

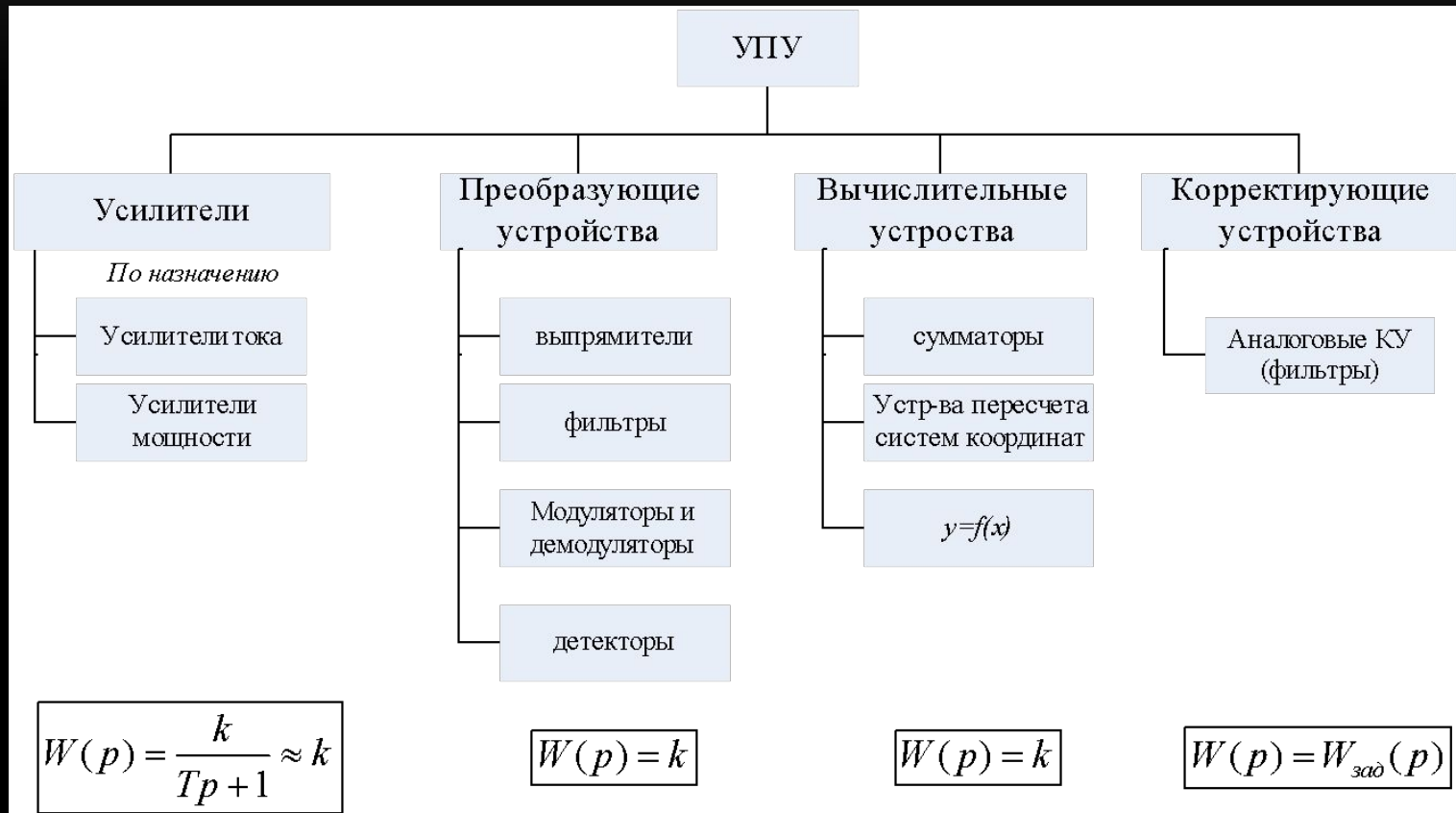
ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Раздел 2 Элементная база систем стабилизации

2.2 Усилительно-преобразующие и вычислительные устройства

2.2.1 Аналоговые устройства

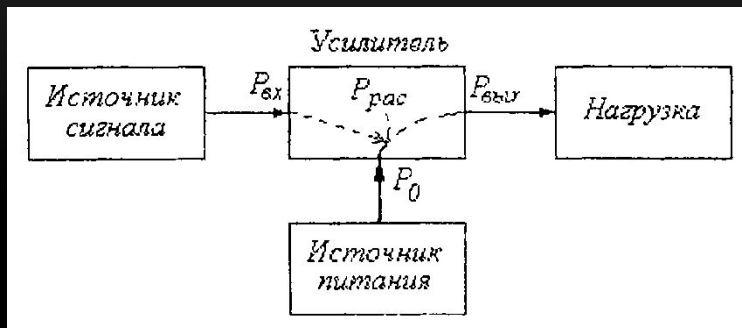
КЛАССИФИКАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ УПУ



КЛАССИФИКАЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ



ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Структурная схема

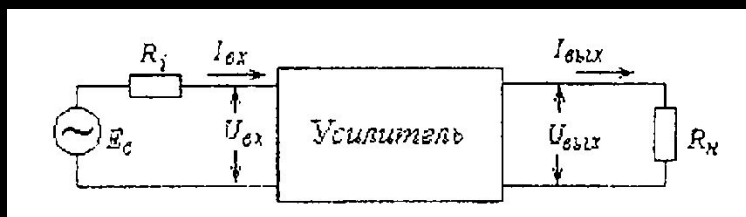
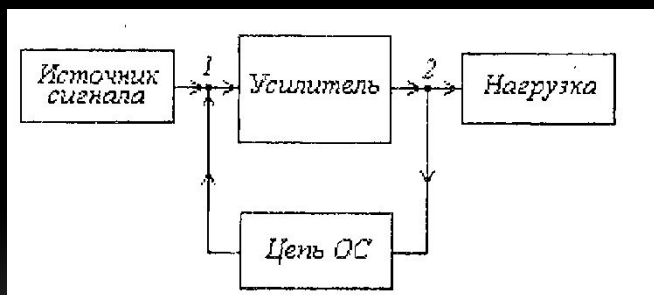


Схема подключения

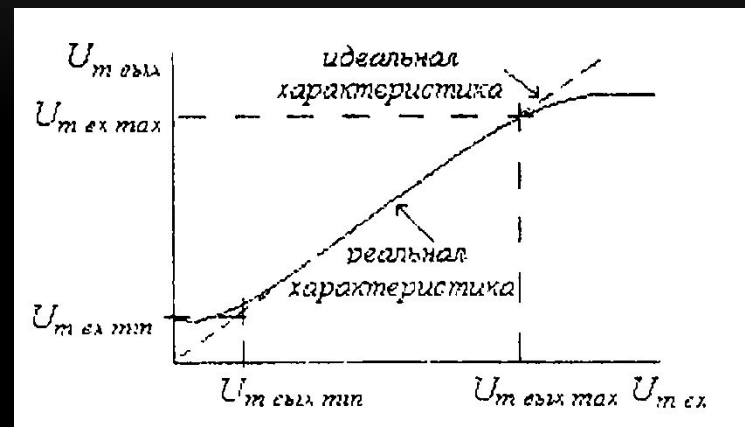
Использование ОС



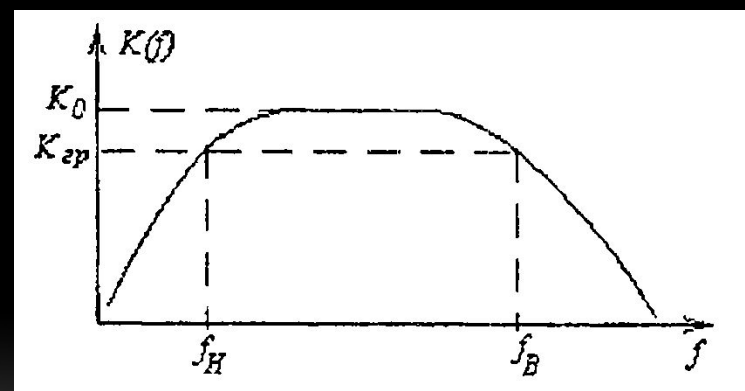
- К - Коэффициент усиления $U_{вых} = kU_{вх}$
- f – полоса пропускания
- Нелинейные искажения
- Шумы (фон, тепловой, наводки...)
- Энергетические характеристики: мощность выходного сигнала (номинальная, максимальная), мощность источника питания
- КПД

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЕЙ

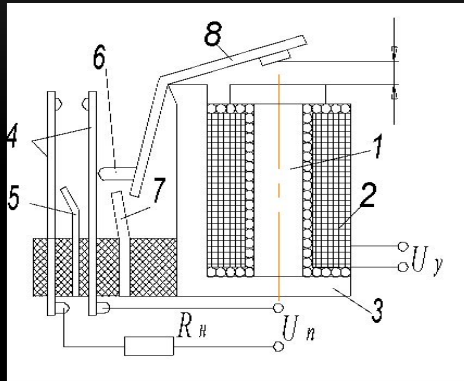
Амплитудная характеристика



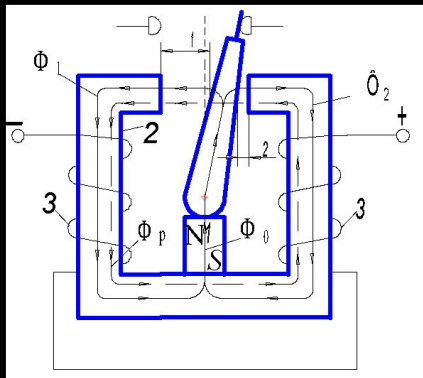
Амплитудно-частотная характеристика



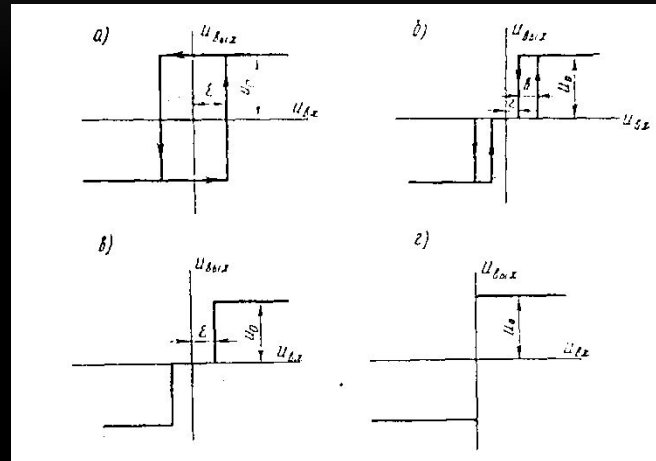
РЕЛЕЙНЫЕ УСИЛИТЕЛИ



Электромагнитное реле



Поляризованное реле



Характеристики релейных усилителей:
 а — характеристика с гистерезисной петлей;
 б — характеристика с гистерезисной петлей и зоной нечувствительности;
 в — характеристика с зоной нечувствительности;
 г — идеальная характеристика

$K \sim 10^6$
 $T \sim 0,1-1$ мс



СХЕМЫ РЕЛЕЙНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Схема релейного усилителя

