

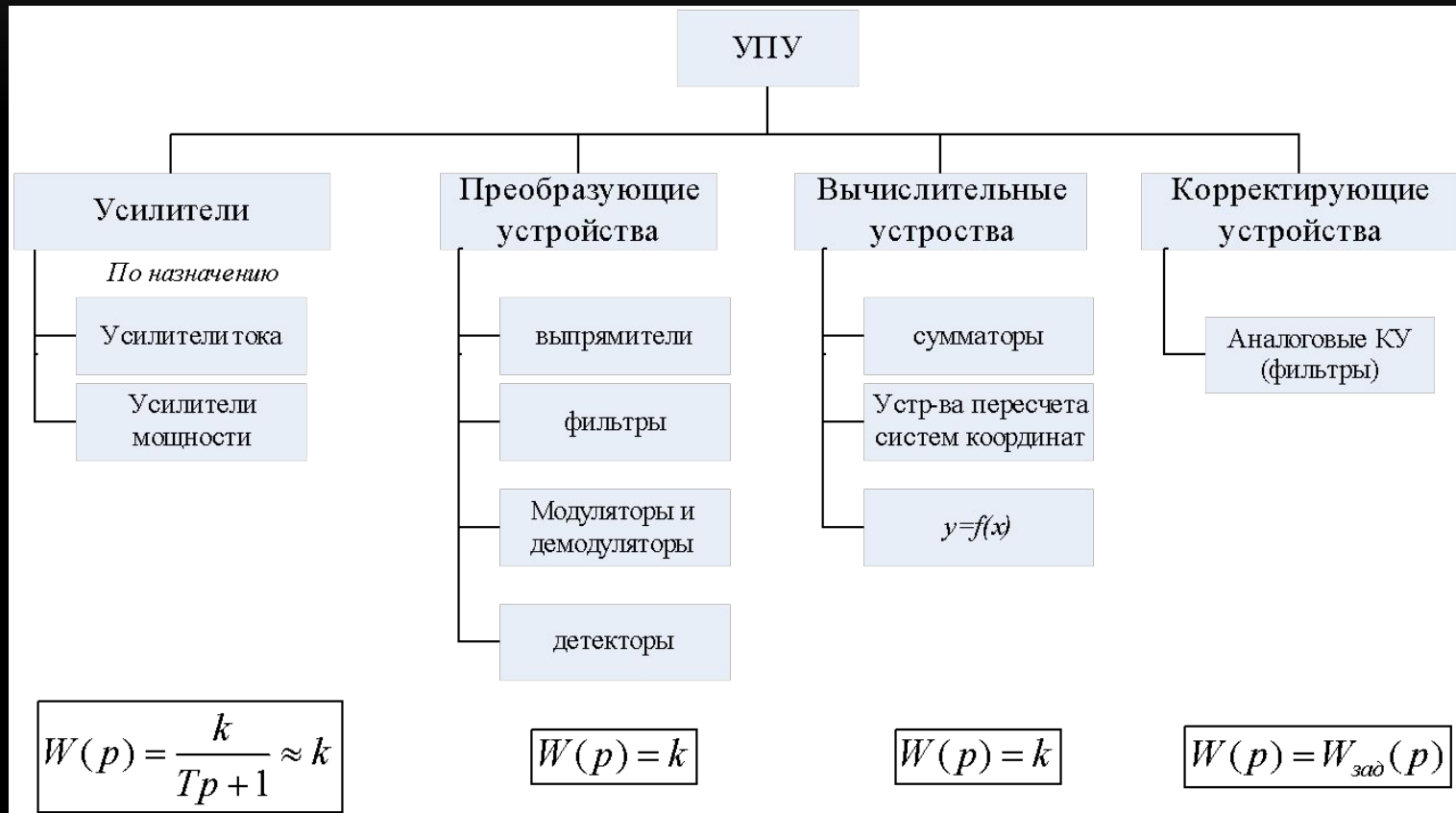
ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Раздел 2 Элементная база систем стабилизации

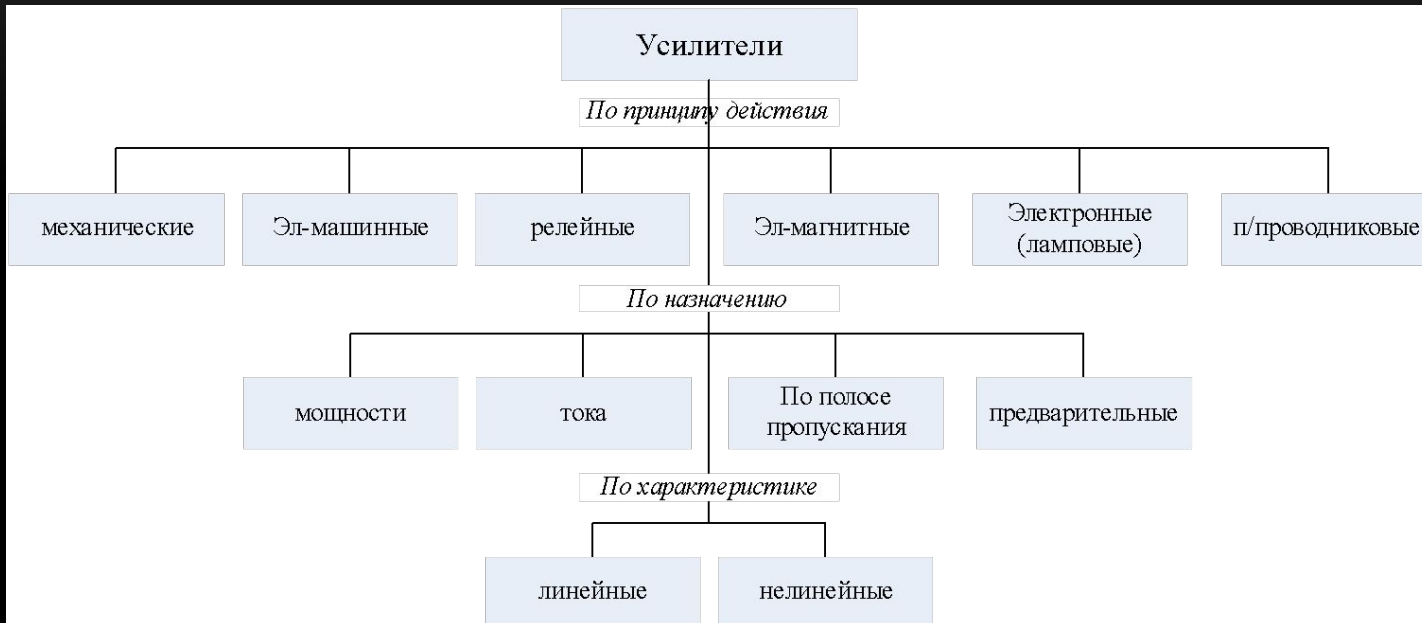
2.2 Усилительно-преобразующие и вычислительные устройства

2.2.1 Аналоговые устройства

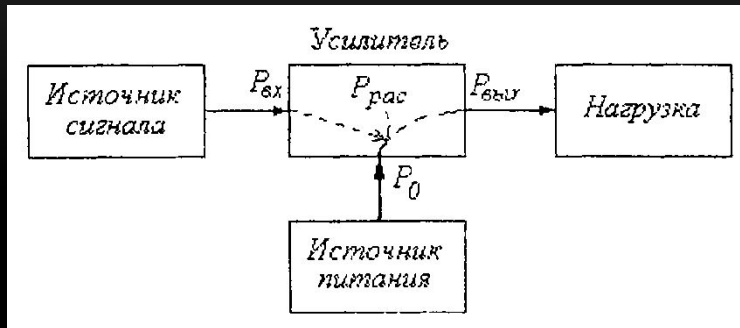
КЛАССИФИКАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ УПУ



КЛАССИФИКАЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ



ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Структурная схема

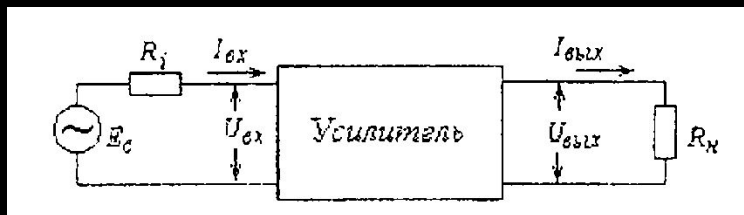
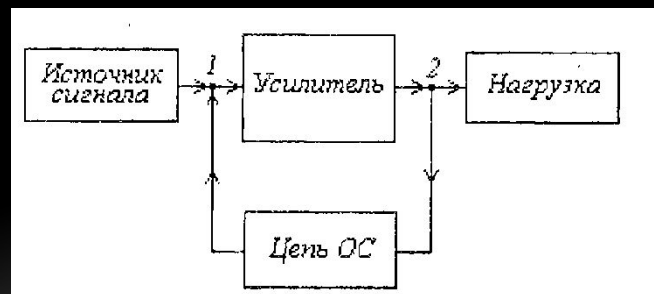


Схема подключения

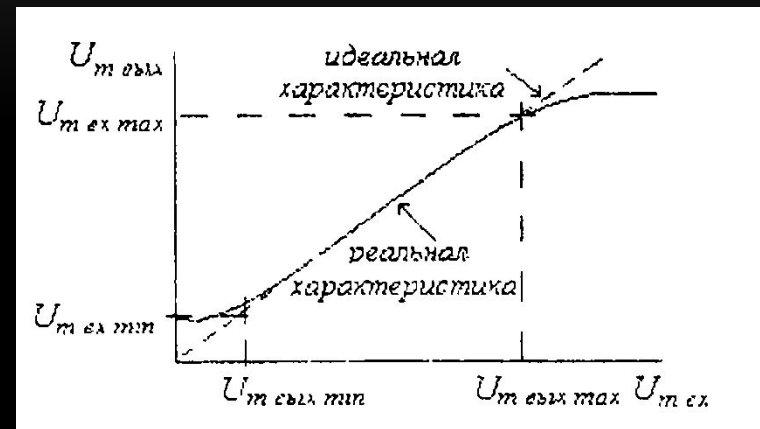
Использование ОС



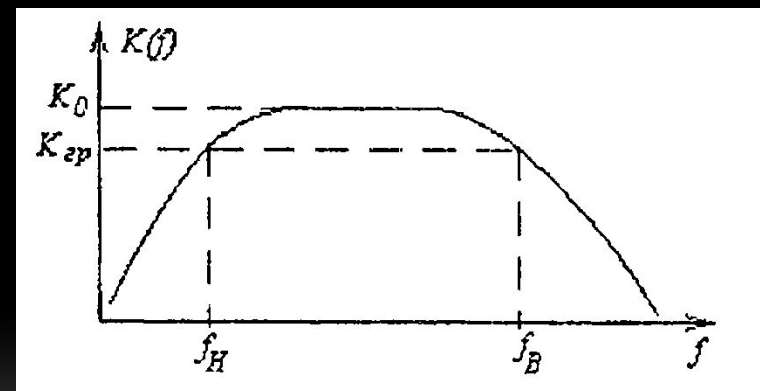
- К - Коэффициент усиления $U_{вых} = kU_{вх}$
- f – полоса пропускания
- Нелинейные искажения
- Шумы (фон, тепловой, наводки...)
- Энергетические характеристики: мощность выходного сигнала (номинальная, максимальная), мощность источника питания
- КПД

