

Sběrnice PC bus (1)

- Navržena a vyrobena firmou IBM pro první počítače IBM PC a IBM PC/XT založené na procesoru Intel 8088 (Intel 8086)
- Konstruována tak, aby využívala možností procesoru Intel 8088
- Napětové úrovně všech signálů odpovídají logice TTL
- Poskytuje 62 linek (vodičů), z nichž 8 slouží pro přenos dat $\Rightarrow$ šířka přenosu dat sběrnice PC bus je 8 bitů

2023-11-01

1

1

Sběrnice PC bus (2)

- Pro přenos adresy je na sběrnici PC bus vy-
mezeno 20 vodičů (odpovídá 20bitové adre-
sové sběrnici procesoru Intel 8088, resp.
Intel 8086)
- Jedná se o synchronní sběrnici pracující
s maximální frekvencí 8 MHz
- Jednotlivé sloty jsou zapojeny paralelně, tzn.
jsou si navzájem ekvivalentní $\Rightarrow$ nezáleží na
tom, do kterého slotu je daná karta osazena

2023-11-01

2

2

Sběrnice PC bus (3)

- Základní deska se sběrnici PC bus:



2023-11-01

3

3

Sběrnice PC bus (4)

- Rozšiřující karta pro sběrnici PC bus:



2023-11-01

4

4

Sběrnice ISA (1)

- **ISA** (Industry Standard Architecture)
- Dříve označována také jako AT bus
- Navržena tak, aby plně odpovídala možnos-
tem procesoru 80286
- Dodržuje plnou zpětnou kompatibilitu s pře-
dešlou sběrnici PC bus
- Rozšiřující karty určené pro PC bus lze pou-
žívat i v počítačích se sběrnici ISA

2023-11-01

5

5

Sběrnice ISA (2)

- Kompatibilita je dosaženo rozšířením staré
62vodičové sběrnice o dalších 36 vodičů
- Odpovídající slot se rozšířil o další konektor
umístěný v jedné řadě hned za starším (8bi-
tovým) slotem pro PC bus
- Takto vznikl nový 16bitový slot, který je
umístěn na sběrnici ISA
- Sběrnice ISA má:
 - šířku přenosu 16 bitů, tj. během jedné operace
je možné přenášet nejvýše 16bitovou informaci

2023-11-01

6

6

Sběrnice ISA (3)

- pro přenos adresy vymezeno 24 vodičů odpovídajících 24bitové adresové sběrnici procesoru 80286
- Sběrnice ISA pracuje podobně jako PC bus s maximální frekvencí 8 MHz (synchronně s procesorem)
- Protože sběrnice ISA i PC bus jsou velmi náchylné na šum, není možné dále zvyšovat jejich frekvenci

2023-11-01

7

Sběrnice ISA (4)

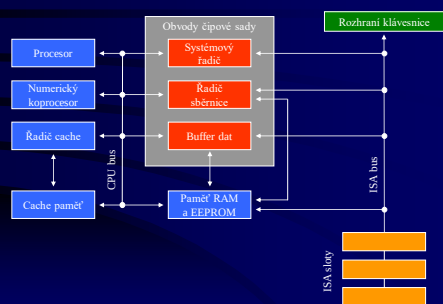
- Jestliže procesor pracuje s vyšší frekvencí než 8 MHz, pak sběrnice ISA pracuje se zlomkem jeho frekvence
- Používána téměř u všech počítačů s procesory 80286, 80386 a u starších počítačů s procesorem 80486
- Z důvodů zpětné kompatibility byla sběrnice ISA integrována (společně s jiným typem sběrnice) i na základní desky počítačů s procesory 80486 – Pentium II, Celeron

2023-11-01

8

Sběrnice ISA (5)

- Systém se sběrnici ISA:



2023-11-01

9

Sběrnice ISA (6)

- Základní deska se sběrnici ISA:

