

Глава 2: Основы ВСК позиционного следящего релейного привода. Методы повышения его надежности. Разработка комбинированного метода повышения надежности позиционных авиационных приводов (самолеты Ан-225, Ан-70, Буран).

2.1 Структурная схема двухканального релейного следящего привода.

Технические требования к его ВСК

Привод называется позиционным, если в установившемся состоянии определенному входному сигналу (напряжение U_B , угол поворота входного вала φ_B) соответствует определенный угол поворота, позиция выходного вала φ_C . Разность между углами поворота входного и выходного валов называется ошибкой или углом рассогласования: $\varphi_B - \varphi_C = \theta$. Все координаты измеряются относительно общей точки, обычно – относительно выходного вала. Основной координатой позиционного привода является позиция. В соответствии с требованиями ЕНЛГС составные части таких систем должны быть оборудованы встроенными средствами контроля (ВСК), которые “в полете должны осуществлять непрерывный автоматический контроль собственной работоспособности и выдавать эту информацию в центральные комплексы”.

К разрабатываемому встроенному контролю рассматриваемого 2-х канального привода предъявлены следующие технические требования:

1. Логическая формула отключения должна представлять комбинацию следующих отказных ситуаций:

$$W_{откл} = L_{осч} \cdot \bar{\Omega}_л \vee P_{осч} \cdot \bar{\Omega}_п \vee L_{осч} \cdot L_{рез} \vee P_{осч} \cdot P_{рез} \vee D \quad (2.1)$$

При наборе первых четырех логических слагаемых должен быть отключен основной канал и подключен резервный, при наборе пятого логического слагаемого должен быть отключен резервный канал.

2. Временная задержка на отключение основного канала должна находиться в пределах $(0,4 \div 0,5)$ с, резервного – в пределах $(0,07 \div 0,1)$ с.
3. Временная задержка не должна обладать свойством накопления.

4. Максимальный угол поворота выходного вала $\varphi_C^{\max} = 100^\circ$, время переброса при этом не должно быть более $t_{\Pi} = 2$ с.
5. Максимальный угол поворота входного вала $\varphi_B^{\max} = 75^\circ$.
6. Максимальный угол поворота вала сельсина $\varphi_{\text{сельс}}^{\max} = 150^\circ$.
7. Соотношение между углами поворота выходного вала и валом сигнального потенциометра $\varphi_C : \varphi_{\Pi} = 1 : 3$ ($i = 3$)
8. Номинал дифференцирующего конденсатора в контуре формирования минимальной (критической) скорости $C_{\text{диф}} \leq 5$ мкФ (см. Рис. 2.1)
9. Угол проводящего слоя потенциометра $\varphi_I = 300^\circ$
10. Напряжение запитки потенциометра $U_I = 40$ В
11. Критический уровень фиксации минимальной скорости $\Omega_C^{\text{крит}} = \Omega_C^{\max} \cdot 0.25$

К самолетным приводам предъявляются высокие требования в отношении надежности. Существует два основных способа достижения заданной надежности. Первый способ заключается в разработке высоконадежных элементов, второй – в построении надежных систем из менее надежных элементов путем резервирования.

Одним из распространенных методов резервирования позиционных приводов является мажоритарный (голосование большинством). При мажоритарном методе резервирования требуется не менее 3^x каналов. При этом позиционный привод работает минимум до второго отказа, так как отказавший канал выявляется довольно легко.

Вместе с тем, возможно определить отказавший канал и в двухканальном позиционном приводе путем сравнения их работы при асимметричном построении каналов, которое заключается в следующем (Рис. 2.1):

1. Привод состоит из основного канала, работающего на переменном токе с ЭД М1 (канал «осн») и резервного канала (канал «рез»), работающего на постоянном токе с ЭД М2;
2. Силовая часть резервного канала на время работы основного канала отключена, измерительная часть (потенциометры) работают;

3. Зона нечувствительности резервного канала $\chi_{ДАС}$ во время работы основного расширена, т.е. зона нечувствительности основного χ_{iNi} находится заведомо внутри зоны нечувствительности резервного канала.
4. Сигналы о рассогласовании резервного канала ($L_{PEЗ}$ и $P_{PEЗ}$) снимаются непосредственно с движков потенциометров обратной связи, троируются, а затем мажорируются (численные значения п.3, п.4 и п.5 см. на рис 2.1).
5. Сигналы о рассогласовании основного канала ($L_{ОСН}$ и $P_{ОСН}$) троируются, а затем – мажорируются.

Подпункты 4 и 5 подчеркивают, что контрольная информация о рассогласовании каналов является в высшей степени достоверной.

Питание каналов от разных источников (п.1) является целесообразным потому, что при временном пропадании переменного напряжения (согласно ГОСТ-19705-83) ВСК автоматически осуществляет перевод привода на резервный канал и возврат на основной при восстановлении переменного напряжения. Такой привод работоспособен даже, если энергетика располагает последней возможностью – бортовым аккумулятором, разряженным по крайней мере – не ниже 18 вольт.

Обозначения в формуле (2.1) и Рис. 2.1:

$L_{ОСН}$, $P_{ОСН}$, ($L_{PEЗ}$, $P_{PEЗ}$) – основной (резервный) канал рассогласован влево или вправо, соответственно;

$\bar{\Omega}_Л$, $\bar{\Omega}_П$ – выходной вал не двигается влево (вправо) даже с минимальной (критической) скоростью $\Omega_C^{крит}$ (см. тех. требования);

D – обрыв цепи питания ПОС (жирные линии);

φ_B – угол поворота входного вала;

φ_C – угол поворота выходного вала;

P – редуктор;

M – мотор (электродвигатель);

$НМ$ – необратимая муфта;

$ДР$ – дифференциальный редуктор;

ПОС-С – сельсинная позиционная обратная связь;

ПОС-П – потенциометрическая позиционная обратная связь;

У1 – необратимая муфта в основном канале;

У2 – муфта торможения в составе ДПТ резервного канала.

При наборе одного из первых четырех слагаемых алгоритма (отказ основного канала) через время $\tau_{ОСН}$ необходимо отключить основной канал и подключить резервный. При наборе пятого слагаемого необходимо отключить через время $\tau_{РЕЗ}$ резервный канал. При этом $\tau_{ОСН} > \tau_{РЕЗ}$, так как отказ в основном канале не приводит к активному отказу привода.

2.2 Сравнительный анализ 2-х и 3-х канальных позиционных приводов

Привод может быть выполнен как в трех-, так и в двухканальном исполнении. Можно показать, что надежность двухканального привода может быть выше, чем надежность трехканального (при условии возможности определения отказавшего канала в двухканальном приводе).

Это можно показать теоретически и подтверждено многочисленными испытаниями и опытом эксплуатации.

Уровень надежности авиационных приводов может быть определен на основании экспоненциального закона распределения вероятности Пуассона. Для этого необходимо, чтобы отсчет уровня надежности начинался с момента последнего контроля объекта, например, после предполетной проверки.

В этом случае: $P = e^{-\lambda \cdot t}$, где P – вероятность безотказной работы, λ – (лямбда, греч.) – интенсивность отказа, $1/\text{час} \cdot 10^{-n}$ (на практике $n = 5 \div 10$).

Интенсивности отказов поэлементно определяются опытным путем и сводятся в справочные таблицы. При определении вероятности безотказной работы сложного изделия все показатели λ суммируются.

Экспоненциальная функция может быть разложена в ряд Тейлора:

$$e^Z = 1 + \frac{Z}{1!} + \frac{Z^2}{2!} + \frac{Z^3}{3!} + \dots$$

Если отбросить члены разложения, начиная с третьего и полагая, что $\lambda \cdot t \ll 1$, то

$$P = e^{-\lambda \cdot t} \approx 1 - \lambda \cdot t.$$

Эту величину обычно измеряют количеством «девяток». Правда, количество «девяток» не является наглядным показателем. Наглядным показателем является: $Q = 1 - P$, вероятность отказа.

Так, например, если $P = 0,999$ ($Q = 0,001$), то это означает, что за время t из тысячи элементов только один может отказаться.