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЕЙ

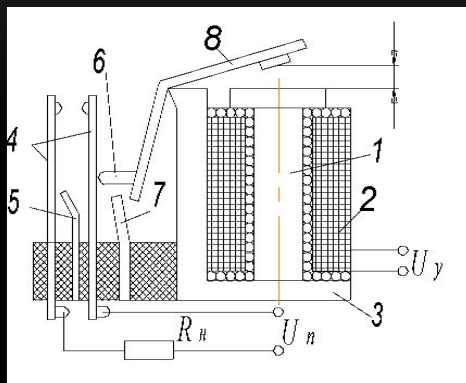
Амплитудная характеристика



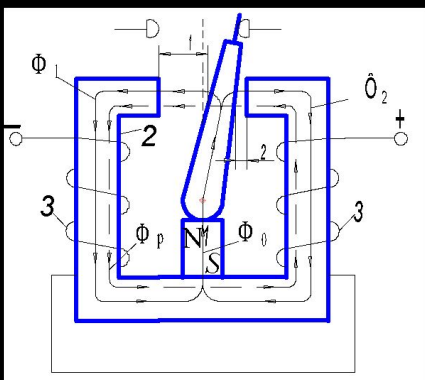
Амплитудно-частотная характеристика



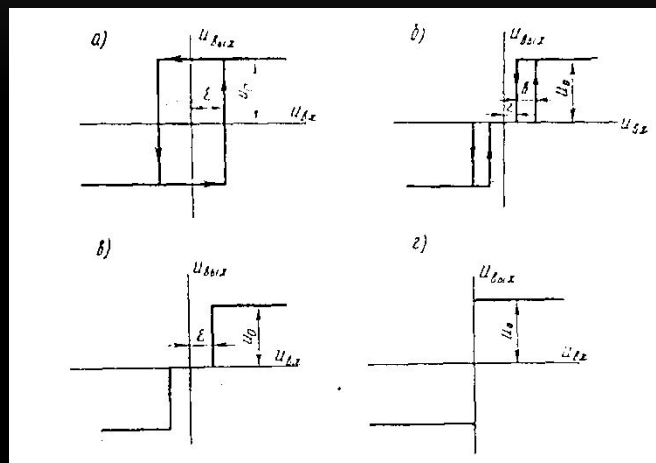
РЕЛЕЙНЫЕ УСИЛИТЕЛИ



Электромагнитное реле

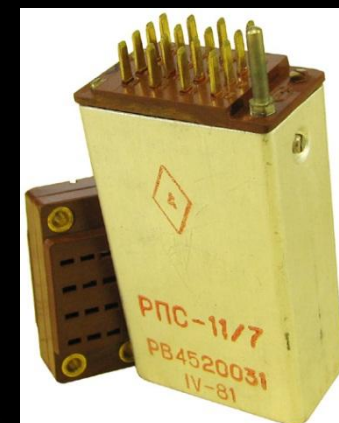


Поляризованное реле



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

$K \sim 10^6$
 $T \sim 0,1-1 \text{ мс}$



СХЕМЫ РЕЛЕЙНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Схема релейного усилителя

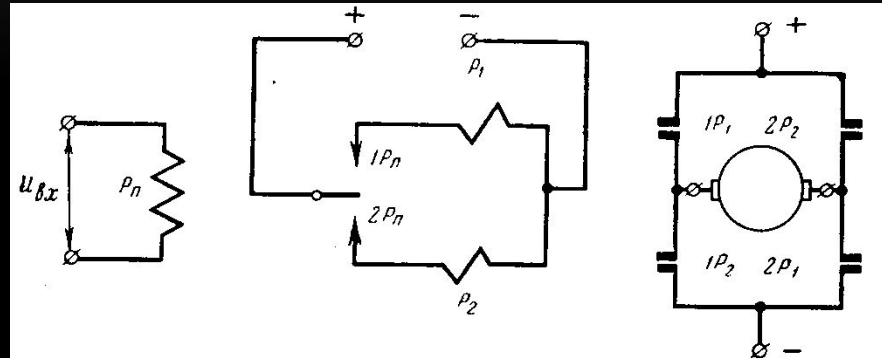
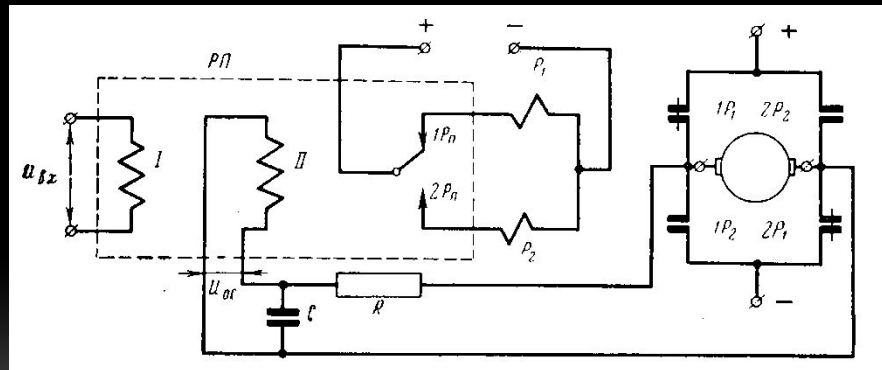
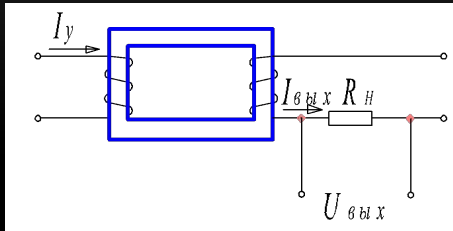


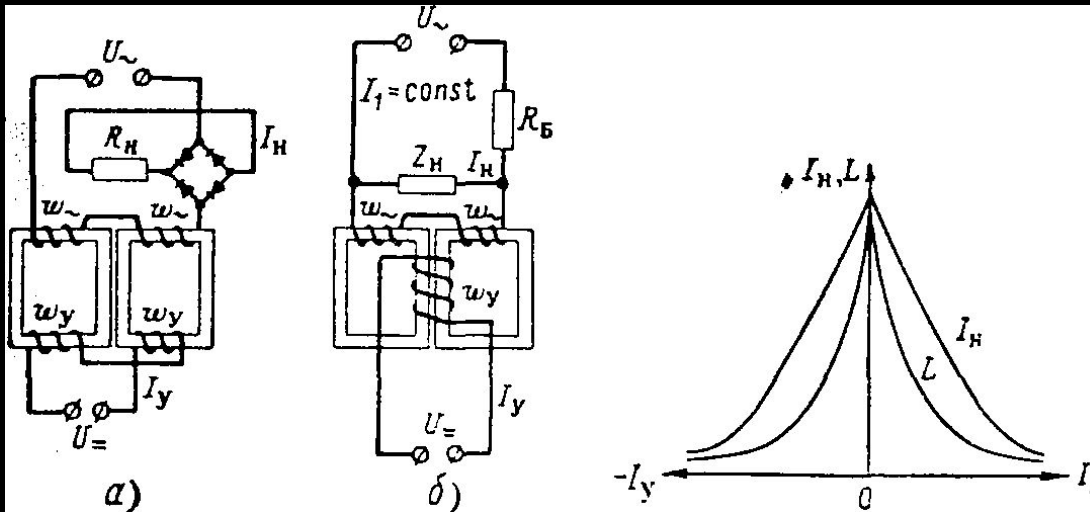
Схема релейного усилителя с вибрационной линеаризацией



МАГНИТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ



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

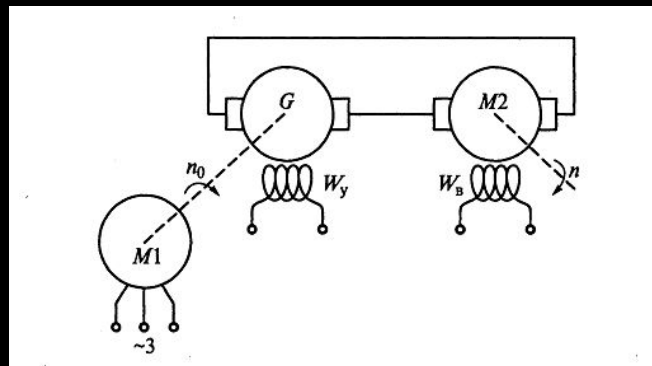
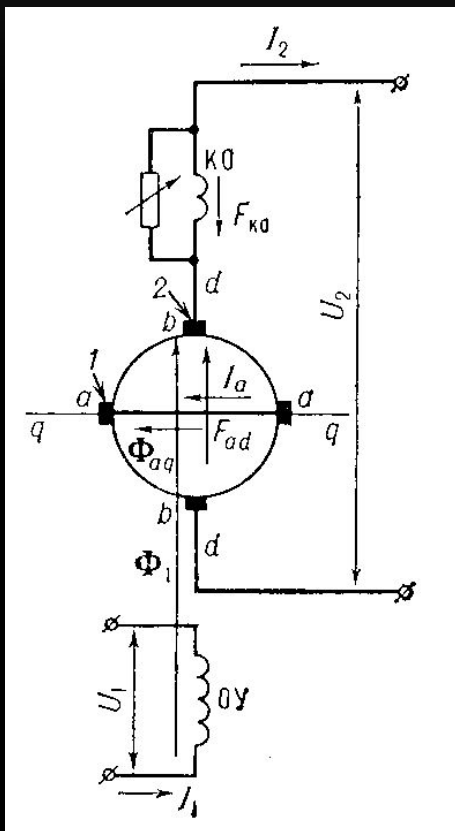


Схемы однотактных магнитных усилителей без обратной связи с последовательным (а) и параллельным (б) включением нагрузки

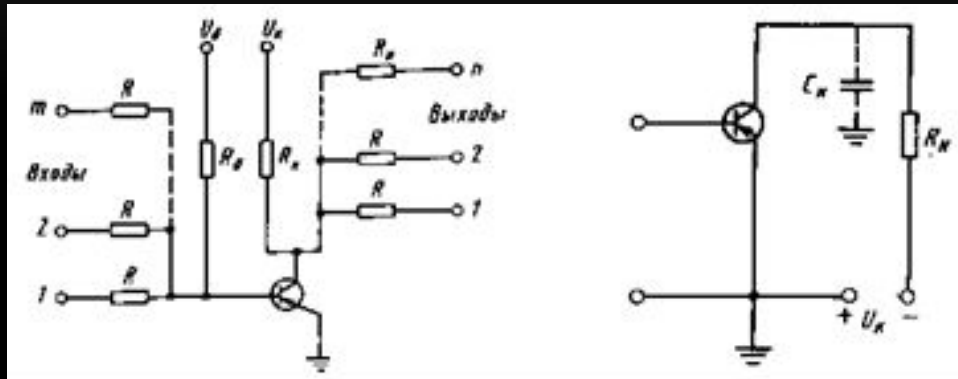
Характеристики однотактного магнитного усилителя с параллельно включенной нагрузкой.



ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ



Принципиальная схема релейного усилителя:
 U_b, R_b - базовые напряжение и сопротивление;
 U_k - напряжение на коллекторе;
 R_n — сопротивление нагрузки

Принципиальная схема
однотактного релейного
усилителя с линейной харак-
теристикой: U_k - напряжение
на коллекторе

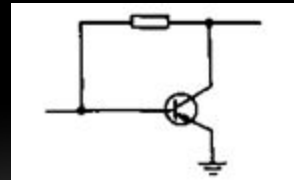
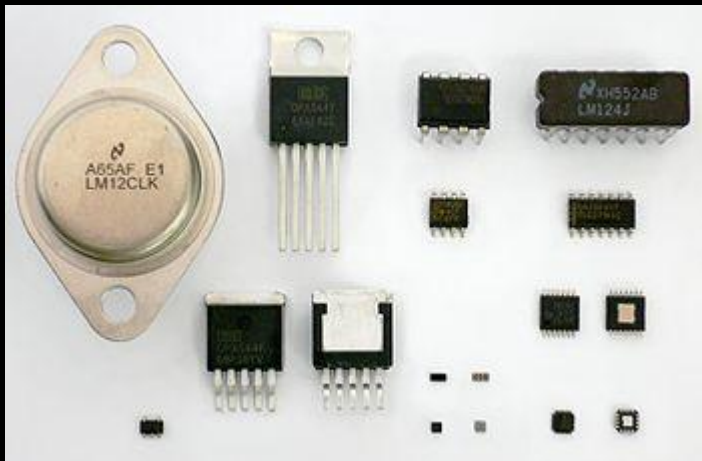


Схема подачи отрицательной
обратной связи по напряжению

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ

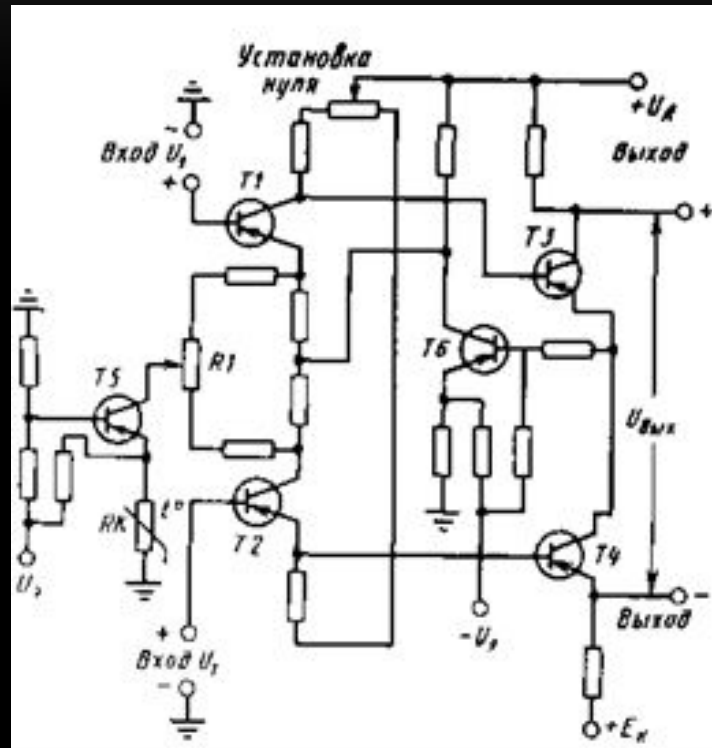


Схема двухконтактного усилителя постоянного тока с компенсацией температурного дрейфа нуля

СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ УСИЛИТЕЛЕЙ

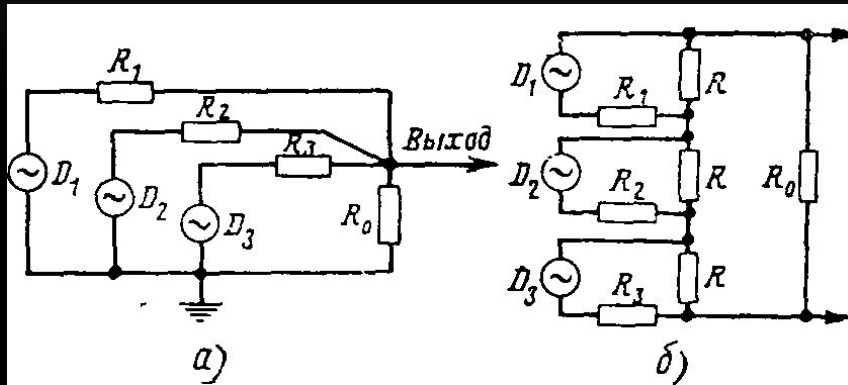
Тип	Достоинства	недостатки	применение
Электронные	относительно малый вес, габариты, стоимость, большое $R_{вх}$, стабильность характеристик, легки в настройке, большой K по напряжению	ограниченный срок службы, большой разброс параметров ламп, не экономичны по источникам питания (прогрев катода, высокое 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	$10^{-2}-10^{-3}$

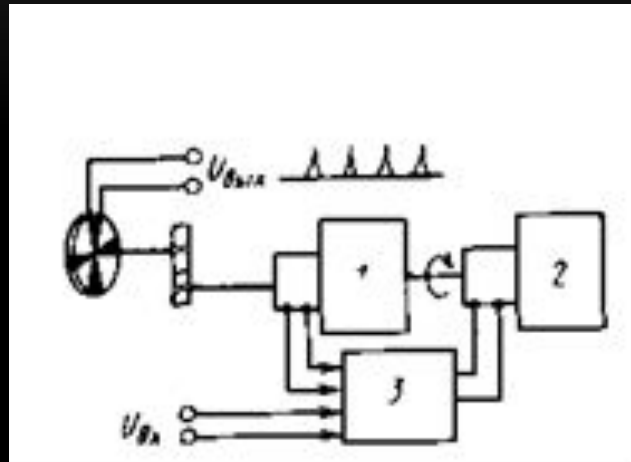
Вычислительные устройства

СУММАТОР



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

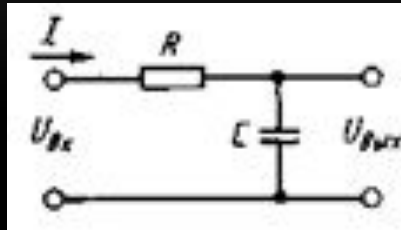
ИНТЕГРАТОР



Электромеханический интегратор

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

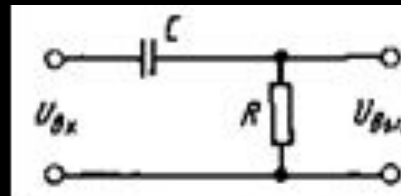
Интегрирующий RC-контур



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

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

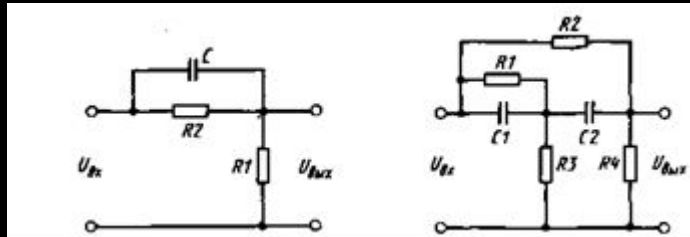
дифференцирующий RC-контур первого порядка



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

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

дифференцирующий контур с пропорциональной составляющей 1 и 2 порядка

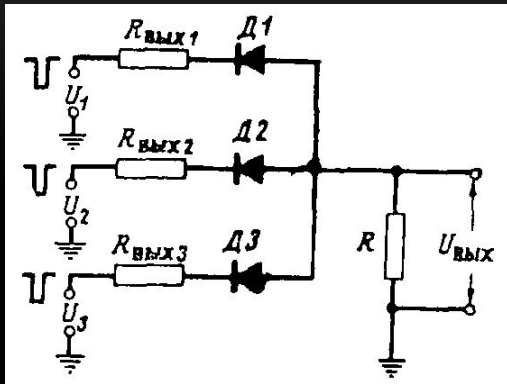


$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{k(Tp + 1)}{kTp + 1};$$

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

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

ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ



Диодная схема «ИЛИ»