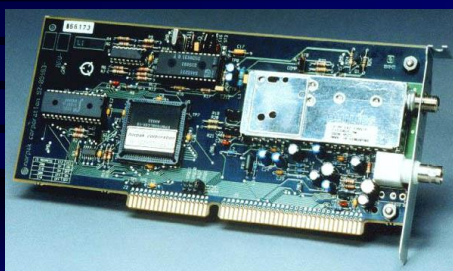


2023-11-01

10

Sběrnice ISA (7)

- Rozšiřující karta pro sběrnici ISA:



2023-11-01

11

Sběrnice MCA (1)

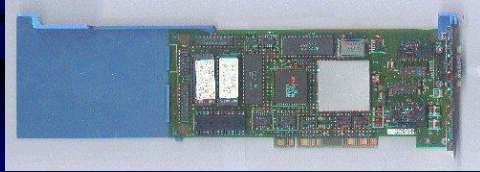
- **MCA** (MicroChannel Architecture) byla vyvinuta firmou IBM pro počítače řady PS/2
- Není zpětně kompatibilní se sběrnici ISA
- Dovoluje běh s maximální frekvencí 10 MHz
- Šířka přenosu dat je 16, resp. 32 bitů
- Podporuje práci i v tzv. **proudovém režimu**, ve kterém dokáže současně přenášet 64 bitů
- Šířka adresové části je 24 bitů (pro 80286), resp. 32 bitů (pro 80386 a 80486)

2023-11-01

12

Sběrnice MCA (2)

- Umožňuje **busmastering**, tj. sdílené řízení sběrnice
- Nezaznamenala většího rozšíření
- Rozšiřující karta pro sběrnici MCA:



2023-11-01

13

13

Sběrnice EISA (1)

- **EISA** (Extended Industry Standard Architecture) byla vyrobena 9 firmami jako odpověď na sběrnici MCA
- Kompatibilní se sběrnici ISA
- Základní vlastnosti sběrnice EISA:
 - šířka přenosu dat je 32 bitů
 - šířka adresy je 32 bitů
 - dovoluje programové nastavování rozšiřujících karet
 - frekvence 8 MHz (z důvodů kompatibility s ISA)

2023-11-01

14

14

Sběrnice EISA (2)

- Slot sběrnice EISA má stejnou velikost jako slot ISA a obsahuje stejné vývody (62 + 36)
- Kromě těchto vývodů má ještě 59 nových vývodů umístěných mezi starými vývody sběrnice ISA
- Nové vývody zůstanou v případě zasunutí karty pro ISA sběrnici nezapojeny
- Sběrnice EISA byla používána zejména u počítačů s procesory 80386 a 80486, na které byla kladena větší zátěž (např. síťové servery)

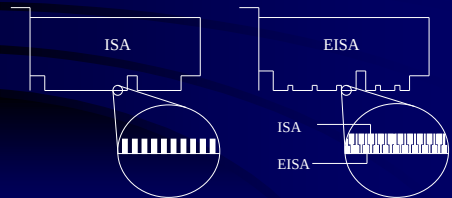
2023-11-01

15

15

Sběrnice EISA (3)

- Vzhledem k příchodu modernějších typů sběrnic se sběrnice EISA dnes již nepoužívá
- Rozmístění vývodů sběrnice ISA a EISA



2023-11-01

16

16

Sběrnice EISA (4)

- Rozšiřující karta pro sběrnici ISA (nahore) a EISA (dole):



2023-11-01

17

17

Sběrnice VL bus (1)

- **VL bus** (VESA Local Bus) byla navržena v roce 1992 konsorciem VESA (Video Electronic Standards Association)
- Jedná se o lokální sběrnici
- Šířka přenosu dat i adresy je 32 bitů
- Podporuje maximálně 3 přidavné sloty
- Teoretická mez VL busu je 50 MHz
- Prakticky je možné, aby pracovala s frekvencí 33 MHz (při třech osazených kartách)

2023-11-01

18

18

Sběrnice VL bus (2)

- VL bus je zpětně kompatibilní se sběrnici ISA
- Nejvyššího výkonu dosahuje v tzv. **burst (souvislém) režimu**:
 - redukuje počet přenášených položek (např. adres)
 - adresa se v burst režimu vysílá pouze v prvním ze 4 bezprostředně následujících sběrniceových cyklů a v následujících třech se přenáší jen data
 - burst režim lze tedy použít pouze tehdy, když se čte (zapisuje) do bezprostředně za sebou následujících paměťových míst