При сравнительном анализе трехканального и двухканального приводов прежде всего следует отметить, что с точки зрения габаритно-массовых характеристик безусловное преимущество останется за двухканальным приводом. Если сравнивать по надежности, то преимущества двухканального привода перед трехканальным необходимо рассмотреть подробнее.

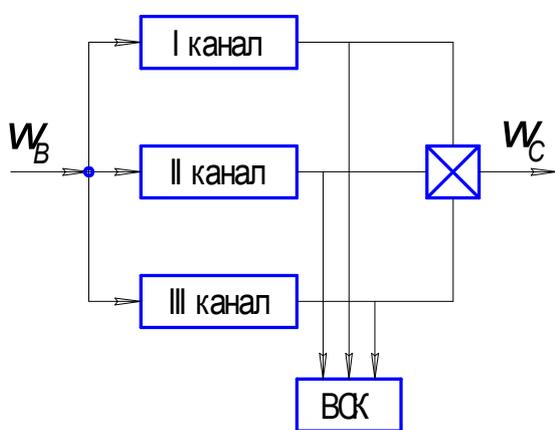


Рис. 2.2 Трехканальный резервированный привод. Все каналы идентичны.

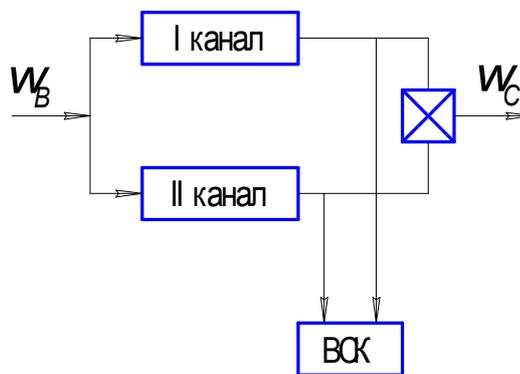


Рис. 2.3 Двухканальный резервированный привод. Схема асимметричная. (см.Рис. 2.1)

ВСК трехканального привода определяет неисправный канал по принципу мажоритарара (по принципу большинства). ВСК двухканального привода определяет неисправный канал по разной реакции на отказ того или другого канала в силу их несимметрии. Оба привода должны работать хотя бы до второго отказа.

Но отказы бывают разные. Они могут произойти в разной последовательности, как в каналах, так и в ВСК, могут быть вторичные отказы, которые не оказывают влияния на поведение привода и т.д. Эти отказы в процессе расчета не будут учтены, хотя такая возможность имеется. Для упрощения расчетов принимаются во внимание любые отказы, где бы они не произошли, какой бы характер не носили; считается, что: один отказ – привод работоспособен, два отказа – привод неработоспособен.

Введем обозначения:

$P_K = 1 - Q_K$ вероятность безотказной работы канала;

Q_K – вероятность отказа канала;

$P_{ВСК} = 1 - q$ вероятность безотказной работы ВСК;

q – вероятность отказа ВСК.

Из анализа структурных схем следует, что трехканальный привод работает, если:

- работают все три канала при любом состоянии ВСК: P_K^3
- работают два канала при безотказности ВСК: $3P_K^2(1 - P_K) \cdot P_{ВСК}$, т.е.

вероятность отказа трехканального привода составляет

$$Q_{II}''' = 1 - [P_K^3 + 3P_K^2(1 - P_K) \cdot P_{ВСК}]$$

Подставив в последнее выражение $P_K = 1 - Q_K$ и $P_{ВСК} = 1 - q$, получим:

$$Q_{II}''' = 3Q_K^2 - 2Q_K^3 + 3Q_K \cdot q - 6Q_K^2 \cdot q + 3Q_K^3 \cdot q$$

Если учесть, что для среднестатистической продолжительности полета $t = 5$ час, надежность канала $P_K = 0,99$; $P_{ВСК} = 0,999$, то подставив $Q_K = 0,01$ и $q = 0,001$, получим

$$Q_{II}''' = 32,74 \cdot 10^{-5}$$

В этом случае интенсивность отказа трехканального привода при 5-ти часовом полете составит: $\lambda''' = \frac{Q'''}{t} = 6,55 \text{ 1/час} \cdot 10^{-5}$.

Аналогично, вероятность отказа двухканального привода составит:

$$Q'' = 1 - [P_K^2 + 2P_K \cdot P_{ВСК} (1 - P_K)] = Q_K^2 + 2Q_K \cdot q - 2Q_K^2 \cdot q$$

Для тех же условий: $Q'' = 11,98 \cdot 10^{-5}$ и $\lambda'' = 2,4 \text{ 1/час}$; т.е. выигрыш от применения двухканального привода только в плане надежности, как отношение вероятностей отказов, составит:

$$\frac{32,74}{11,98} = 2,73 \text{ раза}$$

Полученная оценка, конечно, существенно изменяется при варьировании исходных данных по $P_K(t)$ и $P_{ВСК}(t)$.

В 2.1 показано, что в асимметричном двухканальном приводе определить любой, по крайней мере первый, отказ можно по алгоритму отказов (2.1). Рассмотрим некоторые особенности реализации этого алгоритма.

Потенциометрическая обратная связь (ПОС) в резервном канале осуществляется с помощью потенциометрического моста (Рис. 2.4). Особенность моста заключается в том, что ложный сигнал, отличный от нуля, на его выходе может появиться только в случае обрыва его питающих цепей (жирные линии). Если эти цепи целы, то на входе датчика Д, который является принадлежностью ВСК, напряжение равно нулю. В противном случае напряжение на его входе станет равным $U/2$, датчик сработает (появится сигнал Д) и отключит резервный канал. Таким образом, можно считать, что на выходе моста в любом случае напряжение появится только при реальном рассогласовании движков в исправном приводе.

Значительный ресурс основного канала обеспечивается применением асинхронного двигателя и ПОС с помощью бесконтактных сельсинов. Высокая надежность резервного канала обеспечивается применением серийного ДПТ с расщепленной обмоткой и последовательно включенной муфтой У2.

Однополюсный реверс – это одна из самых надежных схем управления, исключающей активный отказ.

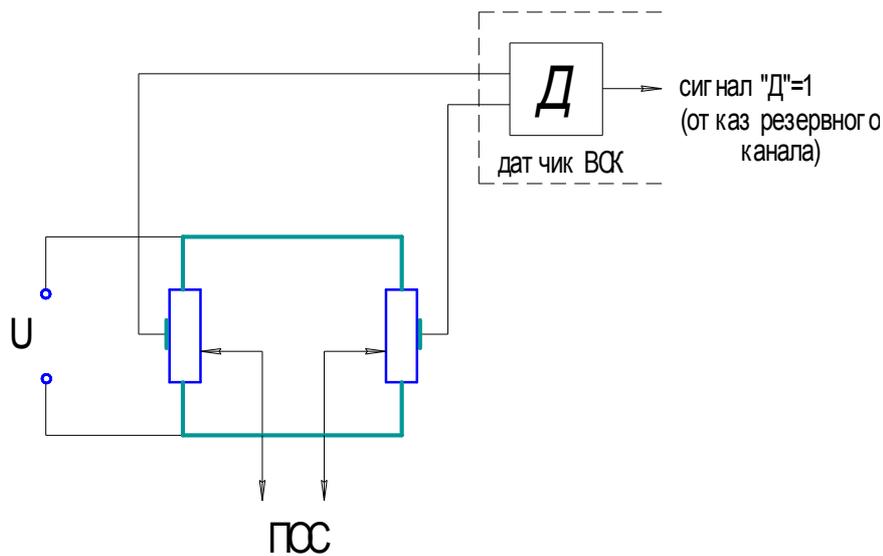


Рис. 2.4 Потенциометрический мост резервного канала

2.3 Схемно-технические мероприятия по повышению надежности релейного позиционного привода

Известно, что самый опасный вид отказа – это активный отказ, когда выходной вал неуправляемого привода перемещается с максимальной скоростью. Такой отказ может возникнуть либо по «вине» датчика обратной связи (сельсина), либо по «вине» части канала от СП до разветвления на две цепи, обеспечивающих реверсирование (точка А на Рис. 2.5).