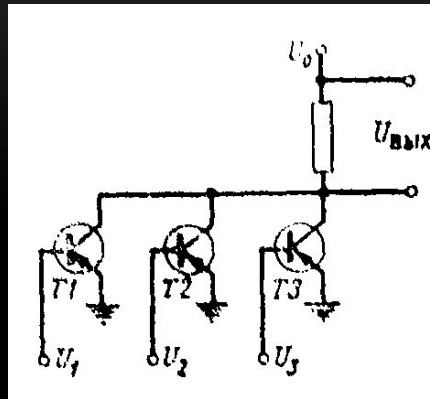


Схема «ИЛИ» на транзисторах

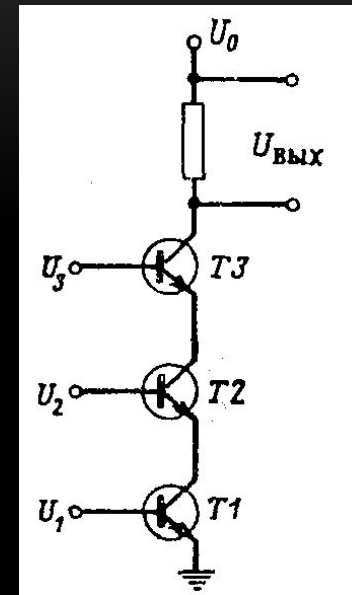
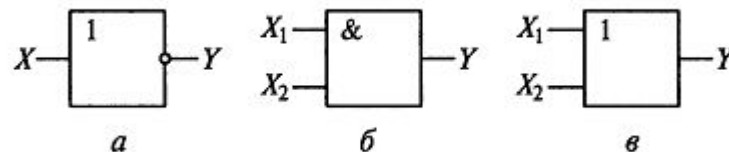
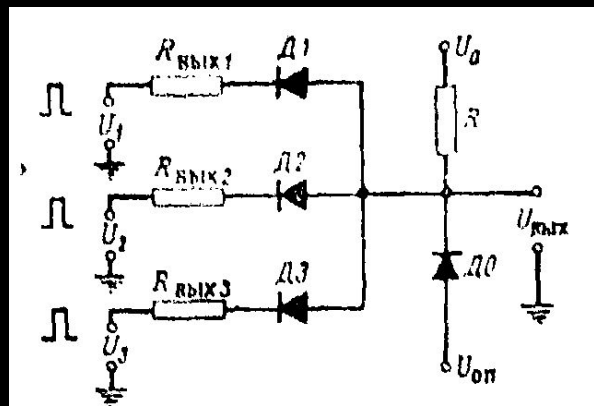


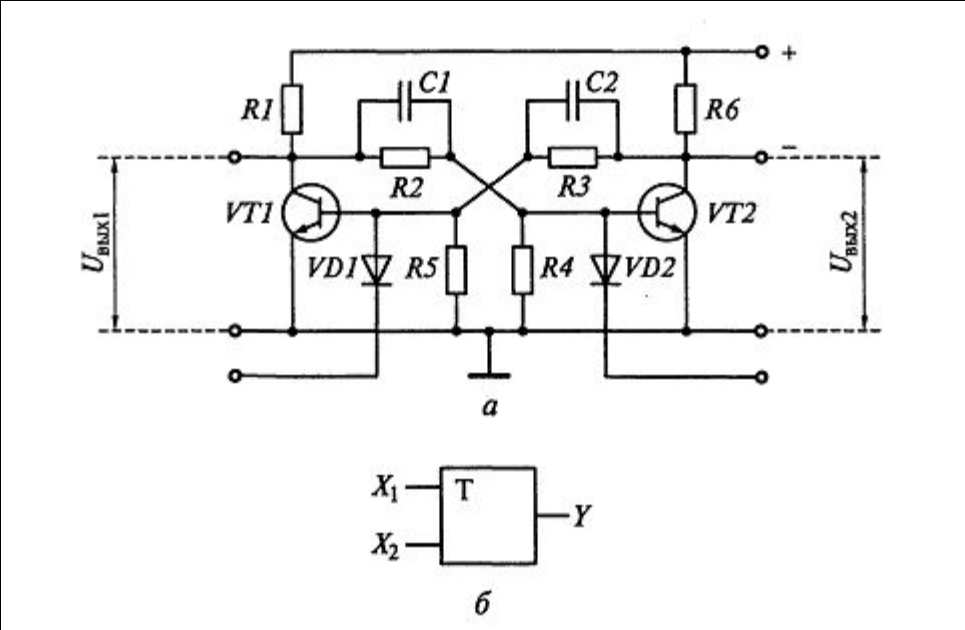
Схема типа «И» на транзисторах

Диодная схема типа «И»



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

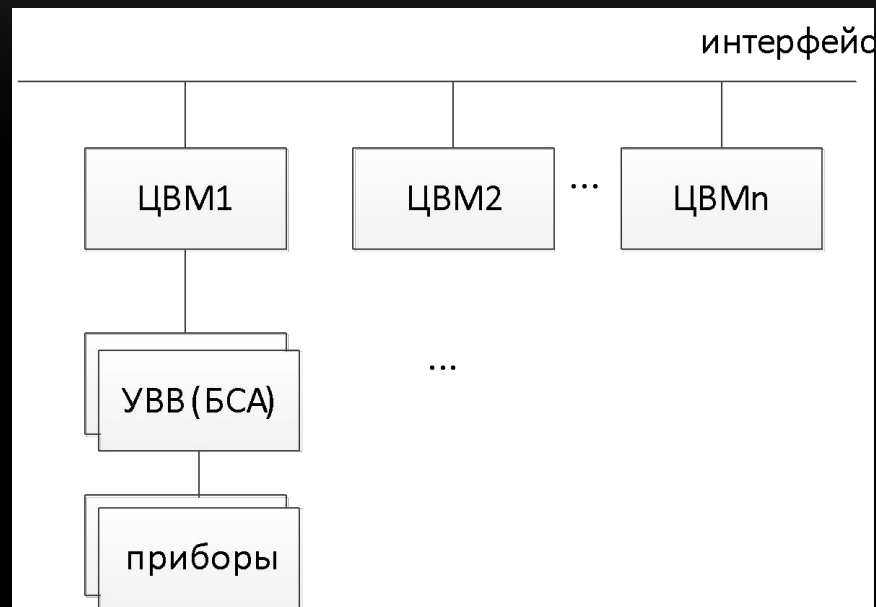
ТРИГГЕРЫ



2.2.2 Цифровые элементы систем стабилизации

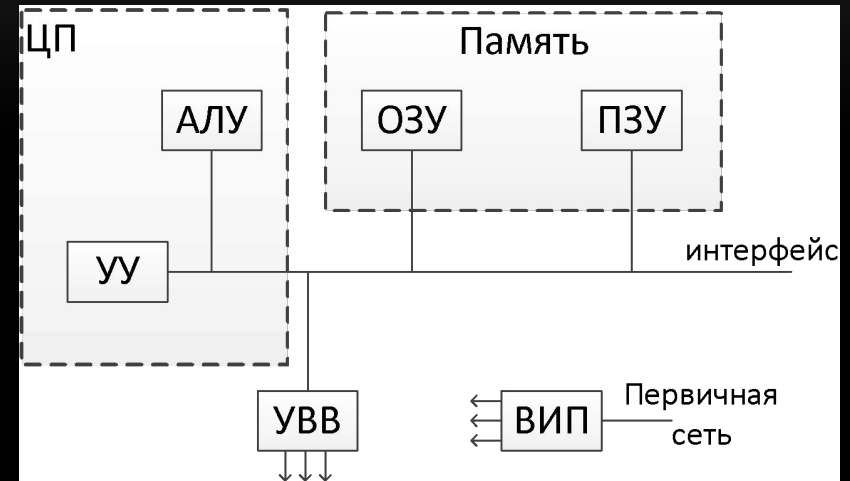
БОРТОВАЯ ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