2023-11-01

19

19

Sběrnice VL bus (3)

- Nevýhodou sběrnice VL bus je její silná procesorová závislost způsobená přímým zapojením slotů VL busu na systémovou sběrnici
- Tato závislost nedovoluje prakticky použít VL bus v jiném počítači, než je počítač s procesorem Intel nebo kompatibilním
- Sběrnice VL bus je vyráběna na základní desce vždy spolu se sběrnici ISA, protože při své práci využívá některých jejích signálů

2023-11-01

20

20

Sběrnice VL bus (4)

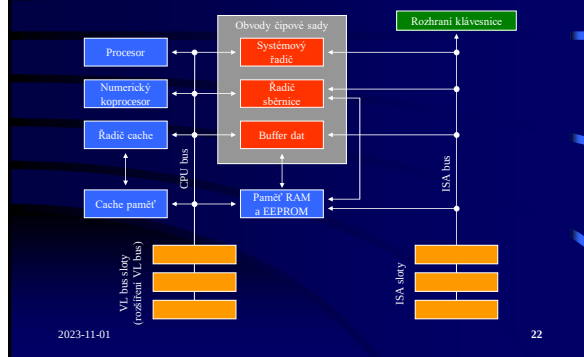
- Konektor VL busu se nachází v jedné řadě za 16bitovým konektorem ISA a má 2×58 vývodů
- Sběrnice VL bus byla používána zejména u počítačů s procesorem 80486 a u prvních počítačů s procesorem Pentium
- Systém se sběrnici VL bus:

2023-11-01

21

21

Sběrnice VL bus (5)



2023-11-01

22

22

Sběrnice VL bus (6)

- Základní deska se sběrnici VL bus:



2023-11-01

23

23

Sběrnice VL bus (7)

- Rozšiřující karta pro sběrnici VL bus:



2023-11-01

24

24

Sběrnice PCI (1)

- **PCI** (Peripheral Component Interconnect) je sběrnice, která byla navržena a vyrobena firmou Intel v roce 1992
- Původně byla určena pro počítače s procesory Intel Pentium
- Nejedná se již o „klasickou“ lokální sběrnici
- Využívá tzv. **mezisběrníkový můstek (CPU – PCI bridge)**, jehož prostřednictvím je připojena k systémové sběrnici

2023-11-01

25

25

Sběrnice PCI (2)

- Toto řešení přináší následující výhody:
 - možnost použití sběrnice PCI i v jiných počítačích než jsou PC (např. Macintosh, DEC)
 - můstek dovoluje provádět přizpůsobování napětových úrovní
- Sběrnice PCI je **časově multiplexována**, tj. adresa i data jsou přenášena po stejných vodičích (nejprve adresa, potom data)
- Šířka přenosu dat i adresy je standardně 32 bitů

2023-11-01

26

26

Sběrnice PCI (3)

- Existuje i 64bitová verze PCI, která se používá zejména pro řadiče diskových polí (RAID) a síťové karty pro Gigabit Ethernet
- Příklad: Přenos 128 B (souvislý blok dat)

	32-bit PCI bus	64-bit PCI bus
32-bit address	Adresa: 1 takt Data : 32 taktů	Adresa: 1 takt Data : 16 taktů
64-bit address	Adresa: 2 takty Data : 32 taktů	Adresa: 1 takt Data : 16 taktů

2023-11-01

27

27

Sběrnice PCI (4)

- Maximální frekvence, se kterou může tato sběrnice standardně pracovat:
 - **33 MHz**: maximální propustnost sběrnice:
 - 132 MB/s: pro šířku přenosu dat 32 bitů
 - 264 MB/s: pro šířku přenosu dat 64 bitů
 - **66 MHz**: maximální propustnost sběrnice:
 - 264 MB/s: pro šířku přenosu dat 32 bitů
 - 528 MB/s: pro šířku přenosu dat 64 bitů
- Sběrnice PCI 66 MHz a 33 MHz jsou vzájemně kompatibilní, tj.:

2023-11-01

28

28

Sběrnice PCI (5)

- lze použít 33 MHz kartu na sběrnici s frekvencí 66 MHz
- lze použít 66 MHz kartu na sběrnici s frekvencí 33 MHz
- v obou případech však bude sběrnice (i karta) pracovat s frekvencí 33 MHz
- Sběrnice PCI je nezávislá na sběrnici ISA, tzn. že nevyužívá žádných jejích signálů
- PCI sběrnice tedy může být integrována na základní desce bez sběrnice ISA

2023-11-01

29

29

Sběrnice PCI (6)

- Pro dodržení zpětné kompatibility jsou (byly) počítače se sběrnici PCI osazovány i sběrnici ISA, popř. EISA
- PCI umožňuje **busmastering**
- Podporuje standard **Plug & Play**, který dovoluje automatickou konfiguraci rozšiřujících karet (bez zásahu uživatele)
- Sběrnice PCI je používána u novějších počítačů s procesorem 80486 a u počítačů s procesory Pentium a vyššími

2023-11-01

30

30

Sběrnice PCI (7)

PCI Sloty

Zadní panel počítače Zadní panel počítače

- ← 64 bitů, 33 MHz (5 V)
- ← 32 bitů, 33 MHz (5 V)
- ← 64 bitů, 66 MHz (3,3 V)
- ← 32 bitů, 33 MHz (5 V)

2023-11-01 31

31

Sběrnice PCI (8)

- Konektory karet pro sběrnici PCI:
 - 32bitové:

Univerzální

5 V

3,3 V

2023-11-01 32

32

Sběrnice PCI (9)

– 64bitové:

Univerzální

5 V

3,3 V

2023-11-01 33

33

Sběrnice PCI (10)

Systém se sběrnici PCI:

Obvody čipové sady

- Systémový radič
- Radič sběrnice
- Buffer dat

CPU bus

- Processor
- Numerický koprocessor
- Radič cache
- Cache paměť

Paměť RAM a EEPROM

CPU – PCI bridge

PCI sloty

PCI – ISA bridge

ISA sloty

ISA bus

Rozhraní klávesnice

2023-11-01 34

34

Sběrnice PCI (11)

- Základní deska se sběrnici PCI a ISA:

2023-11-01 35

35

Sběrnice PCI (12)

- Základní deska se sběrnici PCI:

2023-11-01 36

36

Sběrnice PCI (13)

- Rozšiřující karta pro sběrnici PCI:



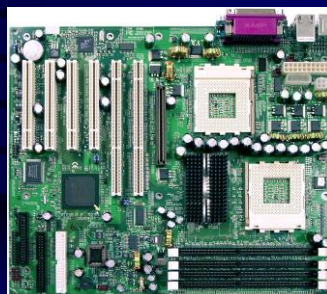
2023-11-01

37

37

Sběrnice PCI (14)

- Základní deska s 64bitovou sběrnici PCI:



2023-11-01

38

38

Sběrnice PCI-X (1)

- Sběrnice **PCI-X** vychází z původního návrhu sběrnice PCI $\Rightarrow$ používá stejnou architekturu a je zpětně kompatibilní se sběrnici PCI
- Používá stejný konektor jako PCI (64 bitů, 66 MHz, 3,3 V)
- Šířka přenosu dat je 64 bitů (32 bitů, 16 bitů)
- Zavádí nový komunikační protokol, který dovoluje efektivnější přenos dat
- Byla vyráběna ve čtyřech různých verzích:

2023-11-01

39

39

Sběrnice PCI-X (2)

- **PCI-X 66:**
 - pracuje s frekvencí 66 MHz
- **PCI-X 133:**
 - pracuje s frekvencí 133 MHz
- **PCI-X 266:**
 - pracuje s frekvencí 133 MHz
 - během jednoho taktu umožňuje uskutečnit dva datové přenosy
 - poskytuje maximální přenosovou rychlost 2,1 GB/s
- **PCI-X 533:**
 - pracuje s frekvencí 133 MHz