Отказ в одном плече двухцепевой части канала (правее т.А) не может привести к активному отказу в приводе, т.к. исправное плечо, благодаря позиционной обратной связи, откроется, и электродвигатель будет включен на два направления, т.е. его обмотки будут замкнуты, что соответствует режиму динамического торможения. Выходной вал будет заторможен. Надежность сельсинной пары можно повысить путем соединения нейтральных выводов СД

и СП. Что касается электронного тракта, то первая задача заключается в том, чтобы точку разветвления сместить как можно ближе к началу тракта влево. Корректирующее устройство, построенное на операционном усилителе, таит в себе опасность самопрокидывания (отказ операционного усилителя, заключающийся в том, что на его выходе появляется неуправляемое максимальное напряжение какого-либо знака). Поэтому корректирующее устройство необходимо изготовить в двух экземплярах и разместить правее разветвления.

Цепь же, расположенная левее разветвления, не должна обладать свойством самопрокидывания. Для этого необходимо выполнить следующие условия (Рис. 2.5):

1. Между УПТ и ФЧВ установить трансформатор со средней точкой;
2. ФЧВ строить на двух аналоговых ключах, а не на операционных усилителях, обладающих свойством самопрокидывания;
3. Активный фильтр Φ должен строиться с учетом исключения последствий самопрокидывания операционного усилителя. Это может быть достигнуто путем установки в нем двух конденсаторов, защищающих последующие цепи от постоянной составляющей (см. Рис. 2.6).
4. С целью предотвращения ложного отказа “по вине” ВСК (3-е и 4-е слагаемое алгоритма) входные цепи ВСК резервного канала следует мажорировать (см. Рис. 2.1 и Рис. 2.7).

На основании произведенного анализа можно сделать выводы о том, что задачу повышения надежности позиционного привода следует решать комбинированным методом, используя различные способы, а именно:

- a) применяя поканальное резервирование;
- b) переходя от трехканальной схемы резерва к двухканальной, доказав её живучесть;
- c) разделив источники питания строго поканально;
- d) применяя бесконтактные элементы в основном канале;

- е) используя высоконадежную схему включения двигателя в резервном канале;
- ф) исключая активный отказ в основном канале схемным путем, что может быть достигнуто даже в случае потери резерва.

Выходной усилитель (см. Рис. 2.1, Рис. 2.5 и Рис. 2.6) содержит в своем составе УПТ, ФЧВ и Ф (фильтр). Контрольная информация об ошибке основного канала (θ_0) снимается с фильтра, к которому в интересах надежности предъявлены определенные требования. Выполнять эти требования пришлось, к сожалению, за счет введения конденсаторов С1 и С2, что привело к резкому увеличению внутреннего выходного сопротивления фильтра. Поэтому цепь θ_0 , поступающая в ВСК, должна иметь большое входное сопротивление, например, за счет повторителя напряжения на операционном усилителе (ОУ). Особое внимание уделяется исключению ложных сигналов об отказах.

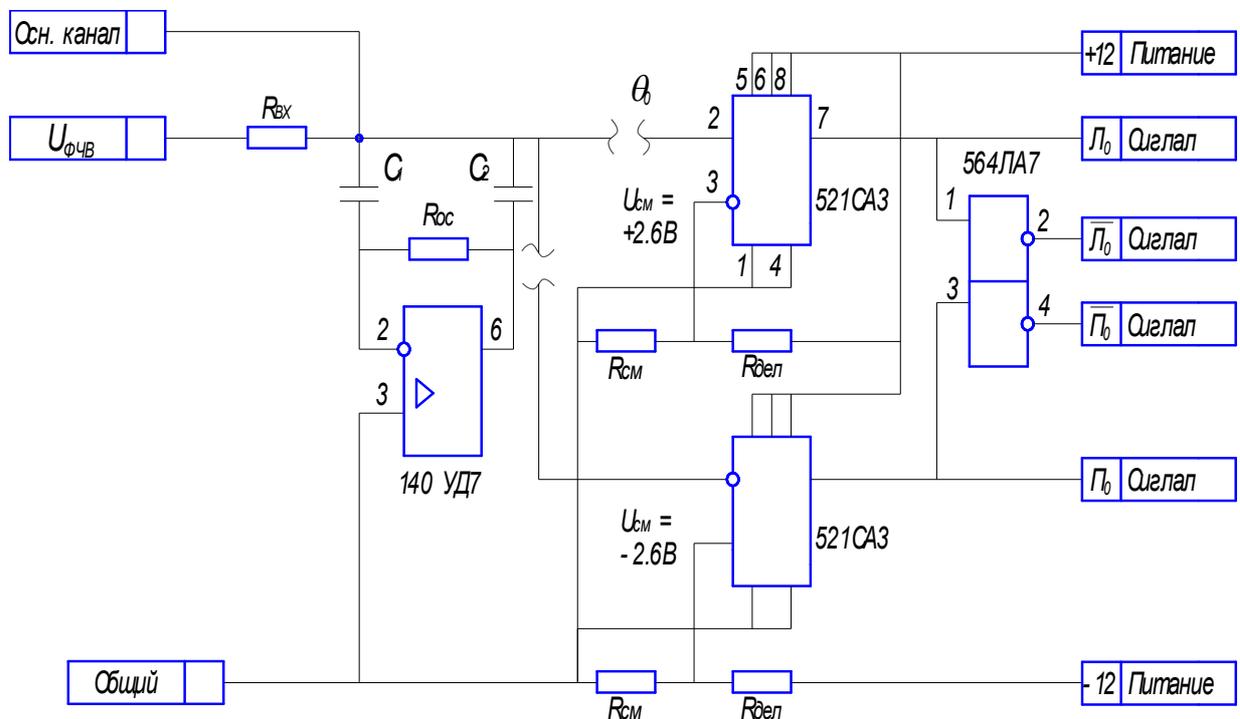


Рис. 2.6 Сопряжение основного канала и ВСК.