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

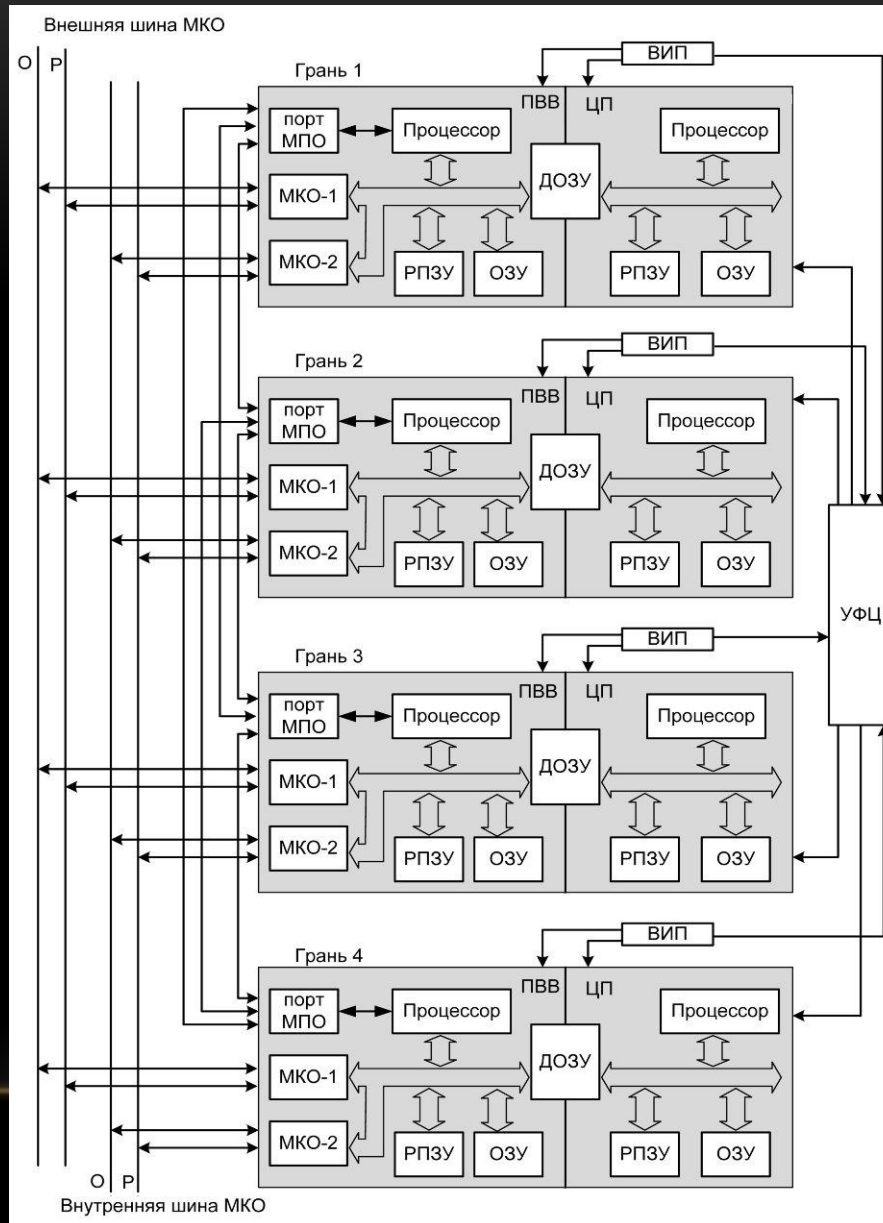


БОРТОВАЯ ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

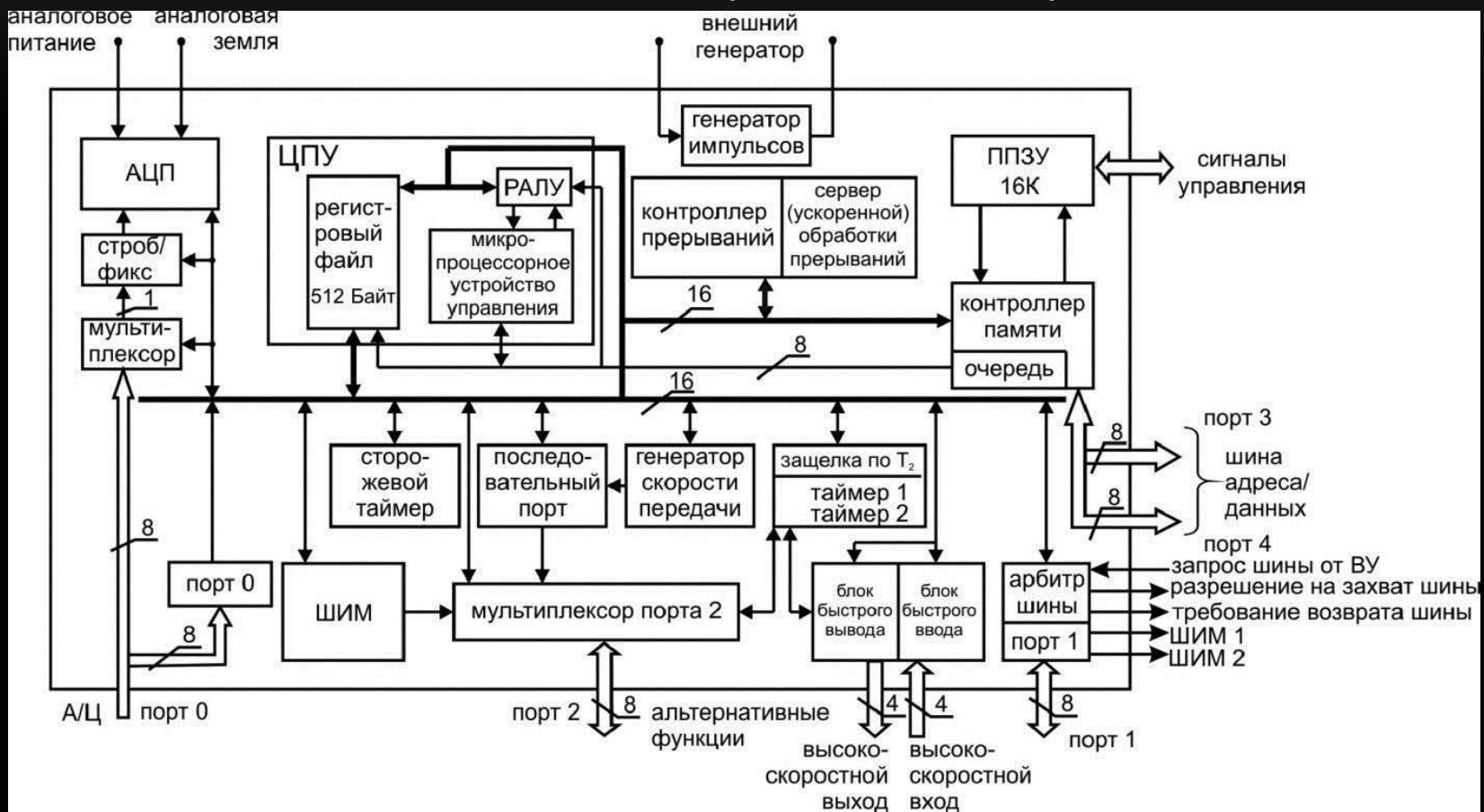
- Быстродействие
- Разрядность
- Система команд
- Объем ОЗУ
- Объем РПЗУ
- Типы интерфейсов
- Надежность!



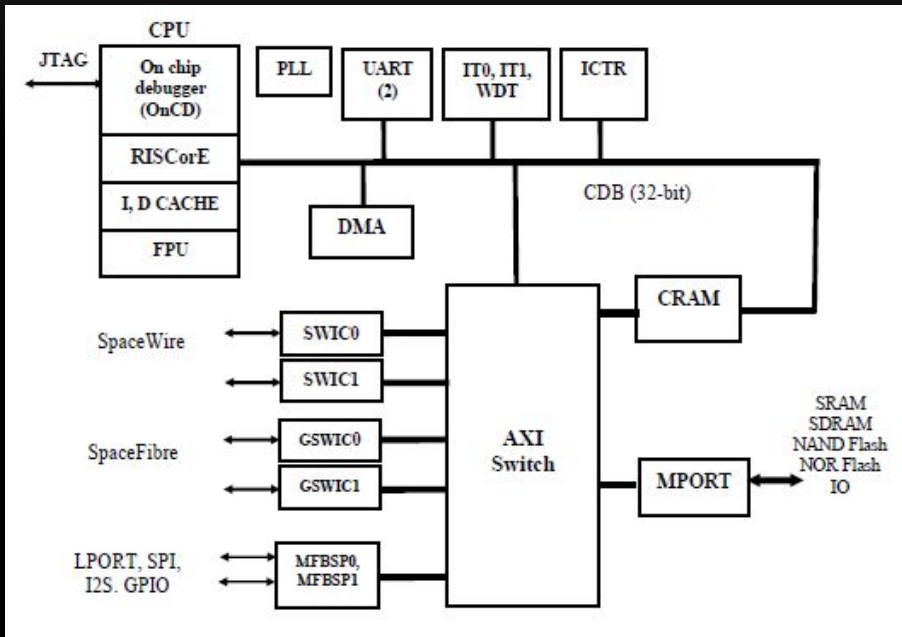
БЦВМ МОКБ МАРС



18XC196KC (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 программы;
 - AXI Switch - коммутатор;
 - PLL – умножители частоты на основе PLL;
 - SWIC0, SWIC1 – контроллеры интерфейса SpaceWire;
 - GSWIC0, GSWIC1 – контроллеры интерфейса GigaSpaceWire;
 - MFBSPI – (Multifunctional Buffered Serial Port) многофункциональный буферизированный последовательный порт (SPI, I2S, LPORT, 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 <small>(new)</small>	PPC 750	200 Mhz	variable	variable	NA
Leon3 FT GR712RC	SPARC 8 Dual core	100 Mhz	variable	variable	NA

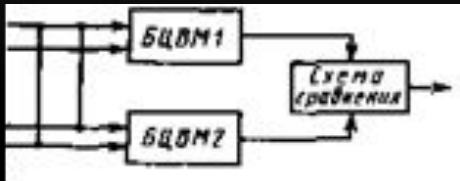
ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ БЦВМ

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

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

СХЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ БЦВМ



Дублированная схема БЦВМ

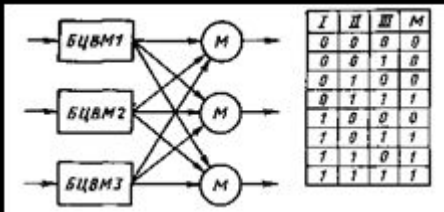


Схема троированной БЦВМ с мажоритированием

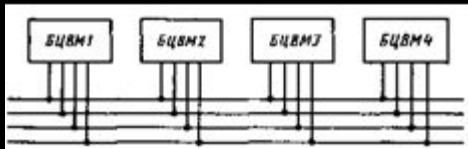
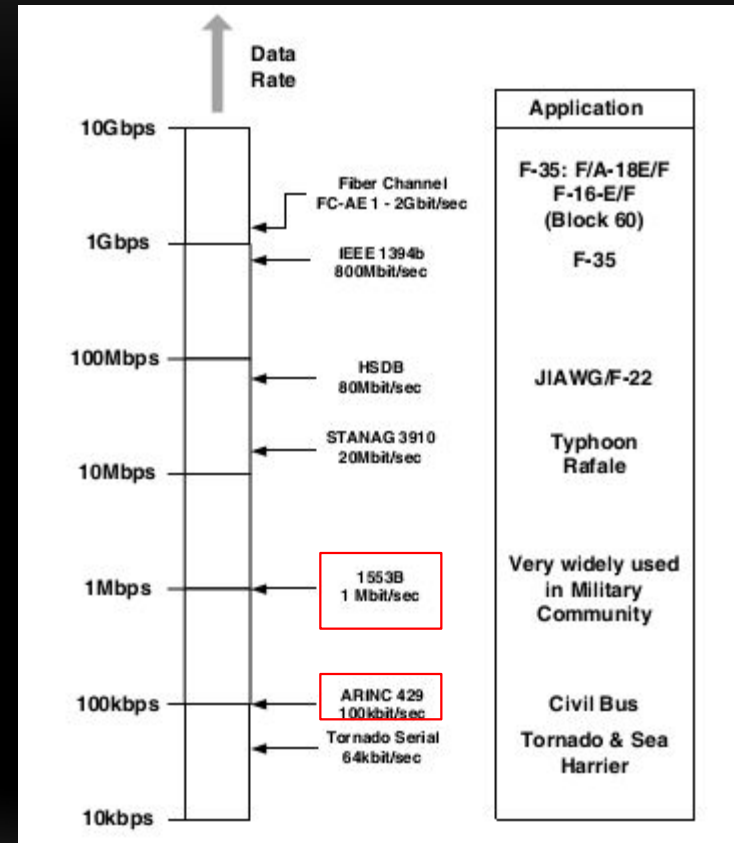