2023-11-01

40

40

Sběrnice PCI-X (3)

- během jednoho taktu umožňuje uskutečnit čtyři datové přenosy
- poskytuje maximální přenosovou rychlost 4,2 GB/s
- Ve vývoji byla i verze **PCI-X 1066**

2023-11-01

41

41

Sběrnice PCI Express (1)

- **PCI Express (PCIe, PCI-E)** je nové označení technologie původně známé jako **3GIO**
- Specifikace PCIe byla dokončena v roce 2002
- Jedná se o novou architekturu pro budování rozšiřujících sběrnice
- Dosud používané rozšiřující sběrnice (PC bus – PCI-X) jsou (byly) budovány jako systémy se sdílenou sběrnici

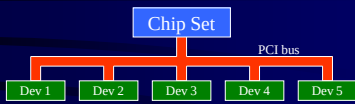
2023-11-01

42

42

Sběrnice PCI Express (2)

- Systém se sdílenou sběrnici (PCI bus):



- PCIe používá tzv. **point-to-point** topologii
- Tato topologie nahrazuje sdílenou sběrnici **sdíleným přepínačem (switch)**, který je integrován na úrovni obvodů čipové sady a zabezpečuje vzájemnou komunikaci

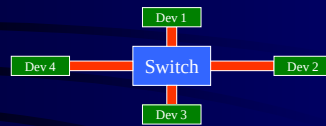
2023-11-01

43

43

Sběrnice PCI Express (3)

- Systém se sdíleným přepínačem (PCIe)



- Jednotlivá zařízení nemusí sdílet jednu sběrnici, ale každé z nich má výhradní a přímý přístup k přepínači

2023-11-01

44

44

Sběrnice PCI Express (4)

- Přepínač provádí směrování komunikačních paketů mezi jednotlivými zařízeními
- Výhodou topologie využívající komunikaci pomocí přepínání je:
 - centralizace řízení provozu celé sběrnice do jednoho obvodu (switch)
 - zařízení nemusí používat obvody, pomocí nichž je realizováno rozhodování, které zařízení bude momentálně komunikovat

2023-11-01

45

45

Sběrnice PCI Express (5)

- dovoluje implementaci **QoS (Quality of Service)**:
 - switch může upřednostňovat některé pakety (např. pakety pro přehrávání videa v reálném čase) před jinými pakety, které nejsou časově kritické
- Každé zařízení má svou vyhrazenou sběrnici, která je v terminologii PCIe označována jako **link**
- Každý link je tvořen jednou nebo více cestami označovanými jako **lanes**

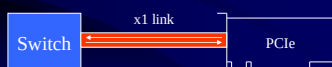
2023-11-01

46

46

Sběrnice PCI Express (6)

- Každá cesta (**lane**) umožňuje v jednom okamžiku sériově přenášet data oběma směry (pracuje v režimu **full duplex**)
- Podle počtu cest, které tvoří jeden link se potom rozlišují jednotlivé typy linků (**x1 link**, **x2 link**, **x4 link**, **x8 link**, **x16 link** a **x32 link**)

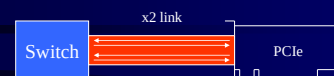


2023-11-01

47

47

Sběrnice PCI Express (7)



- Při komunikaci prostřednictvím sběrnice PCIe se používá kódování **8b/10b** (verze 1.x a 2.0):
 - každých 8 bitů je zakódováno pomocí 10bitového vzorku
 - zaručuje, že nedojde ke ztrátě synchronizace mezi vysílačem a přijímačem
 - má účinnost 80 %

2023-11-01

48

48

Sběrnice PCI Express (8)

- Jedna cesta je schopna v jednom směru přenášet data rychlostí:

Ver.	Frekvence [GHz]	Přenosová rychlost			
		GT/s	Gb/s 8b/10b	Gb/s nezákod.	MB/s nezákod.
1.x	2,5	2,5	2,5	2	250
2.0	5	5	5	4	500