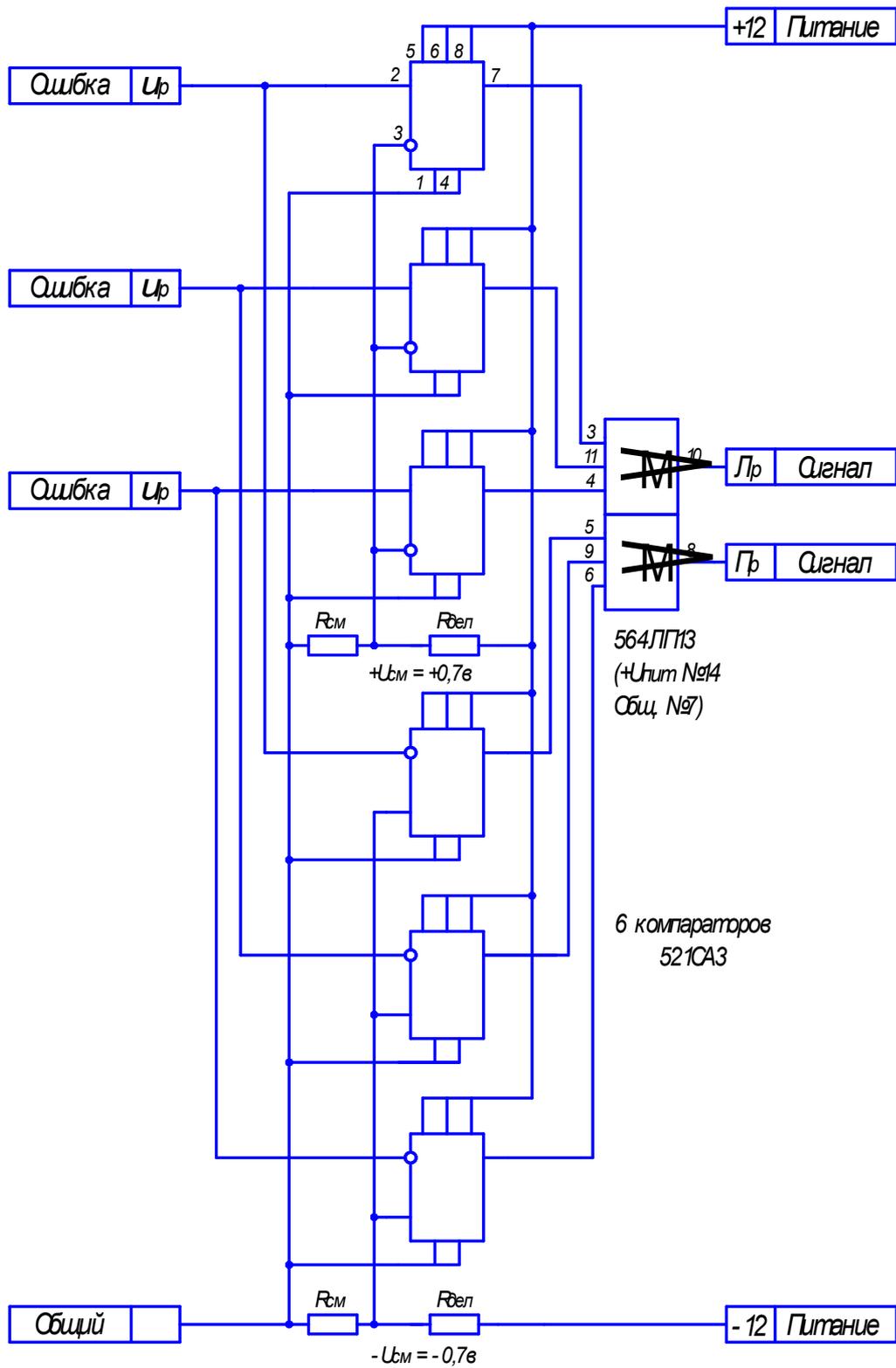


Рис 2.7 Контрольная зона резервного канала (мажоритар)

Так, с целью не допустить накладки рабочих (χ_o , χ_p) и контрольных L_o (P_o), L_p (P_p) зон и, как следствие, «ложный отказ» в ВСК, половина контрольной зоны L_o (P_o), должна быть заведомо шире половины зоны нечувствительности тракта управления χ_o , также как L_p и P_p должны быть заведомо шире половины зоны нечувствительности резервного канала χ_p .

На основании результатов испытаний и опыта эксплуатации можно принять за основу:

1. Зона нечувствительности тракта управления основного канала:
 $\chi_o = \pm 10$ угловых минут, резервного канала: $\chi_p = \pm 30$ угловых минут.

2. Контрольный сигнал в ВСК: $L_o, P_o = \pm 1^\circ$

$$L_p, P_p = \pm 2^\circ$$

Эти величины измеряются относительно выходного вала φ_c .

2.4 Расчет основных параметров канала ВСК привода

2.4.1 Расчет дифференцирующего устройства и компараторов критической скорости

Алгоритм отказов в двухканальном приводе представляет собой логическую функцию, состоящую из пяти дизъюнкций (логических слагаемых). Четыре из них - конъюнкции, логические произведения двух аргументов. Сигналы $L_{осн}$, $P_{осн}$, $L_{рез}$, $P_{рез}$ (см. обозначения к рис. 2.1) формируются в соответствующих каналах с помощью троированных, а затем мажорированных, соответственно смещенных, компараторов.

Сигналы скорости $\bar{\Omega}_d$ и $\bar{\Omega}_d$ формируются путем дифференцирования напряжения, снимаемого с движка сигнального потенциометра, установленного на выходном валу исполнительного механизма. Этот сигнал приводится к критическому уровню с помощью смещенных компараторов.

Рассчитаем дифференцирующее устройство (ДУ), приведенное на рис. 2.8, используя п.п. 4,7 – 11 технических требований к приводу (см. раздел 2.1) и учебное пособие [], стр.65.

Решение:

а) Определим максимальный темп изменения входного напряжения ДУ (U_e), снимаемого с движка сигнального потенциометра, при перебросе выходного вала с максимальной скоростью:

$$\frac{dU_e}{dt} \max = \frac{U_{II} \cdot \varphi_c^{\max} \cdot i}{t_{II} \cdot \varphi_{II}} = \frac{40B \cdot 100^\circ \cdot 3}{2c \cdot 330^\circ} = 18,2 B/c$$

$$\text{В этом случае } \frac{dU_e}{dt} \text{ крит} = 18,2 \cdot 0,25 = 4,55 B/c$$

б) Для повышения эффекта дифференцирования (см. [], с.65, 66) введем положительную обратную связь. Однако, во избежание релейного эффекта при работе в широком диапазоне температур, нельзя увлекаться усилением

обратной связи, установив разумный предел: $A \leq 10$. Это означает что $\frac{R_2 \cdot R}{R_1 \cdot R_{oc}}$ в выражении (3.8), [1] не должно превышать значения 0,9. Если принять $R_1 = R_2$,

то $R_{oc} = \frac{R}{0,9}$. Пусть $R = 51kOm$, а $C = 3,3mk\Phi$ ($\kappa 10-47в-25-3,3mk\Phi \pm 20\%-H49$),

конденсатор изготовлен под печать с размерами (см. рис. 2.8.а). Тогда

$$R_{oc} = \frac{R}{0,9} = \frac{51kOm}{0,9} = 56,7kOm \text{ (принимаем ближайшее в 10\% ряду значение}$$

56кОм).

Окончательно: $U_a^{\text{крит}} = \pm T \cdot \frac{dU_e^{\text{крит}}}{dt} \cdot A$ (3.8 из [1]), где $T = R \cdot c$, $A = \frac{1}{1 - \frac{R_2 R_1}{R_1 R_{oc}}}$

$$U_a^{\text{крит}} = \pm 51kOm \cdot 3,3mk\Phi \cdot 0,25 \cdot 18,2 B/c \cdot \frac{1}{1 - \frac{51kOm}{56kOm}} \cdot \frac{1}{1000} = \pm 8,5B$$

Таким образом, критической скорости выходного вала $\Omega_c^{\text{крит}} = \pm 0,25 \cdot \Omega_c^{\max}$ соответствует напряжение на выходе дифференциального устройства $U_a^{\text{крит}} = \pm 8,5B$, что должно соответствовать порогу срабатывания компараторов на левое и правое вращение, соответственно. При этом, если скорость выходного вала меньше $\Omega_c^{\text{крит}}$, то на выходе компараторов значения $\bar{\Omega}_{II} = 1$ и $\bar{\Omega}_{II} = 1$, соответственно.