Схема четырехкратного резервирования БЦВМ

УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА: ЦИФРОВЫЕ

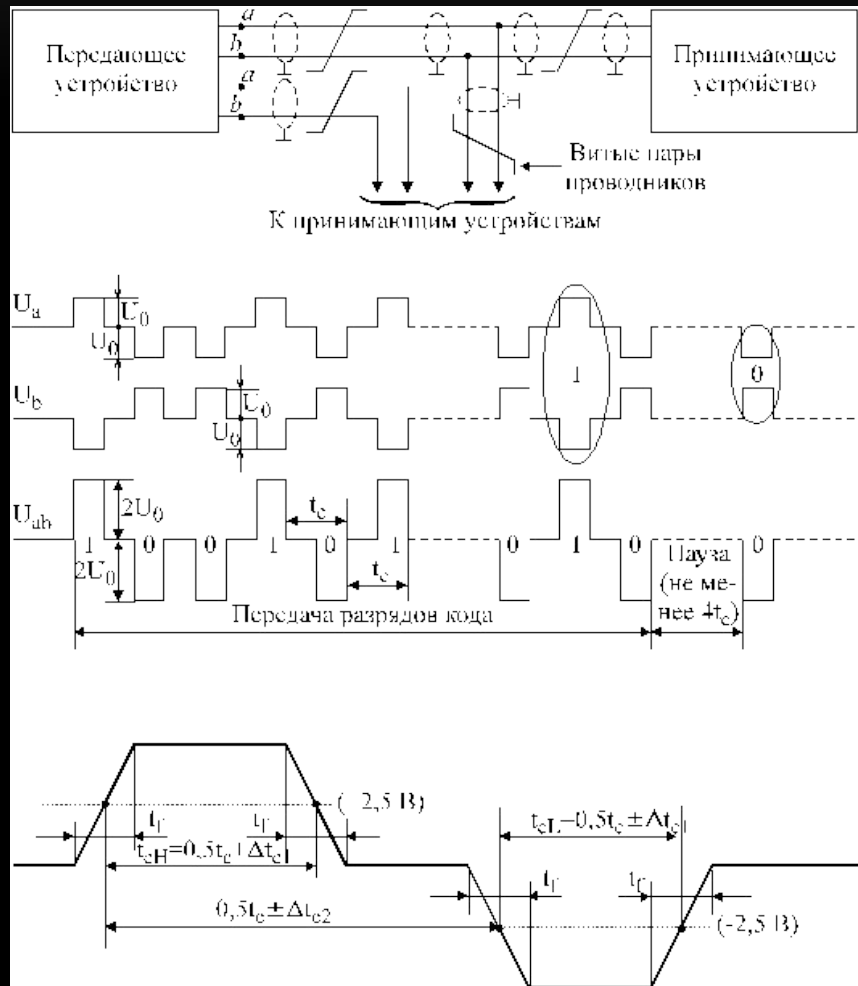
Эталонная модель взаимодействия открытых систем(OSI):

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



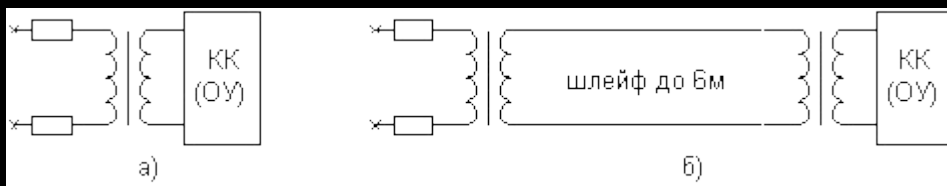
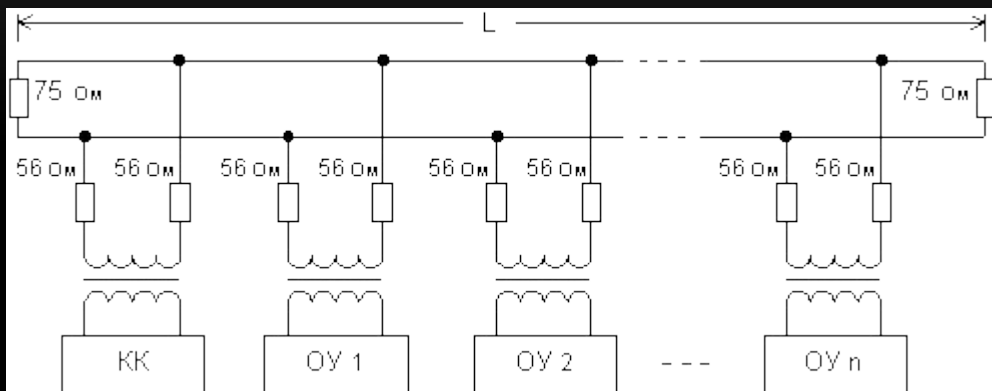
УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ – ЦИФРОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ

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 100КГц.
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

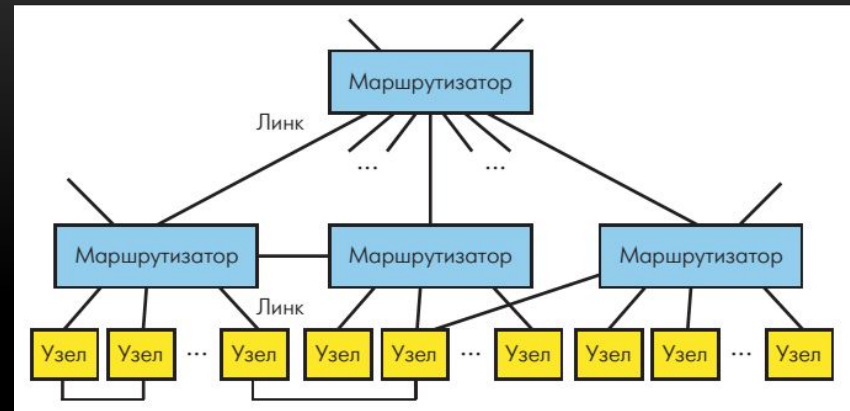
длина отводящих шлейфов до 6м

скорость передачи информации 1 Мбит/с

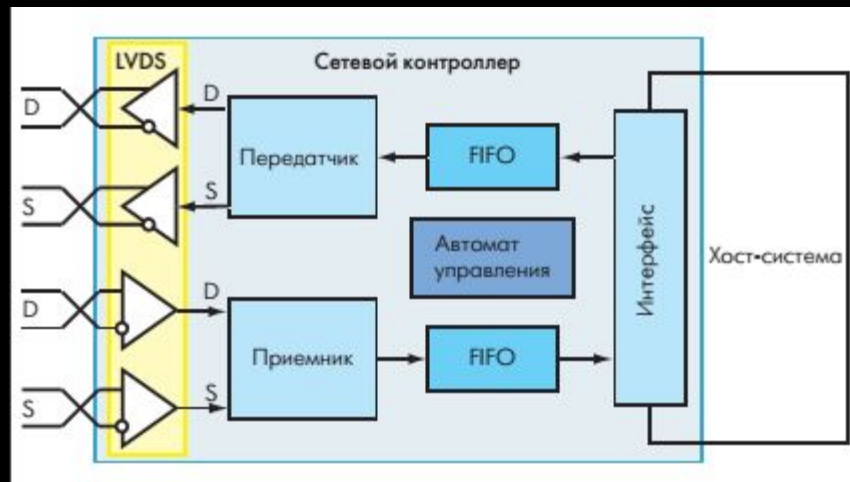
вероятность необнаруживаемой ошибки 10-12 на бит