- Při startu počítače se sběrnici PCIe se jednotlivá zařízení „dohodnou“ se switchem na počtu cest, který budou používat

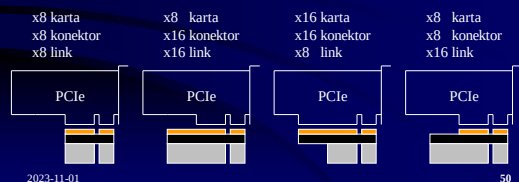
2023-11-01

49

49

Sběrnice PCI Express (9)

- Výsledný počet cest je dán:
 - maximální šířkou linku (počtem jeho cest)
 - šířkou konektoru, do něhož je zařízení zapojeno
 - počtem cest, které je schopno zařízení používat
- Povoleny jsou následující varianty (x8 a x16):



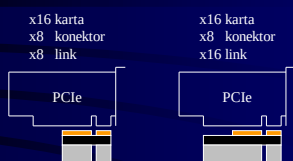
2023-11-01

50

50

Sběrnice PCI Express (10)

- Nelze použít např.:



2023-11-01

51

51

Sběrnice PCI Express (11)

- PCI Express 3.0:**
 - specifikace zveřejněná v roce 2010
 - zpětně kompatibilní s předcházejícími verzemi
 - používá kódování **128b/130b**, jehož účinnost je cca 98,5 %
 - jedna cesta je schopna v jednom směru přenášet data s rychlostí 8 GT/s (cca 1 GB/s, resp. 985 MB/s)
- PCI Express 4.0:**
 - její finální specifikace byla zveřejněna v roce 2017
 - zpětně kompatibilní s PCI Express 3.0

2023-11-01

52

52

Sběrnice PCI Express (12)

- používá kódování **128b/130b**
- poskytuje oproti PCI Express 3.0 dvojnásobnou přenosovou rychlost, tj. jedna cesta je schopna v jednom směru přenášet data s rychlostí 16 GT/s (cca 1,969 GB/s)
- PCI Express 5.0:**
 - uvedena na trh v roce 2019
 - používá kódování **128b/130b**
 - přenosová rychlost je 32 GT/s, tj. jedna cesta může v jednom směru přenášet data s rychlostí cca 3,938 GB/s (při konfiguraci x16 link dosahuje maximální přenosové rychlosti cca 63 GB/s)

2023-11-01

53

53

Sběrnice PCI Express (13)

- Základní deska se sběrnici PCIe (1x PCIe – x16 link a 3x PCIe – x1 link):



2023-11-01

54

54

Sběrnice PCI Express (14)

- Karta pro sběrnici PCIe x16:



2023-11-01

55

55

Magnetický záznam dat (1)

- Magnetický záznam dat je prováděn působením magnetického pole na magneticky vodivý materiál
- K vyjádření jakosti magnetického pole se používají dvě veličiny:
 - intenzita magnetického pole: H [A/m]
 - magnetická indukce: B [T]
- Magnetická indukce vzniká působením intenzity magnetického pole

2023-11-01

56

56

Magnetický záznam dat (2)

- Mezi veličinami H a B platí vztah:

$$B = \mu \cdot H$$

kde μ je veličina zvaná permeabilita [H/m]

- Pro μ platí:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

kde μ_0 je permeabilita vakua

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \approx 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

μ_r je relativní (poměrná) permeabilita daného materiálu

2023-11-01

57

57

Magnetický záznam dat (3)

- Relativní permeabilita určuje, kolikrát je dané prostředí magneticky vodivější než vakuum a je bezrozměrná. Pro:
 - vakuum je $\mu_r = 1$
 - vzduch je $\mu_r \approx 1$
- Podle chování látek v magnetickém poli, tj. podle velikosti relativní permeability se látky dělí do tří skupin:
 - diamagnetické ($\mu_r < 1$): např. měď, zinek, zlato, stříbro

2023-11-01

58

58

Magnetický záznam dat (4)