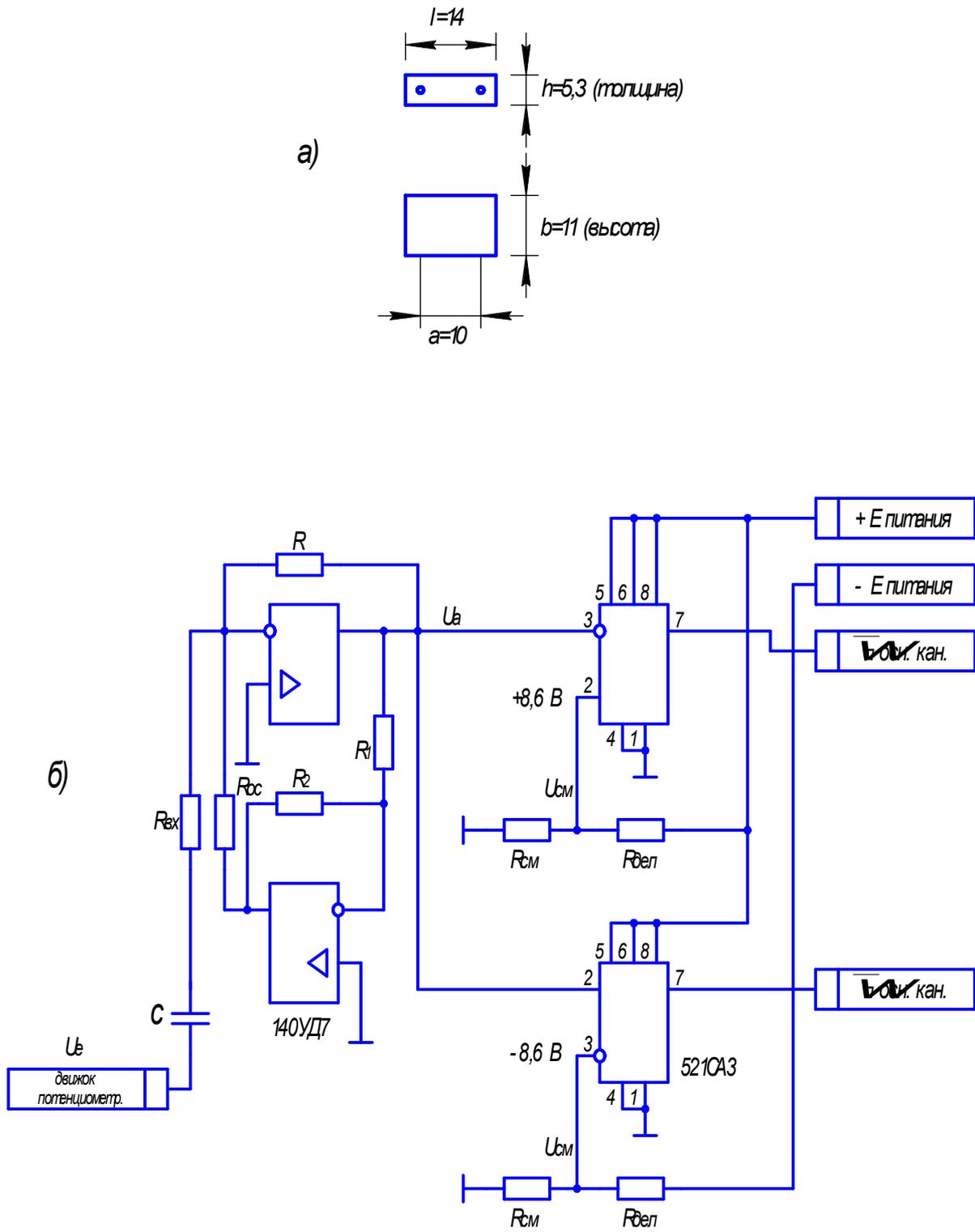


Рис. 2.8 Дифференцирующее устройство совместно с компараторами критической скорости

Дифференцирующие устройства и компараторы, сигналы которых приведены к логическому уровню, изображены на рис. 2.8.б)

Порог срабатывания компараторов устанавливается с помощью резисторов $R_{см}$ и $R_{дел}$. Компаратор опрокинется при $U_a \approx U_{см}$, поэтому напряжение $U_{см}$

должно быть выбрано равным $U_a^{крит}$ или $\pm U_{см} = E_{ПИТ} \frac{R_{см}}{R_{дел} + R_{см}} = U_a^{крит}$, или

$$R_{см} = R_{дел} \frac{U_a^{крит}}{E_{ПИТ} - U_a^{крит}}.$$

Если $R_{дел}$ выбрать равным 12кОм, то $R_{см} = 12кОм \frac{8,5В}{12В - 8,5В} = 29,4кОм$.

Выбираем из 10% ряда (см. с.60) – 30кОм.

Реальный порог опрокидывания составит

$$U_a = \frac{30кОм}{12кОм + 30кОм} \cdot 12В = 8,6В$$

2.4.2 Расчет логико-цифровой части ВСК

В исправном приводе при исправном ВСК логическая формула отключения (5.1) по п.1 технических требований набраться не должна. Однако в реальном приводе возможно такое движение входного вала (рис. 2.9), при котором ошибка (рассогласование) будет периодически достигать величины, достаточной для опрокидывания датчика $L_{осн}$ и $P_{осн}$. При этом скорость не успеет достичь величины $\Omega_c^{крит} = \Omega_c^{max} \cdot 0.25$, и сигнал отказа поступит на вход накопителя, входящего в состав ВСК, и начнет работать задержка на отключение основного канала ($\tau_{осн}$). Если сигнал на накопителе не успеет “сброситься” во время паузы до исходного уровня, то, накапливаясь, этот сигнал достигнет уровня уставки, и произойдет ложный отказ. Это явление назовем “эффектом накопления”. Устранить этот эффект можно либо путем закругления контроля, что естественно, нежелательно, либо путем замены аналоговой задержки цифровой. Во втором случае “сброс” накопления может быть произведен за время менее одной микросекунды, т.е. практически мгновенно.

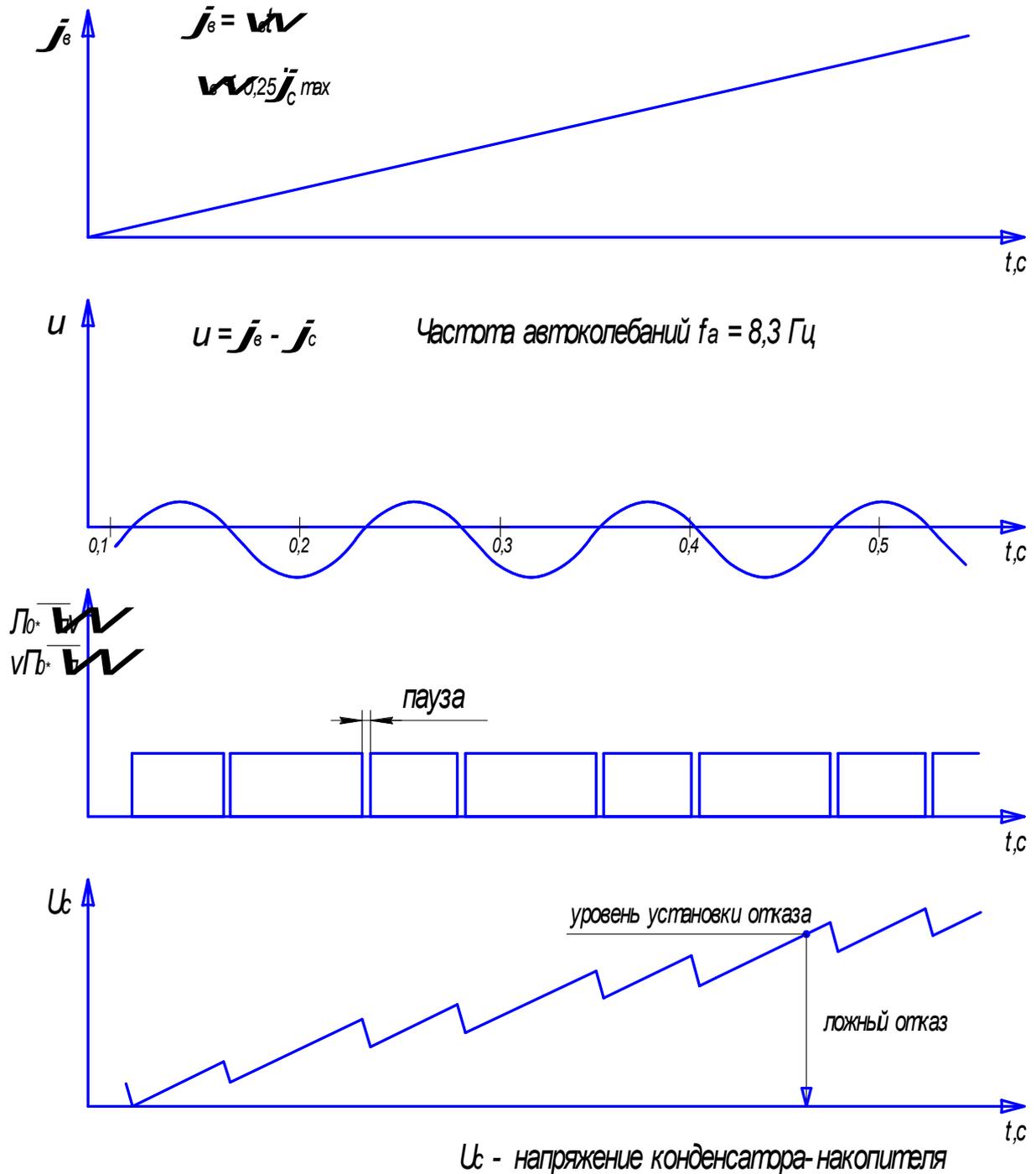


Рис. 2.9 Эффект накопления в аналоговом ВСК. Ложный отказ.

