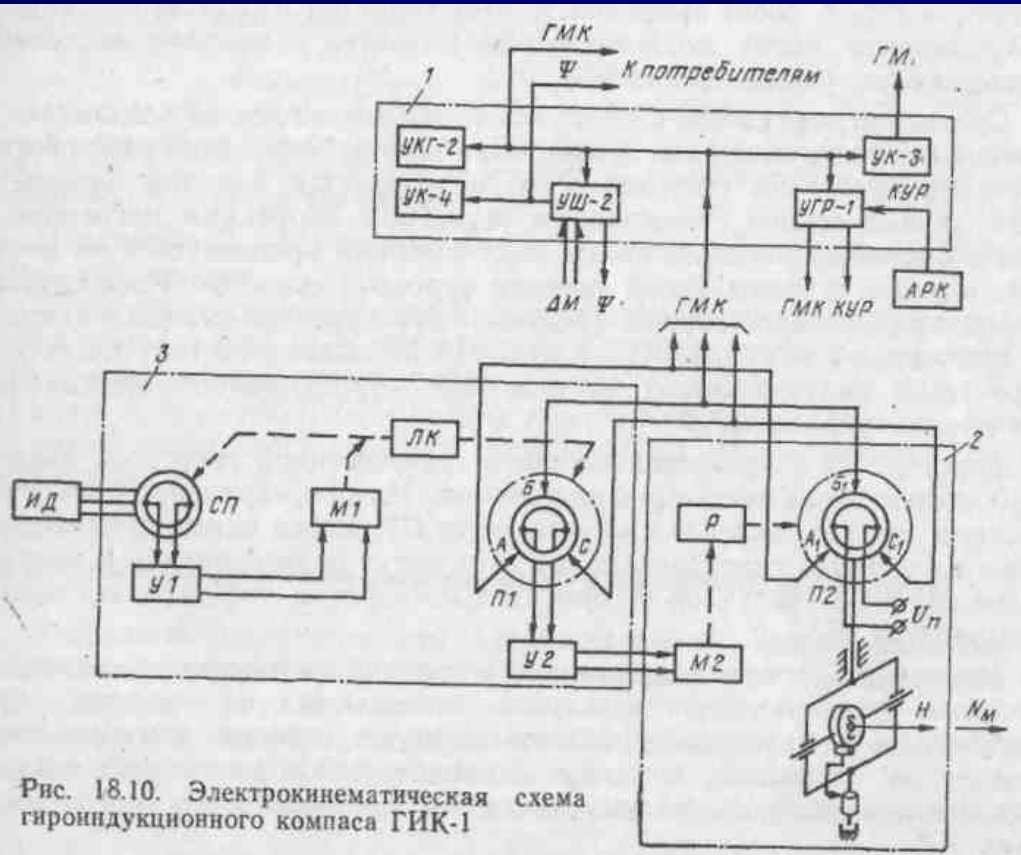


Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гироиндукционного компаса ГИК-1

В результате происходит отфильтровывание (сглаживание) высокочастотных колебаний магнитного (индукционного) датчика и его погрешности не отражаются на выходном сигнале измерителя курса.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования

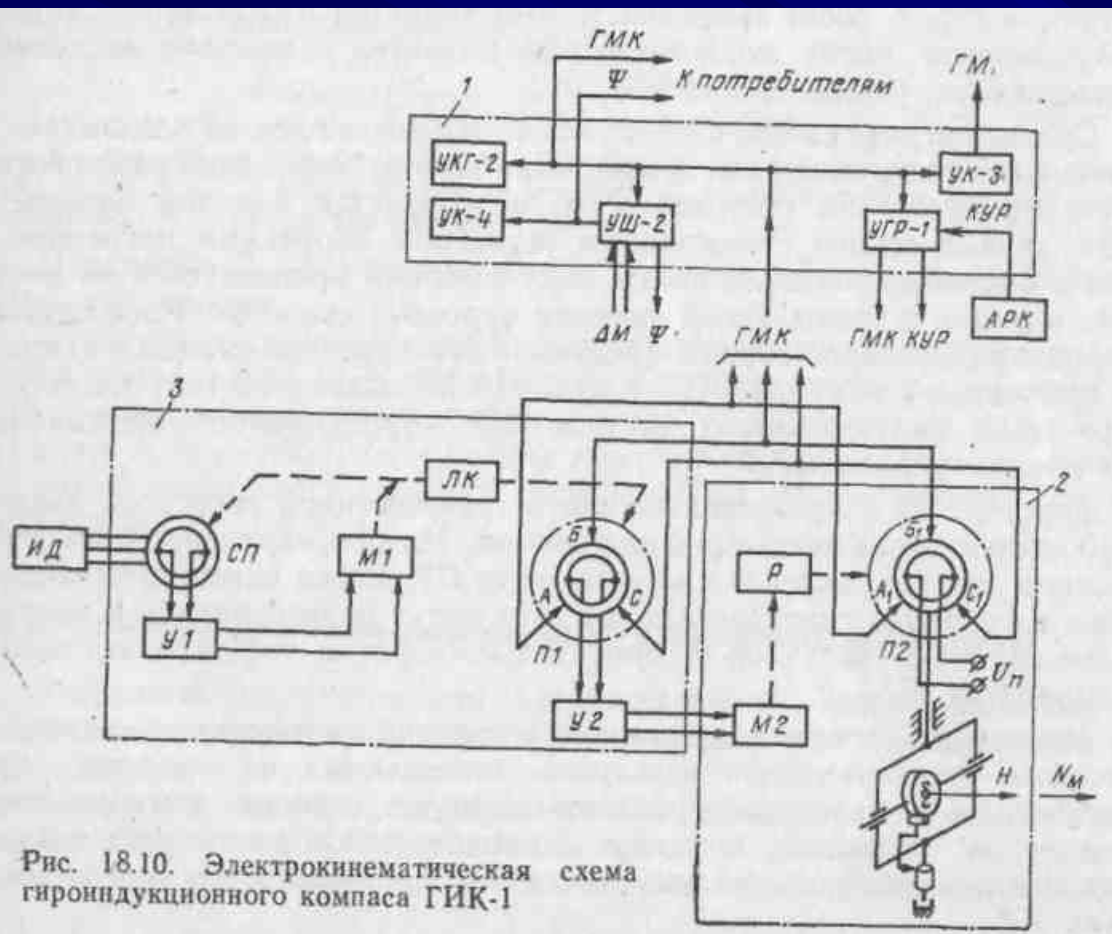


Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гироиндукционного компаса ГИК-1

Электрический сигнал гиромагнитного курса ГМК поступает к указателям 1 с визуальным отображением информации. Указатели УК-3 и УКГ-2 показывают  $\psi_{\text{ГМК}}$ . Указатель УГР-1 дополнительно  $\psi_{\text{ГМК}}$  выдает визуальную информацию о курсовом угле радиостанции, получаемую от автоматического радиокompаса АРК. Указатель УШ-2 алгебраически суммирует  $\psi_{\text{ГМК}}$  и магнитное склонение  $\Delta_{\text{М}}$  и выдает визуальную и электрическую информацию об истинном курсе ЛА.



# 11. Комплексование датчиков курса

## Электрокинематическая схема комплексования

Указатель УК-4 отображает информацию об истинном курсе. Коррекционный механизм связывает индукционный датчик с курсовым гироскопом. Лекальный корректор ЛК в коррекционном механизме устраняет четвертную магнитную девиацию и инструментальные погрешности индукционного датчика и следящей системы ИД—КМ.