- paramagnetické ($\mu_r > 1$): např. platina a hliník
- feromagnetické ($\mu_r \gg 1$): např. železo, nikl, kobalt, ferity
- Z hlediska magnetického záznamu mají největší význam látky feromagnetické, z nichž bývají vyrobeny záznamové vrstvy např.:
 - pružných disků
 - pevných disků
 - magnetofonových pásek

2023-11-01

59

59

Magnetický záznam dat (5)

- Vznik hysterézní smyčky:
 - nechť feromagnetický materiál nemá žádnou magnetickou orientaci, tj. je ve stavu $H = 0$ A/m a $B = 0$ T
 - tento materiál vložíme do cívky a do jejího vinutí zavedeme elektrický proud
 - hodnotu proudu postupně zvyšujeme, čímž vzrůstá intenzita magnetického pole vytvářeného cívkou
 - tím rovněž vzrůstá ve feromagnetickém materiálu magnetická indukce ($B = \mu \cdot H$)

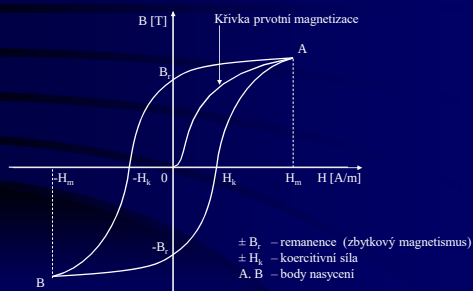
2023-11-01

60

60

Magnetický záznam dat (6)

- Hysterézní smyčka:



2023-11-01

61

61

Magnetický záznam dat (7)

- Různé feromagnetické materiály mají různý tvar hysterézní smyčky
- Čím **větší je plocha** hysterézní smyčky, tím je materiál považován za **magneticky tvrdší**
- Naopak při **menší ploše** je materiál označován jako **magneticky měkký**
- Materiály vhodné k výrobě médií pro magnetický záznam vyžadují, aby jejich hysterézní smyčka měla téměř pravoúhlý průběh

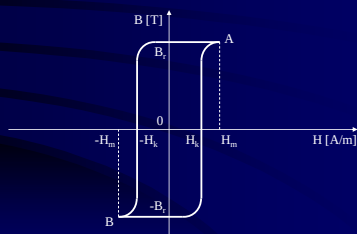
2023-11-01

62

62

Magnetický záznam dat (8)

- Hysterézní smyčka materiálu magnetického média:



2023-11-01

63

63

Magnetický záznam dat (9)

- Záznam na magnetické médium (pružný disk, pevný disk, magnetofonová páska) je prováděn záznamovou hlavou
- Záznamová hlava může rovněž sloužit i jako hlava čtecí
- Záznamová hlava se skládá z:
 - elektrického obvodu – cívky
 - magnetického obvodu – feromagnetického jádra

2023-11-01

64

64

Magnetický záznam dat (10)

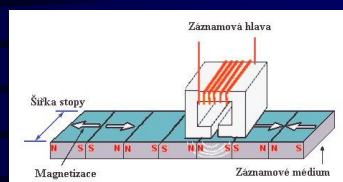
- Feromagnetické jádro obsahuje štěrbinu (o šířce cca 1 mikron), která umožňuje uzavírání indukčních čar přes magnetické médium, které se nachází v těsné blízkosti hlavy
- V médiu takto vzniká magnetická indukce, která se poté, kdy přestaneme na materiál působit magnetickým polem, ustálí na hodnotě remanence a v médiu tak vznikají tzv. **elementární magnety**

2023-11-01

65

65

Magnetický záznam dat (11)



- Čtení je prováděno čtecí hlavou (konstruována stejně jako záznamová hlava), která se pohybuje nad médiem obsahujícím elementární magnety

2023-11-01

66

66

Magnetický záznam dat (12)

- Jejich magnetický tok se uzavírá přes feromagnetické jádro hlavy a v cívice vzniká indukované napětí, pomocí něhož se rozlišují jednotlivé zaznamenané bity
- Platí:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

kde Φ značí magnetický tok [Wb]
 S značí plochu [m²]

2023-11-01

67

67

Modulace dat (1)