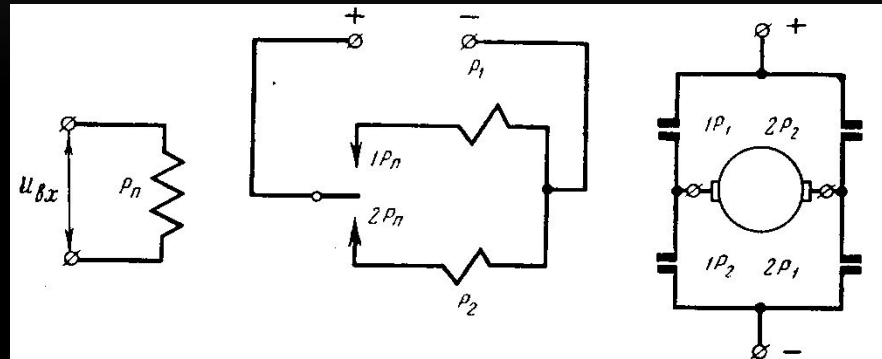
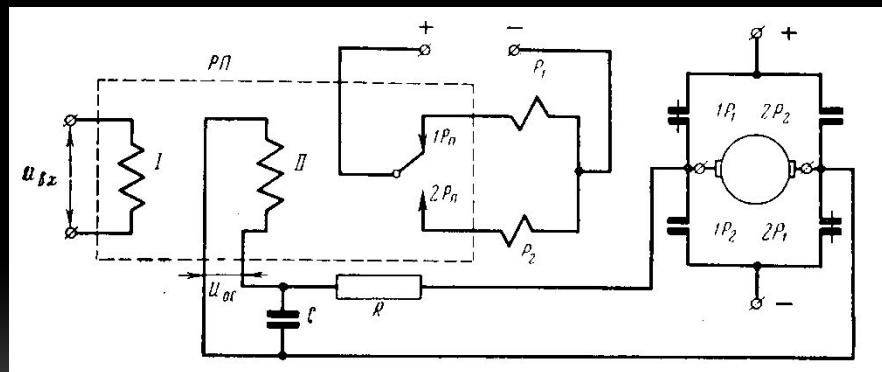
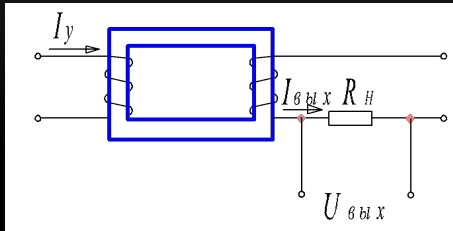


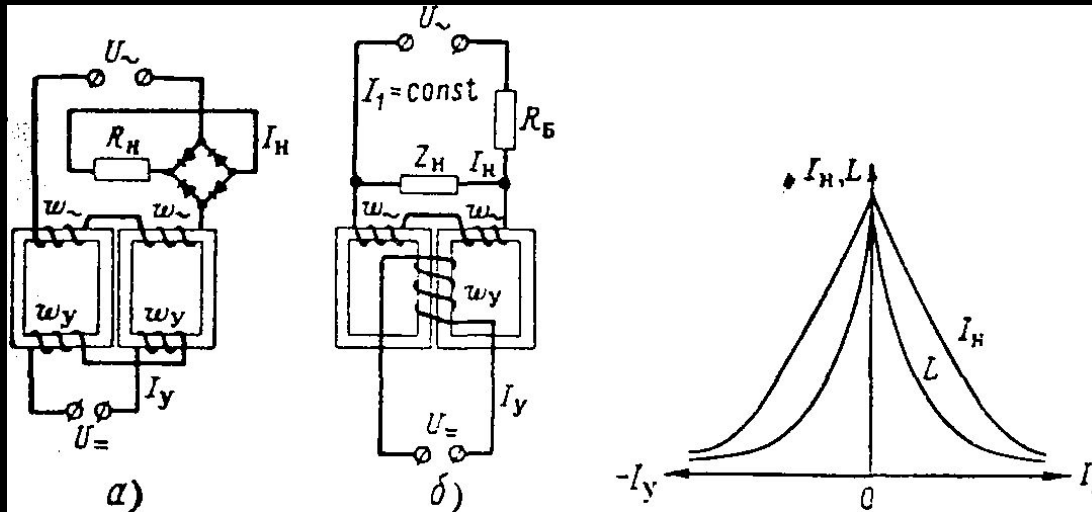
Схема релейного усилителя
с вибрационной линеаризацией



МАГНИТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ



$$TU_{\text{вых}} + U_{\text{вых}} = kU_{\text{вых}}$$

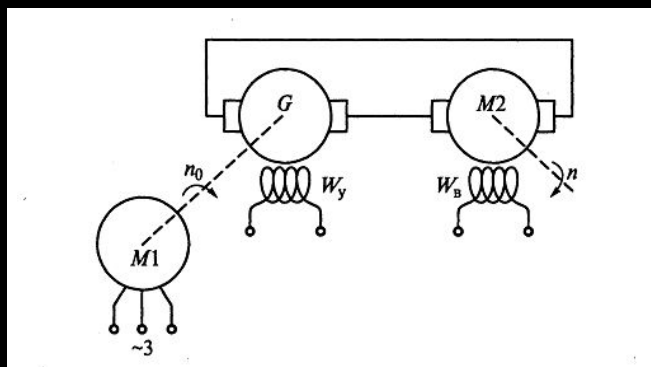
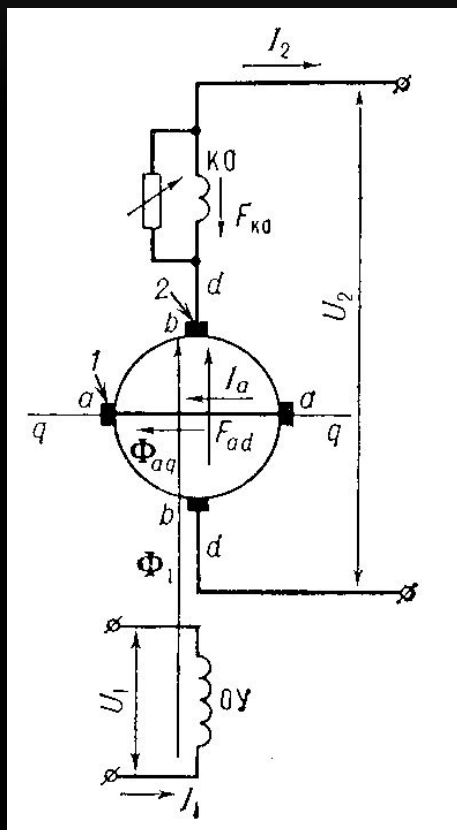


Схемы однотактных магнитных усилителей без обратной связи с последовательным (а) и параллельным (б) включением нагрузки

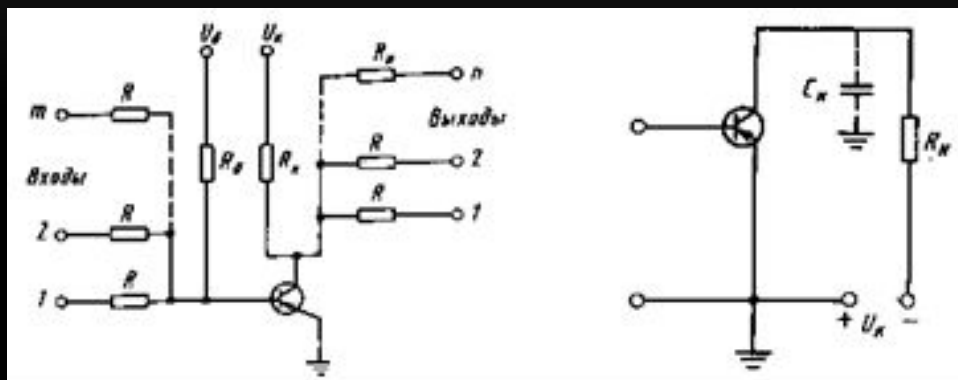
Характеристики однотактного магнитного усилителя с параллельно включенной нагрузкой.



ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ



Принципиальная схема релейного усилителя:
 $U_б, R_б$ - базовые напряжение и сопротивление;
 $U_к$ - напряжение на коллекторе;
 R_n — сопротивление нагрузки

Принципиальная схема
 однокантного релейного
 усилителя с линейной харак-
 теристикой: $U_к$ - напряжение
 на коллекторе

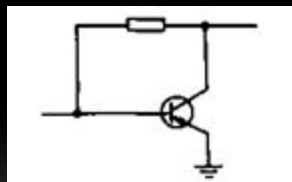
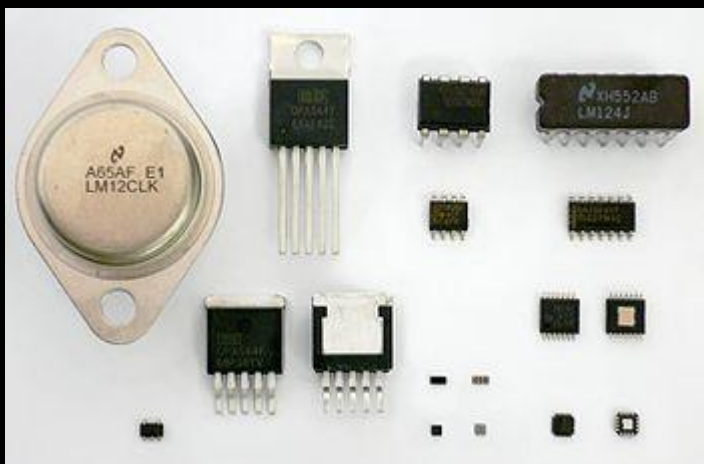


Схема подачи отрицательной
 обратной связи по напряжению

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ

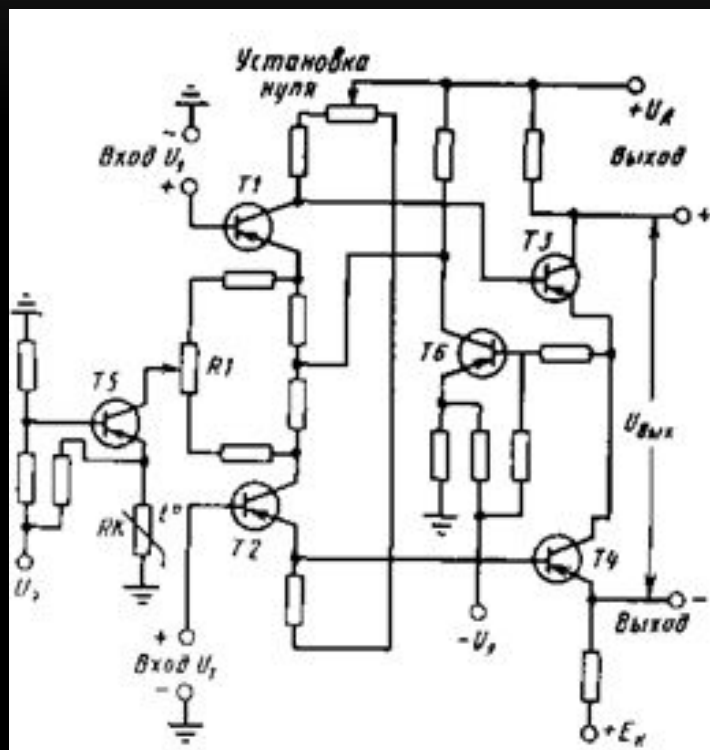


Схема двухконтактного усилителя постоянного тока с компенсацией температурного дрейфа нуля

СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ УСИЛИТЕЛЕЙ

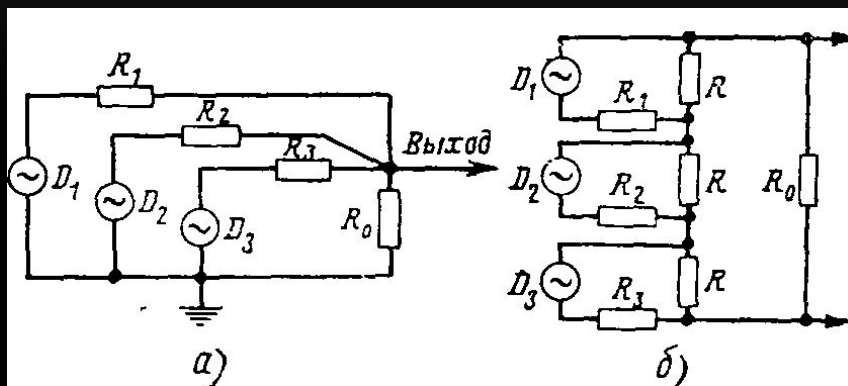
Тип	Достоинства	недостатки	применение
Электронные	относительно малый вес, габариты, стоимость, большое $R_{вх}$, стабильность характеристик, легки в настройке, большой K по напряжению	ограниченный срок службы, большой разброс параметров ламп, не экономичны по источникам питания (прогрев катода, высокое анодное напряжение), тепловыделение, малый КПД, малая надежность по ударам и перегрузкам, готовность к работе только после прогрева	усилители напряжения, предварительные каскады, усилители мощности до 70 Вт
Полупроводниковые	большой срок службы, малый вес, габариты, потребление энергии, экономичны по источникам питания, высокий КПД, вибростойки, готовы к работе сразу	нестабильность параметров в зависимости от нагрева и радиации, внутренние шумы	широкое, с учетом условий работы, усилители напряжения и мощности до 100Вт
Магнитные	очень надежны, вибро-, ударопрочны, работают как сумматоры, большой срок службы, высокая чувствительность, коэффициент усиления по мощности, КПД, Работает сразу после включения	Малое $R_{вх}$, большая инерционность, большая масса	широкое в любом назначении
Электро-машинные	очень большие коэффициенты усиления по мощности	очень инерционны ($T > 0.3с$), большая масса и размеры, ненадежны, малый КПД, малое $R_{вх}$	очень редко для управления мощными рулевыми приводами
Релейные	просты, надежны, имеют большой коэффициент усиления по мощности	возможность возникновения автоколебаний	управление интерцепторами, на больших мощностях с вибрационной линеаризацией
Усилители постоянного тока (операционные)	работает как сумматор, инвертор, активное корректирующее устройство	дрейф нуля	чаще всего как промежуточный усилитель, сумматор или в составе КУ

СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ УСИЛИТЕЛЕЙ

Класс усилителя	Вид усилителя	Коэффициент усиления по мощности	Постоянная времени в сек.
Полупроводниковые усилители	Усилительные каскады на постоянном токе	10^3-10^5	$10^{-6}-10^{-7}$
	Усилительные каскады на переменном токе	10^4-10^6	$10^{-3}-10^{-6}$
	Оконечные усилители мощности	10^2-10^3	$10^{-2}-10^{-4}$
Реле	Электромагнитное: обычное	10^2-10^6	$0,5-10^{-3}$
	поляризованное	$4*10^{-2}-2*10^3$	$10^{-2}-10^{-3}$
	Магнитоэлектрическое	10^3-2*10^4	$0,5-10^{-2}$
Магнитные усилители	С выходом на постоянном токе	10^3-10^4	$10^{-1}-10^{-2}$
	С выходом на переменном токе	10^4-10^5	$10^{-2}-10^{-3}$
	Быстродействующие	10^3-10^4	$10^{-3}-10^{-4}$
Электромашинные усилители	Обычный генератор	10^2-10^3	$1,0-10^{-2}$
	Генератор с самовозбуждением	10^2-10^4	$5*10^{-1}-10^{-2}$
	ЭМУ с поперечным полем	10^4-5*10^3	$10^{-2}-10^{-3}$
Гидравлические усилители	Дроссельные	10^4-10^6	$10^{-1}-10^{-2}$
	Струйные	10^3-10^4	$10^{-2}-10^{-3}$

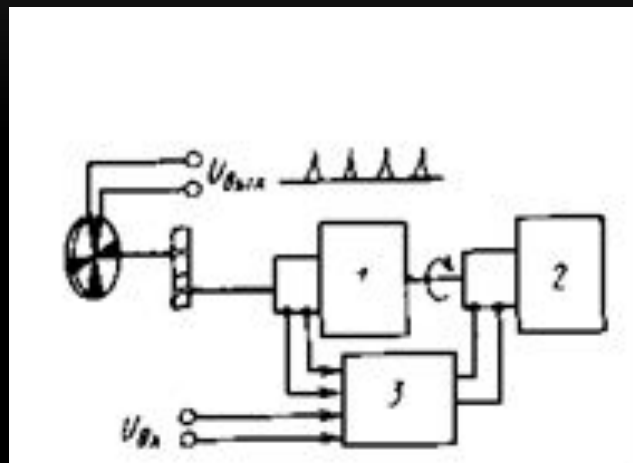
Вычислительные устройства

СУММАТОР



Омический сумматор напряжений с параллельным (а) и последовательным (б) включением датчиков

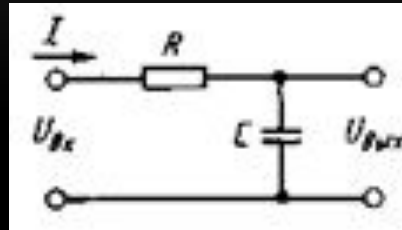
ИНТЕГРАТОР



Электромеханический интегратор

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

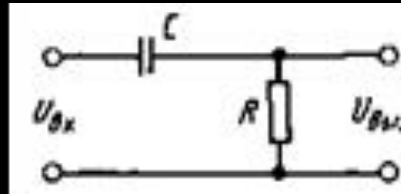
Интегрирующий RC-контур



$$U_{\text{вых}} = RI + \frac{1}{C} \int_0^t Idt; U_{\text{вх}} = \frac{1}{C} \int_0^t Idt$$

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{1}{Tp + 1}; T = RC$$

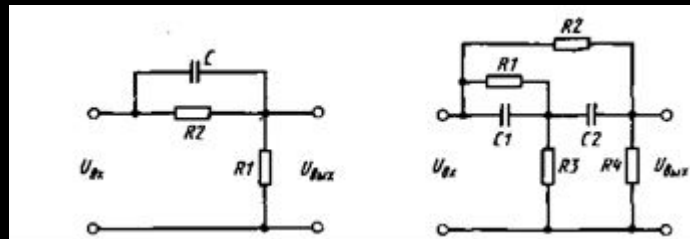
дифференцирующий RC-контур первого порядка



$$U_{\text{вх}} = RI + \frac{1}{C} \int_0^t Idt; U_{\text{вых}} = RI$$

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{Tp}{Tp + 1}; T = RC$$

дифференцирующий контур с пропорциональной составляющей 1 и 2 порядка

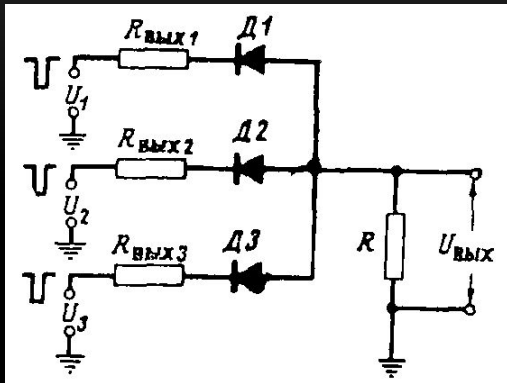


$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{k(Tp + 1)}{kTp + 1};$$

$$k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}; T = R_2 C$$

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{k(T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1)}{(\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)}$$

ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ



Диодная схема «ИЛИ»

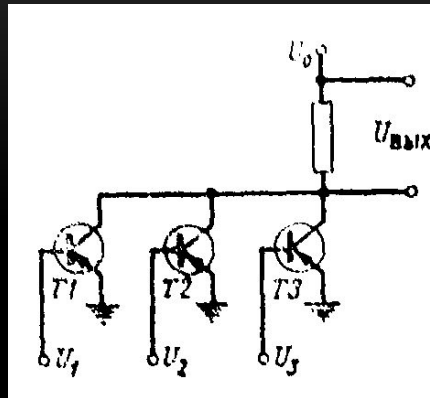


Схема «ИЛИ» на транзисторах

Диодная схема типа «И»

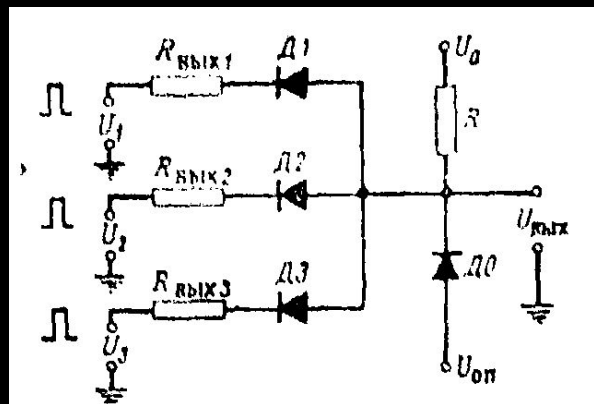
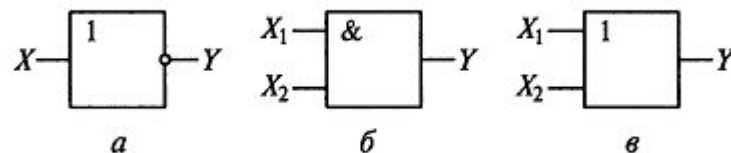
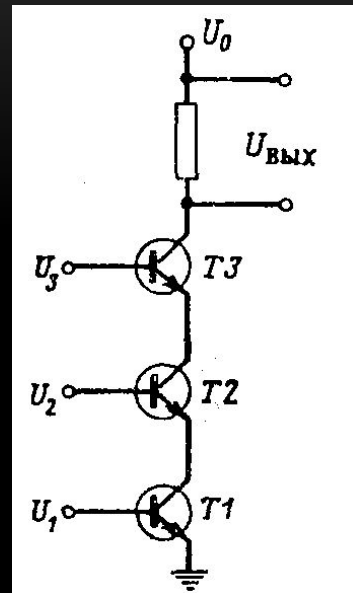
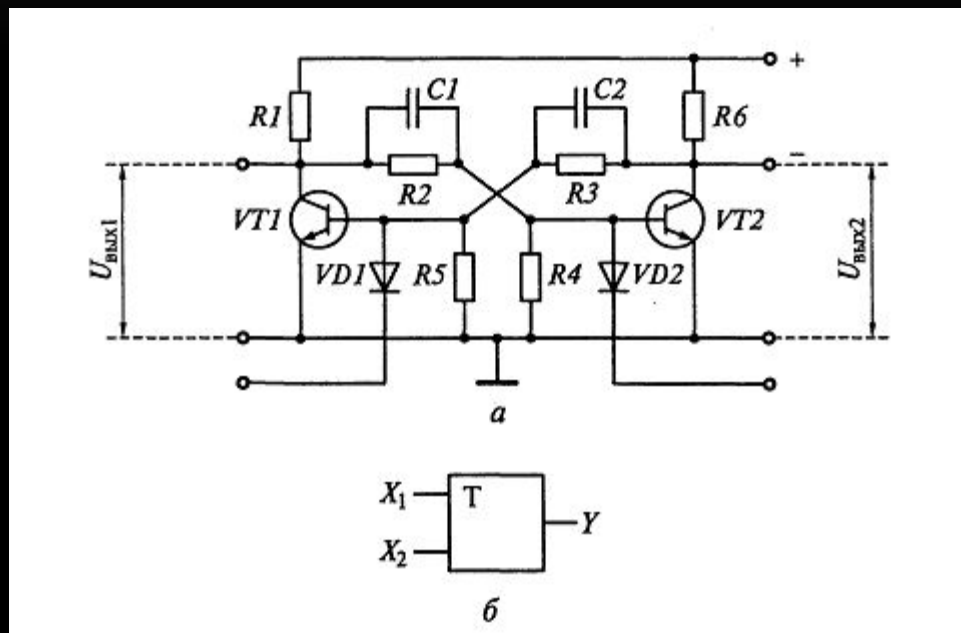