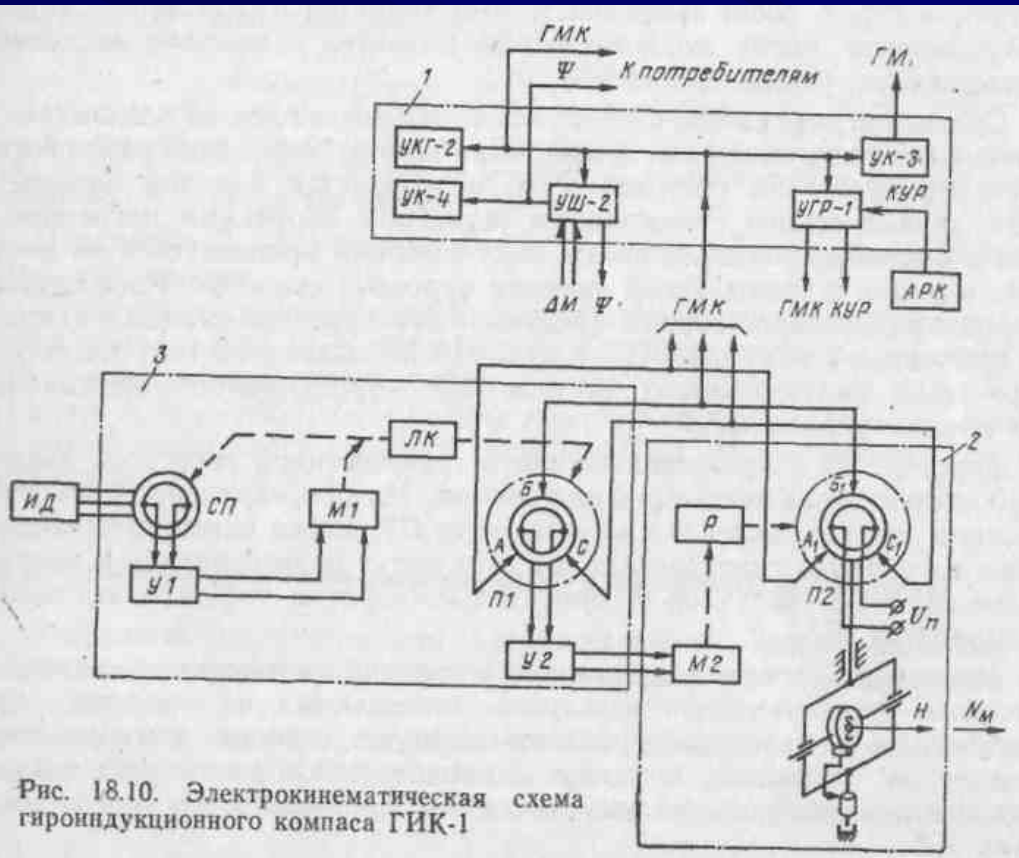
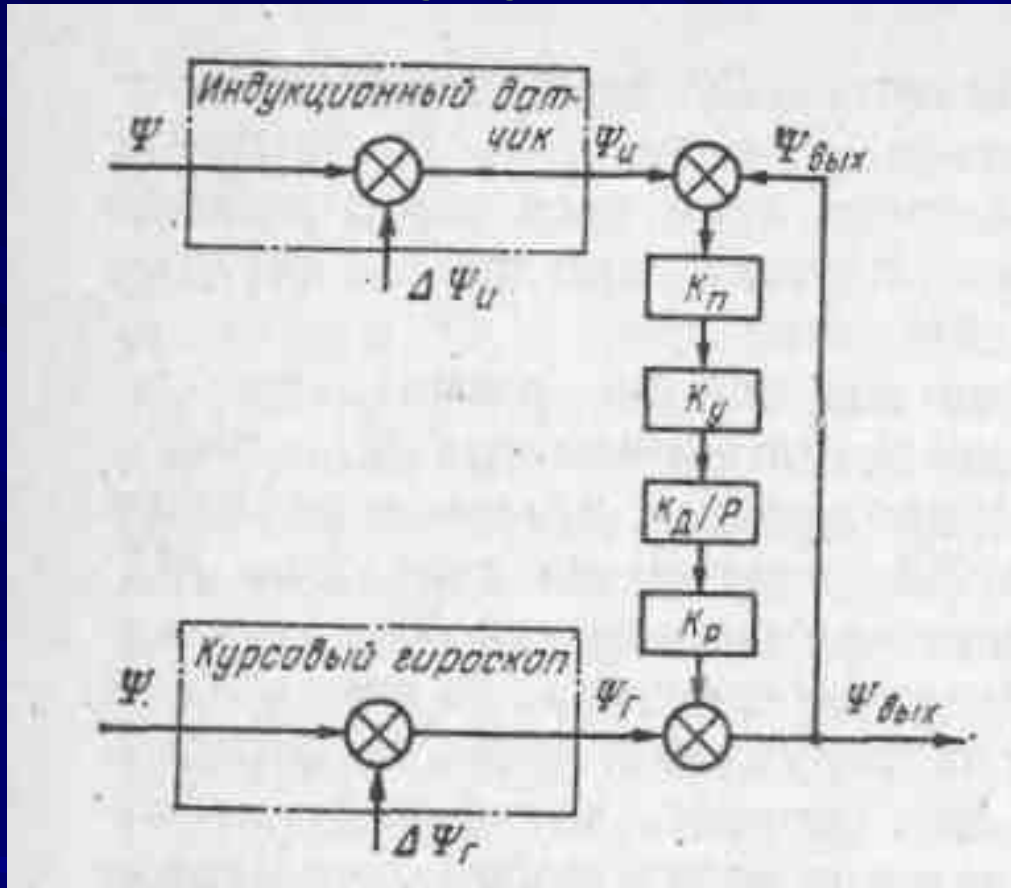