СТАНДАРТ SPACEWIRE

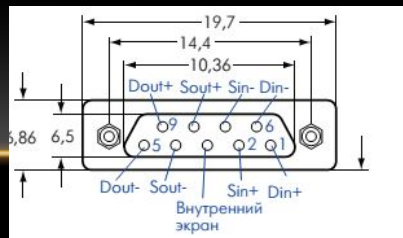
- Обобщенная структура сети SpaceWire



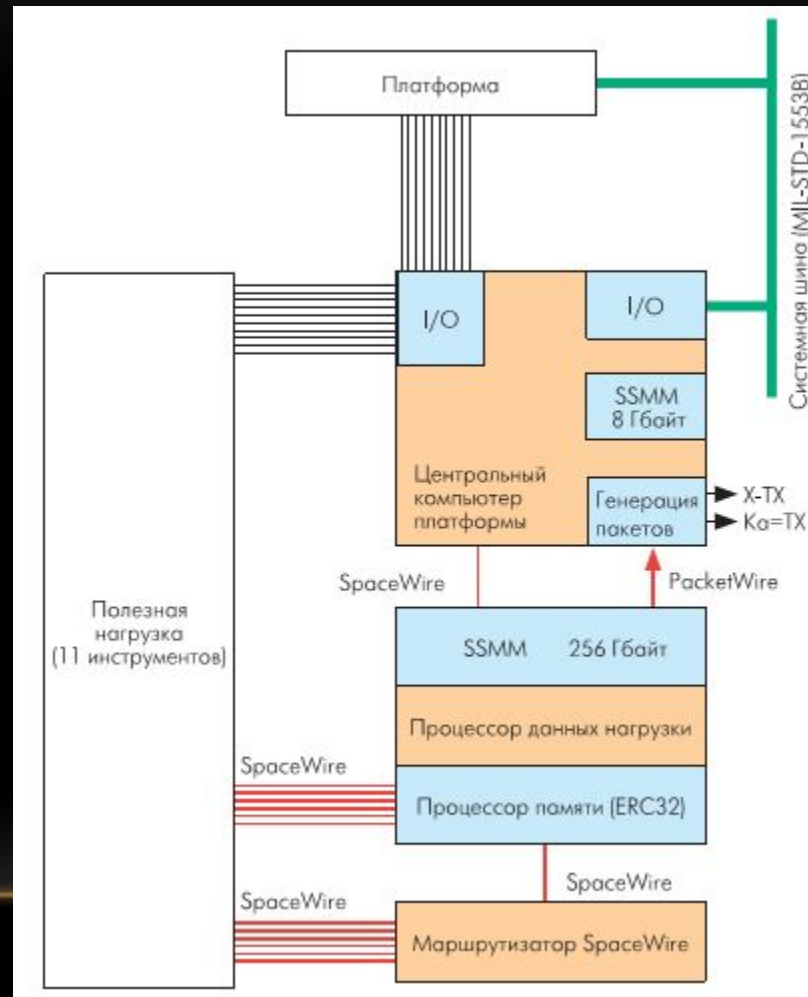
- Узел SpaceWire



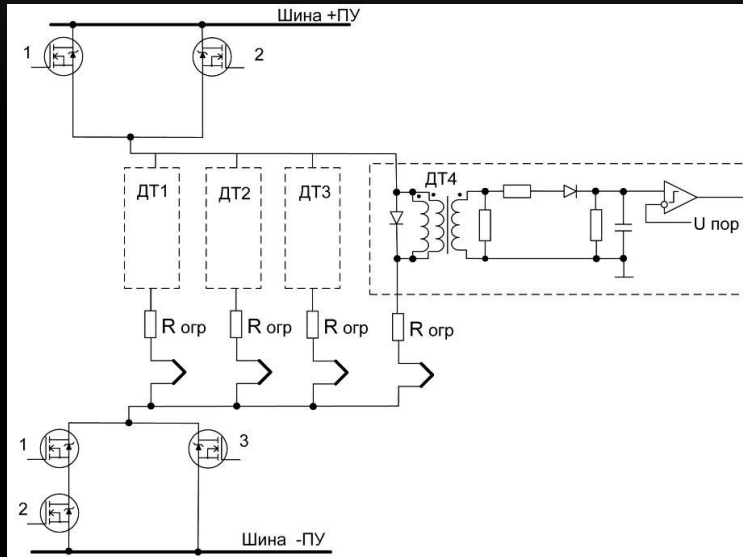
- Разъем D-типа



SPACEWIRE В СОСТАВЕ БКУ КА MERCURY PLANETARY OBSERVER

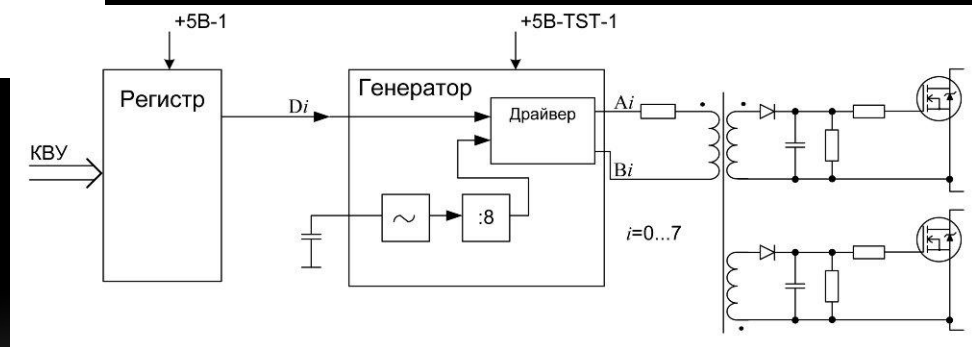


УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ (БЛОКИ СИЛОВОЙ АВТОМАТИКИ)

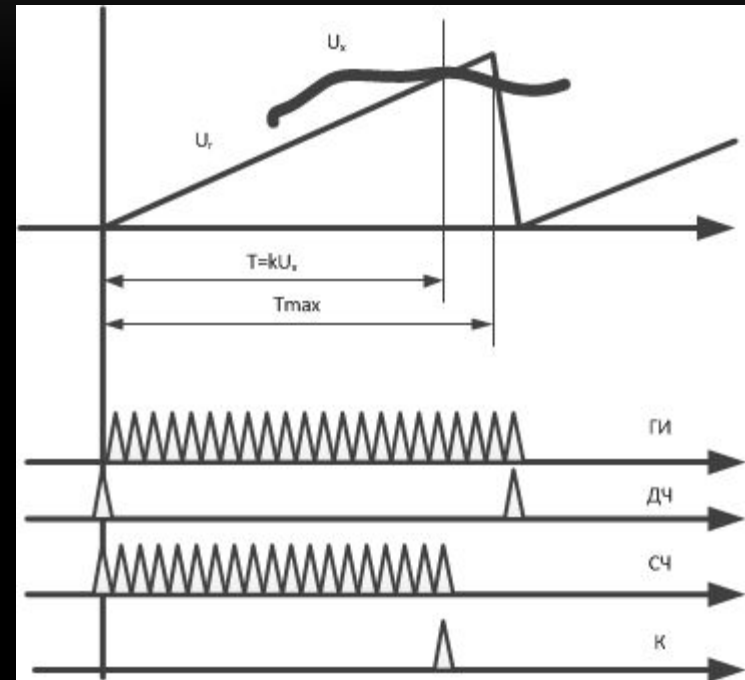
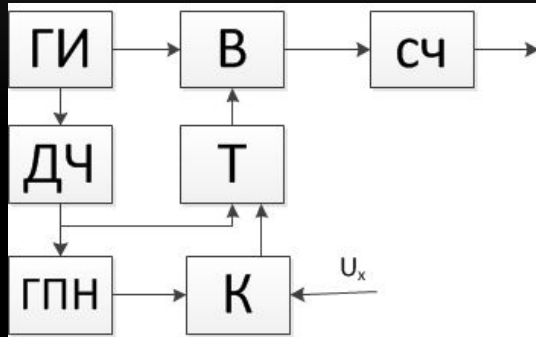


<- Выходной каскад управления пиропатронами

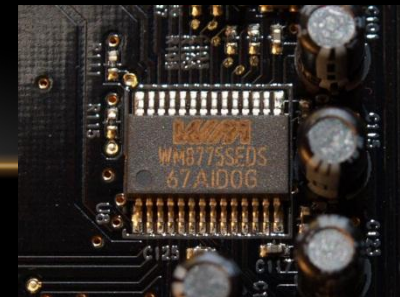
Фрагмент тракта выдачи разовой команды ->



УСТРОЙСТВА ВВОДА: АЦП



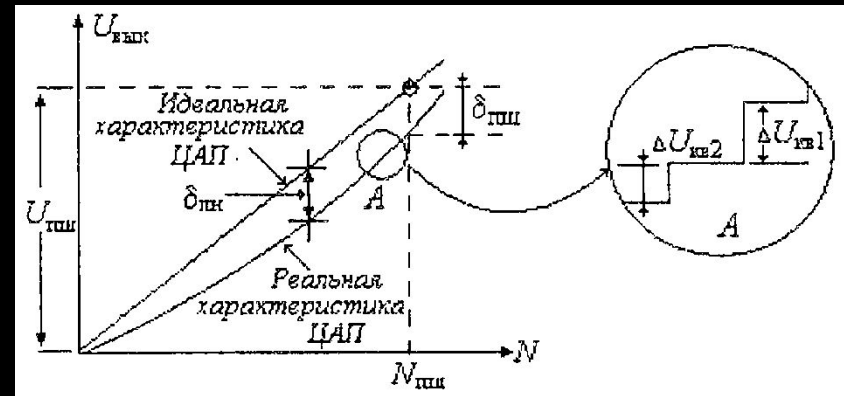
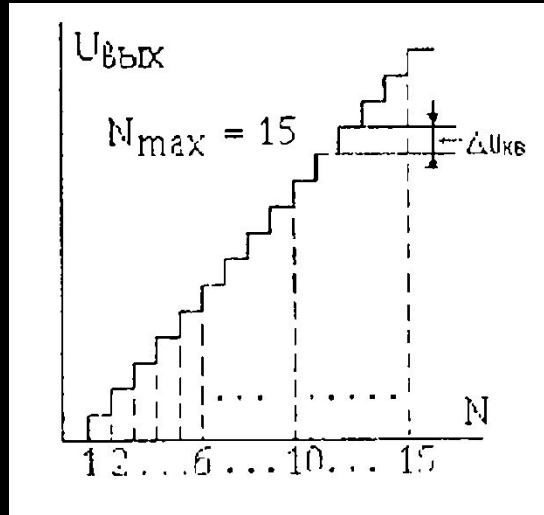
- ГИ – генератор импульсов
- ДЧ- делитель частоты
- ГПН – генератор пилообразного напряжения
- В- вентиль
- Т – триггер
- К – ключ
- СЧ - счетчик



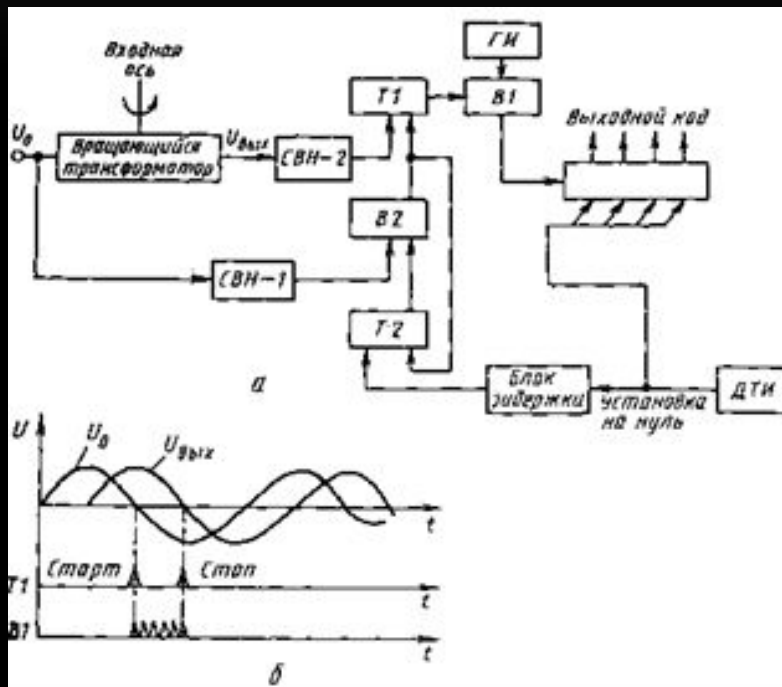
ХАРАКТЕРИСТИКИ АЦП

$$W_{\text{ацп}} = z^{-1}$$

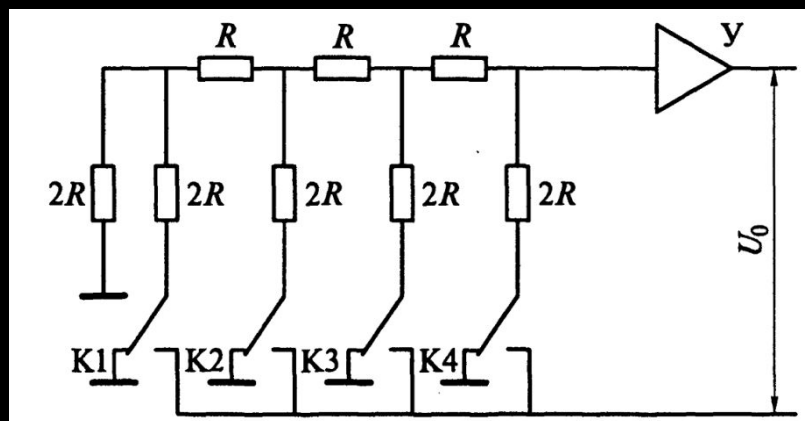
$T_{\text{ц}}, N$



ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ УГОЛ-КОД



УСТРОЙСТВА ВЫВОДА - ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КОД-НАПРЯЖЕНИЕ