Если аналоговое исполнение задержки ($\tau_{осн}$ и $\tau_{рез}$) производится с помощью RC-цепи, заранее предполагая при этом, что задержка сигнала будет происходить как при заряде, так и при разряде конденсатора, то цифровая задержка предполагает применение счетчикового преобразователя,

обеспечивающего мгновенный “сброс” накопления. Кроме того, в отличие от аналоговой задержки, в которой необходимы два устройства для организации двух видов задержек ($\tau_{осн}$ и $\tau_{рез}$), цифровая задержка позволяет для решения той же задачи обойтись одним счетчиком. Для этого необходимо разработать логику реализации выражения (2.1) п.1 технических требований. Устройство должно быть реализовано на мк/сх 564 серии, иметь 9 входов по числу аргументов в выражении (2.1) и 3 выхода: 1) запуск генератора и растормаживание счетчика; 2) управление задержкой $\tau_{осн}$; 3) управление задержкой $\tau_{рез}$.

Логический расчет и синтез схемы произведем, применяя правила формальной логики:

$$L_{осн} \cdot \bar{\Omega}_{л} \vee P_{осн} \cdot \bar{\Omega}_{п} \vee \bar{L}_{осн} \cdot L_{рез} \vee \bar{P}_{осн} \cdot P_{рез} \vee D =$$

$$= \overline{\overline{L_{осн} \cdot \bar{\Omega}_{л}} \cdot \overline{P_{осн} \cdot \bar{\Omega}_{п}} \cdot \overline{\bar{L}_{осн} \cdot L_{рез}} \cdot \overline{\bar{P}_{осн} \cdot P_{рез}}} \vee D$$

Реализация последнего выражения (см. рис. 2.10):

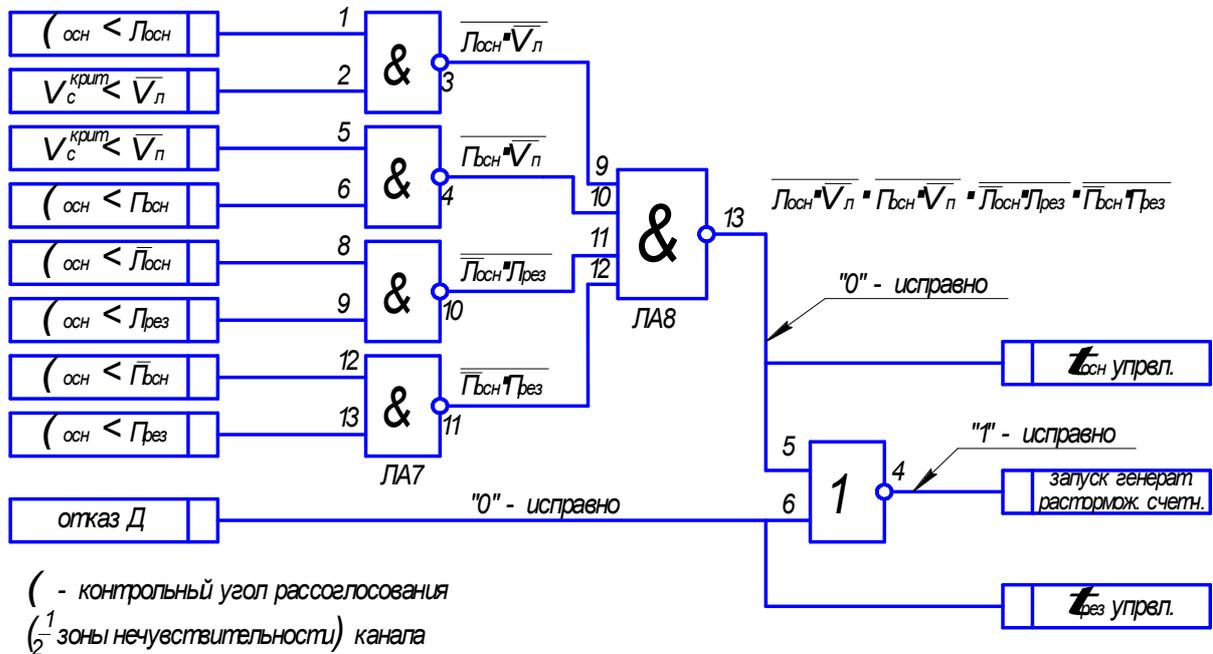


Рис. 2.10 Схема управления счетчиковым преобразователем

В соответствии с ТЗ (пп. 2 и 3) необходимо рассчитать и разработать

цифровую схему задержки отключения основного и резервного каналов.

Исходя из п.п. 2 и 3 технических требований, принимаем:

$$\tau_{осн} = 0,45с; \quad \tau_{рез} = 85мс$$

Если использовать минимальный 4-х разрядный двоичный счетчик, емкость которого составляет $N_{\Sigma} = 2^4 - 1 = 15$, то удобно, исходя из минимальных

аппаратных затрат, использовать $N_{рез} = 12$, т.е. $T_{ГИ} = \frac{\tau_{рез}}{N_{рез}}$

$$\text{Согласно [1]} \quad \tau_{ГИ} = RC = \frac{T_{ГИ}}{0,8} = \frac{\tau_{рез}}{0,8 \cdot N_{рез}} = \frac{85мс}{0,8 \cdot 12} = 8,854мс$$

$$\text{Пусть } R=75кОм, \quad C = \frac{T_{ГИ}}{R} = \frac{8,854мс}{75кОм} = 0,118мкФ$$

Принимаем: $C=0,12мкФ$

$$\text{Окончательно: } T_{ГИ} = 0,8 \cdot \tau_{ГИ} = 0,8 \cdot 75кОм \cdot 0,12мкФ = 7,2мс$$

$$\tau_{рез} = N_{рез} \cdot T_{ГИ} = 12 \cdot 7,2мс = 86,4мс$$

Определим, на какое число должен реагировать дешифратор, чтобы задержка на отключение основного канала была бы в заданных пределах, т.е.

$$\tau_{осн} \approx 0,45с; \quad N_{осн} = \frac{\tau_{осн}}{T_{ГИ}} = \frac{450мс}{7,2мс} = 62,5$$

Это число может быть воспроизведено на 8-и разрядном двоичном счетчике.

Удобно выбрать шестой разряд ($2^6=64$), т.е. $N_{осн} = 64$.

$$\text{Окончательно: } \tau_{осн} = N_{осн} \cdot T_{ГИ} = 64 \cdot 7,2мс = 461мс.$$

Цифровая задержка на отключение неисправного канала изображена на рис.2.11. Алгоритм работы счетчика 564ИЕ10 указан в таблице 2.1.

Запуск счетчика осуществляется “единицей”, воздействуя на вход СЕ его первой половины (1-я строка таблицы), торможение на текущем такте – “нулем” (5-я строка таблицы). Сброс счетчика в “нуль” производится “единицей”, воздействуя на входы R (7-я строка таблицы). Таким образом, чтобы запустить задержку на отключение канала, необходимо снять двойную блокировку: подать на входы R “нуль” и таким же “нулем” запустить ГИ. Одновременность запуска ГИ позволяет исключить ошибку квантования, что обеспечивает высокую степень точности времени задержки.

Управление ГИ осуществляется с помощью двух микросхем ДД1.1 и ДД1.4. Останов ГИ осуществляется “единицей”, при этом целостность тракта не нарушается.

Цифровая задержка на отключение отказавшего канала имеет ощутимые преимущества перед аналоговой задержкой, построенной на цепочках РС.

Задержка на отключение отказавшего основного канала и задержка на отключение резервного канала значительно отличаются по времени. И, если аналоговая задержка построена в двух экземплярах по числу каналов, то цифровую задержку можно построить одну на оба канала. Это обстоятельство обеспечивает выигрыш аппаратурного канала.

Цифровая задержка имеет двойную блокировку на включение, что предотвращает ложный отказ вследствие “гонок” (“состояний”) в цепях логики или вследствие неизбежных помех.

Ложный сигнал на отключение может возникнуть в исправном приводе при неблагоприятном сочетании параметров привода и параметров контроля аналогового типа (см. “эффект накопления”). При аналоговом ВСК этот недостаток приходится компенсировать путем закругления контроля, что, естественно, нежелательно. В цифровом ВСК эта задача решается путем “сброса” счетчика в ноль практически мгновенно.