Схема типа «И» на транзисторах



a — инвертирующий элемент; *б* — элемент конъюнкции; *в* — элемент дизъюнкции

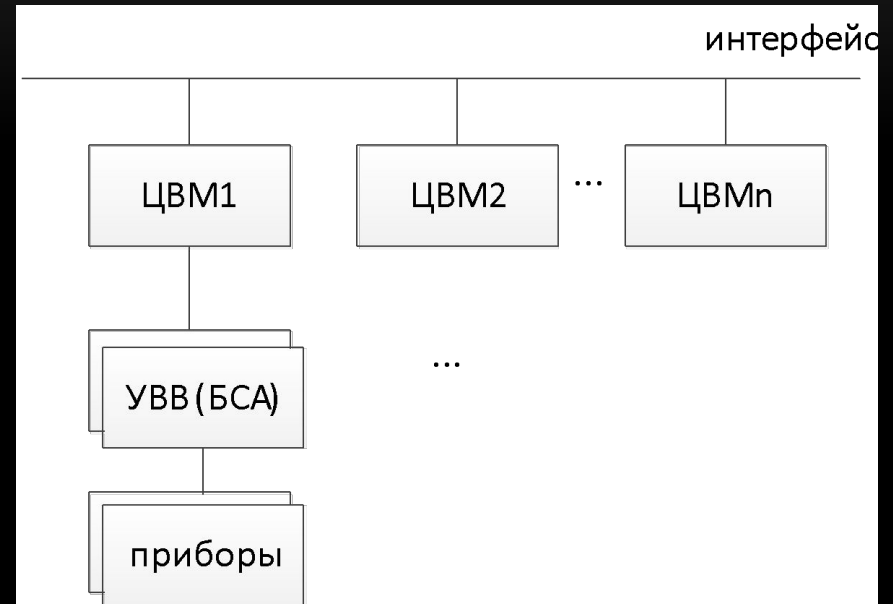
ТРИГГЕРЫ



2.2.2 Цифровые элементы систем стабилизации

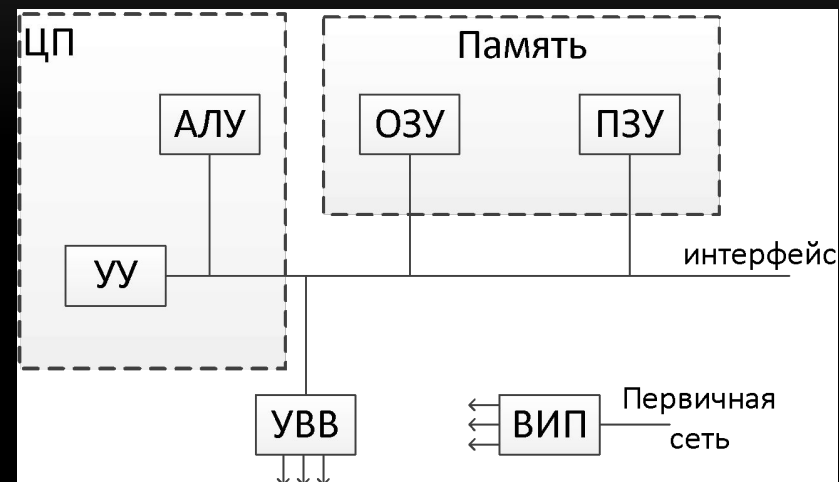
БОРТОВАЯ ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

- Аппаратное обеспечение
 - Электронные блоки
 - Кабельная сеть
- Программное обеспечение
 - Служебное ПО
 - Функциональное ПО

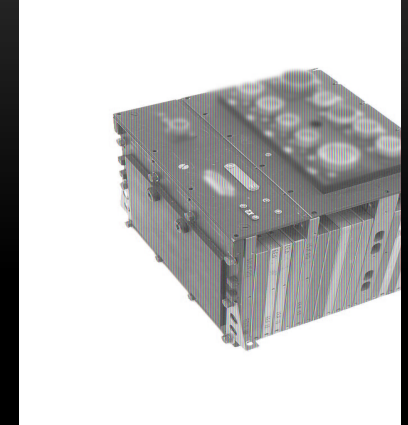
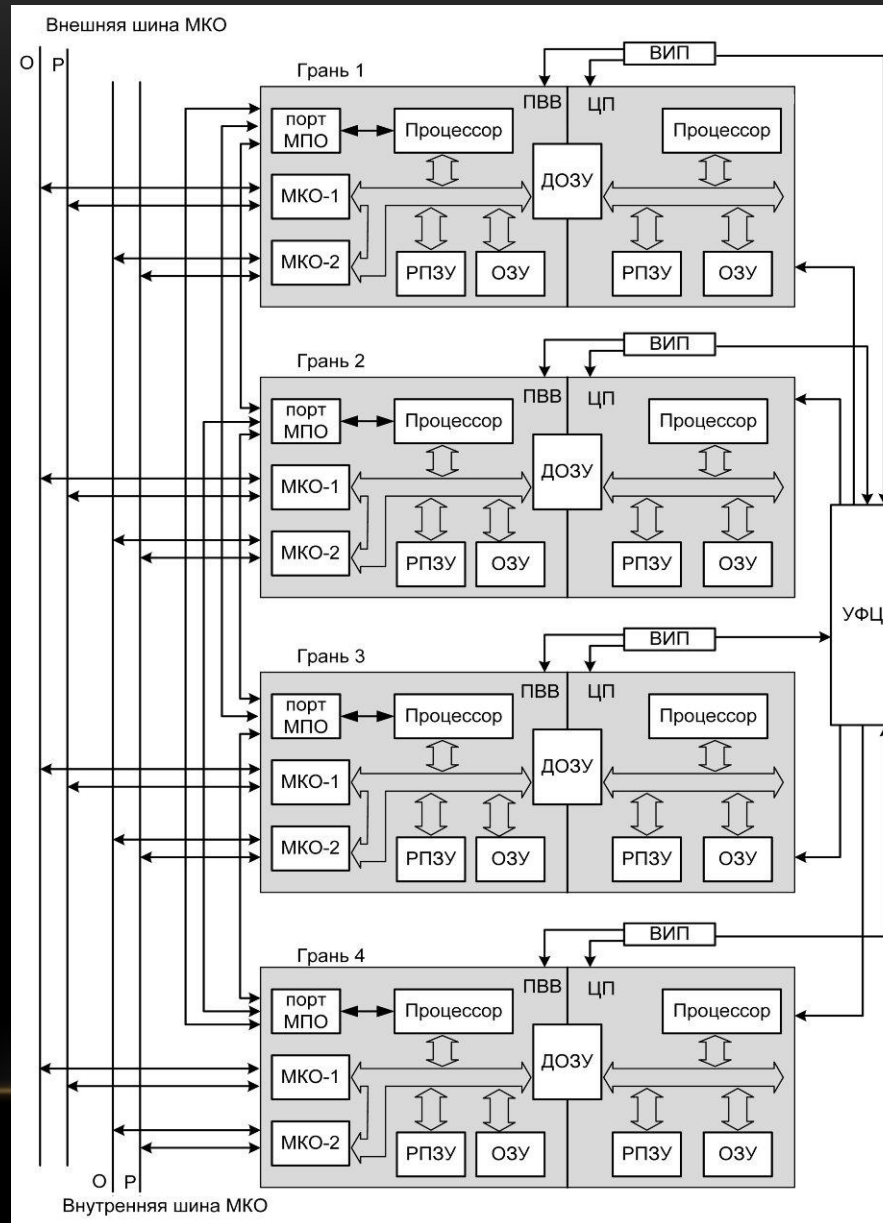


БОРТОВАЯ ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

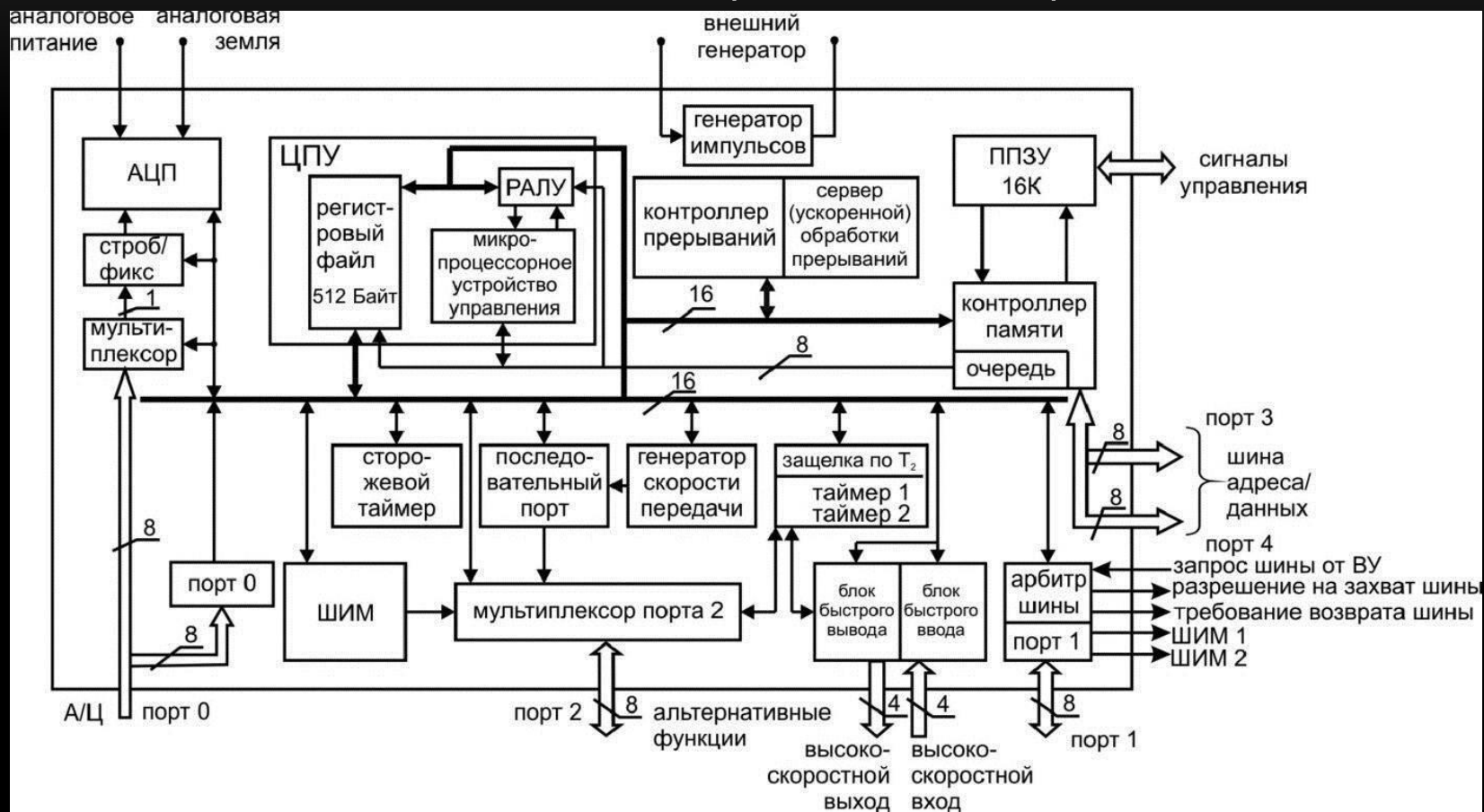
- Быстродействие
- Разрядность
- Система команд
- Объем ОЗУ
- Объем РПЗУ
- Типы интерфейсов
- Надежность!