Рис. 18.10. Электрокинематическая схема гироиндукционного компаса ГИК-1

В результате рассмотрения работы приведенной схемы комплексования магнитного (индукционного) и гироскопического датчиков можно отметить, что при соответствующем выборе параметров следящей системы можно компенсировать погрешности этих датчиков и добиться высокой точности измерения курса.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Структурная схема комплексования



Аналитическое подтверждение компенсации погрешностей курсовых датчиков.

При соответствующем выборе параметров следящей системы можно считать, что индукционный датчик соединяется с курсовым гироскопом через эквивалентное звено с передаточной функцией  $W(p) = 1/(Tp+1)$ .

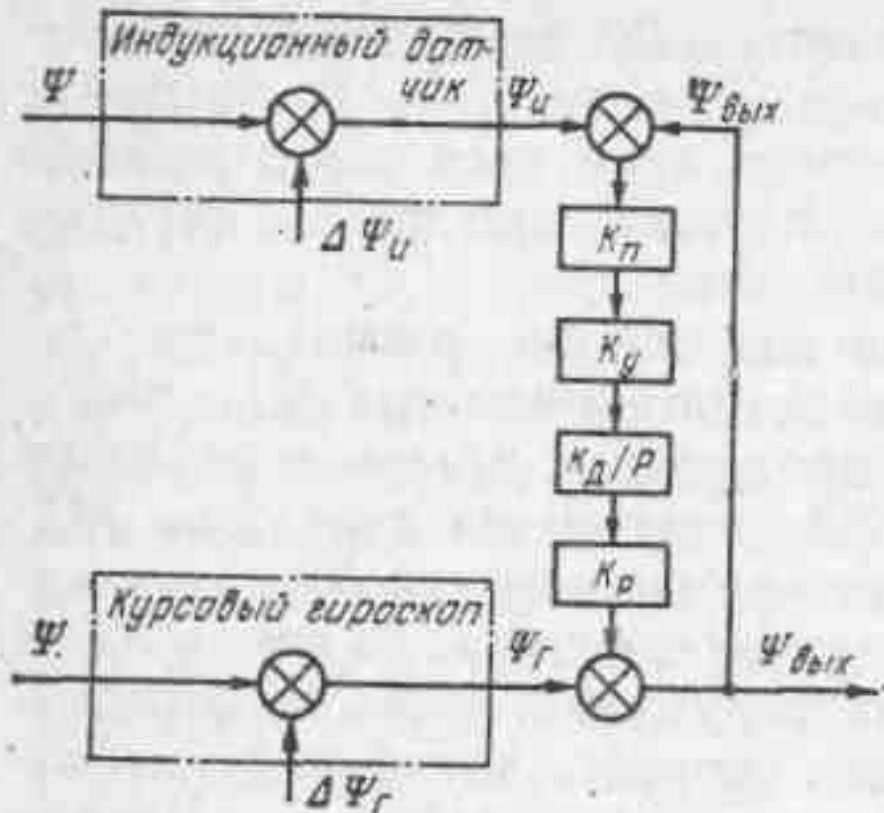
Постоянная времени звена

$$T = \frac{1}{k_{п} k_{у} k_{д} k_{р}}$$

где  $k_{п}$ ,  $k_{д}$ ,  $k_{р}$  — передаточные коэффициенты потенциометра, двигателя и редуктора соответственно;  $k_{у}$  — коэффициент усилителя.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Структурная схема комплексования