На основании вышеизложенного можно заключить, что цифровой контроль позволяет повысить его точность и надежность.

2.5 Контроль позиционной обратной связи резервного канала

Позиционная обратная связь (ПОС) в резервном канале осуществляется с помощью потенциометров, соединенных в виде моста (рис. 2.12)

Особенность моста заключается в том, что ложный сигнал, отличный от нуля, на его выходе (щетки) может появиться только в случае обрыва его питающих цепей (жирных линий). Если питающие цепи целы, то на входе датчика “Д”, который является принадлежностью ВСК, напряжение равно нулю. В противном случае напряжение между средними точками потенциометра будет отличаться от нуля. Мост совместно с чувствительными элементами изображен на рис. 2.12. Если пренебречь падением напряжения на диодах выпрямительного моста, то, в случае обрыва питающей цепи, напряжение U_D может быть вычислено следующим образом (рис. 2.13).

$$U_D = 40V \cdot \frac{10k\Omega + 1k\Omega}{2k\Omega + 16k\Omega + 10k\Omega} = 15,64V$$

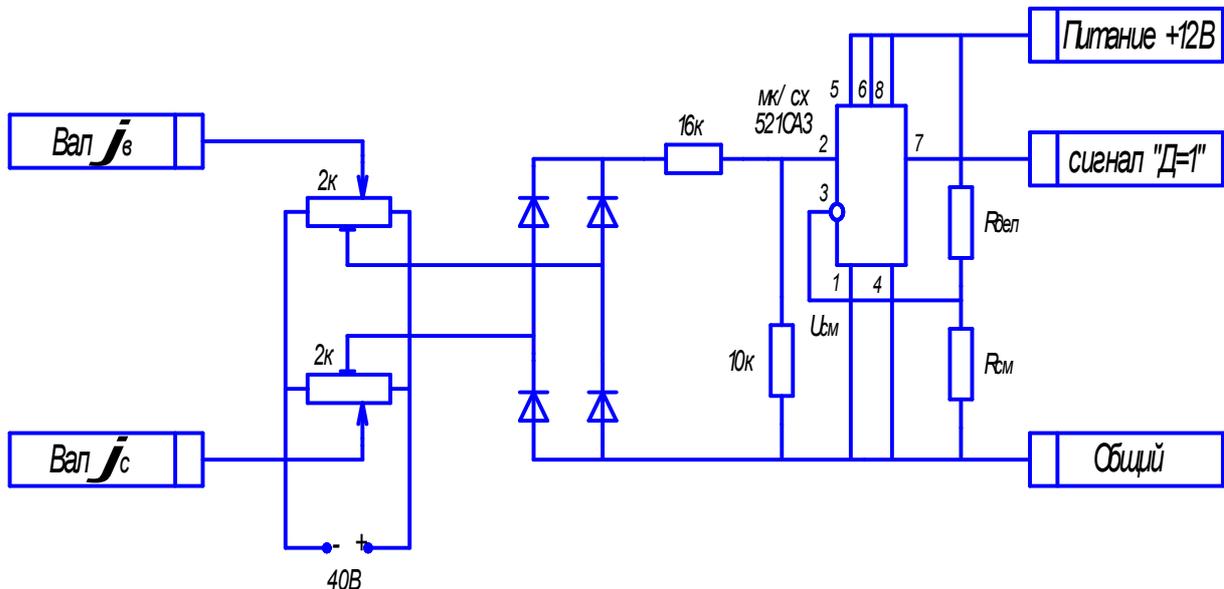


Рис. 2.12 Контроль ПОС-П с использованием мк/сх 521CA3

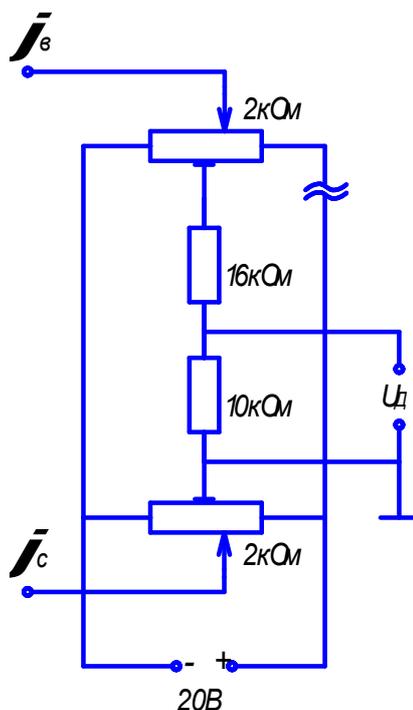


Рис. 2.13 Эквивалентная схема

Если принять (рис. 2.10): $R_{окл} = 12кОм$

$R_{см} = 9,1кОм$, то

$$U_{см} = 15,64В \cdot \frac{9,1}{21,1} = 6,8В, \text{ т.к.}$$

$U_{см} = 15,64 > 3,4В$, операционный усилитель (компаратор) гарантированно опрокинется, и сигнал “Д” в виде “единицы” уйдет в регистрирующую аппаратуру.

Таким образом, схема резервного канала, входящая в состав асимметричного двухканального резервированного привода, включая ВСК (рис. 2.1), построена таким образом, что любая неисправность в этом канале не может привести к активному отказу. Исключение составляет возможный обрыв питающих цепей потенциометрического моста резервного канала (рис. 2.4 – жирные линии). В этом случае в наикратчайшее время ($\tau_{рез}$) необходимо отключить резервный канал.

Учитывая все вышеизложенное (включая все материалы о надежности

основного канала) можно сделать заключение о том, что любая первая неисправность в приводе не может привести к потере его работоспособности; любая вторая неисправность не может привести к активному отказу.

Это теоретически обосновано и подтверждено многочисленными заводскими, стендовыми, моторно-стендовыми, летными и эксплуатационными испытаниями на самолетах Ан-225, “Буран”, Су-30.

Глава 3. Кинематическая и электрическая схемы, конструкция электромеханизмов типа МРД-115 систем СДУ-115 и СДУ-30

3.1 Общие сведения о системах и электромеханизмах

Системы дистанционного управления СДУ-115, СДУ-30 предназначены для передачи электрическим способом сигналов управления расходом топлива АД от РУД к регулирующим органам АД. Принципиальным отличием дистанционных систем управления от систем передачи сигналов перемещения РУД с помощью тяг и тросов состоит в том, что сигналы управления от РУД передаются в зону АД электрическим способом (по проводам, а не по тягам).

Эти сигналы воспринимаются там электрическими измерительными устройствами (сельсинами или потенциометрами) и используются для управления специальными электромеханизмами (МРД), которые уже управляют непосредственно регулирующим органом расхода топлива АД (см. Рис. В1).

Это, с одной стороны, позволяет управлять автономно каждым из АД, оптимально задавая режим его работы, устраняя, в частности, погрешность в передаче сигналов управления, вносимую тягами ввиду нелинейности их характеристик при воздействии изгибных колебаний, но, с другой стороны, требует установки комплекта дополнительных приводов, устанавливаемых около каждого АД, что, естественно, увеличивает массу системы. Кроме того,

для передачи от РУД и приёме в зоне АД электрических сигналов требуется установка в системе дополнительных измерительных устройств, поэтому в состав таких систем кроме самого механизма (МРД) и блока управления (БУ) входит механизм датчиков (здесь – типа МДТ), которые преобразуют угловые перемещения РУД в электрические сигналы (потенциометры и сельсины). Такие же комплекты потенциометров и сельсинов должны входить и в состав механизмов.