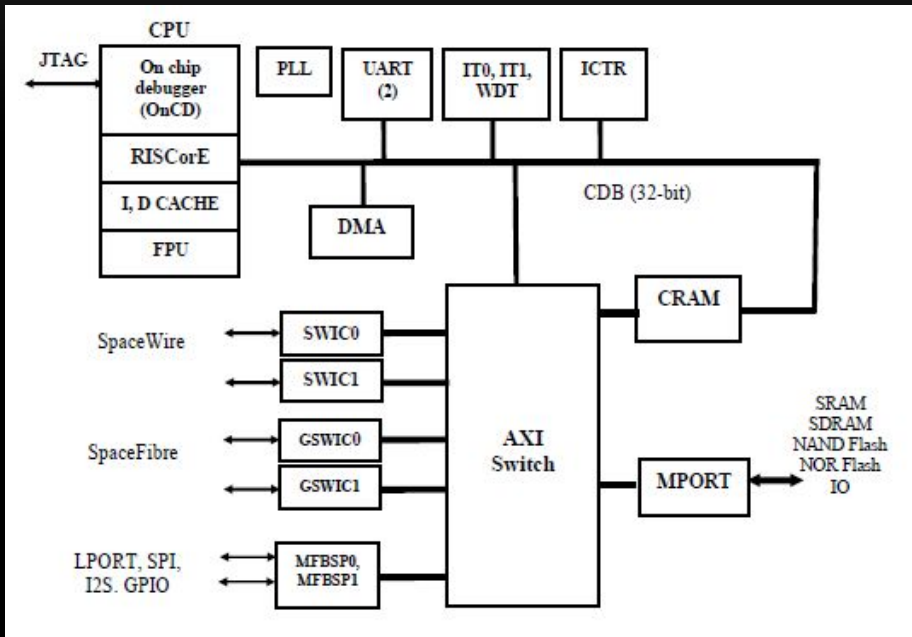
БЦВМ МОКБ МАРС



I8XC196KC (1874BE05T)



МИКРОПРОЦЕССОР 1892ВМ12Т



- CPU – центральный процессор на основе RISC-ядра и сопроцессора с плавающей точкой (FPU);
 - I, D CACHE – кэш команд и кэш данных CPU;
 - CRAM – оперативная память центрального процессора;
 - CDB – шина данных CPU;
 - MPORT – порт внешней памяти;
 - DMA – контроллер прямого доступа в память;
 - OnCD – встроенные средства отладки программ;
 - AXI Switch - коммутатор;
 - PLL – умножители частоты на основе PLL;
 - SWIC0, SWIC1 – контроллеры интерфейса SpaceWire;
 - GSWIC0, GSWIC1 – контроллеры интерфейса GigaSpaceWire;
 - MFBSP – (Multifunctional Buffed Serial Port) многофункциональный буферизированный последовательный порт (SPI, I2S, LPOR, GPIO);
 - ICTR – контроллер прерываний;
-
- UART – универсальный асинхронный порт;
 - IT0, IT1 – универсальные таймеры, интервальные/реального времени;
 - WDT – сторожевой таймер;
 - JTAG – отладочный порт.

ЗАРУБЕЖНЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Mission	Processor	Clock Speed	EEPROM	Local RAM	SSR RAM
SAMPEX	80386	6 MHz	256 KB (1 bank)	512 Kbytes	48 Mbytes
MAP	Mongoose V	12 MHz	2 MB (2 banks)	32 MB shared	224 MB shared
LRO	RAD750	132 MHz	4 MB (2 banks)	36 MB	16 GB
SDO	RAD750	115 MHz	4 MB (1 bank)	8 MB	128 MB
GPM	RAD750	132 MHz	4 MB (2 banks)	36 MB	4 GB
MMS	Coldfire	40/20 MHz	4 MB (2 banks)	12 MB	600 MB
JWST ISIM	RAD750	118 Mhz	4 MB	44 MB	N/A
RNS...	SpaceCube dual core	250 Mhz	512MB flash	256 MB	960 GB (Hard drive)
SpaceCube 2.0	PPC 440 2 To 6 cores	250 Mhz	variable	variable	NA
Maestro (Lite)	Tilera 49 core	300Mhz	variable	variable	NA
	Tilera 16 core	300 Mhz	variable	variable	NA
BAE RAD750 (new)	PPC 750	200 Mhz	variable	variable	NA
Leon3 FT GR712RC	SPARC 8 Dual core	100 Mhz	variable	variable	NA

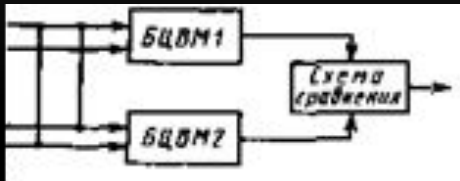
ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ БЦВМ

смесь Гибсона, для типа ЭВМ с плавающей запятой:

- Команда % в смеси
- Запись числа из ЗУ и регистр АЛУ 31,2
- без использования индексного регистра
- Запись числа из ЗУ в регистр АЛУ 18,0
- с использованием индексного регистра
- Условия передачи управления 16,0
- **Сравнение** 3,8
- Сдвиг на 3 разряда 4,4
- Логическое "И" 1,6
- Короткая операция 5,3
- Сложение (ФЗ) 6,1
- Сложение (ПЗ) 6,9
- Умножение (ФЗ) 0,6
- Умножение (ПЗ) 3,8
- Деление (ФЗ) 0,2
- Деление (ПЗ) 1,5
- Производительность по Гибсону определяют по формуле
- где τ_i — время выполнения i -го типа команд

$$П = 10^8 / \left(\sum_{i=1}^{13} \tau_i k_i \right) \text{ оп/с,}$$

СХЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ БЦВМ



Дублированная схема БЦВМ

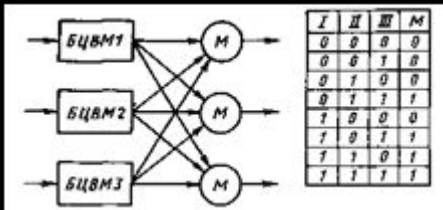


Схема троированной БЦВМ с
мажоритированием

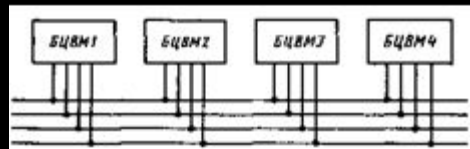
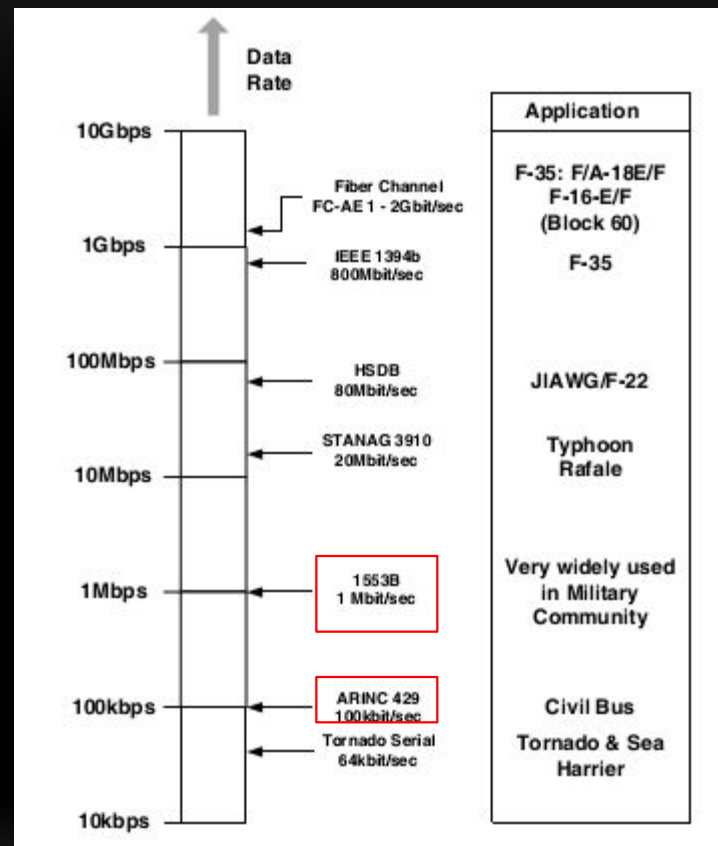


Схема четырехкратного резервирования
БЦВМ

УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА: ЦИФРОВЫЕ

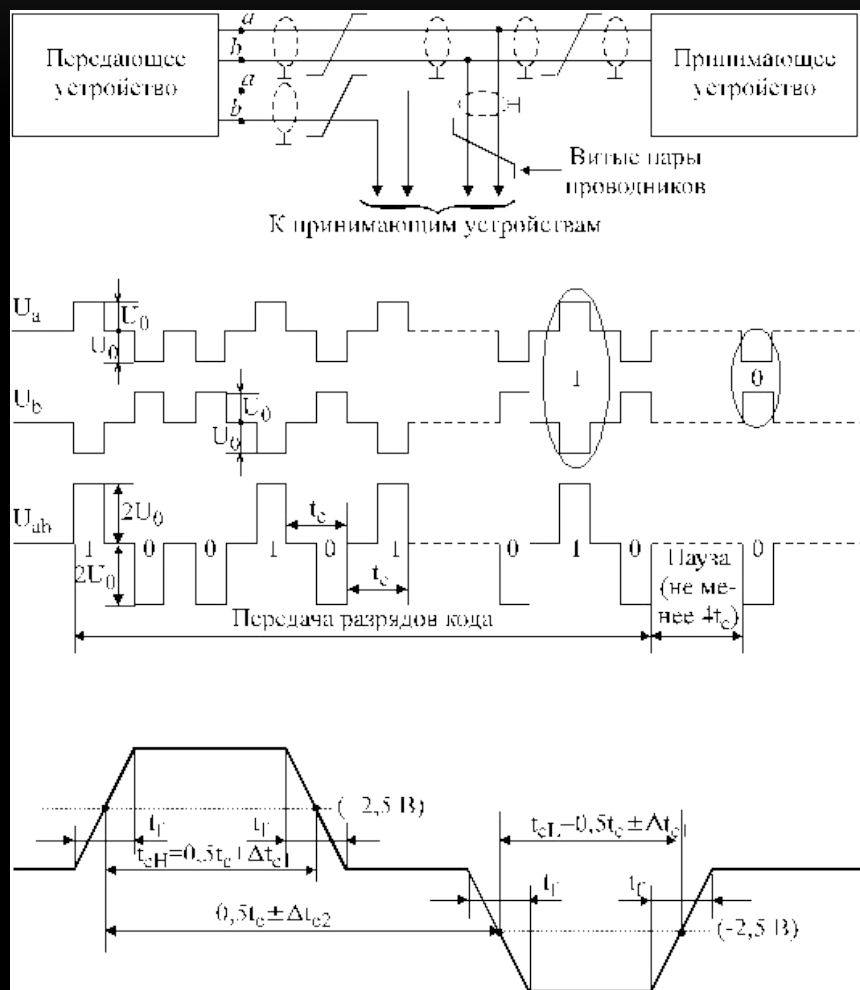
Эталонная модель взаимодействия открытых систем(OSI):

7. Прикладной уровень
6. Представительский уровень
5. Сеансовый уровень
4. Транспортный уровень
3. Сетевой уровень
2. Канальный уровень
1. Физический уровень



УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ – ЦИФРОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ

Канал последовательного кода систем управления авиационным оборудованием по ГОСТ18977-79 (ARINC-429)



Предназначен для организации межсистемного обмена информацией на основе радиальных линий передачи информации, работающих в трех режимах обмена данными: асинхронного, по запросу или по готовности.