Выходной сигнал

$$\psi_{\text{вых}} = \psi + \Delta\psi_{\text{г}} + \frac{(\psi + \Delta\psi_{\text{и}}) - \psi_{\text{вых}}}{T\rho},$$

где  $\Delta\psi_{\text{и}}$ ,  $\Delta\psi_{\text{г}}$  — высокочастотные погрешности индукционного датчика и низкочастотные погрешности курсового гироскопа соответственно.

$$\psi_{\text{вых}} = \psi + \frac{\Delta\psi_{\text{и}}}{T\rho + 1} + \frac{T\rho}{T\rho + 1} \Delta\psi_{\text{г}}.$$

Погрешность на выходе

$$\Delta\psi_{\text{вых}} = \psi_{\text{вых}} - \psi = \frac{\Delta\psi_{\text{и}}}{T\rho + 1} + \frac{T\rho}{T\rho + 1} \Delta\psi_{\text{г}}.$$

# 11. Комплексование датчиков курса

## Структурная схема комплексования

$$\Delta\psi_{\text{вых}} = \psi_{\text{вых}} - \psi = \frac{\Delta\psi_{\text{и}}}{T p + 1} + \frac{T p}{T p + 1} \Delta\psi_{\text{г}}. \quad (13.1)$$

Данная схема является фильтром низких частот (инерционное звено с передаточной функцией

$$W(p) = 1/(Tp+1)$$

для высокочастотных погрешностей  $\Delta\psi_{\text{и}}$ .

Из амплитудно-частотной характеристики инерционного звена

$$A(\omega)_{\text{и}} = \frac{1}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}}$$

видно, что при возрастании частоты погрешностей  $\omega$  амплитуда  $A(\omega)_{\text{и}}$  уменьшается. Следовательно, погрешность  $\Delta\psi_{\text{и}}$  также уменьшается.

Выражение (13.1) показывает также, что приведенная схема является фильтром высоких частот (форсирующее звено с передаточной функцией  $W(p) = Tp/(Tp+1)$  для низкочастотных погрешностей  $\Delta\psi_{\text{г}}$ .

# 11. Комплексование датчиков курса

## Структурная схема комплексования

$$\Delta\psi_{\text{вых}} = \psi_{\text{вых}} - \psi = \frac{\Delta\psi_{\text{и}}}{T\rho + 1} + \frac{T\rho}{T\rho + 1} \Delta\psi_{\text{г}}. \quad (13.1)$$

Из амплитудно-частотной характеристики форсирующего звена

$$A(\omega)_{\text{и}} = \frac{T}{\sqrt{T^2 + \frac{1}{\omega^2}}}$$

видно, что с ростом  $\omega$  коэффициент передачи стремится к единице. При малых  $\omega$  погрешность  $\Delta\psi_{\text{г}}$  не влияет на погрешность выходного сигнала схемы.

Приведенная схема пропускает постоянные погрешности (например, девиационные от магнитного датчика), а также периодические быстро меняющиеся погрешности курсового гироскопа. Для их компенсации необходимы дополнительные меры.

# 11. Комплексование датчиков курса

## Структурная схема комплексования

$$\Delta\psi_{\text{ВЫХ}} = \psi_{\text{ВЫХ}} - \psi = \frac{\Delta\psi_{\text{И}}}{T\rho + 1} + \frac{T\rho}{T\rho + 1} \Delta\psi_{\text{Г}}. \quad (13.1)$$

При подборе оптимальных параметров курсовых систем определяют передаточные функции фильтров связи, обеспечивающие наименьшие средние квадратические погрешности на выходе курсовой системы. Далее из уравнения

$$T = \frac{1}{k_{\text{П}} k_{\text{У}} k_{\text{Д}} k_{\text{Р}}},$$

определяют параметры соответствующих звеньев. При этом коэффициент  $k_{\text{У}}$  выбирают из условия обеспечения запуска электродвигателя при минимальном рассогласовании следящей системы. Коэффициент  $k_{\text{Д}}$  получают исходя из зависимости угловой скорости вращения двигателя от напряжения на управляющей обмотке.