Для обеспечения требуемых показателей надёжности такие системы выполняются многоканальными (2 или 3 канала). Вопрос выбора числа каналов требует специального рассмотрения (о некоторых аспектах этой проблемы см. раздел 2.2) ввиду некоторых особенностей контроля позиционных приводов по сравнению со скоростными приводами, управляющими перемещением самих РУД по сигналам автоматов тяги. Дело в том, что в позиционных приводах, которые при отсутствии сигналов рассогласования неподвижны, не имеют основного характеристического признака состояния системы – скорости её ЭД. Это создаёт дополнительную трудность обнаружения с помощью средств ВСК отказавшего канала для его отключения, а аналогов простых и надёжных средств фиксации угловых положений валов ЭД, применительно к рассматриваемым авиационным механизмам, нет. Да и сами сельсины представляют собой довольно сложное устройство, дублирование которых затруднено, поэтому и к их надёжности предъявляются повышенные требования []. Далее рассматриваются конкретные двухканальные структуры, разработанные для самолётов класс Ан – 225 [, ,].

Анализ такой системы удобно начать с кинематической схемы (Рис. 3.1).

В состав механизма входят 2 ЭД (М1 – электродвигатель переменного тока АДУ – 10С и М2 – электродвигатель постоянного тока последовательного возбуждения Д10 – АРУ, каждый мощностью примерно по 10 Вт); пружинная муфта ограничения момента (см. Рис.), встроенная в цепь ДПТ (М1); необратимая муфта (см. Рис.), встроенная в канал асинхронного ЭД (М2); моментно-срывная муфта (см. Рис.) асинхронного ЭД (М2) на выходе

механизма, редуктора, концевых выключателей $S_1 \dots S_4$, сельсина В1 в канале переменного тока, потенциометра R1 в канале постоянного тока и пружинных механизмов, позволяющих в эксплуатации производить подстройку положений В1 и R1 при настройке системы. Более детальное описание работы этих элементов даны ниже.

Как видно из рисунка 3.1, механизм имеет 2 канала, каждый из которых через редуктор может передавать движения выходному валу по сигнала от механизма датчиков (МДТ) и общего блока управления приводом (БУП).

Основной канал оборудован ЭД переменного тока (М1), второй канал с ДПТ (М2) считается резервным и включается в работу в случае отказа основного. Оба канала в автоматическом режиме работают в следящем режиме. При этом канал постоянного тока имеет возможность работы в ручном режиме при нажатии из кабины кнопок " Б " (больше), " М " (меньше). При нажатии этих кнопок схема следящего режима работы отключается, и для возврата работы в следящий режим необходимо вращением РУД привести в соответствие положения приводного вала МДТ и выходного вала МРД. В соответствии с требованиями ЕНЛГС привод оборудован системой встроенного контроля (см. гл. 2) , выполняющей следующие функции:

- отключает основной канал при обнаружении в нём неисправностей и подключает резервный;
- отключает и резервный канал при обнаружении в нём неисправностей (управление при этом осуществляется вручную путём поворота выходного вала через срывную муфту);
- выдаёт сигналы о неисправностях;
- осуществляет систематический переход на резервный канал при пропадании переменного тока и автоматический возврат в следящий режим при восстановлении питания.

Основные технические данные системы

- Угол поворота выходного вала (φ_c) ограничен жесткими упорами на АД в

пределах $\varphi_{c \max} = 115^\circ$. При регулировке систем обеспечивается возможность дополнительного поворота РУД на $\Delta \varphi = 2^\circ$ при достижении вала МРД жестких упоров за счёт сжатия пружины моментно-срывной муфты. Этим достигается плотное прижатие выходного вала в крайнем положении.

- Время переключки привода до крайних положений составляет $\Delta t \leq 2$ сек.,

т.е. средняя скорость выходного вала $\dot{\varphi}_c = 115 / 2 = 57,5$ °/сек.

- Номинальная нагрузка на выходном валу

$$M_c = 40 \text{ кгс} \cdot \text{см} = 40 \cdot 9,8 \cdot 10^{-2} = 3,92 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- Статическая ошибка в отработке сигнала управления $\Delta \varphi \leq 1^\circ 30'$ (в основном канале) и $\Delta \varphi \leq 2^\circ$ (в резервном).

- Основной режим работы – автоматический, ПКР циклами 2 прокладки на $\Delta \varphi = 115^\circ$ и 14 переключок в диапазоне углов $\Delta \varphi = (30 \dots 100)^\circ$ за 1 час полёта. В ручном режиме – импульсное включение с прокладкой на углы $(30 \dots 100)^\circ$ с интервалами $\Delta t = 0,5$ с.

Технические данные электродвигателей:

- асинхронный двухфазный управляемый ЭД типа АДУ – 10 с конденсаторным возбуждением, выходной мощностью 10 Вт при питании напряжением 36 ± 4 В 400 Гц и скоростью вращения $n = 6500$ об/мин;

- двигатель постоянного тока типа Д10 – АРУ последовательного возбуждения, выходная мощность $P_2 = 10$ Вт при напряжении питания 27 ± 4 В, момент на валу – $0,9$ Н·см, частота вращения $\omega = 1130$ с⁻¹.

3.2. Кинематическая схема привода.

Электродвигатели основного и резервного каналов имеют различные частоты вращения ($n_2 = 6500$ об/мин и $n_1 = 11000$ об/мин), поэтому для обеспечения одинаковых скоростей выходного вала при работе различных каналов их кинематические цепи имеют различные передаточные отношения от ЭД ($i_2 = 879,91$, $i_1 = 1577,52$).

При этом скорость вращения, создаваемая каналами на выходном валу

составляет:

$$n_1^c = n_1 / i_1 = 11000 / 1577,52 = 6,97 \text{ об/мин или } (6,97 \cdot 360 / 60) = 41,82 \text{ } ^\circ/\text{с}$$

$$n_2^c = n_2 / i_2 = 6500 / 879,91 = 7,39 \text{ об/мин или } (7,39 \cdot 360 / 60) = 44,32 \text{ } ^\circ/\text{с}$$

Моментно – срывная муфта Г (см. рис. раздела 3.3) предназначена для блокировки на корпус солнечного колеса дифференциала в случае работы канала постоянного тока (от электродвигателя М1). Со стороны поводка 24 необратимая муфта передаёт вращение через ролики 23 поводку 20 в обе стороны.

При приложении крутящего момента со стороны поводка 20 происходит заклинивание роликов 23, чем обеспечивается блокировка поводка 20 на корпус 22. Заметим, что установка такой муфты в резервном канале с ДПТ (М1) не требуется, так как он оборудован муфтой торможения.

Дифференциал Д предназначен для передачи вращения на выходной вал 31 от обоих каналов:

- от основного канала через колёса 19 – 13 – сателлиты 18 – водило В0 – колёса 30 – 32

- от резервного через колёса 10 – 11 – сателлиты – водило ВО – колёса 30 – 32- ВВ – вал ЛОВВ – выходной вал.

Вращение с солнечного колеса 30 через сателлиты 32, водило ВВ передаётся на моментно-срывную муфту А.

Моментно-срывная муфта А предназначена для обеспечения необходимого поджатия при постановке выходного вала 31 на внешние жесткие упоры объекта, а также для обеспечения вращения выходного вала вручную в случае перехода на механическое (тросовое) управление.

Вращение от водила ВВ через кронштейн 1, выполненный заодно с водилом, рычаги, ролики 2, кольцо 6 передаётся на выходной вал 31. Вращение через вал 15, зубчатое колесо 14, разрезные зубчатые колёса 35, 36 передаётся на зубчатое колесо 34 потенциометра R1 и зубчатое колесо 37 сельсина В1. Передаточное число от вала 15 к валу сельсина В1, $i = 1 : 2, 6$, а к валу R1, $i = 1 : 1, 3$.

Потенциометр R1 служит для обеспечения позиционной обратной связи в системе при автоматическом управлении по резервному каналу постоянного тока (от электродвигателя M1).

Сельсин В1 служит для обеспечения позиционной обратной связи и системе при автоматическом управлении по основному каналу переменного тока (от электродвигателя M2). На валу 15 установлен блок кулачков 16, которые при вращении своими выступами через рычаги 33 воздействуют на кнопки концевых выключателей S1, S2, S3, S4.

Микровыключатели S1 и S2 предназначены для выдачи сигналов во внешние цепи.

Микровыключатели S3 и S4 включены в цепи обмоток возбуждения электродвигателя Д – 10АРУ и предназначены для его отключения при ручном электрическом управлении в крайних положениях выходного вала после установки его на внешние жесткие упоры.