Скорость передачи информации: 12, 48 или 100 КГц.

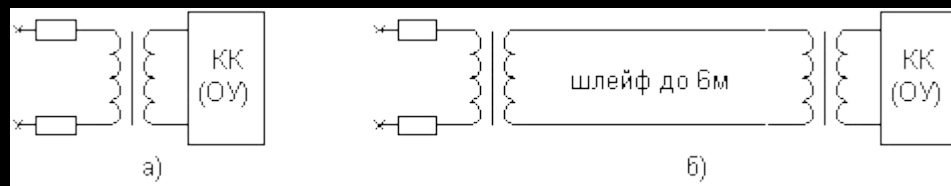
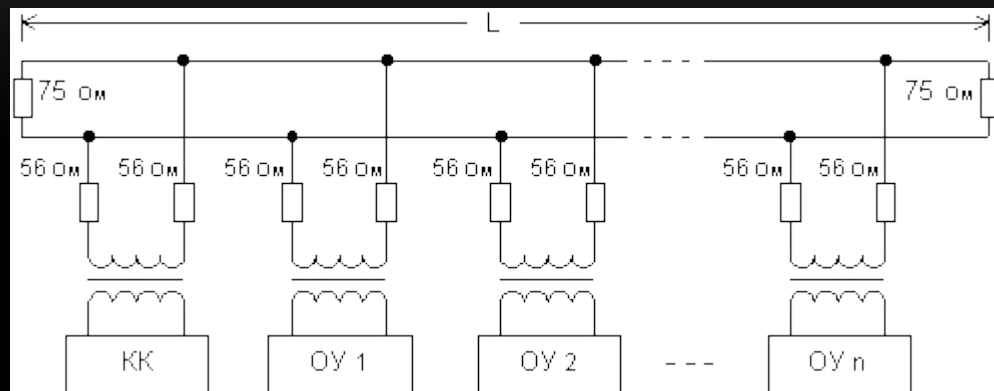
Код - биполярный самосинхронизирующийся, с возвратом к нулю (RZ).

Среда распространения сигналов - витые экранированные пары.

Разрядность передаваемых данных - 32 бита.

Амплитуда размаха сигналов от 3 до 10 В.

МУЛЬТИПЛЕКСНЫЙ КАНАЛ МЕЖМОДУЛЬНОГО ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ ПО ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553B)



В мультиплексных каналах (МК) используются два основных способа подключения абонентов к ЛПИ:

с одинарной (а) и с двойной (б) трансформаторной развязкой. Первый способ используется при длине шлейфов до 30см, второй позволяет уменьшить влияние шлейфа на шину, обеспечивает большее напряжение изоляции и рекомендуется при длине шлейфа до 6м.

Длительное использование канала в бортовой технике (самолеты, спутники, корабли) и промышленности подтверждает его преимущества над другими каналами связи в случаях, когда требуется сочетание высокой скорости и надежности обмена информацией.

Предназначен для организации на основе линий с гальванической развязкой высоконадежных скоростных каналов связи, обеспечивающих передачу данных в режиме реального времени в распределенных системах управления.

Обмен информацией ведется под управлением контроллера канала (КК) по принципу команда-ответ.

Число конечных устройств (ОУ) - n до 31.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МУЛЬТИПЛЕКСНОГО КАНАЛА:

код Манчестер-2

длина канала (L) до 600м

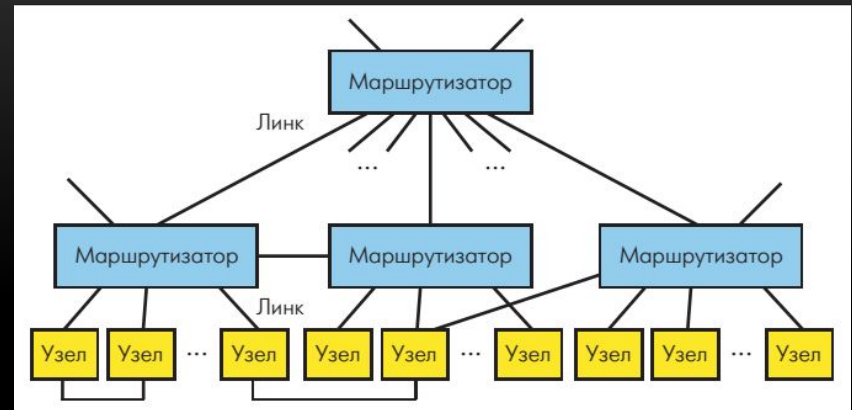
длина отводящих шлейфов до 6м

скорость передачи информации 1 Мбит/с

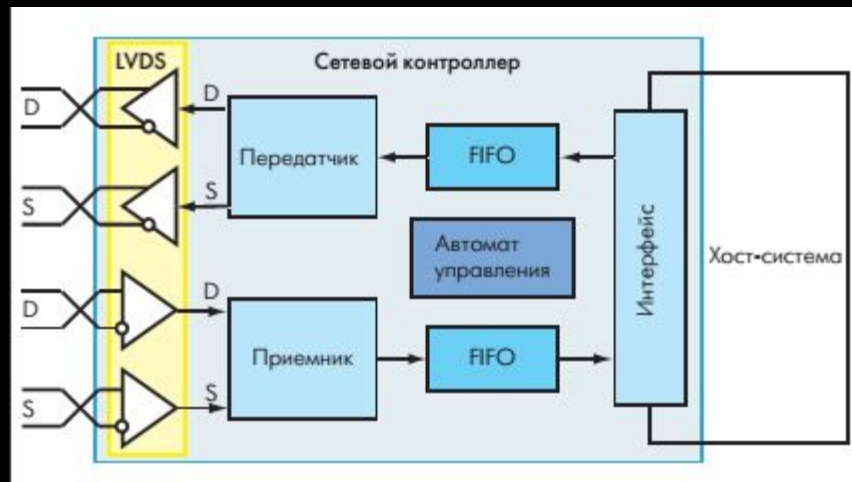
вероятность необнаруживаемой ошибки 10-12 на бит

СТАНДАРТ SPACEWIRE

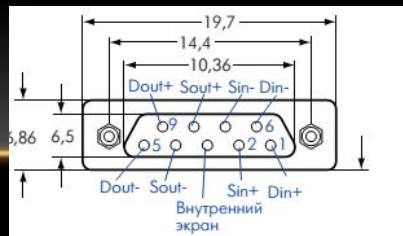
- Обобщенная структура сети SpaceWire



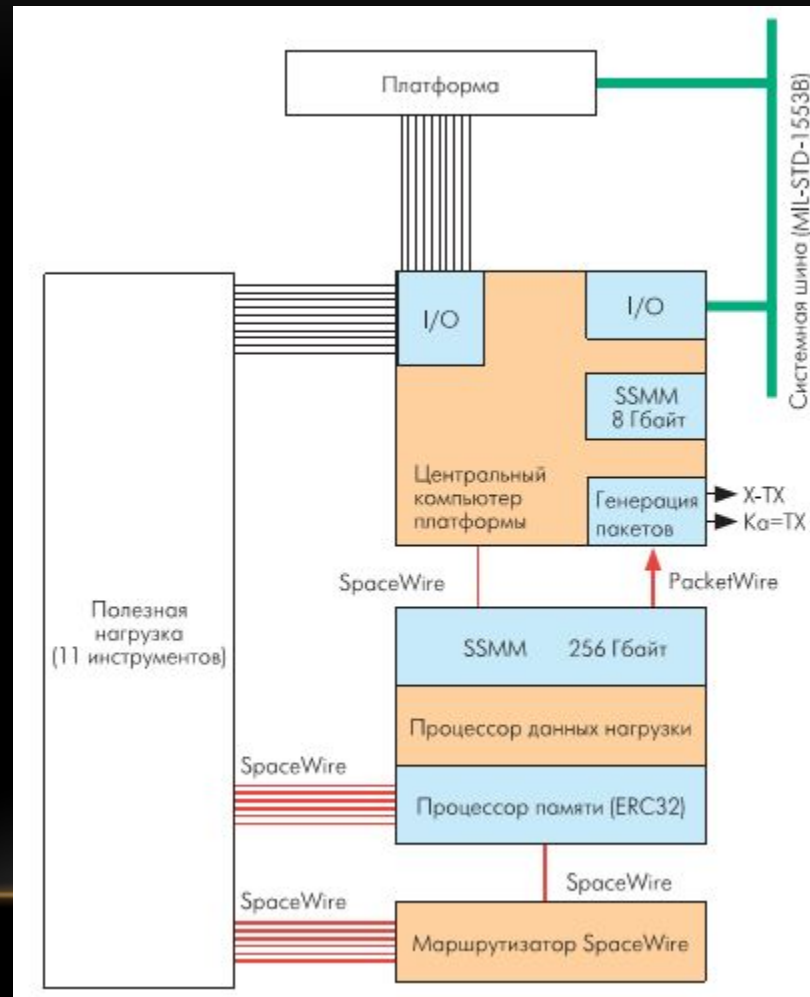
- Узел SpaceWire



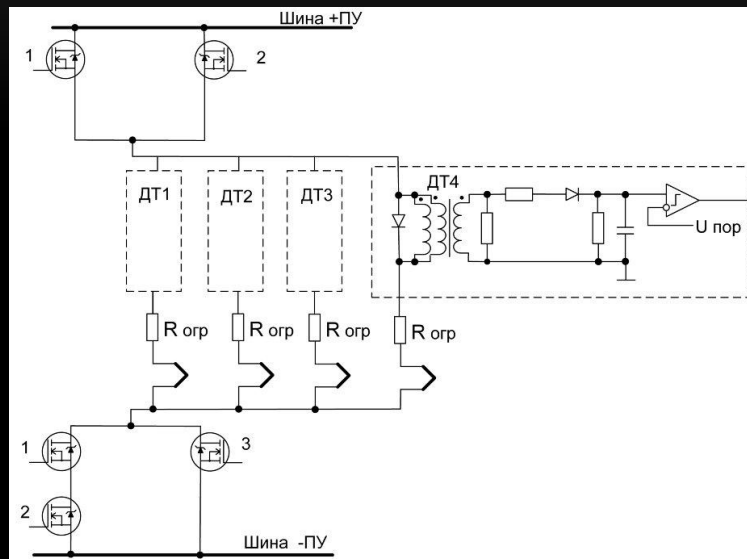
- Разъем D-типа



SPACEWIRE В СОСТАВЕ БКУ КА MERCURY PLANETARY OBSERVER

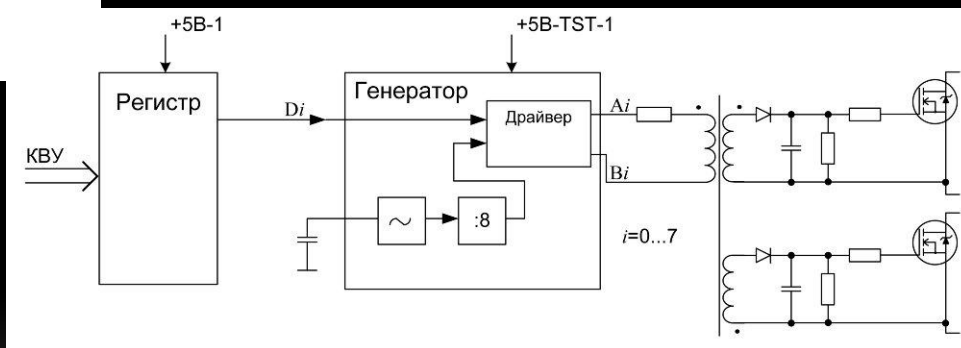


УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ (БЛОКИ СИЛОВОЙ АВТОМАТИКИ)