- Data se na magnetická média ukládají pomocí změn magnetického toku
- Tato změna může nastat z kladného toku na záporný nebo naopak ze záporného na kladný
- Každá takováto změna se při čtení projeví jako **impuls (P)**
- K reprezentaci dat na magnetickém médiu se tedy používá přítomnosti nebo nepřítomnosti impulsu (**mezer – N**)

2023-11-01

68

68

Modulace dat (2)

- Teoretická úvaha:
 - bit 1 zaznamenat (zakódovat) jako **impuls**
 - bit 0 zaznamenat (zakódovat) jako **mezeru**
- Takto realizované kódování by v praxi nikdy nefungovalo
- V okamžiku, kdy by následovala delší posloupnost nul, která by byla zaznamenána jako dlouhá posloupnost mezer bez jakýchkoliv impulsů, by došlo ke ztrátě synchronizace pevného disku s řadičem

2023-11-01

69

69

Modulace dat (3)

- Nebylo by tedy možné přesně určit, kolik mezer (nul) bylo přečteno
- Impulsy pomáhají vzájemně synchronizovat čtená data a řadič disku
- Data musí být na disk zaznamenávána tak, aby nikdy nedošlo k dlouhé posloupnosti mezer
- Na magnetické médium se však vejde větší počet mezer a impulsů, je-li počet impulsů menší

2023-11-01

70

70

Modulace dat (4)

- Je tedy nutné zvolit vhodný kompromis, aby při čtení dat nedošlo ke ztrátě synchronizace a zároveň, aby vlivem přehnaně velkého počtu impulsů nedocházelo k plýtvání médiem a tím k jeho menší kapacitě

2023-11-01

71

71

FM modulace

- V případě použití modulace **FM** (Frequency Modulation) se jednotlivé bity zakódují následovně:

Bit	Zakódování
0	PN
1	PP

- Příklad:
 - bitový vzorek: **101101101**
 - zakódovaný bitový vzorek: **PPPNPPPPNPPPPNPP**
- FM vykazuje příliš velký počet impulsů

2023-11-01

72

72

MFM modulace (1)

- **MFM** (Modified Frequency Modulation) redukuje počet impulsů
- MFM modulace se používala u prvních pevných disků a dodnes se používá při záznamu na pružné disky
- Jednotlivé bity se zakódují následovně:

Bit	Zakódování
0	PN jestliže je v řetězci 00 NN jestliže je v řetězci 10
1	NP

2023-11-01

73

73

MFM modulace (2)

- Příklad: je dán bitový vzorek: **101100**

Vzorek	Zakódování v MFM	Počet impulsů	Zakódování v FM	Počet impulsů
101100	NPNNPNPNPN	4	PPNPNNPNPN	9

- Celkový počet impulsů je menší než u FM modulace
- Počet po sobě následujících mezer je max. 3
- Díky těmto vlastnostem je MFM modulace asi o 20% úspornější než FM modulace

2023-11-01

74

74

RLL modulace (1)

- Modulace **2,7 RLL** (Run Length Limited) používá následující kódovací schéma:

Vzorek	Zakódování v RLL	Počet impulsů	Zakódování v MFM	Počet impulsů
00	PNNN	1	PNPN	2
01	NPNN	1	PNNP	2
100	NNPNNN	1	NPNNPN	2
101	PNNPNN	2	NPNNNP	2
1100	NNNNPNNN	1	NPNPNNPN	3
1101	NNPNPNPN	2	NPNPNNNP	3
111	NNNPNN	1	NPNPNP	3

2023-11-01

75

75

RLL modulace (2)

- Jednotlivé vzorky a jejich zakódování jsou voleny tak, aby mezi dvěma impulsy byly minimálně 2 a maximálně 7 mezer
- Toto kódování je asi o 50% úspornější než MFM kódování a bylo používáno u starších pevných disků
- Moderní pevné disky používají většinou nějakou modifikaci 2,7 RLL kódování, označovanou např. **ARLL**, **ERLL**, **EPRML** apod., která poskytuje ještě větší úsporu

2023-11-01

76

76