«Лестничная» схема преобразования параллельного кода в напряжение

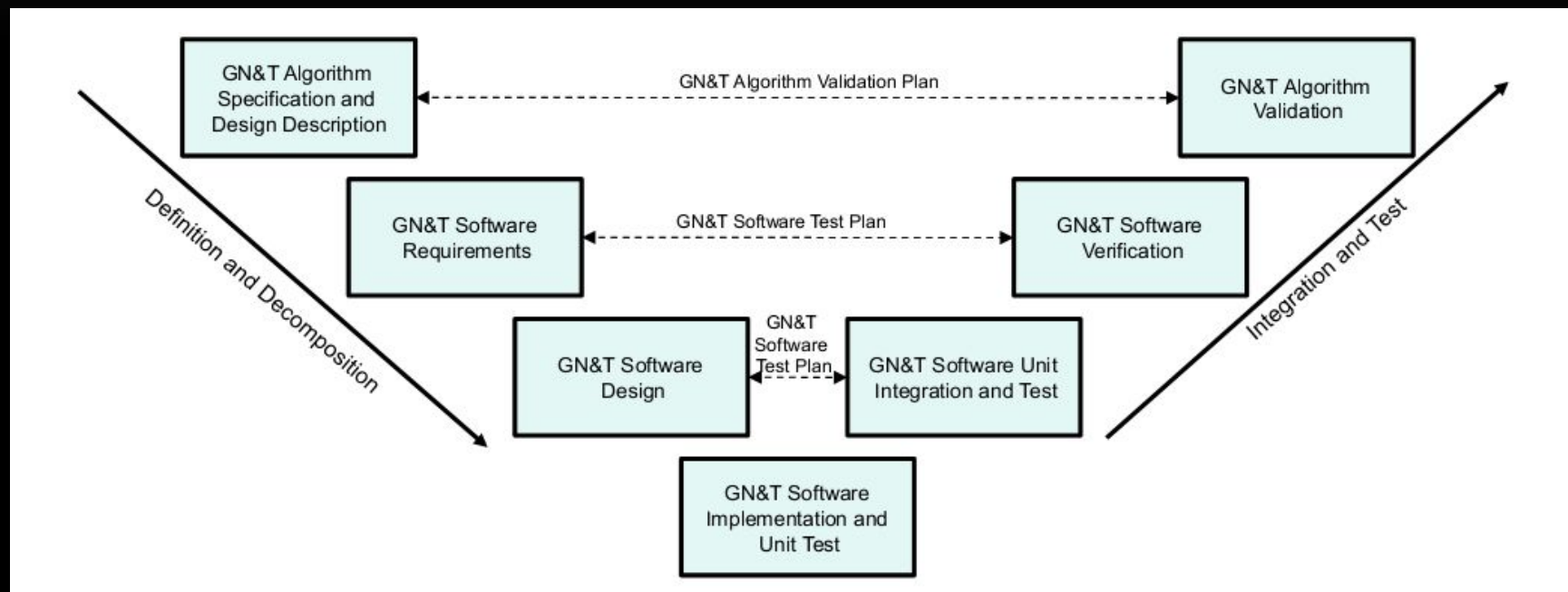
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Служебное ПО
- Функциональное ПО

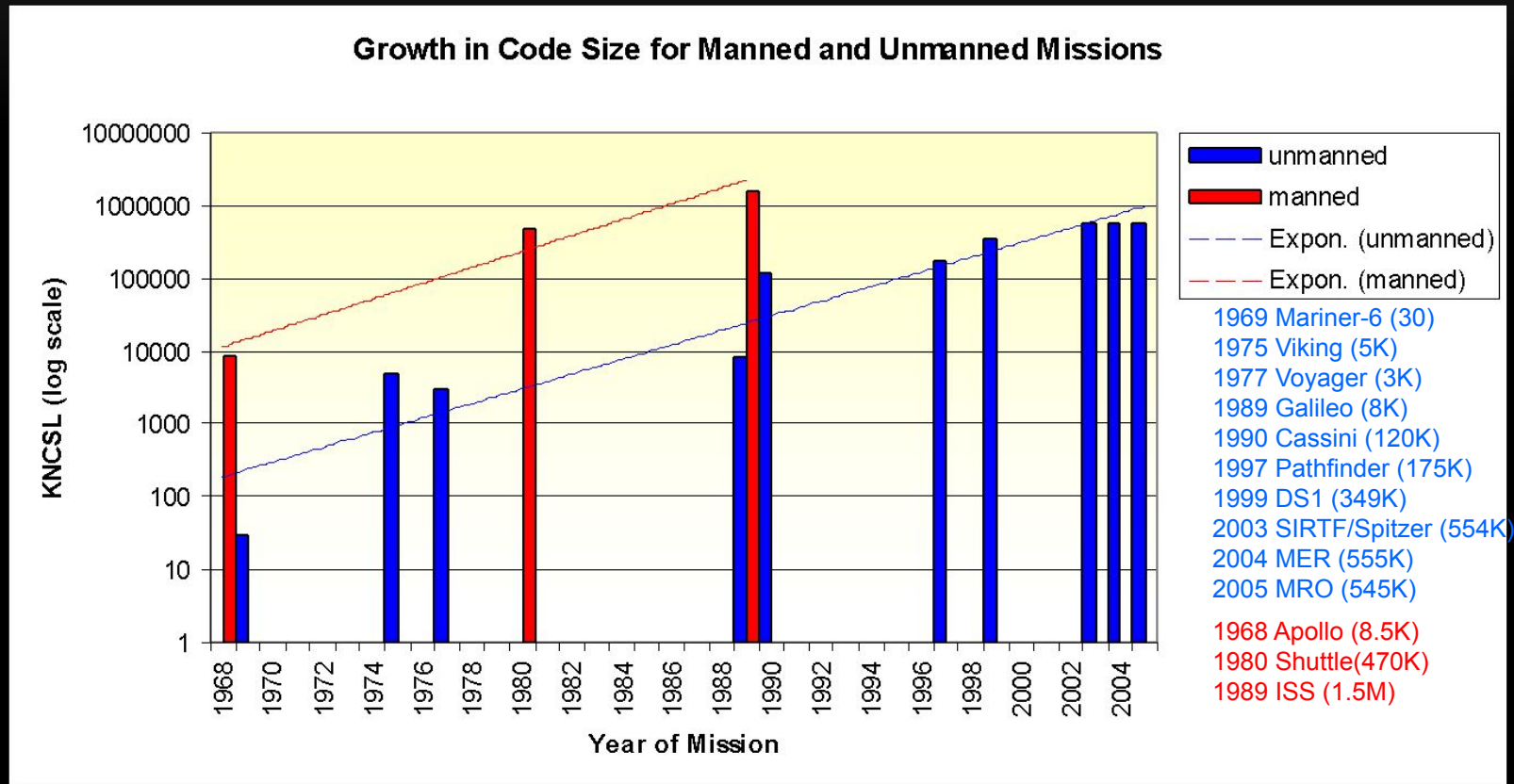
НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПО

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

V-МОДЕЛЬ РАЗРАБОТКИ ПО

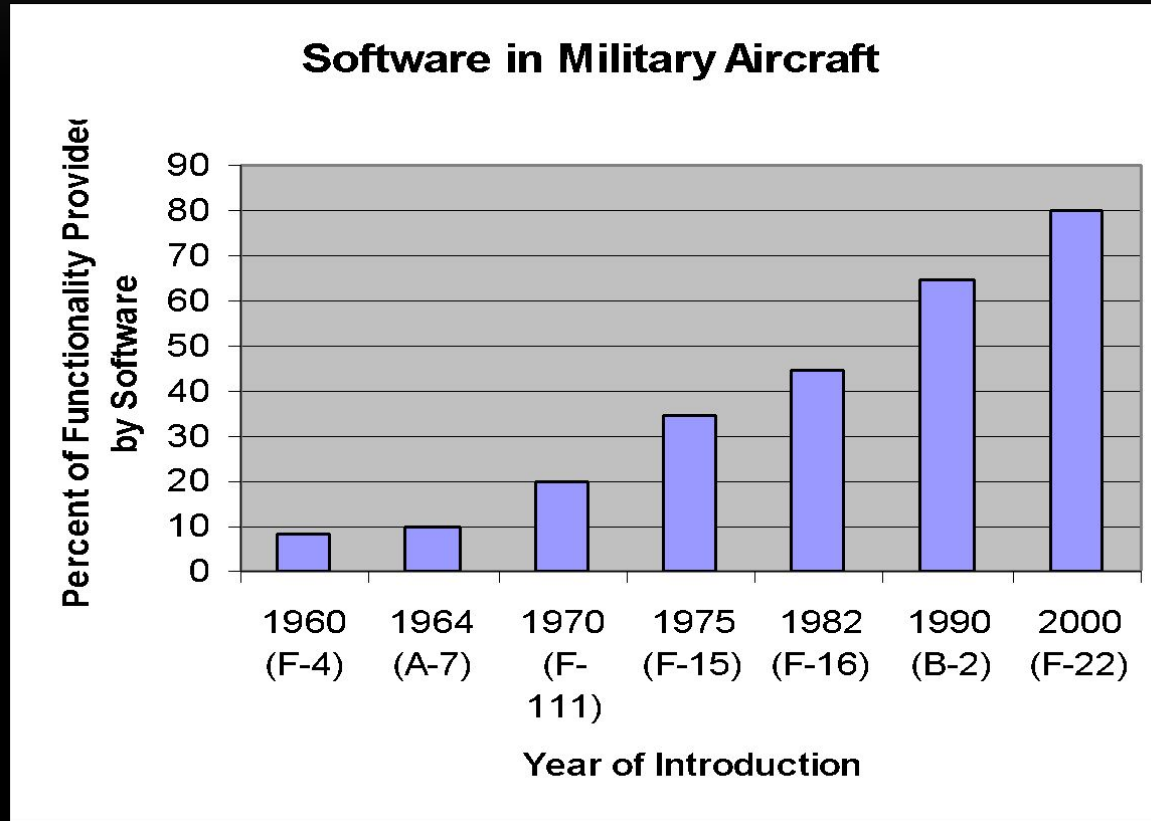


ОБЪЕМ БПО ПРОЕКТОВ NASA



KNCSL = 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 ОСРВ; 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	ОСРВ, 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