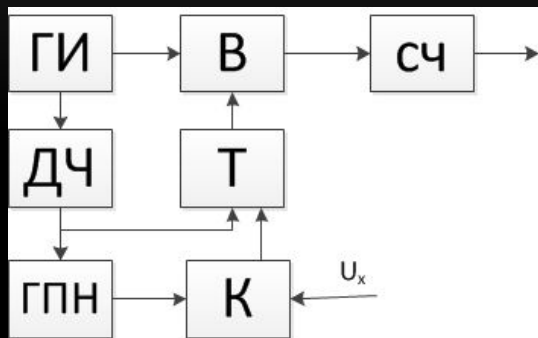


<- Выходной каскад управления пиропатронами

Фрагмент тракта выдачи разовой команды ->



УСТРОЙСТВА ВВОДА: АЦП



ГИ – генератор импульсов

ДЧ- делитель частоты

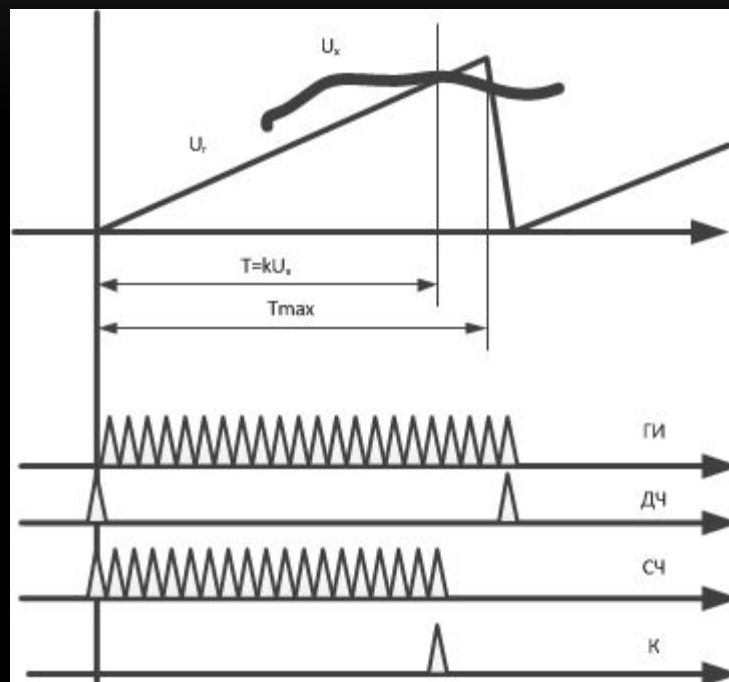
ГПН – генератор пилообразного напряжения

В- вентиль

Т – триггер

К – ключ

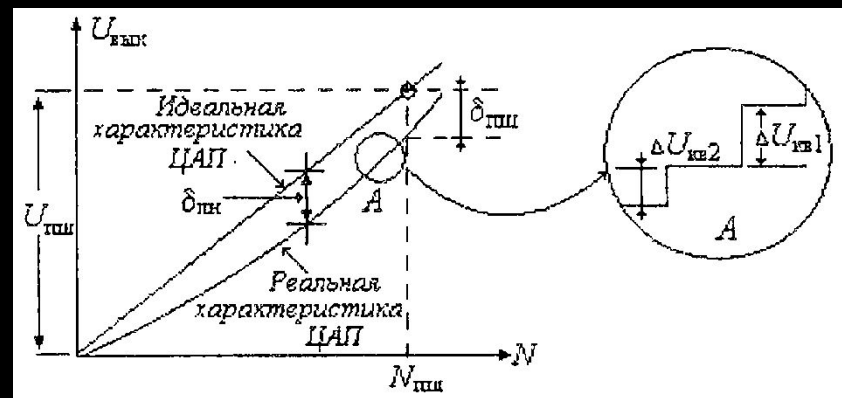
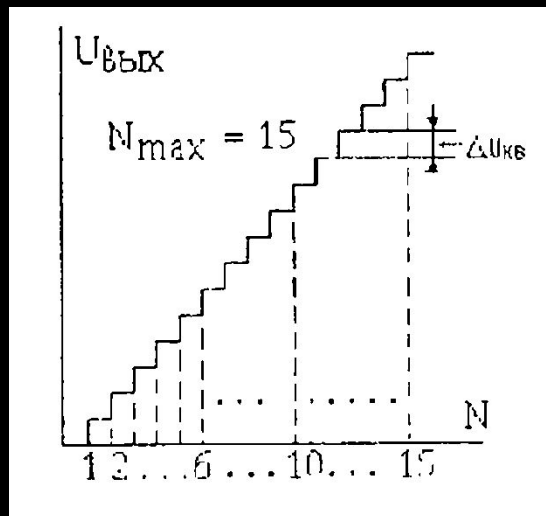
СЧ - счетчик



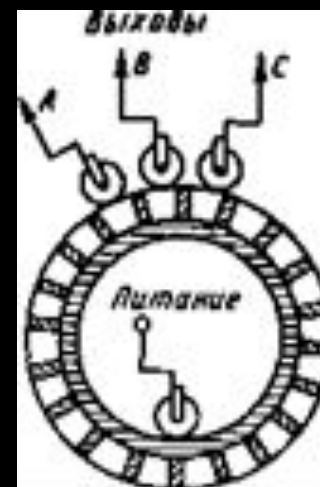
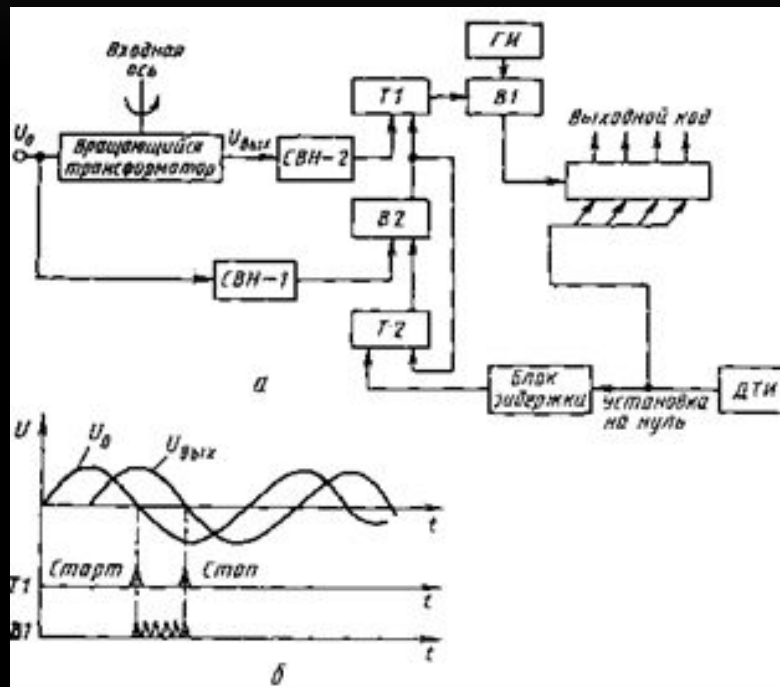
ХАРАКТЕРИСТИКИ АЦП

$$W_{\text{ацп}} = Z^{-1}$$

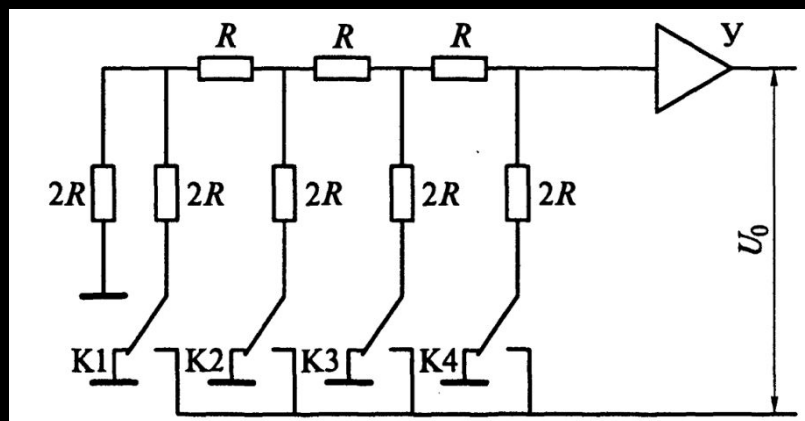
$T_{\text{ц}}, N$



ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ УГОЛ-КОД



УСТРОЙСТВА ВЫВОДА - ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КОД-НАПРЯЖЕНИЕ



«Лестничная» схема преобразования параллельного кода в напряжение

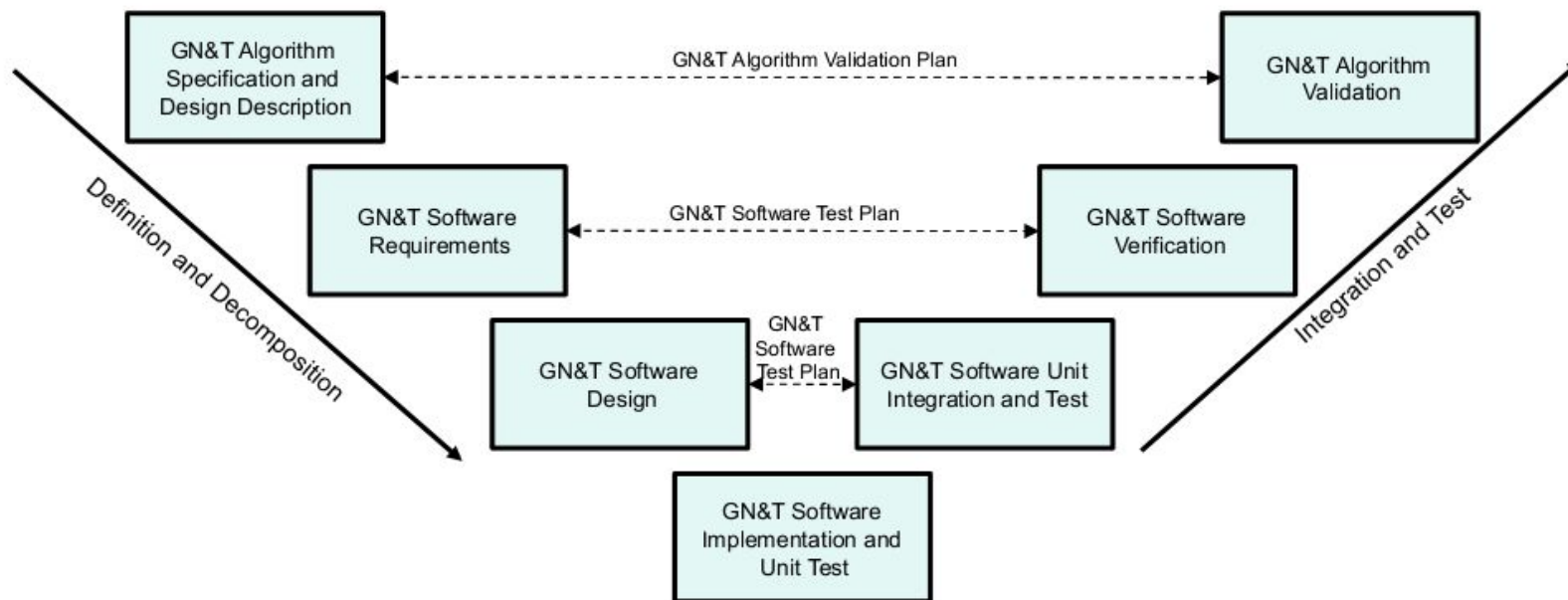
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Служебное ПО
- Функциональное ПО

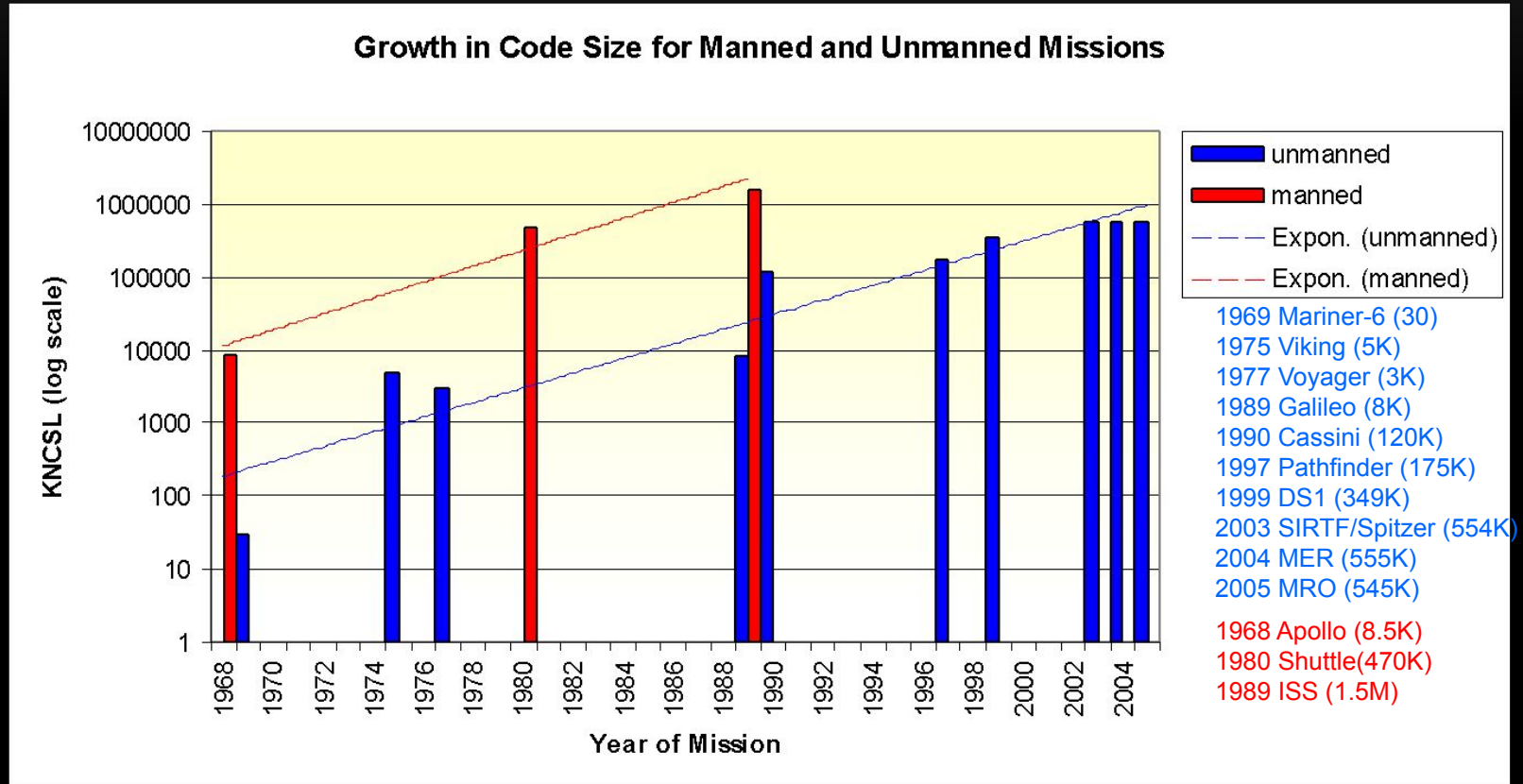
НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПО

- Модульность
- Иерархичность
- Системность
- Формализация требований
- Унификация архитектуры
- Стандартизация принципов разработки

V-МОДЕЛЬ РАЗРАБОТКИ ПО

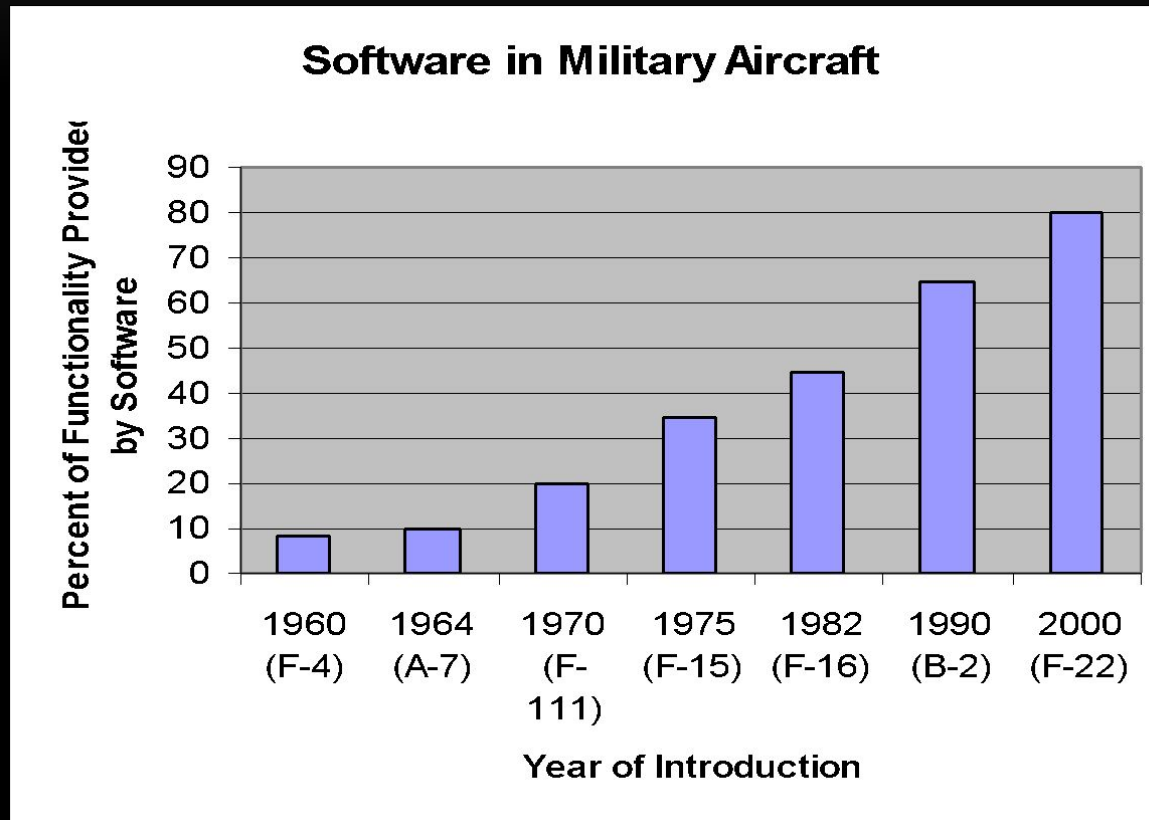


ОБЪЕМ БПО ПРОЕКТОВ NASA



NCSL = Non-Comment Source Lines

РОЛЬ БПО В БОЕВЫХ САМОЛЕТАХ



ОБЪЕМ БПО РАЗНЫХ ИЗДЕЛИЙ

System	Lines of Code	Language
Mars Reconnaissance Orbiter	545K	C
F-22 Raptor	2.5M	Ada (90%)
Seawolf Submarine Combat System AN/BSY-2	3.6M	Ada
Boeing 777	4M	Ada
Boeing 787	7M	Ada (largely)
F-35 Joint Strike Fighter	19M	C and C++
Typical GM car in 2010	100M	MISRA-C for critical systems

ЗАРУБЕЖНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПО

Table 2.2 RTOS software certification levels

Software certification level	Definition
A	Software whose anomalous behaviour would cause or contribute to a failure of a system function resulting in a catastrophic failure condition for the aircraft
B	Software whose anomalous behaviour would cause or contribute to a failure of a system function resulting in a hazardous failure condition for the aircraft
C	Software whose anomalous behaviour would cause or contribute to a failure of a system function resulting in a major failure condition for the aircraft
D	Software whose anomalous behaviour would cause or contribute to a failure of a system function resulting in a minor failure condition for the aircraft
E	Software whose anomalous behaviour would cause or contribute to a failure of a system function resulting in a no-effect failure condition for the aircraft

Spacecraft Software Costing

SMAD Chapter 20

- Costs - - (FY00\$)
 - Flight Software
\$435 * lines of code
 - Ground Software
\$220 * lines of code
- Fee not included
- Language dependent (but should be tailored based on personnel experience and reuse)
 - Ada as baseline

Engineering Estimates

- Costs - - estimate hours
 - Flight Software (QA)
6 hours / line of code
 - Ground Software
3 hours / line of code
- Dollar estimates calculated from hours
- Amount of testing and Quality Assurance support influence costs

ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

- Сертификация
- Доступность исходного кода
- мультизадачность
- Время реакции на события
- Время перезагрузки
- Наличие драйверов устройств
- Размер
- Система приоритетов и диспетчеризации
- Механизм межзадачного взаимодействия
- Средства для работы с таймером
- Обработка исключительных ситуаций
- Управление ресурсами процессора

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОС

Время реакции	Операционная система
менее 10мкс	Только OCPB; Это граница выбора между схемным и программным решением
10-100 мкс	Операционные системы реального времени Vx Works, OS9, pSOS, LynxOS, QNX, VRTX и др.
0,1-1 мс	OCPB, RTAI, RT Linux, расширения для реального времени для Windows NT, Windows CE
1 мс	Можно пытаться что-то делать с Linux и Windows NT, но не для систем, где запаздывание отклика может привести к тяжким последствиям